



ΗΜΕΡΙΔΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ
ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)
Θεσσαλονίκη, 4-7-2012

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος – Τμ. Κεν. Μακεδ. 
Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας 

Κεφάλαιο 5: Ανάλυση πριν και μετά την επέμβαση



Καθηγητής Α.Ι. Κάππος
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Περιεχόμενα ΚΑΝΕΠΕ

1. Σκοπός – Πεδίο εφαρμογής – Υποχρεώσεις & ευθύνες (10)
2. Βασικές αρχές, κριτήρια και διαδικασίες (20)
3. Διερεύνηση, τεκμηρίωση φέροντος οργανισμού υφισταμένου δομήματος (23)
4. Βασικά δεδομένα αποτίμησης και ανασχεδιασμού (40)
5. **Ανάλυση πριν και μετά την επέμβαση (42)**
6. Βασικά προσομοιώματα συμπεριφοράς (31)
7. Προσδιορισμός συμπεριφοράς δομικών στοιχείων (56)
8. Διαστασιολόγηση επεμβάσεων (69)
9. Έλεγχοι ικανοποίησης κριτηρίων επιτελεστικότητας (17)
10. Απαιτούμενα περιεχόμενα μελέτης (6)
11. Κατασκευή-διασφάλιση ποιότητας-συντήρηση (12)

(με περιεχόμενα κλπ. περίπου 350 σελίδες!)

Contents	Page
FOREWORD	4
1 GENERAL	9
1.1 SCOPE.....	9
1.2 NORMATIVE REFERENCES	10
1.2.1 General reference standards	10
1.3 ASSUMPTIONS.....	10
1.4 DISTINCTION BETWEEN PRINCIPLES AND APPLICATION RULES	10
1.5 DEFINITIONS.....	10
1.6 SYMBOLS	10
1.6.1 General.....	10
1.6.2 Symbols used in Annex A.....	10
1.6.3 Symbols used in Annex B.....	12
1.7 S.I. UNITS.....	13
2 PERFORMANCE REQUIREMENTS AND COMPLIANCE CRITERIA ...	14
2.1 FUNDAMENTAL REQUIREMENTS	14
2.2 COMPLIANCE CRITERIA	15
2.2.1 General.....	15
2.2.2 Limit State of Near Collapse (NC)	15
2.2.3 Limit State of Significant Damage (SD)	16
2.2.4 Limit State of Damage Limitation (DL).....	16
3 INFORMATION FOR STRUCTURAL ASSESSMENT	17
3.1 GENERAL INFORMATION AND HISTORY	17
3.2 REQUIRED INPUT DATA	17
3.3 KNOWLEDGE LEVELS	18
3.3.1 Definition of knowledge levels.....	18
3.3.2 KL1: Limited knowledge.....	19
3.3.3 KL2: Normal knowledge.....	20
3.3.4 KL3: Full knowledge.....	20
3.4 IDENTIFICATION OF THE KNOWLEDGE LEVEL	21
3.4.1 Geometry	21
3.4.2 Details.....	22
3.4.3 Materials.....	22
3.4.4 Definition of the levels of inspection and testing	23
3.5 CONFIDENCE FACTORS	23
4 ASSESSMENT	24
4.1 GENERAL	24
4.2 SEISMIC ACTION AND SEISMIC LOAD COMBINATION	24
4.3 STRUCTURAL MODELLING.....	24
4.4 METHODS OF ANALYSIS	25
4.4.1 General.....	25
4.4.2 Lateral force analysis	25
4.4.3 Multi-modal response spectrum analysis	26
4.4.4 Nonlinear static analysis	26
4.4.5 Non-linear time-history analysis	27
4.4.6 q-factor approach	27

ΕΛΟΤ EN 1998-3:2005

Ευρωκώδικας 8:

Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών – Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας κτιρίων και επεμβάσεις

4.4.7	Combination of the components of the seismic action	27
4.4.8	Additional measures for masonry infilled structures	28
4.4.9	Combination coefficients for variable actions	28
4.4.10	Importance classes and importance factors	28
4.5	SAFETY VERIFICATIONS	28
4.5.1	Linear methods of analysis (lateral force or modal response spectrum analysis)	28
4.5.2	Nonlinear methods of analysis (static or dynamic).....	29
4.5.3	q-factor approach	29
4.6	SUMMARY OF CRITERIA FOR ANALYSIS AND SAFETY VERIFICATIONS	29
5	DECISIONS FOR STRUCTURAL INTERVENTION	31
5.1	CRITERIA FOR A STRUCTURAL INTERVENTION	31
5.1.1	Introduction	31
5.1.2	Technical criteria	31
5.1.3	Type of intervention.....	31
5.1.4	Non-structural elements	32
5.1.5	Justification of the selected intervention type	32
6	DESIGN OF STRUCTURAL INTERVENTION	34
6.1	RETROFIT DESIGN PROCEDURE	34
ANNEX A	(INFORMATIVE) REINFORCED CONCRETE STRUCTURES	35
ANNEX B	(INFORMATIVE) STEEL AND COMPOSITE STRUCTURES	55
ANNEX C	(INFORMATIVE) MASONRY BUILDINGS	81

FEMA356: PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS

3.	Analysis Procedures	.....	3-1
3.1	Scope	.....	3-1
3.2	General Analysis Requirements	.....	3-1
3.2.1	Analysis Procedure Selection	.....	3-1
3.2.2	Mathematical Modeling	..... → Κεφ. 7 ΚΑΝΕΠΕ	3-2
3.2.3	Configuration	.....	3-4
3.2.4	Diaphragms	.....	3-4
3.2.5	P-Δ Effects	.....	3-5
3.2.6	Soil-Structure Interaction	.....	3-6
3.2.7	Multidirectional Seismic Effects	.....	3-7
3.2.8	Component Gravity Loads for Load Combinations	.....	3-8
3.2.9	Verification of Design Assumptions	.....	3-8
3.2.10	Overturning	.....	3-9
3.3	Analysis Procedures	.....	3-10
3.3.1	Linear Static Procedure	.....	3-10
3.3.2	Linear Dynamic Procedure	.....	3-16
3.3.3	Nonlinear Static Procedure	.....	3-18
3.3.4	Nonlinear Dynamic Procedure	.....	3-24
3.4	Acceptance Criteria	.....	3-25
3.4.1	General Requirements	.....	3-25
3.4.2	Linear Procedures	.....	3-25
3.4.3	Nonlinear Procedures	.....	3-27

κανονισμός: ASCE 41-06 'Seismic Rehabilitation of Existing Buildings'

Κεφ. 5 Ανάλυση πριν και μετά την επέμβαση

- Σε σχέση με τις μεθόδους ανάλυσης (όπως και για σειρά άλλων θεμάτων) *«οι απαιτήσεις και προβλέψεις των κανονισμών για νέες κατασκευές δεν είναι πάντα εφικτό να ενσωματώνονται στους κανονισμούς που αφορούν υφιστάμενες κατασκευές. Γι' αυτό, προκειμένου περί υφισταμένων κατασκευών, είναι θεμιτό και σκόπιμο να εισάγονται και πρόσθετες έννοιες, απαιτήσεις και προβλέψεις, πάντοτε βεβαίως στο πλαίσιο των ίδιων βασικών αρχών»*
- **Επιτρεπόμενες μέθοδοι ανάλυσης (§5.1):**
 - **Ελαστική** (ισοδύναμη) στατική με *καθολικό* δείκτη συμπεριφοράς (q) ή *τοπικό* δείκτη πλαστιμότητας (m)
 - Ελαστική δυναμική (με δείκτη q ή m)
 - **Ανελαστική** (*ελαστοπλαστική*) στατική
 - Ανελαστική δυναμική (ανάλυση χρονοϊστορίας)

- Επιτρέπεται η διάκριση «πρωτευόντων (κυρίων) – δευτερευόντων» στοιχείων (βλ. και Ευρωκώδικα 8)
 - **πρωτεύοντα**: κρίσιμα για την αντίσταση έναντι σεισμού
 - **δευτερεύοντα**: συνεισφορά στα κατακόρυφα, βαθμός συνεισφοράς στα σεισμικά ασήμαντος ή αναξιόπιστος
 - διαφορετικά κριτήρια επιτελεστικότητας
- Έλεγχος κριτηρίων επιτελεστικότητας σε όρους δυνάμεων (εντατικών μεγεθών) ή παραμορφώσεων, ανάλογα και με τον τρόπο αστοχίας
 - **κάμψη**: δυνάμεις (\leftrightarrow ελαστική ανάλυση), παραμορφώσεις (\leftrightarrow ανελαστική ανάλυση)
 - **διάτμηση**: πάντα δυνάμεις (λόγω οιονεί ψαθυρότητας)

