

## Κανονισμός για τη Μελέτη Επισκευών και Ενισχύσεων των Κτιρίων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

➤ Στέφανος Δρίτσος

Καθηγητής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΟΑΣΠ

Τρίπολη, Μάιος 2009

ΤΕΕ/ Τμ. Πελοποννήσου

1

## Η ΕΠΙΤΡΟΠΗ

### Συντακτική Ομάδα

Αμπακούμκιν Β.

Βιντζηλαίου Ε.

Βλάχος Ι.

Βουγιούκας Ε.

Δρίτσος Σ.

Θεοδωράκης Σ.

Κάππος Α.

Κωστίκας Χ. (Συντονιστής)

Πλαϊνής Π.

Σπανός Χ.

Στυλιανίδης Κ.

Τάσιος Θ. Π. (Επιστημονικός υπεύθυνος)

Φαρδής Μ.

Χρονόπουλος Μ.

Μέλη: Γκαζέτας Γ., Κρεμέζης Π., Σπυράκος Κ.

2

## ΔΥΣΜΕΝΕΙΑ ΠΑΛΑΙΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

(α) Μόρφωση  $\Phi$ .Ο. με αρχιτεκτονικές υπερβολές

(Έλλειψη κανονικότητας: γεωμετρίας ή αντοχής σε επίπεδο ορόφου ή κτιρίου)

(β) Προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών με απλοποιητικές παραδοχές

(Έλλειψη υπολογιστικών μέσων: απουσία χωρικής ανάλυσης & διαδιάστατης πλαισιακής λειτουργίας)

(γ) Διαστασιολόγηση με διαδικασίες που σήμερα έχουν αναθεωρηθεί

(Ανακριβή προσομοιώματα, απουσία ικανοτικού σχεδιασμού και πλαστιμότητας, ανεπαρκείς κατασκευαστικές διατάξεις για ελάχιστα και μέγιστα, κ.α.)

(δ) Σχεδιασμός για σεισμικές δράσεις μικρότερες των αντιστοίχων για νέα κτίρια

### Σεισμικές Δράσεις

Παλαιά κτίρια:  $1,75\chi\epsilon$  π.χ.  $1,75\chi 0,08=0.14g$

Νέα κτίρια (μετά 1995):  $\alpha\chi 2.5/q$  π.χ  $0.24\chi 2.5/3.5=0.17g$

$$\frac{0.14}{0.17} \cdot \frac{1.5}{3.5} = \frac{1}{3}$$

⇒ Δυνητική Δυσμένεια της τάξεως του 1:3

3

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

- Ποιες κατασκευές έχουν προτεραιότητα να ενισχυθούν, και πως θα προσδιοριστούν σε μεμονωμένη βάση;
- Μπορούν (ή αξίζει τον κόπο) να ενισχυθούν και μέχρι ποιο σημείο; Μήπως η λύση της κατεδάφισης και ανακατασκευής είναι προτιμότερη;
- Τι μέσα (υλικά, μέθοδοι, τεχνικές) διατίθενται για να επέμβει κανείς και κάτω από ποιες προδιαγραφές αυτά εφαρμόζονται;
- Ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος ενίσχυσης ενός δεδομένου κτιρίου;
- Ποιο είναι το υπολογιστικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο στο μηχανικό για να τεκμηριώσει τις επιλογές του, και ποιες οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου των εργασιών;

4

**ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ → ΘΕΜΑ ΔΥΣΚΟΛΟΤΕΡΟ  
ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ**

- Γνώσεις λίγες και όχι επαρκώς τεκμηριωμένες
- Απουσία κανονισμού
- Μόρφωση του φορέα πιθανόν απαράδεκτη, αλλά υπαρκτή
- Αβέβαιες εκτιμήσεις βασικών δεδομένων στην αρχική φάση τεκμηρίωσης
- Χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος, Διαβρωμένοι οπλισμοί, Κρυμμένες ατέλειες

5



6



7



8



9



10



11



12

## ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ➔ ΘΕΜΑ ΔΥΣΚΟΛΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

- Απαιτείται καλή γνώση των μέσων που διατίθενται για επεμβάσεις

- Υλικά και Τεχνολογίες Επεμβάσεων
  - Ειδικόί Τύποι Σκυροδέματος
  - Πολυμερικές Κόλες (ρητίνες)
  - Επισκευαστικά Κονιάματα
  - Επικολητά Φύλλα από Χάλυβα ή Ινοπλισμένα Πολυμερή (FRP)
  - Διατηρητικοί Σύνδεσμοι (Βλήτρα) - Αγκύρια
  - Αγκυρώσεις και Συγκολλήσεις Νέων Ράβδων Οπλισμού

- Ειδικότερες Τεχνικές για :
  - Υποστυλώματα
  - Τοιχώματα
  - Δοκούς
  - Πλάκες
  - Κόμβους Δοκών-Υποστυλωμάτων
  - Στοιχεία Θεμελίωσης

- Χρήση νέων υλικών υπό διερεύνηση
- Μικρή ή και αρνητική εξειδίκευση και εμπειρία συνεργείων

13

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### 1° Στάδιο:

Τεκμηρίωση υφιστάμενης κατάστασης

### 2° Στάδιο:

Αποτίμηση επάρκειας κατασκευής

### 3° Στάδιο:

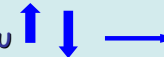
Λήψη απόφασης επέμβασης - Επιλογή λύσης

### 4° Στάδιο:

Αρχικός σχεδιασμός λύσης

### 5ο Στάδιο:

Κατασκευή του Έργου



14

## ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

- Συστάσεις για Προσεισμικές & Μετασεισμικές Επεμβάσεις (ΟΑΣΠ)
- ΠΕΤΕΠ = Προσωρινές Εθνικές Προδιαγραφές  
([www.iok.gr](http://www.iok.gr), ΤΕΕ/ΙΟΚ 2008)
- Ευροκώδικας 8, Part3 "Assessment & Retrofitting of Buildings"
- ΚΑΝ.ΕΠΕ.  
(Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων, Σχέδιο 3, Μαρ.2009)  
([www.oasp.gr](http://www.oasp.gr))

15

## Τι το ΚΑΙΝΟΥΡΙΟ στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.:

1. Στάθμες & Στόχοι Επιτελεστικότητας (Επιλογή με συμμετοχή του ιδιοκτήτη)
2. Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων
3. Πρωτεύοντα - Δευτερεύοντα Στοιχεία (Σεισμικώς)
4. Συνυπολογισμός Τοιχοπληρώσεων
5. Ελαστική Ανάλυση με χρήση τοπικών δεικτών συμπεριφοράς ( $m$ )
6. Εκτίμηση Δείκτη Συμπεριφοράς ( $q$ ) σε υφιστάμενες κατασκευές
7. Ανελαστικές Αναλύσεις
8. Έλεγχος  $S_d \leq R_d$ 
  - Σε όρους δυνάμεων για ψαθυρές αστοχίες (Διάτμηση)
  - Σε όρους παραμορφώσεων για πλάστιμες αστοχίες (Κάμψη)
9. Μεθόδους Επισκευής & Ενίσχυσης των Κατασκευών
10. Υπολογιστικό Υπόβαθρο για τον Έλεγχο των Επεμβάσεων

16

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ - ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

**Στάθμη Επιτελεστικότητας:** Επιθυμητή Συμπεριφορά Κατασκευής = Αποδεκτός Βαθμός Βλάβης

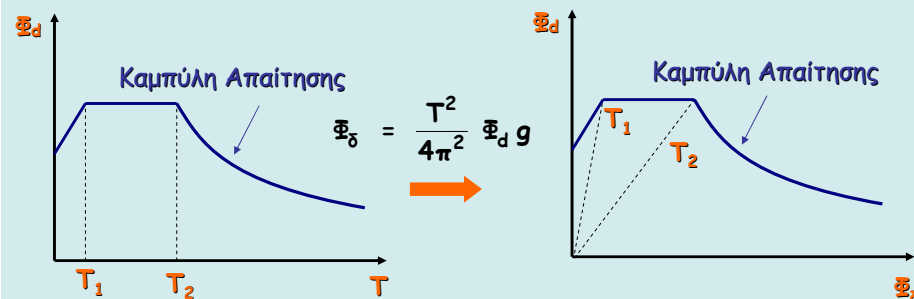
**Στόχος Επιτελεστικότητας:** Στοχευόμενη Στάθμη Επιτελεστικότητας για Επιλεγμένη Σεισμική Δράση

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	Άμεση χρήση μετά το σεισμό	Προστασία ζωής ενοίκων	Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης
10%	A1	<b>B1</b>	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

- Για πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 έτη χρησιμοποιείται η δράση που προβλέπει ο ΕΑΚ 2000
- Για πιθανότητα υπέρβασης 50% λαμβάνεται υπόψη το 60% αυτής

