



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

## **ΟΙ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΝΕΟ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 2 ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ 2004**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΦΙΛΑΡΕΤΟΥ

Επιβλέπουσα: Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2019





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

## **ΟΙ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΝΕΟ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 2 ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ 2004**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΦΙΛΑΡΕΤΟΥ

Επιβλέπουσα: Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2019



Χριστίνα Φιλαρέτου (2019)  
«Οι αλλαγές στον νέο Ευρωκώδικα 2 σε σύγκριση με την έκδοση του 2004»  
Διπλωματική Εργασία  
Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί το πέρας των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Στην προσπάθεια αυτή συνέβαλαν καθοριστικά ορισμένα άτομα με την επικοινωνιακή συνεργασία και την πολύτιμη καθοδήγησή τους.

Ευχαριστώ θερμά την κ. Ελισάβετ Βιντζηλαίου, Καθηγήτρια του Τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π. και τον κ. Κωνσταντίνο Τρέζο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Δομοστατικής του Ε.Μ.Π., για τη δυνατότητα που μου έδωσαν να ασχοληθώ με το παρόν θέμα υπό την επίβλεψή τους. Η συστηματική παρακολούθηση της εργασίας, καθώς επίσης και οι ποιοτικές παρατηρήσεις και διορθώσεις τους συνέβαλαν στην ορθή ολοκλήρωσή της και στην κατανόηση διαφόρων ιδιαίτερων θεμάτων που προέκυψαν.

Χριστίνα Φιλαρέτου

Νοέμβριος 2019







Στο 10<sup>ο</sup> κεφάλαιο υπολογίζεται η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος σε συνθήκες κόπωσης.

Στο 11<sup>ο</sup> κεφάλαιο υπολογίζεται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης του οπλισμού και στο 12<sup>ο</sup> κεφάλαιο το μήκος αγκύρωσης σε ενώσεις με υπερκαλύψεις οπλισμών.

# Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	1
1.1	Γενικά στοιχεία για το οπλισμένο σκυρόδεμα.....	1
1.2	Γενικά στοιχεία για τον Ευρωκώδικα 2.....	2
1.3	Προτεινόμενες αλλαγές (CEN N1358 – 2018).....	2
1.4	Σκοπός της εργασίας .....	4
2	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	7
2.1	Εισαγωγή.....	7
2.2	EC2 (2004) – [3.1.6] .....	7
2.3	EC2 (2018) – [5.1.6] .....	7
2.4	Αιτίες αλλαγής.....	8
2.5	Διερεύνηση.....	8
2.5.1	Εφαρμογή 1 <sup>η</sup> : Υπολογισμός ροπής αντοχής και ανηγμένων μεγεθών για δεδομένη διατομή με δεδομένο διαμήκη οπλισμό .....	8
2.5.2	Εφαρμογή 2 <sup>η</sup> : Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού και ανηγμένων μεγεθών για δεδομένη διατομή με δεδομένη ροπή .....	16
2.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα .....	21
2.6.1	Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> Εφαρμογής.....	22
2.6.2	Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> Εφαρμογής.....	24
2.7	Συμπεράσματα .....	25
3	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ .....	27
3.1	Εισαγωγή.....	27
3.2	EC2 (2004) – [3.1.9] .....	27
3.3	EC2 (2018) – [8.1.4] .....	28
3.4	Αιτίες αλλαγής.....	30
3.5	Διερεύνηση.....	30
3.5.1	Εφαρμογή 1 <sup>η</sup> : Υπολογισμός αντοχής περισφιγμένου σκυροδέματος για υποσύλωμα με δεδομένες διαστάσεις και δεδομένο διαμήκη οπλισμό.....	30
3.5.2	Εφαρμογή 2 <sup>η</sup> : Υπολογισμός αντοχής περισφιγμένου σκυροδέματος για υποσύλωμα με δεδομένες διαστάσεις και δεδομένη ποιότητα σκυροδέματος .....	35
3.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα .....	38
3.6.1	Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> Εφαρμογής.....	38
3.6.2	Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> Εφαρμογής.....	40
3.7	Συμπεράσματα .....	41
4	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΟΠΛΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	43

4.1	Εισαγωγή .....	43
4.2	EC2 (2004) – [6.2.2].....	43
4.3	EC2 (2018) – [8.2.2].....	43
4.4	Αιτίες αλλαγής .....	44
4.5	Διερεύνηση .....	45
4.5.1	Εφαρμογή: Υπολογισμός διατμητικής αντοχής άοπλου σκυροδέματος για πλάκα δεδομένων διαστάσεων με δεδομένο διαμήκη σπλισμό .....	45
4.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	48
4.7	Συμπεράσματα.....	51
5	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ .....	53
5.1	Εισαγωγή .....	53
5.2	EC2 (2004) – [6.2.2].....	53
5.3	EC2 (2018) – [8.2.1].....	53
5.4	Αιτίες αλλαγής .....	54
5.5	Διερεύνηση .....	54
5.5.1	Εφαρμογή : Υπολογισμός ελάχιστης διατμητικής αντοχής για δοκό δεδομένης διατομής 54	
5.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	57
5.7	Συμπεράσματα.....	59
6	ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	61
6.1	Εισαγωγή .....	61
6.2	EC2 (2004) – [6.7].....	61
6.3	EC2 (2018) – [8.6].....	62
6.4	Αιτίες αλλαγής .....	63
6.5	Διερεύνηση .....	63
6.5.1	Εφαρμογή: Υπολογισμός αντίστασης σκυροδέματος στην επιβολή συγκεντρωμένου φορτίου 63	
6.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	65
6.7	Συμπεράσματα.....	67
7	ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	69
7.1	Εισαγωγή .....	69
7.2	EC2 (2004) – [6.4].....	69
7.3	EC2 (2018) – [8.4].....	72
7.4	Αιτίες αλλαγής .....	76
7.5	Διερεύνηση .....	76
7.5.1	Εφαρμογή 1 <sup>η</sup> : Υπολογισμός αντοχής σε διάτρηση άοπλου σκυροδέματος .....	76

7.5.2	Εφαρμογή 2 <sup>η</sup> : Υπολογισμός οπλισμού διατρήσεως.....	80
7.6	Συγκεντρικά αποτελέσματα .....	89
7.6.1	Αποτελέσματα 1 <sup>ης</sup> Εφαρμογής.....	89
7.6.2	Αποτελέσματα 2 <sup>ης</sup> Εφαρμογής.....	93
7.7	Συμπεράσματα .....	95
8	ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΡΩΓΜΩΝ .....	97
8.1	Εισαγωγή .....	97
8.2	EC2 (2004) – [7.3.2] .....	97
8.3	EC2 (2018) – [9.2.2] .....	99
8.4	Αιτίες αλλαγής.....	101
8.5	Διερεύνηση.....	102
8.5.1	Εφαρμογή 1 <sup>η</sup> : Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού για ορθογωνική διατομή υπό καθαρή κάμψη .....	102
8.5.2	Εφαρμογή 2 <sup>η</sup> : Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού για ορθογωνική διατομή υπό καθαρό εφελκυσμό .....	104
8.5.3	Εφαρμογή 3 <sup>η</sup> : Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού για ορθογωνική διατομή υπό συνδυασμό κάμψης και αξονικής .....	106
8.6	Συγκεντρικά αποτελέσματα .....	110
8.7	Συμπεράσματα .....	113
9	ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΡΩΓΜΗΣ..	115
9.1	Εισαγωγή .....	115
9.2	EC2 (2004) – [7.3.3] .....	115
9.3	EC2 (2018) – [9.2.3] .....	120
9.4	Αιτίες αλλαγής.....	123
9.5	Διερεύνηση.....	123
9.5.1	Εφαρμογή 1 <sup>η</sup> : Υπολογισμός του εύρους ρωγμής δοκού δεδομένων διαστάσεων	123
9.5.2	Εφαρμογή 2 <sup>η</sup> : Υπολογισμός εύρους ρωγμής δοκού με δεδομένο σκυρόδεμα...	127
9.5.3	Εφαρμογή 3 <sup>η</sup> : Υπολογισμός εύρους ρωγμής για πλάκα δεδομένων διαστάσεων και σκυρόδεμα C30/37 .....	131
9.6	Συγκεντρικά αποτελέσματα .....	134
9.7	Συμπεράσματα .....	136
10	ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ .....	137
10.1	Εισαγωγή .....	137
10.2	EC2 (2004) – [6.8.2] .....	137
10.3	EC2 (2018) – [10.3] .....	137
10.4	Αιτίες αλλαγής.....	138
10.5	Διερεύνηση.....	138

10.5.1	Εφαρμογή: Υπολογισμός της αντοχής σε κόπωση σκυροδέματος για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές .....	138
10.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	140
10.7	Συμπεράσματα.....	141
11	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ.....	143
11.1	Εισαγωγή .....	143
11.2	EC2 (2004) – [8.4].....	143
11.3	EC2 (2018) – [11.4].....	146
11.4	Αιτίες αλλαγής .....	147
11.5	Διερεύνηση.....	147
11.5.1	Εφαρμογή 1 <sup>η</sup> : Υπολογισμός μήκους αγκύρωσης για δεδομένη διάμετρο ράβδου οπλισμού.....	147
11.5.2	Εφαρμογή 2 <sup>η</sup> : Υπολογισμός μήκους αγκύρωσης για δεδομένη ποιότητα σκυροδέματος .....	151
11.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	154
11.7	Συμπεράσματα.....	157
12	ΕΝΩΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΕΣ ΡΑΒΔΟΥΣ .....	159
12.1	Εισαγωγή .....	159
12.2	EC2 (2004) – [8.7.3].....	159
12.3	EC2 (2018) – [11.5.2].....	161
12.4	Αιτίες αλλαγής .....	162
12.5	Διερεύνηση.....	162
12.5.1	Εφαρμογή: Υπολογισμός μήκους υπερκάλυψης για δεδομένη ποιότητα σκυροδέματος .....	162
12.6	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	165
12.7	Συμπεράσματα.....	167
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	169

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

## 1.1 Γενικά στοιχεία για το οπλισμένο σκυρόδεμα

Με τον όρο οπλισμένο σκυρόδεμα εννοούμε σκυρόδεμα με ενσωματωμένες ράβδους από χάλυβα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι συνεπώς σύμμικτο υλικό. Η συνεργασία του με τους οπλισμούς οφείλεται στη συνάφεια του συνδετικού μέσου – δηλαδή του τσιμέντου – με το χάλυβα.

Οι οπλισμοί καλούνται να παραλάβουν τις εφελκυστικές δυνάμεις στοιχείων που καταπονούνται σε κάμψη ή εφελκυσμό, αφού το σκυρόδεμα έχει υψηλή μεν αντοχή σε θλίψη, αλλά μικρή σε εφελκυσμό. Λόγω της συνάφειας, οι παραμορφώσεις των οπλισμών και του σκυροδέματος που τους περιβάλλει πρέπει να ταυτίζονται. Αφού το σκυρόδεμα δεν μπορεί να παρακολουθήσει τις μεγάλες μηκύνσεις του χάλυβα, όταν εφελκύεται ρηγματώνεται στην εφελκυσμένη ζώνη, οπότε οι εφελκυστικές δυνάμεις παραλαμβάνονται μόνο από το χάλυβα. Ωστόσο, ο οπλισμός δεν μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη ρωγμών, αλλά διασφαλίζει ότι αυτές θα παραμείνουν τριχοειδείς – δηλαδή, δεν θα είναι ορατές με γυμνό μάτι – υπό τα φορτία λειτουργίας της κατασκευής. Μία δοκός από άοπλο σκυρόδεμα θα αστοχούσε απότομα με την πρώτη ρωγή, μόλις ξεπερνούσε τη χαμηλή εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος. Ο οπλισμός, συνεπώς, θα πρέπει να μπαίνει στην εφελκυσμένη ζώνη των στοιχείων και κατά το δυνατόν στη διεύθυνση των εσωτερικών δυνάμεων εφελκυσμού. Έτσι μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε την υψηλή αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος σε καμπτόμενες πλάκες και δοκούς.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε όλους τους τομείς των κατασκευών και έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι εύπλαστο. Το νωπό σκυρόδεμα προσαρμόζεται σε οποιαδήποτε μορφή ξυλοτύπου. Οι οπλισμοί μπορούν να μπαίνουν ανάλογα με τη ροή των εσωτερικών δυνάμεων.
- Αντέχει στη φωτιά, στην αποσάθρωση και σε μηχανικές φθορές.
- Προσφέρεται για μονολιθικές κατασκευές (χωρίς αρμούς), οι οποίες, ως πολλαπλά στατικά αόριστες, έχουν πολλά περιθώρια αντοχής και ασφάλειας.
- Είναι οικονομικό (φθηνά υλικά, όπως άμμος και χαλίκι) και κατά κανόνα δε χρειάζεται συντήρηση.

Ενδεικτικά, αναφέρονται και κάποια από τα μειονεκτήματά του:

- Το μεγάλο ίδιο βάρος των κατασκευών από σκυρόδεμα.
- Η μικρή θερμομόνωση που προσφέρει.
- Οι μετασκευές και οι κατεδαφίσεις είναι δαπανηρές και δύσκολες.

## 1.2 Γενικά στοιχεία για τον Ευρωκώδικα 2

Ο Ευρωκώδικας 2 χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό κτηρίων Πολιτικού Μηχανικού που κατασκευάζονται από άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα και καλύπτει μόνο τις απαιτήσεις αντοχής, λειτουργικότητας, ανθεκτικότητας σε διάρκεια και πυρασφάλειας των κατασκευών από σκυρόδεμα. Περιλαμβάνει τα εξής μέρη:

- Μέρος 1.1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια
- Μέρος 1.2: Σχεδιασμός για πυρασφάλεια
- Μέρος 2: Γέφυρες από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα
- Μέρος 3: Υδατοδεξαμενές και κατασκευές υπό υδατοφόρτιση

Το Μέρος 1.1 του Ευρωκώδικα 2 περιλαμβάνει τις βασικές του αρχές σχεδιασμού των κατασκευών από άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα, με συνήθη ή ελαφρά αδρανή, καθώς επίσης και τους ειδικούς κανόνες για κτήρια. Περιλαμβάνει τα ακόλουθα κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή
- Κεφάλαιο 2: Βάσεις του σχεδιασμού
- Κεφάλαιο 3: Υλικά
- Κεφάλαιο 4: Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και επικάλυψη οπλισμών
- Κεφάλαιο 5: Ανάλυση του δομικού συστήματος
- Κεφάλαιο 6: Οριακές καταστάσεις αστοχίας
- Κεφάλαιο 7: Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
- Κεφάλαιο 8: Κατασκευαστική διαμόρφωση των χαλαρών οπλισμών και των τενόντων προέντασης – Γενικά
- Κεφάλαιο 9: Κατασκευαστική διαμόρφωση δομικών στοιχείων και ειδικοί κανόνες
- Κεφάλαιο 10: Συμπληρωματικοί κανόνες για προκατασκευασμένα στοιχεία και κατασκευές από σκυρόδεμα
- Κεφάλαιο 11: Κατασκευές από ελαφροσκυρόδεμα
- Κεφάλαιο 12: Άοπλες και ελαφρώς οπλισμένες κατασκευές

## 1.3 Προτεινόμενες αλλαγές (CEN N1358 – 2018)

Έπειτα από 14 χρόνια από την τελευταία έκδοση του Ευρωκώδικα 2<sup>1</sup> αποφασίστηκε η τροποποίησή του σε σημεία που θεωρήθηκαν ελλιπή, δυσνόητα ή περιττά. Οι προτεινόμενες αλλαγές προέρχονται από όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αφορούν τόσο το θεωρητικό κομμάτι του κανονισμού, όσο και το περισσότερο πρακτικό κομμάτι, δηλαδή το τυπολόγιο. Ο νέος Ευρωκώδικας<sup>2</sup> περιλαμβάνει τα εξής κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 1: Πεδίο εφαρμογής
- Κεφάλαιο 2: Κανονιστικές διατάξεις
- Κεφάλαιο 3: Όροι, ορισμοί και σύμβολα
- Κεφάλαιο 4: Βάσεις του σχεδιασμού

<sup>1</sup> Στο εξής θα αναφέρεται η έκδοση αυτή ως EC2 (2004) για λόγους συντομίας.

<sup>2</sup> Στο εξής θα αναφέρεται η έκδοση αυτή ως EC2 (2018) για λόγους συντομίας.



## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Κεφάλαιο 5: Υλικά
- Κεφάλαιο 6: Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και επικάλυψη οπλισμών
- Κεφάλαιο 7: Ανάλυση του δομικού συστήματος
- Κεφάλαιο 8: Οριακές καταστάσεις αστοχίας
- Κεφάλαιο 9: Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
- Κεφάλαιο 10: Κόπωση
- Κεφάλαιο 11: Κατασκευαστική διαμόρφωση οπλισμών και τενόντων μετά-τάνυσης
- Κεφάλαιο 12: Κατασκευαστική διαμόρφωση δομικών στοιχείων και ειδικοί κανόνες
- Κεφάλαιο 13: Συμπληρωματικοί κανόνες για προκατασκευασμένα στοιχεία και κατασκευές από σκυρόδεμα
- Κεφάλαιο 14: Άοπλες και ελαφρώς οπλισμένες κατασκευές

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας με τις βασικότερες διαφορές που εντοπίστηκαν μεταξύ των δύο εκδόσεων του Ευρωκώδικα 2.

α/α	EC2 (2004)		EC2 (2018)		Περιγραφή
	Παράγραφος	Σελίδα	Παράγραφος	Σελίδα	
1	3.1.2 (5)	27	5.1.3 (5)	40	Συντελεστής απομείωσης θλιπτικής αντοχής
2	3.1.2 (6)	28	5.1.3 (7)	40	Συντελεστής $s$ εξαρτώμενος από τον τύπο του σκυροδέματος
3	3.1.2 (9)	28	5.1.3 (8)	41	Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος
4	3.1.3 (2)	28	5.1.4 (2)	41	Μέτρο ελαστικότητας $E_{cm}$
5	3.1.3 (3)	30	5.1.4 (3)	41	Μέτρο ελαστικότητας $E_{cm}(t)$
6	3.1.6 (1)	34	5.1.7 (1)	45	Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού $f_{cd}$
7	3.1.6 (2)	34	5.1.7 (2)	45	Εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού $f_{ctd}$
8	3.1.9	36	8.1.4	93	Περίσφιγξη
9	4.4.1.2 (2)	49	6.4.2	60	Ελάχιστη επικάλυψη
10	5.2 (5)	55	7.2 (5)	66	Γεωμετρικές ατέλειες
11	5.5 (4)	60	7.5 (3)	75	Ανακατανομή $\delta$
12	5.8.4 (2)	68	7.8.3 (2)	81	Επίδραση φαινομένων 2 <sup>ας</sup> τάξεως στον ερπυσμό
13	5.8.8.2 (2)	72	0.5.2	281	Ροπή 1ης τάξεως
14	5.8.8.3 (1)	73	0.5.3	282	Καμπυλότητα
15	6.2.2 (1)	85	8.2.2 (3)	99	Αντοχή σε διάτμηση άοπλου σκυροδέματος
16	6.2.3 (2)	88	8.2.3 (2)	102	Μέλη που απαιτούν οπλισμό διάτμησης ( $\theta_{min}$ )
17	6.2.3 (3)	89	8.2.3 (3)	102	Μέγιστη αντοχή σε διάτμηση ( $V_{Rd,max}$ )
18	6.2.3 (5)	90	8.2.3 (6)	104	Μήκος μετατόπισης διαγράμματος ροπών

19	6.2.3 (6)	90	8.2.3 (9)	105	Ονομαστικό πάχος κορμού
20	6.2.3 (8)	90	8.2.3 (11)	105	Συγκεντρωμένα φορτία
21	6.2.4 (4)	92	8.2.4 (4)	109	Σύνδεση πέλματος-κορμού
22	6.2.5 (1)	92	8.2.6	110	Διάτμηση σε διεπιφάνεια
23	6.3.2 (4)	96	8.3.6	96	Στρέψη - εντατικά μεγέθη
24	6.4.2	98	8.4.2	118	Διάτρηση-βασική περίμετρος ελέγχου
25	6.4.5 (1)	105	8.4.4 (1)	123	Δύναμη διάτρησης
26	6.4.5 (4)	106	8.4.4 (3)	124	Περίμετρος ελέγχου στη διάτρηση
27	6.7 (2)	111	8.6 (2)	131	Συγκεντρωμένες δυνάμεις
28	6.8.2 (2)	112	10.3 (1)	153	Κόπωση
29	7.1 (2)	120	9.1 (3)	138	Ενεργό μέτρο ελαστικότητας - ερπυσμός
30	7.3.4 (1)	124	9.2.4 (2)	142	Εύρος ρωγμής ( $w$ )
31	7.3.4 (3)	125	9.2.4 (4)	144	Απόσταση ρωγμών ( $s_{r,max}$ )
32	8.4.3 (2)	134	11.4.2 (3)	160	Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης
33	9.4.3 (2)	161	12.4.2 (3)	185	Διάτρηση-οπλισμός διάτμησης
34	12.6.5.2 (1)	197	14.4.5.2	212	Απλοποιημένη μέθοδος σχεδιασμού για τοιχώματα και υποστυλώματα
35	12.9.3 (1)	198	14.6.3 (1)	213	Πέδιλα

Πίνακας 1.1 Οι βασικότερες διαφορές μεταξύ του EC2 (2004) και του EC2 (2018)

Από τις παραπάνω αλλαγές, μελετώνται αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια οι εξής:

- Συντελεστής απομείωσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος
- Περίσφιξη
- Διατμητική αντοχή άοπλου σκυροδέματος
- Ελάχιστη διατμητική αντοχή
- Περιοχές με συγκεντρωμένα φορτία
- Διάτρηση
- Ελάχιστος οπλισμός για περιορισμό ρωγμών
- Απλοποιημένος έλεγχος ρωγμών και αναλυτικός υπολογισμός εύρους ρωγμής
- Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος σε κόπωση
- Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης
- Ενώσεις με υπερκάλυψη οπλισμών

#### 1.4 Σκοπός της εργασίας

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο εντοπισμός των σπουδαιότερων αλλαγών μεταξύ του EC2 (2004) και του EC2 (2018), καθώς επίσης και των αιτιών που οδήγησαν σε αυτές. Η πορεία που ακολουθείται περιλαμβάνει αρχικά τη διερεύνηση κάθε αλλαγής τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε πρακτικό επίπεδο και στη συνέχεια την εφαρμογή υπολογισμών και την

## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

σύγκριση των εκάστοτε αποτελεσμάτων. Στο τέλος της παραπάνω διαδικασίας διαπιστώνονται ορισμένα συμπεράσματα και κρίνονται οι αλλαγές ως προς τη διευκόλυνση του χρήστη, αλλά και ως προς τη διαφορά στις τιμές των μεγεθών.



## 2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Ο συντελεστής  $\alpha_{cc}$  λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα επιβολής της φόρτισης. Επειδή σε μία πραγματική κατασκευή η επιβολή του φορτίου είναι βραδεία, απαιτείται μία απομείωση της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ck}$ ) σύμφωνα με τον συντελεστή  $\alpha_{cc}$ . Η αντοχή  $f_{ck}$  υπολογίζεται πειραματικά στο εργαστήριο με σχετικά υψηλές ταχύτητες φόρτισης.

Η αρχική ιδέα για την εφαρμογή της εν λόγω μείωσης προέκυψε από την ερμηνεία του φαινομένου Rüschi (Rüschi effect), σύμφωνα με το οποίο η αντοχή του σκυροδέματος παρουσιάζει μείωση κατά 20% σε σχέση με τη χαρακτηριστική της τιμή, μετά την επιβολή μακροχρόνιου φορτίου.

### 2.2 EC2 (2004) – [3.1.6]

Η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού ορίζεται ως:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

όπου:

$\gamma_c$  είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα και

$\alpha_{cc}$  είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο.

Σημείωση: Η τιμή του  $\alpha_{cc}$  προς χρήση σε μία χώρα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 1,0 και παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι 1.

### 2.3 EC2 (2018) – [5.1.6]

Η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού ορίζεται ως:

$$f_{cd} = \eta_{cc} k_{tc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

όπου:

$\gamma_c$  είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα

$\eta_{cc}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μη κατανομημένη θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και την ενεργό θλιπτική αντοχή που μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα δομικό στοιχείο.

Ορίζεται ως:

$$\eta_{cc} = \left( \frac{40 \text{ MPa}}{f_{ck}} \right)^{1/3} \leq 1$$

$k_{tc}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επίδραση μακροχρόνιων φορτίων στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

Σημείωση: Η τιμή του  $k_{tc}$  προς χρήση σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι 1.

## 2.4 Αιτίες αλλαγής

Σύμφωνα με το fib MC2010, παρατηρείται διαφορά μεταξύ της αντοχής κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος που εξετάζεται στο εργαστήριο και της αντοχής ενός δομικού μέλους σε μία πραγματική κατασκευή. Αυτή η διαφορά οφείλεται τόσο στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η έγχυση και η σκλήρυνση του σκυροδέματος σε κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, όσο και στη συγκέντρωση τάσεων που παρατηρείται στα δομικά μέλη, η οποία είναι αναπόφευκτη. Ως απόρροια αυτών των τάσεων, η πειραματικώς καθορισμένη αντίσταση μίας φορτιζόμενης διατομής είναι κατά περίπου 12% μικρότερη από αυτήν μίας αφόρτιστης διατομής. Για σκυροδέματα με μικρές σχετικά αντοχές ( $f_{ck} < 30 \text{ MPa}$ ), οι τάσεις που αναπτύσσονται μπορούν να ανακαταμεμηθούν χάρη στην ικανότητα παραμόρφωσης του υλικού. Ωστόσο, για μεγαλύτερες αντοχές η ψαθυρότητα του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη και επομένως η επίδραση των συγκεντρωμένων τάσεων κρίνεται σημαντικότερη.

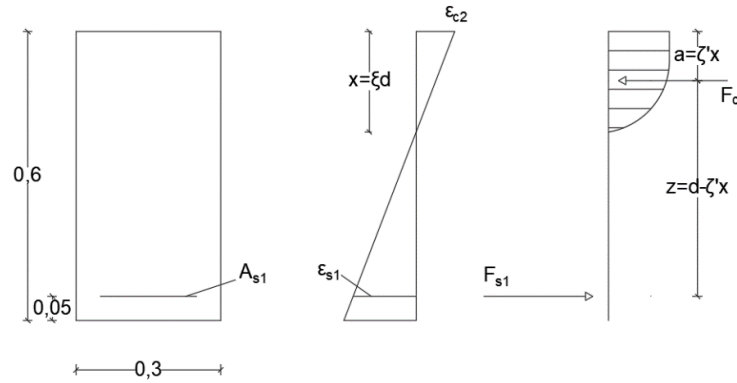
Για τους παραπάνω λόγους κρίθηκε απαραίτητη η εισαγωγή ενός συντελεστή ψαθυρότητας, ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη αυτή τη μείωση της αντοχής. Δηλαδή, ο συντελεστής  $\alpha_{cc}$  χωρίστηκε σε δύο επιμέρους συντελεστές, το  $k_{tc}$  που λαμβάνει υπόψη την επίδραση μακροχρόνιας φόρτισης στην αντοχή, όπως προκύπτει από το φαινόμενο Rüschi, και το  $\eta_{cc}$  που λαμβάνει υπόψη τη μη καταμεμημένη θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και την ενεργό θλιπτική αντοχή που μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα δομικό στοιχείο.

## 2.5 Διερεύνηση

### 2.5.1 Εφαρμογή 1<sup>η</sup>: Υπολογισμός ροπής αντοχής και ανηγμένων μεγεθών για δεδομένη διατομή με δεδομένο διαμήκη σπλισμό

Η διατομή του σχήματος έχει διαμήκη σπλισμό  $A_{s1}=12,57 \text{ cm}^2$ , με ποιότητα χάλυβα B500C. Οι υπολογισμοί που ακολουθούν αφορούν διαφορετικές ποιότητες σκυροδέματος (από 12 MPa έως 90 MPa) και στοχεύουν στην διευκρίνιση των επιπτώσεων που έχει η αλλαγή του συντελεστή απομείωσης της θλιπτικής αντοχής ( $\alpha_{cc}$ ) σε διάφορα ανηγμένα μεγέθη.

## ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



Αρχικά, γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση των υπολογισμών που θα πραγματοποιηθούν κατά τη διερεύνηση. Συνεπώς, έχουμε τα εξής:

- Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος:  $F_c = a \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b$
- Εφελκυστική αντοχή χάλυβα:  $F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1}$  (θεωρούμε ότι ο χάλυβας διαρρέει)
- Ροπή σχεδιασμού διατομής:  $M_{sd} = F_c \cdot z = F_{s1} \cdot z = a \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z$
- Ανηγγμένη ροπή σχεδιασμού:  $\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{a \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = a \cdot \frac{x}{d} \cdot \frac{z}{d}$

Θεωρούμε τα ανηγμένα μεγέθη :

- Ανηγμένο ύψος θλιβόμενης ζώνης:  $\xi = \frac{x}{d}$
- Ανηγμένο ύψος μοχλοβραχίονα εσωτερικών δυνάμεων:  $\zeta = \frac{z}{d}$
- Ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού:  $\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω στην εξίσωση της ανηγμένης ροπής προκύπτουν τα εξής:

$$\Rightarrow \mu_{sd} = a \cdot \frac{x}{d} \cdot \frac{d - \zeta'x}{d} = a \cdot \frac{x}{d} \cdot \left(1 - \zeta' \cdot \frac{x}{d}\right) = a \cdot \xi \cdot (1 - \zeta'\xi) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu_{sd} = \frac{a}{\zeta'} \cdot \frac{d - z}{d} = \frac{a}{\zeta'} \cdot \left(1 - \frac{z}{d}\right) \cdot \frac{z}{d} = \frac{a}{\zeta'} \cdot \zeta \cdot (1 - \zeta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{A_s \cdot f_{yd} \cdot z}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{A_s \cdot f_{yd} \cdot z}{d \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\omega}} = \zeta \cdot \omega$$

Η διερεύνηση θα γίνει για τα εξής μεγέθη:

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

ii.  $\frac{a}{\zeta'} \cdot \zeta \cdot (1 - \zeta) = \mu_{sd}$

iii.  $a \cdot \xi \cdot (1 - \zeta'\xi) = \mu_{sd}$

iv.  $\omega = \frac{\mu_{sd}}{\zeta}$

<b>f<sub>ck</sub> = 12 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 12 / 1,5 = 6,80 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 12 / 1,5 = 8 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 12 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 12 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 6800 \cdot x \cdot 0,30 = 1652,4x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 8000 \cdot x \cdot 0,30 = 1944x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 1652,4x = 546,8 \Leftrightarrow x = 33,09 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 33,09 = 13,77 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 41,23 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 1944x = 546,8 \Leftrightarrow x = 28,13 \text{ cm} \rightarrow$ $a = 0,416 \cdot 28,13 = 13,77 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 43,3 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4123 = 225,45 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,433 = 236,76 \text{ KNm}$
<b>i. <math>\mu_{sd} = 0.365</math></b>	<b>i. <math>\mu_{sd} = 0.326</math></b>
<b>ii. <math>\zeta = 0,75</math></b>	<b>ii. <math>\zeta = 0,787</math></b>
<b>iii. <math>\xi = 0,6008</math></b>	<b>iii. <math>\xi = 0,511</math></b>
<b>iv. <math>\omega = 0,487</math></b>	<b>iv. <math>\omega = 0,414</math></b>

<b>f<sub>ck</sub> = 16 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 16 / 1,5 = 9,07 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 16 / 1,5 = 10,67 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 16 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 16 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 9070 \cdot x \cdot 0,30 = 2204,01x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 10670 \cdot x \cdot 0,30 = 2592,08x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 2204,01x = 546,8 \Leftrightarrow x = 24,81 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 24,81 = 10,32 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 44,67 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 2592,08x = 546,8 \Leftrightarrow x = 21,1 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 21,1 = 8,78 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 46,22 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4467 = 244,26 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4622 = 252,73 \text{ KNm}$
<b>i. <math>\mu_{sd} = 0,2968</math></b>	<b>i. <math>\mu_{sd} = 0,261</math></b>
<b>ii. <math>\zeta = 0,812</math></b>	<b>ii. <math>\zeta = 0,84</math></b>
<b>iii. <math>\xi = 0,451</math></b>	<b>iii. <math>\xi = 0,383</math></b>
<b>iv. <math>\omega = 0,366</math></b>	<b>iv. <math>\omega = 0,311</math></b>



ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

<b>f<sub>ck</sub> = 20 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 20 / 1,5 = 11,33 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 20 / 1,5 = 13,33 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 11,333 \cdot x \cdot 0,30 = 2753,19x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 13,333 \cdot x \cdot 0,30 = 3239,92x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 2753,19x = 546,8 \Leftrightarrow x = 19,86 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 19,86 = 8,26 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 46,74 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 3239,92x = 546,8 \Leftrightarrow x = 16,88 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 16,88 = 7,02 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 47,98 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4674 = 255,57 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4798 = 262,35 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i.    μ<sub>sd</sub> = 0,2486</b></li> <li><b>ii.   ζ = 0,849</b></li> <li><b>iii.   ξ = 0,361</b></li> <li><b>iv.    ω = 0,293</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i.    μ<sub>sd</sub> = 0,2168</b></li> <li><b>ii.   ζ = 0,872</b></li> <li><b>iii.   ξ = 0,307</b></li> <li><b>iv.    ω = 0,249</b></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 25 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 25 / 1,5 = 16,67 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 14,170 \cdot x \cdot 0,30 = 3443,31x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 16,670 \cdot x \cdot 0,30 = 4050,81x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 3443,31x = 546,8 \Leftrightarrow x = 15,88 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 15,88 = 6,606 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 48,39 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 4050,81x = 546,8 \Leftrightarrow x = 13,5 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 13,5 = 5,62 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 49,38 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4839 = 264,6 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,4938 = 270,01 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i.    μ<sub>sd</sub> = 0,2058</b></li> <li><b>ii.   ζ = 0,88</b></li> <li><b>iii.   ξ = 0,289</b></li> <li><b>iv.    ω = 0,234</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i.    μ<sub>sd</sub> = 0,1785</b></li> <li><b>ii.   ζ = 0,898</b></li> <li><b>iii.   ξ = 0,245</b></li> <li><b>iv.    ω = 0,199</b></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 17000 \cdot x \cdot 0,30 = 4131x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 20000 \cdot x \cdot 0,30 = 4860x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 4131x = 546,8 \Leftrightarrow x = 13,24 \text{ cm} \rightarrow$ $a = 0,416 \cdot 13,24 = 5,506 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 49,494 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 4860x = 546,8 \Leftrightarrow x = 11,25 \text{ cm} \rightarrow$ $a = 0,416 \cdot 11,25 = 4,68 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 50,32 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,49494 = 270,63 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5032 = 275,15 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1754</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,9</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,2406</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,195</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1516</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,915</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,205</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,166</math></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 35 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 35 / 1,5 = 19,83 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 35 / 1,5 = 23,33 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 19830 \cdot x \cdot 0,30 = 4818,69x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 23333 \cdot x \cdot 0,30 = 5669,2x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 4818,69x = 546,8 \Leftrightarrow x = 11,35 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 11,35 = 4,72 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 50,28 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 5669,2x = 546,8 \Leftrightarrow x = 9,65 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 9,65 = 4,014 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 50,986 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5028 = 270,63 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,50986 = 278,79 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1528</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,9142</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,206</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,167</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1317</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,927</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,1754</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,142</math></li> </ul>

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

<b>f<sub>ck</sub> = 40 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 40 / 1,5 = 22,67 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 40 / 1,5 = 26,67 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 40 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 40 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 22670 \cdot x \cdot 0,30 = 5508,81x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 26670 \cdot x \cdot 0,30 = 6480,81x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 5508,81x = 546,8 \Leftrightarrow x = 9,93 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 9,93 = 4,13 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 50,87 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 6480,81x = 546,8 \Leftrightarrow x = 8,44 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 8,44 = 3,51 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 51,49 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5087 = 270,63 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5149 = 281,55 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1352</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,925</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,1805</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,146</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1163</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,936</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,1534</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,124</math></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 45 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 45 / 1,5 = 25,5 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,961 \rightarrow f_{cd} = 0,961 \cdot 45 / 1,5 = 28,84 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 45 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 45 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81 ,$ $\zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 25500 \cdot x \cdot 0,30 = 6196,5x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 28840 \cdot x \cdot 0,30 = 7008,12x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 6196,5x = 546,8 \Leftrightarrow x = 8,824 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 8,824 = 3,671 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 51,329 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 7008,12x = 546,8 \Leftrightarrow x = 7,8 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 7,8 = 3,24 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 51,76 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,51329 = 280,67 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5176 = 283,02 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1213</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,933</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,1605</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,13</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,1081</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,941</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,142</math></li> <li>iv. <math>\omega = 0,115</math></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 50 / 1,5 = 28,33 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,928 \rightarrow f_{cd} = 0,928 \cdot 50 / 1,5 = 30,94 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81, \zeta' = 0,416$	$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 3,5 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,81, \zeta' = 0,416$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 28330 \cdot x \cdot 0,30 = 6884,19x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,81 \cdot 30940 \cdot x \cdot 0,30 = 7518,42x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 6884,19x = 546,8 \Leftrightarrow x = 7,94 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 7,94 = 3,304 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 51,696 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 7518,42x = 546,8 \Leftrightarrow x = 7,27 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,416 \cdot 7,27 = 3,02 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 51,98 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,51696 = 282,67 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5198 = 284,23 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i. <math>\mu_{sd} = 0,1099</math></b></li> <li><b>ii. <math>\zeta = 0,94</math></b></li> <li><b>iii. <math>\xi = 0,144</math></b></li> <li><b>iv. <math>\omega = 0,117</math></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i. <math>\mu_{sd} = 0,1012</math></b></li> <li><b>ii. <math>\zeta = 0,945</math></b></li> <li><b>iii. <math>\xi = 0,1322</math></b></li> <li><b>iv. <math>\omega = 0,107</math></b></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 60 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 60 / 1,5 = 34 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,874 \rightarrow f_{cd} = 0,874 \cdot 60 / 1,5 = 34,94 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 2,9 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,736, \zeta' = 0,406$	$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 2,9 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,736, \zeta' = 0,406$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,736 \cdot 34000 \cdot x \cdot 0,30 = 7507,2x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,736 \cdot 34940 \cdot x \cdot 0,30 = 7714,75x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 7507,2x = 546,8 \Leftrightarrow x = 7,28 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,406 \cdot 7,28 = 2,96 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,04 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 7714,75x = 546,8 \Leftrightarrow x = 7,09 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,406 \cdot 7,09 = 2,88 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,12 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5204 = 284,55 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5212 = 284,99 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i. <math>\mu_{sd} = 0,0922</math></b></li> <li><b>ii. <math>\zeta = 0,946</math></b></li> <li><b>iii. <math>\xi = 0,132</math></b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>i. <math>\mu_{sd} = 0,0899</math></b></li> <li><b>ii. <math>\zeta = 0,948</math></b></li> <li><b>iii. <math>\xi = 0,129</math></b></li> </ul>

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

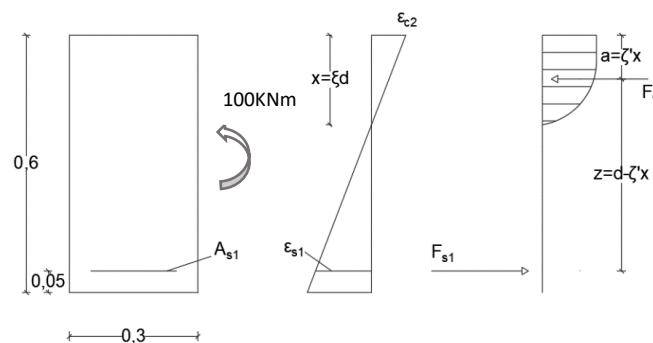
<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 70 / 1,5 = 39,67 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,83 \rightarrow f_{cd} = 0,83 \cdot 70 / 1,5 = 38,73 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 70 \text{ MPa} \rightarrow \varepsilon_{cu,2} = 2,7 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,704 ,$ $\zeta' = 0,402$	$f_{ck} = 70 \text{ MPa} \rightarrow \varepsilon_{cu,2} = 2,7 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,704 ,$ $\zeta' = 0,402$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,704 \cdot 39670 \cdot x \cdot 0,30 = 8378,3x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,704 \cdot 38730 \cdot x \cdot 0,30 = 8179,78x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 8378,3x = 546,8 \Leftrightarrow x = 6,53 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,402 \cdot 6,53 = 2,62 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,38 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 8179,78x = 546,8 \Leftrightarrow x = 6,905 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,402 \cdot 6,905 = 2,78 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,22 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5238 = 286,41 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5222 = 285,56 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,0796</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,952</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,119</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,0812</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,951</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,121</math></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 80 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 80 / 1,5 = 45,33 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,794 \rightarrow f_{cd} = 0,794 \cdot 80 / 1,5 = 42,33 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 80 \text{ MPa} \rightarrow \varepsilon_{cu,2} = 2,6 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,679 ,$ $\zeta' = 0,4002$	$f_{ck} = 80 \text{ MPa} \rightarrow \varepsilon_{cu,2} = 2,6 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,679 ,$ $\zeta' = 0,4002$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,7002 \cdot 45330 \cdot x \cdot 0,30 =$ $9233,72x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,679 \cdot 42330 \cdot x \cdot 0,30 =$ $8622,62x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 9233,72x = 546,8 \Leftrightarrow x = 5,92 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,4002 \cdot 5,92 = 2,37 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,63 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 8622,62x = 546,8 \Leftrightarrow x = 6,34 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,4002 \cdot 6,34 = 2,54 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,46 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5263 = 287,78 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5246 = 286,85 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,07</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,957</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,108</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,0747</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,954</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,115</math></li> </ul>

<b>f<sub>ck</sub> = 90 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc} = 0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 90 / 1,5 = 51 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,763 \rightarrow f_{cd} = 0,763 \cdot 90 / 1,5 = 45,79 \text{ MPa}$
$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$	$F_{s1} = f_{yd} \cdot A_{s1} = 43,5 \cdot 12,57 = 546,8 \text{ KN}$
$f_{ck} = 90 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 2,6 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,667, \zeta' = 0,4$	$f_{ck} = 90 \text{ MPa} \rightarrow \epsilon_{cu,2} = 2,6 \text{ ‰} \rightarrow \alpha = 0,667, \zeta' = 0,4$
$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,667 \cdot 51000 \cdot x \cdot 0,30 = 10205,1x$	$F_c = \alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b = 0,667 \cdot 45790 \cdot x \cdot 0,30 = 10963,48x$
$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 10205,1x = 546,8 \Leftrightarrow x = 5,36 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,4 \cdot 5,36 = 2,14 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 52,86 \text{ cm}$	$F_{s1} = F_c \Leftrightarrow 10963,48x = 546,8 \Leftrightarrow x = 4,99 \text{ cm}$ $\rightarrow a = 0,4 \cdot 4,99 = 1,996 \text{ cm},$ $z = 55 - a = 53,004 \text{ cm}$
$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,5286 = 289,04 \text{ KNm}$	$M_{sd} = F_{s1} \cdot z = 546,8 \cdot 0,53004 = 289,83 \text{ KNm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,0625</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,961</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,0975</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. <math>\mu_{sd} = 0,0697</math></li> <li>ii. <math>\zeta = 0,956</math></li> <li>iii. <math>\xi = 0,1093</math></li> </ul>

2.5.2 Εφαρμογή 2<sup>η</sup> : Υπολογισμός απαιτούμενου οπλισμού και ανηγμένων μεγεθών για δεδομένη διατομή με δεδομένη ροπή

Η διατομή του σχήματος υποβάλλεται σε ροπή M=100 KNm. Οι υπολογισμοί που ακολουθούν αφορούν διαφορετικές ποιότητες σκυροδέματος (από 12 MPa έως 90 MPa) και στοχεύουν στην διευκρίνιση των επιπτώσεων που έχει η αλλαγή του συντελεστή απομείωσης της θλιπτικής αντοχής (α<sub>cc</sub>) στο διαμήκη οπλισμό.



ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

<b>f<sub>ck</sub> = 12 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 12 / 1,5 = 6,8 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 6800 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 12,11 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,4996)$ $A_s = 4,6 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 12 / 1,5 = 8 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 8000 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 10,13 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5079)$ $A_s = 4,53 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 16 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 16 / 1,5 = 9,067 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 9067 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 8,84 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,513)$ $A_s = 4,48 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 16 / 1,5 = 10,667 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 10667 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 7,43 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,519)$ $A_s = 4,429 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 20 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 20 / 1,5 = 11,333 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 11333 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 6,97 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,521)$ $A_s = 4,412 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 20 / 1,5 = 13,333 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 13333 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 5,87 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5256)$ $A_s = 4,374 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 25 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 25 / 1,5 = 14,167 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 14167 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 5,51 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5271)$ $A_s = 4,361 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 25 / 1,5 = 16,667 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 16667 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 4,65 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5307)$ $A_s = 4,332 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 17000 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 4,56 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,531)$ $A_s = 4,33 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 20000 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 3,85 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,534)$ $A_s = 4,305 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 35 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 35 / 1,5 = 19,833 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 19833 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 3,89 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5338)$ $A_s = 4,306 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 35 / 1,5 = 23,333 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 23333 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 3,29 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5363)$ $A_s = 4,286 \text{ cm}^2$



ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

<b>f<sub>ck</sub> = 40 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 40 / 1,5 = 22,667 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 22667 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 3,39 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5359)$ $A_s = 4,29 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 1 \times 40 / 1,5 = 26,667 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 26667 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,87 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5381)$ $A_s = 4,272 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 45 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 45 / 1,5 = 25,5 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 25500 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 3 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5375)$ $A_s = 4,277 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 0,961 \times 45 / 1,5 = 28,83 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 28830 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,65 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5389)$ $A_s = 4,265 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 50 / 1,5 = 28,333 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 28333 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,64 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,539)$ $A_s = 4,27 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 0,928 \times 50 / 1,5 = 30,933 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,81 \times 30933 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,416 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,42 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5399)$ $A_s = 4,26 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 60 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 60 / 1,5 = 34 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,736 \times 34000 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,406 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,47 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5399)$ $A_s = 4,257 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 0,874 \times 50 / 1,5 = 34,94 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,736 \times 34940 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,406 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,4 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5403)$ $A_s = 4,255 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 70 / 1,5 = 39,67 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,704 \times 39667 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,402 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,21 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5411)$ $A_s = 4,25 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 0,83 \times 70 / 1,5 = 38,73 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,704 \times 38730 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,402 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,26 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5409)$ $A_s = 4,25 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 80 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 80 / 1,5 = 45,333 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,679 \times 45333 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,4002 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,542)$ $A_s = 4,24 \text{ cm}^2$	$f_{cd} = 0,794 \times 80 / 1,5 = 42,346 \text{ MPa}$  $M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,679 \times 42346 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,4002 \cdot x) = 100$ $\Leftrightarrow x = 2,14 \text{ cm}$  $M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5414)$ $A_s = 4,246 \text{ cm}^2$

## ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΜΕΙΩΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

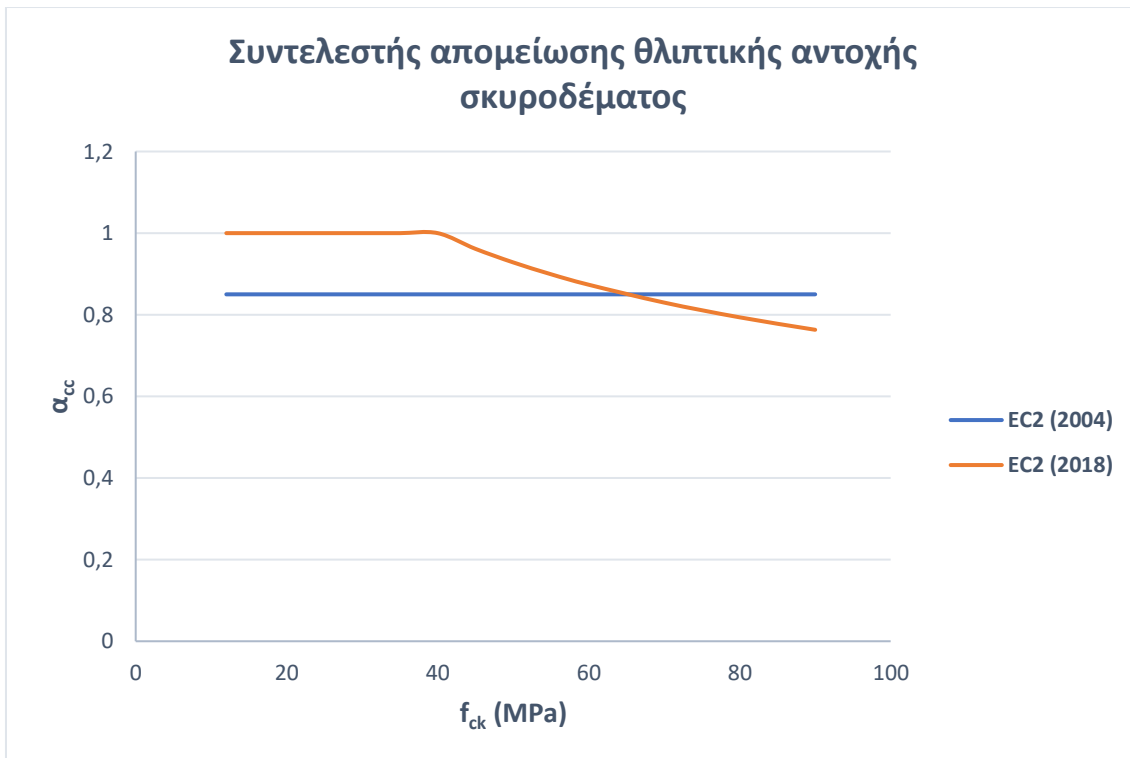
<b>f<sub>ck</sub> = 90 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 90 / 1,5 = 51 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 0,763 \times 90 / 1,5 = 45,78 \text{ MPa}$
$M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,667 \times 51000 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,4 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 1,81 \text{ cm}$	$M = 100 \Leftrightarrow F_c \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $\alpha \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b \cdot z = 100 \Leftrightarrow$ $0,667 \times 45780 \times x \times 0,30 \times (0,55 - 0,4 \cdot x) = 100 \Leftrightarrow$ $x = 2,01 \text{ cm}$
$M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,5428)$ $A_s = 4,24 \text{ cm}^2$	$M = A_s \cdot f_{yd} \cdot z \Leftrightarrow A_s = 100 / (435000 \times 0,54196)$ $A_s = 4,24 \text{ cm}^2$

### 2.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Από τους υπολογισμούς που έγιναν προέκυψαν οι ακόλουθοι μειωτικοί συντελεστές για κάθε χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος, οι οποίοι παρατίθενται στον πίνακα:

<b>f<sub>ck</sub> (MPa)</b>	<b>α<sub>cc(2004)</sub> και η<sub>cc(2018)</sub></b>	
	<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
12	0,85	1,000
16	0,85	1,000
20	0,85	1,000
25	0,85	1,000
30	0,85	1,000
35	0,85	1,000
40	0,85	1,000
45	0,85	0,961
50	0,85	0,928
55	0,85	0,899
60	0,85	0,874
70	0,85	0,830
80	0,85	0,794
90	0,85	0,763

Πίνακας 2.1 Συντελεστής απομείωσης θλιπτικής αντοχής



Διάγραμμα 2.1 Σύγκριση συντελεστών μειωτικών συντελεστών θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος μεταξύ του EC2 (2004) και του EC2 (2018)

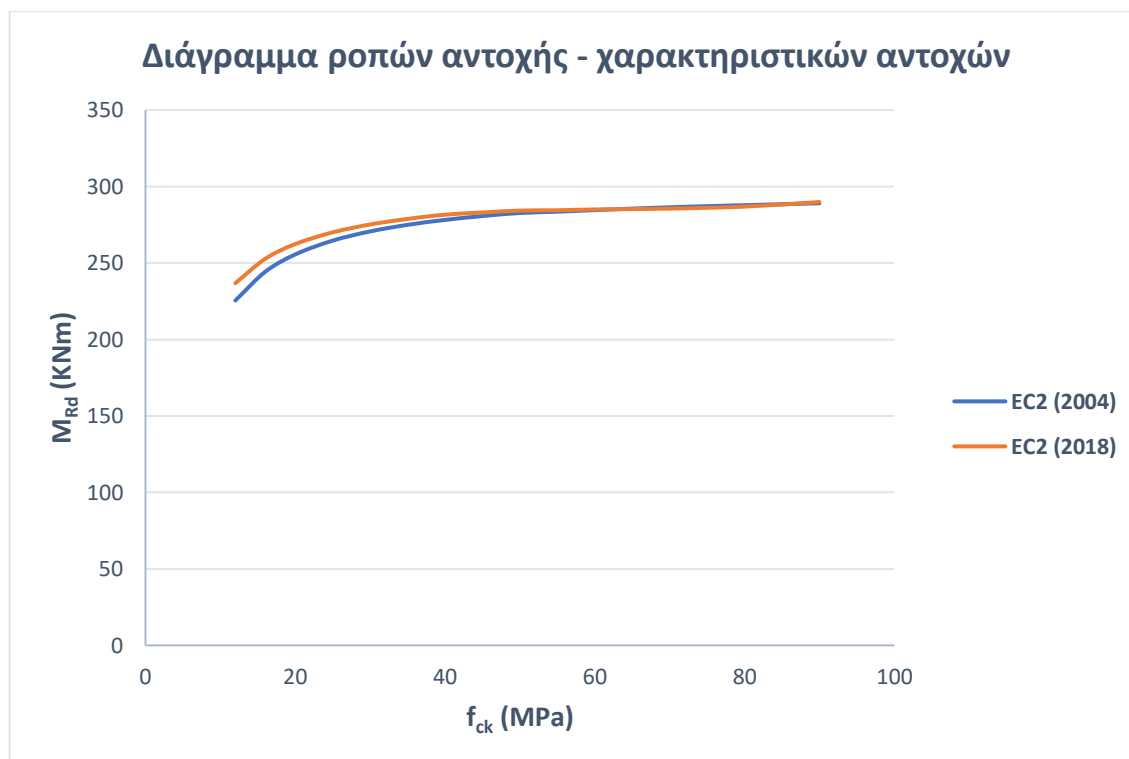
### 2.6.1 Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> Εφαρμογής

Ορθογωνική διατομή με $b=0,30\text{ m}$ , $h=0,60\text{ m}$ , $A_{s1}=12,57\text{ cm}^2$ (B500C)							
EC2 (2004)							
$f_{ck}$ (MPa)	$\alpha_{cc}$	$f_{cd}$ (MPa)	$\mu_{sd}$	$\zeta$	$\xi$	$\omega$	$M_{Rd}$ (KNm)
12	0,85	6,80	0,365	0,750	0,6008	0,487	225,450
16	0,85	9,07	0,297	0,812	0,451	0,366	244,260
20	0,85	11,33	0,249	0,849	0,361	0,293	255,570
25	0,85	14,17	0,206	0,880	0,289	0,234	264,600
30	0,85	17,00	0,175	0,900	0,2406	0,195	270,630
35	0,85	19,83	0,153	0,914	0,206	0,167	274,930
40	0,85	22,67	0,135	0,925	0,1805	0,146	278,160
45	0,85	25,50	0,121	0,933	0,1605	0,130	280,670
50	0,85	28,33	0,110	0,940	0,144	0,117	282,670
60	0,85	34,00	0,100	0,942	0,1393	-	284,550
70	0,85	39,67	0,092	0,946	0,132	-	286,410
80	0,85	45,33	0,080	0,952	0,119	-	287,780
90	0,85	51,00	0,070	0,957	0,108	-	289,040

Πίνακας 2.2 Αποτελέσματα με βάση τον EC2 (2004) – Εφαρμογή 1<sup>η</sup>

Ορθογωνική διατομή με $b=0,30\text{ m}$ , $h=0,60\text{ m}$ , $A_{s1}=12,57\text{ cm}^2$ (B500C)							
EC2 (2018)							
$f_{ck}$ (MPa)	$a_{cc}$	$f_{cd}$ (MPa)	$\mu_{sd}$	$\zeta$	$\xi$	$\omega$	$M_{Rd}$ (KNm)
12	1,000	8,00	0,326	0,787	0,511	0,414	236,76
16	1,000	10,67	0,261	0,840	0,383	0,311	252,73
20	1,000	13,33	0,217	0,872	0,307	0,249	262,35
25	1,000	16,67	0,179	0,898	0,245	0,199	270,01
30	1,000	20,00	0,152	0,915	0,205	0,166	275,15
35	1,000	23,33	0,132	0,927	0,175	0,142	278,79
40	1,000	26,67	0,116	0,936	0,153	0,124	281,55
45	0,961	28,84	0,108	0,941	0,142	0,115	283,02
50	0,928	30,94	0,101	0,945	0,132	0,107	284,23
60	0,874	34,94	0,095	0,946	0,132	-	284,99
70	0,830	38,73	0,090	0,948	0,129	-	285,56
80	0,794	42,33	0,081	0,951	0,121	-	286,85
90	0,763	45,79	0,075	0,954	0,115	-	289,83

Πίνακας 2.3 Υπολογισμοί με βάση τον EC2 (2018) – Εφαρμογή 1<sup>η</sup>



Διάγραμμα 2. 1 Μεταβολή ροπής αντοχής ( $M_{Rd}$ ) σε σχέση με την αντοχή του σκυροδέματος ( $f_{ck}$ ) – Εφαρμογή 1<sup>η</sup>

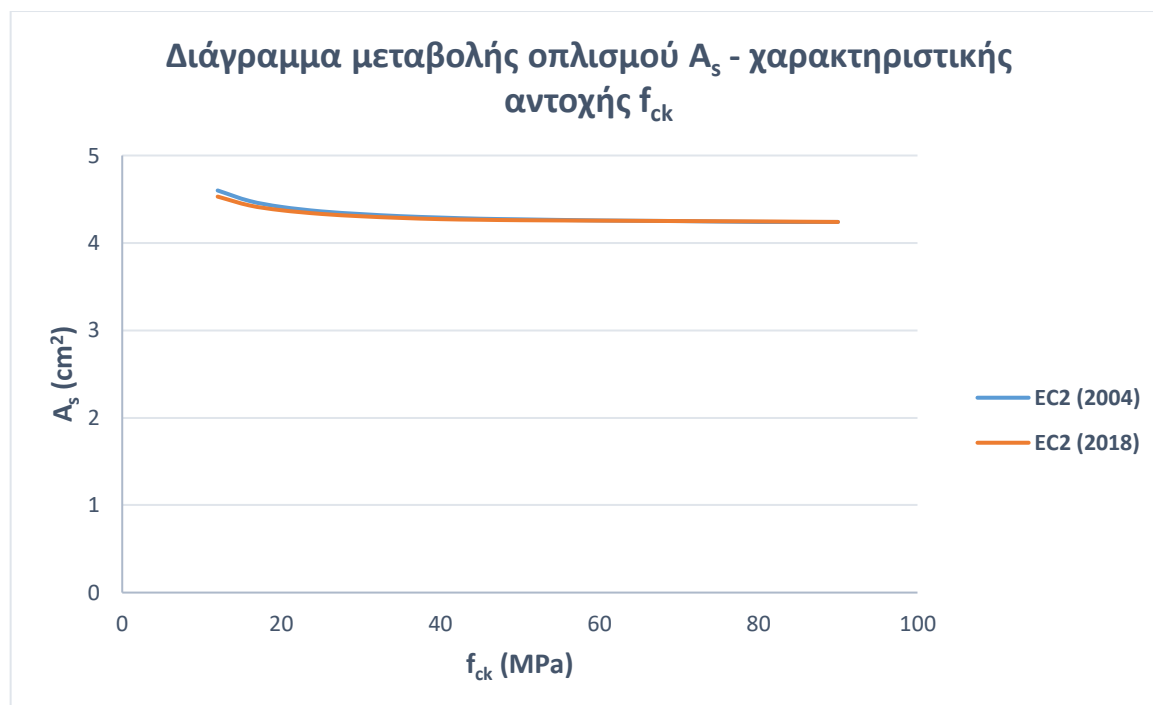
2.6.2 Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> Εφαρμογής

Ορθογωνική διατομή με $b=0,30\text{ m}$ , $h=0,60\text{ m}$ , $M=100\text{ KNm}$					
$f_{ck}$ (MPa)	EC2 (2004)				
	$\alpha_{cc}$	$f_{cd}$ (MPa)	$M$ (KNm)	$x$ (cm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )
12	0,85	6,80	100	12,11	4,60
16	0,85	9,07	100	8,84	4,48
20	0,85	11,33	100	6,97	4,41
25	0,85	14,17	100	5,51	4,36
30	0,85	17,00	100	4,56	4,33
35	0,85	19,83	100	3,89	4,31
40	0,85	22,67	100	3,39	4,29
45	0,85	25,50	100	3,00	4,28
50	0,85	28,33	100	2,64	4,27
60	0,85	34,00	100	2,47	4,26
70	0,85	39,67	100	2,21	4,25
80	0,85	45,33	100	2,00	4,24
90	0,85	51,00	100	1,81	4,24

Πίνακας 2.4 Υπολογισμοί με βάση τον EC2 (2004) – Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

Ορθογωνική διατομή με $b=0,30\text{ m}$ , $h=0,60\text{ m}$ , $M=100\text{ KNm}$					
$f_{ck}$ (MPa)	EC2 (2018)				
	$\eta_{cc}$	$f_{cd}$ (MPa)	$M$ (KNm)	$x$ (cm)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )
12	1,000	8,00	100	10,13	4,53
16	1,000	10,67	100	7,43	4,43
20	1,000	13,33	100	5,87	4,37
25	1,000	16,67	100	4,65	4,33
30	1,000	20,00	100	3,85	4,31
35	1,000	23,33	100	3,29	4,29
40	1,000	26,67	100	2,87	4,27
45	0,961	28,83	100	2,65	4,27
50	0,928	30,93	100	2,42	4,26
60	0,874	34,94	100	2,40	4,26
70	0,830	38,73	100	2,26	4,25
80	0,794	42,35	100	2,14	4,25
90	0,763	45,78	100	2,01	4,24

Πίνακας 2.5 Υπολογισμοί με βάση τον EC2 (2018) - Εφαρμογή 2<sup>η</sup>



Διάγραμμα 2. 2 Μεταβολή οπλισμού ( $A_s$ ) σε σχέση με την αντοχή του σκυροδέματος ( $f_{ck}$ ) – Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

## 2.7 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω, είναι σαφές ότι η αλλαγή του συντελεστή απομείωσης της θλιπτικής αντοχής επηρεάζει περισσότερο τα αποτελέσματα για μικρότερες χαρακτηριστικές αντοχές, ενώ στις μεγαλύτερες αντοχές οι τιμές που προκύπτουν έχουν πολύ μικρή απόκλιση.

