

## ΚΑΝ.ΕΠΕ. (2)

➤ Στέφανος Δρίτσος  
Καθηγητής  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

1

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

2

### ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

- Ορίζονται ως επιθυμητές συμπεριφορές.
- Περιγράφουν μια περιοριστική κατάσταση βλαβών, που μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική για δεδομένο κτίριο και εδαφική κίνηση. Η περιγραφή βασίζεται στις βλάβες, την απειλή για τη ζωή των ενοίκων και τη λειτουργικότητα μετά το σεισμό.
- Διακρίνονται σε στάθμες επιτελεστικότητας Φέροντος και Μη-Φέροντος οργανισμού. Ο συνδυασμός τους δίνει τη στάθμη επιτελεστικότητας της κατασκευής.
- Εξυπηρετούν κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια (καθορισμός τελικής συμπεριφοράς φορέα - επιλογή επέμβασης με βάση τέτοια κριτήρια).

3

### ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ (Φ.Ο.)

- Α. «Άμεση χρήση μετά το σεισμό»: καμιά λειτουργία του κτιρίου, εκτός από σπάνιες - δευτερευούσης σημασίας, δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμό σχεδιασμού. Πιθανόν τριχοειδείς καμπτικές ρωγμές στον Φ.Ο.
- Β. «Προστασία ζωής ενοίκων»: ο σεισμός σχεδιασμού προκαλεί επισκευάσιμες βλάβες στον Φ.Ο. χωρίς τραυματισμούς και θύματα εξαιτίας αυτών. Όχι ουσιώδεις φθορές σε οικοσκευή - αποθηκευόμενα υλικά.
- Γ. «Αποφυγή οίωνης κατάρρευσης»: ο σεισμός σχεδιασμού αναμένεται να προκαλέσει εκτεταμένες, σοβαρές (πολλές μη επισκευάσιμες) βλάβες στον Φ.Ο. Διατηρεί την ικανότητα να φέρει τα κατακόρυφα φορτία. Δεν υπάρχει περιθώριο ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης.

4

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΗ - ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

- α. «Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά το σεισμό»: κατάσταση μη φερόντων στοιχείων και εγκαταστάσεων επιτρέπει τη διατήρηση όλων των λειτουργιών.
- αβ. «Άμεση χρήση μετά το σεισμό»: εμφάνιση βλαβών σε μη φέροντα. Προσβάσεις - συστήματα ασφαλείας λειτουργικά αν υπάρχει ηλεκτροδότηση.
- β. «Προστασία ζωής και περιουσίας ενοίκων»: εμφάνιση βλαβών σε μη φέροντα, αλλά όχι κίνδυνος για τους εισερχόμενους στο κτίριο.
- γ. «Αποφυγή οίωνει κατάρρευσης»: βλάβες στα μη φέροντα στοιχεία που μπορούν να προκαλέσουν πτώση τους. Υψηλού κινδύνου μη φέροντα στοιχεία κατάλληλα στερεωμένα ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος πτώσης τους.

5

## ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

- Αντιστοιχούν σε ένα επίπεδο σεισμικής κίνησης με συγκεκριμένη πιθανότητα εμφάνισης.
- Για τις ανάγκες αποτίμησης - ανασχεδιασμού εκφράζεται από φάσματα απαίτησης - σχεδιασμού.
- Για τον προσδιορισμό των στόχων επιτελεστικότητας λαμβάνονται υπόψη δύο κατηγορίες σεισμού:
  - πιθανότητα υπέρβασης 50% στη ζωή του κτιρίου (50 χρόνια) - σεισμός "λειτουργικότητας".
  - πιθανότητα υπέρβασης 10% στη ζωή του κτιρίου - σεισμός "σχεδιασμού".

6

## ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Καθορίζουν την επιθυμητή συμπεριφορά του κτιρίου για δεδομένη σεισμική δράση
- Συνδυασμοί στάθμης επιτελεστικότητας και σεισμικής δράσης με ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου (σεισμός σχεδιασμού).
- Για την επιλογή τους λαμβάνονται υπόψη:
  - Κοινωνική σπουδαιότητα κτιρίου
  - Διαθέσιμα οικονομικά μέσα.
- Διακρίνονται σε στόχους αποτίμησης ή ανασχεδιασμού του φέροντος και του μη φέροντος οργανισμού, οι οποίοι καθορίζονται από τους ακόλουθους πίνακες.

7

## ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ Η ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

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 οίωνει κατάρρευσης
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

- Ο σχεδιασμός νέων κτιρίων με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς (ΕΑΚ - ΕΚΩΣ 2000) αντιστοιχεί σε στόχο ανασχεδιασμού Β1 για το φέροντα οργανισμό.

8

## ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ Η ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας Μη - Φέροντος Οργανισμού			
	Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά το σεισμό	Άμεση χρήση μετά το σεισμό	Προστασία ζωής και περιουσίας των ενοίκων	Αποφυγή οίωνει κατάρρευσης
10%	α1	αβ1	β1	γ1
50%	α2	αβ2	β2	γ2

9

## ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΣΤΟΧΩΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ - ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗ - ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

- Προκύπτουν οι συνδυασμένοι στόχοι οι οποίοι αναφέρονται στην συμπεριφορά του κτιρίου (φέροντα και μη - φέροντα) συνολικά.
- Βασικό εφόδιο για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό - λήψη αποφάσεων.
- Καθορίζονται με βάση τον ακόλουθο πίνακα που συνδυάζει τα στοιχεία των δύο προηγούμενων.

10

## ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ Ή ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Στάθμη Επιτελεστικότητας Μη - Φέροντος οργανισμού	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος οργανισμού		
	Άμεση χρήση μετά το σεισμό	Προστασία ζωής ενοίκων	Αποφυγή οίωνει κατάρρευσης
Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά το σεισμό	Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα Αi - αi	(*)	(*)
Άμεση χρήση μετά το σεισμό	Άμεση χρήση Αi - αβi	Bi - αβi	(*)
Προστασία ζωής και περιουσίας των ενοίκων	Αi - βi	Προστασία Ζωής Bi - βi	Γi - βi
Αποφυγή οίωνει κατάρρευσης	(*)	Bi - γi	Γi - γi

- Για συνήθους σπουδαιότητας: ένας στόχος, συνίσταται προστασία ζωής  $B_i - \beta_i$ .
- Για υψηλής σπουδαιότητας: δύο στόχοι ταυτόχρονα, ίσοι ή ψηλότεροι του  $B_i - \beta_i$ .

11

## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ - ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Επιλογή μεθόδου ανάλυσης:  
Λαμβάνεται υπόψη η στοχευόμενη στάθμη επιτελεστικότητας ώστε να αποφευχθούν ασυνέπειες ή να απλοποιηθεί η διαδικασία. Π.χ.
- Για "σχεδόν πλήρη λειτουργικότητα" είναι σκόπιμο να μην εφαρμόζονται ανελαστικές μέθοδοι που προϋποθέτουν ανελαστική απόκριση.
- Έλεγχοι επάρκειας μελών:  
Με βάση τη στοχευόμενη στάθμη επιτελεστικότητας (αλλά και άλλους παράγοντες όπως τοπικοί δείκτες συμπεριφοράς, πλαστιμότητα - ψαθυρότητα) επιλέγεται η χρήση εντατικών ή παραμορφωσιακών μεγεθών στη βασική ανίωση ασφαλείας για τα μέλη.

