



ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η Μετάβαση από τον ΕΑΚ στον ΕΚ8

Τηλέμαχος Παναγιωτάκος

Δρ Πολιτικός Μηχανικός

«Σχεδιασμός Κτηρίων Σκυροδέματος με βάση τους Ευρωκώδικες 2 & 8»
3 Μαρτίου 2012, Ιτέα, ΤΕΕ /Τμ. Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας - Τ.Τ. ΣΠΜΕ ν. Φωκίδας

EN1998: Τα μέρη του

EN1998-1: Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις, Κανόνες για Κτίρια

EN1998-2: Γέφυρες

EN1998-3: Αποτίμηση και Ενίσχυση Κτιρίων

EN1998-4: Σιλό, Δεξαμενές, Αγωγοί

EN1998-5: Θεμελιώσεις, Αντιστηρίξεις, Γεωτεχνικά Θέματα

EN1998-6: Πύργοι, Ιστοί, Καπνοδόχοι

EN1998-1: Διάρθρωση

Κεφ.1 : Γενικά

Κεφ.2 : Απαιτήσεις Επιτελεστικότητας & Κριτήρια Συμμόρφωσης

Κεφ.3 : Εδαφικές Συνθήκες & Σεισμικές Δράσεις

Κεφ.4 : Σχεδιασμός Κτιρίων

Κεφ.5 : Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Σκυροδέματος

Κεφ.6 : Ειδικοί Κανόνες για Σιδηρά Κτίρια

Κεφ.7 : Ειδικοί Κανόνες για Σύμμικτα Κτίρια (Χάλυβα-Σκυρόδεμα)

Κεφ.8 : Ειδικοί Κανόνες για Ξύλινα Κτίρια

Κεφ.9 : Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια από Τοιχοποιία

Κεφ.10: Σεισμική Μόνωση

Παρ. Α: Ελαστικό Φάσμα Μετακινήσεων

Παρ. Β: Υπολογισμός Μετακίνησης Στόχου για την μη-γραμμική στατική ανάλυση

Παρ. Γ: Σχεδιασμός Πλακών Σύμμικτων Κατασκευών

EN1998-1: Σεισμική Κατάσταση Σχεδιασμού

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

Μόνιμες Δράσεις
(χαρακτηριστικές ή ονομαστικές τιμές)

Προένταση

Μεταβλητές Δράσεις
(οιονεί-μόνιμες τιμές)

Σεισμική Δράση
Σχεδιασμού

Συντελεστής Σπουδαιότητας
Φορέα

	Κτίριο	
I	Μικρή	0.8
II	Συνήθης	1.0
III	Μεγάλη	1.2
IV	Ζωτική	1.4

$$A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$$

Σεισμική Δράση Αναφοράς

Πιθανότητα αναφοράς, p , για υπέρβαση στη διάρκεια ζωής σχεδιασμού t_L του φορέα (ή Περίοδος Επανάληψης αναφοράς, T_R)

$$T_R = \frac{-t_L}{\ln(1-p)} \quad \gamma_I \approx \left(\frac{T_R}{T_L} \right)^{1/3}$$

EN1998-1: Απαιτήσεις Επιτελεστικότητας

Για κάθε Επίπεδο Επιτελεστικότητας προσδιορισμός
αντίστοιχης Σεισμικής Δράσης

Προστασία Ζωής: Για φορείς συνήθους σημασίας:

- Σεισμική Δράση με μέση περίοδο επανάληψης $T_R = 475\text{chr.}$

Περιορισμός Βλαβών: Για φορείς συνήθους σημασίας:

- Σεισμική Δράση με μέση περίοδο επανάληψης $T_R = 95\text{chr.}$
(Εδαφική Επιτάχυνση ~50% της δράσης των 475chr.)

Αποφυγή Κατάρρευσης:

- Για εξαιρετικά σπάνια σεισμική δράση ($T_R \gg$ Σεισμού σχεδιασμού 475chr.).

EN1998-1: Κριτήρια Συμμόρφωσης

Για κάθε Επίπεδο Επιτελεστικότητας προσδιορισμός
αντίστοιχου Κριτηρίου Συμμόρφωσης

Προστασία Ζωής:

- Σχεδιασμός για αντοχή, σε πλάστιμες μορφές αστοχίας (M+N).
- Κατασκευαστική Διαμόρφωση/Οπλιση για τοπική πλαστιμότητα.

Περιορισμός Βλαβών:

- Περιορισμός σχετικής μετακίνησης ορόφων.

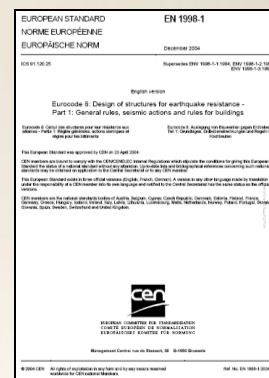
Αποφυγή Κατάρρευσης:

- Ικανοτικός Σχεδιασμός, σε μη πλάστιμες μορφές αστοχίας (V), με στόχο την πλαστιμότητα του φορέα ως συνόλου.

EN1998-1: Σύγκριση

Επίπεδα Επιτελεστικότητας & Κριτήρια Συμμόρφωσης

- Ίδια Επίπεδα Επιτελεστικότητας.
- Σαφέστερος Προσδιορισμός των Σεισμικών Δράσεων για κάθε Επίπεδο Επιτελεστικότητας στον EN1998-1.
- Αντίστοιχα Κριτήρια Συμμόρφωσης.



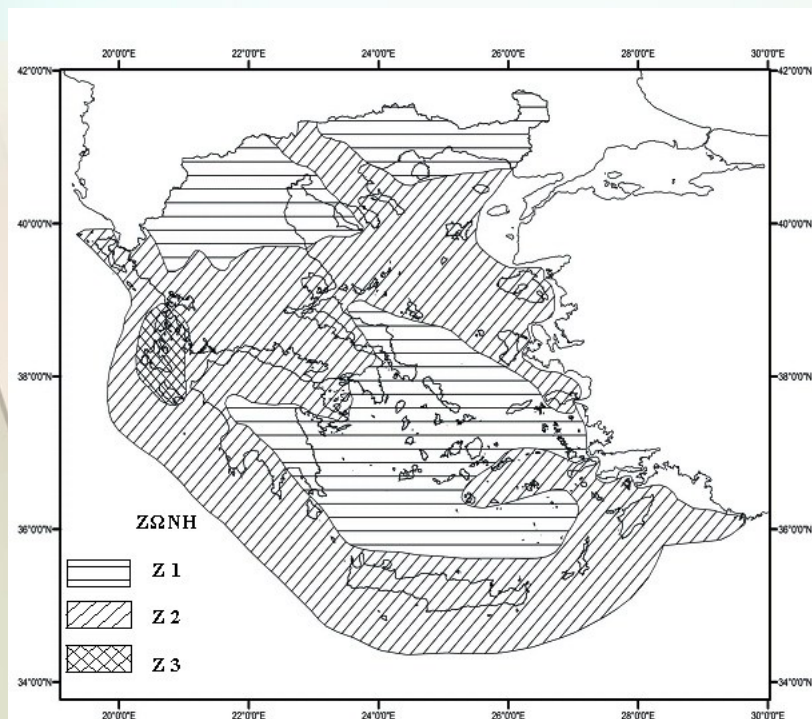
EN1998-1: Εδαφικές Συνθήκες

Πέντε (+2) Τυπικές Κατηγορίες Εδαφών με βάση την ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στα άνω 30m.

		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT}	c_u (kPa)
→	A Βράχος με έως 5m ασθενέστερο επιφανειακό υλικό	>800	—	—
→	B Πολύ πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή πολύ σκληρή άργιλος, δεκάδων m με αύξηση μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος	360-800	>50	>250
→	C Πυκνή άμμος ή αμμοχάλικο, ή σκληρή άργιλος, αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων m	180-360	15-50	70-250
→	D Χαλαρή έως μετρίως χαλαρή άμμος ή αμμοχάλικο ή μαλακή έως μετρίως σκληρή άργιλος	<180	<15	<70
→	E Επιφανειακό στρώμα C ή D πάχους 5 έως 20m & υπόστρωμα με $v_s > 800$ m/s			
→	S_1 ≥ 10 m μαλακή άργιλος/ίλύς με δείκτη πλαστικότητας $PI > 40$ & υψηλή περιεκτικότητα νερού	<100	—	10-20
→	S_2 Ευαίσθητη άργιλος, εδάφη ρευστοποιήσιμα ή εκτός A-E ή S_1			

EN1998-1: Σεισμική Δράση

- Η σεισμικότητα περιοχής χαρακτηρίζεται από τη Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση Αναφοράς στο Βράχο, a_{gR} ($T_R = 475$ χρ).
- Διατηρούνται οι ζώνες σεισμικότητας του ΕΑΚ2000 , με θεώρηση ότι δίνουν την Μέγιστη Επιτάχυνση αναφοροστο Βράχο, a_{gR} .



Τιμές της σεισμικής επιτάχυνσης
αναφοράς a_{gR} στο βράχο

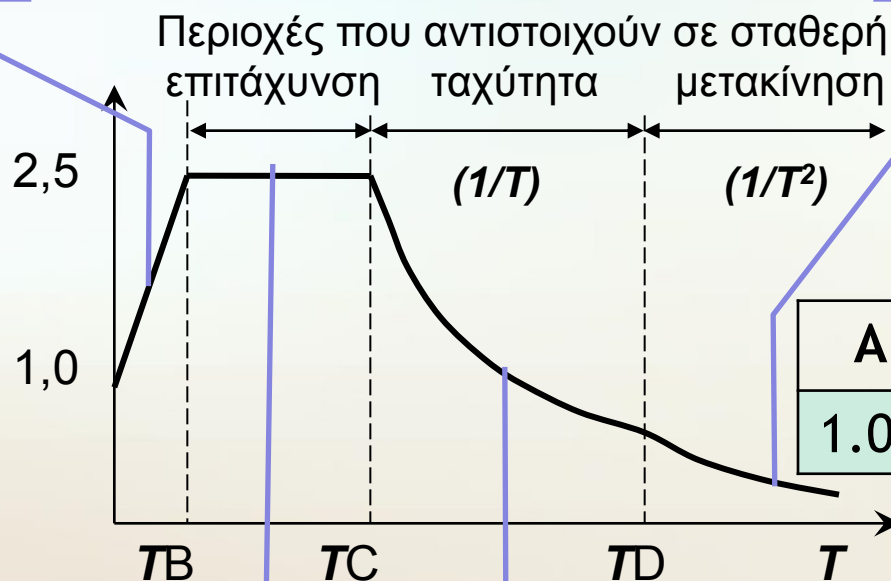
Ζώνη	a_{gR}
Z1	0,16g
Z2	0,24g
Z3	0,36g

EN1998-1: Σεισμική Δράση

Ελαστικό Φάσμα Απόκρισης $S_e(T)$

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$



A	B	C	D	E
1.00	1.20	1.15	1.35	1.40

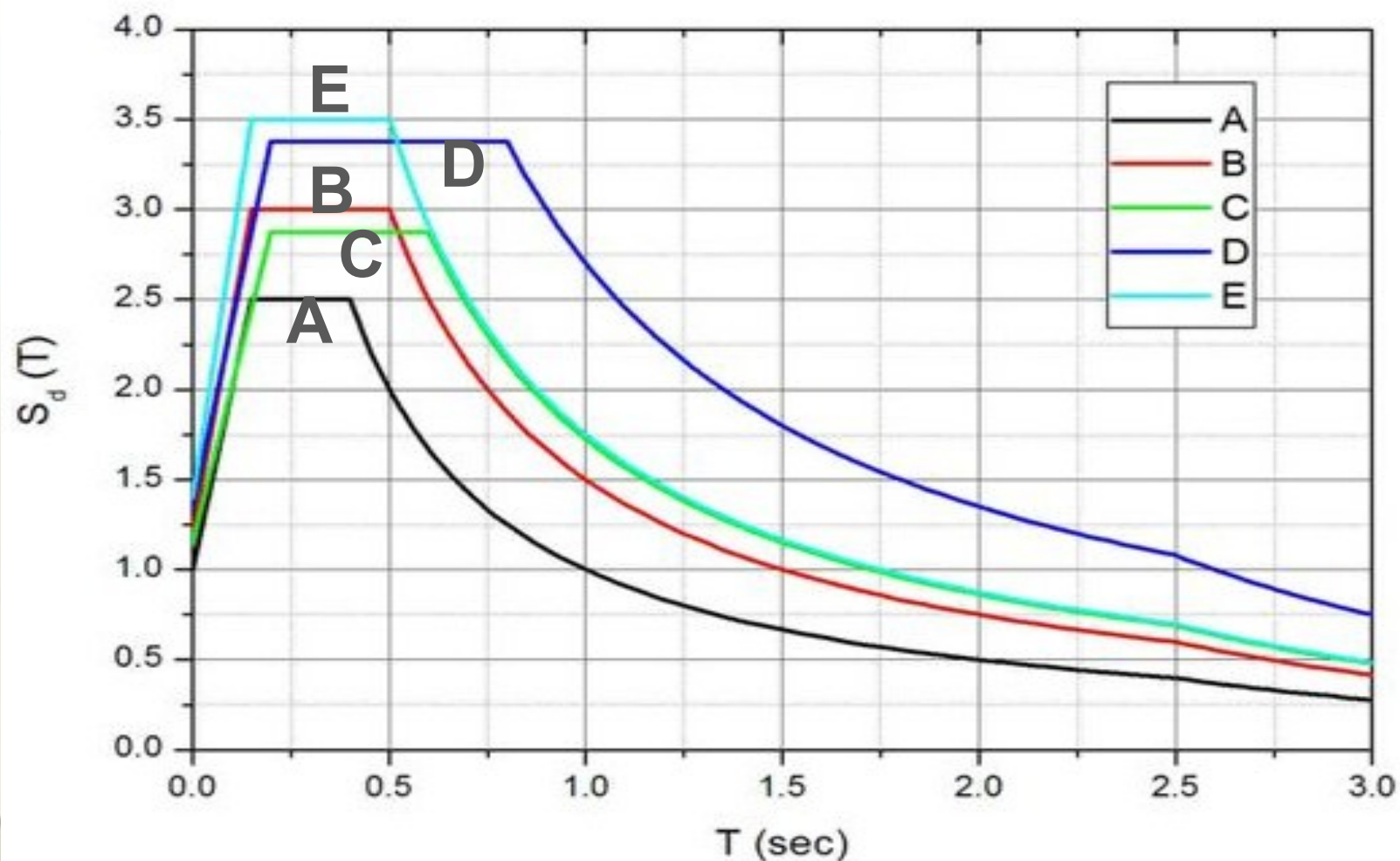
$S_e(T) / a_g S \eta$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

EN1998-1: Σεισμική Δράση

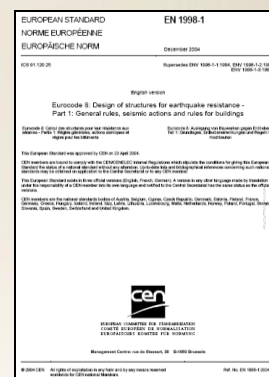
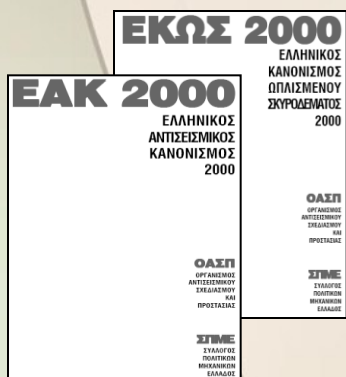
Ελαστικό Φάσμα Τύπου 1 που επιλέχθηκε στην Ελλάδα
(απόσβεση 5%, για μέγιστη επιτάχυνση στο βράχο $a_{gR} = 1\text{ g}$)



EN1998-1: Σύγκριση

Εδαφικές Συνθήκες & Σεισμικές Δράσεις

- Ίδιες ζώνες Σεισμικότητας, αλλά για επιτάχυνση στο βράχο a_{gR} .
- Επιτάχυνση στη βάση: $a_{gR}S$ με $S = 1.0, 1.2, 1.15, 1.35, 1.40$
- Σαφέστερη διάκριση εδαφών (Χαρακτηρισμός + V_S , N_{SPT} , c_u).
- Φθίνων κλάδος: ανάλογα με $1/T$ (για $T > T_C$), και $1/T^2$ (για $T > T_D$).



