

# ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Γ. Παναγόπουλος  
Καθηγητής Εφαρμογών, ΤΕΙ Σερρών

# Βασικές έννοιες ΚΑΝ.ΕΠΕ.

## 1. Ορισμοί

## 2. Ανασχεδιασμός Κατασκευών

*Διαδικασία Αποτίμησης – Ανασχεδιασμού*

## 3. Κριτήρια Επεμβάσεων

## 4. Στρατηγική Επεμβάσεων

## 5. Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

*Καμπύλη Αντίστασης (Ικανότητας) Κατασκευών*

*Επιρροή επεμβάσεων στην Καμπύλη Αντίστασης*

## 6. Τύποι επεμβάσεων

*Ενίσχυση Κατασκευής ως Σύνολο*

*Καμπύλη Αντίστασης Ενισχυμένης Διατομής*



# 1. Ορισμοί

# Ορισμοί

- **Επισκευή (repair):** Επαναφορά του δομικού στοιχείου ή του κτίσματος στην κατάσταση προ της βλάβης
- **Ενίσχυση (strengthening):** το σύνολο των μέτρων αναβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή, δυσκαμψία, πλασιμότητα κλπ.) δομικού στοιχείου ή κτίσματος μέχρις ενός επιθυμητού ή απαιτητού επιπέδου. Είναι δυνατή η ενίσχυση και χωρίς την παρουσία βλαβών
- **Ανακατασκευή (reconstruction):** η κατασκευή, στην θέση του παλιού, ενός νέου δομικού στοιχείου ή κτίσματος (αντίγραφο ή και διαφορετικό). Η τελική απόφαση βασίζεται σε ιστορικούς, κοινωνικούς, χρηστικούς ή άλλους λόγους.
- **Αναστήλωση (restoration):** η επαναφορά του δομήματος στην αρχική του μορφή (κυρίως αναφέρεται σε επεμβάσεις σε μνημειακά κτίσματα, απαιτεί σεβασμό στην ιστορική φυσιογνωμία του κτίσματος)
- **Επανάχρηση (rehabilitation):** η περιορισμένη συνήθως διαρρύθμιση και μετατροπή ενός κτιρίου ώστε να εξυπηρετήσει νέες και σύγχρονες χρήσεις και λειτουργίες
- **Διατήρηση (preservation):** διαφύλαξη της υπάρχουσας κατάστασης με μέτρα αποτροπής περαιτέρω φθορών
- **Επέμβαση (intervention):** γενικότερος όρος που αναφέρεται ή υπονοεί οποιαδήποτε από τις παραπάνω έννοιες ή εργασίες.

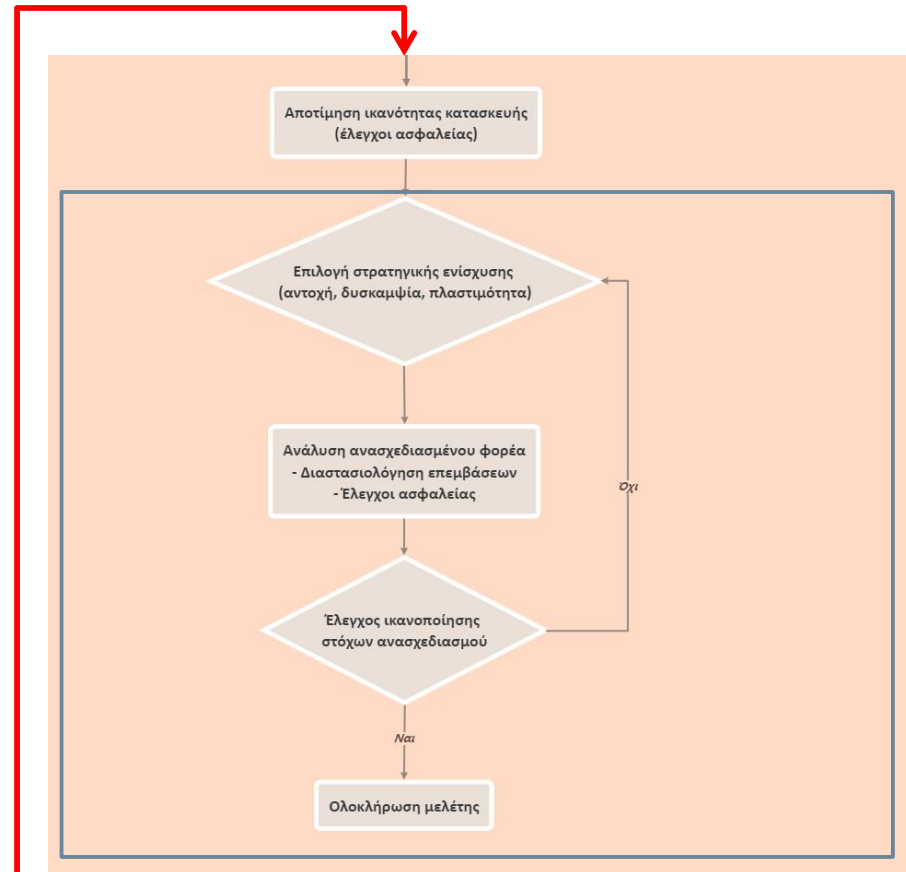
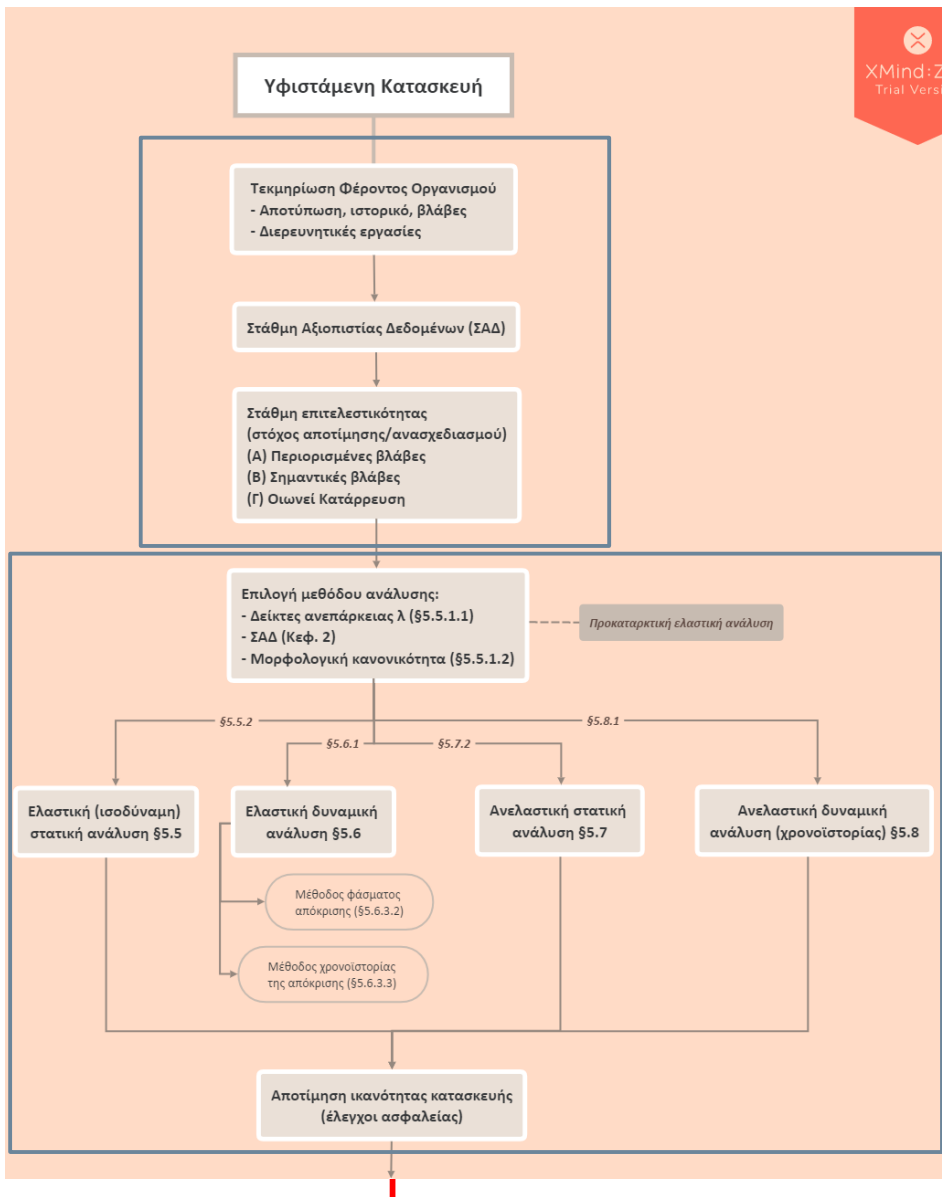
## 2. Ανασχεδιασμός Κατασκευών

# Ο ανασχεδιασμός των κατασκευών

- Διαφορετική προσέγγιση σε σχέση με τον σχεδιασμό νέων κατασκευών
- **Κοινωνική και πολιτιστική διάσταση.** Κυρίως για μνημειακές κατασκευές. Δεν είναι εύκολο να θεσπιστούν κανόνες γενικής ισχύος όπως στο σχεδιασμό νέων κτιρίων
- **Αρχιτεκτονική διάσταση.** Θέματα λειτουργικότητας, αισθητικής και αισθήματος ασφάλειας στους ενοίκους. Να μην αλλοιώνονται οι λειτουργικοί σκοποί και η αισθητική της κατασκευής
- **Οικονομική διάσταση.** Η λύση που θα επιλεγεί θα πρέπει να είναι οικονομικά ωφέλιμη. Αιτιολόγηση της αναγκαιότητας της επέμβασης μέσω ποσοτικοποιημένων εκφράσεων. Πχ σε οδηγίες του Υ.Δ.Ε. μετά το σεισμό του 1978 στη Θεσ/νίκη υπήρχε η αποδοχή της θεώρησης ότι μια επέμβαση είναι οικονομικά ωφέλιμη εφόσον κοστίζει λιγότερο από το 80% της απομένουσας αξίας.

**Απομένουσα αξία:** το κόστος ανακατασκευής (κατεδάφιση παλαιού + ανέγερση νέου) μειωμένη αναλογικά κατά τα χρόνια ζωής σε σχέση με την κατ'εκτίμηση συνολική διάρκεια ζωής του κτίσματος

# Διαδικασία αποτίμησης-ανασχεδιασμού



### 3. Κριτήρια Επεμβάσεων



# Οικονομικά κριτήρια επεμβάσεων

Ορισμός ενός δείκτη  $\delta$  που εξαρτάται από τη σχέση του κόστους επέμβασης προς το κόστος ανακατασκευής καθώς και από την ηλικία της κατασκευής (Υ.Δ.Ε. 1978)

$$\delta = d_{ef} E_j / (E_j - H_\lambda)$$

όπου:

$d_{ef} = k_\varepsilon / k_a$  είναι ο δείκτης οικονομικής αποδοτικότητας,

$k_\varepsilon$  είναι το κόστος επέμβασης,

$k_a$  είναι το κόστος ανακατασκευής συμπεριλαμβανομένου και του κόστους κατεδαφίσεως,

$E_j$  είναι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής της κατασκευής και

$H_\lambda$  είναι η ηλικία της κατασκευής.

