
 Διαδικτυακά Σεμινάρια με θέμα:
**Αποτίμηση Επάρκειας και Ενισχύσεις Κατασκευών
 υπό Σεισμικές Δράσεις**


 Τμ. Διπ. Ελλάδας

➤ Στέφανος Η. Δρίτσος, Ομότ. Καθηγητής
 Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

**ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ:
 Διερεύνηση, Αποτίμηση Επάρκειας
 και Πρακτικά Θέματα Εφαρμογής**

Μάιος, 2021 1

Στάδια Αποτίμησης και Ανασχεδιασμού

1^ο Στάδιο:
 Συλλογή Δεδομένων
 Διερεύνηση και τεκμηρίωση υφιστάμενης κατάστασης- Αξιοπιστία Δεδομένων

2^ο Στάδιο:
 Αποτίμηση επάρκειας κατασκευής

3^ο Στάδιο:
 α) Έλεγχος εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης μιας ή περισσότερων λύσεων
 β) Σχεδιασμός επέμβασης. Μελέτη (Ανασχεδιασμού Επισκευής/Ενίσχυσης) με
 κοστολόγηση

4^ο Στάδιο:
 Κατασκευή του Έργου



2

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

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- ✓ Αντοχές
- ✓ Γεωμετρία και 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;

3

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 από ομοειδή δομικά στοιχεία ανά δύο ορόφους, οπωσδήποτε στον “κρίσιμο” όροφο.
- Επιπλέον μέθοδοι (υπερηχοσκόπηση 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./15% ορ. στοιχ.
 - Ανεκτή ΣΑΔ/όροφο: 15% κατ.στοιχ./7,5% ορ. στοιχ.

Χάλυβας

Επιτρέπεται μακροσκοπική αναγνώριση και κατάταξη, οπότε η ΣΑΔ θεωρείται ικανοποιητική

4

Ερήμην Αντιπροσωπευτικές Τιμές Αντοχής Υλικών

Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος (MPa), ΣΑΑ=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 γάλβα 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 τοιχοπληρώσεων (MPa) (υπό προϋποθέσεις)

Αντοχή	Τοιχοπλήρωση	Ποιότητα Λόμησης και Σφήνωσης		
		Καλή	Μέση	Κακή
Λοξή Θλίψη $f_{wc,s}$	Μπατικός	2.00	1.50	1.00
	Δρομικός	1.50	1.00	0.75
Διαγώνια Ρηγμάτωση f_{wr}	Μπατικός	0.25	0.20	0.15
	Δρομικός	0.20	0.15	0.10

5

Βάση Δεδομένων (υπό συνεχή εμπλουτισμό)

✓ 573 Εγγραφές
✓ 140 Κτίρια

Διαφαινόμενη τροποποίηση

Ερήμην Αντιπροσωπευτικές Τιμές Αντοχής Υλικών

Αντιπροσωπευτικές τιμές θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος (MPa), ΣΑΑ=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 γάλβα 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

6

Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων Γεωμετρία - Λεπτομέρειες

■ Προέλευση Δεδομένου:

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

7

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΣΤΑΘΜΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΤΥΠΟΣ	ΣΧΕΔΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ		ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΟΥ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ	ΔΕΔΟΜΕΝΑ									
					ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΦΟΡΕΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ Η ΑΝΩΔΟΜΗΣ			ΠΑΧΗ, ΒΑΡΗ κ.λ.π. ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ, ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ, ΕΠΙΒΛΥΤΣΕΩΝ κ.λ.π.			ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ			
					Ανεκτή	Διαμετρική	Υψηλή	Ανεκτή	Διαμετρική	Υψηλή	Ανεκτή	Διαμετρική	Υψηλή	
✓			1	Δεδομένο που προέρχεται από σχέδιο της αρχικής μελέτης η οποία έχει αποδεδειγμένα εφαρμοστεί, χωρίς τροποποιήσεις	(1)			✓			✓			
✓			2	Δεδομένο που προέρχεται από σχέδιο της αρχικής μελέτης η οποία έχει εφαρμοστεί με λίγες τροποποιήσεις	(2)			✓			✓			
✓			3	Δεδομένο που προέρχεται από αναφορά (π.χ. υπόμνημα σε σχέδιο της αρχικής μελέτης)	(3)	✓			✓			✓		
	✓		4	Δεδομένο που έχει διαπιστωθεί ή/και μετρηθεί ή/και αποτυπωθεί αξιόπιστα	(4)			✓			✓			✓
	✓		5	Δεδομένο που έχει προσδιοριστεί με έμμεσο τρόπο	(5)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	
	✓		6	Δεδομένο που έχει ευλόγως θεωρηθεί κατά την κρίση Μηχανικού	(6)	✓	✓		✓	✓		✓	✓	

8

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 κτίρια.