Στην περίπτωση της διατομής με το δεδομένο οπλισμό προκύπτουν μεγαλύτερες ροπές αντοχής για ποιότητα σκυροδέματος έως τα 60 MPa περίπου.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση που η διατομή υποβάλλεται σε ροπή 100 kNm, ο οπλισμός που απαιτείται είναι ελάχιστα μικρότερος για ποιότητες έως περίπου 60 MPa και από εκεί και έπειτα είναι ίσος με αυτόν που προκύπτει από τον EC2 (2004).





### 3 ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η περίσφιξη του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της σχέσης δρώσας τάσης- παραμόρφωσης, καθώς επιτυγχάνονται υψηλότερη αντοχή και μεγαλύτερες κρίσιμες παραμορφώσεις. Τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού μπορεί να θεωρηθούν αμετάβλητα για τον σχεδιασμό.

#### 3.2 EC2 (2004) – [3.1.9]

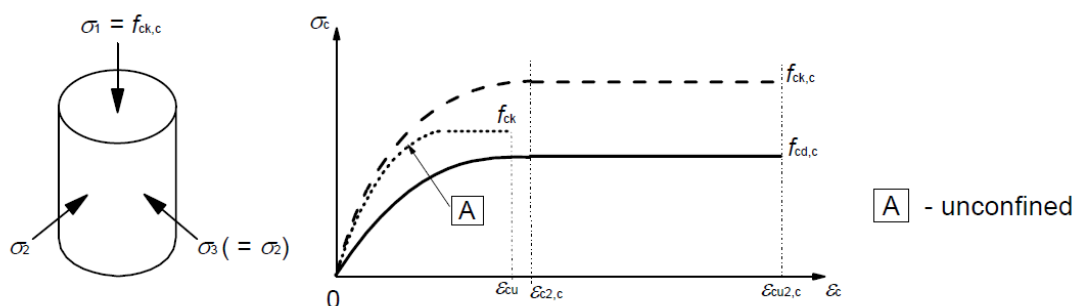
Ελλείψει άλλων στοιχείων, ο υπολογισμός της αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος μπορεί να γίνει με βάση τη σχέση τάσης – παραμόρφωσης του σχήματος (η θλίψη ορίζεται με θετικό πρόσημο), έχοντας αυξημένες χαρακτηριστικές τιμές αντοχής και παραμόρφωσης ως εξής:

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

$$f_{ck,c} = f_{ck} (1,125 + 2,5 \sigma_2 / f_{ck}), \text{ για } \sigma_2 \geq 0,05 f_{ck}$$

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

$$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \sigma_2 / f_{ck}$$



Διάγραμμα 2. 3 Σχέση τάσης – παραμόρφωσης περισφιγμένου σκυροδέματος [EC2 (2004) Διάγραμμα 3.6]

όπου  $\sigma_2 (= \sigma_3)$  είναι η ενεργός εγκάρσια θλιπτική τάση λόγω περίσφιξης στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ) και τα  $\epsilon_{c2}$  και  $\epsilon_{cu2}$  ορίζονται από τον πίνακα που ακολουθεί.

Strength classes for concrete														Analytical relation / Explanation	
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{0,67} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10))$ $> C50/60$
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% fractile
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ ( $f_{cm}$ in MPa)
$\varepsilon_{c1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\varepsilon_{c1}^{(f_{ck})} = 0,7 f_{cm}^{0,37} < 2,8$
$\varepsilon_{cu1}$ (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu1}^{(f_{ck})} = 2,8 + 27[(98 - f_{ck})/100]^4$
$\varepsilon_{c2}$ (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c2}^{(f_{ck})} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,83}$
$\varepsilon_{cu2}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu2}^{(f_{ck})} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
$n$	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
$\varepsilon_{c3}$ (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{c3}^{(f_{ck})} = 1,75 + 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
$\varepsilon_{cu3}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa $\varepsilon_{cu3}^{(f_{ck})} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης του σκυροδέματος [EC2 (2004) Πίνακας 3.1]

### 3.3 EC2 (2018) – [8.1.4]

Η αντοχή του σκυροδέματος μπορεί να βελτιωθεί μέσω της θετικής επίδρασης του σπλισμού περισφιγξης ή μέσω τριαξονικών θλιπτικών τάσεων.

Η αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος για  $d_{dg} \geq 32$  mm λόγω εγκάρσιας θλιπτικής τάσης  $\sigma_{c2d}$  μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\Delta f_{cd} = 4\sigma_{c2d}, \text{ για } \sigma_{c2d} \leq 0,6 f_{cd}$$

$$\Delta f_{cd} = 3,5 \sigma_{c2d}^{3/4} f_{cd}^{1/4}, \text{ για } \sigma_{c2d} > 0,6 f_{cd}$$

Στην περίπτωση ασβεστοκονιάματος ή σκυροδέματος με  $d_{dg} \leq 32$  mm, η αύξηση  $\Delta f_{cd}$  μειώνεται κατά  $d_{dg}/32$  mm. Ο συντελεστής  $d_{dg}$  λαμβάνει υπόψη τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών του. Η τιμή του υπολογίζεται ακολούθως:

- 32 mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm

## ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

- $16 + D_{\text{lower}} \leq 40$  mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{\text{lower}} < 16$  mm. Αυτή η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{\text{lower}} \geq 16$  mm ως ένας ξεκάθαρος υπολογισμός του  $d_{dg}$
- $16 + D_{\text{lower}} (60 / f_{ck})^2 \leq 40$  mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} > 60$  MPa

Η τάση περίσφιγξης  $\sigma_{c2d}$  είναι:

$$\sigma_{c2d} = \frac{2A_{sw}f_{yd}}{b_{cs} \cdot s}, \text{ για κυκλικά και ορθογωνικά υποστυλώματα με έναν οπλισμό περίσφιγξης}$$

$$\sigma_{c2d} = \frac{2A_{sw}f_{yd}}{\max(b_{csx}; b_{csy}) \cdot s}, \text{ για ορθογωνικά υποστυλώματα με έναν οπλισμό περίσφιγξης}$$

$$\sigma_{c2d} = \min\left(\frac{\sum A_{swx}}{b_{csy}}; \frac{\sum A_{swy}}{b_{csx}}\right) \cdot \frac{f_{yd}}{s}, \text{ για υποστυλώματα με περισσότερους οπλισμούς περίσφιγξης}$$

$$\sigma_{c2d} = \min\left(\frac{\sum A_{swx}}{b_{csy}}; \frac{\sum A_{swy}}{x_{cs}}\right) \cdot \frac{f_{yd}}{s}, \text{ για περιοχές υπό θλίψη}$$

όπου:

$A_{sw}$  είναι το εμβαδόν ενός σκέλους του οπλισμού διάτμησης

$b_{cs}$  είναι το πλάτος του πυρήνα εντός του οπλισμού περίσφιγξης

$s$  είναι η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων περίσφιγξης

Το εμβαδόν της περισφιγμένης περιοχής μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$A_{c,conf} = \frac{(b_{cs} - s/2)^2}{3}, \text{ για τετράγωνα υποστυλώματα με απλό οπλισμό περίσφιγξης}$$

$$A_{c,conf} = \frac{\pi}{4} (b_{cs} - s/2)^2, \text{ για υποστυλώματα με κυκλικό οπλισμό περίσφιγξης}$$

$$A_{c,conf} = \frac{\pi}{4} (b_{cs} - s/4)^2, \text{ για υποστυλώματα με κυκλικό σπειροειδή οπλισμό περίσφιγξης}$$

$A_{c,conf} = \left(b_{csx} \cdot b_{csy} - \frac{1}{6} \sum b_i^2\right) \left(1 - \frac{s}{2b_{csx}}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_{csy}}\right)$ , για τετραγωνικά και ορθογωνικά υποστυλώματα με περισσότερους οπλισμούς περίσφιγξης, για ορθογωνικά υποστυλώματα με απλό οπλισμό περίσφιγξης ή για ακριβέστερο υπολογισμό τετραγωνικού υποστυλώματος με απλό οπλισμό περίσφιγξης, όπου το  $b_i$  αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ των διαμήκων οπλισμών που συγκρατούνται από τους συνδετήρες περίσφιγξης, με

$$\sum b_i^2 = 4b_1^2 + 2b_2^2$$

$A_{c,conf} = \left(x_{cs} \cdot b_{csy} - \frac{1}{6} \sum b_i^2 - \frac{1}{3} x_{cs}^2\right) \left(1 - \frac{s}{2b_{csy}}\right) \left(1 - \frac{s}{4x_{cs}}\right)$ , για περιοχές υπό θλίψη, όπου το  $b_i$  αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ των διαμήκων οπλισμών που συγκρατούνται από τους συνδετήρες περίσφιγξης, με  $\sum b_i^2 = 2b_1^2$  και  $\left(1 - \frac{s}{4x_{cs}}\right) \geq 0$

Η επίδραση της περίσφιγξης στις οριακές παραμορφώσεις του σκυροδέματος περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς που ακολουθούν:

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} (1 + 5 \Delta f_{cd} / f_{cd})$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0,2 \sigma_{c2c} / f_{cd}$$

### 3.4 Αιτίες αλλαγής

Ο ισχύων κανονισμός όσον αφορά την περίσφιγξη, αιτιολογεί την αύξηση  $\Delta f_{ck}$  της αντοχής του σκυροδέματος λόγω της τάσης περίσφιγξης  $\sigma_2$  με μία γραμμική σχέση, όπου:

- το πρώτο σκέλος, με μία κλίση 5, ισχύει για τάσεις περίσφιγξης  $\sigma_2 \leq 0,05 f_{ck}$
- το δεύτερο σκέλος, με μία κλίση 2,5, ισχύει για μέτριες και υψηλότερες τάσεις περίσφιγξης.

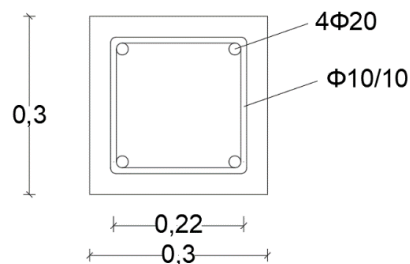
Αυτή η σχέση θεωρήθηκε ότι παρέχει συντηρητικές τιμές αντοχής για μέτριες τάσεις περίσφιγξης ( $0,1f_{ck} \leq \sigma_2 \leq f_{ck}$ ). Για αυτόν το λόγο, προτάθηκε η αντικατάσταση της ισχύουσας γραμμικής σχέσης με μία μη γραμμική σύμφωνα με το fib MC2010.

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει συσχέτιση μεταξύ της σύνθεσης του μίγματος στην αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος και του ασβεστοκονιάματος. Πειράματα έδειξαν ότι η αντοχή περίσφιγξης μειώνεται όταν η μέγιστη διάμετρος αδρανών του μίγματος μειώνεται. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, οι σχέσεις υπολογισμού έχουν διορθωθεί για ασβεστοκονίαμα και σκυρόδεμα με  $D_{max} < 16 \text{ mm}$  ( $d_{dg} < 32 \text{ mm}$ ).

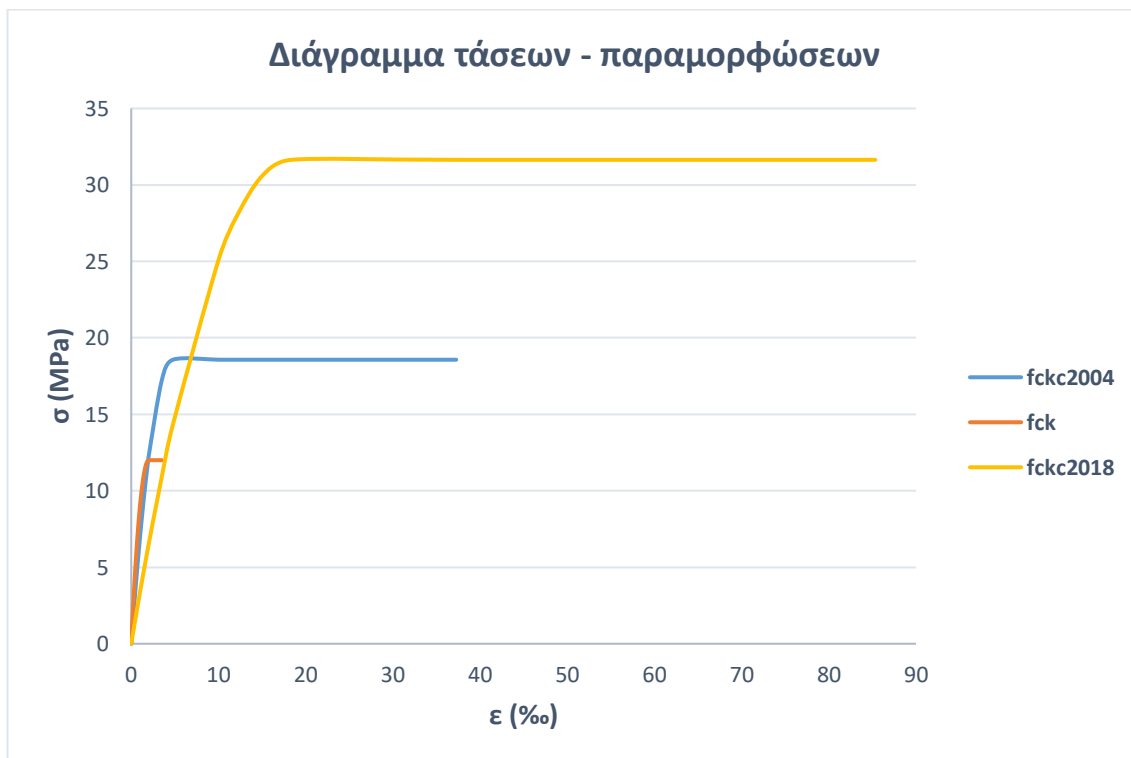
### 3.5 Διερεύνηση

#### 3.5.1 Εφαρμογή 1<sup>η</sup> : Υπολογισμός αντοχής περισφιγμένου σκυροδέματος για υποστύλωμα με δεδομένες διαστάσεις και δεδομένο διαμήκη οπλισμό

Το υποστύλωμα του σχήματος έχει διαστάσεις  $b=h=0,30 \text{ m}$ , διαμήκη οπλισμό  $4\Phi 20$  και εγκάρσιο διατμητικό οπλισμό  $\Phi 10/10$ . Παρακάτω υπολογίζεται η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος, για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές του.

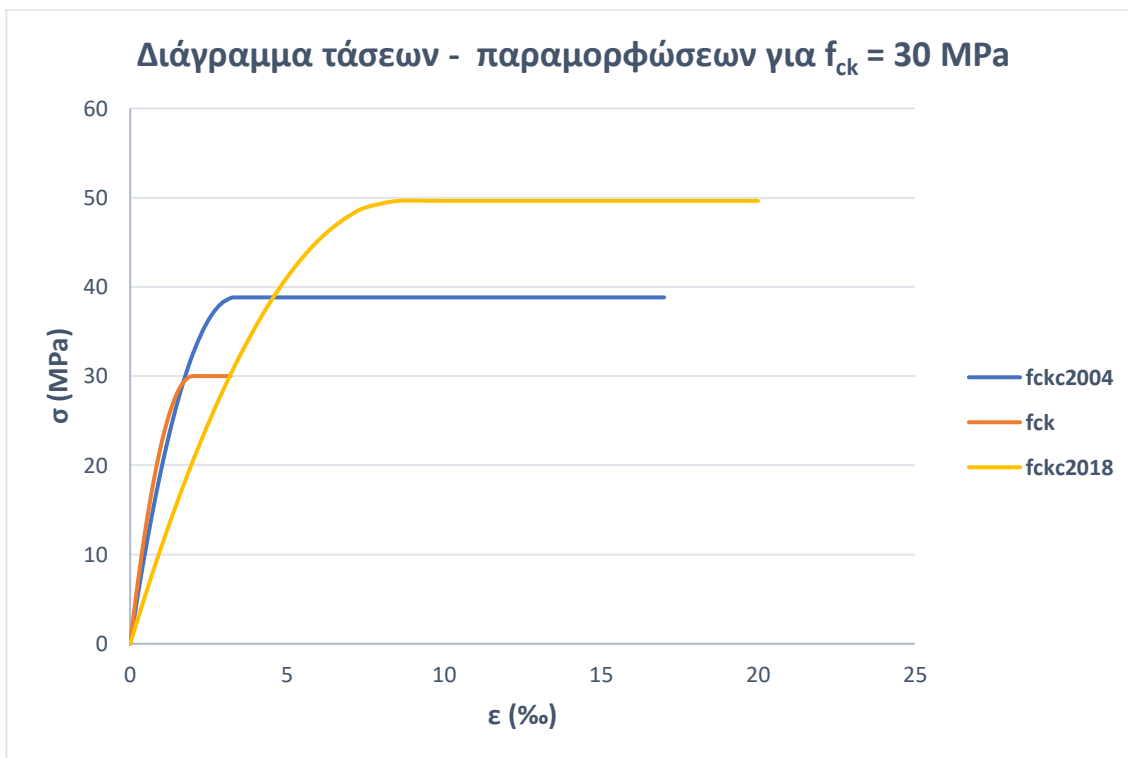


$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{cd} = 0,85 \times 12 / 1,5 = 6,8 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 1 \times 12 / 1,5 = 8 \text{ MPa}$
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 0,79) / (21^2 \cdot 10) = 0,596$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 0,79 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 3,273 \text{ MPa}$ $< 0,6 \cdot 8 = 4,8 \text{ MPa}$
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,596 \cdot 6,8 = 2,026 \text{ MPa}$ $> 0,05 \times 12 = 0,6 \text{ MPa}$	$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} = 4 \cdot 3,273 = 13,09 \text{ MPa}$
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 12 \cdot (1,125 + 2,5 \cdot 2,026 / 12) = 18,57 \text{ MPa}$	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 13,09 / 8) = 18,36 \text{ ‰}$
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (18,57 / 12)^2 = 4,79 \text{ ‰}$	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 3,273 / 8 = 85,33 \text{ ‰}$
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 2,026 / 12 = 37,27 \text{ ‰}$	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 1 =$ $= (13,09 + 8) \cdot 1,5 / 1 = 31,64 \text{ MPa}$
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 18,57 / 1,5 - 6,8 = 3,72 \text{ MPa}$	
<b><math>f_{cd,c} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 0,85 \cdot 18,57 / 1,5 = 10,52 \text{ MPa}</math></b>	<b><math>f_{cd,c} = f_{ck,c} / 1,5 = 31,64 / 1,5 = 21,09 \text{ MPa}</math></b>



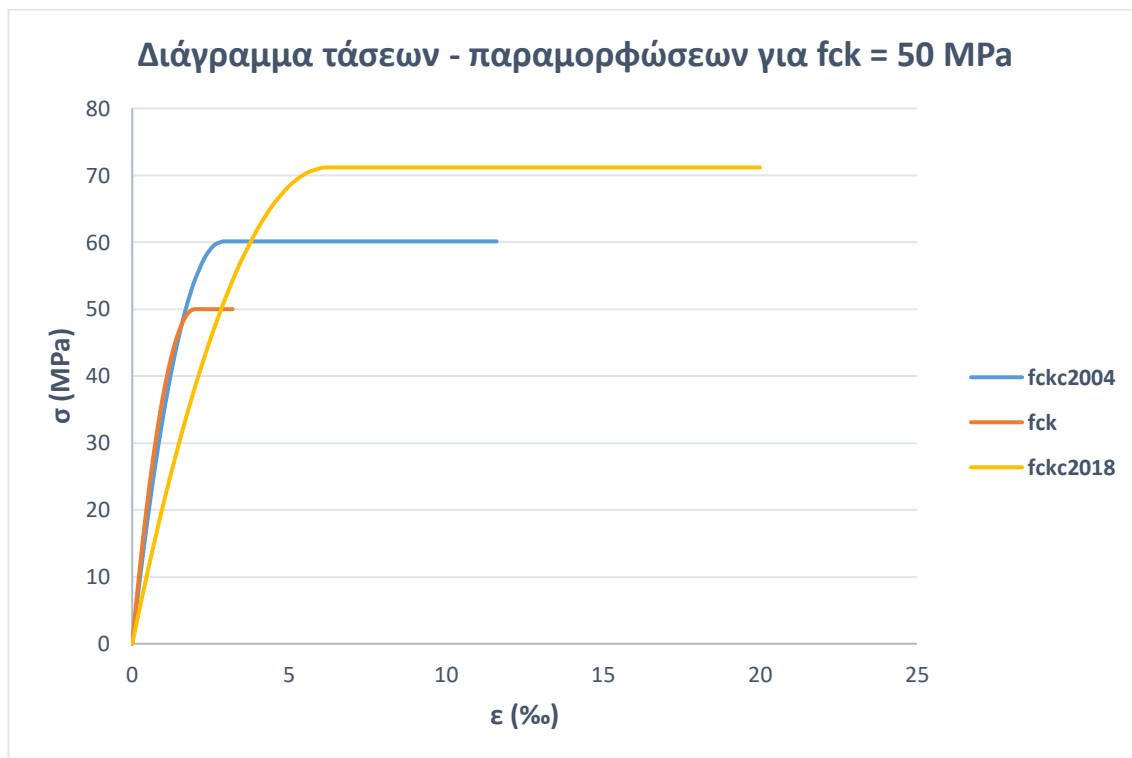
Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος  $f_{ck}=12 \text{ MPa}$  - Εφαρμογή 1<sup>η</sup>

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 1 \times 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) \cdot f_{yd} / f_{cd} =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 0,79) / (21^2 \cdot 10) \cdot 435 / 17 = 0,238$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 0,79 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 3,273 \text{ MPa}$ $< 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ MPa}$
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,238 \cdot 17 = 2,026 \text{ MPa}$ $> 0,05 \times 30 = 1,5 \text{ MPa}$	$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} = 4 \cdot 3,273 = 13,09 \text{ MPa}$
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 30 \cdot (1,125 + 2,5 \cdot 2,026 / 30) = 38,82 \text{ MPa}$	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 13,09 / 20) = 8,55 \text{ ‰}$
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (38,82 / 30)^2 = 3,35 \text{ ‰}$	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 3,273 / 20 = 36,23 \text{ ‰}$
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 2,026 / 30 = 17,01 \text{ ‰}$	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 1 =$ $= (13,09 + 20) \cdot 1,5 / 1 = 49,64 \text{ MPa}$
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 38,82 / 1,5 - 17 = 5 \text{ MPa}$	
<b>f<sub>cd,c</sub> = 0,85 · f<sub>ck,c</sub> / 1,5 = 0,85 · 38,82 / 1,5 = 22 MPa</b>	<b>f<sub>cd,c</sub> = f<sub>ck,c</sub> / 1,5 = 49,64 / 1,5 = 33,09 MPa</b>



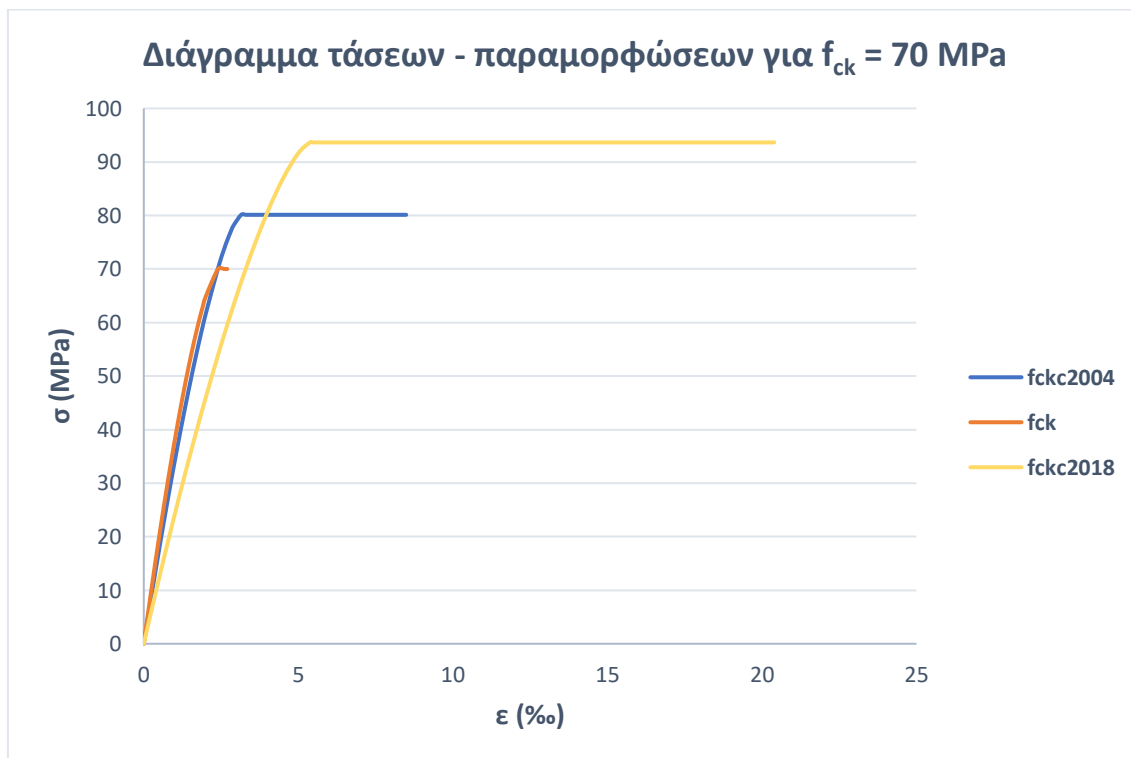
Διάγραμμα 3.2 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f<sub>ck</sub>=30 MPa - Εφαρμογή 1<sup>η</sup>

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{cd} = 0,85 \times 50 / 1,5 = 28,33 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 0,928 \times 50 / 1,5 = 30,944 \text{ MPa}$
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) \cdot f_{yd} / f_{cd} =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 0,79) / (21^2 \cdot 10) \cdot 435 / 28,33 = 0,143$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 0,79 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 3,273 \text{ MPa}$ $< 0,6 \cdot 30,944 = 18,57 \text{ MPa}$
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,143 \cdot 28,33 = 2,026 \text{ MPa}$ $< 0,05 \times 50 = 2,5 \text{ MPa}$	$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} = 4 \cdot 3,273 = 13,09 \text{ MPa}$
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1 + 5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 50 \cdot (1 + 5 \cdot 2,026 / 50) = 60,13 \text{ MPa}$	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 13,09 / 30,944) = 6,23 \text{ ‰}$
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (60,13 / 50)^2 = 2,89 \text{ ‰}$	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 3,273 / 30,944 = 24,65 \text{ ‰}$
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 2,026 / 50 = 11,604 \text{ ‰}$	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 0,928 =$ $= (13,09 + 30,944) \cdot 1,5 / 0,928 =$ $= 71,18 \text{ MPa}$
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 60,13 / 1,5 - 28,33 = 5,74 \text{ MPa}$	
<b><math>f_{cd,c} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 0,85 \cdot 60,13 / 1,5 = 34,07 \text{ MPa}</math></b>	<b><math>f_{cd,c} = 0,928 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 0,928 \cdot 71,18 / 1,5 = 44,03 \text{ MPa}</math></b>



Διάγραμμα 3.3 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος  $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$  - Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 70 / 1,5 = 39,67 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 0,83 \times 70 / 1,5 = 38,73 \text{ MPa}$
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) \cdot f_{yd} / f_{cd} =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 0,79) / (21^2 \cdot 10) \cdot 435 / 39,67 = 0,102$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 0,79 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 3,273 \text{ MPa}$ $< 0,6 \cdot 38,73 = 23,24 \text{ MPa}$
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,102 \cdot 39,67 = 2,026 \text{ MPa}$ $< 0,05 \times 70 = 3,5 \text{ MPa}$	$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} = 4 \cdot 3,273 = 13,09 \text{ MPa}$
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1 + 5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 70 \cdot (1 + 5 \cdot 2,026 / 70) = 80,13 \text{ MPa}$	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 13,09 / 38,73) = 5,38 \text{ ‰}$
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (80,13 / 70)^2 = 3,15 \text{ ‰}$	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 3,273 / 38,73 = 20,4 \text{ ‰}$
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 2,026 / 70 = 8,49 \text{ ‰}$	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 0,83 =$ $= (13,09 + 38,73) \cdot 1,5 / 0,83 = 93,65 \text{ MPa}$
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 80,13 / 1,5 - 39,67 = 5,74 \text{ MPa}$	
<b>f<sub>cd,c</sub> = 0,85 · f<sub>ck,c</sub> / 1,5 = 0,85 · 80,13 / 1,5 = 45,41 MPa</b>	<b>f<sub>cd,c</sub> = 0,83 · f<sub>ck,c</sub> / 1,5 = 0,83 · 93,65 / 1,5 = 51,82 MPa</b>

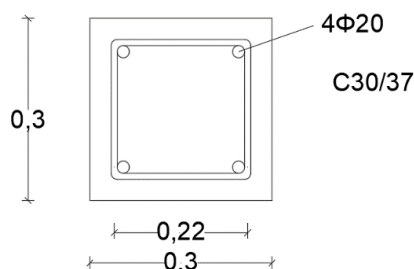


Διάγραμμα 3.4 Διάγραμμα τάσεων- παραμορφώσεων για χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f<sub>ck</sub> = 70 MPa - Εφαρμογή 1<sup>η</sup>

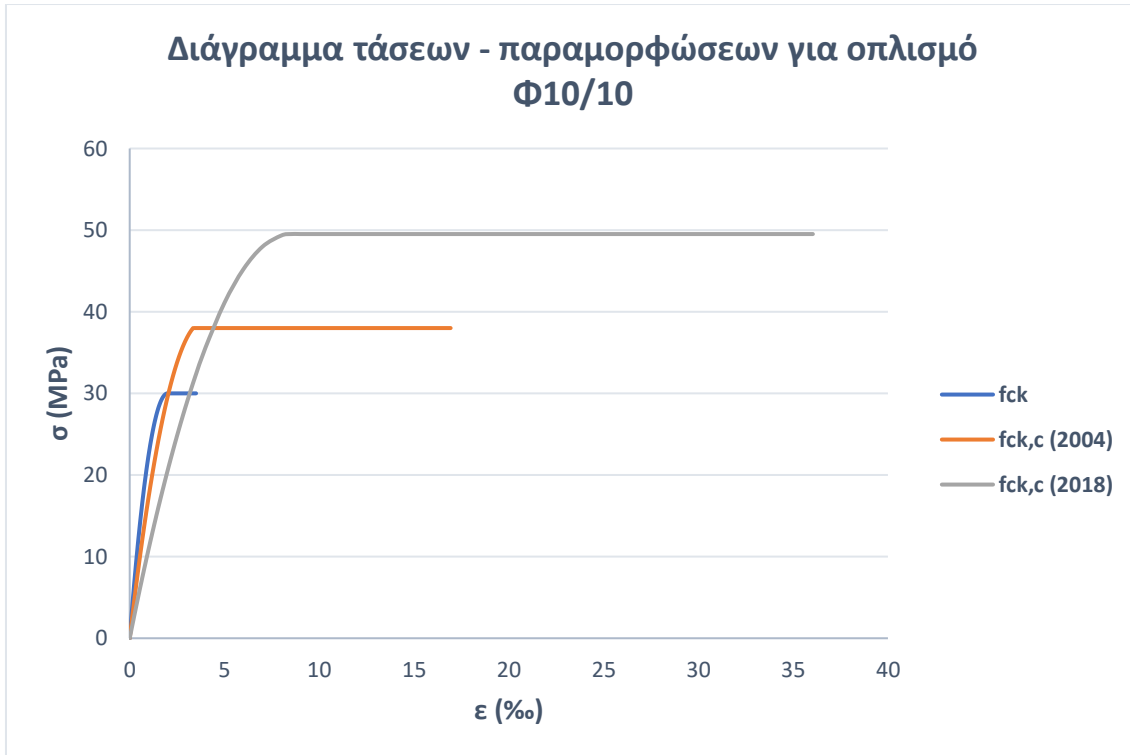


### 3.5.2 Εφαρμογή 2<sup>η</sup> : Υπολογισμός αντοχής περισφιγμένου σκυροδέματος για υποστύλωμα με δεδομένες διαστάσεις και δεδομένη ποιότητα σκυροδέματος

Το υποστύλωμα του σχήματος έχει διαστάσεις  $b=h=0,30$  m, διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος 30 MPa. Παρακάτω υπολογίζεται η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος, για διάφορες περιπτώσεις εγκάρσιου οπλισμού.

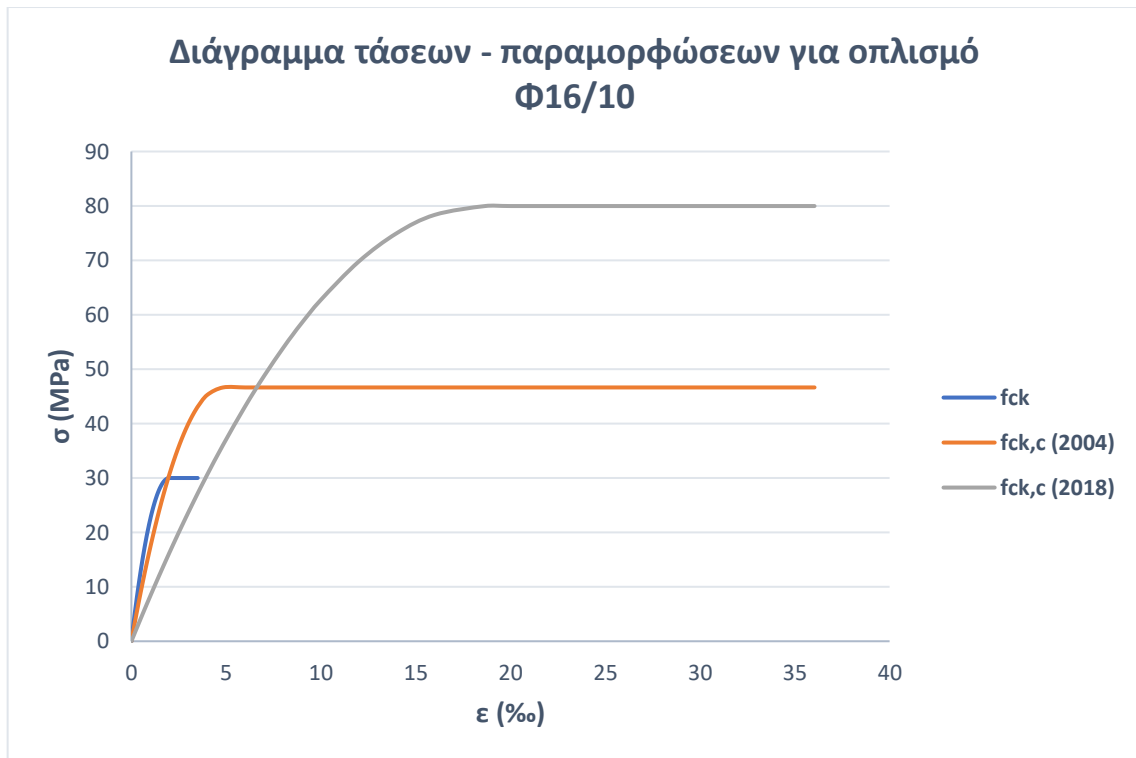


<b>Φ10 (<math>A_s=0,79</math> cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 30 / 1,5 = 17$ MPa	$f_{cd} = 1 \times 30 / 1,5 = 20$ MPa
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) \cdot f_{yd} / f_{cd} =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 0,79) / (21^2 \cdot 10) \cdot 435 / 17 = 0,237$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 0,79 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 3,124$ MPa $< 0,6 \cdot 20 = 12$ MPa
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,237 \cdot 17 = 2,014$ MPa $> 0,05 \times 30 = 1,5$ MPa	$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} = 4 \cdot 3,124 = 12,496$ MPa
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 30 \cdot (1,125 + 2,5 \cdot 2,014 / 30) = 38,79$ MPa	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 12,496 / 20) = 8,508$ ‰
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (38,79 / 30)^2 = 3,343$ ‰	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 3,124 / 20 = 36,04$ ‰
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 2,014 / 30 = 16,93$ ‰	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 1 =$ $= (12,496 + 20) \cdot 1,5 / 1 = 49,52$ MPa
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 38,79 / 1,5 - 17 = 8,786$ MPa	
<b><math>f_{cd,c} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 0,85 \cdot 38,79 / 1,5 = 21,98</math></b> <b>MPa</b>	<b><math>f_{cd,c} = 1 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 1 \cdot 49,52 / 1,5 = 33,02</math></b> <b>MPa</b>



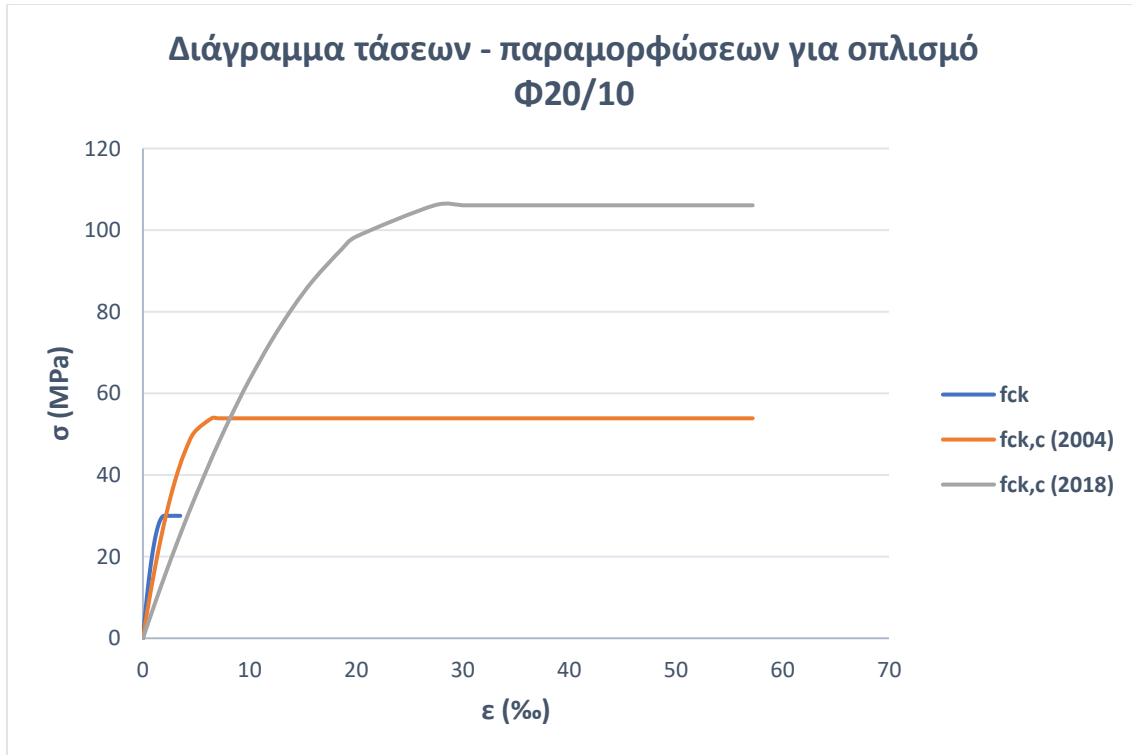
Διάγραμμα 3.5 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για οπλισμό Φ10/10 - Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

<b>Φ16 (A<sub>s</sub>=0,79 cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 1 \times 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) \cdot f_{yd} / f_{cd} =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 2,01) / (21^2 \cdot 10) \cdot 435 / 17 = 0,607$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 2,01 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 8,33 \text{ MPa}$ $< 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ MPa}$
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,607 \cdot 17 = 5,16 \text{ MPa}$ $> 0,05 \times 30 = 1,5 \text{ MPa}$	$\Delta f_{cd} = 4 \cdot \sigma_{c2d} = 4 \cdot 8,33 = 33,32 \text{ MPa}$
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 30 \cdot (1,125 + 2,5 \cdot 5,16 / 30) = 46,64 \text{ MPa}$	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 33,32 / 20) = 18,66 \text{ ‰}$
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (46,64 / 30)^2 = 3,343 \text{ ‰}$	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 8,33 / 20 = 86,8 \text{ ‰}$
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 5,16 / 30 = 16,93 \text{ ‰}$	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 1 =$ $= (33,32 + 20) \cdot 1,5 / 1 = 79,98 \text{ MPa}$
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 46,64 / 1,5 - 17 = 16,64 \text{ MPa}$	
<b><math>f_{cd,c} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 0,85 \cdot 46,64 / 1,5 = 26,43 \text{ MPa}</math></b>	<b><math>f_{cd,c} = 1 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 1 \cdot 79,98 / 1,5 = 53,32 \text{ MPa}</math></b>



Διάγραμμα 3.6 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για οπλισμό Φ16/10 - Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

<b>Φ20 (<math>A_s=0,79 \text{ cm}^2</math>)</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{cd} = 0,85 \times 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 1 \times 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$
$\omega_{wd} = (4 \cdot b_i \cdot A_{sw}) / (b_o^2 \cdot s) \cdot f_{yd} / f_{cd} =$ $= (4 \cdot 22 \cdot 3,14) / (21^2 \cdot 10) \cdot 435 / 17 = 0,948$	$\sigma_{c2d} = (2 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd}) / (b_{cs} \cdot s) =$ $= (2 \cdot 3,14 \cdot 435) / (21 \cdot 10) = 13,015 \text{ MPa}$ $> 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ MPa}$
$\sigma_2 = 0,5 \cdot \omega_{wd} \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,948 \cdot 17 = 8,057 \text{ MPa}$ $> 0,05 \times 30 = 1,5 \text{ MPa}$	$\Delta f_{cd} = 3,5 \cdot \sigma_{c2d}^{3/4} \cdot f_{cd}^{1/4} = 3,5 \cdot 13,015^{3/4} \cdot 20^{1/4} =$ $= 50,72 \text{ MPa}$
$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) =$ $= 30 \cdot (1,125 + 2,5 \cdot 8,057 / 30) = 53,89 \text{ MPa}$	$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (1 + 5 \cdot \Delta f_{cd} / f_{cd}) =$ $= 0,002 \cdot (1 + 5 \cdot 50,72 / 20) = 27,36 \text{ ‰}$
$\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 =$ $= 0,002 \cdot (53,89 / 30)^2 = 6,454 \text{ ‰}$	$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_{c2d} / f_{cd} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 13,015 / 20 = 133,65 \text{ ‰}$
$\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} =$ $= 0,0035 + 0,2 \cdot 8,057 / 30 = 57,21 \text{ ‰}$	$f_{ck,c} = (\Delta f_{cd} + f_{cd}) \cdot 1,5 / 1 =$ $= (50,72 + 20) \cdot 1,5 / 1 = 106,08 \text{ MPa}$
$\Delta f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 - f_{cd} =$ $= 0,85 \cdot 53,89 / 1,5 - 17 = 23,89 \text{ MPa}$	
<b><math>f_{cd,c} = 0,85 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 0,85 \cdot 53,89 / 1,5 = 30,54 \text{ MPa}</math></b>	<b><math>f_{cd,c} = 1 \cdot f_{ck,c} / 1,5 = 1 \cdot 106,08 / 1,5 = 70,72 \text{ MPa}</math></b>



Διάγραμμα 3.7 Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων για οπλισμό Φ20/10 - Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

### 3.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

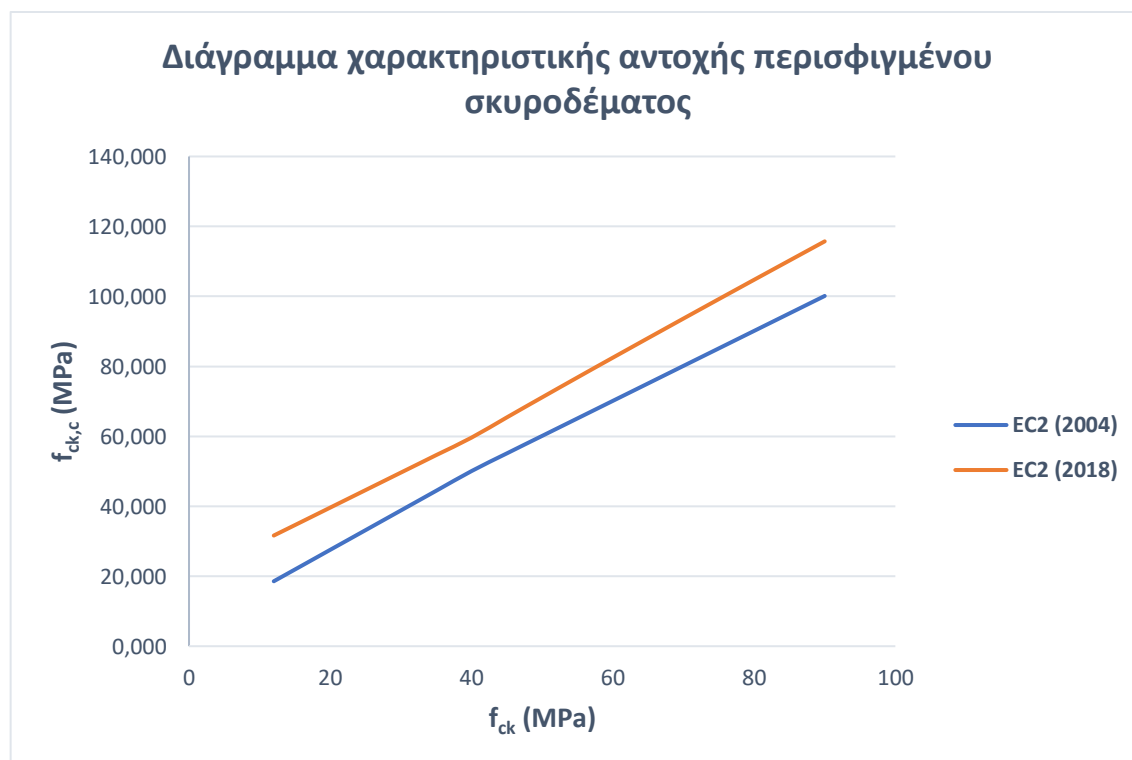
#### 3.6.1 Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> Εφαρμογής

Ορθογωνικό υποστύλωμα με $b=h=0,30$ m, διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και εγκάρσιο οπλισμό Φ10/10						
EC2 (2004)						
$f_{ck}$ (MPa)	$\epsilon_{c2}$ (‰)	$\epsilon_{cu2}$ (‰)	$\alpha \cdot \omega_{wd}$	$f_{ck,c}$ (MPa)	$\epsilon_{c2,c}$ (‰)	$\epsilon_{cu2,c}$ (‰)
12	2,0	3,5	0,1153	18,565	4,7870	37,2676
16	2,0	3,5	0,0865	23,065	4,1563	28,8257
20	2,0	3,5	0,0692	27,565	3,7992	23,7605
25	2,0	3,5	0,0553	33,190	3,5251	19,7084
30	2,0	3,5	0,0461	38,815	3,3480	17,0070
35	2,0	3,5	0,0395	44,440	3,2244	15,0775
40	2,0	3,5	0,0346	50,065	3,1331	13,6303
45	2,0	3,5	0,0307	55,130	3,0018	12,5047
50	2,0	3,5	0,0277	60,130	2,8925	11,6042
55	2,0	3,1	0,0252	65,130	3,0851	10,4675
60	2,3	2,9	0,0231	70,130	3,1422	9,6535
70	2,4	2,7	0,0198	80,130	3,1449	8,4887
80	2,5	2,6	0,0173	90,130	3,1732	7,6651
90	2,6	2,6	0,0154	100,130	3,2182	7,1023

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος για οπλισμό Φ10/10 – Εφαρμογή 1<sup>η</sup> - [EC2 (2004)]

Ορθογωνικό υποσύλωμα με $b=h=0,30$ m, διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και εγκάρσιο οπλισμό Φ10/10						
EC2 (2018)						
$f_{ck}$ (MPa)	$\epsilon_{c2}$ (‰)	$\epsilon_{cu2}$ (‰)	$\Delta f_{cd}$ (MPa)	$\epsilon_{c2,c}$ (‰)	$\epsilon_{cu2,c}$ (‰)	$f_{ck,c}$ (MPa)
12	2,0	3,5	13,091	18,3643	85,3214	31,637
16	2,0	3,5	13,091	14,2732	64,8661	35,637
20	2,0	3,5	13,091	11,8186	52,5929	39,637
25	2,0	3,5	13,091	9,8549	42,7743	44,637
30	2,0	3,5	13,091	8,5457	36,2286	49,637
35	2,0	3,5	13,091	7,6106	31,5531	54,637
40	2,0	3,5	13,091	6,9093	28,0464	59,637
45	2,0	3,5	13,091	6,5385	26,1927	65,423
50	2,0	3,5	13,091	6,2307	24,6535	71,153
55	2,2	3,1	13,091	6,5673	22,9512	76,836
60	2,3	2,9	13,091	6,6085	21,6324	82,479
70	2,4	2,7	13,091	6,4567	19,6030	93,664
80	2,5	2,6	13,091	6,3658	18,0633	104,741
90	2,6	2,6	13,091	6,3168	16,8955	115,732

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος για οπλισμό Φ10/10 – Εφαρμογή 1<sup>η</sup> - [EC2 (2018)]



Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος - Εφαρμογή 1<sup>η</sup>

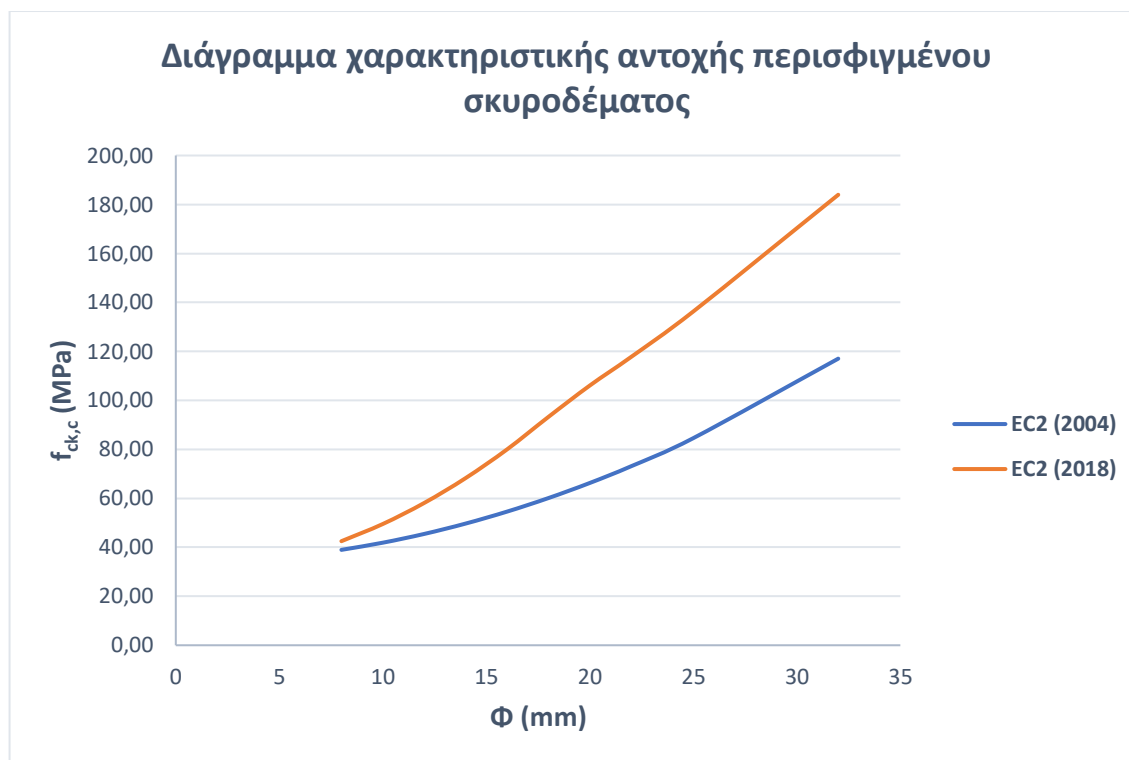
3.6.2 Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> Εφαρμογής

<b>Ορθογωνικό υποστύλωμα με b=h=0,30 m, διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και ποιότητα σκυροδέματος C30/37</b>				
<b>EC2 (2004)</b>				
<b>Φ (mm)</b>	<b><math>\alpha \cdot \omega_{wd}</math></b>	<b><math>\epsilon_{c2,c}</math> (‰)</b>	<b><math>\epsilon_{cu2,c}</math> (‰)</b>	<b><math>f_{ck,c}</math> (MPa)</b>
8	0,047	3,372	17,383	38,96
10	0,074	3,898	25,192	41,88
12	0,107	4,593	34,736	45,46
14	0,145	5,488	46,016	49,69
16	0,190	6,619	59,031	54,57
18	0,240	8,028	73,782	60,11
20	0,296	9,765	90,268	66,29
22	0,359	11,881	108,489	73,12
25	0,463	15,901	139,075	84,59
32	0,758	30,444	225,626	117,05

Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος για  $f_{ck} = 30$  MPa - Εφαρμογή 2η - [EC2 (2004)]

<b>Ορθογωνικό υποστύλωμα με b=h=0,30 m, διαμήκη οπλισμό 4Φ20 και ποιότητα σκυροδέματος C30/37</b>			
<b>EC2 (2018)</b>			
<b>Φ (mm)</b>	<b><math>\epsilon_{c2,c}</math> (‰)</b>	<b><math>\epsilon_{cu2,c}</math> (‰)</b>	<b><math>f_{ck,c}</math> (MPa)</b>
8	6,1649	24,3243	42,49
10	8,5076	36,0379	49,52
12	11,3709	50,3546	58,11
14	14,7549	67,2743	68,26
16	18,6594	86,7971	79,98
18	23,0846	108,9229	93,25
20	27,3590	133,6517	106,08
22	31,2565	160,9836	117,77
25	37,4403	206,8620	136,32
32	53,3231	336,6883	183,97

Πίνακας 3.6 Χαρακτηριστική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος για  $f_{ck} = 30$  MPa - Εφαρμογή 2<sup>η</sup> - [EC2 (2018)]



Πίνακας 3.7 Χαρακτηριστική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος - Εφαρμογή 2<sup>η</sup>

### 3.7 Συμπεράσματα

Και στις δύο περιπτώσεις που αναλύθηκαν παραπάνω παρατηρείται αύξηση της αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος, με βάση την πρόταση του EC2 (2018). Ως απόρροια αυτού, οι τιμές των διαγραμμάτων τάσεων παραμορφώσεων σε κάθε περίπτωση προκύπτουν μεγαλύτερες.

