

# Σύνθεση Ειδικών Κατασκευών Σκυροδέματος

## 6. Σεισμική Μόνωση Γεφυρών

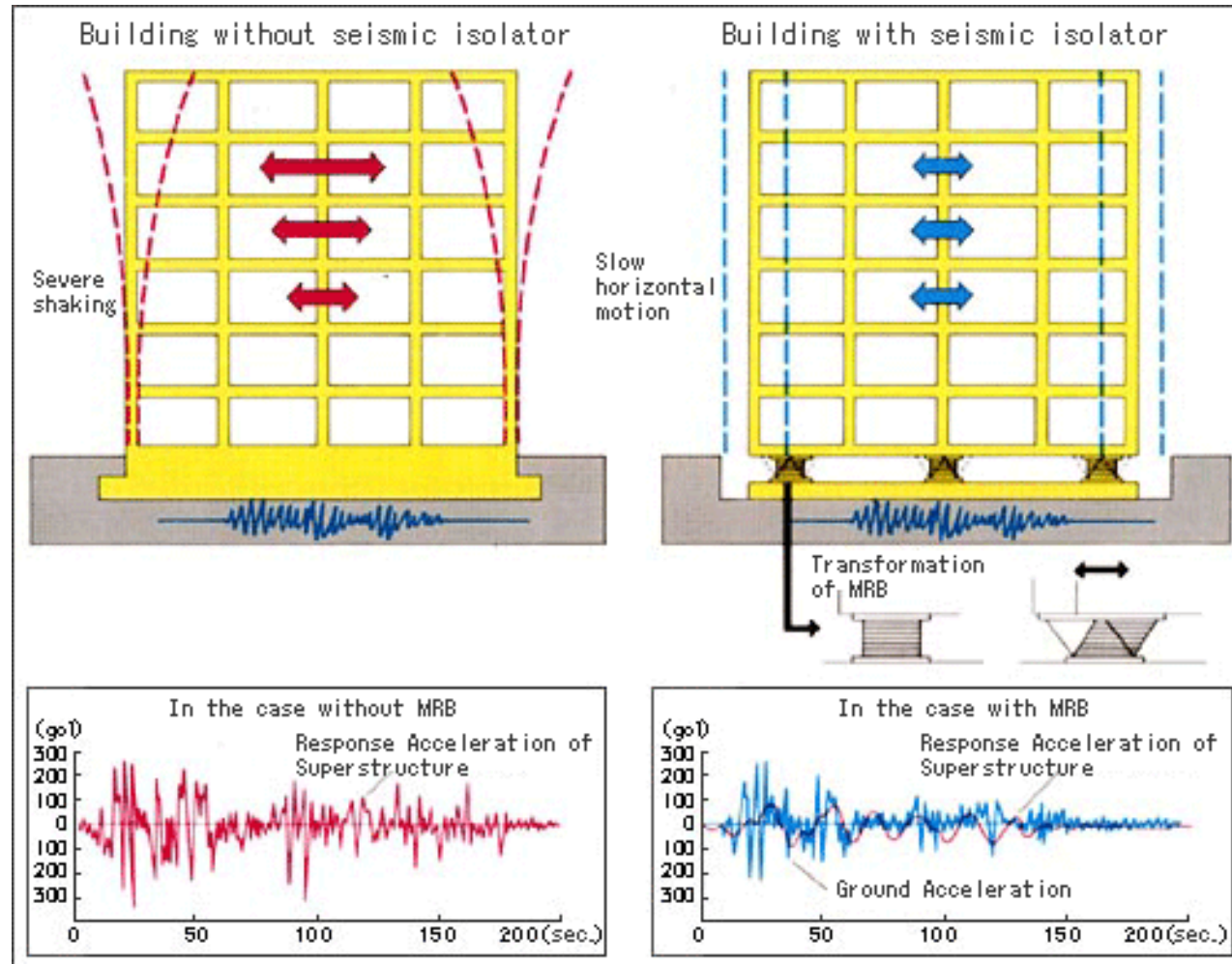
*Τηλέμαχος Παναγιωτάκος*

## 6. Σεισμική Μόνωση Γεφυρών

Στην ενότητα αυτή θα γίνει περιγραφή της σεισμικής μόνωσης γεφυρών. Αρχικά θα γίνει αναφορά στα διαθέσιμα συστήματα σεισμικής μόνωσης (**ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής ή υψηλής απόσβεσης, εφέδρανα με πυρήνα μόλυβδου, εφέδρανα εκκρεμούς τριβής, ιξώδεις αποσβεστήρες κλπ.**) και στη συνέχεια θα αναπτυχθεί η μεθοδολογία διαστασιολόγησής τους σύμφωνα με το μέρος 2 του Ευρωκώδικα 8. Θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της σεισμικής μόνωσης των γεφυρών και θα παρουσιαστεί συγκριτικό παράδειγμα εφαρμογής σεισμικής μόνωσης γέφυρας.

Στόχος της ενότητας είναι ο φοιτητής να γνωρίζει τους τύπους των σεισμικών μονωτήρων και να είναι σε θέση να επιλέξει και να διαστασιολογήσει τον κατάλληλο τύπο μονωτήρα για την γέφυρα.