➔ **Ανάγκη προχωρημένων μεθόδων ανάλυσης**

9

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)

10

Προϋποθέσεις Ελαστικής Ανάλυσης (§ 5.5.2. και 5.6.1)

$\lambda \leq 2,5$ σε όλα τα μέλη

ή αν $\lambda > 2,5$ έστω και για ένα μέλος αλλά το κτίριο μορφολογικά κανονικό

Δηλ. $\overline{\lambda}_k < 1,5 \overline{\lambda}_{k+1}$ και $1,5 \overline{\lambda}_{k-1}$

$$\lambda = S_E / R_m \quad S_E = P \phi \eta$$

$$\overline{\lambda}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i V_{Si}}{\sum_{i=1}^n V_{Si}}$$

Για αποτίμηση μόνο, μπορεί και χωρίς προϋποθέσεις να εφαρμοστεί ελαστική ανάλυση αλλά τότε:

$$\gamma'_{sd} = \gamma_{sd} + 0,15$$

11

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

12

Τιμές του Δείκτη Συμπεριφοράς q

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

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί μελέτης (και κατασκευής)	Ευμενής παρουσία ή απουσία τοιχοπληρώσεων (1)		Δυσμενής (γενικός) παρουσία	
	Ουσιώδεις βλάβες σε προτεύοντα στοιχεία		Ουσιώδεις βλάβες σε προτεύοντα στοιχεία	
	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι
1995<...	3,0	2,3	2,3	1,7
1985<...<1995(2)	2,3	1,7	1,7	1,3
...<1985	1,7	1,3	1,3	1,1

(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

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)

14

Ευμενής – Δυσμενής Παρουσία Τοιχοπληρώσεων

(§ 5.9.2)

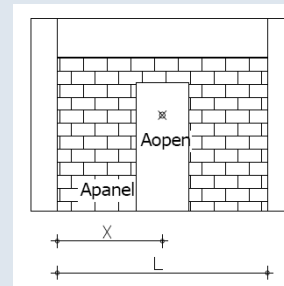
Δεν θεωρείται δυσμένεια όταν

$$\max \Delta V_{\kappa.στοιχείων} \leq 15\% \quad \text{και} \quad \Delta \delta_{op.} \leq 15\%$$

Επίσης όταν $V_{\text{τοιχ.}} \geq 1/2 V_{\text{ολ.}}$ σε κάθε διεύθυνση

15

Υποβασμός Αντοχής Τοιχοπλήρωσης Λόγω Ανοιγμάτων



ΕΚ8-3 (2019) § 11.3.4

$$V_{R,red} = V_R \cdot \rho_{op}$$

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

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

$$V_{R,red} = V_R \cdot R_1 \cdot R_2$$

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

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

16

Οριακές Παραμορφώσεις Μελών για στάθμες επιτελεστικότητας Α, Β και Γ

Βασικός Έλεγχος
 $\theta_s \leq \theta_{lim}$

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

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

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

17

ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΜΕΛΩΝ

Στάθμη Επιτελεστικότητας:

- Στάθμη Α: (Περιορισμένες Βλάβες) $\theta_d^A = \theta_y$
- Στάθμη Β (Σοβαρές Βλάβες):
 - Πρωτεύοντα: $\theta_d^B = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \frac{\theta_y + \theta_u}{2}$
 - Δευτερεύοντα ή Τοιχοπληρώσεις: $\theta_d^B = \frac{\theta_u}{\gamma_{Rd}}$
- Στάθμη Γ (Οιονεί Κατάρρευση)
 - $\theta_d^\Gamma = \frac{\theta_u}{\gamma_{Rd}}$
 - Όπου: $\gamma_{Rd} = 1,5$ για πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα
 - $\gamma_{Rd} = 1,3$ για τοιχοπληρώσεις
 - Όπου: $\gamma_{Rd} = 1,5$ για πρωτεύοντα
 - $\gamma_{Rd} = 1,0$ για δευτερεύοντα ή τοιχοπληρώσεις
 - Δεν απαιτείται έλεγχος οριζοντίων δευτερευόντων

18

Ικανότητες Μελών

Ικανότητα στροφής χορδής κατά τη διαρροή:

1^{ος} όρος 2^{ος} 3^{ος}

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

Οριακή ικανότητα στροφής χορδής:

$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^V) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} (\alpha_s)^{0,35} 25 \left(\frac{\alpha_{\rho_s} f_{yw}}{f_c} \right)_{(1,25^{100} \rho_d)} \quad (\Sigma.8\alpha)$

Πλαστικό τμήμα ικανότητας στροφής χορδής:

$\theta_{um}^{pl} = \theta_u - \theta_y = 0,0145 (0,25^V) \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,3} (f_c)^{0,2} (\alpha_s)^{0,35} 25 \left(\frac{\alpha_{\rho_s} f_{yw}}{f_c} \right)_{(1,275^{100} \rho_d)} \quad (\Sigma.8\beta)$

19

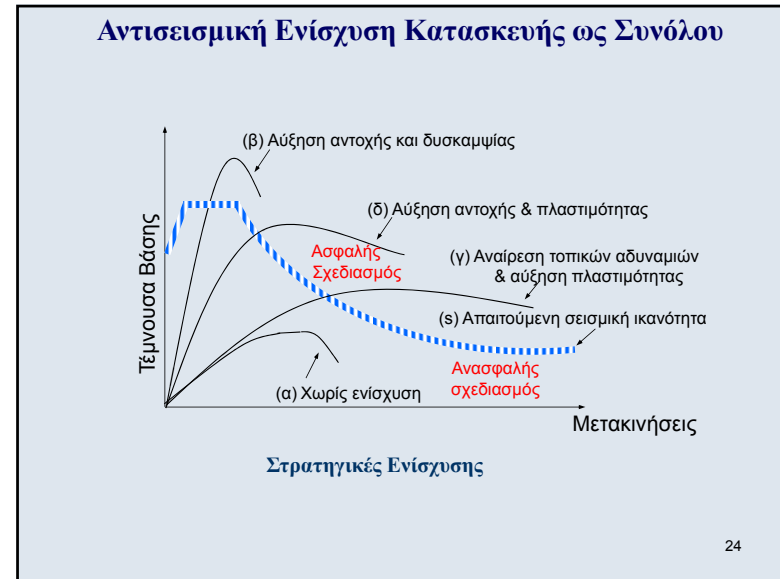
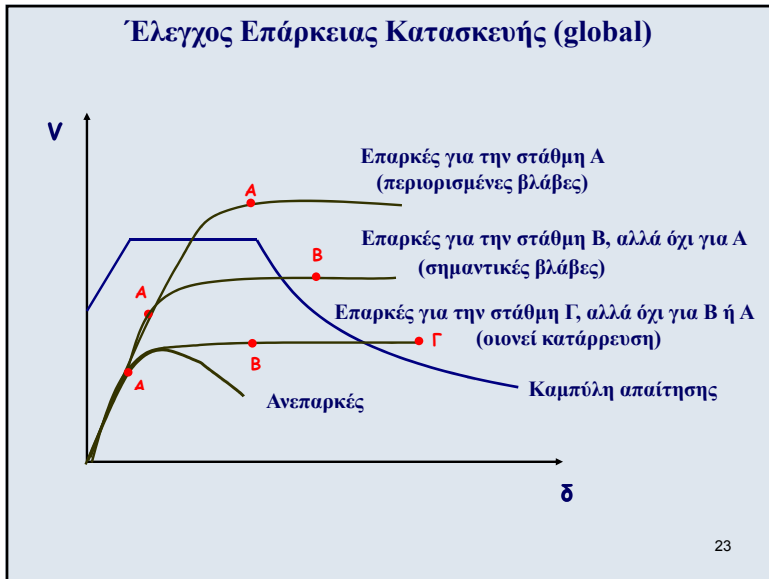
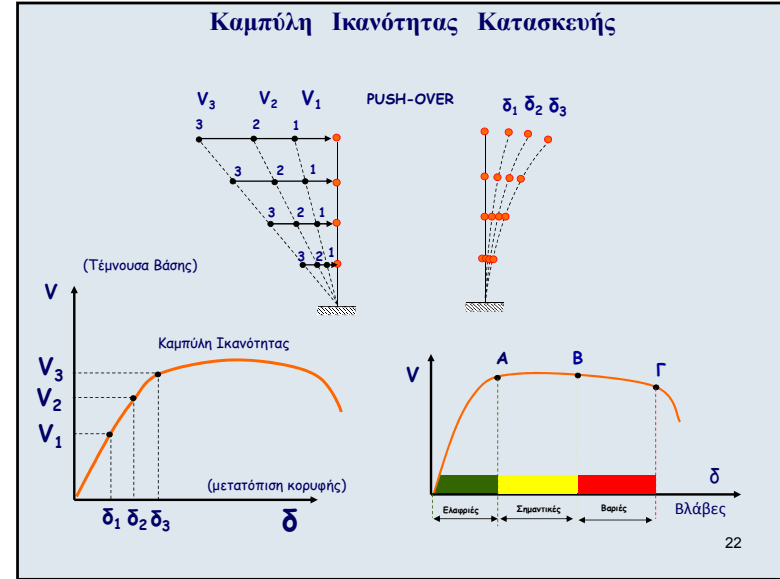
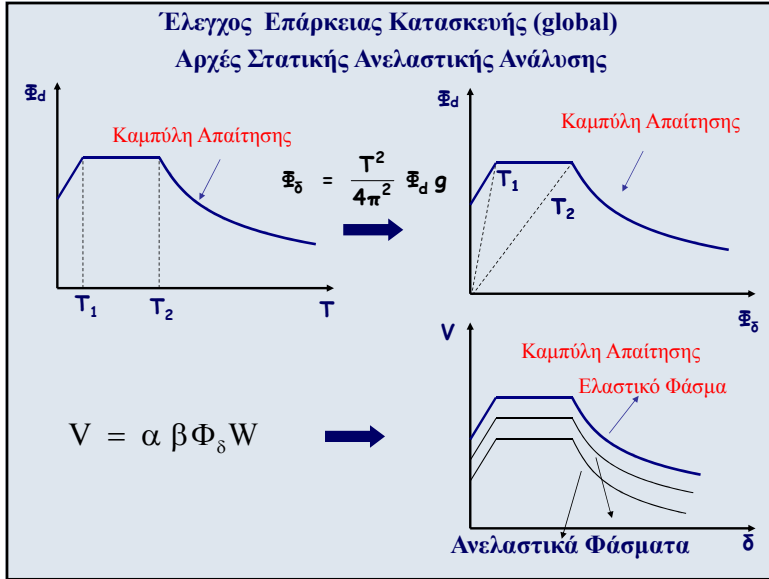
Ανεπαρκή Υπερκάλυψη Ράβδων Οπλισμού