Συνεπώς, για τις ίδιες συνθήκες περίσφιγξης, η αντοχή του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη για τον EC2 (2018), το ίδιο και οι παραμορφώσεις διαρροής και θραύσης και ακολούθως και η πλαστιμότητά του.





## 4 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΟΠΛΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Τα δομικά μέλη από ωπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να είναι ικανά να παραλάβουν τυχόν διατμητικές δυνάμεις, που οφείλονται στο ίδιο βάρος τους ή/και σε εξωτερικώς επιβαλλόμενες δράσεις. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις (π.χ. πλάκες) όπου δεν απαιτείται επιπλέον οπλισμός διάτμησης, αλλά η ίδια η διατομή σκυροδέματος έχει επαρκή διατμητική αντοχή ( $V_{Rd,c}$ ), ώστε να αντισταθεί στη διατμητική δύναμη αστοχίας.

### 4.2 EC2 (2004) – [6.2.2]

Η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση για μέλη χωρίς οπλισμό διάτμησης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

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

όπου:

$V_{Rd,c}$  είναι η διατμητική αντοχή

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

$C_{Rd,c}$  είναι μία σταθερά ίση με  $0,18/\gamma_c$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2, \text{ το } d \text{ σε mm}$$

$\rho_l$  είναι το ποσοστό του διαμήκους οπλισμού ( $\rho_l \leq 2\%$ )

$f_{ck}$  η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου

$k_1$  είναι σταθερά ίση με 0,15

$\sigma_{cp}$  είναι η αξονική τάση ίση με  $N_{Ed}/A_c < 0,2f_{cd}$

$N_{Ed}$  είναι η αξονική δύναμη ( $N_{Ed} < 0$  για θλίψη)

$b_w$  είναι το πλάτος της διατομής

$d$  είναι το στατικό ύψος του μέλους

### 4.3 EC2 (2018) – [8.2.2]

Η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση για μέλη χωρίς οπλισμό διάτμησης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} \left( 100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{a_v} \right)^{1/3} \geq \tau_{Rd,c,min}$$

όπου:

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d}$$

$A_{sl}$  είναι το εμβαδόν του εφελκυσμένου σπλισμού, ο οποίος συνεχίζει σε μήκος  $\geq (l_{bd} + d)$  μετά την εν λόγω διατομή

$d_{dg}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών του. Η τιμή του υπολογίζεται ακολούθως:

- 32 mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm
- $16 + D_{lower} \leq 40$  mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} < 16$  mm. Αυτή η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm ως ένας ξεκάθαρος υπολογισμός του  $d_{dg}$
- $16 + D_{lower} (60 / f_{ck})^2 \leq 40$  mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} > 60$  MPa

$$a_v = \sqrt{\frac{a_{cs}}{4}} d$$

$a_{cs} = |M_{Ed}/V_{Ed}| \geq d$ , για σπλισμένα μέλη χωρίς αξονική δύναμη ή

$a_{cs} = \left| \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \right| + \frac{N_{Ed}}{|V_{Ed}|} \frac{d}{3} \geq d$ , για σπλισμένα μέλη με αξονική δύναμη

#### 4.4 Αιτίες αλλαγής

Κάποιοι από τους λόγους για τους οποίους προτάθηκε η εν λόγω αλλαγή παρουσιάζονται παρακάτω:

- i. Οι ισχύουσες διατάξεις υποτιμούν της επίδραση του μεγέθους της διατομής, οδηγώντας έτσι σε μη ασφαλείς λύσεις σχεδιασμού σε περιπτώσεις μεγάλου στατικού ύψους  $d$ .
- ii. Η ισχύουσα προσέγγιση είναι αρκετά συντηρητική για μέλη που υποβάλλονται σε αξονικές εφελκυστικές δυνάμεις και μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε αρνητικές τιμές της διατμητικής αντοχής για συγκεκριμένες τιμές της εφελκυστικής δύναμης.
- iii. Το μέγεθος  $d_{dg}$  των αδρανών, του οποίου η επιρροή έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά, αγνοείται.
- iv. Η επίδραση της λυγηρότητας λόγω διάτμησης δε λαμβάνεται υπόψη. Αυτό μπορεί πιθανώς να οδηγήσει σε μη ασφαλή αποτελέσματα για λυγηρά δοκάρια και σε υπερδιαστασιολόγηση βραχέων μελών.

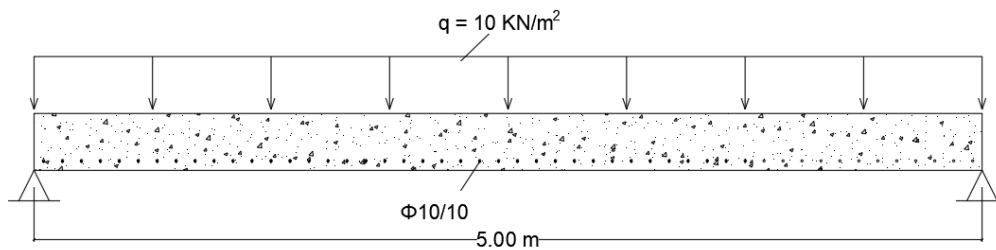
- v. Η ισχύουσα σχέση για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής προέκυψε εμπειρικά, με βάση αποτελέσματα δοκιμών. Γενικά, απλά στηριζόμενες δοκοί υποβαλλόμενες σε σημειακά φορτία (γεγονός που δεν αντιπροσωπεύει βέβαια πραγματικές συνθήκες φόρτισης) έχουν ληφθεί υπόψη. Αυτό είναι πιθανώς επικίνδυνο όταν οι σχέσεις χρησιμοποιούνται για τιμές εκτός του εύρους που εμπειρικά έχει οριστεί.

## 4.5 Διερεύνηση

### 4.5.1 Εφαρμογή: Υπολογισμός διατμητικής αντοχής άοπλου σκυροδέματος για πλάκα δεδομένων διαστάσεων με δεδομένο διαμήκη σπλισμό

Έστω πλάκα αμφιέριστη με κατανεμημένο φορτίο  $q=10 \text{ KN/m}$ . Η πλάκα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

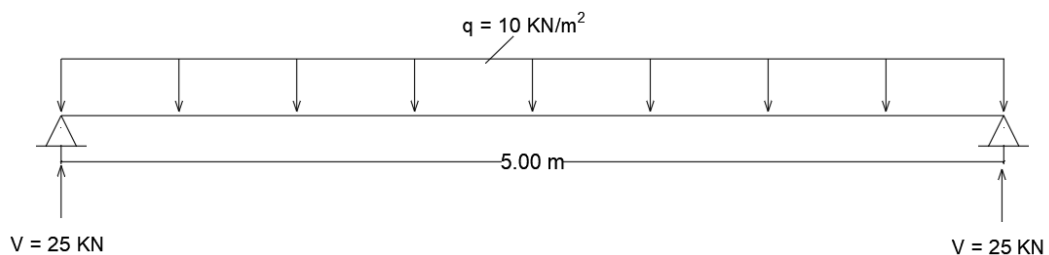
- Διαμήκης σπλισμός:  $A_s=0,79 \text{ cm}^2$  ( $\Phi 10/10 - B500C$ )
- Ύψος πλάκας:  $h=30 \text{ cm}$
- Στατικό ύψος πλάκας:  $d=30-5=25 \text{ cm}$



- Ελάχιστη διάμετρος αδρανών:  $D_{lower} = 10 \text{ mm}$

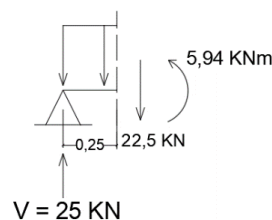
$$d_{dg} = \begin{cases} 16 + D_{lower}, f_{ck} \leq 60 \text{ MPa} \\ 16 + D_{lower} (60 / f_{ck})^2, f_{ck} > 60 \text{ MPa} \end{cases}$$

Σε απόσταση  $d$  από τη στήριξη, έπειτα από επίλυση της αμφιέριστης δοκού, προκύπτουν τα εξής εντατικά μεγέθη:



$$M_{Ed} = 5,94 \text{ KNm}$$

$$V_{Ed} = 22,5 \text{ KN}$$



$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] b_w d$ $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1,894 < 2$ $\rho_l = \frac{A_{s\Phi 10}}{d \cdot s_w} = \frac{0,79}{25 \cdot 10} = 0,316 \% < 2 \%$ $k_l = 0,15$ $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$ $N_{Ed} = 0$ $b_w = 1 \text{ m}$ $d = 0,25 \text{ m}$ $V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot \frac{0,316}{100} \cdot 12)^{1/3}] 1000 \cdot 250$ $= 88625 \text{ N} = 88,625 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{V_{Rd,c}}{b_w d} = \frac{88,625}{1 \cdot 0,25} = 354,5 \text{ KPa} = 0,354 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} (100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{a_v})^{1/3}$ $\rho_l = 0,316 \%$ $d_{dg} = 26 \text{ mm}$ $\alpha_v = \sqrt{\frac{\alpha_{cs}}{4}} d = \sqrt{\frac{26,4}{4}} 25 = 12,85 \text{ cm}$ $\alpha_{cs} =  M_{Ed} / V_{Ed}  =  5,94 / 22,5  = 0,264 \text{ m} \geq d = 0,25 \text{ m}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{1,5} = (100 \cdot 0,00316 \cdot 12 \cdot \frac{2,6}{12,85})^{1/3} = 0,366$ <p style="text-align: right;"><b>MPa</b></p>

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] b_w d$ $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1,894 < 2$ $\rho_l = \frac{A_{s\Phi 10}}{d \cdot s_w} = \frac{0,79}{25 \cdot 10} = 0,316 \% < 2 \%$ $k_l = 0,15$ $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$ $N_{Ed} = 0$ $b_w = 1 \text{ m}$ $d = 0,25 \text{ m}$ $V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot \frac{0,316}{100} \cdot 30)^{1/3}] 1000 \cdot 250$ $= 120260 \text{ N} = 120,26 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{V_{Rd,c}}{b_w d} = \frac{120,26}{1 \cdot 0,25} = 481 \text{ KPa} = 0,481 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} (100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{a_v})^{1/3}$ $\rho_l = 0,316 \%$ $d_{dg} = 26 \text{ mm}$ $\alpha_v = \sqrt{\frac{\alpha_{cs}}{4}} d = \sqrt{\frac{26,4}{4}} 25 = 12,85 \text{ cm}$ $\alpha_{cs} =  M_{Ed} / V_{Ed}  =  5,94 / 22,5  = 0,264 \text{ m} \geq d = 0,25 \text{ m}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{1,5} = (100 \cdot 0,00316 \cdot 30 \cdot \frac{2,6}{12,85})^{1/3} = 0,497$ <p style="text-align: right;"><b>MPa</b></p>

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΟΠΛΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

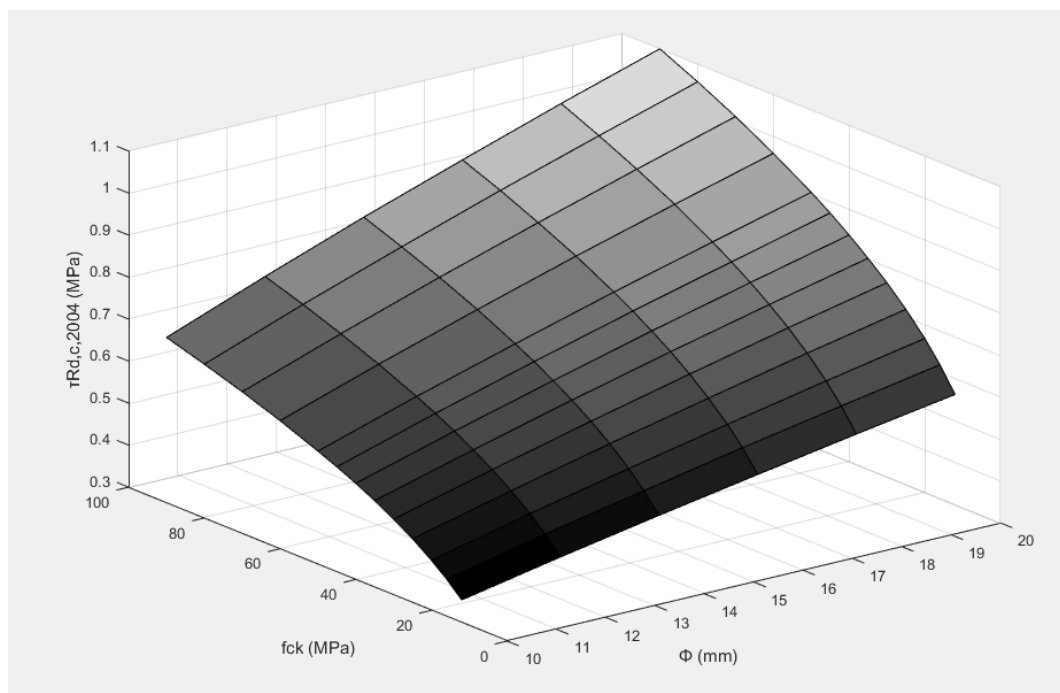
<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] b_w d$ $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1,894 < 2$ $\rho_l = \frac{A_{s\Phi 10}}{d \cdot s_w} = \frac{0,79}{25 \cdot 10} = 0,316 \% < 2 \%$ $k_l = 0,15$ $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$ $N_{Ed} = 0$ $b_w = 1 \text{ m}$ $d = 0,25 \text{ m}$ $V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot \frac{0,316}{100} \cdot 50)^{1/3}] 1000 \cdot 250$ $= 142580 \text{ N} = 142,58 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{V_{Rd,c}}{b_w d} = \frac{142,58}{1 \cdot 0,25} = 570 \text{ KPa} = 0,570 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} = (100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{a_v})^{1/3}$ $\rho_l = 0,316 \%$ $d_{dg} = 26 \text{ mm}$ $\alpha_v = \sqrt{\frac{\alpha_{cs}}{4}} d = \sqrt{\frac{26,4}{4}} 25 = 12,85 \text{ cm}$ $\alpha_{cs} =  M_{Ed} / V_{Ed}  =  5,94 / 22,5  = 0,264 \text{ m} \geq d = 0,25 \text{ m}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{1,5} = (100 \cdot 0,00316 \cdot 50 \cdot \frac{2,6}{12,85})^{1/3} = 0,589 \text{ MPa}$

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_l \sigma_{cp}] b_w d$ $C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{250}} = 1,894 < 2$ $\rho_l = \frac{A_{s\Phi 10}}{d \cdot s_w} = \frac{0,79}{25 \cdot 10} = 0,316 \% < 2 \%$ $k_l = 0,15$ $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$ $N_{Ed} = 0$ $b_w = 1 \text{ m}$ $d = 0,25 \text{ m}$ $V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot \frac{0,316}{100} \cdot 70)^{1/3}] 1000 \cdot 250$ $= 159540 \text{ N} = 159,54 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{V_{Rd,c}}{b_w d} = \frac{159,54}{1 \cdot 0,25} = 638 \text{ KPa} = 0,638 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} = (100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{a_v})^{1/3}$ $\rho_l = 0,316 \%$ $d_{dg} = 23,35 \text{ mm}$ $\alpha_v = \sqrt{\frac{\alpha_{cs}}{4}} d = \sqrt{\frac{26,4}{4}} 25 = 12,85 \text{ cm}$ $\alpha_{cs} =  M_{Ed} / V_{Ed}  =  5,94 / 22,5  = 0,264 \text{ m} \geq d = 0,25 \text{ m}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{1,5} = (100 \cdot 0,00316 \cdot 70 \cdot \frac{2,335}{12,85})^{1/3} = 0,636 \text{ MPa}$

## 4.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Πλάκα με $h=0,30$ m και διαμήκη οπλισμό ανά 10 cm (B500C)						
$\tau_{Rd,c}$ (2004)						
$f_{ck}$ (MPa) \ $\Phi$ (mm)	10	12	14	16	18	20
12	0,354	0,400	0,443	0,484	0,524	0,562
16	0,389	0,440	0,487	0,533	0,576	0,618
20	0,419	0,474	0,525	0,574	0,621	0,666
25	0,452	0,510	0,566	0,618	0,669	0,717
30	0,480	0,542	0,601	0,657	0,711	0,762
35	0,506	0,571	0,633	0,692	0,748	0,802
40	0,529	0,597	0,661	0,723	0,782	0,839
45	0,550	0,621	0,688	0,752	0,813	0,873
50	0,569	0,643	0,712	0,779	0,842	0,904
60	0,605	0,683	0,757	0,828	0,895	0,960
70	0,637	0,719	0,797	0,871	0,942	1,011
80	0,666	0,752	0,833	0,911	0,985	1,057
90	0,693	0,782	0,867	0,947	1,025	1,099

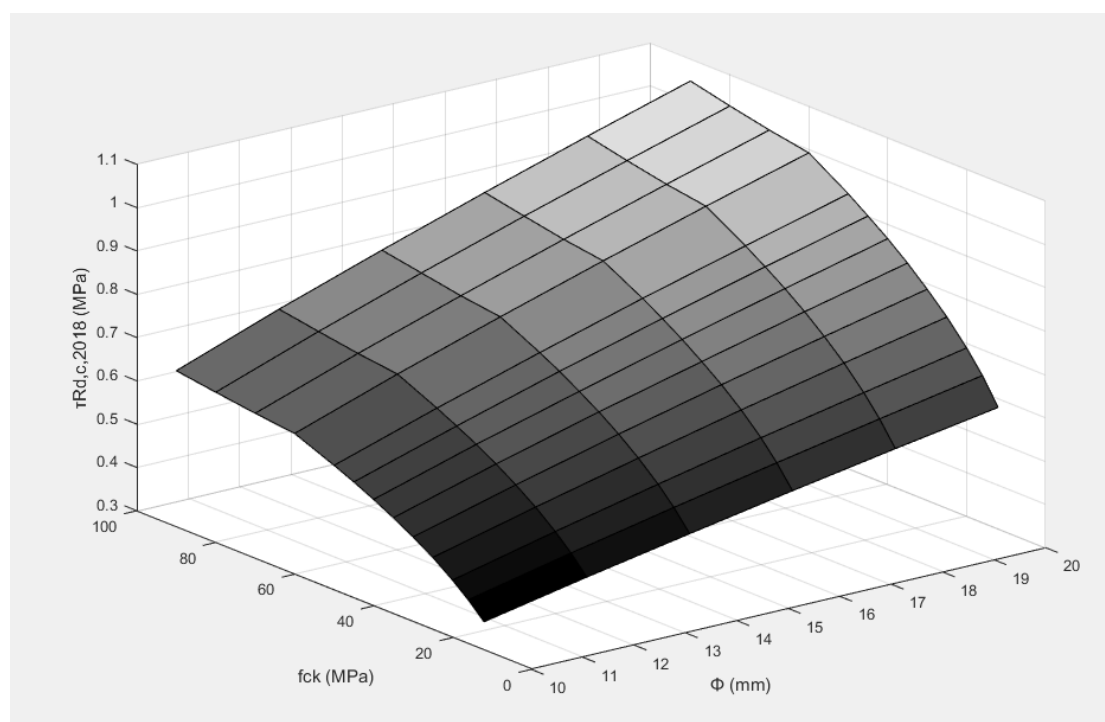
Πίνακας 4.1 Αντοχή σε διάτμηση άοπλου σκυροδέματος [EC2 (2004)]

Διάγραμμα 4.1 Αντοχή σε διάτμηση του άοπλου σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{ck}$  και της διαμέτρου του οπλισμού  $\Phi$  [EC2 (2004)]

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΟΠΛΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Πλάκα με $b=0,30$ m και διαμήκη οπλισμό ανά 10 cm (B500C)						
$\tau_{Rd,c}$ (2018)						
$f_{ck}$ (MPa) \ $\Phi$ (mm)	10	12	14	16	18	20
12	0,366	0,413	0,457	0,500	0,541	0,580
16	0,402	0,454	0,503	0,550	0,595	0,639
20	0,433	0,489	0,542	0,593	0,641	0,688
25	0,467	0,527	0,584	0,639	0,691	0,741
30	0,496	0,560	0,621	0,679	0,734	0,787
35	0,522	0,590	0,654	0,714	0,773	0,829
40	0,546	0,617	0,683	0,747	0,808	0,867
45	0,568	0,641	0,711	0,777	0,840	0,901
50	0,588	0,664	0,736	0,805	0,870	0,934
60	0,625	0,706	0,782	0,855	0,925	0,992
70	0,635	0,717	0,794	0,868	0,939	1,008
80	0,647	0,731	0,810	0,885	0,957	1,027
90	0,660	0,746	0,826	0,903	0,977	1,048

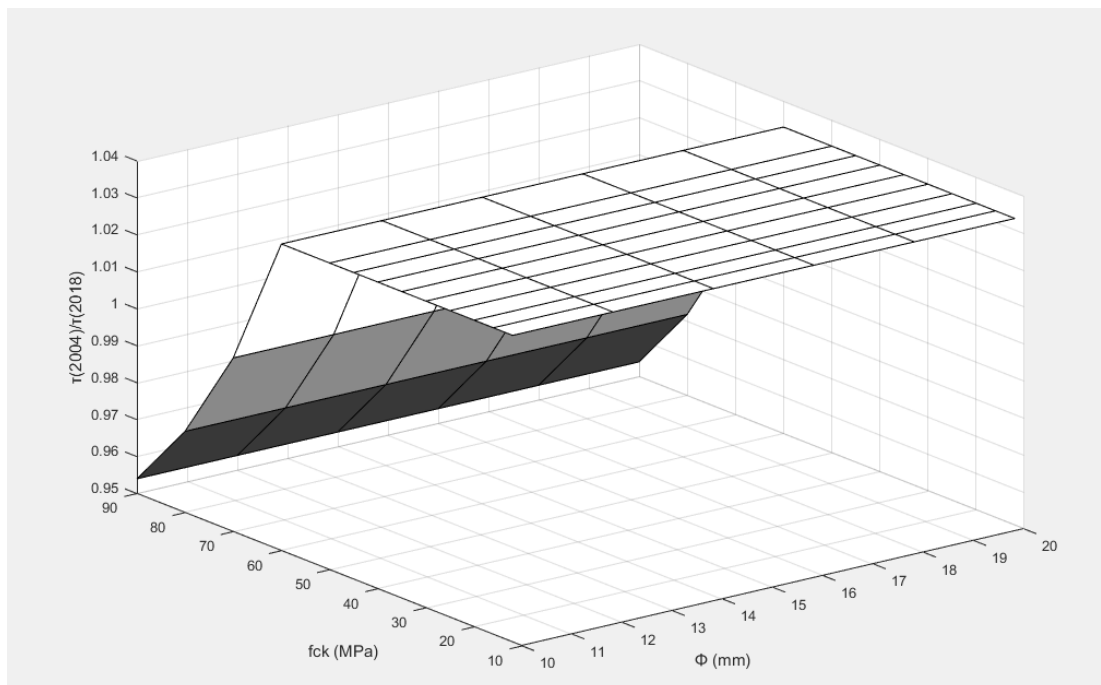
Πίνακας 4.2 Αντοχή σε διάτμηση άοπλου σκυροδέματος [EC2 (2018)]



Διάγραμμα 4.2 Αντοχή σε διάτμηση του άοπλου σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{ck}$  και της διαμέτρου του οπλισμού  $\Phi$  [EC2 (2004)]

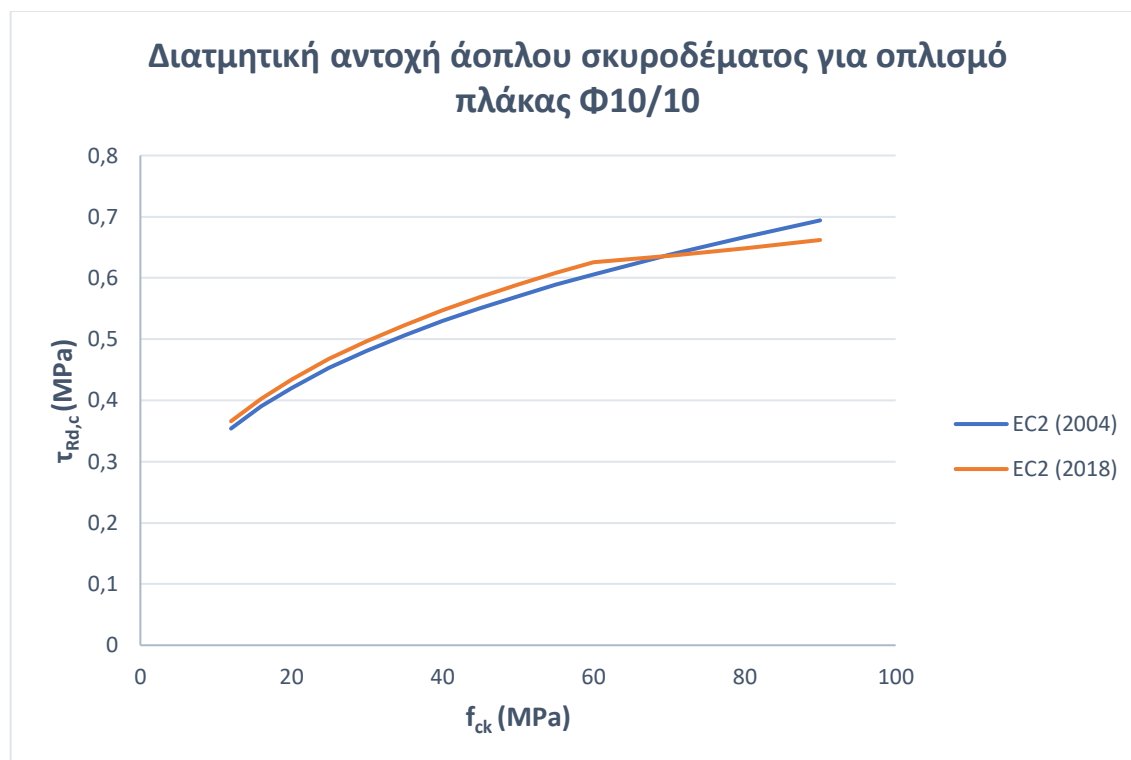
Πλάκα με $b=0,30$ m και διαμήκη οπλισμό ανά 10 cm (B500C)						
$\tau_{Rd,c} (2018)/\tau_{Rd,c} (2004)$						
$\Phi$ (mm) $f_{ck}$ (MPa)	10	12	14	16	18	20
12	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
16	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
20	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
25	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
30	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
35	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
40	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
45	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
50	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
60	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033
70	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
80	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972
90	0,954	0,954	0,954	0,954	0,954	0,954

Πίνακας 4.3 Σύγκριση των δύο προτάσεων για την αντοχή του άοπλου σκυροδέματος



Διάγραμμα 4.3 Σύγκριση των δύο προτάσεων συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{ck}$  και της διαμέτρου του οπλισμού  $\Phi$





Διάγραμμα 4.4 Διατμητική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του για οπλισμό πλάκας Φ10/10

#### 4.7 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι, με βάση τον EC2 (2018), σημειώνεται αύξηση της αντοχής του άοπλου σκυροδέματος κατά 3,3 %, για χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος έως 60 MPa. Αντιθέτως, για μεγαλύτερες αντοχές η αντοχή σε διάτμηση μειώνεται μέχρι και 4,6 % σε σχέση με τον ισχύοντα κανονισμό.

Συνεπώς, επιβεβαιώνεται η πρόταση ότι το μέγεθος των αδρανών συμβάλλει θετικά στην αντοχή του σκυροδέματος, γεγονός που δεν είχε ληφθεί υπόψη στην προσέγγιση του EC2 (2004).



## 5 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

### 5.1 Εισαγωγή

Η ελάχιστη αντοχή σε διάτμηση εξασφαλίζει ότι στο δομικό μέλος η διαρροή του εφελκυσμένου οπλισμού και η διατμητική αντοχή θα συμβούν για το ίδιο φορτίο.

### 5.2 EC2 (2004) – [6.2.2]

Με βάση τον ισχύοντα κανονισμό, η ελάχιστη διατμητική αντοχή μιας διατομής υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

όπου:

$V_{Rd,c,min}$  είναι η ελάχιστη διατμητική αντοχή

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0, \text{ το } d \text{ σε mm}$$

$f_{ck}$  η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλίνδρου

$k_1$  είναι σταθερά ίση με 0,15

$\sigma_{cp}$  είναι η αξονική τάση ίση με  $N_{Ed}/A_c < 0,2f_{cd}$

$N_{Ed}$  είναι η αξονική δύναμη ( $N_{Ed} < 0$  για θλίψη)

$b_w$  είναι το πλάτος της διατομής

$d$  είναι το στατικό ύψος του μέλους

### 5.3 EC2 (2018) – [8.2.1]

Η νέος κανονισμός προτείνει τα ακόλουθα:

$$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{f_{ck} \cdot d_{dg}}{f_{yd} \cdot d} \right)^{1/2}$$

όπου:

$d_{dg}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών του. Η τιμή του υπολογίζεται ακολούθως:

- 32 mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm

- $16 + D_{lower} \leq 40 \text{ mm}$  για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$  και  $D_{lower} < 16 \text{ mm}$ . Αυτή η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$  και  $D_{lower} \geq 16 \text{ mm}$  ως ένας ξεκάθαρος υπολογισμός του  $d_{dg}$
- $16 + D_{lower} (60 / f_{ck})^2 \leq 40 \text{ mm}$  για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} > 60 \text{ MPa}$

$d$  είναι το στατικό ύψος της διατομής

## 5.4 Αιτίες αλλαγής

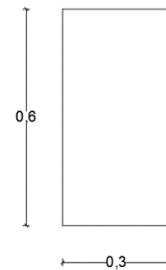
Η αλλαγή στον τρόπο υπολογισμού της ελάχιστης διατμητικής αντοχής σκυροδέματος πηγάζει από τις ίδιες αιτίες που αναφέρθηκαν και στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4: Διατμητική αντοχή άοπλου σκυροδέματος).

## 5.5 Διερεύνηση

### 5.5.1 Εφαρμογή : Υπολογισμός ελάχιστης διατμητικής αντοχής για δοκό δεδομένης διατομής

Έστω δοκός με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ύψος δοκού:  $h = 0,60 \text{ m}$
- Πλάτος κορμού δοκού:  $b_w = 0,30 \text{ m}$
- Στατικό ύψος δοκού:  $d = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}$
- Ελάχιστη διάμετρος αδρανών:  $*D_{lower} = 10 \text{ mm}$



$$d_{dg} = \begin{cases} 16 + D_{lower}, f_{ck} \leq 60 \text{ MPa} \\ 16 + D_{lower} (60 / f_{ck})^2, f_{ck} > 60 \text{ MPa} \end{cases}$$

Παρακάτω υπολογίζεται η ελάχιστη διατμητική αντοχή που οφείλει να έχει η δοκός, για διάφορες ποιότητες σκυροδέματος.

$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{f_{ck} \cdot d_{dg}}{f_{yd} \cdot d} \right)^{1/2}$
$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2$	$d_{dg} = 26 \text{ mm}$
$N_{Ed} = 0$	
$\sigma_{cp} = 0$	

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 12^{1/2}) \cdot 300 \cdot 550 = 40600 \text{ N} = 40,6 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{V_{Rd,c,min}}{b_w d} = \frac{40,6}{0,30 \cdot 0,55} = 0,246 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{12}{435} \frac{26}{550} \right)^{1/2} = 0,241 \text{ MPa}$
---	--

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2$ $N_{Ed} = 0$ $\sigma_{cp} = 0$ $V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 30^{1/2}) \cdot 300 \cdot 550 = 64200 \text{ N} = 64,2 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{V_{Rd,c,min}}{b_w d} = \frac{64,2}{0,30 \cdot 0,55} = 0,389 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{f_{yd}} \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/2}$ $d_{dg} = 26 \text{ mm}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{30}{435} \frac{26}{550} \right)^{1/2} = 0,381 \text{ MPa}$

<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2$ $N_{Ed} = 0$ $\sigma_{cp} = 0$ $V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 50^{1/2}) \cdot 300 \cdot 550 = 82880 \text{ N} = 82,88 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{V_{Rd,c,min}}{b_w d} = \frac{82,88}{0,30 \cdot 0,55} = 0,502 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{f_{yd}} \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/2}$ $d_{dg} = 26 \text{ mm}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{50}{435} \frac{26}{550} \right)^{1/2} = 0,491 \text{ MPa}$

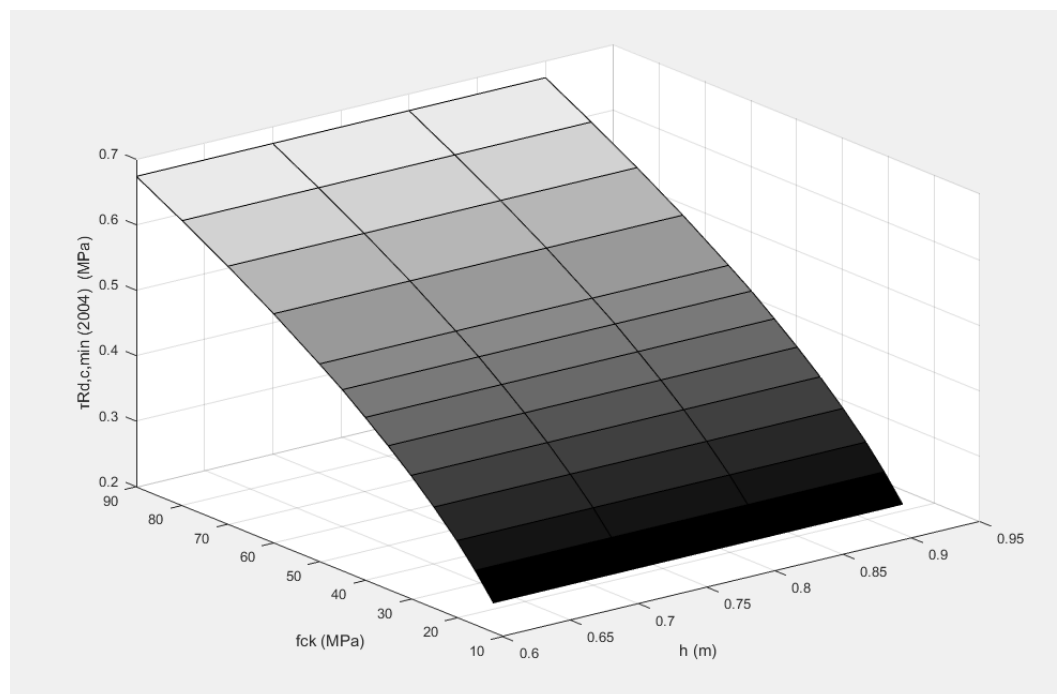
<b><math>f_{ck} = 70 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2$ $N_{Ed} = 0$ $\sigma_{cp} = 0$ $V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 70^{1/2}) \cdot 300 \cdot 550 = 98060 \text{ N} = 98,06 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{V_{Rd,c,min}}{b_w d} = \frac{98,06}{0,30 \cdot 0,55} = \mathbf{0,594 \text{ MPa}}$	$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{f_{yd}} \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/2}$ $d_{dg} = 23,35 \text{ mm}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{70}{435} \frac{23,35}{550} \right)^{1/2} = \mathbf{0,551 \text{ MPa}}$

<b><math>f_{ck} = 90 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,603 < 2$ $N_{Ed} = 0$ $\sigma_{cp} = 0$ $V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot 1,603^{3/2} \cdot 90^{1/2}) \cdot 300 \cdot 550 = 111190 \text{ N} = 111,19 \text{ KN}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{V_{Rd,c,min}}{b_w d} = \frac{111,19}{0,30 \cdot 0,55} = \mathbf{0,674 \text{ MPa}}$	$\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{f_{ck}}{f_{yd}} \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/2}$ $d_{dg} = 20,44 \text{ mm}$ $\tau_{Rd,c,min} = \frac{10}{\gamma_c} \cdot \left( \frac{90}{435} \frac{20,44}{550} \right)^{1/2} = \mathbf{0,585 \text{ MPa}}$

## 5.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

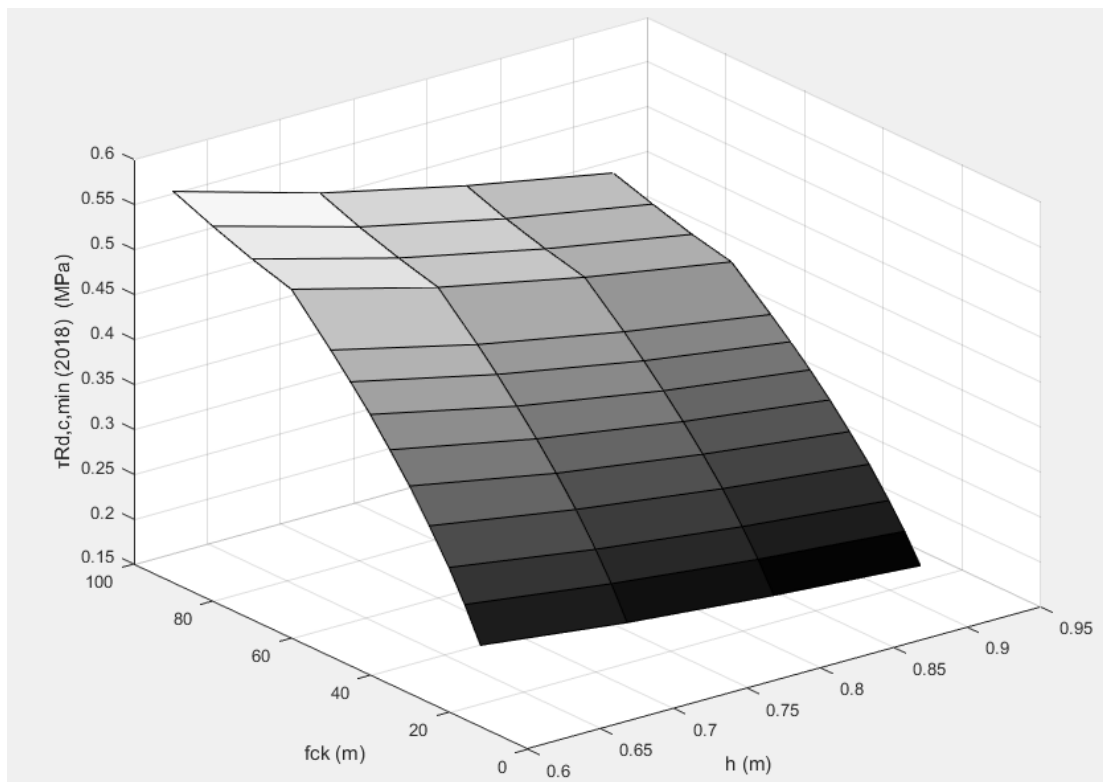
Δοκός με $b_w=0,30$ m				
$\tau_{Rd,c,min}$ (2004)				
$f_{ck}$ (MPa) \ / \ $h$ (m)	0,6	0,7	0,8	0,9
12	0,246	0,246	0,246	0,246
16	0,284	0,284	0,284	0,284
20	0,318	0,318	0,318	0,318
25	0,355	0,355	0,355	0,355
30	0,389	0,389	0,389	0,389
35	0,420	0,420	0,420	0,420
40	0,449	0,449	0,449	0,449
45	0,477	0,477	0,477	0,477
50	0,502	0,502	0,502	0,502
60	0,550	0,550	0,550	0,550
70	0,594	0,594	0,594	0,594
80	0,635	0,635	0,635	0,635
90	0,674	0,674	0,674	0,674

Πίνακας 5.1 Ελάχιστη διατμητική αντοχή σκυροδέματος [EC2 (2004)]

Διάγραμμα 5.1 Ελάχιστη διατμητική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{ck}$  και του ύψους  $h$  της διατομής [EC2 (2004)]

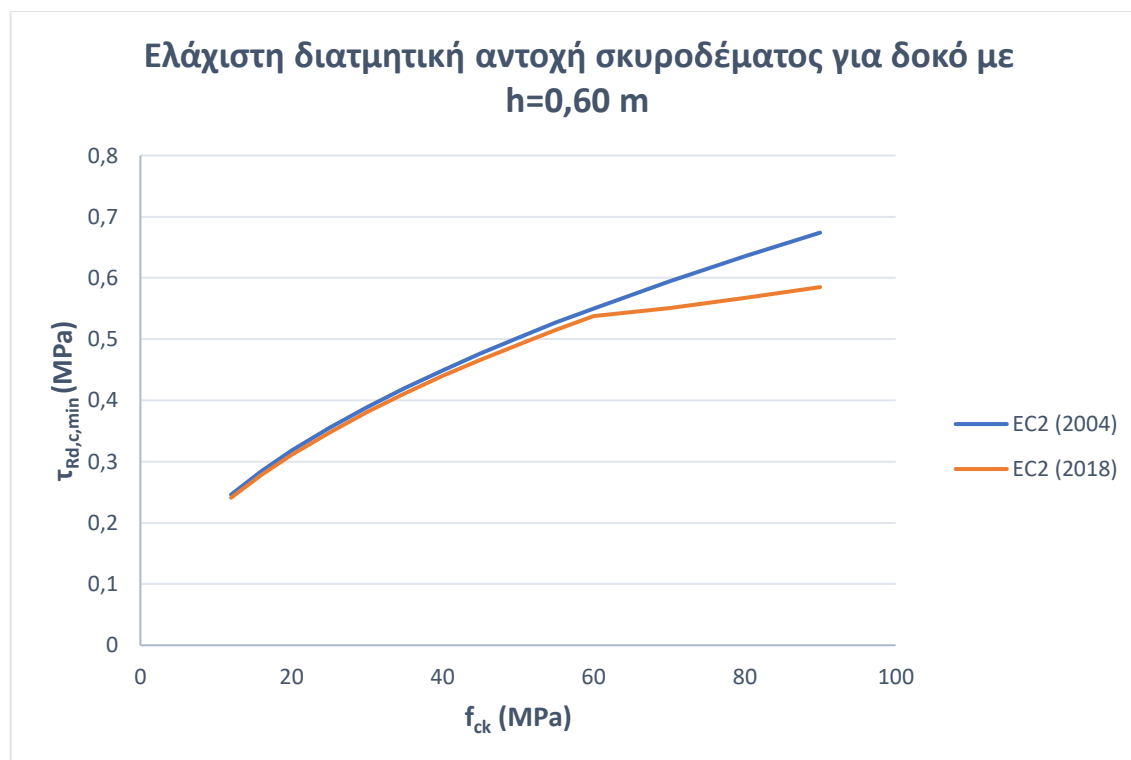
Δοκός με $b_w=0,30$ m				
$\tau_{Rd,c,min}$ (2018)				
$f_{ck}$ (MPa) \ / $h$ (m)	0,6	0,7	0,8	0,9
12	0,241	0,221	0,206	0,194
16	0,278	0,256	0,238	0,224
20	0,311	0,286	0,266	0,250
25	0,347	0,320	0,298	0,280
30	0,381	0,350	0,326	0,306
35	0,411	0,378	0,352	0,331
40	0,440	0,404	0,376	0,354
45	0,466	0,429	0,399	0,375
50	0,491	0,452	0,421	0,395
60	0,538	0,495	0,461	0,433
70	0,551	0,507	0,472	0,443
80	0,567	0,521	0,485	0,456
90	0,585	0,538	0,501	0,470

Πίνακας 5.2 Ελάχιστη διατμητική αντοχή σκυροδέματος [EC2 (2018)]



Διάγραμμα 5.2 Ελάχιστη διατμητική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{ck}$  και του ύψους  $h$  της διατομής [EC2 (2018)]





Διάγραμμα 5.3 Ελάχιστη διατμητική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του για δοκό με  $h=0,60$  m.

## 5.7 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η ελάχιστη διατμητική αντοχή που απαιτείται για το σκυρόδεμα σύμφωνα με τον EC2 (2018) είναι μικρότερη σε σύγκριση με τις τιμές που προκύπτουν από τον ισχύοντα κανονισμό.



## 6 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ

### 6.1 Εισαγωγή

Οι περιοχές στις οποίες επιβάλλονται συγκεντρωμένα φορτία κινδυνεύουν κατά κύριο λόγο από την τοπική συντριβή του σκυροδέματος και τις εγκάρσιες εφελκυστικές τάσεις.

### 6.2 EC2 (2004) – [6.7]

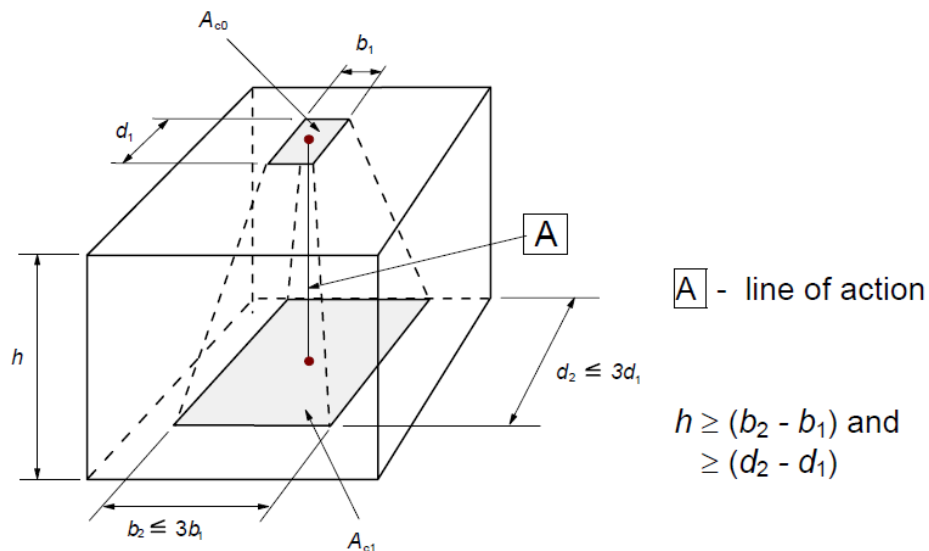
Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο επί μίας επιφάνειας  $A_{c0}$  η ανθιστάμενη μοναχική δύναμη μπορεί να προσδιορίζεται ως εξής:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

όπου:

$A_{c0}$  είναι η φορτιζόμενη επιφάνεια

$A_{c1}$  είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη επιφάνεια κατανομής σε σχήμα όμοιο της  $A_{c0}$ , όπως φαίνεται και στο σχήμα



Σχήμα 6.1 Παραδοχές κατανομής φορτίου σε περιοχές με συγκεντρωμένη φόρτιση [EC2 (2004) - Σχήμα 6.29]

### 6.3 EC2 (2018) – [8.6]

Για ομοιόμορφα κατανεμημένη τάση επί μίας επιφάνειας  $A_{c0}$  η αντίσταση μπορεί να προσδιορίζεται ως εξής

$$\sigma_{Rdu} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq \alpha_f \cdot f_{cd}$$

όπου:

$\alpha_f$  είναι ίσο με 7 εάν δεν εφαρμόζονται άλλες εξωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που μπορούν να προκαλέσουν ρωγμές παράλληλες στη διεύθυνση της φόρτισης ή δεν υπάρχουν ήδη ρωγμές και 3 σε κάθε άλλη περίπτωση

$A_{c0}$  είναι η φορτιζόμενη επιφάνεια. Για έκκεντρη φόρτιση η  $A_{c0}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$A_{c0} = (a_0 - 2e_a)(b_0 - 2e_b)$$

$e_a$  είναι η εκκεντρότητα παράλληλα στην  $a_0$

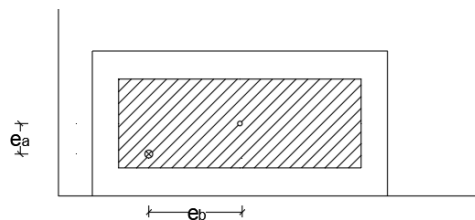
$e_b$  είναι η εκκεντρότητα παράλληλα στην  $b_0$

$A_{c1}$  είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη επιφάνεια κατανομής σε σχήμα όμοιο της  $A_{c0}$ , όπως φαίνεται και στο σχήμα

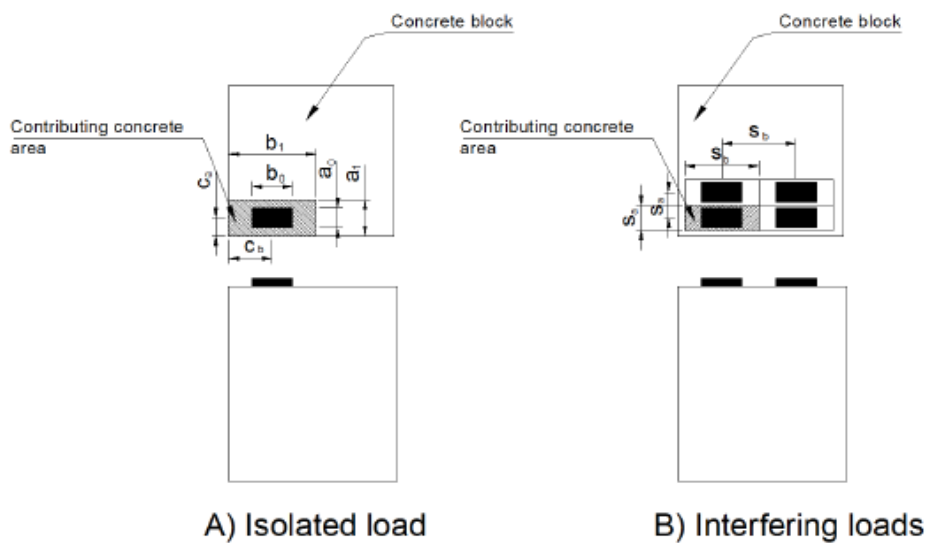
$$A_{c1} = \alpha_1 b_1$$

$$\alpha_1 = \min(2c_a; s_a)$$

$$b_1 = \min(2c_b; s_b; b_0 + \alpha_1)$$



Σχήμα 6.2 Ορισμός εκκεντροτήτων  $e_a$  και  $e_b$



Σχήμα 6.3 Ορισμός φορτιζόμενης και μέγιστης επιτρεπόμενης επιφάνειας κατανομής [EC2 (2018) - Σχήμα 8.28]

## 6.4 Αιτίες αλλαγής

Το μοντέλο που προτείνει ο ισχύων κανονισμός είναι ως επί το πλείστον υπέρ της ασφαλείας, όσον αφορά την αστοχία υπό θλίψη, για δύο λόγους:

- Η μέγιστη αντοχή σε τριαξονική θλίψη είναι  $3f_{cd}$ . Αυτή η οριακή τιμή προτάθηκε από τον Leonhardt, ενώ μελετούσε τη μέθοδο των αποδεκτών τάσεων (method of admissible stresses). Αυτός ο συντελεστής δεν έχει ληφθεί υπόψη στην περίπτωση που ο συντελεστής ασφαλείας αλλάζει από τη μέθοδο των αποδεκτών τάσεων στη μέθοδο των μερικών συντελεστών.
- Η επιφάνεια αντοχής του σκυροδέματος έχει ομοιότητες με τις διαστάσεις της πλάκας. Η εφαρμογή αυτού του κριτηρίου στα πειραματικά δεδομένα οδηγεί σε προβλέψεις πολύ συντηρητικές.

