

# ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Γ. Παναγόπουλος  
Καθηγητής Εφαρμογών, ΤΕΙ Σερρών

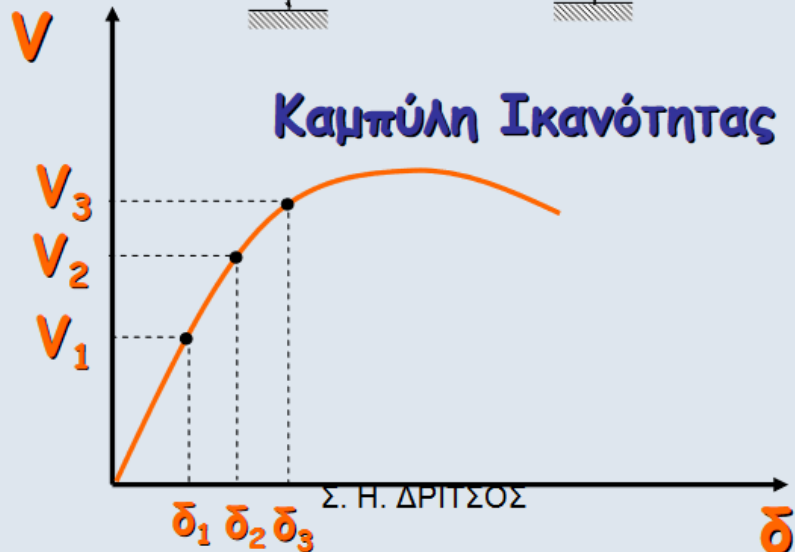
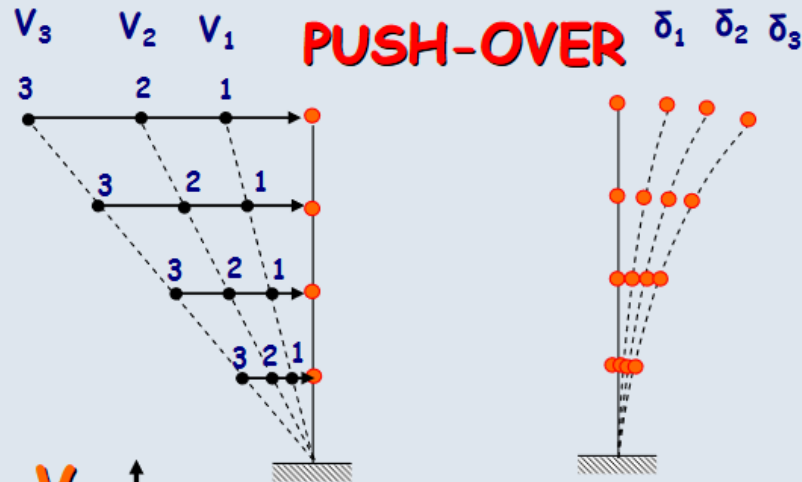


# ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

# Ανελαστική στατική ανάλυση

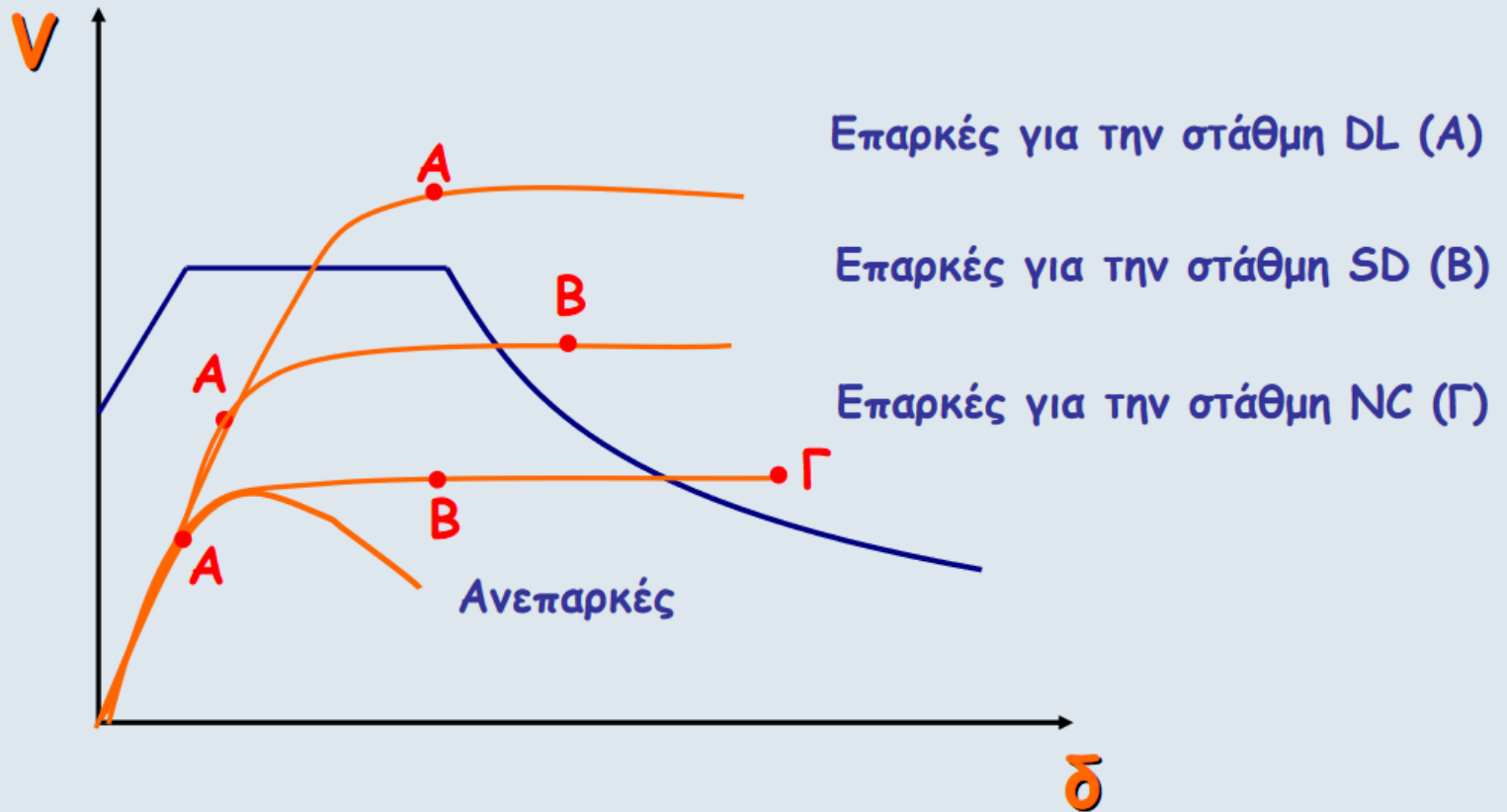
## ΑΡΧΕΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στατική Οριζόντια Φόρτιση Βαθμιαία Αυξανόμενη "μέχρι τέρμα"



# Ανελαστική στατική ανάλυση

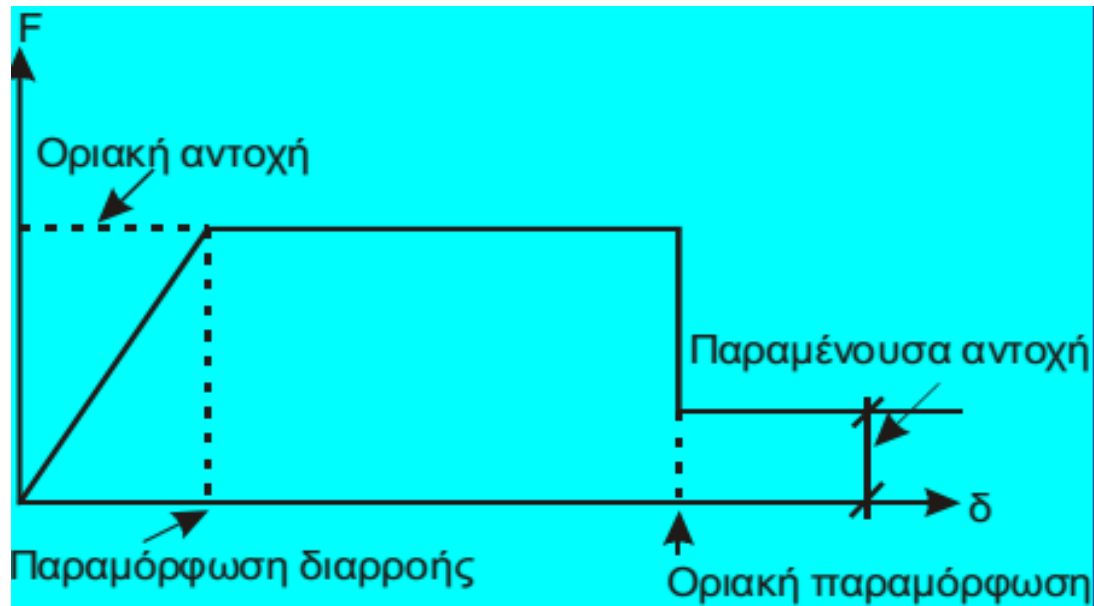
## ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



