

# Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα

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

### Κεφάλαια 1-5

#### 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

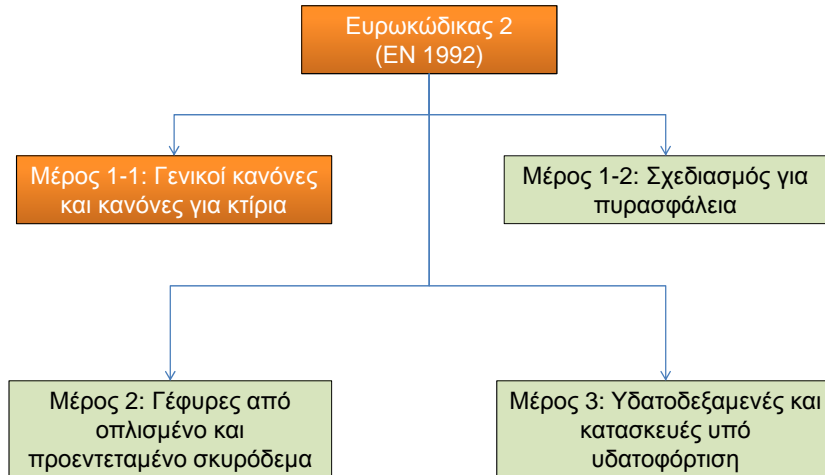
1

### Διάρθρωση Ευρωκωδίκων



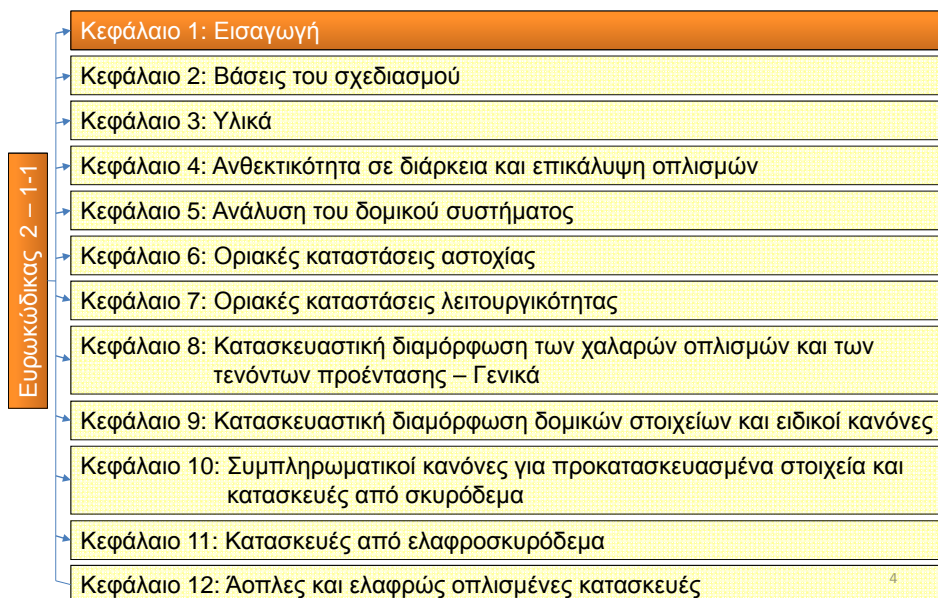
2

## Διάρθρωση Ευρωκώδικα 2



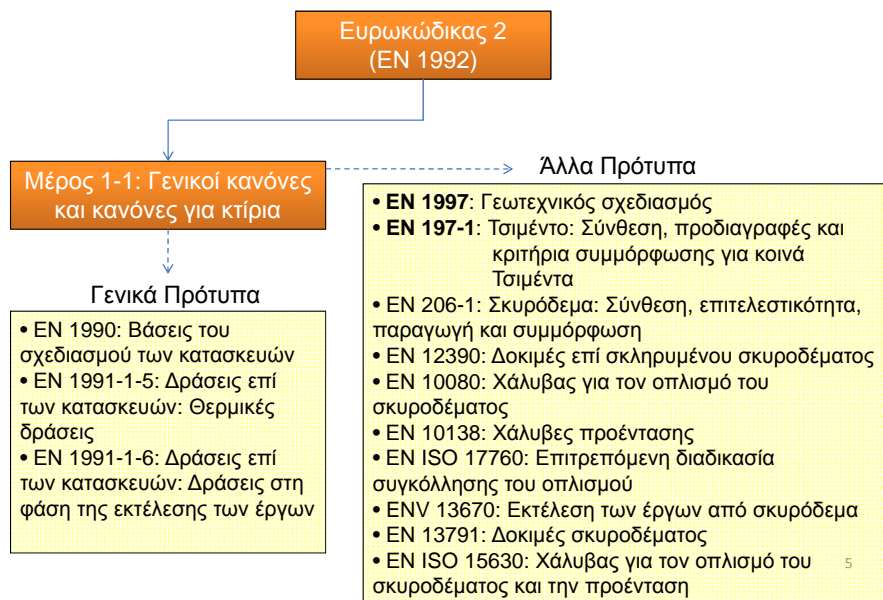
3

## Ευρωκώδικας 2 - Μέρος 1-1



4

## Πρότυπα αναφοράς Ευρωκώδικα 2



## Παραρτήματα Ευρωκώδικα 2

- **Παράρτημα A** : Τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών για τα υλικά
- **Παράρτημα B** : Παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού και συρρίκνωσης
- **Παράρτημα C** : **Ιδιότητες του σπλισμού**
- **Παράρτημα D** : Μέθοδος λεπτομερούς υπολογισμού των απωλειών προέντασης λόγω χαλάρωσης
- **Παράρτημα E** : Ενδεικτικές κατηγορίες αντοχής για την ανθεκτικότητα σε διάρκεια
- **Παράρτημα F** : Σχέσεις για τον σπλισμό υπό συνθήκες έντασης εντός επιπέδου
- **Παράρτημα G** : Αλληλεπίδραση εδάφους – κατασκευής
- **Παράρτημα H** : Επιρροές δευτέρας τάξεως στο σύνολο του φορέα
- **Παράρτημα I** : Ανάλυση μυκητοειδών πλακών και τοιχωμάτων
- **Παράρτημα J** : Παραδείγματα περιοχών με ασυνέχειες στη γεωμετρία ή τη ροή των δυνάμεων

Κανονιστικό Παράρτημα

Πληροφοριακό Παράρτημα

## 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
	→	Κεφάλαιο 7: Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
	→	Κεφάλαιο 8: Κατασκευαστική διαμόρφωση των χαλαρών οπλισμών και των τενόντων προέντασης – Γενικά
	→	Κεφάλαιο 9: Κατασκευαστική διαμόρφωση δομικών στοιχείων και ειδικοί κανόνες
	→	Κεφάλαιο 10: Συμπληρωματικοί κανόνες για προκατασκευασμένα στοιχεία και κατασκευές από σκυρόδεμα
	→	Κεφάλαιο 11: Κατασκευές από ελαφροσκυρόδεμα
	→	Κεφάλαιο 12: Άοπλες και ελαφρώς οπλισμένες κατασκευές

Κεφάλαιο 2: Βάσεις του σχεδιασμού

### Βασικές απαιτήσεις

Οι βασικές απαιτήσεις του Κεφαλαίου 2 του EN 1990 κρίνεται ότι ικανοποιούνται για κατασκευές από σκυρόδεμα όταν εφαρμόζονται ταυτόχρονα τα κάτωθι:

- σχεδιασμός οριακής κατάστασης σε συνδυασμό με τη μέθοδο του μερικού συντελεστή ασφαλείας σύμφωνα με το EN 1990
- δράσεις σύμφωνα με το EN 1991,
- συνδυασμός δράσεων σύμφωνα με το EN 1990 και
- αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και λειτουργικότητα σύμφωνα με το παρόν πρότυπο

## Οριακές καταστάσεις (υπόμνηση από EN 1990)

1. **Οριακή κατάσταση αστοχίας:** η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την κατάρρευση ή αστοχία μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου (συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ισορροπίας ή ευστάθειας).
2. **Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας:** η κατάσταση η οποία σχετίζεται με την ευκαμψία της κατασκευής, δηλαδή την παραμόρφωση, τη ρηγμάτωση και την ταλάντωση που προκαλεί βλάβη σε δομικά και μη-δομικά στοιχεία ή προκαλεί αίσθηση ανασφάλειας στους ανθρώπους ή επιδρά αρνητικά στην αισθητική της κατασκευής.

