

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Γ. Παναγόπουλος
Καθηγητής Εφαρμογών, ΤΕΙ Σερρών

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ- ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Μέρος Β)

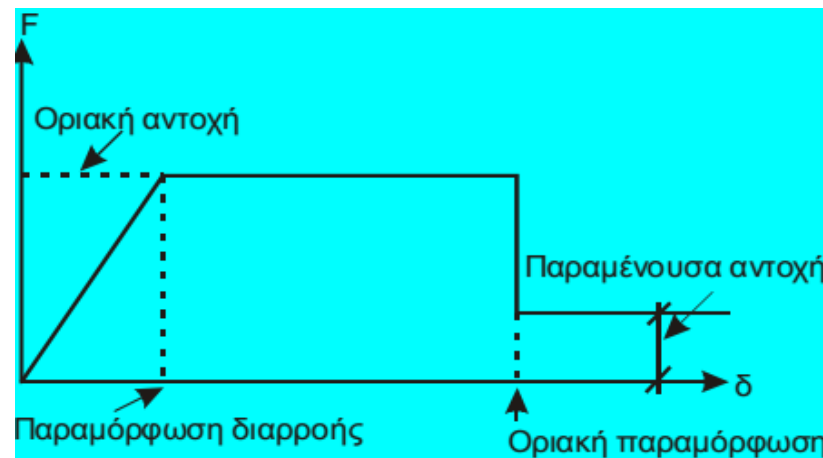
- **Ανελαστικές Μέθοδοι Ανάλυσης**
 - **Ανελαστική Στατική Ανάλυση**

Ανελαστική στατική ανάλυση – Προϋποθέσεις εφαρμογής

- Συνιστάται όταν εφαρμόζεται η ανελαστική στατική μέθοδος, να διασφαλίζεται τουλάχιστον «Ικανοποιητική» Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ).
- Η στατική ανελαστική μέθοδος εφαρμόζεται σε κτίρια στα οποία η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική.
- Όταν η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική, επιτρέπεται να εφαρμόζεται η στατική ανελαστική ανάλυση, υπό τον όρο ότι θα εφαρμόζεται σε συνδυασμό με μια συμπληρωματική δυναμική ελαστική ανάλυση

Ανελαστική στατική ανάλυση – Σκοπός της ανάλυσης

- Κύριος στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτίριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός.
- Για κατ' εξοχήν πλάσιμα στοιχεία, οι τιμές των παραμορφώσεων αυτών συγκρίνονται απευθείας με τις αντίστοιχες τιμές σχεδιασμού (Κεφ. 9)
- Άμεση προσομοίωση μη-γραμμικών χαρακτηριστικών έντασης-παραμόρφωσης



Ανελαστική στατική ανάλυση – Σκοπός της ανάλυσης

Το προσομοίωμα θα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατανεμημένα κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία θα αυξάνονται μονότονα, εν γένει μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει η **καμπύλη αντίστασης** του κτιρίου, η οποία εν γένει χαράσσεται σε όρους **τέμνουσας βάσης – μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου του κτιρίου** (κόμβος ελέγχου), το οποίο εν γένει λαμβάνεται στην κορυφή του (βλ. και §§5.7.3.2, 5.7.4.2).

Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας.

Ανελαστική στατική ανάλυση – Πλεονεκτήματα

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

- 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, προσομοιώνοντας όλα τα στοιχεία που την επηρεάζουν (και τις τοιχοποιίες πλήρωσης)

Ανελαστική στατική ανάλυση – Περιορισμοί

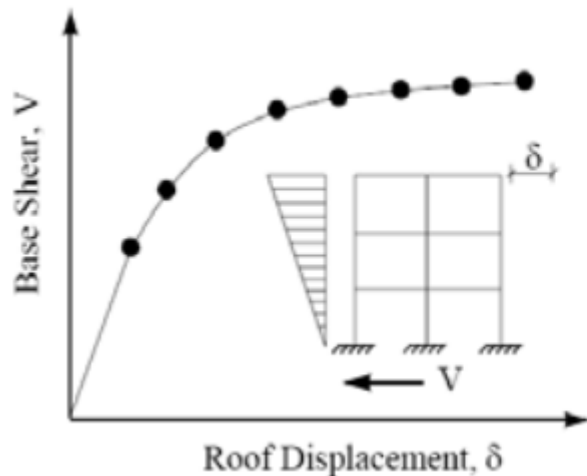
Πρέπει να είναι σαφές ότι η ΑΣΑ είναι εκ φύσεως προσεγγιστική, καθώς βασίζεται σε στατική φόρτιση. Ως τέτοια, δεν μπορεί να προσομοιώσει επαρκώς τα δυναμικά φαινόμενα, συγκεκριμένα:

- Οι υπολογιζόμενες παραμορφώσεις μπορεί να είναι πολύ ανακριβείς όταν η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών είναι σημαντική (ψηλά κτίρια ή και κακές μορφολογίες)
- 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
- Η χρήση πολλών κατανομών δυνάμεων (συμπεριλαμβανομένων των ιδιομορφικών) περιορίζει, αλλά δεν εξαλείφει την ανακρίβεια

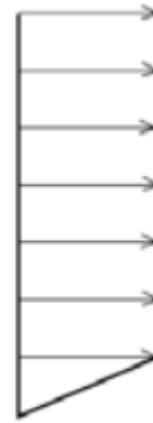
Ανελαστική στατική ανάλυση – Κανανομή δυνάμεων

Σύμφωνα με τον EC8 (και τη FEMA356) πρέπει να εφαρμόζονται τουλάχιστον δύο διαφορετικές κατανομές των οριζόντιων (σεισμικών) δυνάμεων:

- “ομοιόμορφη” κατανομή: πλευρικά φορτία ανάλογα προς τη μάζα (σταθερή επιτάχυνση καθύψος)
- “ιδιομορφική” κατανομή: πλευρικά φορτία συμβατά με τα δυναμικά φορτία (π.χ. 1ης ιδιομορφής) που προέκυψαν από ελαστική ιδιομορφική ανάλυση



a) Triangular profile



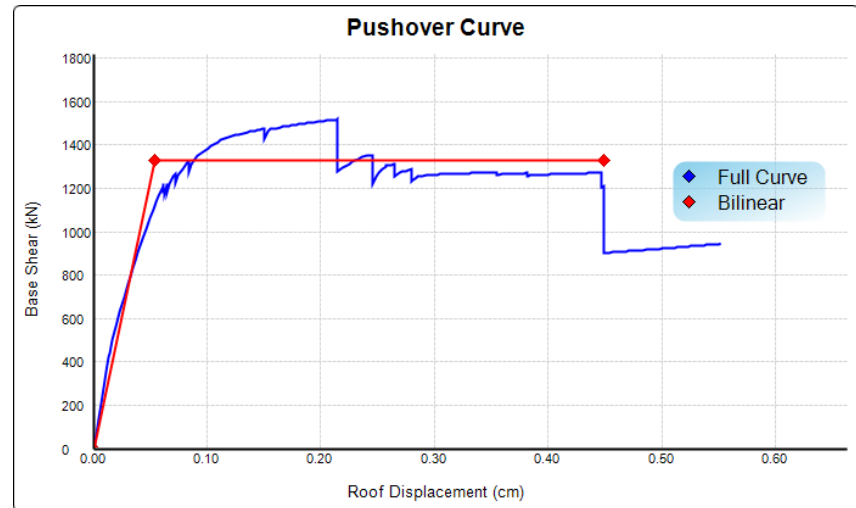
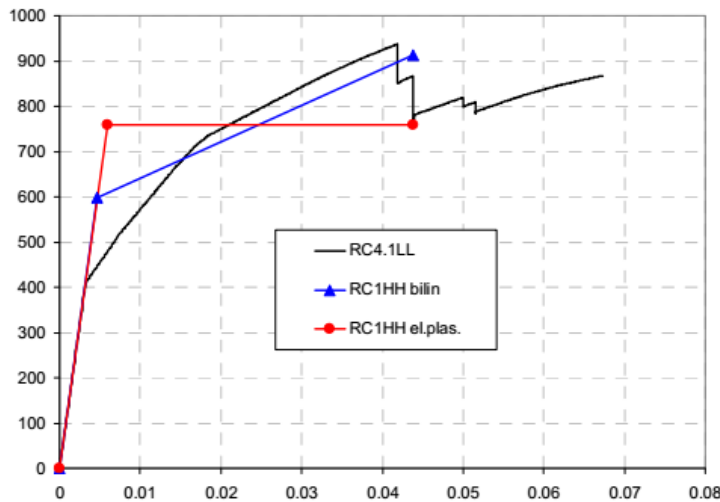
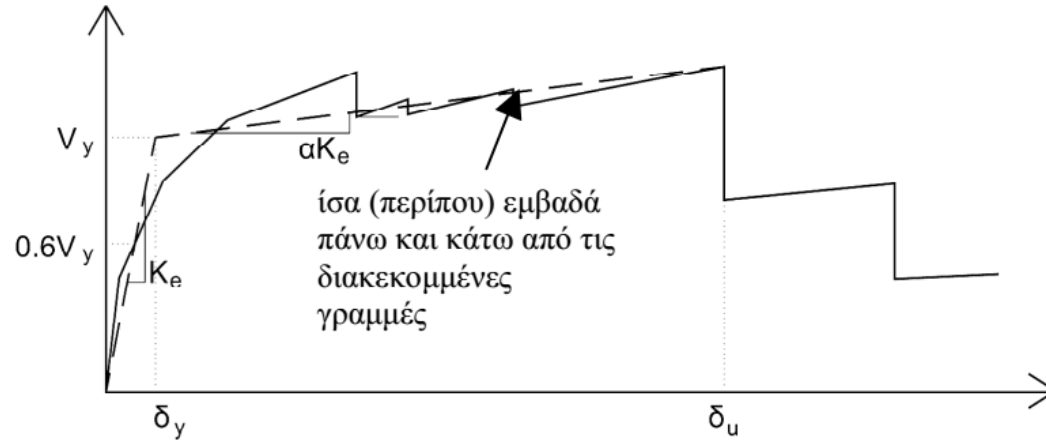
b) Uniform profile