# Σεισμική Μόνωση

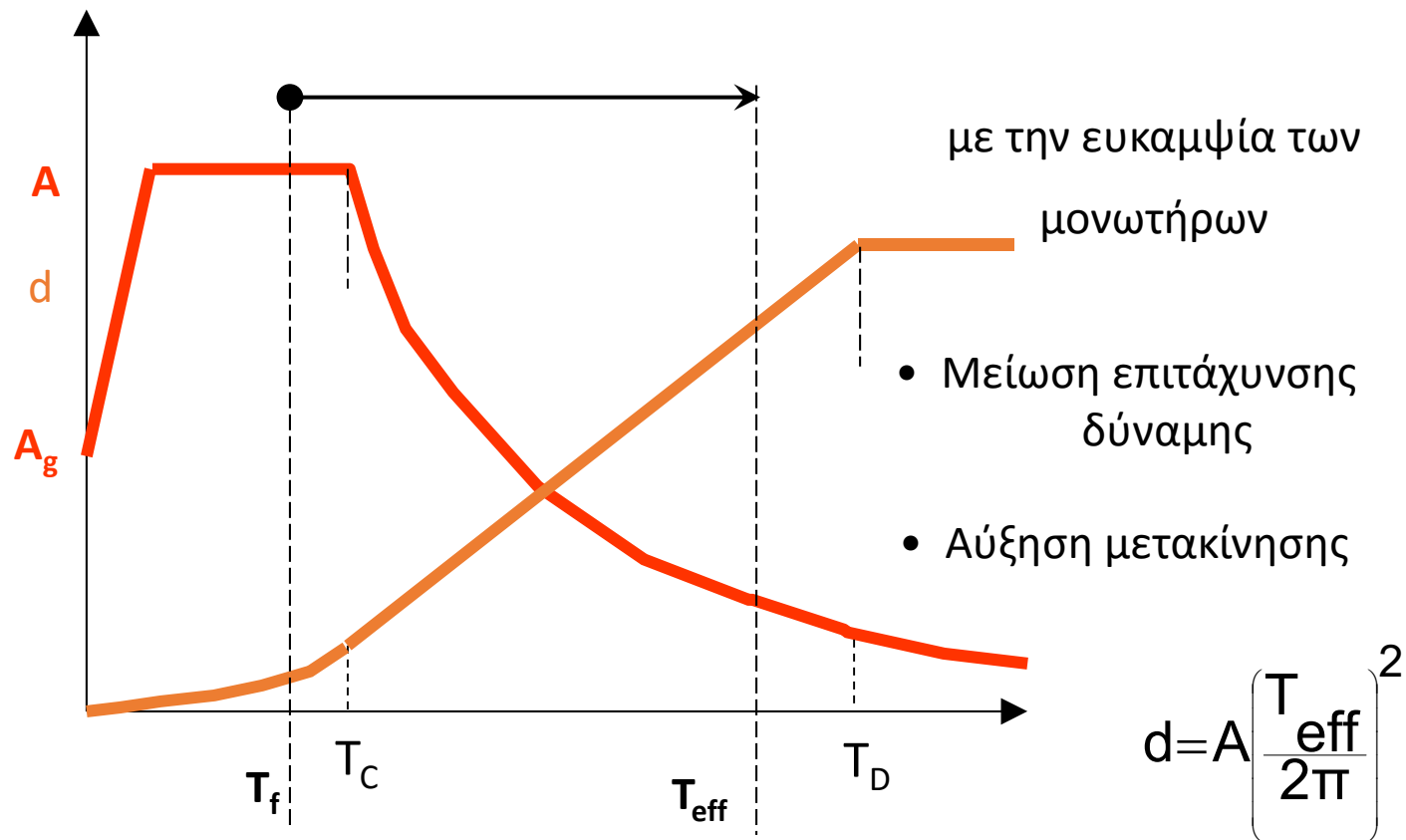


# Εισαγωγή

- Συστήματα Σεισμικής Προστασίας:
  - Μονωτήρες
  - Ιξώδεις Αποσβεστήρες
  - Ενεργά συστήματα
  - Έξυπνα συστήματα

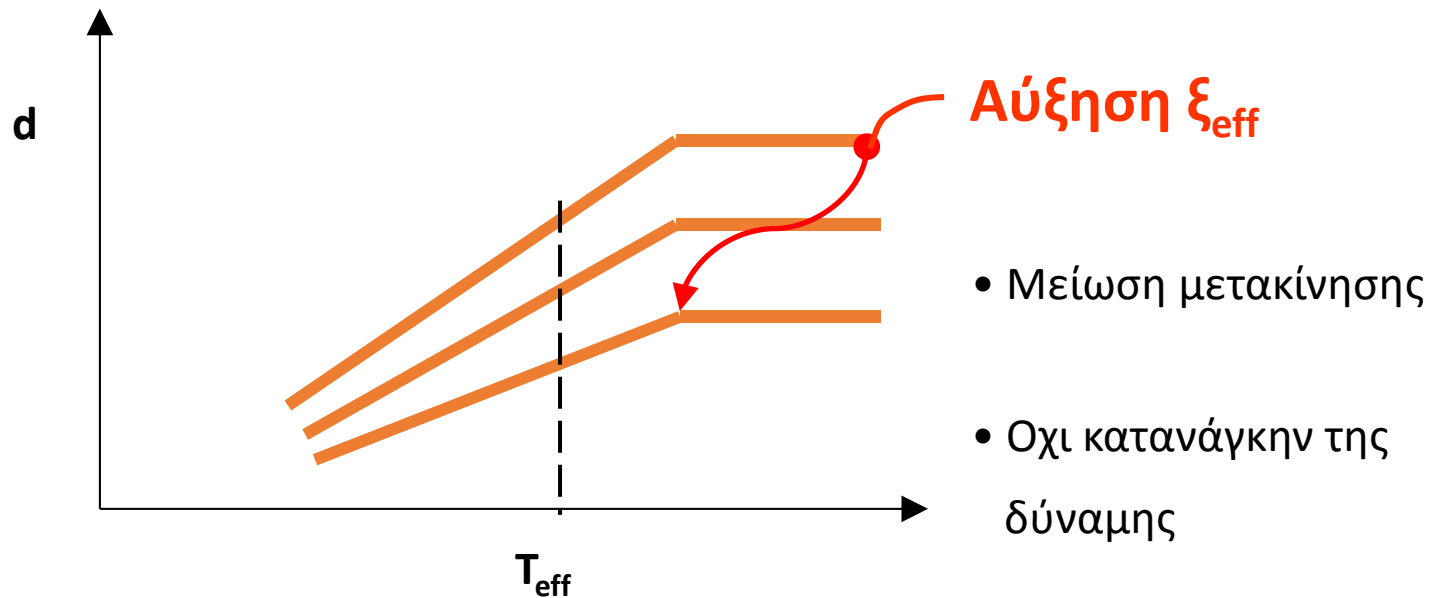
# Μείωση απόκρισης

## Μετάθεση θεμελιώδους περιόδου $T_{eff}$



# Μείωση απόκρισης

Αύξηση της απόσβεσης  $\xi_{eff}$   
με απόδοση ενέργειας από τους μονωτήρες



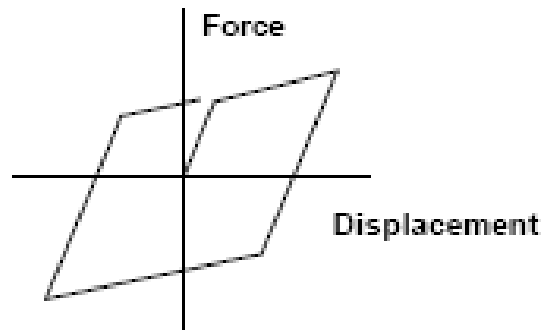
➤ Συνδυασμός αύξησης  $T_{eff}$  και  $\xi_{eff}$  (βέλτιστη)

