

# Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα

## Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια

### Κεφάλαιο 7

#### Διαφάνειες παρουσίασης εκπαιδευτικών σεμιναρίων

Γεώργιος Πενέλης, ομότιμος καθηγητής Α.Π.Θ.  
Ανδρέας Κάππος, καθηγητής Α.Π.Θ.  
Χρήστος Ιγνατάκης, καθηγητής Α.Π.Θ.  
Αναστάσιος Σέξτος, επίκουρος καθηγητής Α.Π.Θ.



27/11/2009

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

1

## Ευρωκώδικας 2 - Μέρος 1-1

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

2

## Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Καλύπτονται τρεις καταστάσεις λειτουργικότητας:

1. **Περιορισμός θλιπτικών τάσεων** του σκυροδέματος και των εφελκυστικών τάσεων του χάλυβα.
2. **Έλεγχος ρηγμάτωσης**: Καθορισμός του μέγιστου εύρους ρωγμής ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος και τον τύπο του σκυροδέματος, ειδικότερα:
  - καθορισμός του ελάχιστου ποσοστού εφελκυσμένου οπλισμού.
  - έλεγχος της ρηγμάτωσης χωρίς άμεσο υπολογισμό του εύρους ρωγμής (απαλλακτικοί κανόνες).
  - αναλυτικός υπολογισμός του εύρους ρωγμής.
3. **Έλεγχος παραμορφώσεων**:
  - απαλλαγή από τον έλεγχο βέλους κάμψεως.
  - αναλυτικός υπολογισμός βελών κάμψεως.

3

## Περιορισμός τάσεων

- Η θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα πρέπει να περιορίζεται ώστε να αποφεύγεται η διαμήκης ρηγμάτωση, η μικρο-ρηγμάτωση, ή τα υψηλά επίπεδα ερπυσμού, όπου αυτά μπορεί να επιφέρουν μη ανεκτές συνέπειες στη λειτουργία της κατασκευής.
- Διαμήκης ρηγμάτωση μπορεί να συμβεί όταν η στάθμη της τάσης υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων υπερβαίνει μια κρίσιμη τιμή.
- Αν η τάση στο σκυρόδεμα υπό τις οιονεί-μόνιμες δράσεις είναι μικρότερη της  $k_2 f_{ck}$ , μπορεί να γίνει η παραδοχή γραμμικού ερπυσμού. Αν η τάση στο σκυρόδεμα υπερβαίνει την  $k_2 f_{ck}$ , πρέπει να γίνει η παραδοχή μη-γραμμικού ερπυσμού σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3, όπου  $k_2 = 0.45$ .
- Η μη ανεκτή ρηγμάτωση ή παραμόρφωση αποφεύγεται εφόσον, υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων, η εφελκυστική τάση στον οπλισμό δεν υπερβαίνει την τιμή  $k_3 f_{yk}$ . Όταν η τάση προέρχεται από επιβαλλόμενη παραμόρφωση, η εφελκυστική τάση δεν πρέπει υπερβαίνει την τιμή  $k_4 f_{yk}$ . Η μέση τάση στους τένοντες προέντασης δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή  $k_5 f_{pk}$ , όπου  $k_3 = 0.80$ ,  $k_4 = 1.00$  και  $k_5 = 0.75$ .

4

## Περιορισμός της ρηγμάτωσης

- Η ρηγμάτωση πρέπει να περιορίζεται σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην παρεμποδίζει την ομαλή λειτουργία, να μην επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε διάρκεια μιας κατασκευής, ή να οδηγεί σε μη-αποδεκτό αισθητικό αποτέλεσμα σε σχέση με την εμφάνισή της.
- Η εμφάνιση ρηγμάτων είναι συνήθης στις κατασκευές από σκυρόδεμα που υπόκεινται σε κάμψη, διάτμηση, στρέψη, ή εφελκυσμό που προέρχεται είτε από άμεση φόρτιση είτε από παρεμπόδιση των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων.
- Πρέπει να καθορίζεται μια υπολογιστική τιμή του ανεκτού εύρους ρήγματος,  $W_{max}$ , λαμβάνοντας υπόψη την προτεινόμενη λειτουργία και τη φύση της κατασκευής, καθώς και το κόστος του περιορισμού της ρηγμάτωσης.