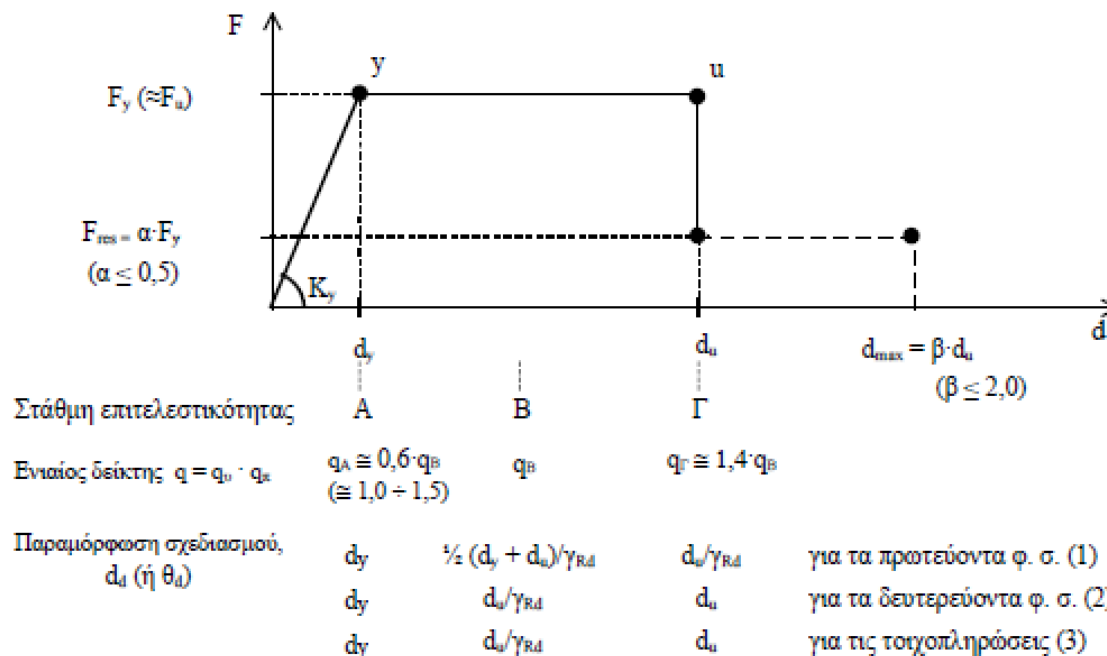
# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

- Έλεγχοι ασφαλείας αναλόγως της **επιτελεστικότητας**

Με βάση όσα προβλέπονται στα Κεφ. 2, 4, 7 έως και 9, οι έλεγχοι ασφαλείας μπορούν να παρουσιασθούν εποπτικά κατά το συνημμένο σκελετικό διάγραμμα συμπεριφοράς, αναλόγως της στάθμης επιτελεστικότητας (Α έως και Γ) και του ελέγχου σε όρους δυνάμεων (μέσω του  $q$  ή των  $m$ ) ή παραμορφώσεων (μέσω της παραμόρφωσης σχεδιασμού,  $d_d \approx \theta_d$ ).



# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων



Σκελετικό Διάγραμμα Συμπεριφοράς  
(για τα επιμέρους δομικά στοιχεία, ή το δόμημα – ως σύνολο)

## Παρατηρήσεις

- 1) Για τα πρωτεύοντα φέροντα στοιχεία :  
Η οριακή παραμόρφωση σχεδιασμού ( $d_d$ ), ακόμη και για τη στάθμη επιτελεσματικότητας Γ, είναι μικρότερη αυτής που αντιστοιχεί στην οιονεί-αστοχία ( $d_u$ ), και μάλιστα με ικανοποιητική αξιοπιστία, που εκφράζεται μέσω του  $\gamma_{Rd}$  (βλ.Κεφ.9).
- 2) Για τα δευτερεύοντα φέροντα στοιχεία :  
Γι' αυτά τα στοιχεία, γίνεται αποδεκτός μεγαλύτερος βαθμός βλάβης (υπό σεισμόν) απ' ότι για τα πρωτεύοντα φέροντα στοιχεία, αναλόγως και του αν πρόκειται για κατακόρυφα ή οριζόντια φέροντα στοιχεία, για τιμές  $d_d$  που διαμορφώνονται και μέσω του  $\gamma_{Rd}$  (στην Β και όχι στην Γ).

# Προσδιορισμός συμπεριφοράς δομικών στοιχείων

## 7.1.2.1 Καμπύλη εντατικού μεγέθους-παραμόρφωσης “ $F$ - $\delta$ ”

- α) Η μηχανική συμπεριφορά ενός δομικού στοιχείου, μιας κρίσιμης περιοχής δομικού στοιχείου, ή μιας συνδέσεως στοιχείων (κόμβου), περιγράφεται μέσω ενός διαγράμματος εντατικού μεγέθους “ $F$ ” συναρτήσει της παραμόρφωσης ή σχετικής μετακίνησης “ $\delta$ ”. Το είδος, η διεύθυνση κ.λπ. του

---

μεγέθους  $F$  επιλέγονται έτσι ώστε να χαρακτηρίζουν το κύριο μέρος της έντασης την οποία προκαλεί η σεισμική δράση στο στοιχείο, στην κρίσιμη περιοχή ή στην σύνδεση. Η παραμόρφωση  $\delta$  επιλέγεται έτσι ώστε, σε συνδυασμό με το εντατικό μέγεθος  $F$ , να εκφράζει την ενέργεια παραμόρφωσης του στοιχείου, της κρίσιμης περιοχής ή της σύνδεσης.