- Για  $\delta \leq 0.8$  συνιστάται η λύση της επέμβασης ενώ για  $\delta > 0.8$  συνιστάται η πλήρης ανακατασκευή.
- Με βάση τα σημερινά δεδομένα ίσως θα έπρεπε η τιμή να μειωθεί σε 0.6-0.7.
- Ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής παραμένει αναλοίωτος σε επισκευή, για ενίσχυση όμως θα πρέπει να παραταθεί

# Οικονομικά κριτήρια επεμβάσεων

Στο εγχειρίδιο της UNIDO/UNDP “Post Earthquake Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings under Seismic Conditions” (1985) ορίζεται δείκτης οικονομικής αποδοτικότητας  $d_{ef}$  ανάλογα με τη λειτουργία του κτιρίου

$$d_{ef} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{k_{ex} + k_d}$$

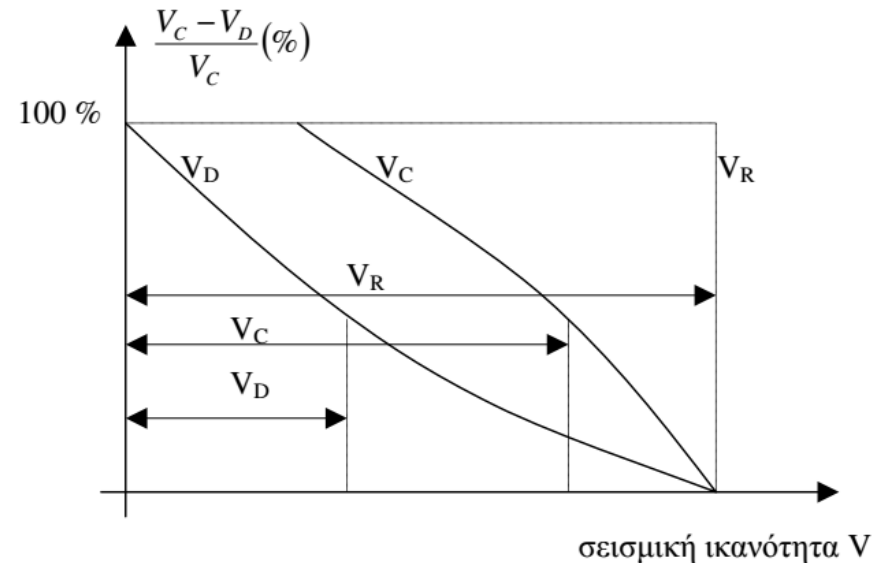
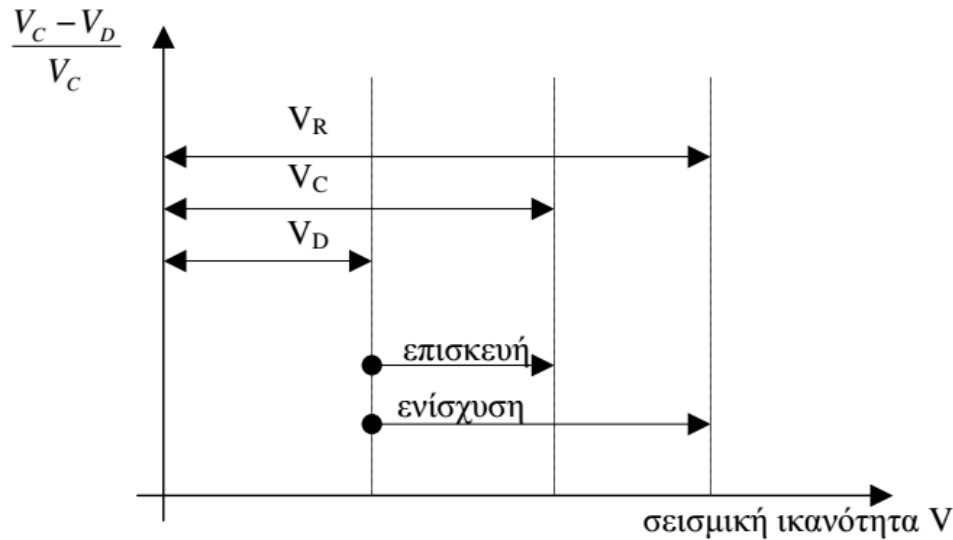
όπου:

- $k_1$  είναι το κόστος επισκευής και ενίσχυσης του φέροντος οργανισμού,
- $k_2$  είναι το κόστος επισκευής του οργανισμού πλήρωσης,
- $k_3$  είναι το κόστος επισκευής των υπολοίπων μη φερόντων στοιχείων,
- $k_4$  είναι το κόστος επεμβάσεων για λειτουργικούς λόγους,
- $k_{ex}$  είναι το κόστος ανακατασκευής του κτιρίου και
- $k_d$  είναι το κόστος κατεδάφισης του υφισταμένου κτιρίου..

# Δομικά κριτήρια επεμβάσεων

Διάφορες μέθοδοι για τη λήψη απόφασης για **επισκευή ή ενίσχυση**, καθώς και για τον τύπο και το **βαθμό της ενίσχυσης**.

Μία από τις πρώτες στον ελληνικό χώρο συντάχθηκε το 1978 από το ΕΜΠ «Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό»



$V_R$  = απαιτούμενη σεισμική ικανότητα

$V_C$  = διαθέσιμη σεισμική ικανότητα

$V_D$  = απομένουσα σεισμική ικανότητα

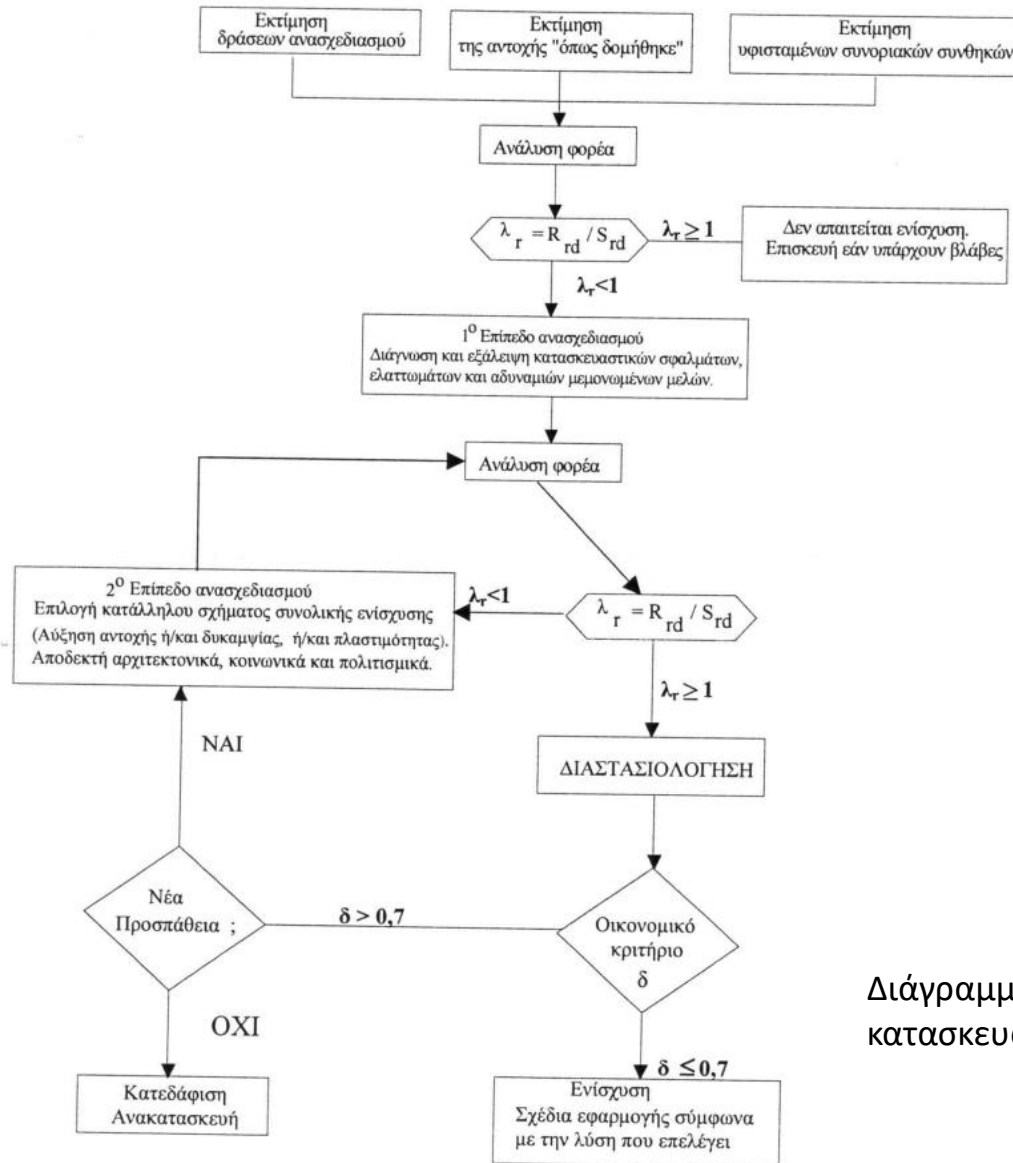
## 4. Στρατηγική Επεμβάσεων

# Στρατηγική για τις επεμβάσεις

Διακρίνονται **4 βασικά στάδια** που συνθέτουν τη συνολική διαδικασία για τον ανασχεδιασμό μιας κατασκευής

1. Εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης και αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής (αντοχή υλικών, δυσκαμψία, πλαστιμότητα, δράσεις ανασχεδιασμού, συνοριακές συνθήκες, παθολογία κτλ)
2. Εξέταση πιθανών σχημάτων επέμβασης και επιλογή λύσης
3. Αναδιαστασιολόγηση του επισκευασμένου/ενισχυμένου φορέα. Σύνθετη διαδικασία, ειδικά όταν υπάρχουν ενισχύσεις όπου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συνεργασία των υφιστάμενων στοιχείων με τα νέα
4. Κοστολόγηση της λύσης που επιλέχθηκε. Απαραίτητη για να αποφασιστεί αν η λύση είναι οικονομικά ωφέλιμη