5

## Περιορισμός της ρηγμάτωσης

Συνιστώμενη υπολογιστική τιμή του ανεκτού εύρους ρήγματος,  $W_{max}$  (mm)

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

6

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (1/8)

απαιτείται ένα **ελάχιστο ποσοστό ενσωματωμένου οπλισμού** για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης σε περιοχές όπου αναμένεται να αναπτυχθεί εφελκυσμός:

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

όπου:

$A_{s,min}$  = το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού της εφελκυσόμενης ζώνης.

$A_{ct}$  = το εμβαδόν του σκυροδέματος της εφελκυσόμενης ζώνης (το τμήμα της διατομής που βρίσκεται υπό εφελκυσμό αμέσως πριν την εμφάνιση της ρηγμάτωσης).

$\sigma_s$  = η απόλυτη τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης του οπλισμού αμέσως μετά την εμφάνιση της ρηγμάτωσης (συνήθως ίση προς το όριο διαρροής του οπλισμού  $f_{yk}$ ).

$f_{ct,eff}$  = η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος που ισχύει τη στιγμή που τα ρήγματα αναμένεται να δημιουργηθούν για πρώτη φορά:  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$  ή χαμηλότερη, ( $f_{ctm}(t)$ ), αν η ρηγμάτωση αναμένεται να συμβεί πριν τις 28 ημέρες

7

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (2/8)

απαιτείται ένα **ελάχιστο ποσοστό ενσωματωμένου οπλισμού** με συνάφεια για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης σε περιοχές όπου αναμένεται να αναπτυχθεί εφελκυσμός:

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

όπου:

$k$  = συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή των ανομοιομορφων αυτό-ισορροπούμενων τάσεων που οδηγούν σε μείωση των δυνάμεων που προκύπτουν λόγω παρεμπόδισης της παραμόρφωσης.

□  $k = 1.0$  για κορμούς με  $h \leq 300 \text{ mm}$  ή πέλματα με πλάτος πτερυγίων  $< 300 \text{ mm}$

□  $k = 0.65$  για κορμούς με  $h \geq 800 \text{ mm}$  ή πέλματα με πλάτος πτερυγίων  $> 800 \text{ mm}$ , και για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να γίνεται παρεμβολή

8

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (3/8)

απαιτείται ένα **ελάχιστο ποσοστό οπλισμού** με συνάφεια για τον έλεγχο της ρηγμάτωσης σε περιοχές όπου αναμένεται να αναπτυχθεί εφελκυσμός:

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

όπου:

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

- για καθαρό εφελκυσμό  $k_c = 1.0$
- για καθαρή κάμψη ή κάμψη με ορθή δύναμη:

$$k_c = 0,4 \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1(h/h^*)f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad \text{ορθογωνικές διατομές και κορμούς πλακοδοκών ή κιβωτιοειδών διατομών}$$

$$k_c = 0,9 \frac{F_{cr}}{A_{ct} f_{ct,eff}} \geq 0,5 \quad \text{πέλματα πλακοδοκών ή κιβωτιοειδών διατομών}$$

$\sigma_c, h, h^*, k_1, F_{cr}$  σύμφωνα με την 7.3.2

9

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (4/8)

**Ενσωματωμένοι τένοντες** με συνάφεια που βρίσκονται στην εφελκυσμένη ζώνη μπορεί να θεωρηθεί ότι συμβάλλουν στον περιορισμό της ρηγμάτωσης εντός μιας απόστασης  $\leq 150$  mm από το κέντρο του τένοντα. Αυτή η συμβολή μπορεί να ληφθεί μέσω της τροποποιημένης σχέσης:

$$A_{s,min} \sigma_s + \xi_1 A_p' \Delta \sigma_p = k_c k f_{ct,eff} A_{ct}$$

όπου:

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

$\Delta \sigma_p$  = η μεταβολή της τάσης στους τένοντες προέντασης σε σχέση με την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (5/8)

$$\xi_1 = \text{ανηγμένος λόγος αντοχών σε συνάφεια} = \sqrt{\xi \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$$