# Προσδιορισμός συμπεριφοράς δομικών στοιχείων

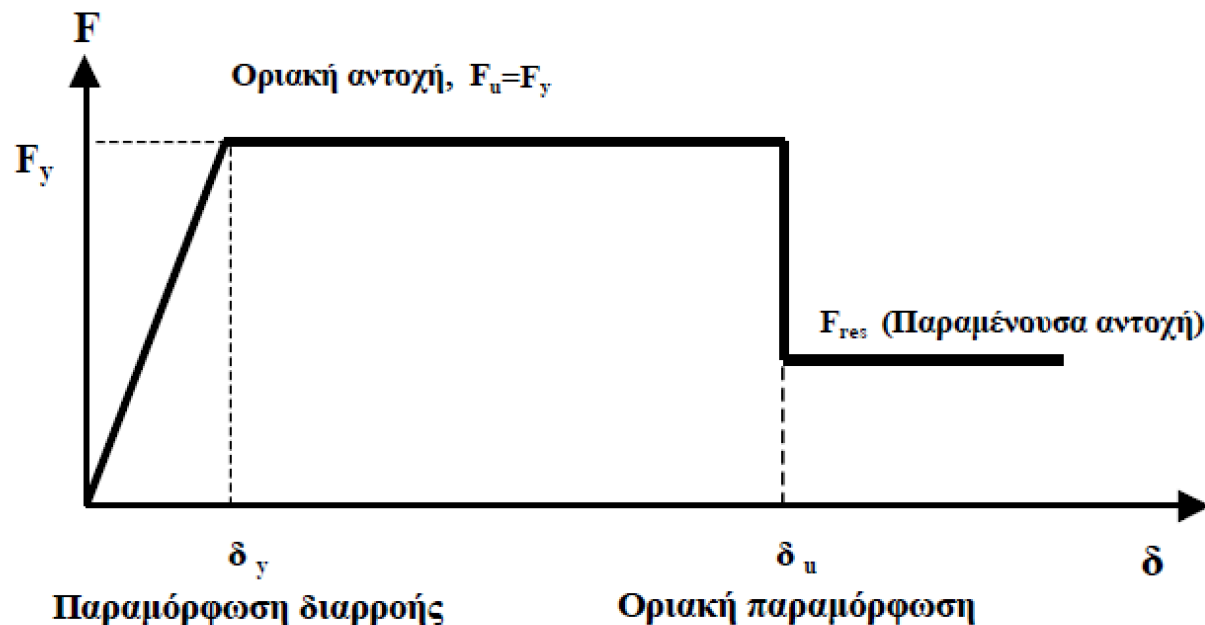
Όπου καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η **κάμψη**, κατάλληλα μεγέθη  $F$  και  $\delta$  είναι η **ροπή κάμψης  $M$**  και η **καμπυλότητα  $1/r$** . Αν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η **διάτμηση**, κατάλληλα μεγέθη είναι η **τέμνουσα δύναμη  $V$**  και η **γωνιακή (διατμητική) παραμόρφωση  $\gamma$** .

Επειδή στα στοιχεία ΟΣ οι καμπτικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν με τις διατμητικές και με τις στροφές των ακραίων διατομών λόγω εξόλκευσης των οπλισμών στην αγκύρωση πέραν του άκρου του στοιχείου, η καταλληλότερη επιλογή  $F$  και  $\delta$  είναι η **ροπή  $M$**  και η **γωνία στροφής χορδής “ $\theta$ ” στα άκρα του στοιχείου**, όπου η  $\theta$  περιλαμβάνει το σύνολο των καμπτικών και διατμητικών παραμορφώσεων, καθώς και τη στροφή των άκρων λόγω εξόλκευσης οπλισμών.



# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

- α) Η προσέγγιση της πραγματικής καμπύλης  $F-\delta$  μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος είναι γενικώς επαρκής για τις ανάγκες του σχεδιασμού. Ο πρώτος ευθύγραμμος κλάδος εκτείνεται από την αρχή των αξόνων μέχρι τη συμβατική (ή ενεργό) “διαρροή” του στοιχείου (ή της κρίσιμης περιοχής του στοιχείου, ή της σύνδεσης δύο ή περισσότερων στοιχείων), μετά την οποία η καμπύλη  $F-\delta$  μπορεί να λαμβάνεται περίπου οριζόντια.



# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

Σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο **οιονεί ελαστικός κλάδος παρακάμπτει την ρηγμάτωση και κατευθύνεται στην διαρροή του στοιχείου**. *Ιδίως διότι τα στοιχεία είναι κατά κανόνα ήδη ρηγματωμένα από προγενέστερες δράσεις, σεισμικές ή μή, και επιπλέον διότι η εκτίμηση της μη-γραμμικής σεισμικής απόκρισης δεν επηρεάζεται από το αν ο προ της διαρροής κλάδος θεωρείται ευθύγραμμος ή τεθλασμένος.*

**Η οιονεί ελαστική (ενεργός) δυσκαμψία  $K$**  που χρησιμοποιείται στην ανάλυση του δομικού συστήματος ορίζεται και υπολογίζεται ως

$$K = \frac{F_y}{\delta_y} .$$

Ο υπολογισμός της οιονεί ελαστικής δυσκαμψίας  $K$  βασίζεται στις **μέσες τιμές ιδιοτήτων των υλικών**

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

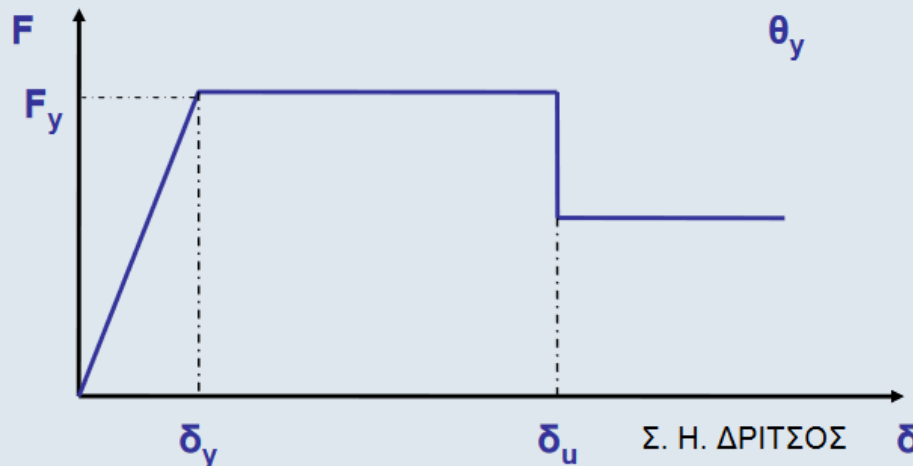
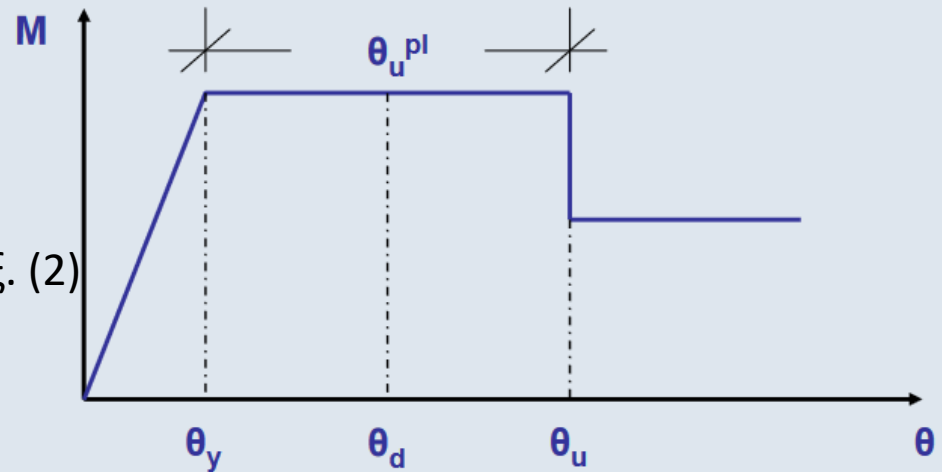
## ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

**EC8-Part3: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α (Informative)**

**ΚΑΝ.ΕΠΕ.**

$$m = \frac{\theta_d}{\theta_y}$$

$$K = EI_{ef} = \frac{M_y \cdot L_s}{3\theta_y} \quad \text{Εξ. (2)}$$



$$K = \frac{F_y}{\delta_y}$$

Πηγή: Δρίτσος Σ.Η.

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

Στις περιπτώσεις όπου αναμένεται ορισμένη αξιόπιστη πλαστιμότητα των κρισίμων περιοχών, είναι αποδεκτό να λαμβάνεται ο μετελαστικός κλάδος της καμπύλης  $F-\delta$  ως οριζόντιος μέχρι την παραμόρφωση αστοχίας του στοιχείου,  $\delta_u$ .

*Η εκτίμηση της ανελαστικής σεισμικής απόκρισης δεν επηρεάζεται ουσιωδώς αν αγνοηθεί η λόγω κράτυνσης θετική κλίση του μετελαστικού κλάδου. Πάντως ο μετελαστικός κλάδος μπορεί να λαμβάνεται με μικρή θετική κλίση για λόγους αριθμητικής ευστάθειας της ανάλυσης.*

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη τυχόν αναμενόμενη έντονη εξασθένηση της απόκρισης με την ανακύκλιση της παραμόρφωσης, ή φαινόμενα 2ας τάξεως, ο μετελαστικός κλάδος οφείλει να λαμβάνεται με αρνητική κλίση.