12

## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ - ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

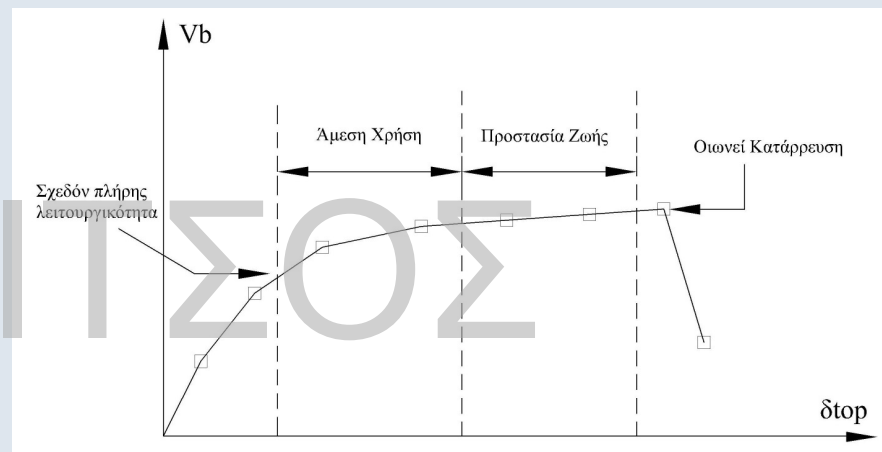
- Ενιαίος δείκτης συμπεριφοράς  $q$

Ανάλογα με τη στάθμη επιτελεστικότητας λαμβάνονται υπόψη διαφοροποιημένες τιμές για το  $q$  με βάση τους συντελεστές  $q^*$  του παρακάτω πίνακα. Η τιμή αναφοράς  $q$  αφορά τη στάθμη επιτελεστικότητας Β που προβλέπεται από τον ΕΑΚ 2000 για νέα κτίρια.

Στάθμη επιτελεστικότητας		
Σχεδόν πλήρης λειτουργικότητα κατά τον σεισμό	Προστασία ζωής και περιουσίας ενοίκων	Οιονεί - κατάρρευση
(Α)	(Β)	(Γ)
0,60 και $1.00 < q^* < 1.50$	1,00	1,50

13

## ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ



14

## ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ

- Κτίρια χωρίς βλάβες:

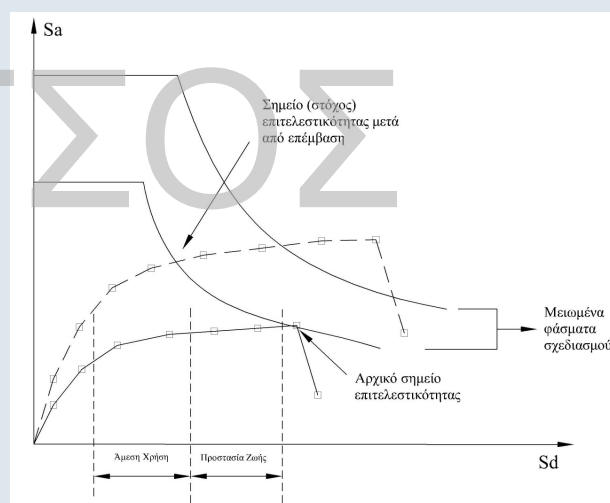
Η απόφαση για ενίσχυση ή μη λαμβάνεται με βάση το αποτέλεσμα της αποτίμησης και τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου επιτελεστικότητας.

- Κτίρια με βλάβες:

- Αποτίμηση με συνεκτίμηση βλαβών. Καθορισμός επιδιωκόμενου στόχου και απόφαση επέμβασης ή μη.
- Αν απαιτείται επέμβαση: αποτίμηση με την παραδοχή αποκατάστασης των βλαβών, περαιτέρω επέμβαση εάν εξακολουθεί να μην καλύπτεται ο επιδιωκόμενος στόχος επιτελεστικότητας.

15

## ΧΡΗΣΗ ΣΤΟΧΩΝ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ



16

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΞΕΝΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

- [FEMA 356](#).

Στάθμες Επιτελεστικότητα Μη - Φερόντων	Στάθμες και Πεδία Επιτελεστικότητας Φερόντων					
	S-1 Άμεση Κατάληψη	S-2 Έλεγχος Ζημιών	S-3 Προστασία Ζωής	S-4 Περιορισμένη Ασφάλεια	S-5 Αποφυγή Κατάρρευσης	SP-6 Δεν ορίζεται
N-A Λειτουργικότητα	1-A Λειτουργικότητα	2-A				
N-B Άμεση Κατάληψη	1-B Άμεση Κατάληψη	2-B	3-B			
N-C Προστασία Ζωής	1-C	2-C	3-C Προστασία Ζωής	4-C	5-C	6-C
N-D Μειωμένοι Κίνδυνοι		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Δεν ορίζεται			3-E	4-E	5-E Αποφυγή Κατάρρευσης	

17

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΞΕΝΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

- [FEMA 356](#).

Σεισμική Εδαφική Κίνηση (Πιθανότητα εμφάνισης)	Στόχοι Επιτελεστικότητας			
	Στάθμη Επιτελεστικότητας Κτιρίου			
	Λειτουργικότητα	Άμεση Κατάληψη	Προστασία Ζωής	Ευστάθεια Κατασκευής
50%	a	b	c	d
20%	e	f	g	h
10%	i	j	k	l
2%	m	n	o	p

18

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΞΕΝΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

- [ATC 40](#).

Στάθμες Επιτελεστικότητας Μη - Φερόντων	Στάθμες Επιτελεστικότητας Κτιρίου (ATC 40)					
	SP-1 Άμεση Κατάληψη	SP-2 Έλεγχος Ζημιών	SP-3 Προστασία Ζωής	SP-4 Περιορισμένη Ασφάλεια	SP-5 Ευστάθεια Κατασκευής	SP-6 Δεν ορίζεται
NP-A Λειτουργικότητα	1-A Λειτουργικότητα	2-A				
NP-B Άμεση Κατάληψη	1-B Άμεση Κατάληψη	2-B	3-B			
NP-C Προστασία Ζωής	1-C	2-C	3-C Προστασία Ζωής	4-C	5-C	6-C
NP-D Μειωμένοι Κίνδυνοι		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Δεν ορίζεται			3-E	4-E	5-E Ευστάθεια Κατασκευής	

19

## ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΞΕΝΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

- [ATC 40](#).

Σεισμική Εδαφική Κίνηση	Καθορισμός Στόχων Επιτελεστικότητας			
	Στάθμη Επιτελεστικότητας Κτιρίου			
	Λειτουργικότητα	Άμεση Κατάληψη	Προστασία Ζωής	Ευστάθεια Κατασκευής
Σεισμός Λειτουργικότητας (50%)				
Σεισμός Σχεδιασμού (10%)				
Μέγιστος Σεισμός (5%)				

20

## ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΡΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΝΕΠΕ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η χρήση των στόχων επιτελεσματικότητας διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για τον ανασχεδιασμό συγκεκριμενοποιώντας την κατάσταση του φορέα σε δεδομένες σεισμικές κινήσεις.
- Πιο ευέλικτη διαδικασία καθώς μπορεί να επιλεγεί η συμπεριφορά που ανταποκρίνεται καλύτερα στις συνθήκες του υπό μελέτη κτιρίου.
- Πιθανόν να απαιτείται καλύτερη διάκριση μεταξύ στάθμης και στόχου επιτελεσματικότητας, κυρίως όσον αφορά το πεδίο εφαρμογής τους.
- Χρήσιμο θα ήταν να συμπεριληφθούν πίνακες που να διευκρινίζουν την κατάσταση των μελών σε κάθε στάθμη επιτελεσματικότητας.