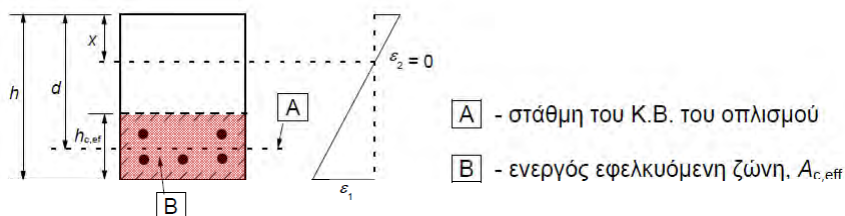
χάλυβας προέντασης	ξ = λόγος αντοχών συνάφειας τενόντων / χαλαρών οπλισμών		
	τάνυση πριν την έγχυση	Με ενσωμάτωση, τάνυση μετά τη σκλήρυνση	
		≤ C50/60	≥ C70/85
λείες ράβδοι και σύρματα	Δεν ισχύει	0,3	0,15
συρματόσχοινα	0,6	0,5	0,25
σύρματα με οδόντωση	0,7	0,6	0,3
ράβδοι με νευρώσεις	0,8	0,7	0,35

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

- $\phi_s$  = η μέγιστη διάμετρος του χαλαρού οπλισμού
- $\phi_p$  = η διάμετρος, ή η ισοδύναμη διάμετρος, του χάλυβα προέντασης
  - $\phi_p = 1,6 \sqrt{A_p}$  για δέσμες
  - $\phi_p = 1,75 \phi_{wire}$  για μεμονωμένα επτάκλινα συρματόσχοινα όπου  $\phi_{wire}$  είναι η διάμετρος του σύρματος
  - $\phi_p = 1,20 \phi_{wire}$  για μεμονωμένα τρίκλινα συρματόσχοινα όπου  $\phi_{wire}$  είναι η διάμετρος του σύρματος

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (6/8)

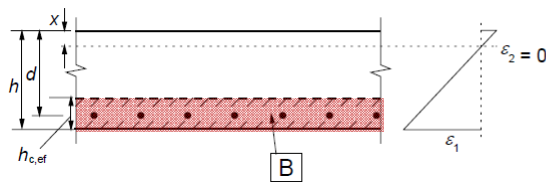
$A_{c,eff}$  = η ενεργός επιφάνεια του εφελκόμενου σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό ή τους τένοντες προέντασης, ύψους  $h_{c,eff}$ , όπου  $h_{c,eff}$  είναι η μικρότερη από τις τιμές  $2,5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$  και  $h/2$



a) Δοκός

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (7/8)

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

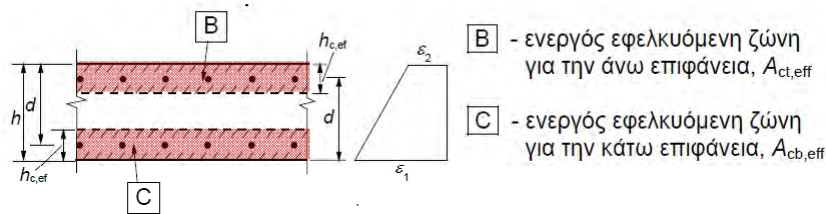


b) Πλάκα

**B** - ενεργός εφελκόμενη ζώνη,  $A_{c,eff}$

## Απαιτούμενος ελάχιστος οπλισμός (8/8)

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



c) Στοιχείο υπό εφελκισμό

**B** - ενεργός εφελκόμενη ζώνη για την άνω επιφάνεια,  $A_{ct,eff}$

**C** - ενεργός εφελκόμενη ζώνη για την κάτω επιφάνεια,  $A_{cb,eff}$

## Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς (1/5)

Σε οπλισμένες ή προεντεταμένες πλάκες κτιρίων, υπό κάμψη χωρίς σημαντική εφελκυστική δύναμη, δεν απαιτούνται ειδικά μέτρα για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης όταν το συνολικό πάχος των πλακών δεν ξεπερνά τα **200 mm** και έχουν τηρηθεί οι απαιτήσεις του Κεφαλαίου 9.