Narayanan, R., and Beeby, A. (2005). *Designers' Guide to EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2: Design of Concrete Structures Eurocode 2*. (S. E. Gulvanessian), Thomas Telford Ltd, London..

9

## Κυριότερες διαφορές EC2-1-1 και ΕΚΩΣ2000 (1/2)

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

- Ο EN1992-1-1 **δεν περιέχει Α/Σ διατάξεις** (τις οποίες περιέχει ο ΕΚΩΣ) και γι' αυτό δεν μπορεί να εφαρμοσθεί αυτοτελώς, αλλά πρέπει να εφαρμοσθεί σε συνδυασμό με τον Ευρωκώδικα 8. (ακριβέστερα ο EN1992-1-1 μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές με χαμηλή σεισμικότητα, που δεν είναι όμως η περίπτωση της Ελλάδος)
- Ο EN1992-1-1 αναφέρεται **σε τρεις κατηγορίες** έργων οι οποίες δεν καλύπτονται από τον ΕΚΩΣ: Προκατασκευή, 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 κάτι που δεν επιτρέπει ο ΕΚΩΣ2000.

Ημερίδα για τους Ευρωκώδικες, Ρέθυμνο, 27-4-2009, Ευρωκώδικας 1992 Μέρος 1-1, Σκυρόδεμα, Κ. Γ. Τρέζος

10

## Κυριότερες διαφορές EC2-1-1 και ΕΚΩΣ2000 (2/2)

- Ο EN1992-1-1 επιτρέπει την χρήση της **πλαστικής ανάλυσης** για τον έλεγχο οριακών καταστάσεων αστοχίας σε αντίθεση με τον ΕΚΩΣ ο οποίος την επέτρεπε μόνο για τον έλεγχο υφισταμένων 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 ΕΚΩΣ, δεν αναφέρεται στην **εκλογή των υλικών, στην εκτέλεση των εργασιών, στον ποιοτικό έλεγχο** και στην συντήρηση των κατασκευών (Κεφ. 19 έως 22 του ΕΚΩΣ) διότι παραπέμπει σε άλλα πιο εξειδικευμένα πρότυπα και κανονισμούς.

Ημερίδα για τους Ευρωκώδικες, Ρέθυμνο, 27-4-2009, Ευρωκώδικας 1992 Μέρος 1-1, Σκυρόδεμα, Κ. Γ. Τρέζος

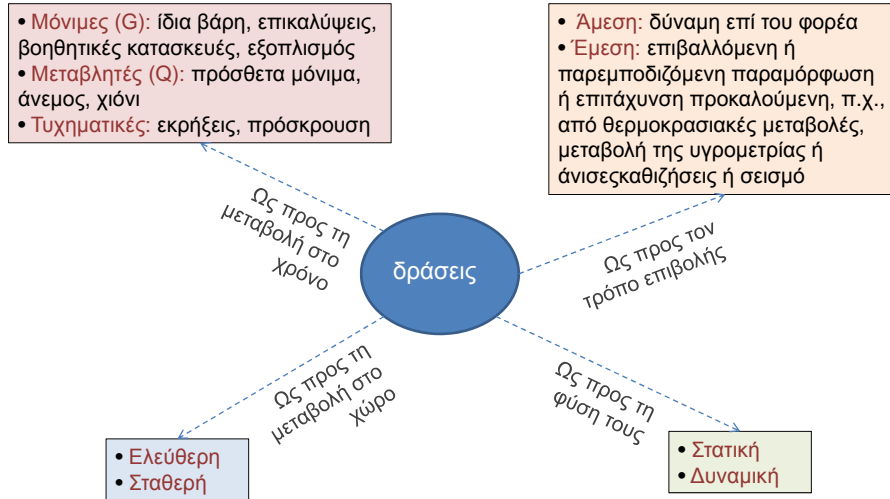
11

## Καταστάσεις σχεδιασμού (υπόμνηση από EN1990)

- **Μόνιμες & μεταβλητές** (με διάρκεια): αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης.
- **Τυχηματικές**: αναφέρονται σε εξαιρετικές συνθήκες που προκύπτουν για το φορέα ή στην έκθεσή του π.χ. σε πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση ή τις συνέπειες τοπικής αστοχίας.
- **Σεισμικές**: αναφέρονται σε συνθήκες που προκύπτουν για το φορέα υπό την επίδραση σεισμικών συμβάντων.
- **Παροδικές**: αναφέρονται σε παροδικές συνθήκες που προκύπτουν για το φορέα, π.χ. κατά τη φάση κατασκευής ή επισκευής.

12

## Κατάταξη δράσεων (υπόμνηση από EN1990)



13

## Βασικές μεταβλητές: Δράσεις και περιβαλλοντικές επιρροές

Οι δράσεις που θα χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό μπορούν να λαμβάνονται από τα σχετικά μέρη του **EN 1991**, δηλαδή:

EN 1991-1.1 Πυκνότητες, ίδιο βάρος και επιβαλλόμενα φορτία

EN 1991-1.2 Δράσεις πυρός

EN 1991-1.3 Φορτία χιονιού

EN 1991-1.4 Ανεμοπίεση

EN 1991-1.5 Θερμοκρασιακές δράσεις

EN 1991-1.6 Δράσεις κατά την εκτέλεση

EN 1991-1.7 Τυχηματικές δράσεις που οφείλονται σε κρούση ή εκρήξεις

EN 1991-2 Φορτία κυκλοφορίας γεφυρών

EN 1991-3 Δράσεις προκαλούμενες από γερανούς και λοιπά μηχανήματα

EN 1991-4 Δράσεις σε σιλό και δεξαμενές

✓ **Σημείωση:** Δράσεις ωθήσεων εδάφους και πίεσης νερού μπορούν να λαμβάνονται από το **EN 1997**.

14

## Βασικές μεταβλητές: Θερμοκρασιακές επιρροές

θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- κατά τον έλεγχο έναντι **οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας**.
- για την **οριακή κατάσταση αστοχίας** μόνο εφόσον είναι σημαντικές (π.χ. συνθήκες κόπωσης, κατά τον έλεγχο της ευστάθειας όταν τα φαινόμενα 2ας τάξεως είναι σημαντικά κλπ).

✓ **Σημείωση:** Όπου λαμβάνονται υπόψη, πρέπει να θεωρούνται ως μεταβλητές δράσεις και να εφαρμόζονται με χρήση του επιμέρους συντελεστή ασφαλείας καθώς και του συντελεστή ψ.

15

## Βασικές μεταβλητές: Διαφορικές καθιζήσεις / μετακινήσεις

θα πρέπει :

- πρέπει να κατηγοριοποιούνται ως **μόνιμες δράσεις**, *Gset οι οποίες* εισάγονται αντιστοίχως στο συνδυασμό των δράσεων.
- να λαμβάνονται υπόψη για τον έλεγχο έναντι **οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας**.
- ως προς τις **οριακές καταστάσεις αστοχίας**, πρέπει να συνεκτιμώνται μόνο εφόσον είναι σημαντικές (π.χ. συνθήκες κόπωσης, κατά τη διακρίβωση της ευστάθειας όταν τα φαινόμενα 2ης τάξης είναι σημαντικά κλπ)

✓ **Σημείωση:** Όταν λαμβάνονται υπόψη, πρέπει να εφαρμόζεται ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας διαφορικών καθιζήσεων.