## Γενικές απαιτήσεις:

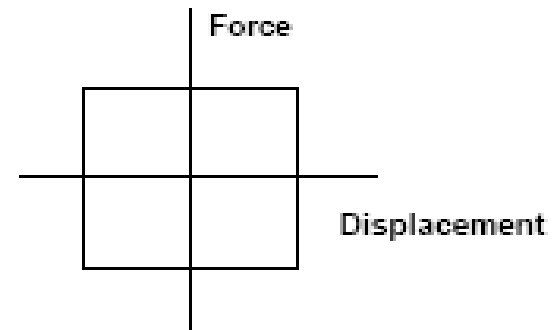
- Μεγάλη οριζόντια ευκαμψία σε συνδυασμό με υψηλή κατακόρυφη δυσκαμψία
- Ικανότητα απόδοσης ενέργειας
  - απόσβεση: ιξώδη, υστερητική ή τριβής
- Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς
- Επαρκής ελαστική δυσκαμψία υπό μη-σεισμικές συνθήκες σχεδιασμού
- Μονωτήρες:
  - επιμέρους στοιχεία που παρέχουν μία ή συνδυασμό των παραπάνω λειτουργιών

# Απόδοση Ενέργειας

- Μετακίνηση

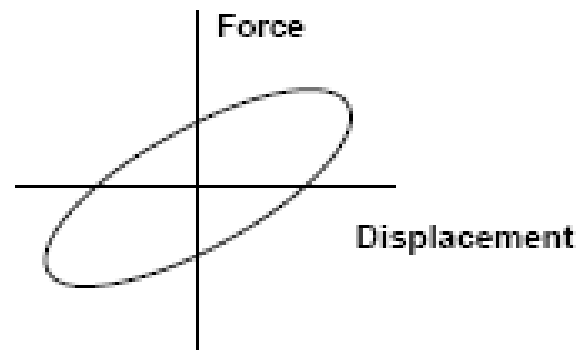


1a. Metallic-yielding damper

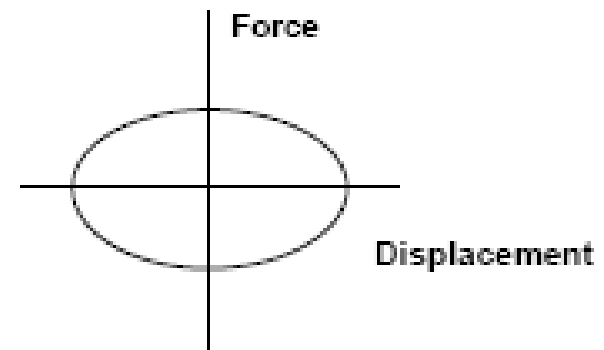


1b. Friction damper

- Ταχύτητα



2a. Viscoelastic damper



2b. Viscous damper

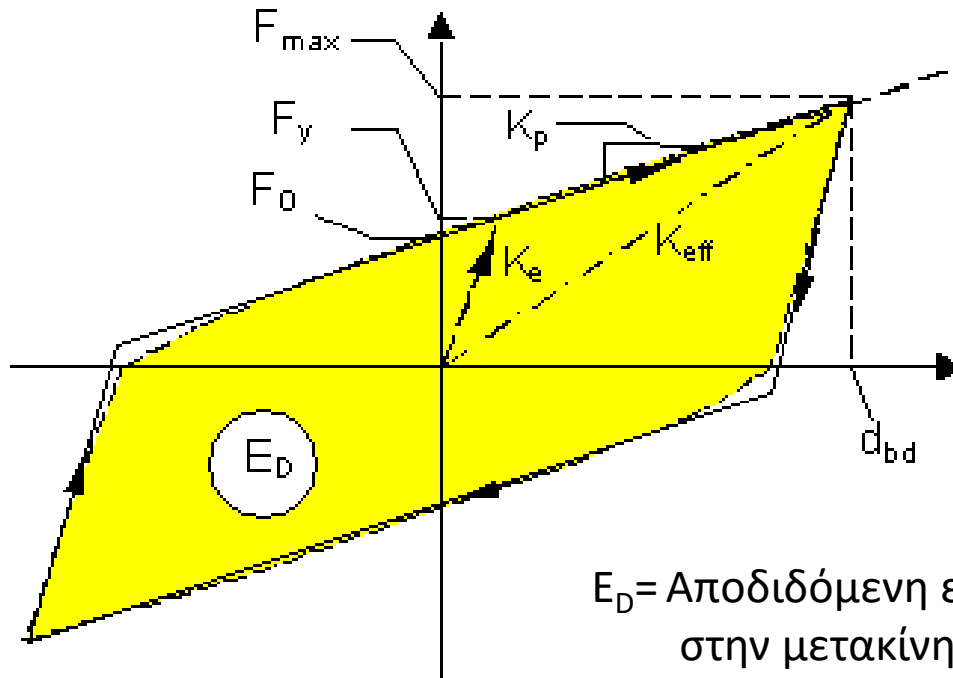


# Συμπεριφορά μονωτήρων

## Υστερητική συμπεριφορά

Διγραμμική σχέση  $F - d$

Χαρακτηριστικά



Δυνάμεις- Μετ/σεις

- Μέγιστες
- Διαρροής

Δυσκαμψίες

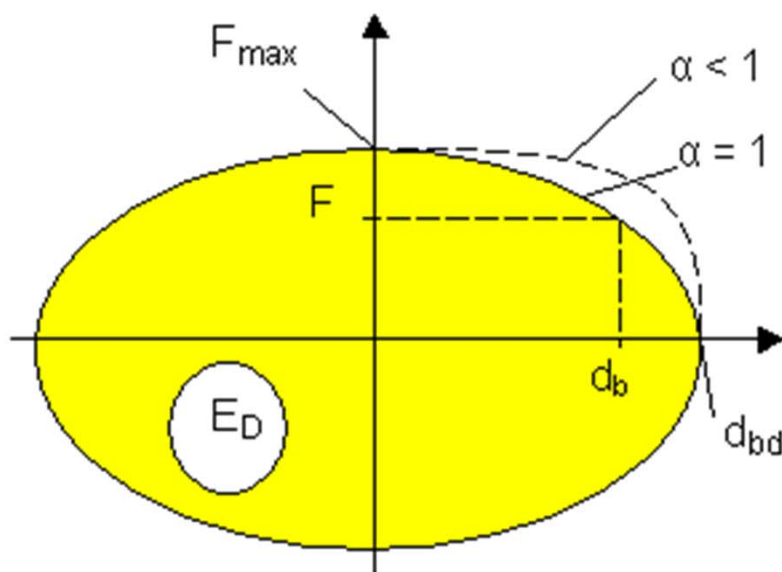
- Ελαστική
- Μετελαστική

$E_D$  = Αποδιδόμενη ενέργεια ανά κύκλο  
στην μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{bd}$ )  