*Αν χρησιμοποιείται ανελαστική μέθοδος ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης (βλ. §§ 5.7 και 5.8), η χρήση αρνητικής κλίσης της καμπύλης  $F-\delta$  μπορεί να οδηγήσει σε αριθμητικά προβλήματα και λανθασμένα αποτελέσματα. Έτσι, σε αυτές τις περιπτώσεις, συνιστάται μια κατάλληλη μείωση της  $F_y$ , ώστε ένας συντηρητικότερος οριζόντιος μετελαστικός κλάδος, να λαμβάνει προσεγγιστικώς υπόψη και την εξασθένηση απόκρισης υπό μεγαλύτερες παραμορφώσεις.*

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

Το μήκος  $L_s$  είναι ο λόγος  $M/V$  στην ακραία διατομή του στοιχείου, δηλαδή η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών.

Ο υπολογισμός της δυσκαμψίας κατά την Εξ. (2) μέσω των  $M_y$ ,  $\theta_y$  μπορεί να βασίζεται σε σταθερή τιμή του μήκους διάτμησης  $L_s = a_s h = M/V$ , ως εξής:

- Σε δοκούς που συνδέονται και στα δύο άκρα με κατακόρυφα στοιχεία, το  $L_s$  μπορεί να λαμβάνεται ίσο με το μισό του καθαρού ανοίγματος της δοκού.
- Σε δοκούς που συνδέονται με κατακόρυφο στοιχείο μόνο στο ένα άκρο, το  $L_s$  μπορεί να λαμβάνεται ίσο με το συνολικό καθαρό άνοιγμα της δοκού.
- Σε υποστυλώματα, το  $L_s$  μπορεί να λαμβάνεται ως το μισό του καθαρού ύψους μέσα στο υπόψη κατακόρυφο επίπεδο κάμψης όπως αυτό ορίζεται, π.χ., από το κάτω πέλμα υπερκείμενης δοκού μέχρι το άνω πέλμα της υποκείμενης δοκού, ή την ποδιά τοιχοποιίας ή τοιχώματος στο επίπεδο αυτό σε επαφή με μέρος του ύψους του υποστυλώματος (κοντό υποστύλωμα).
- Στα τοιχώματα, το  $L_s$  μπορεί να λαμβάνεται σε κάθε όροφο διαφορετικό και ίσο με το μισό της απόστασης της διατομής βάσης ορόφου από την κορυφή του τοιχώματος στο κτίριο.

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Α

### ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ Ή ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ΜΟΡΦΗΣ Γ, Τ, Π

#### 1) Διατομή οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη

Η παρούσα παράγραφος του παραρτήματος 7Α ισχύει για ορθογωνικές διατομές. Ισχύει επίσης και για διατομές Γ, Τ, Π, κ.λ.π. στις οποίες η θλιβόμενη ζώνη έχει σταθερό πλάτος  $b$ . Η συνθήκη αυτή ελέγχεται με βάση το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή  $\xi_y d$ , με  $\xi_y$  που υπολογίζεται από την Εξ. (Α.3). Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις της παραγράφου 2 του παρόντος παραρτήματος οι οποίες ισχύουν και για την περίπτωση θλιβόμενης ζώνης σταθερού πλάτους  $b$ .

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού, τότε:

$$(1/r)_y = \frac{f_y}{E_s(1 - \xi_y)d} \quad (A.1)$$

Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μη-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος (για παραμόρφωση ακραίας θλιβόμενης ίνας πέραν του  $\epsilon_c \approx 1.8f_c/E_c$ ), τότε:

$$(1/r)_y = \frac{\epsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8f_c}{E_c \xi_y d} \quad (A.2)$$

Λαμβάνεται η μικρότερη των τιμών  $(1/r)_y$  από τις Εξ. (Α.1) και (Α.2).

Το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή,  $\xi_y$ , ανηγμένο στο στατικό ύψος  $d$ , είναι:

$$\xi_y = (\alpha^2 A^2 + 2\alpha B)^{1/2} - \alpha A, \quad (A.3)$$

όπου  $\alpha = E_s/E_c$  και τα  $A, B$  προσδιορίζονται από τις κατωτέρω Εξ. (Α.4) ή (Α.5), εάν η διαρροή ελέγχεται από τον εφελκόμενο οπλισμό ή από το θλιβόμενο σκυρόδεμα αντίστοιχα:

*Ι. Διαρροή λόγω χάλυβα:*

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y},$$
$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5\rho_v(1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y}. \quad (A.4a)$$

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

II. Διαρροή λόγω παραμορφώσεων σκυροδέματος:

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{\varepsilon_c E_s b d} \approx \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1.8 \alpha b d f_c} \quad (\text{A.5a})$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0.5 \rho_v (1 + \delta')$$

Στις Εξ. (Α.4) και (Α.5),  $\rho$ ,  $\rho'$  και  $\rho_v$  είναι τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο  $bd$ ),  $\delta' = d'/d$ , όπου  $d'$  η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος,  $b$  το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης και  $N$  το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη).