Δομή κεφαλαίου

- Στόχοι γενικής διαμόρφωσης φορέα
- Διάκριση Δομικών Στοιχείων.
- Μέθοδοι Ανάλυσης.
- Κριτήρια Κανονικότητας.
- Επιρροές 2ας τάξης.
- Συνδυασμός Συνιστωσών Δράσεων.
- Κατηγορίες Πλαστιμότητας.
- Κριτήρια Ελέγχου Μελών.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Στόχοι διαμόρφωσης φορέα

- Στατική απλότητα αλλά και υπερστατικότητα
- Ομοιομορφία (στο ύψος), συμμετρία (σε κάτοψη)
- Αντοχή και δυσκαμψία στις 2 κύριες διευθύνσεις αλλά και στρεπτική περί την κατακόρυφη
- Επαρκής διαφραγματική λειτουργία ορόφων
- Επαρκής θεμελίωση

Διάκριση δομικών στοιχείων

- «Πρωτεύοντα» ή «Κύρια»:
 - Κρίσιμα για την αντίσταση σε σεισμό.
- «Δευτερεύοντα»:
 - Συνεισφορά στις κατακόρυφες δράσεις
 - Συνεισφορά έναντι σεισμικών δράσεων ασήμαντη ή αναξιόπιστη
 - Δυσκαμψία & αντοχή τους αγνοείται στην ανάλυση για σεισμικές δράσεις
 - Συνολική δυσκαμψία $\leq 15\%$ συνολικής δυσκαμψίας πρωτευόντων στοιχείων.
 - Ελέγχονται για τις παραμορφώσεις που προκαλεί ο σεισμός σχεδιασμού.

Ενεργός δυσκαμψία Κτιρίων Οπλισμένου Σκυροδέματος

Στην ανάλυση πρέπει να χρησιμοποιείται η τέμνουσα δυσκαμψία των μελών στη διαρροή:

Επί το συντηρητικότερο για τον υπολογισμό των σεισμικών δυνάμεων, λαμβάνεται το 50% της δυσκαμψίας του αρηγμάτωτου μέλους, EI .

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Μέθοδοι Ανάλυσης

Γραμμική (δυναμική) φασματική (βασική μέθοδος)

Με φάσμα σχεδιασμού = ελαστικό φάσμα, με απόσβεση 5%, διαιρεμένο με συντελεστή συμπεριφοράς q .

Εφαρμόζεται πάντοτε, πλην κτιρίων με σεισμική μόνωση με έντονα μη-γραμμική συμπεριφορά μονωτήρων.

Γραμμική (ισοδύναμη) στατική

Αποτελεί προσέγγιση της φασματικής

Εφαρμόζεται σε κανονικά καθ' ύψος κτίρια, με μη-σημαντικές ανώτερες ιδιομορφές ($T < 4T_C$, $T < 2$ s). Επιτρέπεται:

- Υπολογισμός ιδιοπεριόδου T με μεθόδους μηχανικής (Rayleigh)
- Μείωση οριζόντιων δυνάμεων κατά 15%, αν > 2 όροφοι & $T < 2T_C$

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Μέθοδοι Ανάλυσης

Μη γραμμική στατική ανάλυση (Pushover)

Με σταδιακά αυξανόμενες οριζόντιες δυνάμεις.

Εφαρμόζεται για:

- Εκτίμηση λόγου a_u/a_1 που επηρεάζει τον q (σε υπερστατικούς φορείς)
- Αποτίμηση/ενίσχυση υφιστάμενων κτιρίων (EN 1998-3)
- Σχεδιασμό χωρίς συντελεστή συμπεριφοράς q , με απ' ευθείας έλεγχο παραμορφώσεων μελών.

Μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Γραμμικές αναλύσεις (φασματική και στατική)

- Βασική μέθοδος: Γραμμική φασματική ανάλυση με φάσμα σχεδιασμού = {Ελαστικό φάσμα}/q (συντ. συμπεριφοράς)
 - Ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη:
 - Όσες έχουν ιδιομορφική μάζα $\geq 5\%$ της ολικής σε μία από τις διευθύνσεις όπου λαμβάνεται ότι δρα ο σεισμός (X, Y ή και Z;
 - Αρκεί να έχουν συνολική ιδιομορφική μάζα $\geq 90\%$ της ολικής, σε κάθε μία από τις διευθύνσεις που θεωρείται ότι δρα ο σεισμός.
 - Συνδυασμός ιδιομορφικών μεγεθών:
 - Πλήρης τετραγωνικός συνδυασμός CQC ;
 - Ρίζα αθροίσματος τετραγώνων (SRSS), αν ο λόγος διαδοχικών περιόδων είναι: < 0.9 είτε $> 1/0.9$.
- Γραμμική στατική ανάλυση:
 - Ασκοούνται στις μάζες (ορόφων ή επικόμβιες) στατικές οριζόντιες δυνάμεις ανάλογες γινομένου μάζας επί απόσταση από τη βάση (τριγωνική κατανομή επιτάχυνσης)

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

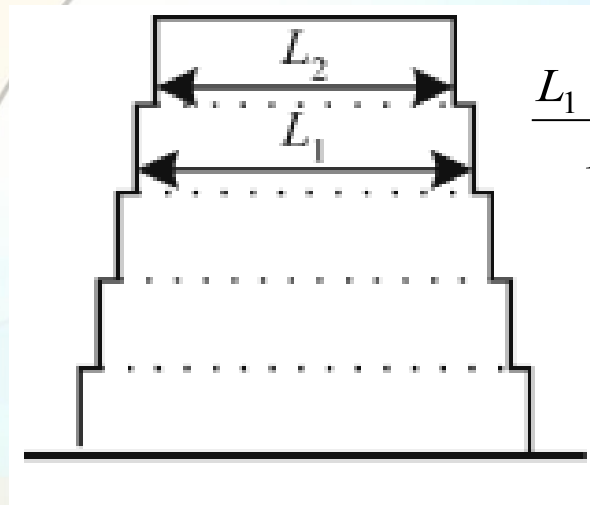
Κριτήρια Κανονικότητας καθύψος

Κριτήρια ποιοτικού χαρακτήρα, για δυνατότητα ελέγχου πριν την ανάλυση:

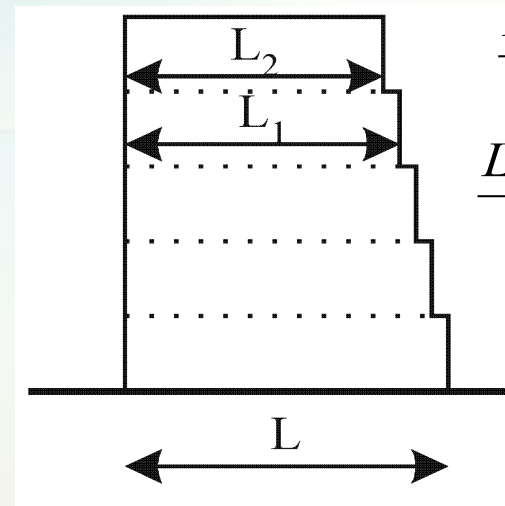
- Επιμέρους φορείς (τοιχώματα, πλαίσια, διαγώνιοι σύνδεσμοι): *συνεχείς ως την κορυφή (του αντίστοιχου τμήματος).*
- K & m οροφών: *σταθερές, ή βαθμιαία μειούμενες προς τα πάνω.*
- Επιμέρους εσοχές ορόφων: *<10% υποκείμενου ορόφου (ανά πλευρά).*
- Τυχόν ασύμμετρες εσοχές (διαφορετικές στις δύο πλευρές): *συνολικά <30% βάσης κτιρίου.*
- Εξοχή (μόνο) στο κάτω 15% του κτιρίου: *<50% βάσης κτιρίου.*
- Καθ' ύψος κατανομή υπεραντοχής ορόφων πλαισιακών φορέων (περιλαμβανομένων των τοιχοπληρώσεων): *ομαλή (σε σχέση με σεισμική τέμνουσα από ανάλυση).*

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Κανονικότητα γεωμετρίας καθύψος

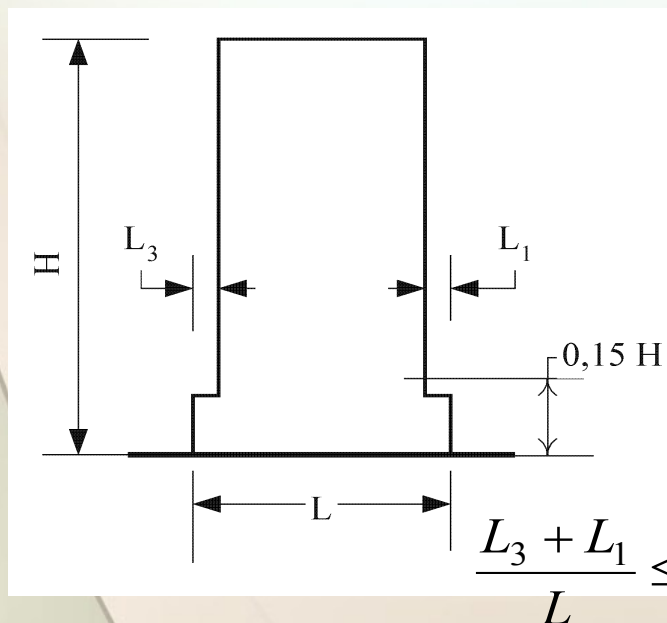


$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,20$$

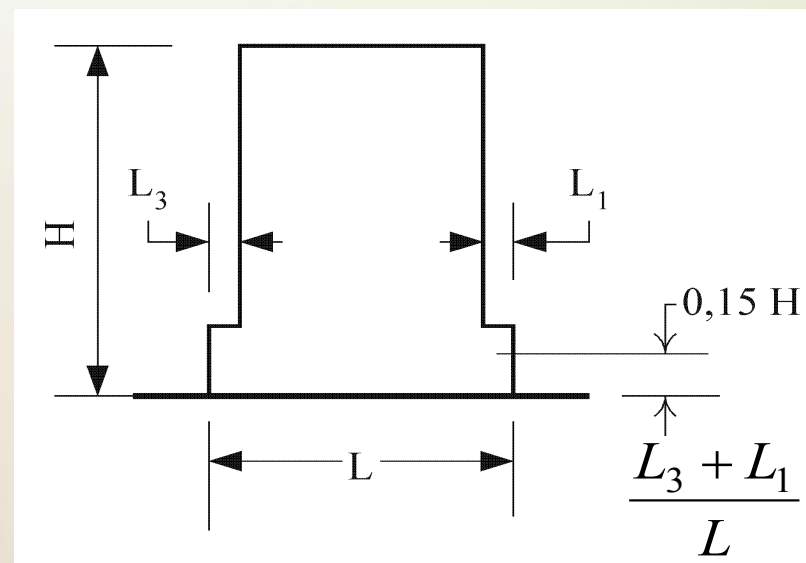


$$\frac{L - L_2}{L} \leq 0,30$$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,10$$



$$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,50$$



$$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,20$$

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Κριτήρια Κανονικότητας σε Κάτοψη

Απλά κριτήρια – δυνατότητα ελέγχου πριν την ανάλυση:

1. K & m ~ Συμμετρική κατανομή & προς τους δυο οριζοντ. Άξονες.
2. Διαφράγματα δυσπαραμόρφωτα στο επίπεδο τους.
3. Σχήμα κάτοψης: απλό
 - Λόγος διαστάσεων σε δυο οριζ. Διευθύνσεις ≤ 4.0 ;
 - Κάθε εσοχή ως προς πολυγωνική περιβάλλουσα $< 5\%$ επιφαν. Κάτοψης
4. Στις δυο (κύριες) οριζόντιες διευθύνσεις, ανά όροφο:
 - *eo (εκκεντρότητα Κ.Μ.- Κ.Ε.Σ.) $\leq 0.3r$ (ακτίνας δυστρεψίας φορέα) :*
 - Συντηρητικό όριο για ικανοποιητική στρεπτική απόκριση (απαιτήσεις πλαστιμότητας μελών ~ όπως σε κτίριο χωρίς εκκεντρότητα).
 - *r (ακτίνα δυστρεψίας φορέα) $\geq I_s$ (ακτίνα αδρανείας μάζας σε κάτοψη)*
 - Δυο βασικές μεταφορικές ιδιοπερίοδοι $>$ στρεπτικής.

$$r_x \geq I_s; \quad r_y \geq I_s \quad r_x = \sqrt{\frac{\sum (x^2 E I_y + y^2 E I_x)}{\sum (E I_y)}}; \quad r_y = \sqrt{\frac{\sum (x^2 E I_y + y^2 E I_x)}{\sum (E I_x)}}$$

Τυχηματική Εκκεντρότητα

Τυχηματική Εκκεντρότητα μαζών ορόφων κάθετα στην οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής δράσης που εξετάζεται:

- $e_i = \pm 0.05 L_i$ ($\pm 0.1 L_i$ αν υπάρχουν τοιχοπληρώσεις με μη-κανονική σε κάτοψη κατανομή) L_i : διάσταση κάτοψης κάθετα στην υπόψη οριζόντια σεισμική δράση και παράλληλα στην e_i

• Μπορεί να ληφθεί υπόψη με:

- Ελαστική στατική ανάλυση για στρεπτικές ροπές (περί κατακόρυφο άξονα) επί των μαζών (ορόφου ή επικομβίων) ίσες με τις οριζόντιες δυνάμεις της ελαστικής στατικής ανάλυσης επί $e_i = 0.05 L_i$ (με ίδιο πρόσημο σ' όλο το ύψος του κτιρίου)
- Το αποτέλεσμα της ανάλυσης επαλληλίζεται στο αντίστοιχο της ελαστικής ανάλυσης για την υπόψη οριζόντια σεισμική συνιστώσα (χωρίς τυχηματική εκκεντρότητα) από ελαστική φασματική ή στατική ανάλυση, με το πρόσημο του τελευταίου.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Επιρροές 2ας τάξεως (P-Δ) στην ανάλυση

Οι επιρροές 2ας τάξεως λαμβάνονται υπόψη ανά όροφο (δείκτης: i) μέσω του λόγου $\theta_{i\beta}$ συνάρτηση τις επιρροές της 1ης τάξεως $\Delta\delta_i$ της οριζόντιας σεισμικής συνιστώσας :

$$\theta_i = N_{\text{tot},i} \Delta\delta_i / V_i H_i < 0.2$$

- $N_{\text{tot},i}$ = συνολικό κατακόρυφο φορτίο από τον υπόψη όροφο και πάνω, στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού;
- $\Delta\delta_i$ = σχετική μετακίνηση κέντρου μάζας ορόφου i στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού, ίση με αυτήν που προκύπτει από την ελαστική ανάλυση για το φάσμα σχεδιασμού επί το συντελεστή συμπεριφοράς q ;
- V_i = τέμνουσα ορόφου i στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού;
- H_i = ύψος ορόφου i .

Αν $\theta_i \leq 0.1$ σ' όλους τους ορόφους (συνήθης περίπτωση χάρις στον περιορισμό της σχετικής μετακίνησης ορόφων υπό το σεισμό περιορισμού βλαβών): οι επιρροές 2ας τάξεως αγνοούνται.

Αν σε κάποιο όροφο $0.2 > \theta_i > 0.1$: οι επιρροές 2ας τάξεως λαμβάνονται υπόψη με διαίρεση όλων των επιρροών 1ης τάξεως από την ελαστική ανάλυση δια $(1 - \theta_i)$

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Συνδυασμός αποτελεσμάτων συνιστωσών σεισμικής δράσης

- Για γραμμική ανάλυση ή μη γραμμική στατική:
 - Ακριβής μέθοδος: Ρίζα αθροίσματος τετραγώνων (SRSS) αποτελεσμάτων E_X , E_Y , E_Z επιμέρους συνιστωσών X , Y , Z :

$$E = \pm \sqrt{E_X^2 + E_Y^2 + E_Z^2}$$
 - Βολεύει εξαιρετικά στην ελαστική φασματική ανάλυση (μία και μόνον ανάλυση για τις συνιστώσες X , Y , Z και συνδυασμός τους ταυτόχρονα με το συνδυασμό των ιδιομορφικών αποτελεσμάτων).
 - Προσεγγιστικά:

$$E = \pm \max \begin{pmatrix} E_X + 0.3 E_Y + 0.3 E_Z ; \\ E_Y + 0.3 E_X + 0.3 E_Z ; \\ E_Z + 0.3 E_X + 0.3 E_Y \end{pmatrix}.$$
 - Στην μη γραμμική στατική ανάλυση αγνοείται η κατακόρυφη συνιστώσα Z . Οι εσωτερικές δυνάμεις που προκύπτουν από το συνδυασμό δεν μπορούν να ξεπεράσουν την αντίστοιχη αντοχή
- Για μη γραμμική δυναμική ανάλυση:
 - Οι συνιστώσες X , Y , Z ασκούνται ταυτοχρόνως.