c) Higher-mode profile

Ανελαστική στατική ανάλυση – Καμπύλη αντίστασης

Καμπύλη αντίστασης: Διάγραμμα τέμνουσας βάσης – μετακίνησης στην κορυφή



Διγραμμικές προσεγγίσεις με εντοπισμό των σημείων διαρροής και 'αστοχίας'

Ανελαστική στατική ανάλυση – Καμπύλη αντίστασης

Η στάθμη της σεισμικής διέγερσης εισάγεται μέσω της κατάλληλης στοχευόμενης μετακίνησης δ_t στο κέντρο μάζας της οροφής της κατασκευής

Η στοχευόμενη μετακίνηση δ_t (§5.7.1.2) θα υπολογίζεται συνεκτιμώντας κατάλληλα όλους του παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η μετακίνηση ενός ανελαστικά αποκρινόμενου κτιρίου.

Επιτρέπεται να γίνεται θεώρηση της μετακίνησης ενός ελαστικού μονοβάθμιου συστήματος με ιδιοπερίοδο ίση με τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο του κτιρίου (§5.7.3.5) το οποίο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται ο έλεγχος, με κατάλληλη διόρθωση ώστε να προκύπτει η αντίστοιχη μετακίνηση του ελαστοπλαστικά αποκρινόμενου κτιρίου. Προς τούτο αρκεί να λαμβάνονται προσεγγιστικώς υπόψη:

- Η διαφορά ελαστικής – ανελαστικής μετακίνησης
- Η διαφορά της μετακίνησης του ανωτέρω μονοβαθμίου συστήματος και του «κόμβου ελέγχου» του κτιρίου
- Η διαφορά της μετακίνησης ενός ελαστοπλαστικού μονοβαθμίου συστήματος και ενός αντίστοιχου συστήματος με φθίνουσα δυσκαμψία κατά την ανακύκλιση
- Η επιρροή των φαινομένων 2ας τάξεως στη μετακίνηση

Ανελαστική στατική ανάλυση – Στοχευόμενη μετακίνηση

Εφόσον δεν χρησιμοποιείται ακριβέστερη προσέγγιση, η στοχευόμενη μετακίνηση δ_t επιτρέπεται να υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 (T_e^2 / 4\pi^2) S_e(T)$$

όπου $S_e(T)$ η ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση (από το φάσμα του ΕΚ 8-1) που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη ιδιοπερίοδο της κατασκευής T_e (υπολογιζόμενη με βάση το σημείο καμπής του διαγράμματος δυνάμεων – μετακινήσεων του φορέα, όπως ορίζεται στην §5.7.3.4), και C_0 , C_1 , C_2 και C_3 διορθωτικοί συντελεστές που ορίζονται ως εξής:

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

όπου T η ελαστική κυριαρχούσα ιδιοπερίοδος στη θεωρούμενη διεύθυνση που υπολογίζεται με βάση μια ελαστική δυναμική ανάλυση, K_0 η αντίστοιχη ελαστική πλευρική δυσκαμψία, ενώ η ισοδύναμη πλευρική δυσκαμψία K_e υπολογίζεται σύμφωνα με τη §5.7.3.4.