Εφόσον διατίθενται οι ελάχιστοι οπλισμοί (βλέπε 7.3.2) και η ρηγμάτωση οφείλεται κυρίως στην φόρτιση, τα εύρη των ρωγμών δεν αναμένεται να είναι υπερβολικά όταν η **απόσταση των ράβδων** δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή του Πίνακα 7.3, είτε η διάμετρος των ράβδων δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή του Πίνακα 7.2 :

7.3: Μέγιστη απόσταση ράβδων για περιορισμό της ρηγμάτωσης<sup>1</sup>

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

## Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς (2/5)

Εφόσον διατίθενται οι ελάχιστοι οπλισμοί (βλέπε 7.3.2) και η ρηγμάτωση οφείλεται κυρίως σε καταναγκασμό, τα εύρη των ρωγμών δεν αναμένεται να είναι υπερβολικά όταν η **διάμετρος των ράβδων** δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή του Πίνακα 7.2:

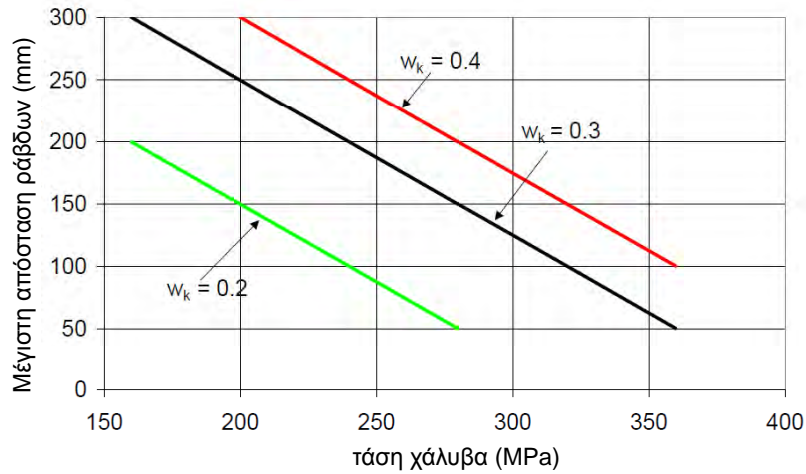
7.2: Μέγιστες διαμέτροι ράβδων  $\phi_s$  για περιορισμό της ρηγμάτωσης<sup>1</sup>

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

**Σημειώσεις:** 1. Οι τιμές του Πίνακα βασίζονται στις εξής παραδοχές:  
 $c = 25\text{mm}$ ;  $f_{ct,eff} = 2,9\text{MPa}$ ;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h-d) = 0,1h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  
 $k_t = 0,4$  και  $k' = 1,0$

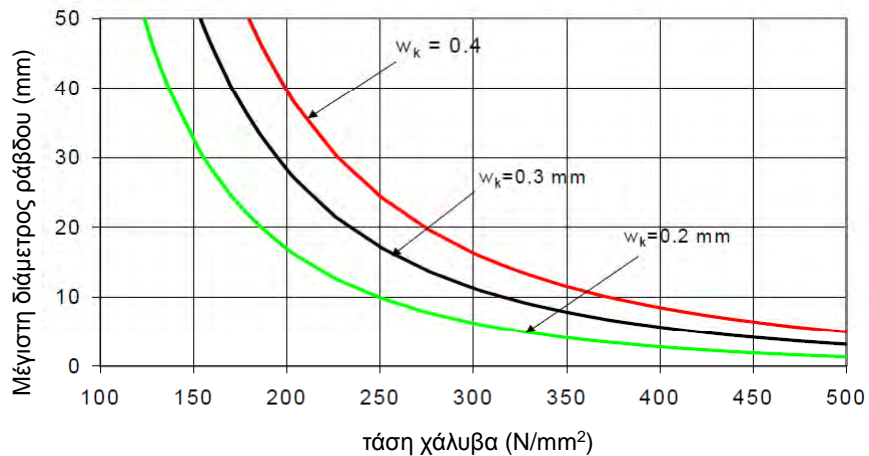


## Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς (3/5)



J.C. Walraven (2008) "Eurocode 2: Design of concrete structures EN1992-1-1",  
Symposium Eurocodes: Backgrounds and Applications, Brussels 18-20 February 2008

## Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς (4/5)



J.C. Walraven (2008) "Eurocode 2: Design of concrete structures EN1992-1-1",  
Symposium Eurocodes: Backgrounds and Applications, Brussels 18-20 February 2008

## Έλεγχος ρηγμάτωσης χωρίς υπολογισμούς (5/5)

Η **μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων** πρέπει να τροποποιείται ως εξής:

□ **Κάμψη** (τμήμα, τουλάχιστον, της διατομής υπό θλίψη)  $\phi_s = \phi_s^* (f_{ct,eff}/2,9) \frac{k_c h_{cr}}{2 (h-d)}$

□ **Εφελκυσμός** (ολόκληρη η διατομή εφραλκύεται)  $\phi_s = \phi_s^* (f_{ct,eff}/2,9) h_{cr}/(8(h-d))$

όπου:

$\phi_s$  = η ανηγμένη μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος ράβδων

$\phi_s^*$  = η μέγιστη διάμετρος ράβδων που δίνεται στον προηγούμενο Πίνακα

$h$  = το ολικό ύψος της διατομής

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

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

## Υπολογισμός του εύρους ρωγμής (1/4)

Το **εύρος ρωγμής**  $w_k$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

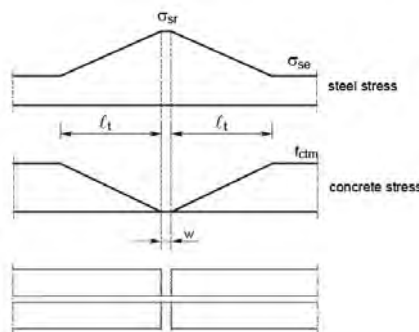
$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

όπου:

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

$\epsilon_{sm}$  = η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού υπό τον κατάλληλο συνδυασμό δράσεων, περιλαμβάνοντας και την επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων καθώς και τη συμβολή του εφελκυσμένου σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών στη δυσκαμψία.

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



## Υπολογισμός του εύρους ρωγμής (2/4)

Το εύρος ρωγμής  $w_k$  μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

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

όπου:

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  = μπορεί να υπολογιστεί από την έκφραση:

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

- $\sigma_s$  = η τάση στον εφελκόμενο οπλισμό, που προκύπτει με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής. Σε στοιχεία με προένταση πριν τη διάστρωση,  $\sigma_s = \Delta\sigma_p$ .
- $\alpha_e = E_s/E_{cm}$
- $\rho_{p,eff} = A_s + \xi_1^2 A_p' / A_{c,eff}$
- $A_p', A_{c,eff}, \xi_1$  όπως προηγουμένως
- $k_t$  = συντελεστής που εξαρτάται από τη διάρκεια της φόρτισης  
= 0.6 για βραχυχρόνια φόρτιση και 0.4 για μακροχρόνια φόρτιση

## Υπολογισμός του εύρους ρωγμής (3/4)

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των ρωγμών ( $s_{r,max}$ ) μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

α. όταν οι οπλισμοί στην εφελκόμενη ζώνη βρίσκονται σε σχετικά μικρές αποστάσεις μεταξύ τους ( $\leq 5(c+\emptyset/2)$ )

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

- $\phi$  = η διάμετρος της ράβδου. Όταν χρησιμοποιείται ποικιλία διαμέτρων, εισάγεται μια ισοδύναμη διάμετρος,  $\phi_{eq}$ . Για μια διατομή με  $n_1$  ράβδους, διαμέτρου  $\phi_1$  και  $n_2$  ράβδους διαμέτρου  $\phi_2$ :

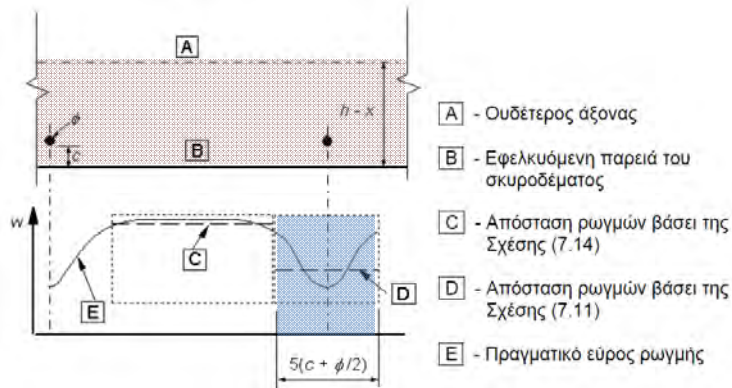
$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \phi_1^2 + n_2 \phi_2^2}{n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2}$$