Επιπλέον, ο κανονισμός υποχρεώνει το μελετητή να τοποθετήσει εφελκόμενο οπλισμό. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, ειδικά στην περίπτωση που αναπτύσσονται συγκεντρωμένα φορτία μετά ή κατά τη διάρκεια της κατασκευής (πχ τοποθέτηση μεγάλου γερανού σε υπάρχουσα κατασκευή).

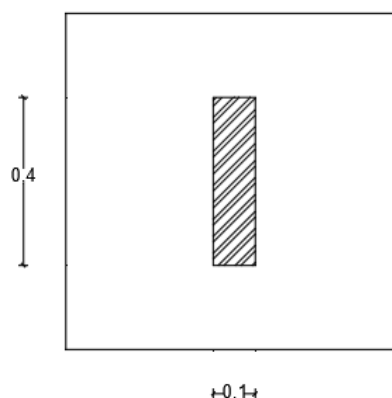
## 6.5 Διερεύνηση

### 6.5.1 Εφαρμογή: Υπολογισμός αντίστασης σκυροδέματος στην επιβολή συγκεντρωμένου φορτίου

Έστω  $h = 0,4$  m και  $b_1 = 0,1$  m ,  $d_1 = 0,2$  m είναι οι διαστάσεις της φορτιζόμενης επιφάνειας ( $A_{c0} = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02$  m<sup>2</sup>). Επομένως, η μέγιστη επιτρεπόμενη επιφάνεια κατανομής της συγκεντρωμένης δύναμης υπολογίζεται ως εξής:

$$b_2 = 3 \cdot b_1 = 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ m και } d_2 = 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ m}$$

$$A_{c1} = 0,3 \cdot 0,6 = 0,18 \text{ m}^2$$



<b><math>f_{ck} = 12 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc}=0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 12 / 1,5 = 6,8 \text{ MPa}$	$\alpha_{cc}=1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 12 / 1,5 = 8 \text{ MPa}$
$F_{Rdu} = 0,02 \cdot 6800 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 408 \text{ KN}$	$\sigma_{Rdu} = 8 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 24 \text{ MPa}$
$F_{Rdu,max} = 3 \cdot 6800 \cdot 0,02 = 408 \text{ KN}$	
$\sigma_{Rdu} = \frac{F_{Rdu}}{A_{c0}} = \frac{408}{0,02} = 20,4 \text{ MPa}$	$a_f = 3 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ MPa}$
$\sigma_{Rdu,max} = \frac{F_{Rdu,max}}{A_{c0}} = \frac{408}{0,02} = 20,4 \text{ MPa}$	$a_f = 7 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 7 \cdot 8 = 56 \text{ MPa}$

<b><math>f_{ck} = 30 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc}=0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$	$\alpha_{cc}=1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$
$F_{Rdu} = 0,02 \cdot 17000 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 1020 \text{ KN}$	$\sigma_{Rdu} = 20 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 60 \text{ MPa}$
$F_{Rdu,max} = 3 \cdot 17000 \cdot 0,02 = 1020 \text{ KN}$	
$\sigma_{Rdu} = \frac{F_{Rdu}}{A_{c0}} = \frac{1020}{0,02} = 51 \text{ MPa}$	$a_f = 3 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ MPa}$
$\sigma_{Rdu,max} = \frac{F_{Rdu,max}}{A_{c0}} = \frac{1020}{0,02} = 51 \text{ MPa}$	$a_f = 7 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 7 \cdot 20 = 140 \text{ MPa}$

<b><math>f_{ck} = 50 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc}=0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 50 / 1,5 = 28,33 \text{ MPa}$	$\alpha_{cc}=0,928 \rightarrow f_{cd} = 0,928 \cdot 50 / 1,5 = 30,933 \text{ MPa}$
$F_{Rdu} = 0,02 \cdot 28333 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 1699,98 \text{ KN}$	$\sigma_{Rdu} = 30,933 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 92,8 \text{ MPa}$
$F_{Rdu,max} = 3 \cdot 28333 \cdot 0,02 = 1699,98 \text{ KN}$	
$\sigma_{Rdu} = \frac{F_{Rdu}}{A_{c0}} = \frac{1699,98}{0,02} = 85 \text{ MPa}$	$a_f = 3 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 3 \cdot 30,933 = 92,8 \text{ MPa}$
$\sigma_{Rdu,max} = \frac{F_{Rdu,max}}{A_{c0}} = \frac{1699,98}{0,02} = 85 \text{ MPa}$	$a_f = 7 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 7 \cdot 30,933 = 216,53 \text{ MPa}$

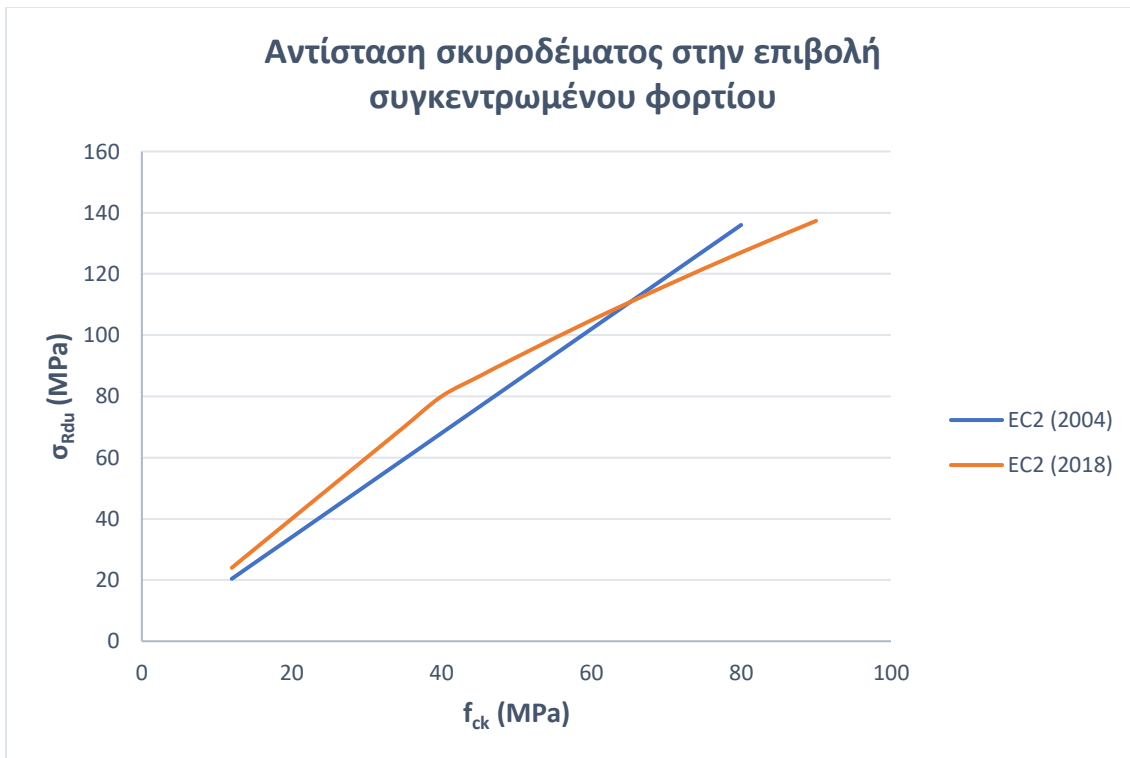
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$\alpha_{cc}=0,85 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 70 / 1,5 = 39,667 \text{ MPa}$	$\alpha_{cc}=0,83 \rightarrow f_{cd} = 0,83 \cdot 70 / 1,5 = 38,733 \text{ MPa}$
$F_{Rdu} = 0,02 \cdot 39667 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 2380,2 \text{ KN}$	$\sigma_{Rdu} = 38,733 \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,02}} = 116,2 \text{ MPa}$
$F_{Rdu,max} = 3 \cdot 39667 \cdot 0,02 = 2380,2 \text{ KN}$	
$\sigma_{Rdu} = \frac{F_{Rdu}}{A_{c0}} = \frac{2380,2}{0,02} = 119 \text{ MPa}$	$\alpha_f = 3 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 3 \cdot 38,733 = 116,2 \text{ MPa}$
$\sigma_{Rdu,max} = \frac{F_{Rdu,max}}{A_{c0}} = \frac{2380,2}{0,02} = 119 \text{ MPa}$	$\alpha_f = 7 \rightarrow \sigma_{Rdu,max} = 7 \cdot 38,733 = 271,13 \text{ MPa}$

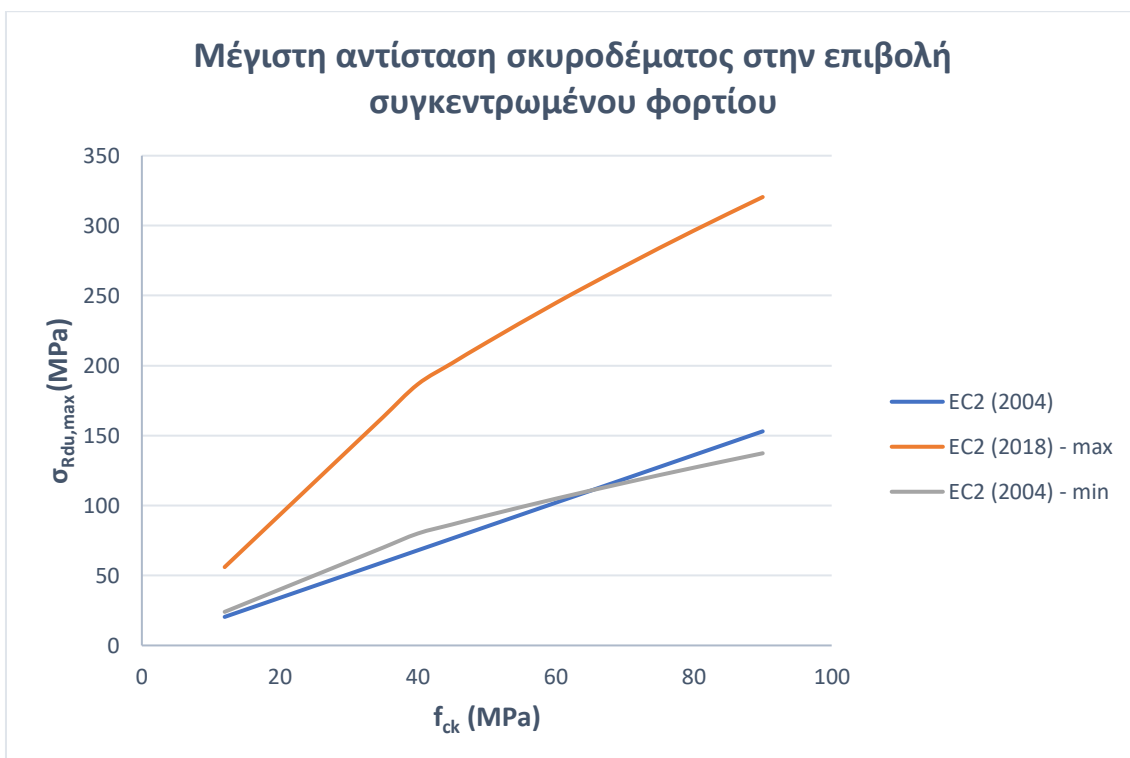
6.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

<b>Φορτιζόμενη επιφάνεια με h=0,4 m, b<sub>1</sub>=0,1 m και d<sub>1</sub>=0,2 m</b>					
<b>f<sub>ck</sub> (MPa)</b>	<b>EC2 (2004)</b>		<b>EC2 (2018)</b>		
	<b>σ<sub>Rdu</sub> (MPa)</b>	<b>σ<sub>Rdu,max</sub> (MPa)</b>	<b>σ<sub>Rdu</sub> (MPa)</b>	<b>σ<sub>Rdu,max</sub><sup>min</sup> (MPa)</b>	<b>σ<sub>Rdu,max</sub><sup>max</sup> (MPa)</b>
12	20,40	20,40	24,00	24,00	56,00
16	27,20	27,20	32,00	32,00	74,67
20	34,00	34,00	40,00	40,00	93,33
25	42,50	42,50	50,00	50,00	116,67
30	51,00	51,00	60,00	60,00	140,00
35	59,50	59,50	70,00	70,00	163,33
40	68,00	68,00	80,00	80,00	186,67
45	76,50	76,50	86,49	86,49	201,81
50	85,00	85,00	92,80	92,80	216,53
60	102,00	102,00	104,88	104,88	244,72
70	119,00	119,00	116,20	116,2	271,13
80	136,00	136,00	127,04	127,04	296,43
90	153,00	153,00	137,34	137,34	320,46

Πίνακας 6.1 Σύγκριση των αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 6.1 Αντίσταση σκυροδέματος σε συγκεντρωμένο φορτίο



Διάγραμμα 6.2 Μέγιστη αντίσταση σκυροδέματος σε συγκεντρωμένο φορτίο



## **6.7 Συμπεράσματα**

Όπως προκύπτει και από τους παραπάνω υπολογισμούς, η αντίσταση του σκυροδέματος στην επιβολή συγκεντρωμένου φορτίου προκύπτει μεγαλύτερη για αντοχές έως περίπου τα 70 MPa. Επομένως, επαληθεύεται η υπόθεση ότι η προσέγγιση του EC2 (2004) είναι περισσότερο συντηρητική .



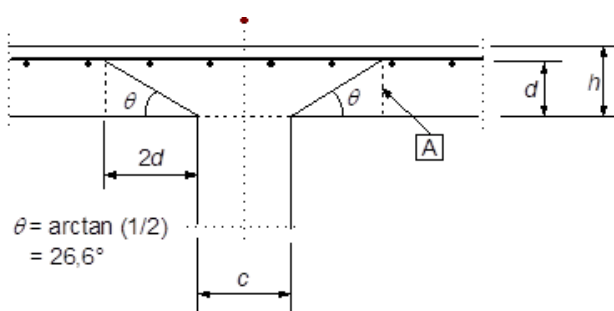
## 7 ΔΙΑΤΡΗΣΗ

### 7.1 Εισαγωγή

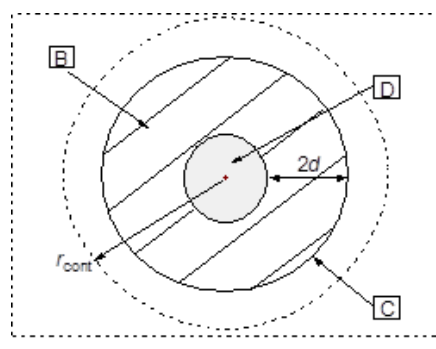
Το φαινόμενο της διάτρησης παρουσιάζει ανάλογα στοιχεία με αυτό της διάτμησης. Ωστόσο, ενώ στη διάτμηση αναφερόμαστε σε επίπεδη ένταση, διάτρηση είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει στο χώρο. Στη διάτμηση η θλίψη μεταβιβάζεται μέσω των λοξών θλιπτήρων, ενώ αντίθετα στη διάτρηση μέσω ενός κώλουρου κώνου. Η διάτρηση μπορεί να προέρχεται από ένα συγκεντρωμένο φορτίο ή αντίδραση, που δρα επί μίας σχετικώς μικρής περιοχής, η οποία καλείται “φορτιζόμενη επιφάνεια” ( $A_{load}$ ) μίας πλάκας ή ενός στοιχείου θεμελίωσης

### 7.2 EC2 (2004) – [6.4]

Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό, η βασική περίμετρος ελέγχου απέχει απόσταση  $2d$  από τη φορτιζόμενη επιφάνεια, όπως φαίνεται και στα ακόλουθα σχήματα.



Σχήμα 7.1 Μοντέλο υπολογισμού για τον έλεγχο της ΟΚΑ από διάτρηση - (Α):Βασική διατομή ελέγχου [EC2 (2004)]

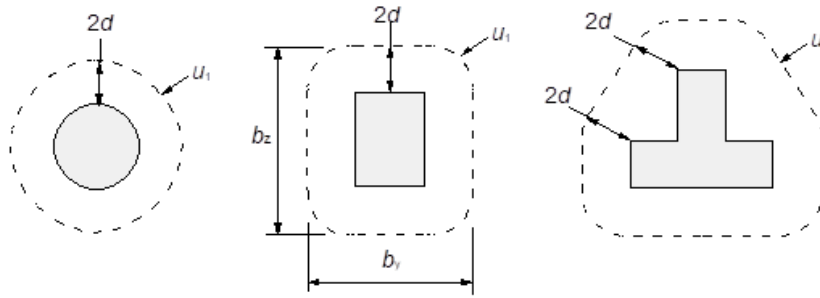


Σχήμα 7.2 Μοντέλο υπολογισμού για τον έλεγχο της ΟΚΑ από διάτρηση [EC2 (2004)]-(B):Βασική επιφάνεια ελέγχου  $A_{cont}$

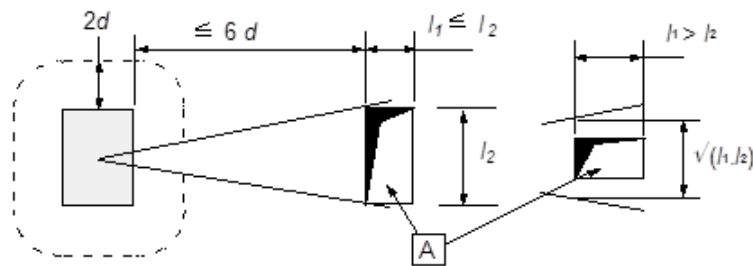
(C): Βασική περίμετρος ελέγχου  $u_1$

(D): Φορτιζόμενη επιφάνεια  $A_{load}$

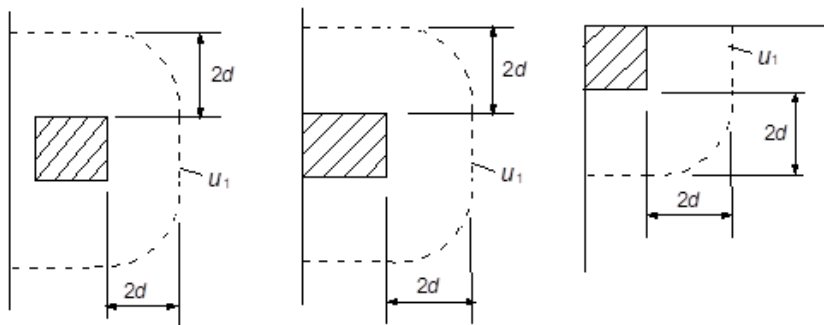
$r_{cont}$ : δεύτερη περίμετρος ελέγχου



Σχήμα 7.3 Τυπικές βασικές περιμέτροι ελέγχου [EC2 (2004)]



Σχήμα 7.4 Περιμέτρος ελέγχου κοντά σε άνοιγμα [EC2 (2004)] - (A): άνοιγμα



Σχήμα 7.5 Βασικές περιμέτροι ελέγχου για φορτιζόμενες επιφάνειες που βρίσκονται κοντά σε άκρο ή γωνία [EC2 (2004)]

Η αντοχή σε διάτρηση του άοπλου σκυροδέματος υπολογίζεται ως εξής:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp})$$

όπου:

$f_{ck}$  σε MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2, d \text{ σε mm}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \cdot \rho_{lz}} \leq 0,02$$

$\rho_{ly}$ ,  $\rho_{lz}$  αναφέρονται στον εφελκόμενο οπλισμό με συνάφεια στις διευθύνσεις Y και z αντιστοίχως. Οι τιμές  $\rho_{ly}$  και  $\rho_{lz}$  πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές, θεωρώντας ένα πλάτος πλάκας ίσο προς το πλάτος του υποστυλώματος συν 3d σε κάθε πλευρά.

## ΔΙΑΤΡΗΣΗ

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz})/2$$

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \quad \text{και} \quad \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}$$

$N_{Ed,y}$  και  $N_{Ed,z}$  είναι οι αξονικές δυνάμεις σε ολόκληρο το φάτνωμα για εσωτερικά υποστυλώματα και η αξονική δύναμη στη διατομή ελέγχου σε ακραία υποστυλώματα. Η δύναμη αυτή μπορεί να προέρχεται είτε από φορτίο είτε από προένταση.

$A_c$  είναι το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος, σύμφωνα με τον ορισμό της  $N_{Ed}$

**Σημείωση:** Οι τιμές των  $C_{Rd,c}$ ,  $v_{min}$  και  $k_1$  που θα χρησιμοποιούνται σε μια χώρα δίνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή για το  $C_{Rd,c}$  είναι  $0,12/\gamma_c$ , το  $v_{min}=0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}$  και το  $k_1$  είναι 0,1.

Ακολουθως, η αντοχή σε διάτρηση του οπλισμένου σκυροδέματος υπολογίζεται ως εξής:

$$v_{Rd,cs} = 0,75 \cdot v_{Rd,c} + 1,5 \cdot (d/s_r) \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot (1/(u_1 \cdot d)) \cdot \sin\alpha \leq k_{max} \cdot v_{Rd,c}$$

όπου:

$A_{sw}$  είναι το εμβαδόν του οπλισμού διάτμησης κατά μήκος μιας από τις περιμέτρους γύρω από το υποστυλώμα [mm<sup>2</sup>]

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

$f_{ywd,ef}$  είναι η δρώσα τιμή σχεδιασμού της αντοχής του οπλισμού διάτμησης, σύμφωνα με τη σχέση  $f_{ywd,ef}=250 + 0,25 \cdot d \leq f_{ywd}$

$d$  είναι ο μέσος όρος των στατικών υψών σε δύο κάθετες διευθύνσεις [mm]

$\alpha$  είναι η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτμησης με το επίπεδο της πλάκας

$k_{max}$  είναι συντελεστής με τον οποίο περιορίζεται η μέγιστη ικανότητα που μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση οπλισμού διάτμησης

Αν τοποθετηθεί μόνο μία σειρά κεκαμμένων προς τα κάτω εμβαδών, τότε ο λόγος  $d/s_r$  μπορεί να ληφθεί ίσος με 0,67.

**Σημείωση:** Η  $v_{Rd,cs}$  δεν μπορεί να υπερβαίνει την  $v_{Rd,max} = 0,6 \cdot v \cdot f_{cd}$ , όπου  $v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$ .

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

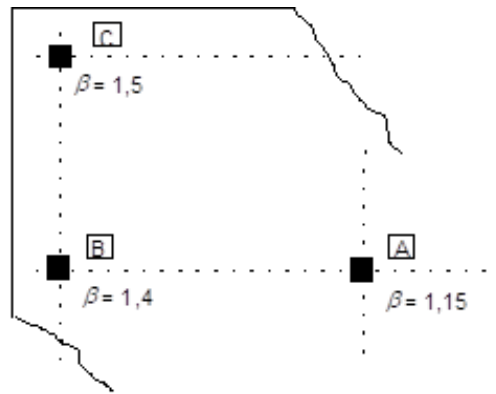
$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

όπου:

$d$  είναι το μέσο στατικό ύψος της πλάκας που μπορεί να λαμβάνεται ίσο με  $(d_y + d_z)/2$

$d_y$ ,  $d_z$  είναι τα στατικά ύψη στις διευθύνσεις  $y$  και  $z$  της διατομής ελέγχου

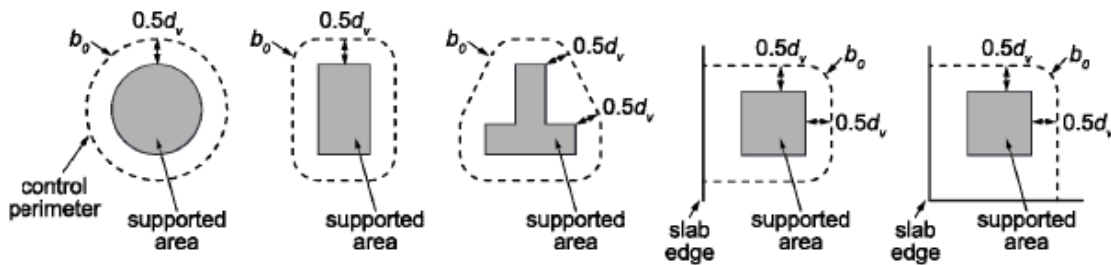
$u_i$  είναι το μήκος της θεωρούμενης περιμέτρου ελέγχου



Σχήμα 7.6 Συνιστώμενες τιμές για το  $\beta$  [EC2 (2004)]

### 7.3 EC2 (2018) – [8.4]

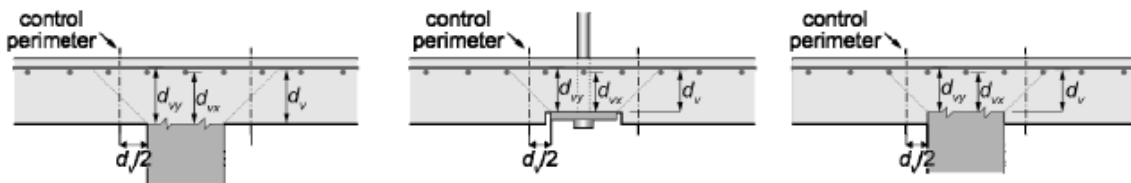
Αντιθέτως, η νέα απόσταση που προτείνεται είναι  $0,5d$ . Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται κάποιες τυπικές περιμέτροι ελέγχου.



Σχήμα 7.7 Τυπικές περιμέτροι ελέγχου [EC2 (2018)]

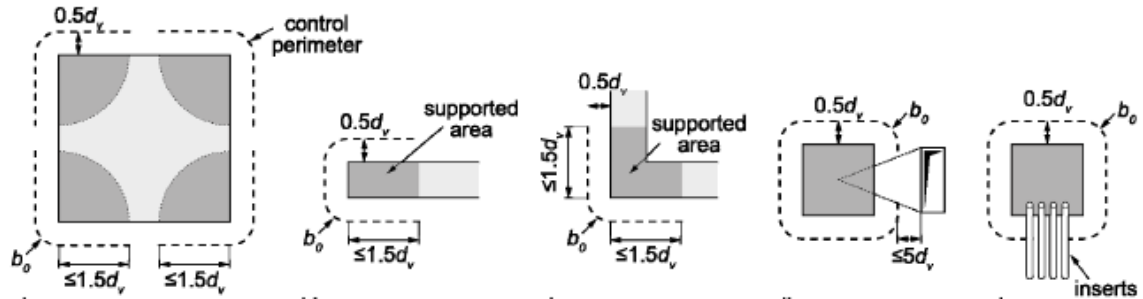
όπου:

$$d_v = \frac{d_{vx} + d_{vy}}{2}$$

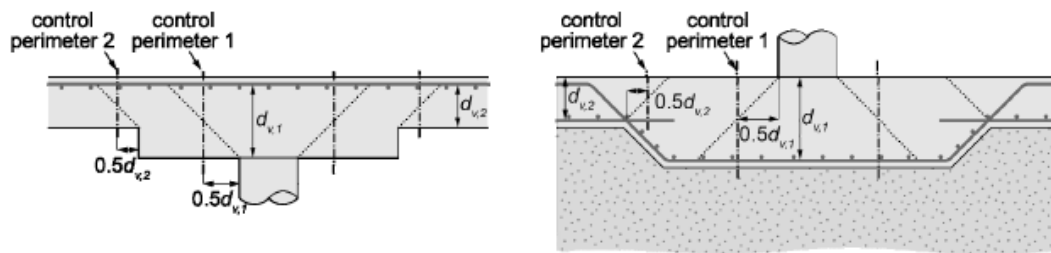


Σχήμα 7.8 Ενεργό στατικό ύψος πλάκας [EC2 (2018)]

## ΔΙΑΤΡΗΣΗ



Σχήμα 7.9 Μήκος περιμέτρου ελέγχου  $b_0$  για μεγάλες φορτιζόμενες επιφάνειες και για φορτιζόμενες επιφάνειες κοντά σε ανοίγματα και εσοχές [EC2 (2018)]



Σχήμα 7.10 Περιμέτρος ελέγχου και ενεργό στατικό ύψος για πλάκες με αλλαγή ύψους [EC2 (2018)]

Η αντοχή σε διάτρηση του άοπλου σκυροδέματος υπολογίζεται ως εξής:

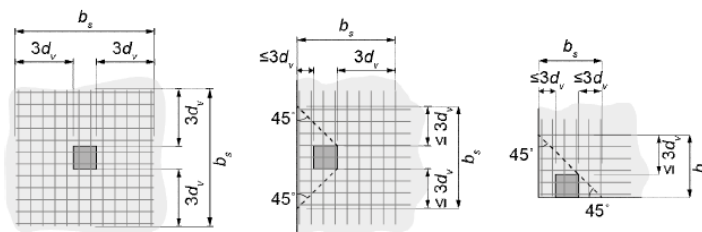
$$\tau_{Rd,c} = \frac{k_b}{\gamma_c} \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_p} \right)^{\frac{1}{3}} \leq \frac{0,6}{\gamma_c} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

όπου:

$f_{ck}$  είναι σε ΜΡα

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x} \cdot \rho_{l,y}}$$

$\rho_{l,x}$ ,  $\rho_{l,y}$  αναφέρονται στους εφελκόμενους οπλισμούς στις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα. Υπολογίζονται ως οι μέσες τιμές σε πλάτος  $b_s$ , όπως φαίνεται στο σχήμα:



Σχήμα 7.11 Ορισμός πλάτους  $b_s$  για εσωτερικό, ακραίο και γωνιακό υποστύλωμα αντίστοιχα [EC2 (2018)]

$d_{dg}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών του. Η τιμή του υπολογίζεται ακολούθως:

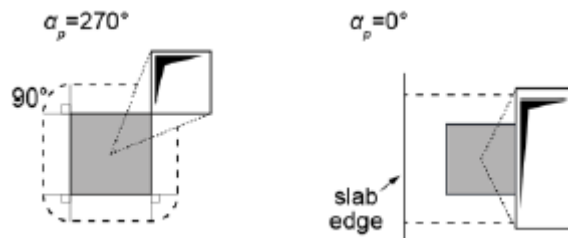
- 32 mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm
- $16 + D_{lower} \leq 40$  mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} < 16$  mm. Αυτή η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm ως ένας ξεκάθαρος υπολογισμός του  $d_{dg}$
- $16 + D_{lower} (60 / f_{ck})^2 \leq 40$  mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} > 60$  MPa

$k_{pb}$  είναι βελτιωτικός συντελεστής σχετικά με τη διεύθυνση της δύναμης διάτρησης και υπολογίζεται ακολούθως:

$$k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d_v}{b_0}} \leq 2,5$$

$\mu_p$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη διεύθυνση της διατμητικής δύναμης και τις καμπτικές ροπές εντός της περιμέτρου ελέγχου. Η τιμή του είναι:

- $\mu_p = 8$ , για εσωτερικά υποστυλώματα
- $\mu_p = 4$ , για ακραία υποστυλώματα ή τοιχώματα
- $\mu_p = 2$ , για γωνιακά υποστυλώματα ή τοιχώματα
- $\mu_p = \alpha_p/45^\circ$ , σε κάθε άλλη περίπτωση, όπου το  $\alpha_p$  είναι το άθροισμα των γωνιών όλων των κυρτών τμημάτων της περιμέτρου ελέγχου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7.12 Ορισμός γωνίας  $\alpha_p$ , στην περίπτωση εσωτερικού υποστυλώματος και ακραίου υποστυλώματος αντίστοιχα [EC2 (2018)]

Ακολούθως, η αντοχή σε διάτρηση του οπλισμένου σκυροδέματος υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau_{RD,cs} = \eta_c \cdot \tau_{RD,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} \geq \rho_w \cdot f_{ywd}$$

όπου :

$$\eta_s = \tau_{RD,c} / \tau_{Ed}$$

$$\eta_s = \left(15 \frac{d_{dg}}{d}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{\frac{3}{2}} \leq 0,8$$

$d_{dg}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών του. Η τιμή του υπολογίζεται ακολούθως:

- 32 mm για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60$  MPa και  $D_{lower} \geq 16$  mm



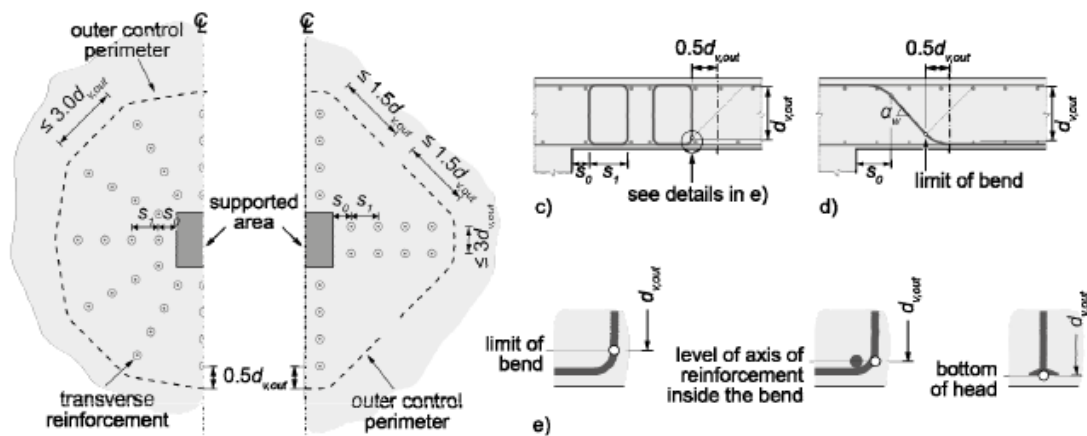
## ΔΙΑΤΡΗΣΗ

- $16 + D_{lower} \leq 40 \text{ mm}$  για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$  και  $D_{lower} < 16 \text{ mm}$ . Αυτή η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$  και  $D_{lower} \geq 16 \text{ mm}$  ως ένας ξεκάθαρος υπολογισμός του  $d_{dg}$
- $16 + D_{lower} (60 / f_{ck})^2 \leq 40 \text{ mm}$  για σκυρόδεμα κανονικού βάρους με  $f_{ck} > 60 \text{ MPa}$

$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r \cdot s_t}$  είναι το ποσοστό του οπλισμού διάτμησης

$A_{sw}$  είναι το εμβαδόν μίας ράβδου οπλισμού διάτμησης

$s_r$  είναι η ακτινική απόσταση του διατμητικού οπλισμού, όπως φαίνεται και στο σχήμα:



Σχήμα 7.13 Περίμετρος ελέγχου και αποστάσεις οπλισμών [EC2 (2018) - Σχήμα 8.21]

$s_t$  είναι η μέση εφαπτομενική απόσταση των περιμέτρων του οπλισμού που μετράται στην περίμετρο ελέγχου (μήκος της περιμέτρου ελέγχου διαιρούμενο με τον αριθμό των διασταυρούμενων σειρών σε περίπτωση διατμητικής ενίσχυσης που τοποθετείται σε σταυροειδή ή ακτινική συμφωνία)

Η δρώσα διατμητική δύναμη στην επιφάνεια ελέγχου πρέπει να υπολογίζεται ως εξής:

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_o \cdot d_v}$$

όπου:

$V_{Ed}$  είναι η δρώσα διατμητική δύναμη στη διατομή ελέγχου

$\beta_e$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη συγκέντρωση διατμητικών τάσεων και παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

- $\beta_e = 1,15$  για εσωτερικά υποστυλώματα
- $\beta_e = 1,4$  για ακραία υποστυλώματα ή τοιχώματα
- $\beta_e = 1,5$  για γωνιακά υποστυλώματα
- $\beta_e = 1,2$  για γωνίες τοιχωμάτων

$b_o$  είναι το μήκος της περιμέτρου ελέγχου

## 7.4 Αιτίες αλλαγής

Οι παραπάνω αλλαγές πραγματοποιήθηκαν τόσο για επιστημονικούς και σχεδιαστικούς λόγους, όσο και για διευκόλυνση της χρήσης των τύπων. Οι βασικότεροι λόγοι έχουν ως εξής:

- Ο ορισμός της αντοχής σε διάτρηση σύμφωνα με τον EC2 (2004) διαφέρει για πλάκες και για πέδιλα. Ενώ στις πλάκες η περίμετρος ελέγχου ορίζεται σε απόσταση  $2d$ , στα πέδιλα υπολογίζεται μέσω επαναλήψεων η περίμετρος που δίνει την ελάχιστη αντοχή. Στην περίπτωση όμως που η περίμετρος των  $2d$  για τις πλάκες δε συνάδει με τα πειραματικά αποτελέσματα, τότε η επαναληπτική διαδικασία υπολογισμού της για τα πέδιλα δεν είναι εφαρμόσιμη. Επιπλέον, έχει αποδειχτεί ότι διάφορες μέθοδοι υπολογισμού για πλάκες και πέδιλα οδηγούν σε σημαντικές διαφορές. Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται μία κοινή μέθοδος αντιμετώπισης τόσο για τις πλάκες, όσο και για τα πέδιλα. Τέλος, προτείνεται επαναπροσδιορισμός της περιμέτρου ελέγχου ώστε να συμβαδίζει με τα πειραματικά αποτελέσματα και να υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο σε κάθε περίπτωση.
- Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η επιρροή του μεγέθους που περιλαμβάνεται στην ισχύουσα προσέγγιση δεν περιγράφει με ακρίβεια το εν λόγω φαινόμενο. Η παρούσα προσέγγιση ενδέχεται να υποτιμά την επιρροή του μεγέθους του μέλους και κατά συνέπεια να υπερεκτιμά την αντοχή σε διάτρηση μελών μεγάλου μεγέθους.
- Η ισχύουσα προσέγγιση δε λαμβάνει υπόψη φαινόμενα λυγηρότητας. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η λυγηρότητα των πλακών συμβάλλει στην αντοχή τους σε διάτρηση.

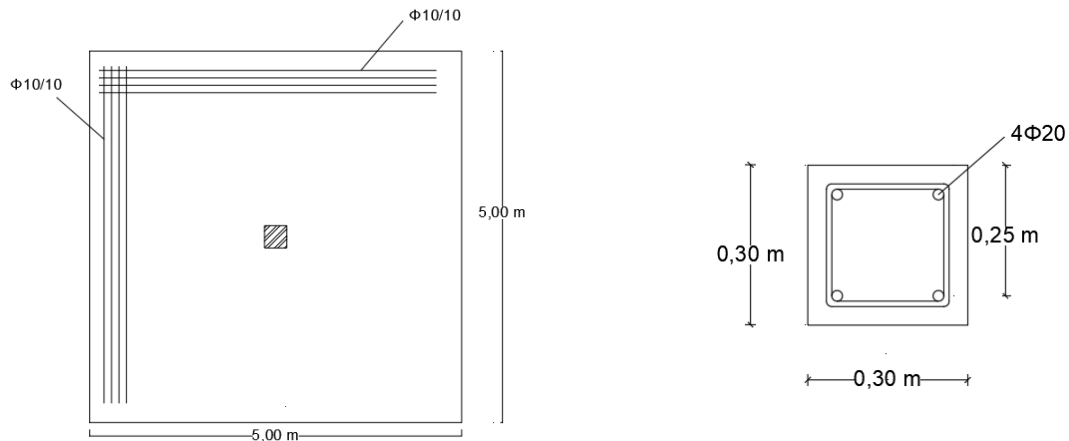
Μία σύγκριση που έγινε μεταξύ του EC2 (2004) και διαφόρων πειραμάτων έδειξε ότι η αντοχή σε διάτρηση πλακών με εγκάρσιο οπλισμό διάτμησης μπορεί να υπερεκτιμάται από τον ισχύοντα κανονισμό. Κάποιες μελέτες αμφισβήτησαν την εγκυρότητα του υπολογισμού της ενεργού τάσης του οπλισμού διάτμησης μόνο ως συνάρτηση του ενεργού ύψους  $d$ , ενώ άλλες ασχολήθηκαν γενικότερα με την εγκυρότητα του προσδιορισμού των θλιπτήρων του σκυροδέματος στην παρειά της στήριξης, γεγονός που οδηγεί σε υποτίμηση της αντοχής σε διάτρηση σε ορισμένες περιπτώσεις

## 7.5 Διερεύνηση

### 7.5.1 Εφαρμογή 1<sup>η</sup>: Υπολογισμός αντοχής σε διάτρηση άοπλου σκυροδέματος

Έστω τετραγωνική πλάκα, με πλευρά  $L=5$  m και πάχος  $h=0,30$  m ( $d=h-d_2=0,30-0,05=0,25$  m). Η πλάκα έχει διαμήκη οπλισμό  $\Phi 10/10$  ( $A_s=0,79$  cm<sup>2</sup>) και στις δύο διευθύνσεις. Στο κέντρο της πλάκας υπάρχει φυτευτό τετραγωνικό υποσύλλωμα με διαστάσεις  $h=b=0,30$  m και διαμήκη οπλισμό  $4\Phi 20$  ( $A_s=12,57$  cm<sup>2</sup>).

## ΔΙΑΤΡΗΣΗ



Παρακάτω υπολογίζονται αναλυτικά οι αντοχές για άοπλο έναντι διατρήσεως σκυρόδεμα, για διάφορες χαρακτηριστικές θλιπτικές αντοχές.

$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$C_{Rd,c} = 18/\gamma_c = 18/1,5 = 0,12$  $k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/250} = 1,894 < 2$  $\rho_l = A_s/(s \cdot d) = 0,79/(10 \cdot 25) = 0,003142$  $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$ $= 0,035 \cdot 1,894^{3/2} \cdot 12^{1/2} = 0,316 \text{ MPa}$  $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} =$ $= 0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot 0,003142 \cdot 12)^{1/3} =$ $= 0,354 \text{ MPa} > 0,316 \text{ MPa}$	$b_o = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot 0,25) = 1.985 \text{ m}$  $\mu_p = 8 \text{ (εσωτερικό υποστυλωμα)}$ $k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d}{b_o}} = \sqrt{5 \cdot 8 \cdot \frac{0,25}{1.985}} =$ $= 2,245 < 2,5$  $d_{dg} = 2,6 \text{ cm}$ $\alpha_{py} \cong 0,22 \cdot l_y = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_{pz} \cong 0,22 \cdot l_z = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_p = \sqrt{\alpha_{py} \cdot \alpha_{pz}} = \sqrt{1,1 \cdot 1,1} = 1,1 \text{ m}$ $\rho_l = A_s/(s \cdot d) = 0,79/(10 \cdot 25) = 0,003142$ $\tau_{max} = \frac{0,6}{\gamma_c} \sqrt{f_{ck}} = \frac{0,6}{1,5} \sqrt{12} = 1,386 \text{ MPa}$
$\tau_{Rd,c} = \frac{k_b}{\gamma_c} \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_p} \right)^{\frac{1}{3}} =$ $= \frac{2,245}{1,5} \cdot \left( 100 \cdot 0,003142 \cdot 12 \cdot \frac{2,6}{110} \right)^{\frac{1}{3}} =$ $= 0,668 \text{ MPa} < 1,386 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = \frac{k_b}{\gamma_c} \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_p} \right)^{\frac{1}{3}} =$ $= \frac{2,245}{1,5} \cdot \left( 100 \cdot 0,003142 \cdot 12 \cdot \frac{2,6}{110} \right)^{\frac{1}{3}} =$ $= 0,668 \text{ MPa} < 1,386 \text{ MPa}$
<p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> $u_1 = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,25) = 4,342 \text{ m}$  $\rightarrow v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 0,354 \cdot 1000 \cdot 4,342 \cdot 0,25 =$ $= 384 \text{ KN}$	<p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> $\rightarrow \tau_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 0,668 \cdot 1000 \cdot 1,985 \cdot 0,25 =$ $= 331,5 \text{ KN}$

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$C_{Rd,c} = 18/\gamma_c = 18/1,5 = 0,12$ $k=1+\sqrt{200/d} = 1+\sqrt{200/250} = 1,894 < 2$ $\rho_l = A_s/(s \cdot d) = 0,79/(10 \cdot 25) = 0,003142$ $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$ $= 0,035 \cdot 1,894^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,5 \text{ MPa}$ $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} =$ $= 0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot 0,003142 \cdot 30)^{1/3} =$ $= 0,48 \text{ MPa} < 0,5 \text{ MPa}$ $\rightarrow v_{Rd,c} = v_{min} = 0,5 \text{ MPa}$	$b_o = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot 0,25) = 1,985 \text{ m}$ $\mu_p = 8 \text{ (εσωτερικό υποστύλωμα)}$ $k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d}{b_o}} = \sqrt{5 \cdot 8 \cdot \frac{0,25}{1,985}} =$ $= 2,245 < 2,5$ $d_{dg} = 2,6 \text{ cm}$ $\alpha_{py} \cong 0,22 \cdot L_y = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_{pz} \cong 0,22 \cdot L_z = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_p = \sqrt{a_{py} \cdot a_{pz}} = \sqrt{1,1 \cdot 1,1} = 1,1 \text{ m}$ $\rho_l = A_s/(s \cdot d) = 0,79/(10 \cdot 25) = 0,003142$ $\tau_{max} = \frac{0,6}{\gamma_c} \sqrt{f_{ck}} = \frac{0,6}{1,5} \sqrt{30} = 2,19 \text{ MPa}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{k_b}{\gamma_c} \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_p} \right)^{\frac{1}{3}} =$ $= \frac{2,245}{1,5} \cdot \left( 100 \cdot 0,003142 \cdot 30 \cdot \frac{2,6}{110} \right)^{\frac{1}{3}} =$ $= 0,907 \text{ MPa} < 2,19 \text{ MPa}$
<p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> $u_1 = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,25) = 4,342 \text{ m}$ $\rightarrow v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 0,5 \cdot 1000 \cdot 4,342 \cdot 0,25 =$ $= 542,75 \text{ KN}$	<p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> $\rightarrow \tau_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 0,907 \cdot 1000 \cdot 1,985 \cdot 0,25 =$ $= 450,1 \text{ KN}$

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$C_{Rd,c} = 18/\gamma_c = 18/1,5 = 0,12$ $k=1+\sqrt{200/d} = 1+\sqrt{200/250} = 1,894 < 2$ $\rho_l = 0,003142$ $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} =$ $= 0,035 \cdot 1,894^{3/2} \cdot 50^{1/2} = 0,645 \text{ MPa}$ $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} =$ $= 0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot 0,003142 \cdot 50)^{1/3} =$ $= 0,57 \text{ MPa} < 0,645 \text{ MPa}$ $\rightarrow v_{Rd,c} = v_{min} = 0,645 \text{ MPa}$	$b_o = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot 0,25) = 1,985 \text{ m}$ $\mu_p = 8 \text{ (εσωτερικό υποστύλωμα)}$ $k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d}{b_o}} = \sqrt{5 \cdot 8 \cdot \frac{0,25}{1,985}} =$ $= 2,245 < 2,5$ $d_{dg} = 2,6 \text{ cm}$ $\alpha_{py} \cong 0,22 \cdot L_y = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_{pz} \cong 0,22 \cdot L_z = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_p = \sqrt{a_{py} \cdot a_{pz}} = \sqrt{1,1 \cdot 1,1} = 1,1 \text{ m}$ $\rho_l = A_s/(s \cdot d) = 0,79/(10 \cdot 25) = 0,003142$

<p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> $u_1 = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d) = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,25) = 4,342 \text{ m}$ <p>→ <math>v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 0,645 \cdot 1000 \cdot 4,342 \cdot 0,25 = 700,15 \text{ KN}</math></p>	$\tau_{max} = \frac{0,6}{\gamma_c} \sqrt{f_{ck}} = \frac{0,6}{1,5} \sqrt{50} = 2,83 \text{ MPa}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{k_b}{\gamma_c} \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_p} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{2,245}{1,5} \cdot \left( 100 \cdot 0,003142 \cdot 50 \cdot \frac{2,6}{110} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,075 \text{ MPa} < 2,83 \text{ MPa}$ <p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> <p>→ <math>\tau_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 1,075 \cdot 1000 \cdot 1,985 \cdot 0,25 = 533,47 \text{ KN}</math></p>
--	--

$f_{ck} = 70 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$C_{Rd,c} = 18/\gamma_c = 18/1,5 = 0,12$ $k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/250} = 1,894 < 2$ $\rho_l = 0,003142$ $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,894^{3/2} \cdot 70^{1/2} = 0,764 \text{ MPa}$ $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} = 0,12 \cdot 1,894 \cdot (100 \cdot 0,003142 \cdot 70)^{1/3} = 0,637 \text{ MPa} < 0,764 \text{ MPa}$ <p>→ <math>v_{Rd,c} = v_{min} = 0,764 \text{ MPa}</math></p> <p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> $u_1 = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d) = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,25) = 4,342 \text{ m}$ <p>→ <math>v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 0,764 \cdot 1000 \cdot 4,342 \cdot 0,25 = 829,32 \text{ KN}</math></p>	$b_o = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d) = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot 0,35) = 1,985 \text{ m}$ <p><math>\mu_p = 8</math> (εσωτερικό υποστύλωμα)</p> $k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d}{b_o}} = \sqrt{5 \cdot 8 \cdot \frac{0,25}{1,985}} = 2,245 < 2,5$ $d_{dg} = 2,335 \text{ cm}$ $\alpha_{py} \cong 0,22 \cdot l_y = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_{pz} \cong 0,22 \cdot l_z = 0,22 \cdot 5 = 1,1 \text{ m}$ $\alpha_p = \sqrt{a_{py} \cdot a_{pz}} = \sqrt{1,1 \cdot 1,1} = 1,1 \text{ m}$ $\rho_l = A_s / (s \cdot d) = 0,79 / (10 \cdot 25) = 0,003142$ $\tau_{max} = \frac{0,6}{\gamma_c} \sqrt{f_{ck}} = \frac{0,6}{1,5} \sqrt{70} = 3,347 \text{ MPa}$ $\tau_{Rd,c} = \frac{k_b}{\gamma_c} \cdot \left( 100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{a_p} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{2,245}{1,5} \cdot \left( 100 \cdot 0,003142 \cdot 70 \cdot \frac{2,335}{110} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,161 \text{ MPa} < 2,83 \text{ MPa}$ <p>– <b>Αναγωγή βασική περίμετρο ελέγχου</b></p> <p>→ <math>\tau_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d = 1,161 \cdot 1000 \cdot 1,985 \cdot 0,25 = 576,15 \text{ KN}</math></p>

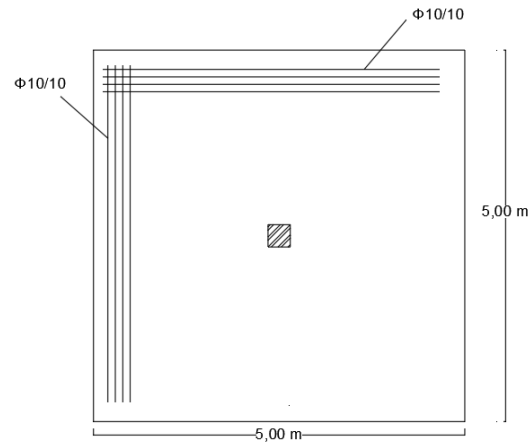
7.5.2 Εφαρμογή 2<sup>η</sup>: Υπολογισμός οπλισμού διατήρησης

Έστω πλάκα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- $h = 30 \text{ cm}$
- $d = h - d_2 = 30 - 5 = 25 \text{ cm}$
- $L_y = L_z = 5 \text{ m}$

και διαμήκη οπλισμό  $\Phi 10/10$  και στις δύο διευθύνσεις, δηλαδή:

- $A_{sy} = A_{sz} = 0,779 \text{ cm}^2$
- $s_y = s_z = 10 \text{ cm}$
- $\rho_{ly} = \rho_{lz} = A_s / (s \cdot d) = 0,79 / (10 \cdot 25) = 0,003142$

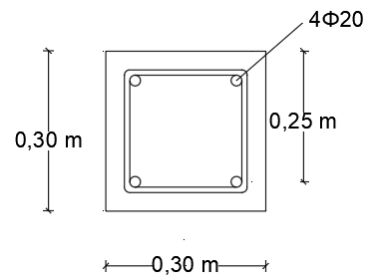


Έστω φυτευτό υποστύλωμα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- $h = 30 \text{ cm}$
- $b = 30 \text{ cm}$
- $V_{Ed} = 500 \text{ KN}$

και διαμήκη οπλισμό  $4\Phi 20$ , δηλαδή:

- $A_s = 12,57 \text{ cm}^2$



Παρακάτω υπολογίζεται ο οπλισμός διάτρησης που απαιτείται για διάφορες ποιότητες σκυροδέματος.