- Σεισμικές δράσεις για την ανάλυση (§5.2)
 - φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων (Κεφ. 4 + ΕΚ8), ή
 - επιταχυνσιογραφήματα (κατάλληλη επιλογή, αναγωγή στην ένταση της σεισμικής δράσης αποτίμησης ή ανασχεδιασμού, βλ. και ΕΚ8, §3.2.3)
- Προσεγγιστική ανάλυση (§5.3)
 - για τους σκοπούς (μόνο) της αποτίμησης, και αν πρόκειται να ακολουθήσει επέμβαση (ενίσχυση)
 - μη-λεπτομερής ανάλυση τμημάτων του κτιρίου
 - π.χ. έλεγχος τέμνουσας κατακόρυφων στοιχείων ισογείου ($V < 0.35V_{Rdc}$), κατανομή τέμνουσας βάσης ανάλογα προς τη ροπή αδρανείας κάθε στοιχείου ή/και το εμβαδό του
 - έχει έννοια όταν το αποτέλεσμα είναι **σαφές**

Γενικές απαιτήσεις προσομοίωσης & ελέγχων (§5.4)

- Συνεκτίμηση *στρέψης* → επιτρέπεται εφαρμογή απλοποιημένης διαδικασίας βάσει $\eta = \delta_{\max}/\delta_{\text{avg}}$ (ευμενέστερη από το $\delta=1+0.6x/L_e$ του Ευρωκώδικα 8-1 [§4.3.3.2.4])
- Ελαστική ανάλυση: Προσομοίωση μόνο πρωτευόντων στοιχείων (αλλά πρέπει $K_{\delta\text{ευτ}} < 25\%K_{\text{πρωτ}}$)
 - **πρακτικά** με 2 διαδοχικές αναλύσεις, μία με στερεά και μία με αρθρωτή σύνδεση των δευτερευόντων στοιχείων με τον υπόλοιπο φορέα, και έλεγχο ισχύος του κριτηρίου του 25% στις προκύπτουσες μετακινήσεις ορόφων
- Ανελαστική ανάλυση: Προσομοίωση πρωτευόντων + δευτερευόντων + μείωση δυσκαμψίας και αντίστασης, *ή* προσομοίωση *μόνο* πρωτευόντων
- Προσομοίωση **τοιχοπληρώσεων** → §5.9

- **Μορφολογία** (ακανονικότητα) ↔ επιλογή μεθόδου ανάλυσης
 - κριτήρια στην §5.5.1.2
- **Διαφράγματα**: ευπαραμόρφωτα – δυσπαραμόρφωτα
 - κριτήρια παραμόρφωσης (ενσωμάτωση στο μοντέλο του φορέα ή αυτοτελές μοντέλο διαφράγματος)
 - κριτήρια γεωμετρίας πλάκας O/Σ
- **Αλληλεπίδραση εδάφους-θεμελίωσης (ΑΕΘ)**
 - Υποχρεωτική αν: αύξηση $T \Rightarrow$ αύξηση S_a
 - **Απλοποιημένη** διαδικασία

$$\tilde{\zeta} = \zeta_{\theta} + \frac{\zeta_0}{(\tilde{T}/T)^3}$$

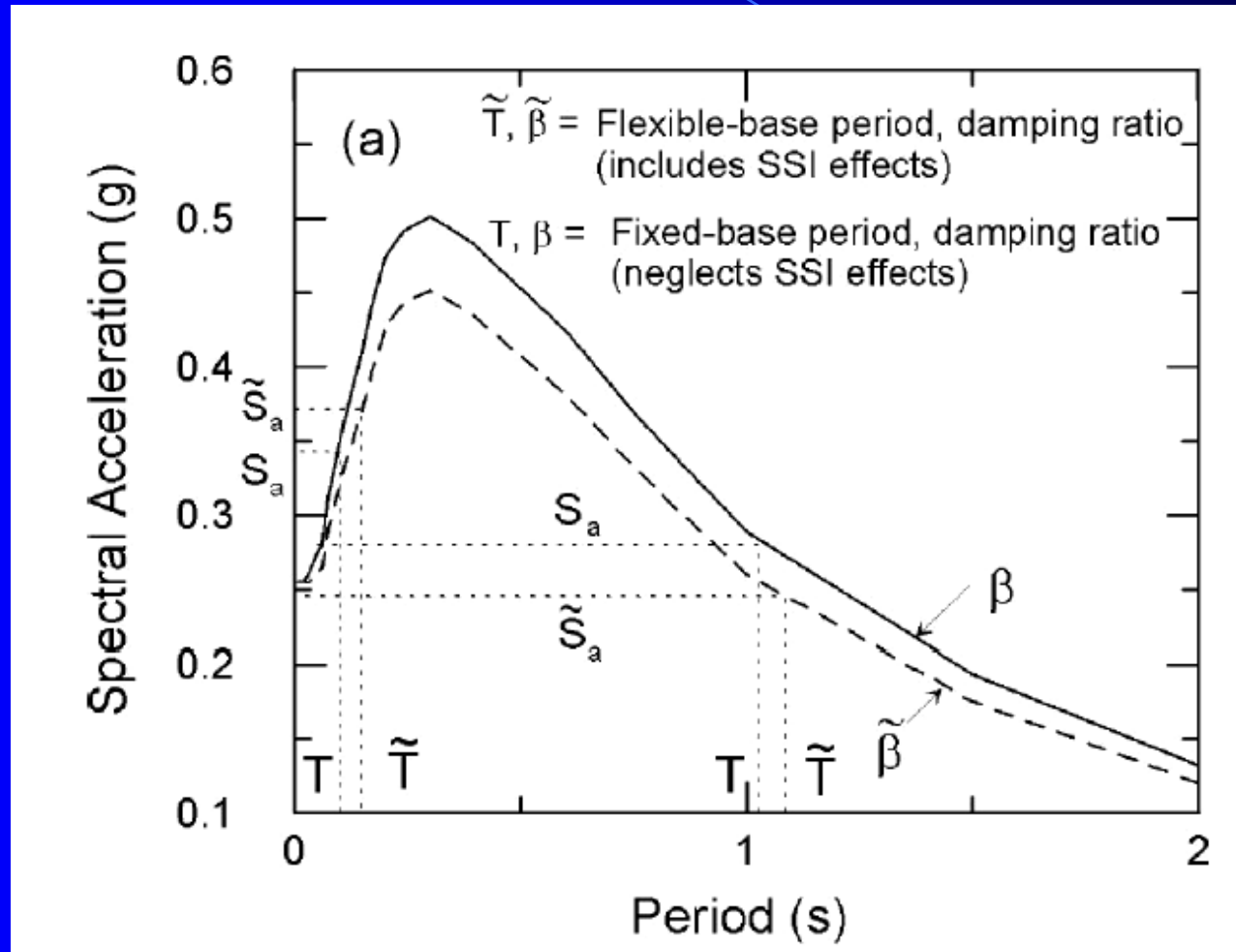
[Veletsos-Meek, 1974]

$$\tilde{T} = T_0 \sqrt{\left[1 + \frac{k_o}{k_x} \left(1 + \frac{k_x h_{ef}^2}{k_{\phi}} \right) \right]}$$

- **Λεπτομερής** προσομοίωση (σύνθετης δυναμικής δυσκαμψίας-impedance), περιορισμοί αν ληφθεί

$$\zeta = \bar{\zeta} \quad (\zeta_{\theta} \leq \zeta_{ανωδ})$$

Αύξηση ιδιοπεριόδου και (ισοδύναμης ιξώδους) απόσβεσης
λόγω αλληλεπίδρασης εδάφους-θεμελίωσης
→ Επιρροή στη δράση σχεδιασμού



ΚΑΝΕΠΕ: Μείωση σεισμικών απαιτήσεων λόγω ΑΕΘ $\leq 25\%$!