21

## ΣΤΑΘΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (Σ.Α.Δ.)

## ΣΤΑΘΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (Σ.Α.Δ.)

- Εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών για το υπό μελέτη κτίριο.
- Αναφέρεται σε δεδομένα που σχετίζονται με δράσεις και αντιστάσεις.
- Δεν είναι αναγκαστικά ενιαία για ολόκληρο το κτίριο.

23

## ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ (Σ.Α.Δ.)

- Υψηλή : όχι αμφιβολίες για τις αριθμητικές τιμές
- Ικανοποιητική : δεν απαιτούνται πρόσθετες ρυθμίσεις
- Επαρκής : πιθανόν απαιτούνται παραμετρικές επιλύσεις
- Ανεπαρκής : Για δευτερεύοντα στοιχεία, ή για κύρια όταν οι χρησιμοποιούμενες τιμές αιτιολογούνται επαρκώς από την πρότερα συμπεριφορά του κτιρίου.

24

## ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Σ.Α.Δ.

- Για κάθε δεδομένο αντιμετωπίζεται με αντίστοιχες προβλέψεις χειρισμού στο σχεδιασμό οικείου δομικού στοιχείου.
- Για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών καθορίζεται με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις για τη διερεύνηση τους.
- Για τις εδαφικές παραμέτρους εξαρτάται από τις διερευνητικές εργασίες για το έδαφος θεμελίωσης.
- Για τα γεωμετρικά στοιχεία, σχετίζεται με την προέλευση των δεδομένων και καθορίζεται με βάση τον ακόλουθο πίνακα.

25

## ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Σ.Α.Δ.

Για τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών:

### • Σκυρόδεμα :

- ✓ Ελάχιστος αριθμός πυρήνων: για μικρά κτίρια  $n=3$ , για μεγαλύτερα τουλάχιστον 3 πυρήνες ανά 2 ορόφους, οπωσδήποτε 3 πυρήνες στον κρίσιμο όροφο.
- ✓ "Ικανοποιητική" για έμμεσες μεθόδους στο 30% των κατακόρυφων και στο 15% των οριζόντιων στοιχείων κάθε ορόφου και ελάχιστους πυρήνες. Αρκούν οι τελευταίοι αν για το κτίριο διατίθενται αξιόπιστες πληροφορίες.
- ✓ "Επαρκής" για το μισό των παραπάνω έμμεσων μεθόδων και τους ελάχιστους πυρήνες.
- ✓ "Υψηλή" όταν υπάρχει ο φάκελος της μελέτης του κτιρίου ή από την παραπάνω έρευνα (για ικανοποιητική) αυξημένη κατά 50%.

26

## ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Σ.Α.Δ.

Για τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών:

### • Χάλυβας :

- ✓ "Υψηλή" για δοκιμή σε 3 τουλάχιστον δείγματα περίπου της ίδιας διαμέτρου από τον κρίσιμο όροφο για τον προσδιορισμό των πραγματικών χαρακτηριστικών.
- ✓ "Ικανοποιητική" όταν η κατάταξη γίνεται με οπτική αναγνώριση (δεν αναφέρεται σε πόσα στοιχεία) σε συνδυασμό με την εποχή κατασκευής.
- ✓ Δεν γίνεται δεκτή ΣΑΔ "επαρκής".

27

## ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ Σ.Α.Δ.

- Για τις εδαφικές παραμέτρους:

- ✓ "Ικανοποιητική" ή "Υψηλή" όταν έχουν προκύψει από εδαφοτεχνική έρευνα. Ποια από τις δύο στάθμες ισχύει εξαρτάται από την έκταση της έρευνας.
- ✓ "Επαρκής" όταν οι τιμές επιλέγονται από τη βιβλιογραφία βάσει της περιγραφής των εδαφικών στρωμάτων που επηρεάζονται από τη θεμελίωση (για κτίρια μικρής σπουδαιότητας).

28



ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΟΥ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ							
	ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ				ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ			
	Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή
Αρχική μελέτη αποδεδειγμένα εφαρμοσμένη			•				•	
Αρχική μελέτη με μικρές διαπιστωμένες τροποποιήσεις			•				•	
Κείμενο ή υπόμνημα σε σχέδιο αρχικής μελέτης								
Αξιόπιστη μέτρηση			•			•		
Έμμεσος προσδιορισμός		•			•			
Κρίση μηχανικού		•	•		•	•		
Απουσία δεδομένων	•				•			

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ:

- Είδος - γεωμετρία τοιχοπληρώσεων
- Ίδια βάρη επιστρώσεων κλπ.
- Διάταξη οπλισμού - διάμετρος ράβδων
- Αγκυρώσεις, παραθέσεις, αναμονές ράβδων.
- Κλείσιμο συνδετήρων

29

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΟΥ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ																				
		ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ				ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΑΝΩΔΟΜΗΣ			ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ			ΙΣΙΑ ΒΑΡΗ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ, Κ.Λ.Τ.			ΜΕΤΑΒΛΗ ΟΜΙΛΙΣΜΟΥ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΑΒΔΩΝ		ΟΠΙΣΘΗ ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΘΕΣΕΙΣ ΑΝΑΜΟΝΕΣ			«ΚΛΕΙΣΙΜΟ» ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ		
		Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή	Ανεπαρκής	Επαρκής	Ικανοποιητική	Υψηλή	
1	(1)			*			*			*			*			*						*
2	(2)			*			*			*			*			*						*
3	(3)															*			*			*
4	(4)			*			*			*			*			*			*			*
5	(5)		*			*		*		*		*		*		*		*		*		*
6	(6)		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
7	(7)	*				*		*		*		*		*		*		*		*		*

## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ Σ.Α.Δ. ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

- Επιλογή κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης και ελέγχου.
  - ✓ Για τις ελαστικές μεθόδους δεν τίθενται προϋποθέσεις εφαρμογής σχετιζόμενες με τη Σ.Α.Δ.
  - ✓ Για την ανελαστική στατική μέθοδο συνίσταται η διασφάλιση τουλάχιστον "Επαρκούς" Σ.Α.Δ.
  - ✓ Η ανελαστική δυναμική ανάλυση εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση "Ικανοποιητικής" Σ.Α.Δ.

31

## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ Σ.Α.Δ. ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

- Επιλογή κατάλληλων συντελεστών ασφαλείας  $\gamma_f$  για δράσεις με αβέβαιες τιμές σε συνδυασμό με κατάλληλους  $\gamma_{sd}$ .
  - Ανάλογα με τη στάθμη αξιοπιστίας των γεωμετρικών δεδομένων λαμβάνονται οι ακόλουθες τιμές για το  $\gamma_g$ :
    - Επαρκής:  $\gamma_g=1.50$
    - Ικανοποιητική:  $\gamma_g=1.35$
    - Υψηλή:  $\gamma_g=1.20$

32



## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ Σ.Α.Δ. ΣΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

- Επιλογή κατάλληλων συντελεστών ασφαλείας  $\gamma_m$  για τα υλικά σε συνδυασμό με κατάλληλους  $\gamma_{Rd}$ .
  - ✓ Για Σ.Α.Δ. "Ικανοποιητική" οι τιμές των  $\gamma_m$  λαμβάνονται:  
 $\gamma_c=1.50 \quad \gamma_s=1.10$
  - ✓ Για Σ.Α.Δ. "Επαρκή" οι τιμές των  $\gamma_m$  λαμβάνονται αυξημένες. Αν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία χρησιμοποιούνται οι τιμές:  
 $\gamma_c=1.65 \quad \gamma_s=1.25$
  - ✓ Για Σ.Α.Δ. "Υψηλή" οι τιμές των  $\gamma_m$  λαμβάνονται μειωμένες. Αν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία χρησιμοποιούνται οι τιμές:  
 $\gamma_c=1.35 \quad \gamma_s=1.05$
  - ✓ Για τις τοιχοπληρώσεις (όταν λαμβάνονται υπόψη) οι τιμές των  $\gamma_m$  που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι 1.50 για "υψηλή", 2.00 για "ικανοποιητική" και 2.50 για "επαρκή" Σ.Α.Δ.