16



## Βασικές μεταβλητές: Προένταση

- Η προένταση επιβάλλεται με τένοντες προέντασης από χάλυβα υψηλής αντοχής (σύρματα, συρματόσχοινα ή ράβδους).
- Οι τένοντες δύνανται να είναι ενσωματωμένοι στο σκυρόδεμα. Μπορεί να είναι προεντεταμένοι πριν την έγχυση του σκυροδέματος, ενσωματωμένοι με συνάφεια, ή προεντεταμένοι μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος με ή χωρίς ενσωμάτωση.
- Οι τένοντες είναι δυνατό να τοποθετούνται εξωτερικά του φορέα με σημεία επαφής στους εκτροπείς και στις αγκυρώσεις.
- οι διατάξεις που αφορούν την προένταση βρίσκονται στην παράγραφο 5.10.

17

## Ελεγχοι στατικής ισορροπίας και αντίστασης (υπόμνηση από EN 1990)

- Εκτελούνται ξεχωριστοί έλεγχοι για τις παρακάτω δύο καταστάσεις:

- Οριακές καταστάσεις καταστάσεις (στατικής) ισορροπίας (EQU)

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

- Οριακές καταστάσεις αντίστασης (STR/GEO)

$$E_d \leq R_d$$

18

## Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας STR/GEO (υπόμνηση από EN 1990)

Θεμελιώδεις συνδυασμοί για μόνιμες και παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad 0,85 \leq \xi \leq 1,00$$

Θεμελιώδεις συνδυασμοί για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Θεμελιώδεις συνδυασμοί για σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

19

## Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας (ΟΚΛ) (υπόμνηση από EN 1990)

- Χαρακτηριστικός συνδυασμός (μη-αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Συχνός συνδυασμός (αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός (αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

20

## Συντελεστές $\psi_i$ (υπόμνηση από EN 1990)

Δράσεις	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Επιβ. Φορτ. Κατ. A, B	0,7	0,5	0,3
Επιβ. Φορτ. Κατ. C, D	0,7	0,7	0,6
Επιβ. Φορτ. Κατ. E	1,0	0,9	0,8
Χιόνι	0,5-0,7	0,2-0,5	0,0-0,2
Ανεμος	0,6	0,2	0,0
Θερμοκρασία	0,6	0,5	0,0

Ημερίδα για τους Ευρωκώδικες, Ρέθυμνο, 27-4-2009, Ευρωκώδικας 1990, Ν. Μαλακάτας

21

## Έλεγχος βάσει της μεθόδου των επί μέρους συντελεστών. Τιμές σχεδιασμού

- Επιμέρους συντελεστής για τη δράση της **συρρίκνωσης** :  $\gamma_{SH}=1.0$
- Επιμέρους συντελεστής για την **προένταση** :  $\gamma_{P,fav}=1.0$   
:  $\gamma_{P,unfav}=1.3$  ή  $1.2$
- Επιμέρους συντελεστής για **φορτία κόπωσης** :  $\gamma_{F,fat}=1.0$
- Επιμέρους συντελεστές για τα **υλικά**

Για την οριακή κατάσταση αστοχίας πρέπει να χρησιμοποιούνται οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας υλικών  $\gamma_c$  και  $\gamma_s$

Καταστάσεις σχεδιασμού	$\gamma_c$ για σκυρόδεμα	$\gamma_s$ για χάλυβα όπλισης	$\gamma_s$ για χάλυβα προέντασης
Μόνιμες & Παροδικές	1,5	1,15	1,15
Τυχηματικές	1,2	1,0	1,0

- Επιμέρους συντελεστής για τα υλικά **θεμελίωσης** :
- ✓ οι τιμές σχεδιασμού των μηχανικών παραμέτρων αντοχής του εδάφους πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με το **EN 1997**.
- ✓ ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα  $\gamma_c$  πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί έναν συντελεστή, **k=1.1**

22

## 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
	Κεφάλαιο 7: Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
	Κεφάλαιο 8: Κατασκευαστική διαμόρφωση των χαλαρών οπλισμών και των τενόντων προέντασης – Γενικά
	Κεφάλαιο 9: Κατασκευαστική διαμόρφωση δομικών στοιχείων και ειδικοί κανόνες
	Κεφάλαιο 10: Συμπληρωματικοί κανόνες για προκατασκευασμένα στοιχεία και κατασκευές από σκυρόδεμα
	Κεφάλαιο 11: Κατασκευές από ελαφροσκυρόδεμα
	Κεφάλαιο 12: Άοπλες και ελαφρώς οπλισμένες κατασκευές

23

Κεφάλαιο 3: Υλικά

### Κατηγορίες σκυροδέματος

- Η **θλιπτική αντοχή** του σκυροδέματος υποδηλώνεται με τις Κατηγορίες Σκυροδέματος οι οποίες αντιστοιχίζονται στη χαρακτηριστική (5%) κυλινδρική αντοχή  $f_{ck}$ , ή την κυβική αντοχή  $f_{ck,cube}$

	Κατηγορία σκυροδέματος													
$f_{ek}$ (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	32	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
$\eta$	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

## Θλιπτική & εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού

Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού  $f_{cd}$ :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C$$

- $\gamma_C$  = ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
- $\alpha_{cc}$  = συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο, ίσος προς 1.0.

εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού  $f_{ctd}$ :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk0,05} / \gamma_C$$

- $\gamma_C$  = ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα
- $\alpha_{ct}$  = συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην εφελκυστική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο, ίσος προς 1.0.

25

## Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε ηλικία t

Η **θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία t**,  $f_{cm}(t)$  εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες συντήρησης. Για μέση θερμοκρασία 20°C και συντήρηση, είναι:

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

όπου:

- $f_{cm}(t)$  = η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία t ημερών
- $f_{cm}$  = η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ηλικία 28 ημερών
- $\beta_{cc}(t)$  = συντελεστής που εξαρτάται από την ηλικία t του σκυροδέματος:

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left\{ s \left[ 1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right] \right\}}$$

- t = ηλικία του σκυροδέματος σε ημέρες
- s = συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου:
  - = 0,20 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 42,5 R, CEM 53,5 N και CEM 53,5 R (Κατηγορία R)
  - = 0,35 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 32,5 R, CEM 42,5 N (Κατηγορία N)
  - = 0,38 για τσιμέντο αντοχής Κατηγορίας CEM 32,5 N (Κατηγορία S)

26

## Ελαστική παραμόρφωση

Μεταβολή του **μέτρου ελαστικότητας** με τον χρόνο :

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

όπου :

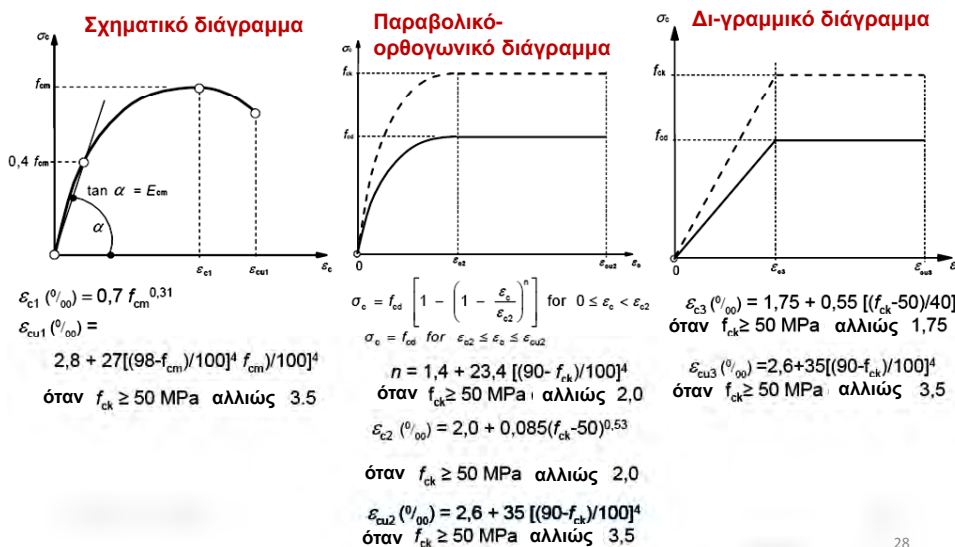
- $E_{cm}(t)$  και  $f_{cm}(t)$  είναι οι τιμές που αντιστοιχούν σε ηλικία  $t$  ημερών
- $E_{cm}$  και  $f_{cm}$  είναι οι τιμές που προσδιορίζονται σε ηλικία 28 ημερών.
- $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$  όπως προηγουμένως