Ανελαστική στατική ανάλυση – Στοχευόμενη μετακίνηση

- 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 ελαστοπλαστικά αποκρινόμενου φορέα. (§5.7.3.4). 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 : Ο λόγος $C_1=\delta_{inel}/\delta_{el}$ της μέγιστης ανελαστικής μετακίνησης ενός κτιρίου προς την αντίστοιχη ελαστική επιτρέπεται να λαμβάνεται από τις σχέσεις:
- $C_1=1.0$ για $T \geq T_c$, και
- $C_1=[1.0+(R-1)T_c/T]/R$ για $T < T_c$
- όπου T_c η τιμή στην οποία αρχίζει ο κατιών κλάδος του φάσματος απόκρισης (βλ. ΕΚ 8-1) και $R=V_{el}/V_y$ ο λόγος της ελαστικής απαίτησης προς την αντίσταση διαρροής του φορέα.

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

Ανελαστική στατική ανάλυση – Στοχευόμενη μετακίνηση

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. Για τιμές T μεταξύ $0.1s$ και T_c πρέπει να γίνεται γραμμική παρεμβολή.

Στάθμη επιτελεσματικότητας	$T \leq 0.1s$		$T \geq T_c$	
	φορέας τύπου 1	φορέας τύπου 2	φορέας τύπου 1	φορέας τύπου 2
«Περιορισμένες βλάβες»	1.0	1.0	1.0	1.0
«Σημαντικές βλάβες»	1.3	1.0	1.1	1.0
«Οιονεί κατάρρευση»	1.5	1.0	1.2	1.0

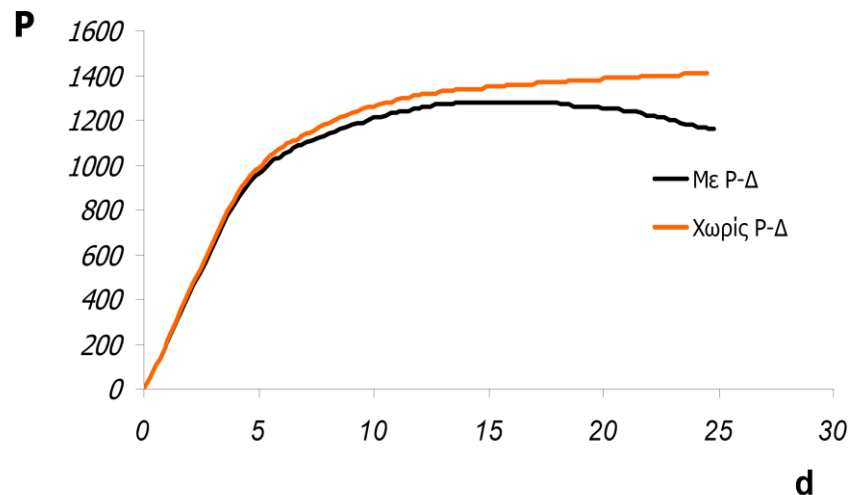
Ως φορείς τύπου 1 νοούνται οι φορείς χαμηλής πλαστιμότητας (π.χ. κτίρια πριν το 1985, ή κτίρια που η καμπύλη αντίστασής τους χαρακτηρίζεται από διαθέσιμη πλαστιμότητα μετακινήσεων μικρότερη του 2), που αναμένεται να έχουν φτωχότερη υστερητική συμπεριφορά από εκείνους με υψηλή πλαστιμότητα (φορείς τύπου 2, π.χ. κτίρια από το 1985 και έπειτα, ή κτίρια που η καμπύλη αντίστασής τους χαρακτηρίζεται από διαθέσιμη πλαστιμότητα μετακινήσεων μεγαλύτερη του 2).

