

Σεισμική Αποτίμηση και Ενίσχυση Κατασκευών



Στέφανος Η. Δρίτσος,
Ομότιμος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

1

Δυσμένεια Παλαιών Κτιρίων

- (α) Μόρφωση φορέα χωρίς τις σύγχρονες αντισεισμικές αντιλήψεις
(πλαστιμότητα, ικανοτικός σχεδιασμός, κατασκευαστικές διατάξεις) και πολλές φορές με αρχιτεκτονικές υπερβολές (έλλειψη κανονικότητας: γεωμετρίας ή αντοχής)
- (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
- (δ) Συχνά σχεδιασμός για σεισμικές δράσεις μικρότερες των αντιστοίχων για νέα κτίρια

Δυνητική Δυσμένεια

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

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

$$\frac{0.14}{0.17} \cdot \frac{1.5-2.25}{3.5} \approx \frac{1}{3} - \frac{1}{2} \rightarrow \text{Δυνητική Δυσμένεια της τάξεως } 1:3 \text{ έως } 1:2$$

2

Ερωτήματα

- Ποιες κατασκευές έχουν προτεραιότητα να ενισχυθούν;
Πώς θα μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε τις πλέον τρωτές κατασκευές σε ένα δομικό σύνολο;
- Με ποιά διαδικασία θα μπορούσε να αποτιμηθεί το αναμενόμενο επίπεδο βλάβης σε μια κατασκευή;
- Ποιά είναι τα απαραίτητα δεδομένα και πως θα ληφθεί υπ' όψιν ο βαθμός αξιοπιστίας τους;
- Ποιές είναι οι καταλληλότερες μέθοδοι για την αποτίμηση ή τον ανασχεδιασμό;
- Ποιός είναι ο καταλληλότερος τρόπος προσεισμικής (ή μετασεισμικής) ενίσχυσης μιας κατασκευής;
- Ποιές είναι οι διαδικασίες υπολογιστικής επιβεβαίωσης αποδοχής της λύσης επέμβασης;
- Είναι τελικά αυτή η επέμβαση προτιμότερη λύση έναντι της επιλογής μιας νέας κατασκευής (συνεκτιμώντας κόστος, λειτουργικότητα, αισθητική και άλλες “μη-στατικές” παραμέτρους);

3

Ποιες Κατασκευές έχουν Προτεραιότητα να Ενισχυθούν;

Το **Ανέφικτο** του ακριβούς ελέγχου όλων των κτιρίων αντικαθίσταται με μία **Εφικτή Στρατηγική** ανά ομάδες κτιρίων ή περιοχή που περιλαμβάνει τρία επίπεδα ελέγχου

1^ο Επίπεδο Ελέγχου:

Χοντρό Κοσκίνισμα πολύ μεγάλου πλήθους κτιρίων με κριτήρια που “εύκολα” μπορούν να διαπιστωθούν οπτικά

- Όλα τα υπό έλεγχο κτίρια (εκτός κάποιων ομάδων που για ειδικούς λόγους μπορούν να εξαιρεθούν)
- Μακροσκοπικός Οπτικός Έλεγχος
 - ✓ Ομάδες εμπειρων μηχανικών
 - ✓ Μικρό κόστος ανά κτίριο

→ Χοντρική Βαθμονόμηση Τρωτότητας Κτιρίων και Συγκριτική Κατάταξη

→ Προσεγγιστική Εκτίμηση Συνολικού Μεγέθους Απωλειών ανά Χωρική Ενότητα

4

2^ο Επίπεδο Ελέγχου:

Ψιλότερο Κοσκίνισμα του ποσοστού των κτιρίων που από το “Χοντρό Κόσκινο” της κατάταξης του 1^{ου} Επιπέδου Ελέγχου προέκυψε ότι είναι τα περισσότερο τρωτά

- Προσεγγιστική Υπολογιστική Μέθοδος Αποτίμησης Σεισμικής Ικανότητας κάθε κτιρίου (απαιτούνται περισσότερα στοιχεία: Διατομές, Αντοχές, Οπλισμοί...)

➔ Συγκριτική Κατάταξη με βάση τον δείκτη ανεπάρκειας, αλλά και το πλήθος των ενοίκων και την αξία του κτιρίου

3^ο Επίπεδο Ελέγχου:

Τα Κτίρια που (από το 2^ο Επίπεδο Ελέγχου) Προέκυψε ότι Είναι Περισσότερο Τρωτά

- Ακριβής Αναλυτική Μέθοδος Αποτίμησης Σεισμικής Ικανότητας Κάθε Κτιρίου

Σχέση Κόστους Ελέγχου ανά Κτίριο

1^ο Επίπεδο : 2^ο Επίπεδο : 3^ο Επίπεδο
1 : 10-20 : 100-200

5

ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ**Μακροσκοπικός Οπτικός Έλεγχος**

- Μέγιστος Αριθμός Ενοίκων
- Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας και τυχόν αλλαγή της
- Σπουδαιότητα Κτιρίου
- Έτος Μελέτης και Έτος Κατασκευής
- Δομικός Τύπος Κτιρίου (Ο.Σ., Φ.Τ., Χ.Λ., παρουσία τοιχωμάτων)
- Ύπαρξη Μαλακού Ορόφου
- Ύπαρξη Κοντών Υποστυλωμάτων
- Διάταξη Τοιχοπληρώσεων
- Κανονικότητα
- Ενδεχόμενο Κρούσης με Γειτονικά Κτίρια
- Κακοτεχνίες - Ελλιπής Συντήρηση
-

6

ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ**Η Λογική του Ελέγχου**

Βαθμός Ανεπάρκειας: $\lambda = \frac{H}{R} = \frac{\text{Σεισμική Επιβάρυνση}}{\text{Σεισμική Αντίσταση}}$

1. Προσδιορισμός Σεισμικής Επιβάρυνση, π.χ.

$$H = V_{req.}$$

2. Προσδιορισμός Βασικής Σεισμικής Αντίστασης, π.χ.

$$R_0 = V_{R_0}$$

3. Προσδιορισμός βαθμού επιρροής πρόσθετων κριτηρίων τρωτότητας έτσι ώστε $R = \beta V_{R_0}$

4. Προσδιορισμός δείκτη ανεπάρκειας λ, συνεκτιμώντας τα πρόσθετα κριτήρια επιρροής στη τρωτότητα του κτιρίου

$$\lambda = \frac{H}{R} \quad \text{π.χ.} \quad \lambda = \frac{V_{req.}}{R} = \frac{V_{req.}}{\beta \cdot R_0}$$

7

ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ**Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα****Κριτήρια Σεισμικής Επιβάρυνσης**

Τα στοιχεία τρωτότητας που επηρεάζουν καθοριστικά τη σεισμική συμπεριφορά ενός κτιρίου συνοψίζονται στα **13 κριτήρια** του Πίνακα:

Πίνακας Κριτηρίων

α/α	Κριτήρια Σεισμικής Επιβάρυνσης	Βαθμός επιβάρυνσης β _i					Συντελ. βαρύτητας σ _i
		0 max	1	2	3	4	
1	Βλάβες Στατικής Ανεπάρκειας						0.10
2	Οξείδωση Οπλισμών						0.10
3	Μέγεθος Ανηγμένου Αξονικού Φορτίου						0.05
4	Κανονικότητα Κάτοψης						0.05
5	Κατανομή Δυσκαμψίας σε Κάτοψη - Στρέψη						0.10
6	Κανονικότητα σε Τομή /Όψη						0.05
7	Κατανομή Δυσκαμψίας Καθ' Ύψος						0.15
8	Κατανομή Μάζας Καθ' Ύψος						0.05
9	Κοντά Υποστυλώματα						0.15
10	Κατακόρυφες Ασυνέχειες						0.05
11	Διαδρομή και Μεταφορά Δυνάμεων						0.05
12	Γειτονικά Κτίρια						0.05
13	Κακοτεχνίες, Τραυματισμοί						0.05

Υπολογισμός του μειωτικού συντελεστή επιρροής των κριτηρίων :

$$\beta = \sum \frac{\sigma_i \beta_i}{5}$$

8

ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΣ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Κτίρια από Φέρουσα Τοιχοποιία
Εκτίμηση Σεισμικής Αντίστασης (R)