17

## ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



$$V = \alpha \Phi_d W$$

$$\delta = \beta \Phi_{\delta}$$

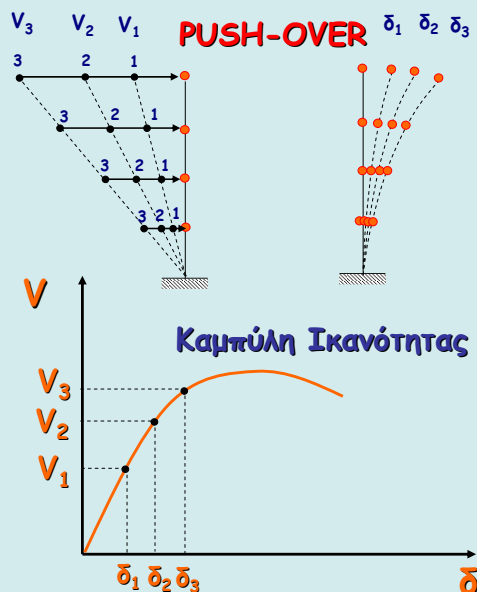
n	α	β
1	1	1
2	0,90	1,20
5	0,80	1,35



18

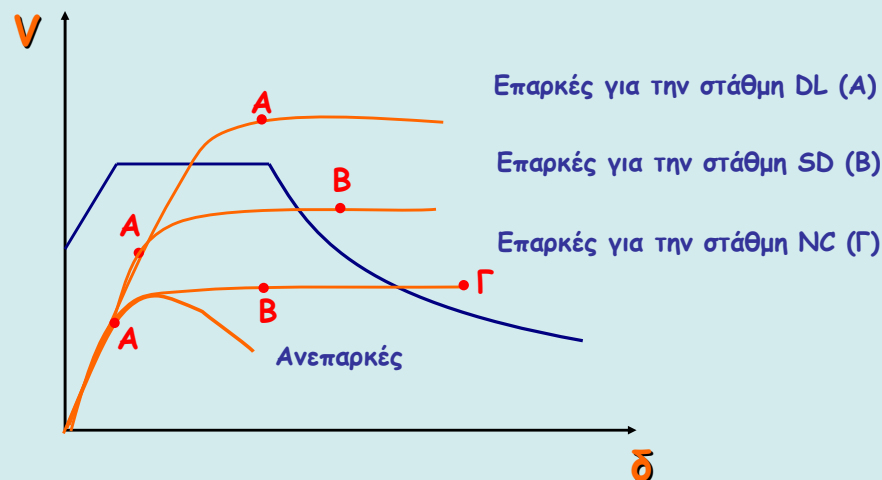
## ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στατική Οριζόντια Ξόρτιση Βαθμιαία Αυξανόμενη "μέχρι τέρμα"



19

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



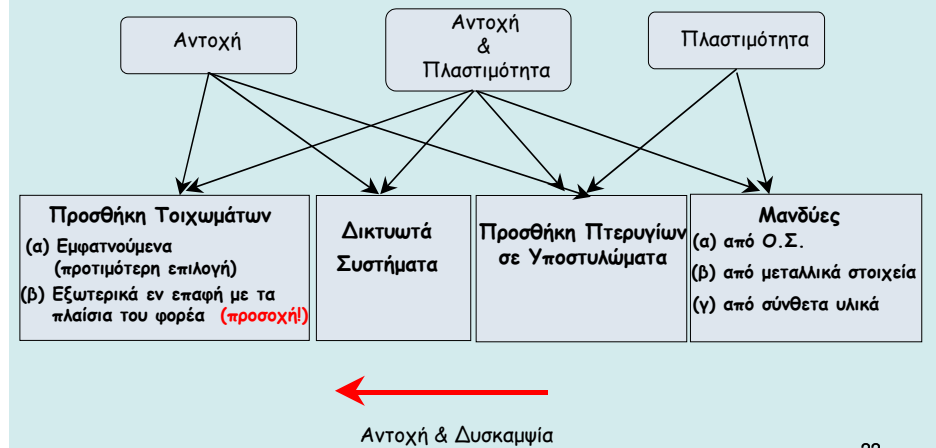
20

## ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟΥ



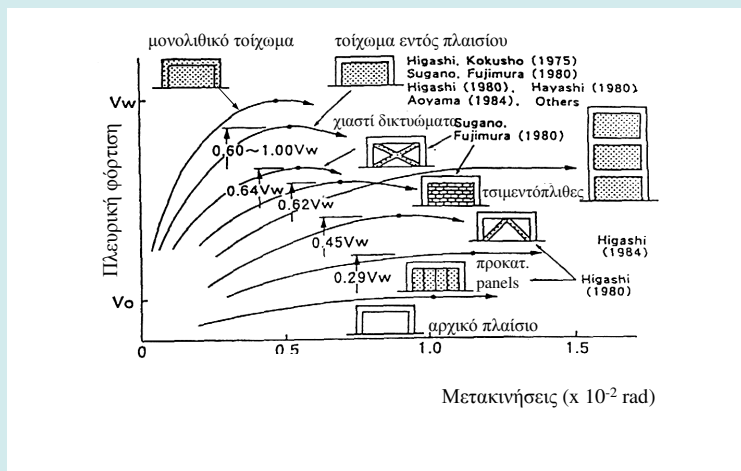
21

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



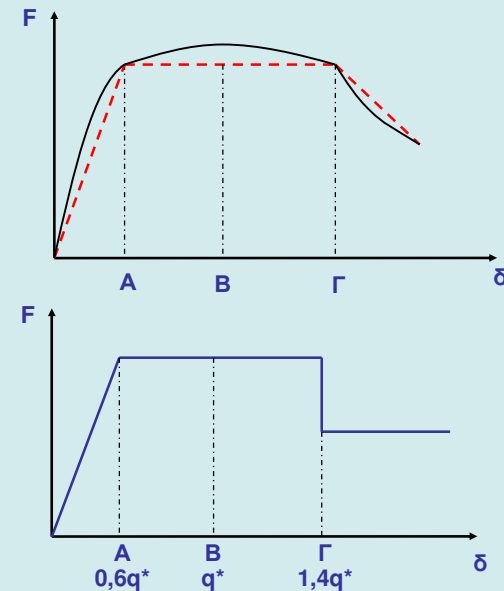
22

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ



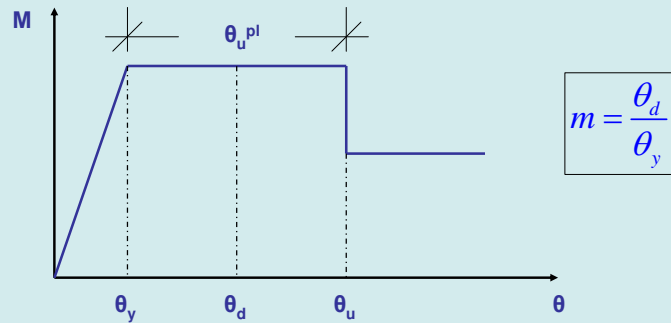
23

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



24

## ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΩΝ



Ικανότητα στροφής χορδής κατά τη διαρροή:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_V z}{3} + 0,0014 \left( 1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}}$$

Δοκοί και  
Υποστυλώματα

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_V z}{3} + 0,0013 + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}}$$

Τοιχεία ορθογωνικής,  
Τ- και Ι-  
Διατομής <sup>25</sup>

## ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΩΝ

Οριακή ικανότητα στροφής χορδής:

$$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^V) \left[ \frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} (\alpha_s)^{0,35} 25 \left( \frac{\alpha \rho_s f_{yw}}{f_c} \right) (1,25^{100} \rho_d)$$

Πλαστικό τμήμα ικανότητας στροφής χορδής:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0,0145 (0,25^V) \left[ \frac{\max(0,01; \omega)}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,3} (f_c)^{0,2} (\alpha_s)^{0,35} 25 \left( \frac{\alpha \rho_s f_{yw}}{f_c} \right) (1,275^{100} \rho_d)$$

26

## Μάτιση Ράβδων με νευρώσεις σε ευθύγραμμο μήκος $l_o$

- Σε μάτιση θλιβομένων ράβδων μετρούν και οι δύο στο θλιβόμενο σπλισμό
- Για  $M_y, \phi_y, \theta_y$ :  $f_y \times l_o / l_{oy,min}$ , αν  $l_o < l_{oy,min} = (0,3 \cdot f_y / \sqrt{f_c}) \cdot d_b$
- Για τη στρόφη χορδής στην αστοχία:  $\theta_{um}^{pl} \times l_o / l_{ou,min}$ ,  
αν  $l_o < l_{ou,min} = d_b \cdot f_y / [(1,05 + 14,5 \cdot \alpha_{rs} \cdot \omega_{sx}) \sqrt{f_c}]$

## Μάτιση λείων Ράβδων με άγκυστρα & ευθύγραμμο μήκος παράθεσης $l_o > 15d_b$

- Σε μάτιση θλιβομένων ράβδων μετρούν και οι δύο στο θλιβόμενο σπλισμό
- Για  $M_y, \phi_y, \theta_y$ : πλήρες  $f_y$  εφελκυσμένων ράβδων
- Για τη στρόφη χορδής στην αστοχία:  $\theta_{um}$  επιπλέον  $\times (10 + l_o / d_b) / 50$ ,  
αν  $l_o < 40d_b$

27

## ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

### Στάθμη Επιτελεστικότητας:

- Άμεση Χρήση (DL):

$$\theta_d = \theta_y$$

- Ασφάλεια Ζωής (SD):

$$\theta_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \frac{\theta_y + \theta_u}{2}$$

Δευτερεύοντα ή Τοιχοπληρώσεις:

$$\theta_d = \frac{\theta_u}{\gamma_{Rd}}$$

Όπου:  $\gamma_{Rd} = 1,8$  για πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα  
 $\gamma_{Rd} = 3,0$  για τοιχοπληρώσεις