# Στρατηγική για τις επεμβάσεις



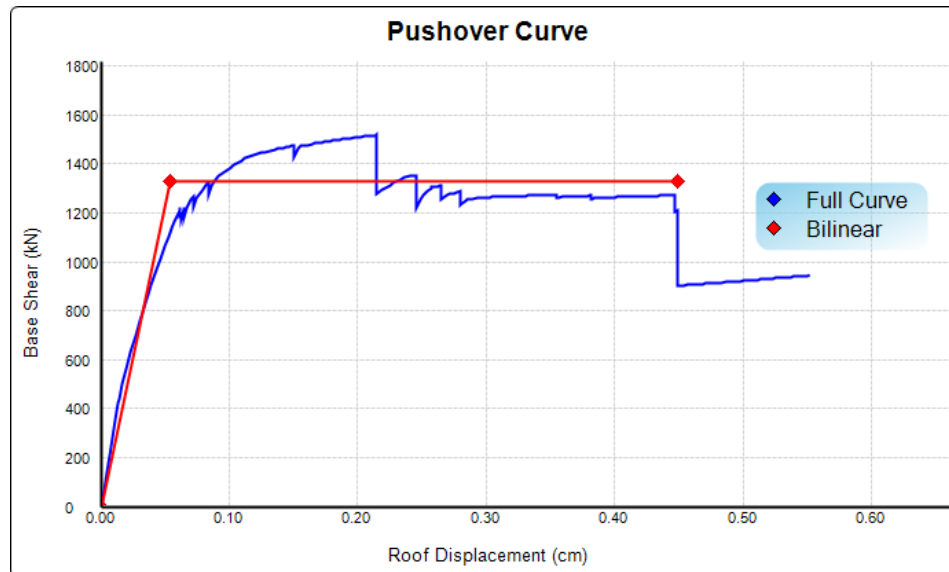
Διάγραμμα ροής για τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών (Pilakoutas & Dritsos, 1992)

# Στρατηγική για τις επεμβάσεις

1. Εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης και αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής (αντοχή υλικών, δυσκαμψία, πλαστιμότητα, δράσεις ανασχεδιασμού, συνοριακές συνθήκες, παθολογία κτλ)



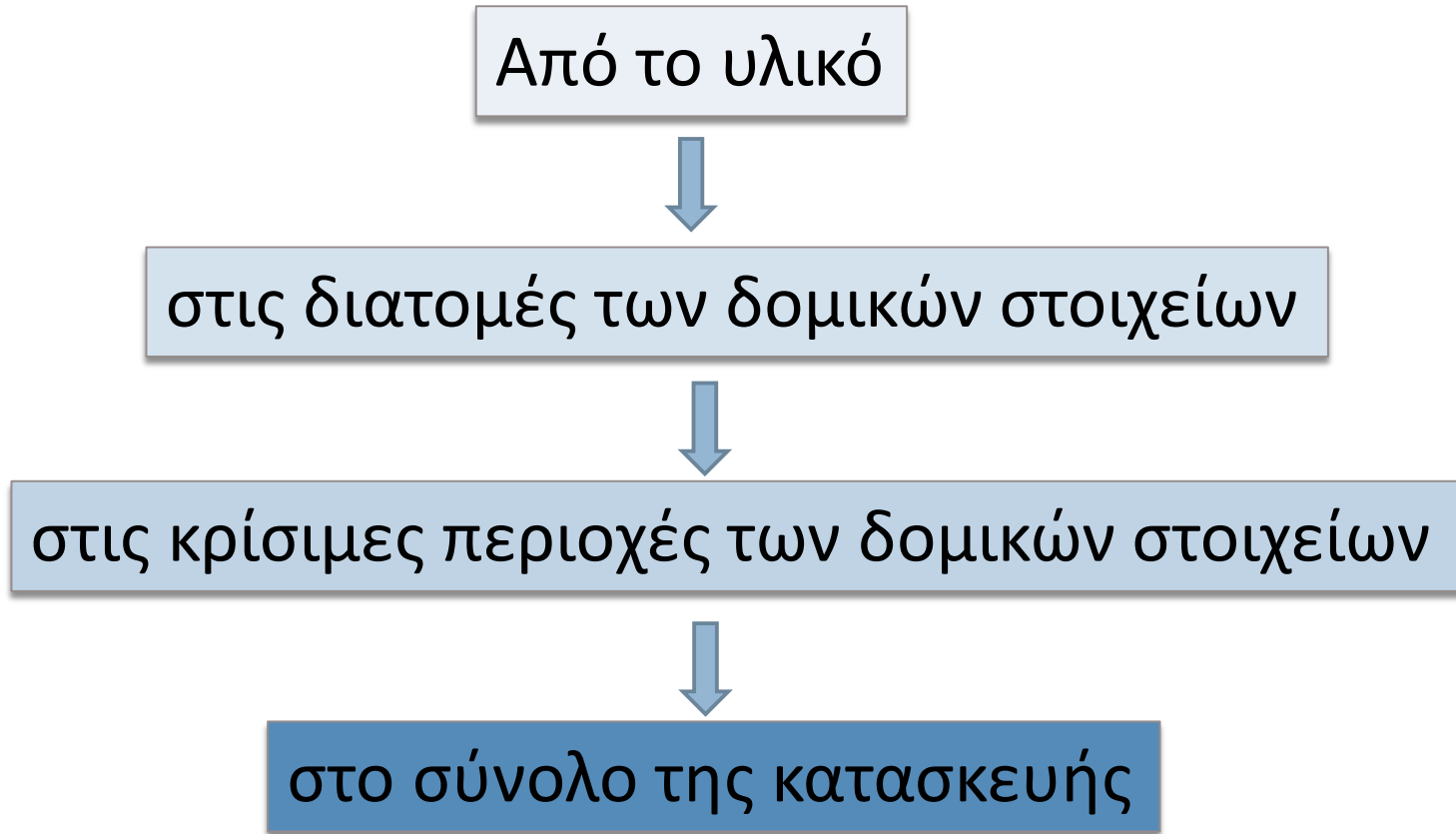
Καμπύλη Αντίστασης (Ικανότητας) Κατασκευής (**Pushover Curve**)



## 5. Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

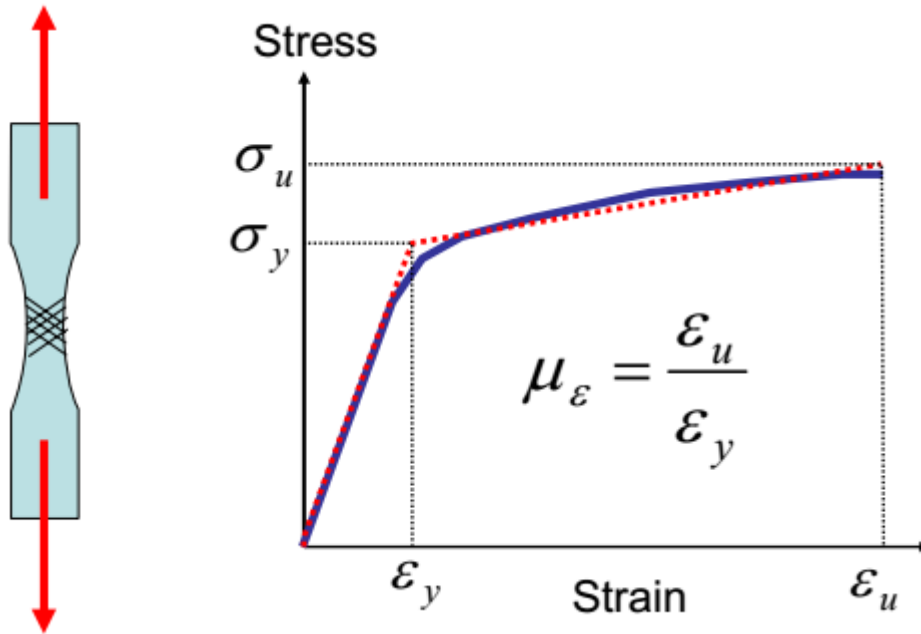


# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών



# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Υλικών**

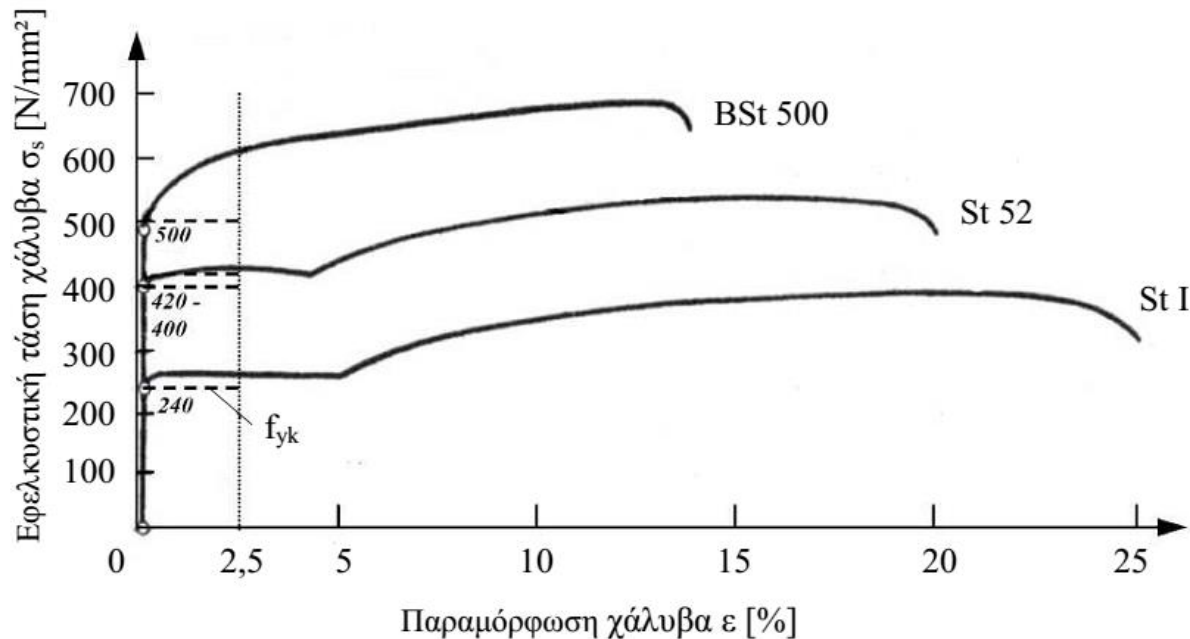


$\gamma$ (ield): διαρροή  
 $\epsilon$ (limate): θεωρητική αστοχία  
 $\mu$ : πλαστιμότητα

Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων χάλυβα

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Υλικών**



Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων χάλυβα οπλισμού<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Καραβεζύρογλου Μ. (2009), Διαχρονική θεώρηση των αντοχών σκυροδέματος και χάλυβα οπλισμών βάσει των κανονισμών, 16<sup>ο</sup> Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Υλικών**