Δείκτης	Ονομασία	Συντελεστής Βαρύτητας (r_i)
R ₁	Δείκτης διατμητικής αντίστασης ισογείου	0.20
R ₂	Δείκτης ανοιγμάτων φερόντων τοίχων	0.05
R ₃	Δείκτης διαζωμάτων	0.15
R ₄	Δείκτης διαφραγμάτων	0.10
R ₅	Δείκτης ανοιγμάτων κοντά σε γωνίες	0.15
R ₆	Δείκτης παθολογίας φερουσών τοιχοποιιών	0.05
R ₇	Δείκτης σύνδεσης μεταξύ εγκάρσιων τοίχων	0.10
R ₈	Δείκτης καταπόνησης περιμετρικών τοίχων εκτός επιπέδου	0.10
R ₉	Δείκτης κανονικότητας της κάτοψης ισογείου	0.05
R ₁₀	Δείκτης κανονικότητας καθ' ύψος	0.05

$$R = 0.2R_1 + 0.15(R_3 + R_5) + 0.10(R_4 + R_7 + R_8) + 0.05(R_2 + R_6 + R_9 + R_{10})$$

9

3^ο ΕΠΙΠΕΔΟ

Με Ποιά Διαδικασία Θα Μπορούσε Να Αποτιμηθεί Το Αναμενόμενο Επίπεδο Βλάβης Σε Μια Κατασκευή;

ΒΑΣΙΚΑ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ

Ο.Α.Σ.Π., (2017), “Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) σε Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα (2^η Αναθεώρηση)” ΦΕΚ 2984/Β/30-08-2017.

Eurocode 8-Part 3. (2005) European Standard EN1998-3 “Design of Structures for Earthquake Resistance, Assessment and Retrofitting of Buildings”.

- (2019), Draft N776 “Assessment and Retrofitting of Buildings and Bridges”

Ο.Α.Σ.Π., (2019), “Κανονισμός Αποτίμησης και Δομητικών Επεμβάσεων Τοιχοποιίας ΚΑΔΕΤ Σχέδιο 1”

10

Γιατί χρειαζόμαστε έναν Εδικό Κανονισμό για Αποτίμηση και Επεμβάσεις;

Η μελέτη για επέμβαση είναι αρκετά διαφορετική από τη μελέτη σχεδιασμού ενός νέου κτιρίου

- Διαφορετική η διαδικασία προσέγγισης
- Άλλα πράγματα χρειάζονται

11

Άλλες Μέθοδοι Ανάλυσης Απαιτούνται

Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης που σήμερα χρησιμοποιούνται (για νέα κτίρια) έχουν αξιοπιστία υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις που στα νέα κτίρια φροντίζουμε να πληρούνται.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι προϋποθέσεις αυτές δεν πληρούνται στα παλιά κτήρια.

Αλλά και αν τύχει να πληρούνται, τι τιμή θα έχει ο συντελεστής συμπεριφοράς q ;

➔ **Ανάγκη προχωρημένων μεθόδων ανάλυσης**

12

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q

ΚΑΝ.ΕΠΕ. Πίνακας Σ 4.4.: Τιμές του δείκτη συμπεριφοράς q για την στάθμη επιτελεστικότητας Β («Σημαντικές Βλάβες»)

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής)	Ευμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων (1)	Δυσμενής (γενικώς) παρουσία τοιχοπληρώσεων (1)
1995 < ...	3,00	2,30
1985 < ... < 1995 (2)	2,30	1,70
... < 1985	1,70	1,30

(1) Περί του ρόλου και της επιρροής των τοιχοπληρώσεων βλ. § 5.9 και § 7.4.

(2) Για κτίρια αυτής της περιόδου, οι τιμές του Πίνακα ισχύουν με την προϋπόθεση πως ο έλεγχος αποφυγής σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των υποστυλωμάτων γίνεται κατά την § 9.3.3 (ικανοποίηση της συνθήκης $\Sigma M_{Rc} \geq 1,3 \Sigma M_{Rb}$). Διαφορετικά ισχύουν οι τιμές του πίνακα που ισχύουν για κτίρια της περιόδου προ του 1985.

- Για στάθμη επιτελεστικότητας Γ οι τιμές πολ/ζονται με 1,4 ενώ για στάθμη επιτελεστικότητας Α με 0,6 (με κάτω όριο $q=1,0$ και άνω $q=1,5$)
- Στην περίπτωση ανασχεδιασμού με χρήση ισχυρών νέων φορέων υπό προϋποθέσεις μπορεί να ισχύει:

$$\frac{V_R}{V_S} \geq 0.75 \text{ τότε } q = q_{\text{νέων κανονισμών}} \quad 0.6 \leq \frac{V_R}{V_S} < 0.75 \text{ τότε } q = \frac{4}{5} q_{\text{νέων κανονισμών}}$$

13

Τι είναι αστοχία;

Ένταση > Αντοχή

$$\text{Έστω } M_{Rd} = 150 \text{ KNm} < M_{sd} = 200 \text{ KNm}$$

Σε μία μελέτη νέου κτιρίου φροντίζουμε αυτό να μην ισχύει
Σε ένα υφιστάμενο η ανισότητα μπορεί να ισχύει

Ερωτήματα: Τι επίπεδα βλάβης θα υπάρξουν;
Ποιες οι συνέπειες;
Θα τις δεχθούμε;

➔ **Ανάγκη Ορισμού επιπέδων βλάβης**

➔ **Πρωτεύοντα – Δευτερεύοντα στοιχεία**

- Διάκριση στοιχείων σε «σεισμικώς πρωτεύοντα» και «σεισμικώς δευτερεύοντα»

Σεισμικώς δευτερεύοντα: Αποδεκτές μεγαλύτερες βλάβες

14

Στάθμες Επιτελεστικότητας ή Οριακές Καταστάσεις (LS)

Επίπεδα Βλάβης

- LS of Damage Limitation (DL) ➔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ) **Στάθμη Α «Περιορισμένες Βλάβες»**, Μηδαμινές βλάβες, τα φέροντα στοιχεία δεν έχουν ουσιαστικά ξεπεράσει την διαρροή τους
- LS of Significant Damage (SD) ➔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ) **Στάθμη Β «Σημαντικές Βλάβες»** κτίριο με αποδεκτές σοβαρές βλάβες (όπως ο σχεδιασμός νέων κτιρίων!)
- LS of Near Collapse (NC) ➔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ) **Στάθμη Γ «Οιονεί Κατάρρευση»**, βαριές και εκτεταμένες βλάβες, κτίριο πολύ κοντά στην κατάρρευση

15

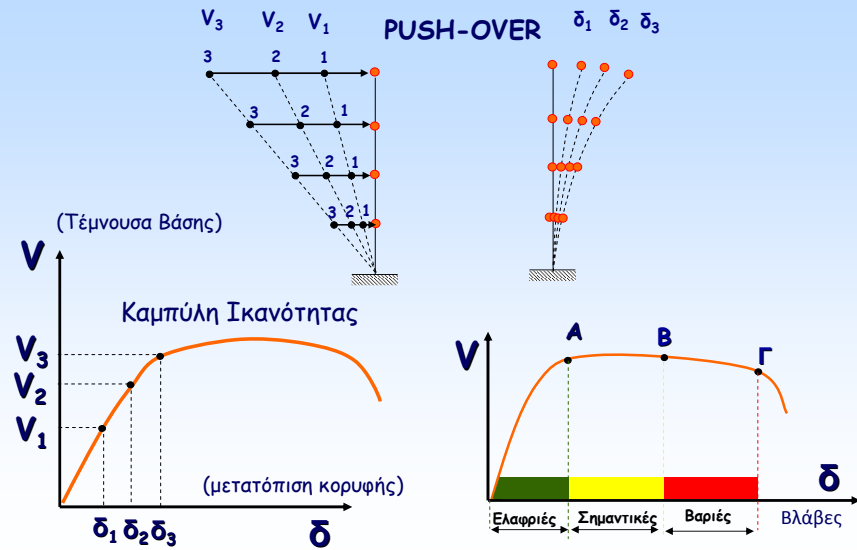
Στάθμες Επιτελεστικότητας ή Οριακές Καταστάσεις (LS)