- Οιονεί Κατάρρευση (NC)

$$\theta_d = \frac{\theta_u}{\gamma_{Rd}}$$

Όπου:  $\gamma_{Rd} = 1,8$  για πρωτεύοντα  
 $\gamma_{Rd} = 1,0$  για δευτερεύοντα ή τοιχοπληρώσεις

28

## ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

### Δοκοί και Υποστυλώματα

$$V_R = \frac{h-x}{2L_s} \min(N; 0,55A_c f_c) + (1 - 0,05 \min(5; \mu_{\theta}^{pl})) \left[ 0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) (1 - 0,16 \min(5; \alpha_s)) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right]$$

Όπου:

$$V_w = \rho_w b_w z f_{yw}$$

Για ορθογωνικές διατομές

$$V_w = \frac{\pi A_{sw}}{2s} f_{yw} (D-2c)$$

Για κυκλικές διατομές

### Τοιχώματα

$$V_{R,max} = 0,85 (1 - 0,06 \min(5; \mu_{\theta}^{pl})) \left( 1 + 1,8 \min(0,15; \frac{N}{A_c f_c}) \right) (1 + 0,25 \max(1,75; 100\rho_{tot})) (1 - 0,2 \min(2; \alpha_s)) \sqrt{f_c} b_w z$$

### Κοντά Υποστυλώματα (LV/h) < 2

$$V_{R,max} = \frac{4}{7} (1 - 0,02 \min(5; \mu_{\theta}^{pl})) \left( 1 + 1,35 \frac{N}{A_c f_c} \right) (1 + 0,45 (100\rho_{tot})) \sqrt{\min(40; f_c)} b_w z \sin 2\delta$$

## ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (μέθοδος q)

### ■ Χονδρική Εκτίμηση Δείκτη Συμπεριφοράς q

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής)	Ευμενής παρουσία τοιχοπληρώσεων (στο σύνολο του κτιρίου)	Δυσμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων
1995 < ...	3,00	2,30
1985 < ... < 1995	2,30	1,80
... < 1985	1,80	1,30

## ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

- Γενικές πληροφορίες
- Απαιτούμενα Δεδομένα
  - a) Προσδιορισμός φέροντος οργανισμού και έλεγχος αν τηρεί τα κριτήρια κανονικότητας του EC8- Part 1
  - b) Τύπος θεμελίωσης
  - c) Συνθήκες εδάφους
  - d) Διαστάσεις διατομών και μηχανικές χαρακτηριστικές υλικών
  - e) Πληροφορίες για πιθανά ελαττώματα στα υλικά και στην τοποθέτηση του σπλισμού
  - f) Πληροφορίες για τους κανόνες αντισεισμικού σχεδιασμού της εποχής μελέτης, q=?
  - g) Χρήση κτηρίου και κατηγοριοποίηση σπουδαιότητας
  - h) Επανεκτίμηση των πραγματικών δράσεων (φορτίων)
  - i) Πληροφορίες για προγενέστερες ή παρούσες βλάβες και τυχόν επεμβάσεις

## Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ)

- Υψηλή
- Ικανοποιητική
- Ανεκτή
- Ανεπαρκής: επιτρέπεται, μόνο για δευτερεύοντα στοιχεία

**Χάλυβας:** Επιτρέπεται μακροσκοπική αναγνώριση και κατάταξη, οπότε η ΣΑΔ θεωρείται ικανοποιητική



## Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ)

### Σκυρόδεμα

- Μέθοδοι εκτίμησης  $f_c$ : Συνδυασμός έμμεσων μεθόδων, βαθμονόμηση με λίγους πυρήνες. Προσοχή στις καμπύλες αναγωγής και συσχέτισης.
- Απαιτούμενο πλήθος δοκιμών:
  - Όχι συλλήβδην, δηλ. για όλους τους ορόφους και όλα τα δομικά στοιχεία.
  - Τουλάχιστον 3 πυρήνες ανά ομοειδή δομικά στοιχεία ανά δύο ορόφους, οπωσδήποτε στον "κρίσιμο" όροφο.
- Επιπλέον μέθοδοι (υπερχροσκόπηση ή κρουσιμέτρηση ή εξόλκευση ήλου για  $f_c < 15 \text{ MPa}$ ):
  - Υψηλή ΣΑΔ/όροφο: 45% κατ.στοιχ./25% ορ. στοιχ.
  - Ικανοποιητική ΣΑΔ/όροφο: 30% κατ.στοιχ./25% ορ. στοιχ.
  - Ανεκτή ΣΑΔ/όροφο: 15% κατ.στοιχ./7,5% ορ. στοιχ.

33

## Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων

### ▪ Δεδομένα:

ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ	ΙΔΙΑ ΒΑΡΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ, κ.λ.π.
--------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--

ΟΠΙΣΘΗΣ		
ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΠΙΣΘΟΜΟΥ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΑΒΔΩΝ	ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΜΟΝΕΣ	«ΚΛΕΙΣΙΜΟ» ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

34

## Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων

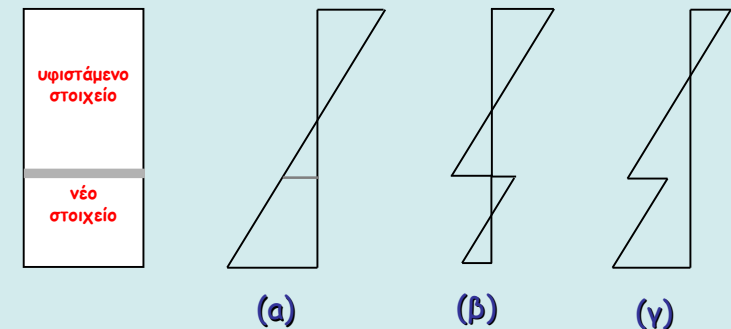
### ▪ Προέλευση Δεδομένου:

1	Δεδομένο που προέρχεται από σχέδιο της αρχικής μελέτης η οποία έχει αποδεδειγμένα εφαρμοστεί	3	Δεδομένο που προέρχεται από αναφορά, σε μορφή κειμένου υπομνήματος, σε σχέδιο της αρχικής μελέτης.	5	Δεδομένο που έχει προσδιοριστεί με έμμεσον τρόπο
2	Δεδομένο που προέρχεται από σχέδιο της αρχικής μελέτης η οποία έχει εφαρμοστεί με λίγες τροποποιήσεις που εντοπίστηκαν κατά τη διερεύνηση	4	Δεδομένο που έχει διαπιστωθεί ή/και μετρηθεί ή/και αποτυπωθεί αξιόπιστα	6	Δεδομένο που έχει ευλόγως θεωρηθεί κατά κρίση Μηχανικού
				7	Δεν υπάρχουν δεδομένα

35

## ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

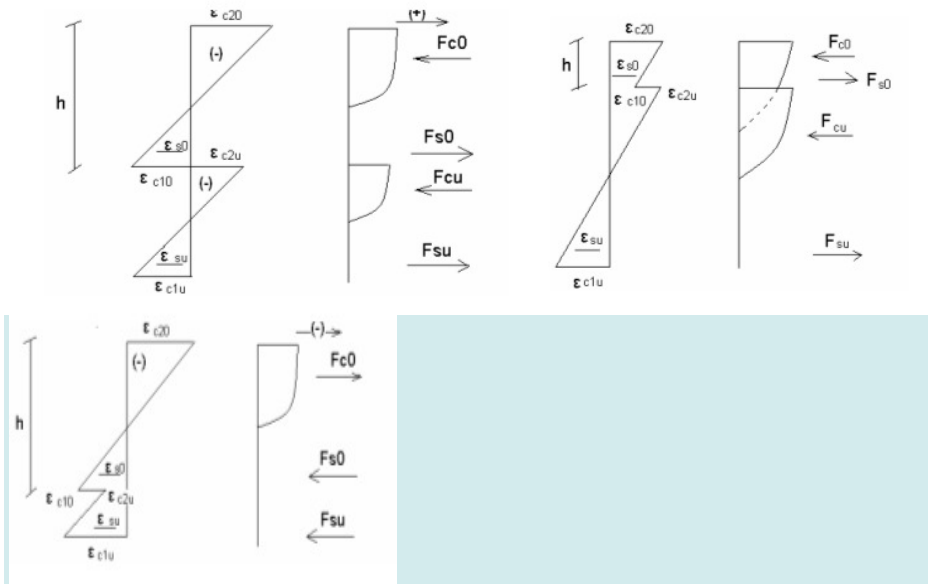
### ΝΕΟ "ΣΥΝΘΕΤΟ" ΣΤΟΙΧΕΙΟ



Κατανομή παραμορφώσεων στη σύνθετη διατομή  
(α) με μονολιθική συμπεριφορά,  
(β), (γ) με ολίσθηση στη διεπιφάνεια

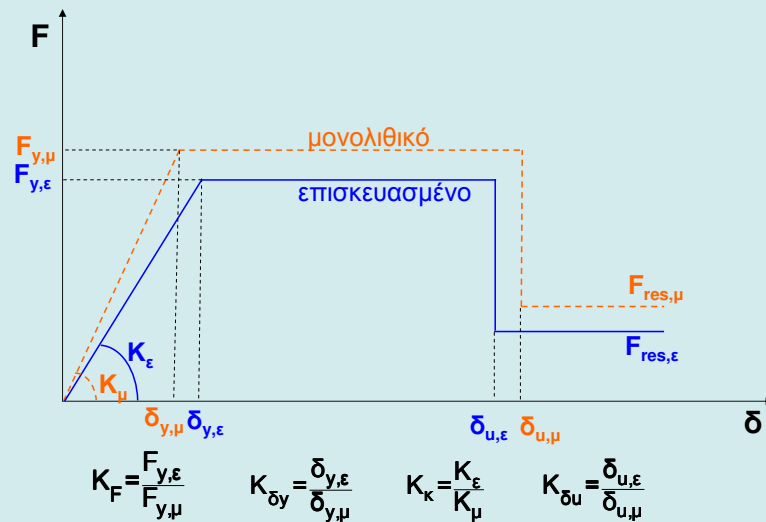
Απαιτείται προσομοίωμα μεταφοράς Διατμητικής Δύναμης