Περιορισμός σχετικής μετακίνησης ορόφων

- Σεισμική δράση για περιορισμό βλαβών:
Σε κτίρια συνήθους σημασίας: Πιθανότητα 10%/10 χρ. - Μέση περίοδος επανάληψης $T_R = 95$ chr. ► 50% σεισμικής δράσης σχεδιασμού ($T_R = 475$ chr.).
- Η σχετική μετακίνηση ορόφων υπολογίζεται με βάση τον κανόνα ίσων μετακινήσεων ελαστικού & ανελαστικού συστήματος (γραμμική ανάλυση) & δυσκαμψία το 50% της δυσκαμψίας αρηγμάτωσης διατομής.
- Σχετική μετακίνηση ορόφων περιορίζεται σε:
 - $< 0.5\%$, για ψαθυρά μη-φέροντα στοιχεία που συνδέονται με το φορέα,
 - $< 0.75\%$, για πλάστιμα μη-φέροντα στοιχεία που συνδέονται με το φορέα,
 - $< 1\%$, αν τα μη-φέροντα στοιχεία δεν επηρεάζονται από τη σεισμική απόκριση (π.χ. δεν συνδέονται με το φορέα) ή αν δεν υπάρχουν.
- Σε πλαίσιακούς φορείς, ο περιορισμός της σχετικής μετακίνησης ορόφων καθορίζει τις διαστάσεις των διατομών.

Κατηγορίες Πλαστιμότητας

Ανεξαρτήτως Υλικού δυο Κατηγορίες Πλαστιμότητας (ΚΠ)

- Υψηλή (ΚΠΥ): γενικώς $q > 4.00$
- Μέση (ΚΠΜ): $1.50 < q < 4.00$
 - ποσοτικά χαλαρότεροι κανόνες τοπικής πλαστιμότητας
 - ποσοτικά χαλαρότεροι κανόνες υλικών (ολκιμότητας χάλυβα)
- Χαμηλή (ΚΠΧ): $q = 1.50$
 - χωρίς ειδικές απαιτήσεις πλαστιμότητας

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Οι βασικές επιλογές για τον σχεδιασμό

Σχεδιασμός χωρίς απόδοση ενέργειας & πλαστιμότητα
(Κατηγορία Πλαστιμότητας Χαμηλή, ΚΠΧ)

- $q = 1.5$ Λόγω υπεραντοχής
- Σχεδιασμός κατά EC2 , EC3, EC4, EC5, EC6 και EC7

Εφαρμογή:

- Ανωδομή σεισμικά μονωμένων κτιρίων ανεξαρτήτως υλικού
- Στην θεμελίωση κτιρίων (ανεξάρτητα από σεισμικότητα)
- Σε μη σεισμ. μονωμένα κτίρια από σκυρόδεμα: Μόνο για χαμηλή σεισμικότητα (Επιτάχυνση σχεδιασμού στο βράχο $\leq 0.08g$) ► Δεν επιτρέπεται στην Ελλάδα.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Σχεδιασμός για απόδοση ενέργειας & πλαστιμότητα ($q > 1.5$)

Γενική πλαστιμότητα:

- Ομαλή κατανομή της παραμόρφωσης καθύψος πάνω από τη βάση, μέσω
 - τοιχωμάτων, διαγωνίων συνδέσμων
 - ή ισχυρών πλαισίων ($\Sigma M_{Rc} > 1.3 \Sigma M_{Rb}$):
- Κατανομή της απόδοσης ενέργειας σ' όλο το φορέα,
- Αποφυγή μαλακού ορόφου.

Τοπική πλαστιμότητα:

- Διαμόρφωση περιοχών όπου θα αποδοθεί η μηχανική ενέργεια ώστε να διαθέτουν την πλαστιμότητα που αντιστοιχεί στην τιμή του q που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό ,
- Αποφυγή ψαθυρών αστοχιών μέσω ικανοτικού σχεδιασμού (διάτμησης).

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Ικανοτικός σχεδιασμός θεμελίωσης & στοιχείων θεμελίωσης

- Με βάση την υπεραντοχή πλάστιμων στοιχείων της ανωδομής.

Εναλλακτικά:

- Διαστασιολόγηση & κατασκευαστική διαμόρφωση στοιχείων θεμελίωσης για πλαστιμότητα.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Κριτήρια Έλεγχου Μελών για Σεισμό Σχεδιασμού

Πλάστιμοι τρόποι αστοχίας:

Έλεγχοι σε όρους δυνάμεων (εντατικών μεγεθών).

$$E_{di} \leq R_{di}(\gamma_c, \gamma_s)$$

Επιμέρους συντελεστές ασφαλείας υλικών στον έλεγχο οριακής κατάστασης αστοχίας, όπως και στο σχεδιασμό για τις λοιπές δράσεις ($\gamma_c=1.5$, $\gamma_s=1.15$)

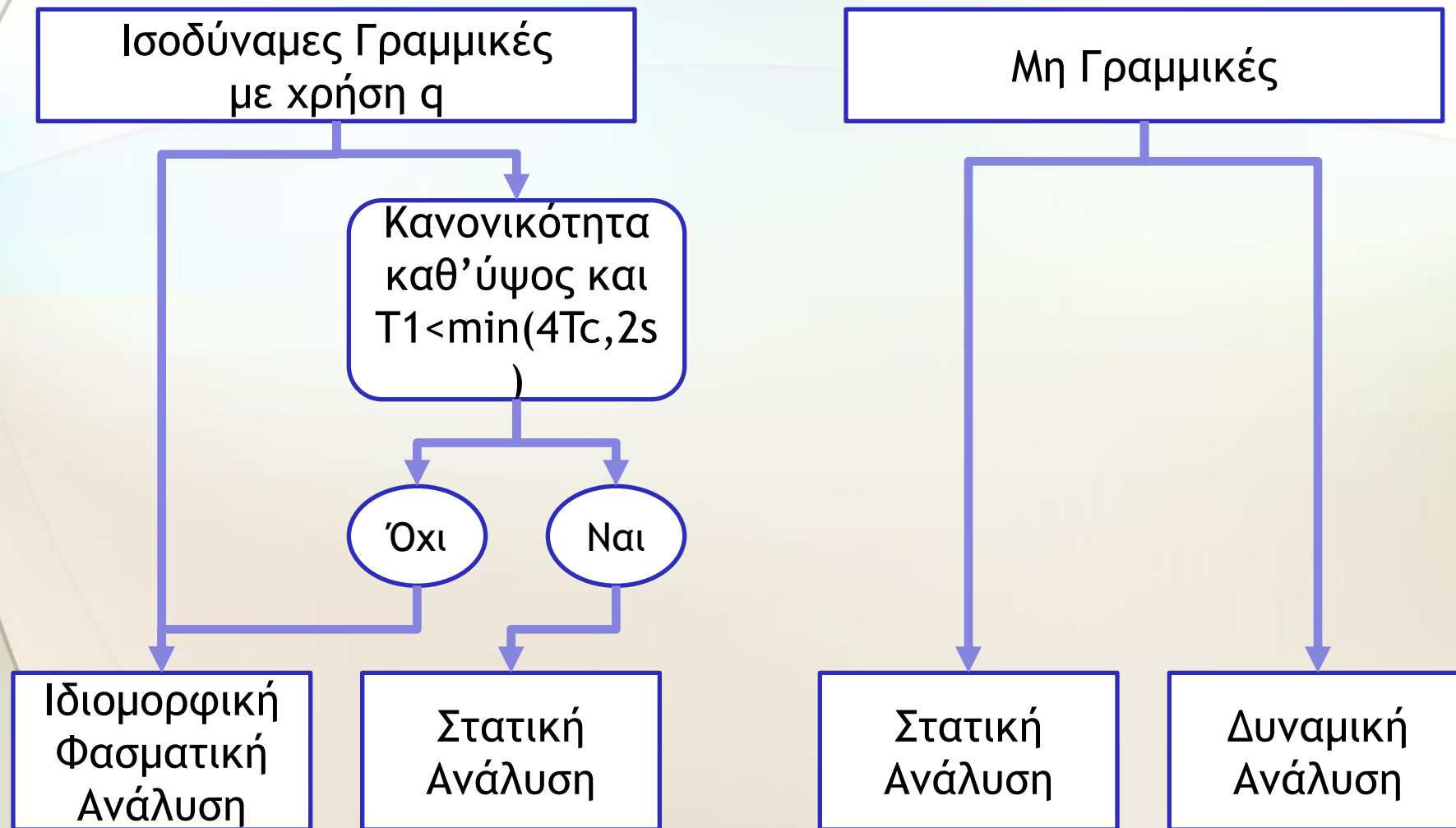
Όμως:

- Αν χρησιμοποιείται μη γραμμική ανάλυση, οι πλάστιμοι τρόποι αστοχίας ελέγχονται σε όρους παραμορφώσεων (με τα εργαλεία που δίνονται στο Μέρος 3 του Ευρωκώδικα 8, για τη σεισμική αποτίμηση υφισταμένων κτιρίων)

Μη πλάστιμοι τρόποι αστοχίας: Ικανοτικός σχεδιασμός

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Μέθοδοι Ανάλυσης Κατασκευών



EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

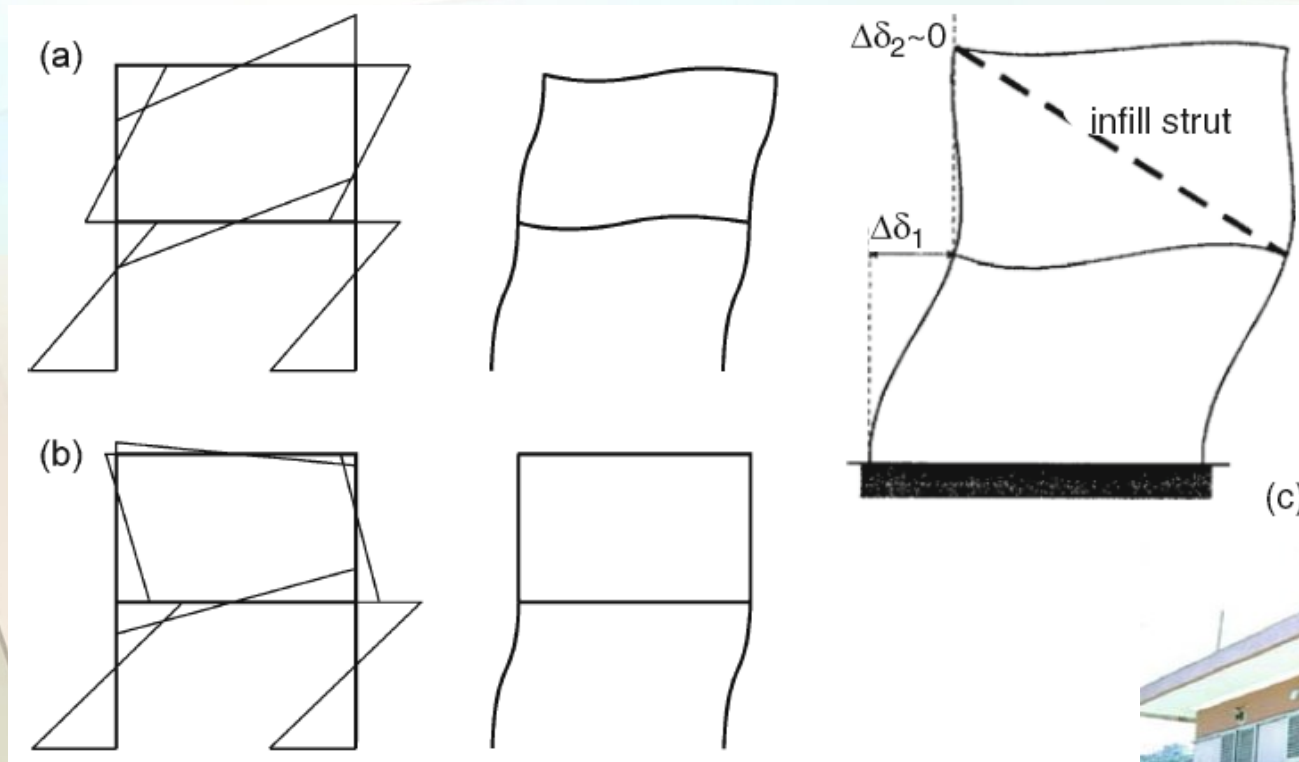
Θέση EN1998-1 για τοιχοπληρώσεις

- Ο EN1998 **δεν** επιτρέπει μείωση των σεισμικών δυνάμεων που αναλαμβάνει ο φορέας, για να ληφθεί υπόψη η ευεργετική επιρροή των τοιχοπληρώσεων.
- Αναφέρει τις **δυσμενείς επιρροές** των τοιχοπληρώσεων και απαιτεί μέτρα για την αντιμετώπισή τους.
- Αν υπάρχει ενεργός σύνδεση τοιχοπλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο:
 - ο φορέας δεν θεωρείται ότι είναι από σκυρόδεμα με τοιχοπληρώσεις, αλλά από “περισφιγμένη φέρουσα τοιχοποιία”.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Θέση EN1998-1 για τοιχοπληρώσεις

- Παράδειγμα επιρροής τοιχοπλήρωσης



Δυνητικές δυσμενείς επιρροές τοιχοπλήρωσεων

- Αν οι τοιχοπληρώσεις είναι πολύ πιο ισχυρές και δύσκαμπτες από το φορέα:
 - μπορεί να ακυρώσουν το σεισμικό σχεδιασμό και την προσπάθεια μελετητή και ΕΚ8 να διασπείρουν τις ανελαστικές παραμορφώσεις καθ' ύψος του φορέα (π.χ. αν αστοχήσουν οι τοιχοπληρώσεις ισογείου → μαλακός όροφος).
- Τοιχοπληρώσεις με μη κανονική κατανομή καθ' ύψος ή σε κάτοψη:
 - συγκέντρωση ανελαστικών παραμορφώσεων σε τμήμα του φορέα.
- Δυσμενείς τοπικές συνέπειες στο φορέα:
 - πρόωρη διατμητική αστοχία.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Δυνητικές δυσμενείς επιρροές τοιχοπληρώσεων (συνέχεια)

- Η καλύτερη προστασία φορέων σκυροδέματος από τις δυσμενείς επιρροές τοιχοπληρώσεων:
 - Ισχυρά και δύσκαμπτα τοιχώματα, που να επισκιάζουν τις τοιχοπληρώσεις.
- Σύμφωνα με EN1998-1:
 - Τοιχώματα που αναλαμβάνουν $\geq 50\%$ της σεισμικής τέμνουσας βάσης:
 - επαρκή για απαλλαγή από τις ειδικές διατάξεις του EN1998-1 έναντι των δυσμενών επιρροών των τοιχοπληρώσεων.

Διατάξεις EN1998 για μη-κανονική καθ' ύψος κατανομή τοιχοπληρώσεων

- Μη κανονική κατανομή καθ' ύψος:
 - Ελλιπώς τοιχοπληρωμένος όροφος
- Οι κολώνες του ελλιπώς τοιχοπληρωμένου ορόφου σχεδιάζονται να παραμείνουν ελαστικές, μέχρις ότου οι τοιχοπληρώσεις του υπερκείμενου ορόφου φθάσουν την αντοχή του στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση
 - Το έλλειμμα διατμητικής αντοχής των τοιχοπληρώσεων του ορόφου αντισταθμίζεται με αύξηση της αντοχής των κατακορύφων στοιχείων του φορέα στον όροφο

Διατάξεις EN1998 για μη-κανονική καθ' ύψος κατανομή τοιχοπληρώσεων

- Αν $< 50\%$ της σεισμικής τέμνουσας βάσης αναλαμβάνεται από τοιχώματα:

- οι σεισμικές εσωτερικές δυνάμεις (M και V) των κατακόρυφων στοιχείων από την ανάλυση για το σεισμό σχεδιασμού πολλαπλασιάζονται επί :

$$\eta = (1 + \Delta V_{Rw} / \Sigma V_{Ed}) \leq q$$

- ΔV_{Rw} : μείωση τέμνουσας αντοχής τοιχοπληρώσεων ορόφου ως προς τον υπερκείμενο,
- ΣV_{Ed} : σεισμική τέμνουσα ορόφου
 - (άθροισμα τεμνουσών κατακορύφων στοιχείων από την ανάλυση).
- Αν $\eta < 1.1$, δεν χρειάζεται πολλαπλασιασμός των M και V κατακόρυφων στοιχείων φορέα επί η .