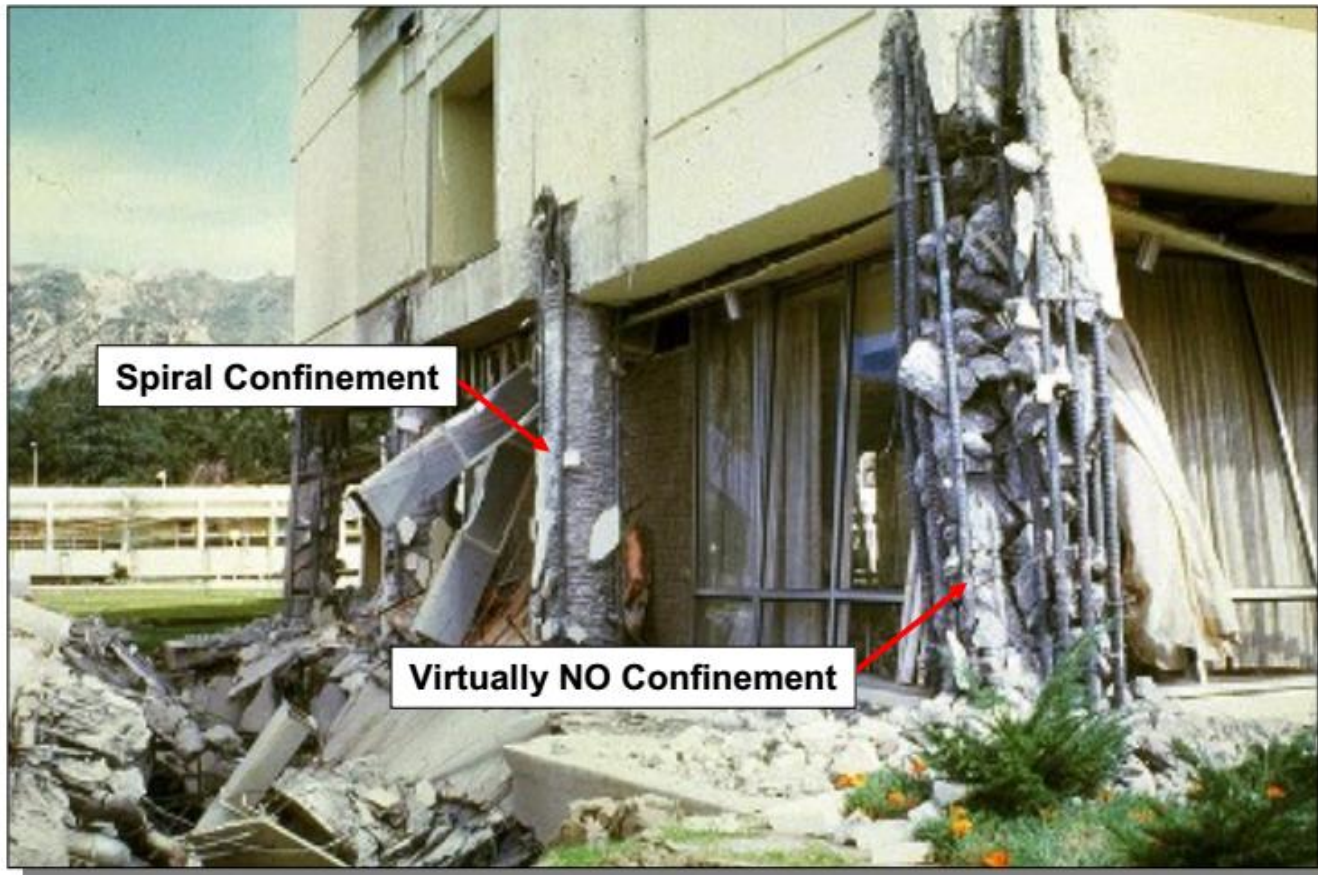
Διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος για  
διάφορα είδη περίσφιξης<sup>(2)</sup>

<sup>(2)</sup> Πενέλης & Κάππος – Αντισεισμικός σχεδιασμός από σκυρόδεμα, Εκδ. Ζήτη, 1990, Θεσ/νικη

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Υλικών**

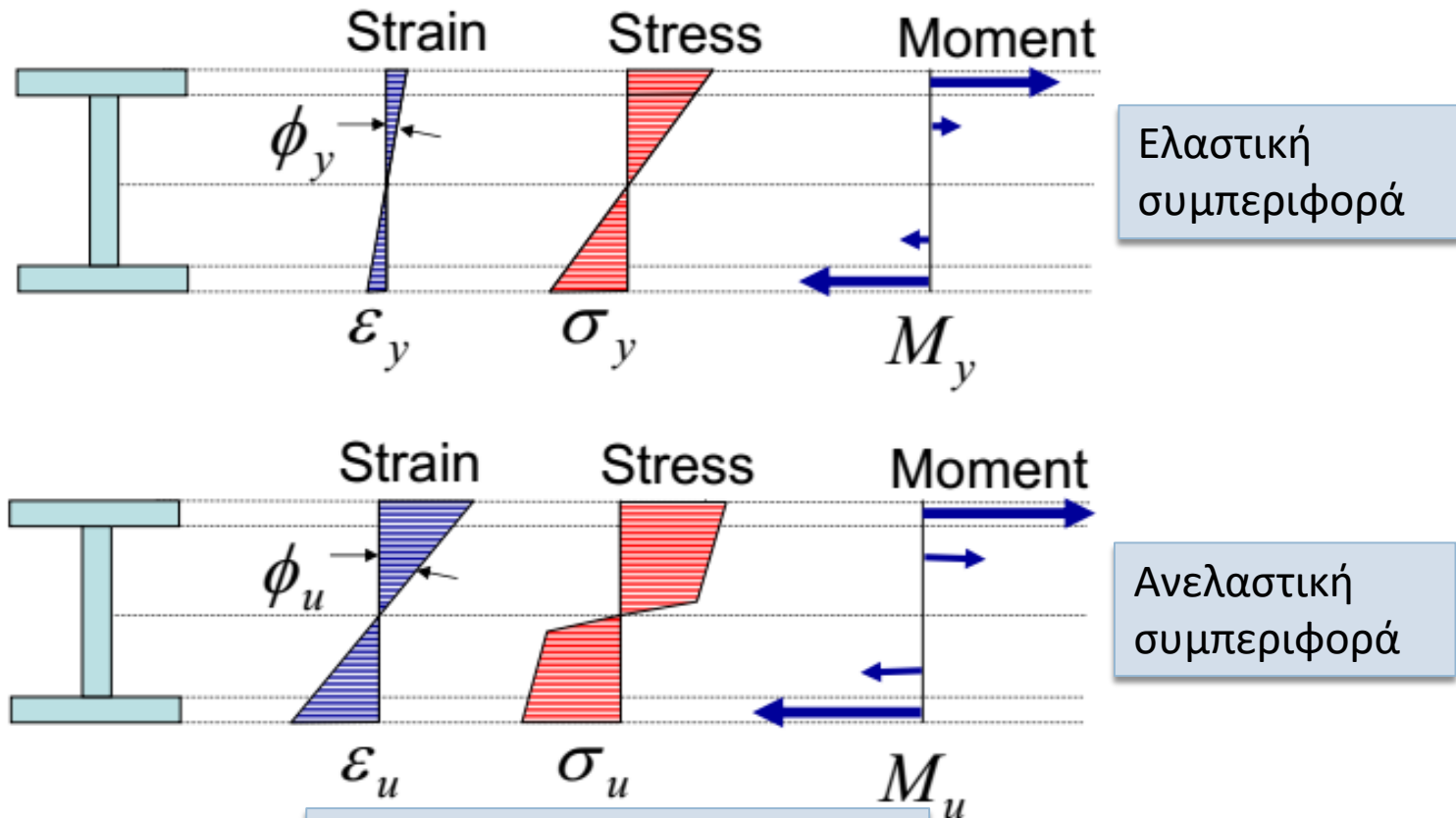
Τα οφέλη της περίσφιξης!



Olive View Hospital, 1971 San Fernando Valley earthquake

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

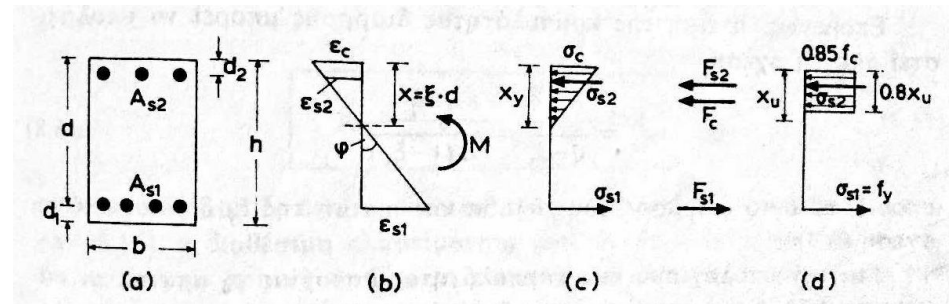
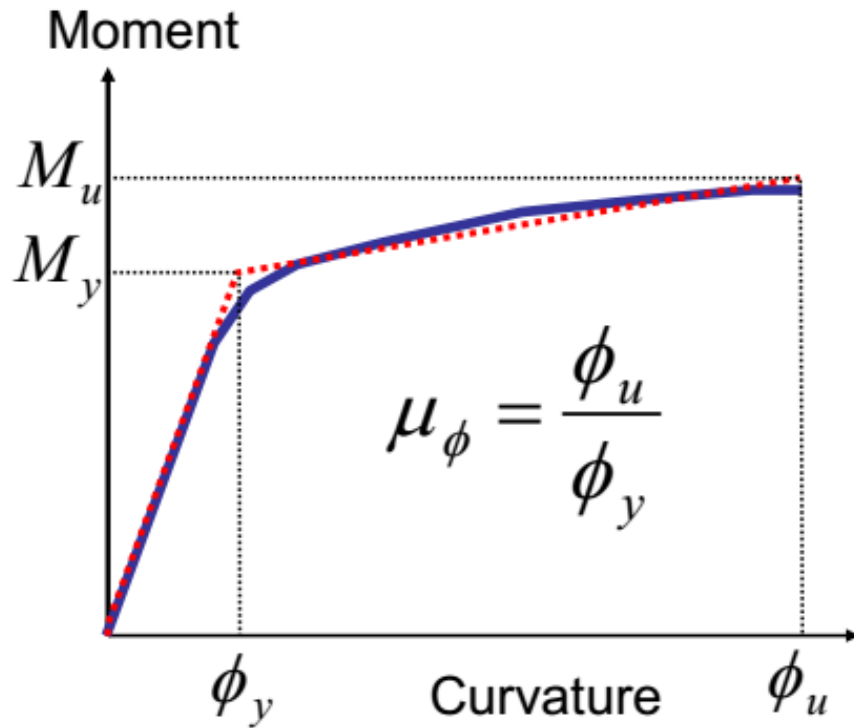
- Ανελαστική Συμπεριφορά **Διατομών**



$\epsilon$ : ανηγμένη παραμόρφωση  
 $\sigma$ : τάση  
 $M$ : ροπή  
 $\phi$ : καμπυλότητα