Δεδομένου ότι η επιρροή της υστερητικής συμπεριφοράς είναι μεγαλύτερη για υψηλότερα επίπεδα μετελαστικής συμπεριφοράς του φορέα, γίνεται στον Πίνακα Σ5.1 διαφοροποίηση του C_2 με τη στάθμη επιτελεσματικότητας

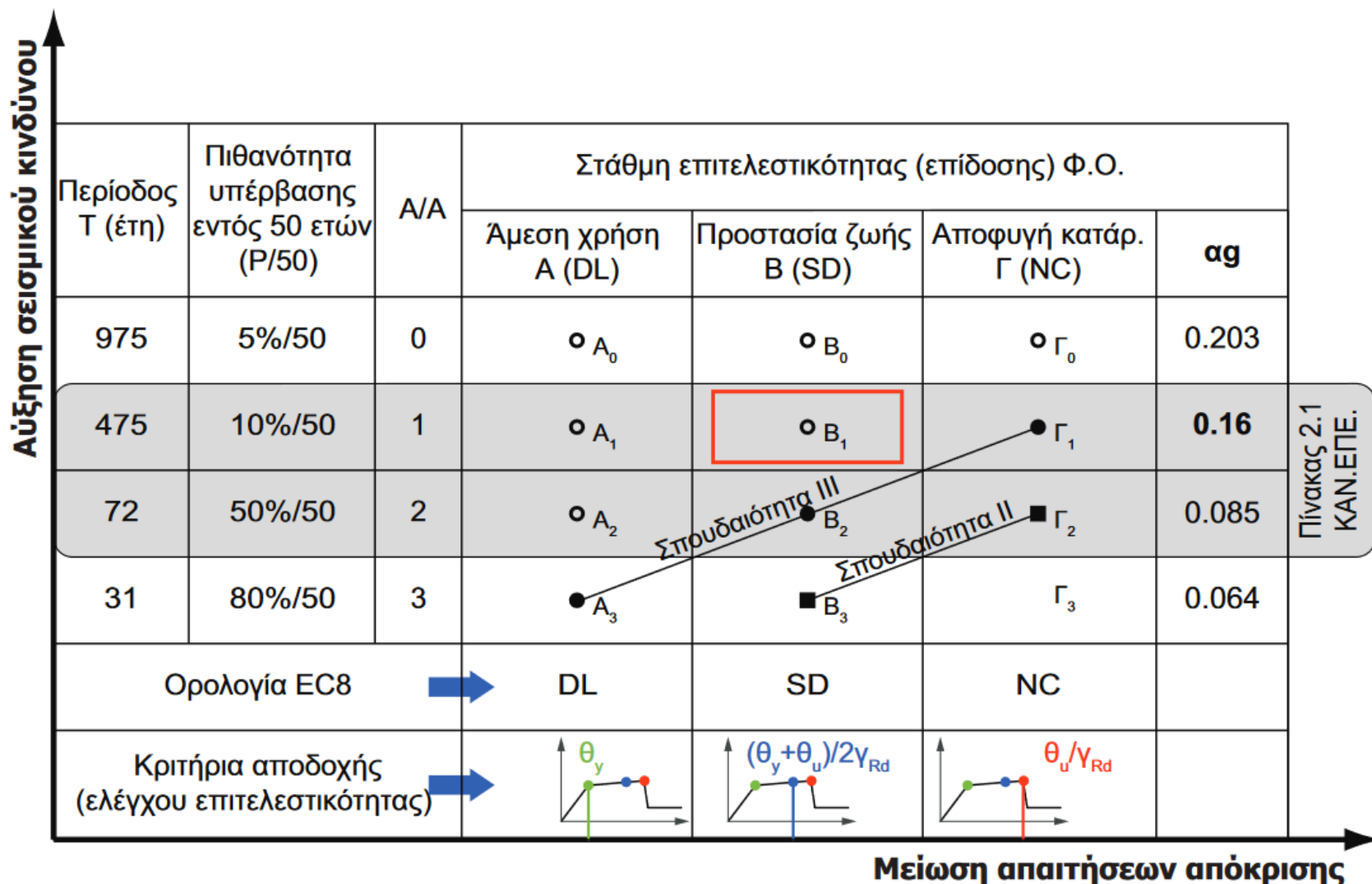
Ανελαστική στατική ανάλυση – Στοχευόμενη μετακίνηση

C_3 : Συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την αύξηση των μετακινήσεων λόγω φαινομένων 2ας τάξεως (P-Δ). Μπορεί να ληφθεί ίσος προς $1+5(\theta-0.1)/T$, όπου θ ο δείκτης σχετικής μεταθετότητας (βλ. ΕΚ 8-1). Στη συνήθη (για κτίρια από ΟΣ και από τοιχοποιία) περίπτωση, όπου $\theta < 0.1$, λαμβάνεται $C_3=1.0$.