Μη-κανονική σε κάτοψη κατανομή τοιχοπληρώσεων

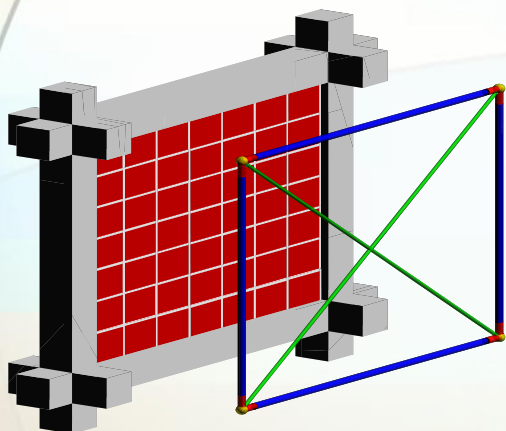
- Ασύμμετρες σε κάτοψη τοιχοπληρώσεις → στροφή κτιρίου λόγω οριζοντίων συνιστωσών σεισμικής δράσης:
 - Τα μέλη της πλευράς με τις λιγότερες τοιχοπληρώσεις υπόκεινται σε υψηλότερες παραμορφώσεις από τα απέναντι.
- Όμως, η συμβολή των τοιχοπληρώσεων στην οριζόντια αντοχή και δυσκαμψία αντισταθμίζει τη μονομερή συγκέντρωση των παραμορφώσεων σε μέρος της κάτοψης ορόφου.

Μη-κανονική σε κάτοψη κατανομή τοιχοπληρώσεων

- Διπλασιασμός της τυχηματικής εκκεντρότητας (από 5 σε 10%).
- Αν η κατανομή των τοιχοπληρώσεων είναι εξαιρετικά ασύμμετρη, δεν επαρκεί ο διπλασιασμός αυτός. Απαιτείται:
 - Ανάλυση κτιρίου στο χώρο, περιλαμβάνοντας τις τοιχοπληρώσεις στο προσομοίωμα,
 - παραμετρική ανάλυση για τη δυσκαμψία κ.λ.π. των τοιχοπληρώσεων (π.χ. αφαιρώντας μια τοιχοπλήρωση φατνώματος ανά 3 ή 4, κυρίως στην εύκαμπτη πλευρά της κάτοψης)
- Όμως Δεν περιλαμβάνονται κανόνες για προσομοίωση τοιχοπληρώσεων.

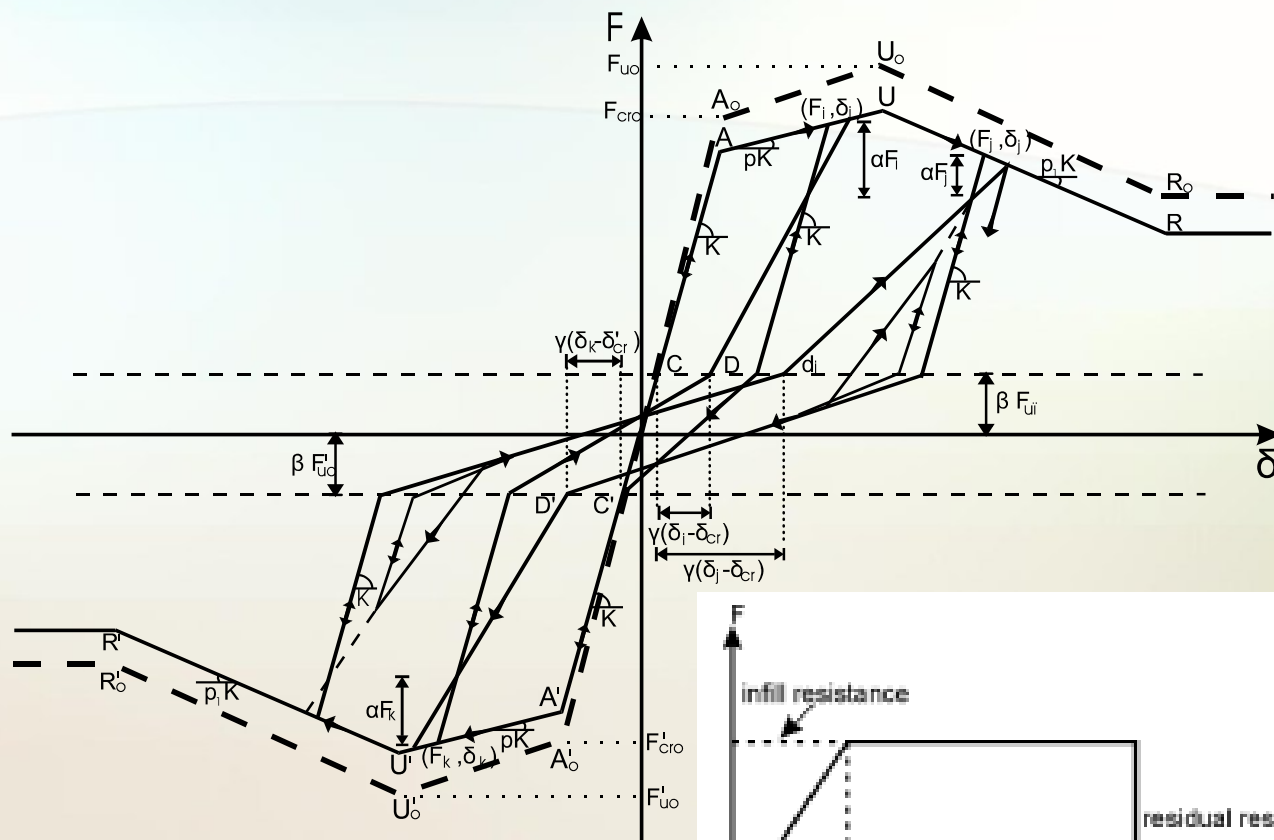
EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

- Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων:



$$W_{inf} = \frac{0.175L_{bn}}{\cos\theta(\lambda H)^{0.4}}$$

$$\lambda = \left(\frac{E_w b_w \sin 2\theta}{4E_c I_c H_n} \right)^{\frac{1}{4}}$$



Στοιχεία προσομοίωσης τοιχοπληρώσεων: §7.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

EN1998-1: Σχεδιασμός Κτιρίων

Μη-Φέροντα Στοιχεία (Προσαρτήματα)

- Υπολογίζονται έναντι σεισμού με **κατάλληλα φάσματα απόκρισης** εφόσον:
 - Θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπους
 - Επηρεάζουν φέροντα στοιχεία ή λειτουργία
- Περιορισμός Βλαβών** με έλεγχο μετακινήσεων ορόφων
 - 0.50%: ψαθυρά, 0.75%: πλάστιμα, 1.00%: χωρίς συμμετοχή
- Η **απλοποιημένη σεισμική δράση** στα μη-φέροντα στοιχεία είναι:

$$F_a = \frac{\alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot \left(1 + \frac{z}{H}\right)}{\left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2\right)} - 0.5 \right] \cdot W_a \cdot \gamma_a}{q_a}$$

$$\bullet \gamma_a: 1.0 - 1.5$$

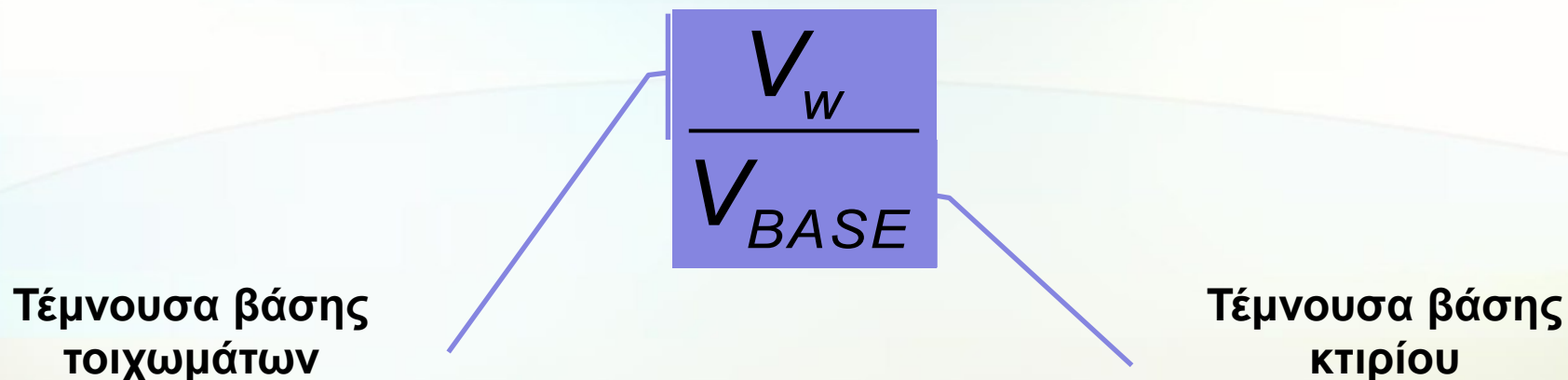
$$\bullet q_a: 1.0 - 2.0$$

ΔΟΜΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- 5.1 : Γενικά
- 5.2 : Αρχές Σχεδιασμού
- 5.3 : Σχεδιασμός για Κ.Π. Χ
- 5.4 : Σχεδιασμός για Κ.Π. Μ
- 5.5 : Σχεδιασμός για Κ.Π. Υ
- 5.6 : Μήκη Αγκύρωσης και Παράθεσης Ράβδων
- 5.7 : Σχεδιασμός Δευτερευόντων Στοιχείων
- 5.8 : Σχεδιασμός Θεμελίωσης
- 5.9 : Τοιχοπληρώσεις
- 5.10: Διαφράγματα
- 5.11: Προκατασκευή

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ: Ορισμός Βασικών Συστημάτων Φορέων



Συστήματα: Τοιχωματικό – Δυαδικό – Πλαισιακό	
100 %	Τοιχωματικό
65 %	Δυαδικό ισοδύναμο προς Τοιχωματικό
50 %	Δυαδικό ισοδύναμο προς Πλαισιακό
35 %	Πλαισιακό
0 %	

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ: Ορισμός Κατηγοριών Πλαστιμότητας

ΚΠ Χ: Κατηγορία Πλαστιμότητας Χαμηλή $q \leq 1.50 \rightarrow EC2$

ΚΠ Μ: Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση $q = 1.50 \sim 3.90 \rightarrow EC8$

ΚΠ Υ: Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή $q = 2.00 \sim 5.85 \rightarrow EC8$

Διαφορετικές απαιτήσεις σε:

- Συντελεστή συμπεριφοράς
- γεωμετρικούς περιορισμούς & υλικά
- εντατικά μεγέθη σχεδιασμού
- ελέγχους ΟΚΑ & κανόνες διαμόρφωσης λεπτομερειών

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για κτίρια Ο/Σ

Συντελεστής συμπεριφοράς κτιρίων σκυροδέματος

$$q = q_o \cdot k_w \geq 1.5$$

q_o = βασική τιμή

k_w = Μειωτικός συντελεστής < 1 , όταν η διάτμηση συμβάλει σημαντικά στην αστοχία σε συστήματα με τοιχώματα

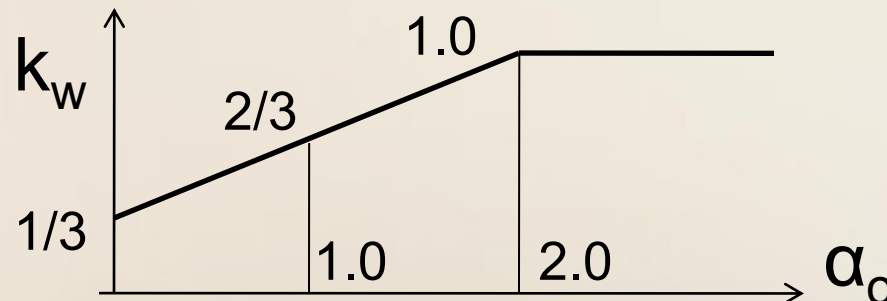
Πλαισιωτά και ισοδύναμα με πλαισιωτά δυαδικά συστήματα

$$k_w = 1,0$$

Τοιχωματικά και ισοδύναμα προς τοιχωματικά δυαδικά συστήματα

$$0,5 \leq k_w = (1 + \alpha_o) / 3 \leq 1$$

$\alpha_o = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$ (κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως των τοιχωμάτων)



Βασική τιμή, q_0 , για κανονικά κτίρια

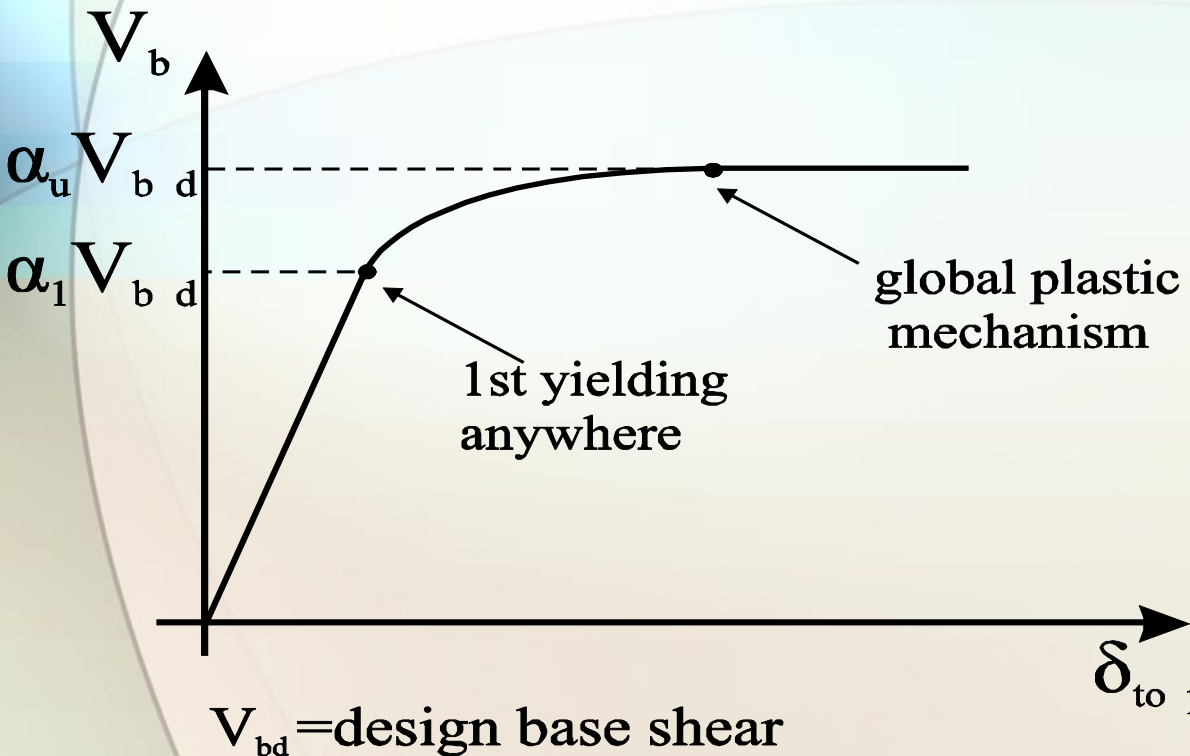
ΤΥΠΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1.5	2
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα r (ακτίνα δυστρεψίας φορέα) $< I_s$ (ακτ. αδρανείας μάζας σε κάτοψη)	2	3
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων ($>65\%$ τέμνουσας βάσης αναλαμβάνεται από τοιχώματα - $>50\%$ τέμνουσας τοιχωμάτων: ασύζευκτα τοιχώματα)	3	$4\alpha_u/\alpha_1$
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα, σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3\alpha_u/\alpha_1$	$4.5\alpha_u/\alpha_1$

$\alpha_u/\alpha_1 \leq 1.5$: Λόγος της σεισμικής τέμνουσας που μετατρέπει το κτίριο σε μηχανισμό, προς τέμνουσα στην 1^η καμπτική διαρροή στο φορέα (λόγος μετα-γραμμικής αύξησης αντοχής).