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Διατομών**



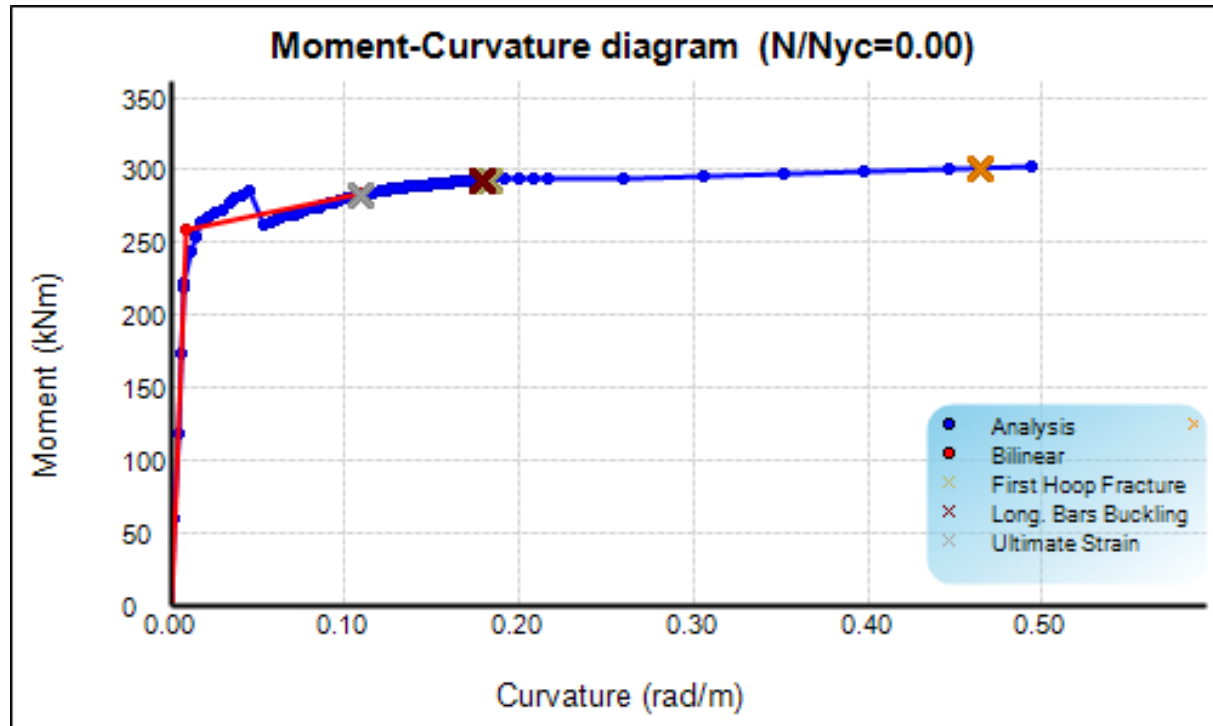
$y$ (ield): διαρροή  
 $u$ (ltimate): θεωρητική αστοχία  
 $\mu_\phi$ : πλαστιμότητα καμπυλοτήτων

Ενδεικτικό απλοποιημένο διάγραμμα ροπών -  
καμπυλοτήτων



# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Διατομών**

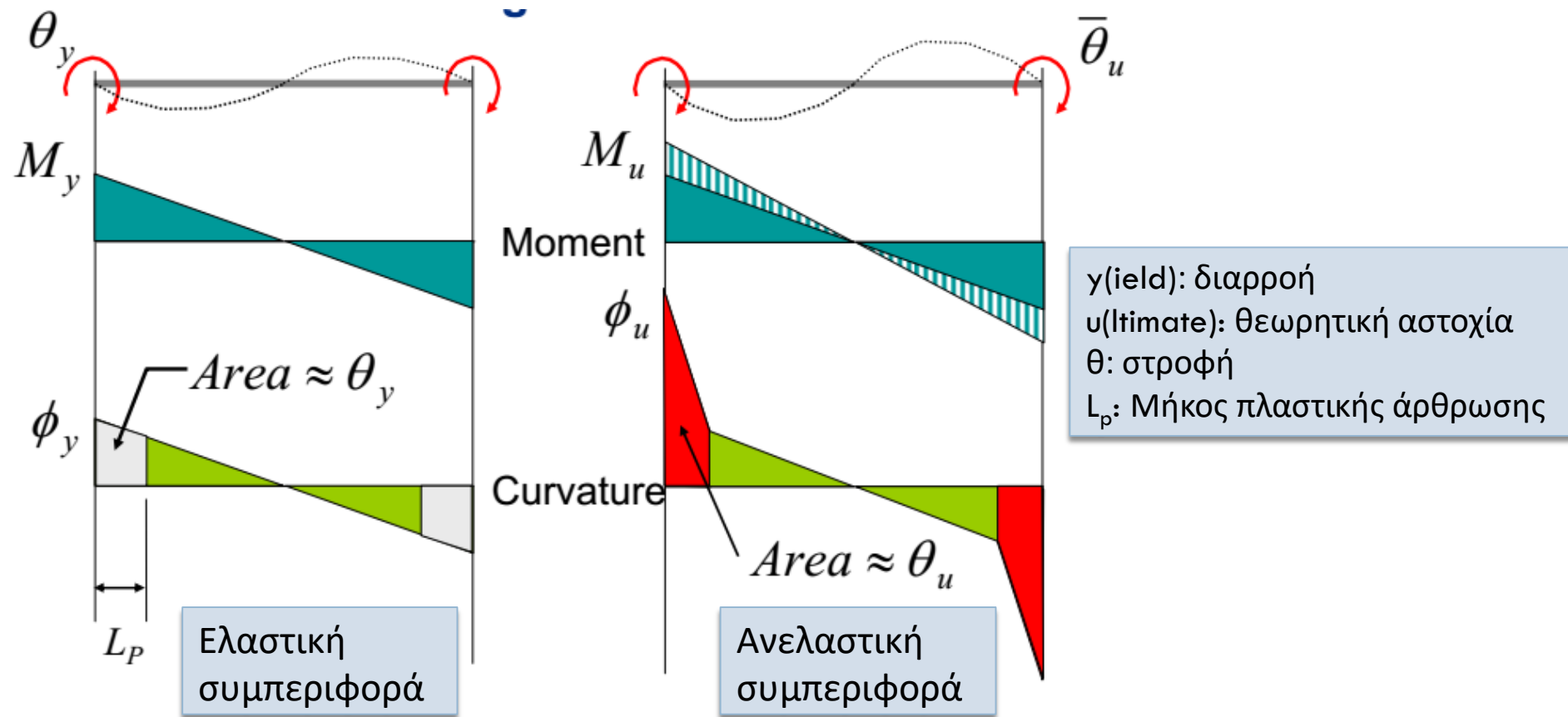


Διάγραμμα ροπών – καμπυλοτήτων τετραγωνικής διατομής υποστυλώματος Ο/Σ (πρόγραμμα RCCOLA)



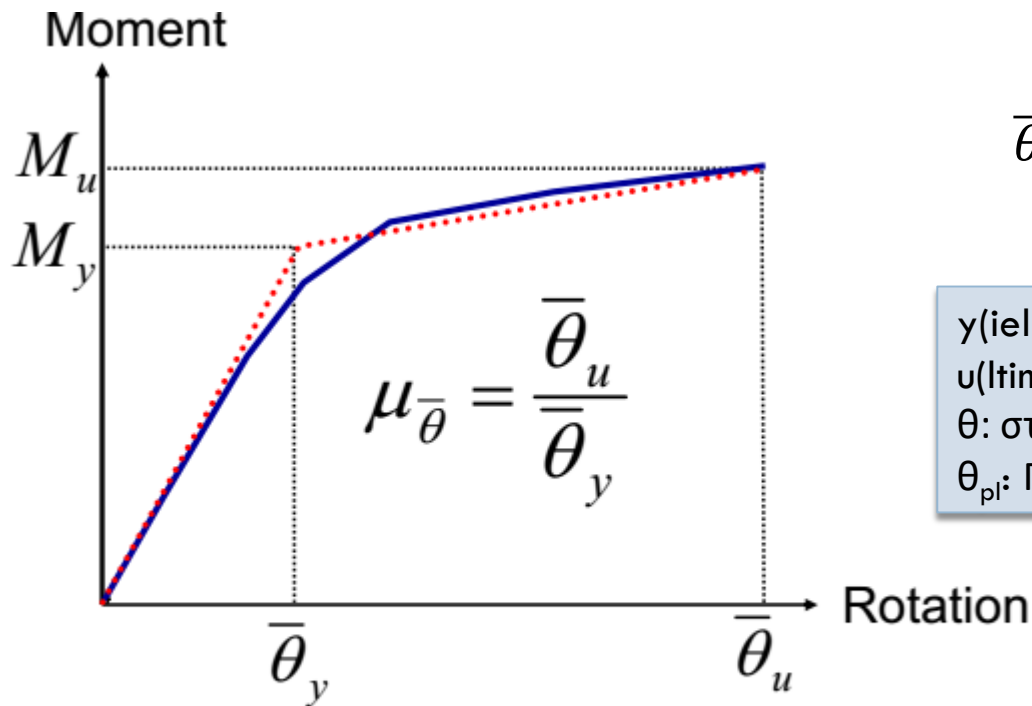
# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Δομικών Στοιχείων**



# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

- Ανελαστική Συμπεριφορά **Δομικών Στοιχείων**



$$\bar{\theta}_{pl} = \bar{\theta}_u - \bar{\theta}_y$$

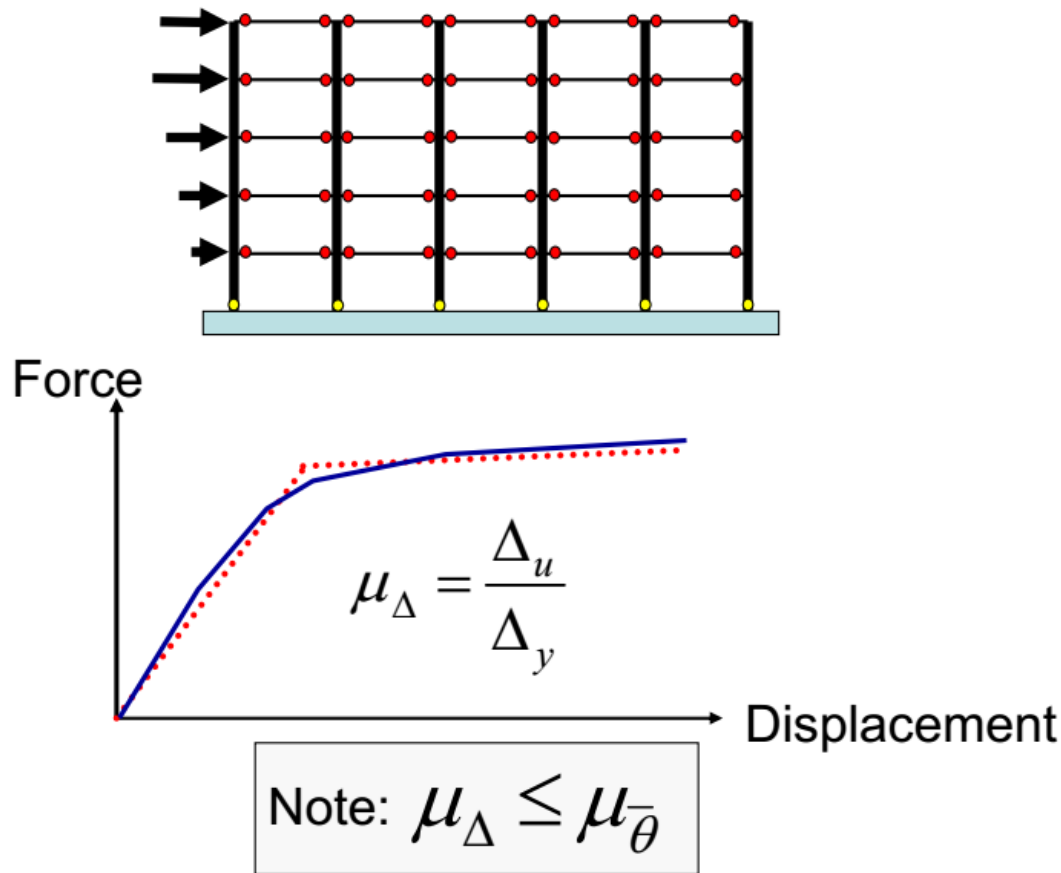
$y$ (ield): διαρροή  
 $u$ (ltimate): θεωρητική αστοχία  
 $\theta$ : στροφή  
 $\theta_{pl}$ : Πλαστική στροφή