Επίπεδα Βλάβης

- LS of Fully Operational (OP) ➔ Σχέδια ΕΚ8-1.1 και ΕΚ8-3 (2019) «**Πλήρης Λειτουργία**» Περιορισμός βλαβών και στα μη φέροντα στοιχεία
- LS of Damage Limitation (DL) ➔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ) **Στάθμη Α «Περιορισμένες Βλάβες»**, Μηδαμινές βλάβες, τα φέροντα στοιχεία δεν έχουν ουσιαστικά ξεπεράσει την διαρροή τους
- LS of Significant Damage (SD) ➔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ) **Στάθμη Β «Σημαντικές Βλάβες»** κτίριο με αποδεκτές σοβαρές βλάβες (όπως ο σχεδιασμός νέων κτιρίων!)
- LS of Near Collapse (NC) ➔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ) **Στάθμη Γ «Οιονεί Κατάρρευση»**, βαριές και εκτεταμένες βλάβες, κτίριο πολύ κοντά στην κατάρρευση

16

Στάθμες Επιτελεστικότητας – Οριακές Καταστάσεις Έστω Στατική Οριζόντια Φόρτιση Βαθμιαία Αυξανόμενη “μέχρι τέρμα”



17

Για ποιό Σεισμό θα γίνει ο Έλεγχος;

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	Πιθανότητα Υπέρβασης Σεισμικής Δράσης εντός του Συμβατικού Χρόνου Ζωής των 50 ετών	ΣΤΑΘΜΗ Α Περιορισμένες βλάβες	ΣΤΑΘΜΗ Β Σημαντικές βλάβες	ΣΤΑΘΜΗ Γ Οιονεί κατάρρευση
(1)	10% (Σεισμικές Δράσεις Κανονισμού Νέων Κτιρίων)	A1	B1	Γ1

18

Για ποιό Σεισμό θα γίνει ο Έλεγχος;

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	Πιθανότητα Υπέρβασης Σεισμικής Δράσης εντός του Συμβατικού Χρόνου Ζωής των 50 ετών	ΣΤΑΘΜΗ Α Περιορισμένες βλάβες	ΣΤΑΘΜΗ Β Σημαντικές βλάβες	ΣΤΑΘΜΗ Γ Οιονεί κατάρρευση
>(1)	π.χ. 2%	☑	☑	☑
(1)	10% (Σεισμικές Δράσεις Κανονισμού Νέων Κτιρίων)	A1	B1	Γ1
<(1)	π.χ. 20%	☑	☑	☑
<<(1)	π.χ. 50%	☑	☑	☑

19

Στόχοι Επιτελεστικότητας κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.και ΚΑΔΕΤ

(Ζεύγος στάθμης επιτελεστικότητας και σεισμού σχεδιασμού)

Πιθανότητα Υπέρβασης Σεισμικής Δράσης εντός του Συμβατικού Χρόνου Ζωής των 50 ετών	ΣΤΑΘΜΗ Α Περιορισμένες βλάβες	ΣΤΑΘΜΗ Β Σημαντικές βλάβες	ΣΤΑΘΜΗ Γ Οιονεί κατάρρευση
10% (Σεισμικές Δράσεις Κανονισμού Νέων Κτιρίων)	A1	B1	Γ1
50% (Σεισμικές Δράσεις = 0,6 x του προηγούμενου)	A2	B2	Γ2

Υπάρχουν Ισοδύναμοι Στόχοι;

Ελάχιστοι ανεκτοί στόχοι: Κατ. Σπουδ.Ι →Γ2

Κατ. Σπουδ.ΙΙ →Γ1

Κατ. Σπουδ.ΙΙΙ →Β1

Κατ. Σπουδ.ΙV →Β1 + Α2

20

Στάδια Αποτίμησης και Ανασχεδιασμού

1° Στάδιο:

Συλλογή Δεδομένων

Διερεύνηση και τεκμηρίωση υφιστάμενης κατάστασης- Αξιοπιστία Δεδομένων

2° Στάδιο:

Αποτίμηση επάρκειας κατασκευής

3° Στάδιο:

α) Έλεγχος εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης μιας ή περισσότερων λύσεων

β) Σχεδιασμός επέμβασης. Μελέτη (Ανασχεδιασμού Επισκευής/Ενίσχυσης) με κοστολόγηση

4° Στάδιο:

Κατασκευή του Έργου



21

Ποιά Είναι Τα Απαραίτητα Δεδομένα και Πώς θα Ληφθεί υπ' όψιν ο Βαθμός Αξιοπιστίας τους;

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- ✓ Γεωμετρία
- ✓ Αντοχές
- ✓ Λεπτομέρειες

Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) Knowledge Levels

- Υψηλή (Full /High)
- Ικανοποιητική (Normal/Average)
- Ανεκτή (Limited/Minimum)
- Ανεπαρκής: επιτρέπεται (κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.), μόνο για δευτερεύοντα στοιχεία

Σε τι επηρεάζουν;

22

Ερήμην Αντιπροσωπευτικές Τιμές Αντοχής Υλικών

Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος (MPa), ΣΑΔ=Ανεκτή

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	“Ονομαστική” Μέση Τιμή f_{cm}	Χαρακτηριστική Τιμή $f_{ck}=f_{cm}-S$
...<1954	10	6
1954<...<1985	12	8
1985<... <1995	16	12
1995<...	20	16

Αντιπροσωπευτικές τιμές διαρροής χάλυβα οπλισμού (MPa)

Κατηγορία Χάλυβα Οπλισμού	“Ονομαστική” Μέση Τιμή f_{yk}	Χαρακτηριστική Τιμή f_{yk}
S220 & Stahl I	280	240
S400 & Stahl III	450	410
S500 & Stahl IV	520	500

Αντιπροσωπευτικές τιμές αντοχής τοιχοπλήρωσεων (MPa) (υπό προϋποθέσεις)

Αντοχή	Τοιχοπλήρωση	Ποιότητα Δόμησης και Σφίγνωσης		
		Καλή	Μέση	Κακή
Λοξή Θλίψη $f_{wc,s}$	Μπατικός	2.00	1.50	1.00
	Δρομικός	1.50	1.00	0.75
Διαγώνια Ρηγματοση f_{wv}	Μπατικός	0.25	0.20	0.15
	Δρομικός	0.20	0.15	0.10

23

Βάση Δεδομένων (υπό συνεχή εμπλοτισμό)

- ✓ 573 Εγγραφές
- ✓ 140 Κτίρια

Διαφαινόμενη τροποποίηση

Ερήμην Αντιπροσωπευτικές Τιμές Αντοχής Υλικών

Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος (MPa), ΣΑΔ=Ικανοποιητική

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	“Ονομαστική” Μέση Τιμή f_{cm}	Χαρακτηριστική Τιμή $f_{ck}=f_{cm}-S$
...<1985	12	8
1985<... <1995	16	12
1995<...	20	16

Αντιπροσωπευτικές τιμές διαρροής χάλυβα οπλισμού (MPa)

Κατηγορία Χάλυβα Οπλισμού	“Ονομαστική” Μέση Τιμή f_{yk}	Χαρακτηριστική Τιμή f_{yk}
S220 & Stahl I	280	240
S400 & Stahl III	450	410
S500 & Stahl IV	520	500

24

Μέθοδοι Ανάλυσης

✓ Ελαστική (Ισοδύναμη) Στατική Ανάλυση

με χρήση συντελεστή συμπεριφοράς q
ή με χρήση τοπικών δεικτών m

✓ Ελαστική Δυναμική Ανάλυση Φάσματος Απόκρισης

με χρήση συντελεστή συμπεριφοράς q
ή με χρήση τοπικών δεικτών m

✓ Ανελαστική Στατική Ανάλυση

✓ Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση (Ανάλυση Χρονοϊστορίας)

25

Τοιχοπληρώσεις

Μέχρι τώρα τις αγνοούμε.
Γιατί;

- Έλλειψη προδιαγραφών ποιότητας και τρόπου κατασκευής (διαφορές αντοχών, σφηνώματα)
 - Αβέβαιοι τρόποι προσομοίωσης (ανοίγματα)
 - Δεν κοστίζει πολύ να αγνοηθεί η συνεισφορά τους στις νέες κατασκευές
- Παράδειγμα

Συμμετοχή στην συνολική αντοχή της κατασκευής

	Φέρων οργανισμός	Τοιχοπληρώσεις	Σύνολο
Νέες κατασκευές	900	100	1000
Παλαιές κατασκευές	300	150	450

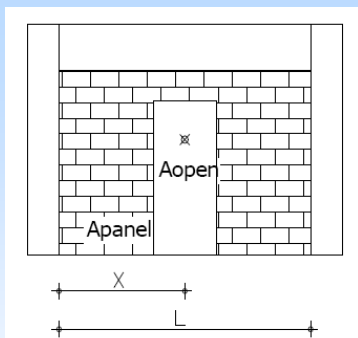
Στις παλαιές κατασκευές ο ρόλος τους σημαντικός