36



Πιθανή Κατανομή Παραμορφώσεων και Τάσεων

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



$$K_F = \frac{F_{y,\epsilon}}{F_{y,\mu}} \quad K_{\delta y} = \frac{\delta_{y,\epsilon}}{\delta_{y,\mu}} \quad K_k = \frac{K_\epsilon}{K_\mu} \quad K_{\delta u} = \frac{\delta_{u,\epsilon}}{\delta_{u,\mu}}$$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΤΗΤΑΣ

$$k_k = \frac{\text{Δυσκαμψία πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Δυσκαμψία μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$k_r = \frac{\text{Αντοχή πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Αντοχή μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$k_k \leq k_r \leq 1,0$$

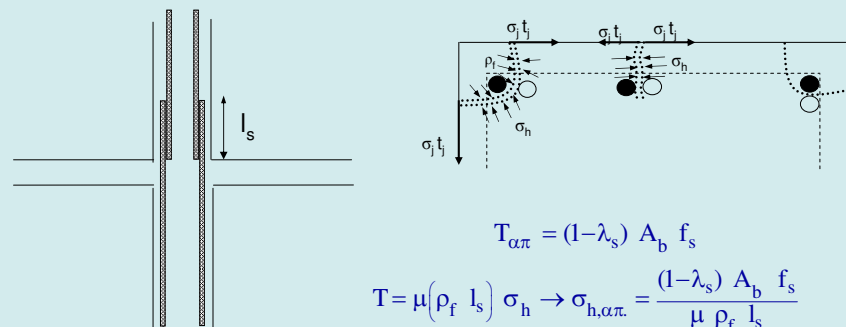
$$k_\mu = \frac{\text{Πλαστιμότητα πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Πλαστιμότητα μονολιθικού στοιχείου}}$$

$$k_{\delta u} = \frac{\text{Οριακή παραμόρφωση πραγματικού σύνθετου στοιχείου}}{\text{Οριακή παραμόρφωση μονολιθικού στοιχείου}}$$

Προσεγγιστική Μέθοδος Μονολιθικής Συμπεριφοράς

Αντοχή, Πλαστιμότητα, Δυσκαμψία, Ικανότητα Παραμόρφωσης Ενισχυμένου Στοιχείου =  $k_i$  (Αντοχή, Πλαστιμότητα, Δυσκαμψία, Ικανότητα Παραμόρφωσης Μονολιθικού Στοιχείου)

ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΑ ΜΗΚΗ ΜΑΤΙΣΜΕΝΩΝ ΡΑΒΔΩΝ



$$T_{απ} = (1 - \lambda_s) A_b f_s$$

$$T = \mu (\rho_f l_s) \sigma_h \rightarrow \sigma_{h,απ} = \frac{(1 - \lambda_s) A_b f_s}{\mu \rho_f l_s}$$

$$\sigma_j t_j = \sigma_h B \quad \text{όπου: } \beta = \rho_f / B$$

$$t_{j,απ} = \frac{(1 - \lambda_s) A_b f_s}{\beta \mu l_s \sigma_j}$$

$$A_j / s = \gamma_{Rd} \frac{(1-\lambda_s)}{\beta} \frac{1}{\mu} \frac{f_{yk}}{\sigma_j} \frac{A_b}{I_s}$$

$$A_j = t_j \cdot w_j$$

$$A_j / s = t_j$$

για συνεχή μανδύα

$$\sigma_{jd} = E_j \cdot \varepsilon_{jd} \leq \sigma_{j,max}$$

$$\sigma_{j,max} = f_{yd}$$

για στοιχεία από χάλυβα

$$\sigma_{j,max} = 0,75 \cdot E_j \cdot \varepsilon_{ju}$$

για στοιχεία από ΙΟΠ

$$0 \leq \lambda_s \leq 1$$

~~$$\lambda_s = \frac{I_s}{I_{so}}$$~~

$$\lambda_s = 0$$

$$\mu = \mu_0 \left( \frac{f_{ck}}{\sigma_N} \right)^{2/3}$$

(πρακτικά  $\mu = 0,4$  έως  $2,0$ )

Γωνιακές ράβδοι

$$\varepsilon_j = \frac{\sqrt{2} \cdot w}{b}, \quad w = 0,6 \delta^{2/3}$$

Priestley, Sieble κ.α. (Ref. 20)

$$\varepsilon_j = 1 \text{‰}$$

$$\mu = 1,0 - 1,4$$

$$\beta = 1,0$$

$$\lambda_s = 0$$

41

## Για Γωνιακές Ράβδους

$$\left( \frac{A_j}{s} \right)_{\text{απ}} = \left[ k_1 \left( \frac{f_{sy}}{f_c} \frac{d_s}{I_s} \right) - 0,4 \frac{c}{d_s} - 0,30 \right]^2 \frac{f_c^2 \cdot d_s^2}{k_2 \cdot E_j \cdot f_{ctm}}$$

$$A_j / s = t_j$$

για συνεχή μανδύα

$k_1 = 1,7$  για στάθμη επιτελεσματικότητας A

=  $1,5$  για στάθμη επιτελεσματικότητας Β ή Γ

$k_2 = 0,3$

$$\frac{c}{d_s} \geq 2$$

42

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ

- Προσθήκη Ελασμάτων (χάλυβα ή ΙΟΠ) ή υφασμάτων από ΙΟΠ στο εφελκούμενο πέγμα
- Προσθήκη Νέας Στρώσης Οπλισμένου Σκυροδέματος στο εφελκούμενο ή στο θλιβόμενο πέγμα

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ

- Προσθήκη Νέας Στρώσης Οπλισμένου Σκυροδέματος στο εφελκούμενο ή στο θλιβόμενο πέγμα

## ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΦΕΛΚΥΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ

- Συνίσταται η χρήση μανδύων

43

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ Η ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

- Το υφιστάμενο στοιχείο πρέπει να μπορεί να αναλάβει την ένταση από μόνιμα φορτία
- Στην φάση αστοχίας να έχει διαρρεύσει ο υφιστάμενος εφελκούμενος οπλισμός
- Το υλικό ενίσχυσης θεωρείται νέος εξωτερικός οπλισμός και το στοιχείο μονολιθικό

Εφελκυστικές Δυνάμεις από την **συνολική καμπτική** ένταση

➔ **Νέος + Παλιός οπλισμός**

Προσεγγιστικά: 
$$A_j = \frac{\Delta M_{do}}{z \cdot \sigma_{jd}}$$

- Κατασκευαστικές Διατάξεις  
πάχος, πλάτος, πλήθος στρώσεων, χρήση βλήτρων, κ.λ.π.

44

## Τάση Σχεδιασμού Υλικού Ενίσχυσης

$$\sigma_{jd} = \dots$$

### Πιθανές Μορφές Αστοχίας

- Θραύση του υλικού ενίσχυσης:  $\sigma_{jd} = \frac{1}{\gamma_m} \cdot f_{jk}$
- Πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης (στα άκρα ή σε ενδιάμεσες θέσεις)  $\sigma_j = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad \gamma_{Rd} = 1,2$

$$\sigma_{j,crit} = \beta \frac{\tau_{\text{αποκ.}}}{t_j} L_e$$

$$\beta = \beta_w \cdot \beta_L \quad \text{Διορθωτικός συντελεστής}$$

$\beta_w$ : Επιρροή πλάτους οπλισμού ενίσχυσης  
 $\beta_L$ : Επιρροή διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης

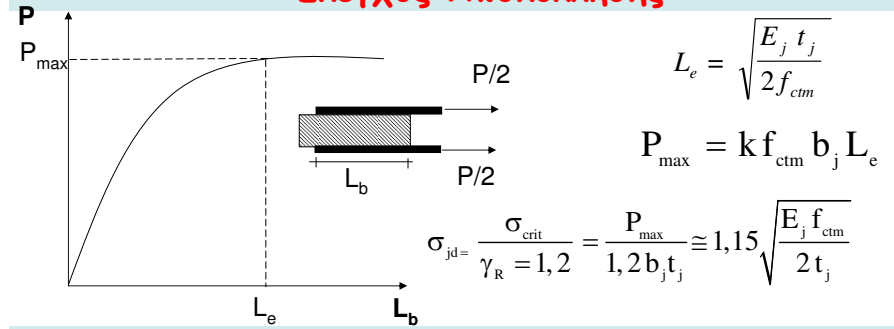
$$L_e = \sqrt{\frac{E_j t_j}{2 f_{ctm}}} \quad \text{Ενεργό μήκος αγκύρωσης}$$

$$t_j = \psi \cdot k \cdot t_{j1} \quad t_{j1} = \text{πάχος στρώσης}$$

$$\psi = k^{-1/4}$$

45

## Έλεγχος Αποκόλλησης



Ας θεωρηθεί η περίπτωση μίας δοκού από σκυρόδεμα C16/20 που ενισχύεται στο εφελκόμενο πέλα με ένα έλασμα ΙΟΠ-Άνθρακα, πάχους  $t_j = 1 \text{ mm}$  και πλάτους  $b_j = 1/2 b_w$ . Εξετάζοντας την 2η μορφή αστοχίας λαμβάνεται:

$$f_{ctm} \cong 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,316^{2/3} = 1,92 \text{ MPa} \quad \text{και}$$

$$\sigma_{j,crit} = 1,15 \sqrt{\frac{200 \times 1,92 \times 10^3}{2}} = 504 \text{ MPa}$$

