

## Κύρια σημεία και η φιλοσοφία των ελέγχων των Κεφαλαίων 5, 7 και 9 του ΚΑΔΕΤ



- Σ. Πανταζοπούλου

*York University, the Lassonde Faculty of Engineering, Canada*

*πρωην Καθηγήτρια ΔΠΘ*



- Φ. Καραντώνη

*Πανεπιστήμιο Πατρών*

## ΚΑΔΕΤ: Κανονισμός για Αποτίμηση και Δομητικές Επεμβάσεις σε Τοιχοποιίες

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:** ΣΚΟΠΟΣ-ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ-ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΥΘΥΝΕΣ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:** ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ, ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:** ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ, ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:** ΒΑΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:** ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:** ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:** ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:** ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:** ΕΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10:** ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

**Ανάλυση με σκοπό την Αποτίμηση & τον Ανασχεδιασμό  
Κεφάλαιο 5**

**Πρόθεση: Διατύπωση Κανόνων για:**

- Σεισμική Αποτίμηση & Ανασχεδιασμό
- Εύχρηστοι, για να μπορούν να καλύψουν το πλήθος των διαφορετικών τύπων κτιρίων που θεωρούνται “non – engineered”
- Αξιόπιστα αποτελέσματα που θα καθοδηγήσουν τις αποφάσεις για ενίσχυση / επισκευή
- Ένταση προσπάθειας ανάλογη με το επίπεδο της αβεβαιότητας που υπάρχει ως προς τα δεδομένα και το μέγεθος του μελλοντικού σεισμικού κινδύνου.

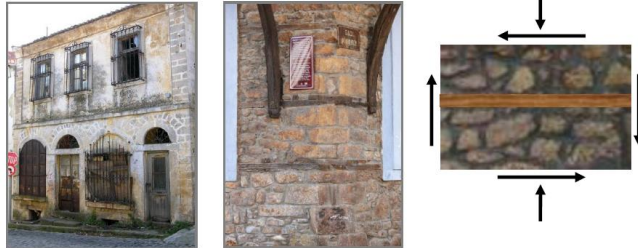


Σημαντικές Αποφάσεις από τους Μελετητές που υπόκειται σε πλήθος περιορισμών ως προς

- Το είδος της προσομοίωσης του φορέα
- Το είδος της προσομοίωσης της συμπεριφοράς των υλικών
- Το είδος της Μεθόδου Ανάλυσης
- Πως θα προσομοιωθούν τα φορτία
- ...κλπ

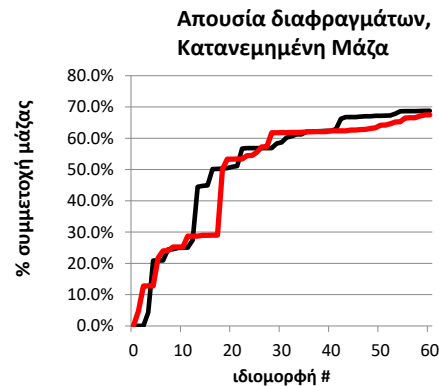
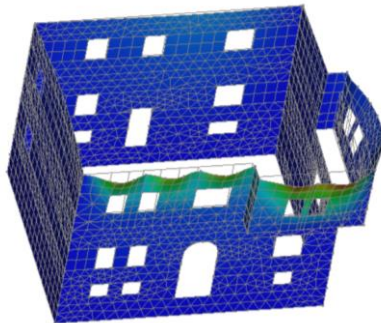
### Ανάγκη: εύκολες χρηστικές μεθόδους ανάλυσης για την αποτίμηση κατασκευών από ΦΤ

- Μερικά συνήθη χαρακτηριστικά σε παλαιότερες κατασκευές ΦΤ πριν την εισαγωγή σχετικού κανονισμού:
  - Απουσία διαφραγματικής λειτουργίας → αστοχίες κυρίως από εκτός επιπέδου δράση
  - Μάζα κατανεμημένη καθ' ύψος στους τοίχους - όχι στις στάθμες των διαφραγμάτων,
  - Ψαθυρότητα Υλικών – μηδαμινή εφελκυστική αντοχή
  - Πλαστιμότητα, αν υπάρχει, οφείλεται κυρίως στην λειτουργία του συστήματος ως σύνολο
  - Μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις ιδιότητες των υλικών και τη συμπεριφορά της τοιχοπ.
- **Ασαφές σύστημα αντίστασης σε σεισμικά φορτία (συνδυασμός φερόντων & μη στοιχείων)**



- Παρεμβάσεις των χρηστών
- Επιβάρυνση σεισμικής ικανότητας λόγω γήρανσης & διάβρωσης (συνδετικών κονιαμάτων και ξύλινων στοιχείων)

### Ανάγκη: εύκολες χρηστικές μεθόδους ανάλυσης για την αποτίμηση κατασκευών από ΦΤ



- Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για τις κατασκευές από Ο.Σ. χρειάζονται να προσαρμοστούν προκειμένου να είναι εφαρμόσιμες σε κτίρια από ΦΤ.
- Υπερβολικός συντηρητισμός μπορεί να οδηγήσει σε εκτενείς επεμβάσεις (π.χ. όταν χρησιμοποιούμε εκατοντάδες ιδιομορφές προκειμένου να ενεργοποιηθεί ικανοποιητικό τμήμα της μάζας του κτιρίου)

## Μέθοδοι Ανάλυσης:

- Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση (βλ. §5.4)
- Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης (γνωστή ως ελαστική δυναμική - βλ. §5.5α)
- Ελαστική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας (βλ. §5.7)

γραμμική σχέση τάσεων-  
παραμορφώσεων υλικών

- Ανελαστική Στατική Ανάλυση (βλ. §5.6)
- Ανελαστική Δυναμική Ανάλυση (Ανάλυση Χρονοϊστορίας (βλ. §5.7)

μη-γραμμική θεωρία

- Συνιστάται να προηγείται πάντα μια ελαστική ανάλυση

- Αν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με προσομοίωμα πλαισίου πρέπει να συνοδεύεται με μη γραμμικές καμπύλες αντίστασης των επιμέρους στοιχείων. Αν το προσομοίωμα είναι συνεχούς μέσου (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία), αυτή η μέθοδος δεν συνιστάται για ευρεία χρήση λόγω δυσχερειών σύγκλισης όταν ληφθεί υπόψη η πραγματική ψαθυρή συμπεριφορά των υλικών της τοιχοποιίας, λόγω της υψηλής έντασης απαιτούμενης προσπάθειας για τη διεξαγωγή της

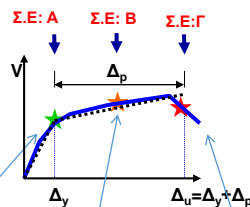
### 5.1.2 Κύρια & Δευτερεύοντα Στοιχεία

Δευτερεύοντα στοιχεία (που δεν συμβάλουν ουσιαστικά στην δυσκαμψία έναντι οριζοντίων δυνάμεων) μπορούν να αγνοούνται στο προσομοίωμα υπό τον όρο ότι πάσα δυσμενής ως προς τα πρωτεύοντα συνέπειά των θα λαμβάνεται υπόψη. Αν ληφθούν υπόψη τότε θα ελέγχονται κατά το κεφ. 9

### 5.1.3: Έλεγχοι Ασφαλείας: Στάδια Επιτελεστικότητας

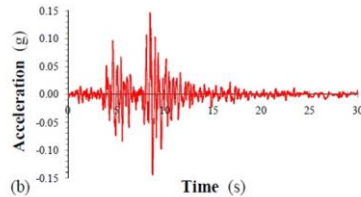
-A: σε όρους δυνάμεων / ελαστ. παραμ.