Επίσης:

- **Λόγος του Poisson**  $\nu = 0,2$  για μη-ρηγματωμένο  
 $\nu = 0$  για ρηγματωμένο σκυρόδεμα
- ο γραμμικός **συντελεστής θερμικής διαστολής**  $k = 10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$
- **εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας**  $E = 1,05 E_{cm}$

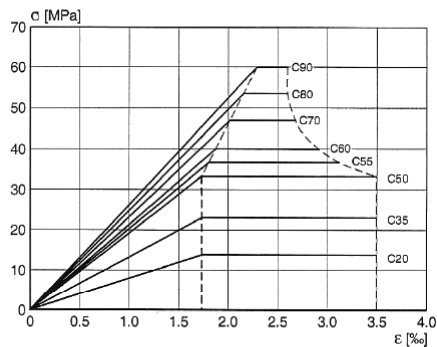
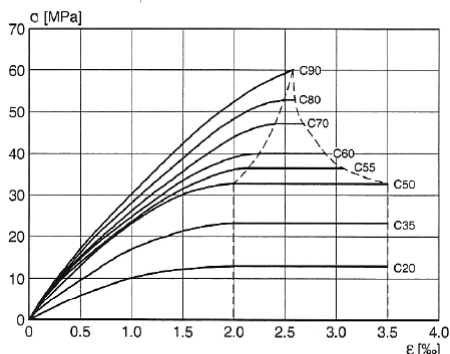
27

## Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα (1/2)



28

## Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα (2/2)

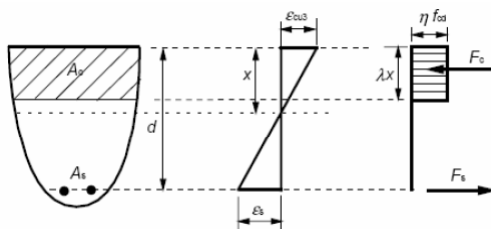


✓ το σκυρόδεμα υψηλότερης αντοχής έχει περισσότερο ψαθυρή συμπεριφορά (ο οριζόντιος κλάδος είναι μικρότερος)

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

29

## Ορθογωνική κατανομή τάσεων



- είναι δυνατό να θεωρηθεί ορθογωνική κατανομή τάσεων.
- ο **συντελεστής λ**, ο οποίος ορίζει το ενεργό (effective) ύψος της θλιβόμενης ζώνης και ο συντελεστής  $\eta$ , ο οποίος ορίζει τη δρώσα αντοχή προκύπτουν ως:

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

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

και

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

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

✓ **Σημείωση:** Εάν το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται προς το μέρος της θλιβόμενης ίνας, τότε η τιμή της  $f_{cd}$  πρέπει να απομειώνεται κατά 10%.

30

## Συρρίκνωση (1/3)

Η συνολική παραμόρφωση συρρίκνωσης  $\epsilon_{cs}$  :

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

όπου:

- $\epsilon_{cs}$  = η συνολική παραμόρφωση συρρίκνωσης
- $\epsilon_{cd}$  = η παραμόρφωση συστολής ξήρανσης
- $\epsilon_{ca}$  = η αυτογενής παραμόρφωση συστολής συρρίκνωσης

Η τελική τιμή της παραμόρφωσης συστολής ξήρανσης  $\epsilon_{cd,\infty}$

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

όπου:

$f_{ok}/f_{ck, cube}$ (MPa)	$\epsilon_{cd,0}$ Σχετική υγρασία (σε α/α)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0.64	0.60	0.50	0.31	0.17	0
40/50	0.51	0.48	0.40	0.25	0.14	0
60/75	0.41	0.38	0.32	0.20	0.11	0
80/95	0.33	0.31	0.26	0.16	0.09	0
90/105	0.30	0.28	0.23	0.15	0.05	0

31

## Συρρίκνωση (2/3)

Η ανάπτυξη της παραμόρφωσης συστολής ξήρανσης με το χρόνο  $\epsilon_{cd}(t)$  :

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

όπου:

$h_0$	$k_h$
100	1.0
200	0.85
300	0.75
≥500	0.70

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}}$$

όπου:

$t$  = η ηλικία του σκυροδέματος τη δεδομένη στιγμή, σε ημέρες  
 $t_s$  = η ηλικία του σκυροδέματος (ημέρες) στην αρχή της συστολής ξήρανσης (ή διόγκωσης)

$h_0$  = το ονομαστικό μέγεθος (mm) της διατομής =  $2A_c/u$

32



## Συρρίκνωση (3/3)

Η αυτογενής παραμόρφωση συστολής συρρίκνωσης  $\varepsilon_{ca}(t)$ :

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

όπου:

- $\varepsilon_{ca}(\infty) = 2.5 (f_{ck} - 10) 10^{-6}$
- $\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5})$  όπου  $t$  σε ημέρες

### Παράδειγμα:

Σκυρόδεμα C50/60. Υπολογισμός αυτογενούς συρρίκνωσης μετά από 4 ημέρες:

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2.5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} = 10^{-4}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 0.33$$

$$\text{αυτογενής συρρίκνωση } \varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty) = 3.3 \times 10^{-5}$$

33

## Ερπυσμός (1/2)

✓ όπως και η συρρίκνωση του σκυροδέματος εξαρτάται από την υγρασία, τις διαστάσεις του στοιχείου και τη σύνθεση του σκυροδέματος.

✓ επηρεάζεται από το βαθμό ωρίμανσης του σκυροδέματος κατά την πρώτη επιβολή του φορτίου και εξαρτάται από τη διάρκεια και το μέγεθος της φόρτισης.

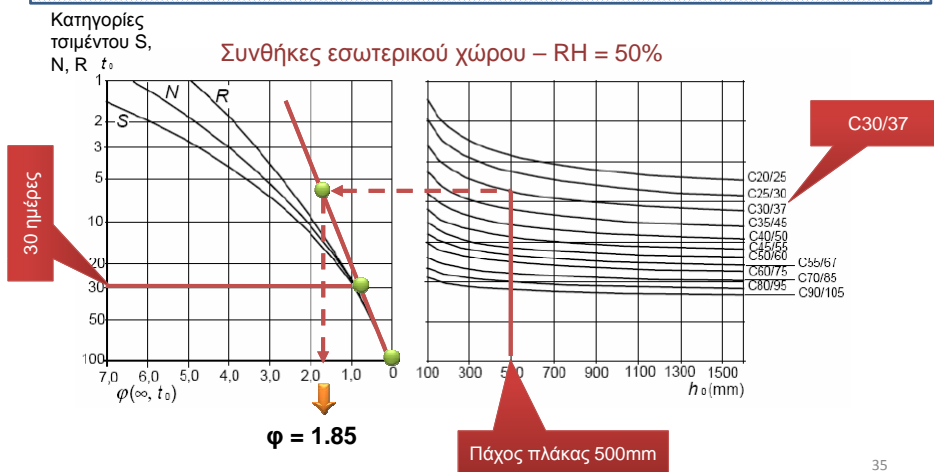
Η ερπυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\varepsilon_{cc}(\infty, t_0)$  κατά τη χρονική στιγμή  $t = \infty$  για σταθερή θλιπτική τάση  $\sigma_c$  εφαρμοζόμενη σε σκυρόδεμα ηλικίας  $t_0$ , δίνεται από τη σχέση:

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

34

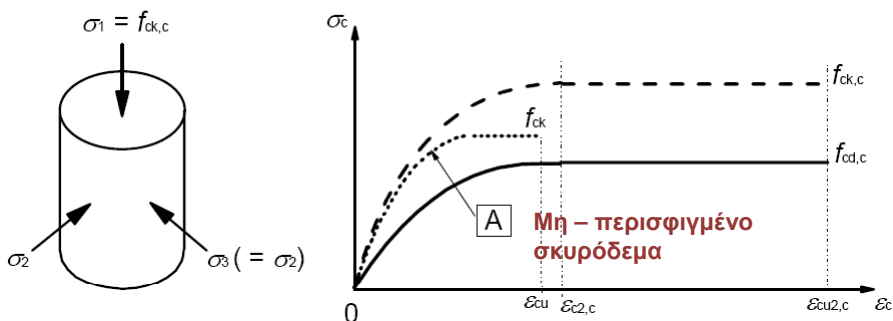
## Ερπυσμός (2/2)

**Παράδειγμα:** Υπολογισμός συντελεστή ερπυσμού για περίπτωση πλάκας σκυροδέματος κατηγορίας C30/37, πάχους 500mm, φορτιζόμενης επί 30 ημέρες σε συνθήκες εσωτερικού χώρου.