= επιφάνεια υστερητικού βρόχου

# Συμπεριφορά μονωτήρων

## Ιξώδης συμπεριφορά

Αντίδραση ανάλογη προς ταχύτητα:  $F = C v^\alpha$



$$d_b = d_{bd} \sin(\omega t) \text{ με } \omega = 2\pi/T_{\text{eff}}$$

$$F = C v^\alpha = F_{\text{max}} \cos(\omega t)^\alpha$$

$$F_{\text{max}} = C (d_{bd} \omega)^\alpha$$

$$E_D = \lambda(\alpha) F_{\text{max}} d_{bd}$$

$$\lambda(\alpha) = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+0.5\alpha)}{\Gamma(2+\alpha)}$$

$\Gamma(\ )$  = είναι η συνάρτηση Γάμμα

# Συμπεριφορά μονωτήρων

## Ιξώδης Συμπεριφορά - Χαρακτηριστικά

- μέγιστη αντίδραση:  $F_{\max} = C(d_{bd}\omega)^\alpha$  όταν  $v = \max$ , δηλαδή όταν  $d_b = 0$
- είναι συνάρτηση της ταχύτητας και της κυκλικής συχνότητας  $\omega = 2\pi/T$  (εκτός αν ο εκθέτης  $\alpha \ll 1$ )
- όταν  $d = \max = d_{bd} \Rightarrow v = 0$  και  $F = 0$ . δηλαδή, δεν συμβάλλει στην ενεργό δυσκαμψία του συστήματος ( $K_{\text{eff},b} = 0$ )
- $E_D = \lambda(\alpha)F_{\max}d_{bd}$  όταν  $\alpha \leq 0.20 \Rightarrow \lambda(\alpha) \approx 4 \times 0,9$