- *Επιρροές 2ας τάξεως*

- στατικές: κριτήριο θ (§4.4.2.2 ΕΚ 8-1) και για ανελαστική
- δυναμικές: επαύξηση βάσει C_3 (βλ. §5.7)

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_{\Gamma}}{V_{\text{tot}} \cdot h} \leq 0,10$$

- *Χωρική επαλληλία δράσεων*

- ενγίνει κατά ΕΚ8 (και Κεφ. 4)
- για ανελαστική στατική ανάλυση → κανόνας 100:30
 - σε κτίρια χωρίς έντονη ασυμμετρία: κάθε διεύθυνση χωριστά, αλλά 30% αύξηση στοχευόμενης μετακίνησης

- *Έλεγχος ανατροπής*

- εν γένει για τα στοιχεία της **θεμελίωσης**
- **ελαστική** ανάλυση → μέθοδος (καθολικού) q
- αν δεν ικανοποιείται ο έλεγχος, απαιτείται αξιόπιστη σύνδεση/αγκύρωση (στο έδαφος)
- **ανελαστική** ανάλυση: άμεση προσομοίωση ανύψωσης/λικνισμού (μη-γραμμικοί DOF)

Ελαστική στατική ανάλυση (§5.5)

- Προϋποθέσεις εφαρμογής:

- ιδιοπερίοδοι $T < 4 T_c$ (1.6 ÷ 3.2s για έδαφος A ÷ D, βλ. ΕΚ8-1 §3.2.2), ή 2s

- δείκτες ανεπάρκειας στοιχείων $\lambda = S_{el} / R_m < 2.5$, ή $\lambda > 2.5$ αλλά μορφολογικά κανονικό κτίριο ($\lambda \equiv \rho$ του ΕΚ8-3)

(λεπτομερή κριτήρια κανονικότητας βάσει ομαλής ροής δυνάμεων και κατανομής μέσου λ)

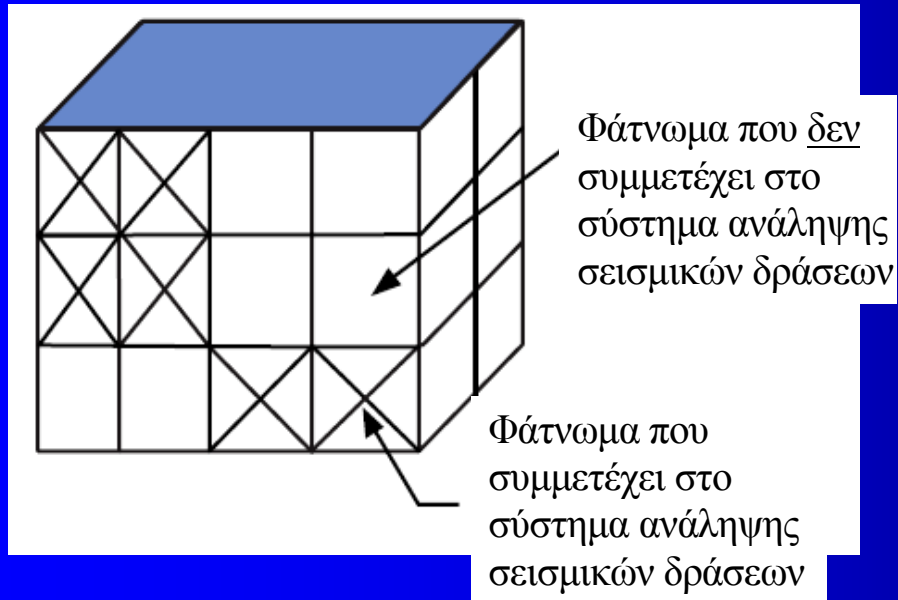
- το κτίριο διαθέτει σύστημα ανάληψης σεισμικών δράσεων σε δύο ~κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις

- ο λόγος οριζόντιας διάστασης σε έναν όροφο προς την αντίστοιχη διάσταση σε έναν γειτονικό όροφο δεν υπερβαίνει το 1.5

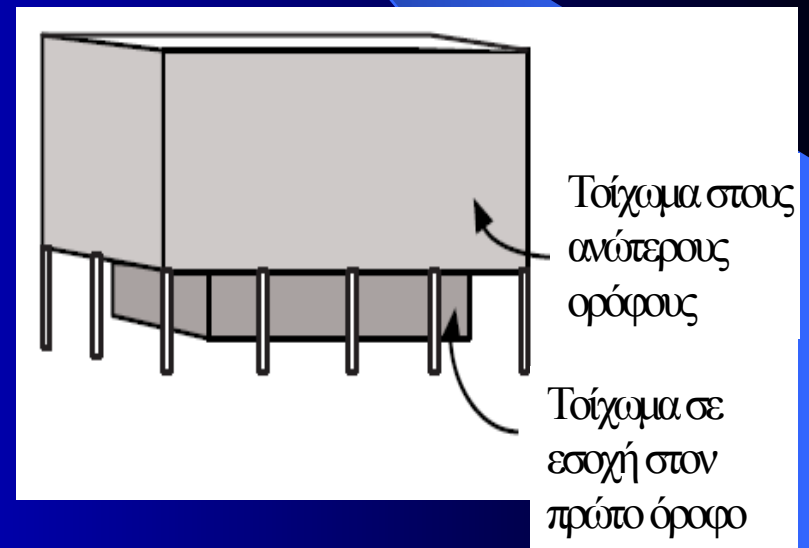
- απουσία έντονων ασυμμετριών δυσκαμψίας σε κάτοψη ή τομή (σχετικό βέλος $\delta_i < 1.5\delta_j$)

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\sum_1^n \lambda_i V_{Si}}{\sum_1^n V_{Si}}$$

Παραδείγματα ακανονικοτήτων καθύψος



διακοπή φορέα καθύψος



εκτός επιπέδου εσοχή

- Προσομοίωση φορέα με EI_{ef} (πρώτη διαρροή) → Κεφ. 7
- Τέμνουσα βάσης (ανάλογα με τη μέθοδο)
- Για **μέθοδο q**: κατά ΕΚ8, με q από Κεφ. 4
(συνιστάται για ~κανονικά κτίρια ↔ q-ομοιόμορφο)
- Για **μέθοδο m**: ελαστική τέμνουσα βάσης

$$V = C_1 C_m S_e W$$

$$C_1 = \delta_{inel} / \delta_{el} \quad (=1.0 \text{ για } T > T_2, \text{ άλλως } C_1 = [1.0 + (R-1)T_2 / T_0] / R)$$

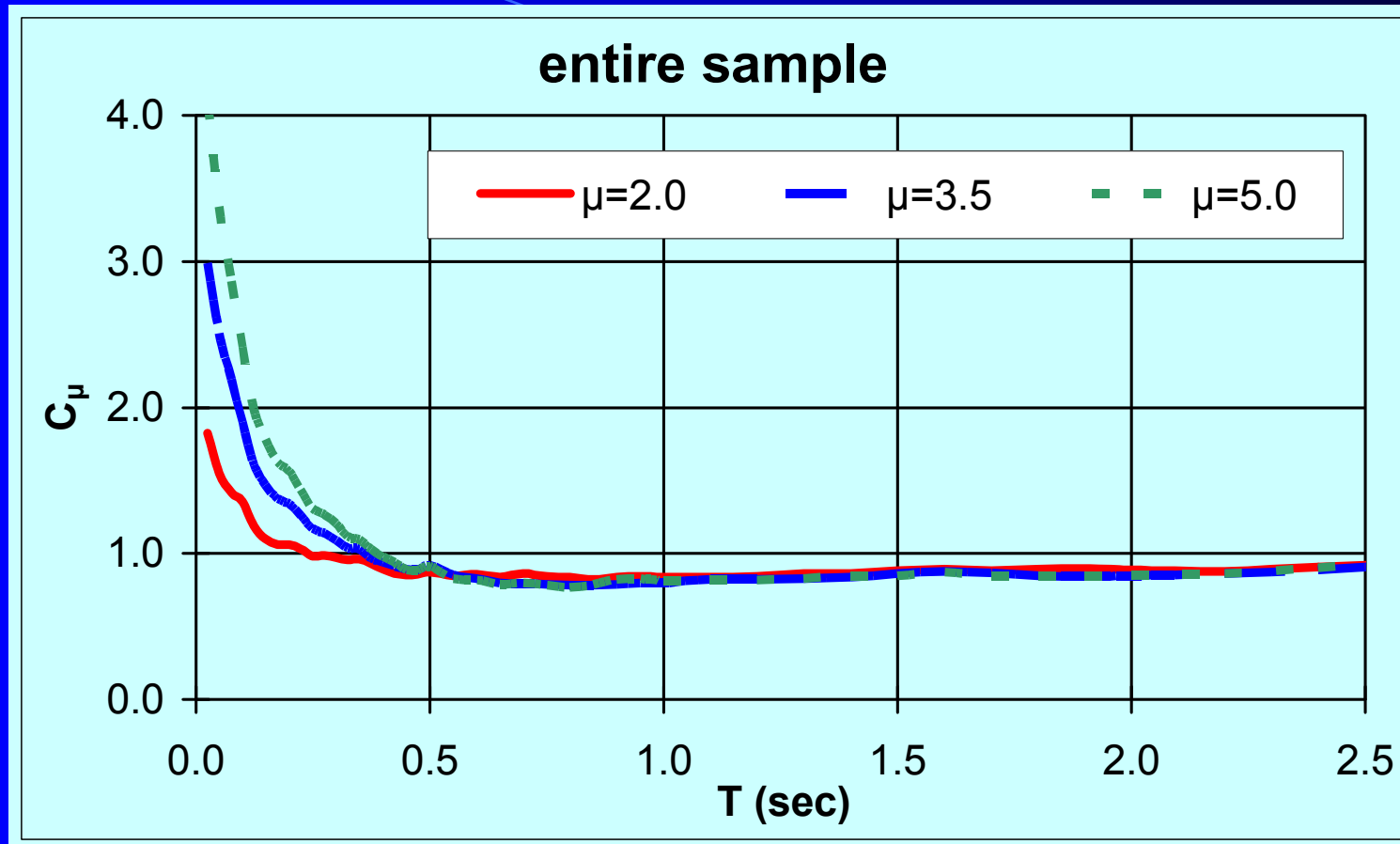
C_m : συντελεστής δρώσας μάζας (≈ 0.85)