-B & Γ: Για ψαθυρά σε όρους δυνάμεων, και για πλάστιμα σε όρους παραμορφώσεων

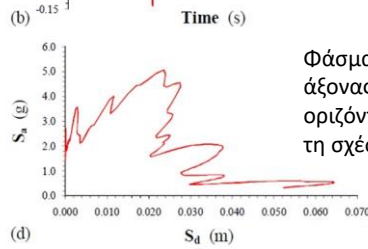


5.1.4: Για τις ανάγκες της ανάλυσης χρησιμοποιούνται μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών

## Καθορισμός της Σεισμικής Απαίτησης

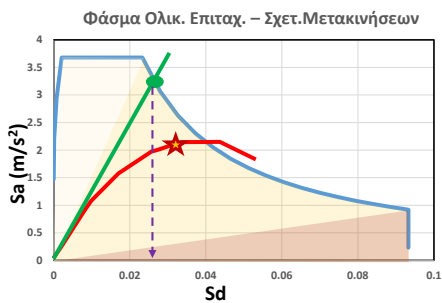


Χρονιστορία  
διέγερσης

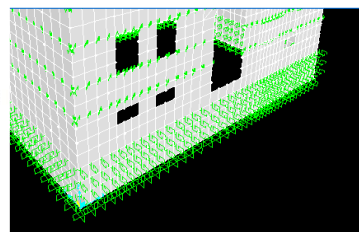
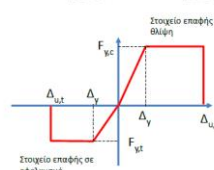
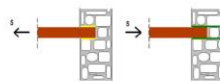


Φάσμα διέγερσης: Κατακόρυφος άξονας είναι η επιτάχυνση, οριζόντιος η μετακίνηση, με βάση τη σχέση:  $S_d(T) = S_a(T) \cdot T^2 / (4\pi^2)$

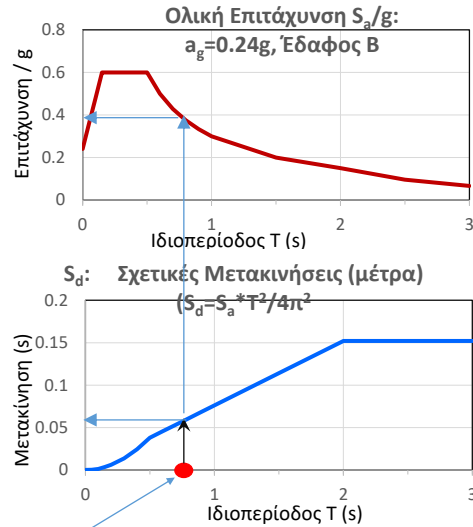
## Καθορισμός της Σεισμικής Απαίτησης



- Οριζόντια φορτία εφαρμόζονται διαδοχικά σε δύο αντίθετες διευθύνσεις (θετική & αρνητική)
- Στην περίπτωση ενδοτικών διαφραγμάτων λαμβάνουμε υπόψη την διεύθυνση της δοκίδωσης για την μεταφορά της μάζας του διαφράγματος στους φέροντες τοίχους
- Διεπιφάνειες (τοιχοποιία με έδαφος ή και μεταξύ στοιχείων από μέταλλο ή ξύλο μπορούν να προσομοιώνονται με στοιχεία ελατηρίου και στοιχεία μονόπλευρων επαφών (διάκενου))

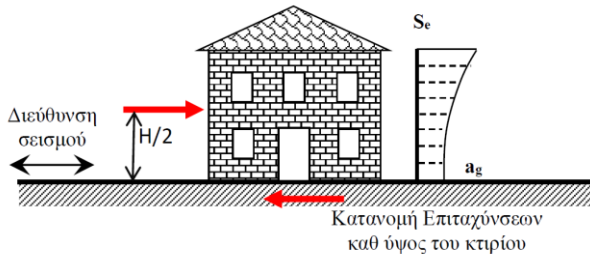


• Για την εκτίμηση της απαίτησης: **Φάσμα Σεισμικού Σχεδιασμού Κανονισμού**



$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}; \quad C_t = 0,075 / \sqrt{A_c} \geq 0,05; \quad A_c = \sum A_i [0,2 + (\ell_w/H)]^2$

**Υπολογισμός της Ροπής Ανατροπής – για έλεγχο αδρανούς περιοχής, καθώς επίσης και για τον υπολογισμό του εμβαδού των τοίχων που παραλαμβάνουν διάτμηση**



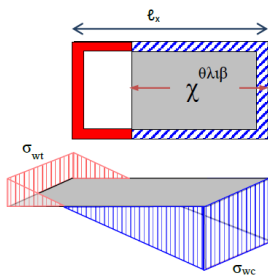
(α) Εκκεντρότητα  
 $e = M_{Ed} / N_{Ed} < 1/6 \ell_x$

(β) Εκτίμηση επιτάχυνσης  $S_e$  κάτω της οποίας αποφεύγεται η αδρανής περιοχή

$\chi^{\theta\lambda\beta} = \frac{\ell_x}{2} \cdot \left( 1 + \frac{N_{Ed}}{M_{Ed}} \cdot \frac{\Omega}{A} \right)$

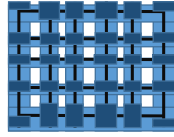
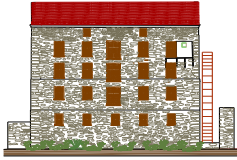
$S_e \leq 0.8g \cdot \frac{\Omega_w}{C_m \eta S H} \left[ \frac{f_{m1}}{N} + \frac{1}{A_w} \right]$

ροπή αντίστασης της κάτοψης συντελεστής δρώσας μάζας

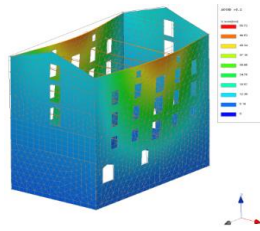


**Καμπύλη Αντίστασης (Απουσία Διαφραγμ.):**

- Ισοδύναμη Ανάλυση Πλαισιακού τύπου / μακροστοιχεία (ανελαστική, δυναμική ή στατική)



Προσομοίωση επιπέδων.  
Ακολουθεί έλεγχος για εκτός επιπέδου μηχανισμούς



- 3-D Ελαστική Ανάλυση – στοιχεία κελύφους / πλάκας ή στερεά (+ μη γραμμικά ελατήρια για μονόπλευρες επαφές) → E.S.D.O.F.)

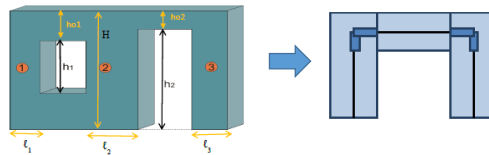
- 3-D Ανελαστική Ανάλυση– Πεπερασμένα στοιχεία Κελύφους/πλάκας – (Όχι αρκετά δοκιμασμένη για την πράξη)

Ο όγκος της απαιτούμενης πληροφορίας δεν είναι απαραίτητα συμβατός με το επίπεδο τεκμηρίωσης που μπορούμε για συνήθη κτίρια: Προτείνεται για ιδιαίτερες κατασκευές μεγάλης ιστορικής αξίας.

Δυσκαμψία ρηγματωμένης διατομής (EI) & (GA)  $\approx \frac{1}{2}$  της αντίστοιχης ελαστικής ιδιότητας αρηγμάτωτης διατομής του δομικού στοιχείου.

**Προσομοίωση:**

- Πεπερασμένα Στοιχεία
- Μακροστοιχεία
- Ισοδύναμο Πλαίσιο – οιονεί ραβδωτά στοιχεία
- Σύστημα Θλιπτήρων & Ελκυστήρων

**προϋποθέσεις για προσομοίωση Ισοδύναμου Πλαισίου:**

- έχει εξασφαλισθεί η επαρκής διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων και της στέγης (§5.3.6): **Στον Ευρωκώδικα: «When formation of out-of-plane mechanisms is prevented»**
- η διάταξη των ανοιγμάτων είναι τέτοια ώστε κάθε πεσσός να έχει περίπου σταθερό μήκος (οριζόντια διάσταση στο επίπεδο του τοίχου) από τη στάθμη της θεμελίωσης μέχρι τη στέψη του τοίχου: **Στον Ευρωκώδικα: Αν δεν μπορούν να ορισθούν αξιόπιστα τα στοιχεία του ισοδύναμου πλαισίου (π.χ. ακανόνιστη διάταξη ανοιγμάτων) → 2-D ή 3-D προσομοιώματα συνεχούς μέσου είτε διακριτών στοιχείων...**
- ο λόγος του ύψους προς το ελεύθερο μήκος του πεσσού (στον όροφο) υπερβαίνει το 2.0

**Για γενική χρήση: Δύο εναλλακτικές μεθόδους ανάλυσης:**

- 1) **Ανελαστική Μέθοδος Ισοδυναμού πλαισίου /μακροστοιχεία: → EC 8–III (2020)**
- 2) **3-D Ελαστική Προσομοίωση με Πεπερ. Στοιχεία (κελύφη/πλάκες ή στερεά)→ οιονεί ανελαστική μέσω ESDOF (κανόνας ίσων μετακινήσεων).**
- 3) **Ιδιομορφική (με οποιαδήποτε μέθοδο προσομοίωσης)**

**• Έλεγχοι Ασφαλείας & Κριτήρια Αποδοχής:**

- **Μέθοδος Πλαισίου:** Καμπύλες Ροπής-Στροφής για τα «μέλη»  
Σημεία αναφοράς: «Οιονεί Διαρροή», και «Αστοχία»
- **3D-Προσομοίωση με Πεπερασμένα Στοιχεία:** Σχετική Στροφή (Relative Drift Ratios). Οι αντοχές επίσης υπολογίζονται όμως οι τιμές τους αναφέρονται στα μεγέθη των παραμορφώσεων.

