

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ( Σ.Τ.Ε.Φ. )  
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΗΣ: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 2 ΜΕ  
ΤΟΝ Ε.Κ.Ω.Σ 2000**



**ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΑΚΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ**

**ΤΣΑΛΑΒΡΑ ΑΘΗΝΑ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ**

**ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2012**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Κανόνες Λεπτομερειών Όπλισης: Σύγκριση Ευρωκώδικα 2 με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000» έγινε προσπάθεια να παρουσιασθούν, με απλό αλλά περιεκτικό τρόπο, συγκεκριμένες ενότητες του σημαντικού Κεφαλαίου των Λεπτομερειών Όπλισης όπως παρατίθενται στο Κεφάλαιο 17 του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και στην συνέχεια οι ενότητες αυτές να συγκριθούν με τις αντίστοιχες ενότητες του Κεφαλαίου 8 του EN-1992-1-1.

Επιπλέον, η ίδια διαδικασία παρουσίασης και σύγκρισης εφαρμόστηκε και στα Κεφάλαια (σε συγκεκριμένες ενότητες) που αφορούν τα υλικά του σκυροδέματος και του χάλυβα και πιο συγκεκριμένα στα Κεφάλαια 2&3 του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και στο Κεφάλαιο 3 του EN-1992-1-1.

Παράλληλα η παρούσα πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει παραδείγματα εφαρμογής, προκειμένου να γίνουν στον αναγνώστη πιο κατανοητές οι διαφορές και οι ομοιότητες ανάμεσα στους δύο κώδικες (Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και EN-1992-1-1).

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με την κατάθεση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την σύγκριση των συγκεκριμένων Κεφαλαίων του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και του EN-1992-1-1.

Αποτελεί κοινή διαπίστωση πως τα κεφάλαια που προαναφέρθηκαν είναι αρκετά σημαντικά για τη μελέτη και κατασκευή έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα για αυτό και επιλέχθηκαν για την παρούσα πτυχιακή εργασία.

Σύντομα πρόκειται να μεταβούμε από τους Εθνικούς στους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς, και το γεγονός αυτό καθιστά την παρούσα πτυχιακή μία προσπάθεια για την εξοικείωση με τους Ευρωκώδικες.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας, είναι κατά βάση η αναλυτική προσέγγιση των Λεπτομερειών Όπλισης και των χαρακτηριστικών που διέπουν τα υλικά του σκυροδέματος και του χάλυβα στην κατασκευή δομημάτων. Το πεδίο έρευνας είναι συγκεκριμένο καθώς είναι συγκεκριμένες οι αρχές που ισχύουν σε αυτά τα Κεφάλαια και που αναλύονται.

Σχετικά με τη δόμηση της πτυχιακής εργασίας, διαμερίζεται συνολικά σε 5 Κεφάλαια τα οποία χωρίζονται σε ανάλογες ενότητες και υποενότητες. Οι οποίες βασίζονται (χωρίς να ταυτίζονται απόλυτα) και σαν τίτλοι και στον τρόπο με τον οποίο κατατάχθηκαν στον Ε.Κ.Ω.Σ 2000. Συνοπτικά περιγράφεται το περιεχόμενο κάθε Κεφαλαίου ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1, που φέρει τον τίτλο «Εισαγωγή στον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και στον EN-1992-1-1» γίνεται μια προσπάθεια κατάθεσης βασικών πληροφοριών για τους συγκρινόμενους κώδικες. Οι πληροφορίες αυτές αρχικά είναι ιστορικές, για να κατανοήσουμε πότε και πως πρέκυψαν οι δύο αυτοί κώδικες, στη συνέχεια μας δείχνουν από ποιά κεφάλαια απαρτίζονται και καταλήγουμε σε μία γενικότερη σύγκριση του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 με τον EN-1992-1-1 προτού εισαχθούμε στην κατάθεση και τελική σύγκριση, των υπό εξέταση, Κεφαλαίων τους (Κεφάλαιο 2,3&17 για Ε.Κ.Ω.Σ 2000 καθώς και 3&8 για EN-1992-1-1).

Στο Κεφάλαιο 2, με τίτλο «Δεδομένα για το σκυρόδεμα» αναφέρονται αρχικά κάποιες ιστορικές πληροφορίες για το σκυρόδεμα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 συγκεκριμένες ενότητες που αφορούν τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος: το φαινόμενο βάρος του, τη χαρακτηριστική αντοχή του και σε ποιές κατηγορίες χωρίζεται σύμφωνα με την χαρακτηριστική αντοχή του, την εφελκυστική αντοχή του, το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του, το μέτρο ελαστικότητας που εκτιμάται βάσει της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής του και ο ερπυσμός του. Οι ενότητες αυτές επιπλέον συγκρίνονται, μία προς μία με τις αντίστοιχες ενότητες του EN-1992-1-1 είτε επισημαίνοντας τις διαφορές, είτε με την χρήση αριθμητικών παραδειγμάτων.

Στο Κεφάλαιο 3, το οποίο τιτλοφορείται «Δεδομένα για το χάλυβα» γίνεται αρχικά μία ιστορική αναφορά για τον χάλυβα και στη συνέχεια παρουσιάζονται (κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000) και συγκρίνονται (είτε αναφορικά είτε με την χρήση παραδειγμάτων με τον EN-1992-1-1) οι ενότητες που αφορούν τα χαρακτηριστικά του χάλυβα: την ονομαστική του διάμετρο, την χαρακτηριστική αντοχή του, την επιφάνεια των ράβδων του, το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του. Επίσης στο Κεφάλαιο αυτό εκτός από τα χαρακτηριστικά του χάλυβα που προαναφέρθηκαν παρουσιάζεται και συγκρίνεται η ενότητα που αφορά τα συγκολλητά δομικά πλέγματα. Ακόμα παρουσιάζεται (χωρίς να συγκρίνεται) και μία ενότητα που αφορά την αντικατάσταση των Προτύπων ΕΛΟΤ 959 και 971 από το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421 που χρησιμοποιείται ακόμα και στις μέρες μας.

Στο Κεφάλαιο 4, με τίτλο «Κανόνες λεπτομερειών όπλισης» παρουσιάζονται συγκεκριμένες ενότητες του Ελληνικού κανονισμού ωπλισμένου σκυροδέματος 2000

οι οποίες αφορούν: τις καμπυλώσεις οπλισμών, τις αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών, την τάση συνάφειας, τις αγκυρώσεις των οπλισμών και των συνδετήρων, τις δέσμες των ράβδων και συγκρίνονται (με τον τρόπο που χρησιμοποιείται και στα προηγούμενα Κεφάλαια) με τις αντιστοιχες ενότητες του EN-1992-1-1.

Ενώ στο Κεφάλαιο 5, δίνονται τα «Συμπεράσματα» της σύγκρισης των δύο Κανονισμών και στο Κεφάλαιο 6 δίνεται η «Βιβλιογραφία» και οι πηγές απ' όπου αντλήθηκαν όλες οι πληροφορίες και τα στοιχεία για την επιτυχή εκπόνηση και παρουσίαση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	Σελ. 2
Περίληψη	Σελ. 3
Περιεχόμενα	Σελ. 5
Εισαγωγή	Σελ. 7

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΕΚΩΣ 2000 ΚΑΙ ΣΤΟΝ EN1992-1-1

1.1 Ε.Κ.Ω.Σ 2000	Σελ. 8
1.2 EN 1992-1-1	Σελ. 10
1.3 Γενικές ομοιότητες και διαφορές ΕΚΩΣ 2000 – EN1992-1-1	Σελ. 13

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

2.1 Πληροφορίες για το σκυρόδεμα	Σελ. 14
2.2 Γενικά για το σκυρόδεμα	Σελ. 16
2.3 Φαινόμενο βάρος	Σελ. 17
2.4 Θλιπτική αντοχή	
2.4.1 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος	Σελ. 18
2.4.2 Κατηγορίες σκυροδέματος	Σελ. 21
2.5 Εφελκυστική αντοχή	Σελ. 22
2.6 Παραμορφώσεις	
2.6.1 Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος	Σελ. 25
2.6.2 Μέτρο ελαστικότητας	Σελ. 28
2.6.3 Ερπυσμός σκυροδέματος	Σελ. 29

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

3.1 Πληροφορίες για το χάλυβα	Σελ. 32
3.2 Γενικά για το χάλυβα	
3.2.1 Χαρακτηριστικά χαλύβων	Σελ. 33
3.2.2 Τα νέα πρότυπα ΕΛΟΤ για τους χάλυβες και χαρακτηριστικά αυτών	Σελ. 34
3.3 Διατομή υπολογισμών	Σελ. 38
3.4 Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα	Σελ. 39
3.5 Οπλισμοί υψηλής συνάφειας (νευροχάλυβες)	Σελ. 42
3.6 Συγκολλητά δομικά πλέγματα	Σελ. 43
3.7 Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων χάλυβα	Σελ. 44

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΗΣ**

<b>4.1 Πεδίο ορισμού</b>	Σελ. 46
<b>4.2 Καμπυλώσεις οπλισμών</b>	Σελ. 47
<b>4.3 Αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών</b>	Σελ. 52
<b>4.4 Συνάφεια σκυροδέματος-ράβδων οπλισμού</b>	Σελ. 54
<b>4.5 Αγκυρώσεις</b>	
4.5.1 Τύποι αγκυρώσεων	Σελ. 58
4.5.2 Βασικό μήκος αγκύρωσης	Σελ. 61
4.5.3 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης	Σελ. 62
<b>4.6 Ενώσεις</b>	
4.6.1 Ενώσεις με υπερκάλυψη	Σελ. 67
4.6.2 Μήκος υπερκάλυψης	Σελ. 70
4.6.3 Εγκάρσιος οπλισμός στην περιοχή υπερκάλυψης κύριων οπλισμών	Σελ. 73
<b>4.7 Αγκύρωση συνδετήρων</b>	Σελ. 75
<b>4.8 Δέσμες ράβδων</b>	
4.8.1 Ισοδύναμη διάμετρος, επικάλυψη ,αποστάσεις ράβδων	Σελ. 77
4.8.2 Αγκύρωση και ένωση δέσμης ράβδων	Σελ. 78

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

<b>5.1 Συμπεράσματα για δεδομένα Σκυροδέματος (Κεφ.2)</b>	Σελ. 83
<b>5.2 Συμπεράσματα για δεδομένα Χάλυβα (Κεφ.3)</b>	Σελ. 90
<b>5.3 Συμπεράσματα για Κανόνες Λεπτομερειών Όπλισης (Κεφ.4)</b>	Σελ. 92

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Σελ. 101

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η σύγκριση (για συγκεκριμένες ενότητες και Κεφάλαια) του Ελληνικού Κανονισμού Ωπλισμένου Σκυροδέματος με τον EN 1992-1-1. Σκόπιμο είναι να γίνουν διακριτές στον αναγνώστη οι διαφορές αλλά και οι κοινές αναφορές ανάμεσα στους δύο κώδικες. Η εργασία αποτελείται από :

- Το θεωρητικό ανάπτυγμα των πληροφοριών για τους δύο υπό εξέταση κώδικες (Ε.Κ.Ω.Σ 2000- EN-1992-1-1)
- Την παρουσίαση συγκεκριμένων Κεφαλαίων και ενοτήτων του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και στην συνέχεια την σύγκριση αυτών, είτε με αναφορές είτε με την χρήση αριθμητικών παραδειγμάτων, με τα αντίστοιχα Κεφάλαια και ενότητες του EN-1992-1-1.
- Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την σύγκριση συγκεκριμένων Κεφαλαίων και ενοτήτων του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 με τον EN-1992-1-1.

Η πτυχιακή αναπτύσσεται κυρίως με άξονα την πορεία που διαγράφει το κείμενο του Ε.Κ.Ω.Σ 2000, δηλαδή εκμεταλλευόμαστε αρκετά (όχι πλήρως) την σειρά των Κεφαλαίων και των ενοτήτων αλλά και τους τίτλους αυτών.

Σημείωση: Σε κάθε Κεφάλαιο, ενότητα και υποενότητα της παρούσας πτυχιακής (εκτός από το Κεφάλαιο 1 και το Κεφάλαιο 5) γίνεται αρχικά αναφορά στον Ε.Κ.Ω.Σ, η οποία αποτελεί χωρίς καμία παρέμβαση μας την ακριβή αναπαραγωγή των διατάξεων του Κώδικα.

## 1.1 Ε.Κ.Ω.Σ 2000

Ο Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος –έκδοση 2000, αποτελεί μια διεξοδική αναθεώρηση του Νέου Ελληνικού κανονισμού για την Μελέτη και κατασκευή Έργων από σκυρόδεμα (Ν.Ε.Κ.Ω.Σ.) όπως αυτός εγκρίθηκε και ετέθη σε εφαρμογή με την απόφαση αριθ.Δ11ε/0/30 123/31-12-1991 και τροποποιήθηκε με την απόφαση αριθ. Δ11β/13/3-3-1995.

Είναι βέβαια παγκόσμια πρακτική οι Δομικοί Κανονισμοί να αναθεωρούνται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με βάση την εμπειρία από την εφαρμογή τους στην πράξη και την πρόοδο της Επιστήμης. Στην προκειμένη περίπτωση υπήρχαν, πέραν των παραπάνω και ειδικότεροι λόγοι που επέβαλαν την ουσιαστική αναθεώρηση του κανονισμού ωπλισμένου σκυροδέματος.

### Συγκεκριμένα ο Ε.Κ.Ω.Σ έπρεπε να προσαρμοσθεί:

- Στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό έκδοση 2000 (ΕΑΚ 2000) καθώς και στους Ελληνικούς Κανονισμούς Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997) και χαλύβων Ωπλισμένου σκυροδέματος (2000).
- Στους αντίστοιχους Ευρωκώδικες EC2 (Σκυροδέματος) και EC8(Αντισεισμικός).
- Στις σημαντικές παρατηρήσεις, σχόλια και επιστημονικές απόψεις που αποτυπώθηκαν κατά την διάρκεια εφαρμογής του Ν.Ε.Κ.Ω.Σ.

Ο ανωτέρω κανονισμός εφαρμόστηκε αρχικά παράλληλα με τον Ν.Ε.Κ.Ω.Σ. με δυνατότητα επιλογής είτε των παλαιών διατάξεων είτε των νέων μέχρι και τις 20/12/2000 όπου, εφαρμόστηκε αποκλειστικά ο νέος κανονισμός σύμφωνα με υπουργική απόφαση.

Ο Ε.Κ.Ω.Σ 2000, αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια, και συνοδεύεται από σχόλια. Ο κανονισμός αναπτύσσεται στις δεξιές σελίδες με μονή αρίθμηση του τεύχους και τα αντίστοιχα σχόλια ακολουθούν τον κανονισμό κατά παράγραφο στις αντικείμενες αριστερές σελίδες με ζυγή αρίθμηση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αντικείμενο του Κανονισμού αυτού είναι η ικανοποίηση των απαιτήσεων αντοχής και λειτουργικότητας των κατασκευών με επαρκή ασφάλεια.

### Κεφάλαια Ε.Κ.Ω.Σ 2000 :

1. Γενικά
2. Δεδομένα για το σκυρόδεμα
3. Δεδομένα για το χάλυβα
4. Δεδομένα για την προένταση
5. Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και γεωμετρικά μεγέθη
6. Γενικές αρχές υπολογισμού
7. Προσδιορισμός της εντατικής κατάστασης
8. Γραμμικά δομικά στοιχεία
9. Πλάκες και δίσκοι
10. Οριακή κατάσταση αστοχίας από μεγέθη ορθής έντασης



11. Οριακή κατάσταση αστοχίας από τέμνουσα
12. Οριακή κατάσταση αστοχίας από στρέψη
13. Οριακή κατάσταση αστοχίας από διάτρηση
14. Οριακή κατάσταση αστοχίας από παραμορφώσεις του φορέα λυγισμός
15. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας από ρηγμάτωση
16. Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας από παραμορφώσεις
- 17. Κανόνες λεπτομερειών όπλισης**
18. Κανόνες διαμόρφωσης και κατασκευαστικές λεπτομέρειες δομικών στοιχείων
19. Εκλογή των υλικών
20. Εκτέλεση των εργασιών
21. Ποιοτικός έλεγχος
22. Συντήρηση και επισκευή /ενίσχυση των κατασκευών

Κλείνοντας με την παρουσίαση του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 καλό θα ήταν να αναφερθεί ότι αποτελεί προσπάθεια από αφοσιωμένους επιστήμονες σε όλα τα Επιστημονικά Ιδρύματα (Πανεπιστήμια, Ερευνητικά κέντρα, Εργαστήρια) αλλά και όλων των εμπλεκόμενων ανθρώπων στην κατασκευή έργων από ωπλισμένο σκυρόδεμα και έχει χαρίσει στην χώρα μας μέχρι τώρα παγκόσμια αναγνώριση όσον αφορά την ποιότητα και ασφάλεια των κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα.

## 1.2 EN 1992-1-1

Οι Δομικοί Ευρωκώδικες συνιστούν μία ομάδα προτύπων για τον σχεδιασμό πολιτικού μηχανικού .

Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά, το ιστορικό των Ευρωκωδίκων:

- 1971-1976: Οδηγία δημοσίων προμηθειών (1971)-Διορισμός Επιτροπής Καθοδήγησης για την εξέταση της σκοπιμότητας ανάπτυξης ενός κοινού ευρωπαϊκού συνόλου τεχνικών κειμένων που να καλύπτουν το σχεδιασμό ευρέος φάσματος έργων.
- 1976-1990: Σύνταξη του πρώτου συνόλου τεχνικών κειμένων υπό την εποπτεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής –Διεθνής έρευνα (1980)-Ενιαία Πράξη και Νέα Προσέγγιση (12-7-86)-Οδηγία Προϊόντων του κατασκευαστικού Τομέα (1989)-Μεταβίβαση στην CEN
- 1990-1998 : Μετατροπή από την CEN των πρώτων Ευρωκωδίκων: σε Δοκιμαστικά Ευρωπαϊκά Πρότυπα (ENVs)
- 1998-2006 : Μετατροπή Δοκιμαστικών Ευρωπαϊκών Προτύπων (ENV) σε Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN
- 2007-μέχρι και σήμερα: Συντήρηση, διάδοση και εξέλιξη Ευρωκωδίκων

Σήμερα υπάρχουν συνολικά 10 Ευρωκώδικες, ενώ μελλοντικώς μπορεί να συνταχθούν και Ευρωκώδικες για τα ανθροκονήματα, το γυαλί κλπ. :

- EN 1990 Ευρωκώδικας 0:Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων
- EN 1991 Ευρωκώδικας 1:Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις στις κατασκευές
- EN 1992 Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα
- EN 1993 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
- EN 1994 Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από σκυρόδεμα και χάλυβα
- EN 1995 Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός κατασκευών από ξύλο
- EN 1996 Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός κατασκευών από λιθοδομή
- EN 1997 Ευρωκώδικας 7:Γεωτεχνικός σχεδιασμός
- EN 1998 Ευρωκώδικας 8:Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών
- EN 1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο

Κάθε Ευρωκώδικας, αποτελείται από διάφορα μέρη, τα οποία έχουν ισχύ Ευρωπαϊκού προτύπου (EN). Σήμερα υπάρχουν συνολικά 58 μέρη (5000 σελίδες).

Η δημοσίευση των Ευρωκωδίκων, όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2007. Πρόκειται να αντικαταστήσουν τα υπάρχοντα εθνικά πρότυπα και προβλέπεται να γίνουν υποχρεωτικοί εντός CEN (30 ευρωπαϊκές χώρες).

Επίσης, ενδιαφέρονται να υιοθετήσουν τους παραπάνω Κώδικες και σε μη ευρωπαϊκές χώρες όπως η Σιγκαπούρη, το Βιετνάμ, την Μαλαισία, την Ινδία, την Ρωσία και σε χώρες της Βόρειας Αφρικής.

Στην χώρα μας μπήκαν σε υποχρεωτική ισχύ 1/1/2011 απόφαση, η οποία πήρε παράταση, στην συνέχεια, χωρίς να έχει αποφασιστεί μέχρι και σήμερα κάτι νεότερο.

Για κάθε μέρος του Ευρωκώδικα, εκδίδεται από κάθε χώρα το εθνικό παράρτημα. Το παράρτημα αυτό περιέχει τις εθνικά καθορισμένες παραμέτρους οι οποίες προκύπτουν και εκφράζουν τις ειδικές γεωγραφικές, γεωλογικές ή κλιματικές συνθήκες καθώς και τα συγκεκριμένα επίπεδα προστασίας που ισχύουν στην επικράτεια του κάθε κράτους μέλους.

Τα οφέλη που αναμένονται από την κοινή χρήση των Ευρωκωδίκων συνοψίζονται κυρίως α)στην βελτίωση των κανόνων για την λειτουργία μίας ενιαίας αγοράς δομικών προϊόντων και υπηρεσιών μηχανικού, με την άρση των διαφορετικών εθνικών κανονιστικών διατάξεων και β)ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας του κατασκευαστικού τομέα σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο.

Ο Ευρωκώδικας 2 με γενικό τίτλο σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη :

Μέρος 1.1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια

Μέρος 1.2: Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

Μέρος 2: Γέφυρες από σκυρόδεμα

Μέρος 3: Υδατοδεξαμενές και κατασκευές υπό υδατοφόρτιση

Ο Ευρωκώδικας 2 μέρος 1-1, περιλαμβάνει 12 κεφάλαια και 9 παραρτήματα όπως φαίνεται παρακάτω. Ενσωματωμένες στο κείμενο του Ευρωκώδικα, υπάρχουν και οι σημειώσεις (είναι γραμμένες με μικρότερη γραμματοσειρά) οι οποίες επεξηγούν το κείμενο του κανονισμού <sup>(1)</sup>.

Πραγματεύεται τις βασικές απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να πληροί ένα δόμημα. Τέτοιες είναι οι απαιτήσεις ασφάλειας, λειτουργικότητας και ανθεκτικότητας. Ενώ μελλοντικώς, προβλέπεται να καλύπτει (σε συνδυασμό και με τους υπόλοιπους Ευρωκώδικες) και άλλες βασικές απαιτήσεις όπως υγιεινής, σεβασμού του περιβάλλοντος, οικονομίας (εξοικονόμηση ενέργειας), θερμότητας κλπ.

#### Κεφάλαια του EN1992-1-1

1. Εισαγωγή

2. Βάσεις σχεδιασμού

**3.Υλικά**

4.Ανθεκτικότητα-Επικάλυψη

5.Ανάλυση

6.Οριακές καταστάσεις αστοχίας

7.Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

### **8.Λεπτομέρειες όπλισης**

9.Κανόνες διαμόρφωσης και κατασκευαστικές λεπτομέρειες

10.Προκατασκευασμένα στοιχεία

11.Κατασκευές από ελαφροσκυρόδεμα

12.Άοπλο και ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα

Παρ.Α Τροποποίηση συντελεστών ασφαλείας υλικών

Παρ.Β.Ερπυσμός και συστολή ξηράνσεως

Παρ.С.Ιδιότητες χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Παρ.Д.Χαλάρωση τενόντων προεντάσεως

Παρ.Ε.Ενδεικτικές κατηγορίες αντοχής για λόγους ανθεκτικότητας

Παρ.Ф.Υπολογισμός εφελκόμενου οπλισμού για επίπεδη εντατική κατάσταση

Παρ.Г.Αλληλεπίδραση εδάφους ανωδομής

Παρ.Η.Φαινόμενα δευτέρας τάξεως

Παρ.Ι.Ανάλυση πλακών χωρίς δοκούς και τοιχίων

Παρ.Ј.Παραδείγματα περιοχών με ασυνέχειες στην γεωμετρία ή στις δράσεις.

Όλα τα παραρτήματα είναι πληροφοριακά με εξαίρεση το παράρτημα C το οποίο είναι κανονιστικό.

---

<sup>(1)</sup>Οι σημειώσεις στον Ευρωκώδικα είναι κατά κάποιο τρόπο το αντίστοιχο των Σχολίων που υπάρχουν στον Ε.Κ.Ω.Σ.

### 1.3 Γενικές ομοιότητες και διαφορές Ε.Κ.Ω.Σ 2000 - EN1992-1-1

Ανάμεσα στον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και EN1992-1-1 παρουσιάζονται:

#### Ομοιότητες:

- Οι δύο κανονισμοί έχουν μεγάλες ομοιότητες ιδιαίτερα σε ότι αφορά τον υπολογισμό στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας.

#### Διαφορές:

- Ο EN1992-1-1 δεν περιέχει αντισεισμικές διατάξεις τις οποίες περιέχει ο Ε.Κ.Ω.Σ (ΕΑΚ 2000) και για αυτό δεν μπορεί να εφαρμοστεί μόνος του αλλά σε συνδυασμό με τον Ευρωκώδικα 8.

Παρατήρηση: Ακριβέστερα ο EN1992-1-1 μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές με χαμηλή σεισμικότητα, που δεν είναι όμως η περίπτωση της Ελλάδας.

- Ο EN1992-1-1 αναφέρεται σε τρεις κατηγορίες έργων οι οποίες δεν καλύπτονται από τον Ε.Κ.Ω.Σ, την προκατασκευή, το ελαφροσκυρόδεμα και άοπλο (ή ελαφρώς οπλισμένο) σκυρόδεμα
- Ο EN1992-1-1 αναφέρεται διεξοδικά σε κατασκευές από προεντεταμένο σκυρόδεμα, και επιτρέπει την χρήση τενόντων χωρίς συνάφεια καθώς και την εξωτερική προένταση.
- Ο EN1992-1-1 επιτρέπει την χρήση της πλαστικής ανάλυσης για τον έλεγχο οριακών καταστάσεων αστοχίας σε αντίθεση με τον Ε.Κ.Ω.Σ ο οποίος την επιτρέπει μόνο για τον έλεγχο υφιστάμενων κατασκευών. Στο πλαίσιο αυτό εισάγει και νομιμοποιεί την εφαρμογή της μεθόδου <<θλιπτήρα – ελκυστήρα>> για τον έλεγχο οριακών καταστάσεων αστοχίας και (υπό ορισμένες προϋποθέσεις) για τον έλεγχο οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας.
- Ο EN1992-1-1, σε αντίθεση προς τον Ε.Κ.Ω.Σ, δεν αναφέρεται στην εκλογή υλικών, στην εκτέλεση εργασιών, στον ποιοτικό έλεγχο και στην συντήρηση των κατασκευών (κεφάλαιο 19 έως 22 του Ε.Κ.Ω.Σ) διότι παραπέμπει σε άλλα πιο εξειδικευμένα πρότυπα και κανονισμούς.

## 2.1 Πληροφορίες για το σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα είδος τεχνητής πέτρας που αποτελεί στην εποχή μας το πιο διαδεδομένο υλικό για κατασκευές. Δεν υπάρχει έργο μικρό ή μεγάλο όπου να μην έχει χρησιμοποιηθεί μπετόν για την κατασκευή του: από γέφυρες, τούνελ, φράγματα, κτίρια, έργα οδοποιίας, έως και λιμενικά έργα.

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό υλικό που αποτελείται κατά βάση από αδρανή κατάλληλα διαβαθμισμένα, συγκολλημένα μέσω του τσιμεντοπολτού σε μονολιθική μάζα.

Τα αδρανή είναι μεν το φθινό συστατικό, αλλά έχουν πολύ ικανοποιητικές βασικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις (χημικές ουσίες, υγρασία, κύκλους ζέσης και παγωνιάς, υψηλές θερμοκρασίες), σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα.

Ο τσιμεντοπολτός αποτελείται από τσιμέντο νερό και (χημικά) πρόσμεικτα ή πρόσθετα. Ενώ έχει σημαντικά υψηλότερο κόστος από τα αδρανή, στην σκληρυμένη του μορφή ο τσιμεντοπολτός δεν έχει εξίσου καλές βασικές ιδιότητες. Ο ρόλος του είναι να συνδέει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να συνδέει τα αδρανή μετατρέποντας, από σύνολο ισχυρών αλλά ασύνδετων κόκκων σε τεχνητό πέτρωμα. Επιπλέον λειτουργεί σαν λιπαντικό μεταξύ των κόκκων των αδρανών, έτσι ώστε το νωπό σκυρόδεμα να είναι μια ρευστή αλλά συνεκτική μάζα.

Η ιστορία του σκυροδέματος αποτελεί ένα από τα βασικά δείγματα της ανθρώπινης εξέλιξης καθώς και προόδου. Πρόκειται για μια ιστορία που συνεχίζεται μέχρι σήμερα, καθώς το σκυρόδεμα εξελίσσεται διαρκώς, ώστε να παραμείνει ένα υλικό που προσφέρει χιλιάδες δυνατότητες και αποτελεί μια διαρκή πηγή έμπνευσης για αρχιτέκτονες και μηχανικούς. Το αρχαιότερο γνωστό σήμερα σκυρόδεμα βρίσκεται στην νότια Γαλιλαία του Ισραήλ και τοποθετείται χρονικά στο 7000 π.χ. Ανακαλύφθηκε το 1985 και αποτελείται από ασβέστη και πέτρες. Πολύ μετέπειτα μόλις το 1824 ο Άγγλος Joseph Aspdin ανακαλύπτει το τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ. Θερμαίνει λεπτά τριμμένη κιμωλία και άργιλο σε κλίβανο ασβεστοποιίας ώσπου να φύγει το διοξείδιο του άνθρακα από το μίγμα. Το κρυσταλλωμένο παράγωγο της διαδικασίας αλέθεται στη συνέχεια και λαμβάνει την ονομασία τσιμέντο Πόρτλαντ, από τις εξαιρετικής ποιότητας πέτρες κτισίματος που εξορύσσονται στην περιοχή του Πόρτλαντ. Ακολουθούν σπουδαία επιτεύγματα. Το 1889 κτίζεται η πρώτη γέφυρα από σκυρόδεμα, το 1891 ο George Bartholomew κατασκευάζει το πρώτο δρόμο από σκυρόδεμα στις ΗΠΑ στο Bellefontaine, όπου υπάρχει ακόμα και σήμερα, το 1903 ο πρώτος ουρανοξύστης από μπετόν κατασκευάζεται στο Cincinnati του Οχάιο των ΗΠΑ. Επίσης, το 1980 παρουσιάζονται σκυροδέματα υπερυψηλής αντοχής ενώ το 1985 εκδίδεται ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Τα πλεονεκτήματα τα οποία και δικαιολογούν την εκτεταμένη χρήση του εντοπίζονται στα παρακάτω:

- Υψηλή αντοχή στη θλίψη.
- Με σχετικά χαμηλό κόστος μπορούμε να κατασκευάσουμε στοιχεία από μπετόν σε όποιο σχήμα θέλουμε.