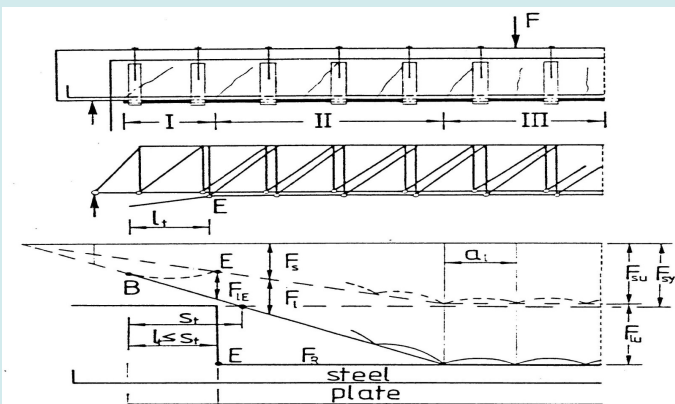
46

- Χρήσιμη τεχνική για ενισχύσεις γύρω από νέα ανοίγματα σε πλάκες, τοιχώματα

## Έλεγχος Απόσχισης Άκρου

$$V_{sd, \text{απόλ.}} \leq V_{cd, \text{απόλ.}}$$

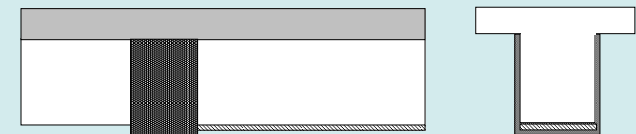
$$M_{sd, \text{απόλ.}} \leq 0,67 M_{Rd, \text{απόλ.}}$$



Rostasy, 1997

$$V_{sdj} = \frac{A_j \sigma_{jd}}{A_{so} f_{ydo} + A_j \sigma_{jd}} V_{sd, \text{απόλ.}}$$

47



Χρήση στοιχείων αγκύρωσης στα άκρα

48

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### Εκτίμηση ικανότητας

- Με συνεκτίμηση της ολίσθησης
- Προσεγγιστικά με χρήση συντελεστών μονολιθικότητας

Για πλάκες:

$$k_k = 0,85 \quad k_r = 0,95 \quad k_{\theta y} = 1,15 \quad k_{\theta u} = 0,85$$

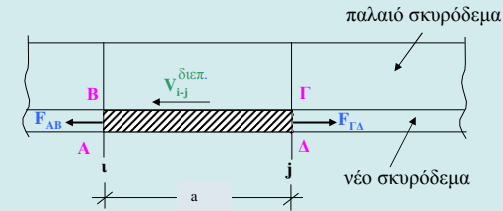
Για λοιπά στοιχεία:

$$k_k = 0,80 \quad k_r = 0,85 \quad k_{\theta y} = 1,25 \quad k_{\theta u} = 0,75$$

49

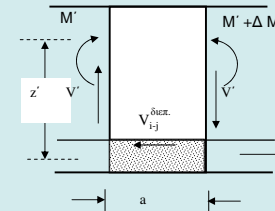
## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΑΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### Έλεγχος Διεπεφανειών - Αγκυρώσεων



$$V_{i-j}^{\deltaιεπ.} = F_{AB} - F_{\Gamma\Delta}$$

ή



$$V_{i-j}^{\deltaιεπ.} = \frac{\Delta M'}{z'} = V' \frac{a}{z'}$$

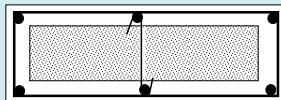
$M', V' =$  Ροπή, Τέμνουσα λόγω δράσεων μετά την επέμβαση

$$V_{i-j}^{\deltaιεπ.} \leq V_{Rd}^{\deltaιεπ.}$$

Ελάχιστο Ποσοστό Βλητρω

$$\rho_{\delta} = \frac{A_{sd}}{A_{\omega} \sin \alpha} \geq 0,18 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

50

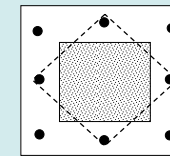


Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε επιμήκειες διατομές

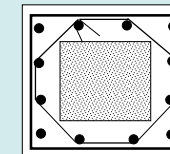
51

### Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε τετραγωνικές διατομές

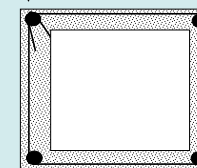
ΟΧΙ



ΝΑΙ



γωνία 45°



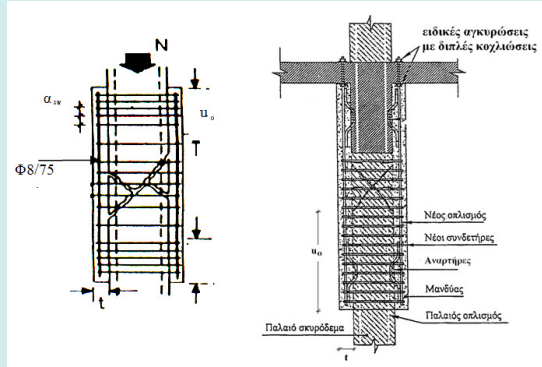
52

# ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

## Εκτίμηση Ικανότητας

Με συνεκτίμηση της σχετικής ολίσθησης στις διεπιφάνειες ή  
Με χρήση συντελεστών μονολιθικότητας

## Έλεγχος Μεταφοράς Δυνάμεων: Αρχικό Στοιχείο-Μανδύας



Ενδεικτική απεικόνιση άκρων μανδύα

- (α) Με επαρκές μήκος συναρμογής και στα δύο άκρα
- (β) Χωρίς επαρκές μήκος συναρμογής στο ένα άκρο

53

## Θλίβουσα Δύναμη Μανδύα

$$F_{cm} = 4u_o \underbrace{\mu}_{\text{Τριβή}} f_{ctm} + 10n_b \underbrace{\frac{A_{sb}}{h_s}}_{\text{Αναρτήρες "πάπιες"}} + n_D \underbrace{F_{uD}}_{\text{Βλήτρα}}$$

Τριβή      Αναρτήρες  
                  "πάπιες"

## Ελάχιστοι Συνδετήρες Μανδύα

ΕΚΩΣ 2000

Και  $\frac{A_{sw}}{\alpha_{sw}} \geq \frac{t \cdot f_{ctm}}{f_{ywd}}$  , δηλ.  $\alpha_{sw} \leq 0.8 \left( \frac{f_{ywd}}{f_{ctm}} \right) \cdot \frac{d_h^2}{t}$

## Προσεγγιστική Μέθοδος Μονολιθικής Συμπεριφοράς

$k_k = 0,80$

$k_r = 0,90$

$k_{\Theta y} = 1,25$

$k_{\Theta u} = 0,80$

54

# ΑΥΞΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

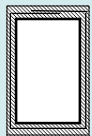
## Ανεπάρκεια Έναντι Λοξής Θλίψης ( $V_{sd} > V_{Rd2}$ )

- Με περισφιγξη

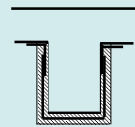
$$f_{ck,c} = (1,125 + 1,25\alpha_w) f_{ck}$$

- Με προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος

- κλειστός μανδύας (συνιστάται)
- τρίπλευρη ενίσχυση



(α)



(β)

Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας σε λοξή θλίψη:

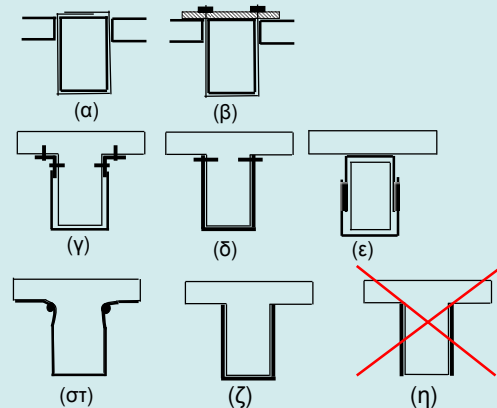
- (α) Κλειστή ενίσχυση, (β) Ανοικτή ενίσχυση

$$V_{sd} \leq \frac{1}{\gamma_{Rd}} (V_{Rd,r} + V_{RM})$$

55

## Ανεπάρκεια Οπλισμού Διάτμησης ( $V_{sd} > V_{Rd3}$ )

- Με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος
- Με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα ή ΙΟΠ



Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης:

- (α), (β) "κλειστή" ενίσχυση, (γ), (δ), (ε), (στ) "ανοικτή" ενίσχυση με αγκυρωμένα άκρα & (ζ) "ανοικτή" ενίσχυση αποδεκτή κατά παρέκκλιση, (η) Δεν επιτρέπεται