**Για την Περίπτωση της Ιδιομορφικής Ανάλυσης:**

**5.5.1.1 Συνδυασμός ιδιομορφικών αποκρίσεων για προσομοίωση με ραβδωτά στοιχεία**

Οι αποκρίσεις σε δύο ιδιομορφές ταλάντωσης  $i$  και  $j$  (που περιλαμβάνουν και μεταφορικές και στρεπτικές ιδιομορφές) μπορεί να ληφθούν ως ανεξάρτητες εφόσον οι περίοδοί τους  $T_i$  και  $T_j$  ικανοποιούν (με  $T_j \leq T_i$ ) την ακόλουθη συνθήκη:  $T_j \leq 0.9T_i$

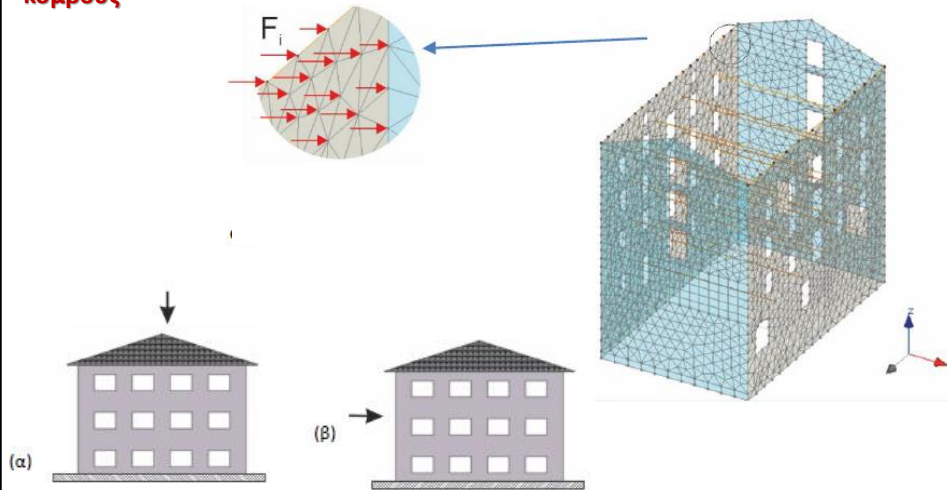
Τότε η μέγιστη τιμή ενός μεγέθους μπορεί να ληφθεί από SRSS; Διαφορετικά ο συνδυασμός των ιδιομορφών θα γίνεται με CQC.

**5.5.1.2 Συνδυασμός ιδιομορφικών αποκρίσεων για προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία**

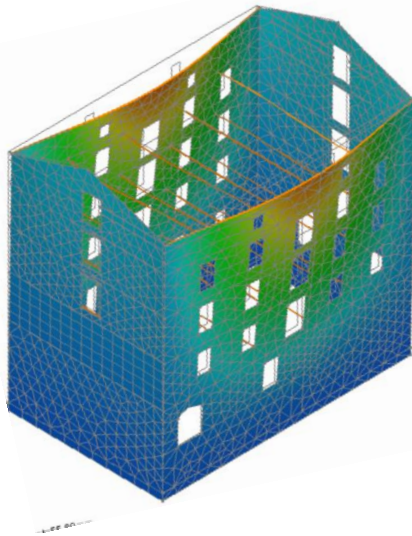
Εκτιμάται η χρονιοστορία της απόκρισης κάθε ιδιομορφής και γίνεται επαλληλία τιμών στον χρόνο,  $t$



### Ελαστική Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων: Ωθητικές δυνάμεις σε όλους τους κόμβους



(α) Ανάλυση για βαρυτικά φορτία για το σεισμικό συνδυασμό (β) προσδιορισμός εσωτερικών δυνάμεων και μετατοπίσεων για ολική φασματική επιτάχυνση (απόκριση) ίση με  $1g$ . Για την εκτίμηση των ελαστικών δυνάμεων λόγω σεισμού στο σεισμικό συνδυασμό, οι τιμές από την ανάλυση (β) πολλαπλασιάζονται επί το σεισμικό συντελεστή  $= S_e(T)/g$ .



Τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από αυτή την ανάλυση αφού πολλαπλασιασθούν περαιτέρω με το γινόμενο  $C_m \cdot S_a$  μπορούν να συνδυασθούν με τα αποτελέσματα της συμβατικής ανάλυσης φορτίων βαρύτητας κατά το σεισμικό συνδυασμό για τον έλεγχο της οριακής κατάσταση διαρροής.

Μορφολογία προσεγγιστικού σχήματος θεμελιώδους ιδιομορφής που προκύπτει από την επιβολή των βαρυτικών φορτίων στην κατεύθυνση του σεισμού (από το Σχήμα Σ5.4.2.(β)).

**Η διαδικασία στηρίζεται σε 3-βήματα για το ESDOF (π.χ. Παράρτημα Β EC8-1)**

**Βήμα 1:** Υπολογισμός του σχήματος οριζόντιας μετάθεσης στο κτίριο της στιγμής της μέγιστης απόκρισης → αυτό χρησιμοποιείται στο ρόλο της θεμελιώδους ιδιομορφής,  $\Phi$  (Βλ. EC8-1, Παρατ. Β)

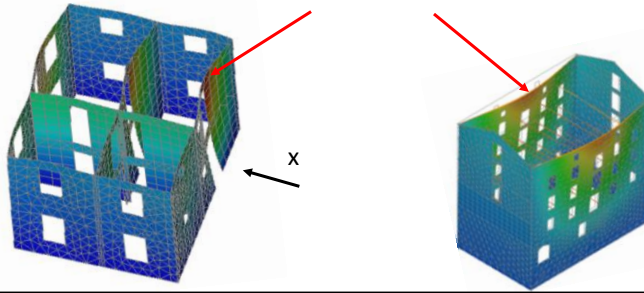


**Βήμα 2:** Εκτιμάται η μέγιστη σχετική μετακίνηση του κτιρίου,  $S_d(T_1)$  [από το φάσμα:  $S_d = S_a \cdot T^2 / (4\pi^2)$ ]



**Βήμα 3:** Κατανέμονται οι μετακινήσεις και παραμορφώσεις στο σύνολο του κτιρίου και ελέγχονται έναντι των κριτηρίων αποδοχής.