33

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΙΣ Σ.Α.Δ. - ΕΛΕΙΨΕΙΣ ΚΑΝΕΤΕ

- Επιμέρους στάθμες αξιοπιστίας γενικά καλά ορισμένες. Δεν προτείνεται όμως κάποιος τρόπος εξαγωγής της συνολικής Σ.Α. για όλα τα δεδομένα και για το σύνολο του φορέα.
- Η Σ.Α. των γεωμετρικών δεδομένων που αφορούν την όπλιση και παρουσιάστηκε προηγουμένως θα πρέπει να συνδεθεί με κατάλληλους συντελεστές  $\gamma_{Rd}$  για τις αντοχές των μελών.

34

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- A. Ορισμοί - Βασικά Χαρακτηριστικά
- B. Εντατικό μέγεθος αντίστασης διαρροής ή αστοχίας.
- Γ. Παραμόρφωση διαρροής
- Δ. Παραμόρφωση αστοχίας
- E. Μετελαστική διατμητική αστοχία

35

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### A. Ορισμοί - Βασικά Χαρακτηριστικά

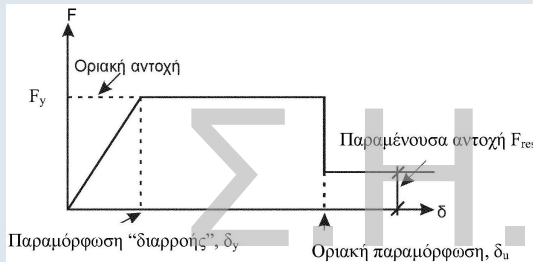
- Καμπύλη έντασης - παραμόρφωσης.
  - Διάγραμμα εντατικού μεγέθους "F" συναρτήσει παραμόρφωσης ή σχετικής μετακίνησης "δ".
  - Περιγράφει τη μηχανική συμπεριφορά ενός δομικού στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ενός δομικού στοιχείου ή μιας ενώσεως μεταξύ στοιχείων (κόμβου).
  - Είδος, διεύθυνση κλπ. του F επιλέγονται ώστε να χαρακτηρίζουν το κύριο μέρος της έντασης που προκαλεί ο σεισμός στο στοιχείο. Η παραμόρφωση δ τέτοια ώστε σε συνδυασμό με το F → ενέργεια παραμόρφωσης στοιχείου.
  - Για κάμψη καθοριστική: M - (1/r), για διάτμηση: V - γ
  - Περιβάλλουσα εξασθενημένων αποκρίσεων F μετά από πλήρως ανακυκλιζόμενη επιβαλλόμενη παραμόρφωση ±δ.

36

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### A. Ορισμοί - Βασικά Χαρακτηριστικά

- Ελαστικός κλάδος - διαρροή.
  - Πραγματική καμπύλη  $F - \delta$  προσεγγίζεται με πολυγραμμικό διάγραμμα.



Αρχικός ευθύγραμμος κλάδος μέχρι τη διαρροή. Στη συνέχεια περίπου οριζόντια μέχρι την αστοχία.

37

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### A. Ορισμοί - Βασικά Χαρακτηριστικά

- Ελαστικός κλάδος - διαρροή.
  - $F_y$  : Οριακή αντίσταση για την κρίσιμη αστοχία.
    - (i) Για κάμψη:  
 $F_y = M_u$  αν χρησιμοποιούνται ροπές  
 $F_y = V_{Mu}$  αν χρησιμοποιούνται τέμνουσες
    - (ii) Για διάτμηση ( $V_u < V_{Mu}$ ) :  
 $F_y = M_{Vu}$  αν χρησιμοποιούνται ροπές  
 $F_y = V_u$  αν χρησιμοποιούνται τέμνουσες  
όπου  $V_{Mu} = M_u / (a_s d)$  με  $a_s = M / (V \cdot d)$  ο λόγος διάτμησης.
  - Η  $\delta_y$  λαμβάνει υπόψη όλες τις παραμορφώσεις κατά τη διαρροή (καμπτικές, διατμητικές, εξόλκευση οπλισμών)
  - Δυσκαμψία:  $K = F_y / \delta_y$ . Στην περίπτωση των αγνώστων οπλισμών λαμβάνεται το 25% της δυσκαμψίας αρηγμάτωτου στοιχείου.

38

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### A. Ορισμοί - Βασικά Χαρακτηριστικά

- Μεταελαστικός κλάδος.
  - Για καλή πλαστικότητα  $\rightarrow$  οριζόντιος μέχρι την παραμόρφωση αστοχίας  $\delta_u$
  - Εξασθένηση λόγω ανακύκλισης ή φαινομένων 2<sup>ας</sup> τάξης  $\rightarrow$  αρνητική κλίση.
    - \* στις ανελαστικές μεθόδους μπορεί να υπάρξουν προβλήματα. Συνίσταται κατάλληλη μείωση της  $F_y$  και χρήση χαμηλότερου μεταελαστικού κλάδου.
- Παραμόρφωση αστοχίας - πλαστιμότητα.
  - Παραμόρφωση αστοχίας  $\delta_u$ : 20% μείωση της απόκρισης σε σχέση με τη μέγιστη. Όχι απαραίτητα απώλεια αντίστασης σε κατακόρυφα φορτία.
  - Ικανότητα πλαστικής παραμόρφωσης:  $\delta_{u,pl} = \delta_u - \delta_y$
  - Έκφραση παραμόρφωσης μέσω του λόγου  $\delta / \delta_y \rightarrow$  δεικτης πλαστιμότητας:  $\mu_\delta = \delta_u / \delta_y$ . Αντίστοιχα αν χρησιμοποιηθούν στροφές χορδής  $\theta$  ή καμπυλότητες ( $1/r$ ) προκύπτουν οι  $\mu_\theta$  και  $\mu_{1/r}$ .