- Είναι πολύ στιβαρό.
- Είναι σχετικά ανθεκτικό στη φωτιά και στο νερό.
- Είναι σχετικά οικονομικό.
- Δεν απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση και αντέχει αρκετά στο χρόνο.
- Το μπετόν είναι δυνατόν να ανακυκλωθεί.

Αντιθέτως τα μειονεκτήματα του παρατηρούνται στα εξής:

- Διαθέτει χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό.
- Είναι ένα υλικό σχετικά βαρύ για την δύναμή του.
- Με το πέρασμα του χρόνου μπορεί ανάλογα με την ποιότητα του καθώς και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο να υποστεί ενανθράκωση.

## **2.2 Γενικά για το σκυρόδεμα**

Η αντοχή και τα άλλα δεδομένα για το σκυρόδεμα σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 καθορίζονται βάσει τυποποιημένων δοκιμών.

Ο EC2, καλύπτει την αντίστοιχη παράγραφο μέσω της παραπομπής σε αντίστοιχα πρότυπα, π.χ. για την αντοχή παραπέμπει στο πρότυπο EN206-1.



### 2.3 Φαινόμενο βάρος

Κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000, το φαινόμενο βάρος θα προσδιορίζεται μέσω δοκιμών ή θα εκτιμάται με βάση τις γνωστές τιμές φαινόμενων βαρών των συστατικών του σκυροδέματος.

Επιπλέον, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000, στους υπολογισμούς μπορεί να ληφθεί το φαινόμενο βάρος άοπλου σκυροδέματος ίσο με  $24 \text{ KN/m}^3$ , σε περίπτωση συνήθων ποσοστών οπλισμού.

Αντίστοιχα, στον EC2, δεν αναφέρεται το ίδιο βάρος σκυροδέματος, το οποίο καλύπτεται από το Νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο για το Σκυρόδεμα, ΕΛΟΤ EN206-1.

## 2.4.1 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

Ο Ε.Κ.Ω.Σ 2000 βασίζεται σε θλιπτική αντοχή σκυροδέματος που μετράται στις 28 ημέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 300 mm ή κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.).

Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου  $f_{ck}$  ή κυβικού δοκιμίου  $f_{ck,cube}$  θεωρείται σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.

Στην πράξη το σκυρόδεμα θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία που προδιαγράφεται στην μελέτη, αν τα αποτελέσματα των δοκιμών συμφωνούν με τα κριτήρια συμμόρφωσης του Κ.Τ.Σ.

Σε ειδικές περιπτώσεις και υπό την προϋπόθεση πλήρους αιτιολόγησης είναι δυνατόν, κατα τον Ελληνικό κανονισμό, να χρησιμοποιηθούν δοκίμια ηλικίας διάφορης των 28 ημερών.

Σε ορισμένους υπολογισμούς, π.χ. εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας, χρησιμοποιείται η μέση θλιπτική αντοχή η οποία μπορεί να προκύψει από την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή, μέσω της παρακάτω σχέσης του Ε.Κ.Ω.Σ.:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8(\text{MPa}) \quad (\text{σχέση 2.1})$$

Έτσι για παράδειγμα, για κατηγορία σκυροδέματος, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ, C20/25, η μέση θλιπτική αντοχή ανάγεται κατά την σχέση 2.1 του Ελληνικού κανονισμού (η οποία ισχύει και για τον EC2 σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα 2.1 Παράγραφος 5 παρόντος Κεφαλαίου) σε  $f_{cm}=28 \text{ MPa}$  και  $f_{ck,cube}= 32 \text{ MPa}$  για το κυλινδρικό και κυβικό δοκίμιο αντίστοιχα.

Εκτός από σπάνιες περιπτώσεις, η πραγματική τιμή της χαρακτηριστικής αντοχής δεν μπορεί να προσδιοριστεί γιατί ο αριθμός των δοκιμών που απαιτούνται για αυτόν τον σκοπό είναι μεγάλος.

Στον ευρωπαϊκό δομικό κανονισμό, γενικά, ορίζεται ότι η χαρακτηριστική αντοχή μετράται επίσης στις 28 ημέρες. Στον πίνακα 2.1 στην Παράγραφο 5 του παρόντος κεφαλαίου δίνονται οι χαρακτηριστικές αντοχές του  $f_{ck}$  και τα αντίστοιχα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Ωστόσο, στον EN 1992, εντοπίζονται ειδικές περιπτώσεις (π.χ. προένταση) όπου μπορεί να είναι αναγκαίο να αποτιμάται η αντοχή του σκυροδέματος σε σύνθλιψη πριν ή μετά από τις 28 ημέρες, επί την βάση πειραμάτων επί δοκιμίων τα οποία αποθηκεύονται υπό συνθήκες άλλες αυτών που συνήθως προδιαγράφονται.

Ο ευρωπαϊκός κανονισμός, όπως θα δούμε στα παρακάτω, για την περίπτωση όπου έχουμε δοκίμια ηλικίας διάφορης των 28 ημερών, αλλά και γενικά, εισάγει μία σειρά από σχέσεις οι οποίες απουσιάζουν από τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000.

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τον EN 1992, εάν η αντοχή προσδιορίζεται σε ηλικία  $t > 28$  ημερών, θα πρέπει, οι τιμές  $\alpha_{cc}$  και  $\alpha_{ct}$ , που ορίζονται παρακάτω να απομειωθούν με ένα συντελεστή  $k_t$ , όπου  $k_t = 0,85$ .

Επίσης, στον ευρωπαϊκό κανονισμό είναι δυνατό να απαιτείται ο ορισμός της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος  $f_{ck}(t)$ , σε χρόνο  $t$  για διαφορετικά στάδια (π.χ. ξεκαλούπωμα, μεταφορά προέντασης) :

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8 \text{ (MPa) για } (t) \text{ από 3 έως 28 ημέρες}$$

(σχέση 2.2)

$$f_{ck}(t) = f_{ck} \text{ (MPa) για } (t) > \text{ των 28 ημερών}$$

(σχέση 2.3)

Παρατήρηση: Πιο ακριβής τιμές πρέπει να βασίζονται σε δοκιμές, ειδικά όταν πρόκειται για  $t$  μικρότερο των 3 ημερών.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε χρόνο  $t$ , κατά τον EC2, εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου, την θερμοκρασία και τις συνθήκες συντήρησης. Για μέση θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε διαφορετική ηλικία  $f_{cm}(t)$  μπορεί να εκτιμηθεί από τις εκφράσεις:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \quad (\text{σχέση 2.4})$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \{ s [1 - (28/t)^{1/2}] \} \quad (\text{σχέση 2.5})$$

Όπου :

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

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

$t$ : είναι η ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες

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

$s$ : είναι συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου<sup>(1)</sup>

Παρατήρηση: Οι σχέσεις 2.4 και 2.5 του EC2, δεν είναι κατάλληλες όταν το σκυρόδεμα δεν προσαρμόζεται ή δεν συμφωνεί με τα χαρακτηριστικά της θλιπτικής αντοχής των 28 ημερών.

Κατά τον ευρωπαϊκό δομικό κώδικα η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού ορίζεται ως :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c \quad (\text{σχέση 2.6})$$

Όπου :

$\gamma_c$ : επιμέρους συντελεστής για το σκυρόδεμα

$a_{cc}$ : συντελεστής ο οποίος αναφέρεται σε φαινόμενα ή επιδράσεις μακράς διάρκειας της θλιπτικής αντοχής και μη ευνοϊκές επιδράσεις που προέρχονται από τον τρόπο που εφαρμόζεται το φορτίο. Προτεινόμενη τιμή για το  $a_{cc} = 1$ .

---

<sup>(1)</sup> $s=0.20$  για τσιμέντο αντοχής κατηγορίας CEM 42,5 R, CEM 53,5 N και CEM 53,5R (κατηγορία R που αποτελεί ένδειξη για την ταχεία-υψηλότερη πρώιμη αντοχή)

$s=0,35$  για τσιμέντο αντοχής κατηγορίας CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (κατηγορία N που αποτελεί ένδειξη για κανονική πρώιμη αντοχή)

$s=0,38$  για τσιμέντο αντοχής κατηγορίας CEM 32,5 N (κατηγορία S που αποτελεί ένδειξη για την αργή πρώιμη αντοχή)

## 2.4.2 Κατηγορίες σκυροδέματος

Η διαστασιολόγηση πρέπει να βασίζεται σε κατηγορία σκυροδέματος που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής.

Οι κατηγορίες σκυροδέματος κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000 είναι οι ακόλουθες:

- C12/15
- C16/20
- C20/25
- C25/30
- C30/37
- C35/45
- C40/50
- C45/55
- C50/60

Όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου ( $f_{ck}$ ) ενώ ο δεύτερος ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κύβου ( $f_{ck,cube}$ ) σε ΜΡα, στις 28 ημέρες.

Σε αντίθεση με τον Ε.Κ.Ω.Σ που δεν καλύπτει κατηγορίες σκυροδέματος υψηλότερες από C50/60, ο EC2, καθιστά μέγιστη κατηγορία σκυροδέματος την C90/105, εξαρτώμενη από τα Εθνικά Κείμενα εφαρμογής, όπως φαίνεται και παρακάτω :

- C12/15
- C16/20
- C20/25
- C25/30
- C30/37
- C35/45
- C40/50
- C45/55
- C50/60
- C55/67
- C60/75
- C70/85
- C80/95
- C90/105

## 2.5 Εφελκυστική αντοχή

Στον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος και εφόσον δεν υπάρχει άλλη ένδειξη, ο όρος εφελκυστική αντοχή αναφέρεται σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό, όπως είχε οριστεί από τον Κ.Τ.Σ.

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος,  $f_{ct}$ , κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ., μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος από τον πίνακα 2.1

$f_{ck}$ MPa	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ MPa	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
$f_{cm}$ MPa	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
$f_{ctm}$ MPa	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0,05}$ MPa	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk,0,95}$ MPa	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6

**Πίνακας 2.1 Μηχανικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος κατά τον ελληνικό και ευρωπαϊκό δομικό κώδικα<sup>(1),(2)</sup>**

---

<sup>(1)</sup>Οι τιμές του πίνακα 2.1 από την κατηγορία σκυροδέματος C55/67 και μετά ανήκουν αποκλειστικά στον ευρωπαϊκό δομικό κώδικα.

<sup>(2)</sup>Οι τιμές του πίνακα 2.1 προκύπτουν από τις σχέσεις :  $f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3}$  για κατηγορία σκυροδέματος  $\leq C50/60$ ,  $f_{ctm} = 2,12 \ln*(1+(f_{cm}/10))$  για κατηγορία σκυροδέματος  $> C50/60$ ,  $f_{ctk,0,05} = 0,7 * f_{ctm} * 5\%$  (οριακό ποσοστό),  $f_{ctk,0,95} = 1,3 * f_{ctm} * 95\%$  (οριακό ποσοστό).

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος,  $f_{ct}$ , μπορεί να εκτιμηθεί από τις αντίστοιχες αντοχές εφελκυσμού από κάμψη ( $f_{ct,fl}$ ) ή από διάρρηξη ( $f_{ct,sp}$ ) από τις ακόλουθες σχέσεις του Ελληνικού κανονισμού:

$$f_{ct}=0,50 *(f_{ct,fl}) \quad (\text{σχέση 2.7.α})$$

$$f_{ct}=0,90 *(f_{ct,sp}) \quad (\text{σχέση 2.7.β})$$

Το εύρος διακύμανσης της εφελκυστικής αντοχής,  $f_{ct}$ , κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ.2000, είναι από  $0,70* f_{ctm}$  έως  $1,30* f_{ctm}$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι τιμές της εφελκυστικής αντοχής να κυμαίνονται από 1,8 MPa έως 3,4 MPa για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή 25 MPa σύμφωνα με τον πίνακα 2.1. Η εκλογή της τιμής  $f_{ct}$  που θα εισαχθεί στους υπολογισμούς ωστόσο εξαρτάται από το είδος του εξεταζόμενου προβλήματος.

Σύμφωνα με τον EC2 ορίζεται ότι η μέση εφελκυστική αντοχή του οπλισμένου σκυροδέματος εξαρτάται από την μέση αξονική αντοχή και το βάθος της διατομής. Δίνεται η σχέση που ακολουθεί :

$$f_{ctm,fl} = \max \left\{ \left( 1,60 - \frac{h}{1000} \right) f_{ctm}, f_{ctm} \right\} \quad (\text{σχέση 2.8})$$

Όπου:

h: είναι το συνολικό βάθος των στοιχείων σε mm

$f_{ctm}$ : είναι η μέση αξονική εφελκυστική αντοχή (πίνακας 2.1)

Η παραπάνω σχέση, του EN-1992, (σχέση 2.8) μπορεί να εφαρμοστεί και για τις τιμές της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής.

Έτσι λοιπόν για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή 25 MPa, με  $f_{ctm}=2,60$  MPa και συνολικό βάθος στοιχείου 1000 mm η σχέση 2.8 μας δίνει :

$$f_{ctm,fl}=\max \{ 1,56 \text{ MPa}, 2,60 \text{ MPa} \}$$

$$f_{ctm,fl}=2,60 \text{ MPa}$$

Επιπλέον, στον Ευρωκώδικα 2, αναφέρεται ότι η ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής μέσα στον χρόνο, επηρεάζεται σημαντικά από τις συνθήκες σκλήρυνσης και ξήρανσης, καθώς και από τις διαστάσεις των δομικών στοιχείων. Σαν πρώτη προσέγγιση, η εφελκυστική αντοχή  $f_{ctm}$ , δίδεται από τον παρακάτω τύπο :

$$f_{ctm}(t) = (\beta_{cc}(t))^{\alpha} f_{ctm} \quad (\text{σχέση 2.9})$$

Όπου :

$$\alpha = 1 \quad \text{για } t < 28$$

$$\alpha = 2/3 \quad \text{για } t \geq 28$$

$f_{ctm}$ = Οι τιμές του δίνονται στον πίνακα 2.1

Επίσης, κατά τον σχεδιασμό, σύμφωνα με τον συγκεκριμένο κώδικα (EC2) και μόνο, η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού λαμβάνεται από την παρακάτω σχέση :

$$f_{ctd} = a_{ct} * \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} \quad (\text{σχέση 2.10})$$

Όπου :

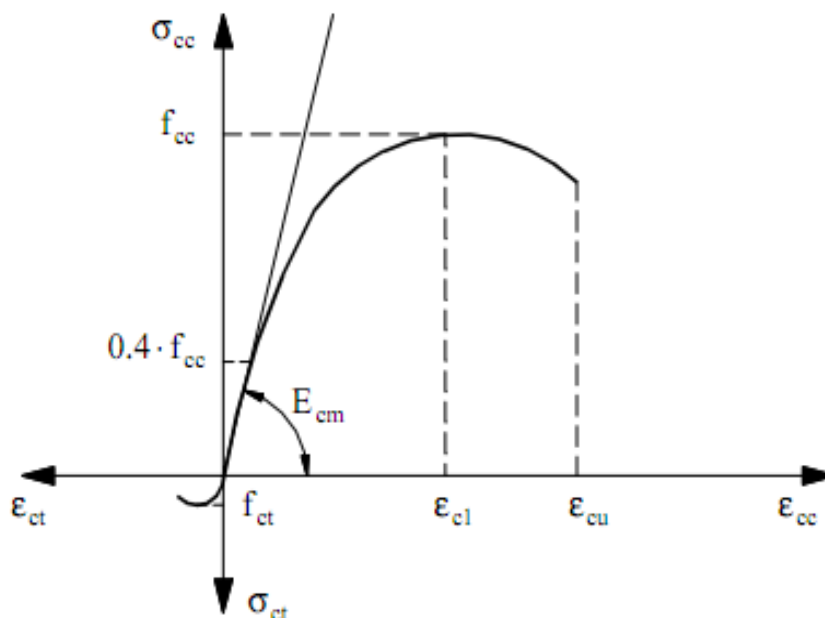
$\gamma_c$ : επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα

$a_{ct}$ : συντελεστής ο οποίος αναφέρεται σε φαινόμενα ή επιδράσεις μακράς διάρκειας της εφελκυστικής αντοχής και μη ευνοϊκές επιδράσεις που προέρχονται από τον τρόπο που εφαρμόζεται το φορτίο. Προτεινόμενη τιμή  $a_{ct}=1$ .



### 2.6.1 Διαγράμματα τάσεων–παραμορφώσεων σκυροδέματος

Ο μελετητής, σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ, μπορεί να χρησιμοποιεί αιτιολογημένως διάφορες μορφές του διαγράμματος τάσεων –παραμορφώσεων, ανάλογα με τη φύση του έργου και με τις ειδικές απαιτήσεις της μελέτης. Η γενική μορφή των διαγραμμάτων τάσεων –παραμορφώσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1 και είναι όμοιο και για τους δύο κανόνες.



**Σχήμα 2.1.Σχηματικό διάγραμμα τάσεων –παραμορφώσεων σκυροδέματος (c=θλίψη, t=εφελκυσμός) κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και EC2.**

Στον EC2, επιπροσθέτως, αναφέρεται η περίπτωση της βραχυχρόνιας μονοαξονικής καταπόνησης και εκφράζεται με την παρακάτω σχέση :

$$\left(\frac{\sigma_c}{f_{cm}}\right) = (k\eta - \eta^2)/[1 + (k - 2) * \eta] \quad (\text{σχέση 2.11})$$

Όπου :

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

$\varepsilon_{c1}$ : είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην κορυφή της τάσης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2

$k = 1,05 * E_{cm} * |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$

Παρατηρήσεις: Η έκφραση (2.11) ισχύει για  $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$  όπου  $\varepsilon_{cu1}$  είναι η ονομαστική παραμόρφωση αστοχίας.

Οι τιμές του πίνακα 2.2 μετά την τιμή του μέτρου ελαστικότητας  $E_{cm}$ , αποτελούν τιμές οι οποίες δεν εμφανίζονται στον Ελληνικό Κανονισμό σε αντίστοιχο πίνακα.

$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$E_{cm}$ (Gpa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44
$\varepsilon_{c1}$ (‰)	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
$\varepsilon_{cu1}$ (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
$\varepsilon_{c2}$ (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$\varepsilon_{cu2}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
$n$	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
$\varepsilon_{c3}$ (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
$\varepsilon_{cu3}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

**Πίνακας 2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος κατά τον EC2.**

Ενώ ο Ε.Κ.Ω.Σ 2000 δεν προβλέπει κάτι ιδιαίτερο για το περισιφισμένο σκυρόδεμα ο EC2 προβλέπει ειδικότερες εξισώσεις υπολογισμού του. Αναφέρει ότι ελλείπει στοιχείων μεγαλύτερης ακρίβειας, η σχέση τάσεων – παραμορφώσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2 όπου η θλιπτική τάση παρουσιάζεται θετική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με αυξημένη χαρακτηριστική αντοχή σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$f_{ck,c} = f_{ck} \left( 1,000 + \frac{5,0\sigma_2}{f_{ck}} \right) \text{ για } \sigma_2 \leq 0,05 f_{ck} \quad (\text{σχέση 2.12.α})$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} \left( 1,125 + \frac{2,50\sigma_2}{f_{ck}} \right) \text{ για } \sigma_2 > 0,05 f_{ck} \quad (\text{σχέση 2.12.β})$$

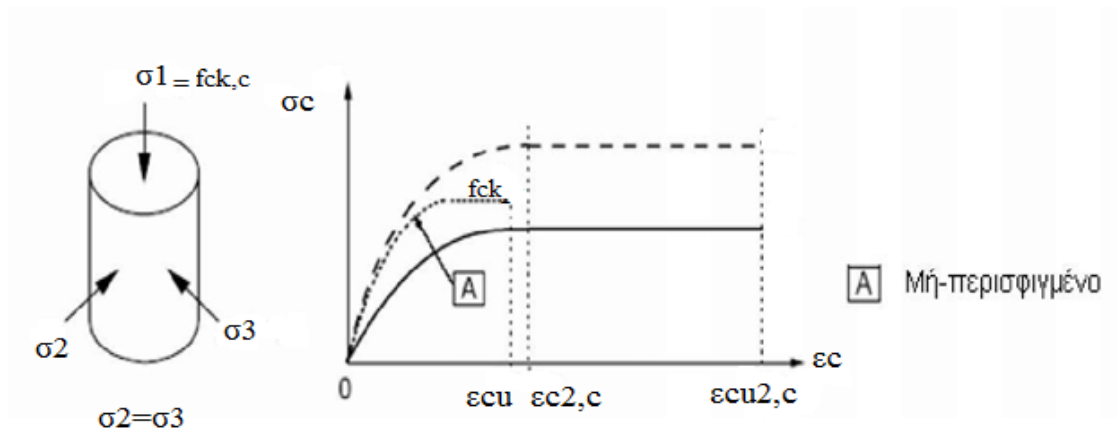
$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \left( \frac{f_{ck,c}}{f_{ck}} \right)^2 \quad (\text{σχέση 2.13})$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + \sigma_2 / f_{ck} \quad (\text{σχέση 2.14})$$

Όπου :

$\sigma_2 = \sigma_3$ : Είναι η ενεργή πλευρική τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας περίσφιξης. Η περίσφιξη μπορεί να προέρχεται από κατάλληλους ή επαρκώς κλειστούς συνδετήρες.

Σχήμα 2.2. Σχέσεις τάσεων παραμορφώσεων για περισφιγμένο σκυρόδεμα κατά τον EC2.



## 2.6.2 Μέτρο ελαστικότητας

Η μέση τιμή του  $E_{cm}$ , του επιβατικού μέτρου ελαστικότητας, κατά τον Ελληνικό κανονισμό ωπλισμένου σκυροδέματος, μπορεί να εκτιμηθεί βάσει της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, μέσω του πίνακα 2.3:

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

**Πίνακας 2.3 Μέση τιμή του επιβατικού μέτρου ελαστικότητας,  $E_{cm}$ , κατά τον ελληνικό κανονισμό.**

Το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας είναι η κλίση της ευθείας του διαγράμματος  $\sigma - \varepsilon$  που οδηγεί στο 40 % της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (σχήμα 2.1). Οι τιμές του πίνακα 2.3 έχουν προκύψει βάσει της σχέσης :

$$E_{cm} = 9.5 (f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (\text{σχέση 2.15})$$

Όπου :

( $E_{cm}$  σε GPa,  $f_{ck}$  σε MPa)

Ο EC2 για το μέτρο ελαστικότητας αναφέρει ότι εξαρτάται από τα μέτρα ελαστικότητας των συστατικών του σκυροδέματος και εκφράζεται από την σχέση:

$$E_{cm} = 22 [ (f_{cm}) / 10 ]^{0.3} \quad (\text{σχέση 2.16})$$

Οι τιμές του  $E_{cm}$ , για τον EC2, για κάθε κατηγορία σκυροδέματος εκφράζεται στον πίνακα 2.2 και σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του πίνακα 2.3 είτε παρουσιάζουν διαφορές, οι οποίες ωστόσο δεν θεωρούνται σημαντικές, είτε παρουσιάζουν εντελώς όμοιες τιμές.

Ακόμα, για τον Ευρωκώδικα, η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας σε σχέση με το χρόνο εκτιμάται από την σχέση που ακολουθεί :

$$E_{cm}(t) = \left[ \frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right]^{0.3} * E_{cm} \quad (\text{σχέση 2.17})$$

Όπου :

$E_{cm}(t)$  και  $f_{cm}(t)$  είναι οι τιμές που αντιστοιχούν σε ηλικία σκυροδέματος  $t$  ημερών,  $E_{cm}$  και  $f_{cm}$  είναι οι τιμές που αντιστοιχούν στις 28 ημέρες.

### 2.6.3 Ερπυσμός σκυροδέματος

Κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 προβλέπεται ότι, για οικοδομικά έργα μπορούν να ληφθούν για τον τελικό συντελεστή ερπυσμού ( $t = \infty$ ), ως αντιπροσωπευτικές οι τιμές του πίνακα 2.4 εφόσον η τάση του σκυροδέματος δεν υπερβαίνει τη τιμή  $0,50 \cdot f_{ck}$ .

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

**Πίνακας 2.4 Τελικές τιμές του συντελεστή ερπυσμού  $\varphi(t_{\infty}, t_0)$  σκυροδέματος κατά τον ελληνικό κώδικα.**

Για τάσεις  $\sigma_c < 0,50 f_{ck}$ , γίνονται οι εξής παραδοχές :

- Οι ερπυστικές παραμορφώσεις συνδέονται γραμμικά με τις τάσεις.
- Όταν η επιβαλλόμενη τάση μεταβάλλεται κατά διαστήματα, οι ερπυστικές παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στο διάστημα επιβολής κάθε τιμής της τάσης προστίθενται.

Παρατηρήσεις: Οι τιμές του πίνακα 2.4 ισχύουν για συνήθη σκυροδέματα (με συνήθη αδρανή και με μέση συνεκτικότητα) υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος +10 έως +20% °C.

Οι τιμές ισχύουν για εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας -10 έως +40 °C και σχετικής υγρασίας +20 %.

Ο EC2 αναφέρει ότι ο ερπυσμός του σκυροδέματος εξαρτάται από την υγρασία του περιβάλλοντος, τις διαστάσεις του στοιχείου και την σύνθεση του σκυροδέματος. Επίσης ο ερπυσμός, επηρεάζεται από τον βαθμό ωρίμανσης του σκυροδέματος κατά την επιβολή της πρώτης φόρτισης και εξαρτάται από την διάρκεια και το μέγεθος της.

Επιπλέον, σε σχέση με τον Ε.Κ.Ω.Σ, ο EC2, αναφέρει ότι ο συντελεστής ερπυσμού  $\varphi(t, t_0)$ , σχετίζεται με το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας  $E_c$ , που προσεγγιστικά μπορεί να ληφθεί ως  $1,05 \cdot E_{cm}$ .

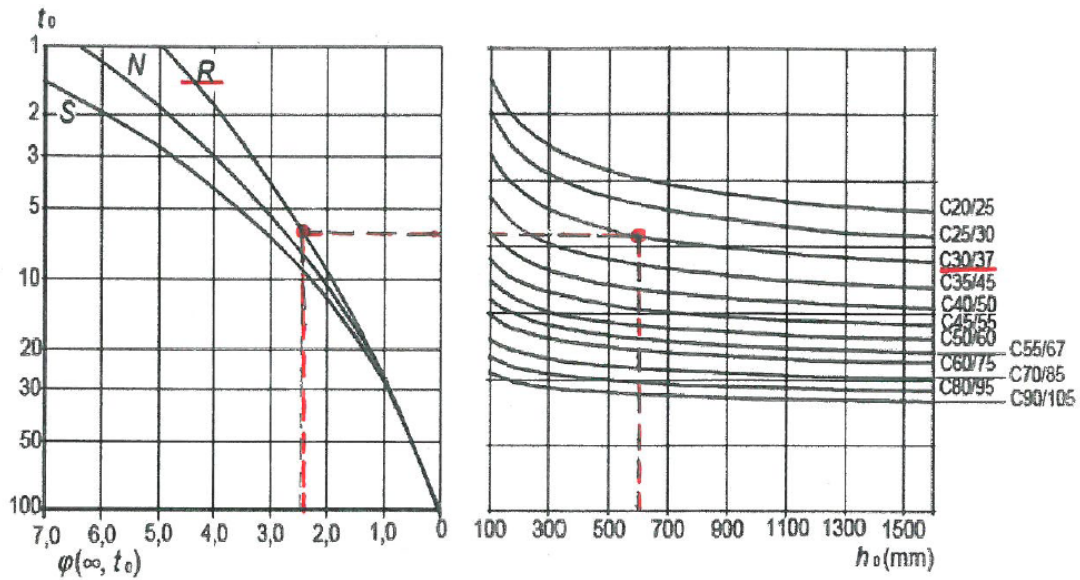
Όταν δεν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, η τιμή λαμβάνεται από το παρακάτω σχήμα, του EC2, αρκεί το σκυρόδεμα να μην είναι εκτεθειμένο σε θλιπτική τάση μεγαλύτερη από  $0,45 \cdot f_{ck}(t_0)$ , με ηλικία ( $t_0$ ), την ηλικία του σκυροδέματος την ώρα που αρχίζει η φόρτιση του.

Η τάση αυτή είναι ελαφρώς μικρότερη από την αντίστοιχη του ελληνικού κανονισμού που ορίζει ως οριακή τάση σκυροδέματος την  $0,50 \cdot f_{ck}$ .