## Περισφιγμένο Σκυρόδεμα

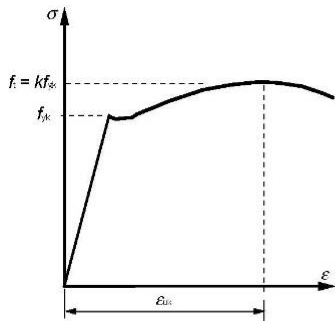
✓ Η περισφίξη του σκυροδέματος μεταβάλλει τη σχέση δρώσας τάσης-παραμόρφωσης και οδηγεί σε υψηλότερη αντοχή και μεγαλύτερες κρίσιμες παραμορφώσεις.



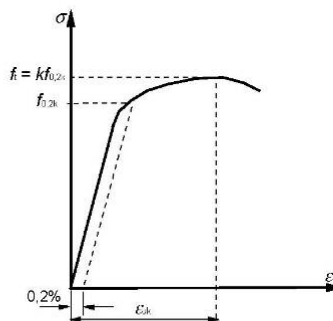
- $f_{ck,c} = f_{ck} (1,000 + 5,0 \sigma_2/f_{ck})$  για  $\sigma_2 \leq 0,05f_{ck}$
- $f_{ck,c} = f_{ck} (1,125 + 2,50 \sigma_2/f_{ck})$  για  $\sigma_2 > 0,05f_{ck}$
- $\epsilon_{c2,c} = \epsilon_{c2} (f_{ck,c}/f_{ck})^2$
- $\epsilon_{cu2,c} = \epsilon_{cu2} + 0,2 \sigma_2/f_{ck}$

όπου  $\sigma_2 (= \sigma_3)$  είναι η δρώσα ακτινική θλιπτική τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας εξαιτίας της περισφίξης ενώ  $\epsilon_{c2}$  και  $\epsilon_{cu2}$  από Πίνακα 3.1 Ευρωκώδικα (διαφάνεια 25).

## Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα οπλισμού



Χάλυβας κατεργασμένος εν θερμώ



Χάλυβας κατεργασμένος εν ψυχρώ

37

## Παράρτημα C: Ιδιότητες οπλισμού

Μορφή προϊόντος	Ράβδοι και ράβδοι που προέρχονται από κουλούρες			Πλέγματα			Απαιτήση ή πιθανότητα μη συμμόρφωσης (%)
	Εν θερμώ			Εν ψυχρώ			
Κατηγορία	A	B	C	A	B	C	-
Χαρακτηριστική αντοχή διαρροής $f_{yk}$ ή $f_{0,2k}$ (MPa)	400 έως 600			400 έως 600			5,0
Ελάχιστη τιμή του $k = (f_i/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Χαρακτηριστική ανηγμένη παραμόρφωση στην μέγιστη δύναμη, $\epsilon_{ik}$ (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Καμψιμότητα	Δοκιμή Κάμψης/Ανάκαμψης			-			
Διατμητική αντοχή	-			0,3 A $f_{yk}$ (A είναι η επιφάνεια της ράβδου)			Ελάχιστη
Μέγιστη απόκλιση από την ονομαστική μάζα (μεμονωμένη ράβδος) (%)	Ονομαστική διάμετρος ράβδου (mm) $\leq 8$ $> 8$						5,0
							± 6,0 ± 4,5

38



## Αποφυγή διάβρωσης στο σκυρόδεμα

### Κριτήρια σχεδιασμού

- περιβάλλον έκθεσης
- καθορισμένη διάρκεια ζωής

### Μέτρα προστασίας

- επαρκής επικάλυψη
- επαρκώς χαμηλή διαπερατότητα του σκυροδέματος (σε συνδυασμό με το πάχος επικάλυψης)
- αποφυγή ρηγματώσεων παράλληλων προς τον οπλισμό
- άλλα μέτρα: ανοξειδωτος χάλυβας, καθοδική προστασία κλπ



41

## Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (EN 206-1) (1/3)

Χαρακτηρισμός Κατηγορίας	Περιγραφή περιβάλλοντος	Πληροφορικά παραδείγματα όπου οι κατηγορίες έκθεσης θα μπορούσαν να συμβούν
<b>1 Χωρίς διακινδύνευση διάβρωσης ή προσβολής</b>		
X0	Για άοπλο σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα χωρίς ενσωματωμένο μέταλλο: όλες οι συνθήκες έκθεσης εκτός περιπτώσεων όπου υπάρχουν ψύξη/απόψυξη, επιφανειακή τριβή ή χημική προσβολή. Για οπλισμένο σκυρόδεμα: πολύ ξηρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με πολύ χαμηλή υγρασία αέρος
<b>2 Διάβρωση από ενανθράκωση</b>		
XC1	Ξηρό ή μόνιμα υγρό	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με χαμηλή υγρασία αέρος Σκυρόδεμα μόνιμα βυθισμένο στο νερό
XC2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος υπό μακροχρόνια επαφή με το νερό. Πληθώρα θεμελιώσεων.
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα εντός κτιρίων με μέτρια ή υψηλή υγρασία αέρος Εξωτερικό σκυρόδεμα προστατευμένο από τη βροχή
XC4	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Επιφάνειες σκυροδέματος σε επαφή με το νερό, εκτός της κατηγορίας έκθεσης XC2

42

## Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (EN 206-1) (2/3)

<b>3 Διάβρωση από χλωριούχα</b>		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε αερομεταφερόμενα χλωριούχα.
XD2	Υγρό, σπανίως ξηρό	Πισίνες. Στοιχεία σκυροδέματος εκτεθειμένα σε βιομηχανικά απόβλητα που περιέχουν χλωριούχα.
XD3	Περιοδικά υγρό και ξηρό	Τμήματα γεφυρών εκτεθειμένα σε ψεκασμό χλωριούχων. Πεζοδρόμια. Πλάκες χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων.
<b>4 Διάβρωση από χλωριούχα θαλασσινού νερού</b>		
XS1	Εκτεθειμένο σε άλατα θαλάσσης αερομεταφερόμενα αλλά χωρίς άμεση επαφή με το θαλασσινό νερό.	Κατασκευές κοντά ή επί της ακτής
XS2	Μόνιμα βυθισμένο σε θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Ζώνες παλίρροιας, παφλασμού και πιτσιλίσματος.	Τμήματα λιμενικών έργων