39

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### A. Ορισμοί - Βασικά Χαρακτηριστικά

- Απομένουσα αντοχή.
  - Η περίπου σταθερή απόκριση  $F_{res}$  από  $\delta_u \rightarrow$  παραμόρφωση που προκαλεί απώλεια ικανότητας του στοιχείου να φέρει φορτία βαρύτητας.
  - Τόσο η  $F_{res}$  όσο και η τιμή της παραμόρφωσης που χάνεται η αντίσταση σε φορτία βαρύτητας εκτιμώνται δύσκολα.
- Πλάστιμη και ψαθυρή συμπεριφορά.
  - $\mu_\delta$  ή  $\mu_\theta > 2.5$ ,  $\mu_{1/r} > 4.0 \rightarrow$  πλάστιμη συμπεριφορά. Διαφορετικά ψαθυρή.
  - Στοιχεία  $O/\Sigma$  που διαρρέουν σε διάτμηση πριν την κάμψη ( $V_{Mu} = M_u / (a_s d) > V_u$ )  $\rightarrow$  ψαθυρή συμπεριφορά.
  - Στοιχεία  $O/\Sigma$  που διαρρέουν σε κάμψη πριν την διάτμηση ( $V_{Mu} = M_u / (a_s d) < V_u$ )  $\rightarrow$  πλάστιμη συμπεριφορά.
  - Πλάστιμη συμπεριφορά: ανίσωση ασφαλείας σε όρους παραμορφώσεων.
  - Ψαθυρή συμπεριφορά: ανίσωση ασφαλείας σε όρους εντάσεων.
  - Πλάστιμα στοιχεία: έλεγχος για μεταελαστική διατμητική αστοχία λόγω εξασθένησης διατμητικής αντοχής από ανακύκλιση.

40

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Β. Εντατικό μέγεθος αντίστασης διαρροής ή αστοχίας.

- $F_y$  : οριακή αντοχή από ΕΚΟΣ 2000 για μέσες τιμές αντοχής υλικών.
  - Κάμψη καθοριστική: κάτω όριο της  $F_y$  η τιμή της ροπής για διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα.
  - Για υψηλή τιμή  $N$  μπορεί να προηγηθεί αστοχία σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη → όχι σαφές όριο διαρροής. Συνίσταται ο προσδιορισμός του διαγράμματος  $M-(1/r)$  και προσαρμογή ισοδύναμης καμπύλης  $F-\delta$ .
  - Πλακοδοκοί με εφελκυσμό στο πέλαμα: συνυπολογισμός των παράλληλων στη δοκό οπλισμών της πλάκας εντός του  $b_{ef}$ , επαρκώς αγκυρομένων πέρα από τη διατομή στήριξης.  
Για το  $b_{ef}$  λαμβάνεται:  $b_{ef} = \min(0.25l_b, 0.5 \cdot \text{απόσταση μέχρι πρώτη παράλληλη δοκό})$ .
  - Περιοχές ματίσεων:
    - (i) Στο θλιβόμενο οπλισμό προσμετρώνται και τα δύο άκρα.
    - (ii) Εφελκόμενες ράβδοι: Γραμμική αύξηση  $f_y$  από το άκρο έως απόσταση  $l_{bmin}$ . Για  $l_b < l_{bmin}$ : στην περιοχή της ένωσης  $f_y \cdot (l_b / l_{bmin})$ .
- \*αν  $\sqrt{f_c / f_y} > 0.01$   $l_{bmin} = 25\Phi$       \*Λείες ράβδοι: άγκιστρα με  $l_b \geq 15\Phi$  επαρκεί!

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Γ. Παραμόρφωση διαρροής

- Καμπυλότητα διαρροής.
    - Υπολογίζεται με βάσει τις παραδοχές επιπεδότητας διατομής, γραμμικού νόμου  $\sigma-\epsilon$  για το χάλυβα και το σκυρόδεμα σε θλίψη και μηδενική εφελκυστική αντοχή για το σκυρόδεμα.
    - Αναλυτικές σχέσεις:
      - (α) Διαρροή λόγω διαρροής εφελκόμενου οπλισμού:
 
$$(1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d}$$
      - (β) Διαρροή λόγω μη-γραμμικότητας σκυροδέματος.
 
$$(1/r)_y = \frac{\epsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8f_c}{E_c \xi_y d}$$
- όπου  $\xi_y$  το ύψος της θλιβόμενης ζώνης ανηγμένο στο στατικό ύψος  $d$ :
- $$\xi_y = (\alpha^2 A^2 + 2\alpha B)^{1/2} - \alpha A$$
- $\alpha = E_s / E_c$  και οι συντελεστές  $A$  και  $B$  προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις:

42

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Γ. Παραμόρφωση διαρροής

- Καμπυλότητα διαρροής.

(α) Διαρροή λόγω χάλυβα.

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y}$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5\rho_v(1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y}$$

(β) Διαρροή λόγω σκυροδέματος.

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{\epsilon_c E_s b d} \approx \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1.8\alpha bdf_c}$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5\rho_v(1 + \delta')$$

$\rho, \rho', \rho_v$  ποσοστά εφελκόμενου, θλιβόμενου και μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού

$\delta' = d' / d$ , με  $d'$  απόσταση θλιβόμενου οπλισμού από ακραία θλιβ. ίνα. <sup>43</sup>

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Γ. Παραμόρφωση διαρροής

- Καμπυλότητα διαρροής.

• Εμπειρικές σχέσεις.

Για υποστυλώματα ή δοκούς

$$(1/r)_y = 1.85f_y / E_s h$$

ή

$$(1/r)_y = 1.65f_y / E_s d$$

Για τοιχώματα

$$(1/r)_y = 1.45f_y / E_s h$$

ή

$$(1/r)_y = 1.35f_y / E_s h$$

- Προσδιορισμός ροπής διαρροής από αντίστοιχη καμπυλότητα.

$$\frac{M_y}{bd^3} = (1/r)_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \left( 0.5(1+\delta') - \frac{\xi_y}{3} \right) + \left[ (1-\xi_y)\rho + (\xi_y - \delta')\rho' + \frac{\rho_v}{6}(1-\delta') \right] \cdot (1-\delta') \frac{E_s}{2} \right\}$$

44

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Γ. Παραμόρφωση διαρροής

• Στροφή χορδής διαρροής.

Για δοκούς ή υποστυλώματα.

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_V z}{3} + 0.00135 \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d_1} \frac{d_b f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.1a)$$

Για τοιχώματα.

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_V z}{3} + 0.002 \left( 1 - 0.135 \frac{L_s}{h} \right) + \frac{\varepsilon_y}{d - d_1} \frac{d_b f_y}{6 \sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.2a)$$

• Εναλλακτικά

Για δοκούς ή υποστυλώματα.

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_V z}{3} + 0.0013 \left( 1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{0.13(1/r)_y d_b f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.1b)$$

Για τοιχώματα.

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_V z}{3} + 0.002 \left( 1 - 0.125 \frac{L_s}{h} \right) + \frac{0.13(1/r)_y d_b f_y}{\sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.2b)$$

45

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Γ. Παραμόρφωση διαρροής

• Στροφή χορδής διαρροής.

• 1ος όρος: συμβολή καμπτικών παραμορφώσεων

• 2ος όρος: μέσες διατμητικές παραμορφώσεις στο μήκος διάτμησης  $L_s = a_s \cdot d$

• 3ος όρος: εξόλκευση ράβδων.

•  $a_s z$ : επιρροή μήκους μετάθεσης ροπών. Συντελεστής  $a_s = 1$  αν η τέμνουσα που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση  $V_{R1} < V_{Mu} = M_y / L_s$ , αλλιώς 0

• Παράθεση ευθύγραμμων ράβδων:

(α)  $(1/r)_y$  και  $M_y$  για σύγκριση με  $V_{R1} \cdot L_s$  (συντελεστής  $a_s$ ) υπολογίζονται με βάση όσα προβλέπονται για  $F_y$  στην περίπτωση μاتیσεων.

(β) Αν  $I_b < I_{bmin}$  ο 2ος όρος των εξισώσεων πολλαπλασιάζεται με το λόγο (μειωμένης  $M_y$  λόγω μاتیσης /  $M_y$  εκτός του μήκους παράθεσης). Ο 3ος επί το λόγο  $I_b / I_{bmin}$ .