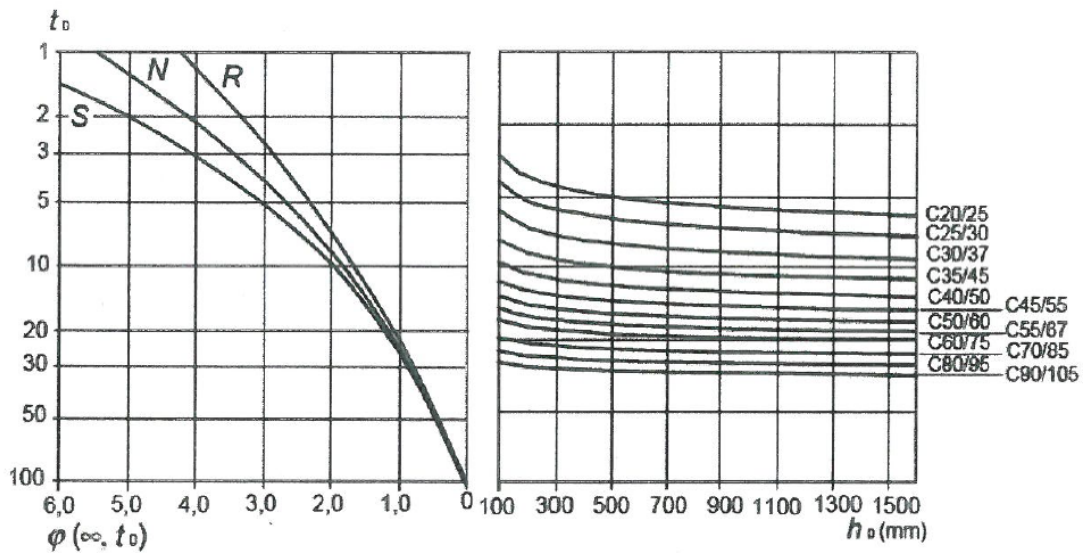
Όταν η θλιπτική τάση του σκυροδέματος σε ηλικία  $t_0$ , υπερβεί το  $0,45 f_{ck}(t_0)$ , τότε ο ερπυσμός λαμβάνεται μη γραμμικά με την βοήθεια εξίσωσης.

Με την βοήθεια του σχήματος 2.3(α), για εσωτερικές συνθήκες RH=50%, εάν θα θέλαμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή ερπυσμού  $\varphi(t_{\infty}, t_0)$ , κατά τον EN-1992, για μία περίπτωση πλάκας σκυροδέματος, κατηγορίας C30/37, πάχους 600mm, φορτιζόμενης επί 28 ημέρες θα προέκυπτε  $\varphi$  της τάξεως των 2,20 τιμή η οποία δεν διαφέρει σημαντικά από τις τιμές του πίνακα 2.4 του Ελληνικού κώδικα.

Η τιμή που προέκυψε παραπάνω, αλλά και γενικά για όποια τιμή θα προκύψει από τα σχήματα που δίνονται παρακάτω, ισχύει για θερμοκρασία περιβάλλοντος ανάμεσα από  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  και μέση υγρασία μεταξύ RH=40% και RH=100%, δηλαδή πιο ακραίες συνθήκες σε σχέση με τον ελληνικό κώδικα.



α)εσωτερικές συνθήκες RH=50%



β)εξωτερικές συνθήκες RH=80%

**Σχήμα 2.3(α),(β): Μέθοδος προσδιορισμού συντελεστή ερπυσμού  $\varphi(\infty,t_0)$  για σκυρόδεμα κατά τον EC2.**

Στο Σχήμα 2.3(α) και (β) χρησιμοποιούνται τα παρακάτω σύμβολα :

$\varphi(\infty,t_0)$  : τελικός συντελεστής ερπυσμού

$t_0$  : είναι η ηλικία του σκυροδέματος κατά την επιβολή της φόρτισης, σε ημέρες

$h_0$  : το ιδεατό μέγεθος  $2 A_c / u$

$A_c$  : το εμβαδό της διατομής του σκυροδέματος

$u$  : η περίμετρος της διατομής, που έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα

S,N,R :(Παραπομπή <sup>(1)</sup> Παράγραφος 4.1 παρόντος κεφαλαίου)

### 3.1 Πληροφορίες για το χάλυβα

Ο χάλυβας (κοινώς ατσάλι) είναι κράμα σιδήρου άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματούμενοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στο 1000 π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Πάντως οι Χετταίοι γνώριζαν πώς να παράγουν χάλυβα ήδη από το 2300 π.Χ. Την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και οι Ινδοί, οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα, καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη («βαφή»). Περίφημα ήταν τα σφυρήλατα χαλύβδινα δαμασκηνά σπαθιά, που κατασκευάζονταν κατά τον Μεσαίωνα στη Συρία, αλλά και σε τόπους πιο μακρινούς όπως στην Ιαπωνία.

Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αι., όταν ο Άγγλος εφευρέτης Χένρι Μπέσσεμερ, ανακάλυψε πώς να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με βασικά πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσίδηρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμιнос Siemens-Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Μπέσσεμερ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσίδηρου. Η κάμιнос Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Τα πλεονεκτήματα του εντοπίζονται στα παρακάτω:

- Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό
- Ικανοποιητική διατμητική αντοχή
- Ο χάλυβας με νευρώσεις ή κοιλότητες έχει πολύ μεγάλη συνάφεια (πρόσφυση) με το σκυρόδεμα
- Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής

Ενώ τα μειονεκτήματα του :

- Σε θερμοκρασία 1200 °F (πυρκαγιά), μειώνεται σημαντικά η εφελκυστική του αντοχή
- Εάν οι ράβδοι οπλισμού είναι εκτεθειμένοι σε βροχή, υγρασία ή χιόνι οξειδώνονται.



### 3.2.1 Χαρακτηριστικά χαλύβων

Τα μηχανικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά των χαλύβων που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ, καθορίζονται από πρότυπα και ή εγκριτικές αποφάσεις ή πιστοποιητικά συμμόρφωσης.

Οι χάλυβες που καλύπτονται από τον Κανονισμό αυτόν (Ε.Κ.Ω.Σ. 2000) μπορούν να διακριθούν ως εξής :

#### Σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής :

- Θερμή έλαση, δίχως καμία περαιτέρω επεξεργασία
- Θερμή έλαση, η οποία ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά θερμική κατεργασία
- Ψυχρή κατεργασία με στρέψη ή με όλκηση (συρματοποίηση) του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση.

#### Σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας σε :

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

#### Σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα

- Χάλυβες συγκολλήσιμους υπό προϋποθέσεις
- Χάλυβες συγκολλήσιμους

Το συγκεκριμένο Κεφάλαιο, του Ελληνικού κανονισμού, συμπληρώνεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.) και τις διατάξεις περί χαλύβων των προτύπων ΕΛΟΤ 959 και 971 όπως αντικαταστάθηκαν από το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421.

Ο EC2 αναφέρεται στο χάλυβα σε μορφή ράβδων. Οι ιδιότητες αναφέρονται για οπλισμό που τοποθετείται στο σκυρόδεμα πριν την σκλήρυνση του.

Τονίζεται πως αν οι εργασίες στο εργοτάξιο μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες του οπλισμού, τότε αυτές οι ιδιότητες θα πρέπει να επαληθευτούν μετά από το τέλος των εργασιών αυτών. Οι απαιτούμενες ιδιότητες του οπλισμού θα πρέπει να επαληθεύονται σύμφωνα με το πρότυπο EN10080.

### 3.2.2 Τα νέα Πρότυπα ΕΛΟΤ για τους χάλυβες και χαρακτηριστικά αυτών

Το 1987 εκδόθηκαν τα δύο ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971. Το πρώτο ταυτιζόταν με το EU 80-69 και αφορούσε τους μη συγκολλησίμους χάλυβες (τεχνικές κατηγορίες S220, S400 και S500), ενώ το δεύτερο βασιζόταν στο EU 80-85 και αφορούσε τους συγκολλησίμους χάλυβες (τεχνικές κατηγορίες S400s και S500s). Οι απαιτήσεις αυτών των Προτύπων ήταν ιδιαίτερα ελαστικές και η ανάγκη για αναμόρφωση τους έγινε επιτακτική σε ευρωπαϊκό επίπεδο, όταν άρχισε να εκδηλώνεται ενδιαφέρον για υλικά με βελτιωμένα χαρακτηριστικά που η βιομηχανία είχε πλέον τη δυνατότητα να παράξει. Η προσπάθεια έκδοσης ενός κοινού ευρωπαϊκού προτύπου, που θα υποκαθιστούσε τα εθνικά και θα εναρμονιζόταν με τις σύγχρονες απαιτήσεις, ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '90. Για πάνω από μία δεκαετία δεν μπόρεσε να υπάρξει συμφωνία, ενώ παράλληλα απαγορεύτηκε στα κράτη μέλη η έκδοση νέων εθνικών Προτύπων.

Σε όλο αυτό το διάστημα και ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία, από ελληνικής πλευράς, λόγω και των αυξημένων αναγκών αντισεισμικής προστασίας, έγιναν προσπάθειες να υιοθετηθούν αυστηρότερες απαιτήσεις για τους χάλυβες. Επειδή οι εργασίες για το κοινό ευρωπαϊκό πρότυπο δεν ολοκληρώνονταν, γεννήθηκε η ιδέα του Κανονισμού χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος στον οποίο περιέχονται πάρα πολλά ενδιαφέροντα θέματα μεταξύ των οποίων και οι αυστηρότερες απαιτήσεις για την ολκιμότητα. Οι απαιτήσεις αυτές υιοθετήθηκαν ως σχόλια του Κανονισμού και ο χρήστης προτρέπεται να ζητάει χάλυβες υψηλής ολκιμότητας.

Αυτό είχε και σαν αποτέλεσμα να πιεσθεί η αγορά και οι παραγωγοί, έστω και αν δεν περιορίζονταν από τα ισχύοντα Πρότυπα, να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά των παραγόμενων χαλύβων.

Το 2002 ομάδα εργασίας από μέλη της επιτροπής σύνταξης του ΚΤΧ για λογαριασμό του ΟΑΣΠ (Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας) εισηγήθηκε νέες κατηγορίες χαλύβων μέσης και υψηλής ολκιμότητας. Το τελικό κείμενο είχε σαν βάση το τότε σχέδιο Ευρωπαϊκού Προτύπου prEN10080. Έπειτα από διαβήματα και πιέσεις από την ελληνική πλευρά, επικαλούμενοι και την σεισμικότητα του ελληνικού χώρου (ανάλογες αντιδράσεις υπήρχαν και από άλλα κράτη μέλη) δόθηκε η έγκριση για την έκδοση Εθνικού Προτύπου. Οι εργασίες, που έγιναν στα πλαίσια του ΕΛΟΤ, προχώρησαν με σχετικά γρήγορους ρυθμούς και έτσι στις αρχές του 2005 εκδόθηκαν τα νέα Εθνικά Πρότυπα. Μετά από τόσα χρόνια (στα τέλη του 2005) εκδόθηκε το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 10080, το οποίο υιοθετήθηκε από την Ελλάδα ως ΕΛΟΤ EN 10080 στις αρχές του 2006. Το τελευταίο αντικατέστησε το ΕΛΟΤ 1421-1 με το οποίο όμως δεν έχει ουσιαστικές διαφορές.

Το Φεβρουάριο του 2005 εκδόθηκαν τα νέα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080 (ΕΛΟΤ 1421-1), ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 για τους συγκολλησίμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, τα οποία αντικατέστησαν τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971, τα οποία αναφέρονται στον Ε.Κ.Ω.Σ 2000.

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080(ΕΛΟΤ 1421-1), αναφέρεται σε γενικές απαιτήσεις, μεθόδους ελέγχων και τη σήμανση αναγνώρισης των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος. Ουσιαστικά, στηρίζεται στις απαιτήσεις Ευρωπαϊκού σχεδίου Προτύπου, οι προβλέψεις του οποίου θα είναι κοινές για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3, ορίζονται δύο κατηγορίες χαλύβων, με την ίδια απαίτηση για το όριο διαρροής (500MPa), αλλά με διαφορετική απαίτηση ολκιμότητας: Χάλυβες οπλισμού B500C(υψηλής ολκιμότητας) και B500A (χαμηλής ολκιμότητας). Η χρήση της δεύτερης, αφορά μόνο δομικά πλέγματα και ηλεκτροσυγκολλημένα δικτυώματα χαμηλής ολκιμότητας, όπως επίσης και ρόλλους για την παραγωγή αυτών των μορφών. Στην πράξη, στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, γίνεται χρήση των χαλύβων B500C.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ παλαιών και νέων Προτύπων. Τα νέα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 αφορούν αποκλειστικά τους συγκολλησίμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. (Καταργείται και τυπικά η χρήση των μη συγκολλησίμων χαλύβων).

Για τους χάλυβες κατά τα νέα Πρότυπα καθιερώνονται:

- Νέες τεχνικές κατηγορίες ποιότητας B500A (χαμηλής ολκιμότητας) και B500C (υψηλής ολκιμότητας).
- Έλεγχοι και κριτήρια αξιολόγησης ανάλογα με τη μορφή που διατίθενται (ράβδοι, ρόλοι, ευθυγραμμισμένα προϊόντα, πλέγματα, δικτυώματα).
- Αυστηρότερα όρια για τις ιδιότητες σε εφελκυσμό και μέτρηση νέων μεγεθών (όπως ο λόγος  $f_{y,act}/f_{y,nom}$  και το  $\epsilon_{u,k}$ ).
- Νέοι έλεγχοι και μετρήσεις όπως :
  - έλεγχος της γεωμετρίας των νευρώσεων (αντοχή συνάφειας),
  - δοκιμή κόπωσης,
  - αντοχή σε διάτμηση για τις σταυρωτές σημειακές συγκολλήσεις πλεγμάτων και δικτυωμάτων.
- Διαφορετικός τρόπος εκτέλεσης δοκιμών, αλλά και μέτρησης χαρακτηριστικών:
  - η καταλληλότητα σε κάμψη θα ελέγχεται με τη δοκιμή αναδίπλωσης ανεξαρτήτως διαμέτρου,
  - η ανηγμένη παραμόρφωση θα μετριέται στο μέγιστο φορτίο και όχι μετά τη θραύση,
  - οι τάσεις θα υπολογίζονται με την ονομαστική διατομή και όχι με την πραγματική,
  - στη χημική σύσταση θα μετριέται και ο χαλκός.
- Συγκεκριμένο σύστημα σήμανσης για την αναγνώριση της προέλευσης (χώρα και μονάδα παραγωγής) και της τεχνικής κατηγορίας.
- Κριτήρια συμμόρφωσης για τους παραγωγούς (αρχικός, εσωτερικός και μακροχρόνιος έλεγχος).
- Έλεγχοι σε περιπτώσεις αμφισβητήσεων.

Επιπλέον στα Παραρτήματα του ΕΛΟΤ EN 10080 περιγράφονται και τα ακόλουθα:

- Μέθοδοι δοκιμών για τα ηλεκτροσυγκολλημένα δικτυώματα.
- Εναλλακτικές δοκιμές για τον έλεγχο της αντοχής συνάφειας.
- Διαδικασίες για την απονομή σήμανσης CE.

Στον πίνακα 3.1 δίνονται οι νέες απαιτήσεις και για λόγους σύγκρισης παρατίθενται και εκείνες των προηγούμενων Προτύπων.

Χαρακτηριστικό	ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971					ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2, ΕΛΟΤ 1421- 3	
	Τεχνική Κατηγορία					Τεχνική Κατηγορία	
	S220	S400	S500	S400s	S500s	B500A	B500C
Όριο διαρροής, $f_y$ (MPa)	220	400	500	400	500	$\geq 500$	$\geq 500$
Εφελκυστική αντοχή, $f_t$ (MPa)	340	500	550	440	550	[1]	[1]
Λόγος της πραγματικής τιμής ορίου διαρροής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής, $f_{y,act}/f_{y,nom}$	-	-	-	-	-	-	$\leq 1,25$
Λόγος της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, $f_t/f_y$	-	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$	$\geq 1,05$ ( $\geq 1,03$ για $d < 6\text{mm}$ )	$\geq 1,15$ $\leq 1,35$
Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο $\epsilon_{u,k}$ (%)	-	-	-	-	-	$\geq 2,5$ ( $\geq 2$ για $d < 6\text{mm}$ )	$\geq 7,5$
Επιμήκυνση μετά τη θραύση, $\epsilon_s$ (%)	24	14	12	14	12	-	-

**Πίνακας 3.1: Ιδιότητες σε εφελκυσμό για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατά ΕΛΟΤ 959 - ΕΛΟΤ 971 και κατά ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421- 2 ΕΛΟΤ 1421- 3**

<sup>(1)</sup>Στα νέα Πρότυπα δεν προβλέπεται όριο για την εφελκυστική αντοχή. Όμως η μέτρησή της θα γίνεται για τον υπολογισμό του λόγου  $f_t/f_y$  (εφελκυστική αντοχή προς το όριο διαρροής).

Στον πίνακα 3.2 δίνονται οι έλεγχοι που προβλέπονται στα νέα Πρότυπα και για λόγους σύγκρισης εκείνοι των προηγούμενων Προτύπων.

Ελέγχοι		ΕΛΟΤ 959, ΕΛΟΤ 971	ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2, ΕΛΟΤ 1421- 3
<b>1</b>	<b>Γεωμετρικά χαρακτηριστικά</b>		
	- διατομή, ανηγμένη μάζα	+	+
	- άλλες διαστάσεις	-	+
	- γεωμετρία νευρώσεων ( αντοχή συνάφειας )	-	+
<b>2</b>	<b>Μηχανικά χαρακτηριστικά</b>		
	<b>A. Ιδιότητες σε εφελκυσμό</b>		
	- όριο διαρροής (fy)	+	+
	- εφελκυστική αντοχή (ft)	+	+
	- λόγος εφελκυστικής αντοχής προς όριο διαρροής (ft/fy)	+	+
	- λόγος πραγματικής τιμής του ορίου διαρροής προς την ονομαστική τιμή ορίου διαρροής ( $f_{y,act}/f_{y,nom}$ )	-	+
	- επιμήκυνση μετά τη θραύση $\epsilon_s$ (%)	+	-
	- επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο $\epsilon_{u,k}$ (%)	-	+
	- λόγος της πραγματικής τιμής ορίου διαρροής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής, $f_{y,act}/f_{y,nom}$	-	+
	<b>B. Καταλληλότητα σε κάμψη (Δοκιμή αναδίπλωσης)</b>		
	- Κάμψη/ανάκαμψη ή αναδίπλωση (ανάλογα με τη διάμετρο)	+	-
	- Αναδίπλωση	-	+
	<b>Γ. Αντοχή σταυρωτών σημειακών συγκολλήσεων (Δοκιμή διάτμησης)</b>	-	+
	<b>Δ. Κόπωση</b>	-	+
<b>3</b>	<b>Χημική σύσταση (Συγκολλησιμότητα)</b>	+	+
<b>4</b>	<b>Σήμανση</b>		
	- για αναγνώριση κατηγορίας	-	+
	- για αναγνώριση μονάδας παραγωγής και χώρας προέλευσης	-	+

**Πίνακας 3.2:Ελεγχοι χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος κατά ΕΛΟΤ 959 ΕΛΟΤ 971 και κατά ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421- 2, ΕΛΟΤ 1421- 3**

Η ανάγκη χρησιμοποίησης στις κατασκευές χαλύβων με βελτιωμένα χαρακτηριστικά είναι επιτακτική, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως η Ελλάδα, όπου υπάρχει έντονη σεισμική δραστηριότητα.

Με την έκδοση των νέων Προτύπων,έκλεισε ένα μακροχρόνιος κύκλος προσπαθειών, των οποίων προσπαθειών στόχος ήταν και είναι η θέσπιση κριτηρίων ώστε οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις.

### **3.3 Διατομή υπολογισμών**

Οι υπολογισμοί, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ, πρέπει να βασίζονται στην ονομαστική διατομή που καθορίζεται από την ονομαστική διάμετρο.

Ο δομικός κώδικας της Ευρώπης, όταν αναφέρεται σε διάμετρο χρησιμοποιεί ολόκληρη την έκφραση ονομαστική διάμετρο.

### 3.4 Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα

Χαρακτηριστική αντοχή,  $f_{yk}$ , θεωρείται σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό εκείνη η τιμή του ορίου διαρροής  $f_y$ , ή του συμβατικού ορίου διαρροής  $f_{0,2}$  (που αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση 0,2 %) κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή ενός τυχαίου δοκιμίου. Εάν ο παράγωγος χάλυβας εγγυάται μια ελάχιστη τιμή για το  $f_y$  ή  $f_{0,2}$ , η τιμή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως χαρακτηριστική.

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στο ωπλισμένο σκυρόδεμα, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ διακρίνονται σε κατηγορίες:

Χάλυβες υψηλής πλαστιμότητας (H), όταν:

$$\varepsilon_{uk} > 5.0\%$$

$$\text{και } (f_t / f_y)_k > 1.08$$

Χάλυβες συνήθους πλαστιμότητας (N), όταν:

$$\varepsilon_{uk} > 2.5\%$$

$$\text{και } (f_t / f_y)_k > 1.05$$

Όπου:

$\varepsilon_{uk}$ : χαρακτηριστική τιμή της ανοιγμένης παραμόρφωσης υπό το μέγιστο φορτίο, που ειδικώς για αυτήν την παράμετρο εκτιμάται με πιθανότητα υπέρβασης 10% αντί της συνήθους 5%,

$f_t$ : χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής.

Παρατήρηση: Η μελέτη πρέπει να βασίζεται σε κατηγορία χάλυβα που αντιστοιχεί σε καθορισμένη τιμή χαρακτηριστικής αντοχής  $f_{yk}$ .

Χάλυβες που έχουν υποστεί, σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό, ολική ή μερική ψυχρή κατεργασία με όλκηση (συρματοποίηση) ενδέχεται να έχουν χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη μικρότερη από ότι σε εφελκυσμό.

Σε αυτές τις περιπτώσεις η τιμή του  $f_{yk}$  πρέπει να καθορίζεται στα πιστοποιητικά του υπόψη χάλυβα.

Οι υψηλής πλαστιμότητας χάλυβες που τοποθετούνται στις κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, πρέπει να ικανοποιούν και τις πρόσθετες απαιτήσεις του πίνακα 3.3 του Ε.Κ.Ω.Σ.

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

**Πίνακας 3.3<sup>(1)</sup> Πρόσθετες ιδιότητες χαλύβων για οπλισμένο σκυρόδεμα κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ**

<sup>(1)</sup>Οι απαιτήσεις (Α) και (Β) εξασφαλίζουν μεγαλύτερα μήκη και στροφές πλαστικών αρθρώσεων και μεγαλύτερη αντοχή μετά την αποφλοιώση, και κατά συνέπεια μεγαλύτερη τοπική (και γενική) πλαστιμότητα των στοιχείων (και των φορέων).

Οι απαιτήσεις (Γ) και (Δ) εξασφαλίζουν αξιόπιστο και οικονομικό έλεγχο /περιορισμό των κατά τα άλλα επιθυμητών και επιδιωκόμενων μετελαστικών παραμορφώσεων και μηχανισμών.

Τα πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και 971, όπως αναφέρεται στον Ε.Κ.Ω.Σ ορίζουν τις εξής κατηγορίες χάλυβα:

S220, S400, S500, S400s, S500s

Όπου οι αριθμοί αντιστοιχούν στην χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής μετρούμενη σε MPa.

Οι τρεις πρώτες κατηγορίες περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 959, ενώ οι υπόλοιπες δυο περιλαμβάνουν τους συγκολλησίμους χάλυβες σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 971.

Η ποιότητα S220 περιλαμβάνει λείες ράβδους θερμής έλασης, ενώ οι ποιότητες S400, S500, S400s και S500s, περιλαμβάνουν ράβδους και σύρματα υψηλής συνάφειας συνήθως (νευροχάλυβες).

Ο EC2, γενικά, αναφέρεται σε ραβδόμορφο και συγκολλησίμο οπλισμό, γεγονός που σημαίνει ότι δεν συμπεριλαμβάνει χάλυβες με χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής 220 MPa (S220), όπως ο Ε.Κ.Ω.Σ. Η εφαρμογή των κανόνων για το σχεδιασμό ισχύουν για όριο διαρροής μεταξύ  $f_{yk} = 400$  και 600 MPa.



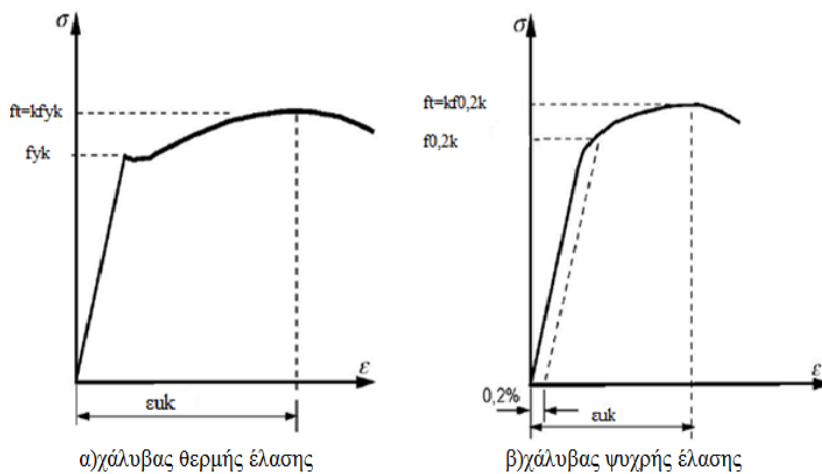
Παρατήρηση: ανώτατο όριο του  $f_{yk}$  για αυτό το πεδίο τιμών μπορεί να βρεθεί στο Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής.

Ο EC2, προβλέπει ο οπλισμός να έχει την απαιτούμενη ικανότητα καμπύλωσης ώστε να επιτρέπει τη χρήση τυμπάνων με μικρές διαμέτρους.

Ακόμα, το όριο διαρροής  $f_{yk}$  και η αντοχή σε εφελκυσμό  $f_{tk}$  ορίζονται αντίστοιχα σαν την χαρακτηριστική τιμή του φορτίου διαρροής και το χαρακτηριστικό μέγιστο φορτίο σε αξονικό εφελκυσμό διαιρούμενα αντίστοιχα με την ονομαστική τιμή του εμβαδού.

Σύμφωνα με τον EC2 ο οπλισμός πρέπει να διαθέτει ικανοποιητική πλαστιμότητα και λόγο αντοχής σε εφελκυσμό προς το όριο διαρροής ( $f_t / f_y$ ) εντός συγκεκριμένων ορίων. Το σχήμα 3.1 δείχνει διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων, για χάλυβα θερμής (περίπτωση α) και ψυχρής (περίπτωση β) έλασης.

**Σχήμα 3.1: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων χάλυβα οπλισμού κατά τον EC2.**



### **3.5 Οπλισμοί υψηλής συνάφειας (νευροχάλυβες)**

Οπλισμοί υψηλής συνάφειας, νευροχάλυβες, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ πρέπει όσον αφορά τις νευρώσεις να πληρούν τις συνθήκες και απαιτήσεις των σχετικών προτύπων.

Αντίθετα, στον Ευρωκώδικα τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των ράβδων πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να δημιουργείται η απαιτούμενη συνάφεια με το σκυρόδεμα.

### 3.6 Συγκολλητά δομικά πλέγματα

Όταν η παρουσία εγκάρσιων συγκολλημένων ράβδων, σύμφωνα με τον Ελληνικό κώδικα, λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης τότε κάθε συγκόλληση πρέπει να μπορεί να αναλάβει τέμνουσα δύναμη ίση με :

$$0,30 * f_{yk} * A_s \quad (\text{σχέση 3.1})$$

Όπου :

$A_s$  : είναι η διατομή της μεγαλύτερης από τις ράβδους που συγκολλούνται.

Ο EC2, σε μια πιο αυστηρή προσέγγιση σε σχέση με τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000, επαναλαμβάνει την σχέση 3.1 αλλά επιπλέον ελέγχει και την διαδικασία της συγκόλλησης, μέσω του πίνακα 3.4 και την συγκολλησιμότητα μέσω του προτύπου EN10080.

Κατάσταση Φόρτισης	Μέθοδος Συγκόλλησης	Ράβδοι υπό εφελκυσμό <sup>(1)</sup>	Ράβδοι υπό θλίψη <sup>(1)</sup>
Κυρίως στατική	συγκόλληση με σπινθηρισμούς	μετωπική σύνδεση	
	Χειρωνακτική ηλεκτροσυνκόλληση τόξου και συνκόλληση τόξου με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	μετωπική σύνδεση με $\phi > 20$ mm. σύνδεση με λωρίδες, σύνδεση κατά παρόθεση, σταυρωτή σύνδεση <sup>(3)</sup> σύνδεση με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	
	Ηλεκτροσυνκόλληση ενεργού προστατευτικού αερίου <sup>(2)</sup>	σύνδεση με λωρίδες, σύνδεση κατά παρόθεση, σταυρωτή σύνδεση <sup>(3)</sup> σύνδεση με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	
		-	μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 20$ mm
	Συγκόλληση τριβής	μετωπική σύνδεση, σύνδεση με άλλους χάλυβες	
	σπυρμακτική συνκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση	σύνδεση κατά παρόθεση <sup>(4)</sup> , σταυρωτή σύνδεση <sup>(2), (4)</sup>	
Όχι κυρίως στατική	συγκόλληση με σπινθηρισμούς	μετωπική σύνδεση	
	Χειρωνακτική ηλεκτροσυνκόλληση τόξου		μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 14$ mm
	Ηλεκτροσυνκόλληση ενεργού προστατευτικού αερίου <sup>(2)</sup>		μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 14$ mm
	σπυρμακτική συνκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση		σύνδεση κατά παρόθεση <sup>(4)</sup> , σταυρωτή σύνδεση <sup>(2), (4)</sup>

**Πίνακας 3.4: Μέθοδοι συγκολλήσεων σε ράβδους υπό εφελκυσμό και θλίψη κατά τον Ευρωκώδικα**

<sup>(1)</sup> Επιτρέπεται μόνο η συγκόλληση ράβδων περίπου ίδιων ονομαστικών διαμέτρων.

<sup>(2)</sup> Επιτρεπόμενος λόγος για ράβδους διαφορετικών διαμέτρων  $\geq 0,57$

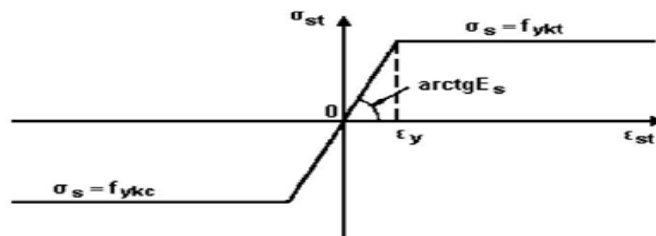
<sup>(3)</sup> Για φέρουσες ενώσεις:  $\phi \leq 16$  mm

<sup>(4)</sup> Για φέρουσες ενώσεις:  $\phi \leq 28$  mm

### 3.7 Διαγράμματα τάσεων –παραμορφώσεων χάλυβα

Τα πραγματικά διαγράμματα τάσεων –παραμορφώσεων, στον Ε.Κ.Ω.Σ, μπορούν να αντικατασταθούν με διγραμμικά διαγράμματα, διαλεγμένα έτσι ώστε η απλοποίηση αυτή να δίνει προσεγγίσεις υπέρ της ασφάλειας.