Αν αγνοηθούν στην αποτίμηση των παλαιών κατασκευών →

Ανάγκη σοβαρών ενισχύσεων (συχνά ανέφικτων)

26

Υποβιβασμός Αντοχής Τοιχοπλήρωσης Λόγω Ανοιγμάτων



Π. ΤΣΙΚΑΣ και Σ. ΔΡΙΤΣΟΣ (2009), "Διερεύνηση του Τρόπου Προσομοίωσης Τοιχοπληρωμένων Πλαισίων με Ανοίγματα, σε Κατασκευές Ο.Σ.", 16^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Πρακτικά CD, No 271103, Κύπρος.

$$N_{R,red} = N_R \cdot R_1 \cdot R_2$$

$$R_1 = 2.24 \left(\frac{A_{open}}{A_{panel}} \right)^2 - 2.77 \left(\frac{A_{open}}{A_{panel}} \right) + 1$$

$$R_2 = 0.77 \left(\frac{X}{L} \right)^2 + 0.07 \left(\frac{X}{L} \right) + 0.81$$

ΕΚ8-3 (2019) § 11.3.4

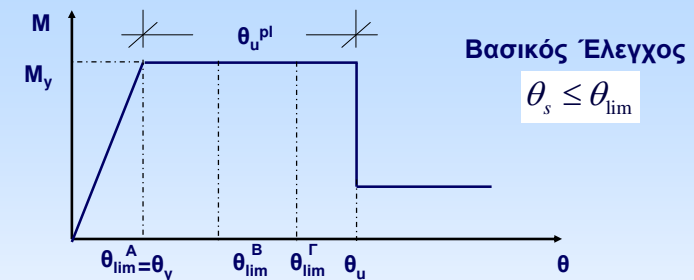
$$N_{R,red} = N_R \cdot \rho_{op}$$

$$\rho_{op} = a \exp(ba_a) + c \exp(da_l)$$

27

Οριακές Παραμορφώσεις Μελών

για στάθμες επιτελεσματικότητας A, B και Γ



$$\mu_\theta = \frac{\theta_u}{\theta_y}$$

$$K = EI_{ef} = \frac{M_y \cdot L_s}{3\theta_y}$$

$$m = \frac{\theta_{lim}}{\theta_y}$$

$$m^\Gamma = \frac{\theta_{lim}^\Gamma}{\theta_y}, m^B = \frac{\theta_{lim}^B}{\theta_y}, m^A = 1$$

$$\theta_{lim}^\Gamma = \frac{\theta_{um}}{\gamma_{Rd}} = 1,5$$

$$\theta_{lim}^B = \frac{\theta_y + \theta_{um}}{2\gamma_{Rd}} = 3,0$$

28

ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΩΝ

Ικανότητα στροφής χορδής κατά τη διαρροή:

$$\theta_y = \underbrace{\left(1/r\right)_y \frac{L_s + a_V z}{3}}_{1^{ος} \text{ όρος}} + \underbrace{0,0014 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s}\right)}_{2^{ος}} + \underbrace{\frac{\left(1/r\right)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}}}_{3^{ος}}$$

Δοκοί και Υποστύλωματα

$$\theta_y = \underbrace{\left(1/r\right)_y \frac{L_s + a_V z}{3}}_{1^{ος}} + \underbrace{0,0013}_{2^{ος}} + \underbrace{\frac{\left(1/r\right)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}}}_{3^{ος}}$$

Τοιχεία ορθογωνικής, Τ- και Ι- Διατομής

$$\alpha_v = 1,0 \quad \alpha v \quad V_{Rc} < V_{Mu} = M_y / L_s$$

$$\alpha_v = 0 \quad \alpha v \quad V_{Rc} \geq V_{Mu} = M_y / L_s$$

$$V_{R,c} = \left\{ \max \left[180(100\rho_L)^{1/3}, 35\sqrt{1 + \sqrt{\frac{0,2}{d}} f_c^{1/6}} \right] \left(1 + \sqrt{\frac{0,2}{d}} \right) f_c^{1/3} + 0,15\sigma_c \right\} b_w d \quad \text{βλ. Παροράματα}$$

ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΩΝ

Ικανότητα στροφής χορδής κατά τη διαρροή:

Οριακή ικανότητα στροφής χορδής:

$$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^V) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} (\alpha_s)^{0,35} 25 \left(\alpha \rho_s \frac{f_{yw}}{f_c} \right) (1,25^{100} \rho_d) \quad (\Sigma.11\alpha)$$

Πλαστικό τμήμα ικανότητας στροφής χορδής:

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0,0145 (0,25^V) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,3} (f_c)^{0,2} (\alpha_s)^{0,35} 25 \left(\alpha \rho_s \frac{f_{yw}}{f_c} \right) (1,275^{100} \rho_d) \quad (\Sigma.11\beta)$$

$$\omega = \omega_{tot} - \omega'$$

Ανεπαρκή Υπερκάλυψη Ράβδων Οπλισμού

- Σε μάτιση θλιβομένων ράβδων μετρούν και οι δύο στο θλιβόμενο οπλισμό (παρουσία εγκιβωτισμού ή περισφιγξης)

$$l_{by,min} = (0,3f_y / \sqrt{f_c}) \Phi$$

- Για τη στροφή χορδής στην αστοχία:

$$l_{bu,min} = \frac{\Phi f_y}{\left(1,05 + 14,5\alpha_1 \rho_s \frac{f_{yw}}{f_c} \right) \sqrt{f_c}} \quad \text{όπου} \quad \alpha_1 = \left(1 - \frac{s_h}{2b_o} \right) \left(1 - \frac{s_h}{2h_o} \right) \frac{n_{restr}}{n_{tot}}$$

Το $l_{bu,min}$ προκύπτει αναλόγου μήκους με τα ισχύοντα για νέες κατασκευές

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Α

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ Η ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΜΟΡΦΗΣ Γ, Τ, Π

1) Διατομή οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη

Η παρούσα παράγραφος του παραρτήματος 7Α ισχύει για ορθογωνικές διατομές. Ισχύει επίσης και για διατομές Γ, Τ, Π, κ.λ.π, στις οποίες η θλιβόμενη ζώνη έχει σταθερό πλάτος b. Η συνθήκη αυτή ελέγχεται με βάση το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή $\xi_y d$, με ξ_y που υπολογίζεται από την Εξ. (Α.3). Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις της παραγράφου 2 του παρόντος παραρτήματος οι οποίες ισχύουν και για την περίπτωση θλιβόμενης ζώνης σταθερού πλάτους b.

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελεκόμενου οπλισμού, τότε:

$$(1/r)_y = \frac{f_y}{E_s (1 - \xi_y) d} \quad (\text{Α.1})$$

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μη-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος (για παραμόρφωση ακραίας θλιβόμενης ίνας πέραν του $\epsilon_s \approx 1,8(f_c/E_c)$, τότε:

$$(1/r)_y = \frac{\epsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1,8 f_c}{E_s \xi_y d} \quad (\text{Α.2})$$

Λαμβάνεται η μικρότερη των τιμών (1/r)_y από τις Εξ.(Α.1) και (Α.2).

Το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή, ξ_y , ανηγμένο στο στατικό ύψος d, είναι:

$$\xi_y = (\alpha^2 A^2 + 2\alpha B)^{1/2} - \alpha A, \quad (\text{Α.3})$$

όπου $\alpha = E_s/E_c$ και τα Α, Β προσδιορίζονται από τις κατωτέρω Εξ. (Α.4) ή (Α.5), εάν η διαρροή ελέγχεται από τον εφελεκόμενο οπλισμό ή από το θλιβόμενο σκυρόδεμα αντίστοιχα:

Ι. Διαρροή λόγω χάλυβα:

$$A = \rho + \rho' + \rho_s + \frac{N}{b d f_y}, \quad (\text{Α.4a})$$

$$B = \rho + \rho' \delta + 0,5 \rho_s (1 + \delta) + \frac{N}{b d f_y}$$

II. Διαρροή λόγω παραμορφώσεων σκυροδέματος:

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{\varepsilon_s E_s b d} \approx \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1.8 \alpha b d f_c} \quad (A.5\alpha)$$

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

Στις Εξ. (Α.4) και (Α.5), ρ, ρ' και ρ_v είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγγίεμα στο bd), δ=δ'/d, όπου δ' η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος, b το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης και N το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη).