43

## Κατηγορίες έκθεσης σχετιζόμενες με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (EN 206-1) (3/3)

<b>5. Προσβολή ψύξης / απόψυξης</b>		
XF1	Μέτριας κλίμακας υδρεμοτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF2	Μέτριας κλίμακας υδρεμοτισμός με παράγοντα απόψυξης	Κατακόρυφες επιφάνειες σκυροδέματος κατασκευών οδοποιίας εκτεθειμένες σε ψύξη και παράγοντες απόψυξης που μεταφέρονται με τον αέρα.
XF3	Εκτεταμένος υδρεμοτισμός χωρίς παράγοντα απόψυξης	Οριζόντιες επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες στη βροχή και τον πάγο
XF4	Εκτεταμένος υδρεμοτισμός με παράγοντα απόψυξης ή θαλασσινό νερό	Καταστρώματα οδών ή γεφυρών εκτεθειμένα σε παράγοντες απόψυξης. Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε άμεσο ψεκασμό με παράγοντες απόψυξης. Ζώνες παφλασμού σε λιμενικά έργα εκτεθειμένα σε πάγο.
<b>6. Χημική προσβολή</b>		
XA1	Ελαφρώς επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA2	Μετρίως επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα
XA3	Ιδιαίτερος επιθετικό χημικό περιβάλλον σύμφωνα με το EN 206-1, Πίνακας 2	Φυσικά εδάφη και υπόγεια ύδατα

44

## Επικάλυψη Οπλισμών (1/3)

Η ονομαστική επικάλυψη πρέπει να καθορίζεται στα σχέδια. Ορίζεται ως η ελάχιστη επικάλυψη  $c_{min}$  συν την σχεδιαστική ανοχή για την αντιμετώπιση αποκλίσεων,  $\Delta c_{dev}$

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

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

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

όπου:

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

45

## Επικάλυψη Οπλισμών (2/3)

Υπολογισμός της επικάλυψης βάσει απαίτησης συνάφειας  $c_{min,b}$

**Πίνακας 4.2: Απαιτήσεις ελάχιστης επικάλυψης  $c_{min,b}$ , από άποψη συνάφειας**

Απαίτηση συνάφειας	
Διάταξη ράβδων	Ελάχιστη επικάλυψη $c_{min,b}$ *
μεμονωμένες	Διαμέτρος ράβδου
Δεσμίδα	Ισοδύναμη διάμετρος ( $\phi_{\text{eq}}$ ) (βλ. 8.9.1)

\*: Εάν η μέγιστη ονομαστική διάσταση των αδρανών είναι μεγαλύτερη από 32 mm, τότε η  $c_{min,b}$  πρέπει να προσαυξάνεται κατά 5 mm.

Συνιστώμενες τιμές  $\Delta c_{dur,\gamma}$ ,  $\Delta c_{dur,st}$ ,  $\Delta c_{dur,add} = 0$

Υπολογισμός της ελάχιστης επικάλυψης βάσει περιβαλλοντικών συνθηκών  $c_{min,dur}$

Περιβαλλοντολογική απαίτηση για την $c_{min,dur}$ (mm)							
Κατηγορία Κατασκευής	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

46

## Επικάλυψη Οπλισμών (3/3)

### Συνιστώμενη κατηγοριοποίηση κατασκευών

Κατηγορία Κατασκευής							
Κριτήριο	Κατηγορία έκθεσης σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1						
	Χ0	ΧC1	ΧC2 / ΧC3	ΧC4	ΧD1	ΧD2 / ΧS1	ΧD3 / ΧS2 / ΧS3
Χρόνος ζωής σχεδιασμού 100 χρόνια	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2	αύξηση κατηγορίας κατά 2
Κατηγορία αντοχής <sup>(1, 2)</sup>	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C30/37 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C35/45 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C40/50 μείωση κατηγορίας κατά 1	≥ C45/55 μείωση κατηγορίας κατά 1
Δομικό στοιχείο με γεωμετρία πλάκας (η θέση του οπλισμού δεν επηρεάζεται από τη διαδικασία κατασκευής)	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1
Διασφάλιση ειδικού ελέγχου ποιότητας παραγωγής σκυροδέματος	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1	μείωση κατηγορίας κατά 1

47

## Ευρωκώδικας 2 - Μέρος 1-1

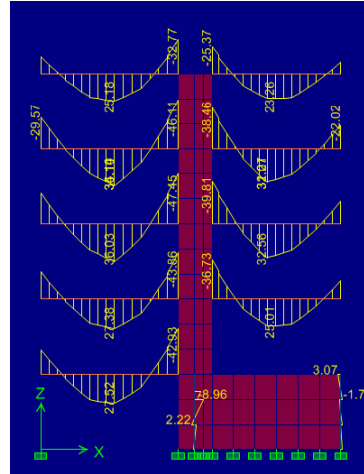
Ευρωκώδικας 2 – 1-1	Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή
	Κεφάλαιο 2: Βάσεις του σχεδιασμού
	Κεφάλαιο 3: Υλικά
	Κεφάλαιο 4: Ανθεκτικότητα σε διάρκεια και επικάλυψη οπλισμών
	Κεφάλαιο 5: Ανάλυση του δομικού συστήματος
	Κεφάλαιο 6: Οριακές καταστάσεις αστοχίας
	Κεφάλαιο 7: Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας
	Κεφάλαιο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

48



## Γενικές απαιτήσεις

- Ο στόχος της στατικής ανάλυσης είναι να διακριβώσει την **κατανομή** τόσο των **εσωτερικών δυνάμεων** και των **ροτών κάμψης** όσο και των **τάσεων**, των **παραμορφώσεων** και των **μετακινήσεων** στο σύνολο ή σε τμήμα του φορέα.
- **Αναλύσεις τοπικού χαρακτήρα** μπορεί να είναι απαραίτητες όπου η υπόθεση της γραμμικής κατανομής των παραμορφώσεων δεν ισχύει, π.χ.:
  - στις παρειές των στηρίξεων
  - πλησίον συγκεντρωμένων φορτίων
  - στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος
  - σε ζώνες αγκύρωσης
  - σε θέσεις μεταβολής των διατομών.



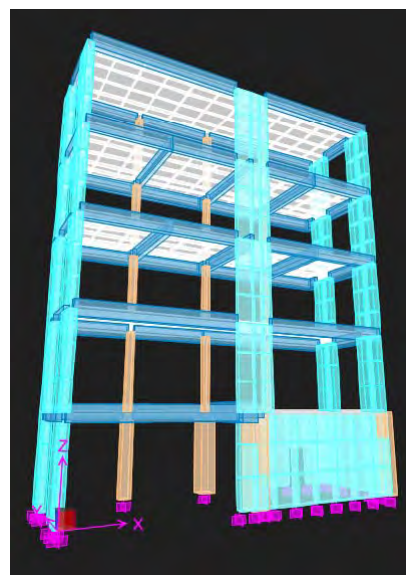
49

## Γενικές απαιτήσεις: ανάλυση

Συνήθη προσομοιώματα συμπεριφοράς που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση είναι:

- γραμμική-ελαστική συμπεριφορά
- γραμμική-ελαστική συμπεριφορά με **περιορισμένη ανακατανομή**
- **πλαστική** συμπεριφορά
- περιλαμβάνονται προσομοιώματα **θλιπτήρων - ελκυστήρων**
- **μη-γραμμική** συμπεριφορά

✓ όπου η αλληλεπίδραση εδάφους-ανωδομής έχει σημαντική επιρροή στα εντατικά μεγέθη της κατασκευής, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιότητες του εδάφους και οι επιρροή της αλληλεπίδρασης σύμφωνα με το EN 1997-1.