Σε περίπτωση έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων, σύμφωνα και με τα παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα για τους χάλυβες θερμής έλασης ή τους χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με όλκιση το ακόλουθο διγραμμικό διάγραμμα του Ελληνικού κανονισμού:

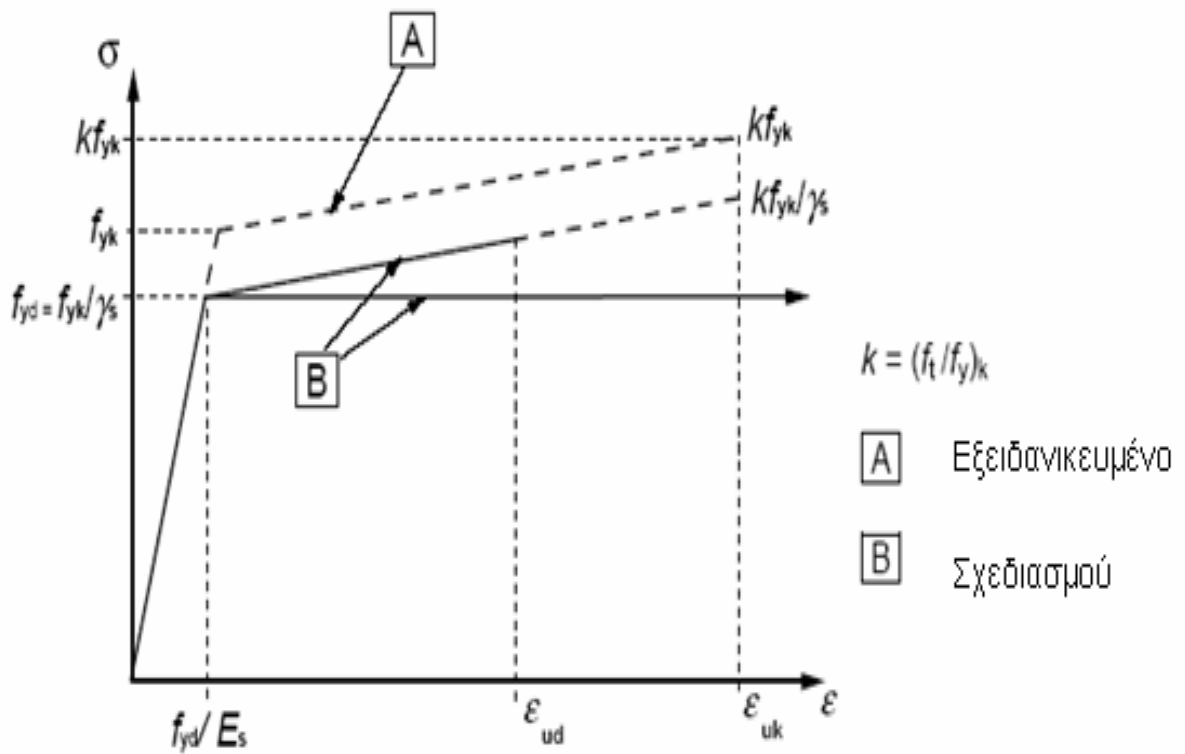


**Σχήμα 3.1: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων –παραμορφώσεων κατά τον ελληνικό κανονισμό.**

Ο Ευρωκώδικας, παρέχει σε αντίθεση με τον ελληνικό δομικό κώδικα το ιδεατό διάγραμμα τάσεων –παραμορφώσεων και όχι διγραμμικά διαγράμματα.

Το ιδεατό διάγραμμα τάσεων –παραμορφώσεων, του EN-1992, φαίνεται στο διάγραμμα 3.2. Για τον δεύτερο κλάδο (B) του διαγράμματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία από τις δύο παρακάτω παραδοχές:

- Κεκλιμένος κλάδος με όριο ανηγμένης παραμόρφωσης  $\epsilon_{ud}^{(1)}$  και μέγιστη τάση  $k \cdot f_{yk} / \gamma_s$  στην παραμόρφωση  $\epsilon_{uk}$ , με συντελεστή  $k = (f_t / f_y)_k$
- Οριζόντιος κλάδος χωρίς να χρειάζεται να ελεγχθεί το όριο ανηγμένης παραμόρφωσης .



**Σχήμα 3.2<sup>(2,3)</sup>: Εξειδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (για εφελκυσμό και θλίψη) κατά τον EC2**

<sup>(1)</sup> Προτεινόμενη τιμή για το  $\epsilon_{ud}$  είναι το  $0,9 * \epsilon_{uk}$  ή ορίζεται από το Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής .

<sup>(2)</sup> Η μέση τιμή της πυκνότητας μπορεί να θεωρείται ίση προς  $7850 \text{ kg/m}^3$

<sup>(3)</sup> Η τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας  $E_s$  μπορεί να θεωρείται ίση προς  $200 \text{ GPa}$ , όπως και στο ελληνικό κώδικα.

#### 4.1 Πεδίο ορισμού

Οι κανόνες του κεφαλαίου αυτού, για τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος, ισχύουν για κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος με ή χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας.

Σε στοιχεία με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας δεν επιτρέπεται η χρήση λείων ράβδων παρά μόνον για κλειστούς συνδετήρες και συνδέσμους.

Αντιθέτως, οι κανόνες που δίνονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, για τον EN-1992, εφαρμόζονται και ισχύουν για οπλισμό με νευρώσεις και πλέγματα που καταπονούνται κυρίως σε στατική φόρτιση. Ίσως να μην επαρκούν για τις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Για στοιχεία που καταπονούνται σε δυναμική φόρτιση, η οποία έχει προκληθεί από σεισμό ή από δόνηση μηχανήματος, και κρουστικό φορτίο.
- Για στοιχεία που ενσωματώνουν ράβδους με επικάλυψη ψευδαργύρου.

## 4.2 Καμπυλώσεις οπλισμών

Η αναγκαιότητα περιορισμού της διαμέτρου καμπύλωσης των ράβδων οπλισμού προκύπτει από την ανάγκη έτσι ώστε να αποφεύγεται α) η ρηγμάτωση ή η διάρρηξη του σκυροδέματος λόγω της πίεσης που αναπτύσσεται στην εσωτερική άντυγα της ράβδου και β) να αποφεύγεται η δημιουργία ρωγμών στην ράβδο οπλισμού.

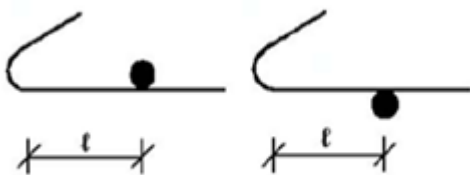
Σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 η επιτρεπόμενη ελάχιστη διάμετρος  $D$ , καμπύλωσης ράβδων, αγκίστρων (ημικυκλικών ή ορθογωνικών), αναβολών κλπ. δίνεται στον πίνακα 4.1. Οι σειρές Α καλύπτουν την αποφυγή ρηγμάτωσης ή σπασίματος του χάλυβα ενώ οι σειρές Β την αποτροπή ρηγμάτωσης ή διάρρηξης του σκυροδέματος.

α/α	Χάλυβας	S220	S400, S500		
	Ράβδος $\varnothing$ (mm)	Άγκιστρα πέρατος ράβδων, αναβολείς			
A1	<20	2.5 $\varnothing$	4.0 $\varnothing$		
A2	$\geq 20$	5.0 $\varnothing$	7.0 $\varnothing$		
α/α	Επικάλυψη κάθετα στο επίπεδο καμπύλωσης	Αξονική απόσταση ράβδων	Καμπυλώσεις ράβδων Καμπύλες αγκυρώσεις		
			S220	S400, S500	
B1	>100mm	και	>7.0 $\varnothing$	10 $\varnothing$	10 $\varnothing$
B2 <sup>(1)</sup>	>50mm	και	>3.0 $\varnothing$	10 $\varnothing$	15 $\varnothing$
B3 <sup>(1)</sup>	$\leq 50$ mm	ή	$\leq 3.0\varnothing$	15 $\varnothing$	20 $\varnothing$

**Πίνακας 4.1 Ελάχιστοι διάμετροι καμπύλωσης  $D$  σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ.**

<sup>(1)</sup>Εφόσον κάμπτονται στην ίδια θέση ράβδοι από περισσότερες στρώσεις αυξάνεται η  $D$  κατά 50% για τις ράβδους των εσωτερικών στρώσεων.

Για συγκολλητούς οπλισμούς και συγκολλητά δομικά πλέγματα που κάμπτονται μετά την συγκόλληση, κατά τα σχήματα 4.1 και 4.2 του Ε.Κ.Ω.Σ 2000, ισχύουν τα παρακάτω :



**Σχήμα 4.1: Συγκολλήσεις εκτός  
καμπύλου άκρου κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ.**



**Σχήμα 4.2: Συγκολλήσεις εντός  
καμπύλου άκρου κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ.**

- Για συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος (σχήμα 4.1) αν το  $l < 4\phi$  τότε η διάμετρος καμπύλωσης αντιστοιχεί σε  $20\phi$ , διαφορετικά αν  $l \geq 4\phi$  τότε ισχύουν οι τιμές του πίνακα 4.1 για συγκολλησίμους οπλισμούς (S400, S500).
- Για συγκολλήσεις εντός καμπύλου τμήματος (σχήμα 4.2) η διάμετρος καμπύλωσης αντιστοιχεί σε  $20\phi$ .

Ο Ευρωπαϊκός κανονισμός παρουσιάζει ξεχωριστά την περίπτωση της ρηγματώσης του οπλισμού και ξεχωριστά την περίπτωση αστοχίας του σκυροδέματος.

Έναντι της πρώτης περίπτωσης παρουσιάζεται ο πίνακας 4.2. Ο οποίος αν και περιλαμβάνει, για την διάμετρο καμπύλωσης τις ίδιες τιμές με τον Πίνακα 4.1 οι διάμετροι των ράβδων ομαδοποιούνται τελείως διαφορετικά μεταξύ τους.

Πιο συγκεκριμένα, για παράδειγμα μία ράβδος 18 mm σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ. θα άνηκε στην πρώτη κατηγορία (πίνακας 4.1 σειρά A1 για  $\phi < 20\text{mm}$ ) και θα έδινε μία τιμή καμπύλωσης 72 mm ( $4\phi$ ). Ενώ στον EC2 θα άνηκε στην δεύτερη κατηγορία (Πίνακας 4.2 για  $\phi > 16\text{ mm}$ ) και θα έδινε μία τιμή καμπύλωσης 126 mm ( $7\phi$ ).

Όμως, για μία ράβδο 12 mm όπως και για μία ράβδο 32 mm και οι δύο κώδικες θα έδιναν από κοινού διάμετρο καμπύλωσης που ισούται με 48 mm ( $4\phi$ ) και 224 mm ( $7\phi$ ) αντίστοιχα για κάθε ράβδο.



Διάμετρος ράβδου	Ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης για κάμψεις, άγκιστρα και αναβολείς
$\varphi \leq 16 \text{ mm}$	4 $\varphi$
$\varphi > 16 \text{ mm}$	7 $\varphi$

**Πίνακας 4.2: Ελάχιστες διαμέτροι τυμπάνων για ράβδους και καλώδια σύμφωνα με τον EC2.**

Κατά τον Ευρωκώδικα αν ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες, η διάμετρος του τυμπάνου δεν χρειάζεται να ελεγχθεί για την αποφυγή αστοχίας του σκυροδέματος.

- Η διάμετρος καμπύλωσης να είναι τουλάχιστον ίση με τις προτεινόμενες τιμές του Πίνακα 4.2.
- Η αγκύρωση της ράβδου να μην απαιτεί μήκος μεγαλύτερο από  $5\varphi$  μετά το πέρας της καμπύλωσης
- Η ράβδος να μην είναι τοποθετημένη σε άκρο (δηλαδή, η εξωτερική αντύγα του καμπύλου τμήματος της ράβδου να μην βρίσκεται στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος) και να υπάρχει κάθετα ως προς αυτήν, τοποθετημένη εντός της καμπύλωσης, ράβδος με διάμετρο  $\geq \varphi$ .

Διαφορετικά, η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης,  $\varphi_{m,min}$ , πρέπει να αυξάνεται, κατά τον Ευρωκώδικα, σύμφωνα με την έκφραση :

$$\varphi_{m,min} \geq \frac{F_{bt} \left[ \left( \frac{1}{a_b} \right) + \frac{1}{2\varphi} \right]}{f_{cd}} \quad (\text{σχέση 4.1})$$

Όπου:

$F_{bt}$ : είναι η εφελκυστική δύναμη υπό τα φορτία αστοχίας σε μία ράβδο ή ομάδα ράβδων σε επαφή, στην αρχή της καμπύλωσης

$a_b$ : για μια συγκεκριμένη ράβδο (ή ομάδα ράβδων σε επαφή) είναι το ήμισυ της απόστασης από κέντρο σε κέντρο μεταξύ των ράβδων (ή ομάδων ράβδων) κάθετα στο επίπεδο της καμπύλωσης. Για μια ράβδο ή ομάδα ράβδων κοντά στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου, το  $a_b$  πρέπει να λαμβάνεται ίσο με την επικάλυψη συν  $\varphi/2$ .

Παρατήρηση: Η τιμή του  $f_{cd}$  δεν θα πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από αυτή του σκυροδέματος κατηγορίας C55/67 (36,6 MPa).

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 4.3) δίνονται οι ελάχιστες διαμέτροι καμπύλωσης χάλυβα S500, σύμφωνα με την Σχέση 4.1 του EC2, για διάφορες κατηγορίες σκυροδέματος (παράμετρος η οποία δεν λαμβάνεται στον ελληνικό κανονισμό) καθώς και αποστάσεις μεταξύ γειτονικών ράβδων.

Έτσι λοιπόν, για μία ράβδο οπλισμού κατηγορίας S500, διαμέτρου 16 mm, με αξονική απόσταση ράβδων περίπου 160 mm, με επικάλυψη κάθετα στο επίπεδο καμπύλωσης περίπου 150 mm και με κατηγορία σκυροδέματος C 16/20, η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης εντοπίζεται στα 160 mm, σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό οπλισμένου σκυροδέματος και τον πίνακα 4.1.

Αντίθετα, για την ίδια περίπτωση η  $\phi_{m,min}$  ορίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2 στα 64 mm. Εάν όμως υποθέσουμε ότι δεν πληρεί τις παραπάνω συνθήκες οδηγούμαστε στην σχέση 4.1 και στον πίνακα 4.3 και η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης αυξάνεται (κατά 19 mm) και καταλήγει στα 83 mm, κατά τον EC2. Η τιμή αυτή παρουσιάζει έντονη απόκλιση με τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000.

**Πίνακας 4.3 επιτρεπόμενες διαμέτροι καμπύλωσης κατά την Σχέση 4.1 σύμφωνα με τον EC2**

Επιτρεπόμενες διαμέτροι καμπύλωσης									
$a_b$	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	$\geq$ C55/67
1 $\emptyset$	48	38	31	26	22	19	17	15	14
2 $\emptyset$	32	26	20	17	15	13	11	10	9
3 $\emptyset$	27	21	17	14	12	11	9	9	8
4 $\emptyset$	24	19	15	13	11	10	9	8	7
5 $\emptyset$	22	18	14	12	10	9	8	7	7
10 $\emptyset$	19	15	12	10	9	8	7	6	6

Για συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1 ο Ευρωπαϊκός κανονισμός περιλαμβάνει τα εξής :

- για την πρώτη περίπτωση του σχήματος 4.1 προβλέπεται ότι η διάμετρος καμπύλωσης αντιστοιχεί σε 5 $\emptyset$  ενώ για την δεύτερη εάν το  $l \geq 3\emptyset$ <sup>(1)</sup> τότε η διάμετρος καμπύλωσης αντιστοιχεί σε 5 $\emptyset$ , διαφορετικά εάν το  $l < 3\emptyset$  η διάμετρος καμπύλωσης αντιστοιχεί σε 20 $\emptyset$ .

Έτσι για παράδειγμα, για συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος για μία ράβδο οπλισμού 12 mm, με  $l=100$  mm, το D είναι ίσο με 48 mm κατά τον Ελληνικό κανονισμό. Για την ίδια ακριβώς ράβδο οπλισμού για την πρώτη και την δεύτερη περίπτωση του σχήματος 4.1 το D είναι ίσο με 60 mm, κατά τον EC2 και οι τιμές δεν είναι όμοιες μεταξύ τους.

Επίσης, για συγκολλήσεις εκτός καμπύλου τμήματος για μία ράβδο οπλισμού 20 mm, με  $l = 40$  mm, το D είναι ίσο με 400 mm κατά τον Ελληνικό κανονισμό. Για την ίδια ακριβώς ράβδο οπλισμού το D για την πρώτη περίπτωση του σχήματος 4.1 είναι 100 mm και την δεύτερη το D είναι ίσο με 400 mm, κατά τον EC2 και οι τιμές τότε είναι όμοιες μεταξύ τους.

Αντίστοιχα, για συγκολλήσεις εντός καμπύλου τμήματος κατά το σχήμα 4.2 ισχύουν τα παρακάτω :

- για την πρώτη περίπτωση του σχήματος 4.2 η διάμετρος καμπύλωσης αντιστοιχεί σε 5 $\emptyset$ , ενώ για την δεύτερη<sup>(2)</sup> το D αντιστοιχεί σε 20 $\emptyset$ .

Έτσι για παράδειγμα, για συγκολλήσεις εντός καμπύλου τμήματος για μία ράβδο οπλισμού 12 mm, το D είναι ίσο με 240 mm κατά τον Ελληνικό κανονισμό. Για την ίδια ακριβώς ράβδο οπλισμού το D για την πρώτη και την δεύτερη (εάν η συγκόλληση έχει γίνει σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO17660) περίπτωση του σχήματος 4.2 είναι ίσο με 60 mm, κατά τον EC2 και οι τιμές δεν είναι όμοιες μεταξύ τους.

---

<sup>(1)</sup> Σε αντίθεση με τον Ε.Κ.Ω.Σ. που χρησιμοποιεί σαν όρια το  $l < 4\phi$  και  $l \geq 4\phi$

<sup>(2)</sup> Ωστόσο, η διάμετρος της καμπύλωσης για συγκόλληση εντός της ζώνης καμπής μειώνεται από 20φ σε 5φ εάν η συγκόλληση έχει γίνει σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO17660 Παράρτημα Β.

### 4.3 Αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών

Η αναγκαιότητα εισαγωγής περιορισμών στις αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών προκύπτει προκειμένου να έχουμε:

- Επιτυχή διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος
- Εξασφάλιση επαρκούς συνάφειας

Έτσι λοιπόν η καθαρή απόσταση μεταξύ παραλλήλων οπλισμών, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ., πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

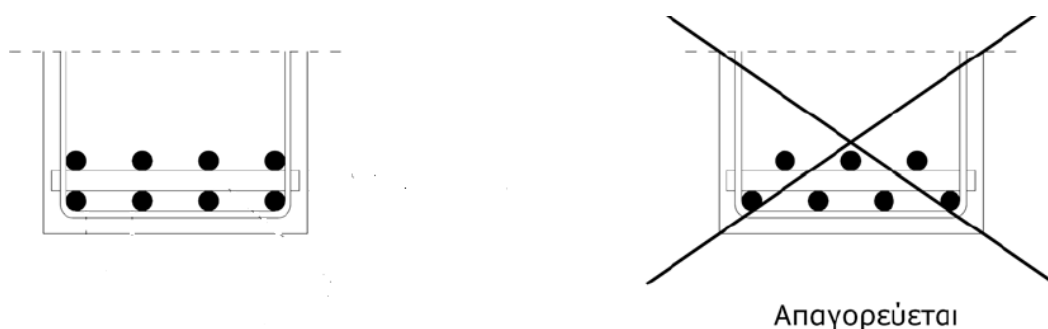
- Την μεγαλύτερη διάμετρο των ράβδων
- 20mm
- $d_{\text{αδρανών}} + 5\text{mm}$

Όπου:

$d_{\text{αδρανών}}$ : διάσταση μέγιστου κόκκου αδρανών

Παρατήρηση: Οι παραπάνω περιορισμοί δεν ισχύουν σε ράβδους με υπερκάλυψη στην περιοχή της ενώσεως όπου μπορεί η μία να εφάπτεται της άλλης.

Επιπλέον, όταν οι ράβδοι τοποθετούνται σε περισσότερες από μια σειρές, τότε πρέπει να τοποθετούνται η μία πάνω ή πίσω από την άλλη (σχήμα 4.3).



**Σχήμα 4.3 Διάταξη οπλισμών σύμφωνα με Ε.Κ.Ω.Σ. και EC2**

Κατά τον Ευρωκώδικα οι περιορισμοί για την απόσταση μεταξύ των οπλισμών ορίζονται κατά την παρακάτω έκφραση και δεν παρουσιάζουν καμία διαφορά σε σχέση με τους περιορισμούς του Ελληνικού κανονισμού.

$$S_{\min} = \max\{k_1 * \varphi, d_g + k_2, 20\}\text{mm} \text{ (σχέση 4.2)}$$

Όπου:

- $d_g$ : η μεγαλύτερη διάσταση των χρησιμοποιούμενων αδρανών
- $\Phi$ : διάμετρος της ράβδου
- $k_1$ : προτεινόμενη τιμή<sup>(1)</sup> 1mm
- $k_2$ : προτεινόμενη τιμή<sup>(1)</sup> 5 mm

Επίσης ο EC2, είναι σύμφωνος με την παρατήρηση και το σχήμα 4.3 που τοποθετήθηκαν παραπάνω.

---

<sup>(1)</sup>Οι τιμές των  $k_1$  και  $k_2$  αναφέρονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα κάθε χώρας.

#### 4.4 Συνάφεια σκυροδέματος-ράβδων οπλισμού

Ως συνάφεια γενικά χαρακτηρίζεται η διατμητική αντίσταση έναντι ολίσθησης μεταξύ του σκυροδέματος και των ράβδων οπλισμού.

- Συνάφεια = Πρόσφυση + Τριβή + Εμπλοκή
  - Πρόσφυση: Προσκόλληση χάλυβα-σκυροδέματος που οφείλεται σε συνδετικές μοριακές δυνάμεις.
  - Τριβή: (συντελεστής τριβής)\*(κάθετη πίεση):  $\mu \cdot p$
  - Εμπλοκή: Μόνο για νευροχάλυβες

Η ποιότητα της συνάφειας εξαρτάται σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000:

- Από την μορφή της επιφάνειας της ράβδου.
- Από την διάσταση του δομικού στοιχείου.
- Από την κλίση του οπλισμού κατά την σκυροδέτηση

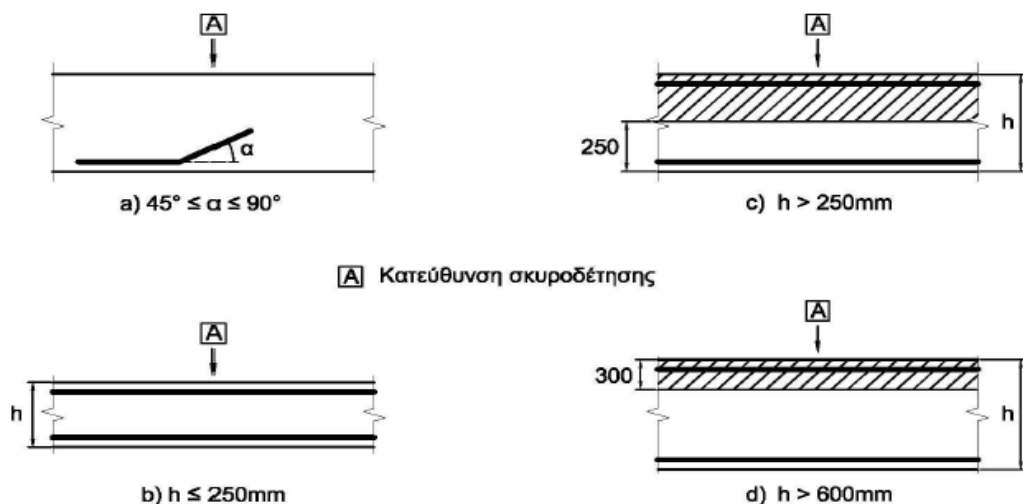
Η ελάχιστη επικάλυψη των οπλισμών <sup>(1)</sup> πρέπει να εξασφαλίζει την ανάπτυξη και μεταβίβαση των τάσεων συνάφειας.

Οι τάσεις συνάφειας θεωρούνται σταθερές κατά μήκος των ράβδων. Ο προσδιορισμός των μήκων αγκύρωσης και των υπερκαλύψεων βασίζεται στην τιμή σχεδιασμού της τάσεως συνάφειας  $f_{bd}$  (πίνακας 4.5 του Ε.Κ.Ω.Σ).

Επίσης διακρίνονται δύο περιοχές συνάφειας:

Ευνοϊκές: Περιοχή συνάφειας I

Μειονεκτικές: Περιοχές συνάφειας II



Καλές συνθήκες συνάφειας : μη διαγραμμισμένες περιοχές

Κακές συνθήκες συνάφειας : διαγραμμισμένες περιοχές

**Σχήμα 4.4 Περιγραφή τυπικών συνθηκών συνάφειας κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000 και τον EC2.**

Στην περιοχή συνάφειας II (δυσμενείς συνθήκες),κατα τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000, ανήκουν ράβδοι για τις οποίες ισχύουν όλες οι παρακάτω συνθήκες ( Βλέπε και πίνακα 4.4):

- έχουν κλίση ως προς την οριζόντια 0-45° για κατακόρυφη σκυροδέτηση
- βρίσκονται σε στοιχεία με πάχος κατά τη διεύθυνση σκυροδετήσεως μεγαλύτερο από 250mm
- είναι τοποθετημένες στο πάνω μισό πάχος του στοιχείου
- το πάχος του σκυροδέματος που τις καλύπτει είναι μικρότερο από 300mm

Στην περιοχή συνάφειας I (ευνοϊκές συνθήκες) ανήκουν όλες οι άλλες ράβδοι.

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

**Πίνακας 4.4 Καθορισμός των περιοχών συνάφειας κατά τον Ελληνικό κανονισμό.**

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

**Πίνακας 4.5 Οι βασικές τιμές του  $f_{bd}$  (MPa),σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό.**

Οι τιμές του Πίνακα 4.5 προκύπτουν προσεγγιστικά από τους παρακάτω τύπους,του Ε.Κ.Ω.Σ :

- Για λείους ράβδους:  $f_{bd} = f_{ctk0.05}/\gamma_c$  (σχέση 4.3.α)
- Για νευροχάλυβες:  $f_{bd} = 2.25 * f_{ctk0.05}/\gamma_c$  (σχέση 4.3.β)

Όπου:

$\gamma_c$ : επιμέρους συντελεστής ασφαλείας που είναι ίσος με 1.5

$f_{ctk0.05}$ : Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε καθαρό εφελκυσμό (πίνακας 2.1 Κεφάλαιο 2 Παράγραφος 5 του παρόντος συγγράμματος)

Για ράβδους υψηλής συνάφειας με  $\varnothing > 32\text{mm}$  οι τιμές  $f_{bd}$  πρέπει να μειώνονται, πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή<sup>(2)</sup>  $n=(132-\varnothing)/100$ , όπου  $\varnothing$  σε mm.

Αντιθέτως στην περίπτωση όπου ασκείται μέση πίεση  $p$  (MPa), εγκάρσια προς το αναμενόμενο επίπεδο αποσχίσεως, οι τιμές  $f_{bd}$  μπορούν να αυξάνονται, πολλαπλασιαζόμενες με τον συντελεστή:

$$\left[ \frac{l}{1 - 0.04 * p} \right] \leq 1.4$$

Στον Ευρωκώδικα, η δύναμη συνάφειας θα πρέπει να είναι επαρκής έτσι ώστε να αποφεύγεται η αστοχία.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποιότητά της συνάφειας, οι συνθήκες συνάφειας όπως ακριβώς περιγράφονται στον σχήμα 4.4 στον Ευρωκώδικα είναι όμοιες με τον Ε.Κ.Ω.Σ.

Ωστόσο η τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας,  $f_{bd}$ , για ράβδους με νευρώσεις και μόνο, κατά τον EN-1992, μπορεί να ληφθεί :

$$f_{bd}=2,25*n_1*n_2*f_{ctd} \quad (\text{σχέση 4.4})$$

Όπου:

$f_{ctd}$ <sup>(3)</sup>: είναι η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος (σχέση 2.10 Κεφάλαιο 2 Παράγραφος 5 του παρόντος συγγράμματος)

$n_1$ : 1 υπό ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$n_1$ : 0,7 για όλες τις άλλες περιπτώσεις

$n_2$ : 1 για  $\varnothing \leq 32\text{mm}$

$n_2$ :  $(132-\varnothing)/100$  για  $\varnothing > 32\text{mm}$

Παρατήρηση: Οι συντελεστές  $n_1$  και  $n_2$  σχετίζονται με την θέση της ράβδου κατά την σκυροδέτηση και την διάμετρο της ράβδου αντίστοιχα.

Για παράδειγμα, για ένα δομικό στοιχείο ύψους  $h=800$  mm, με ράβδους οπλισμού διαμέτρου 18 mm, σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 και συνθήκες συνάφειας μή ευνοϊκές (κατά την περίπτωση d σχήμα 4.4). Η  $f_{bd}$ , για ράβδους με νευρώσεις, σύμφωνα με τον πίνακα 4.5 του Ελληνικού κανονισμού ισούται με 1.61 MPa. Τιμή η οποία θα ήταν ίση με 2.30 MPa εάν οι συνθήκες συνάφειας ήταν ευνοϊκές (πίνακας 4.5 του Ελληνικού κανονισμού).