S_e : φασματική επιτάχυνση (βλ. §3.2.2 ΕΚ8)

$$R = \frac{S_e / g}{V_y / W} \cdot C_m$$

- στόχος να προσεγγίζονται με επαρκή ακρίβεια οι **μετακινήσεις**
- Κατανομή V καθύψος βάσει ΕΚ8-1
- Αδρανειακές δυνάμεις διαφράγματος (όταν απαιτείται υπολογισμός)

$$F_{px} = \sum_{i=x}^n F_i \frac{W_x}{\sum_{i=x}^n W_i}$$



Μέσο $C_{\mu} = C_1 = S_{d,in} / S_{d,el}$ για 75 ελληνικές καταγραφές
 με $a_g \geq 0.1g$ [Athanassiadou et al., 2008]

Ελαστική δυναμική ανάλυση (§5.6)

- Προϋποθέσεις εφαρμογής:
 - δείκτες ανεπάρκειας στοιχείων $\lambda = S/R_m < 2.5$
 - ανεξαρτήτως λ , επιτρέπεται (μόνον) για την αποτίμηση αν δεν υπάρχουν ουσιώδεις βλάβες, αλλά $\gamma_{Sd,ελ.} = \gamma_{Sd} + 0.15$
- Προσομοίωση φορέα με EI_{ef}
- Φασματική ιδιομορφική ανάλυση (EK8 §4.3.3.3) *ή*
- Μέθοδος χρονοϊστορίας της απόκρισης (EK8 §4.3.3.4)
 - τουλάχιστο 3 επιταχυνσιογραφήματα
 - για ≥ 7 επιταχυνσιογραφήματα \rightarrow μέσες τιμές M, N κλπ.
- Όλα τα αποτελέσματα επί $C_1 (= \delta_{inel}/\delta_{el})$, για **μέθοδο m**

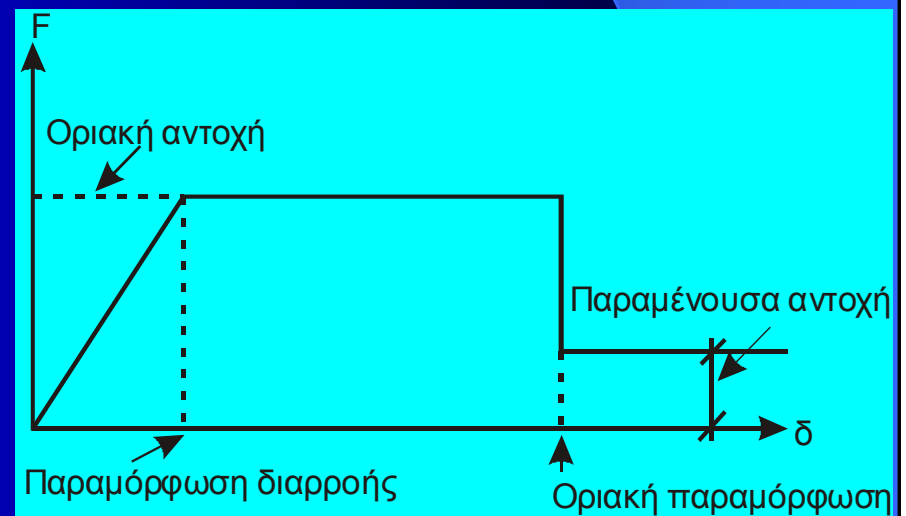
Ανελαστική στατική ανάλυση (§5.7)

- Προϋποθέσεις εφαρμογής:
 - μικρή επιρροή ανώτερων ιδιομορφών (οι τέμνουσες ορόφων που προκύπτουν από ανάλυση για ιδιομορφές που συνεισφέρουν $\geq 90\%$ υπερβαίνουν το 130% εκείνων από ανάλυση για 1^η ιδιομορφή μόνο)
 - αλλιώς θέλει και δυναμική ανάλυση (ελαστική), με αύξηση κατά 25 % των τιμών των παραμέτρων ελέγχου
 - Συνιστάται $\Sigma \Delta \geq$ «Ικανοποιητική»

- Άμεση προσομοίωση μη-γραμμικών χαρακτηριστικών έντασης-παραμόρφωσης

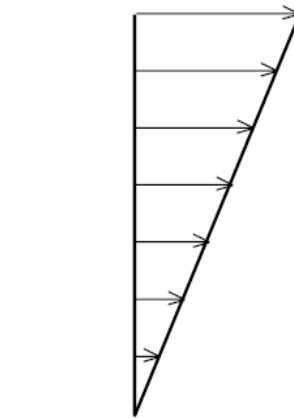
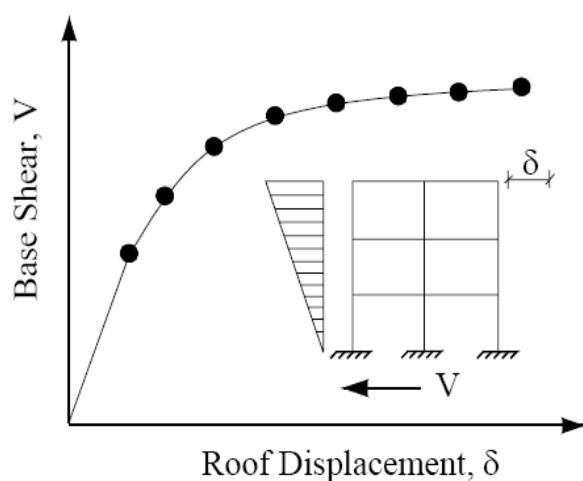
π.χ.