■ Μη-κανονικά καθ' ύψος κτίρια: q_0 Μειωμένο κατά 20%

Λόγος α_u/α_1 μετα-γραμμικής αύξησης αντοχής από μη γραμμική στατική ανάλυση του κτιρίου

Καμπύλη τέμνουσας βάσης (V_b) – μετάθεσης κορυφής (δ_w)



α_u : από μέγιστη τέμνουσα

α_1 : τέμνουσα στη 1η διαρροή

Οφείλεται στην διαδοχική διαρροή στοιχείων

V_{bd} : τέμνουσα βάσης σχεδιασμού

Αλλά πάντοτε
 $\alpha_u/\alpha_1 \leq 1.5$

Τιμή του λόγου a_u/a_1 για τον συντελεστή q χωρίς μη γραμμική ανάλυση Για κανονικά κτίρια

Σύστημα	Χαρακτηριστικά ανά διεύθυνση	a_u/a_1
Πλαισιωτό ή ισοδύναμο	Μονώροφο	1.1
Πλαισιωτό	Δίστυλα πλαίσια	1.2
Πλαισιωτό ή ισοδύναμο	Πολυώροφα & πολύστυλα	1.3
Τοιχωματικό ή ισοδύναμο	Μόνο 2 ασύζευκτα τοιχώματα	1.0
	Ασύζευκτα τοιχώματα	1.1
	Συζευγμένα τοιχώματα	1.3

Για μη κανονικά κτίρια: $(1+Τιμή) / 2$

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Συνθήκη τοπικής αντοχής ($E_d \leq R_d$)
 - Για όλες τις κρίσιμες περιοχές της κατασκευής
- Κανόνας Ικανοτικού Σχεδιασμού υποστυλωμάτων σε κάμψη
 - Σε κόμβους πλαισιακών ή ισοδύναμων προς πλαισιακά συστημάτων
 - Συνυπολογίζεται και ο παράλληλος οπλισμός της πλάκας μέσα σ' ένα (μικρό) συνεργαζόμενο πλάτος, εφόσον αγκυρώνεται κατάλληλα
- Συνθήκη τοπικής πλαστιμότητας
 - Ικανοποίηση συγκεκριμένου δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων
- Υπερστατικότητα + συνεχής κατανομή παραμόρφωσης
 - Ανακατανομή της έντασης και διάσπορά απόδοσης ενέργειας
- Δευτερεύοντα σεισμικά στοιχεία
 - Ειδικοί Κανόνες για το σχεδιασμό και τη διαμόρφωση
- Ειδικά πρόσθετα μέτρα μείωσης αβεβαιοτήτων:
 - Διαστάσεις στοιχείων, ποσοστά οπλισμού κλπ

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Συνθήκες Τοπικής Πλαστιμότητας

- Για επίτευξη της απαιτούμενης συνολικής πλαστιμότητας του κτιρίου πρέπει οι πιθανές περιοχές για σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων να διαθέτουν ικανότητα μεγάλης πλαστικής στροφής.
- Αυτό θεωρείται ότι επιτυγχάνεται εάν ισχύουν τα ακόλουθα:
 - διατίθεται επαρκής πλαστιμότητα καμπυλότητας, μ_ϕ , στις κρίσιμες περιοχές,
 - αποτρέπεται ο τοπικός λυγισμός θλιβόμενων οπλισμών στις πιθανές κρίσιμες περιοχές,
 - χρησιμοποιούνται κατάλληλες ποιότητες σκυροδέματος και χάλυβα.
- Δείκτης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων μ_ϕ συνάρτηση του q :

$$\begin{aligned}\mu_\phi &= 2q_o - 1 \\ \mu_\phi &= 1 + 2(q_o - 1)T_c/T_1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{για } T_1 &\geq T_c \\ \text{για } T_1 &< T_c\end{aligned}$$

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Σεισμικός σχεδιασμός θεμελίωσης - Εναλλακτικοί τρόποι

	Τμήμα	Μεγέθη Σχεδιασμού
1	Έδαφος + Σύστημα θεμελίωσης	$E_s (q/1.5), \quad q_{\theta\epsilon\mu} = 1.5$
2	Έδαφος + Σύστημα θεμελίωσης	$E_s \gamma_{Rd} (M_{Rdi}/M_{Edi}) \leq E_s q \quad \mu\epsilon \quad \gamma_{Rd}=1.2$ για κοινή θεμελίωση: $\gamma_{Rd} (M_{Rdi}/M_{Edi}) = 1.4.$
3	Έδαφος	Όπως στο 2
	Σύστημα θεμελίωσης	$E_s +$ διαμόρφωση τοπικής πλαστιμότητας

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Διατάξεις για Μελέτη κτιρίων ΚΠΜ και ΚΠΥ

Στοιχείο

- Δοκοί
- Υποστυλώματα
- Κόμβοι
- Πλάστιμα τοιχώματα
- Μεγάλα ελαφρά οπλισμένα τοιχώματα

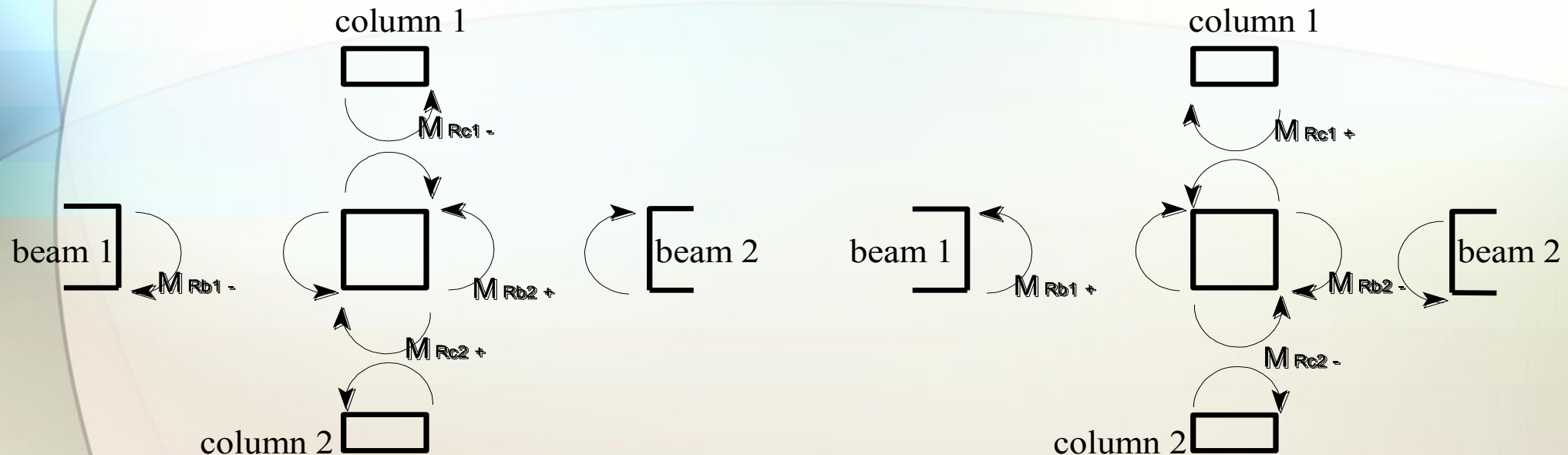
Απαίτηση

- Υλικά
- Γεωμετρικοί περιορισμοί
- Εντατικά Μεγέθη Σχεδιασμού
- Διαστασιολόγηση σε ΟΚΑ
- Λεπτομέρειες όπλισης

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Ικανοτικός σχεδιασμός υποστυλωμάτων σε κάμψη

$$\sum M_{Rc} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{Rb} , \gamma_{Rd} = 1.3$$

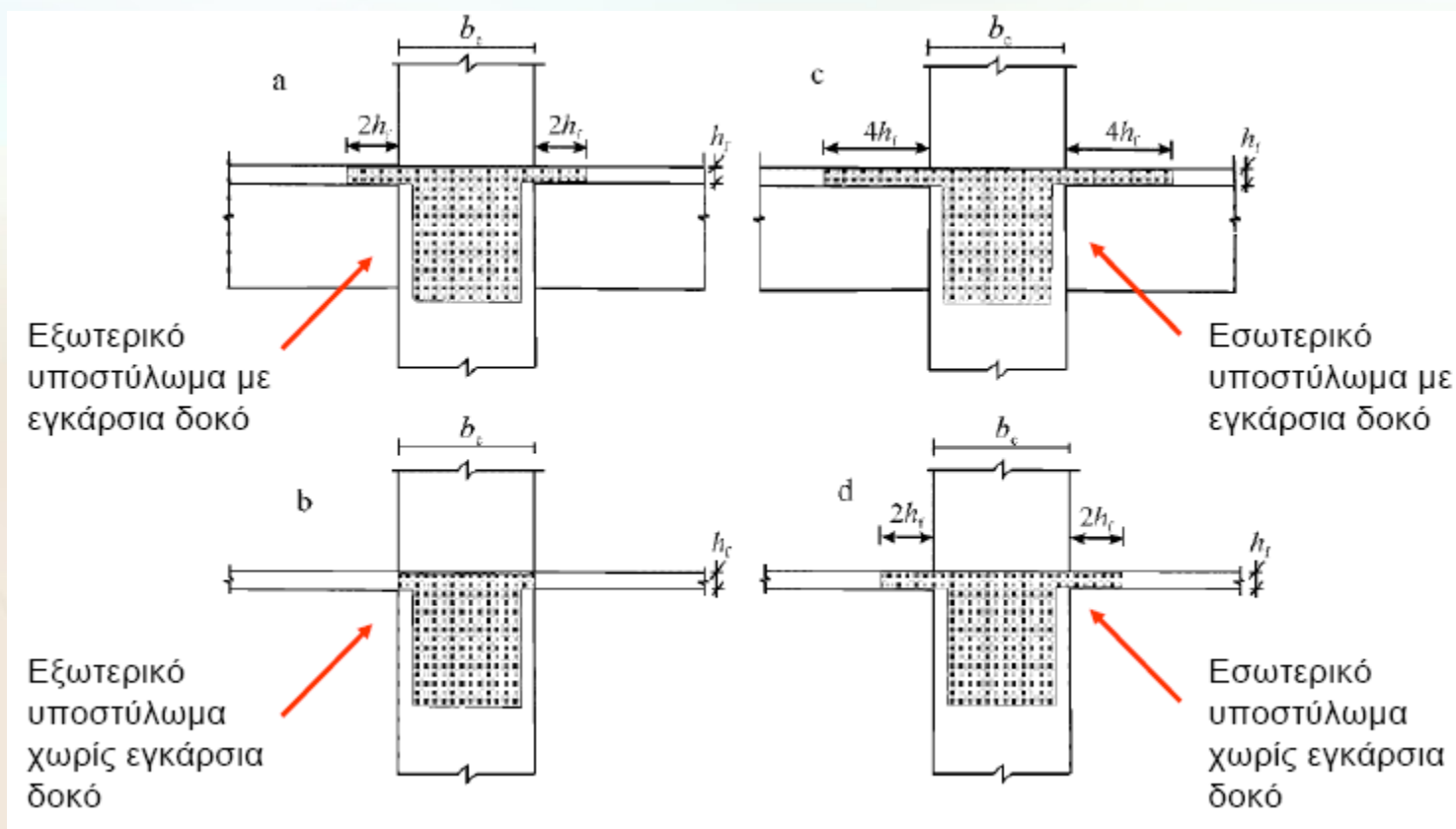


- Αποφυγή σχηματισμού μηχανισμού ορόφου
- Απαλλαγή
 - αν στην υπόψη οριζόντια διεύθυνση $> 50\%$ της σεισμικής τέμνουσας βάσης αναλαμβάνεται από τοιχώματα
 - σε διώροφα ή στον ανώτερο όροφο κτιρίων

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Ικανοτικός σχεδιασμός υποστυλωμάτων σε κάμψη

Πρέπει να συνυπολογίζεται στην αντοχή της δοκού σε αρνητική κάμψη ο παράλληλος οπλισμός της πλάκας μέσα σ' ένα (μικρό) συνεργαζόμενο πλάτος



EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Απαιτήσεις για τα υλικά κυρίων στοιχείων

Κατηγορία Πλαστιμότητας (ΚΠ)	ΚΠ Χ (Χαμηλή) & δευτερεύοντα στοιχεία	ΚΠ Μ (Μέση)	ΚΠ Υ (Υψηλή)
Σκυρόδεμα		$\geq \text{C16/20}$	$\geq \text{C20/25}$
Κατηγορία χάλυβα κατά ΕΚ2, Πίνακα C1	B ή C	B ή C	μόνο C
Διαμήκεις ράβδοι		Με νευρώσεις	Με νευρώσεις
Υπεραντοχή χάλυβα			$f_{yk,0.95} \leq 1.25f_{yk}$

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Εξασφάλιση επιθυμητής τιμής δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων μφ κρίσιμων περιοχών (πλαστικών αρθρώσεων)

**Μέλη με αξονικό φορτίο & συμμετρικό οπλισμό $\omega=\omega'$
(υποστυλώματα, πλάστιμα τοιχώματα)**

- Οπλισμός περίσφιγξης (τοιχωμάτων: σε κρυφά υποστυλώματα) με (ενεργό) μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό:

$$\alpha\omega_{wd} = 30\mu_{\phi}(v_d + \omega_v)\epsilon_{yd}b_c/b_o - 0.035$$

$$v_d = N_d/b_chf_{cd}, \epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s,$$

b_c : πλάτος θλιβόμενης ζώνης, b_o : πλάτος περισφιγμένου πυρήνα,

ω_v : μηχανικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού κορμού = $\rho_v f_{yd,v}/f_{cd}$

- Σε υποστυλώματα που ικανοποιούν ικανοτικό έλεγχο ($\Sigma M_{Rc} > 1.3 \Sigma M_{Rb}$), πλήρης οπλισμός περίσφιγξης μόνο στην κρίσιμη περιοχή της βάσης στο κτίριο.
- Στην ΚΠ Υ: υποστυλώματα που ικανοποιούν ικανοτικό έλεγχο ($\Sigma M_{Rc} > 1.3 \Sigma M_{Rb}$) απαιτούν οπλισμό περίσφιγξης που αντιστοιχεί στα 2/3 της μ_{ϕ} σ' όλες τις κρίσιμες περιοχές πάνω από τη βάση του κτιρίου.

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

**Εξασφάλιση επιθυμητής τιμής δείκτη πλαστιμότητας
καμπυλοτήτων μφ κρίσιμων περιοχών (πλαστικών αρθρώσεων)**

**Μέλη με ασύμμετρο οπλισμό, $\omega \neq \omega'$, χωρίς αξονικό φορτίο
(δοκοί)**

- Μέγιστο μηχανικό ποσοστό εφελκυόμενου οπλισμού:

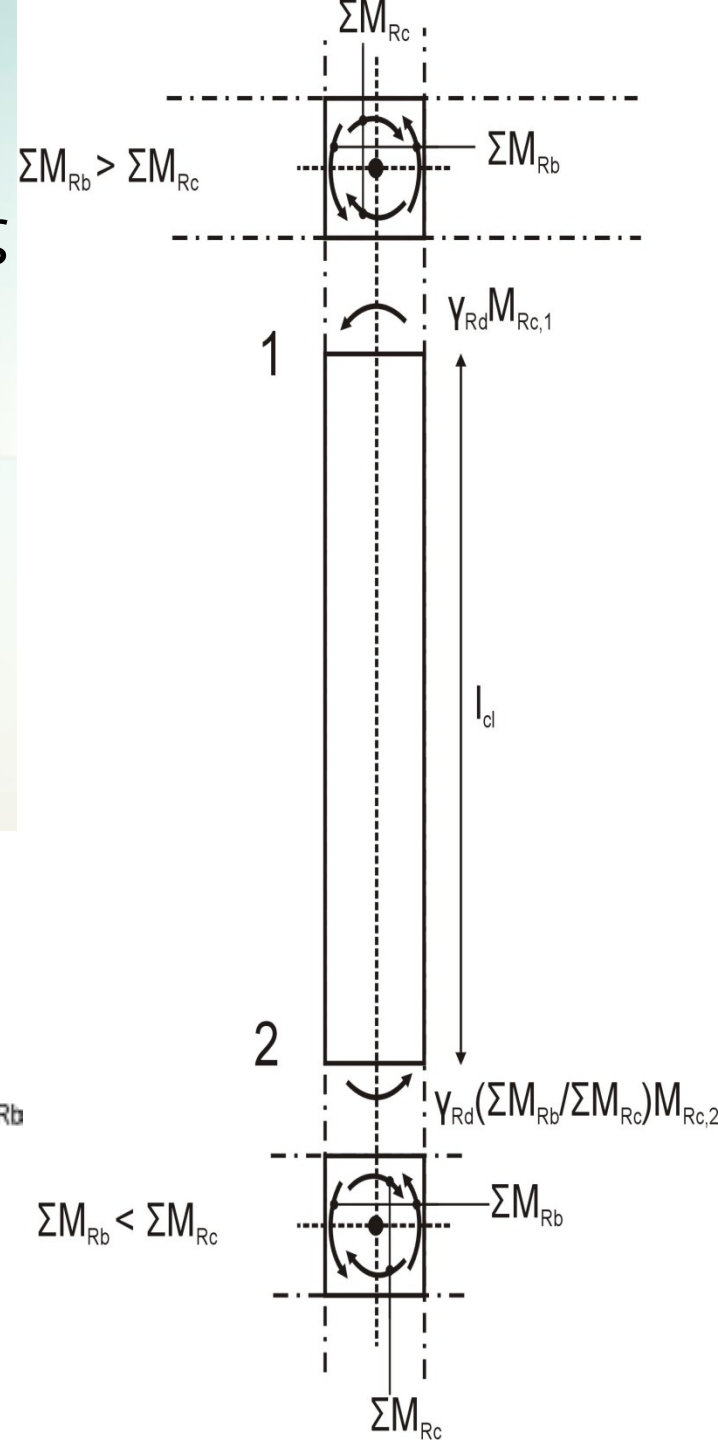
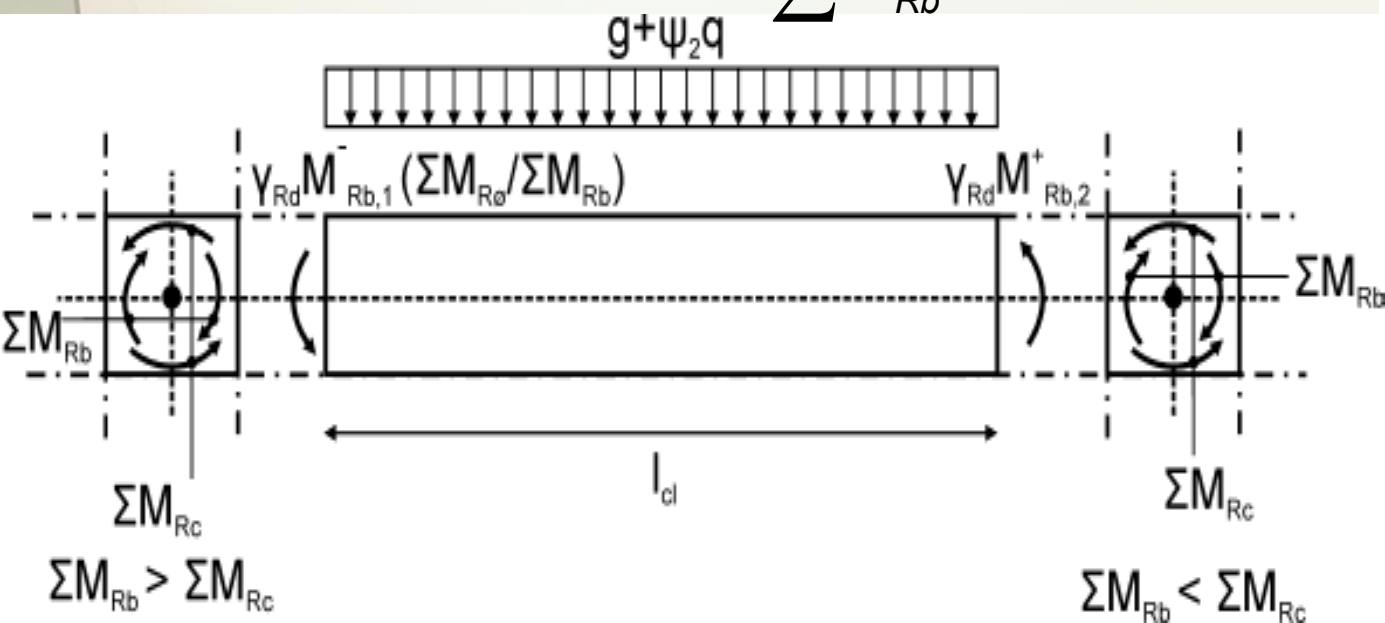
$$\omega \leq \omega' + 0.0018 / \mu_{\phi} \varepsilon_{yd}$$

Ικανοτικός σχεδιασμός σε διάτμηση δοκών & υποστυλωμάτων ΚΠ Μ ή Υ

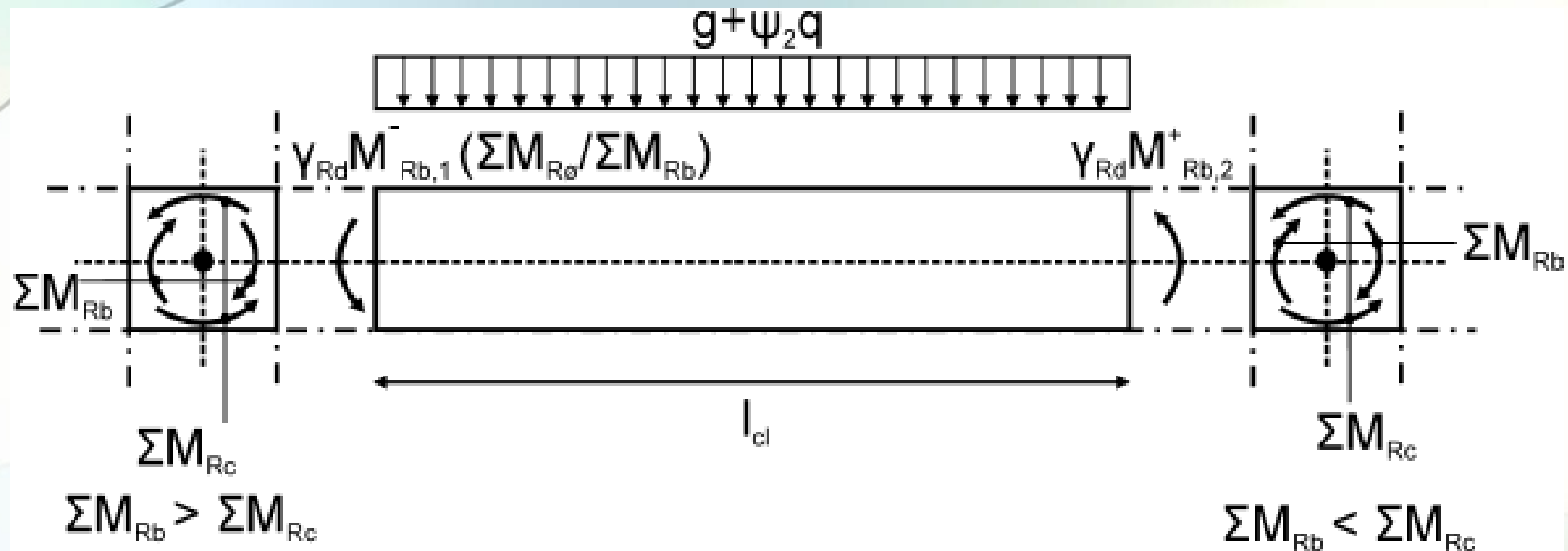
Ικανοτική τέμνουσα από ισορροπία, υπό τις ροπές που αναπτύσσονται όταν γίνουν πλαστικές αρθρώσεις γύρω από κόμβους άκρων (σε δοκούς ή υποστυλώματα, όπου συμβούν πρώτα)

Υποστυλώματα: $M_{i,d} = M_{Rc,i} \min(1, \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}})$

Δοκοί: $M_{i,d} = M_{Rb,i} \min(1, \frac{\sum M_{Rc}}{\sum M_{Rb}})$



Δοκοί:



$$\max V_{i,d}(x) = - \frac{\gamma_{Rd} \left[M_{Rd,bi}^- \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,c}}{\sum M_{Rd,b}} \right)_i + M_{Rd,bj}^+ \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,c}}{\sum M_{Rd,b}} \right)_j \right]}{l_{cl}} + V_{g+\psi q,o}(x)$$

$$\min V_{i,d}(x) = - \frac{\gamma_{Rd} \left[M_{Rd,bi}^+ \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,c}}{\sum M_{Rd,b}} \right)_i + M_{Rd,bj}^- \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,c}}{\sum M_{Rd,b}} \right)_j \right]}{l_{cl}} + V_{g+\psi q,o}(x)$$

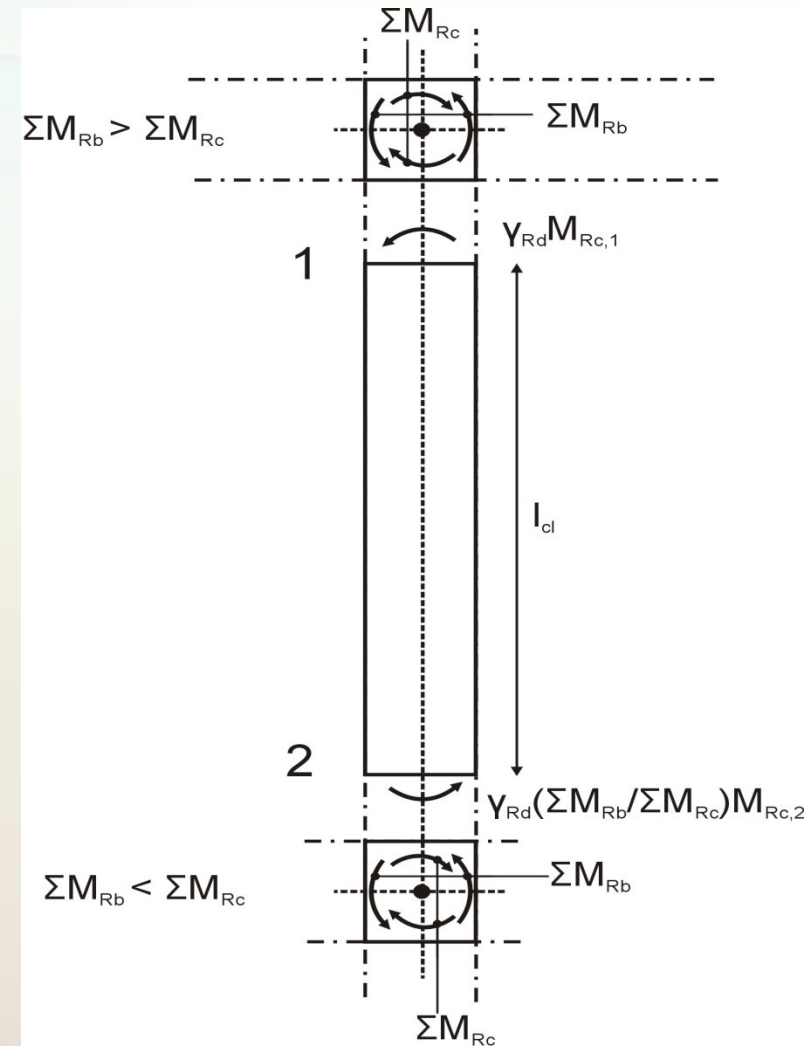
- ΚΠ Μ: $\gamma_{Rd}=1.0$
- ΚΠ Υ: $\gamma_{Rd}=1.2$ & αντιστροφή προσήμου V λαμβάνεται υπόψη μέσω:

$$\zeta_i = \frac{\min V_{i,d}(x_i)}{\max V_{i,d}(x_i)}$$

Υποστυλώματα:

$$V_{CD,c} = \frac{\gamma_{Rd} \left[M_{Rd,c1} \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}} \right)_1 + M_{Rd,c2} \min \left(1; \frac{\sum M_{Rd,b}}{\sum M_{Rd,c}} \right)_2 \right]}{l_{cl}}$$

- ΚΠ Μ: $\gamma_{Rd} = 1.1$
- ΚΠ Υ: $\gamma_{Rd} = 1.3$



Δυο τύποι τοιχωμάτων δυσκαμψίας με ικανότητα κατανάλωσης ενέργειας

- **Πλάστιμα τοιχώματα:**

- Πάκτωση και πλαστική άρθρωση στη βάση (αποφυγή / περιορισμός λίκνισης).
- Διαστασιολόγηση, κατασκευαστική διαμόρφωση & όπλιση για απόδοση ενέργειας μόνο στην πλαστική άρθρωση (κρίσιμη περιοχή) της βάσης.

- **Ελαφρά οπλισμένα μεγάλα τοιχώματα (ΚΠΜ):**

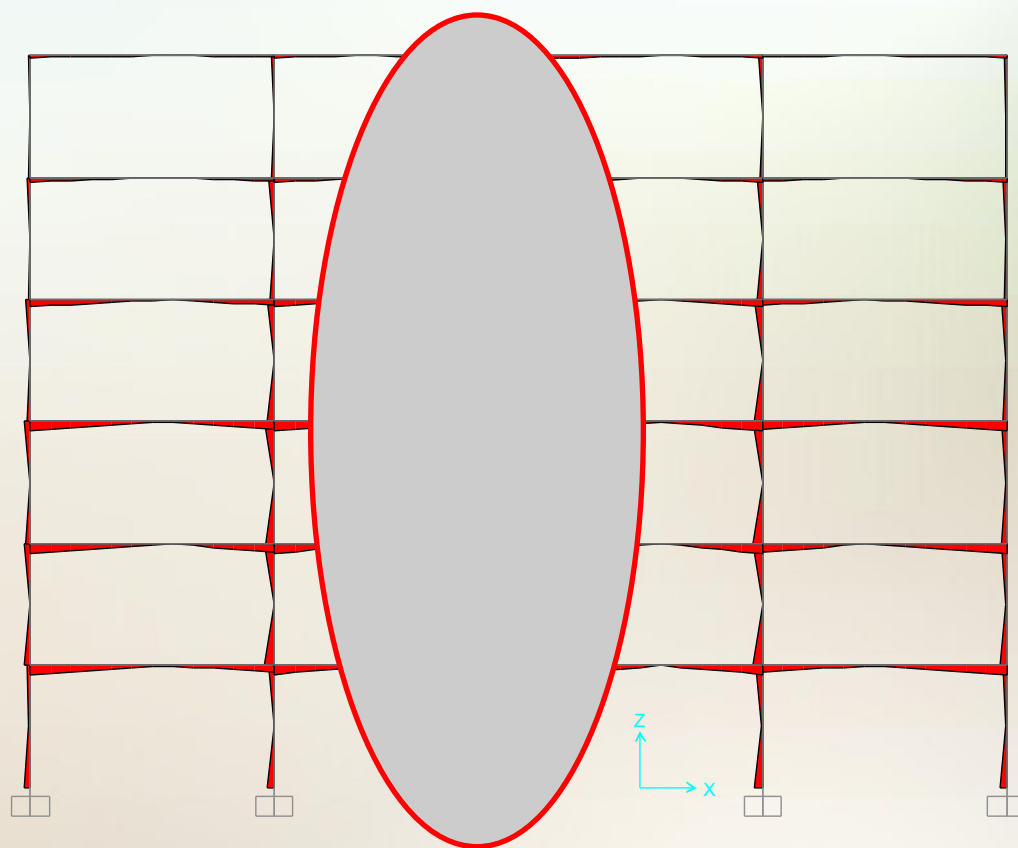
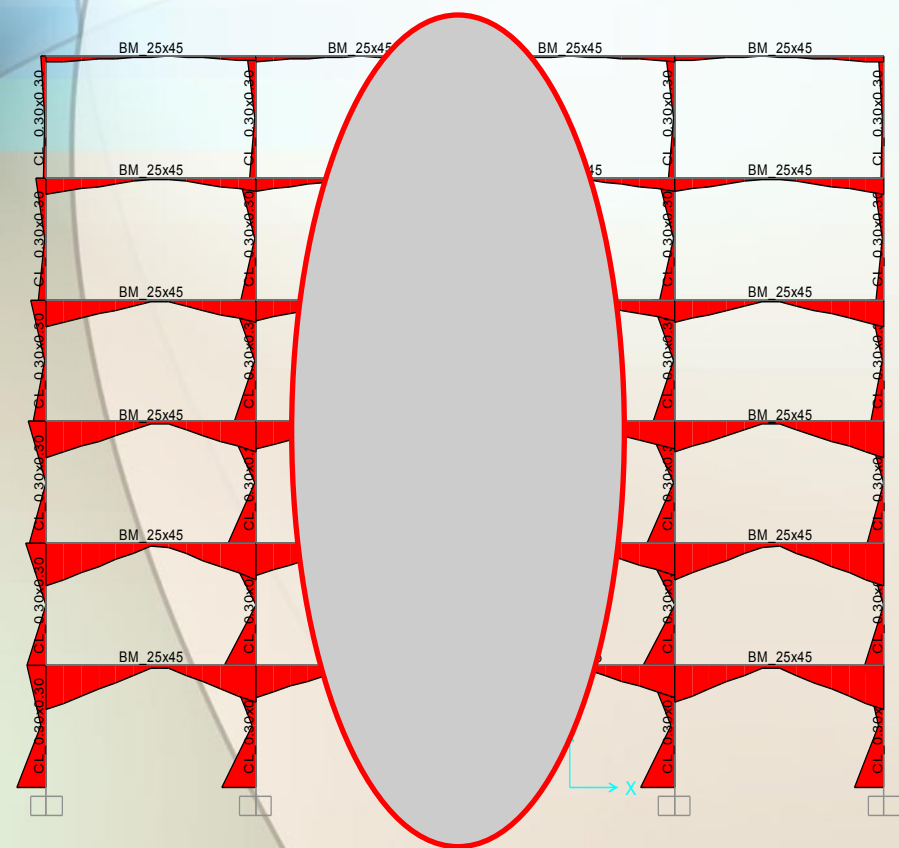
- Μεγάλα τοιχώματα (μήκος διατομής $l_w \geq 4\text{m}$)
- Η διαστασιολόγηση δεν αποσκοπεί να εξασφαλίσει ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης στη βάση