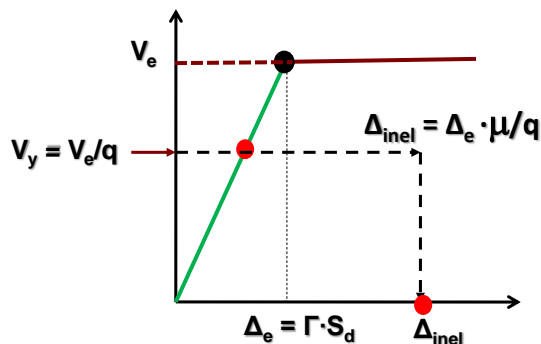
**Κόμβος Ελέγχου (Σημείο Μέγιστης Μετακίνησης):** Χρησιμοποιείται για την αναγωγή του προφίλ των μετακινήσεων προκειμένου να εκτιμηθεί το μεταφορικό σχήμα,  $\Phi$



**Εκτίμηση Ανελαστικών Παραμορφώσεων από τις Ελαστικές τιμές:**

**Πολλαπλασιάζονται οι απαιτήσεις με τον λόγο:**  $\mu/q = \Delta_{inel}/\Delta_{el}$

- Εκτίμηση του συντελεστή συμπεριφοράς  $q = V_e/V_y$ , όπου  $V_e = C_m \cdot S_e(T) \cdot W/g$
- $\Delta_{inel}/\Delta_{el} = 1$  για  $T > T_c$
- $\Delta_{inel}/\Delta_{el} = (1 + (q-1) \cdot T_c/T) / q$  για  $T < T_c$



1.0 για μονόρωφα & διόρωφα  
0.8 για υψηλότερα κτίρια

- **Για τον υπολογισμό της  $V_y$ :** Κεφ. 7: Η δύναμη που αναλαμβάνει στο σύστημα σε σχετική στροφή της τάξης του 0.15 - 0.2%

**ΕΙΔΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΤΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΡΑΣΗ**

Σημαντική παράμετρος: Δυστένεια Διαφράγματος (Ευπαραμόρφωτα και Δυσπαραμόρφωτα)

Δράση Σεισμού

Σχετική μετακίνηση

- >2 του μέσου βέλους του υποκείμενου ορόφου  $\Delta_{op}$
- <0.5· $\Delta_{op}$

**Ευρωκώδικας: Ιδίου ορισμός**

Σχίμα Σ 5.3.3: Μεταφορά εφελκυστικού φορτίου από τους τοίχους που δίδεται κάθετα προς τη διεύθυνση του σεισμού, στους παράλληλους προς τη δράση του σεισμού τοίχους. Οι δυνάμεις αυτές μπορεί να προκαλέσουν αποκόλληση των τοίχων στις γωνίες.

Σχίμα Σ.5.3.4(ε): Προσομοίωμα υψίκορμης δοκού για την επίλυση του διαφράγματος σε οριζόντια φορτία

**Εκτός Επιπέδου Δράση: Σημασία της:**

$A_{L,w}$  Επιφάνεια τοίχου.  
 $\lambda$ : συνθήκες στήριξης

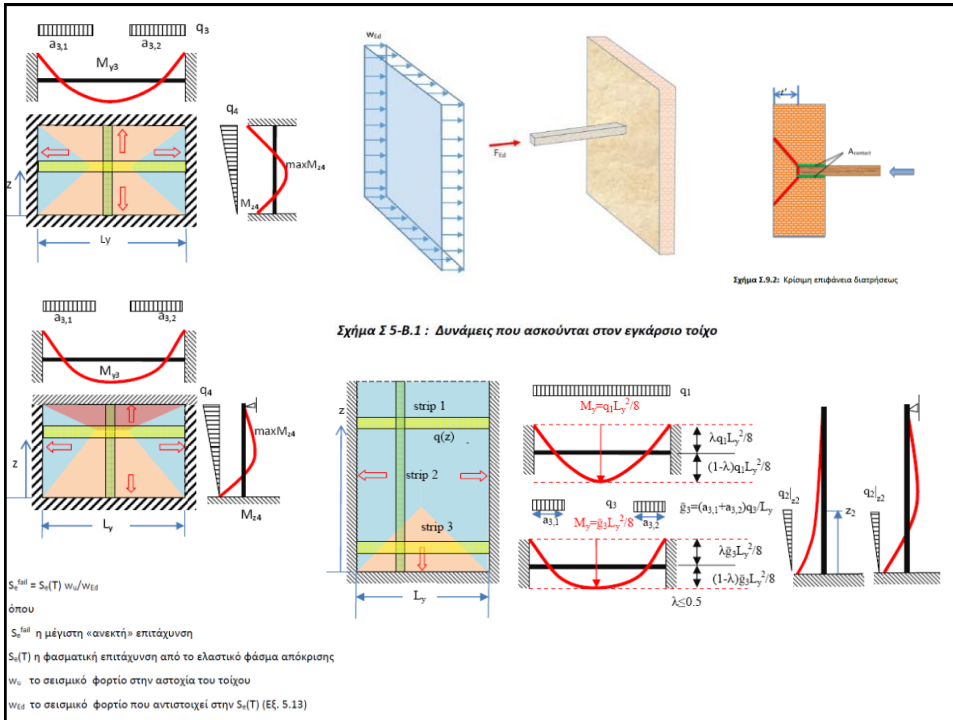
(a) Stress superposition at cracking

(b) Ultimate Flexural Strength

$$F_{Ed} = \lambda \cdot W_{Ed} \cdot A_{L,w}$$

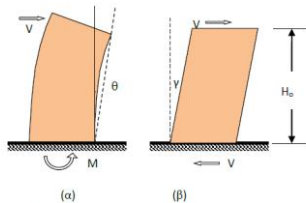
Horizontal cracking  
**Vertical strips**

Vertical cracking  
**Horizontal strips**

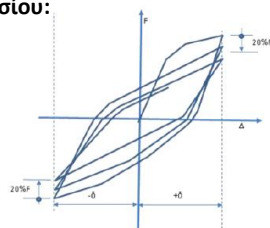


### Συμπεριφορά Επιμέρους Δομικών Στοιχείων Κεφάλαιο 7 Έλεγχος: Κεφάλαιο 9

Για προσομοίωση πεσών ως στοιχεία πλαισίου:



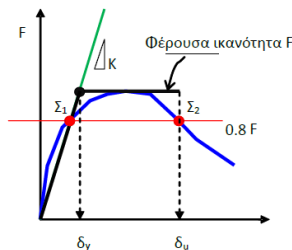
Σχ. Σ7.1.1 Παραμόρφωση εντός επιπέδου του τοίχου



Σχ. Σ7.1.2(α) Ορισμός περιβάλλουσας

**Γραμμικοποιημένο διάγραμμα Αντίστασης Στοιχείου:**

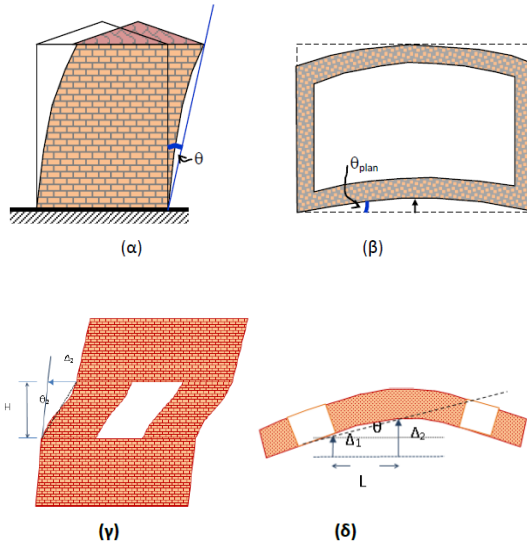
Δυσκαμψία Ανιόντα κλάδου:  
 ΚΑΔΕΤ: Κλίση που αντιστοιχεί στο 80% της αντοχής.  
 Ευρωκώδικας: στο 70% της αντοχής



**Σχήμα Σ7.1.2(β):** Ορισμός παραμόρφωσης ονοειε διαρροής και αστοχίας στην καμπύλη αντίστασης τοίχου

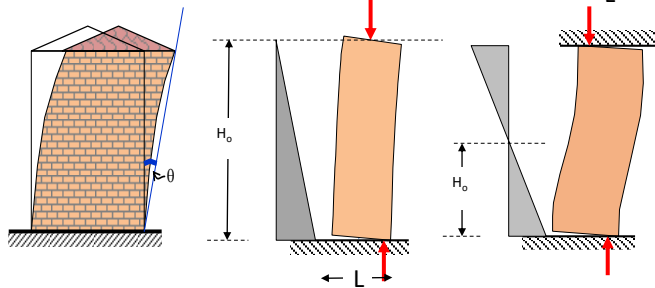
### Συμπεριφορά Επιμέρους Δομικών Στοιχείων Κεφάλαιο 7

Για χωρική προσομοίωση συνεχούς μέσου (πεπερασμένα στοιχεία κελύφους ή όγκου):



- Ορισμός Αντοχής Διαρροής,  $F_y$  στοιχείου (και προσδιορισμός μορφής αστοχίας)

**Εντός Επιπέδου: Ελεγχόμενη από Κάμψη**



$$F_{y,fl} = \frac{L \cdot (1 - 1,15 \cdot v_d)}{2H_o} \cdot N$$

• Ορισμός Αντοχής Διαρροής,  $F_y$  στοιχείου (και προσδιορισμός μορφής αστοχίας)