Για την ίδια περίπτωση, σύμφωνα με την σχέση 4.4 και τον EC2, η  $f_{bd}$  ισούται με 1.60 MPa. Τιμή η οποία θα ήταν ίση με 2.30 MPa εάν οι συνθήκες συνάφειας ήταν ευνοϊκές (συντελεστής  $n_1=1$ ).



---

<sup>(1)</sup> Η ελάχιστη επικάλυψη των οπλισμών αποτελεί παράμετρο η οποία δεν αναφέρεται στον EC2 προκειμένου να επιτευχθεί η μεταβίβαση των τάσεων συνάφειας .

<sup>(2)</sup> Ο συγκεκριμένος συντελεστής αποτελεί κάτι αντίστοιχο του συντελεστή  $\eta_2$  του EC2.

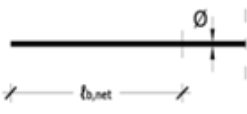
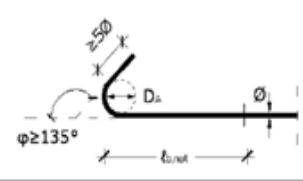
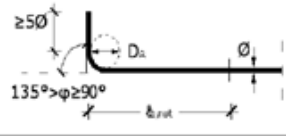
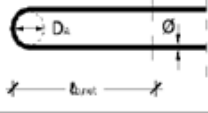
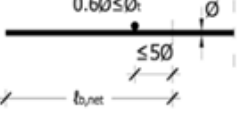
<sup>(3)</sup> Λόγω της αυξημένης ψαθυρότητας των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής, το  $f_{ctk0.05}$  πρέπει να περιοριστεί στη τιμή που αντιστοιχεί στο C60/75, εκτός αν μπορεί να τεκμηριωθεί ότι η μέση τάση συνάφειας υπερβαίνει αυτό το όριο.

### 4.5.1 Τύποι αγκυρώσεων

Διακρίνονται 4 τύποι αγκυρώσεων κατά αύξουσα αποδοτικότητα υπό εφελκυσμό ή θλίψη :

- Ευθύγραμμες αγκυρώσεις
- Αγκυρώσεις καμπύλου άκρου (άγκιστρα ημικυκλικά, ορθογωνικά, αναβολείς), με ελάχιστη διάμετρο καμπύλωσης  $D_A$  (πίνακας 4.1 Παράγραφος 2 του παρόντος Κεφαλαίου)
- Ευθύγραμμες αγκυρώσεις με εγκάρσιες συγκολλητές ράβδους στο μήκος αγκύρωσης
- Αγκυρώσεις με πρόσθετα μηχανικά μέσα

Παρατήρηση: Η εγκάρσια συγκολλημένη ράβδος πρέπει να απέχει το πολύ  $5\phi$  από τη θέση ενάρξεως του μήκους αγκύρωσης, η δε διάμετρος της πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με  $0,6\phi$  <sup>(1)</sup>.

a/a	Συντελεστής αποδοτικότητας τύπου αγκύρωσης <b>a</b>				
	Ράβδος υπό εφελκυσμό (+) ή θλίψη (-)		(+)	(-)	
1			Αγκυρώσεις τύπου 1 και 2b επιτρέπονται για ράβδους με νευρώσεις ή λείες ράβδους με $\phi \leq 10\text{mm}$	1.0	1.0
2	(a) Άγκιστρο ημικυκλικό 	(b) Άγκιστρο ορθογωνικό 	(c) Αναβολέας 	0.7	1.0
3				0.7	0.7

**Πίνακας 4.6 Τύποι αγκυρώσεων και τιμές του συντελεστή αποδοτικότητας της αγκύρωσης  $a$  σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000**

<sup>(1)</sup> Διάμετρος που ισχύει και για Ευρωπαϊκό κανονισμό.

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης, D αναβολέων οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ελκυστήρες, προσδιορίζεται, σε απόκλιση από τον πίνακα 4.6, από την σχέση 4.5, του Ε.Κ.Ω.Σ:

$$\frac{D}{\phi} = \left(0.5 + \frac{\phi}{e}\right) * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (\text{σχέση 4.5})$$

Όπου :

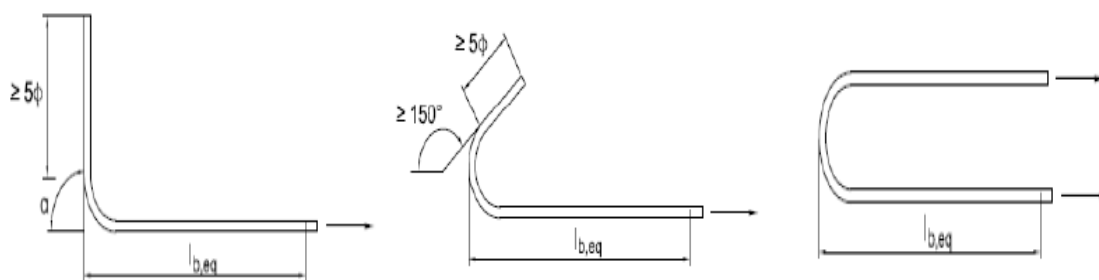
$\phi$  : η διάμετρος της ράβδου

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

Ο Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος για την παραλαβή του εγκάρσιου εφελκυσμού απαιτεί την τοποθέτηση εγκάρσιων οπλισμών, ικανών να παραλάβουν το μισό της εφελκυστικής δύναμης του αναβολέα, τουλάχιστον όμως 2 $\phi$ 6 (S400,S500), εκτός αν ο εγκάρσιος εφελκυσμός παραλαμβάνεται με άλλο τρόπο, π.χ. με εγκάρσια θλίψη.

Σύμφωνα με τον EC2 ράβδοι οπλισμού, σύρματα οπλισμού ή συγκολλητά πλέγματα, πρέπει να αγκυρώνονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι δυνάμεις τους να μεταβιβάζονται στο σκυρόδεμα και να αποκλείεται σχηματισμός διαμήκων ρωγμών ή θραύση.

Οι συνηθέστερες μέθοδοι αγκύρωσης είναι 4, είναι όμοιοι με τον Ε.Κ.Ω.Σ και πέραν από αυτή της ευθύγραμμης ράβδου, παρουσιάζονται παρακάτω. Για να αποφεύγεται η αστοχία του σκυροδέματος μέσα στο καμπτόμενο τμήμα χρησιμοποιείται ότι αναφέρθηκε για τον EC2, στην Παράγραφο 2 του παρόντος Κεφαλαίου.



2A)  $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$

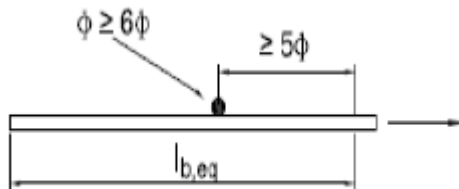
Άγκιστρα ορθογωνικά

2B)

Άγκιστρα ημικυκλικά

2Γ)

Αναβολείς



### 3) Συγκόλληση εγκάρσιου οπλισμού

#### Σχήμα 4.5 Τύποι αγκυρώσεων σύμφωνα με τον EC2

Ωστόσο, στον EC2, για τις περιπτώσεις των ορθογωνικών και ημικυκλικών αγκίστρων, το μέγεθος των  $150^\circ$ , όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5 (περίπτωση 2A & 2B), έρχεται σε αντίθεση με τις αντίστοιχες περιπτώσεις (των ορθογωνικών και ημικυκλικών αγκίστρων) και το μέγεθος των  $135^\circ$ , όπως παρουσιάζεται στο πίνακα 4.6 (περίπτωση 2b & 2a) του Ελληνικού κανονισμού.

Επίσης, η εγκάρσια συγκολλημένη ράβδος κατά την περίπτωση 3 σχήμα 4.5, πρέπει να απέχει από  $5\phi$  και άνω από τη θέση ενάρξεως του μήκους αγκύρωσης, κάτι που στον Ε.Κ.Ω.Σ σαν μέγεθος παρουσιάζεται από  $5\phi$  και κάτω (περίπτωση 3 πίνακας 4.6).

Σημειώνεται επίσης πως όπου χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα (περίπτωση 4 σχήμα 4.5 του EC2) οι προδιαγραφές των δοκιμών θα πρέπει να είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές σχετικών προϊόντων ή ενός Ευρωπαϊκού Τεχνικού Πιστοποιητικού, σε αντίθεση με την αντίστοιχη μέθοδο αγκύρωσης του Ε.Κ.Ω.Σ, όπου η αντοχή των αγκυρώσεων αποδεικνύεται πειραματικά.

Ο Ευρωπαϊκός κανονισμός προβλέπει ότι ο εγκάρσιος οπλισμός θα πρέπει να υφίσταται εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο, χωρίς να θέτει περαιτέρω παραμέτρους όπως συμβαίνει με τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000.

Επίσης κατά τον EC2, καμπυλώσεις και άγκιστρα δεν συνεισφέρουν στις αγκυρώσεις υπό θλίψη γεγονός όπου συμβαίνει στον Ελληνικό κώδικα.

#### 4.5.2 Βασικό μήκος αγκύρωσης

Ως βασικό μήκος αγκύρωσης  $l_b$  (Ε.Κ.Ω.Σ 2000) ή  $l_{b,rgd}$  (EC2), χαρακτηρίζουμε το μήκος μιας ευθυγράμμου ράβδου χάλυβα στην μάζα του σκυροδέματος, το οποίο εξασφαλίζει μέσω της συνάφειας, την μεταφορά της δύναμης του χάλυβα στο γειτονικό σκυρόδεμα.

Το βασικό μήκος αγκύρωσης  $l_b$ , αποτελεί το μήκος αγκύρωσης τύπου 1 (πίνακας 4.6 Παράγραφος 5.1 παρόντος Κεφαλαίου) για πλήρη εκμετάλλευση της ράβδου.

Για μεμονωμένες ράβδους και συγκολλητά δομικά πλέγματα ράβδων με νευρώσεις, το  $l_b$  προσδιορίζεται από την σχέση :

$$l_b = \emptyset / 4 * f_{yd} / f_{bd} \quad (\text{σχέση 4.6})$$

Όπου :

$\emptyset$ : η διάμετρος της ράβδου<sup>(1)</sup>

$f_{bd}$ : η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας σύμφωνα με την Παράγραφος 4 του παρόντος Κεφαλαίου

$f_{yd}$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του χάλυβα<sup>(2)</sup>

Κατά τον EC2, το βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης,  $l_{b,rgd}$  για αγκύρωση ράβδου που καταπονείται με δύναμη  $A_s * \sigma_{sd}$ , με τη παραδοχή σταθερής τάσης συνάφειας ίσης με  $f_{bd}$  δίδεται από τη σχέση :

$$l_{b,rgd} = \emptyset / 4 * \sigma_{sd} / f_{bd} \quad (\text{σχέση 4.7})$$

Όπου:

$\sigma_{sd}$  : είναι η τάση σχεδιασμού της ράβδου στη θέση από όπου αρχίζει να μετράται η αγκύρωση.

$f_{bd}$ : η τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας σύμφωνα με την Παράγραφο 4 του παρόντος Κεφαλαίου.

Παρατήρηση: Για καμπτόμενες ράβδους το βασικό μήκος αγκύρωσης,  $l_{b,rgd}$  και το μήκος σχεδιασμού  $l_{bd}$  πρέπει να μετράται κατά μήκος της αξονικής γραμμής της ράβδου κατά το σχήμα 4.6.

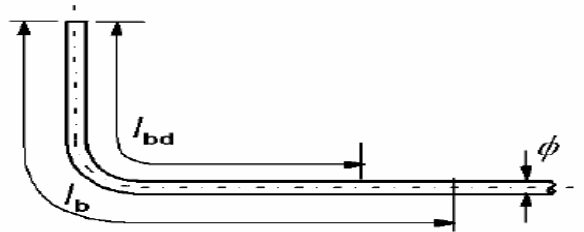
---

<sup>(1)</sup> Η διάμετρος της ράβδου για δομικά πλέγματα διπλών ράβδων αντικαθίσταται και στους δύο κώδικες από την ισοδύναμη διάμετρο  $\emptyset\sqrt{2}$ .

<sup>(2)</sup> Για παράδειγμα για μία ράβδο κατηγορίας S500, ισχύει  $f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78$  MPa ενώ το  $f_{yd}$  αποτελεί το αντίστοιχο  $\sigma_{sd}$  του EC2

Για παράδειγμα, για μία ράβδο υψηλής συνάφειας κατηγορίας S500, διαμέτρου 14 mm, με  $f_{yd}=434,78$  MPa, που περιβάλλεται από κατηγορία σκυροδέματος C20/25, λαμβάνοντας ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας, έχει  $f_{bd}=2.3$  MPa και σύμφωνα με την σχέση 4.6  $l_b = 662$  mm κατά τον Ελληνικό κανονισμό.

Για την ίδια περίπτωση κατά τον EC2, έχει  $f_{bd}=2.25$  MPa και σύμφωνα με την σχέση 4.7  $l_{b,rgd} = 676$  mm, τιμή που έχει απόκλιση σε σχέση με τον Ε.Κ.Ω.Σ και οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην τιμή της  $f_{bd}$ .



Σχήμα 4.6 κατά τον EC2

### 4.5.3 Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης

Ο Ελληνικός κανονισμός προβλέπει ότι το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης,  $l_{b,net}$ , κατά προέκταση της ράβδου εξαρτάται από τον τύπο της αγκύρωσης όπως και από τον λόγο του απαιτούμενου προς τον διατεθειμένο οπλισμό. Υπολογίζεται για μεμονωμένες ράβδους και συγκολλητά δομικά πλέγματα ράβδων με νευρώσεις από την σχέση 4.8:

$$l_{b,net} = \alpha \cdot A_{s,req} / A_{s,prov} \cdot l_b \geq l_{b,min} \quad (\text{σχέση 4.8})$$

Οπου:

$l_b$ : Κατά την σχέση 4.6 της Παραγράφου 5.2 του παρόντος Κεφαλαίου

$\alpha$ : Συντελεστής εξαρτώμενος από τον τύπο αγκύρωσης (πίνακας 4.6 της Παραγράφου 5.1 του παρόντος Κεφαλαίου)

$A_{s,req}$ : Υπολογιστικά απαιτούμενη διατομή του οπλισμού

$A_{s,prov}$ : Υπάρχουσα διατομή ράβδων οπλισμού

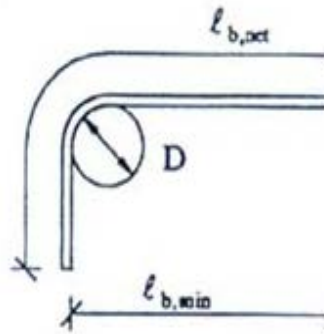
$l_{b,min}$ : Το ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης είναι  $0.3 \cdot l_b \geq 10\phi$  για αγκύρωση ράβδων υπό εφελκυσμό, και  $0.6 \cdot l_b \geq 10\phi$  για αγκύρωση ράβδων υπό θλίψη.

Παρατήρηση: Για ράβδους οι οποίες συμβάλλουν στην καμπτική αντοχή κρίσιμων περιοχών με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας και αγκυρώνονται μέσα στην κρίσιμη περιοχή, πρέπει να λαμβάνεται (στην σχέση 4.8 του Ε.Κ.Ω.Σ)  $A_{s,req} / A_{s,prov} = 1.0$ .

Για συγκολλητά δομικά πλέγματα με λείες ράβδους, το μήκος  $l_{b,net}$  προσδιορίζεται από την σχέση 4.8 εάν υπάρχουν εντός του μήκους αγκύρωσης εγκάρσιες ράβδοι τουλάχιστον ίσες με:  $n = 4 \cdot A_{s,req} / A_{s,prov}$ .

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης  $l_{b,net}$ , αναφέρεται γενικώς σε ευθύγραμμες αγκυρώσεις. Στην περίπτωση καμπύλων αγκυρώσεων τυμπάνου  $D$  κατά τις απαιτήσεις των σειρών 2a έως και 2c του πίνακα 4.6 της Παραγράφου 5.1 του παρόντος Κεφαλαίου, επιτρέπεται στο απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης να συνυπολογίζεται το καμπύλο και το πέραν αυτού τμήμα της ράβδου. Στην περίπτωση αυτή θα λαμβάνεται συντελεστής  $\alpha=1$  και δεν θα ισχύει η αύξηση της τιμής  $f_{bd}$  λόγω εγκάρσιας πίεσης (Παράγραφος 4 παρόντος Κεφαλαίου).

Για τις περιπτώσεις αυτές, στο ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος  $l_{b,min}$  επιτρέπεται να συνυπολογίζεται και η προβολή της καμπύλης (σχήμα 4.7)



**Σχήμα 4.7: Μήκος αγκύρωσης για καμπύλες ράβδους με διάμετρο τυμπάνου  $D$  σύμφωνα με τις σειρές 2a έως και 2c του πίνακα 4.6 (Ε.Κ.Ω.Σ.2000)**

Στον EN-1992, δεν γίνεται λόγος για απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης, αλλά για μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού  $l_{bd}$ , το οποίο εξαρτάται από την μορφή των ράβδων, τον τύπο αγκύρωσης, την επικάλυψη του σκυροδέματος, το είδος της περίσφιξης και υπολογίζεται ως εξής :

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 l_{b,reqd} \geq l_{b,min} \quad (\text{σχέση 4.9})$$

Όπου:

$l_{b,reqd}$ : Το βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης κατά την σχέση 4.7 στην Παράγραφο 5.2 του παρόντος Κεφαλαίου

$\alpha_1$ : Αναφέρεται στην επιρροή της μορφής των ράβδων με την παραδοχή επαρκούς επικάλυψης

$\alpha_2^{(1)}$ : Αναφέρεται στην επιρροή της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος (σχήμα 4.8)

$\alpha_3^{(1)}$ : Αναφέρεται στην επιρροή της περίσφιξης μέσω εγκάρσιου οπλισμού.

$\alpha_4$ : εξαρτάται από την ύπαρξη μίας ή περισσότερων εγκάρσιων συγκολλητών ράβδων, ( $\varphi_t > 0,6 \varphi$ ) κατά μήκος της αγκύρωσης  $l_{bd}$ .

$\alpha_5$ : Αναφέρεται στην επιρροή της πίεσης εγκάρσια στο επίπεδο της διάρρηξης κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού

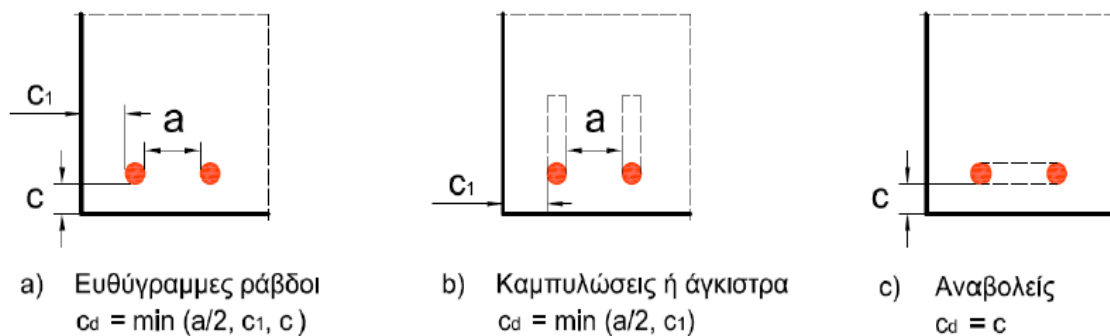
$l_{b,min}$ : Το ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης,  $l_{b,min} > \max\{0,3 * l_{b,reqd}, 10\varphi, 100\text{mm}\}$  για αγκύρωση ράβδων υπό εφελκυσμό

$l_{b,min} > \max\{0,6 * l_{b,reqd}, 10\varphi, 100\text{mm}\}$  για αγκύρωση ράβδων υπό θλίψη

<sup>(1)</sup> Οι συντελεστές  $\alpha_2$  και  $\alpha_3$  λείπουν από τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000



Παρατηρήσεις: Απαιτείται όπως  $(\alpha_2, \alpha_3, \alpha_5) \geq 0,7$  ,  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ , και  $\alpha_5$  είναι συντελεστές που δίδονται από τον πίνακα 4.7



**Σχήμα 4.8** τιμές  $C_d$  σύμφωνα με τον EC2 για δοκούς και πλάκες

Στον EC2 επιπλέον σαν απλοποιημένη εναλλακτική μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης  $l_{b,eq}$ , εξαρτάται είτε από την μορφή των ράβδων (σύμφωνα με τον συντελεστή  $\alpha_1$ ), είτε από την περίσφιξη (σύμφωνα με τον συντελεστή  $\alpha_4$ ), ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται ως:

- $\alpha_1 \cdot l_{b,rqd}$  , για σχήματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5 της Παραγράφου 5.1 του παρόντος Κεφαλαίου στις περιπτώσεις 2Α, 2Β, 2Γ.
- $\alpha_4 \cdot l_{b,rqd}$  , για σχήματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5 της Παραγράφου 5.1 του παρόντος Κεφαλαίου στην περίπτωση 3.

Παράγοντας	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Επιρροής			
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 6.1: 2Α, 2Β, και 2Γ)	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $cd > 3\Phi$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 6.4 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15(cd - \Phi) / \Phi \geq 0,7 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 6.1: 2Α, 2Β, και 2Γ)	$\alpha_2 = 1 - 0,15(cd - 3\Phi) / \Phi \geq 0,7 \leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 6.4 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_2 = 1,0$
Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - K\lambda \geq 0,7 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 6.1 :3	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04p \geq 0,7 \leq 1,0$	-

Όπου :

$$\lambda = (\Sigma A_{s_t} - \Sigma A_{s_t, \min}) / A_s$$

$\Sigma A_{s_t}$  :εμβαδόν διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού  $l_{bd}$

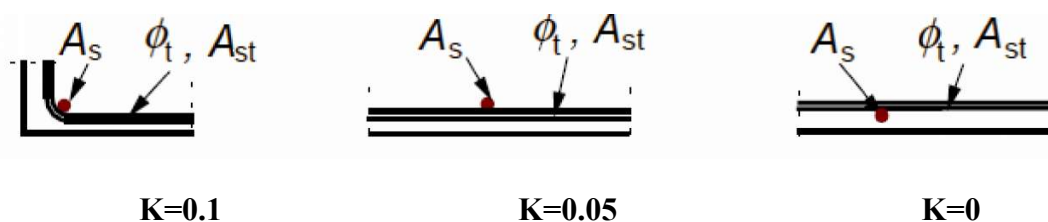
$\Sigma A_{s_t, \min}$ : εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού

$A_s$  :εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο

$K$  :συντελεστής με τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 6.5

$p$  εγκάρσια πίεση [MPa] στη κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του  $l_{bd}$

Πίνακας 4.7 : Τιμές των συντελεστών  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  και  $\alpha_5$



Σχήμα 4.9: Τιμές του  $K$  για δοκούς και πλάκες κατά τον Ευρωκώδικα

#### 4.6.1 Ενώσεις με υπερκάλυψη

Οι ενώσεις γενικά προκύπτουν από την ανάγκη επιμήκυνσης οπλισμών όταν το απαιτούμενο μήκος των ράβδων ξεπερνά το σύνθητες μήκος παραγωγής ευθύγραμμων ράβδων (14m). Έχουν σαν σκοπό την μεταφορά των δυνάμεων από την μία ράβδο στην άλλη χωρίς να προκληθεί αποφλοίωση του σκυροδέματος στην περιοχή σύνδεσης και τέλος να αποφεύγεται η δημιουργία μεγάλων ρωγμών που θα επηρεάσουν την συμπεριφορά της κατασκευής.

Στις ενώσεις με υπερκάλυψη, κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ, επιβάλλεται, να διατάσσονται κατά αποστάσεις μεταξύ τους να αποφεύγεται η τοποθέτηση τους στις περιοχές υψηλής εντάσεως, ενώ επίσης να τοποθετούνται συμμετρικώς και παραλλήλως προς τις παρειές του στοιχείου.

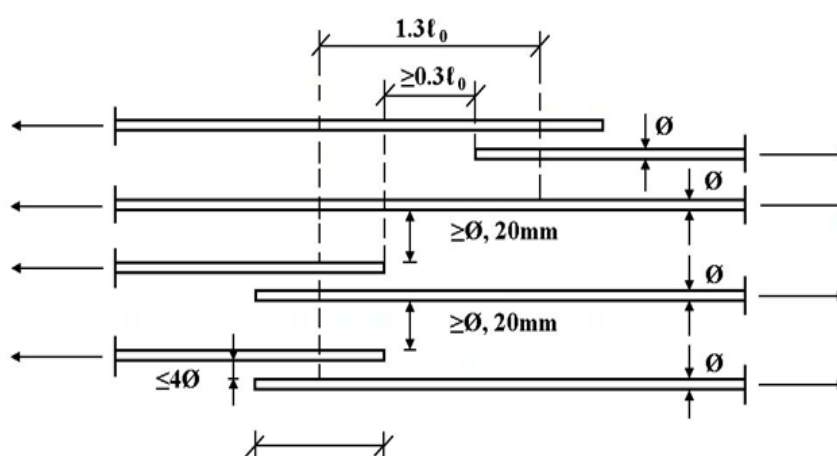
Για οπλισμούς υψηλής συνάφειας, ισχύει ότι σε μία στρώση επιτρέπεται η ένωση με υπερκάλυψη όλων των ράβδων (100%) σε μια διατομή του δομικού στοιχείου. Αν όμως οι οπλισμοί που υπερκαλύπτονται βρίσκονται σε περισσότερες στρώσεις τότε επιτρέπεται η υπερκάλυψη μόνο του μισού (50%) της συνολικής διατομής οπλισμού σε μία θέση<sup>(1)</sup>.

Για λείες ράβδους, επιτρέπεται η ένωση με υπερκάλυψη του 1/3 της διατομής οπλισμού κάθε στρώσης σε μια διατομή του δομικού στοιχείου.

Οι δευτερεύοντες οπλισμοί επιτρέπεται να υπερκαλύπτονται στο σύνολο τους (100%) σε μια διατομή.

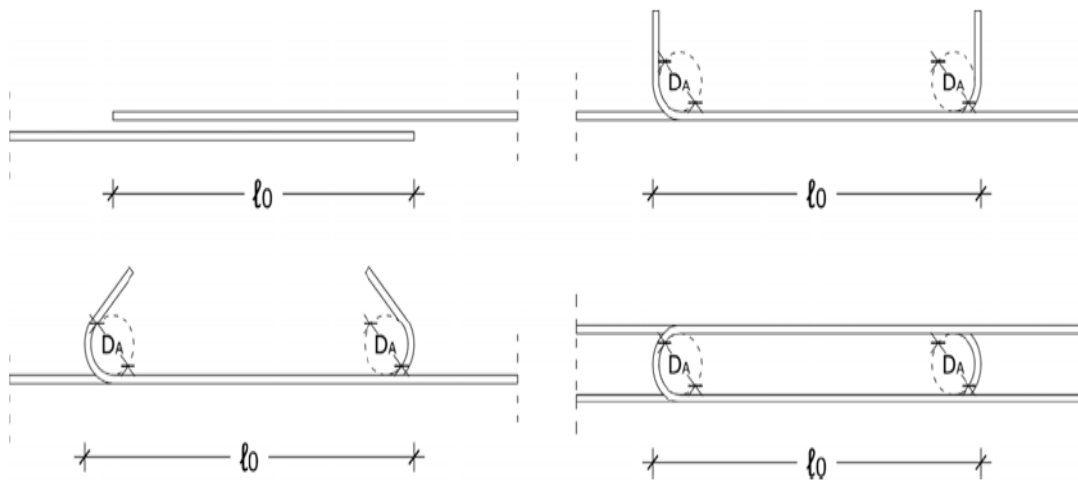
Ενώσεις με υπερκάλυψη θεωρούνται μετατοπισμένες<sup>(2)</sup>, όταν η απόσταση των μέσων γειτονικών ενώσεων είναι μεγαλύτερη από  $1,3 * l_0$ , όπου  $l_0$  το μήκος της υπερκάλυψης σύμφωνα με την σχέση 4.10.

Οι εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των ράβδων φαίνονται στο σχήμα 4.10 του Ε.Κ.Ω.Σ:



Σχήμα 4.10 Απόσταση των ράβδων οπλισμού στην περιοχή της ένωσης (Ε.Κ.Ω.Σ)

Η διαμόρφωση των άκρων των ράβδων<sup>(2)</sup> επιτυγχάνεται κατά το Σχήμα 4.11 του Ελληνικού κανονισμού. Τα άγκιστρα (ορθογωνικά και ημικυκλικά) ή αναβολείς δεν μειώνουν το απαιτούμενο μήκος παράθεσης ( $l_0$ ) ενώ απαγορεύεται για θλιβόμενες ράβδους καθώς υπάρχει κίνδυνος λυγισμού των άκρων των ράβδων.



**Σχήμα 4.11 Διαμόρφωση άκρων ράβδων κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000**

Και για τον EN-1992, όλοι οι δευτερεύοντες οπλισμοί επιτρέπεται να υπερκαλύπτονται στην ίδια θέση. Οι ελάχιστες τιμές του μήκους υπερκάλυψης  $l_0$  δίνονται στον πίνακα 4.8. Στο μήκος υπερκάλυψης δευτερευόντων ράβδων θα πρέπει να υπάρχουν 2 κύριες ράβδοι. Οι οδηγίες αυτές εκλείπουν από τον Ελληνικό κανονισμό.