(βλ. και Κεφ. 7)

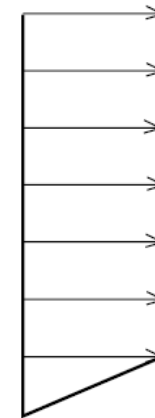


Εφαρμογή σεισμικής δράσης στην ανελαστική στατική ανάλυση

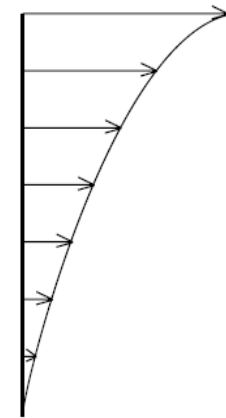
- κατανομή (‘προφίλ’) σεισμικών φορτίων στο φορέα
- ΕΚ8 (§4.3.3.4.2): πρέπει να εφαρμόζονται τουλάχιστον δύο διαφορετικές κατανομές:
 - “ομοιόμορφη” κατανομή: πλευρικά φορτία ανάλογα προς τη μάζα (σταθερή επιτάχυνση καθύψος)
 - “ιδιομορφική” κατανομή: πλευρικά φορτία συμβατά με τα δυναμικά φορτία (π.χ. 1^{ης} ιδιομορφής) που προέκυψαν από ελαστική ιδιομορφική ανάλυση



a) Triangular profile



b) Uniform profile



c) Higher-mode profile

Πλεονεκτήματα ΑΣΑ

Η ΑΣΑ παρέχει πολύτιμες πληροφορίες που δεν μπορούν να δοθούν από τις ελαστικές μεθόδους, ήτοι:

- Ρεαλιστική εκτίμηση των **δυνάμεων σε σχετικώς ψαθυρά στοιχεία**, π.χ. αξονικές δυνάμεις σε υποστυλώματα, ροπές και τέμνουσες κόμβων, κλπ.
- Το μέγεθος των **πλαστικών παραμορφώσεων (θ_p)** στα στοιχεία που διαρρέουν (σε υφιστάμενα κτίρια μπορεί να είναι και κατακόρυφα)
- Αναγνώριση των αδύνατων-κρίσιμων περιοχών καθύψος ή σε κάτοψη (**ασυνέχειες αντοχής**), όπου συγκεντρώνονται και οι απαιτήσεις θ_p
- Αναγνώριση των συνεπειών της μείωσης της αντοχής ('αστοχία') των πιο αδύνατων στοιχείων στην απόκριση του φορέα ως σύνολο
- Δυνατότητα ελέγχου της πληρότητας και επάρκειας του τρόπου ροής των δυνάμεων στο φορέα (**load path**), προσομοιώνοντας όλα τα στοιχεία που την επηρεάζουν (και τις τοιχοποιίες, αν απαιτείται...)

Περιορισμοί ΑΣΑ

Πρέπει να είναι σαφές ότι η ΑΣΑ είναι εκ φύσεως προσεγγιστική, μια και βασίζεται σε στατική φόρτιση. Ως τέτοια, δεν μπορεί να προσομοιώσει επαρκώς τα δυναμικά φαινόμενα, συγκεκριμένα:

- Οι υπολογιζόμενες παραμορφώσεις μπορεί να είναι πολύ ανακριβείς όταν η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική (ψηλά κτίρια ή και κακές μορφολογίες)
- Χρήση πολλών κατανομών δυνάμεων (συμπεριλαμβανομένων των ιδιομορφικών) περιορίζει, αλλά δεν εξαλείφει την ανακρίβεια
- Αδυναμία να αναγνωρίσει μηχανισμούς αστοχίας που δημιουργούνται μετά τον αρχικό
- Δυσχερής εφαρμογή σε χωρικούς φορείς με προβλήματα κανονικότητας → προβλήματα όπως
 - κατάλληλος ορισμός της εκκεντρότητας των φορτίων (με συνεκτίμηση της δυναμικής επιρροής)
 - κατάλληλο λογισμικό

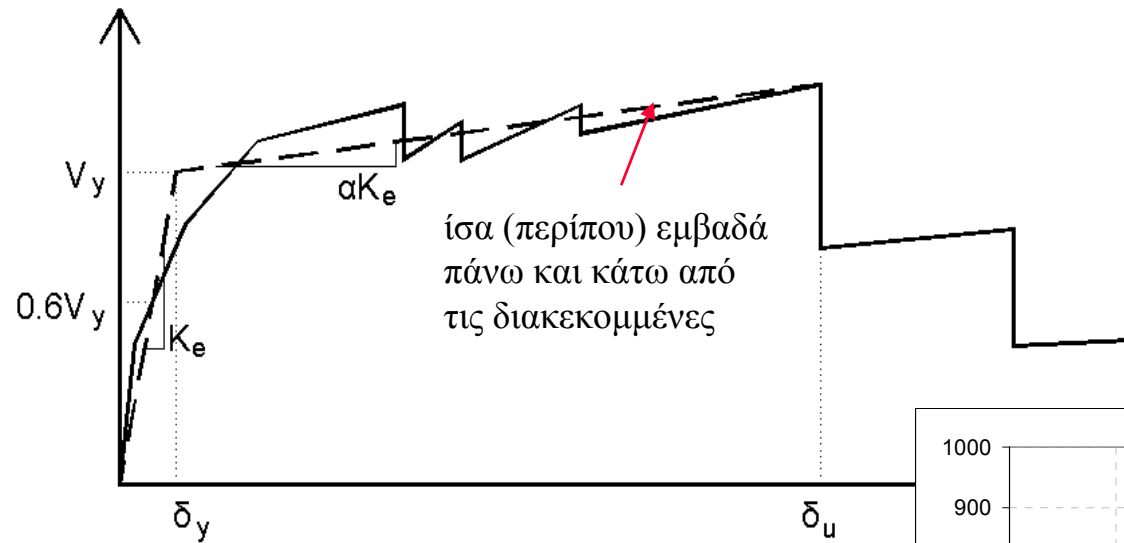
- min **δύο** κατανομές σεισμικών φορτίων καθύψος
 - «Ιδιομορφική» (μία ή περισσότερες ιδιομορφές, ανάλογα με % συμμετοχής)
 - «Ομοιόμορφη» **ή** «αναπροσαρμοζόμενη»
- Διγραμμική καμπύλη δύναμης-μετακίνησης (για υπολογισμό K_e , V_y κτιρίου)
- Δρώσα θεμελιώδης ιδιοπερίοδος

$$T_e = T \sqrt{\frac{K_0}{K_e}}$$

ελαστική πλευρική δυσκαμψία

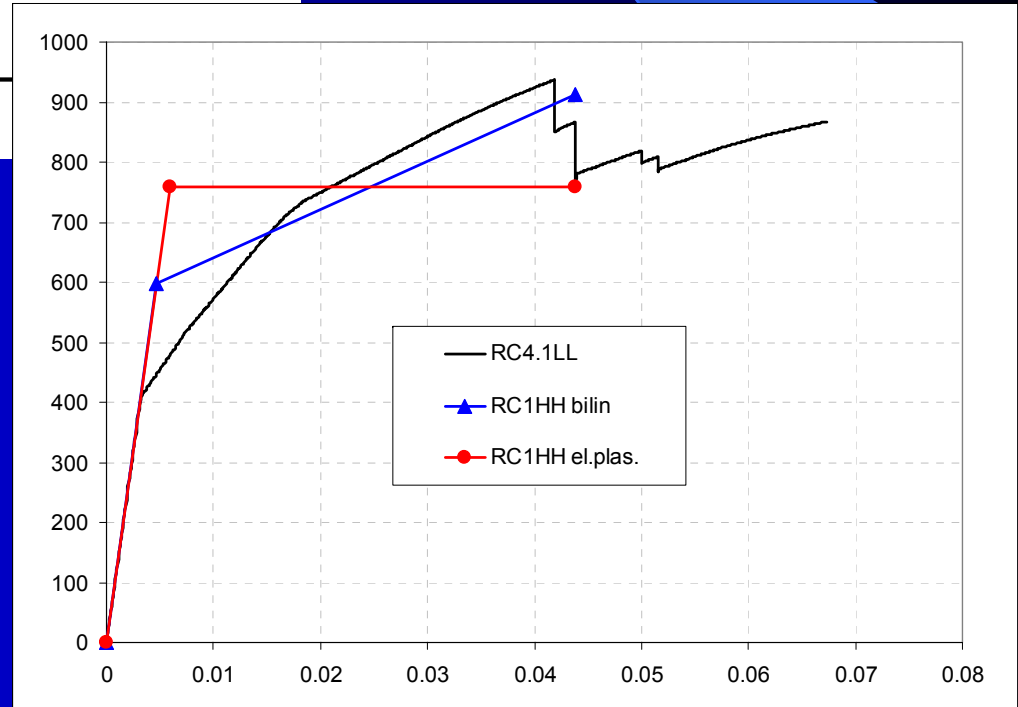
- εκτιμάται από την εξιδανικευμένη διγραμμική καμπύλη αντίστασης (σχέση δύναμης-μετακίνησης) με αρχική κλίση K_e και κλίση δεύτερου κλάδου ίση με αK_e

Εξιδανίκευση της καμπύλης αντίστασης της κατασκευής με διγραμμική καμπύλη



Προτεινόμενη από ΚΑΝΕΠΕ διαδικασία

Καμπύλη αντίστασης για διώροφο μικτό φορέα και εξιδανίκευση με διγραμμική καμπύλη με και χωρίς 'κράτυνση' (λογισμικό BILIN / ΑΠΘ)



- Τα εντατικά μεγέθη και οι παραμορφώσεις υπολογίζονται για $\delta = \delta_t$ (στοχευόμενη μετακίνηση, δηλ. η λόγω σεισμού μετακίνηση στο Κ.Μ. της οροφής)
- Στοχευόμενη μετακίνηση (μέθοδος διορθωτ. συντελεστών):

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 (T_e^2 / 4\pi^2) S_e \quad \text{όπου}$$

C_0 : συντελεστής που **συσχετίζει** τη φασματική μετακίνηση του ισοδύναμου ελαστικού φορέα με δυσκαμψία K_e ($S_d = [T_e^2 / 4\pi^2] \cdot S_e$), **με την πραγματική μετακίνηση** δ_t της κορυφής του ελαστο-πλαστικά αποκρινόμενου φορέα.