$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$v_{Rd,c} = 0,354 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = 0,668 \text{ MPa}$
$u_1 = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,25) = 4,342 \text{ m}$	$b_o = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot 0,25) = 1,985 \text{ m}$
$\alpha = 90^\circ$ $\beta = 1,15$ (εσωτερικό υποστύλωμα) $v_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} / (u_1 \cdot d_v) =$ $= 1,15 \cdot (500/1000) / (4,342 \cdot 0,25) =$	$\beta = 1,15$ (εσωτερικό υποστύλωμα) $\tau_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} / (b_o \cdot d) =$ $= 1,15 \cdot (500/1000) / (1,985 \cdot 0,25) =$ $= 1,16 \text{ MPa}$

$$= 0,53 \text{ MPa}$$

$$s_r = 0,75d = 0,75 \cdot 25 = 18,75 \text{ cm}$$

$$V_{Rd,cs} = 0,75V_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha \Rightarrow$$

$$0,53 = 0,75 \cdot 0,354 + 1,5 \cdot \frac{250}{187,5} A_{sw} \cdot 312,5 \cdot \frac{1}{434,2 \cdot 25} \cdot 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{sw} = 4,59 \text{ cm}^2 \text{ (σε κάθε περίμετρο)}$$

Για  $\Phi 10$ , η απόσταση  $s_t$  υπολογίζεται ως εξής:

$$A_{sw, \min}(1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08(f_{ck})^{1/2} / f_{yk} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_{t, \max} = 113,36 \text{ cm}$$

$$1,5d = 1,5 \cdot 25 = 37,5 \text{ cm} < s_{t, \max} = 113,36 \text{ cm}$$

Περίμετρος πέραν της οποίας δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out,ef} = \beta \cdot V_{Ed} / (V_{Rd,c} \cdot d) =$$

$$= 1,15 \cdot 0,5 / (0,354 \cdot 0,25) = 6,5 \text{ m}$$

$$r_{out,ef} = (u_{out,ef} - 2b - 2h) / (2\pi) =$$

$$= (6,5 - 2 \cdot 0,3 - 2 \cdot 0,3) / (2\pi) = 0,84 \text{ m}$$

$$\eta_c = \tau_{Rd,c} / \tau_{Ed} = 0,668 / 1,16 = 0,58$$

$\mu_p = 8$  (εσωτερικό υποστύλωμα)

$$k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d}{b_0}} = \sqrt{5 \cdot 8 \cdot \frac{0,25}{1,985}} =$$

$$= 2,245 < 2,5$$

$$d_{dg} = 2,6 \text{ cm}$$

$$\eta_s = \left(15 \frac{d_{dg}}{d}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}}\right)^{\frac{3}{2}} =$$

$$= \left(15 \frac{2,6}{25}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{0,58 \cdot 2,245}\right)^{\frac{3}{2}} =$$

$$= 0,85 > 0,8$$

$$s_r = 0,5d = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$$

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1,16 = 0,58 \cdot 0,668 + 0,85 \cdot \rho_w \cdot 435 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho_w = 0,00209 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{sw} / (s_r \cdot s_t) = 0,00209$$

$$\Rightarrow A_{sw} / s = 0,00209 \cdot s_r = 0,00209 \cdot 12,5 =$$

$$= 0,0261 \text{ cm}^2 / \text{cm}$$

Περίμετρος πέραν της οποίας δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$b_{out,ef} = b_0 \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c}\right)^2 =$$

$$= 1,985 \left(\frac{1}{0,58}\right)^2 = 5,9 \text{ m}$$

$$r_{out,ef} = (b_{out,ef} - 2b - 2h) / (2\pi) =$$

$$= (5,9 - 2 \cdot 0,3 - 2 \cdot 0,3) / (2\pi) = 0,75 \text{ m}$$

Έστω  $n=8$  σε κάθε περίμετρο. Τότε:

$$s_t = b_0 / n = 1,985 / 8 = 0,248 \text{ m}$$

$$A_{sw} = 0,0261 \cdot 24,8 = 0,647 \text{ cm}^2$$

Άρα τοποθετούμε  $8\Phi 10$  σε κάθε περίμετρο με  $A_{sw, \text{tot}} = 8 \cdot 0,785 = 6,28 \text{ cm}^2$

Για  $\Phi 10$ , η απόσταση  $s_t$  υπολογίζεται ως εξής:

$$A_{sw, \min}(1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08(f_{ck})^{1/2} / f_{yk} \Rightarrow$$

<p><u>1<sup>η</sup> περίμετρος:</u> μεταξύ 0,3d και 0,5d</p> $0,3d = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ cm}$ $0,5d = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$ <p>Επιλέγεται <math>r_a = 10 \text{ cm}</math>  <math>u_a = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r_a =</math>  <math>= 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot \pi \cdot 0,10 = 1,83 \text{ m}</math></p> <p>Για <b>Φ10</b> έχουμε:  <math>n = A_{sw}/A_{\Phi 10} = 4,59/0,79 = 6 \text{ σίδερα} \rightarrow 8 \text{ για}</math>  <b>συμμετρία</b></p> $s_t = u_a/n = 183/8 = 22,88 \text{ cm} < s_{t,max}$ $< 2d = 50 \text{ cm}$ <p>Τελικά, για περίμετρο <math>u=1,83 \text{ m}</math> ισχύουν:  <math>s_t = 22,88 \text{ cm}</math>  <math>A_{sw,tot} = 6,32 \text{ cm}^2</math></p> <p><u>2<sup>η</sup> περίμετρος</u></p> $r_b = r_a + s_r = 10 + 18,75 = 28,75 \text{ cm}$ $u_b = 2b + 2h + 2\pi r_b =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,2875 = 3 \text{ m}$ Για <b>Φ10</b> και $n=8$ : $s_t = u_b/n = 300/8 = 37,5 \text{ cm} < s_{t,max}$ $< 2d = 50 \text{ cm}$ <p>Τελικά, για περίμετρο <math>u=3 \text{ m}</math> ισχύουν:  <math>s_t = 37,5 \text{ cm}</math>  <math>A_{sw,tot} = 6,32 \text{ cm}^2</math></p> <p><u>3<sup>η</sup> περίμετρος</u></p> $r_c = r_b + s_r = 28,75 + 18,75 = 47,5 \text{ cm}$ $u_c = 2b + 2h + 2\pi r_c =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,475 = 4,18 \text{ m}$ $r_{out,ef} - r_d = 84 - 47,5 = 36,5 \text{ cm} < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$ <p><b>Τελικά, τοποθετούμε 2 περιμέτρους οπλισμού.</b></p>	$\Rightarrow s_{t,max} = 169,96 \text{ cm}$ <p><u>1<sup>η</sup> περίμετρος:</u> μεταξύ 0,3d και 0,5d</p> $0,3d = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ cm}$ $0,5d = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$ <p>Επιλέγεται <math>r_a = 10 \text{ cm}</math>  <math>u_a = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r_a =</math>  <math>= 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot \pi \cdot 0,10 = 1,83 \text{ m}</math></p> <p>Για <b>8Φ10</b> έχουμε:</p> $s_t = u_a/n = 183/8 = 22,88 \text{ cm} < s_{t,max}$ $r_a=10 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$ <p>Τελικά, για περίμετρο <math>u=1,83 \text{ m}</math> ισχύουν:  <math>s_t = 22,88 \text{ cm}</math>  <math>A_{sw,tot} = 6,32 \text{ cm}^2</math></p> <p><u>2<sup>η</sup> περίμετρος</u></p> $r_b = r_a + s_r = 10 + 12,5 = 22,5 \text{ cm}$ $u_b = 2b + 2h + 2\pi r_b =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,225 = 2,61 \text{ m}$ Για <b>8Φ10</b> : $s_t = u_b/n = 261/8 = 32,63 \text{ cm} < s_{t,max}$ $r_b=22,5 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$ <p>Τελικά, για περίμετρο <math>u=2,61 \text{ m}</math> ισχύουν:  <math>s_t = 32,63 \text{ cm}</math>  <math>A_{sw,tot} = 6,32 \text{ cm}^2</math></p> <p><u>3<sup>η</sup> περίμετρος</u></p> $r_c = r_b + s_r = 22,5 + 12,5 = 35 \text{ cm}$ $u_c = 2b + 2h + 2\pi r_c =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,35 = 3,4 \text{ m}$ <p>Για <b>8Φ10</b>:</p> $s_t = u_c/n = 340/8 = 42,5 \text{ cm} < s_{t,max}$ $r_c=35 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 1,5d = 37,5 \text{ cm}$ <p>Για <b>12Φ10</b>:</p> $s_t = u_c/n = 340/12 = 28,33 \text{ cm} < s_{t,max}$ $r_c=35 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$
---	---



Τελικά, για περίμετρο  $u=3,4$  m ισχύουν:

$$s_t = 28,33 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 9,42 \text{ cm}^2$$

#### 4<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_d = r_c + s_r = 35 + 12,5 = 47,5 \text{ cm}$$

$$u_d = 2b + 2h + 2\pi r_d =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,475 = 4,18 \text{ m}$$

Για **8Φ10**:

$$s_t = u_d/n = 418/8 = 42,25 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 47,5 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Για **12Φ10**:

$$s_t = u_d/n = 418/12 = 34,83 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 47,5 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=4,18$  m ισχύουν:

$$s_t = 34,83 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 9,42 \text{ cm}^2$$

#### 5<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_e = r_d + s_r = 47,5 + 12,5 = 60 \text{ cm}$$

$$u_e = 2b + 2h + 2\pi r_e =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,5 = 4,97 \text{ m}$$

Για **8Φ10**:

$$s_t = u_e/n = 497/8 = 62,13 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 60 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 2d = 50 \text{ cm}$$

Για **12Φ10**:

$$s_t = u_e/n = 497/12 = 41,42 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 60 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 2d = 50 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=4,97$  m ισχύουν:

$$s_t = 41,42 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 9,42 \text{ cm}^2$$

#### 6<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_f = r_e + s_r = 60 + 12,5 = 72,5 \text{ cm}$$

$$u_f = 2b + 2h + 2\pi r_f =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,725 = 5,76 \text{ m}$$

Για **8Φ10**:

$$s_t = u_f/n = 576/8 = 72 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 72,5 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 2d = 50 \text{ cm}$$

Για **12Φ10**:

$$s_t = u_f/n = 576/12 = 48 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 72,5 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 2d = 50 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=5,76 \text{ m}$  ισχύουν:

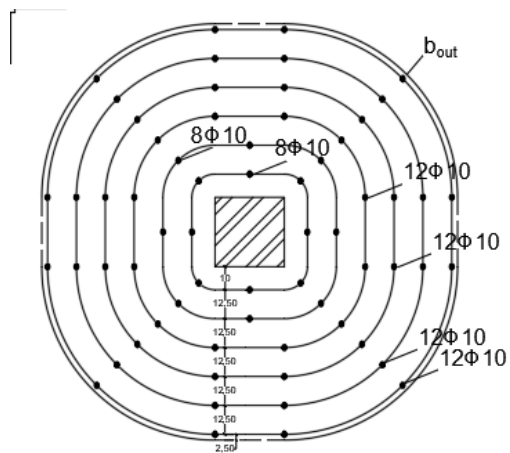
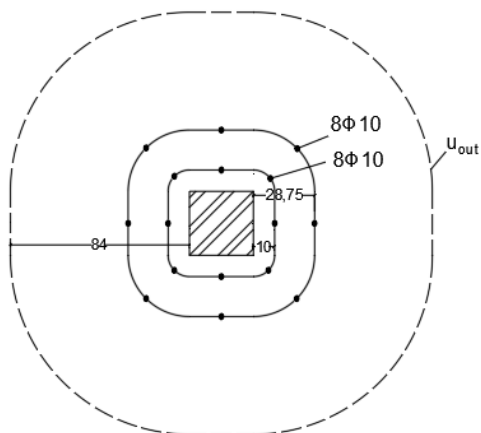
**$s_t = 48 \text{ cm}$**

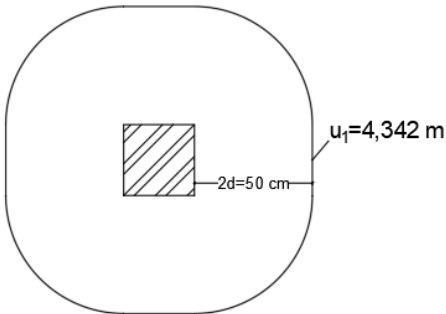
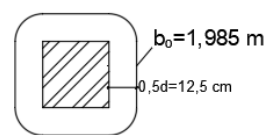
**$A_{sw,tot} = 9,42 \text{ cm}^2$**

7<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_g = r_f + s_r = 72,5 + 12,5 = 85 \text{ cm} > r_{out,ef} = 75 \text{ cm}$$

**Τελικά, τοποθετούνται 6 περίμετροι οπλισμού.**



$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$v_{Rd,c} = 0,5 \text{ MPa}$	$\tau_{Rd,c} = 0,907 \text{ MPa}$
$u_1 = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 0,25) = 4,342 \text{ m}$	$b_o = 2 \cdot h + 2 \cdot d + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot d) =$ $= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot 0,25) = 1,985 \text{ m}$
	
$\alpha = 90^\circ$ $\beta = 1,15 \text{ (εσωτερικό υποστύλωμα)}$ $v_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} / (u_1 \cdot d_v) =$ $= 1,15 \cdot (500/1000) / (4,342 \cdot 0,25) =$ $= 0,53 \text{ MPa}$	$\beta = 1,15 \text{ (εσωτερικό υποστύλωμα)}$ $\tau_{Ed} = \beta \cdot V_{Ed} / (b_o \cdot d) =$ $= 1,15 \cdot (500/1000) / (1,985 \cdot 0,25) =$ $= 1,16 \text{ MPa}$
$s_r = 0,75d = 0,75 \cdot 25 = 18,75 \text{ cm}$	$\eta_c = \tau_{Rd,c} / \tau_{Ed} = 0,907 / 1,16 = 0,78$
$V_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} A_{sw} f_{ywd,ef} \frac{1}{u_1 d} \sin \alpha \Rightarrow$	$\mu_p = 8 \text{ (εσωτερικό υποστύλωμα)}$
$0,53 = 0,75 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot \frac{250}{187,5} A_{sw} \cdot 312,5 \cdot \frac{1}{434,2 \cdot 25} \cdot 1 \Rightarrow$	$k_{pb} = \sqrt{5 \cdot \mu_p \cdot \frac{d}{b_o}} = \sqrt{5 \cdot 8 \cdot \frac{0,25}{1,985}} =$ $= 2,245 < 2,5$
$\Rightarrow A_{sw} = 2,69 \text{ cm}^2 \text{ (σε κάθε περίμετρο)}$	$d_{dg} = 2,6 \text{ cm}$
<p>Για Φ8, η απόσταση <math>s_t</math> υπολογίζεται ως εξής:</p>	$\eta_s = \left( 15 \frac{d_{dg}}{d} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{1}{\eta_c \cdot k_{pb}} \right)^{\frac{3}{2}} =$
$A_{sw, \min} (1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08 (f_{ck})^{1/2} / f_{yk} \Rightarrow$	$= \left( 15 \frac{2,6}{25} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{1}{0,78 \cdot 2,245} \right)^{\frac{3}{2}} =$
$\Rightarrow s_{t, \max} = 45,83 \text{ cm}$	$= 1,25 \cdot 0,432 = 0,54 < 0,8 \rightarrow \eta_s = 0,8$
	$s_r = 0,5d = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$
	$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \cdot \tau_{Rd,c} + \eta_s \cdot \rho_w \cdot f_{ywd} \Rightarrow$
	$\Rightarrow 1,16 = 0,78 \cdot 0,907 + 0,8 \cdot \rho_w \cdot 435 \Rightarrow$
	$\Rightarrow \rho_w = 0,0013 \Rightarrow$
	$\Rightarrow A_{sw} / (s_r \cdot s_t) = 0,0013$
	$\Rightarrow A_{sw} / s_t = 0,0013 \cdot s_r = 0,0013 \cdot 12,5 =$ $= 0,0163 \text{ cm}^2 / \text{cm}$

Περίμετρος πέραν της οποίας δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out,ef} = \beta \cdot V_{Ed} / (v_{Rd,c} \cdot d) = \\ = 1,15 \cdot 0,5 / (0,5 \cdot 0,25) = 4,6 \text{ m}$$

$$r_{out,ef} = (u_{out,ef} - 2b - 2h) / (2\pi) = \\ = (4,6 - 2 \cdot 0,3 - 2 \cdot 0,3) / (2\pi) = 0,54 \text{ m}$$

1<sup>η</sup> περίμετρος: μεταξύ 0,3d και 0,5d

$$0,3d = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ cm} \\ 0,5d = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$$

Επιλέγεται  $r_a = 10 \text{ cm}$

$$u_a = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r_a = \\ = 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot \pi \cdot 0,10 = 1,83 \text{ m}$$

Για **Φ8** έχουμε:

$$n = A_{sw} / A_{\Phi 10} = 2,69 / 0,52 = 6 \text{ σίδερα} \rightarrow \mathbf{8 \text{ για}} \\ \text{συμμετρία}$$

$$s_t = u_a / n = 183 / 8 = 22,88 \text{ cm} < s_{t,max} \\ < 2d = 50 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=1,83 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = \mathbf{22,88 \text{ cm}} \\ A_{sw,tot} = \mathbf{4,16 \text{ cm}^2}$$

2<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_b = r_a + s_r = 10 + 18,75 = 28,75 \text{ cm} \\ u_b = 2b + 2h + 2\pi r_b = \\ = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,2875 = 3 \text{ m}$$

Περίμετρος πέραν της οποίας δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$b_{out,ef} = b_o \left( \frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c} \right)^2 =$$

$$= 1,985 \left( \frac{1}{0,78} \right)^2 = 3,26 \text{ m}$$

$$r_{out,ef} = (b_{out,ef} - 2b - 2h) / (2\pi) = \\ = (3,26 - 2 \cdot 0,3 - 2 \cdot 0,3) / (2\pi) = 0,33 \text{ m}$$

Έστω  $n=8$  σε κάθε περίμετρο. Τότε:

$$s_t = b_o / n = 1,985 / 8 = 0,248 \text{ m} \\ A_{sw} = 0,0163 \cdot 24,8 = 0,404 \text{ cm}^2$$

Άρα τοποθετούμε 8Φ8 σε κάθε περίμετρο με  $A_{sw,tot} = 8 \cdot 0,502 = 4,02 \text{ cm}^2$

Για Φ8, η απόσταση  $s_t$  υπολογίζεται ως εξής:

$$A_{sw,min}(1,5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0,08(f_{ck})^{1/2} / f_{yk} \Rightarrow \\ \Rightarrow s_{t,max} = 68,74 \text{ cm}$$

1<sup>η</sup> περίμετρος: μεταξύ 0,3d και 0,5d

$$0,3d = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ cm} \\ 0,5d = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$$

Επιλέγεται  $r_a = 10 \text{ cm}$

$$u_a = 2 \cdot b + 2 \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r_a = \\ = 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,30 + 2 \cdot \pi \cdot 0,10 = 1,83 \text{ m}$$

Για **8Φ8** έχουμε:

$$s_t = u_a / n = 183 / 8 = 22,88 \text{ cm} < s_{t,max} \\ r_a = 10 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=1,83 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = \mathbf{22,88 \text{ cm}} \\ A_{sw,tot} = \mathbf{4,16 \text{ cm}^2}$$

2<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_b = r_a + s_r = 10 + 12,5 = 22,5 \text{ cm} \\ u_b = 2b + 2h + 2\pi r_b = \\ = 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,225 = 2,61 \text{ m}$$

$$r_{out,ef}-r_d = 54 - 28,75 = 25,25 \text{ cm} < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Για  $s_r = 6,5 \text{ cm}$  ισχύει οριακά:

$$r_b = 10 + 6,5 = 16,5 \text{ cm}$$

$$r_{out,ef}-r_b = 54 - 16,5 = 37,5 \text{ cm} = 1,5d$$

$$u_b = 2b + 2h + 2\pi r_b =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,165 = 2,24 \text{ m}$$

Για  $\Phi 8$  και  $n=8$ :

$$s_t = u_b/n = 224/8 = 28 \text{ cm} < s_{t,max} < 2d = 50 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=2,24 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = 28 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 4,16 \text{ cm}^2$$

**Τελικά, τοποθετούμε 2 περιμέτρους οπλισμού.**

Για  $8\Phi 8$ :

$$s_t = u_b/n = 261/8 = 32,63 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_b = 22,5 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=2,61 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = 32,63 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 4,16 \text{ cm}^2$$

3<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_c = r_b + s_r = 22,5 + 12,5 = 35 \text{ cm}$$

$$u_c = 2b + 2h + 2\pi r_c =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,35 = 3,4 \text{ m}$$

Για  $8\Phi 8$ :

$$s_t = u_c/n = 340/8 = 42,5 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_a = 35 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Για  $12\Phi 8$ :

$$s_t = u_c/n = 340/12 = 28,33 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_c = 35 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=3,4 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = 28,33 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 6,03 \text{ cm}^2$$

4<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_d = r_c + s_r = 35 + 12,5 = 47,5 \text{ cm}$$

$$u_d = 2b + 2h + 2\pi r_d =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,475 = 4,18 \text{ m}$$

Για  $8\Phi 8$ :

$$s_t = u_d/n = 418/8 = 52,25 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 47,5 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Για  $12\Phi 8$ :

$$s_t = u_d/n = 418/12 = 34,83 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 47,5 \text{ cm} < 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 1,5d = 37,5 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u=4,18 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = 34,83 \text{ cm}$$

$$A_{sw,tot} = 6,03 \text{ cm}^2$$

5<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_e = r_d + s_r = 47,5 + 12,5 = 60 \text{ cm}$$

$$u_e = 2b + 2h + 2\pi r_e =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,5 = 4,97 \text{ m}$$

Για **8Φ8**:

$$s_t = u_e/n = 497/8 = 62,13 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 60 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 2d = 50 \text{ cm}$$

Για **12Φ8**:

$$s_t = u_e/n = 497/12 = 41,42 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 60 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 2d = 50 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u = 4,97 \text{ m}$  ισχύουν:

$$s_t = \mathbf{41,42 \text{ cm}}$$

$$A_{sw,tot} = \mathbf{6,03 \text{ cm}^2}$$

6<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_f = r_e + s_r = 60 + 12,5 = 72,5 \text{ cm}$$

$$u_f = 2b + 2h + 2\pi r_f =$$

$$= 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 2\pi \cdot 0,725 = 5,76 \text{ m}$$

Για **8Φ8**:

$$s_t = u_f/n = 576/8 = 72 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 72,5 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow > 2d = 50 \text{ cm}$$

Για **12Φ8**:

$$s_t = u_f/n = 576/12 = 48 \text{ cm} < s_{t,max}$$

$$r_d = 72,5 \text{ cm} > 2d = 50 \text{ cm} \rightarrow < 2d = 50 \text{ cm}$$

Τελικά, για περίμετρο  $u = 5,76 \text{ m}$  ισχύουν:

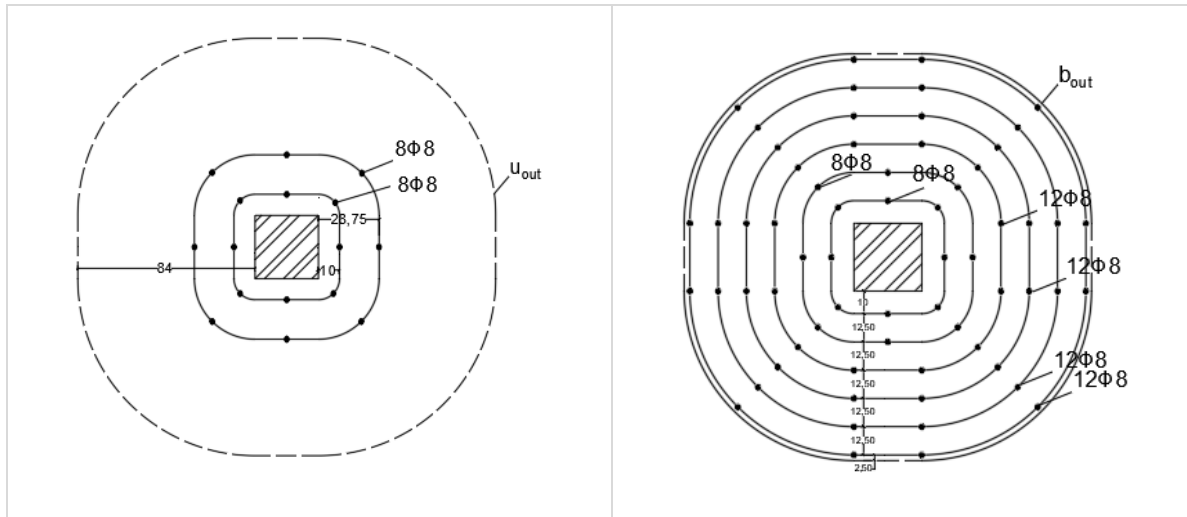
$$s_t = \mathbf{48 \text{ cm}}$$

$$A_{sw,tot} = \mathbf{6,03 \text{ cm}^2}$$

7<sup>η</sup> περίμετρος

$$r_g = r_f + s_r = 72,5 + 12,5 = 85 \text{ cm} > r_{out,ef} = 75 \text{ cm}$$

Τελικά, τοποθετούνται **6** περίμετροι οπλισμού.



## 7.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

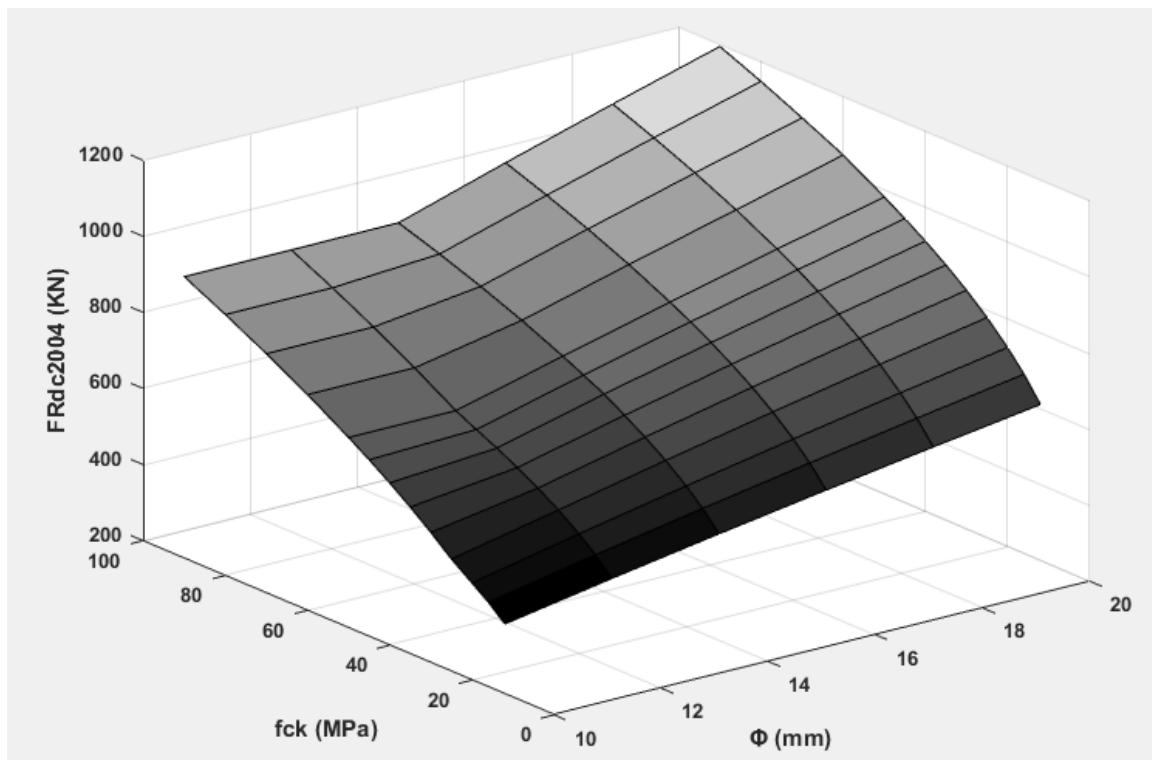
### 7.6.1 Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> Εφαρμογής

Πλάκα με $h=0,30$ m και με οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις Υποσύλωμα με $b=h=0,30$ m και 4Φ20						
$v_{Rd,c}$ (2004)						
$f_{ck}$ (MPa) \ $\Phi$ (mm)	10	12	14	16	18	20
12	0,354	0,400	0,443	0,484	0,524	0,562
16	0,389	0,440	0,487	0,533	0,576	0,618
20	0,419	0,474	0,525	0,574	0,621	0,666
25	0,456	0,510	0,566	0,618	0,669	0,717
30	0,500	0,542	0,601	0,657	0,711	0,762
35	0,540	0,571	0,633	0,692	0,748	0,802
40	0,577	0,597	0,661	0,723	0,782	0,839
45	0,612	0,621	0,688	0,752	0,813	0,873
50	0,645	0,645	0,712	0,779	0,842	0,904
60	0,707	0,707	0,757	0,828	0,895	0,960
70	0,764	0,764	0,797	0,871	0,942	1,011
80	0,816	0,816	0,833	0,911	0,985	1,057
90	0,866	0,866	0,867	0,947	1,025	1,099

Πίνακας 7.1 Αντοχή σε διάτρηση άοπλου σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος και του διαμήκους οπλισμού της πλάκας [EC2 (2004)]

Πλάκα με $h=0,30$ m και με οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις Υποσύλωμα με $b=h=0,30$ m και 4Φ20 Περίμετρος αναφοράς: $u_1 = 4,342$ m						
$F_{Rd,c}$ (2004)						
$f_{ck}$ (MPa) \ $\Phi$ (mm)	10	12	14	16	18	20
12	384,06	433,70	480,64	525,39	568,30	609,66
16	422,71	477,35	529,01	578,26	625,50	671,02
20	455,35	514,21	569,86	622,92	673,80	722,83
25	495,32	553,91	613,86	671,02	725,83	778,64
30	542,59	588,62	652,33	713,06	771,31	827,43
35	586,07	619,65	686,72	750,66	811,98	871,06
40	626,53	647,86	717,98	784,82	848,93	910,71
45	664,54	673,80	746,73	816,25	882,93	947,17
50	700,49	700,49	773,42	845,43	914,49	981,03
60	767,34	767,34	821,88	898,40	971,79	1042,50
70	828,83	828,83	865,21	945,77	1023,03	1097,47
80	886,05	886,05	904,60	988,82	1069,59	1147,42
90	939,80	939,80	940,82	1028,41	1112,42	1193,36

Πίνακας 7.2 Αναγωγή αντοχής στην περίμετρο αναφοράς [EC2 (2004)]

Διάγραμμα 7.1 Αντοχή σε διάτρηση ανηγμένη στην περίμετρο ελέγχου συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος  $f_{ck}$  και της διαμέτρου  $\Phi$  του διαμήκους οπλισμού της πλάκας [EC2 (2004)]

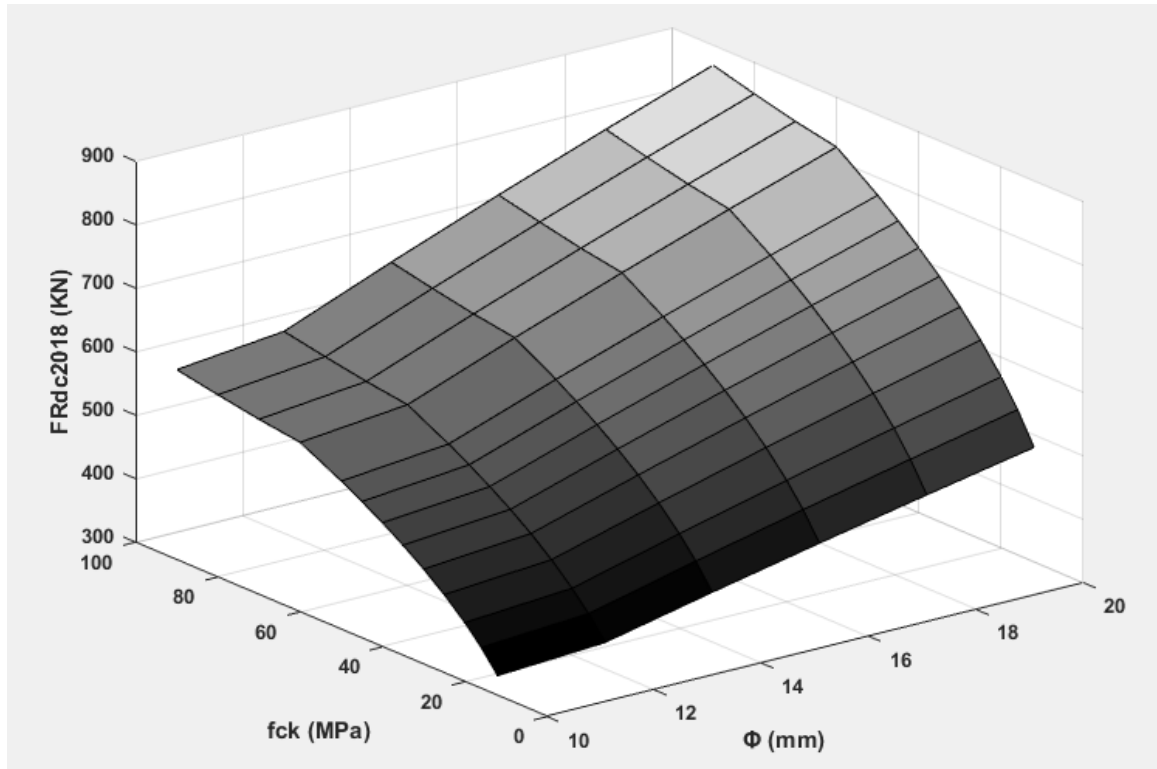


Πλάκα με $h=0,30$ m και με οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις Υποσύλωμα με $b=h=0,30$ m και 4Φ20						
$v_{Rd,c}$ (2018)						
$f_{ck}$ (MPa) \ $\Phi$ (mm)	10	12	14	16	18	20
12	0,668	0,688	0,763	0,834	0,902	0,968
16	0,736	0,758	0,840	0,918	0,993	1,065
20	0,792	0,816	0,905	0,989	1,070	1,147
25	0,854	0,879	0,974	1,065	1,152	1,236
30	0,907	0,934	1,036	1,132	1,224	1,314
35	0,955	0,984	1,090	1,192	1,289	1,383
40	0,998	1,028	1,140	1,246	1,348	1,446
45	1,038	1,070	1,185	1,296	1,402	1,504
50	1,075	1,108	1,228	1,342	1,452	1,557
60	1,143	1,177	1,305	1,426	1,543	1,655
70	1,161	1,196	1,325	1,449	1,567	1,681
80	1,183	1,219	1,351	1,476	1,597	1,713
90	1,207	1,244	1,378	1,507	1,630	1,748

Πίνακας 7.3 Αντοχή σε διάτρηση άοπλου σκυροδέματος συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος και του διαμήκους οπλισμού της πλάκας [EC2 (2018)]

Πλάκα με $h=0,30$ m και με οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις Υποσύλωμα με $b=h=0,30$ m και 4Φ20 Περίμετρος αναφοράς: $b_o = 1,985$ m						
$F_{Rd,c}$ (2018)						
$f_{ck}$ (MPa) \ $\Phi$ (mm)	10	12	14	16	18	20
12	331,63	341,65	378,63	413,88	447,69	480,27
16	365,01	376,04	416,74	455,54	492,75	528,61
20	393,19	405,08	448,92	490,71	530,80	569,42
25	423,55	436,35	483,58	528,61	571,79	613,39
30	450,09	463,70	513,88	561,73	607,61	651,83
35	473,83	488,15	540,98	591,35	639,65	686,20
40	495,39	510,36	565,60	618,26	668,77	717,43
45	515,23	530,80	588,25	643,02	695,54	746,16
50	533,64	549,77	609,28	666,00	720,41	772,83
60	567,08	584,22	647,45	707,73	765,55	821,25
70	575,97	593,38	657,60	718,82	777,54	834,12
80	587,02	604,76	670,22	732,62	792,46	850,13
90	599,12	617,22	684,03	747,71	808,79	867,65

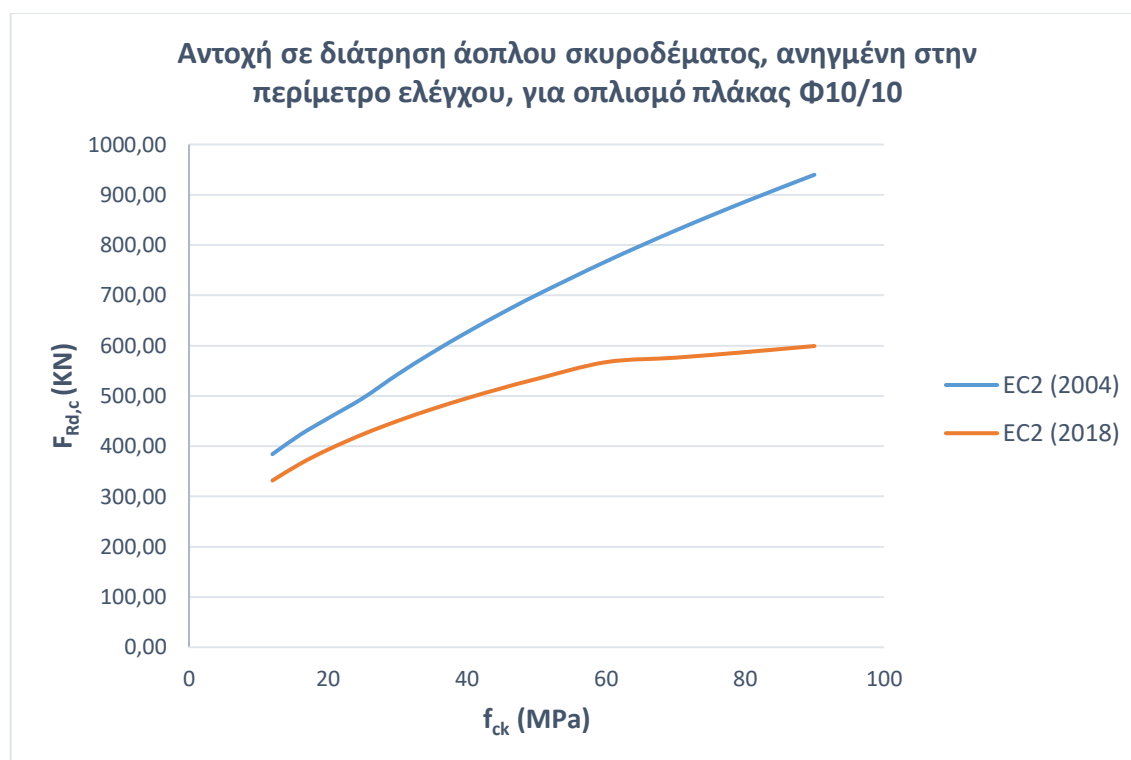
Πίνακας 7.4 Αναγωγή αντοχής στην περίμετρο αναφοράς [EC2 (2018)]



Διάγραμμα 7.2 Αντοχή σε διάτρηση ανηγμένη στην περίμετρο ελέγχου συναρτήσεως της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος  $f_{ck}$  και της διαμέτρου  $\Phi$  του διαμήκους οπλισμού της πλάκας [EC2 (2018)]

Πλάκα με $h=0,30$ m και με οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις Υποστύλωμα με $b=h=0,30$ m και 4 $\Phi$ 20						
$F_{Rd,c} (2004) / F_{Rd,c} (2018)$						
$f_{ck} (MPa) \backslash \Phi (mm)$	10	12	14	16	18	20
12	1,16	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
16	1,16	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
20	1,16	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
25	1,17	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
30	1,21	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
35	1,24	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
40	1,26	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
45	1,29	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
50	1,31	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
60	1,35	1,31	1,27	1,27	1,27	1,27
70	1,44	1,40	1,32	1,32	1,32	1,32
80	1,51	1,47	1,35	1,35	1,35	1,35
90	1,57	1,52	1,38	1,38	1,38	1,38

Πίνακας 7.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ EC2 (2004) και EC2 (2018)



Διάγραμμα 7.3 Αντοχή σε διάτρηση άοπλου σκυροδέματος, ανηγμένη στην περίμετρο ελέγχου, για πλάκα με διαμήκη οπλισμό Φ10/10 και στις δύο διευθύνσεις

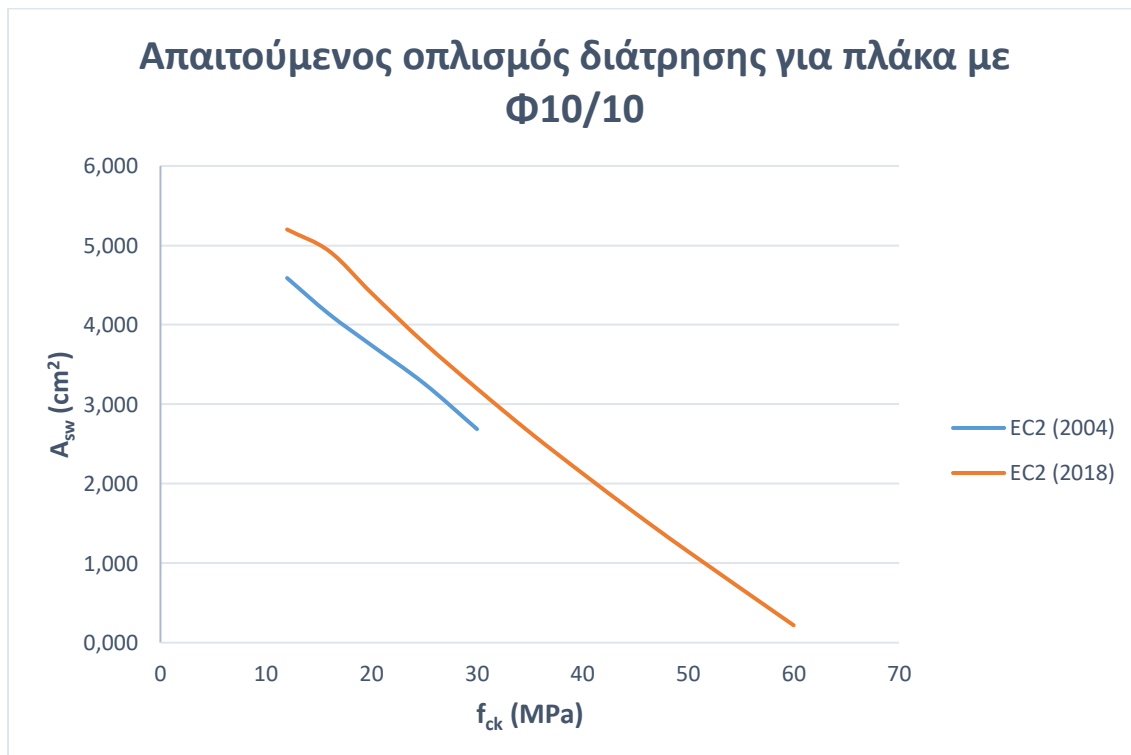
### 7.6.2 Αποτελέσματα 2<sup>ης</sup> Εφαρμογής

<b>Πλάκα με <math>h=0,30</math> m και διαμήκη οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις</b> <b>Υποστύλωμα με <math>b=h=0,30</math> m και 4Φ20</b> <b>Δρώσα διατμητική δύναμη: <math>V_{Ed} = 500</math> kN</b>						
<b><math>A_{sw,tot}</math> (2004)</b>						
$\Phi$ (mm) \ $f_{ck}$ (MPa)	10	12	14	16	18	20
12	4,589	3,990	3,430	2,896	2,375	-
16	4,133	3,469	2,857	-	-	-
20	3,743	3,026	2,362	-	-	-
25	3,261	2,557	-	-	-	-
30	2,688	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 7.6 Οπλισμός διάτρησης ανά περίμετρο συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος και του διαμήκους οπλισμού της πλάκας [EC2 (2004)]

Πλάκα με $h=0,30$ m και διαμήκη οπλισμό ανά 10 cm και στις δύο διευθύνσεις Υποσύλωμα με $b=h=0,30$ m και 4Φ20 Δρώσα διατμητική δύναμη: $V_{Ed} = 500$ KN						
$A_{sw,tot}$ (2018)						
$\Phi$ (mm) $f_{ck}$ (MPa)	10	12	14	16	18	20
12	5,200	5,271	4,678	3,980	3,253	2,493
16	4,927	4,724	3,918	3,074	2,191	1,279
20	4,400	4,162	3,220	2,240	1,213	0,163
25	3,772	3,505	2,421	1,279	0,092	-
30	3,197	2,891	1,654	0,373	-	-
35	2,647	0,948	0,948	-	-	-
40	2,130	1,756	0,261	-	-	-
45	1,629	1,213	-	-	-	-
50	1,147	0,704	-	-	-	-
60	0,219	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 7.7 Οπλισμός διάτρησης ανά περίμετρο συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος και του διαμήκους οπλισμού της πλάκας [EC2 (2018)]



Διάγραμμα 7.4 Απαιτούμενος οπλισμός διάτρησης για πλάκα με διαμήκη οπλισμό  $\Phi 10/10$  και στις δύο διευθύνσεις

## **7.7 Συμπεράσματα**

Η παραπάνω διερεύνηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο νέος κανονισμός του 2018 είναι αρκετά αυστηρότερος όσον αφορά τον απαιτούμενο σπλισμό διάτρησης. Συγκεκριμένα, απαιτούνται περισσότερες περιμέτροι σπλισμού, αλλά και μεγαλύτερα ποσά σπλισμού σε κάθε μία από αυτές, για διάφορες περιπτώσεις της αντοχής και του διαμήκους πολισμού της πλάκας.



## 8 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΡΩΓΜΩΝ

### 8.1 Εισαγωγή

Για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος απαιτείται η τοποθέτηση ενός ελάχιστου ποσοστού οπλισμού με συνάφεια στις περιοχές που αναμένεται να αναπτυχθεί εφελκυσμός. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ της εφελκυστικής δύναμης στο σκυροδέμα αμέσως πριν την εμφάνιση της ρηγμάτωσης και της εφελκυστικής δύναμης στον οπλισμό κατά τη διαρροή ή και σε χαμηλότερη τάση, εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο για τον περιορισμό του εύρους της ρωγμής.

### 8.2 EC2 (2004) – [7.3.2]

Εφόσον δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, βάσει του οποίου να προκύπτουν μικρότερα ποσοστά οπλισμού, ο απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός μπορεί να υπολογίζεται όπως προβλέπεται παρακάτω. Σε σύνθετες διατομές, όπως αυτές των πλακοδοκών ή οι κιβωτιοειδείς, ο ελάχιστος οπλισμός μπορεί να υπολογίζεται για τα επιμέρους τμήματα που συνθέτουν τη διατομή (πέλματα, δοκούς κλπ).

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

όπου:

$A_{s,min}$  το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού της εφελκυστικής ζώνης

$A_{ct}$  είναι το εμβαδόν του σκυροδέματος της εφελκυστικής ζώνης. Η εφελκυστική ζώνη είναι το τμήμα εκείνο της διατομής που υπολογίζεται ότι βρίσκεται υπό εφελκυσμό αμέσως μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης

$\sigma_s$  είναι η απόλυτη τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης του οπλισμού αμέσως μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης. Αυτή μπορεί να λαμβάνεται ίση προς το όριο διαρροής  $f_{yk}$ . Ωστόσο, μπορεί να απαιτείται η χρήση χαμηλότερης τιμής για να ικανοποιούνται τα όρια του εύρους ρωγμής σύμφωνα με τους περιορισμούς στη διάμετρο ή την απόσταση των ράβδων.

$f_{ct,eff}$  είναι η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος που ισχύει τη στιγμή που τα ρήγματα αναμένεται να δημιουργηθούν για πρώτη φορά

[ $f_{ct,eff} = f_{ctm}$  ή χαμηλότερη ( $f_{ctm}(t)$ ), αν η ρηγμάτωση αναμένεται να συμβεί πριν τις 28 ημέρες]

$k$  είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή των ανομοιομορφων αυτοϊσορροπούμενων τάσεων που οδηγούν σε μείωση των δυνάμεων που προκύπτουν λόγω παρεμπόδισης της παραμόρφωσης

$k = 1,0$  για κορμούς με  $h \leq 300$  mm ή πέλματα με πλάτη  $< 300$  mm

$k = 0,65$  για κορμούς με  $h \geq 800$  mm ή πέλματα με πλάτη  $> 800$  mm,

για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να γίνεται παρεμβολή

$k_c$  είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η ανακατανομή των τάσεων εντός της διατομής αμέσως πριν την ρηγμάτωση και την αλλαγή του μοχλοβραχίονα:

Για καθαρό εφελκυσμό  $k_c = 1,0$

Για καθαρή κάμψη ή κάμψη με ορθή δύναμη:

- Για ορθογωνικές διατομές και κορμούς πλακοδοκών ή κιβωτιοειδών διατομών:

$$k_c = 0,4 \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1(h/h^*)f_{ct,eff}} \right] \leq 1$$

- Για πέλματα πλακοδοκών ή κιβωτιοειδών διατομών:

$$k_c = 0,9 \frac{F_{cr}}{A_{ct}f_{ct,eff}} \geq 0,5$$

όπου:

$\sigma_c$  είναι η μέση τάση του σκυροδέματος η οποία δρα στο θεωρούμενο τμήμα της διατομής:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh}$$

$N_{Ed}$  είναι η αξονική δύναμη στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας στο θεωρούμενο τμήμα της διατομής (θετική για θλίψη). Η  $N_{Ed}$  μπορεί να υπολογίζεται λαμβάνοντας τις χαρακτηριστικές τιμές της προέντασης και της ορθής δύναμης για τον θεωρούμενο συνδυασμό δράσεων

$h^* = h$  για  $h < 1,0$  m

$h^* = 1,0$  m για  $h \geq 1,0$  m

$k_1$  είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή των αξονικών δυνάμεων στην κατανομή των τάσεων:

$k_1 = 1,5$  αν η  $N_{Ed}$  είναι θλιπτική

$k_1 = \frac{2h^*}{3h}$  αν η  $N_{Ed}$  είναι εφελκυστική

$F_{cr}$  είναι η απόλυτη τιμή της μέγιστης εφελκυστικής δύναμης στο πέλμα αμέσως πριν τη ρηγμάτωση, λόγω της ροπής ρηγμάτωσης που υπολογίζεται βάσει της  $f_{ct,eff}$



**8.3 EC2 (2018) – [9.2.2]**

Ο υπολογισμός του ελάχιστου οπλισμού υπολογίζεται όπως παρακάτω:

- ΚΑΘΑΡΗ ΚΑΜΨΗ

$$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{h-h_{ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}} \geq \frac{0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{f_{yk}}$$

$$A_{s,min,w2} = 0$$

- ΚΑΘΑΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

$$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} = \frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}} \geq \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$$

- ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΚΑΜΨΗΣ ΚΑΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ

$$A_{s,min,w1} = \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}} \begin{cases} \geq \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}} \\ \geq 0 \\ \leq \max\left(\frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}; \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}\right) \end{cases}$$

$$A_{s,min,w2} = -\frac{N_{Ed}}{\sigma_{s,lim}} - A_{s,min,w1} \begin{cases} \leq A_{s,min,w1} \\ \geq 0 \end{cases}$$

όπου:

$A_c$  είναι το εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος

$A_{s,min,w1}$  είναι το ποσοστό του οπλισμού που τοποθετείται στην περισσότερο εφελκούμενη περιοχή της διατομής

$A_{s,min,w2}$  είναι το ποσοστό του οπλισμού που τοποθετείται στην λιγότερο εφελκούμενη περιοχή της διατομής

$N_{Ed}$  είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας που δρα στην εν λόγω διατομή (η θλιπτική δύναμη έχει θετικό πρόσημο). Η  $N_{Ed}$  προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις χαρακτηριστικές τιμές της προέντασης και των αξονικών φορτίων για το συχνό συνδυασμό των δράσεων.

$\sigma_{s,lim}$  είναι η απόλυτη τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης του οπλισμού αμέσως μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης. Αυτή μπορεί να λαμβάνεται ίση προς το όριο διαρροής  $f_{yk}$ . Ελλείψει αυστηρότερων μεθόδων, για κάμψη με οπλισμό με ραβδώσεις και με περιθώριο για ενίσχυση

και για  $r=0$  (δηλαδή βραχυπρόθεσμη φόρτιση, επιβαλλόμενες παραμορφώσεις ή κατασκευή χωρίς σημαντικές δεσμεύσεις) η  $\sigma_{s,lim}$  μπορεί να ληφθεί ως:

$$\sigma_{s,lim} = \frac{1,4 \cdot f_{ct,ef}}{\varphi} \cdot \left[ \sqrt{c^2 + 1,2 \cdot w_{lim,cal} \cdot \varphi \cdot \frac{E_s}{f_{ct,ef}}} - c \right]$$

Για βραχυπρόθεσμη φόρτιση, σε στοιχεία με σημαντικές δεσμεύσεις, θα πρέπει να χρησιμοποιείται μία γενικότερη διατύπωση που θα περιλαμβάνει και τη συρρίκνωση.

$f_{ct,ef}$  είναι η μέση τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του σκυροδέματος που είναι ενεργό όταν αναμένεται να εμφανιστεί η πρώτη ρωγμή με :  $f_{ct,ef} = f_{ctm}$  ή  $f_{ct,ef} = f_{ctm}(t)$ , εάν η ρηγματώση ξεκινά σε  $t < t_{ref}$

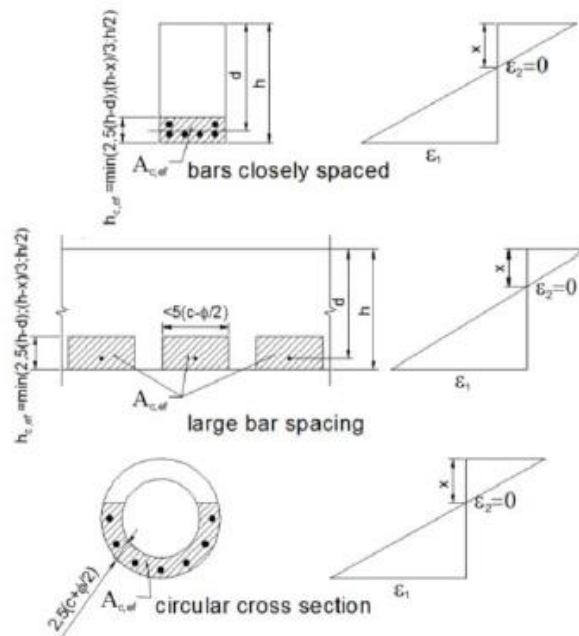
$k_h$  είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή των ανομοιομορφων αυτοίσοροπούμενων τάσεων που οδηγούν σε μείωση της φαινόμενης αντοχής εφελκυσμού και μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$k_h = 1,30 - \min(b(m); h(m)) \begin{cases} \leq 0,8 \\ \geq 0,5 \end{cases}$$

όπου  $b, h$  είναι οι διαστάσεις της υπό μελέτη διατομής και το  $h_{c,ef}$  υπολογίζεται ακολούθως:

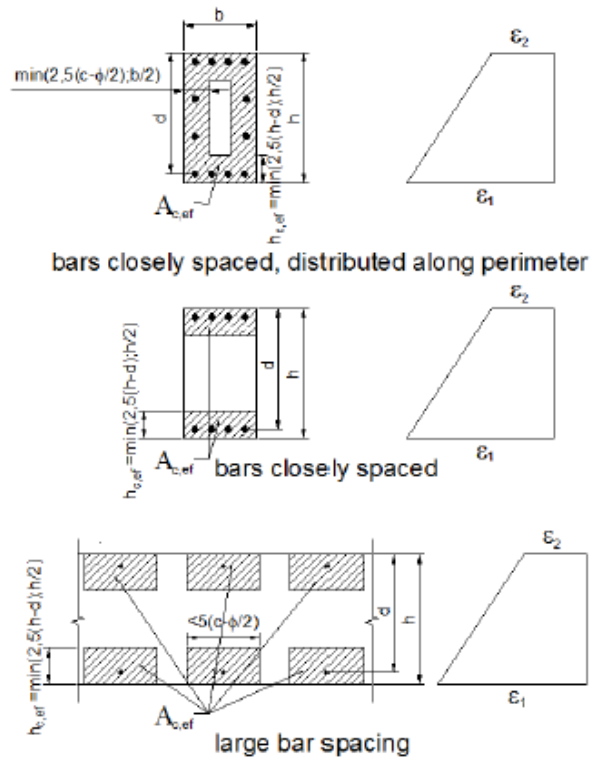
Γενικά:

$$h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2; (h-x)/3]$$



Σχήμα 8.1 Ενεργό ύψος διατομής - Γενική περίπτωση [EC2 (2018)]

Για μέλη υπό κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη:



Σχήμα 8.2 Ενεργό ύψος διατομής - Μέλη υπό κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη [EC2 (2018)]

Για μέλη υπό εφελκυσμό, με ή χωρίς κάμψη:

$$h_{c,ef} = 2(h-d) + 0,1h \leq \begin{cases} 5(h-d) \\ h/2 \\ (h-x)/3 \text{ (bending only)} \end{cases}$$

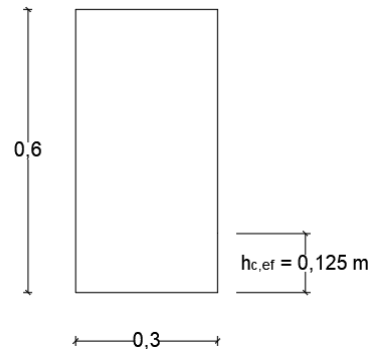
#### 8.4 Αιτίες αλλαγής

Ζητήθηκε από πολλές χώρες η ανάπτυξη μίας σχέσης για τον υπολογισμό του ελάχιστου οπλισμού για συνδυασμό κάμψης και αξονικής δύναμης. Η σχέση που παρέχει ο ισχύων EC2 (2004) είναι μακροσκελής, δυσνόητη, είναι μία ασφαλής προσέγγιση χωρίς ανώτατο όριο και λαμβάνει υπόψη την κατανομή του οπλισμού σε στοιχεία υπό εφελκυσμό που απαιτούν περισσότερες στρώσεις χάλυβα. Η προτεινόμενη διατύπωση από τον EC2 (2018) βελτιώνει όλα τα παραπάνω και διαφοροποιεί την πρωτογενή από τη δευτερογενή ρωγμή, περιορίζοντας έτσι τον ελάχιστο οπλισμό που απαιτούν οι διατομές με μεγάλο ύψος.