- $c$  = η επικάλυψη του διαμήκου οπλισμού
- $k_1$  = συντελεστής συνάφειας του οπλισμού = 0.8 για ράβδους υψηλής συνάφειας και 1.6 για πρακτικώς λείες ράβδους
- $k_2$  = συντελεστής κατανομής παραμορφώσεων = 0.5 για κάμψη και 1.0 για καθαρό εφελκυσμό. Για έκκεντρο εφελκυσμό  $k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2\varepsilon_1$
- $k_3, k_4$  = συντελεστές ίσοι προς 3.4 και 0.425

## Υπολογισμός του εύρους ρωγμής (4/4)

β. όταν οι αποστάσεις μεταξύ των ράβδων υπερβαίνουν την τιμή  $5(c+\phi/2)$  (βλέπε σχήμα) ή όταν δεν υπάρχει οπλισμός ενσωματωμένος στην εφελκόμενη ζώνη, ένα άνω όριο για το εύρος ρωγμής προτείνεται από την έκφραση:

$$s_{r,max} = 1.3 (h-x)$$



- A - Ουδέτερος άξονας
- B - Εφελκόμενη παρειά του σκυροδέματος
- C - Απόσταση ρωγμών βάσει της Σχέσης (7.14)
- D - Απόσταση ρωγμών βάσει της Σχέσης (7.11)
- E - Πραγματικό εύρος ρωγμής

## Περιορισμός των παραμορφώσεων (1/3)

### Γενικές αρχές

- Η εμφάνιση και η λειτουργικότητα της κατασκευής βλάπτεται όταν η βύθιση δοκού, πλάκας ή προβόλου υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία υπερβεί το **1/250** του ανοίγματος. Επιτρέπεται να εφαρμοστεί υπερύψωση ξυλοτύπου το πολύ κατά το **1/250** του ανοίγματος.
- Βλάβες σε μη φέροντα στοιχεία ενδέχεται να εμφανιστούν όταν, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, η βύθιση υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία υπερβεί το **1/500** του ανοίγματος, ή άλλη κατάλληλη τιμή ανάλογα με την ευαισθησία των στοιχείων.

## Περιορισμός των παραμορφώσεων (2/3)

Απαλλαγή από τον υπολογισμό των παραμορφώσεων:  
Σε πλάκες και δοκούς με λόγο ανοίγματος / ύψος ( $l/d$ ) μικρότερο των παρακάτω ορίων δεν απαιτείται υπολογιστικός έλεγχος των παραμορφώσεων

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

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

όπου:

- $l/d$  = ο επιτρεπόμενος λόγος ανοίγματος προς ύψος
- $K$  = συντελεστής που εξαρτάται από το δομικό σύστημα (βλέπε πίνακα)
- $\rho_0$  = το ποσοστό οπλισμού αναφοράς =  $\sqrt{f_{ck}} 10^{-3}$
- $\rho$  = το απαιτούμενο ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού για την παραλαβή της ροπής σχεδιασμού στο μέσον του ανοίγματος (στη στήριξη για πρόβολο)
- $\rho'$  = το αντίστοιχο απαιτούμενο ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού

## Περιορισμός των παραμορφώσεων (3/3)

Πίνακας 7.4N: Βασικοί λόγοι ανοίγματος προς στατικό ύψος για στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς αξονική σύνθλιψη

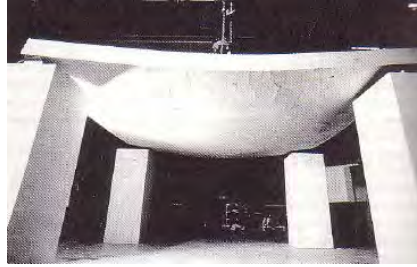
Δομικό σύστημα	K	l/h: ισχυρή καταπόνηση σκυροδέματος ( $\rho = 1,5\%$ )	l/h: ασθενής καταπόνηση σκυροδέματος ( $\rho = 0,5\%$ )
Αμφίερεστη δοκός ή πλάκα απλά ή σταυροειδώς οπλισμένη	1,0	14	20
Ακράιο άνοιγμα συνεχούς δοκού ή σειράς πλακών απλά ή σταυροειδώς οπλισμένων (κύρια διεύθυνση)	1,3	18	26
Μεσαία ανοίγματα συνεχούς δοκού ή πλακών απλά ή σταυροειδώς οπλισμένων	1,5	20	30
Πλάκα επί υποστρωμάτων χωρίς δοκούς (μικητοιδής) (έλεγχος βάσει του μεγαλύτερου ανοίγματος)	1,2	17	24
Πρόβολος	0,4	6	8