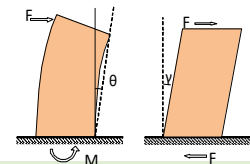
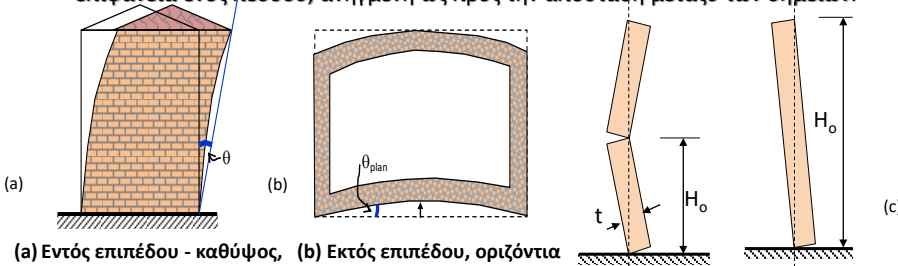
**Εντός Επιπέδου: Ελεγχόμενη από Διάτμηση**

$F_{y,v} = f_{vd} L't$        $f_{vd} = \min(f_{vd,t}, f_{vd,s}) \leq 0,065 f_m$

$f_{vd,t} = \sqrt{f_{wtd}} \cdot (f_{wtd} + v_d \cdot f_d)$        $f_{vd,s} = f_{v0} + \mu \cdot (v_d \cdot f_d)$

**Ορισμός κριτηρίων αποδοχής σε όρους σχετικής στροφής:**

Σχετική μετακίνηση μεταξύ δύο σημείων κατά μήκος κατακόρυφου ή οριζόντιας ευθείας στην επιφάνεια ενός πεσσού, ανηγμένη ως προς την απόσταση μεταξύ των σημείων.



**Καμπτικά:** Διαρροή:  $\theta_v = 0.15\%$   
 Αστοχία:  $\theta_u = 0.008 \cdot H_o / L$

**Διατμητικά:**  
 Διαρροή:  $\gamma_v = 0.20\%$   
 Αστοχία:  $\gamma_u = 0.40\%$

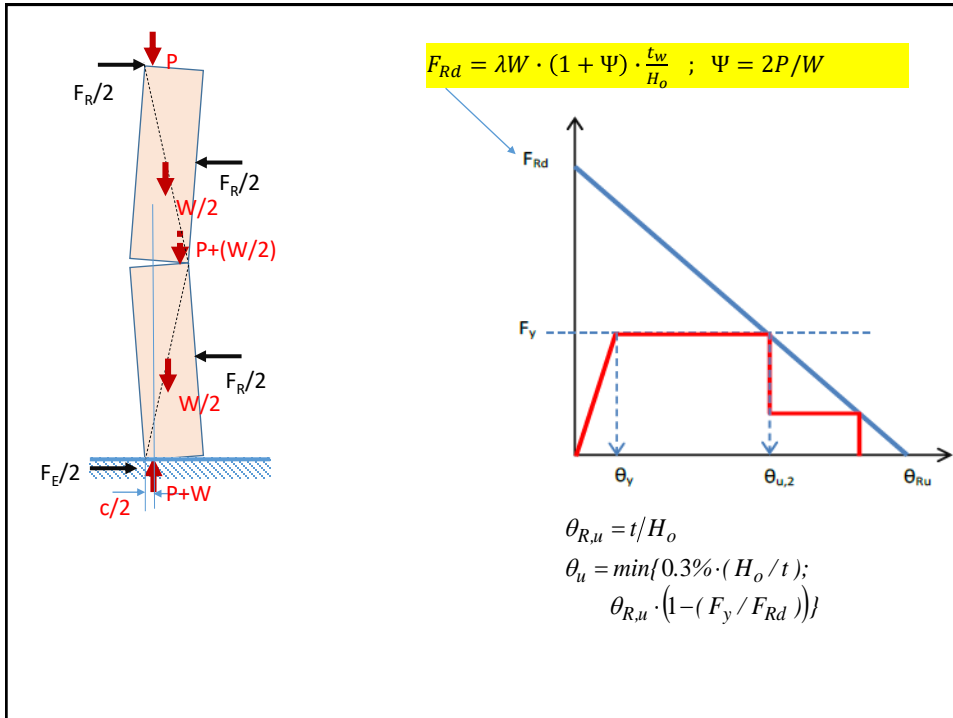
Διαρροή:  $\theta_{plan,y} = 0.2\%$   
 Πεσσοί που ελέγχονται από τέμνουσα (άκαμπτα διαφράγμα.)  
 Αστοχία:  $\theta_{plan,u} = 0.72\%$  συμπαγείς πλινθοί; **s.d = 35%**  
 $\theta_{plan,u} = 0.45\%$  διάτρητα; **s.d. 30%**  
 $\theta_{plan,u} = 0.6\%$  πέτρα; **s.d 25%**

(c) Εκτός επιπέδου δράση ( $H_o$ : από το σημείο μέγ. μετακίνησης μέχρι το σημείο περιστροφής)

$$\theta_{R,u} = t / H_o$$

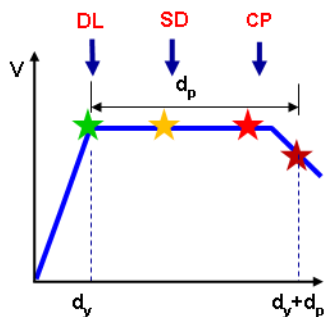
$$\theta_u = \min\{0.3\% \cdot (H_o / t); \theta_{R,u} \cdot (1 - (F_y / F_{Rd}))\}$$

Δύναμη που απαιτείται για να προκαλέσει εκτός επιτ. αστοχία στον τοίχο



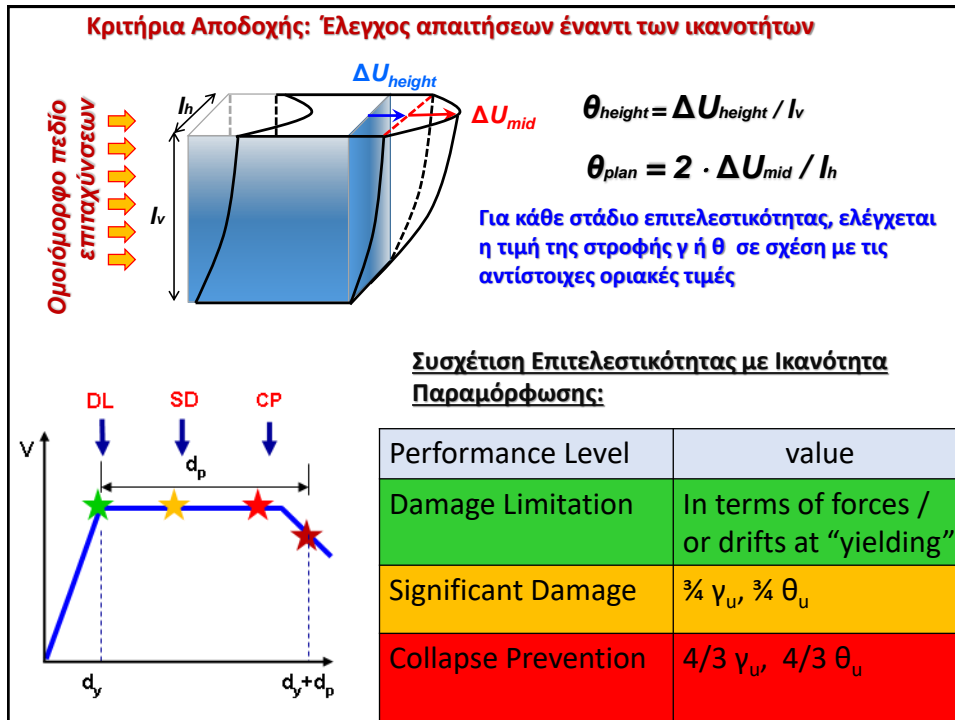
## Κεφάλαιο 9: Έλεγχος Ανίσωσης Ασφαλείας

### Κριτήρια Αποδοχής: Έλεγχος απαιτήσεων έναντι των ικανοτήτων



9.1.3 α) Αν η αποτίμηση έχει σκοπό την επιβεβαίωση της στοχευόμενης ικανότητας, όλα τα δομικά στοιχεία θα πρέπει να ικανοποιούν τα σχετικά κριτήρια ελέγχου.