Με δεδομένη την καμπυλότητα στη διαρροή, η αντίστοιχη ροπή M_y προκύπτει ως:

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

Αντί τον Εξ. (Α.1) έως και (Α.5) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικά οι ημι-εμπειρικές σχέσεις:

Για υποστυλώματα ή δοκούς:

$$(1/r)_y = 1.73 f_y / E_s h \quad (A.7\alpha)$$

$$(1/r)_y = 1.52 f_y / E_s d \quad (A.7\beta)$$

Για τοιχώματα:

$$(1/r)_y = 1.43 f_y / E_s h \quad (A.8\alpha)$$

$$(1/r)_y = 1.33 f_y / E_s d \quad (A.8\beta)$$

2) Διατομή οπλισμένου σκυροδέματος με θλιβόμενη ζώνη μορφής Γ, Τ, Π

Για διατομές μορφής Γ, Τ, Π, Η όπου το ύψος της θλιβόμενης ζώνης είναι μεγαλύτερο απ' το πάχος του πέλματος, δηλαδή η θλιβόμενη ζώνη εκτείνεται και στους κορμούς της διατομής και είναι μορφής Γ, Τ ή Π, ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις, σε αντικατάσταση των αντίστοιχων της παραγράφου I του παρόντος παραρτήματος:

$$A = \frac{b}{b_w} \left(\rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{b d f_y} \right) + \frac{1}{\alpha d} \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right), \quad (A.4\beta)$$

$$B = \frac{b}{b_w} \left(\rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta') \right) + \frac{N}{b d f_y} + \frac{1}{2\alpha} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right)$$

$$A = \frac{b}{b_w} \left(\rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1.8 \alpha b d f_c} \right) + \frac{1}{\alpha d} \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right), \quad (A.5\beta)$$

$$B = \frac{b}{b_w} \left(\rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta') \right) + \frac{1}{2\alpha} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right)$$

$$\frac{M_y}{bd^3} = (1/r)_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \frac{b_w}{b} \left(0.5(1+\delta') - \frac{\xi_y}{3} \right) + E_c \left(1 - \frac{b_w}{b} \right) \left[\xi_y - \frac{t}{2d} \left(1 - \frac{t}{2d} \right) \frac{t}{2d} + \frac{E_s}{2} \left[(1-\xi_y)\rho + (\xi_y - \delta')\rho' + \frac{\rho_v}{6}(1-\delta') \right] \right] (1-\delta') \right\} \quad (A.6\beta)$$

όπου b_w είναι το πάχος του κορμού (ή το συνολικό πάχος των κορμών εάν είναι περισσότεροι από ένας) στην περιοχή όπου η θλιβόμενη ζώνη εκτείνεται στον κορμό (ή στους κορμούς), t είναι το πάχος του θλιβόμενου πέλματος και όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές έχουν ορισθεί στην παράγραφο I. Οι υπόλοιπες εξισώσεις παραμένουν ίδιες με την παράγραφο I του παρόντος παραρτήματος. Σημειώνεται ότι εάν προκύψει ξ_y < t/d τότε η θλιβόμενη ζώνη βρίσκεται όλη εντός του θλιβόμενου πέλματος και οι εξισώσεις της παρούσης παραγράφου εφαρμόζονται με b_w=b, δίνοντας ουσιαστικά τις εξισώσεις της παραγράφου I.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Γ

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Η διατμητική αντοχή, V_R, ενός δομικού στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος (υποστυλώματος, δοκού, τοιχώματος) το οποίο υποβάλλεται σε ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος της γωνίας στροφής/χορδής στη διατομή της μέγιστης ροπής. Αν το μέγεθος αυτό αναχθεί στο μέγεθος της γωνίας στροφής/χορδής στη διαρροή στο ίδιο σημείο, προκύπτει με^{pl}=μ_R-1. Το πλαστικό τμήμα του δείκτη πλαστικότητας γωνίας στροφής/χορδής: με^{pl}=μ_R-1, ισούται με τον λόγο του πλαστικού μέρους της μέγιστης τιμής της γωνίας στροφής/χορδής (συνολική γωνία μείον γωνία στην διαρροή) προς την υπολογιζόμενη γωνία στροφής στην διαρροή θ_R κατά τις Εξ. (Σ.2α) και (Σ.2β). Η διατμητική αντοχή δομικού στοιχείου, όπως αυτή καθορίζεται από τη διαρροή του συνδέτηρου, επιτρέπεται να θεωρείται ότι μειώνεται με την τιμή του με^{pl} ως ακολούθως (μονάδες MN και m):

$$V_R = \frac{h-x}{2L_0} \min(N; 0.55A_s f_c) + (1 - 0.05 \min[5, \mu^{\text{pl}}]) \left[0.16 \max(0.5, 100\rho_{sw}) (1 - 0.16 \min[5, \alpha_s]) \sqrt{f_c} A_s + V_{w0} \right] \quad (Γ.1)$$

όπου:

- h: ύψος διατομής (ίσο με τη διάμετρο D στις κυκλικές διατομές).
- x=ξ_yd: ύψος της θλιβόμενης ζώνης, το οποίο υπολογίζεται από τις Εξ. (Α.3)-(Α.5) στη διαρροή της διατομής.
- N: αξονικό φορτίο (θετικό για θλίψη, μηδενικό για εφελκυσμό).
- α_s: λόγος διάτμησης.
- A_s: εμβαδόν της διατομής σκυροδέματος, ίση με b_wd σε διατομές με ορθογώνιο κορμό πάχους b_w και στατικό ύψος d, ή με πD²/4 (όπου D_c = διάμετρος πυρήνα διατομής εντός των συνδέτηρων) σε κυκλικές διατομές.
- f_c: θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (MPa).
- ρ_{sw}: συνολικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού (εφελκόμενου, θλιβόμενου και ενδιάμεσου).
- V_{w0}: συμβολή εγκάρσιου οπλισμού στη διατμητική αντοχή, ίση με:

- Για διατομές με ορθογώνιο κορμό πάχους b_w:

$$V_{w0} = \rho_w b_w z f_{yw} \quad (Γ.2)$$

- όπου:
 - ρ_w: το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού,
 - z: ο μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων (ίσο με d-d' σε υποστυλώματα, δοκούς και τοιχώματα διατομής Τ ή Η, ή με 0.8h σε τοιχώματα ορθογώνιας διατομής) και
 - f_{yw}: η τάση διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού.

- Για κυκλικές διατομές:

$$V_w = \frac{\pi A_m}{2} f_{yw} (D - 2c) \quad (Γ.3)$$

όπου:

- A_m: το εμβαδόν της διατομής ενός κυκλικού συνδέτηρα,
- s: η απόσταση μεταξύ διαδοχικών συνδέτηρων και
- c: η επικάλυψη του οπλισμού.

Ειδικότερα η διατμητική αντοχή, V_R, τοιχώματος δεν μπορεί να ξεπεράσει την οριακή τιμή που αντιστοιχεί σε αστοχία του κορμού σε λοξή θλίψη, V_{R,max}, η οποία, υπό ανακυκλιζόμενες παραμορφώσεις, ελαστικές ή μετελαστικές, μπορεί να λαμβάνεται από τη σχέση (μονάδες MN και m):

$$V_{R,max} = 0.85(1 - 0.06 \min[5, \mu^{\text{pl}}]) \left(1 + 1.8 \min \left(0.15 \frac{N}{A_s f_c} \right) \right) (1 + 0.25 \max(1.75, 100\rho_{sw})) (1 - 0.2 \min(2, \alpha_s)) \sqrt{f_c} b_w z \quad (Γ.4)$$

Η τιμή της V_{R,max} προ της καμπτικής διαρροής υπολογίζεται από την Εξ. (Γ.4) με με^{pl}=0. Εξάλλου, η διατμητική αντοχή, V_R, υποστυλώματος με λόγο διάτμησης α_s≤2.0 δεν μπορεί να ξεπεράσει την οριακή τιμή που αντιστοιχεί σε θλιπτική αστοχία του σκυροδέματος κατά τη διαρροή του στοιχείου, V_{R,max}, η οποία υπό ανακυκλιζόμενες μετελαστικές παραμορφώσεις μειώνεται με το μέγεθος του πλαστικού τμήματος του δείκτη πλαστικότητας μετακινήσεων, με^{pl}=μ_R-1, ως (μονάδες MN και m):

$$V_{R,max} = \frac{4}{3} \left(1 - 0.02 \min[5, \mu^{\text{pl}}] \right) \left(1 + 1.35 \frac{N}{A_s f_c} \right) (1 + 0.45(100\rho_{sw})) \sqrt{\min(40, f_c)} b_w z \sin 2\delta \quad (Γ.5)$$

όπου δ η γωνία της διαγωνίου του στοιχείου ως προς τον άξονά του (tanδ=h/2L₀=0.5/α_s).