Με δεδομένη την καμπυλότητα στη διαρροή, η αντίστοιχη ροπή  $M_y$  προκύπτει ως:

$$\frac{M_y}{bd^3} = (1/r)_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \left( 0.5(1+\delta') - \frac{\xi_y}{3} \right) + \left[ (1-\xi_y)\rho + (\xi_y - \delta')\rho' + \frac{\rho_v}{6}(1-\delta') \right] \cdot (1-\delta') \frac{E_s}{2} \right\}. \quad (\text{A.6a})$$

Αντί των Εξ. (Α.1) έως και (Α.5) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικά οι ημι-εμπειρικές σχέσεις:

Για υποστυλώματα ή δοκούς:

$$(1/r)_y = 1.73 f_y / E_s h \quad (\text{A.7a})$$

ή

$$(1/r)_y = 1.52 f_y / E_s d \quad (\text{A.7β})$$

Για τοιχώματα:

$$(1/r)_y = 1.43 f_y / E_s h \quad (\text{A.8a})$$

ή

$$(1/r)_y = 1.33 f_y / E_s d \quad (\text{A.8β})$$

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

Εάν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία, η γωνία στροφής χορδής  $\theta_y$  στην καμπτική διαρροή στοιχείων μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη έκφραση:

- Για δοκούς ή υποστυλώματα:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0014 \left( 1 + 1,5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.2\alpha)$$

- Για τοιχώματα:

$$\theta_y = (1/r)_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0,0013 + \frac{(1/r)_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.2\beta)$$

Στις Εξ. (Σ.2), ο 1<sup>ος</sup> όρος εκφράζει την συμβολή των καμπτικών παραμορφώσεων, ο 2<sup>ος</sup> όρος εκφράζει τις μέσες διατμητικές παραμορφώσεις στο μήκος  $L_s$ , ενώ ο 3<sup>ος</sup> όρος εκφράζει την επιρροή της εξόλκευσης του τμήματος των ράβδων πέραν της ακραίας διατομής του στοιχείου ( $f_y$  και  $f_c$  σε MPa).

Ο συντελεστής  $a_v$  ισούται με 1 εάν η τέμνουσα,  $V_{R,c}$  που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου, υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή  $V_{Mu}=M_y/L_s$ , και με 0 αν είναι μεγαλύτερη.



# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

Η τέμνουσα,  $V_{R,c}$ , που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου, μπορεί να υπολογισθεί απ' την εξίσωση:

$$V_{R,c} = \max \left[ 180(100\rho_{tot})^{1/3}, 35\sqrt{1 + \sqrt{\frac{0.2}{d}}} f_c^{1/6} \right] \left( 1 + \sqrt{\frac{0.2}{d}} \right) f_c^{1/3} + 0.15 \frac{N}{A_c}$$

(Σ.3)

όπου,  $\rho_{tot}$  είναι το συνολικό ποσοστό του διαμήκους οπλισμού,  $d$  το στατικό ύψος (σε m),  $f_c$  η αντοχή του σκυροδέματος (σε MPa)  $N$  η αξονική δύναμη (σε kN, θετική για θλίψη) και  $A_c$  το εμβαδόν της διατομής (σε m<sup>2</sup>).

---

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

- i) Για τη μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία δοκών ή υποστυλωμάτων που έχουν διαστασιολογηθεί και κατασκευασθεί με τις μετά το 1985 διατάξεις για αντισεισμικότητα:

$$\theta_{um} = 0,016 \cdot (0,3^v) \left[ \frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega - \omega')} f_c \right]^{0.225} (\alpha_s)^{0,35} 25^{\left( \alpha \rho_s \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100} \rho_d), \quad (\Sigma.11\alpha)$$

όπου:

$\alpha_s = M/Vh$ , ο λόγος διάτμησης.

$\omega, \omega'$ : ολικό μηχανικό ποσοστό οπλισμού και μηχανικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού).

$v = N/bhf_c$ : ( $b$ = πλάτος θλιβόμενης ζώνης).

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_y}{f_c}$$

$\rho_s = A_{sh}/b_w s_h$ : γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης.

$\rho_d$ : γεωμετρικό ποσοστό τυχόν δισδιαγώνιου οπλισμού.

$$\alpha = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_o}\right) \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_o \cdot h_o}\right)$$

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

## ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

### Δοκοί και Υποστυλώματα

$$V_R = \frac{h-x}{2L_s} \min(N; 0,55A_c f_c) + \left(1 - 0,05 \min(5; \mu_{\theta}^{pl})\right) \left[0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) (1 - 0,16 \min(5; \alpha_s)) \sqrt{f_c} A_c + V_w\right],$$