Οι τιμές του μπορεί να λαμβάνονται ίσες προς 1.0, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, για αριθμό ορόφων 1, 2, 3, 5, και ≥ 10 , αντίστοιχα.

C_1 : συντελεστής που ορίστηκε στην §5.5.4 ($=\delta_{inel}/\delta_{el}$)

C_2 : βλ. επόμενη διαφάνεια

C_3 : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την αύξηση των μετακινήσεων λόγω **φαινομένων 2^{ας} τάξεως** (P-Δ).

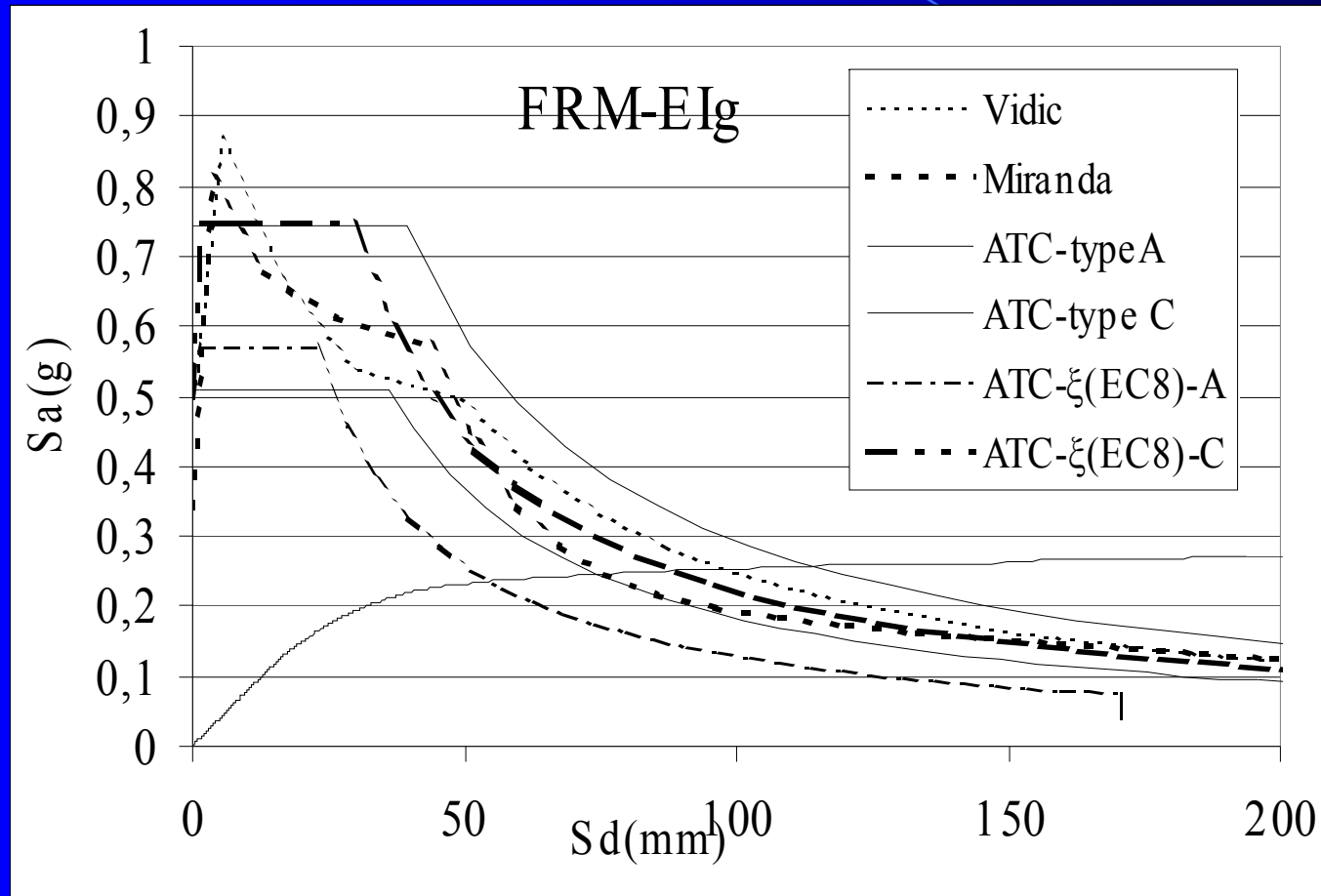
Μπορεί να ληφθεί ίσος προς $1 + 5(\theta - 0.1)/T$, συνήθως $\theta < 0.1 \leftrightarrow C_3 = 1$

C_2 : συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή του σχήματος του βρόχου **υστέρησης** στη μέγιστη μετακίνηση. Οι τιμές του μπορεί να λαμβάνονται από τον πίνακα Σ5.1.

→ Φορείς **Τύπου 1**: κατασκευές **χαμηλής** πλαστιμότητας, που αναμένεται να έχουν φτωχότερη υστερητική συμπεριφορά από εκείνες **Τύπου 2** (**υψηλής** πλαστιμότητας).

Στάθμη επιτελεστικότητας	$T = 0.1s$		$T \geq T_2$	
	φορέας τύπου 1	φορέας τύπου 2	φορέας τύπου 1	φορέας τύπου 2
Άμεση χρήση (λειτουργικότητα)	1.0	1.0	1.0	1.0
Προστασία ζωής	1.3	1.0	1.1	1.0
Αποφυγή κατάρρευσης	1.5	1.0	1.2	1.0

Επιτρέπονται και άλλες μέθοδοι, όπως του Ευρωκώδικα 8 (EN1998-1, 2004), ή η γενική μέθοδος του 'φάσματος' απαίτησης (capacity and demand spectra, Chopra 1999, Fajfar 1999):



[Kappos & Petranis 2001]

Καλή εποπτεία, αλλά η διασπορά στην υπολογιζόμενη δ_t είναι σημαντική!

Ανελαστική δυναμική ανάλυση (§5.8)

- Προϋποθέσεις εφαρμογής
 - αξιόπιστη γνώση αντοχών υλικών ($\Sigma\Delta \geq \mathbf{I}$)
 - επαρκής εμπειρία και εξειδίκευση του μηχανικού
- Άμεση προσομοίωση μη-γραμμικών χαρακτηριστικών (και υστερητικών)
- Μέθοδος χρονοϊστορίας της απόκρισης
 - τουλάχιστο τρία επιταχυνσιογραφήματα
 - M.O. ή $\max S$ όπως και στην ελαστική δυναμική
- Συνιστάται να γίνεται και μια *στατική* ανελαστική

Το 'εφικτόν' της ανελαστικής δυναμικής

Η ανελαστική δυναμική ανάλυση της χρονοϊστορίας είναι η «ακριβής» αναλυτική προσέγγιση, αλλά:

- Για την αξιοπιστία της είναι κρίσιμη η κατάλληλη επιλογή επαρκούς αριθμού (>3-7) επιταχυνσιογραφημάτων, με την οποία δεν είναι εξοικειωμένοι οι πολιτικοί μηχανικοί
 - κριτήριο $(M, R) \rightarrow$ ποιό (M, R) σε κάθε περιοχή;
 - κριτήριο ομοιότητας φασμάτων;
 - τα τεχνητά (συμβατά με το φάσμα) έχουν μειονεκτήματα!
- Το λογισμικό ανάλυσης χρονοϊστορίας 3D φορέων δεν είναι ενγένει κατάλληλο (πολύς χρόνος ή/και μικρή φιλικότητα...)
- Απαιτούνται κατάλληλα υστερητικά μοντέλα $M - \theta_p$, και δεν διατίθενται τέτοια με πτώση αντοχής (τύπου FEMA 356)
- Η (μετ)επεξεργασία των (ογκωδέστατων) αποτελεσμάτων είναι πιο δυσχερής απ' ό,τι στην ΑΣΑ