Στα τοιχώματα θα πρέπει να εξετάζεται επιπλέον το ενδεχόμενο ολίσθησης στη βάση ή σε τυχούσες άλλες διατομές όπου είναι πιθανή η διαρροή του διαμήκους οπλισμού, λόγω πχ. μείωσης του κατακόρυφου οπλισμού καθ' ύψος. Η διαρροή σε κάμψη είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ολίσθηση λόγω διάτμησης. Σε τοιχώματα στα οποία προβλέπεται διατμητική αστοχία πριν την καμπτική διαρροή, δεν χρειάζεται να εξετάζεται το ενδεχόμενο ολίσθησης λόγω διάτμησης. Η τέμνουσα αντοχής σε ολίσθηση, V_{R,SLS}, μπορεί να λαμβάνεται απ' τη σχέση:

$$V_{R,SLS} = V_1 + V_2 + V_4 \quad (Γ.6)$$

όπου V₁, V₂ και V₄ είναι αντίστοιχα η συνεισφορά των κεκλιμένων ραβδών, της τριβής και της δράσης βλήτρου του κατακόρυφου οπλισμού, οι οποίες μπορούν να λαμβάνονται απ' τις σχέσεις:

$$V_1 = \sum A_{s,i} f_{s,i} \cos \theta \quad (Γ.7)$$

$$V_2 = \min \left[\mu \left(\sum A_{s,i} f_{s,i} + N \right) \xi + M_y / z \right] 0.3 f_{A,comp} \quad (Γ.8)$$

$$V_d = 1,6 \sum A_w \sqrt{f_c f_{yt}} \leq \sum A_w f_{yt} / \sqrt{3} \quad (\Gamma.9)$$

όπου:

- ΣA_{si} είναι το άθροισμα των διατομών όλων των κεκλιμένων ράβδων και στις δύο διευθύνσεις
- ϕ είναι η γωνία των κεκλιμένων ράβδων ως προς το επίπεδο πιθανής ολίσθησης
- ΣA_{sv} είναι το άθροισμα των διατομών των κατακόρυφων ράβδων του κορμού
- f_{yt}, f_{yv} είναι η τάση διαρροής των κεκλιμένων ράβδων και των κατακόρυφων ράβδων του κορμού αντίστοιχα
- μ ο συντελεστής τριβής με συνιστώμενη τιμή $\mu=0,8$
- N η αξονική δύναμη (θετική σε θλίψη)
- M_y η ροπή διαρροής της διατομής
- z είναι ο μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων (ίσοι με d-d' σε υποστοιχώματα, δοκούς και τοιχώματα διατομής T ή H, ή με 0.8h σε τοιχώματα ορθογωνικής διατομής)
- A_{comp} είναι το εμβαδόν της θλιβόμενης ζώνης (Ψούται με hξd σε τοιχώματα ορθογωνικής διατομής. Σε τοιχώματα μη ορθογωνικής διατομής θα πρέπει το A_{comp} να υπολογίζεται καταλλήλως, ανάλογα με τη γεωμετρία της διατομής και το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, ξd)
- ξ είναι το ανηγμένο ύψος της θλιβόμενης ζώνης το οποίο υπολογίζεται απ' τη σχέση:

$$\xi = \xi(\mu_\phi) = \xi_y - \frac{\xi_y - \xi_z}{\mu_\phi^2 - 1} (\mu_\phi - 1) \quad (\Gamma.10)$$

δηλαδή με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών του ξ στην καμπτική διαρροή, ξ_y , και στην καμπτική αστοχία, ξ_z , ανάλογα με την τιμή της απαιτούμενης πλαστικότητας μετακίνησης, μ_ϕ , σε σχέση με την θεωρητικά διαθέσιμη πλαστικότητα μετακίνησης για θεώρηση καμπτικής αστοχίας, $\mu_\phi^p = \theta_s / \theta_c$. Η τιμή του ξ_z μπορεί να υπολογισθεί απ' τις εξισώσεις του Παραρτήματος 7Α. Η τιμή του ξ_y μπορεί να υπολογισθεί σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις οι οποίες προκύπτουν για θεώρηση ελαστικού - πλήρους πλαστικού νόμου σ-ε για τον χάλυβα και παραβολικού-ορθογωνικού για το σκυρόδεμα (με βράχυνση $\epsilon_{cs}=0,002$ για τάση f_c και μέγιστη βράχυνση ϵ_{cu} σύμφωνα με το δό.α) της § 7.2.4.1):

$$\text{εάν: } A_s' f_y - A_s f_y + \frac{A_n f_y d'}{(d-d')} \left(d_s \frac{\epsilon_{cs} + f_y / E_s}{\epsilon_{cs} - f_y / E_s} - d \right) + \frac{\epsilon_{cs} - \epsilon_{cs} / 3}{\epsilon_{cs} - f_y / E_s} f_c b d' \leq N \quad (\Gamma.11)$$

$$\text{τότε: } \xi_z = \frac{(A_s' f_y - A_s f_y + N)(1-d'/d) + A_n f_y (1+d'/d)}{\left(1 - \frac{\epsilon_{cs}}{3\epsilon_{cs}}\right) b(d-d') f_c + 2A_n f_y} \quad (\Gamma.12)$$

$$\text{διαφορετικά: } \left[\left(1 - \frac{\epsilon_{cs}}{3\epsilon_{cs}}\right) b d f_c + A_n \frac{(E_s \epsilon_{cs} + f_y)^2 d}{2E_s \epsilon_{cs} (d-d')} \right] \xi_z^2 - \left[N + A_s' f_y - A_s f_y + E_s \epsilon_{cs} + A_n \frac{f_y d + E_s \epsilon_{cs} d'}{d-d'} \right] \xi_z - \left[A_s - \frac{A_n d'}{2(d-d')} \right] E_s \epsilon_{cs} \frac{d'}{d} = 0 \quad (\Gamma.13)$$

όπου: d' είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου του θλιβόμενου οπλισμού και της ακραίας θλιβόμενης ίνας, A_s και A_s' το εμβαδόν των εφελκόμενων και του θλιβόμενου οπλισμού, E_s το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα, και όλα τα υπόλοιπα μεγέθη έχουν ορισθεί παραπάνω.

Εναλλακτικά τον Εξ. (Γ.6)-(Γ.13) για τον υπολογισμό της αντοχής σε ολίσθηση μπορεί να χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$V_{RSLIS} = \left(-0,025 \mu_\phi^3 \right) \min \left\{ 0,5 \sum [A_s f_y (0,6 \sin \phi + \cos \phi)] + 0,6 N + 1,1 \sum [A_s \sqrt{f_c f_y} \sin \phi]; 0,2 \min \left(0,55, 0,55 \left(\frac{30}{f_c} \right)^{\frac{1}{3}} \right) f_c A_c \right\} \quad (\Gamma.14)$$

Τα αθροίσματα Σ της παραπάνω σχέσης υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις ράβδους που διαπερνούν την υπό εξέταση διατομή υπό γωνία φ ως προς το επίπεδο της διατομής. Για το διαμήκη οπλισμό κορμού, με εμβαδόν A_{sv} και τάση διαρροής f_{yv} , και των ακραίων περσώνων, με εμβαδόν A_s και A_s' για το εφελκόμενο και το θλιβόμενο πέλμα αντίστοιχα, και με αντίστοιχη τάση διαρροής f_y και f_y' , είναι $\phi=90^\circ$. Για τυχόν διαγωνίες ράβδους με εμβαδόν A_{si} και τάση διαρροής f_{si} είναι $\phi < 90^\circ$.