56

## ΑΥΞΗΣΗ $V_{Rd3}$

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

Παλαιοί συνδετήρες:  $V_{wd} = \frac{A_{sw}}{S_w} z f_{ywd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$

Νέα Ενίσχυση:  $V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,ef} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \alpha$

$$\rho_j = \frac{2A_j}{s_j \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \quad A_j = t_j \cdot w_j \quad t_j = A_j / s_j \quad h_{j,ef} = 2/3 \cdot d$$

Για  $\theta = 45^\circ$  και  $\alpha = 90^\circ$ :  $V_{jd} = \sigma_{jd} \cdot \rho_j \cdot b_w \cdot h_{j,ef} = \frac{2A_j}{s_j} \cdot h_{j,ef} \cdot \sigma_{jd}$

57

## Τάση Σχεδιασμού Υλικού Ενίσχυσης

$$\sigma_{jd} = ;$$

### Πιθανές Μορφές Αστοχίας

- Θραύση υλικού ενίσχυσης
- Μείωση της συμβολής του σκυροδέματος ( $V_c$ ) λόγω σημαντικής διεύρυνσης ανοίγματος ρωγμής
- Πρόωρη αποκόλληση λόγω ανεπάρκειας σύνδεσης

58

## "ΚΛΕΙΣΤΕΣ" ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

- Για ΙΟΠ απαιτείται επαρκής υπερκάλυψη των άκρων του (150 έως 200mm)
- "Ανοικτές" Ενισχύσεις με εξασφάλιση πλήρους αγκύρωσης των άκρων = οιονεί "κλειστές"

$$\sigma_{jd} \leq \frac{1}{\gamma_m} f_{jk}$$

Για Χάλυβα

$$\gamma_m = 1,2 \quad f_{jk} = f_{syk}$$

Για ΙΟΠ

$$\gamma_m = 1,2 \quad f_{jk} = E_j \cdot \varepsilon_{j,crit} \quad \varepsilon_{j,crit} = k_v \cdot \varepsilon_{j,max} \quad k_v = 0,5$$

$$\varepsilon_{j,max} = \min(\psi \varepsilon_{ju}, 1,5\%) \quad \psi = k^{-1/4}$$

59

## "ΑΝΟΙΚΤΕΣ" ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

$$\sigma_{jd} \leq \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_{Rd}} \quad \sigma_{j,crit} = k_v \sigma_{j,max} < \sigma_{jd,"κλειστό"} \quad \gamma_{Rd} = 1,2$$

Μέγιστη τάση για να αποφευχθεί η αποκόλληση

$$\sigma_{j,max} = \beta \frac{\tau_b^{\alpha_{ποκ.}}}{t_j} L_e = \beta \sqrt{\frac{E_j \cdot f_{ctm}}{2t_j}} \quad \beta = \beta_w \cdot \beta_L$$

Για ΙΟΠ

$$k_v = \begin{cases} 0,525 & \lambda \leq 0,5 \\ 0,40 + 0,25 \lambda & \lambda > 0,5 \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{\text{διατιθέμενο μήκος}}{\text{μήκος αγκύρωσης}} = \frac{L_{av}}{L_e} = \frac{h_{j,ef}}{L_e}$$

Για Χάλυβα

$$\text{Αν } \sigma_{j,crit} \geq \sigma_{jd,"κλειστό"} \quad k_v = 1,0$$

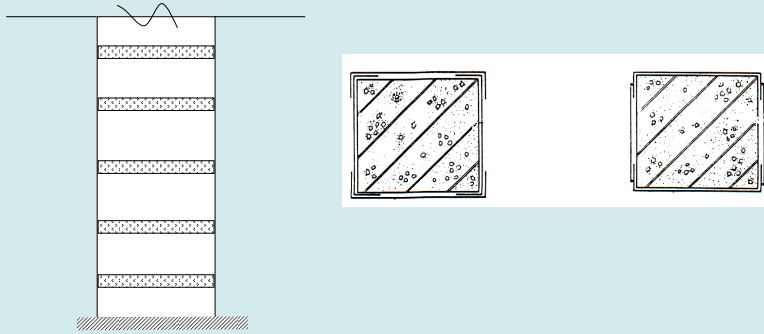
$$\text{Αν } \sigma_{j,crit} < \sigma_{jd,"κλειστό"} \quad k_v \text{ όπως ΙΟΠ}$$

60

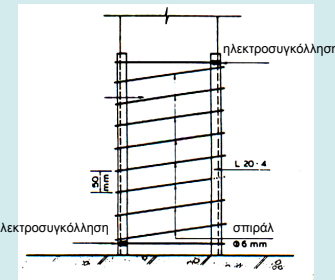
## ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΠΙΚΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

Με κολάρα από χάλυβα ή ΙΟΤΠ

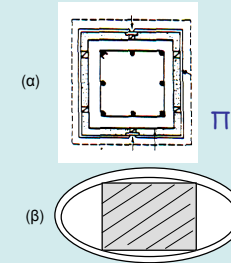
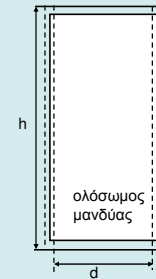
- Επικολητά ή προεντεταμένα



61

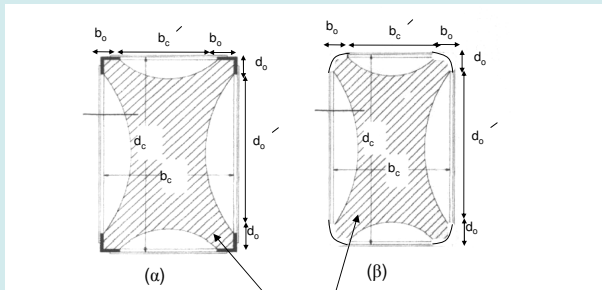


Περίσφιξη με σπειροειδή σπλισμό



Περίσφιξη με γενικό μεταλλικό μανδύα  
(α) ορθογωνική  
(β) ελλειπτική

62



(α) : Περίσφιξη με μεταλλικό κλωβό  
(β): Περίσφιξη με ινοπλισμένα πολυμερή

63

## ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ - ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

Απαίτηση Στοχευόμενου  $q$ :

- Υπολογίζεται ο απαιτούμενος δείκτης συμπεριφοράς  $q_\mu = q/q_0$  ( $q_0$  παράγοντας υπεραντοχής δομήματος κατά EC8)
  - Υπολογίζεται ο απαιτούμενος δείκτης πλαστιμότητας σε όρους μετακινήσεων:
- $$\mu_d = \begin{cases} q_\mu & \text{όταν } T > T_2 \\ 1 + \frac{T_2}{T} (q_\mu - 1) & \text{όταν } T < T_2 \end{cases}$$
- Υπολογίζεται η απαιτούμενη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας σε όρους καμπυλότητας :  
 $(\mu_d - 1) \cdot (\mu_{1/r} - 1) = 3$
  - Υπολογίζεται η απαιτούμενη μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση σκυροδέματος:

$$\epsilon_{cu}^* = 2,5 \cdot \mu_{1/r} \cdot \epsilon_{sy} \cdot \nu$$

- Ογκομετρικό μηχανικό ποσοστό περίσφιξης  $\omega_w$  :

Χαλύβδινη Περίσφιξη:  $\epsilon_{cu}^* = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_w$

Περίσφιξη με CFRP:  $\epsilon_{cu}^* = 0,0035 (f_c^* : f_c)^2$  με  $f_c^* = (1,125 + 1,25 \cdot \alpha \cdot \omega_w) f_c$

Περίσφιξη με GFRP:  $\epsilon_{cu}^* = 0,007 (f_c^* : f_c)^2$

64



## ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ - ΑΥΞΗΣΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ

### Απαίτηση Στοχευόμενου $m$ :

Ομοίως με δείκτη συμπεριφοράς  $q$ , μόνο που το  $\mu_d$  αντικαθιστάται με  $m_{απ}$ .

### Απαίτηση Επιθυμητής Ικανότητας Γωνίας Στροφής Χορδής $\theta_y$ :

Υπολογίζεται η  $\mu_{1/r}$  μέσω αξιόπιστων συσχετισμών με τη  $\mu_\theta$

$$\theta_{u,απ} = \mu_{\theta,απ} \cdot \theta_y$$

Όπου η  $\theta_y$  :

Για δοκούς ή υποστυλώματα

Για τοιχώματα

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_{vz}}{3} + 0,0013 \left( 1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad \theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_{vz}}{3} + 0,002 \left( 1 - 0,125 \frac{L_s}{h} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}}$$

Η συσχέτιση των  $\mu_\theta$  και  $\mu_d$  γίνεται μέσω των σχέσεων:

- $\mu_\theta = \mu_d$  μη σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφων
- $\mu_\theta = \mu_d \frac{H_{tot}}{H_{op}}$  πιθανός σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού σε όροφο

$$\mu_{1/r,απ} = 3\mu_{d,απ} - 2 \quad \longrightarrow \quad \epsilon_{cu,απ}^* \quad \longrightarrow \quad \omega_{w,απ}$$

65

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

### Ανεπάρκεια Έναντι Διαγώνιας Θλίψης

- Αύξηση διαστάσεων μανδύα  
(για ικανοποίηση κριτηρίων παρ.7.2.5)

### Ανεπάρκεια Οπλισμού Κόμβου

- Προσθήκη μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα
- Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία
- Προσθήκη επικολλητών ελασμάτων (από χάλυβα ή ΙΟΠ) ή υφασμάτων ΙΟΠ
- Αποκατάσταση ίσης διατομής και προσθήκη οπλισμών