Τοιχοποιίες πλήρωσης (§5.9)

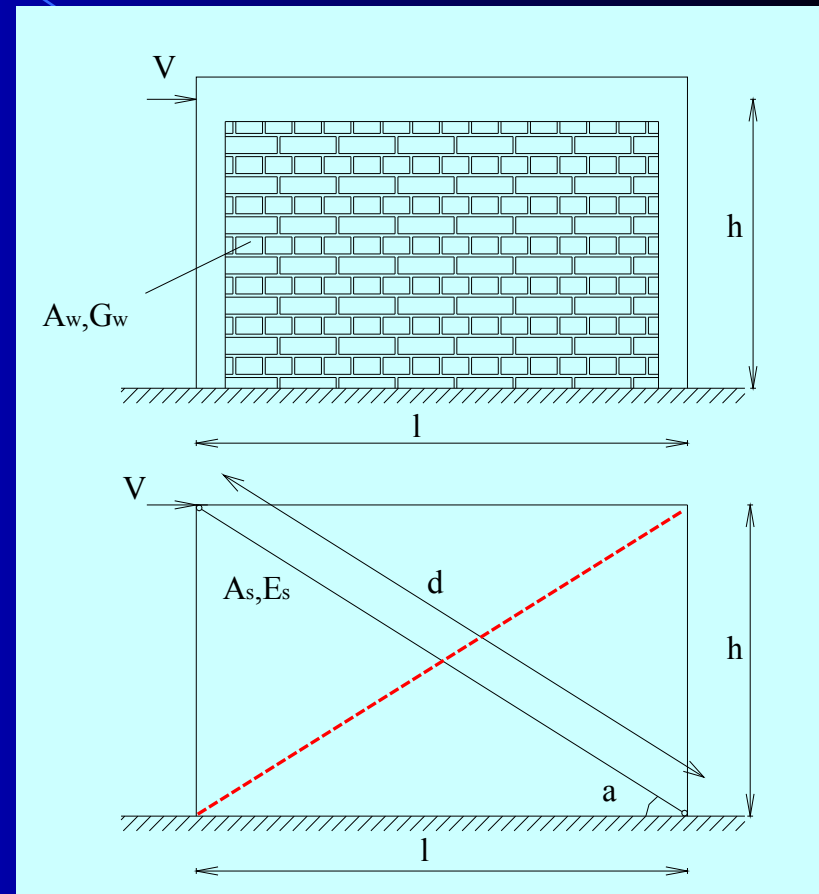
- Προσομοίωση **τοιχοπληρώσεων** σύμφωνα με την §2.1.4.2. Εγγένει **υποχρεωτική** όταν έχουν **δυσμενείς** συνέπειες.
Εξαιρούνται:
 - κτίρια που έχουν μελετηθεί (και κατασκευαστεί) με ΕΑΚ ή ΕΚ8
 - η πρόσθετη πλευρική δυσκαμψία λόγω των τοιχοπληρώσεων δεν υπερβαίνει το $\frac{1}{4}$ της συνολικής πλευρικής δυσκαμψίας του φέροντος οργανισμού (ενός τουλάχιστον ορόφου).
 - Πρέπει να ελέγχεται καταπόσον αθέλητη, έστω, διάταξη τοιχοπληρώσεων δεν συνεπάγεται δυσμενή συμπεριφορά (προστίθενται ποιοτικά κριτήρια...)
- **Κριτήρια δυσμενούς επιρροής:**
 - οι τοιχοποιίες δεν επιφέρουν αύξηση της σεισμικής τέμνουσας ενός τουλάχιστον πρωτεύοντος κατακόρυφου στοιχείου ή της σεισμικής μετακίνησης ενός ορόφου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 15%, σε οποιαδήποτε στάθμη του κτιρίου
 - για τον έλεγχο αυτόν μπορεί να εφαρμόζεται χωρίς προϋποθέσεις η ελαστική στατική ανάλυση (§5.5)

Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων (βλ. και §7.4):

- μέσω **ισοδύναμης διαγωνίου**, ή
- μέσω **διατμητικού φατνώματος**
- αντιστοίχιση δυστένειας (EA) διαγωνίου με δυστημοσία (GA) φατνώματος

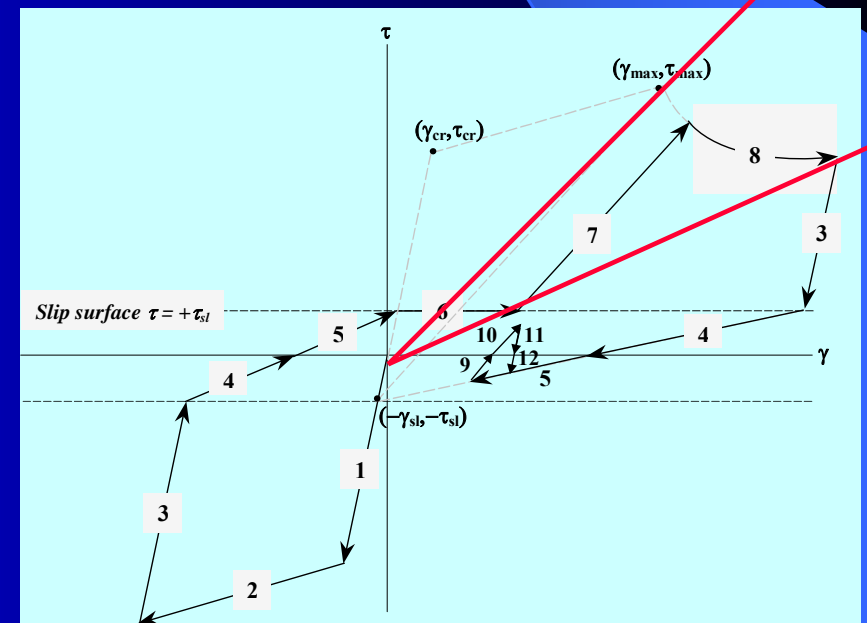
$$E_s A_s = \frac{G_w A_w}{\cos^2 \alpha \sin \alpha}$$

- στη δυναμική ανάλυση μπορεί να δοθεί $E_s A_s / 2$ σε δύο διαγωνίους (θλιβόμενη και εφελκυσμένη)
- τοιχοπληρώσεις με **ανοίγματα**:
 - αγνοούνται αν το ποσοστό των ανοιγμάτων υπερβαίνει το 50%
 - για ποσοστά μεταξύ 50% και 0, εξαρτάται από τη διάταξη [βλ. σχόλια §7.4.1a(iv)]



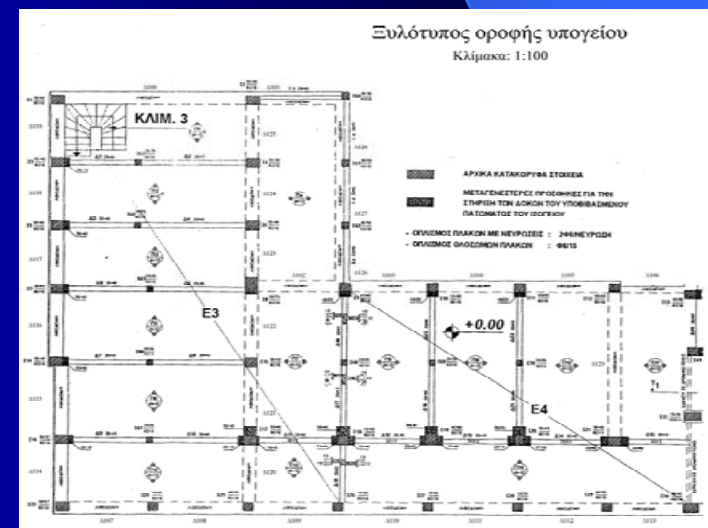
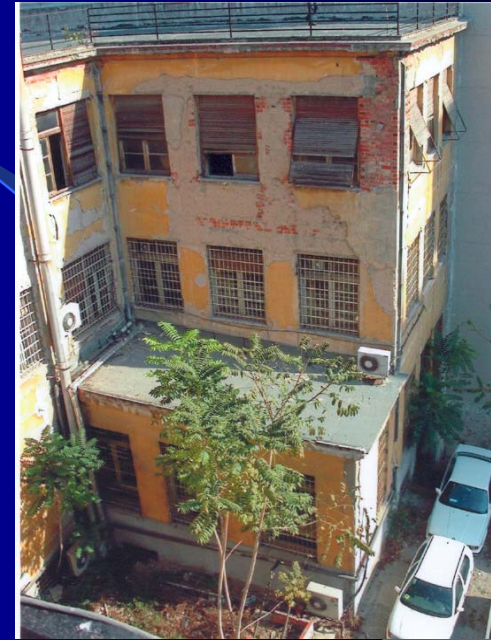
- Προσομοίωση GA_{ef} τοιχοποπληρώσεων στις ελαστικές μεθόδους
- Πρέπει να γίνονται **δύο** αναλύσεις (μέτρο ελαστικότητας τοιχοποιίας $E_0 = K_E f_{wc}$, όπου ο K_E λαμβάνει τιμές 500 και 1000, **απλοποιητικά μία ανάλυση με $K_E = 750$**)
- Σωστότερο είναι:
 - μια με επιβατικό GA_{ef} στη μέγιστη τάση τ_{max}
 - μια με επιβατικό GA_{ef} σε σχετικό βέλος ορόφου συμβατό με τις μετακινήσεις του φορέα,