β) Αν η αποτίμηση γίνεται για την λήψη αποφάσεων για τον ανασχεδιασμό, όλα τα δομικά στοιχεία πρέπει να ικανοποιούν τα σχετικά κριτήρια ελέγχου μετά τον ανασχεδιασμό.



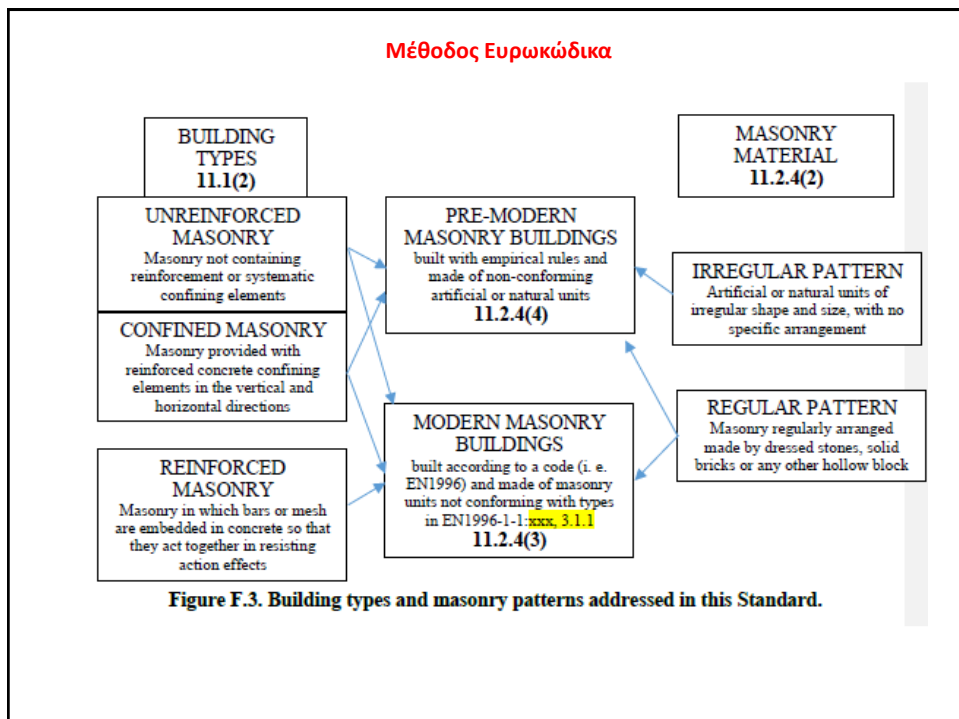
**Συμπερασματικά από την Μεθοδολογία της Ανάλυσης & Αποτίμησης διακρίνονται τρία κύρια στάδια, ασχέτως μεθόδου προσομοίωσης του φορέα και της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών**

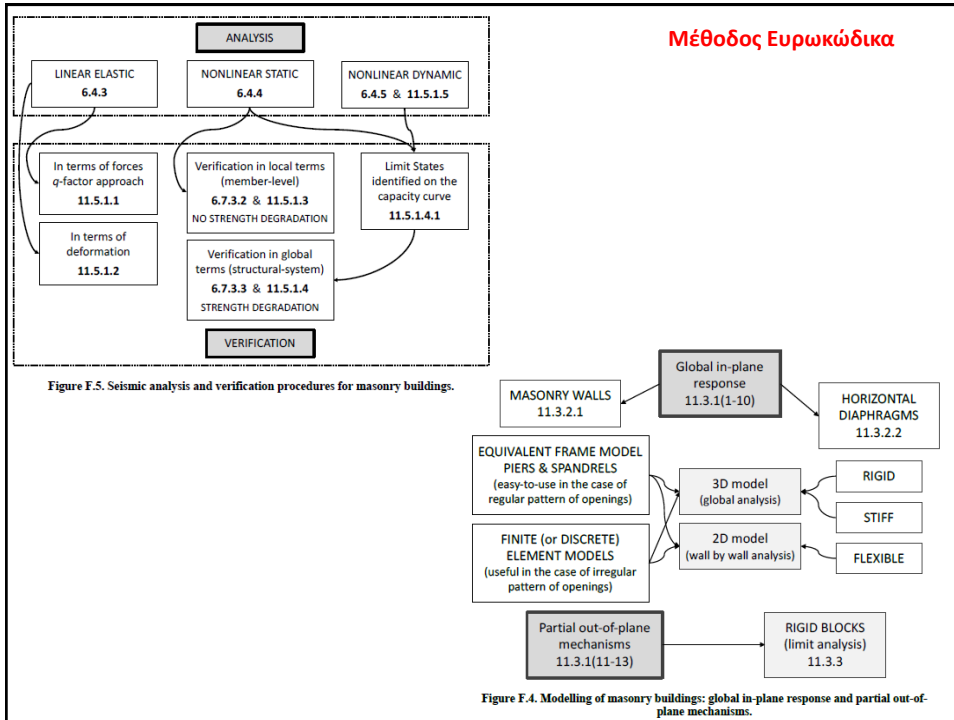
• **Βήματα:**

- A. Προσδιορισμός της κατανομής οριζόντιων μετατοπίσεων του κτιρίου από  $\Phi T$
- B. Εκτιμάται για το κτίριο (είτε ως πολυβάθμιο είτε ως ισοδύναμο μονοβάθμιο) η κατανομή των σεισμικών μετατοπίσεων στο φορέα για την μέγιστη μετατόπιση κορυφής
- C. Τοπική απαίτηση σε όρους παραμόρφωσης και επιβολή ελέγχων για την εύρεση του σταδίου επιτελεστικότητας (έκταση βλάβης)



Ικανότητα παραμόρφωσης σε όρους στροφής, για εντός και εκτός επιπέδου δράση		
Type of Seismic Response	Drift Capacity at Failure	
In-plane, wall piers that are part of the system of lateral resistance.	Elements controlled by Flexure: $\theta_{u,in} = 0.008 \cdot H_o/L$	
	Elements controlled by Shear: $\theta_{u,in} = 0.004$	
Out-of-plane	$\theta_{u,out} = \min \{ \theta_{u,1}, \theta_{u,2} \}$	
Όρια Επιτελεστικότητας για εντός και εκτός επιπέδου δράση		
Type of Seismic Response	Relative Drift Ratio Limits	Performance Level
In-plane	$\theta_{in} < 0.15\%$	Operational/Immediate Occupancy
	$0.15\% \leq \theta_{in} < 0.75 \cdot \theta_{u,in}$	Significant but Repairable Damage
	$0.75 \cdot \theta_{u,in} \leq \theta_{in} < 1.33 \cdot \theta_{u,in}$	Life-Safe/No collapse
Out-of-plane	$\{ \theta_{out-v}; \theta_{out-h} \} < 0.20\%$	Operational/Immediate Occupancy
	$0.20\% \leq \{ \theta_{out-v}; \theta_{out-h} \} < 0.75 \cdot \theta_{u,out}$	Significant but Repairable Damage
	$0.75 \cdot \theta_{u,out} \leq \{ \theta_{out-v}; \theta_{out-h} \} < 1.33 \cdot \theta_{u,out}$	Life-Safe/No collapse