Όπου:

$$V_w = \rho_w b_w z f_{yw}$$

Για ορθογωνικές διατομές

$$V_w = \frac{\pi}{2} \frac{A_{sw}}{s} f_{yw} (D - 2c)$$

Για κυκλικές διατομές

$$\mu_{\theta}^{pl} = \frac{\theta_{pl}}{\theta_y}$$

### Τοιχώματα

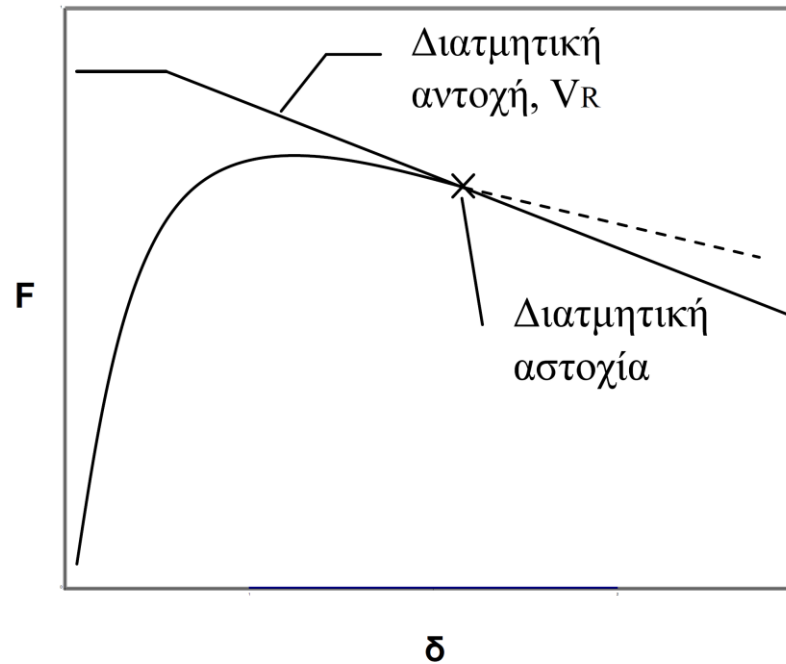
$$V_{R,max} = 0,85 \left(1 - 0,06 \min(5; \mu_{\theta}^{pl})\right) \left(1 + 1,8 \min\left(0,15; \frac{N}{A_c f_c}\right)\right) (1 + 0,25 \max(1,75; 100\rho_{tot})) (1 - 0,2 \min(2; \alpha_s)) \sqrt{f_c} b_w z.$$

### Κοντά Υποστυλώματα ( $L/h \leq 2$ )

$$V_{R,max} = \frac{4}{7} \left(1 - 0,02 \min(5; \mu_{\theta}^{pl})\right) \left(1 + 1,35 \frac{N}{A_c f_c}\right) (1 + 0,45 (100\rho_{tot})) \sqrt{\min(40; f_c)} b_w z \sin 2\delta$$

Πηγή: Δρίτσος Σ.Η.

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων



Αν η τέμνουσα αντοχής του στοιχείου,  $V_R$ , υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή,  $V_{Mu}=M_y/L_s$ , τότε καθοριστική της διαρροής είναι η διάτμηση, οπότε η παραμόρφωση διαρροής υπολογίζεται ως το γινόμενο της  $(1/r)_y$  ή της  $\theta_y$  επί  $V_R L_s / M_y$ , ανάλογα με το νόημα της  $\delta$  (ως  $1/r$  ή ως  $\theta$ ).

# Ανελαστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων

Για την τελική επιλογή του διαγράμματος ροπών-στροφών της διατομής, ελέγχεται αν η αστοχία από τέμνουσα προηγείται της καμπτικής αστοχίας. Έτσι, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

1. Εάν το στοιχείο αστοχεί από τέμνουσα προτού διαρρεύσει σε κάμψη, δηλαδή αν  $V_R < V_{My}$ , τότε επιτρέπεται να λαμβάνεται πλαστική γωνία στροφής στο άκρο του μετά την εξάντληση της διατμητικής αντοχής ίση με το 40% της αντίστοιχης γωνίας στροφής χορδής στην καμπτική διαρροή,  $\theta_y$ , κατά την §Α΄.3.4.
2. Η σταδιακή εξασθένηση της αντίστασης  $V_R$  σε τέμνουσα κατά τις μετελαστικές ανακυκλίσεις, ενδέχεται να προκαλέσει αστοχία από τέμνουσα ακόμη και στην περίπτωση όπου αρχικώς ήταν  $V_R > V_{My}$ . Σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται η γωνία στροφής για την οποία προκύπτει  $V_R = V_{My}$  και η τιμή αυτή λαμβάνεται ως η στροφή αστοχίας της διατομής.
3. Αν για κάθε τιμή της πλαστικής παραμόρφωσης προκύπτει  $V_R > V_{My}$  τότε η διατμητική αντοχή της διατομής είναι τέτοια ώστε να προηγείται η καμπτική αστοχία, οπότε τελικά διατηρούνται οι τιμές των  $\theta_y$  και  $\theta_{um}$  που υπολογίστηκαν αρχικά.