NOTE:  $\mu_{\bar{\theta}} \leq \mu_{\theta} \leq \mu_{\phi}$

Ενδεικτικό απλοποιημένο διάγραμμα ροπών - στροφών

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

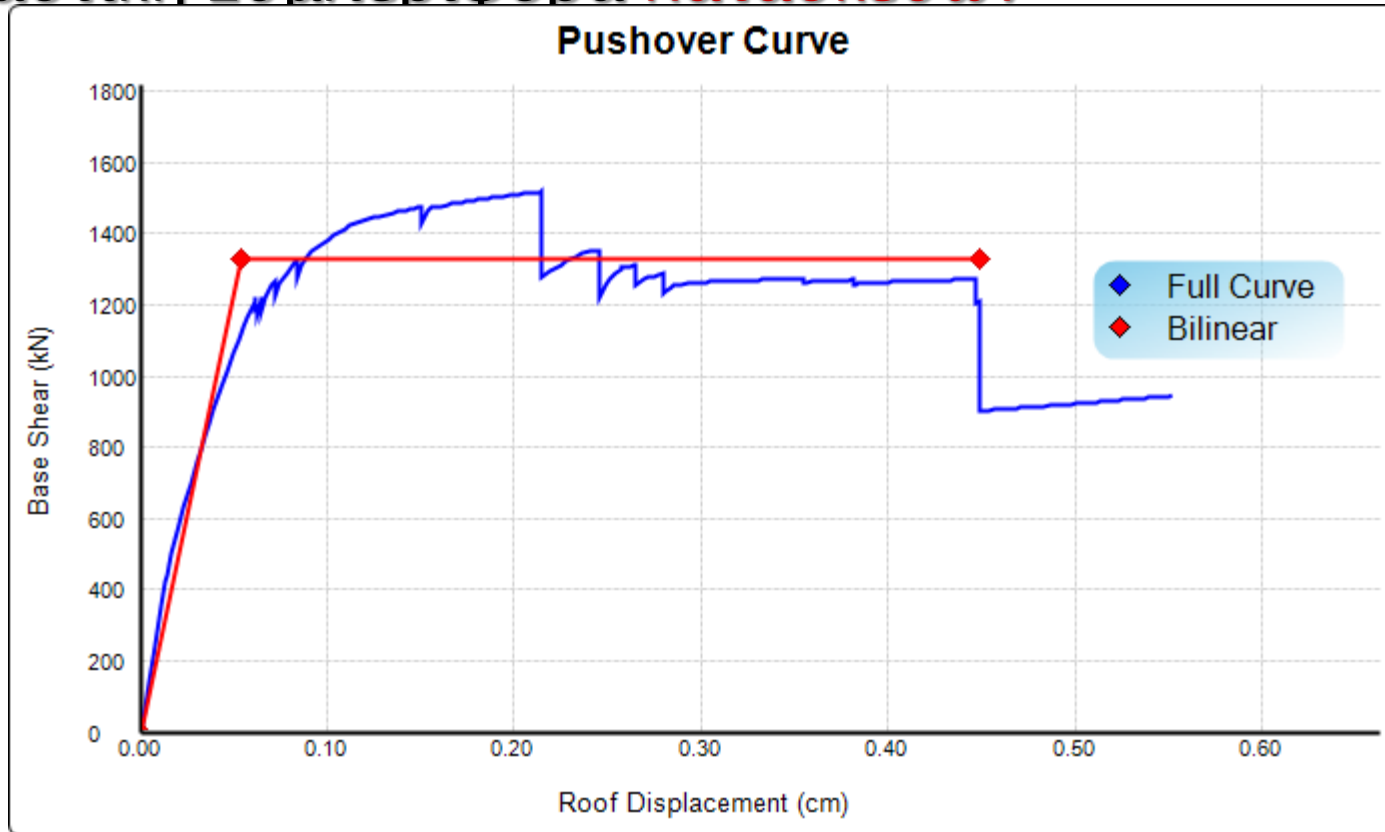
- Ανελαστική Συμπεριφορά **Κατασκευών**



Ενδεικτικό απλοποιημένο διάγραμμα τέμνουσας βάσης – μετακίνησης στην κορυφή (καμπύλη αντίστασης) πολυώροφης κατασκευής.

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

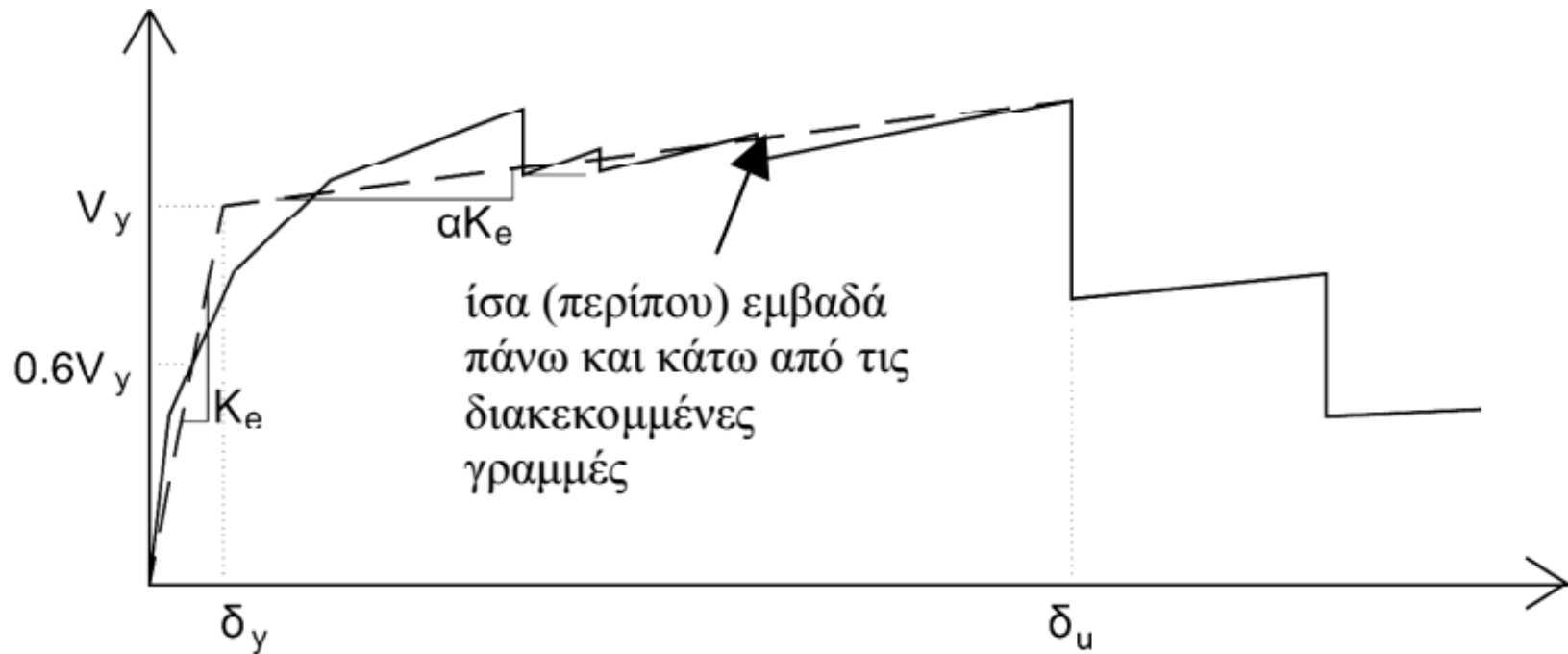
- Ανελαστική Συμπεριφορά **Κατασκευών**



Καμπύλη αντίστασης κατασκευής που υπολογίστηκε μέσω ανελαστικής στατικής (pushover) ανάλυσης και διγραμμική προσέγγισή της

# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

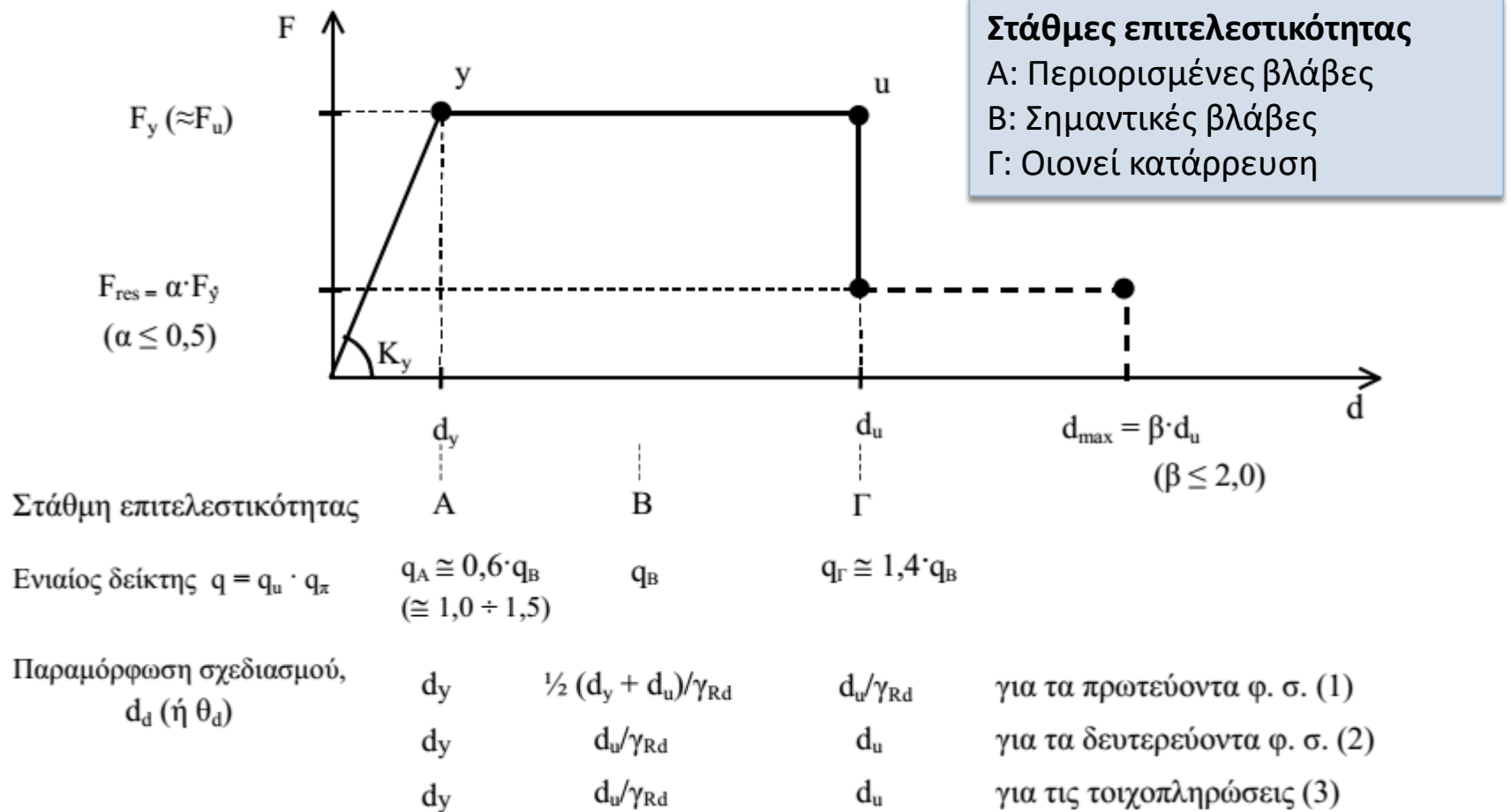
- Ανελαστική Συμπεριφορά **Κατασκευών**



Εξιδανίκευση μιας (σχηματικής) καμπύλης αντίστασης της κατασκευής με διγραμμική καμπύλη στον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

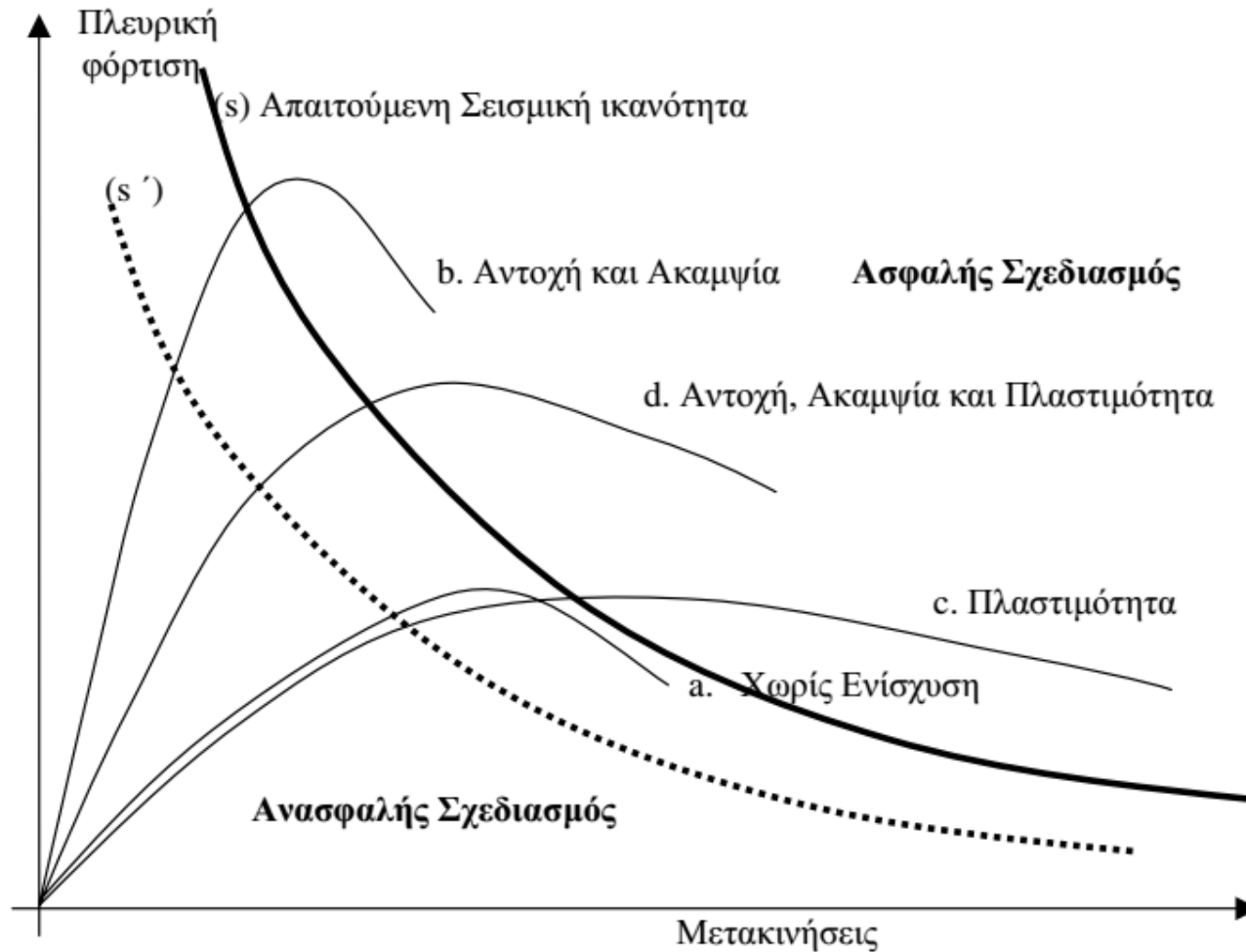
# Ανελαστική Συμπεριφορά Κατασκευών

## • Ανελαστική Συμπεριφορά **Κατασκευών**



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

# Καμπύλη Αντίστασης Υφιστάμενης και Ενισχυμένης Κατασκευής



Πάνω από την καμπύλη  $s$  θεωρείται ασφαλής σχεδιασμός

# Τύποι επεμβάσεων

Οι τύποι ενίσχυσης ανάλογα με την σοβαρότητα της επεμβάσεως μπορούν να ενταχθούν σε μια από τις επόμενες κατηγορίες

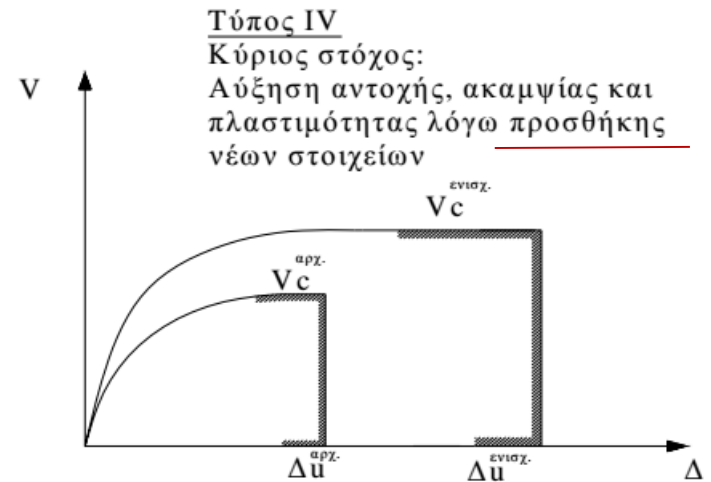
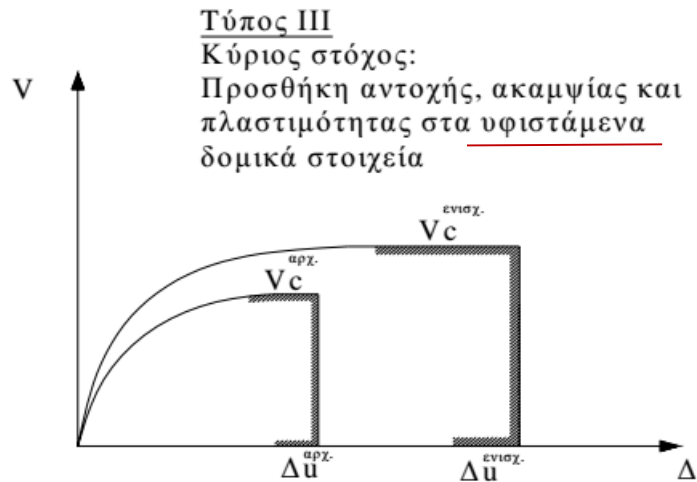
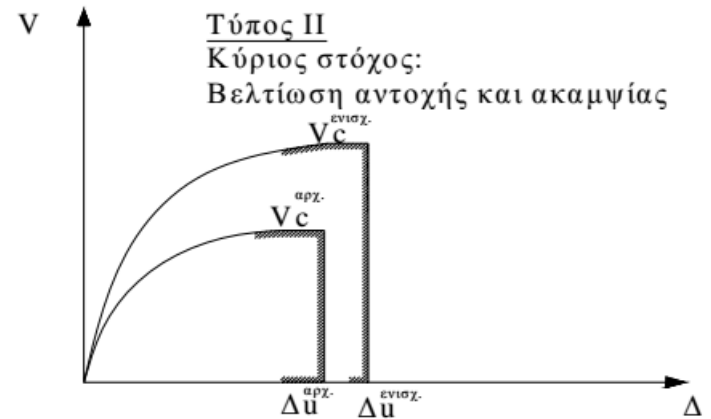
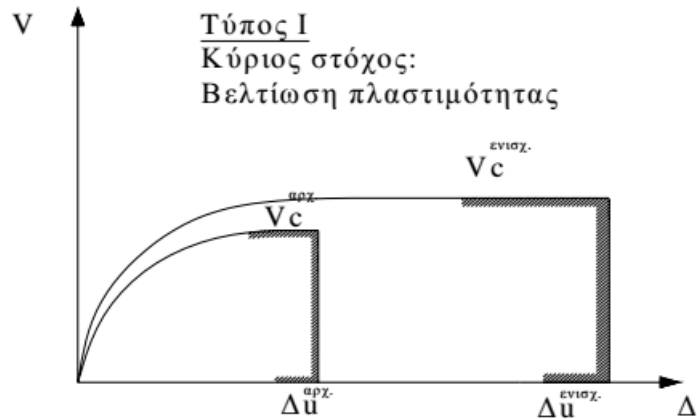
- **Τύπος I:** Βελτίωση της πλαστιμότητας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας με ενίσχυση υφισταμένων στοιχείων (π.χ. λεπτούς μανδύες στους στύλους με πυκνούς συνδετήρες, περίσφιγξη με ελάσματα ή σύνθετα υλικά).
- **Τύπος II:** Αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας με ενίσχυση υφισταμένων στοιχείων (π.χ. αύξηση πάχους τοιχείων).
- **Τύπος III:** Αύξηση της αντοχής, της ακαμψίας και της πλαστιμότητας με ενίσχυση των υφισταμένων στοιχείων (π.χ. επαύξηση πάχους τοιχείων και μανδύες στα υποστυλώματα).
- **Τύπος IV:** Αύξηση της αντοχής, ακαμψίας και πλαστιμότητας με την προσθήκη νέων φερόντων στοιχείων (π.χ. προσθήκη νέων τοιχείων σε συνδυασμό με μανδύες σε υφιστάμενα υποστηλώματα).
- **Τύπος V:** Ενσωμάτωση στην κατασκευή παθητικών, μηχανικών συστημάτων απορρόφησης ενέργειας ιξώδους ή υστερητικής συμπεριφοράς