**Μέθοδος Ευρωκώδικα**

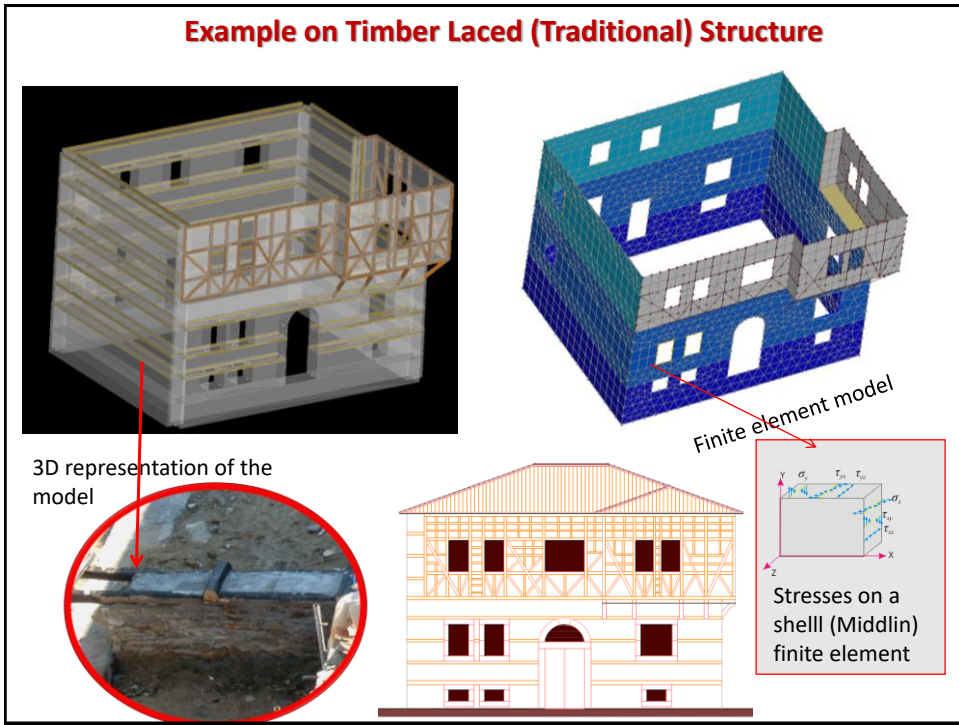
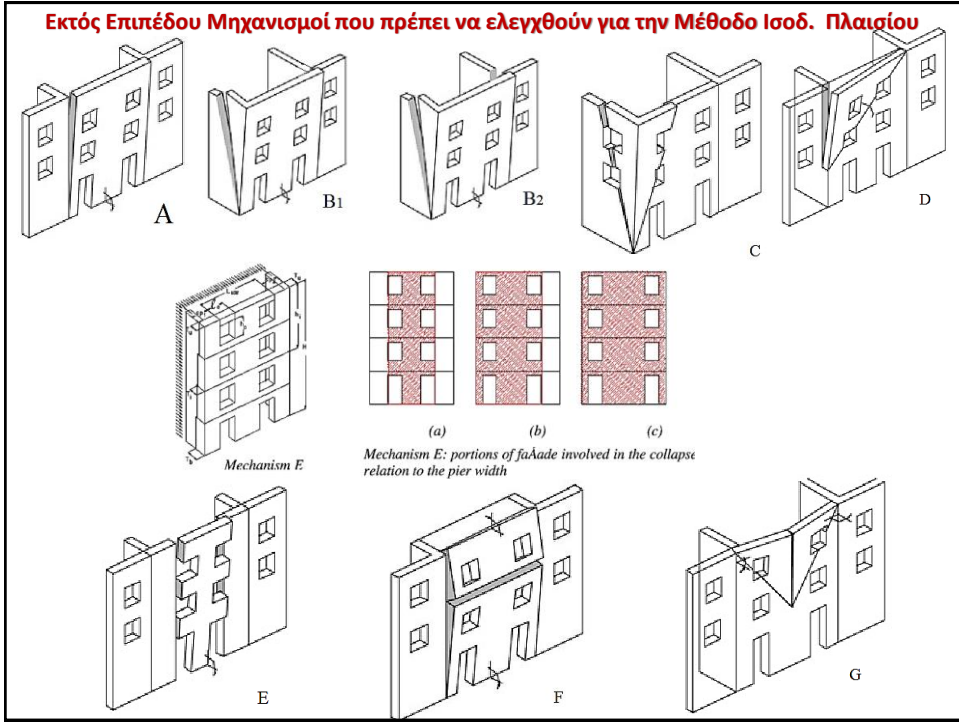
**Table F.1. In-plane shear resistance of masonry walls.**

MASONRY	WALL ELEMENTS	FLEXURAL	SHEAR SLIDING	DIAGONAL CRACKING (pre-modern only)
REGULAR (modern & pre-modern)	PIERS	11.4.1.1.2(1)	11.4.1.1.3(1-3)	11.4.1.1.4(3)
	SPANDRELS	11.4.1.1.2(4-6)	-	11.4.1.1.4(3)
IRREGULAR (pre-modern)	PIERS	11.4.1.1.2(1)	-	11.4.1.1.4(2)
	SPANDRELS	11.4.1.1.2(4-6) ( $f_{hr} = 0$ )	-	11.4.1.1.4(2)

**Table F.2. In-plane deformation capacities of masonry walls.**

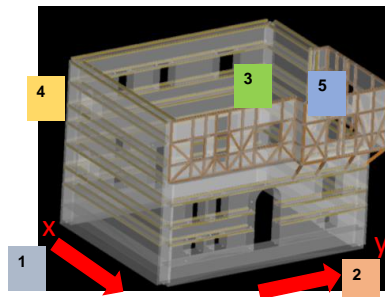
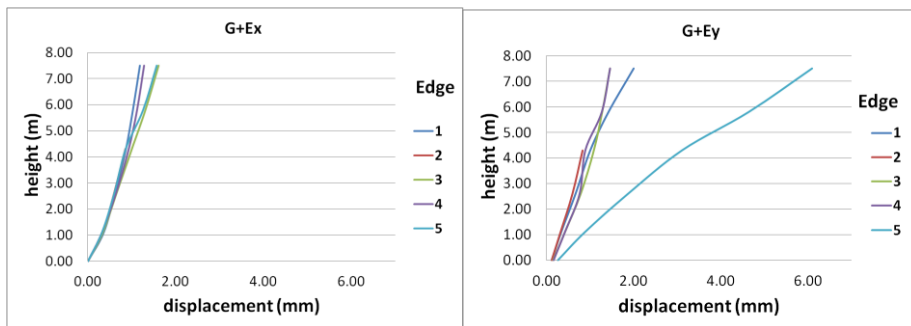
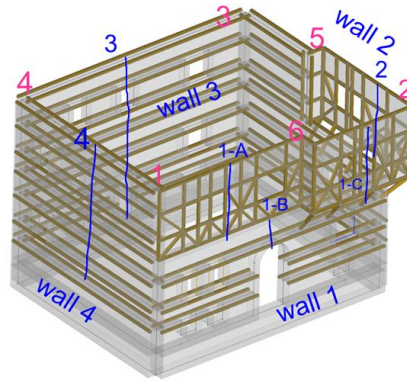
MASONRY	WALL ELEMENTS	FLEXURAL	SHEAR SLIDING (11.4.1.2.3(1))	DIAGONAL CRACKING (pre-modern only)
REGULAR (modern & pre-modern)	PIERS	0,01(1-ν) 11.4.1.2.2(1)	modern: 0,004 pre-modern: 0,008 (sliding) 0,005 (units failure)	0,006 11.4.1.2.4(1)
	SPANDRELS	0,016 (good lintel) 0,012 (other cases) 11.4.1.2.2(2)	-	0,006 11.4.1.2.4(2)
IRREGULAR (pre-modern)	PIERS	0,01(1-ν) 11.4.1.2.2(1)	-	0,005 11.4.1.2.4(1)
	SPANDRELS	0,016 (good lintel) 0,012 (other cases) 11.4.1.2.2(2)	-	0,005 11.4.1.2.4(2)

**Εκτός επιπέδου:**  
-έλεγχος μεμονωμένων πλευρών σε διάφορους εκτός επιπέδου μηχανισμούς



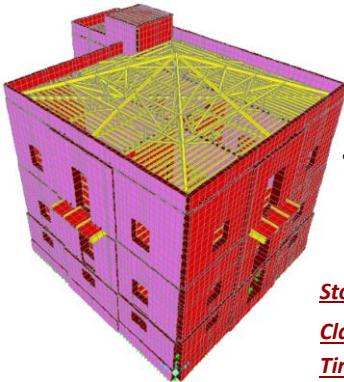
### edge displacements

- Analysis of 3d F.E model of the structure for combination of the gravity loads and horizontal acceleration 1.0g. (along x and y axes)
- Construction of displacement – height plots of critical vertical sections



### Application Example of Rapid Procedure

- Two storey neoclassical building in Thessaloniki, with basement and timber roof.
- Constructed in **1895**. Underwent various uses – the last was as a school building.
- In the **1978 earthquake ( $M_w=6.5$ )** the building developed **minor cracking** near the openings.
- School Function **was interrupted in 2004**.  
**Building needs assessment prior to rehabilitation**



- 3-D model using shell elements, linear elements for timber and steel beams (4856 linear & 16111 4-noded shells)