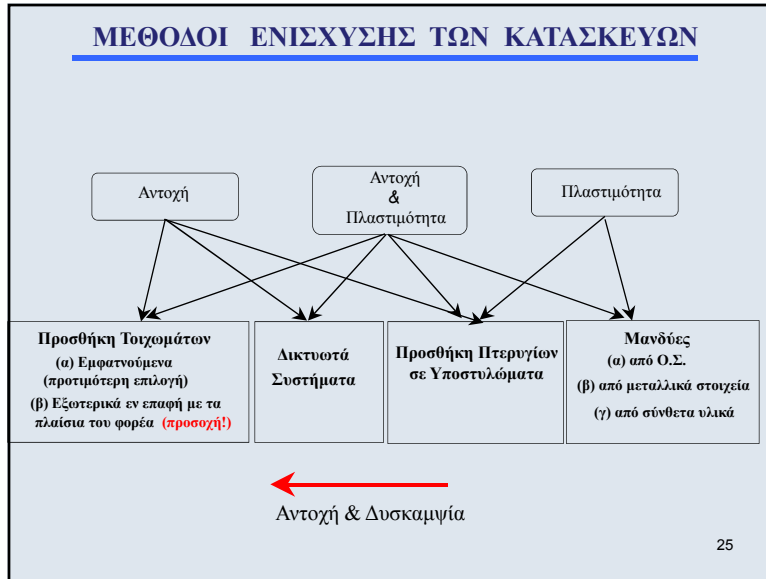
- Σε μάτιση θλιβομένων ράβδων μετρούν και οι δύο στο θλιβόμενο οπλισμό (παρουσία εγκιβωτισμού ή περισφιγξης)
- $l_{by,min} = (0.3f_y/\sqrt{f_c})\Phi$
- π.χ. Για Φ20, $f_{cm}=17,5\text{MPa}$ $f_{ym}=440\text{MPa} \rightarrow l_{by,min}=30\Phi$
- αν $l_b < (1/2)l_{by,min} \rightarrow$ δεν υπάρχει μάτιση
- Για τη στροφή χορδής στην αστοχία:

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

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

20







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

www.episkeves.civil.upatras.gr

26