$$\dot{\gamma} = 2 \div 3\gamma(\tau_{max})$$
- Από τις δύο αναλύσεις λαμβάνεται το δυσμενέστερο (για κάθε στοιχείο) αποτέλεσμα.



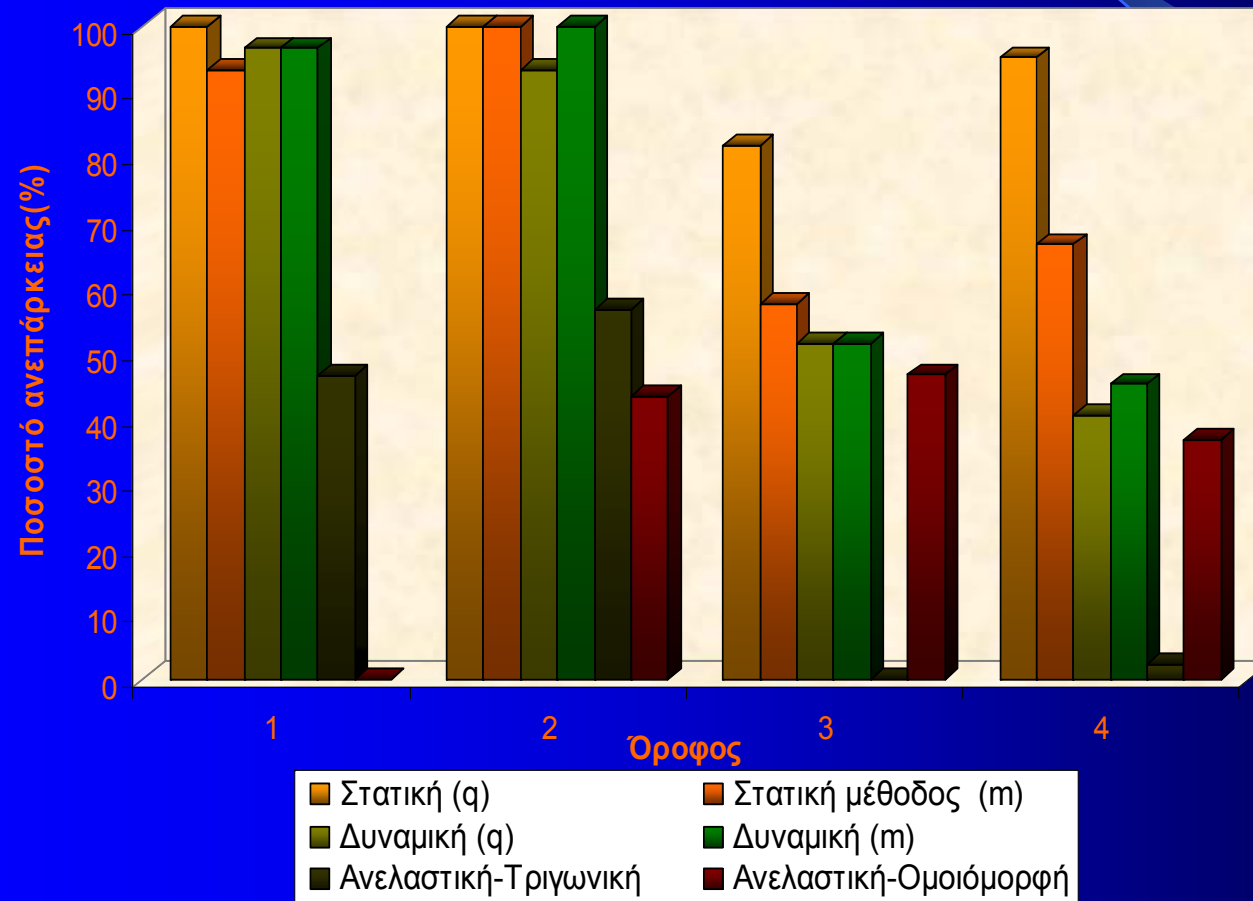
Παράδειγμα αποτίμησης σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενης κατασκευής με βάση ΚΑΝΕΠΕ (2007)

- Τριώροφο κτίριο Ο/Σ με υπόγειο
- Κατασκευάστηκε πριν ~75 χρόνια
- Φέρων Οργανισμός: Πλαισιακό σύστημα
- Σημαντικός αριθμός τοίχων και επενδύσεων από οπτοπλινθοδομή
- Στάθμη Επιτελεστικότητας: Προστασία ζωής
- Πιθανότητα υπέρβασης της σεισμικής δράσης κατά τη διάρκεια ζωής του έργου κατά 10%.
- Κατασκευή πριν το 1985, χωρίς ουσιώδεις βλάβες και ευμενή παρουσία τοιχοπληρώσεων → $q^*=1.8$

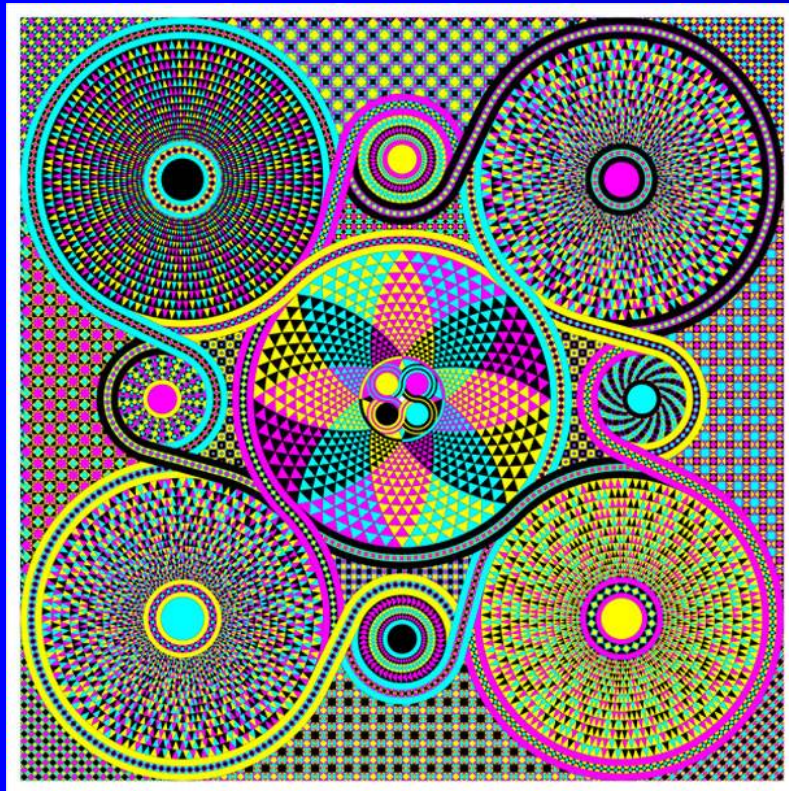


Ενδεικτικά συγκριτικά αποτελέσματα όλων των μεθόδων ανάλυσης

Ποσοστά ανεπάρκειας στύλων σε κάμψη



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!



website: ajkap.weebly.com/
ajkap@civil.auth.gr