Οι Εξ. (Γ.1)-(Γ.3) και (Γ.4) ισχύουν για τοιχώματα με λόγο διάτμησης $a_c \geq 1,0$. Για τοιχώματα με χαμηλό λόγο διάτμησης $a_c \leq 1,2$ («κοντά» τοιχώματα), θα πρέπει να υπολογίζεται η κατώτερο τέμνουσα αντοχής:

$$V_{R, \text{small}} = V_s + V_c \quad (\Gamma.15)$$

όπου V_c είναι η συνεισφορά του σκυροδέματος και V_s η συνεισφορά του οπλισμού:

$$V_s = \min \left\{ \begin{aligned} &\rho_b b_w \min((d-x) / \tan \theta_s, L_x) f_{sm} \\ &(\rho_b b_w \min(L, \tan \theta_s, d-x) f_w + A_s f_y) / \tan \theta_s \end{aligned} \right\} \quad (\Gamma.16)$$

όπου:

- $\rho_b = A_{sb} / b_w s_b$ είναι το γεωμετρικό ποσοστό του οριζώντιου οπλισμού κορμού
- $\rho_s = A_{sv} / b_w s_v$ είναι το γεωμετρικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού κορμού
- f_{yb}, f_{yv} είναι η τάση διαρροής του οριζώντιου και του κατακόρυφου οπλισμού κορμού
- b_w είναι το πλάτος του κορμού
- A_s, f_y είναι το εμβαδόν και η τάση διαρροής του οπλισμού του εφελκόμενου πέλματος αντίστοιχα
- είναι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, όπου το ξ_z μπορεί να υπολογισθεί απ' τις εξισώσεις του Παραρτήματος 7Α
- είναι η γωνία της λοξής ρηγμάτωσης ως προς τον κατακόρυφο άξονα και υπολογίζεται απ' τη σχέση:
- $\theta_s (^\circ) = 60^\circ - 15 a_c \geq 45^\circ$
- όπου $a_c = L_w / h$ είναι ο λόγος διάτμησης.

Η συνεισφορά του σκυροδέματος, V_c , υπολογίζεται απ' τη σχέση:

$$V_c = (1 + 150 \rho) (1 - 0,725 a_c) \left(\frac{2}{3} A_s f_{ct} \sqrt{1 + \frac{N}{A_s f_{ct}}} \right) \quad (\Gamma.17)$$

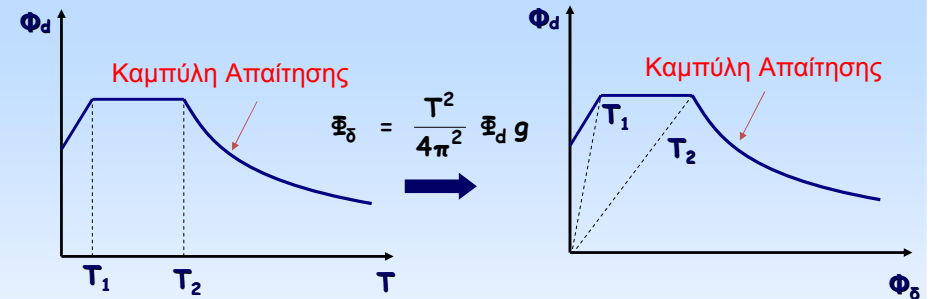
όπου:

- ρ είναι το γεωμετρικό ποσοστό του εφελκόμενου οπλισμού
- A_s είναι το εμβαδόν της διατομής
- N η αξονική δύναμη (θετική σε θλίψη)
- f_{ct} η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος η οποία μπορεί να υπολογιστεί ως: $f_{ct} = 0,3 f_c^{2/3}$

Για τον υπολογισμό της καθοριστικής τέμνουσας των τοιχωμάτων θα πρέπει τελικά να εφαρμόζονται τα εξής:

- α) Για λόγο διάτμησης $a_c < 1,0$: Η καθοριστική τέμνουσα υπολογίζεται απ' τις Εξ. (Γ.15)-(Γ.17) («κοντά» τοιχώματα), εκτός εάν θα συμβεί καμπτική διαρροή πριν την αστοχία, οπότε καθοριστική τέμνουσα είναι η μικρότερη εκ των τέμνουσών που προκύπτουν απ' τις Εξ. (Γ.15)-(Γ.17) («κοντά» τοιχώματα) και τις Εξ. (Γ.6)-(Γ.13) ή την Εξ.(Γ.14), ανάλογα με το ποια εναλλακτική προσέγγιση θα χρησιμοποιηθεί για τη διαμήκη ολίσθηση.
- β) Για λόγο διάτμησης $1,0 \leq a_c \leq 1,2$: Καθοριστική τέμνουσα είναι η μικρότερη εκ των τέμνουσών που υπολογίζονται απ' τις Εξ. (Γ.1)-(Γ.3) (διαρροή των συνδετήρων), Εξ. (Γ.4) (αστοχία του κορμού σε λοξή θλίψη), Εξ. (Γ.6)-(Γ.13) ή Εξ.(Γ.14) (διαμήκη ολίσθηση) και Εξ. (Γ.15)-(Γ.17) («κοντά» τοιχώματα).
- γ) Για λόγο διάτμησης $a_c > 1,2$: Καθοριστική τέμνουσα είναι η μικρότερη εκ των τέμνουσών που υπολογίζονται απ' τις Εξ. (Γ.1)-(Γ.3) (διαρροή των συνδετήρων), Εξ. (Γ.4) (αστοχία του κορμού σε λοξή θλίψη) και Εξ. (Γ.6)-(Γ.13) ή Εξ.(Γ.14) (διαμήκη ολίσθηση).

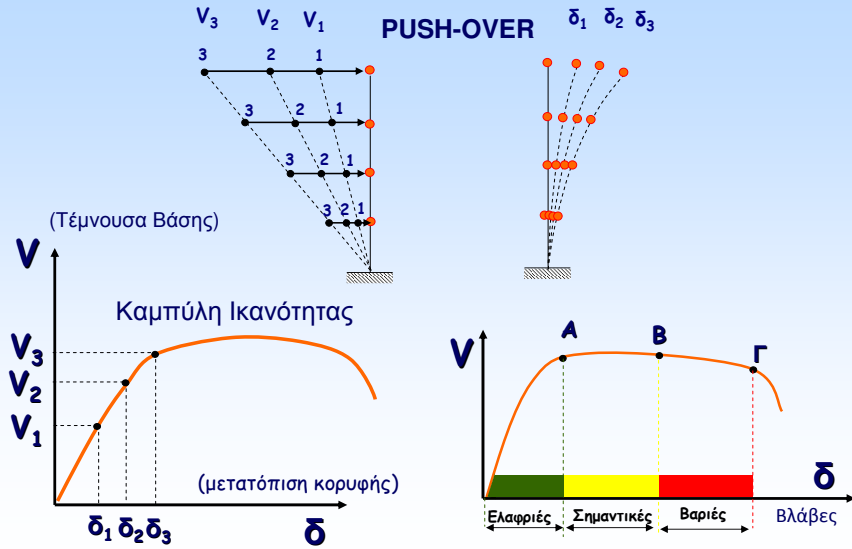
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (global) ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



$$V = \alpha \beta \Phi_\delta W$$



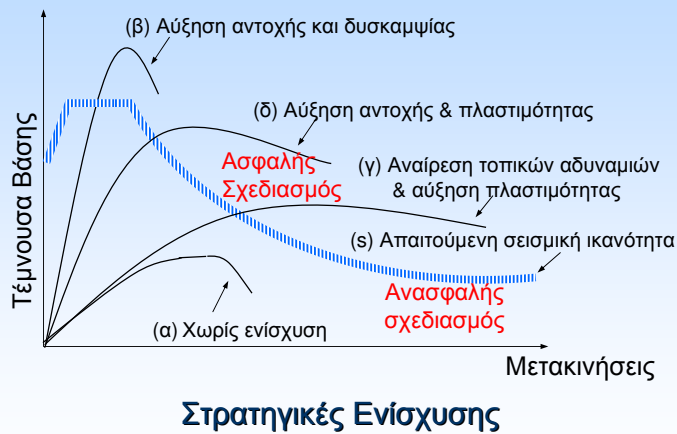
Καμπύλη Ικανότητας Κατασκευής



ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (global)