66

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

### Προσθήκη Μανδύα από Ο.Σ.

- Αν οι διαστάσεις του κόμβου δεν αποτρέπουν τη διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση (ΚΑΝ.ΕΠΕ., Κεφ. 7) ο οπλισμός του μανδύα στην περιοχή του κόμβου υπολογίζεται:

Οριζόντιος Οπλισμός

$$A_{jh} = \frac{V_{jh}}{f_{ywd}}$$

Κατακόρυφος Οπλισμός

$$A_{jv} = \frac{V_{jv}}{f_{ywd}}$$

όπου οι  $V_{jh}$  και  $V_{jv}$  υπολογίζονται ανάλογα με:

$$\Sigma M_{yb} < \Sigma M_{yc} \quad \text{ή} \quad \Sigma M_{yb} > \Sigma M_{yc}$$

67

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

### Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία



68

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

### Προσθήκη χιαστί κολλάρων από χαλύβδινα στοιχεία

- Απαιτούμενη Διατομή Χαλύβδινων Στοιχείων σε κάθε Διαγώνια διεύθυνση δίνεται από τη σχέση:

$$A_{j\delta} = \frac{F_{j\delta}}{\gamma_{Rd} f_{yd}}$$

Όπου η διαγώνια εφελκυστική δύναμη στον κόμβο ( $F_{j\delta}$ ) ισούται με:

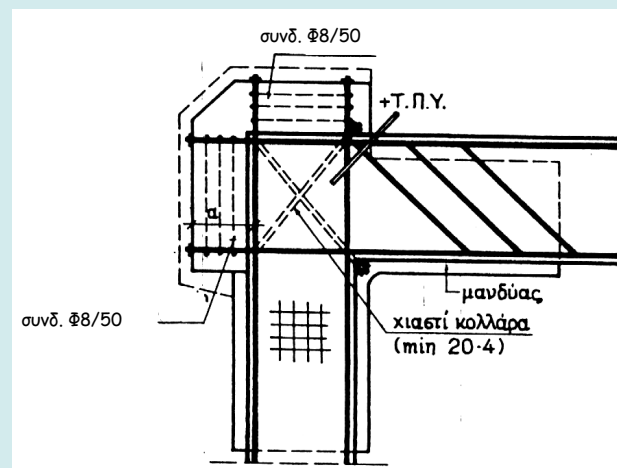
$$F_{j\delta} = \frac{V_{jh}}{h_c} h_\delta = \frac{V_{jv}}{h_b} h_\delta$$

$h_\delta$ : μήκος διαγωνίου του κόμβου

$V_{jh}, V_{jv}$ : δίνονται από τους ίδιους τύπους για τους μανδύες

69

## Προσθήκη μήκους αγκύρωσης - τεχνική "καμπούρας"



70

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

### Προσθήκη επικολλητών ελασμάτων (από χάλυβα ή ΙΟΠ) ή υφασμάτων ΙΟΠ

- Ελάσματα από χάλυβα:

$$t_{ελ} \geq \max \left( \frac{V_{jh}}{h_b \sigma_{jd}}, \frac{V_{jv}}{h_c \sigma_{jd}} \right)$$

- Ελάσματα ή Υφάσματα από ΙΟΠ:

Απαιτούνται ίνες και προς τις δύο διευθύνσεις.

Ίνες // άξονα δοκού

Ίνες // άξονα υποστύλματος

$$t_{jh} = \frac{V_{jh}}{h_d \sigma_{jd}}$$

$$t_{jv} = \frac{V_{jv}}{h_c \sigma_{jd}}$$

71

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ

### Αποκατάσταση ίσης διατομής και προσθήκη σπλισμών

- Η Αποκατάσταση ίσης Διατομής γίνεται με την προσθήκη οριζόντιων και κατακόρυφων συνδετήρων.

Η συνολική διατομή τους υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$A_{jh,tot} \geq \frac{\gamma_{Rd} V_{jh}}{f_{ywd}}$$

$$A_{jv,tot} \geq \frac{\gamma_{Rd} V_{jv}}{f_{ywd}}$$

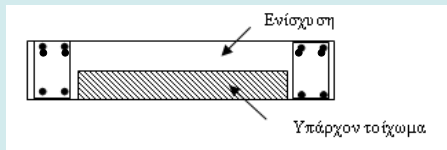
Οριζόντιοι συνδετήρες

Κατακόρυφοι Συνδετήρες

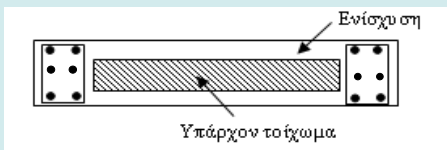
72

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

- Αποκατάσταση Ανεπαρκών Αναμονών Όπως και στα υποστυλώματα
- Αύξηση Φέρουσας Ικανότητας Έναντι Κάμψης
  - ✓ Προσθήκη υποστυλωμάτων στα άκρα
  - ✓ Μονόπλευρη ενίσχυση και προσθήκη υποστυλωμάτων



- ✓ Ολόπλευρος κλειστός μανδύας (συνιστάται)



73

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

- Αύξηση Φέρουσας Ικανότητας Έναντι Τέμνουσας
  - ✓ Ανεπάρκεια λόγω λοξής θλίψης κορμού Προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος ή μανδύα
  - ✓ Ανεπάρκεια οπλισμού διάτμησης Προσθήκη Εξωτερικών στοιχείων χάλυβα ή ΙΟΠ ή μανδύας
- Ολίσθηση Τοιχώματος
  - ✓ Προσθήκη κατακόρυφων μεταλλικών στοιχείων εκατέρωθεν του αρμού
  - ✓ Τοπικός μανδύας
- Αύξηση Πλαστιμότητας (Δεν προσφέρονται οι μέθοδοι περισφιγξης)
  - ✓ Αύξηση διατομής θλιβόμενου πέλματος με προσθήκη εγκάρσιου τοιχώματος με τοπική διεύρυνση του άκρου
  - ✓ Τοποθέτηση εγκαρσίων διαμπερών σφικτήρων

74

## ΕΜΦΑΤΝΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

- Σημαντική Αύξηση της Δυσκαμψίας και της Σεισμικής αντίστασης του φορέα

### Μορφές:

- Προσθήκη Απλού "Γεμίματος"
- Τοιχωματοποίηση Πλαισίου
- Ενίσχυση Υφισταμένων Τοίχων Πληρώσεως

### Κρίσιμα σημεία της μελέτης

- Έλεγχος επάρκειας μεταφοράς τέμνουσας στις στάθμες των ορόφων
- Μικρή Αξονική → Μειωμένη Ενεργός Δυσκαμψία, Μεγάλη Στροφή στο Θεμέλιο

### Κατασκευαστικά Θέματα

- Δυσκολία αγκυροδέτησης (ανεπαρκής πρόσβαση στην κορυφή)
- Αντιμετώπιση συστολής ξήρανσης

75

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΠΛΟΥ "ΓΕΜΙΣΜΑΤΟΣ"

- Τοιχώματα από: α) Άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα (επί τόπου κατασκευαζόμενα ή προκατασκευασμένα)  
β) Άοπλη ή οπλισμένη τοιχοποιία
- Δεν λαμβάνονται ειδικά μέτρα σύνδεσης του γεμίματος με το πλαίσιο
- Προσομοίωση του γεμίματος μέσω διαγώνιου θλιπτήρα
- Χαμηλή πλαστιμότητα. Συνιστάται  $m \leq 1,5$

### Προσοχή

Πρόσθετες Τέμνουσες σε Δοκούς και Υποστυλώματα

76

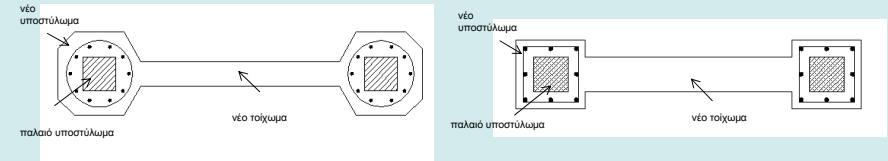
## ΤΟΙΧΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

- Εμφάνιση πλαισίων με Οπλισμένο Σκυρόδεμα
- Απαιτείται Εξασφάλιση της σύνδεσης με το περιβάλλον πλαισίωμα
- Κατασκευή κλειστών μανδύων στα υποστυλώματα εκατέρωθεν του νέου τοιχώματος με κατακόρυφους συνεχείς οπλισμούς και οπλισμό περισφιξης.