### 8.5 Διερεύνηση

Έστω ορθογωνική διατομή με διαστάσεις  $b=0,30$  m και  $h=0,60$  m και τα εξής χαρακτηριστικά:

- $A_{ct}^{(2004)} = 30 \cdot 60 / 2 = 900 \text{ cm}^2 = A_{c,ef}^{(2018)}$
- $\sigma_s^{(2004)} = 500 \text{ MPa} = \sigma_{s,lim}^{(2018)}$
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- $h_{c,ef} = \min[2,5 \cdot (h-d); h/2] = \min[2,5 \cdot 5; 30] = 12,5 \text{ cm}$



Στις παρακάτω εφαρμογές υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός για τον περιορισμό των ρωγμών, όταν η διατομή υποβάλλεται σε καθαρή κάμψη, καθαρό εφελκυσμό ή συνδυασμό κάμψης και αξονικής δύναμης.

#### 8.5.1 Εφαρμογή 1<sup>η</sup>: Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού για ορθογωνική διατομή υπό καθαρή κάμψη

<b><math>f_{ck} = 12 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$	$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$
$\sigma_s = 500 \text{ MPa}$	$\geq \frac{0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$
$k_c = 0,4, k=1$	$\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}$
$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(12 \text{ MPa})} = 1,6 \text{ MPa}$	$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(12 \text{ MPa})} = 1,6 \text{ MPa}$
$A_{ct} = 900 \text{ cm}^2$	$A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2$
	$k_h = 1$
	$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 1,6 \cdot 900}{500} = 1,823 \text{ cm}^2$
	$\geq \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1800}{500} = 1,152 \text{ cm}^2$
	$A_{s,min,w2} = 0$
$A_{s,min} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 900}{500} = 1,152 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 1,823 + 0 = 1,823 \text{ cm}^2$

ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΡΩΓΜΩΝ

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$ <p><math>\sigma_s = 500 \text{ MPa}</math></p> <p><math>k_c = 0,4, k=1</math></p> <p><math>f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(30 \text{ MPa})} = 2,9 \text{ MPa}</math></p> <p><math>A_{ct} = 900 \text{ cm}^2</math></p> $A_{s,min} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 900}{500} = 2,088 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$ $\geq \frac{0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$ <p><math>\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}</math></p> <p><math>f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(30 \text{ MPa})} = 2,9 \text{ MPa}</math></p> <p><math>A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>k_h = 1</math></p> $A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 2,9 \cdot 900}{500} = 3,304 \text{ cm}^2$ $\geq \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 1800}{500} = 2,088 \text{ cm}^2$ <p><math>A_{s,min,w2} = 0</math></p> $A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 3,304 + 0 = 3,304 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$ <p><math>\sigma_s = 500 \text{ MPa}</math></p> <p><math>k_c = 0,4, k=1</math></p> <p><math>f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(50 \text{ MPa})} = 4,1 \text{ MPa}</math></p> <p><math>A_{ct} = 900 \text{ cm}^2</math></p> $A_{s,min} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 4,1 \cdot 900}{500} = 2,952 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$ $\geq \frac{0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$ <p><math>\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}</math></p> <p><math>f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(50 \text{ MPa})} = 4,1 \text{ MPa}</math></p> <p><math>A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>k_h = 1</math></p> $A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 4,1 \cdot 900}{500} = 4,672 \text{ cm}^2$ $\geq \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 4,1 \cdot 1800}{500} = 2,952 \text{ cm}^2$ <p><math>A_{s,min,w2} = 0</math></p> $A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 4,672 + 0 = 4,672 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$	$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$
$\sigma_s = 500 \text{ MPa}$	$\geq \frac{0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$
$k_c = 0,4, k=1$	$\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}$
$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(70 \text{ MPa})} = 4,6 \text{ MPa}$	$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(70 \text{ MPa})} = 4,6 \text{ MPa}$
$A_{ct} = 900 \text{ cm}^2$	$A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2$
	$k_h = 1$
	$A_{s,min,w1} = \frac{0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 4,6 \cdot 900}{500} = 5,241 \text{ cm}^2$
	$\geq \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 4,6 \cdot 1800}{500} = 3,312 \text{ cm}^2$
	$A_{s,min,w2} = 0$
$A_{s,min} = \frac{0,4 \cdot 1 \cdot 4,6 \cdot 900}{500} = 3,312 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 5,241 + 0 = 5,241 \text{ cm}^2$

### 8.5.2 Εφαρμογή 2<sup>η</sup>: Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού για ορθογωνική διατομή υπό καθαρό εφελκυσμό

<b>f<sub>ck</sub> = 12 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$	$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} = \frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$
$\sigma_s = 500 \text{ MPa}$	$\geq \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$
$k_c = 1, k=1$	$\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}$
$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(12 \text{ MPa})} = 1,6 \text{ MPa}$	$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(12 \text{ MPa})} = 1,6 \text{ MPa}$
$A_{ct} = 1800 \text{ cm}^2$	$A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2$
	$k_h = 1$
	$A_{s,min,w} = \frac{1,6 \cdot 900}{500} = 2,88 \text{ cm}^2$
	$\geq \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1800}{500} = 2,88 \text{ cm}^2$
$A_{s,min} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1800}{500} = 5,76 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 2,88 + 2,88 = 5,76 \text{ cm}^2$

ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΡΩΓΜΩΝ

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$	$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} = \frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$
$\sigma_s = 500 \text{ MPa}$	$\geq \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$
$k_c = 1, k=1$	$\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}$
$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(30 \text{ MPa})} = 2,9 \text{ MPa}$	$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(30 \text{ MPa})} = 2,9 \text{ MPa}$
$A_{ct} = 1800 \text{ cm}^2$	$A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2$
	$k_h = 1$
	$A_{s,min,w} = \frac{2,9 \cdot 900}{500} = 5,22 \text{ cm}^2$
	$\geq \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 1800}{500} = 5,22 \text{ cm}^2$
$A_{s,min} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 1800}{500} = 10,44 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 5,22 + 5,22 = 10,44 \text{ cm}^2$

<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$	$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} = \frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$
$\sigma_s = 500 \text{ MPa}$	$\geq \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$
$k_c = 1, k=1$	$\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}$
$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(50 \text{ MPa})} = 4,1 \text{ MPa}$	$f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(50 \text{ MPa})} = 4,1 \text{ MPa}$
$A_{ct} = 1800 \text{ cm}^2$	$A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2$
	$k_h = 1$
	$A_{s,min,w} = \frac{4,1 \cdot 900}{500} = 7,38 \text{ cm}^2$
	$\geq \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 4,1 \cdot 1800}{500} = 7,38 \text{ cm}^2$
$A_{s,min} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 4,1 \cdot 1800}{500} = 14,76 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = 7,38 + 7,38 = 14,76 \text{ cm}^2$

$f_{ck} = 70 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$A_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}$ $\sigma_s = 500 \text{ MPa}$ $k_c = 1, k=1$ $f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(70 \text{ MPa})} = 4,9 \text{ MPa}$ $A_{ct} = 1800 \text{ cm}^2$ $A_{s,min} = \frac{1 \cdot 4,9 \cdot 1800}{500} = 17,64 \text{ cm}^2$	$A_{s,min,w1} = A_{s,min,w2} = \frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$ $\geq \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}}$ $\sigma_{s,lim} = 500 \text{ MPa}$ $f_{ct,eff} = f_{ctm}^{(70 \text{ MPa})} = 4,9 \text{ MPa}$ $A_c = 1800 \text{ cm}^2, A_{c,ef} = 900 \text{ cm}^2$ $k_h = 1$ $A_{s,min,w} = \frac{4,9 \cdot 900}{500} = 8,82 \text{ cm}^2$ $\geq \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 4,9 \cdot 1800}{500} = 8,82 \text{ cm}^2$ $A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} =$ $= 8,82 + 8,82 = 17,64 \text{ cm}^2$

### 8.5.3 Εφαρμογή 3<sup>η</sup>: Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού για ορθογωνική διατομή υπό συνδυασμό κάμψης και αξονικής

$f_{ck} = 12 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ct,eff} = 1,6 \text{ MPa}, N_{Ed} = 150 \text{ KN}$ $k=1, k_1=1,5$ $h^*=h=0,60 \text{ m}$ $\sigma_c = N_{Ed}/(b \cdot d) = 150/(0,3 \cdot 0,6) = 0,83 \text{ MPa}$ $k_c = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot (h/h^*) \cdot f_{ct,eff}}\right) =$ $= 0,4 \cdot \left(1 - \frac{0,83}{1,5 \cdot 1 \cdot 1,6}\right) = 0,261 < 1$	$f_{ct,eff} = 1,6 \text{ MPa}, kh=1$ $h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2] =$ $= [12,5; 30] = 12,5 \text{ cm}$ $A_{s,min,w1} = \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$ $= \frac{-0,3 \cdot 150 + 0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 1,6 \cdot 900}{(500/10)} =$ $= 0,924 \text{ cm}^2$ $\geq \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}} =$ $= \frac{-0,3 \cdot 150 + 0,2 \cdot 1 \cdot 1,6/10 \cdot 1800}{(500/10)} =$



$A_{s,min} = \frac{1}{\sigma_s} \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} =$ $= \frac{1}{500} \cdot 0,261 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 900 = 0,752 \text{ cm}^2$	$= 0,252 \text{ cm}^2$ $\geq 0$ $\leq \max\left(\frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}; \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} A_c}{f_{yk}}\right)$ $= \max\left(\frac{1,6 \cdot 900}{500}; \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1800}{500}\right) =$ $= 2,88 \text{ cm}^2$ $A_{s,min,w2} = -\frac{N_{Ed}}{\sigma_{s,lim}} - A_{s,min,w1} =$ $= -\frac{150}{(500/10)} - 0,924 =$ $= -3,924 \text{ cm}^2$ $\leq 0$ $\rightarrow A_{s,min,w2} = 0$ $A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} =$ $= 0,924 + 0 = 0,924 \text{ cm}^2$
---	--

<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}, N_{Ed} = 150 \text{ KN}$  $k=1, k_1=1,5$  $h^*=h=0,60 \text{ m}$  $\sigma_c = N_{Ed}/(b \cdot d) = 150/(0,3 \cdot 0,6) = 0,83 \text{ MPa}$  $k_c = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot (h/h^*) \cdot f_{ct,eff}}\right) =$  $= 0,4 \cdot \left(1 - \frac{0,83}{1,5 \cdot 1 \cdot 2,9}\right) = 0,323 < 1$	$f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}, k_h=1$  $h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2] =$  $= [12,5; 30] = 12,5 \text{ cm}$  $A_{s,min,w1} = \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$  $= \frac{-0,3 \cdot (-150) + 0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 2,9/10 \cdot 900}{(500/10)} =$  $= 2,406 \text{ cm}^2$  $\geq \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}} =$  $= \frac{-0,3 \cdot 150 + 0,2 \cdot 1 \cdot 2,9/10 \cdot 1800}{(500/10)} =$  $= 1,188 \text{ cm}^2$

$A_{s,min} = \frac{1}{\sigma_s} \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} =$ $= \frac{1}{500} \cdot 0,261 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 900 = 1,688 \text{ cm}^2$	$\geq 0$ $\leq \max\left(\frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}; \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} A_c}{f_{yk}}\right)$ $= \max\left(\frac{2,9 \cdot 900}{500}; \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 2,9 \cdot 1800}{500}\right) =$ $= 5,22 \text{ cm}^2$ $A_{s,min,w2} = -\frac{N_{Ed}}{\sigma_{s,lim}} - A_{s,min,w1} =$ $= -\frac{150}{(500/10)} - 2,406 =$ $= -5,406 \text{ cm}^2$ $\leq 0$ $\rightarrow A_{s,min,w2} = 0$ $A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} =$ $= 1,188 + 0 = 1,188 \text{ cm}^2$
---	---

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ct,eff} = 4,1 \text{ MPa}$ , $N_{Ed} = 150 \text{ KN}$	$f_{ct,eff} = 4,1 \text{ MPa}$ , $k_h = 1$
$k = 1$ , $k_1 = 1,5$	$h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2] =$
$h^* = h = 0,60 \text{ m}$	$= [12,5; 30] = 12,5 \text{ cm}$
$\sigma_c = N_{Ed}/(b \cdot d) = 150/(0,3 \cdot 0,6) = 0,83 \text{ MPa}$	$A_{s,min,w1} = \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}$
$k_c = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot (h/h^*) \cdot f_{ct,eff}}\right) =$	$= \frac{-0,3 \cdot (-150) + 0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 4,1/10 \cdot 900}{(500/10)} =$
$= 0,4 \cdot \left(1 - \frac{0,83}{1,5 \cdot 1 \cdot 4,1}\right) = 0,346 < 1$	$= 3,774 \text{ cm}^2$
	$\geq \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} \cdot A_c}{f_{yk}} =$
	$= \frac{-0,3 \cdot 150 + 0,2 \cdot 1 \cdot 4,1/10 \cdot 1800}{(500/10)} =$
	$= 2,052 \text{ cm}^2$
	$\geq 0$

$A_{s,min} = \frac{1}{\sigma_s} \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} =$ $= \frac{1}{500} \cdot 0,261 \cdot 1 \cdot 4,1 \cdot 900 = 2,552 \text{ cm}^2$	$\leq \max\left(\frac{f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff}}{\sigma_{s,lim}}; \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,eff} A_c}{f_{yk}}\right)$ $= \max\left(\frac{4,1 \cdot 900}{500}; \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 4,1 \cdot 1800}{500}\right) =$ $= 7,38 \text{ cm}^2$ $A_{s,min,w2} = -\frac{N_{Ed}}{\sigma_{s,lim}} - A_{s,min,w1} =$ $= -\frac{150}{(500/10)} - 3,774 =$ $= -6,774 \text{ cm}^2$ $\leq 0$ $\rightarrow A_{s,min,w2} = 0$ $A_{s,min,w,tot} = A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} =$ $= 3,774 + 0 = 3,774 \text{ cm}^2$
---	---

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
<p>f<sub>ct,eff</sub> = 4,9 MPa , N<sub>Ed</sub> = 150 KN</p> <p>k=1, k<sub>1</sub>=1,5</p> <p>h*=h=0,60 m</p> <p>σ<sub>c</sub> = N<sub>Ed</sub>/(b·d) = 150/(0,3·0,6) = 0,83 MPa</p> $k_c = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot (h/h^*) \cdot f_{ct,eff}}\right) =$ $= 0,4 \cdot \left(1 - \frac{0,83}{1,5 \cdot 1 \cdot 4,9}\right) = 0,352 < 1$	<p>f<sub>ct,eff</sub> = 4,9 MPa, k<sub>h</sub>=1</p> <p>h<sub>c,ef</sub>=min[2,5(h-d);h/2]=</p> <p>= [12,5;30]=12,5 cm</p> $A_{s,min,w1} = \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,8 \cdot \frac{h-h_{c,ef}}{h} \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{c,eff}}{\sigma_{s,lim}}$ $= \frac{-0,3 \cdot (-150) + 0,8 \cdot \frac{60-12,5}{60} \cdot 4,9/10 \cdot 900}{(500/10)} =$ $= 4,344 \text{ cm}^2$ $\geq \frac{-0,3 \cdot N_{Ed} + 0,2 \cdot k_h \cdot f_{ct,eff} \cdot A_c}{f_{yk}} =$ $= \frac{-0,3 \cdot 150 + 0,2 \cdot 1 \cdot 4,9/10 \cdot 1800}{(500/10)} =$ $= 2,628 \text{ cm}^2$ $\geq 0$

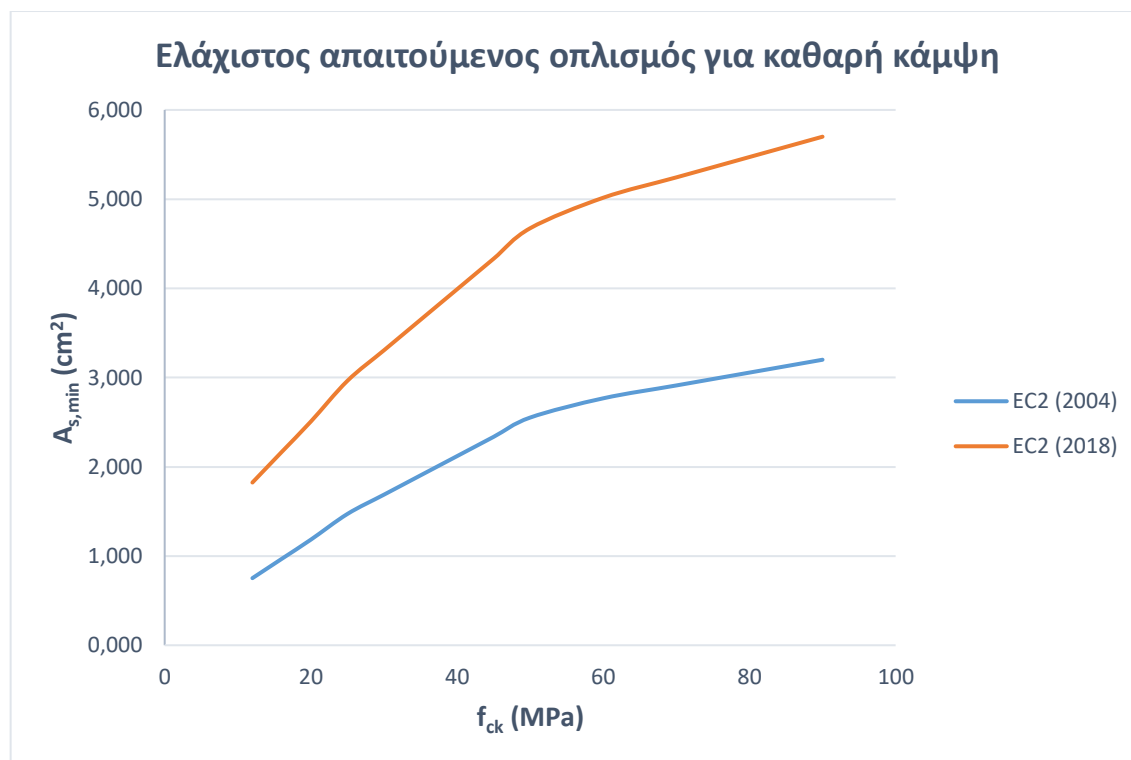
$$\begin{aligned}
 &\leq \max\left(\frac{f_{ct,ef} \cdot A_{c,ef}}{\sigma_{s,lim}}; \frac{0,5 \cdot k_h \cdot f_{ct,ef} A_c}{f_{yk}}\right) \\
 &= \max\left(\frac{4,9 \cdot 900}{500}; \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 4,9 \cdot 1800}{500}\right) = \\
 &\quad = 8,82 \text{ cm}^2 \\
 A_{s,min,w2} &= -\frac{N_{Ed}}{\sigma_{s,lim}} - A_{s,min,w1} = \\
 &= -\frac{150}{(500/10)} - 4,344 = \\
 &\quad = -7,344 \text{ cm}^2 \\
 &\quad \leq 0 \\
 &\quad \rightarrow A_{s,min,w2} = 0 \\
 A_{s,min} &= \frac{1}{\sigma_s} \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} = \\
 &= \frac{1}{500} \cdot 0,261 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 900 = 2,912 \text{ cm}^2 \\
 A_{s,min,w,tot} &= A_{s,min,w1} + A_{s,min,w2} = \\
 &\quad = 8,82 + 0 = 8,82 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

## 8.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

- ΚΑΘΑΡΗ ΚΑΜΨΗ

Ορθογωνική διατομή με b=0,30 m και h=0,60 m				
f <sub>ck</sub> (MPa)	EC2 (2004)	EC2 (2018)		
	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,w1</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,w2</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,tot</sub> (cm <sup>2</sup> )
12	0,752	1,824	0	1,824
16	0,968	2,166	0	2,166
20	1,184	2,508	0	2,508
25	1,472	2,964	0	2,964
30	1,688	3,306	0	3,306
35	1,904	3,648	0	3,648
40	2,120	3,990	0	3,990
45	2,336	4,332	0	4,332
50	2,552	4,674	0	4,674
60	2,768	5,016	0	5,016
70	2,912	5,244	0	5,244
80	3,056	5,472	0	5,472
90	3,200	5,700	0	5,700

Πίνακας 8.1 Ελάχιστος οπλισμός σε συνθήκες καθαρής κάμψης για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος

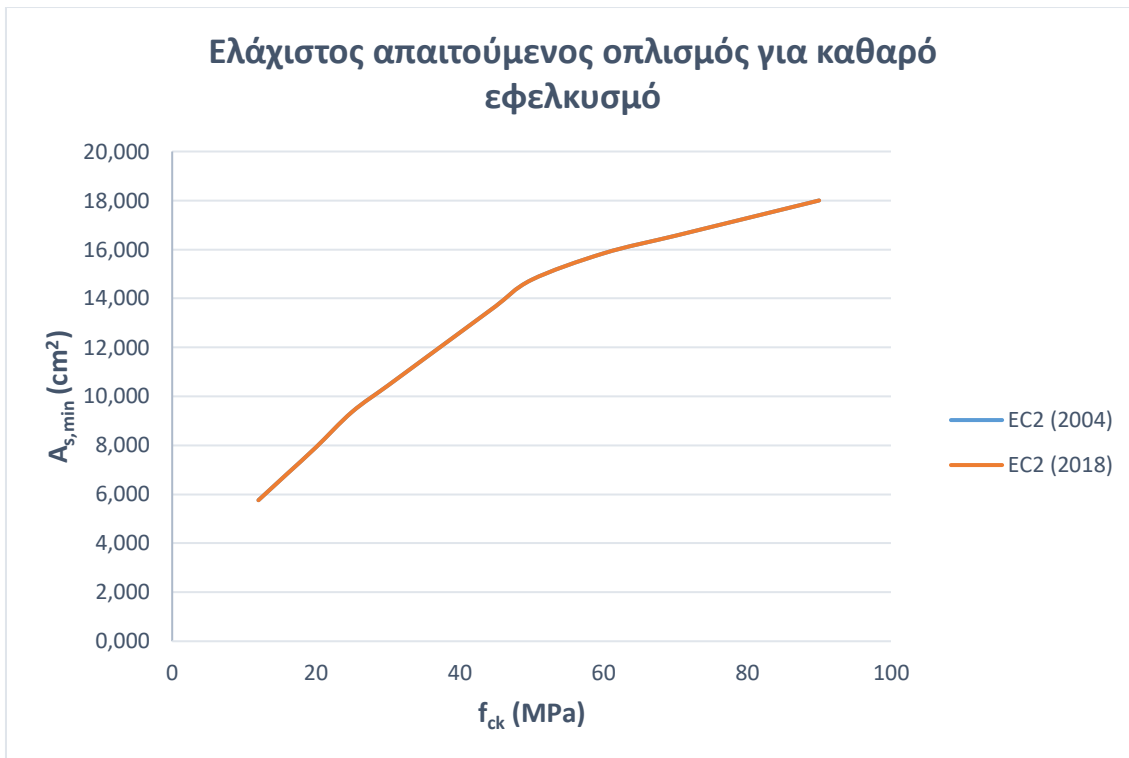


Διάγραμμα 8.1 Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός σε συνθήκες καθαρής κάμψης για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος.

▪ **ΚΑΘΑΡΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ**

Ορθογωνική διατομή με $b=0,30$ m και $h=0,60$ m				
$f_{ck}$ (MPa)	EC2 (2004)	EC2 (2018)		
	$A_{s,min}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min,w1}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min,w2}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min,tot}$ (cm <sup>2</sup> )
12	5,760	2,880	2,880	5,760
16	6,840	3,420	3,420	6,840
20	7,920	3,960	3,960	7,920
25	9,360	4,680	4,680	9,360
30	10,440	5,220	5,220	10,440
35	11,520	5,760	5,760	11,520
40	12,600	6,300	6,300	12,600
45	13,680	6,840	6,840	13,680
50	14,760	7,380	7,380	14,760
60	15,840	7,920	7,920	15,840
70	16,560	8,280	8,280	16,560
80	17,280	8,640	8,640	17,280
90	18,000	9,000	9,000	18,000

Πίνακας 8.2 Ελάχιστος οπλισμός σε συνθήκες καθαρού εφελκυσμού για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος.

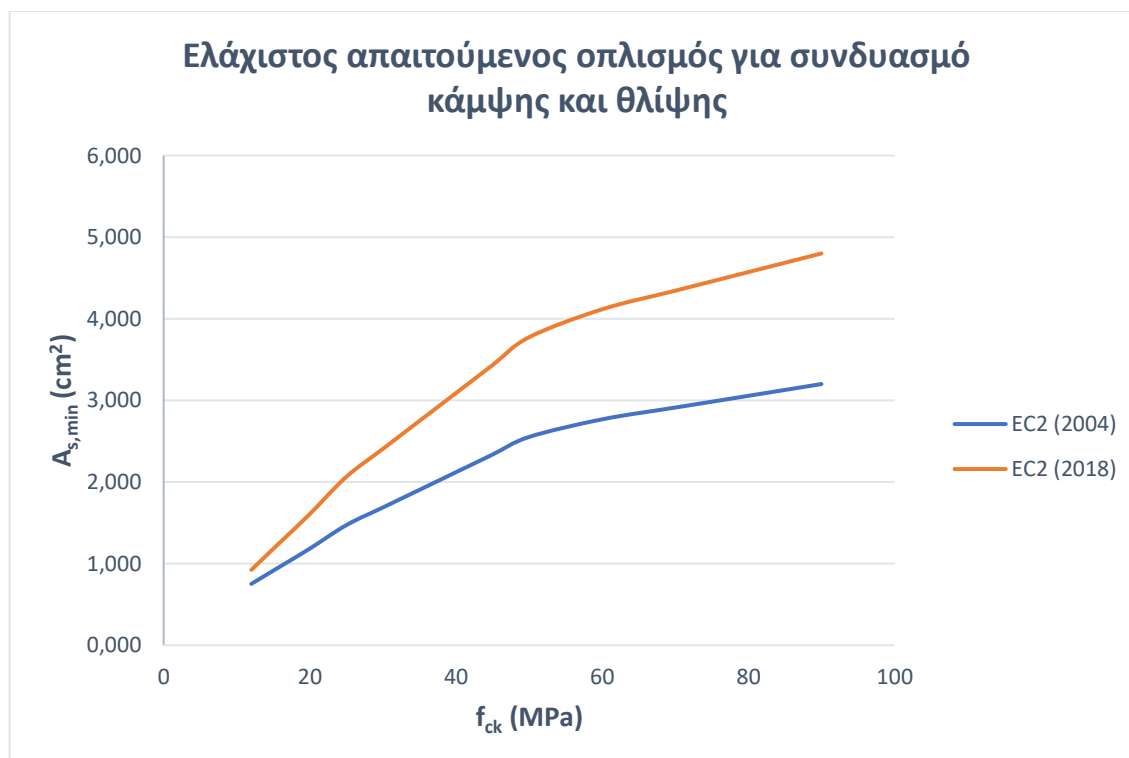


Διάγραμμα 8.2 Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός για καθαρό εφελκυσμό για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος.

▪ **ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΚΑΜΨΗΣ ΚΑΙ ΑΞΟΝΙΚΗΣ**

<b>Ορθογωνική διατομή με b=0,30 m και h=0,60 m</b>				
f <sub>ck</sub> (MPa)	EC2 (2004)	EC2 (2018)		
	A <sub>s,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,w1</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,w2</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,min,tot</sub> (cm <sup>2</sup> )
12	0,752	0,924	0	0,924
16	0,968	1,266	0	1,266
20	1,184	1,608	0	1,608
25	1,472	2,064	0	2,064
30	1,688	2,406	0	2,406
35	1,904	2,748	0	2,748
40	2,120	3,090	0	3,090
45	2,336	3,432	0	3,432
50	2,552	3,774	0	3,774
60	2,768	4,116	0	4,116
70	2,912	4,344	0	4,344
80	3,056	4,572	0	4,572
90	3,200	4,800	0	4,800

Πίνακας 8.3 Ελάχιστος οπλισμός σε συνθήκες συνδυασμού κάμψης και αξονικής δύναμης για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος.



Διάγραμμα 8.3 Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός για συνδυασμό κάμψης και αξονικής δύναμης για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος.

## 8.7 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός για καθαρή κάμψη σύμφωνα με τον EC2 (2018) είναι αρκετά μεγαλύτερος, για εφελεκυσμό προκύπτει ίσος με αυτόν που υπολογίζεται βάσει του EC2 (2004) και για συνδυασμό κάμψης και αξονικής παρατηρείται μικρή αύξηση και πάλι για υπολογισμό με βάση τον EC2 (2018). Συνεπώς, εκτός από την περίπτωση του καθαρού εφελεκυσμού, ο EC2 (2018) κρίνεται πιο αυστηρός όσον αφορά τον ελάχιστο απαιτούμενο οπλισμό.





## 9 ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΡΩΓΜΗΣ

### 9.1 Εισαγωγή

Η ρηγμάτωση είναι συνήθης στις κατασκευές από σκυρόδεμα που υπόκεινται σε κάμψη, διάτμηση, στρέψη ή εφελκυσμό, που προέρχεται είτε από άμεση φόρτιση είτε από παρεμπόδιση των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων. Οι ρωγμές πρέπει να περιορίζονται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μην παρεμποδίζεται η ομαλή λειτουργία ή η ανθεκτικότητα σε διάρκεια μίας κατασκευής και να μην προκύπτει μη αποδεκτό αισθητικό αποτέλεσμα σε σχέση με την εμφάνισή της.

### 9.2 EC2 (2004) – [7.3.3]

- Απαλλακτικές διατάξεις για τον υπολογισμό του εύρους ρωγμής

Ο EC2 (2004) παρέχει τους παρακάτω πίνακες αναφορικά με τις μέγιστες διαμέτρους και τη μέγιστη απόσταση των ράβδων οπλισμού για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης.

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

Πίνακας 9.1 Μέγιστες διαμέτροι ( $\varphi^*_s$ ) ράβδων οπλισμού για περιορισμό ρηγμάτωσης

Σημειώσεις: 1. Έχουν ληφθεί υπόψη:

$$c = 25\text{mm}, f_{ct,eff} = 2,9\text{MPa}, h_{cr} = 0,5, (h-d) = 0,1h, k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5, k_c = 0,4, k = 1,0, k_t = 0,4 \text{ και } k' = 1,0$$

2. Υπό τους κατάλληλους συνδυασμούς δράσεων

Τάση χάλυβα <sup>2</sup> [MPa]	Μέγιστη απόσταση ράβδων [mm]		
	w <sub>k</sub> =0,4 mm	w <sub>k</sub> =0,3 mm	w <sub>k</sub> =0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Πίνακας 9.2 Μέγιστες αποστάσεις (s<sub>i</sub>) μεταξύ των ράβδων οπλισμού

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων πρέπει να τροποποιείται ως εξής:

- Κάμψη (τμήμα, τουλάχιστον, της διατομής να βρίσκεται υπό θλίψη):

$$\phi_s = \phi_s^* (f_{ct,eff}/2,9) \frac{k_c h_{cr}}{2 (h-d)}$$

- Εφελκυσμός (ομοιόμορφος αξονικός εφελκυσμός):

$$\phi_s = \phi_s^* (f_{ct,eff}/2,9) h_{cr}/(8(h-d))$$

όπου:

$\phi_s$  είναι η ανηγμένη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων

$\phi_s^*$  είναι η μέγιστη διάμετρος ράβδων που δίνεται στον Πίνακα 9.1

$h$  είναι το ολικό ύψος της διατομής

$h_{cr}$  είναι το ύψος της εφελκυσμένης ζώνης αμέσως πριν τη ρηγμάτωση, λαμβάνοντας τις χαρακτηριστικές τιμές της προέντασης και των αξονικών δυνάμεων υπό τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων

$d$  είναι το στατικό ύψος της διατομής, μετρούμενο μέχρι το κέντρο της πλέον απομακρυσμένης στρώσης οπλισμού

**Σημείωση:** Σε περιπτώσεις που το σύνολο της διατομής εφελκύεται,  $h - d$  είναι η ελάχιστη απόσταση από το κέντρο της στρώσης οπλισμού ως την εξωτερική παρειά του σκυροδέματος (πρέπει να εξετάζεται κάθε παρειά χωριστά, σε περιπτώσεις μη-συμμετρικής τοποθέτησης του οπλισμού).

▪ **Αναλυτικός υπολογισμός εύρους ρωγμής**

Το εύρος  $w_k$  της ρωγμής υπολογίζεται ως εξής:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

όπου:

$s_{r,max}$  είναι η μέγιστη απόσταση των ρωγμών

$\epsilon_{sm}$  είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού υπό τον κατάλληλο συνδυασμό δράσεων, περιλαμβάνοντας και την επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων καθώς και της εφελκυστικής συμβολής στη δυσκαμψία. Λαμβάνεται υπόψη μόνο η πρόσθετη τάση εφελκυσμού μετά από την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη

$\epsilon_{cm}$  είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών

Η διαφορά  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$  μπορεί να υπολογιστεί από τη Σχέση:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

όπου:

$\sigma_s$  είναι η τάση στον εφελκυσμένο οπλισμό, που προκύπτει με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής. Σε στοιχεία με προένταση πριν τη διάστρωση, η  $\sigma_s$  μπορεί να αντικαθίσταται από την  $\Delta\sigma_p$ , τη μεταβολή της τάσης στους τένοντες προέντασης σε σχέση με την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη.

$\alpha_e$  είναι ο λόγος  $E_s/E_{cm}$

$$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1^2 A_p') / A_{c,eff}$$

$A_p'$  είναι το εμβαδόν των τενόντων (με τάνυση πριν ή μετά τη σκλήρυνση) εντός του  $A_{c,eff}$ .

$A_{c,eff}$  είναι η ενεργός επιφάνεια του εφελκυσμένου σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό ή τους τένοντες προέντασης, ύψους  $h_{c,ef}$ , όπου  $h_{c,ef}$  είναι η μικρότερη από τις τιμές  $2,5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  και  $h/2$

$\xi_1$  είναι η ανηγμένος λόγος αντοχών σε συνάφεια:

$$\xi_1 = \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$$

$\xi$  είναι ο λόγος αντοχών σε συνάφεια προεντεταμένου και χαλαρού οπλισμού, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

χάλυβας προέντασης	ξ		
	τάνυση πριν την έγχυση	με συνάφεια, τάνυση μετά τη σκλήρυνση	
		≤ C50/60	≥ C70/85
λείες ράβδοι και σύρματα	Δεν ισχύει	0,3	0,15
συρματόσχοινα	0,6	0,5	0,25
σύρματα με οδόντωση	0,7	0,6	0,3
ράβδοι με νευρώσεις	0,8	0,7	0,35

**Σημείωση:** Για τιμές ενδιάμεσες των C50/60 και C70/85 μπορεί να γίνεται παρεμβολή

Πίνακας 9.3 Λόγος ξ αντοχής σε συνάφεια τενόντων προς εκείνη του χαλαρού σπλισμού [EC2 (2004)]

$\phi_s$  είναι η μέγιστη χρησιμοποιούμενη διάμετρος σπλισμού

$\phi_p$  είναι η διάμετρος, ή η ισοδύναμη διάμετρος, του χάλυβα προέντασης

- $\phi_p = 1,6 \sqrt{A_p}$  για δέσμες
- $\phi_p = 1,75 \phi_{wire}$  για μεμονωμένα επτάκλινα συρματόσχοινα όπου  $\phi_{wire}$  είναι η διάμετρος του σύρματος
- $\phi_p = 1,20 \phi_{wire}$  για μεμονωμένα τρίκλινα συρματόσχοινα όπου  $\phi_{wire}$  είναι η διάμετρος του σύρματος

Εάν για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης χρησιμοποιείται μόνο χάλυβας προέντασης:  $\xi_1 = \sqrt{\xi}$ .

$k_t$  είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τη διάρκεια της φόρτισης με:

- $k_t = 0,6$  για βραχυχρόνια φόρτιση
- $k_t = 0,4$  για μακροχρόνια φόρτιση

Σε περιπτώσεις που ο σπλισμός με συνάφεια είναι τοποθετημένος σε ευλόγως μικρές αποστάσεις εντός της εφελκόμενης ζώνης (απόσταση ράβδων  $\leq 5(c+\phi/2)$ ), η μέγιστη τελική απόσταση των ρωγμών μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\phi / \rho_{p,eff}$$

όπου:

$\phi$  είναι η διάμετρος της ράβδου. Όταν χρησιμοποιείται ποικιλία διαμέτρων, πρέπει να εισάγεται στη σχέση μια ισοδύναμη διάμετρος,  $\phi_{eq}$ . Για μια διατομή με  $n_1$  ράβδους διαμέτρου  $\phi_1$  και  $n_2$  ράβδους διαμέτρου  $\phi_2$ , χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$\phi_{eq} = \frac{n_1\phi_1^2 + n_2\phi_2^2}{n_1\phi_1 + n_2\phi_2}$$

$c$  είναι η επικάλυψη του διαμήκους σπλισμού

$k_1$  είναι ένας συντελεστής για να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες συνάφειας του σπλισμού με συνάφεια:

- $k_1 = 0,8$  για ράβδους υψηλής συνάφειας
- $k_1 = 1,6$  για ράβδους με πρακτικώς λεία επιφάνεια (π.χ. τένοντες προέντασης)

$k_2$  είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η κατανομή των παραμορφώσεων:

- $k_2 = 0,5$  για κάμψη
- $k_2 = 1,0$  για καθαρό εφελκυσμό

Σε περιπτώσεις έκκεντρου εφελκυσμού ή για τμήματα μιας διατομής, χρησιμοποιούνται ενδιάμεσες τιμές του  $k_2$  που μπορεί να υπολογιστούν από τη σχέση:

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2\varepsilon_1$$

Όπου  $\varepsilon_1$  είναι η μεγαλύτερη και  $\varepsilon_2$  η μικρότερη εφελκυστική παραμόρφωση στα άκρα της θεωρούμενης διατομής, που υπολογίζονται με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής

**Σημείωση:** Οι τιμές των  $k_3$  and  $k_4$  που θα χρησιμοποιούνται σε μια χώρα δίνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές είναι 3,4 και 0,425, αντίστοιχα.

Όπου η απόσταση του σπλισμού με συνάφεια υπερβαίνει την τιμή  $5(c+\phi/2)$  ή όπου δεν υπάρχει σπλισμός με συνάφεια εντός της εφελκυστικής ζώνης, ένα άνω όριο για το εύρος ρωγμής μπορεί να βρεθεί υποθέτοντας την ακόλουθη μέγιστη απόσταση:

$$s_{r,max} = 1,3 (h - x)$$

Όταν η γωνία μεταξύ των αξόνων των κυρίων τάσεων και της διεύθυνσης του σπλισμού, για στοιχεία με σπλισμό σε δύο κάθετες διευθύνσεις, είναι σημαντική ( $>15^\circ$ ), η απόσταση των ρωγμών  $s_{r,max}$  μπορεί να υπολογίζεται από τη Σχέση:

$$s_{r,max} = \frac{1}{\frac{\cos\theta}{s_{r,max,y}} + \frac{\sin\theta}{s_{r,max,z}}}$$

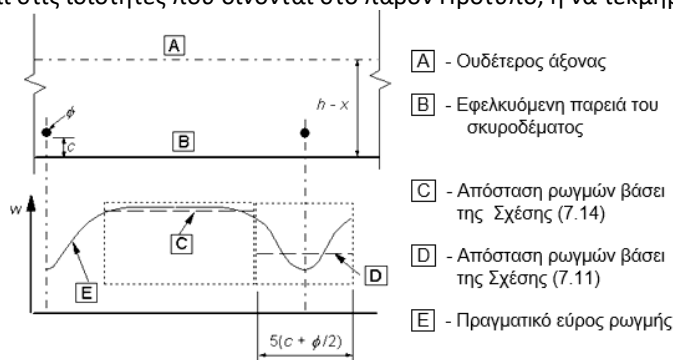
όπου:

$\theta$  είναι η γωνία μεταξύ του σπλισμού στη διεύθυνση  $y$  και της διεύθυνσης της κύριας εφελκυστικής τάσης,

$s_{r,max,y}$ ,  $s_{r,max,z}$  είναι οι αποστάσεις των ρωγμών που υπολογίζονται για τις διευθύνσεις  $y$  και  $z$  αντίστοιχα

Σε τοιχώματα που υπόκεινται σε πρόωρη θερμική συστολή, όταν το εμβαδόν του οριζόντιου σπλισμού  $A_s$  δεν πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις και στο κάτω μέρος του τοιχώματος παρεμποδίζεται η παραμόρφωση λόγω της ύπαρξης μιας βάσης που έχει σκυροδετηθεί σε προηγούμενη φάση, η  $s_{r,max}$  μπορεί να θεωρηθεί ίση προς 1,3 φορές το ύψος του τοιχώματος.

**Σημείωση:** Όταν χρησιμοποιούνται απλοποιητικές μέθοδοι υπολογισμού του εύρους ρωγμής, αυτές πρέπει να βασίζονται στις ιδιότητες που δίνονται στο παρόν Πρότυπο, ή να τεκμηριώνονται με δοκιμές.



Σχήμα 9.1 Εύρος ρωγμής  $w$  στην επιφάνεια του σκυροδέματος, συναρτήσει της απόστασης από τη ράβδο [EC2 (2004)]

### 9.3 EC2 (2018) – [9.2.3]

- **Απαλλακτικές διατάξεις για τον υπολογισμό του εύρους ρωγμής**

Σύμφωνα με τον EC2 (2018) καταργούνται οι πίνακες που αναφέρθηκαν παραπάνω και αντ' αυτών δίνονται σχέσεις υπολογισμού των αντίστοιχων μεγεθών:

$$\varphi \leq \frac{\rho_p}{0,7 \cdot \left(\frac{h}{d} - 1\right)} \cdot \left( \frac{w_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \varepsilon_{cs}} - 2c \right)$$

$$s_l \leq \frac{1,6\rho_p}{\left(\frac{h}{d} - 1\right)^2 \cdot d} \cdot \left( \frac{w_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \varepsilon_{cs}} - 2c \right)^2$$

όπου:

$\rho_p = \frac{A_s + \xi_1 \cdot A_p}{b \cdot d}$  είναι το ποσοστό του οπλισμού του πλέον εφελκυσμένου τμήματος της εξεταζόμενης διατομής

$s_l$  είναι η απόσταση μεταξύ των ράβδων του οπλισμού

$\eta_r$  είναι ίσο με 0 για βραχυπρόθεσμες φορτίσεις και για μακροπρόθεσμες φορτίσεις στη φάση της ρηγμάτωσης και ίσο με  $R_{ax}$  σε κάθε άλλη περίπτωση

$R_{ax}$  είναι ένας περιοριστικός παράγοντας ίσος με 1 μειωμένο κατά το λόγο της τάσης του τανυόμενου μέλους ως προς την επιβαλλόμενη τάση. Μπορεί να προσεγγιστεί μέσω γραμμικής ελαστικής ανάλυσης. Στη βάση τοίχου το  $R_{ax}$  λαμβάνεται ίσο με 0,75.

- **Αναλυτικός υπολογισμός του εύρους ρωγμής**

Το εύρος  $w_k$  της ρωγμής υπολογίζεται ως εξής:

$$w_{k,cal} = s_{r,max,cal} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} + \eta_r \cdot \varepsilon_{cs})$$

όπου:

$s_{r,max,cal}$  είναι η μέγιστη απόσταση των ρωγμών, όταν έχουν σταθεροποιηθεί, αλλιώς είναι το μέγιστο μήκος μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα όταν πραγματοποιείται η ρηγμάτωση

$\varepsilon_{sm}$  είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού υπό τον κατάλληλο συνδυασμό δράσεων, περιλαμβάνοντας και την επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων καθώς και της εφελκυστικής συμβολής στη δυσκαμψία. Λαμβάνεται υπόψη μόνο η πρόσθετη τάση

εφελκυσμού μετά από την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη

$\epsilon_{cm}$  είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών

$\epsilon_{sm}$  είναι η παραμόρφωση λόγω συστολής ξήρασης

Η διαφορά  $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$  μπορεί να υπολογιστεί από τη Σχέση:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

όπου:

$\sigma_s$  είναι η τάση στον εφελκυσμένο σπλισμό, που προκύπτει με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής. Σε στοιχεία με προένταση πριν τη διάστρωση, η  $\sigma_s$  μπορεί να αντικαθίσταται από την  $\Delta\sigma_p$ , τη μεταβολή της τάσης στους τένοντες προέντασης σε σχέση με την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη.

$\alpha_e$  είναι ο λόγος  $E_s/E_{cm}$

$\rho_{p,eff}=(A_s + \xi_1^2 A_p')/A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  είναι η ενεργός επιφάνεια του εφελκυσμένου σκυροδέματος που περιβάλλει τον σπλισμό ή τους τένοντες προέντασης, ύψους  $h_{c,ef}$ , όπου  $h_{c,ef}$  είναι η μικρότερη από τις τιμές  $2,5(h-d)$ , και  $h/2$

$A_p'$  είναι το εμβαδόν των τενόντων (με τάνυση πριν ή μετά τη σκλήρυνση) εντός του  $A_{c,eff}$ .

$\xi_1$  είναι η ανηγμένος λόγος αντοχών σε συνάφεια:

$$\xi_1 = \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$$

$\xi$  είναι ο λόγος αντοχών σε συνάφεια προεντεταμένου και χαλαρού σπλισμού, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

χάλυβας προέντασης	τάνυση πριν την έγχυση	$\xi$	
		με συνάφεια, τάνυση μετά τη σκλήρυνση	
		$\leq C50/60$	$\geq C70/85$
λείες ράβδοι και σύρματα	Δεν ισχύει	0,3	0,15
συρματόσχοινα	0,6	0,5	0,25
σύρματα με οδόντωση	0,7	0,6	0,3
ράβδοι με νευρώσεις	0,8	0,7	0,35

**Σημείωση:** Για τιμές ενδιάμεσες των C50/60 και C70/85 μπορεί να γίνεται παρεμβολή

Πίνακας 9.4 Λόγος  $\xi$  αντοχής σε συνάφεια τενόντων προς εκείνη του χαλαρού σπλισμού [EC2 (2004)]

$\phi_s$  είναι η μέγιστη χρησιμοποιούμενη διάμετρος σπλισμού

$\phi_p$  είναι η διάμετρος, ή η ισοδύναμη διάμετρος, του χάλυβα προέντασης

- $\phi_p = 1,6 \sqrt{A_p}$  για δέσμες
- $\phi_p = 1,75 \phi_{\text{wire}}$  για μεμονωμένα επτάκλινα συρματόσχοινα όπου  $\phi_{\text{wire}}$  είναι η διάμετρος του σύρματος
- $\phi_p = 1,20 \phi_{\text{wire}}$  για μεμονωμένα τρίκλινα συρματόσχοινα όπου  $\phi_{\text{wire}}$  είναι η διάμετρος του σύρματος

Εάν για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης χρησιμοποιείται μόνο χάλυβας προέντασης:  $\xi_1 = \sqrt{\xi}$ .

$k_t$  είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τη διάρκεια της φόρτισης με:

- $k_t = 0,6$  για βραχυχρόνια φόρτιση
- $k_t = 0,4$  για μακροχρόνια φόρτιση

Σε περιπτώσεις που ο οπλισμός με συνάφεια είναι τοποθετημένος σε ευλόγως μικρές αποστάσεις εντός της εφελκόμενης ζώνης (απόσταση ράβδων  $\leq 5(c+\phi/2)$ ), η μέγιστη τελική απόσταση των ρωγμών μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως

$$s_{r,max} = 2 \cdot c + 0,35 \cdot k_b \cdot \phi / \rho_{p,ef}$$

όπου:

$\phi$  είναι η διάμετρος του οπλισμού. Όταν χρησιμοποιείται ποικιλία διαμέτρων, πρέπει να εισάγεται στη σχέση μια ισοδύναμη διάμετρος,  $\phi_{eq}$ . Για μια διατομή με  $n_1$  ράβδους διαμέτρου  $\phi_1$  και  $n_2$  ράβδους διαμέτρου  $\phi_2$ , χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \phi_1^2 + n_2 \phi_2^2}{n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2}$$

$c$  είναι η επικάλυψη του διαμήκους οπλισμού

$k_b$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες συνάφειας του οπλισμού με συνάφεια, με:

- $k_b = 0,8$  για ράβδους υψηλής συνάφειας ή ράβδους προέντασης
- $k_b = 1,6$  για ράβδους με πρακτικώς λεία επιφάνεια

Όπου η απόσταση του οπλισμού με συνάφεια υπερβαίνει την τιμή  $5(c+\phi/2)$  ή όπου δεν υπάρχει οπλισμός με συνάφεια εντός της εφελκόμενης ζώνης, ένα άνω όριο για το εύρος ρωγμής μπορεί να βρεθεί υποθέτοντας την ακόλουθη μέγιστη απόσταση:

$$s_{r,max} = 1,3 (h - x)$$

Όταν η γωνία μεταξύ των αξόνων των κυρίων τάσεων και της διεύθυνσης του οπλισμού, για στοιχεία με οπλισμό σε δύο κάθετες διευθύνσεις, είναι σημαντική ( $>15^\circ$ ), η απόσταση των ρωγμών  $s_{r,max}$  μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$s_{r,max} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{s_{r,max,y}} + \frac{\sin \theta}{s_{r,max,z}}}$$

όπου:

$\theta$  είναι η γωνία μεταξύ του οπλισμού στη διεύθυνση  $y$  και της διεύθυνσης της κύριας εφελκυστικής τάσης,



$S_{r,max,y}$ ,  $S_{r,max,z}$  είναι οι αποστάσεις των ρωγμών που υπολογίζονται για τις διευθύνσεις  $y$  και  $z$  αντίστοιχα

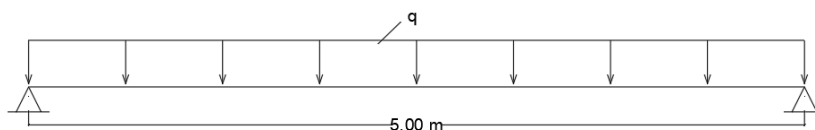
## 9.4 Αιτίες αλλαγής

Η διατύπωση του EC2 (2004) σχετικά με τον έμμεσο περιορισμό της ρηγματώσης, μέσω της μείωσης είτε της διαμέτρου είτε της απόστασης μεταξύ των ράβδων του οπλισμού, βασίζεται στην ασφαλή παραδοχή ότι ο παρεχόμενος οπλισμός είναι ίσος με τον ελάχιστο επιτρεπόμενο. Η εισαγωγή της διαφοράς μεταξύ πρωτογενούς και δευτερογενούς ρωγμής στην εξίσωση υπολογισμού μπορεί να οδηγήσει σε πολύ χαμηλά ποσοστά οπλισμού, για τα οποία η παραπάνω παραδοχή οδηγεί σε τιμές της διαμέτρου και της απόστασης των ράβδων, που δεν έχουν πρακτική χρήση. Επιπλέον, οι τρέχοντες πίνακες του EC2 (2004) λαμβάνουν μία σταθερή τιμή για  $d/h$  ίση με 0,9. Αυτό είναι πρόβλημα, διότι στην πραγματικότητα αυτή η παράμετρος έχει μία πολύ σημαντική επιρροή στα αποτελέσματα και πρέπει να τηρείται αυστηρά. Για την αντιμετώπιση του πρώτου ζητήματος η προτεινόμενη διατύπωση λαμβάνει υπόψη το ποσοστό του οπλισμού. Αυτό είναι λογικό, αφού ο υπολογισμός των ρωγμών γίνεται έπειτα από διαστασιολόγηση του οπλισμού στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας, για να είναι γνωστό σε αυτό το σημείο το ποσοστό του οπλισμού.

## 9.5 Διερεύνηση

### 9.5.1 Εφαρμογή 1<sup>η</sup>: Υπολογισμός του εύρους ρωγμής δοκού δεδομένων διαστάσεων

Έστω δοκός με  $b=0,30$  m,  $h=0,60$  m και  $l=5$  m. Η δοκός υποβάλλεται σε φορτία  $g_k = 30$  KN/m και  $q_k = 6$  KN/m. Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι 200000 MPa και η συστολή ξήρανσης  $\epsilon_{cs}$  λαμβάνεται ίση με το μηδέν. Η επικάλυψη του οπλισμού είναι  $c=2,5$  cm. Παρακάτω, υπολογίζεται για διάφορες ποιότητες σκυροδέματος το εύρος ρωγμής  $w_k$  και ελέγχεται επιπροσθέτως αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαλλακτικές διατάξεις, θεωρώντας  $w=0,2$  mm.