**Σημείωση 1:** Οι τιμές που δίνονται έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να είναι ενγένη συντηρητικές, και ο υπολογισμός μπορεί συχνά να δείχνει ότι είναι δυνατή η χρήση μικρότερου πάχους στοιχείου.  
**Σημείωση 2:** Σε πλάκες σταυροειδώς οπλισμένες ο έλεγχος γίνεται βάσει του μικρότερου ανοίγματος. Σε μικητοιδείς πλάκες, βάσει του μεγαλύτερου ανοίγματος.  
**Σημείωση 3:** Τα όρια που δίνονται για μικητοιδείς πλάκες αντιστοιχούν σε περιορισμό λιγότερο αυστηρό από εκείνον της βύθισης κατά 1/250 του ανοίγματος. Η εμπειρία δείχνει ότι αυτό είναι ικανοποιητικό.

## Υπολογιστικός έλεγχος των παραμορφώσεων (1/3)

Σε περιπτώσεις που ο υπολογιστικός έλεγχος κρίνεται απαραίτητος, οι παραμορφώσεις κυρίως καμπτόμενων στοιχείων υπολογίζονται μέσω της σχέσης:

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



όπου:

$\alpha$  = το θεωρούμενο μέγεθος παραμόρφωσης, π.χ. η ανηγμένη παραμόρφωση, η καμπυλότητα, ή η στροφή (για απλοποίηση, το  $\alpha$  μπορεί επίσης να ληφθεί ως η βύθιση).

$\alpha_I, \alpha_{II}$  = οι τιμές του μεγέθους παραμόρφωσης για αρηγμάτωση και πλήρως ρηγματωμένη κατάσταση αντίστοιχα.

## Υπολογιστικός έλεγχος των παραμορφώσεων (2/3)

όπου:

$\zeta$  = ένας συντελεστής κατανομής για να ληφθεί υπόψη η επιρροή της εφελκυσμένης (ρηγματωμένης ζώνης) στη δυσκαμψία.

$$\zeta = 1 - \beta \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

□  $\beta$  = συντελεστής επιρροής της διάρκειας της φόρτισης = 1.0 για ένα βραχυχρόνιο φορτίο και 0.5 για μακροχρόνια φορτία ή πολλούς κύκλους επαναλαμβανόμενης φόρτισης.

□  $\sigma_s$  = η τάση στον εφελκυσμένο οπλισμό με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής .

□  $\sigma_{sr}$  = η τάση στον εφελκυσμένο οπλισμό με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής για τη φόρτιση που προκαλεί την πρώτη ρηγμάτωση.

**Σημείωση:** ο λόγος  $\sigma_{sr} / \sigma_s$  μπορεί να αντικατασταθεί από τον  $M_{cr}/M$  για την περίπτωση της κάμψης, ή τον  $N_{cr}/N$  για την περίπτωση του καθαρού εφελκυσμού, όπου  $M_{cr}$  είναι η ροπή ρηγμάτωσης και  $N_{cr}$  η αξονική δύναμη ρηγμάτωσης.

## Υπολογιστικός έλεγχος των παραμορφώσεων (3/3)

Για φόρτιση μακράς διάρκειας ώστε να προκαλείται ερπυσμός, η συνολική παραμόρφωση, συμπεριλαμβανομένης και της επιρροής του ερπυσμού, μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας ένα ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας  $E_{c,eff}$  του σκυροδέματος:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

όπου:

$\varphi(\infty, t_0)$  = ο συντελεστής ερπυσμού που ισχύει για το συγκεκριμένο φορτίο και χρονικό διάστημα σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3.

Η καμπυλότητα λόγω συστολής ξήρανσης  $r_{cs}$  μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\frac{1}{r_{cs}} = \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S}{I}$$

όπου:

$\varepsilon_{cs}$  = παραμόρφωση λόγω ελεύθερης συστολής ξήρανσης

$S$  = η πολική ροπή αντιστάσεως του σπλισμού ως προς το κέντρο βάρους

$I$  = η ροπή αδρανείας της διατομής

$\alpha_e$  =  $E_s/E_{cm}$