• Αν  $V_R < V_{Mu} \rightarrow$  κρίσιμη διάτμηση  $\rightarrow$  παραμόρφωση διαρροής:  $(1/r)_y$  και  $\theta_y$  επί  $V_R L_s / M_y$ .

46

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

• Καμπυλότητα κατά την αστοχία (από κάμψη).

• Λαμβάνεται υπόψη πιθανή αστοχία λόγω θραύσης του εφελκόμενου οπλισμού ή αστοχία σκυροδέματος σε θλίψη, πριν ή μετά την αποφλοιώση του απερίσφιχτου τμήματος.

• Αστοχία πριν την αποφλοιώση λόγω θραύσης χάλυβα:

$$(1/r)_{su} = \frac{\varepsilon_{su}}{(1 - \xi_{su}) d} \quad [\Sigma 3]$$

λόγω θλιπτικής αστοχίας του σκυροδέματος:

$$(1/r)_{cu} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\xi_{cu} d} \quad [\Sigma 4]$$

$\xi_{su}$ ,  $\xi_{cu}$  υψος θλιβόμενης ζώνης ανηγμένο στο d

$\varepsilon_{su}$  ομοιόμορφη μήκυνση αστοχίας εφελκόμενου οπλισμού

$\varepsilon_{cu}$  βράχυνση αστοχίας ακραίας θλιβόμενης ίνας σκυροδέματος

47

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

• Καμπυλότητα κατά την αστοχία (από κάμψη).

• Αστοχία χάλυβα πριν απ' την αστοχία της θλιβόμενης ζώνης αν:

$$\sigma_{su} = \frac{(1 - \delta') \left( \frac{N}{b d f_c} + \frac{\rho f_t}{f_c} \omega' + \frac{\varepsilon_{co}}{3 \varepsilon_{su}} \right) + \left( \frac{1 + \delta'}{2} \right) \frac{\rho_v (f_y + f_t)}{f_c}}{(1 - \delta') \left( 1 + \frac{\varepsilon_{co}}{3 \varepsilon_{su}} \right) + \frac{\rho_v (f_y + f_t)}{f_c}} \quad [Γ1] \leq \varepsilon_{su} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{su})$$

Η απαίτηση αυτή μεταφράζεται στην ακόλουθη συνθήκη:

$$\frac{N}{b d f_c} < \frac{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}}{3} + \omega' \frac{\rho f_t}{f_c} - \frac{\rho_v (f_y + f_t)}{f_c} \frac{\varepsilon_{su} (1 + \delta') - \varepsilon_{cu} (1 - \delta')}{(1 - \delta') (\varepsilon_{su} + \varepsilon_{cu})} \quad [Γ2]$$

$\varepsilon_{co} \approx 0.002$  και  $\varepsilon_{cu} = 0.0035$  (απερίσφιχτο σκυρόδεμα)

$f_t$  εφελκυστική αντοχή χάλυβα.

Τότε αστοχία για  $(1/r)_u = (1/r)_{su}$

48

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Καμπυλότητα κατά την αστοχία (από κάμψη).
  - Αν η προηγούμενη συνθήκη δεν ικανοποιείται → αποφλοίωση και προσωρινή πτώση καμπτικής αντίστασης. Τότε:  
Υπολογίζεται η ροπή αντοχής  $M_{R0}$  της πλήρους και απερίσφικτης διατομής.  
Υπολογίζεται η ροπή αντοχής  $M_{Rc}$  του περισφιγμένου πυρήνα με βάση τα  $f_{cc}$ ,  $\epsilon_{cc}$  του περισφιγμένου σκυροδέματος και για διαστάσεις  $b_c$ ,  $d_c$  και  $d_c'$  που αναφέρονται στον πυρήνα.  
(i)  $M_{Rc} < 0.8M_{R0}$ : αστοχία διατομής → εξάντληση  $\epsilon_{cu}$  →  $(1/r)_u = (1/r)_{cu}$   
(ii)  $M_{Rc} > 0.8M_{R0}$ : αστοχία αφορά περισφιγμένο πυρήνα.

49

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Καμπυλότητα κατά την αστοχία (από κάμψη).
  - (i)  $M_{Rc} < 0.8M_{R0}$  - υπολογισμός  $\xi_{cu}$  για χρήση στη [Σ4]  
Εξάντληση  $\epsilon_{cu}$  απερίσφιχτου με διαρροή εφελκόμενου οπλισμού εάν  $\xi < \epsilon_{cu}/(\epsilon_{cu} + \epsilon_y)$  →

$$\frac{\epsilon_{cu} - \frac{\epsilon_{co}}{3} + \omega}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{su}} + \omega \frac{\rho_f}{f_c} - \frac{\rho_v(f_y + f_t) \epsilon_{su}(1 + \delta') - \epsilon_{cu}(1 - \delta')}{f_c (1 - \delta')(\epsilon_{su} + \epsilon_{cu})} < \frac{N}{bdf_c} \leq \omega' - \omega - \frac{\delta'}{1 - \delta'} \frac{\rho_v f_y}{f_c} + \frac{\left(\epsilon_{cu} - \frac{\epsilon_{co}}{3}\right) + (\epsilon_{cu} - \epsilon_y) \frac{\rho_v f_y}{(1 - \delta') f_c}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \quad [Γ4]$$

Σε αυτή την περίπτωση το  $\xi$  υπολογίζεται ως:

$$\xi_{cu} = \frac{(1 - \delta') \left( \frac{N}{bdf_c} + \omega - \omega' \right) + (1 + \delta') \frac{\rho_v f_y}{f_c}}{(1 - \delta') \left( 1 - \frac{\epsilon_{co}}{3\epsilon_{cu}} \right) + 2 \frac{\rho_v f_y}{f_c}} \quad [Γ5]$$

50

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Καμπυλότητα κατά την αστοχία (από κάμψη).
  - (i)  $M_{Rc} < 0.8M_{R0}$  - υπολογισμός  $\xi_{cu}$  για χρήση στη [Σ4]  
Εάν η προηγούμενη συνθήκη (ανισότητα) δεν ικανοποιείται, δηλαδή:

$$\omega' - \omega - \frac{\delta'}{1 - \delta'} \frac{\rho_v f_y}{f_c} + \frac{\left(\epsilon_{cu} - \frac{\epsilon_{co}}{3}\right) + (\epsilon_{cu} - \epsilon_y) \frac{\rho_v f_y}{(1 - \delta') f_c}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \leq \frac{N}{bdf_c} \quad [Γ6]$$

τότε το  $\xi$  προκύπτει ως η θετική ρίζα της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\left[ 1 - \frac{\epsilon_{co}}{3\epsilon_{cu}} - \frac{\rho_v f_y}{2(1 - \delta') f_c} \frac{(\epsilon_{cu} - \epsilon_y)^2}{\epsilon_{cu} \epsilon_y} \right] \xi_{cu}^2 + \left[ \omega' + \omega - \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y} - \frac{N}{bdf_c} + \frac{\rho_v f_y}{(1 - \delta') f_c} \left( \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y} - \delta' \right) \right] \xi_{cu} - \left[ \omega + \frac{\rho_v f_y}{2(1 - \delta') f_c} \right] \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_y} = 0 \quad [Γ7]$$

51

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Καμπυλότητα κατά την αστοχία (από κάμψη).
  - (i)  $M_{Rc} > 0.8M_{R0}$ 
    - (α) Εξάντληση μήκυνσης αστοχίας εφελκόμενου οπλισμού στον περισφιγμένο πυρήνα →  $(1/r)_u = (1/r)_{su}$  → εξίσωση [Σ3]  
Το  $\xi_{su}$  από [Γ1] - [Γ2] με χρήση  $f_{cc}$ ,  $\epsilon_{cc}$  για το περισφιγμένο σκυρόδεμα και  $b_c$ ,  $d_c$ ,  $d_c'$  διαστάσεις για τον πυρήνα.
    - (β) Εξάντληση βράχυνσης αστοχίας  $\epsilon_{cu,c}$  περισφιγμένου σκυροδέματος →  $(1/r)_u = (1/r)_{cu}$  → εξίσωση [Σ4]  
Το  $\xi_{cu}$  από [Γ4] - [Γ7] με χρήση  $f_{cc}$ ,  $\epsilon_{cc}$ ,  $\epsilon_{cu,c}$  για το περισφιγμένο σκυρόδεμα και  $b_c$ ,  $d_c$ ,  $d_c'$  διαστάσεις για τον πυρήνα.