## 6. Τύποι Επεμβάσεων

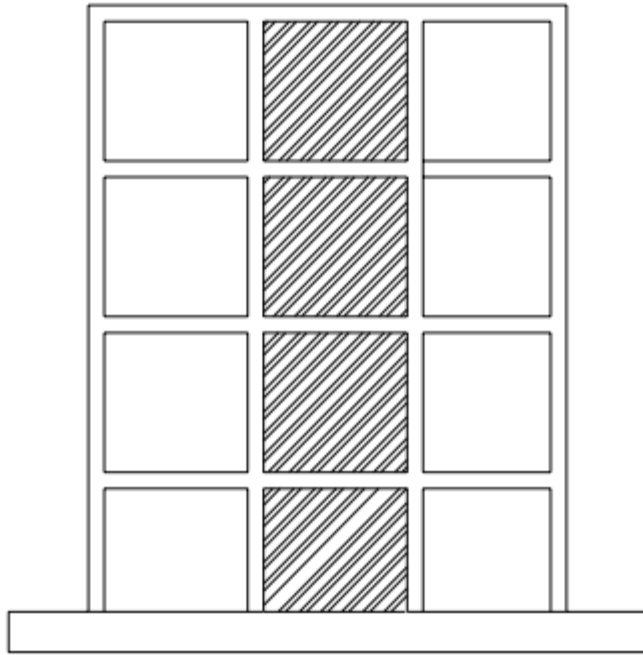
# Τύποι επεμβάσεων



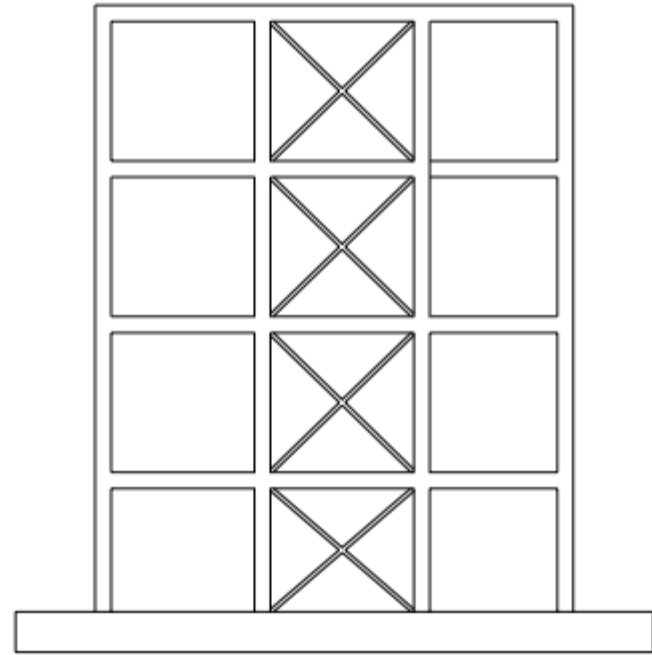
# Αντισεισμική ενίσχυση κατασκευής ως σύνολο

- **Κατασκευή τοιχωμάτων** εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής. Στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής.
- **Κατασκευή δικτυωτών συστημάτων** εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής. Στοχεύει σε μέτρια αύξηση της αντοχής και κυρίως σε αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας της κατασκευής.
- **Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων** από οπλισμένο σκυρόδεμα σε συνέχεια και σύνδεση με υπάρχοντα υποστυλώματα της κατασκευής. Στοχεύει στη βελτίωση της πλαστιμότητας της κατασκευής και σε μερική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας.
- **Κατασκευή μανδυνών** σε κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής. Στοχεύει βασικά στην αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής.
- **Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων** στην κατασκευή. Στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας, αντοχής και πλαστιμότητας της κατασκευής.
- Ενσωμάτωση στην κατασκευή **συστημάτων απορρόφησης ενέργειας**, ιξώδους ή υστερητικής συμπεριφοράς. Στοχεύει στην μείωση της εισαγόμενης σεισμικής έντασης της κατασκευής

# Αντισεισμική ενίσχυση κατασκευής ως σύνολο

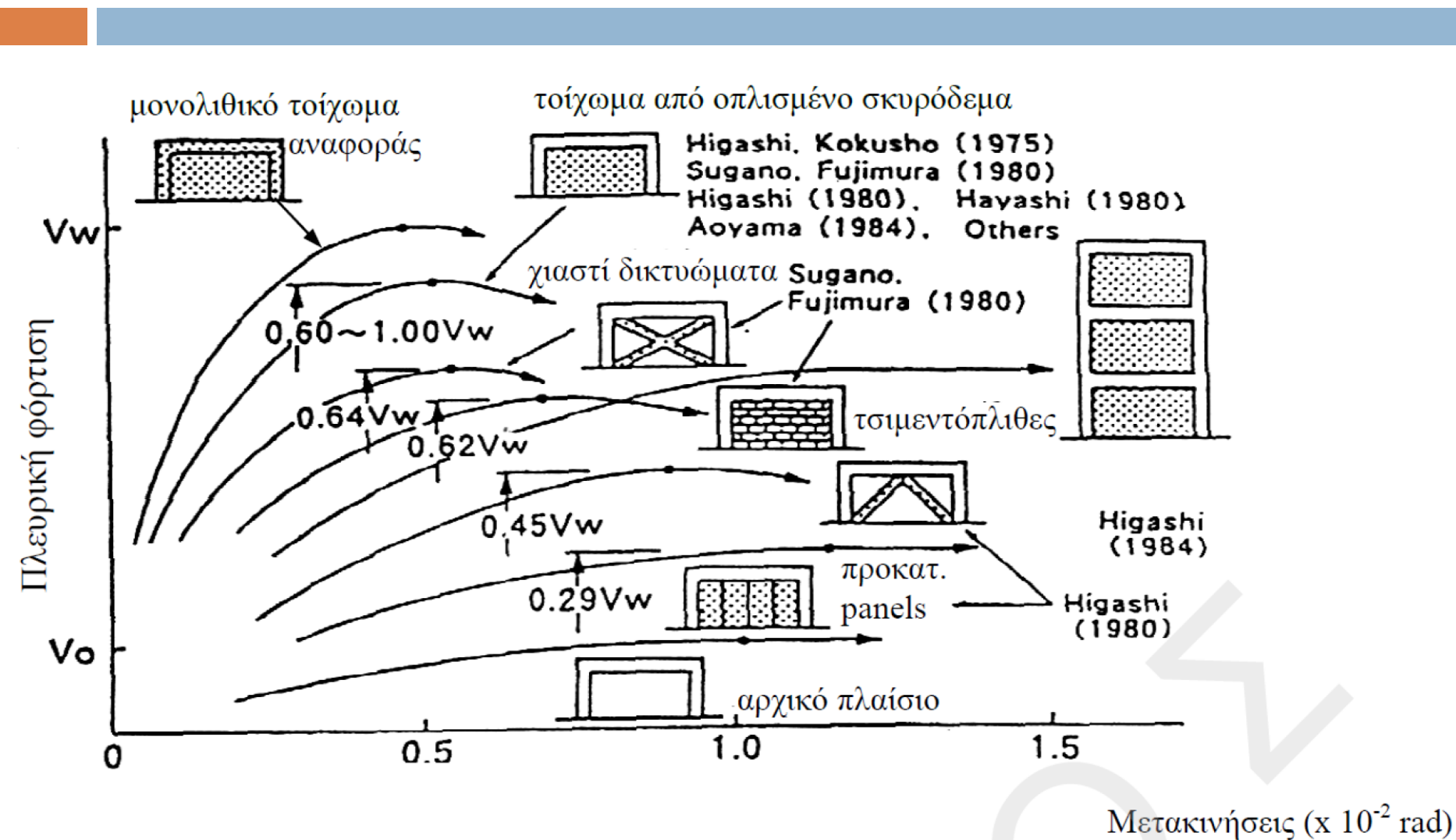


Τοιχώματα εντός πλαισίων



Δικτυωτά συστήματα

# Αντισεισμική ενίσχυση κατασκευής ως σύνολο



Αποτελεσματικότητα διαφόρων μεθόδων ενίσχυσης

# Αντισεισμική ενίσχυση κατασκευής ως σύνολο

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	Αντοχή		Δυσκαμψία		Πλαστιμότητα	
	$V_u' / V_{u,m}$	$V_u' / V_{u,f}$	$K' / K_m$	$K' / K_f$	$\mu' / \mu_m$	$\mu' / \mu_f$
Τοιχώματα από έγχυτο σκυρόδεμα	0,50~1,0	3,5~5,5	0,75~1,0	12,5~25,5	0,85~0,95	0,90
Προκατ. τοιχώματα	0,20~0,80	1,20~4,20	0,15~0,85	3,5~20,5	0,70~3,95	0,70~3,80
Οπλισμένη τοιχοποιία	0,60	3,50	0,35	7,30	0,50	—
Μεταλλικά πλαίσια και δικτυώματα	0,35~0,65	1,70~3,70	0,05~0,30	1,60~6,50	0,50~4,35	1,45~4,25

Πίνακας 1.2: Ενίσχυση πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος

$V_u'$ ,  $K'$  και  $\mu'$  είναι αντιστοίχως η τέμνουσα αντοχής, η ελαστική δυσκαμψία και η πλαστιμότητα του ενισχυμένου πλαισίου.

$V_u$ ,  $K$  και  $\mu$  είναι αντιστοίχως η τέμνουσα αντοχής, η ελαστική δυσκαμψία και η πλαστιμότητα των πλαισίων αναφοράς.

Ο δείκτης  $f$  υποδηλώνει το αρχικό πλαίσιο.

Ο δείκτης  $m$  υποδηλώνει ένα πλαίσιο αναφοράς όπου το τοίχωμα έχει σκυροδετηθεί συγχρόνως (δηλαδή έχει μονολιθική σύνδεση) με το πλαίσιο.