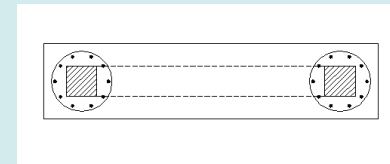
77

## ΤΟΙΧΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Εμφανώσεις πάχους μικρότερου ή ίσου με το πλάτος της δοκού



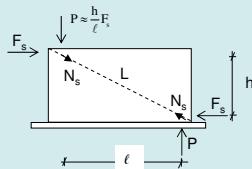
Εμφανώσεις πάχους μεγαλύτερου του πλάτους της δοκού



78

## ΤΟΙΧΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Προσομοίωμα Ελέγχου Επάρκειας



Ασκούμενη Τέμνουσα στο Τοίχωμα:

$$F_s = V_s - \frac{2V_{Rc}}{\gamma_{sd}}$$

Έλεγχος Αντίστασης Φατνώματος:

- Θλίψη Διαγώνιου Θλιπτήρα:

$$N_s = \frac{L}{\ell} F_s \quad N_R = \lambda f'_c t_w b_w$$

$$f'_c = 0,6 f_c$$

$b_w$  = ενεργό πλάτος διαγώνιου θλιπτήρα  
 $\lambda \approx 0,4$ , συντελεστής απομείνουσας απόκρισης του διαγώνιου θλιπτήρα μετά την υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσής του

- Διάτμηση κατά Μήκος των Διεπιφανειών:

$$F_{\beta\lambda, \text{οριζ.}} = F_s - \frac{\ell}{L} N_R > \frac{1}{2} n_o D_u$$

$$F_{\beta\lambda, \text{κατ.}} = \frac{h}{\ell} F_{\beta\lambda, \text{οριζ.}} > \frac{1}{2} n_v D_u$$

Ελάχιστη ποσότητα βλήτρων 3Φ16 ανά μέτρο της περιμέτρου και  $\rho_{\min}$

79

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ

- Με αμφίπλευρες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος  
 Ελάχιστο πάχος 20 mm  
 Ελάχιστη Αντοχή 30 MPa  
 Χρήση αναστολέων διάβρωσης

Εξασφάλιση της από κοινού λειτουργίας υφιστάμενης τοιχοποιίας με τις δύο στρώσεις ενίσχυσης: Έλεγχος διατμητικής ικανότητας διεπιφανειών, Διαμπερής σύνδεση νέων πλεγμάτων μέσω σιγομοειδών συνδέσμων (τουλάχιστον 2 /m<sup>2</sup>)

- Αντίσταση ενισχυμένου τοίχου = Αντίσταση λοξού θλιπτήρα με αντοχή

$$f_{wc,fd} = \frac{t \cdot f_{wcd} + a_c \cdot \Delta t \cdot f_{cd}}{t_w}$$

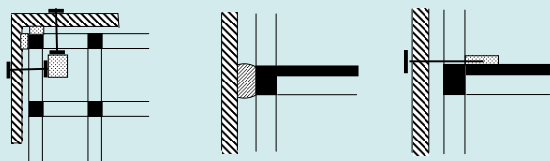
υπό την προϋπόθεση  $V_s \leq V_{u,w}$  (Διατμητική αντίσταση κορμού)

$$V_{u,w} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \left[ \frac{0,3}{\sqrt{a_s}} (f_{wtd} + \sigma_0) + \lambda_\varepsilon \cdot \rho_v + h \cdot f_{wyd} \right] \cdot L_w \cdot t_w$$

80

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΩΝ ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

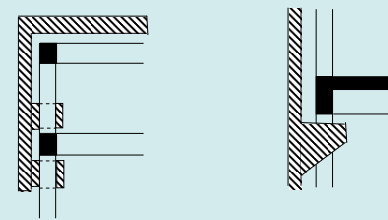
(Λύση που απαιτεί ιδιαίτερα υψηλή μελετητική και κατασκευαστική εμπειρία)



Ενδεικτική διάταξη συνδέσμων: α) κάτοψη, β) τομή σε θλιπτικό σύνδεσμο, γ) τομή σε εφελκυστικό σύνδεσμο

81

- Επιτρέπεται η διάταξη προεξοχών των τοιχωμάτων εντός υφιστάμενου του σκελετού για παρεμπόδιση της ελεύθερης ανύψωσης του εφελκυσμένου πέλματος τους



Ενδεικτική θέση προεξοχών τοιχώματος για παρεμπόδιση ανύψωσης του εφελκυσμένου πέλματος του

### Θεμελίωση

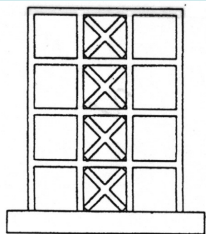
- Συνίσταται να θεμελιώνονται χωριστά
- Ελέγχονται οι επιπτώσεις καθίζησης και στα στοιχεία θεμελίωσης του υφιστάμενου δομήματος

82

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

*Κυρίως αύξηση δυσκαμψίας & πλαστιμότητας*

Τύπος	<ul style="list-style-type: none"><li>Χιαστί διαγωνίων, σχήματος Λ ή V, ορθού ή ανεστραμμένου Υ.</li><li>Απαγορεύεται η μορφή Κ</li><li><b>Εμφαντούμενα ή Παράπλευρα</b></li></ul>
Κρίσιμα σημεία της μελέτης	<ul style="list-style-type: none"><li>Αξιολόγηση ανακατανομής έντασης</li><li>Επάρκεια αντοχής κόμβων</li></ul>
Κατασκευαστικές	<ul style="list-style-type: none"><li>Απαιτείται εξειδικευμένη εμπειρία</li></ul>
Λεπτομέρειες	<ul style="list-style-type: none"><li>Προτιμάται η εμφάνιση της μεταλλικής δικτύωσης, έστω και μόνο στα υποστυλώματα. π.χ. στο εσωτερικό του κτιρίου χωρίς καθαίρεση των τοιχοπληρώσεων</li><li>Συνιστάται η κατασκευή μεταλλικού περιμετρικού πλαισίου</li><li>Οι ατέλειες προσαρμογής στον περιβάλλοντα φέροντα οργανισμό αντιμετωπίζονται με την κατασκευή πρόσθετης στρώσης σκυροδέματος σύνδεσης μεταλλικού πλαισίου και Φ.Ο.</li></ul>



83

## ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΔΙΚΤΥΩΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διαστασιολόγηση

Κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EC8 - Μέρος 3

Υπό προϋποθέσεις προτείνεται:

- Σ.Ε. «Προστασία Ζωής»:
    - Απλές διαγώνιες ράβδους και δισδιαγώνιες δικτυώσεις τύπου Χ:  
 $q = 3,5$
    - Δικτυώσεις τύπου V ή Λ :  $q = 1,5 - 2$  ανάλογα με τον τύπο διατομής δικτύωσης
  - Σ.Ε. «Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης»: Αύξηση των ανωτέρω κατά 35%
- Για δικτυωτά συστήματα με εκκεντρότητα (παρουσία δοκού σύζευξης - «σεισμικού συνδέσμου»)
- Υπό προϋποθέσεις
- Σ.Ε. «Προστασία Ζωής»:  $q = 5$
  - Σ.Ε. «Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης»:  $q = 7$
- Εν γένει για Σ.Ε. «Άμεση χρήση μετά από σεισμό»:  $q = 1$

84

## ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### Στάθμη Επιτελεστικότητας **B** και **Γ**

Πρωτεύοντα:

- (α) τα στοιχεία των Δικτυωτών Συνδέσμων
- (β) τα περιβάλλοντα "σύμμεικτα" κατακόρυφα και οριζόντια στοιχεία

Ανάλογα με την **Στάθμη Επιτελεστικότητας** και τον **τύπο συνδέσμων** προτείνονται συντελεστές συμπεριφοράς  $q$  υπό προϋποθέσεις:

- ✓ Συμμετρικής διάταξης και διατομών
- ✓ Ομαλής κατανομής υπεραντοχής σε κάτοψη και καθ' ύψος
- ✓ Υπεραντοχή κατακόρυφων και οριζοντίων στοιχείων έναντι των ράβδων δικτύωσης
- ✓ κ.α

### Στάθμη Επιτελεστικότητας **A**

- ✓ Όλα τα στοιχεία του δομήματος συμμετέχουν στο προσομοίωμα
- ✓  $q=1,00$

85

## ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

- ✓ Όλα τα στοιχεία του ενισχυμένου δομήματος συμμετέχουν στο προσομοίωμα
- ✓ Ελαστοπλαστική συμπεριφορά ράβδων δικτύωσης

$$\begin{array}{ll} F_y = F_{\text{διαρροής}} & \text{για εφελκόμενα μέλη} \\ F_y = 20\% F_{\text{λυγισμού}} & \text{για θλιβόμενα μέλη} \\ \bar{\delta}_u = 12\delta_y & \text{για εφελκόμενα μέλη} \\ \bar{\delta}_u = 8-10 \delta_{\text{λυγισμού}} & \text{για θλιβόμενα μέλη} \end{array}$$

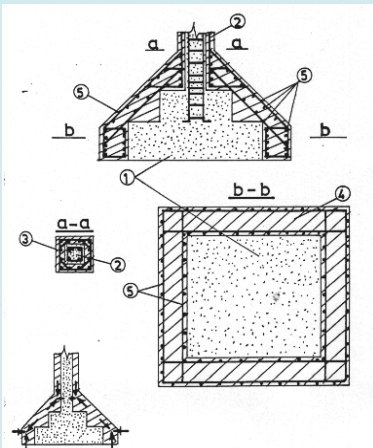
86

## ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

- Ανεπάρκεια επιφάνειας έδρασης
- Ανεπαρκές ύψος

➔ Αύξηση διαστάσεων

Συνδυασμός με ενίσχυση κατακόρυφων μελών



$$\sum A_{sw} \geq \frac{P_n \tan \alpha}{f_{ywd}}$$

Ενδεικτική ενίσχυση πεδίων με την τεχνική των μανδύων, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου

87

• ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ:

[www.oasp.gr](http://www.oasp.gr)

• [www.episkeves.civil.upatras.gr](http://www.episkeves.civil.upatras.gr)

88