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Τοιχώματα

- Τι είναι τοίχωμα κατά τον Κανονισμό;

- Στοιχείο που εξασφαλίζει συγκεκριμένη συμπεριφορά στο σεισμό



EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Παραδείγματα μεγάλων τοιχωμάτων (δυνητικά ελαφρά οπλισμένων)

ΠΑΤΡΑ



ΚΑΛΑΜΑΤΑ



ΑΘΗΝΑ



Διαστασιολόγηση & όπλιση πλάστιμων τοιχωμάτων

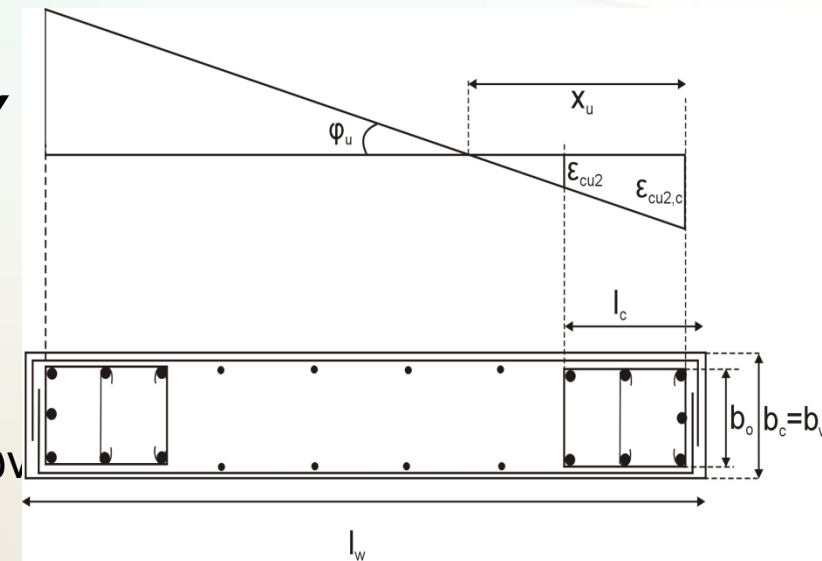
Η μετελαστική συμπεριφορά περιορίζεται σε καμπτική πλαστική άρθρωση βάσης, ώστε να εφαρμόζεται η σχέση $q - \mu_\phi$ που ισχύει για προβόλους:

- Τοίχωμα υπερ-διαστασιολογείται σε κάμψη πάνω από τη βάση (γραμμική περιβάλλουσα ροπών, συν μήκος μετάθεσης).
- Διαστασιολόγηση σε διάτμηση με V από ανάλυση, πολλαπλασιασμένη:

$\times 1.5$ για Κατ. Πλαστιμότητας **ΚΠΜ**

$\chi[(1.2 M_{Rd}/M_{Ed})^2 + 0.1(qS_e(T_c)/S_e(T_1))^2]^{1/2} < q$ για **ΚΠΥ**

- M_{Ed} : ροπή βάσης τοιχώματος από ανάλυση,
- M_{Rd} : τιμή σχεδιασμού ροπής αντοχής βάσης,
- $S_e(T)$: ελαστική φασματική τιμή,
- T_1 : ιδιοπερίοδος κτιρίου,
- T_c : T σε άνω όριο περιοχής σταθ. επιταχύνσεων



Στην κρίσιμη περιοχή βάσης:

οπλισμός περίσφιγξης με (ενεργό) μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό

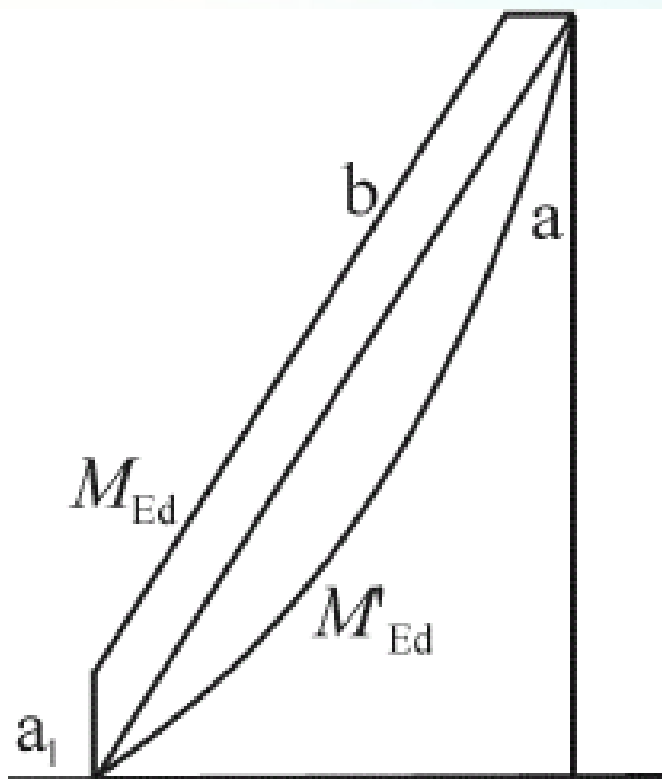
$$\alpha\omega_{wd} = 30\mu_\phi(v_d + \omega_v)\epsilon_{yd}b_c/b_o - 0.035$$

Στο τμήμα της θλιβ. ζώνης (ύψους: $x_u = (v_d + \omega_v)l_w(b_c/b_o)$) όπου η βράχυνση

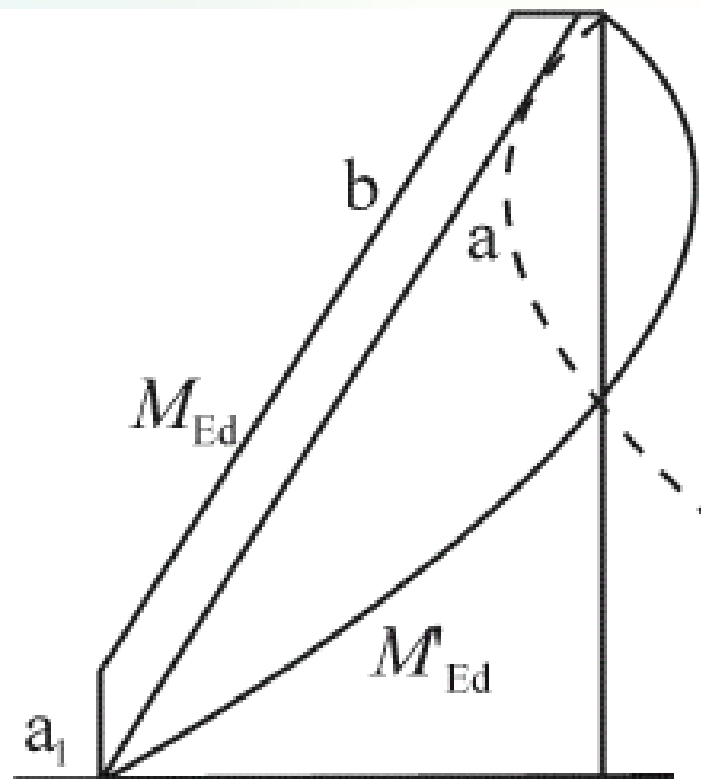
Σκυροδέματος είναι μεταξύ: $\epsilon_{cu}^* = 0.0035 + 0.1\alpha\omega_{wd}$ & $\epsilon_{cu} = 0.0035$

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Σχεδιασμός πλαστικών τοιχωμάτων σε κάμψη, ώστε η πλαστική άρθρωση να σχηματισθεί μόνο στη βάση



Τοιχωματικό Σύστημα



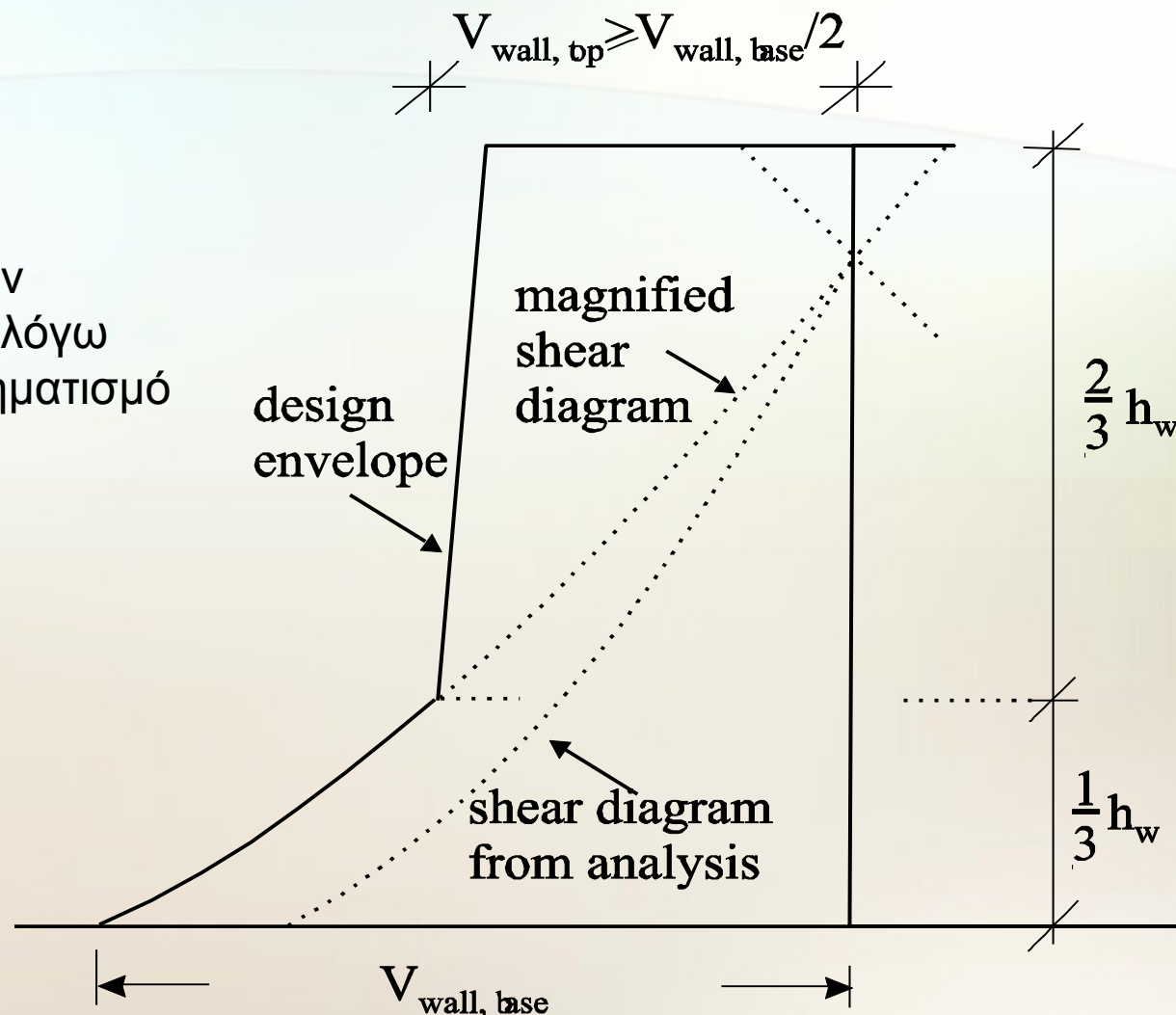
Διαδικό Σύστημα

Γραμμική περιβάλλουσα ροπών από ανάλυση

EN1998-1: Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

Τέμνουσα σχεδιασμού πλάστιμων τοιχωμάτων σε δυαδικά κτίρια
(δηλ. όπου μεταξύ 35% και 65% της σεισμικής τέμνουσας βάσης αναλαμβάνεται από τοιχώματα)

Για να ληφθεί υπόψη η αύξηση των τεμνουσών στους πάνω ορόφους λόγω ανωτέρω ιδιομορφών, μετά το σχηματισμό πλαστικής άρθρωσης στη βάση



Ελαφρά οπλισμένα μεγάλα τοιχώματα

Φορέας = σύστημα ελαφρά οπλισμένων μεγάλων τοιχωμάτων αν στην υπ' όψη οριζ. Διεύθυνση:

1. **> 65% Τέμνουσας** βάσης αναλαμβάνεται από τοιχώματα.
2. ≥ 2 Τοιχώματα με $I_w \geq 4m$ αναλαμβάνουν $\geq 20\%$ κατακόρυφου φορτίου. Αν μόνον ένα τοίχωμα στην υπ' όψη οριζ. Διεύθυνση $\rightarrow q=2$ αντί $q=3$. ($\rightarrow$ Επαρκή τοιχώματα/ επιφάνεια κάτοψης & σημαντική ανύψωση μάζας με τη λίκνιση).
3. Ιδιοπερίοδος $T_1 < 0.5s$, για θεώρηση πάκτωσης στη βάση ($\rightarrow$ χαμηλός λόγος ύψους-προς-οριζ. Διάσταση, επιστροφή ενέργειας στο έδαφος με ακτινοβολία κατά τη λίκνιση).

Συστήματα ελαφρά οπλισμένων μεγάλων τοιχωμάτων :

- $\rightarrow$ Μόνον κατηγορία πλαστιμότητας μέση **ΚΠΜ:ν** $q=3$,
- $\rightarrow$ Οικονομική διαστασιολόγηση & κατασκευαστική διαμόρφωση.

Σκεπτικό:

αν τοίχωμα μεγάλο, ο ελάχιστος οπλισμός πλάστιμων τοιχωμάτων $\Rightarrow$

- Υψηλό κόστος,
- Καμπτική υπεραντοχή που δύσκολα μεταφέρεται στο έδαφος.

Τα μεγάλα τοιχώματα:

- Αποκλείουν κατάρρευση λόγω μαλακού ορόφου,
- Μειώνουν τις βλάβες στα μη-φέροντα στοιχεία,
- Έχουν δείξει εξαιρετική συμπεριφορά σε ισχυρούς σεισμούς.

Αν φορέας δεν πληροί ανωτέρω συνθήκες 1+2+3, όλα τα τοιχώματα (και αυτά με $I_w \geq 4m$) σχεδιάζονται ως πλάστιμα.

Διαστασιολόγηση & κατασκευαστική διαμόρφωση ελαφρά οπλισμένων μεγάλων τοιχωμάτων

- Κατακόρυφοι οπλισμοί προσαρμόζονται ακριβώς στην ένταση M & N από την ανάλυση
 - Αποφεύγεται οπλισμός πέραν αυτού που προκύπτει από τις απαιτήσεις της ανάλυσης (π.χ. ο ελάχιστος), για να ελαχιστοποιηθεί η υπερβάλλουσα καμπτική αντοχή.
- Διαστασιολόγηση σε διάτμηση με V από ανάλυση $\times (1+q)/2$
 - Αν η τέμνουσα σχεδιασμού $<$ διατμητικής αντοχής χωρίς οπλισμό διάτμησης: δεν τοποθετείται (ο ελάχιστος) οπλισμός διάτμησης.