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

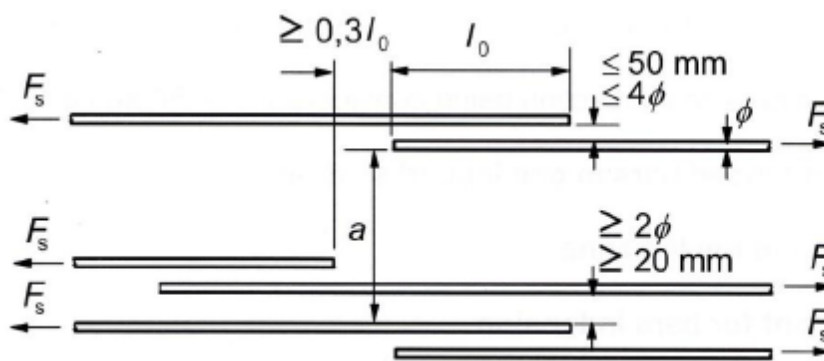
**Πίνακας 4.8: Απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης για δευτερεύοντα σύρματα δομικών πλεγμάτων, κατά τον Ευρωκώδικα.**

<sup>(1)</sup> Όμοια διάταξη εντοπίζεται και για τον EN-1992

<sup>(2)</sup> Δεν παρουσιάζονται αντίστοιχες αναφορές στον EN-1992

Οι ενώσεις ράβδων με υπερκάλυψη πρέπει να διατάσσονται σύμφωνα με το σχήμα 4.12, του EC2 :

- Η καθαρή απόσταση μεταξύ ζεύγους υπερκαλυπτόμενων ράβδων πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από  $4\phi$  ή 50 mm, αλλιώς το μήκος υπερκάλυψης θα πρέπει να αυξηθεί κατά απόσταση ίση με το καθαρό διάστημα πέραν των  $4\phi$  ή 50 mm.
- Ενώ για τον Ελληνικό κανονισμό η απόσταση των υπερκαλυπτόμενων ράβδων πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από  $4\phi$  και μόνο, αλλιώς το μήκος υπερκάλυψης πρέπει να αυξηθεί κατά  $(\kappa-4)\phi$  όπου  $\kappa > 4$  και  $\kappa\phi$  είναι η πραγματική απόσταση μεταξύ των ράβδων.
- Η διαμήκης απόσταση (όπως και για τον Ε.Κ.Ω.Σ) μεταξύ δύο γειτονικών ενώσεων πρέπει να μην είναι μικρότερη από  $0,3 * l_0$ , όπου  $l_0$  το μήκος υπερκάλυψης σύμφωνα με την σχέση 4.11.
- Σε περίπτωση γειτονικών ενώσεων, η καθαρή απόσταση μεταξύ γειτονικών ράβδων δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από  $2\phi$  ή 20 mm.
- Στον Ε.Κ.Ω.Σ. παρουσιάζεται από  $\phi$  ή 20 mm.



Σχήμα 4.12: Γειτονικές ενώσεις με υπερκάλυψη (EC2)

#### 4.6.2 Μήκος υπερκάλυψης

Στον ελληνικό δομικό κώδικα, το μήκος της υπερκάλυψης  $l_0$  των εφελκόμενων ράβδων υπολογίζεται από το αντίστοιχο απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της όπλισης (πίνακας 4.9).

$$l_0 = \alpha_1 * l_{b,net} \geq l_{0,min} \quad (\text{σχέση 4.10})$$

Όπου:

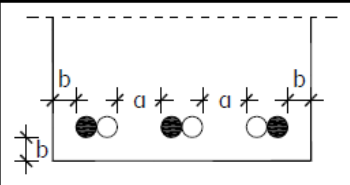
$l_{b,net}$ : Απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης κατά την σχέση 4.8 (Παράγραφος 5.3 παρόντος Κεφαλαίου)

$\alpha_1$ : Συντελεστής κατά τον πίνακα 4.9

$l_{0,min}$ : Το ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης, το οποίο είναι ίσο με  $\max(0.3 * a * \alpha_1 * l_b, 15\phi, 200\text{mm})$  (α από: πίνακα 4.6 Παράγραφος 5.1 παρόντος Κεφαλαίου)

Το μήκος της υπερκάλυψης των θλιβόμενων ράβδων αρκεί μόνο, να ικανοποιεί τη συνθήκη :

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

	Κύριοι οπλισμοί					Διανομές
	Ποσοστό ένωσης επί του συνόλου των ράβδων					
	20%	25%	33%	50%	>50%	Έως 100%
$a \leq 10\phi$ είτε $b \leq 5\phi$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	1.0
$a > 10\phi$ και $b > 5\phi$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	

**Πίνακας 4.9 Συντελεστής μήκους υπερκάλυψης  $\alpha_1$  κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000**

Το μήκος υπερκάλυψης στον EC2 (για θλιβόμενες και εφελκόμενες ράβδους)  $l_0$ , υπολογίζεται από το αντίστοιχο βασικό μήκος αγκύρωσης από την σχέση :

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad (\text{σχέση 4.11})$$

Όπου:

$l_{b,rqd}$ : Βασικό μήκος αγκύρωσης κατά την σχέση 4.7 (Παράγραφος 5.2 παρόντος Κεφαλαίου)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  και  $\alpha_5$ : μπορούν να λαμβάνονται από πίνακα που χρησιμοποιείται και για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης (πίνακας 4.7, Παράγραφος 5.3 παρόντος Κεφαλαίου)

Παρατήρηση: Για τον υπολογισμό του  $\alpha_3$ , το  $\Sigma A_{st,min}$  πρέπει να λαμβάνεται ίσο με  $1.0 A_s (\sigma_{sd} / f_{yd})$ , όπου  $A_s$  είναι το εμβαδόν της διατομής μίας υπερκαλυπτόμενης ράβδου.

$\alpha_6$ : Συντελεστής κατά τον Πίνακα 4.10.

$$l_{0,\min} > \max (0.3 * \alpha_6 * l_{b,\text{req}}, 15\phi, 200\text{mm})$$

Ποσοστό των υπερκαλυπτόμενων ράβδων προς το συνολικό οπλισμό της διατομής	<25%	33%	50%	>50%
$\alpha_6$	1	1.15	1.4	1.5
<b>Σημείωση:</b> Ενδιάμεσες τιμές μπορούν να προσδιορίζονται με γραμμική παρεμβολή				

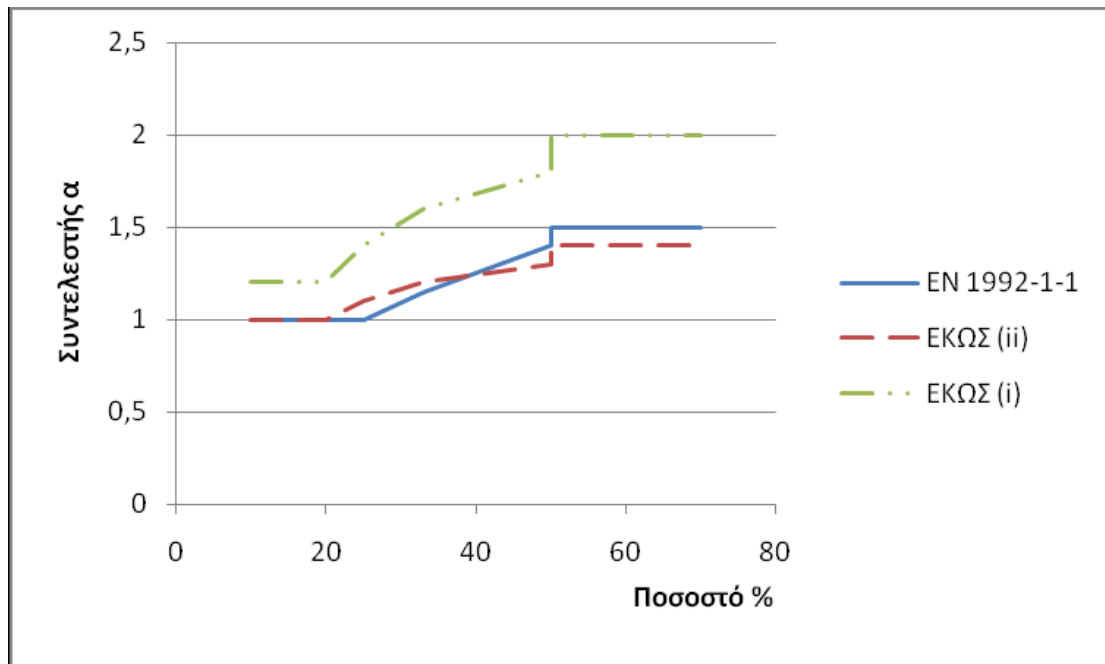
**Πίνακας 4.10: Τιμές του συντελεστή  $\alpha_6$  κατά τον EC2**

Έστω, μία ράβδος οπλισμού, κατηγορίας S500, διαμέτρου  $\phi=20\text{mm}$  που βρίσκεται σε εφελκυσμό, είναι υπερκαλυπτόμενη, με ποσοστό υπερκάλυψης 33%, αγκυρώνεται στο τέρμα της με καμπύλωση ( $K=0.1$ , περίπτωση 1, σχήμα 4.9, Παράγραφος 5.3 παρόντος Κεφαλαίου) ενώ η περισφιζή της πραγματοποιείται με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο. Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C20/25, με απόσταση ράβδων  $a=1.8\phi$ , και επικάλυψη  $b=1.5\phi$ . Επίσης το εμβαδό της διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης  $l_{bd}$  είναι  $\Sigma A_{st}=0.5A_s$ , όπου  $A_s$  το εμβαδό της υπερκαλυπτόμενης ράβδου. Το ύψος της διατομής είναι  $h=250\text{ mm}$  (καλές συνθήκες συνάφειας), και ο λόγος  $A_{s,\text{req}}/A_{s,\text{prov}}=1/1.30$ .

Σύμφωνα με τα παραπάνω, και τον Ε.Κ.Ω.Σ, για  $l_b=966\text{ mm}$ , με  $f_{bd}=2.25\text{ MPa}$ ,  $\alpha=0.7$  αφού η υπερκαλυπτόμενη ράβδος αγκυρώνεται με καμπύλωση και βρίσκεται υπό εφελκυσμό,  $l_{b,\text{net}}=520\text{ mm}$  και  $\alpha_1=1.6$  (πίνακας 4.9 για ποσοστό υπερκάλυψης 33% και εφόσον ισχύει ότι  $a<10\phi$  και  $b<5\phi$ ) προκύπτει ότι το μήκος υπερκάλυψης είναι  $l_0=833\text{ mm} > 325\text{ mm}$  ( $l_{0,\min}$ ).

Στον Ευρωκώδικα, για  $l_{b,\text{req}}=966\text{ mm}$ , με  $f_{bd}=2.25\text{ MPa}$ ,  $\alpha_1=1$ ,  $\alpha_2=1$ ,  $\alpha_3=0.75$ ,  $\alpha_4=1$ ,  $\alpha_5=1$  και  $\alpha_6=1.15$  (πίνακας 4.10 για ποσοστό υπερκάλυψης 33%) προκύπτει ότι το μήκος υπερκάλυψης είναι  $l_0=833\text{mm} > 333\text{ mm}$  ( $l_{0,\min}$ ).

Παρατηρείται ότι οι συντελεστές  $\alpha_6$  του σχετικού κανονισμού του Ευρωκώδικα και  $\alpha_1$  του Ελληνικού κανονισμού για τον προσδιορισμό του μήκους υπερκάλυψης εξαρτώνται από κοινού από το ποσοστό των υπερκαλυπτόμενων ράβδων σε μια θέση σε σχέση με το συνολικό εμβαδό του χάλυβα. Παρακάτω στο Διάγραμμα 4.1 με την βοήθεια των τιμών του πίνακα 4.9 & 4.10 μπορούμε να παρατηρήσουμε με ευκολία την απόκλιση των τιμών των δύο συντελεστών  $\alpha_1$  και  $\alpha_6$ .



Περίπτωση (i) :  $a \leq 10\emptyset$  είτε  $b \leq 5\emptyset$

Περίπτωση (ii) :  $a > 10\emptyset$  και  $b > 5\emptyset$

**Διάγραμμα 4.1: Σύγκριση συντελεστών  $\alpha_1$  του Ε.Κ.Ω.Σ 2000 &  $\alpha_6$  του EC2 σαν συνάρτηση του ποσοστού των υπερκαλυπτόμενων ράβδων σε μία θέση**



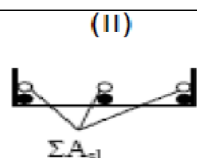
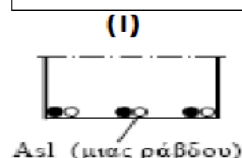
#### 4.6.3 Εγκάρσιος οπλισμός στην περιοχή υπερκάλυψης κύριων οπλισμών

Στις περιοχές υπερκαλύψεων κυρίων οπλισμών πρέπει να τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός, ο οποίος παραλαμβάνει τις εγκάρσιες εφελκυστικές δυνάμεις. Ο υπάρχων εγκάρσιος οπλισμός που προβλέπεται για άλλους λόγους (π.χ. οπλισμός διάτμησης, οπλισμός διανομής) συνυπολογίζεται στον εγκάρσιο οπλισμό.

Ο εγκάρσιος οπλισμός που απαιτείται να τοποθετηθεί σε μια περιοχή υπερκάλυψης εξαρτάται εκτός των άλλων από την θέση των υπερκαλυπτόμενων ράβδων. Διακρίνονται 2 περιπτώσεις (I & II).

Η απαιτούμενη διατομή του εγκάρσιου οπλισμού σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 δίνεται από τον πίνακα 4.11:

Θέση υπερκαλυπτόμενων ράβδων	∅ ράβδων (mm)	Ποσοστό υπερκαλυπτόμενων ράβδων	Απόσταση γειτονικών υπερκαλύψεων στην έννοια του μήκους	Εγκάρσιος οπλισμός ΣA <sub>st</sub>	
				Ποσότητα	Τοποθέτηση
(I)	<16	Τυχόν	Τυχούσα	Δεν απαιτείται ειδικότερη φροντίδα	
		≤ 20%			
	≥16	>20% και ≤50%	Τυχούσα	ΣA <sub>st</sub> ≥ A <sub>sl</sub>	Ευθύγραμμες ράβδοι τοποθετούνται εξωτερικά
		>50%	≥10∅		Οπλισμός σε μορφή συνδετήρα
(II)	Τυχόντα			ΣA <sub>st</sub> ≥ A <sub>sl</sub>	Οπλισμός σε μορφή συνδετήρα



**Πίνακας 4.11 Εγκάρσιος οπλισμός στην περιοχή υπερκάλυψης κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ**

Στον Ευρωκώδικα 2, δεν δίνονται οδηγίες σχετικά με τον εγκάρσιο οπλισμό σε μορφή πίνακα αλλά ούτε και σε μορφή σχήματος, όπως συμβαίνει με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000. Ο πίνακας 4.12 που δίνεται παρακάτω διαμορφώθηκε με στόχο να γίνουν ευδιάκριτες οι διαφορές μεταξύ των διατάξεων του Ε.Κ.Ω.Σ και του EN-1992.

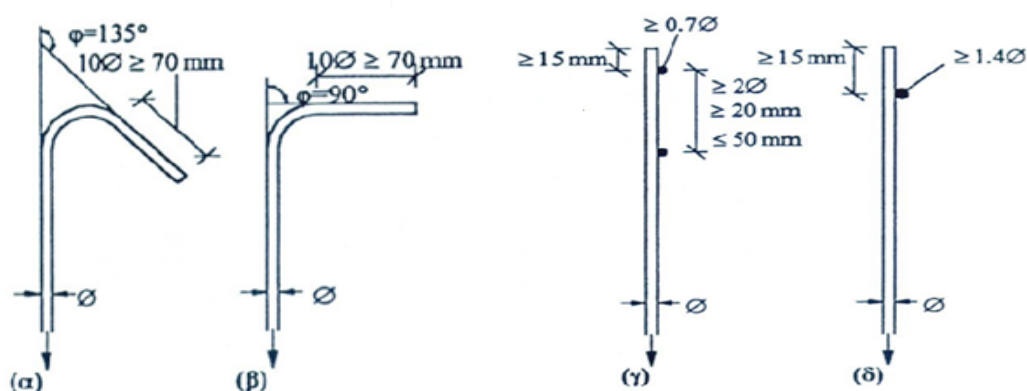
Ø ράβδων (mm)	Ποσοστό υπερκαλυπτόμενων ράβδων	Απόσταση γειτονικών ενώσεων στην εγκάρσια έννοια	Εγκάρσιος οπλισμός $\Sigma A_{st}$	
			Ποσότητα	Τοποθέτηση
<20mm	Τυχόν	Τυχούσα	Επαρκεί ο υπάρχων εγκάρσιος οπλισμός	
≥20mm	<25%	Τυχούσα	Επαρκεί ο υπάρχων εγκάρσιος οπλισμός	
	≥25% και <50%	Τυχούσα	$\Sigma A_{st} \geq A_s$ As το εμβαδό μιας υπό ένωση ράβδου	Τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού ανάμεσα στον κύριο οπλισμό και την εξωτερική επιφάνεια
	≥50%	≤10Ø	$\Sigma A_{st} \geq A_s$ As το εμβαδό μιας υπό ένωση ράβδου	Τοποθέτηση οπλισμού σε μορφή συνδετήρων ή μορφή U

**Πίνακας 4.12: Εγκάρσιος οπλισμός κατά τον EN 1992-1-1**

## 4.7 Αγκύρωση συνδετήρων

Η αγκύρωση των συνδετήρων γίνεται σύμφωνα με το σχήμα 4.13:

- Ορθογωνικά άγκιστρα κατά το σχήμα 4.13(β) επιτρέπονται μόνο σε νευροχάλυβες.
- Διατάξεις κατά τα Σχήματα 4.13(γ) και (δ) επιτρέπονται μόνο όταν δεν προκαλείται διάρρηξη ή αποκόλληση του σκυροδέματος επικάλυψης, δηλαδή, όταν η επικάλυψη στην περιοχή αγκύρωσης είναι τουλάχιστον 50mm.
- Οι εγκάρσιες ράβδοι (σχήματα 4.13(γ) και (δ)) είναι συγκολλημένες στους συνδετήρες. Τέτοιες διατάξεις επιτρέπονται μόνο για έτοιμους, βιομηχανικής παραγωγής, συνδετήρες και εφαρμόζονται μόνο σε πλάκες ή πλακοδοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (Χ.Α.Α.Π.).



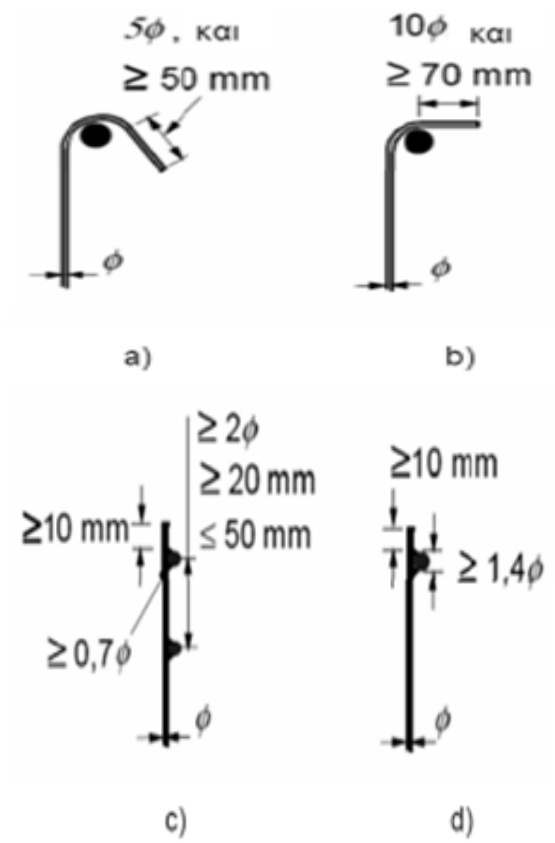
**Σχήμα 4.13: Αγκύρωση συνδετήρων (Ε.Κ.Ω.Σ 2000)**

Στον Ευρωκώδικα 2 (όπως και στον Ελληνικό δομικό κώδικα), η αγκύρωση των συνδετήρων εξασφαλίζεται με την διαμόρφωση καμπύλου άκρου, άγκιστρου και την συγκόλληση εγκάρσιων οπλισμών.

Απαιτείται σε κάθε περίπτωση η ύπαρξη διαμήκους οπλισμού μέσα στο άγκιστρο ή το καμπύλο τμήμα. Σε αντίθεση με τον Ε.Κ.Ω.Σ όπου δεν είναι αναγκαία σε κάθε περίπτωση η τοποθέτηση διαμήκους οπλισμού.

Η διαμόρφωση των συνδετήρων σύμφωνα με τον EC2, περιγράφεται παρακάτω στο σχήμα 4.14.

Παρατηρείται ότι βασική διαφορά μεταξύ Ε.Κ.Ω.Σ και Ευρωκώδικα αποτελούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της αγκύρωσης στις περιπτώσεις (α)-(α), (c)-(γ), (d)-(δ) των σχημάτων 4.14 και 4.13 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.14: Διαμόρφωση συνδετήρων (EC2)

#### 4.8.1 Ισοδύναμη διάμετρος, επικάλυψη ,αποστάσεις ράβδων

Κατά τον ελληνικό κανονισμό οι δέσμες των ράβδων επιτρέπονται για ράβδους με  $\varnothing \leq 28\text{mm}$  και μόνο για ράβδους υψηλής συνάφειας. Οι ράβδοι μίας δέσμης πρέπει να έχουν ίδια διάμετρο και χαρακτηριστικά.

Επίσης, για την μελέτη, οι δέσμες αντικαθίστανται από μία ιδεατή ράβδο, η οποία έχει την ίδια διατομή με την δέσμη, το ίδιο κέντρο βάρους και μια ισοδύναμη διάμετρο  $\varnothing_n$  που ορίζεται από την σχέση:

$$\varnothing_n = \varnothing \sqrt{n} \leq 55\text{mm} \quad (\text{σχέση 4.12})^{(1)}$$

Όπου:

n: αριθμός των ράβδων μίας δέσμης και περιορίζεται σε :

- $n \leq 4$  για κατακόρυφες θλιβόμενες ράβδους, και για ράβδους μίας ένωσης με υπερκάλυψη
- $n \leq 3$  για όλες τις άλλες περιπτώσεις.

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος και των αποστάσεων των ράβδων λαμβάνεται υπόψη η ισοδύναμη διάμετρος  $\varnothing_n$ , με τον μόνο περιορισμό ότι το πάχος επικάλυψης και οι αποστάσεις μετρώνται από την πραγματική εξωτερική περίμετρο της δέσμης <sup>(1)</sup>.

Στον Ευρωκώδικα, οι δέσμες των ράβδων επιτρέπονται και για ράβδους με  $\varnothing \geq 28\text{mm}$  ( $\varnothing 32\text{mm}$ ). Επίσης σε μια δέσμη ράβδων όλες οι ράβδοι πρέπει να έχουν τις ίδιες ιδιότητες (είδος, κατηγορία αντοχής). Ράβδοι διαφορετικών διαμέτρων, σε αντίθεση με τον Ε.Κ.Ω.Σ, επιτρέπονται και μπορούν να είναι σε μία δέσμη, εάν ο λόγος των διαμέτρων τους δεν υπερβαίνει το 1,7.

Επιπροσθέτως, στον EN-1992 αναφέρεται ότι δυο ράβδοι σε επαφή, εφόσον τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και οι συνθήκες συνάφειας είναι καλές δεν θεωρούνται δέσμη. Ενώ στην περίπτωση ράβδων σε επαφή στην άνω ίνα (δυσμενείς συνθήκες) μεσαίας στήριξης δοκού θεωρούνται δέσμη. Για κάτι παρόμοιο δεν γίνεται λόγος στον Ε.Κ.Ω.Σ.

---

<sup>(1)</sup> Όμοια διάταξη ισχύει και στον EN-1992

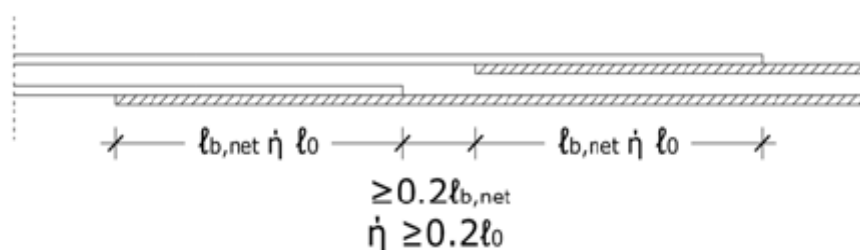
#### 4.8.2 Αγκύρωση και ένωση δέσμης ράβδων

Οι αγκυρώσεις και οι ενώσεις σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000, πραγματοποιούνται με την αγκύρωση και την υπερκάλυψη των μεμονωμένων ράβδων.

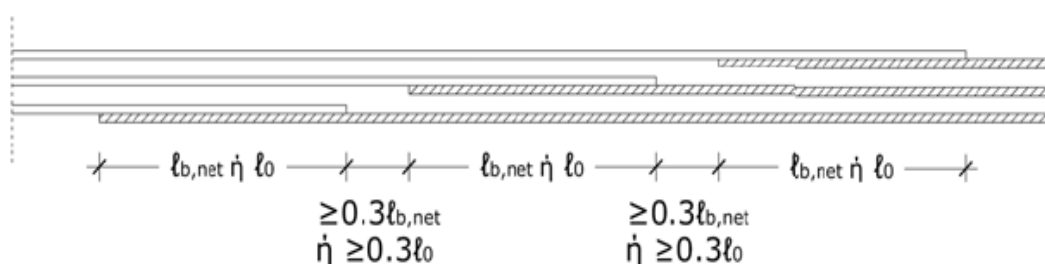
Οι αγκυρώσεις των ράβδων μίας δέσμης δεν μπορούν να είναι παρά μόνο ευθύγραμμες και οι μεμονωμένες ράβδοι να τελειώνουν κατά αποστάσεις σύμφωνα με τα παρακάτω. Για δέσμες 2, 3, ή 4 ράβδων οι αποστάσεις αυτές θα πρέπει να είναι αντίστοιχα 1.2, 1.3 και 1.4 φορές το μήκος αγκύρωσης των μεμονωμένων ράβδων. Οι ράβδοι μίας δέσμης πρέπει να υπερκαλύπτονται μία προς μία. Οι μεμονωμένες υπερκαλύψεις των ράβδων μίας δέσμης πρέπει να απέχουν μεταξύ τους. Οι ελάχιστες αποστάσεις δίνονται από προηγούμενη παράγραφο (Παράγραφος 6.1 και 6.2, παρόντος Κεφαλαίου). Σε καμία διατομή η δέσμη δεν επιτρέπεται να αποτελείται από περισσότερες από 4 ράβδους.

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος σύμφωνα με τον οποίο επιτυγχάνεται η αγκύρωση και η ένωση της δέσμης ράβδων παρατίθεται το σχήμα 4.15 το οποίο αν και βασίζεται στον Ε.Κ.Ω.Σ. 2000 δεν αποτελεί μέρος αυτού.

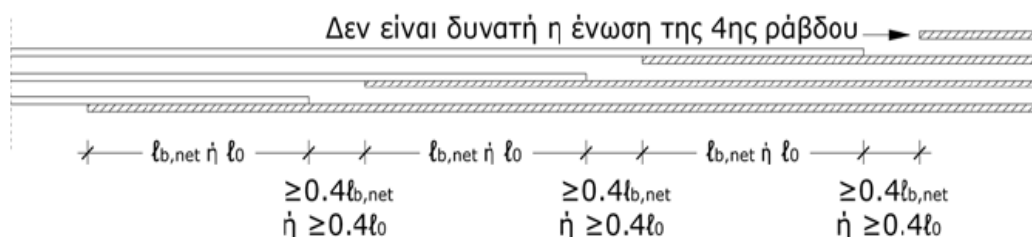
α) Αγκύρωση ή ένωση δέσμης 2 ράβδων :



β) Αγκύρωση ή ένωση δέσμης 3 ράβδων :



γ) Αγκύρωση ή ένωση δέσμης 4 ράβδων :



Σχήμα 4.15 Αγκύρωση, ένωση ράβδων δέσμης σύμφωνα με τον Ελληνικό δομικό κώδικα<sup>(1)</sup>

---

<sup>(1)</sup>Οι ράβδοι της δέσμης δεν σχεδιάζονται σε επαφή για λόγους ευκρίνειας.

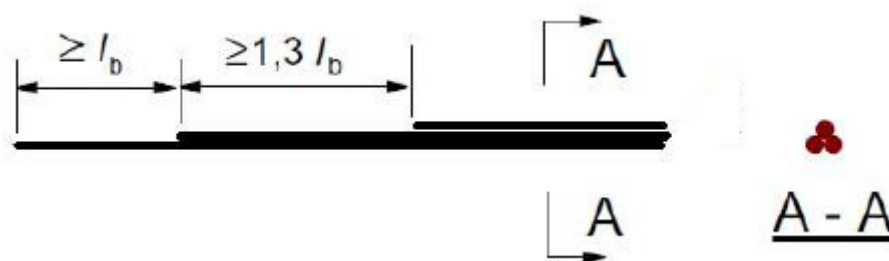
Στον EC2, παρουσιάζονται σε διαφορετική παράγραφο η αγκύρωση από την ένωση με υπερκάλυψη των δεσμών των ράβδων.

Για την πρώτη περίπτωση λοιπόν, οι δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο  $< 32\text{mm}$  μπορούν να περατώνονται κοντά σε μία στήριξη χωρίς την απαίτηση διαδοχικής περάτωσης. Ενώ δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο  $\geq 32\text{mm}$  που περατώνονται κοντά σε στήριξη πρέπει να διακόπτονται διαδοχικά όπως στο σχήμα 4.16.

Παρατηρούμε έτσι ότι στον EN-1992, δεν θεωρείται καθόλου απαραίτητη η μεμονωμένη αγκύρωση κάθε μέλους της δέσμης των ράβδων, όπως επίσης δεν θεωρείται πάντα αναγκαία η διαδοχική αγκύρωση (κατά τα σχήματα 4.15 & 4.16) για όλα τα είδη των ράβδων (μόνο για  $\varnothing_n \geq 32\text{mm}$ ) όπως συμβαίνει με τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000.