## Γεωμετρικές ατέλειες (1/2)

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- οι δυσμενείς επιρροές πιθανών αποκλίσεων στη γεωμετρία της κατασκευής και στη θέση των φορτίων
- οι κατασκευαστικές ατέλειες για το σχεδιασμό (έναντι ΟΚΑ αλλά όχι ΟΚΛ)

Οι κατασκευαστικές ατέλειες δύνανται να παριστάνονται από την κλίση  $\theta_i$ :

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

- $\theta_0 = 1/200$
- $l$  = το μήκος ή το ύψος [m]
- $m$  = αριθμός κατακόρυφων στοιχείων
- $\alpha_h$  = μειωτικός συντελεστής για το μήκος ή το ύψος :  $\alpha_h = \sqrt{l}$  και  $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$
- $\alpha_m$  = μειωτικός συντελεστής για τον αριθμό των στοιχείων:  $\alpha_m = \sqrt{0.5(1+1/m)}$

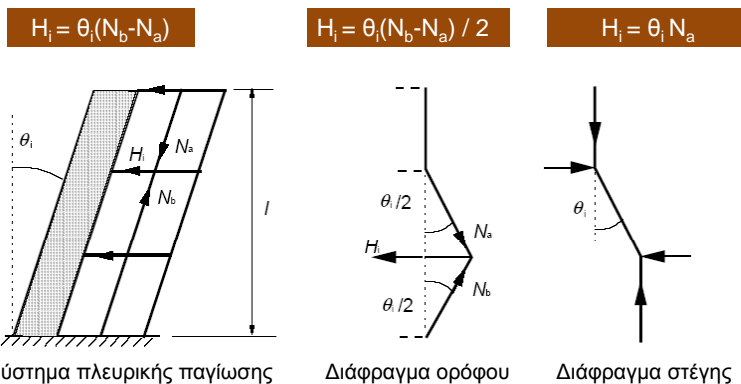
51

## Γεωμετρικές ατέλειες (2/2)

Για μεμονωμένα δομικά στοιχεία η επιρροή των ατελειών μπορεί να λαμβάνεται υπόψη με δύο εναλλακτικούς τρόπους:

α) ως εκκενρότητα  $e_i = \theta_i l_0 / 2$

β) εγκάρσια δύναμη  $H_i$  εξαιτίας γεωμετρικών ατελειών



52

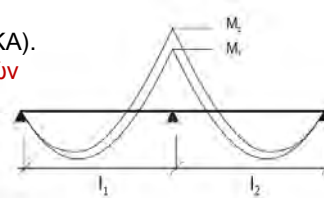
## Γραμμική ελαστική ανάλυση

- Η γραμμική ελαστική ανάλυση των δομικών στοιχείων η οποία στηρίζεται στη θεωρία της ελαστικότητας μπορεί να χρησιμοποιείται τόσο για την **οριακή κατάσταση λειτουργικότητας** όσο και για την **οριακή κατάσταση αστοχίας**.
- Για τον **υπολογισμό των εντατικών μεγεθών**, μπορεί να πραγματοποιείται γραμμική ελαστική ανάλυση υποθέτοντας:
  - i) αρηγμάτωση διατομές,
  - ii) γραμμικές σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων και
  - iii) μια μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας
- Για την **παραμόρφωση από θερμοκρασιακές μεταβολές, καθίζηση και επιρροές συρρίκνωσης** στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ), μπορεί να θεωρείται **μειωμένη δυσκαμψία** η οποία αντιστοιχεί στις ρηγματωμένες διατομές, αγνοώντας την εφελκυστική συμβολή στη δυσκαμψία αλλά συνεκτιμώντας την επιρροή του ερπυσμού.
- Για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ) πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η **βαθμιαία εξέλιξη της ρηγμάτωσης**.

53

## Γραμμική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή

- μπορεί να εφαρμόζεται στην ανάλυση δομικών στοιχείων έναντι **οριακών καταστάσεων αστοχίας (ΟΚΑ)**.
- απαιτείται να διατηρείται η ισορροπία των **καμπτικών ροπών** που ανακατανέμονται με τα εφαρμοζόμενα φορτία.
- **εφαρμόζεται**: σε συνεχείς δοκούς και πλάκες που
  - α) κυρίως υπόκεινται σε κάμψη
  - β) έχουν λόγο μήκους διαδοχικών ανοιγμάτων από 0.5-2



Ανακατανομή των ροπών κάμψης μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς ειδικό (explicit) έλεγχο της στροφικής ικανότητας εφόσον:

$$\delta \geq k_1 + k_2 x_u / d \text{ για } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\delta \geq k_3 + k_4 x_u / d \text{ για } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$\geq k_5 \text{ όπου χρησιμοποιείται οπλισμός κατηγορίας B και C (Παράρτημα C)}$$

$$\geq k_6 \text{ όπου χρησιμοποιείται οπλισμός κατηγορίας A (Παράρτημα C)}$$

όπου:

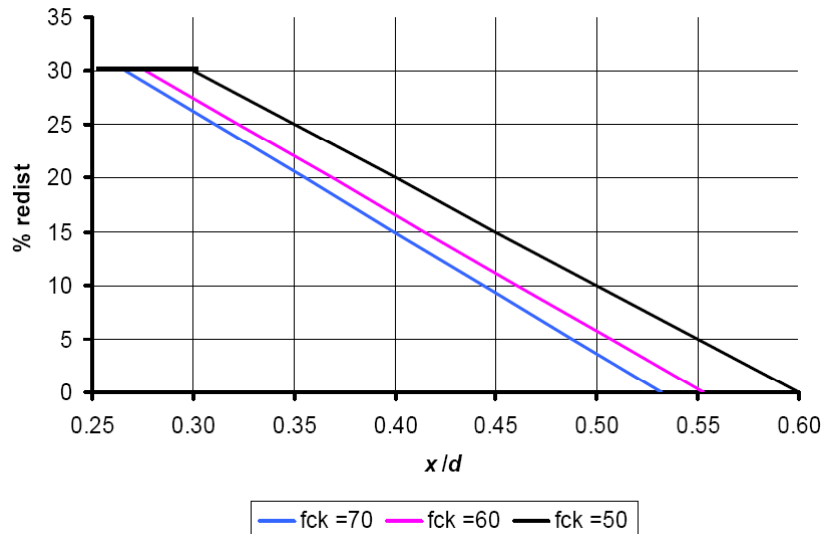
$\delta$  = ο λόγος της ανακατανεμημένης ροπής προς την ελαστική ροπή.

$x_u$  = το ύψος του ουδέτερου άξονα στην ΟΚΑ μετά την ανακατανομή

$d$  = το ενεργό ύψος της διατομής

54

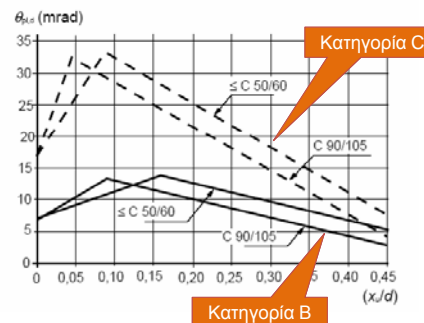
## Όρια ανακατανομής για κατηγορία χάλυβα B & C



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

## Πλαστική ανάλυση

- πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τον έλεγχο έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας.
- η πλαστιμότητα στις κρίσιμες διατομές πρέπει να είναι επαρκής για τον προβλεπόμενο να σχηματιστεί μηχανισμό.
- πρέπει να στηρίζεται είτε στο κάτω όριο (στατική μέθοδος) είτε στο άνω όριο (κινηματική μέθοδος).



Η **απαιτούμενη πλαστιμότητα** μπορεί να κρίνεται ικανοποιητική χωρίς ιδιαίτερο έλεγχο εφόσον :

- το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού περιορίζεται ώστε σε κάθε διατομή  $x_u/d \leq 0,25$  για σκυρόδεμα κατηγοριών αντοχής  $\leq C50/60$   
 $x_u/d \leq 0,15$  για σκυρόδεμα κατηγοριών αντοχής  $\geq C55/67$
- ο χάλυβας οπλισμού είναι είτε κατηγορίας B είτε C
- ο λόγος των ροπών σε ενδιάμεσες στηρίξεις προς τις ροπές ανοίγματος κυμαίνεται από 0,5 έως 2.