Σκεπτικό:

- Η ρηγμάτωση & η διαρροή αναμένεται να περιορισθούν στους αρμούς διακοπής στις διατομές βάσης των ορόφων,
- Αν παρ' ελπίδα σχηματισθούν λοξές ρωγμές, το εύρος τους θα περιορισθεί από το γεγονός ότι η απόκριση ελέγχεται από τις παραμορφώσεις (και όχι από τις δυνάμεις, όπως στις στατικές δράσεις τις οποίες αφορά ο $EK2$), και θα ξανακλείσουν, ακόμα και χωρίς τον ελάχιστο οπλισμό διάτμησης.
- Οι τυχόν λοξές ρωγμές θα τέμνουν τα πατώματα & θα ενεργοποιούν τον οπλισμό τους στην ανάληψη της τέμνουσας

Έλεγχος Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων



Διαστασιολόγηση Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων Μέση Κατηγορία Πλαστιμότητας

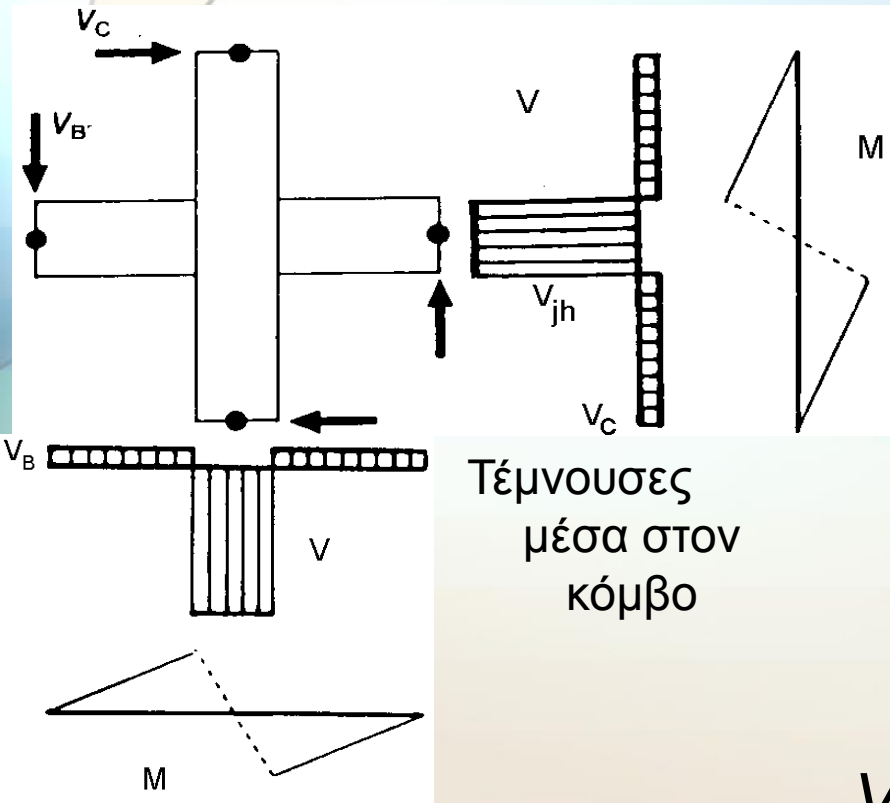
• ΚΠ-Μ:

- Οι συνδετήρες της κρίσιμης περιοχής των υποστυλωμάτων συνεχίζουν και στον κόμβο
 - Επιτρέπεται αραίωση των συνδετήρων υπό προϋποθέσεις
- Τουλάχιστον μια ράβδος οπλισμού θα πρέπει να υπάρχει στο εσωτερικό κάθε πλευράς δοκού και υποστυλώματος η οποία να συνεχίζεται εντός του κόμβου.

Διαστασιολόγηση Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

Υψηλή Κατηγορία Πλαστιμότητας

Τέμνουσες δυνάμεις σε κόμβους



Μέγιστη δυνατή οριζόντια τέμνουσα δύναμη V_{jh} και διατμητική τάση v_j στον κόμβο:

$$V_{jh} = (A_{sb1top} + A_{sb2bot})f_y - V_{C,Analysis} =$$

$$= \sum M_{Rb} \left(\frac{1}{z_b} - \frac{1}{h_{st}} \frac{L_b}{L_{bn}} \right)$$

$$\approx (A_{sb1} + A_{sb2})f_y \left(1 - \frac{z_b}{h_{st}} \frac{L_b}{L_{bn}} \right)$$

$$v_j = \frac{V_{jh}}{b_j h_{jc}}$$

$$\text{Av } b_c > b_w \rightarrow b_j = \min \{b_c; (b_w + 0.5h_c)\}$$

$$\text{Av } b_c \leq b_w \rightarrow b_j = \min \{b_w; (b_c + 0.5h_c)\}$$

Υπολογισμός αντοχής κόμβων με βάση τις κύριες τάσεις

Διαγώνια ρηγμάτωση άοπλων κόμβων αν η κύρια εφελκυστική τάση λόγω:

- διατμητικής τάσης στον κόμβο, v_j &
- μέσης κατακόρυφης ορθής τάσης από υπερκείμενη κολώνα, $-v_{top}f_c$, ξεπερνά την εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος, f_{ct} .

$$v_j \geq v_{cr} = f_{ct} \sqrt{1 + \frac{v_{top} f_c}{f_{ct}}}$$

Διαγώνια ρηγμάτωση οπλισμένων κόμβων αν η κύρια εφελκυστική τάση λόγω (EK8):

- διατμητικής τάσης στον κόμβο, v_j &
- μέσης κατακόρυφης ορθής τάσης από υπερκείμενη κολώνα, $-v_{top}f_c$, και
- οριζόντιας ορθής τάσης λόγω περίσφιγξης από οριζόντιο οπλισμό κόμβου, $-\rho_{jh}f_{yw}$: ξεπερνά την εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος, f_{ct} .

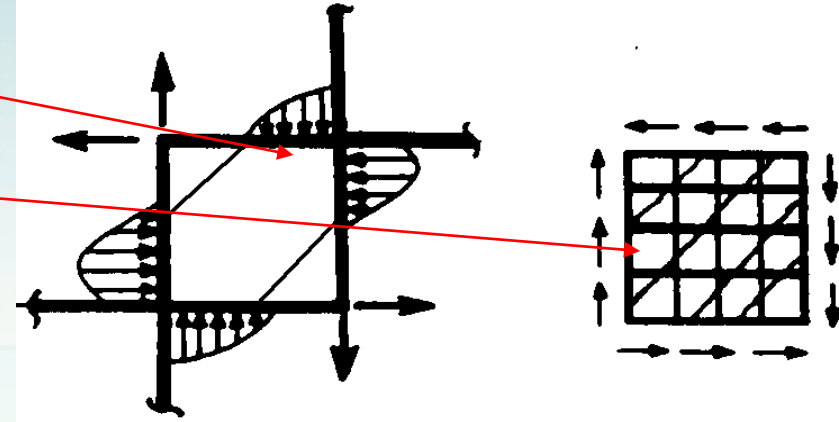
$$\rho_{jh} f_{yw} \geq \frac{v_j^2}{f_{ct} + v_{top} f_c} - f_{ct}$$

Οριακή διατμητική αντοχή κόμβων v_{ju} : αν η κύρια θλιπτική τάση ξεπερνά το nf_c (n : μειωτικός συντελεστής λόγω εγκάρσιας εφελκυστικής τάσης

$$v_j < v_{ju} = nf_c \sqrt{1 - \frac{v_{top}}{n}}$$

Εναλλακτική μέθοδος στον ΕΚ8 για τον οπλισμό κόμβων

Διαγώνιος θλιπτήρας
Δικτύωμα:
οριζόντιες &
κατακόρυφες ράβδοι &
διαγώνιο θλιπτικό πεδίο.



Εσωτερικοί κόμβοι:

$$A_{sh} f_{yw} \geq (A_{sb1} + A_{sb2}) f_y \left(1 - \frac{6}{5} v_{top} \right)$$

Εξωτερικοί κόμβοι:

$$A_{sh} f_{yw} \geq A_{sb2} f_y \left(1 - \frac{6}{5} v_{bottom} \right)$$

Κατακόρυφος οπλισμός:

$$A_{sv,i} \geq (2/3) A_{sh} \left(\frac{h_{jc}}{h_{jw}} \right)$$

**Διατάξεις EC8 έναντι των δυσμενών
τοπικών επιρροών ισχυρών τοιχοπληρώσεων**

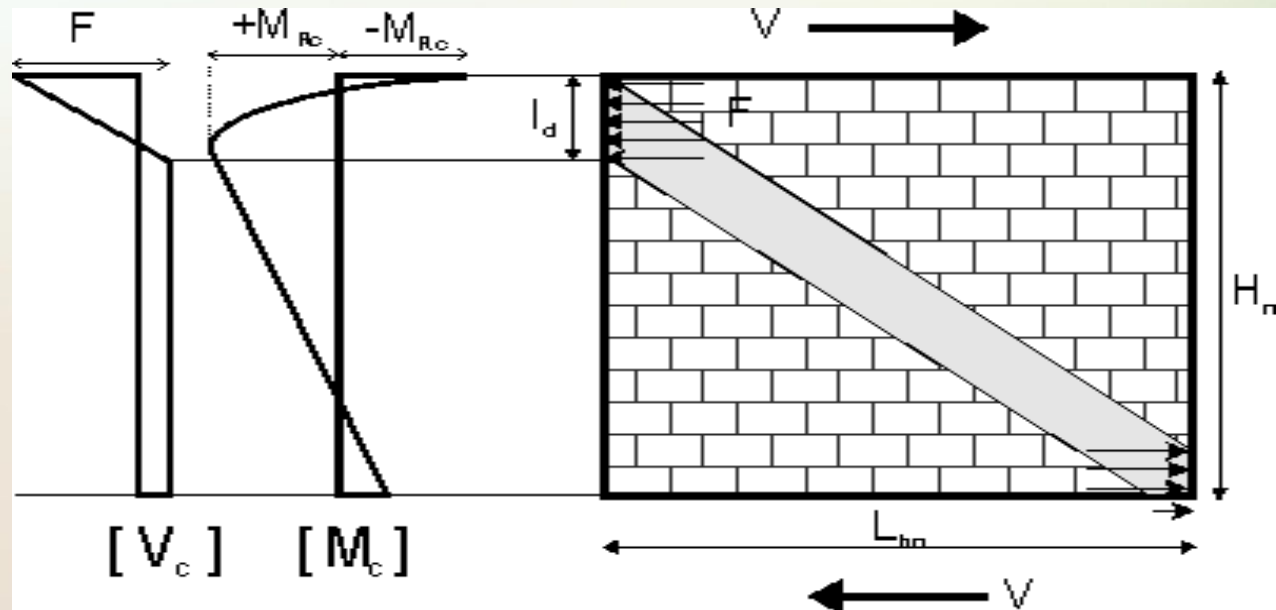
Διατμητική αστοχία αδύνατων υποστυλωμάτων λόγω της δύναμης που ασκείται σ' αυτά από την τοιχοπλήρωση.

Η κολώνα καταπονείται σε διάτμηση από τη θλιπτική δύναμη της τοιχοπλήρωσης:

- ΕΚ8: Έλεγχος σε διάτμηση τμήματος μήκους $l_c = w_{inf}/\cos\theta$ στην κορυφή & τη βάση της κολώνας που είναι σε επαφή με την τοιχοπλήρωση, για τη μικρότερη από τις δύο τιμές τέμνουσας :
 - Την οριζόντια συνιστώσα της διαγώνιας θλίψης στην τοιχοπλήρωση, θεωρούμενη ίση με τη διατμητική αντοχή (τάση) των οριζοντίων αρμών επί την οριζόντια επιφάνεια της τοιχοπλήρωσης
 - Ικανοτική τέμνουσα: 2 x (τιμή σχεδιασμού καμπτικής αντοχής κολώνας, $MR_{d,c}$) δια του μήκους επαφής, l_c

Πλάτος θλιπτήρα:

$$w_{inf} = \frac{0.175 L_{bn}}{\cos\theta (\lambda H)^{0.4}}$$
$$\lambda = \left(\frac{E_w b_w \sin 2\theta}{4 E_c I_c H_n} \right)^{\frac{1}{4}}$$



ΕΚ8: ποσοστό (π.χ.15%) της διαγωνίου του φατνώματος, $L_{bn}/\cos\theta$

Διατάξεις EC8 έναντι των δυσμενών τοπικών επιρροών ισχυρών τοιχοπληρώσεων (συνέχεια)

-Διατμητική αστοχία κοντών υποστυλωμάτων

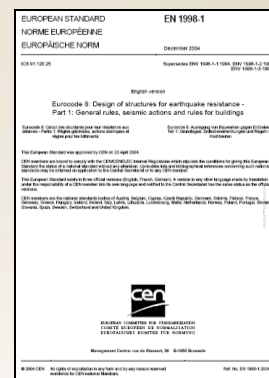
Διαστασιολόγηση κοντών υποστυλωμάτων κατά EC8

- Ικανοτικός σχεδιασμός σε διάτμηση, με ικανοτική τέμνουσα που υπολογίζεται με:
 - Καθαρό ύψος κολώνας, l_{cl} = ελεύθερο ύψος της πάνω από την τοιχοπλήρωση,
 - Θεώρηση ότι σχηματίζεται πλαστική άρθρωση στη διατομή της κολώνας όπου τερματίζεται η τοιχοπλήρωση.
- Ο οπλισμός διάτμησης που τοποθετείται στο ελεύθερο ύψος της κολώνας, l_{cl} , συνεχίζεται και παρακάτω μέχρι μήκος ίσο με τη διάσταση διατομής της, h_c , μέσα στο επίπεδο της τοιχοπλήρωσης.
- Όλη η κολώνα θεωρείται κρίσιμη περιοχή και τοποθετούνται σ' όλο το μήκος της οι αντίστοιχοι συνδετήρες.

EN1998-1: Σύγκριση

Ειδικοί Κανόνες για Κτίρια Ο/Σ

- Τιμές συντελεστή συμπεριφοράς:
 - EC 8 : Κανονικά κτίρια: $q \sim 3.90$ (ΚΠΜ), $q \sim 5.85$ (ΚΠΥ)
 - Μη-κανονικά κτίρια: $q \sim 2.75$ (ΚΠΜ), $q \sim 4.15$ (ΚΠΥ)
 - ΕΑΚ 2000: $q = 3.50$
- Διατάξεις μεγίστων / ελαχίστων οπλισμών:
 - Αυστηρότερες (συνήθως) στον ΕΚ8 για τα μέγιστα/ελάχιστα,
 - Ευμενέστερες για την περίσφιγξη.
- Ικανοτικός σχεδιασμός
 - Λίγο ευμενέστερος στον EC8.





ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ



ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ



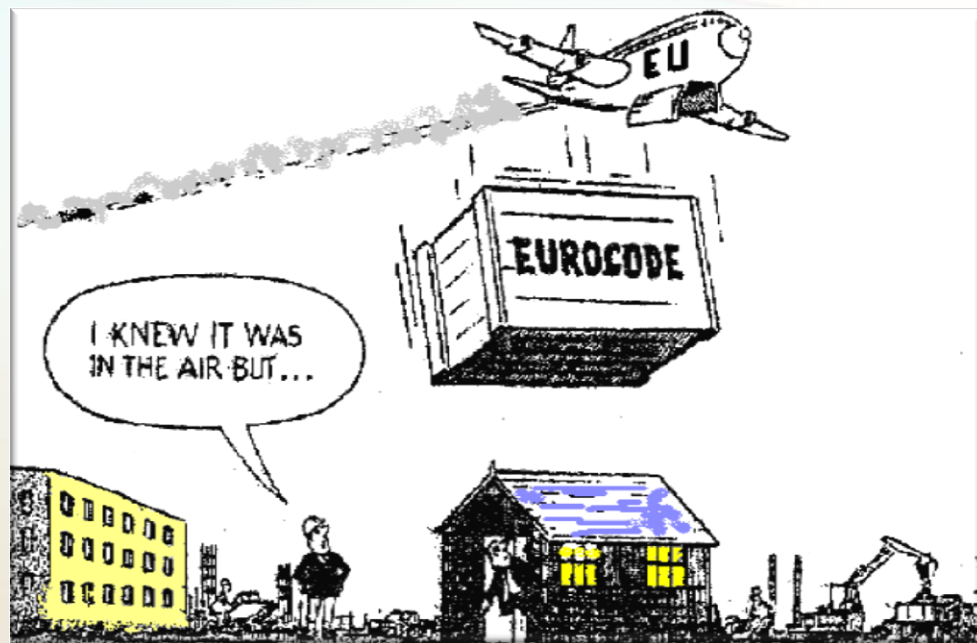
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η Μετάβαση από τον ΕΑΚ στον ΕΚ8

Τηλέμαχος Β. Παναγιωτάκος

Δρ Πολιτικός Μηχανικός

tpanagiotakos@denco.gr



Σχεδιασμός Κτηρίων Σκυροδέματος με βάση τους Ευρωκώδικες 2 & 8
3 Μαρτίου 2012, Ιτέα, ΤΕΕ /Τμ. Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας - Τ.Τ. ΣΠΜΕ ν. Φωκίδας