Επιπλέον σε σχέση με τον Ελληνικό κανονισμό, που δεν αναφέρει κάτι όμοιο, ο Ευρωκώδικας θέτει για την αγκύρωση της δέσμης των ράβδων τα εξής:

- Δέσμες ράβδων υπό εφελκυσμό μπορούν να περατώνονται σε συγκεκριμένες θέσεις, δηλαδή πάνω από ακραίες και ενδιάμεσες στηρίξεις.
- Δέσμες ράβδων υπό θλίψη μπορούν να αγκυρώνονται χωρίς διαδοχική διακοπή των ράβδων. Στα άκρα δεσμών με ισοδύναμη διάμετρο  $\geq 32\text{mm}$  απαιτούνται τουλάχιστον 4 εγκάρσιοι σύνδεσμοι διαμέτρου  $\geq 12\text{mm}$ . Στο τέλος του άκρου της απόληξης της δέσμης απαιτείται άλλος ένας σύνδεσμος.



**Σχήμα 4.16 Αγκύρωση δέσμης με απαίτηση διαδοχικής διακοπής ράβδων σύμφωνα με τον EC2**

Για την περίπτωση της ένωσης με υπερκάλυψη της δέσμης των ράβδων, ο Ευρωκώδικας, προβλέπει ότι οι ράβδοι μπορούν να ενωθούν Ι) ομαδικά και ΙΙ) μεμονωμένα, όπως συμβαίνει και στον Ελληνικό δομικό κώδικα.

Η ομαδική ένωση ισχύει για δέσμες που αποτελούνται από 2 ράβδους με ισοδύναμη διάμετρο  $< 32\text{mm}$  και οι ράβδοι μπορούν να ενωθούν χωρίς διαδοχική περάτωση.

Το μήκος υπερκάλυψης στην ομαδική ένωση, υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση 4.11, της Παραγράφου 6.2, του παρόντος Κεφαλαίου, εισάγοντας στην σχέση την ισοδύναμη διάμετρο  $\varnothing_n$ .

Όμοια, για τον υπολογισμό του μήκους υπερκάλυψης ο Ελληνικός κανονισμός εισάγει για κάθε περίπτωση την ισοδύναμη διάμετρο  $\varnothing_n$  στην σχέση 4.10 της Παραγράφου 6.2, του παρόντος Κεφαλαίου.

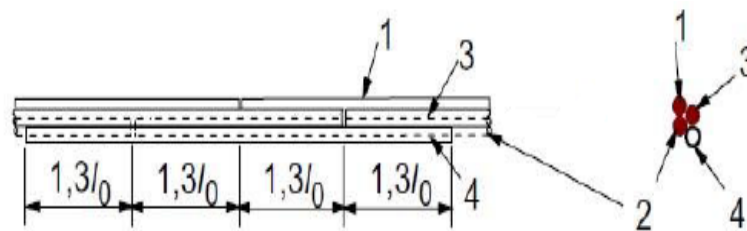


Η μεμονωμένη ένωση ισχύει για δέσμες που αποτελούνται από 2 ράβδους με ισοδύναμη διάμετρο  $\geq 32\text{mm}$  ή από 3 ράβδους, και οι μεμονωμένες ράβδοι διακόπτονται διαδοχικά ανά αποστάσεις  $1,3 \cdot l_0$ . (σχήμα 4.17)

Το  $l_0$  προκύπτει από την εκάστοτε διάμετρο της ράβδου χωρίς την εισαγωγή της ισοδύναμης διαμέτρου  $\varnothing_n$  στην σχέση 4.11 για τον υπολογισμό του  $l_0$ .

Για την περίπτωση της μεμονωμένης ένωσης μια πρόσθετη ράβδος χρησιμοποιείται για την υπερκάλυψη (σχήμα 4.17). Καθώς απαγορεύεται να υπάρχουν κατά μήκος μίας υπερκάλυψης παραπάνω από 4 ράβδοι, οι δέσμες με περισσότερες από 3 ράβδους δεν επιτρέπεται να ματίζονται.

Αντίθετα, ο Ελληνικός κανονισμός επιτρέπει το μάτισμα δεσμών μέχρι και 4 ράβδων και δεν κάνει λόγο για πρόσθετη ράβδο στη θέση της ένωσης.



**Σχήμα 4.17** Διάταξη ένωσης με υπερκάλυψη δέσμης ράβδων υπό εφελκυσμό που περιλαμβάνει τέταρτη πρόσθετη ράβδο κατά τον Ευρωπαϊκό δομικό κώδικα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο 5 που ακολουθεί τα σχήματα, τα διαγράμματα και οι πίνακες έχουν αριθμηθεί, για την διευκόλυνση του αναγνώστη, εκ νέου, σύμφωνα με το εν λόγω Κεφάλαιο, αν και τα περισσότερα από αυτά έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα Κεφάλαια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Οι δύο κανονισμοί, έχουν μεγάλες ομοιότητες ιδιαίτερα σε ότι αφορά τον υπολογισμό στις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και αστοχίας.

Ως αναφορά τώρα το εξεταζόμενο θέμα περί Λεπτομερειών Οπλίσεως, οι αλλαγές που εντοπίζονται επιγραμματικά στον EN1992-1-1 είναι οι παρακάτω:

- Για τον υπολογισμό του μήκους αγκυρώσεως (αλλά και του μήκους παραθέσεως) λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράμετροι (πέραν της διαμέτρου, της τάσεως του χάλυβα και της τάσεως συνάφειας):
  - Το σχήμα της ράβδου
  - Η επικάλυψη του σκυροδέματος
  - Η περίσφιγξη λόγω του εγκάρσιου οπλισμού
  - Η παρουσία εγκάρσιων συγκολλημένων ράβδων
  - Η επίδραση της εγκάρσιας πίεσης του σκυροδέματος
- Προβλέπεται αγκύρωση μέσω εγκαρσίων συγκολλημένων ράβδων.
- Δίνονται στοιχεία για την αγκύρωση τενόντων προεντάσεως.

Στον EN1992-1-1 προβλέπονται τρεις κατηγορίες ολκιμότητας των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος: A, B και C. Ωστόσο στην Ελλάδα με βάση τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος επιτρέπεται μόνο η χρήση του χάλυβα C, ο χάλυβας A προορίζεται για την κατασκευή πλεγμάτων, ενώ απαγορεύεται τελείως η χρήση του χάλυβα B.

## 5.1 Συμπεράσματα για δεδομένα Σκυροδέματος (Κεφ.2)

Αρχικά, σχετικά με το φαινόμενο βάρους του σκυροδέματος κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ, παρατηρήσαμε ότι θα προσδιορίζεται μέσω δοκιμών ή ότι θα εκτιμάται με βάση τις γνωστές τιμές φαινόμενων βαρών των συστατικών του σκυροδέματος. Παράλληλα, δίνεται η τιμή του βάρους του άοπλου σκυροδέματος ίσο με  $24 \text{ KN/m}^3$  (σε περίπτωση συνήθων ποσοστών οπλισμού). Κατά τον EC2 ωστόσο, δεν αναφέρεται στο ίδιο βάρος σκυροδέματος, το οποίο καλύπτεται από το Νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο για το Σκυρόδεμα, ΕΛΟΤ EN206-1.

Ως αναφορά εν συνεχεία την αντοχή σκυροδέματος, ο Ε.Κ.Ω.Σ δεν καλύπτει σκυροδέματα με αντοχή μεγαλύτερη του C50/60. Ενώ κατά τον EC2 δίνεται άνω όριο χαρακτηριστικής κυλινδρικής αντοχής  $c_{\max}$  με προτεινόμενη τιμή C90/105.

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 2, και σύμφωνα με τις αρχές του Ε.Κ.Ω.Σ, για την εκτίμηση της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος για χρόνο  $t$  μικρότερο των 28 ημερών, όπως επίσης και για την εκτίμηση της ανάπτυξης της εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος με το χρόνο, δεν δίνονται σχέσεις.

Κατά τον EC2 τώρα, για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος για χρόνο  $t$  διάφορο των 28 ημερών, δίνονται οι εξής σχέσεις:

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8, 3 < t < 28 \text{ ημερών}$$

$$f_{ck}(t) = f_{ck}, t > 28 \text{ ημερών}$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm} \text{ (σχήμα 5.1)}$$

Όταν ζητούμενο είναι να προσδιορίσουμε την αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος σε χρόνο άνω των 28 ημερών τότε πολλαπλασιάζω τις σχέσεις :

$$f_{cd} = a_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

$$f_{ctd} = a_{ct} f_{ctk0,05} / \gamma_c$$

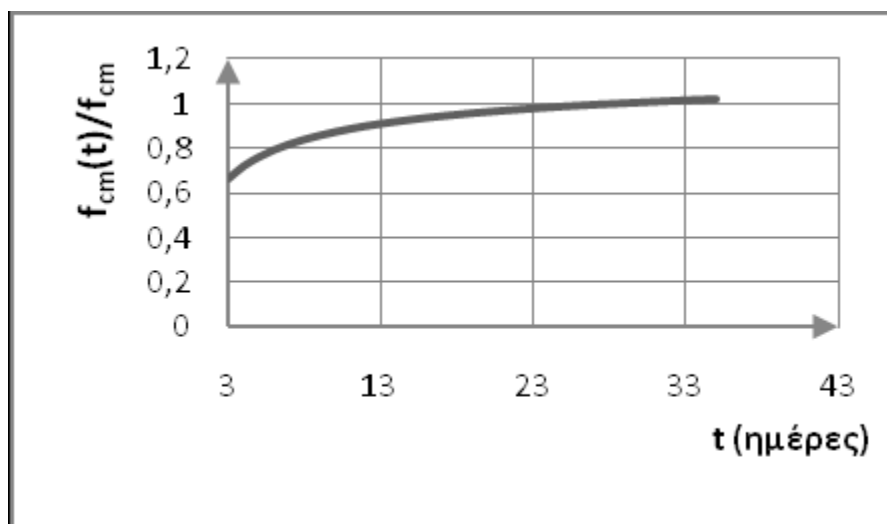
με τον συντελεστή  $K_t$  με προτεινόμενη τιμή 0,85.

Η ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος με το χρόνο εκτιμάται ως εξής:

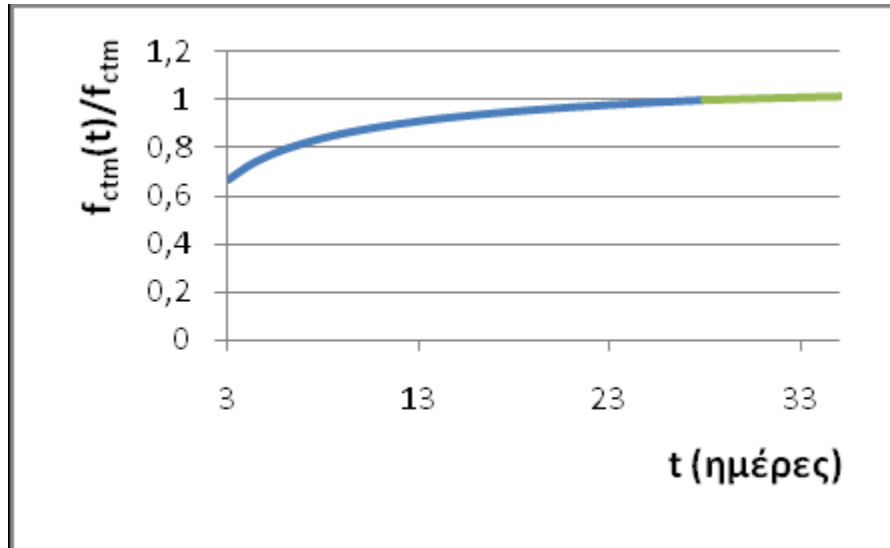
$$f_{ctm}(t) = \beta_{cc}(t)^\alpha f_{ctm}$$

όπου  $\alpha = 1$  για  $t < 28$

και  $\alpha = 2/3$  για  $t \geq 28$



**Σχήμα 5.1: Λόγος  $f_{ctm}(t)/f_{ctm}$  (για  $S=0,20$ ) κατά τον EC2**



**Σχήμα 5.2: Λόγος  $f_{ctm}(t)/f_{ctm}$  (για  $S=0,20$ ) κατά τον EC2**

Στη συνέχεια, για την ελαστική παραμόρφωση του σκυροδέματος, στις προδιαγραφές του Ε.Κ.Ω.Σ δίνεται ο κάτωθι πίνακας 5.1 με στοιχεία τα  $f_{ck}$ ,  $f_{ctk,0.05}$ ,  $f_{ctm}$ ,  $f_{ctk,0.95}$  (όμοια με EN1992-1-1) και με το επιβατικό μέτρο ελαστικότητας  $E_{cm}$ .

$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
$E_{cm}$ (GPa)	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37

**Πίνακας 5.1(Ε.Κ.Ω.Σ 2000)**

Στον EC2 αντίστοιχα δίνεται ο πίνακας 5.2 με αναλυτική παρουσίαση χαρακτηριστικών αντοχής και παραμόρφωσης για διαφορετικές κατηγορίες σκυροδέματος. Στον πίνακα 5.2 δίνονται στοιχεία όπως  $f_{ck}$ ,  $f_{ck,cube}$ ,  $f_{cm}$ ,  $f_{ctm}$ ,  $f_{ctk,0.05}$ ,  $f_{ctk,0.95}$ ,  $E_{cm}$ ,  $\epsilon_{c1}$ ,  $\epsilon_{cu1}$ ,  $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{cu2}$ ,  $N$ ,  $\epsilon_{c3}$ ,  $\epsilon_{cu3}$ .

Παρατήρηση Ανάμεσα στον πίνακα 5.1(Ε.Κ.Ω.Σ) και 5.2(EC2) επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα οι διαφορές στις τιμές, σύμφωνα με τους δύο κώδικες, του επιβατικού μέτρου ελαστικότητας  $E_{cm}$ .

<b>Αντοχή</b>														
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
$\epsilon_{c1}$ (‰)	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
$\epsilon_{cu1}$ (‰)		3,5								3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
$\epsilon_{c2}$ (‰)		2,0								2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$\epsilon_{cu2}$ (‰)		3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
N		2,0								1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
$\epsilon_{c3}$ (‰)		1,75								1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
$\epsilon_{cu3}$ (‰)		3,5								3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

**Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σκυροδέματος.(EC2)**

Για τους παραπάνω πίνακες και κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ, ισχύουν οι εξής τύποι:

- $f_{ctm}=0.30 f_{ck}^{2/3}$  για όλες τις κατηγορίες σκυροδέματος
- $f_{ctk,0.05}$  ,  $f_{ctk,0.95}$  κατευθείαν από τον Πίνακα
- $E_{cm}= 9.50 (f_{cm})^{1/3}$

Αντίστοιχα, στον EC2 βρίσκουμε τους κάτωθι:

$$f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3} < C50/60$$

$$f_{ctm}=2.12 f_l \ln(1+(f_{cm}/10)) > C50/60$$

$$f_{ctk,0.05}=0.7 f_{ctm} 5\%$$

$$f_{ctk,0.95}=1.3 f_{ctm} 95\%$$

$$E_{cm}=22 (f_{cm}/10)^{0.3}$$

$$E_{cm}(t)=(f_{cm}(t) / f_{cm})^{0.3} E_{cm}$$

Για το μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ δίνεται ενιαία τιμή για όλα τα είδη αδρανών. Ενώ, για τον EC2 το μέτρο ελαστικότητας του πίνακα 5.2 αφορά τα χαλαζιακά αδρανή, για ασβεστολιθικά-ψαμμιτικά μειώνω την τιμή από 10% έως 30%,για βασαλτικά μειώνω την τιμή κατά 20%.

Ως αναφορά τον ερπυσμό του σκυροδέματος και σε συμφωνία με τον Ε.Κ.Ω.Σ, το σκυρόδεμα δεν πρέπει να υποβάλλεται σε θλιπτική τάση μεγαλύτερη του  $0,50f_{ck}(t_0)$ , κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τον EC2 όπου η τιμή που δίνει είναι  $0,45f_{ck}(t_0)$ .

Παράλληλα και για τις αρχές του Ε.Κ.Ω.Σ, δε λαμβάνεται υπόψη η εξ ερπυσμού μη γραμμικότητα. Ο συντελεστής  $\varphi(\infty, t_0)$  εκτιμάται σύμφωνα με τον Πίνακα 5.3

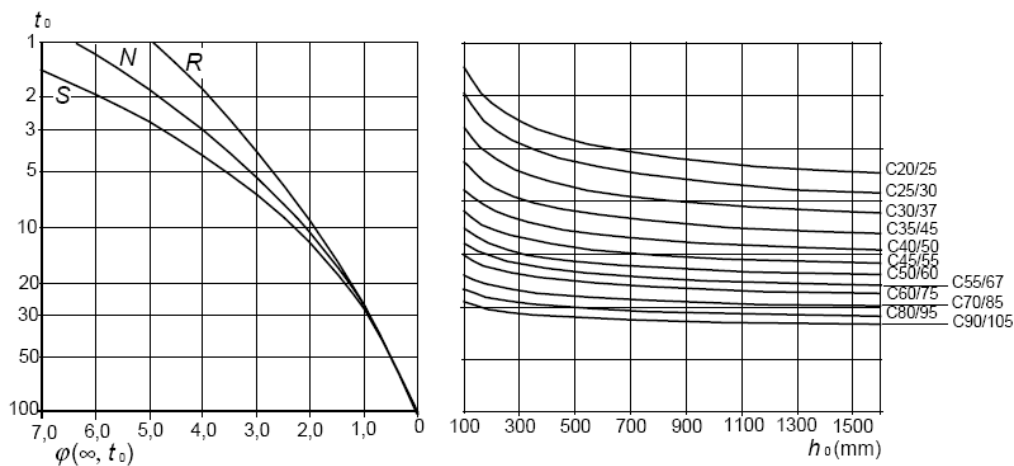
Ηλικία $t_0$ την στιγμή της φόρτισης (ημέρες)	Ιδεατό μέγεθος $2 \cdot A_c / u$ σε mm					
	50	150	600	50	150	600
	Ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες εσωτερικού χώρου (RH=50%)			Υγρές ατμοσφαιρικές συνθήκες (RH=80%)		
1	5.50	4.60	3.70	3.60	3.20	2.90
7	3.90	3.10	2.60	2.60	2.30	2.00
28	3.00	2.50	2.00	1.90	1.70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

**Πίνακας 5.3 Τελικές τιμές του συντελεστή ερπυσμού σκυροδέματος κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ**

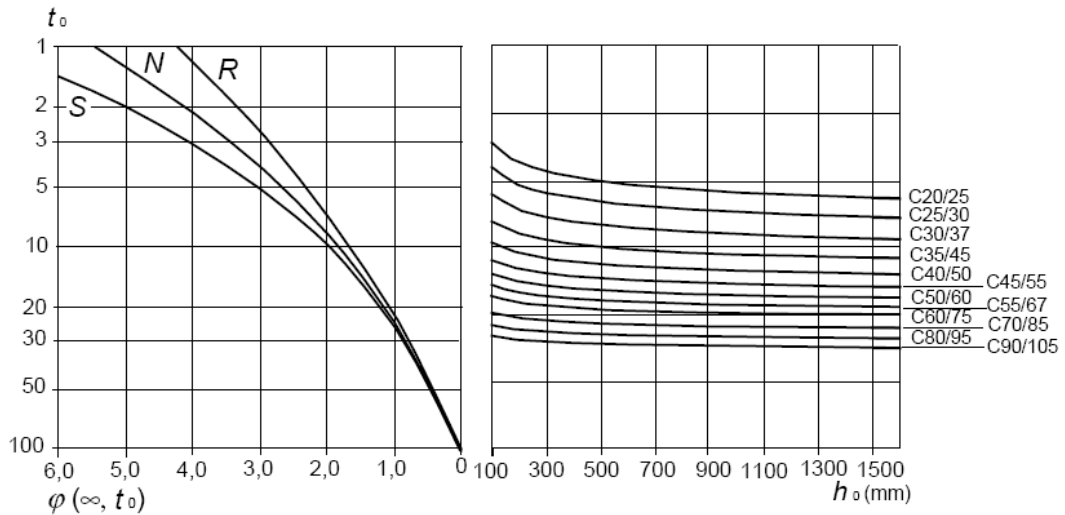
Στον EC2, όταν υπερβαίνει την τιμή του  $0,45f_{ck}(t_0)$ , η εξ' ερπυσμού μη γραμμικότητα πρέπει να εκτιμάται ως εξής:

$$\varphi_{κ(\infty, t_0)} = \varphi(\infty, t_0) \exp(1.5(K_{\sigma} - 0,45))$$

Ο συντελεστής  $\varphi(\infty, t_0)$  προκύπτει από τα διαγράμματα στα παρακάτω σχήμα .



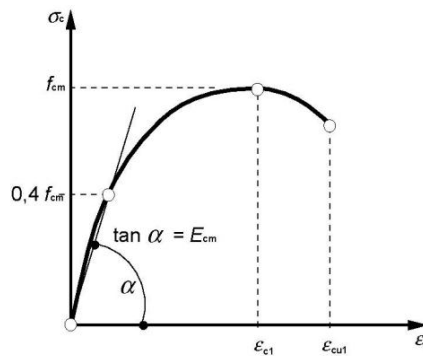
**(α) Συνθήκες εσωτερικού χώρου RH=50%**



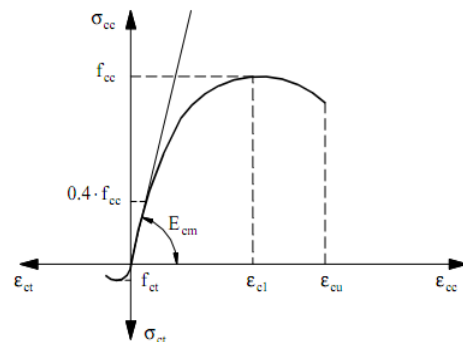
(β) Συνθήκες υπαίθρου RH=80%

**Σχήμα 5.3 :Μέθοδος προσδιορισμού συντελεστή ερπυσμού σκυροδέματος συντελεστή ερπυσμού σκυροδέματος κατα τον κατά τον EC2**

Σχετικά με την ένταση-παραμόρφωση για τη μη γραμμική ανάλυση σκυροδέματος, ο Ε.Κ.Ω.Σ δίνει το κάτωθι διάγραμμα(διάγραμμα 5.2) αλλά δεν υπάρχει αναλυτική σχέση μεταξύ  $\sigma_c$  και  $\varepsilon_c$ , κάτι που ισχύει και στον Ευρωκώδικα, ενώ παρέχεται και αντίστοιχο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για την ανάλυση των κατασκευών(διάγραμμα 5.1).



**Διάγραμμα 5.1 EC2**



**Διάγραμμα 5.2 Ε.Κ.Ω.Σ**

Επίσης, η σχέση ανάμεσα στην  $\sigma_c$  και  $\varepsilon_c$  δίνεται από:

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

όπου  $\eta=\varepsilon_c/\varepsilon_{c1}$  και  $k=1,05E_{cm}\times|\varepsilon_{c1}|/f_{cm}$  η σχέση ισχύει για  $0<|\varepsilon_c|<|\varepsilon_{cul}|$

Για την θλιπτική και εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος τώρα, είδαμε ότι για των Ε.Κ.Ω.Σ ισχύει ο τύπος

$$f_d=f_k/\gamma_m$$

Ενώ στον EC2 συναντάμε τους:

$$f_{cd}=a_{cc} f_{ck}/\gamma_c$$

$$f_{ctd}=a_{ct} f_{ctk0,05}/\gamma_c$$

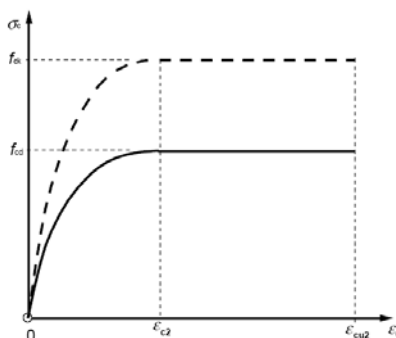
όπου ο συντελεστής  $a_{cc}$  κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 1,00, ενώ προτεινόμενη τιμή αποτελεί το 0,85.

Για την σχέση τώρα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος απεικονίζεται στον Ε.Κ.Ω.Σ, το ίδιο διάγραμμα χωρίς σχέσεις υπολογισμού τάσεων-παραμορφώσεων. Ενώ στον EC2 δίνονται οι σχέσεις:

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

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

Όπου οι άνω σχέσεις αντιστοιχούν στο παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα(5.3) για σκυρόδεμα υπό θλίψη.



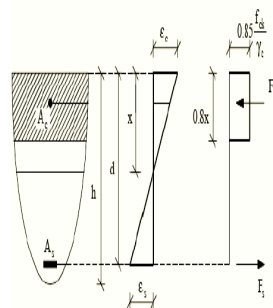
**Διάγραμμα 5.3: Σχέση τάσεων-παραμορφώσεων σύμφωνα με τον EC2**

Σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ θεωρείται ορθογωνική κατανομή των τάσεων (όπως στο διάγραμμα 5.4). Το ενεργό ύψος της θλιβόμενης ζώνης προκύπτει πολλαπλασιάζοντας το βάθος  $x$  με το συντελεστή 0,8, ενώ η δρώσα αντοχή προκύπτει πολλαπλασιάζοντας το  $f_{cd}$  με το συντελεστή 0,85 (για όλες τις κατηγορίες σκυροδεμάτων).

Αντίστοιχα στον EC2, θεωρείται ορθογωνική κατανομή των τάσεων (όπως στο διάγραμμα 5.5). Το ενεργό ωστόσο ύψος της θλιβόμενης ζώνης ορίζεται από τον συντελεστή  $\lambda$ , ενώ η δρώσα αντοχή προκύπτει από τον συντελεστή  $\eta$ . Οι τιμές των συντελεστών προκύπτουν ως εξής:

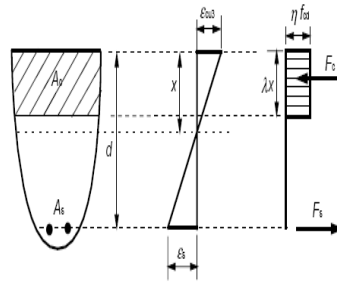
$$\lambda = 0,8 \text{ και } \eta = 1,0 \text{ για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50) / 400 \text{ και } \eta = 1,0 - (f_{ck} - 50) / 200 \text{ για } 50 \leq f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$



**Διάγραμμα 5.4: ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων κατά τον ΕΚΩΣ**





**Διάγραμμα 5.5: ορθογωνικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων κατά τον EC2**

## 5.2 Συμπεράσματα για δεδομένα Χάλυβα (Κεφ.3)

Σχετικά με τις ιδιότητες του χάλυβα, σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ, πρώτη διαφορά που εντοπίσαμε(αν και δεν αφορά την σύγκριση του Ε.Κ.Ω.Σ με τον EN-1992-1-1 αλλά αποτελεί μία ενδιαφέρουσα σύγκριση) ήταν ότι καταργήθηκε ο ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971 και υπεισήρθαν οι ΕΛΟΤ 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 όπου τα νέα αυτά πρότυπα έχουν σημαντικές διαφορές με τα προηγούμενα. Μία από τις σημαντικές διαφορές είναι ότι αφορούν αποκλειστικά τους συγκολλησίμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος καθώς καταργείται και τυπικά η χρήση των μη συγκολλησίμων ράβδων.

Παράλληλα καθιερώνονται:

- Νέες τεχνικές κατηγορίες ποιότητας B500A (χαμηλής ολκιμότητας) και B500C (υψηλής ολκιμότητας).
- Έλεγχοι και κριτήρια αξιολόγησης ανάλογα με τη μορφή που διατίθενται (ράβδοι, ρόλοι, ευθυγραμμισμένα προϊόντα, πλέγματα, δικτυώματα).
- Αυστηρότερα όρια για τις ιδιότητες σε εφελκυσμό και μέτρηση νέων μεγεθών (όπως ο λόγος  $f_{y,act}/f_{y,nom}$  και το  $\epsilon_{u,k}$ ).

Όπου αναλυτικότερα στοιχεία είδαμε στο Κεφάλαιο 3.2.2.

Προχωρώντας στις ιδιότητες του χάλυβα και κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ παρατηρείται ότι το εύρος αντοχής διαρροής κυμαίνεται από 220 έως 500 MPa, έναντι του EC2 όπου συγκεκριμένο εύρος αντοχής διαρροής  $f_{yk}$  δίνεται από 400 έως 600 MPa.

Για τη διατομή υπολογισμών εν συνεχεία στον Ε.Κ.Ω.Σ, οι υπολογισμοί πρέπει να βασίζονται στην ονομαστική διατομή που καθορίζεται από την ονομαστική διάμετρο. Στον EC2, όταν αναφέρεται σε διάμετρο χρησιμοποιεί ολόκληρη την έκφραση ονομαστική διάμετρο.

Ως αναφορά τη συγκόλληση των χάλυβων, στον Ε.Κ.Ω.Σ γίνεται παραπομπή στα αντίστοιχα Κεφάλαια του ΚΤΧ και ΕΛΟΤ 959, 971, όπου όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του Κεφαλαίου αυτού, καταργήθηκαν και αντικαταστάθηκαν από τον ΕΛΟΤ 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Στον EC2 αντίστοιχα, δίνεται ο πίνακας 5.4 με λεπτομερή παρουσίαση των επιτρεπόμενων διαδικασιών συγκόλλησης.