#### • Material Properties:

**Stone Masonry:**  $f_k = 5.5$  MPa, Specific Weight = 28.5 kN/m<sup>3</sup>

**Clay bricks:**  $f_k = 4.0$  MPa, Specific Weight = 18.0 kN/m<sup>3</sup>

**Timber:**  $E = 10$  GPa, **Iron beams:**  $E = 150$  GPa

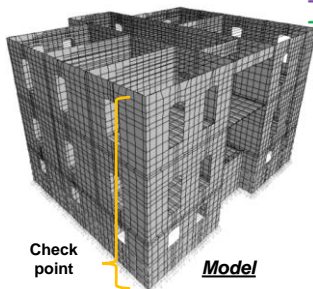
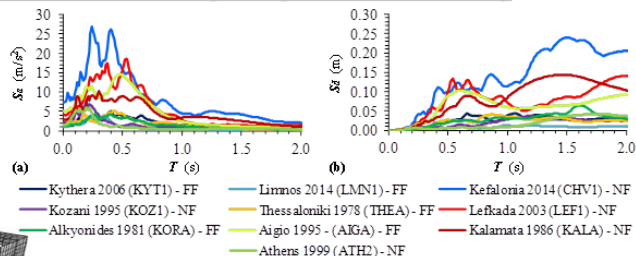
**Roofing:** 1.5 kN/m<sup>2</sup>

**Moving loads:** 3.5 kN/m<sup>2</sup>

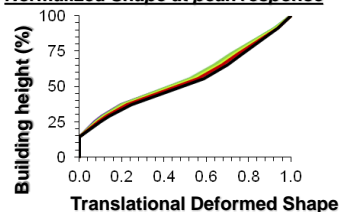
### Step 1: Estimate shape $\Phi$ of translational response at peak roof displacement

- Determine using linear elastic static analysis, the translational (lateral) deformed shape of the building when acted upon by its self weight → a uniform field of acceleration =  $g$  acting in the direction of the earthquake action.

#### Example: neoclassical URM building dating from the 19<sup>th</sup> Century

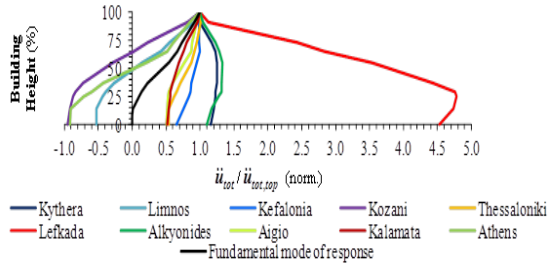
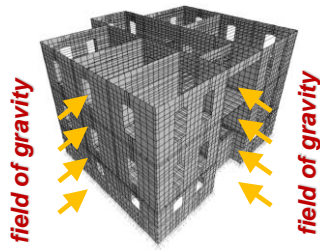


#### Normalized Shape at peak response



**Step 1: Estimate shape of translational response at peak roof displacement**

- **WHY? Easy to conduct:** Just define the direction of the field of gravity in the horizontal direction. Superposition holds → add any effects from true self weight.
- **Basis: Rayleigh's Principle. Confirmed by Results**
- **Importance: Engage the mass wherever it may lie distributed**



field of gravity

field of gravity

Check Point

**Maximum Mass Participation**

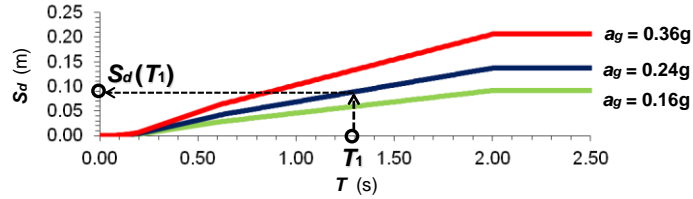
$$C_m = \frac{\left( \sum_{i=1}^N m_i \cdot U_i \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \sum_{i=1}^N m_i \cdot U_i^2}$$

- **Shape will Account for Torsional Effects**

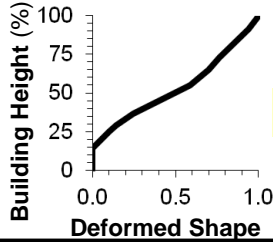


**Step 2: Estimate Peak Building Displacement Response (from seismic design spectra)**

- **With the approximated fundamental period**  $T_1 = 0.05 \cdot H^{3/4}$   
(Up to 20m tall building in the constant acceleration range)
- **Estimate spectral displacement of the building:**  $S_d(T_1) = S_a(T_1) \times (T_1/2\pi)^2$



- **Step 3: Distribute Deformation demands and check against acceptance criteria:**

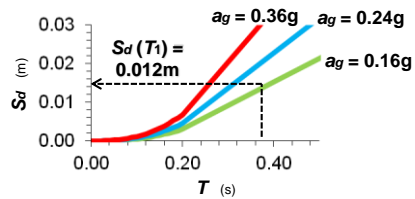


Produce Building displacement profile:  $\Phi \times \Gamma \times S_d(T_1)$

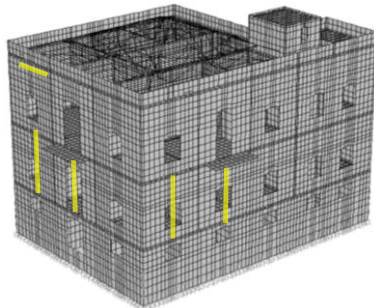
**Application Example**

- **Critical relative drift ratios:**

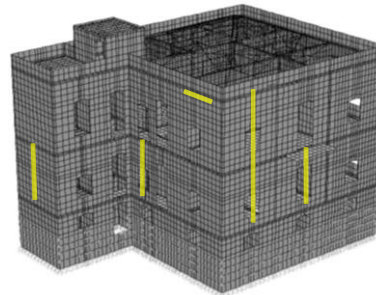
$T_1 = 0.05 \cdot H^{3/4} \Rightarrow T_1 = 0.39 \text{ s}$



**Projected locations of Cracking**



South-East Facade



North-West Facade

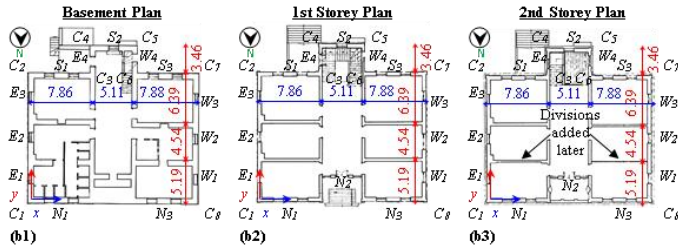
**Application Example: Building Dated 1893, sustained 1978 Thessaloniki Earthquake**



(a1)



(a2)

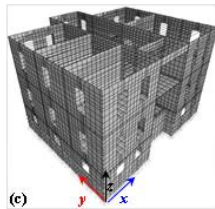


(b1)

(b2)

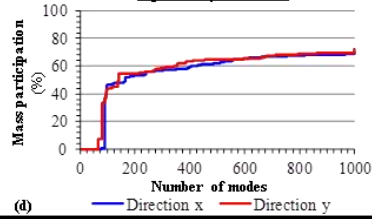
(b3)

**3D F.E. Model**



(c)

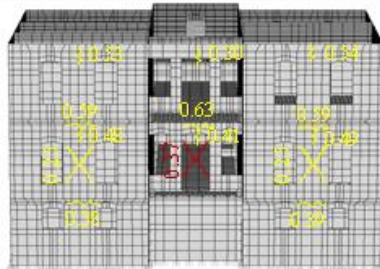
**Eigen Analysis Results**



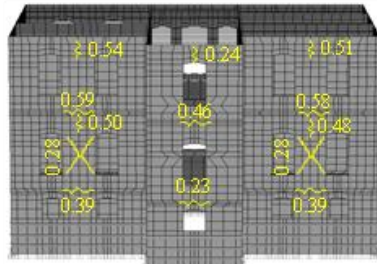
(d)

**Comparison with the actual cracking patterns**

**North Facade**



**South Facade**



vertical lines:  $\theta_{out-v}$ ; horizontal lines:  $\theta_{out-h}$ ; X-shapes:  $\theta_{in}$

yellow: Significant but Repairable Damage ; red: Life-Safe/No collapse performance level.