Από την επίλυση της αμφιέρειστης δοκού προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

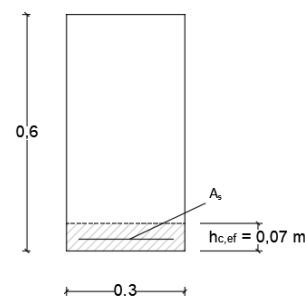
$$\text{OKΛ: } g_{serv} = 30 + 0,3 \cdot 6 = 31,8 \text{ KN/m} \rightarrow M_{serv} = 31,8 \cdot 5^2 / 8 = 99,4 \text{ KNm}$$

$$\text{OKΑ: } g_{ult} = 1,35 \cdot 30 + 1,5 \cdot 6 = 49,5 \text{ KN/m} \rightarrow M_{ult} = 49,5 \cdot 5^2 / 8 = 154,7 \text{ KNm}$$

$$c = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = 60 - 2,5 - 0,5 = 57 \text{ cm}$$

$$h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2] = \min[7; 30] = 7 \text{ cm}$$



$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ck} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,57^2 \cdot 17000) = 0,093$ $\Rightarrow \omega = 0,097$  $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,097 \cdot 30 \cdot 57 \cdot 17 / 435 = 6,48 \text{ cm}^2$	$f_{ck} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,57^2 \cdot 20000) = 0,079$ $\Rightarrow \omega = 0,082$  $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,082 \cdot 30 \cdot 57 \cdot 20 / 435 = 6,45 \text{ cm}^2$
Τοποθετούμε 4Φ18 $\rightarrow A_{s,prov} = 10,18 \text{ cm}^2$	Τοποθετούμε 4Φ18 $\rightarrow A_{s,prov} = 10,18 \text{ cm}^2$
Η απόσταση $s$ μεταξύ των οπλισμών είναι: $s = (b - 2 \cdot c) / (n - 1) =$ $= (30 - 5) / 3 = 8,33 \text{ cm}$	Η απόσταση $s$ μεταξύ των οπλισμών είναι: $s = (b - 2 \cdot c) / (n - 1) =$ $= (30 - 5) / 3 = 8,33 \text{ cm}$
Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:	Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:
$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (M_{serv} / M_{ult}) =$ $= 435 \cdot (6,48 / 10,18) \cdot (99,4 / 154,7) =$ $= 435 \cdot 0,637 \cdot 0,643 =$ $= 177,33 \text{ MPa}$	$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (M_{serv} / M_{ult}) =$ $= 435 \cdot (6,45 / 10,18) \cdot (99,4 / 154,7) =$ $= 435 \cdot 0,634 \cdot 0,643 =$ $= 177,33 \text{ MPa}$
— $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	— $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$
$k_t = 0,4$ $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ $h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$ $\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / (b \cdot h_{c,eff}) =$ $= 10,18 / (30 \cdot 7) = 0,0485$ $\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33000 = 6,06$	$k_t = 0,4$ $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ $h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$ $\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / (b \cdot h_{c,eff}) =$ $= 10,18 / (30 \cdot 7) = 0,0485$ $\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33000 = 6,06$
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$ $= \frac{177,33 - 0,4 \frac{2,9}{0,0485} (1 + 6,06 \cdot 0,0485)}{200000} =$ $= \frac{177,33 - 0,4 \cdot 59,79 \cdot 1,294}{200000} =$ $= 0,00073 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,00053$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$ $= \frac{177,33 - 0,4 \frac{2,9}{0,0485} (1 + 6,06 \cdot 0,0485)}{200000} =$ $= \frac{177,33 - 0,4 \cdot 59,79 \cdot 1,294}{200000} =$ $= 0,00073 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,00053$
— $s_{r,max}$	— $s_{r,max}$
$k_1 = 0,8$ $k_2 = 0,5$ $k_3 = 3,4$ $k_4 = 0,425$	$k_b = 0,8$ $c = 25 \text{ mm}$

$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} =$ $= 3,4 \cdot 25 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 18 / 0,0485 =$ $= 148,1 \text{ mm}$ <p>– <math>W_k</math></p> $W_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$ $= 148,1 \cdot 0,00073 = 0,108 \text{ mm}$ <p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> <p>Πίνακας 9.1 → <math>\phi_{max} = 21 \text{ mm}</math> <b>μας καλύπτει</b></p> <p>Πίνακας 9.2 → <math>s_{max} = 178 \text{ mm}</math> <b>μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.</p>	$s_{r,max} = 2c + 0,35 \cdot k_b \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} =$ $= 2 \cdot 25 + 0,35 \cdot 0,8 \cdot 18 / 0,0485 =$ $= 153,92 \text{ mm}$ <p>– <math>W_k</math></p> $W_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$ $= 153,92 \cdot 0,00073 = 0,112 \text{ mm}$ <p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> $\rho_p = A_{s,prov} / (b \cdot d) = 10,18 / (30 \cdot 57) = 0,006$ $\phi_{max} = \frac{0,006}{0,7 \cdot \left(\frac{60}{57} - 1\right)} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{177,33}{200000}} - 50 \right) =$ $= 0,163 \cdot (250,63 - 50) = 32,7 \text{ mm}$ <b>μας καλύπτει</b> $s_{l,max} = \frac{1,6 \rho_p}{\left(\frac{h}{d} - 1\right)^2 d} \left( \frac{W_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \epsilon_{cs}} - 2c \right)^2$ $= \frac{1,6 \cdot 0,006}{\left(\frac{60}{57} - 1\right)^2 \cdot 570} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{177,33}{200000}} - 50 \right)^2 =$ $= 0,00608 \cdot (250,63 - 50)^2 = 244,73 \text{ mm}$ <b>μας καλύπτει</b> <p>Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.</p>
---	---

<b><math>f_{ck} = 70 \text{ MPa}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{ck} = 0,85 \cdot 70 / 1,5 = 39,667 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,57^2 \cdot 39,667) = 0,04$ $\Rightarrow \omega = 0,041$ $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,041 \cdot 30 \cdot 57 \cdot 39,667 / 435 = 6,39 \text{ cm}^2$	$f_{ck} = 0,83 \cdot 70 / 1,5 = 38,725 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,57^2 \cdot 38,725) = 0,041$ $\Rightarrow \omega = 0,042$ $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,042 \cdot 30 \cdot 57 \cdot 38,725 / 435 = 6,39 \text{ cm}^2$
Τοποθετούμε 4Φ18 → $A_{s,prov} = 10,18 \text{ cm}^2$	Τοποθετούμε 4Φ18 → $A_{s,prov} = 10,18 \text{ cm}^2$

Η απόσταση  $s$  μεταξύ των οπλισμών είναι:

$$s = (b-2\cdot c)/(n-1) =$$

$$= (30-5)/3 = 8,33 \text{ cm}$$

Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:

$$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req}/A_{s,prov}) \cdot (M_{serv}/M_{ult}) =$$

$$= 435 \cdot (6,39/10,18) \cdot (99,4/154,7) =$$

$$= 435 \cdot 0,628 \cdot 0,643 =$$

$$= 175,65 \text{ MPa}$$

–  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

$$k_t = 0,4$$

$$f_{ct,eff} = 4,6 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = A_{s,prov}/(b \cdot h_{c,eff}) =$$

$$= 10,18/(30 \cdot 7) = 0,0485$$

$$\alpha_e = E_s/E_c = 200000/41000 = 4,88$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$$

$$=$$

$$= \frac{175,65 - 0,4 \frac{4,6}{0,0485} (1 + 4,88 \cdot 0,0485)}{200000} =$$

$$= \frac{175,65 - 0,4 \cdot 94,85 \cdot 1,237}{200000} =$$

$$= 0,00064 > 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 0,00052$$

–  $s_{r,max}$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \sigma_s / \rho_{p,eff} =$$

$$= 3,4 \cdot 25 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 180 / 0,0485 =$$

$$= 148,1 \text{ mm}$$

–  $w_k$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$$

$$= 148,1 \cdot 0,00064 = 0,095 \text{ mm}$$

Η απόσταση  $s$  μεταξύ των οπλισμών είναι:

$$s = (b-2\cdot c)/(n-1) =$$

$$= (30-5)/3 = 8,33 \text{ cm}$$

Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:

$$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req}/A_{s,prov}) \cdot (M_{serv}/M_{ult}) =$$

$$= 435 \cdot (6,39/10,18) \cdot (99,4/154,7) =$$

$$= 435 \cdot 0,628 \cdot 0,643 =$$

$$= 175,65 \text{ MPa}$$

–  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

$$k_t = 0,4$$

$$f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = A_{s,prov}/(b \cdot h_{c,eff}) =$$

$$= 10,18/(30 \cdot 7) = 0,0485$$

$$\alpha_e = E_s/E_c = 200000/41000 = 4,88$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$$

$$=$$

$$= \frac{175,65 - 0,4 \frac{2,9}{0,0485} (1 + 4,88 \cdot 0,0485)}{200000} =$$

$$= \frac{175,65 - 0,4 \cdot 94,85 \cdot 1,237}{200000} =$$

$$= 0,00064 > 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 0,00052$$

–  $s_{r,max}$

$$k_b = 0,8$$

$$c = 25 \text{ mm}$$

$$s_{r,max} = 2c + 0,35 \cdot k_b \cdot \sigma_s / \rho_{p,eff} =$$

$$= 2 \cdot 25 + 0,35 \cdot 0,8 \cdot 180 / 0,0485 =$$

$$= 153,92 \text{ mm}$$

–  $w_k$

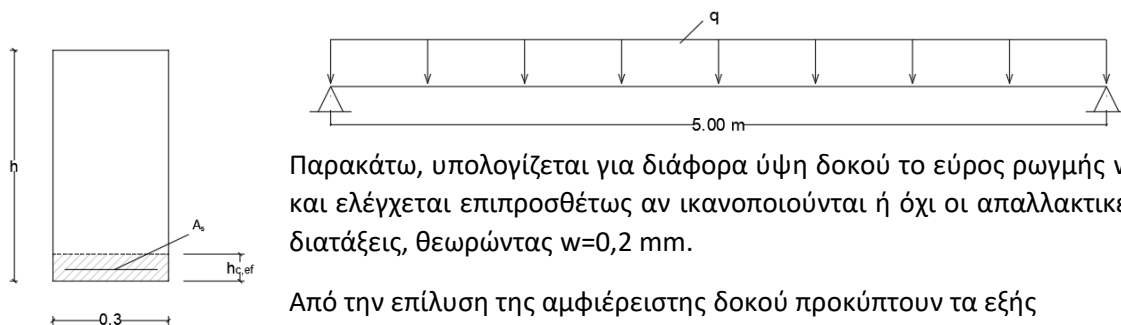
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =$$

$$= 153,92 \cdot 0,00064 = 0,099 \text{ mm}$$

<p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> <p>Πίνακας 9.1 → <math>\phi_{max} = 21 \text{ mm}</math>  <b>δεν μας καλύπτει</b></p> <p>Πίνακας 9.2 → <math>s_{max} = 177 \text{ mm}</math>  <b>μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.</p>	<p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> <p><math>\rho_p = A_{s,prov}/(b \cdot d) = 10,18/(30 \cdot 57) = 0,006</math></p> $\varphi_{max} = \frac{0,006}{0,7 \cdot \left(\frac{60}{57} - 1\right)} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{175,65}{200000}} - 50 \right) =$ $= 0,163 \cdot (253,03 - 50) = 33,1 \text{ mm}$ <p><b>μας καλύπτει</b></p> $s_{l,max} = \frac{1,6\rho_p}{\left(\frac{h}{d} - 1\right)^2} d \left( \frac{W_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \varepsilon_{cs}} - 2c \right)^2$ $= \frac{1,6 \cdot 0,006}{\left(\frac{60}{57} - 1\right)^2} 570 \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{175,65}{200000}} - 50 \right)^2 =$ $= 0,00608 \cdot (253,03 - 50)^2 = 250,62 \text{ mm}$ <p><b>μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.</p>
---	---

### 9.5.2 Εφαρμογή 2<sup>η</sup>: Υπολογισμός εύρους ρωγμής δοκού με δεδομένο σκυρόδεμα

Έστω δοκός με  $b=0,30 \text{ m}$  και  $l=5 \text{ m}$  και σκυρόδεμα C30/37. Η δοκός υποβάλλεται σε φορτία  $g_k = 30 \text{ KN/m}$  και  $q_k = 6 \text{ KN/m}$ . Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι  $200000 \text{ MPa}$  και η συστολή ξήρανσης  $\varepsilon_{cs}$  λαμβάνεται ίση με το μηδέν. Η επικάλυψη του οπλισμού είναι  $c=2,5 \text{ cm}$ .



Παρακάτω, υπολογίζεται για διάφορα ύψη δοκού το εύρος ρωγμής  $w_k$  και ελέγχεται επιπροσθέτως αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαλλακτικές διατάξεις, θεωρώντας  $w=0,2 \text{ mm}$ .

Από την επίλυση της αμφιέρειστης δοκού προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

OKΛ:  $g_{serv} = 30 + 0,3 \cdot 6 = 31,8 \text{ KN/m} \rightarrow M_{serv} = 31,8 \cdot 5^2/8 = 99,4 \text{ KNm}$

OKA:  $g_{ult} = 1,35 \cdot 30 + 1,5 \cdot 6 = 49,5 \text{ KN/m} \rightarrow M_{ult} = 49,5 \cdot 5^2/8 = 154,7 \text{ KNm}$

$c=2,5 \text{ cm}$ ,  $d = h - c - 0,5 = h - 3 \text{ (cm)}$ ,  $h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2]$

<b>h=0,4 m</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{ck} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,37^2 \cdot 17000) = 0,222$ $\Rightarrow \omega = 0,255$  $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,255 \cdot 30 \cdot 37 \cdot 17 / 435 = 11,06 \text{ cm}^2$	$f_{ck} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,37^2 \cdot 20000) = 0,188$ $\Rightarrow \omega = 0,21$  $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,21 \cdot 30 \cdot 37 \cdot 20 / 435 = 10,72 \text{ cm}^2$
Τοποθετούμε 4Φ20 $\rightarrow A_{s,prov} = 12,57 \text{ cm}^2$	Τοποθετούμε 4Φ20 $\rightarrow A_{s,prov} = 12,57 \text{ cm}^2$
Η απόσταση s μεταξύ των οπλισμών είναι: $s = (b - 2 \cdot c) / (n - 1) =$ $= (30 - 5) / 3 = 8,33 \text{ cm}$	Η απόσταση s μεταξύ των οπλισμών είναι: $s = (b - 2 \cdot c) / (n - 1) =$ $= (30 - 5) / 3 = 8,33 \text{ cm}$
Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:	Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:
$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (M_{serv} / M_{ult}) =$ $= 435 \cdot (11,06 / 12,57) \cdot (99,4 / 154,7) =$ $= 435 \cdot 0,88 \cdot 0,643 =$ $= 246,14 \text{ MPa}$	$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (M_{serv} / M_{ult}) =$ $= 435 \cdot (10,72 / 12,57) \cdot (99,4 / 154,7) =$ $= 435 \cdot 0,853 \cdot 0,643 =$ $= 238,54 \text{ MPa}$
– $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	– $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$
$k_t = 0,4$ $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ $h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$ $\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / (b \cdot h_{c,eff}) =$ $= 12,57 / (30 \cdot 7) = 0,0599$ $\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33000 = 6,06$	$k_t = 0,4$ $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ $h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$ $\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / (b \cdot h_{c,eff}) =$ $= 12,57 / (30 \cdot 7) = 0,0599$ $\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33000 = 6,06$
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$ $= \frac{246,14 - 0,4 \frac{2,9}{0,0599} (1 + 6,06 \cdot 0,0599)}{200000} =$ $= \frac{246,14 - 0,4 \cdot 48,41 \cdot 1,363}{200000} =$ $= 0,0011 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,00074$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$ $= \frac{238,54 - 0,4 \frac{2,9}{0,0599} (1 + 6,06 \cdot 0,0599)}{200000} =$ $= \frac{238,54 - 0,4 \cdot 48,41 \cdot 1,363}{200000} =$ $= 0,00106 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,00072$
– $S_{r,max}$	– $S_{r,max}$
$k_1 = 0,8$ $k_2 = 0,5$ $k_3 = 3,4$ $k_4 = 0,425$	$k_b = 0,8$ $c = 25 \text{ mm}$

$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} =$ $= 3,4 \cdot 25 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 20 / 0,0599 =$ $= 141,76 \text{ mm}$ <p>– <math>w_k</math></p> $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$ $= 141,76 \cdot 0,0011 = 0,156 \text{ mm}$ <p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> <p>Πίνακας 9.1 <math>\rightarrow \phi_{max} = 11 \text{ mm}</math> <b>δεν μας καλύπτει</b></p> <p>Πίνακας 9.2 <math>\rightarrow s_{max} = 92,5 \text{ mm}</math> <b>μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.</p>	$s_{r,max} = 2c + 0,35 \cdot k_b \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} =$ $= 2 \cdot 25 + 0,35 \cdot 0,8 \cdot 20 / 0,0599 =$ $= 143,49 \text{ mm}$ <p>– <math>w_k</math></p> $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$ $= 143,49 \cdot 0,00106 = 0,152 \text{ mm}$ <p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> $\rho_p = A_{s,prov} / (b \cdot d) = 12,57 / (30 \cdot 37) = 0,0113$ $\varphi_{max} = \frac{0,0113}{0,7 \cdot \left(\frac{40}{37} - 1\right)} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{238,54}{200000}} - 50 \right) =$ $= 0,199 \cdot (186,32 - 50) = 27,13 \text{ mm}$ <p><b>μας καλύπτει</b></p> $s_{l,max} = \frac{1,6 \rho_p}{\left(\frac{h}{d} - 1\right)^2} d \left( \frac{w_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \varepsilon_{cs}} - 2c \right)^2$ $= \frac{1,6 \cdot 0,0113}{\left(\frac{40}{37} - 1\right)^2} 370 \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{238,54}{200000}} - 50 \right)^2 =$ $= 0,0074 \cdot (186,32 - 50)^2 = 137,52 \text{ mm}$ <p><b>μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.</p>
<b>h=0,8 m</b>	
<p style="text-align: center;"><b>EC2 (2004)</b></p> $f_{ck} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,77^2 \cdot 17000) = 0,051$ $\Rightarrow \omega = 0,052$ $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,052 \cdot 30 \cdot 77 \cdot 17 / 435 = 4,69 \text{ cm}^2$ <p>Τοποθετούμε 4Φ14 <math>\rightarrow A_{s,prov} = 6,16 \text{ cm}^2</math></p>	<p style="text-align: center;"><b>EC2 (2018)</b></p> $f_{ck} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (0,3 \cdot 0,77^2 \cdot 20000) = 0,043$ $\Rightarrow \omega = 0,044$ $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,044 \cdot 30 \cdot 77 \cdot 20 / 435 = 4,67 \text{ cm}^2$ <p>Τοποθετούμε 4Φ14 <math>\rightarrow A_{s,prov} = 6,16 \text{ cm}^2</math></p>

Η απόσταση  $s$  μεταξύ των οπλισμών είναι:

$$s = (b-2\cdot c)/(n-1) = \\ = (30-5)/3 = 8,33 \text{ cm}$$

Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγματώσης είναι:

$$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req}/A_{s,prov}) \cdot (M_{serv}/M_{ult}) = \\ = 435 \cdot (4,69/6,16) \cdot (99,4/154,7) = \\ = 435 \cdot 0,761 \cdot 0,643 = \\ = 212,96 \text{ MPa}$$

–  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

$$k_t = 0,4 \\ f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa} \\ h_{c,eff} = 0,7 \text{ m} \\ \rho_{p,eff} = A_{s,prov}/(b \cdot h_{c,eff}) = \\ = 6,16/(30 \cdot 7) = 0,0293 \\ \alpha_e = E_s/E_c = 200000/33000 = 6,06 \\ \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = \\ = \frac{212,96 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0293} (1 + 6,06 \cdot 0,0293)}{200000} = \\ = \frac{212,96 - 0,4 \cdot 98,98 \cdot 1,178}{200000} = \\ = 0,00083 > 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 0,00064$$

–  $S_{r,max}$

$$k_1=0,8 \\ k_2=0,5 \\ k_3 = 3,4 \\ k_4 = 0,425 \\ S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} = \\ = 3,4 \cdot 25 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 14 / 0,0293 = \\ = 166,23 \text{ mm}$$

–  $w_k$

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \\ = 166,23 \cdot 0,00083 = 0,138 \text{ mm}$$

▪ **Απαλλακτικές διατάξεις**

Πίνακας 9.1  $\rightarrow \phi_{max} = 16 \text{ mm}$

μας καλύπτει

Η απόσταση  $s$  μεταξύ των οπλισμών είναι:

$$s = (b-2\cdot c)/(n-1) = \\ = (30-5)/3 = 8,33 \text{ cm}$$

Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγματώσης είναι:

$$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req}/A_{s,prov}) \cdot (M_{serv}/M_{ult}) = \\ = 435 \cdot (4,67/6,16) \cdot (99,4/154,7) = \\ = 435 \cdot 0,758 \cdot 0,643 = \\ = 212,02 \text{ MPa}$$

–  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$

$$k_t = 0,4 \\ f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa} \\ h_{c,eff} = 0,7 \text{ m} \\ \rho_{p,eff} = A_{s,prov}/(b \cdot h_{c,eff}) = \\ = 6,16/(30 \cdot 7) = 0,0293 \\ \alpha_e = E_s/E_c = 200000/33000 = 6,06 \\ \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = \\ = \frac{212,02 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,0293} (1 + 6,06 \cdot 0,0293)}{200000} = \\ = \frac{212,02 - 0,4 \cdot 98,98 \cdot 1,178}{200000} = \\ = 0,00083 > 0,6 \cdot \sigma_s/E_s = 0,00063$$

–  $S_{r,max}$

$$k_b=0,8 \\ c=25 \text{ mm} \\ S_{r,max} = 2c + 0,35 \cdot k_b \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} = \\ = 2 \cdot 25 + 0,35 \cdot 0,8 \cdot 14 / 0,0599 = \\ = 183,79 \text{ mm}$$

–  $w_k$

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \\ = 183,79 \cdot 0,00083 = 0,153 \text{ mm}$$

▪ **Απαλλακτικές διατάξεις**

$\rho_p = A_{s,prov}/(b \cdot d) = 6,16/(30 \cdot 77) = 0,0027$



Πίνακας 9.2 →  $s_{max} = 140$  mm

**μας καλύπτει**

Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.

$$\varphi_{max} = \frac{0,0027}{0,7 \cdot \left(\frac{80}{77} - 1\right)} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{212,02}{200000}} - 50 \right) =$$

$$= 0,099 \cdot (209,62 - 50) = 15,8 \text{ mm}$$

**μας καλύπτει**

$$s_{l,max} = \frac{1,6\rho_p}{\left(\frac{h}{d} - 1\right)^2 d} \left( \frac{w_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \varepsilon_{cs}} - 2c \right)^2$$

$$= \frac{1,6 \cdot 0,0027}{\left(\frac{80}{77} - 1\right)^2 \cdot 770} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{212,02}{200000}} - 50 \right)^2 =$$

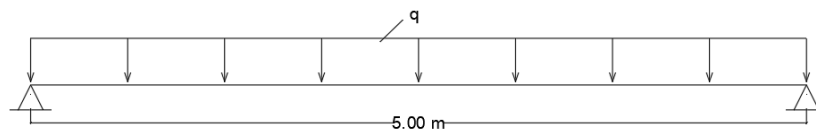
$$= 0,0037 \cdot (209,62 - 50)^2 = 94,28 \text{ mm}$$

**μας καλύπτει**

Άρα, καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς δεν απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής.

### 9.5.3 Εφαρμογή 3<sup>η</sup>: Υπολογισμός εύρους ρωγμής για πλάκα δεδομένων διαστάσεων και σκυρόδεμα C30/37

Έστω πλάκα με  $h=0,30$  m και  $l_x=l_z=5$  m. Η πλάκα επιλύεται ως αμφιέριστη για φορτία  $g_k = 30$  KN/m και  $q_k = 6$  KN/m. Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι 200000 MPa και η συστολή ξήρανσης  $\varepsilon_{cs}$  λαμβάνεται ίση με το μηδέν. Η επικάλυψη του οπλισμού είναι  $c=2,5$  cm. Παρακάτω, υπολογίζεται για ποιότητα σκυροδέματος C30/37 το εύρος ρωγμής  $w_k$  και ελέγχεται επιπροσθέτως αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαλλακτικές διατάξεις, θεωρώντας  $w=0,2$  mm.



Από την επίλυση της αμφιέριστης δοκού προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$$\text{OKΛ: } g_{serv} = 30 + 0,3 \cdot 6 = 31,8 \text{ KN/m} \rightarrow M_{serv} = 31,8 \cdot 5^2 / 8 = 99,4 \text{ KNm}$$

$$\text{OKΑ: } g_{ult} = 1,35 \cdot 30 + 1,5 \cdot 6 = 49,5 \text{ KN/m} \rightarrow M_{ult} = 49,5 \cdot 5^2 / 8 = 154,7 \text{ KNm}$$

$$c=2,5 \text{ cm}$$

$$d = h - c - 0,5 = 0,3 - 3 = 27 \text{ cm}$$

$$h_{c,ef} = \min[2,5(h-d); h/2] = \min[7; 15] = 7 \text{ cm}$$

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ck} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (1 \cdot 0,27^2 \cdot 17000) = 0,125$ $\Rightarrow \omega = 0,134$  $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,134 \cdot 100 \cdot 27 \cdot 17 / 435 = 14,14 \text{ cm}^2$	$f_{ck} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$ $\mu_{sd} = M_{ult} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) =$ $= 154,7 / (1 \cdot 0,27^2 \cdot 20000) = 0,106$ $\Rightarrow \omega = 0,113$  $A_{s,req} = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} =$ $= 0,113 \cdot 100 \cdot 27 \cdot 20 / 435 = 14,03 \text{ cm}^2$
Τοποθετούμε $\Phi 14/10 \rightarrow A_{s,prov} = 15,39 \text{ cm}^2$	Τοποθετούμε $\Phi 14/10 \rightarrow A_{s,prov} = 15,39 \text{ cm}^2$
Η απόσταση $s$ μεταξύ των οπλισμών είναι: $s = 10 \text{ cm}$	Η απόσταση $s$ μεταξύ των οπλισμών είναι: $s = 10 \text{ cm}$
Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:	Η τάση του οπλισμού τη στιγμή της ρηγμάτωσης είναι:
$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (M_{serv} / M_{ult}) =$ $= 435 \cdot (14,14 / 15,39) \cdot (99,4 / 154,7) =$ $= 435 \cdot 0,919 \cdot 0,643 =$ $= 256,99 \text{ MPa}$	$\sigma_s = f_{yd} \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \cdot (M_{serv} / M_{ult}) =$ $= 435 \cdot (14,03 / 15,39) \cdot (99,4 / 154,7) =$ $= 435 \cdot 0,912 \cdot 0,643 =$ $= 254,99 \text{ MPa}$
— $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	— $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$
$k_t = 0,4$ $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ $h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$ $\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / (b \cdot h_{c,eff}) =$ $= 15,39 / (100 \cdot 7) = 0,022$ $\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33000 = 6,06$	$k_t = 0,4$ $f_{ct,eff} = 2,9 \text{ MPa}$ $h_{c,eff} = 0,7 \text{ m}$ $\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / (b \cdot h_{c,eff}) =$ $= 15,39 / (100 \cdot 7) = 0,022$ $\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33000 = 6,06$
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} =$
$= \frac{256,99 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,022} (1 + 6,06 \cdot 0,022)}{200000} =$	$= \frac{254,99 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,022} (1 + 6,06 \cdot 0,022)}{200000} =$
$= \frac{256,99 - 0,4 \cdot 131,82 \cdot 1,133}{200000} =$	$= \frac{254,99 - 0,4 \cdot 131,82 \cdot 1,133}{200000} =$
$= 0,00099 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,00077$	$= 0,00098 > 0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,00077$
— $S_{r,max}$	— $S_{r,max}$
$k_1 = 0,8$ $k_2 = 0,5$ $k_3 = 3,4$ $k_4 = 0,425$	$k_b = 0,8$ $c = 25 \text{ mm}$
$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} =$	$S_{r,max} = 2c + 0,35 \cdot k_b \cdot \varnothing / \rho_{p,eff} =$

<p><math>= 3,4 \cdot 25 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 14 / 0,022 =</math>  <math>= 193,18 \text{ mm}</math></p> <p>– <math>W_k</math>  <math>W_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =</math>  <math>= 193,18 \cdot 0,00099 = 0,191 \text{ mm}</math></p> <p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> <p>Πίνακας 9.1 <math>\rightarrow \phi_{max} = 11 \text{ mm}</math>  <b>δεν μας καλύπτει</b></p> <p>Πίνακας 9.2 <math>\rightarrow s_{max} = 78,75 \text{ mm}</math>  <b>δεν μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, δεν καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής όπως έγινε παραπάνω.</p>	<p><math>= 2 \cdot 25 + 0,35 \cdot 0,8 \cdot 14 / 0,022 =</math>  <math>= 228,18 \text{ mm}</math></p> <p>– <math>W_k</math>  <math>W_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) =</math>  <math>= 228,18 \cdot 0,00098 = 0,224 \text{ mm}</math></p> <p>▪ <b>Απαλλακτικές διατάξεις</b></p> <p><math>\rho_p = A_{s,prov} / (b \cdot d) = 15,39 / (100 \cdot 27) = 0,0057</math></p> <p><math>\varphi_{max} = \frac{0,0057}{0,7 \cdot \left(\frac{30}{27} - 1\right)} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{254,99}{200000}} - 50 \right) =</math>  <math>= 0,073 \cdot (174,3 - 50) = 9,1 \text{ mm}</math>  <b>δεν μας καλύπτει</b></p> <p><math>s_{l,max} = \frac{1,6 \rho_p}{\left(\frac{h}{d} - 1\right)^2} d \left( \frac{W_{lim,cal}}{0,9 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} + \eta_r \cdot \epsilon_{cs}} - 2c \right)^2</math>  <math>= \frac{1,6 \cdot 0,0057}{\left(\frac{30}{27} - 1\right)^2} \frac{1}{270} \left( \frac{0,2}{0,9 \cdot \frac{177,33}{200000}} - 50 \right)^2 =</math>  <math>= 0,0027 \cdot (174,3 - 50)^2 = 42,27 \text{ mm}</math>  <b>δεν μας καλύπτει</b></p> <p>Άρα, δεν καλυπτόμαστε από τις απαλλακτικές διατάξεις και συνεπώς απαιτείται αναλυτικός υπολογισμός του εύρους της ρωγμής όπως έγινε παραπάνω</p>
---	--

## 9.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

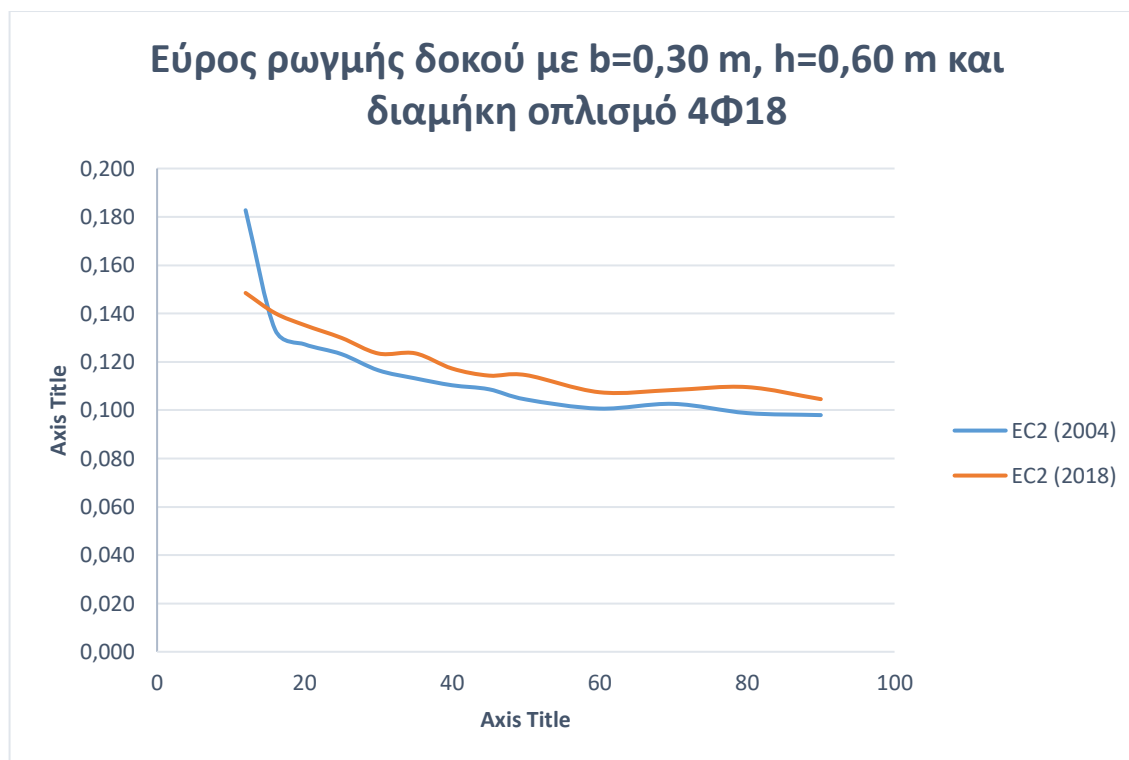
- Αποτελέσματα για την περίπτωση της δοκού

Εύρος ρωγμής $w_k$ (mm) για δοκό με $b=0,30$ m			
EC2 (2004)			
$f_{ck}$ (MPa) \ h (m)	0,5	0,6	0,7
12	0,189	0,183	0,205
16	0,169	0,133	0,192
20	0,160	0,127	0,186
25	0,152	0,123	0,179
30	0,146	0,116	0,169
35	0,141	0,113	0,164
40	0,138	0,110	0,158
45	0,132	0,109	0,156
50	0,129	0,104	0,150
60	0,125	0,101	0,075
70	0,124	0,103	0,142
80	0,121	0,099	0,144
90	0,126	0,098	0,141

Σχήμα 9.2 Εύρος ρωγμής  $w_k$  για δοκό μεταβλητού ύψους [EC2 (2004)]

Εύρος ρωγμής $w_k$ (mm) για δοκό με $b=0,30$ m			
EC2 (2018)			
$f_{ck}$ (MPa) \ h (m)	0,5	0,6	0,7
12	0,188	0,149	0,222
16	0,172	0,140	0,212
20	0,165	0,135	0,204
25	0,157	0,130	0,193
30	0,152	0,123	0,187
35	0,149	0,124	0,189
40	0,143	0,117	0,181
45	0,140	0,114	0,172
50	0,135	0,115	0,166
60	0,134	0,107	0,079
70	0,135	0,108	0,162
80	0,132	0,110	0,164
90	0,131	0,105	0,162

Σχήμα 9.3 Εύρος ρωγμής  $w_k$  για δοκό μεταβλητού ύψους [EC2 (2018)]

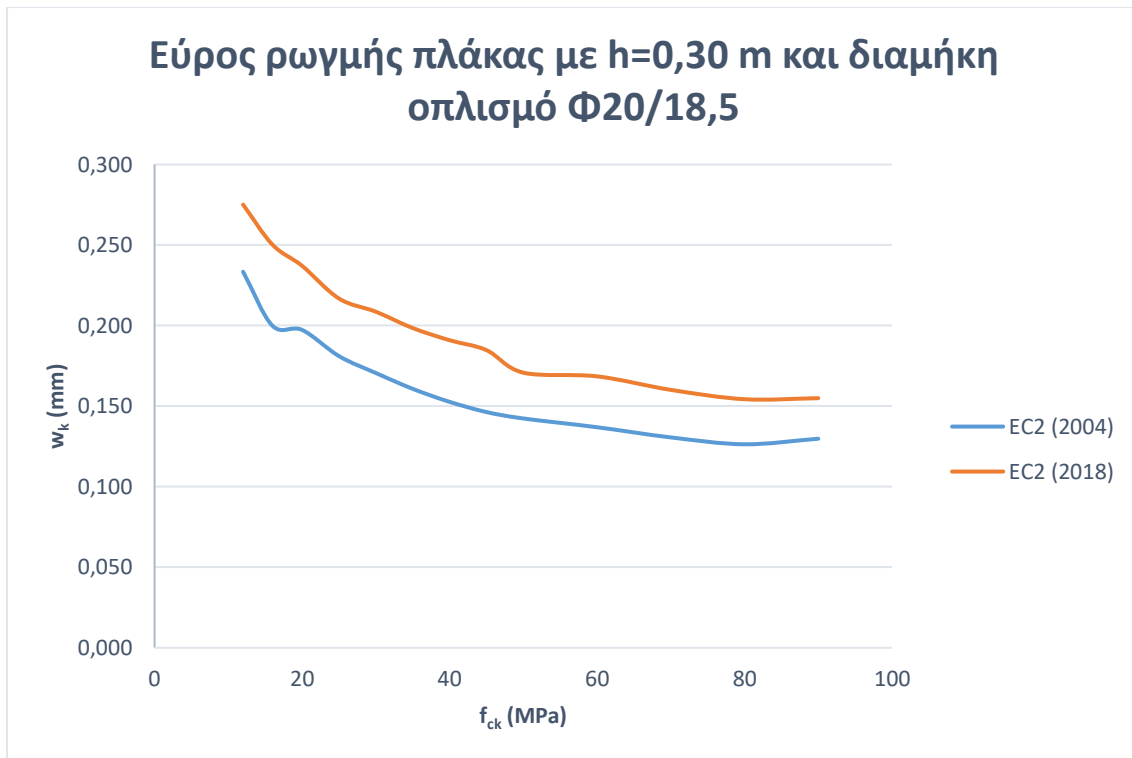


Διάγραμμα 9.1 Εύρος ρωγμής δοκού με  $b=0,30\text{ m}$ ,  $h=0,60\text{ m}$  και διαμήκη οπλισμό  $4\Phi 18$  – Σύγκριση αποτελεσμάτων

▪ **Αποτελέσματα για την περίπτωση της πλάκας**

Εύρος ρωγμής $w_k$ (mm) πλάκας με $h=0,30\text{ m}$		
$f_{ck}$ (MPa)	EC2 (2004)	EC2 (2018)
12	0,233	0,275
16	0,200	0,250
20	0,197	0,237
25	0,181	0,217
30	0,171	0,209
35	0,161	0,199
40	0,153	0,191
45	0,146	0,185
50	0,142	0,171
60	0,137	0,168
70	0,131	0,160
80	0,126	0,154
90	0,130	0,155

Σχήμα 9.4 Εύρος ρωγμής πλάκας με  $h=0,30\text{ m}$  και διαμήκη οπλισμό  $\Phi 20/18,5$  – Σύγκριση αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 9.2 Εύρος ρωγμής πλάκας με  $h=0,30$  m και διαμήκη οπλισμό  $\Phi 20/18,5$  – Σύγκριση αποτελεσμάτων

## 9.7 Συμπεράσματα

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς είναι φανερό ότι το εύρος ρωγμής που υπολογίζεται σύμφωνα με τον EC2 (2018) είναι μεγαλύτερο από αυτό που προκύπτει από τον ισχύοντα κανονισμό του 2004. Επομένως, και ο απαιτούμενος οπλισμός για τον περιορισμό του εύρους της ρωγμής είναι περισσότερος στην περίπτωση του EC2 (2018), κάτι που τον καθιστά πιο αυστηρό στην περίπτωση αυτή.

## 10 ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ

### 10.1 Εισαγωγή

Ο έλεγχος σε κόπωση γίνεται σε κατασκευές και δομικά στοιχεία που υπόκεινται τακτικά σε κύκλους φόρτισης. (π.χ. γερανογέφυρες, ή γέφυρες που υπόκεινται σε υψηλά φορτία κυκλοφορίας) και γίνεται ξεχωριστά για το σκυροδέμα και για το χάλυβα. Ο υπολογισμός των τάσεων με βάση τις οποίες ελέγχεται σε κόπωση κάποια διατομή βασίζεται στην παραδοχή των ρηγματωμένων διατομών, αγνοώντας την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, αλλά ικανοποιώντας τη συνθήκη του συμβιβαστού των παραμορφώσεων.

### 10.2 EC2 (2004) – [6.8.2]

$$f_{cd,fat} = k_1 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

όπου:

$k_1$  είναι συντελεστής με προτεινόμενη τιμή το 0,85 για  $N=10^6$  κύκλους φόρτισης

$\beta_{cc}(t_0)$  είναι συντελεστής που σχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος κατά την πρώτη φόρτιση, με:

$$\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot \left(1 - \frac{28}{t}\right)^{1/2}}$$

$s$  συντελεστής που εξαρτάται από την ποιότητα του τσιμέντου

$t$  είναι η ηλικία του σκυροδέματος

### 10.3 EC2 (2018) – [10.3]

$$f_{cd,fat} = \beta_{cc}(t_0) \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot k_{tc} \cdot \eta_{cc,fat}$$

όπου:

$k_{tc}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επίδραση μακροχρόνιων φορτίων στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (προτείνεται η τιμή 1)

$$\eta_{cc,fat} = \min(0,85 \cdot \eta_{cc}; 0,80)$$

$\eta_{cc}$  είναι συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μη κατανεμημένη θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και την ενεργό θλιπτική αντοχή που μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα δομικό στοιχείο

$\beta_{cc}(t_0)$  είναι συντελεστής που σχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος κατά την πρώτη φόρτιση, με:

$$\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot \left(1 - \frac{t_{ref}}{t}\right) \cdot \sqrt{\frac{28}{t_{ref}}}}$$

s συντελεστής που εξαρτάται από την ποιότητα του τσιμέντου

t είναι η ηλικία του σκυροδέματος

t<sub>ref</sub> είναι ο χρόνος στον οποίο προσδιορίζεται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και μπορεί να είναι ίσο με :

- 28 μέρες γενικά
- από 28 έως 91 μέρες σε περιπτώσεις όπου η αντοχή αναπτύσσεται με αργούς ρυθμούς

## 10.4 Αιτίες αλλαγής

Η αντοχή σε κόπωση σύμφωνα με τον EC2 (2004) βελτιώθηκε, λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλότερες αντοχές σκυροδέματος. Επίσης, ελήφθη υπόψη και η επίδραση της παρατεταμένης φόρτισης. Ενώ στη σχέση του EC2 (2004) η αντοχή  $f_{cd} = f_{ck}/1,5$  μειώνεται κατά 0,85 και κατά  $(1 - f_{ck}/250)$ , στη νέα εξίσωση που παρέχει ο EC2 (2018) καταγράφονται οι επιδράσεις της παρατεταμένης φόρτισης και της ευθραυστότητας που χαρακτηρίζει σκυροδέματα υψηλών αντοχών, μέσω του συντελεστή  $\eta_{cc, fat}$ . Ο εν λόγω συντελεστής αναφέρεται στις διαφορές μεταξύ της θλιπτικής αντοχής ενός κυλίνδρου και της πραγματικής αντοχής ενός δομικού στοιχείου. Οι παράγοντες 0,85 και 0,80 λαμβάνουν υπόψη τη μείωση της αντοχής υπό κυκλική φόρτιση, σε σύγκριση με τη μονοτονική βραχυπρόθεσμη φόρτιση.

## 10.5 Διερεύνηση

### 10.5.1 Εφαρμογή: Υπολογισμός της αντοχής σε κόπωση σκυροδέματος για διάφορες χαρακτηριστικές αντοχές

<b>f<sub>ck</sub> = 12 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
Έστω t=28 μέρες και s=0,2.	Έστω t=28 μέρες, t <sub>ref</sub> =28 μέρες και s=0,2
$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right)^{1/2}} = 1$	$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right) \cdot \sqrt{\frac{28}{28}}} = 1$
$\alpha_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 12 / 1,5 = 6,8 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 12 / 1,5 = 8 \text{ MPa}$
$f_{cd, fat} = 0,85 \cdot 1 \cdot 6,8 \cdot \left(1 - \frac{12}{250}\right) = 5,503 \text{ MPa}$	$\eta_{cc, fat} = \min(0,85 \cdot 1; 0,8) = 0,8$
	$f_{cd, fat} = 1 \cdot \frac{12}{1,5} \cdot 1 \cdot 0,8 = 6,4 \text{ MPa}$



<b>f<sub>ck</sub> = 30 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
Έστω t=28 μέρες και s=0,2.	Έστω t=28 μέρες, t <sub>ref</sub> =28 μέρες και s=0,2
$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right)^{1/2}} = 1$	$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right) \cdot \sqrt{\frac{28}{28}}} = 1$
$\alpha_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$
$f_{cd,fat} = 0,85 \cdot 1 \cdot 17 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 12,716 \text{ MPa}$	$\eta_{cc,fat} = \min(0,85 \cdot 1; 0,8) = 0,8$
	$f_{cd,fat} = 1 \cdot \frac{30}{1,5} \cdot 1 \cdot 0,8 = 16 \text{ MPa}$

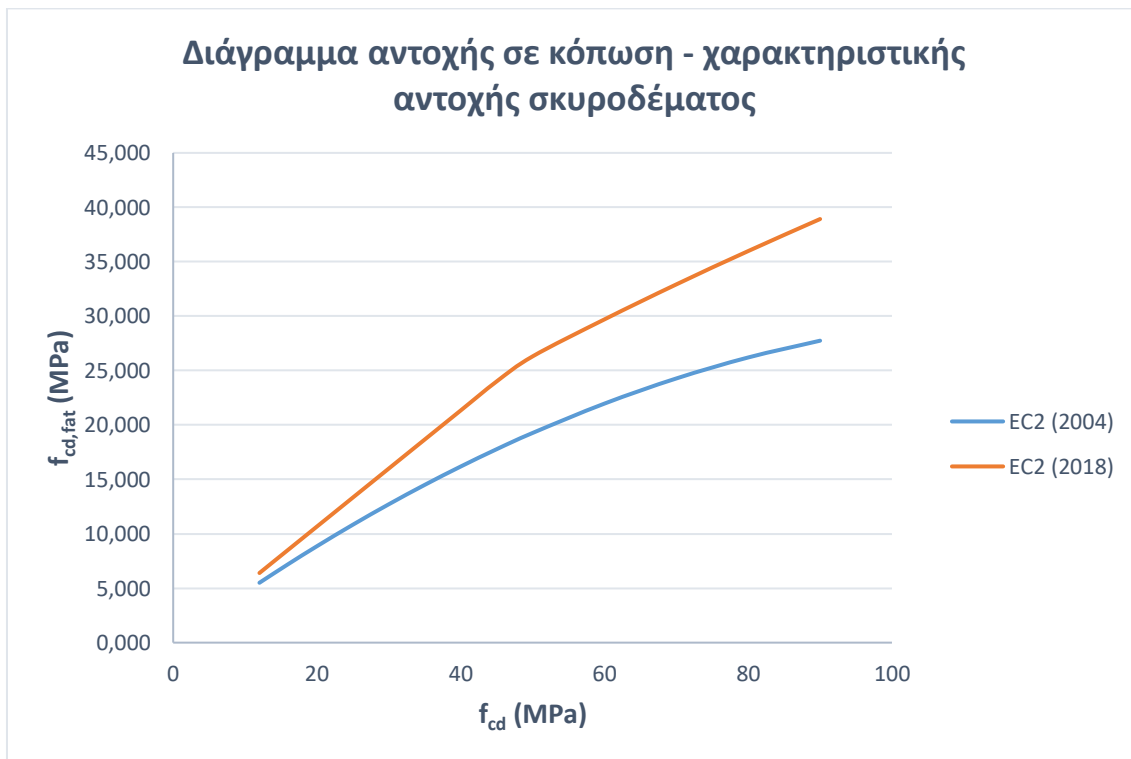
<b>f<sub>ck</sub> = 50 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
Έστω t=28 μέρες και s=0,2.	Έστω t=28 μέρες, t <sub>ref</sub> =28 μέρες και s=0,2
$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right)^{1/2}} = 1$	$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right) \cdot \sqrt{\frac{28}{28}}} = 1$
$\alpha_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 50 / 1,5 = 28,333 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,928 \rightarrow f_{cd} = 0,928 \cdot 50 / 1,5 = 30,944 \text{ MPa}$
$f_{cd,fat} = 0,85 \cdot 1 \cdot 28,333 \cdot \left(1 - \frac{50}{250}\right) = 19,27 \text{ MPa}$	$\eta_{cc,fat} = \min(0,85 \cdot 0,928; 0,8) = 0,789$
	$f_{cd,fat} = 1 \cdot \frac{50}{1,5} \cdot 1 \cdot 0,789 = 26,3 \text{ MPa}$

<b>f<sub>ck</sub> = 70 MPa</b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
Έστω t=28 μέρες και s=0,2.	Έστω t=28 μέρες, t <sub>ref</sub> =28 μέρες και s=0,2
$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right)^{1/2}} = 1$	$\beta_{cc}(t) = e^{0,2 \cdot \left(1 - \frac{28}{28}\right) \cdot \sqrt{\frac{28}{28}}} = 1$
$\alpha_{cc} = 1 \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 70 / 1,5 = 38,667 \text{ MPa}$	$\eta_{cc} = 0,83 \rightarrow f_{cd} = 0,83 \cdot 70 / 1,5 = 38,725 \text{ MPa}$
$f_{cd,fat} = 0,85 \cdot 1 \cdot 38,667 \cdot \left(1 - \frac{70}{250}\right) = 24,276 \text{ MPa}$	$\eta_{cc,fat} = \min(0,85 \cdot 0,83; 0,8) = 0,706$
	$f_{cd,fat} = 1 \cdot \frac{70}{1,5} \cdot 1 \cdot 0,706 = 32,947 \text{ MPa}$

## 10.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

$f_{ck}$ (MPa)	$f_{cd,fat}^{2004}$ (MPa)	$f_{cd,fat}^{2018}$ (MPa)
12	5,503	6,400
16	7,213	8,533
20	8,863	10,667
25	10,838	13,333
30	12,716	16,000
35	14,498	18,667
40	16,184	21,333
45	17,774	24,000
50	19,267	26,302
60	21,964	29,702
70	24,276	32,916
80	26,203	35,981
90	27,744	38,920

Πίνακας 10.1 Αντοχή σκυροδέματος σε κόπωση



Διάγραμμα 10.1 Αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος σε κόπωση συναρτήσει της αντοχής σχεδιασμού του.

## 10.7 Συμπεράσματα

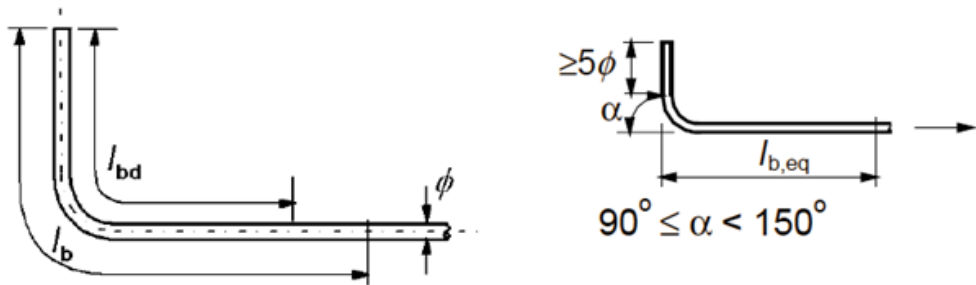
Οι αντοχές του σκυροδέματος σε κόπωση που προκύπτουν από τον υπολογισμό βάσει του EC2 (2018) είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες του ισχύοντος κανονισμού. Ως εκ τούτου συμπεραίνεται ότι και σε αυτό το κομμάτι ο ισχύων κανονισμός είναι αρκετά συντηρητικός και για αυτόν το λόγο κρίθηκε αναγκαία η αλλαγή του.



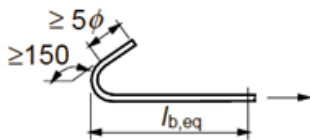
# 11 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

## 11.1 Εισαγωγή

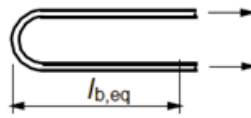
Οι ράβδοι οπλισμού, τα σύρματα ή τα συγκολλητά δομικά πλέγματα θα πρέπει να είναι αγκυρωμένα έτσι ώστε οι δυνάμεις συνάφειας να μεταβιβάζονται με ασφάλεια στο σκυρόδεμα χωρίς την εμφάνιση διαμήκων ρηγματώσεων ή αποφλοιώσεων. Εάν είναι απαραίτητο θα πρέπει να τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός. Οι μέθοδοι αγκύρωσης φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



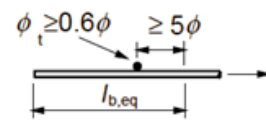
- a) Βασικό μήκος αγκύρωσης υπό εφελκυσμό  $l_b$  για οποιοδήποτε σχήμα μετρούμενο κατά μήκος του άξονα της ράβδου.      b) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπική καμπύλωση



- c) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό άγκιστρο



- d) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης για τυπικό βρόχο



- e) Ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης με συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο

Σχήμα 11.1 Μέθοδοι αγκύρωσης μη ευθύγραμμων ράβδων [EC2 (2004)]

## 11.2 EC2 (2004) – [8.4]

Το βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης  $l_{b,rqd}$ , για αγκύρωση ράβδου που καταπονείται με δύναμη  $A_s \cdot \sigma_{sd}$ , με την παραδοχή σταθερής τάσης συνάφειας ίσης με  $f_{bd}$ , δίδεται από τη σχέση:

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

όπου:

$\sigma_{sd}$  είναι η τάση σχεδιασμού της ράβδου στη θέση από όπου αρχίζει να μετράται η αγκύρωση

$f_{bd}$  είναι η τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας, για ράβδους με νευρώσεις και ισούται με:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

όπου:

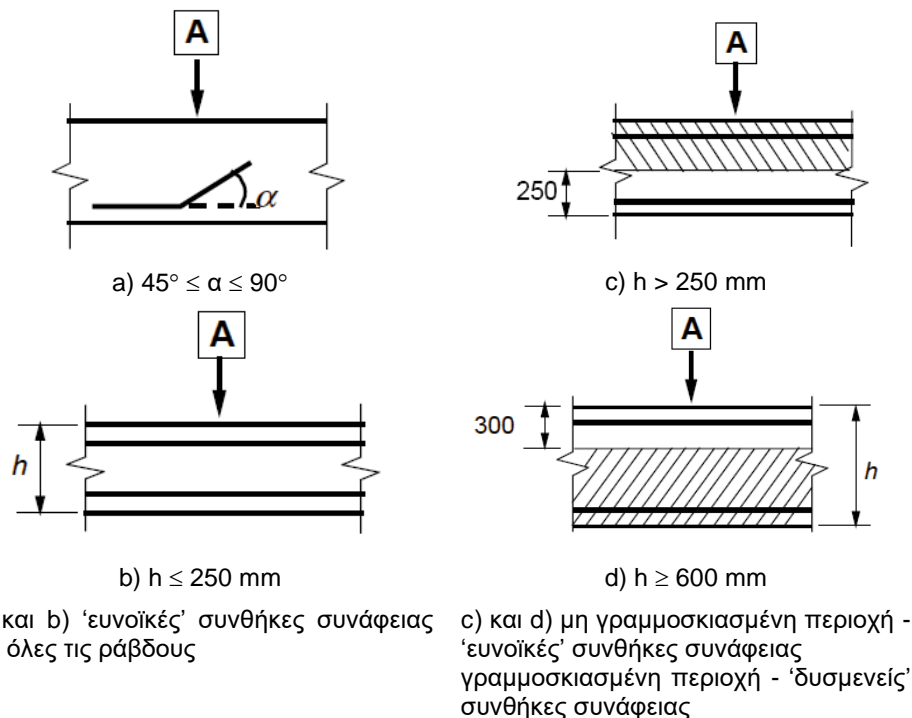
$f_{ctd}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος. Λόγω της αυξημένης ψαθυρότητας των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής, το  $f_{ctk,0,05}$  πρέπει να περιοριστεί στη τιμή που αντιστοιχεί στο C60/75, εκτός αν μπορεί να τεκμηριωθεί ότι η μέση τάση συνάφειας υπερβαίνει αυτό το όριο.

$\eta_1$  είναι ένας συντελεστής που έχει σχέση με τη ποιότητα των συνθηκών συνάφειας και τη θέση της ράβδου κατά τη σκυροδέτηση:

- $\eta_1 = 1,0$  όταν εξασφαλίζονται “ευνοϊκές” συνθήκες και
- $\eta_1 = 0,7$  για όλες τις άλλες περιπτώσεις και για ράβδους σε δομικά στοιχεία κατασκευασμένα με ολισθαίνοντες ξυλοτύπους, εκτός αν μπορεί να τεκμηριωθεί η ύπαρξη “ευνοϊκών” συνθηκών συνάφειας.