Κατάσταση Φόρτισης	Μέθοδος Συγκόλλησης	Ράβδοι υπό εφελκυσμό <sup>(1)</sup>	Ράβδοι υπό θλίψη <sup>(1)</sup>
Κυρίως στατική	συγκόλληση με σπινθηρισμούς	μετωπική σύνδεση	
	Χειρωνακτική ηλεκτροσυνκόλληση τόξου και συγκόλληση με επενδεδυμένο ηλεκτρόδιο	μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 20$ mm. σύνδεση με λωρίδες. σύνδεση κατά παράθεση. σταυρωτή σύνδεση <sup>(3)</sup> σύνδεση με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	
	Ηλεκτροσυνκόλληση ενεργού προστατευτικού αερίου <sup>(2)</sup>	σύνδεση με λωρίδες. σύνδεση κατά παράθεση. σταυρωτή σύνδεση <sup>(3)</sup> σύνδεση με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	
		-	μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 20$ mm
	Συγκόλληση τριβής	μετωπική σύνδεση. σύνδεση με άλλους χάλυβες	
	σημειακή συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση	σύνδεση κατά παράθεση <sup>(4)</sup> , σταυρωτή σύνδεση <sup>(2), (4)</sup>	
Όχι κυρίως στατική	συγκόλληση με σπινθηρισμούς	μετωπική σύνδεση	
	Χειρωνακτική ηλεκτροσυνκόλληση τόξου		μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 14$ mm
	Ηλεκτροσυνκόλληση ενεργού προστατευτικού αερίου <sup>(2)</sup>		μετωπική σύνδεση με $\phi \geq 14$ mm
	σημειακή συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση		σύνδεση κατά παράθεση <sup>(4)</sup> . σταυρωτή σύνδεση <sup>(2), (4)</sup>

#### Πίνακας 5.4: Μέθοδοι συγκολλήσεων σε ράβδους υπό εφελκυσμό και θλίψη κατά τον Ευρωκώδικα

Εν συνεχεία, για τους σπλισμούς υψηλής συνάφειας (νευροχάλυβες) ο Ε.Κ.Ω.Σ όσον αφορά τις νευρώσεις, πρέπει να πληρούν τις συνθήκες και απαιτήσεις των σχετικών προτύπων. Ενώ αντίθετα στον EC2 τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των ράβδων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να δημιουργείται η απαιτούμενη συνάφεια με το σκυρόδεμα.

Προχωρώντας άλλη μία διαφορά που εντοπίστηκε μεταξύ των δύο κωδίκων είναι αυτή στα συγκολλητά δομικά πλέγματα, όπου κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ, όταν η παρουσία εγκάρσιων συγκολλημένων ράβδων λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης τότε κάθε συγκόλληση πρέπει να μπορεί να αναλάβει τέμνουσα δύναμη ίση με :

$$0,30 * f_{yk} * A_s$$

Στον αντίποδα ο EC2, σε μια πιο αυστηρή προσέγγιση, επαναλαμβάνει την άνω σχέση αλλά επιπλέον ελέγχει και την διαδικασία της συγκόλλησης, μέσω του πίνακα 5.4 και την συγκολλησιμότητα μέσω του προτύπου EN 10080.

### 5.3 Συμπεράσματα για Κανόνες Λεπτομερειών Όπλισης (Κεφ.4)

Ξεκινώντας για τις επιτρεπόμενες διάμετροι τυμπάνου για καμπυλούμενες ράβδους στον Ε.Κ.Ω.Σ, η ελάχιστη επιτρεπτή διάμετρος τυμπάνου καμπύλωσης του οπλισμού προκύπτει από τον Πίνακα 5.5. Κριτήρια διαχωρισμού στον πίνακα για την καμπύλωση ράβδων, αγκίστρων, αναβολέων κλπ αποτελούν η διάμετρος των ράβδων, η κατηγορία του χάλυβα, το πάχος της επικάλυψης αλλά και η απόσταση των αξόνων των ράβδων.

a/a	Χάλυβας		S220	S400, S500	
	Ράβδος $\varnothing$ (mm)		Άγκιστρα πέρατος ράβδων, αναβολείς		
A1	<20		2.5 $\varnothing$	4.0 $\varnothing$	
A2	$\geq 20$		5.0 $\varnothing$	7.0 $\varnothing$	
a/a	Επικάλυψη κάθετα στο επίπεδο καμπύλωσης	Αξονική απόσταση ράβδων	Καμπυλώσεις ράβδων Καμπύλες αγκυρώσεις		
			S220	S400, S500	
B1	>100mm	και	>7.0 $\varnothing$	10 $\varnothing$	10 $\varnothing$
B2 <sup>(1)</sup>	>50mm	και	>3.0 $\varnothing$	10 $\varnothing$	15 $\varnothing$
B3 <sup>(1)</sup>	$\leq 50$ mm	ή	$\leq 3.0\varnothing$	15 $\varnothing$	20 $\varnothing$

**Πίνακας 5.5 Ελάχιστοι διάμετροι καμπύλωσης D σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ.**

Στον EC2 τώρα, η ελάχιστη επιτρεπτή διάμετρος τυμπάνου προς αποφυγή της ρηγματώσης προκύπτει από τον Πίνακα 5.6. Στον πίνακα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης τιμής αποτελούν η διάμετρος της ράβδου .

**Πίνακας 5.6 Ελάχιστοι διάμετροι καμπύλωσης D σύμφωνα με τον EC2**

Διάμετρος ράβδου	Ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης για κάμψεις, άγκιστρα και αναβολείς
$\varphi \leq 16$ mm	4 $\varphi$
$\varphi > 16$ mm	7 $\varphi$

Επίσης, στον Ε.Κ.Ω.Σ αναφέρεται πως η διάμετρος του τυμπάνου δεν χρειάζεται να ελεγχθεί έναντι αστοχίας του σκυροδέματος εφόσον είναι τουλάχιστον ίση με τις συνιστώμενες τιμές των Πινάκα 5.7.

Στον Πίνακα 5.7 η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος καμπύλωσης προκύπτει συναρτήσει :

- της διαμέτρου  $\varnothing$  της υπό καμπύλωση ράβδου
- του πάχους της επικάλυψης κάθετη στον οπλισμό
- και της απόστασης των αξόνων των ράβδων

	S220	S400,S500
a>100mm και b>7Ø	10Ø	10Ø
a>50mm και b>3Ø	10Ø	15Ø
a≤50mm ή b≤3Ø	15Ø	20Ø
a : η επικάλυψη του σκυροδέματος και b : η απόσταση μεταξύ των αξόνων των ράβδων		

### Πίνακας 5.7 Ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης ράβδου

Ωστόσο, στον EC2 η διάμετρος του τυμπάνου δεν χρειάζεται να ελεγχθεί έναντι αστοχίας του σκυροδέματος εφόσον ισχύουν τα παρακάτω :

- η αγκύρωση της ράβδου δεν απαιτεί μεγαλύτερο μήκος από 5Ø πέραν του άκρου της καμπύλωσης
- η ράβδος δεν είναι τοποθετημένη επιφανειακά και υπάρχει μια ράβδος με διάμετρο  $\geq \emptyset$  εντός του καμπύλου μήκους
- η διάμετρος τυμπάνου είναι τουλάχιστον ίση με τις συνιστώμενες τιμές των Πινάκων 5.8a) και b).

Τα κριτήρια διάκρισης στους Πίνακες 5.8a) και b) αποτελούν η διάμετρος της ράβδου υπό καμπύλωση και η θέση της συγκολλησίμης ράβδου αντίστοιχα.

Διάμετρος ράβδου	Ελάχιστη διάμετρος τυμπάνου για καμπυλώσεις, μγκίστρα και βρόχους ράβδων και συρμάτων	Άγκιστρα	
		S220	S400 , S500
Ø ≤ 16 mm	4Ø	2.5Ø	4Ø
Ø > 16 mm	7Ø	5.0Ø	7Ø

### Πίνακες 5.8a) και b)

Όπως προαναφέρθηκε, η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος καμπύλωσης επηρεάζεται άμεσα από την μορφή της διάταξης των ράβδων μέσα στην διατομή, την απόσταση των αξόνων των ράβδων και την απόσταση από την εξωτερική παρειά της διατομής όπως παρατηρείται στον Πίνακα 5.7

Ειδικότερα στην περίπτωση αναβολέων οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ελκυστήρες η ελάχιστη διάμετρος D υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{D}{\varphi} = \left(0.5 + \frac{\varphi}{e}\right) * \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

όπου Ø η διάμετρος της ράβδου και e η απόσταση μεταξύ των στρώσεων των αναβολέων ή η εγκάρσια επικάλυψη σκυροδέματος των εξωτερικών στρώσεων.

Για την παραλαβή του εγκάρσιου οπλισμού απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιων οπλισμών τουλάχιστον 2Ø 6 , εκτός εάν παραλαμβάνεται με εγκάρσια θλίψη.

Ενώ κατά τον EC2, σε περίπτωση που δεν ισχύουν τα παραπάνω η διάμετρος τυμπάνου  $\emptyset_{m,min}$  πρέπει να αυξηθεί σύμφωνα με την ανίσωση :

$$\emptyset_{m,min} \geq F_{bt} \cdot \left( \frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\emptyset} \right) / f_{cd}$$

Όπου  $F_{bt}$  η εφελκυστική δύναμη υπό τα φορτία αστοχίας και  $a_b$  είναι το ήμισυ της απόστασης από κέντρο σε κέντρο μεταξύ των ράβδων κάθετα στο επίπεδο της καμπύλωσης. Το  $a_b$  μπορεί να λαμβάνεται ίσο με την επικάλυψη  $+ \phi/2$ .

Όσον αφορά τον υπολογισμό ελάχιστης διαμέτρου καμπύλωσης  $D_{curve}$  κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ δίνονται σχετικοί πίνακες. Ενώ στον EC2 τα δεδομένα της εφαρμογής είναι τα εξής :

- Καμπύλη αγκύρωση
- Χάλυβας κατηγορίας B500
- Σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25
- Διάμετρος της ράβδου είναι 18mm
- Η επικάλυψη παίρνει την τιμή  $c=1,5\phi=27\text{mm}$
- Η απόσταση των αξόνων των ράβδων είναι  $2\phi=36\text{mm}$

- Σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα ισχύει :

$$\phi_{m,min} = \frac{\pi\phi^2}{4} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} * \left[ \frac{1}{c + \frac{\phi}{2}} + \frac{1}{2\phi} \right] = \frac{\pi\phi}{4} * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{3.14\phi}{4} * \frac{500}{\frac{20}{1.5}} = 25.6\phi \approx 26\phi$$

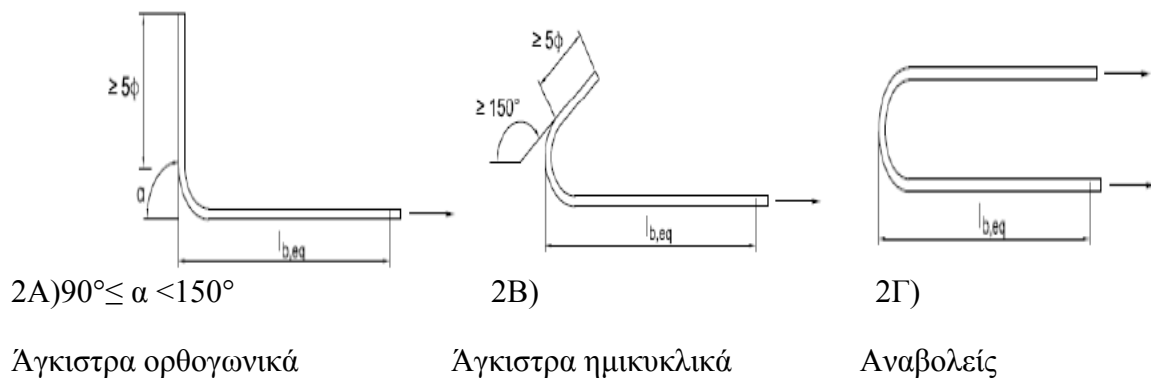
- Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ΕΚΩΣ για την ελάχιστη διάμετρο ισχύει :  $D_{curve,min}=20\phi$  , εφόσον  $a=27\text{mm} \leq 50\text{mm}$  και χάλυβας κατηγορίας B400

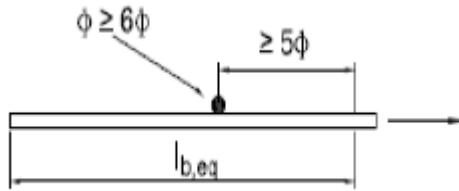
- Στην περίπτωση αναβολέων που χρησιμοποιούνται ως ελκυστήρες ισχύει :

$$D_{curve,min} = \phi * \left[ 0.5 + \frac{\phi}{e} \right] * \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \phi * \left[ 0.5 + \frac{\phi}{1.5\phi} \right] * \frac{500}{\frac{30}{1.5}} = \phi * 1.17 * 32.61 = 38.15\phi$$

Στο θέμα της αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων και για τον Ε.Κ.Ω.Σ, για την αποφυγή ρηγματώσεων απαιτείται η αγκύρωση των οπλισμών. Η κατάλληλη μορφή αγκύρωσης για κάθε περίπτωση δίνεται στον πίνακα 5.5.

Αντιθέτως, στον EC2, η αγκύρωση του οπλισμού είναι απαραίτητη για την ασφαλή μεταβίβαση των δυνάμεων συνάφειας στο σκυρόδεμα χωρίς την εμφάνιση ρηγματώσης. Οι μέθοδοι αγκύρωσης δίνονται στο σχήμα 5.4.





3)

Συγκόλληση εγκάρσιου οπλισμού

4)

Αγκυρώσεις με πρόσθετα μέσα

### Σχήμα 5.4 Τύποι αγκυρώσεων σύμφωνα με τον EC2

Για την οριακή τάση συνάφειας στη συνέχεια, ως προς τον Ε.Κ.Ω.Σ, για ράβδους υψηλής συνάφειας είναι:

$$f_{bd} = 2.25 * f_{ctk,0.05} / \gamma_c$$

Επίσης, γίνεται αναφορά και σε λείες ράβδους αλλά οι διατάξεις του Ευρωκώδικα δεν επιτρέπουν την χρήση χάλυβα χωρίς νευρώσεις.

Στον Ευρωκώδικα αντίστοιχα, η οριακή τάση συνάφειας σχεδιασμού  $f_{bd}$  για ράβδους με νευρώσεις είναι ίση με:

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

$\eta_1$  είναι συντελεστής που έχει σχέση με την ποιότητα των συνθηκών συνάφειας και τη θέση της ράβδου κατά την σκυροδέτηση. Συγκεκριμένα:

$\eta_1 = 1,0$  για ευνοϊκές συνθήκες

$\eta_1 = 0,7$  για όλες τις άλλες περιπτώσεις και για ράβδους σε δομικά στοιχεία κατασκευασμένα με ολισθαίνοντες ξυλότυπους

-  $\eta_2$  σχετίζεται με την διάμετρο των ράβδων:

$\eta_2 = 1,0$  για  $\phi \leq 32\text{mm}$

$\eta_2 = (132 - \phi) / 100$  για  $\phi > 32\text{mm}$

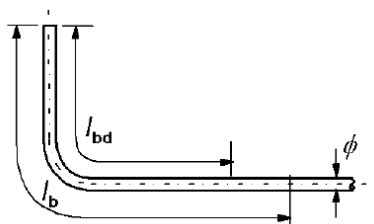
-  $f_{ctd} = a_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c$

Παράλληλα, στον Ε.Κ.Ω.Σ αναφέρεται πως η ανάπτυξη και μεταβίβαση των τάσεων συνάφειας ικανοποιείται με ελάχιστη επικάλυψη  $\phi + 10\text{mm}$  ή  $20\text{mm}$ , ενώ στον EC2 δεν αναφέρεται κάτι σχετικό.

Για το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού εν συνεχεία, στον Ε.Κ.Ω.Σ δεν γίνεται λόγος ούτε για το μήκος σχεδιασμού ούτε για ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης του Ευρωκώδικα. Δίνεται όμως το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης  $l_{b,net}$ , το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$l_{b,net} = \alpha * l_b (A_{s,req} / A_{s,prov}) \geq l_{b,min}$  (οι τιμές του  $\alpha$  δόθηκαν στο αντίστοιχο κεφάλαιο).

Το  $l_{b,net}$  είναι εν γένει ευθύγραμμο, στην περίπτωση όμως καμπύλων αγκυρώσεων επιτρέπεται να συνυπολογίζεται σε αυτό τόσο το καμπύλο τμήμα όσο και το ευθύγραμμο τμήμα πέραν αυτού.



Παρατηρείται ότι το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης εξαρτάται από τον τύπο αγκύρωσης όπως και από τον λόγο του απαιτούμενο προς τον διατεθειμένο οπλισμό.

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού τώρα ως προς τον EC2,  $l_{bd}$  υπολογίζεται ως εξής:

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

όπου τα  $\alpha_i$  είναι συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 5.9. Σύμφωνα με τον Πίνακα το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού εξαρτάται από τη μορφή των ράβδων, τον τύπο αγκύρωσης, την επικάλυψη του σκυροδέματος και το είδος περίσφιξης.

Παράγοντας	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Επιρροής			
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 6.1: 2Α, 2Β, και 2Γ)	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $cd > 3\Phi$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 6.4 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15(cd - \Phi) / \Phi \geq 0,7 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 6.1: 2Α, 2Β, και 2Γ)	$\alpha_2 = 1 - 0,15(cd - 3\Phi) / \Phi \geq 0,7 \leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 6.4 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_2 = 1,0$
Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - K_l \geq 0,7 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 6.1 :3	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$



Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04p \geq 0,7 \leq 1,0$	-
<p>Όπου :</p> $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st, \min}) / A_s$ <p><math>\Sigma A_{st}</math> :εμβαδόν διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού <math>l_{bd}</math>  <math>\Sigma A_{st, \min}</math>: εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού  <math>A_s</math> :εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο  <math>K</math> :συντελεστής με τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 6.5  <math>p</math> εγκάρσια πίεση [MPa] στη κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του <math>l_{bd}</math></p>			

### Πίνακας 5.9: Τιμές των συντελεστών $\alpha_1$ , $\alpha_2$ , $\alpha_3$ , $\alpha_4$ και $\alpha_5$

Αντί του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά το ισοδύναμο μήκος αγκύρωσης  $l_{b,eq}$  το οποίο δεν αναφέρεται στον Ε.Κ.Ω.Σ 2000.

Στη συνέχεια, για την αγκύρωση συνδετήρων και οπλισμού διάτμησης, ο Ε.Κ.Ω.Σ αναφέρει πως εξασφαλίζεται μέσω της διαμόρφωσης καμπύλων άκρων, αγκίστρων και εγκάρσιων οπλισμών. Δεν είναι αναγκαία σε κάθε περίπτωση η τοποθέτηση διαμήκους οπλισμού.

Σε αντίθεση με τον EC2, η αγκύρωση συνδετήρων εξασφαλίζεται με την διαμόρφωση καμπύλου άκρου, αγκίστρου και την συγκόλληση εγκάρσιων οπλισμών. Απαιτείται σε κάθε περίπτωση η ύπαρξη διαμήκους οπλισμού μέσα στο άγκιστρο ή το καμπύλο τμήμα.

Όσον αφορά την αγκύρωση με συγκόλληση ράβδων, όπου δεν γίνεται λόγος στον Ε.Κ.Ω.Σ, ο Ευρωκώδικας αναφέρει τα παρακάτω:

- η αγκύρωση του οπλισμού μπορεί να ενισχυθεί με εγκάρσιο συγκολλημένο οπλισμό
- η φέρουσα ικανότητα της αγκύρωσης μέσω της συγκολλημένης ράβδου (με διάμετρο από 14mm-32mm) είναι ίση με:  

$$F_{bt} = I_{td} \phi_t \sigma_{td} \leq F_{wd}$$
- εάν 2 ράβδοι ίδιου μεγέθους είναι συγκολλημένες αντιδιαμετρικά στην υπό αγκύρωση ράβδο, η φέρουσα ικανότητα που προκύπτει από την παραπάνω σχέση μπορεί να διπλασιαστεί εφόσον η εξωτερική επικάλυψη πληροί τις προϋποθέσεις του Κεφαλαίου 4 (Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και επικάλυψη οπλισμών του EC2)
- εάν 2 ράβδοι είναι συγκολλημένοι στην ίδια πλευρά με ελάχιστη απόσταση  $3\phi$ , η φέρουσα ικανότητα μπορεί να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή 1,41.
- Για ράβδους με διάμετρο έως και 12mm η φέρουσα ικανότητα της αγκύρωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{btd}=F_{wd}\leq 16A_s f_{cd} \Phi_t / \Phi_1$$

Προχωρώντας τώρα στις ενώσεις με υπερκάλυψη, ο Ε.Κ.Ω.Σ αναφέρει ότι πρέπει να διατάσσονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

- η καθαρή απόσταση μεταξύ ζεύγους υπερκαλυπτόμενων ράβδων πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από  $4\Phi$ , αλλιώς το μήκος υπερκάλυψης θα πρέπει να αυξηθεί κατά  $(\kappa-4)\Phi$  όπου  $\kappa > 4$  και  $\kappa\Phi$  είναι η πραγματική απόσταση μεταξύ των ράβδων
- η διαμήκης απόσταση μεταξύ 2 γειτονικών ενώσεων πρέπει να μην είναι μικρότερη από  $0,3l_0$  ( $l_0$  μήκος υπερκάλυψης)
- σε περίπτωση γειτονικών ενώσεων, η καθαρή απόσταση μεταξύ γειτονικών ράβδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $\Phi$  ή 20mm.

Εν αντιθέσει ο EC2 αναφέρει πως ενώσεις με υπερκάλυψη πρέπει να διατάσσονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

- η καθαρή απόσταση μεταξύ ζεύγους υπερκαλυπτόμενων ράβδων πρέπει να μην είναι μεγαλύτερη από  $4\Phi$  ή 50mm, αλλιώς το μήκος υπερκάλυψης θα πρέπει να αυξηθεί κατά  $\geq 4\Phi$  (καθαρός αριθμός) ή 50mm
- η διαμήκης απόσταση μεταξύ 2 γειτονικών ενώσεων πρέπει να μην είναι μικρότερη από  $0,3l_0$  ( $l_0$  μήκος υπερκάλυψης)
- σε περίπτωση γειτονικών ενώσεων, η καθαρή απόσταση μεταξύ γειτονικών ράβδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από  $2\Phi$  ή 20mm.

Για τον υπολογισμό τώρα του μήκους υπερκάλυψης ο Ε.Κ.Ω.Σ έχει:

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

οι τιμές των  $\alpha_1$  προκύπτουν από τον πίνακα 5.10 (εκτός των απο την σύγκριση που προσφέρει ανάμεσα Ε.Κ.Ω.Σ 2000 και EN-1992-1-1)

Ποσοστό υπερκαλυπτόμενων ράβδων	Θέση ράβδων	EN1992-1-1 $\alpha_s$	ΕΚΩΣ $\alpha_1$
20%	$a \leq 10\Phi$ είτε $b \leq 5\Phi$	1.0	1.2
	$a > 10\Phi$ και $b > 5\Phi$	1.0	1.0
25%	$a \leq 10\Phi$ είτε $b \leq 5\Phi$	1.0	1.4
	$a > 10\Phi$ και $b > 5\Phi$	1.0	1.1
33%	$a \leq 10\Phi$ είτε $b \leq 5\Phi$	1.15	1.6
	$a > 10\Phi$ και $b > 5\Phi$	1.15	1.2
50%	$a \leq 10\Phi$ είτε $b \leq 5\Phi$	1.4	1.8
	$a > 10\Phi$ και $b > 5\Phi$	1.4	1.3
>50%	$a \leq 10\Phi$ είτε $b \leq 5\Phi$	1.5	2.0
	$a > 10\Phi$ και $b > 5\Phi$	1.5	1.4

### Πίνακας 5.10: Σύγκριση συντελεστών $\alpha_6$ και $\alpha_1$

$$l_{0,\min} > \max\{0.3^{\alpha_1} \alpha_1 l_b, 15\phi, 200\text{mm}\}$$

Για τον Ευρωκώδικα τώρα το μήκος υπερκάλυψης υπολογίζεται ως εξής:

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

$$l_{0,\min} > \max\{0.3 \alpha_6 l_{b,\text{reqd}}, 15\phi, 200\text{mm}\}$$

Ο συντελεστής  $\alpha_6$  προκύπτει σύμφωνα με τον πίνακα 5.10.

Παρατηρείται ότι οι συντελεστές  $\alpha_6$  του σχετικού κανονισμού του Ευρωκώδικα και  $\alpha_1$  του Ελληνικού Κανονισμού για τον προσδιορισμό του μήκους υπερκάλυψης εξαρτώνται από το ποσοστό των υπερκαλυπτόμενων ράβδων σε μια θέση σε σχέση με το συνολικό εμβαδό του χάλυβα. Με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των διαφορών τους συντάχθηκε ο πίνακας 5.10.

Σύμφωνα με αυτόν τον πίνακα διαμορφώνεται και το αντίστοιχο διάγραμμα 5.6

Σχετικά τώρα με τις δέσμες ράβδων, στον Ε.Κ.Ω.Σ αναφέρεται ότι δέσμες ράβδων επιτρέπονται για ράβδους με διαμέτρους  $\phi \leq 28\text{mm}$ . Οι ράβδοι μιας δέσμης πρέπει να έχουν την ίδια διάμετρο και χαρακτηριστικά.

Ενώ στον Ευρωκώδικα, σε μία δέσμη όλες οι ράβδοι πρέπει να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά (κατηγορία και αντοχή). Ράβδοι διαφορετικών μεγεθών πρέπει ο λόγος τους να μην ξεπερνά το 1,7 για να αποτελέσουν δέσμη.

Επίσης, δύο ράβδοι σε επαφή, εφόσον τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη και οι συνθήκες συνάφειας είναι καλές δεν θεωρούνται δέσμη. Ενώ στην περίπτωση ράβδων σε επαφή στην άνω ίνα (δυσμενείς συνθήκες) μεσαίας στήριξης δοκού θεωρούνται δέσμη. Στον Ε.Κ.Ω.Σ δε γίνεται παρόμοιος λόγος.

Για την αγκύρωση δεσμών ράβδων, δε γίνεται λόγος στον Ε.Κ.Ω.Σ για την καταλληλότητα των θέσεων περάτωσης των δεσμών ράβδων, ενώ στον EC2 δέσμες ράβδων υπό εφελκυσμό μπορούν να περατώνονται πάνω από ακραίες και ενδιάμεσες στηρίξεις.

Οι ράβδοι μιας δέσμης πρέπει να ακυρώνονται μεμονωμένα και να τελειώνουν κατά αποστάσεις σε κάθε περίπτωση. Η απόσταση περάτωσης των ράβδων ορίζεται ως εξής :

- δέσμη 2 ράβδων / 1.2 φορές το μήκος αγκύρωσης
- δέσμη 3 ράβδων / 1.3 φορές το μήκος αγκύρωσης
- δέσμη 4 ράβδων / 1.4 φορές το μήκος αγκύρωσης

Κατά τον Ευρωκώδικα, δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο  $< 32\text{mm}$  μπορούν να περατώνονται κοντά σε μία στήριξη χωρίς την απαίτηση διαδοχικής περάτωσης. Ενώ δέσμες με ισοδύναμη διάμετρο  $\geq 32\text{mm}$  που περατώνονται κοντά σε στήριξη πρέπει να διακόπτονται διαδοχικά .

Παράλληλα, Δέσμες ράβδων υπό θλίψη μπορούν να αγκυρωθούν χωρίς διαδοχική διακοπή των ράβδων. Στα άκρα δεσμών με ισοδύναμη διάμετρο  $\geq 32\text{mm}$

απαιτούνται τουλάχιστον 4 εγκάρσιοι σύνδεσμοι διαμέτρου  $\geq 12\text{mm}$ . Στο τέλος του άκρου απαιτείται άλλος ένας σύνδεσμος. Ενώ στον Ε.Κ.Ω.Σ δε γίνεται λόγος.

Οι ενώσεις με υπερκάλυψη των δεσμών γίνεται μεμονωμένα σε κάθε ράβδο κατά τον Ε.Κ.Ω.Σ.

Οι ράβδοι μπορούν να ενωθούν ανάλογα με την περίπτωση μεμονωμένα ή ομαδικά.

Επίσης, σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ δεν επιτρέπεται να ενωθούν σε μια θέση όλοι οι ράβδοι μιας δέσμης.

Για τον EC2, για δέσμες που αποτελούνται από 2 ράβδους με ισοδύναμη διάμετρο  $< 32\text{mm}$  οι ράβδοι μπορούν να ενωθούν χωρίς διαδοχική περάτωση. Το μήκος υπερκάλυψης υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 8.7.3 εισάγοντας την ισοδύναμη διάμετρο

Τέλος, στον Ε.Κ.Ω.Σ επιτρέπεται το μάτισμα δεσμών μέχρι και 4 ράβδων ενώ δεν γίνεται λόγος για πρόσθετη ράβδο στη θέση της ένωσης.

Ενώ στον Ευρωκώδικα για δέσμες που αποτελούνται από 2 ράβδους με ισοδύναμη διάμετρο  $\geq 32\text{mm}$  ή από 3 ράβδους, πρέπει οι μεμονωμένες ράβδοι να διακόπτονται διαδοχικά ανά αποστάσεις  $1,3 l_0$  ( $l_0$  προκύπτει από την εκάστοτε διάμετρο της ράβδου). Για την περίπτωση αυτή μια πρόσθετη ράβδος χρησιμοποιείται για την υπερκάλυψη. Καθώς απαγορεύεται να υπάρχουν κατά μήκος μιας υπερκάλυψης παραπάνω από 4 ράβδοι, οι δέσμες με περισσότερες από 3 ράβδους δεν επιτρέπεται να ματίζονται.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000
- Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια
- Από τον Ε.Κ.Ω.Σ 2000 στο νέο Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ευρωκώδικα 2. Εκδόσεις Ν.Κ., Αριστείδης Γ. Παπαχρηστίδης/Ελένη Μ. Παγώνη, Αθήνα 2007
- Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, Τόμος Α, Θεοφάνης Α. Γεωργόπουλος, Πάτρα 2004
- Ημερίδα με θέμα τους Ευρωκώδικες. Ευρωκώδικας EN 1992-1-1:Σχεδιασμός φέρουσων κατασκευών από σκυρόδεμα, Κ.Γ.Τρέζος, Ρέθυμνο 2009
- Ημερίδα με θέμα: Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα με βάση τον Ευρωκώδικα 2, Ειρήνη Κανιτάκη, Αθήνα 2008
- Διαμόρφωση και λεπτομέρειες όπλισης δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, Ιγνατάκης Χρήστος, Θεσσαλονίκη 2006.