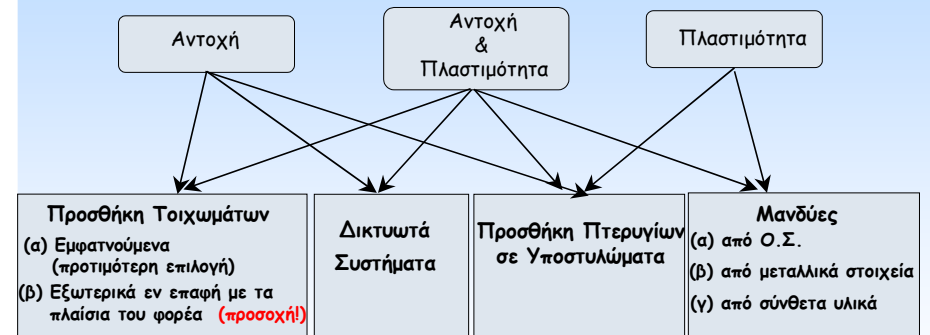


ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟΥ



Στρατηγικές Ενίσχυσης

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



←
Αντοχή & Δυσκαμψία

ΘΕΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ



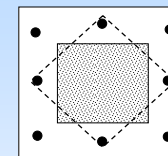
Εκτράχυνση με Αμμοβολή



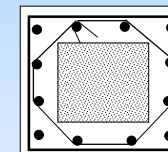
Προετοιμασία Επιφάνειας με Αεροματσάκονο

Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε τετραγωνικές διατομές

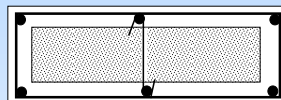
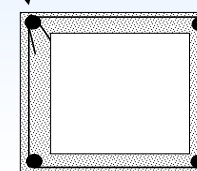
ΟΧΙ



ΝΑΙ



γωνία 45°



Τοποθέτηση ενδιάμεσων συνδετήρων σε επιμήκεις διατομές

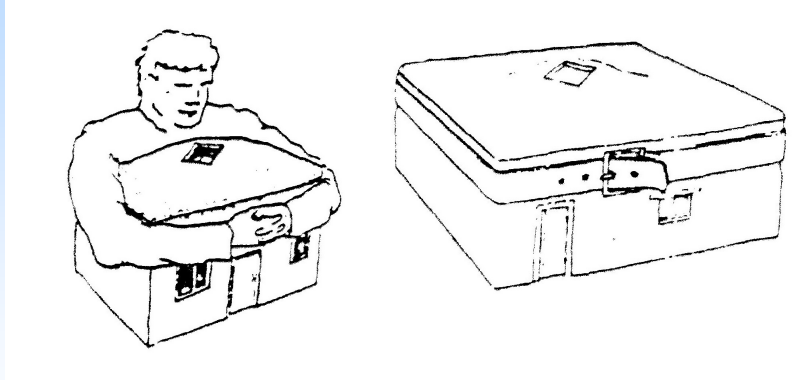


Ανοιγμα Συνδετήρων



Ηλεκτροσυγκόλληση Άκρων Συνδετήρων Μανδύα

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ



53

- Περιλαμβάνονται πλέον και οι Γέφυρες
- Τέσσερις Στάθμες Επιτελεστικότητας – ΕΚ8-1.1 και ΕΚ8-3 (Προσθήκη LS Full Operational)
- Ειδικές Διατάξεις για τις Ξύλινες Κατασκευές
- Πλήρης Αναμόρφωση Κειμένου για κατασκευές από Φέρουσα Τοιχοποιία. Ιδιαίτερα Εκτεταμένη και Λεπτομερής Ενότητα.
- Έλεγχοι Επάρκειας με Αναφορά στο Σύνολο του Δομήματος
- Μεταφορά Διατάξεων του ΕΚ8-3 και στο ΕΚ8-1 ?
- Περιορισμένη Έκταση Πληροφοριακών Παραρτημάτων

54

Υπό επεξεργασία
ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

- Τροποποίηση Ερήμην Τιμών Αντοχής Σκυροδέματος
Βάση Δεδομένων: Σήμερα 573 εγγραφές, Στόχος 2000 εγγραφές
- Μεθοδολογία για τον Προσδιορισμό των Απαιτούμενων Επεμβάσεων για Στοχευόμενη Τιμή του Δείκτη Συμπεριφοράς μ
- Αναθεώρηση της Μεθοδολογίας Σχεδιασμού των Συνδέσμων στην Περίπτωση Προσθήκης Εμφανιζόμενων Τοιχωμάτων
- Ακριβέστερες Σχέσεις Συσχέτισης Πλασιμότητας και Βαθμού Περίσφιξης με FRP

$$\mu_{\varphi} = \varepsilon_{cu,c} / 2,2 \varepsilon_{sy} \cdot \nu$$

ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013

$$\mu_{\varphi} = \frac{f_{cc}}{f_c} \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2,6 \nu \varepsilon_{sy}}$$

ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017

$$\mu_{\varphi} = \min \left(\frac{f_{cc}}{f_c} \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2,3 \nu \varepsilon_y}, \frac{\varepsilon_{su} + \varepsilon_{cu,c} / 3}{(1 - \nu f_c / f_{cc}) 1,52 \varepsilon_y} \right)$$

ΠΡΟΤΑΣΗ

Δράσεις για την Αντισεισμική Προστασία
των Κατασκευών στη Χώρα μας

- Αποκατάσταση των σεισμοπλήκτων
 - Ακραία υψηλό κόστος αποκατάστασης
 - Είναι σωστή η "πολιτική" που εφαρμόζεται;
- Σχεδιασμός για την Αντισεισμική Θωράκιση των κατασκευών

Υπάρχει στην χώρα μας:

56

Πρόταση για την Αντισεισμική Προστασία των Κατασκευών στη Χώρα μας

- Υιοθέτηση ισχυρών νομοθετικών μέτρων με αντίστοιχο χρονικό προγραμματισμό
 - Αποτίμηση σεισμικής επάρκειας
 - Σεισμική ενίσχυση των ευάλωτων κατασκευών
- ✓ Δημόσια κτίρια
- ✓ Κτίρια συγκέντρωσης πλήθους
- ✓ Ιδιωτικά κτίρια
- ✓ Τεχνικά έργα
- Πλαίσιο προτεραιοτήτων
- Δημοσιονομικά κίνητρα
- Σαφείς ρυθμίσεις θεμάτων υλοποίησης δράσεων

57

Δημόσια Κτίρια και Κτίρια Συγκέντρωσης Πλήθους

- Προτεραιότητες: Νοσοκομεία, Σχολεία, Πυροσβεστικοί Σταθμοί, Κτίρια Τηλεπικοινωνιών, Λοιποί Χώροι Συγκέντρωσης Πλήθους (κινηματογράφοι, πνευματικά κέντρα, μεγάλα ξενοδοχεία, χώροι αναψυχής, κλπ)
- Ειδικότερες ρυθμίσεις για τα μνημεία
 - Επιπλέον, το κράτος "δίνει το καλό παράδειγμα" προς τους ιδιώτες

Ιδιωτικά Κτίρια

- **Δημοσιονομικά κίνητρα** για λήψη μέτρων προσεισμικών ενισχύσεων στις ιδιωτικές κατοικίες
 - ✓ Πρόγραμμα χρηματοδότησης
 - Θεσμοθέτηση μέτρων προαιρετικής εφαρμογής περιλαμβάνοντας φοροαπαλλαγές, δανειοδότηση, επιδοτήσεις,...
 - ✓ Ρυθμίσεις νομικών θεμάτων υλοποίησης προγράμματος
 - Συνιδιοκτησίες,
 - Ευθύνες χρηστών και ιδιοκτητών, παλαιών και νέων μελετητών και κατασκευαστών
- Απαιτήσεις συντήρησης και περιοδικός έλεγχος

58

Τεχνικά και Έργα

Ενιαίοι πανελλαδικοί έλεγχοι στατικής επάρκειας υφισταμένων τεχνικών έργων (φράγματα, γέφυρες, λιμάνια)

Γενικές Ρυθμίσεις

- Διασύνδεση δικτύων πληροφοριακών συστημάτων εκτίμησης σεισμικού κινδύνου αρμόδιων φορέων
- Σύνταξη τράπεζας γεωτεχνικών και άλλων τεχνικών δεδομένων για όλη τη χώρα
- Διαχείριση του προγράμματος από ένα φορέα

59



ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ & ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
REPAIR & STRENGTHENING OF STRUCTURES - UNIVERSITY OF PATRAS

www.episkeves.civil.upatras.gr

60

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!**