52

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Γωνία στροφής χορδής στην αστοχία - πλαστική γωνία στροφής
  - Γωνία στροφής πλαστικής άρθρωσης από διαρροή στο άκρο έως καμπτική αστοχία (διαθέσιμη τιμή):

$$\theta_u^{pl} = \left[ (1/r)_u - (1/r)_y \right] L_{pl}$$

- $L_{pl}$ : μήκος πλαστικής άρθρωσης. Ιδεατό μέγεθος που ορίζεται ώστε να ισχύει η προηγούμενη εξίσωση. Εκτιμάται ως:

$$L_{pl} = 0.1L_s + \frac{0.25f_y}{\sqrt{f_c}} d_b$$

- Γωνία στροφής χορδής στην αστοχία (διαθέσιμη τιμή):

$$\theta_u = \theta_y + \left( (1/r)_u - (1/r)_y \right) L_{pl} \left( 1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_s} \right)$$

Χρήση  $L_{pl} \rightarrow$  μέσες τιμές  $\theta_{pl}$  και  $\theta_u$ . Για μέσες τιμές μείον τυπική απόκλιση 40% $L_{pl}$ . Για κάτω όριο 30% $L_{pl}$

53

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Γωνία στροφής χορδής στην αστοχία - πλαστική γωνία στροφής.
  - Εμπειρική σχέση για υποστυλώματα διατασιολογημένα και κατασκευασμένα μετά το 1985 (γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία):

$$\theta_{um} = 0.016 \cdot (0.3^v) \left[ \frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} f_c \right]^{0.225} (a_s)^{0.35} 25^{\left( \frac{f_{yw}}{\alpha_{ps} f_c} \right)} (1.25^{100 \rho_d}) \quad [Σ7α]$$

$\alpha_s$  λόγος διάτμησης

$\omega, \omega'$  ποσοστό εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ο μεταξύ τους κατανομημένος θεωρείται εφελκόμενος)

$v = N/bhf_c$ ,

$\rho_s = A_{sx}/b_w s_n$  ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση φόρτισης

$\rho_d$  ποσοστό διαδιαγώνιου οπλισμού.

54

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Παραμόρφωση αστοχίας

- Γωνία στροφής χορδής στην αστοχία - πλαστική γωνία στροφής.
  - Πλαστικό τμήμα γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία.

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0.0145(0.25^v) \left[ \frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega)} \right]^{0.3} (f_c)^{0.2} (a_s)^{0.35} 25^{\left( \frac{f_{yw}}{\alpha_{ps} f_c} \right)} (1.275^{100 \rho_d}) \quad [Σ7β]$$

- Για τοιχώματα: [Σ7α]×0.625 και [Σ7β]×0.6
- Στοιχεία χωρίς αντισεισμικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες: [Σ7α] και [Σ7β]×0.85
- Υποστύλωμα με μάτιση μήκους  $l_b$  στη διατομή βάσης: για την πλαστική γωνία στροφής  $\rightarrow$  διπλάσιο  $\omega'$ ,  $\times(l_b - 10\Phi)/30\Phi$ , εφόσον  $l_b < 40\Phi$
- Τοίχωμα με μάτιση μήκους  $l_b$  στη διατομή βάσης: ομοίως αλλά με χρήση των κατάλληλων συντελεστών.
- Λείες ράβδοι: [Σ7α]×0.575 και [Σ7β]×0.375
- Λείες ράβδοι και μάτιση στη βάση με άγγιστρα  $l_b \geq 15\Phi$ :  $\alpha_s \rightarrow L_s = L_s - l_b$ , [Σ7α]×0.0025(180+min(50,  $l_b/\Phi$ ))(1- $l_b/L_s$ ) [Σ7β]×0.0035(60+min(50,  $l_b/\Phi$ ))(1- $l_b/L_s$ )

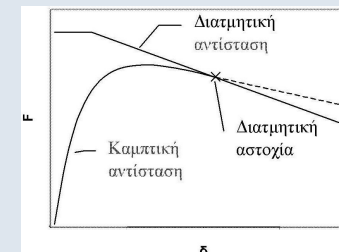
55

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Δ. Μεταλαστική διατμητική αστοχία

- Μηχανισμοί εξασθένισης.
  - Λειοτρίβιση ρωγμών - μείωση αλληλεμπλοκής αδρανών.
  - Συσώρευση ανελαστικών παραμορφώσεων στους συνδετήρες - μείωση τάσεων συνάφειας κατά μήκος τους  $\rightarrow$  διεύρυνση ρωγμών.
  - Εξασθένιση δράσης βλήτρου.
  - Διαμπερείς καμπτικές ρωγμές λόγω ανακύκλισης.
  - Μείωση αντοχής λοξών θλιπτήρων.

Σχηματικά:



56



## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Ε. Μετελαστική διατμητική αστοχία

- Υπολογισμός.

$$V_R = \frac{h-x}{2L_s} \min(N, 0.55A_c f_c) + (1 - 0.05 \min(5, \mu_{\Delta}^{pl})) [0.16 \max(0.5, 100\rho_{tot}) (1 - 0.16 \min(5, a_s)) \sqrt{f_c} A_c + V_w]$$

h ύψος διατομής

x ύψος θλιβόμενης ζώνης

N αξονικό φορτίο (για εφελκυσμό = 0)

$a_s$  λόγος διάτμησης

$A_c$  επιφάνεια σκυροδέματος ( $b_w d$  σε ορθογωνική -  $\pi D_c^2/4$  σε κυκλικές,  $D_c$  διάμετρος πυρήνα εντός των συνδετήρων)

$\rho_{tot}$  συνολικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού

$V_w$  συμβολή εγκάρσιου οπλισμού:

- ορθογωνική:  $V_w = \rho_w b_w z f_{yw}$
- Κυκλικές:  $V_w = (\pi/2)(A_{sw}/s) f_{yw} (D-2c)$

57

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### Ε. Μετελαστική διατμητική αστοχία

- Οριακές τιμές.