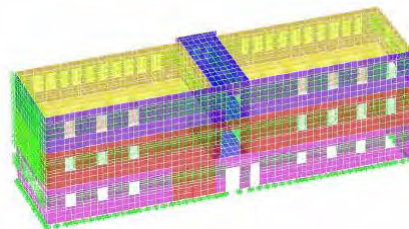
## Ανάλυση με μοντέλα θλιπτήρων – ελκυστήρων (δικτυακού αναλόγου)

- τα **μοντέλα θλιπτήρων-ελκυστήρων** συνίστανται από θλιπτήρες που παριστούν πεδία θλιπτικών τάσεων, από ελκυστήρες που αντιπροσωπεύουν τον σπλισμό και από τους κόμβους σύνδεσης.
- **μπορούν να χρησιμοποιηθούν** α) για το σχεδιασμό έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας (ΟΚΑ) περιοχών με συνέχεια (ρηγματωμένη κατάσταση δοκών και πλακών) β) για τους κανόνες όπλισης περιοχών με ασυνέχεια, γ) για δομικά στοιχεία όπου υποτίθεται γραμμική κατανομή εντός της διατομής.
- έλεγχοι έναντι **οριακής κατάστασης λειτουργικότητας** (ΟΚΛ) μπορούν επίσης να πραγματοποιούνται, π.χ. έλεγχος τάσεων χάλυβα και εύρους ρηγμάτωσης, εφόσον διασφαλίζεται η προσεγγιστική συμβατότητα παραμορφώσεων των μοντέλων θλιπτήρων-ελκυστήρων.
- οι ελκυστήρες ενός μοντέλου θλιπτήρων-ελκυστήρων **ταυτίζονται ως προς τη θέση** και τη διεύθυνση με τον αντίστοιχο σπλισμό.
- πιθανοί τρόποι για την **ανάπτυξη μοντέλων δικτυακού αναλόγου** περιλαμβάνουν την υιοθέτηση τροχιών τάσεων και κατανομών από τη γραμμική-ελαστική θεωρία ή τη μέθοδο της διαδρομής φορτίων.

57

## Μη-γραμμική ανάλυση

- Μη-γραμμικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για **την οριακή κατάσταση αστοχίας** όσο και για την **οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**, υπό την προϋπόθεση ότι:
  - α) ικανοποιούνται η ισορροπία και η συμβιβαστικότητα παραμορφώσεων
  - β) πραγματοποιείται η υπόθεση ικανοποιητικής μη- γραμμικής συμπεριφοράς των υλικών.
- η ανάλυση μπορεί να είναι **πρώτης ή δεύτερης τάξης**.
- πρέπει να χρησιμοποιούνται μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών τα οποία αντιπροσωπεύουν με ρεαλιστικό τρόπο τη δυσκαμψία και τις αβεβαιότητες της αστοχίας.



58

## Φαινόμενα 2ας τάξης σε στοιχεία με αξονικό φορτίο

**Λυγισμός:** αστοχία εξαιτίας της αστάθειας ενός δομικού στοιχείου ή μιας κατασκευής υπό κεντρική αξονική θλίψη και χωρίς οριζόντια φόρτιση.

**Φορτίο λυγισμού:** το φορτίο στο οποίο λαμβάνει χώρα ο λυγισμός. Για μεμονωμένα στοιχεία είναι συνώνυμο του φορτίου Euler.

**Μήκος λυγισμού:** το μήκος που χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθεί υπόψη το σχήμα της καμπύλης παραμόρφωσης.

**Εντατικά μεγέθη 1ης τάξης:** Τα εντατικά μεγέθη που υπολογίζονται χωρίς τη συνεκτίμηση της επιρροής των παραμορφώσεων της κατασκευής αλλά λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμετρικές ατέλειες.

**Μεμονωμένα στοιχεία:** Στοιχεία που είναι πράγματι μεμονωμένα, ή στοιχεία σε μια κατασκευή τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως μεμονωμένα για λόγους σχεδιασμού. Παραδείγματα μεμονωμένων στοιχείων με διαφορετικές συνοριακές συνθήκες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.7.

**Ονομαστική ροπή 2ης τάξης:** Η ροπή δεύτερης τάξης η οποία χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες μεθόδους σχεδιασμού, η οποία δίνει συνολική ροπή συμβατή με την ροπή αστοχίας της διατομής (βλ. 5.8.5 (2))

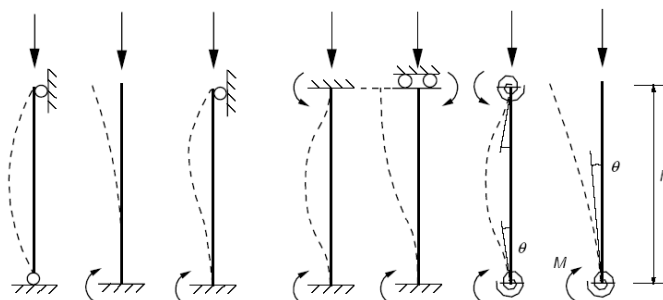
**Εντατικά μεγέθη 2ης τάξης:** πρόσθετα εντατικά μεγέθη εξαιτίας των παραμορφώσεων της κατασκευής.

59

## Φαινόμενα 2ας τάξης σε στοιχεία με αξονικό φορτίο

✓ Τα φαινόμενα 2ας τάξης μπορούν να αγνοηθούν εάν δεν υπερβαίνουν το 10% των αντίστοιχων φαινομένων 1ης τάξης.

✓ εναλλακτικά, τα φαινόμενα 2ας τάξης μπορούν να αγνοηθούν εφόσον η λυγηρότητα  $\lambda < \lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n}$  (§ 5.8.3.1)



a)  $l_0 = l$  b)  $l_0 = 2l$  c)  $l_0 = 0,7l$  d)  $l_0 = l/2$  e)  $l_0 = l$  f)  $l/2 < l_0 < l$  g)  $l_0 > 2l$

**Μορφές λυγισμού και αντίστοιχου μήκους λυγισμού για μεμονωμένα στοιχεία**

60

## Διαξονική κάμψη

Εν τη απουσία ακριβούς σχεδιασμού της διατομής έναντι διαξονικής κάμψης, μπορεί να χρησιμοποιείται το παρακάτω απλοποιητικό κριτήριο:

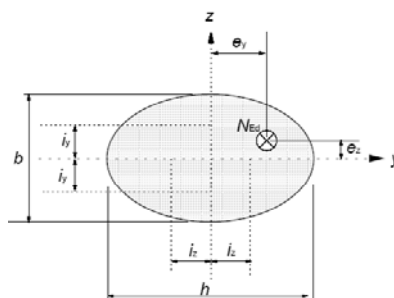
$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a \leq 1,0$$

όπου:

- $M_{Edz/y}$  = η ροπή σχεδιασμού ως προς τον αντίστοιχο άξονα
- $M_{Rdz/y}$  = η καμπτική αντοχή σχεδιασμού στη αντίστοιχη διεύθυνση
- $a$  = εκθέτης. Για κυκλικές και ελλειψοειδείς διατομές:  $a = 2$ . Για ορθογωνικές διατομές:

$N_{Ed}/N_{Rd}$	0,1	0,7	1,0
$a =$	1,0	1,5	2,0

- $N_{Ed}$  = η τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης
- $N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$ , το αξονικό φορτίο αντοχής σχεδιασμού της διατομής
- $A_c$  = το καθαρό εμβαδόν της διατομής
- $A_s$  = το εμβαδόν του διαμήκους οπλισμού



Ορισμός των εκκεντροτήτων  $e_y$  και  $e_z$

61

## Στρέβλωση υψίκορμων δοκών

Φαινόμενα 2<sup>ας</sup> τάξης συσχετιζόμενα με τη στρέβλωση μπορούν να αγνοούνται εφόσον πληρούνται οι παρακάτω συνθήκες:

- **μόνιμες καταστάσεις:**  $\frac{l_{0r}}{b} \geq \frac{50}{\left(\frac{h}{b}\right)^{1/3}}$  και  $h/b \leq 2,5$

- **παροδικές καταστάσεις:**  $\frac{l_{0r}}{b} \geq \frac{70}{\left(\frac{h}{b}\right)^{1/3}}$  και  $h/b \leq 3,5$

όπου:

$L_{0r}$  = η απόσταση μεταξύ των σημείων στροφικών παγιώσεων

$h$  = το συνολικό ύψος της δοκού στο κέντρο του  $l_{0r}$

$b$  = το πλάτος του θλιβόμενου πέλματος

62