$\eta_2$  σχετίζεται με τη διάμετρο των ράβδων:

- $\eta_2 = 1,0$  για  $\varnothing \leq 32$  mm
- $\eta_2 = (132 - \varnothing) / 100$  για  $\varnothing > 32$  mm



Σχήμα 11.2 Διακρίση συνθηκών συνάφειας [EC2 (2004)], όπου A η διεύθυνση σκυροδέτησης

Ακολούθως, υπολογίζεται το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού από τη σχέση:

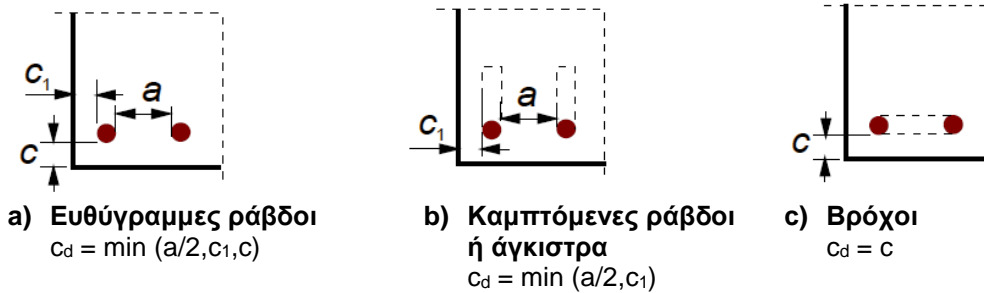
$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

όπου  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  και  $\alpha_5$  είναι συντελεστές που δίνονται στον Πίνακα 12.1:

## ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

$\alpha_1$  συντελεστής που αναφέρεται στην επιρροή της μορφής των ράβδων με την παραδοχή επαρκούς επικάλυψης

$\alpha_2$  συντελεστής που αναφέρεται στην επιρροή της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος



Σχήμα 11.3 Τιμές του  $c_d$  για δοκούς και πλάκες [EC2 (2004)]

$\alpha_3$  συντελεστής που αναφέρεται στην επιρροή της περίσφιξης μέσω εγκάρσιου σπλισμού.

$\alpha_4$  συντελεστής σχετικά με την επίδραση μίας ή περισσότερων συγκολλημένων εγκάρσιων ράβδων ( $\phi_t > 0,6\phi$ ) κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού  $l_{bd}$

$\alpha_5$  συντελεστής που σχετίζεται με την επιρροή της πίεσης εγκάρσια στο επίπεδο της διάρρηξης κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού.

Απαιτείται όπως το γινόμενο ( $\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5$ )  $\geq 0,7$

$l_{b,rqd}$  υπολογίζεται όπως παραπάνω

$l_{b,min}$  είναι το ελάχιστο μήκος αγκύρωσης το οποίο, εάν δεν υπάρχει άλλος περιορισμός, ορίζεται ως εξής:

- για αγκυρώσεις υπό εφελκυσμό:  $l_{b,min} > \max\{0,3l_{b,rqd}, 10\phi, 100 \text{ mm}\}$
- για αγκυρώσεις υπό θλίψη:  $l_{b,min} > \max\{0,6l_{b,rqd}, 10\phi, 100 \text{ mm}\}$

Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι σπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\phi$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 11.3 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 11.3 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_2 = 1,0$

Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - \kappa\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό*	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04\rho$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

Πίνακας 11.1 Τιμές των συντελεστών  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  και  $\alpha_5$  [EC2 (2004)]

### 11.3 EC2 (2018) – [11.4]

Για ράβδους με ραβδώσεις και για οδοντωτές ράβδους με  $\phi \leq 20 \text{ mm}$ ,  $f_{yd} \leq 435 \text{ MPa}$ ,

$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$  και  $c_d \geq 1,5 \cdot \phi$ , το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης σε εφελκυσμό.  $l_{bd,req}$ , υπολογίζεται ως εξής:

$$l_{bd,req} = k_{lbs} \cdot \phi$$

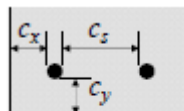
Σε κάθε άλλη περίπτωση ο υπολογισμός γίνεται ως ακολούθως:

$$l_{bd,req} = k_{lbs} \cdot \phi \cdot \left( \frac{25 \text{ MPa}}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{\phi}{20 \text{ mm}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{1,5\phi}{c_d} \right)^{\frac{1}{2}} \geq 12\phi$$

Όπου:

$\phi$  η διάμετρος της ράβδου σε mm, με  $\phi/20 \text{ mm} \geq 0,5$

$c_d$  προσδιορίζεται όπως στο ακόλουθο σχήμα και ισχύει  $1,5\phi/c_d \geq 0,4$ :



$$c_d = \min\{c_s/2; c_x; c_y\}$$

Σχήμα 11.4 Ορισμός ονομαστικής επικάλυψης  $c_d$ 

$k_{lbs}$  υπολογίζεται με βάση τον πίνακα:



$\sigma_{sd}$ [MPa]	$\sigma_{sd} \leq 200$	$200 < \sigma_{sd} \leq 250$	$250 < \sigma_{sd} \leq 300$	$300 < \sigma_{sd} \leq 350$	$350 < \sigma_{sd} \leq 390$	$390 < \sigma_{sd} \leq 435$	$435 < \sigma_{sd} \leq 480$	$480 < \sigma_{sd} \leq 520$	$520 < \sigma_{sd} \leq 610$
$k_{lbs}$	16	22	29	36	43	<b>50</b>	58	65	83

Πίνακας 11.2 Συντελεστής  $k_{lbs}$  ως συνάρτηση της τάσης σχεδιασμού  $\sigma_{sd}$  για  $\gamma_c=1,5$  [EC2 (2018)]

**Σημείωση:** Γενικά, για κακές συνθήκες αγκύρωσης το  $k_{lbs}$  είναι ίσο με 50, ενώ για καλές συνθήκες λαμβάνεται ίσο με 40.

## 11.4 Αιτίες αλλαγής

Στην προσέγγιση του 2004, το μήκος αγκύρωσης υπολογίζεται σε τρία στάδια: (i) υπολογισμός της μέγιστης τάσης συνάφειας; (ii) υπολογισμός του βασικού μήκους αγκύρωσης και (iii) υπολογισμός του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού. Επιπλέον, οι εξισώσεις για τα βήματα (i) και (iii) περιέχουν μεγάλο αριθμό παραμέτρων, έτσι ώστε και για τις απλούστερες περιπτώσεις, απαιτείται μια σχετικά μακρά διαδικασία υπολογισμού για τον προσδιορισμό του μήκους αγκύρωσης. Για να βελτιώσουν την ευκολία χρήσης, οι διατάξεις έχουν οργανωθεί με διαφορετικό τρόπο

## 11.5 Διερεύνηση

### 11.5.1 Εφαρμογή 1<sup>η</sup>: Υπολογισμός μήκους αγκύρωσης για δεδομένη διάμετρο ράβδου σπλισμού

Έστω διάμετρος σπλισμού  $\Phi=12$  mm και επικάλυψη  $c_d=3$  cm. Ο υπολογισμός του μήκους αγκύρωσης για κάθε περίπτωση έχει ως εξής:

$f_{ck} = 12$ MPa	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ctd,0.05} = 1,1$ MPa	<b>α) καλές συνθήκες</b>  $\Phi/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\Phi/c_d = 1,5 \cdot 12/3 = 0,6 > 0,4$  $l_{bd,req} = k_{lbs} \Phi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\Phi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\Phi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$  $= 40 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{12}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$  $= 45,26 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$
$f_{yd} = 435$ MPa	
$f_{ctd} = 1 \cdot 1,1/1,5 = 0,733$ MPa	
$\Phi < 32$ mm $\rightarrow \eta_2 = 1$	
<b>α) καλές συνθήκες: <math>\eta_1 = 1</math></b>	
$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,733 = 1,65$ MPa	
$l_{b,reqd} = (\Phi/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (12/4) \cdot (435/1,65) = 79,09$ cm	

$\alpha_1=0,1$ $\alpha_2=1-0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing =$ $= 1-0,15 \cdot (3-1,2) / 1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 79,09 = 61,3 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες: <math>\eta_1 = 0,7</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,733 = 1,155 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435 / 1,155) = 112,99 \text{ cm}$ $\alpha_1=0,1$ $\alpha_2=1-0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing =$ $= 1-0,15 \cdot (3-1,2) / 1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 112,99 = 87,56 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 61,3 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 87,56 \text{ cm}</math></b></p>	<p><b>β) κακές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 50 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{12}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 56,58 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 45,26 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 56,58 \text{ cm}</math></b></p>
---	---

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ctd,0.05} = 2 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = 1 \cdot 2 / 1,5 = 1,333 \text{ MPa}$ $\Phi < 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = 1$ <p><b>α) καλές συνθήκες: <math>\eta_1 = 1</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435/3) = 43,5 \text{ cm}$	<p><b>α) καλές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 40 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{30}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 28,63 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 12/20 = 0,6$

$\alpha_1=0,1$ $\alpha_2=1-0,15 \cdot (c_d-\emptyset)/\emptyset=$ $= 1-0,15 \cdot (3-1,2)/1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 43,5 = 33,71 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες: <math>\eta_1 = 0,7</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,333 = 2,1 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\emptyset/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435/2,1) = 62,14 \text{ cm}$ $\alpha_1=0,1$ $\alpha_2=1-0,15 \cdot (c_d-\emptyset)/\emptyset=$ $= 1-0,15 \cdot (3-1,2)/1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 62,14 = 48,16 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 33,71 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 48,16 \text{ cm}</math></b></p>	$1,5\emptyset/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 50 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{30}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 35,78 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 28,63 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 35,78 \text{ cm}</math></b></p>
---	---

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ctd,0.05} = 2,9 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = 1 \cdot 2,9/1,5 = 1,933 \text{ MPa}$ $\Phi < 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = 1$ <p><b>α) καλές συνθήκες: <math>\eta_1 = 1</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,933 = 4,35 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\emptyset/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435/4,35) = 30 \text{ cm}$ $\alpha_1=0,1$ $\alpha_2=1-0,15 \cdot (c_d-\emptyset)/\emptyset=$ $= 1-0,15 \cdot (3-1,2)/1,2 = 0,775$	<p><b>α) καλές συνθήκες</b></p> $\emptyset/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\emptyset/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 40 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{50}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 22,17 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες</b></p> $\emptyset/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\emptyset/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$

$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1,0 \cdot 0,775 \cdot 30 = 23,25 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες: <math>\eta_1 = 0,7</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,933 = 3,045 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435/2,1) = 42,86 \text{ cm}$ $\alpha_1 = 0,1$ $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing)/\varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 1,2)/1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 42,86 = 33,21 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 23,25 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 33,21 \text{ cm}</math></b></p>	$= 50 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{50}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 27,72 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 22,17 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 27,72 \text{ cm}</math></b></p>
---	--

$f_{ck} = 70 \text{ MPa}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ctd,0.05} = 3,2 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = 1 \cdot 3,2/1,5 = 2,133 \text{ MPa}$ $\varnothing < 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = 1$ <p><b>α) καλές συνθήκες: <math>\eta_1 = 1</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,133 = 4,8 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435/4,8) = 27,19 \text{ cm}$ $\alpha_1 = 0,1$ $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing)/\varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 1,2)/1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 27,19 = 21,07 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες: <math>\eta_1 = 0,7</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$	<p><b>α) καλές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 40 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{70}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 18,74 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 12/20 = 0,6$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 1,2/3 = 0,6 > 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varphi \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varphi}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varphi}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 50 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{25}{70}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{2}} =$ $= 23,43 \text{ cm} > 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ cm}$

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

$= 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 2,133 = 3,36 \text{ MPa}$ $l_{b,reqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (1,2/4) \cdot (435/3,36) = 38,84 \text{ cm}$ $\alpha_1 = 0,1$ $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 1,2) / 1,2 = 0,775$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,reqd} =$ $= 1 \cdot 0,775 \cdot 38,84 = 30,1 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 21,07 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 30,1 \text{ cm}</math></b></p>	<p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 18,74 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 23,43 \text{ cm}</math></b></p>
---	--

11.5.2 Εφαρμογή 2<sup>η</sup>: Υπολογισμός μήκους αγκύρωσης για δεδομένη ποιότητα σκυροδέματος

Έστω ποιότητα σκυροδέματος C30/37. Ο υπολογισμός του μήκους αγκύρωσης σε κάθε περίπτωση έχει ως εξής:

$\Phi = 8 \text{ mm}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$f_{ctd,0.05} = 2 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = 1 \cdot 2 / 1,5 = 1,333 \text{ MPa}$ $\Phi < 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = 1$ <p><b>α) καλές συνθήκες: <math>\eta_1 = 1</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3 \text{ MPa}$ $l_{b,reqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (0,8/4) \cdot (435/3) = 29 \text{ cm}$ $\alpha_1 = 0,1$ $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 0,8) / 0,8 = 0,588 < 0,7$ $\rightarrow \alpha_2 = 0,7$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,reqd} =$	<p><b>α) καλές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 8/20 = 0,4 < 0,6 \rightarrow \varnothing/20 = 0,6$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 0,8/3 = 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varnothing \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varnothing}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varnothing}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 40 \cdot 0,8 \cdot \left(\frac{25}{30}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,4)^{\frac{1}{2}} =$ $= 15,58 \text{ cm} > 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 8/20 = 0,4 < 0,6 \rightarrow \varnothing/20 = 0,6$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 0,8/3 = 0,4$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varnothing \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varnothing}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varnothing}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$

$= 1 \cdot 0,7 \cdot 29 = 20,3 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες: <math>\eta_1 = 0,7</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,333 = 2,1 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (0,8/4) \cdot (435/2,1) = 41,43 \text{ cm}$ $\alpha_1 = 0,1$ $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing)/\varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 0,8)/0,8 = 0,588 < 0,7$ $\rightarrow \alpha_2 = 0,7$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,7 \cdot 41,43 = 29 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 20,3 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 29 \text{ cm}</math></b></p>	$= 50 \cdot 0,8 \cdot \left(\frac{25}{30}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,6)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,4)^{\frac{1}{2}} =$ $= 19,48 \text{ cm} > 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 15,58 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 19,48 \text{ cm}</math></b></p>
---	---

<b><math>\Phi = 16 \text{ mm}</math></b>	
<b>EC2 (2004)</b>	<b>EC2 (2018)</b>
$f_{ctd,0.05} = 2 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = 1 \cdot 2/1,5 = 1,333 \text{ MPa}$ $\Phi < 32 \text{ mm} \rightarrow \eta_2 = 1$ <p><b>α) καλές συνθήκες: <math>\eta_1 = 1</math></b></p> $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} =$ $= 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3 \text{ MPa}$ $l_{b,rqd} = (\varnothing/4) \cdot (\sigma_{sd}/f_{bd}) =$ $= (1,6/4) \cdot (435/3) = 58 \text{ cm}$ $\alpha_1 = 0,1$ $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing)/\varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 1,6)/1,6 = 0,869$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,869 \cdot 58 = 50,39 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες: <math>\eta_1 = 0,7</math></b></p>	<p><b>α) καλές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 16/20 = 0,8$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 1,6/3 = 0,8$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varnothing \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varnothing}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varnothing}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 40 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{25}{30}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,8)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,8)^{\frac{1}{2}} =$ $= 48,51 \text{ cm} > 12 \cdot 1,6 = 19,2 \text{ cm}$ <p><b>β) κακές συνθήκες</b></p> $\varnothing/20 = 16/20 = 0,8$ $1,5\varnothing/c_d = 1,5 \cdot 1,6/3 = 0,8$ $l_{bd,req} = k_{lbs} \varnothing \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{\varnothing}{20}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,5\varnothing}{c_d}\right)^{\frac{1}{2}} =$ $= 50 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{25}{30}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (0,8)^{\frac{1}{3}} \cdot (0,8)^{\frac{1}{2}} =$ $= 60,64 \text{ cm} > 12 \cdot 1,6 = 19,2 \text{ cm}$



$\alpha_1=0,1$ $\alpha_2=1-0,15 \cdot (c_d-\emptyset)/\emptyset=$ $= 1-0,15 \cdot (3-2)/2 = 0,925$ $l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_{b,rqd} =$ $= 1 \cdot 0,925 \cdot 103,57 = 95,8 \text{ cm}$	
<b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 67,06 \text{ cm}</math></b> <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 95,8 \text{ cm}</math></b>	<b>Καλές συνθήκες : <math>l_{bd} = 73,03 \text{ cm}</math></b> <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{bd} = 91,29 \text{ cm}</math></b>

### 11.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

- Καλές συνθήκες αγκύρωσης

$l_{bd,2004} (\emptyset)$														
$\Phi$ $f_{ck}$	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
12	46,1	46,1	51,1	54,6	57,3	59,3	61,0	62,3	63,4	64,4	65,2	65,9	65,9	67,3
16	39,0	39,0	43,2	46,2	48,4	50,2	51,6	52,7	53,7	54,5	55,2	55,8	55,8	56,9
20	33,8	33,8	37,5	40,0	42,0	43,5	44,7	45,7	46,5	47,2	47,8	48,3	48,3	49,3
25	28,2	28,2	31,2	33,4	35,0	0,6	37,3	38,1	38,8	39,3	35,9	40,3	40,3	41,1
30	25,4	25,4	28,1	30,0	31,5	32,6	33,5	34,3	34,9	35,4	35,9	36,3	36,3	37,0
35	23,1	23,1	25,5	27,3	28,6	29,7	43,5	31,2	31,7	32,2	32,6	33,0	33,0	33,6
40	20,3	20,3	22,5	24,0	25,2	26,1	26,8	27,4	27,9	28,3	28,7	29,0	29,0	29,6
45	18,8	18,8	20,8	22,2	23,3	24,2	24,8	25,4	25,8	26,2	26,6	26,9	26,9	27,4
50	17,5	17,5	19,4	20,7	21,7	22,5	23,1	23,6	24,1	24,4	24,7	25,0	25,0	25,5
60	16,4	16,4	18,1	19,4	20,3	21,0	21,6	22,1	22,5	22,8	23,1	23,4	23,4	23,9
70	15,9	15,9	17,6	18,8	19,7	20,4	21,0	21,4	21,8	22,1	32,0	22,7	22,7	23,1
80	14,9	14,9	16,5	17,7	18,5	19,2	19,7	20,2	20,5	20,8	21,1	21,3	21,3	21,8
90	14,5	14,5	16,1	17,2	18,0	18,6	19,2	19,6	19,9	28,9	20,5	20,7	20,7	21,1

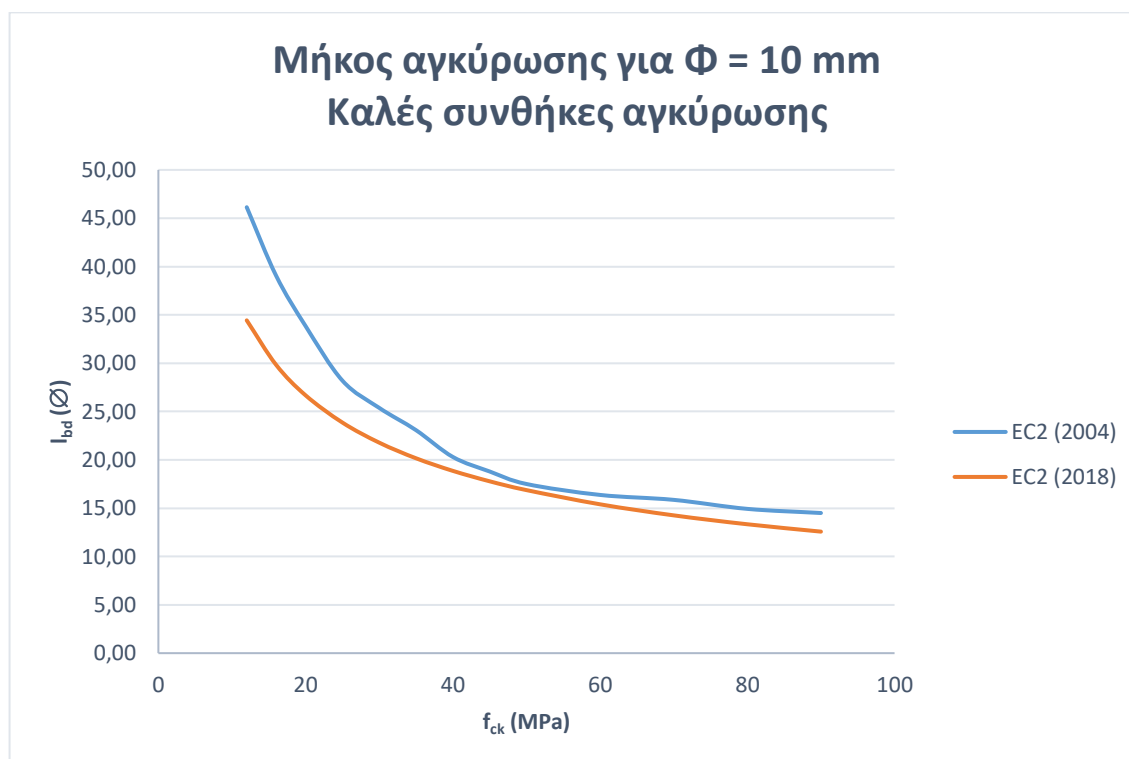
Πίνακας 11.3 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης για καλές συνθήκες αγκύρωσης, συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ck}$  σε MPa) και της διαμέτρου ( $\Phi$  σε mm) του υπό αγκύρωση οπλισμού [EC2 (2004)]



ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

		$l_{bd,2018} (\varnothing)$													
$\Phi$ $f_{ck}$	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	
12	30,8	34,4	37,7	42,9	47,9	52,9	57,7	62,5	67,2	71,8	76,4	80,9	85,4	89,8	
16	26,7	29,8	32,7	37,1	41,5	45,8	50,0	54,1	58,2	62,2	66,2	70,1	74,0	77,8	
20	23,9	26,7	29,2	33,2	37,1	41,0	44,7	48,4	52,1	55,7	59,2	62,7	66,2	69,6	
25	21,3	23,9	26,1	29,7	33,2	36,6	50,0	43,3	46,6	49,8	52,9	56,1	59,2	62,2	
30	19,5	21,8	23,9	27,1	30,3	33,4	36,5	39,5	42,5	45,4	48,3	51,2	54,0	56,8	
35	18,0	20,2	22,1	25,1	28,1	31,0	33,8	36,6	39,4	42,1	44,7	47,4	50,1	52,6	
40	16,9	18,9	20,7	23,5	26,3	29,0	31,6	34,2	36,8	39,4	41,9	44,3	46,8	49,2	
45	15,9	17,8	19,5	22,1	24,8	27,3	29,8	32,3	34,7	37,1	39,5	41,8	44,1	46,4	
50	15,1	16,9	18,5	21,0	23,5	25,9	28,3	30,6	32,9	35,2	37,4	39,7	41,8	44,0	
60	13,8	15,4	16,9	19,2	21,4	23,6	25,8	28,0	30,1	32,1	34,2	36,2	38,2	40,2	
70	12,8	14,3	15,6	17,8	19,8	21,9	23,9	25,9	27,8	29,7	31,6	33,5	35,4	37,2	
80	12,0	13,3	14,6	16,6	18,6	20,5	22,4	24,2	26,0	27,8	29,6	31,3	33,1	34,8	
90	12,0	12,6	13,8	15,7	17,5	19,3	21,1	22,8	24,5	26,2	27,9	29,6	31,2	32,8	

Πίνακας 11.4 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης για καλές συνθήκες αγκύρωσης, συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ck}$  σε MPa) και της διαμέτρου ( $\Phi$  σε mm) του υπό αγκύρωση οπλισμού [EC2 (2018)]



Διάγραμμα 11.1 Μήκος αγκύρωσης για  $\Phi=10$  mm - Καλές συνθήκες αγκύρωσης

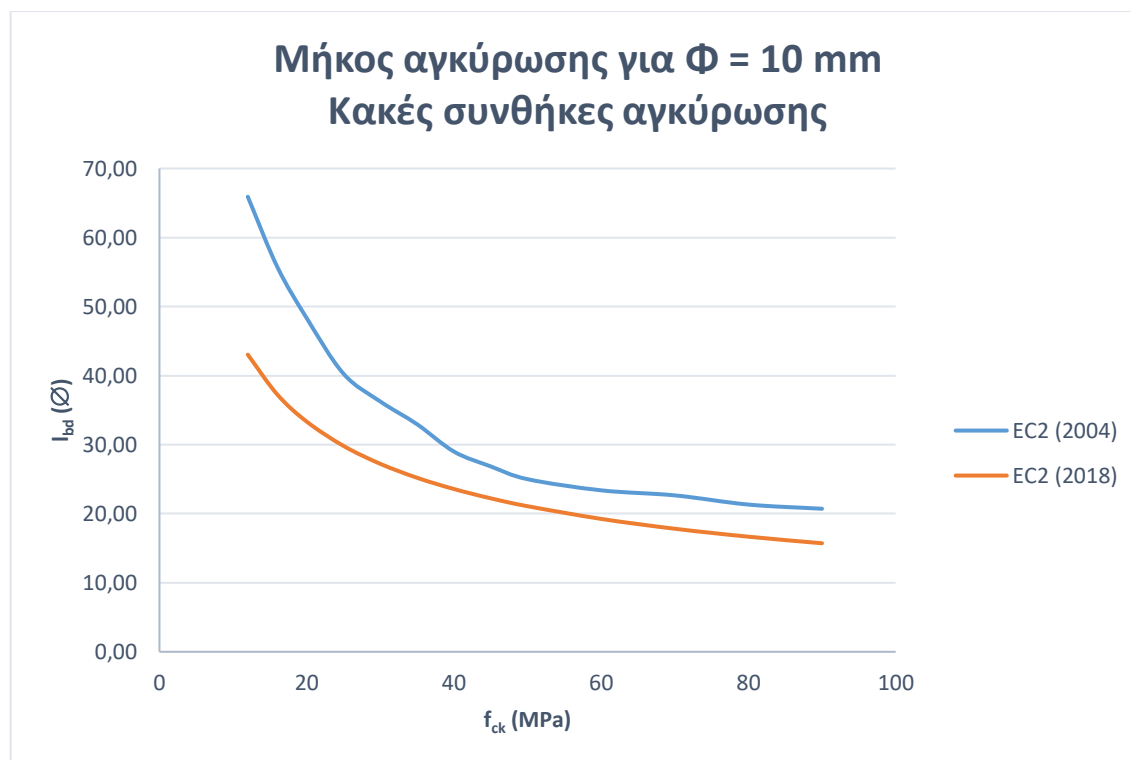
▪ Κακές συνθήκες αγκύρωσης

$l_{bd,2004} (\varnothing)$														
$\Phi$ $f_{ck}$	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
12	65,9	65,9	73,0	78,0	81,8	84,7	87,1	89,0	90,6	92,0	93,1	94,2	94,2	96,1
16	55,8	55,8	61,7	66,0	69,2	71,7	73,7	75,3	76,7	77,8	78,8	79,7	79,7	81,3
20	48,3	48,3	53,5	57,2	60,0	62,1	63,9	65,3	66,5	67,5	68,3	69,0	69,0	70,5
25	40,3	40,3	44,6	47,7	50,0	0,4	53,2	54,4	55,4	56,2	51,2	57,5	57,5	58,7
30	36,3	36,3	40,1	42,9	45,0	46,6	47,9	49,0	49,8	50,6	51,2	51,8	51,8	52,8
35	33,0	33,0	36,5	39,0	40,9	42,4	43,5	44,5	45,3	46,0	46,6	47,1	47,1	48,0
40	29,0	29,0	32,1	34,3	36,0	37,3	38,3	39,2	39,9	40,5	41,0	41,4	41,4	42,3
45	26,9	26,9	29,7	31,8	33,3	34,5	35,5	36,3	36,9	37,5	37,9	38,4	38,4	39,1
50	25,0	25,0	27,7	29,6	31,0	32,1	33,0	33,8	34,4	34,9	35,3	35,7	35,7	36,4
60	23,4	23,4	25,9	27,7	29,0	30,1	30,9	31,6	32,2	32,6	33,1	33,4	33,4	34,1
70	22,7	22,7	25,1	26,8	28,1	29,1	29,9	30,6	0,0	31,6	32,0	32,4	32,4	33,0
80	21,3	21,3	23,6	25,2	26,5	27,4	28,2	28,8	29,3	29,8	30,1	30,5	30,5	31,1
90	20,7	20,7	22,9	24,5	25,7	26,6	27,4	28,0	28,5	28,9	29,3	29,6	29,6	30,2

Πίνακας 11.5 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης για κακές συνθήκες συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ck}$  σε MPa) και της διαμέτρου ( $\Phi$  σε mm) του υπό αγκύρωση οπλισμού [EC2 (2004)]

$l_{bd,2018} (\varnothing)$														
$\Phi$ $f_{ck}$	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
12	38,5	43,0	47,1	53,6	59,9	66,1	72,2	78,1	84,0	89,8	95,5	101	107	112
16	33,3	37,3	40,8	46,4	51,9	57,2	62,5	67,7	72,8	77,8	82,7	87,6	92,5	97,3
20	29,8	33,3	36,5	41,5	46,4	51,2	55,9	60,5	65,1	69,6	74,0	78,4	82,7	87,0
25	26,7	29,8	32,7	37,1	41,5	45,8	50,0	54,1	58,2	62,2	66,2	70,1	74,0	77,8
30	24,3	27,2	29,8	33,9	37,9	41,8	45,6	49,4	53,1	56,8	60,4	64,0	67,5	71,0
35	22,5	25,2	27,6	31,4	35,1	38,7	42,3	45,8	49,2	52,6	55,9	59,2	62,5	65,8
40	21,1	23,6	25,8	29,4	32,8	36,2	39,5	42,8	46,0	49,2	52,3	55,4	58,5	61,5
45	19,9	22,2	24,3	27,7	30,9	34,1	37,3	40,3	43,4	46,4	49,3	52,2	55,1	58,0
50	18,9	21,1	23,1	26,3	29,4	32,4	35,4	38,3	41,2	44,0	46,8	49,6	52,3	55,0
60	17,2	19,2	21,1	24,0	26,8	29,6	32,3	34,9	37,6	40,2	42,7	45,2	47,7	50,2
70	15,9	17,8	19,5	22,2	24,8	27,4	29,9	32,4	34,8	37,2	39,6	41,9	44,2	46,5
80	14,9	16,7	18,3	20,8	23,2	25,6	28,0	30,3	32,5	34,8	37,0	39,2	41,4	43,5
90	14,1	15,7	17,2	19,6	21,9	24,1	26,4	28,5	30,7	32,8	34,9	36,9	39,0	41,0

Πίνακας 11.6 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης για καλές συνθήκες συναρτήσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος ( $f_{ck}$  σε MPa) και της διαμέτρου ( $\Phi$  σε mm) του υπό αγκύρωση οπλισμού [EC2 (2018)]



Διάγραμμα 11.2 Μήκος αγκύρωσης για  $\Phi=10$  mm - Κακές συνθήκες αγκύρωσης

### 11.7 Συμπεράσματα

Από τους παραπάνω πίνακες είναι σαφές ότι το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης προκύπτει μικρότερο με βάση τον EC2 (2018) για διαμέτρους έως 22 mm, ενώ για μεγαλύτερες προκύπτουν τιμές μικρότερες έως την αντοχή των 20 MPa περίπου και στη συνέχεια αυξάνονται. Συνεπώς, παρατηρείται ότι ο EC2 είναι υπέρ της ασφαλείας για μικρές διαμέτρους ράβδων.



## 12 ΕΝΩΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΕΣ ΡΑΒΔΟΥΣ

### 12.1 Εισαγωγή

Οι δυνάμεις μεταξύ των ράβδων οπλισμού μεταβιβάζονται κυρίως μέσω υπερκαλύψεων, συγκολλήσεων ή με μηχανικά μέσα.

Η διαμόρφωση των υπερκαλύψεων μεταξύ ράβδων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε:

- Να εξασφαλίζεται η μεταβίβαση των δυνάμεων από τη μία ράβδο στην άλλη
- Να αποφευχθεί αποφλοίωση του σκυροδέματος στην περιοχή της ένωσης
- Να αποφευχθούν μεγάλα ρήγματα που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της κατασκευής

### 12.2 EC2 (2004) – [8.7.3]

Το μήκος υπερκάλυψης σχεδιασμού είναι:

$$l_o = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rd} \geq l_{o,min}$$

όπου:

$l_{b,rd}$  υπολογίζεται σε προηγούμενο κεφάλαιο

$l_{o,min} > \max\{0,3 \alpha_6 l_{b,rd}, 15\varnothing, 200 \text{ mm}\}$

Οι τιμές των  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  και  $\alpha_5$  μπορούν να ληφθούν από τον παρακάτω πίνακα. Κατά τον υπολογισμό του  $\alpha_3$ , το  $\Sigma A_{st,min}$  λαμβάνεται ίσο προς  $1,0 A_s (\sigma_{sd}/f_{yd})$  με  $A_s$  το εμβαδόν διατομής της μίας υπό ένωση ράβδου.

Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\varnothing$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 11,3 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 11.3 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_2 = 1,0$
Περίσφιξη με εγκάρσιο	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - \text{Κλ}$	$\alpha_3 = 1,0$

οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό		$\geq 0,7$ $\leq 1,0$	
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό*	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

Πίνακας 12.1 Τιμές των συντελεστών  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  και  $\alpha_5$  [EC2 (2004)]

όπου:

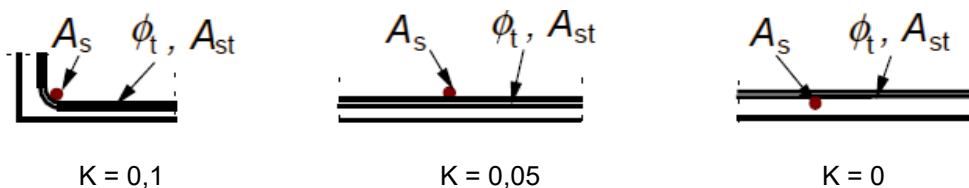
$\lambda$  είναι ίσο με  $(\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min})/A_s$

$\Sigma A_{st}$  είναι το εμβαδόν διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού  $l_{bd}$

$\Sigma A_{st,min}$  είναι το εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού ( $0,25A_s$  για δοκούς και μηδενικό για πλάκες)

$A_s$  είναι το εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο

$K$  είναι συντελεστής με τιμές που φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα



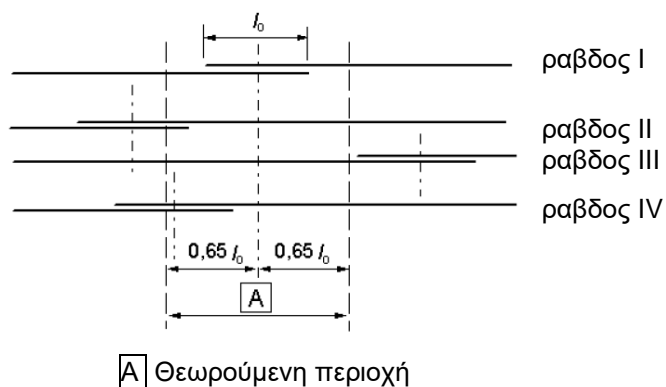
Σχήμα 12.1 Τιμές του  $K$  για δοκούς και πλάκες [EC2 (2004) - Σχήμα 8.4]

$p$  είναι η εγκάρσια πίεση σε MPa στην κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του  $l_{bd}$

$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$  αλλά όχι μεγαλύτερο από 1,5 ούτε μικρότερο από 1,0, όπου  $\rho_1$  είναι το ποσοστό των υπό ένωση ράβδων σε αποστάσεις  $0,65l_0$  εκατέρωθεν του θεωρούμενου μέσου του μήκους υπερκάλυψης. Τιμές του  $\alpha_6$  δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ποσοστό των υπό ένωση ράβδων ως προς το συνολικό εμβαδόν ράβδων της διατομής	< 25%	33%	50%	> 50%
$\alpha_6$	1	1,15	1,4	1,5
<b>Σημείωση:</b> Ενδιάμεσες τιμές καθορίζονται με γραμμική παρεμβολή				

Πίνακας 12.2 Τιμές του συντελεστή  $\alpha_6$  [EC2 (2004)]



**Παράδειγμα:**  
Οι ενώσεις των ράβδων II και III είναι εκτός της θεωρούμενης περιοχής: % = 50 και  $\alpha_6 = 1,4$

Σχήμα 12.2 Ποσοστό των υπό ένωση ράβδων που αντιστοιχεί σε μία θέση υπερκάλυψης [EC2 (2004) – Σχήμα 8.8]

### 12.3 EC2 (2018) – [11.5.2]

Σύμφωνα με την πρόταση του EC2 (2018), το μήκος υπερκάλυψης οπλισμών υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Είδος υπερκάλυψης	Μήκος σχεδιασμού υπερκάλυψης $l_{sd}$	
	Εφελκυσμός	Θλίψη
 Ευθύγραμμες ράβδοι	$l_{sd} = l_{bd} \geq 20\phi$	$l_{sd} = l_{bd} \geq 17\phi$
	όπου το $l_{bd}$ υπολογίζεται με βάση τις ενότητες 11.4.2 και 11.5.3 του EC2 (2018)	
 Ράβδοι με καμπυλώσεις ή άγκιστρα	$l_{sd} = l_{bd} \geq 15\phi$	-
	όπου το $l_{bd}$ υπολογίζεται με βάση τις ενότητες 11.4.2 και 11.5.3 του EC2 (2018)	
 Βρόχοι	το μήκος $l_{sd}$ υπολογίζεται σύμφωνα με την ενότητα 11.5.3 του EC2 (2018) με όριο :	
	$l_{sd} \geq \phi_m + 4\phi$	
 Ράβδοι με κεφαλές	(προς συμπλήρωση)	
 Ράβδοι με συγκόλληση εκατέρωθεν	$l_{sd} = l_{bd} \geq 250 \text{ mm}$ όπου το $l_{bd}$ υπολογίζεται με βάση την ενότητα 11.4.6 του EC2 (2018)	
 Ράβδοι με συγκόλληση σε στρώσεις	$l_{sd} = l_{bd} + 2\phi \geq 250 \text{ mm}$ όπου το $l_{bd}$ υπολογίζεται με βάση την ενότητα 11.4.6 του EC2 (2018)	
 Ράβδοι τοποθετημένες μετά την ήδη υπάρχουσα	$l_{sd} = l_{bd}$	$l_{sd} = l_{bd}$
	όπου το $l_{bd}$ υπολογίζεται με βάση την ενότητα 11.4.7 του EC2 (2018)	

Πίνακας 12.3 Είδη υπερκαλύψεων και μήκη υπερκάλυψης  $l_{sd}$  [EC2 (2018) - Πίνακας 11.2]

## 12.4 Αιτίες αλλαγής

Μία εκ των βασικότερων αιτιών που οδήγησαν στην εν λόγω αλλαγή είναι η ευκολία χρήσης και υπολογισμού των προναφερθεισών σχέσεων. Επίσης, το μήκος υπερκάλυψης είναι άμεσα εξαρτώμενο από το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης. Για αυτόν το λόγο ο EC2 (2018) προτείνει τη χρήση του Πίνακα 12.3, ο οποίος συσχετίζει για κάθε περίπτωση το μήκος υπερκάλυψης με το αντίστοιχο μήκος αγκύρωσης. Ωστόσο, δε λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής  $\alpha_6$  για το ποσοστό των ράβδων που ματίζονται. Αυτό συμβαίνει γιατί πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η καμπύλωση των ράβδων επιδρά στην ικανότητα παραμόρφωσης και στην παραμένουσα αντοχή, αλλά όχι τόσο και στην αντίσταση.

## 12.5 Διερεύνηση

### 12.5.1 Εφαρμογή: Υπολογισμός μήκους υπερκάλυψης για δεδομένη ποιότητα σκυροδέματος

Στην εφαρμογή που ακολουθεί υπολογίζονται τα μήκη υπερκάλυψης ευθύγραμμων ράβδων για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$  και για διάφορες διαμέτρους  $\Phi$  οπλισμών. Τα απαιτούμενα μήκη αγκύρωσης που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς προέκυψαν από τις εφαρμογές του προηγούμενου κεφαλαίου. (Κεφάλαιο 12: Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης)

$\Phi = 8 \text{ mm}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$\alpha_1 = 1$	<b>α) καλές συνθήκες αγκύρωσης</b>
$c_d = 3 \text{ cm}$ (παραδοχή)	
$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 0,8) / 0,8 =$ $= 0,588 < 0,7$ $\Rightarrow \alpha_2 = 0,7$	$l_{bd,req} = 14,66 \text{ cm}$
$\alpha_6 = 1,5$ (παραδοχή – δυσμενέστερη τιμή)	$l_{sd} = l_{bd} = 14,66 \text{ cm} < 20\emptyset = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ cm}$ $\rightarrow l_{sd} = 16 \text{ cm}$
<b>α) καλές συνθήκες αγκύρωσης</b>	<b>β) κακές συνθήκες αγκύρωσης</b>
$l_{bd} = 29 \text{ cm}$	
$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} =$ $= 1 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 29 =$ $= 30,45 \text{ cm} > l_{o,min}$	$l_{bd,req} = 18,33 \text{ cm}$
$l_{o,min} = \max\{0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd}; 15\emptyset; 20\} =$ $= \max\{0,3 \cdot 1,5 \cdot 29; 15 \cdot 0,8; 20\} = 20 \text{ cm}$	$l_{sd} = l_{bd} = 18,33 \text{ cm} > 20\emptyset = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ cm}$



<p><b>β) κακές συνθήκες αγκύρωσης</b></p> $l_{bd} = 41,43 \text{ cm}$ $l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} =$ $= 1 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \cdot 41,43 =$ $= 43,5 \text{ cm} > l_{o,min}$ $l_{o,min} = \max\{0,3 \cdot a_6 \cdot l_{bd}; 15\varnothing; 20\} =$ $= \max\{0,3 \cdot 1,5 \cdot 29; 15 \cdot 0,8; 20\} = 20 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_o = 30,45 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_o = 43,5 \text{ cm}</math></b></p>	<p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{sd} = 16 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{sd} = 18,33 \text{ cm}</math></b></p>
--	---

$\Phi = 16 \text{ mm}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
<p style="text-align: center;"><math>\alpha_1 = 1</math></p> <p style="text-align: center;"><math>c_d = 5 \text{ cm}</math> (παραδοχή)</p> $\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 1,6) / 1,6 =$ $= 0,869 > 0,7$ <p style="text-align: center;"><math>\alpha_6 = 1,5</math> (παραδοχή – δυσμενέστερη τιμή)</p> <p><b>α) καλές συνθήκες αγκύρωσης</b></p> $l_{bd} = 58 \text{ cm}$ $l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} =$ $= 1 \cdot 0,869 \cdot 1,5 \cdot 40,6 =$ $= 75,6 \text{ cm} > l_{o,min}$ $l_{o,min} = \max\{0,3 \cdot a_6 \cdot l_{bd}; 15\varnothing; 20\} =$ $= \max\{0,3 \cdot 1,5 \cdot 58; 15 \cdot 1,6; 20\} = 26,1 \text{ cm}$ <p><b>α) κακές συνθήκες αγκύρωσης</b></p> $l_{bd} = 82,86 \text{ cm}$ $l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} =$ $= 1 \cdot 0,869 \cdot 1,5 \cdot 82,86 =$ $= 108,01 \text{ cm} > l_{o,min}$ $l_{o,min} = \max\{0,3 \cdot a_6 \cdot l_{bd}; 15\varnothing; 20\} =$ $= \max\{0,3 \cdot 1,5 \cdot 82,86; 15 \cdot 1,6; 20\} = 37,29 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_o = 75,6 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_o = 108,01 \text{ cm}</math></b></p>	<p><b>α) καλές συνθήκες αγκύρωσης</b></p> $l_{bd,req} = 37,58 \text{ cm}$ $l_{sd} = l_{bd} = 37,58 \text{ cm} > 20\varnothing = 20 \cdot 1,6 = 32 \text{ cm}$ <p><b>α) κακές συνθήκες αγκύρωσης</b></p> $l_{bd,req} = 46,97 \text{ cm}$ $l_{sd} = l_{bd} = 46,97 \text{ cm} > 20\varnothing = 20 \cdot 1,6 = 32 \text{ cm}$ <p><b>Καλές συνθήκες : <math>l_{sd} = 37,58 \text{ cm}</math></b>  <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{sd} = 46,97 \text{ cm}</math></b></p>

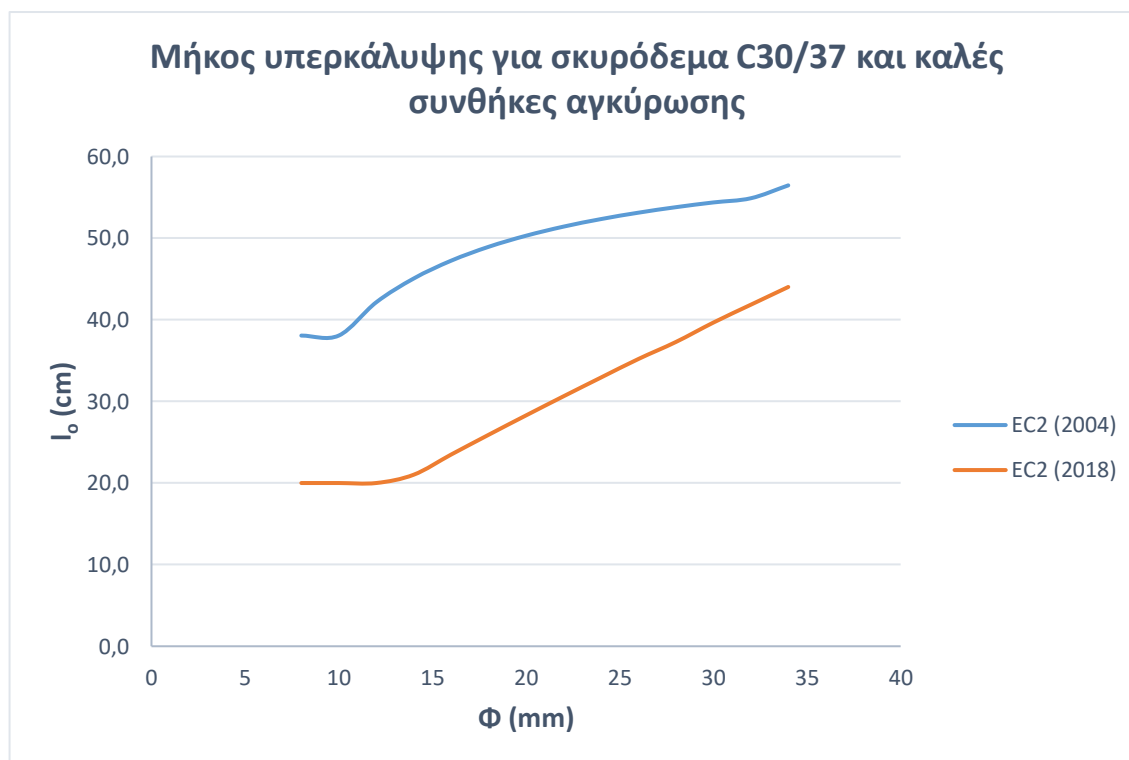
$\Phi = 20 \text{ mm}$	
EC2 (2004)	EC2 (2018)
$\alpha_1 = 1$	<b>α) καλές συνθήκες αγκύρωσης</b>
$c_d = 3 \text{ cm}$ (παραδοχή)	$l_{bd} = 67,37 \text{ cm}$
$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \emptyset) / \emptyset =$ $= 1 - 0,15 \cdot (3 - 2) / 2 = 0,925 > 0,7$	$l_{sd} = l_{bd} = 67,37 \text{ cm} > 20\emptyset = 20 \cdot 2 = 40 \text{ cm}$
$\alpha_6 = 1,5$ (παραδοχή – δυσμενέστερη τιμή)	<b>α) κακές συνθήκες αγκύρωσης</b>
<b>α) καλές συνθήκες αγκύρωσης</b>	$l_{bd} = 70,71 \text{ cm}$
$l_{bd} = 72,5 \text{ cm}$	$l_{sd} = l_{bd} = 70,71 \text{ cm} > 20\emptyset = 20 \cdot 2 = 40 \text{ cm}$
$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} =$ $= 1 \cdot 0,925 \cdot 1,5 \cdot 72,5 =$ $= 100,6 \text{ cm} > l_{o,min}$	
$l_{o,min} = \max\{0,3 \cdot a_6 \cdot l_{bd}; 15\emptyset; 20\} =$ $= \max\{0,3 \cdot 1,5 \cdot 72,5; 15 \cdot 2; 20\} = 32,36 \text{ cm}$	
<b>α) κακές συνθήκες αγκύρωσης</b>	
$l_{bd} = 103,57 \text{ cm}$	
$l_o = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_6 \cdot l_{bd} =$ $= 1 \cdot 0,925 \cdot 1,5 \cdot 103,57 =$ $= 120,4 \text{ cm} > l_{o,min}$	
$l_{o,min} = \max\{0,3 \cdot a_6 \cdot l_{bd}; 15\emptyset; 20\} =$ $= \max\{0,3 \cdot 1,5 \cdot 103,57; 15 \cdot 2; 20\} = 46,61 \text{ cm}$	
<b>Καλές συνθήκες : <math>l_o = 100,6 \text{ cm}</math></b> <b>Κακές συνθήκες: <math>l_o = 120,4 \text{ cm}</math></b>	<b>Καλές συνθήκες : <math>l_{sd} = 67,37 \text{ cm}</math></b> <b>Κακές συνθήκες: <math>l_{sd} = 70,71 \text{ cm}</math></b>

## 12.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

- Καλές συνθήκες αγκύρωσης

Σκυρόδεμα C30/37		
Φ (mm)	$l_{o,2004}$ (Ø)	$l_{o,2018}$ (Ø)
8	38,1	20,0
10	38,1	20,0
12	42,1	20,0
14	45,1	21,0
16	47,2	23,5
18	48,9	25,9
20	50,3	28,3
22	51,4	30,6
24	52,3	32,9
26	53,1	35,2
28	53,8	37,3
30	54,4	39,7
32	54,9	41,8
34	56,5	44,0

Πίνακας 12.4 Μήκη υπερκάλυψης για καλές συνθήκες αγκύρωσης, συναρτήσει της διαμέτρου των υπό ένωση ράβδων

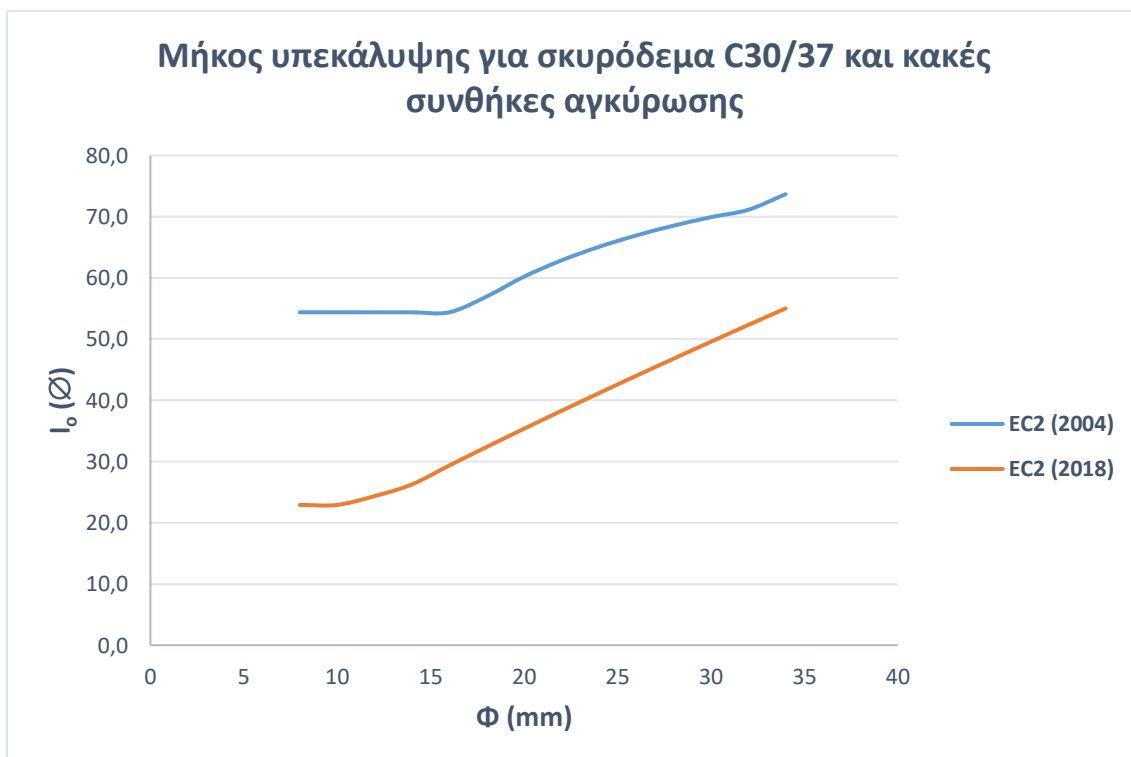


Διάγραμμα 12.1 Διάγραμμα μηκών υπερκάλυψης για καλές συνθήκες αγκύρωσης, συναρτήσει της διαμέτρου των υπό ένωση ράβδων

- Κακές συνθήκες αγκύρωσης

Σκυρόδεμα C30/37		
$\Phi$ (mm)	$l_{o,2004}$ ( $\emptyset$ )	$l_{o,2018}$ ( $\emptyset$ )
8	54,4	22,9
10	54,4	22,9
12	54,4	24,4
14	54,4	26,3
16	54,4	29,4
18	57,0	32,4
20	60,2	35,4
22	62,8	38,3
24	65,1	41,2
26	66,9	44,0
28	68,5	46,8
30	69,9	49,6
32	71,1	52,3
34	73,7	55,0

Πίνακας 12.5 Μήκη υπερέκλυσης για κακές συνθήκες αγκύρωσης, συναρτήσει της διαμέτρου των υπό ένωση ράβδων



Διάγραμμα 12.2 Διάγραμμα μηκών υπερέκλυσης για κακές συνθήκες αγκύρωσης, συναρτήσει της διαμέτρου των υπό ένωση ράβδων

## 12.7 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς, συμπεραίνεται ότι οι τιμές που προκύπτουν από τον EC2 (2004) είναι αρκετά συντηρητικές σε σχέση με την πρόταση του EC2 (2018) ,τόσο για καλές όσο και για κακές συνθήκες αγκύρωσης. Ενδεικτικά, για τις κακές συνθήκες, οι τιμές του EC2 (2018) είναι περίπου 2,5 φορές μικρότερες από τις αντίστοιχες του EC2 (2004).



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] **Eurocode 2: Design of concrete structures** – Part 1-1: General rules and rules for buildings (December 2004)
- [2] **Eurocode 2: Design of concrete structures** –PT1 prEN 1992-1-1 , CEN/TC 250/SC 2 N 1252 (October 2017)
- [3] **Eurocode 2: Design of concrete structures** –Final version: PT1 prEN 1992-1-1 , CEN/TC 250/SC 2 N 1358 (June 2018)
- [4] **Eurocode 2: Design of concrete structures** –Final comments: PT1 prEN 1992-1-1 , CEN/TC 250/SC 2 N 1359 (June 2018)
- [5] **Eurocode 2: Design of concrete structures** – PT-SC2-T1 D3BG - Background documents to prEN 1992-1-1, CEN/TC 250/SC 2 N 1415 (June 2018)
- [6] **Model Code 2010** : Final draft (September 2011)
- [7] **F. Leonhardt – E. Mönning**: ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΤΟΜΟΣ 1: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ)
- [8] **F. Leonhardt – E. Mönning**: ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΤΟΜΟΣ 2: ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ)
- [9] **F. Leonhardt – E. Mönning**: ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΤΟΜΟΣ 3: Η ΤΕΧΝΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ)
- [10] **Θ.Π. Τάσιος, Π.Ι. Γιαννόπουλος, Κ.Γ. Τρέζος, Σ.Γ. Τσουκαντάς**: ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΝΕΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ , ΕΚΔΟΣΗ Ε.Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ, ΑΘΗΝΑ 2005
- [11] **Δρ. Καραβεζύρογλου-Βέμπερ Μαρία, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.**: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΟΛΟΣΩΜΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, 3<sup>η</sup> Έκδοση , Εκδόσεις Τζιόλα