- Τοιχώματα - αστοχία κορμού σε λοξή θλίψη:

$$V_{R,max} = 0.25 (1 - 0.06 \min(5, \mu_{\Delta}^{pl})) \left( 1 + 1.6 \min(0.2, \frac{N}{A_c f_c}) \right) (1 + 0.17 \max(1.5, 100\rho_{tot})) (1 - 0.24 \min(2, a_s)) f_c \max\left(0.4, 1 - \frac{f_c (\text{MPa})}{150}\right) b_w z$$

- Υποστυλώματα με  $a_s \leq 2$  - θλιπτική αστοχία σκυροδέματος κατά τη διαγώνιο του στοιχείου

$$V_{R,max} = \frac{1}{6} (1 - 0.02 \min(5, \mu_{\Delta}^{pl})) \left( 1 + 1.3 \frac{N}{A_c f_c} \right) (1 + 0.4\rho_{tot}) f_c \max\left(0.4, 1 - \frac{f_c (\text{MPa})}{100}\right) b_w z \sin 2\theta$$

- $\theta$  γωνία της διαγωνίου ως προς τον άξονα του στοιχείου και  $\tan\theta = h/2L_s = 0.5/a_s$

58

## ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΙΣ

- A. Προσομοίωση
- B. Συμπεριφορά

59

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις

- Μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου.

➤ Πλάτος: συνάρτηση του μήκους επαφής μεταξύ τοιχοπλήρωσης και περιβάλλοντος πλαισίου, το οποίο εξαρτάται με την οριζόντια επιβαλλόμενη μετακίνηση. Στον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός βλάβης. Ελλείπει στοιχείων:

Για στάθμη επιτελεστικότητας: A:  $w=0.2L$ , B:  $w=0.1L$ , Γ:  $w=0$

➤ Πάχος: ίσο με το συνολικό της τοιχοπλήρωσης. Για κοίλες τοιχοπληρώσεις η ιδιαιτερότητά της διατομής τους λαμβάνεται υπόψη στον προσδιορισμό της δυσκαμψίας.

60



## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου.
  - Αντοχή:  $f_{wc} = k f_{bc}^{0.7} f_{mc}^{0.3}$   
 $f_{bc}$ ,  $f_{mc}$  μέσες αντοχές λιθοσώματος και κονιάματος  
 $k$  εμπειρικός συντελεστής 0.35-0.55 για συνήθη κονιάματα.
  - ✓ Κατακόρυφοι αρμοί όχι γεμάτοι: μειωτικός συντελεστής. Εκτιμάται βάσει του ποσοστού πλήρωσης. Συνιστώμενες τιμές 0.50 - 0.80.
  - ✓ Πάχος οριζόντιων αρμών <15mm μειωτικός συντελεστής 0.80
  - ✓ Κοίλες τοιχοποιίες: υπολογισμός ξεχωριστά για κάθε παρειά, λαμβάνεται υπόψη ο κίνδυνος λυγισμού.

61

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Μέθοδος θλιβόμενης διαγωνίου.
  - Μέτρο ελαστικότητας:
    - ✓ Εφαπτομενικό:  $E_0 = K_E f_{wc}$ ,  $K_E$  μεταξύ 500 και 1000
    - ✓ Επιβατικό: 50% του  $E_0$
  - Μέτρο διάτμησης: 40% του  $E_0$

62

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Πετάσματα.
  - Δυστημσία: Υπολογισμός με βάση τη δυσκαμψία της ισοδύναμης διαγωνίου από τη σχέση:  
$$E_s A_s = \frac{G_w A_w}{\cos^2 \alpha \sin^2 \alpha}$$
 α ή κλίση της διαγωνίου.
  - Διατμητική αντοχή: Από EC6

63

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

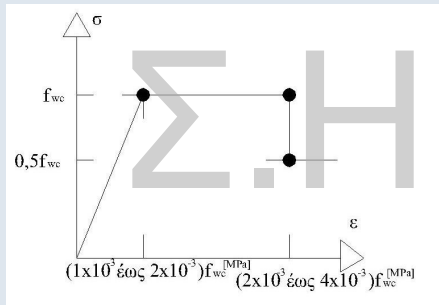
- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Επίδραση ανοιγμάτων: η προσομοίωση προσαρμόζεται κατάλληλα. Ελέγχεται αν εξασφαλίζεται η ανάπτυξη μηχανισμού θλιβόμενης διαγωνίου και η επίδραση των ανοιγμάτων στα χαρακτηριστικά. Η επιρροή μεγέθους και θέσης δεν προσομοιώνεται απλά. Ελείπει ακριβέστερων στοιχείων:
  - Για ανοίγματα και στα δύο άκρα αμελείται η τοιχοπλήρωση.
  - Άνοιγμα με διαστάσεις <20% φανώματος κοντά στο κέντρο δεν λαμβάνεται υπόψη.
  - Για άνοιγμα με διαστάσεις >50% φανώματος κοντά στο κέντρο αμελείται η τοιχοπλήρωση.
  - Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις μπορεί να γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των πιο πάνω τιμών για να υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά.

64

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Θλιβόμενη διαγώνιος.

Περιγράφεται από το ακόλουθο διάγραμμα, λαμβάνοντας υπόψη και την ανακύκλιση:

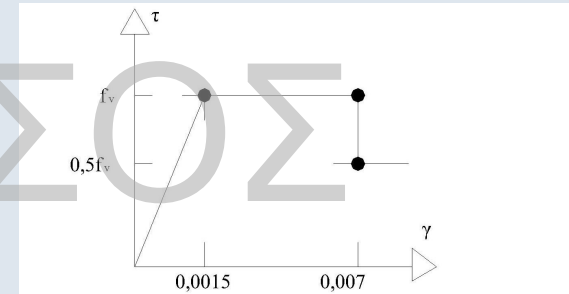


65

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Πετάσματα.

Περιγράφεται από το ακόλουθο διάγραμμα, λαμβάνοντας υπόψη και την ανακύκλιση:



Στις τιμές του διαγράμματος έχει ληφθεί υπόψη η περίσφιξη λόγω της παρουσίας του περιβάλλοντος πλαισίου.

66

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Λαμβάνεται υπόψη οριζόντια και κατακόρυφη πρόσθετη τέμνουσα στα υποστυλώματα και τις δοκούς από την παρουσία της τοιχοποιίας. Θεωρείται:
  - Για τις δοκούς μήκος επαφής ίσο με ήμισυ μήκους μέλους, τριγωνική κατανομή τέμνουσας.
  - Για τα υποστυλώματα το μήκος επαφής α προκύπτει από η σχέση:

$$\frac{\alpha}{h} = \frac{\pi}{2\lambda h} \quad \text{όπου} \quad \lambda = \left( \frac{E_t t \sin 2\theta}{4EIh} \right)^{1/4}$$

$E_t$  και  $t$  μέτρο ελαστικότητας και πάχος τοιχοπλήρωσης

$\theta$  γωνία διαγωνίου ως προς οριζόντιο

$E$ ,  $I$  μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος και ροπή αδράνειας υποστυλώματος.

67

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ

- Άοπλες Τοιχοπληρώσεις
- Εξασφάλιση για αστοχία εκτός επιπέδου μέσω κατάλληλης μείωσης θλιπτικής αντοχής. Για τον προσδιορισμό μειωτικών συντελεστών η διαγώνιος θεωρείται αμφιαρθρωτή. Προκύπτει:

$$\text{➢ Για } E_0 = 500f_{wc} \quad \phi = 0.9 \frac{1}{e \frac{(0.0447\lambda - 0.063)^2}{0.9}}$$

$$\text{➢ Για } E_0 = 1000f_{wc} \quad \phi = 0.9 \frac{1}{e \frac{(0.0316\lambda - 0.063)^2}{0.9}}$$

όπου  $\lambda$  η λυγηρότητα. Αν  $\lambda > 15$  ο έλεγχος παραλείπεται.

68