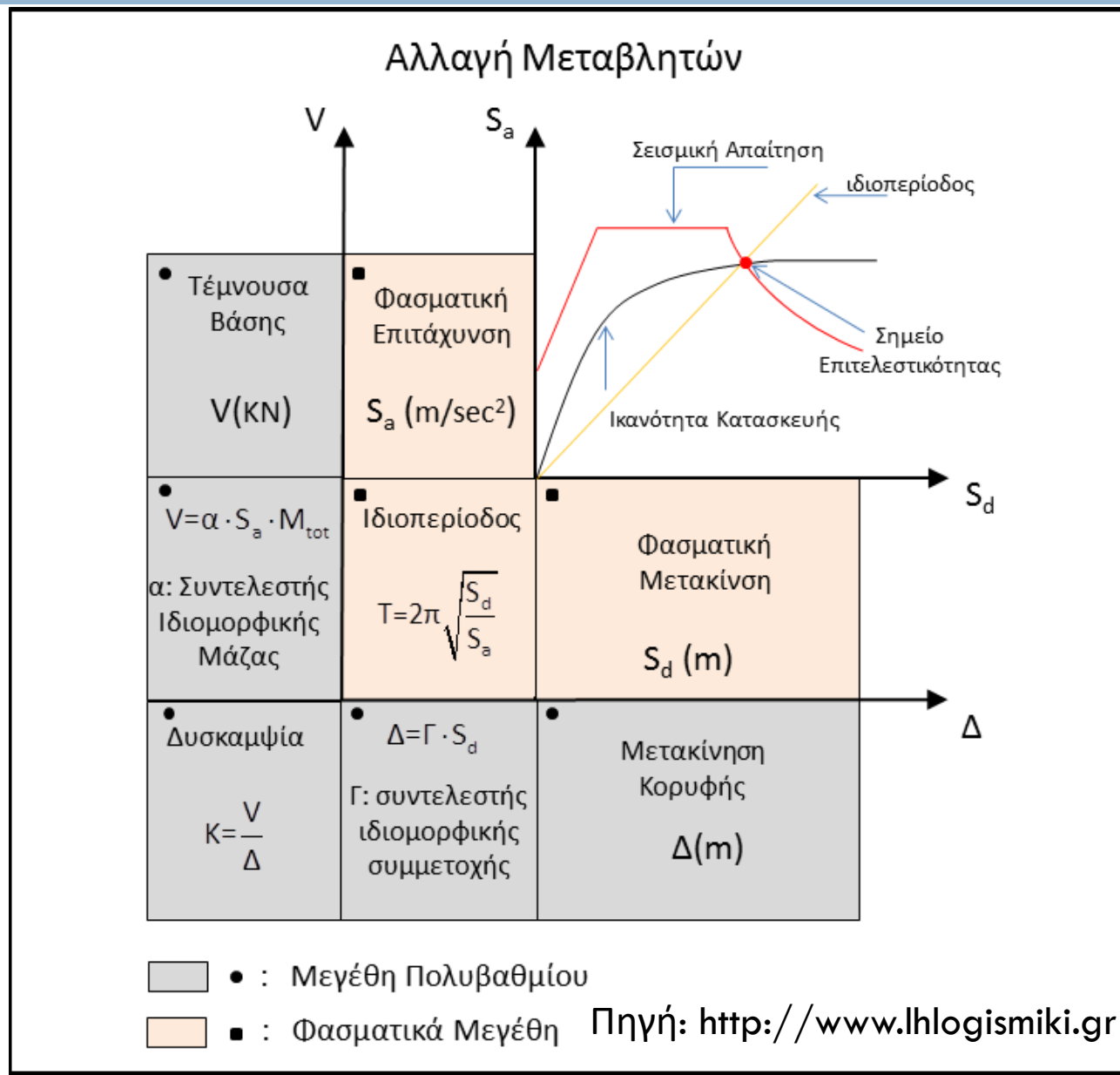
Φαινόμενα 2ας τάξεως (P-Δ): θεωρείται ότι ο απαραμόρφωτος φορέας δεν ταυτίζεται με τον παραμορφωμένο και η ισορροπία ροπών λαμβάνεται στην παραμορφωμένη κατάσταση. Σημαντικά σε εύκαμπτα κτίρια.



Ανελαστική στατική ανάλυση (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)



Ανελαστική στατική ανάλυση (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)



Ανελαστική στατική ανάλυση (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Στάθμες επιτελεστικότητας	DL (A)	SD (B)	NC (Γ)
Κριτήρια αποδοχής (ελέγχου επιτελεστικότητας)			

$$\alpha_g/\alpha_{g,R} = (T_R/T_{LR})^{0.33}$$