# Μονωτήρες

- Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα:
  - Χαμηλής απόσβεσης
  - Υψηλής απόσβεσης
  - Με μόλυβδο
- Ολίσθησης:
  - Εκκρεμούς τριβής
  - Με ικανότητα επαναφοράς
  - Ελαστοπλαστικά
- Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας:
  - Ιξώδεις Αποσβεστήρες



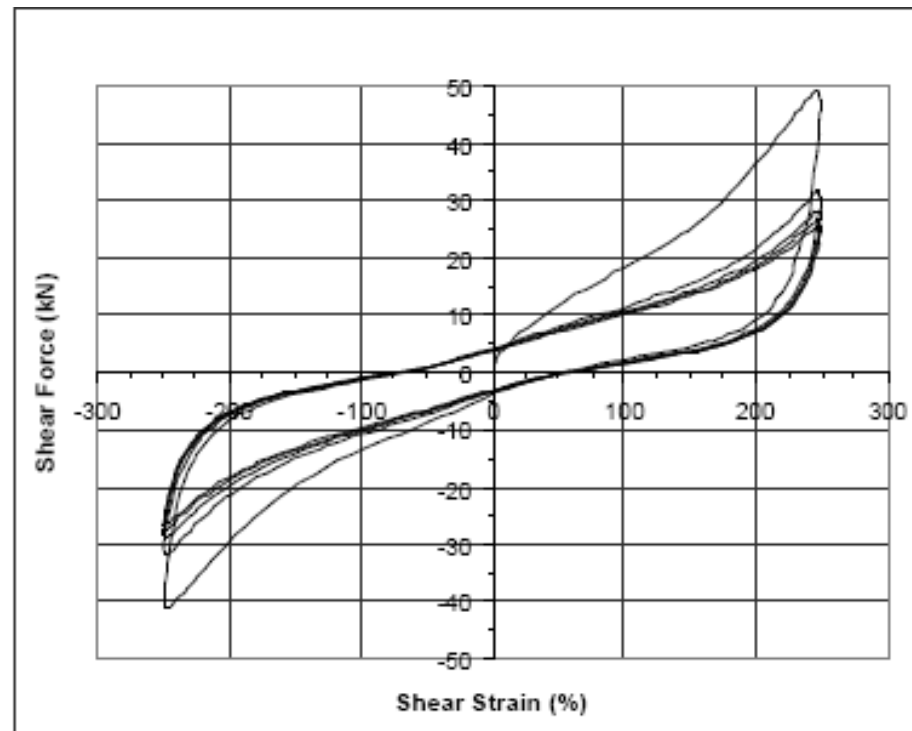
# Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα

- Χαμηλής απόσβεσης



# Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα

- Υψηλής απόσβεσης



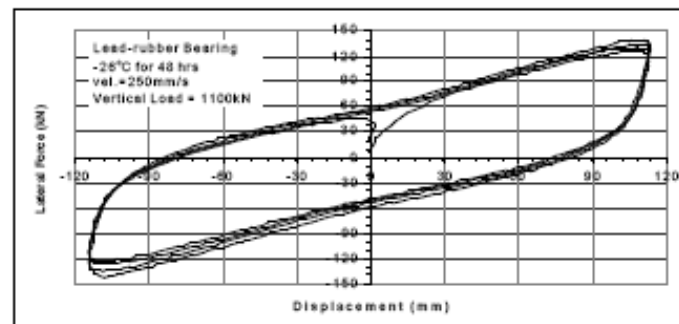
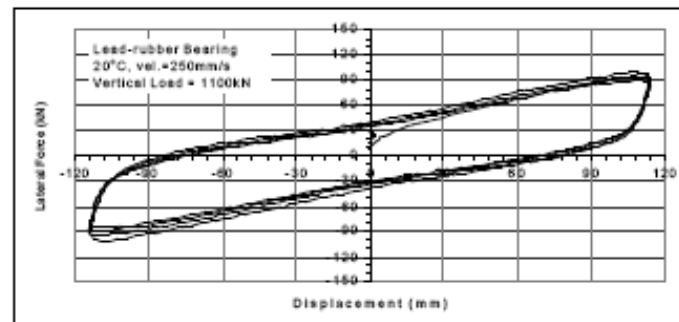
# Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα

- Μολύβδου



# Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα

- Μολύβδου

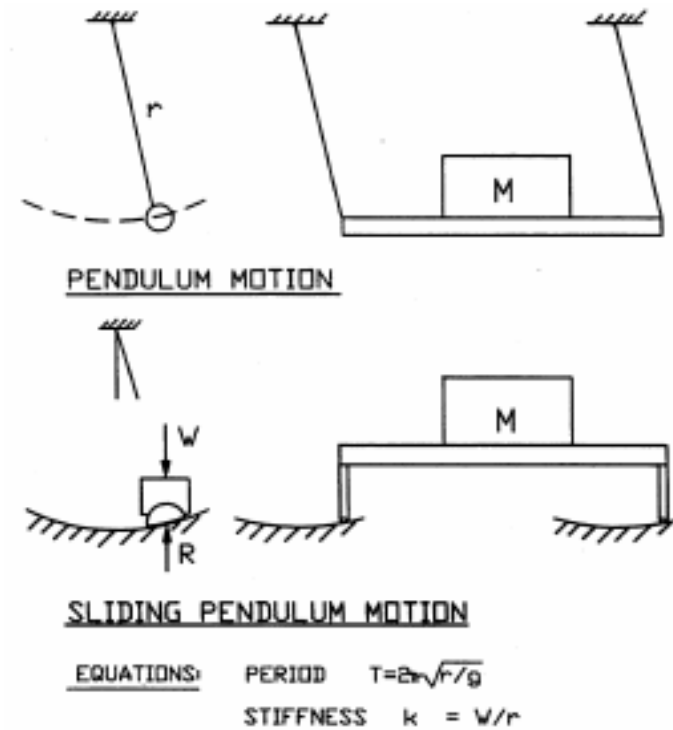
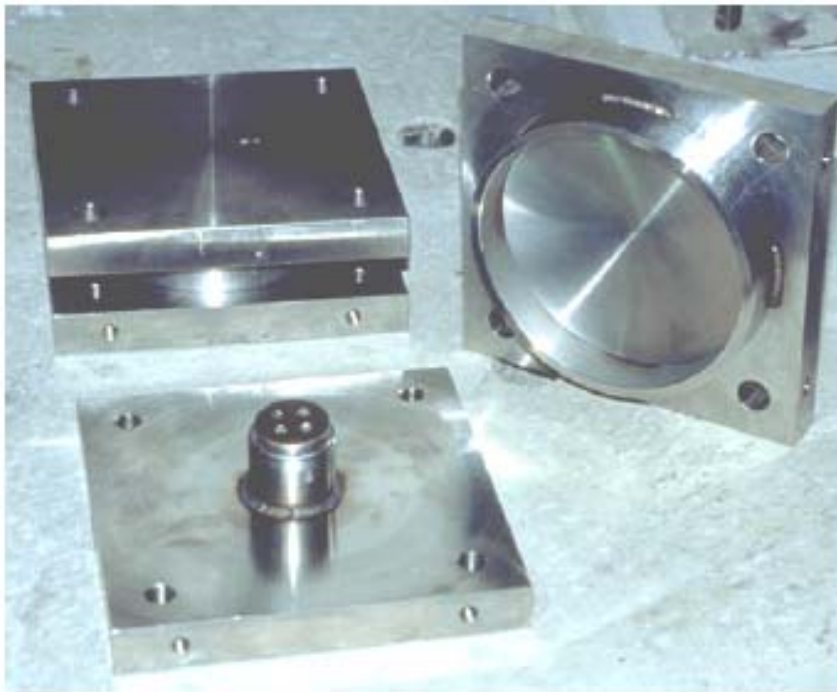


**LEAD-RUBBER BEARING, UNIVERSITY AT BUFFALO  
LOAD=1100kN, DISPLACEMENT=100mm, VELOCITY=250mm/sec**



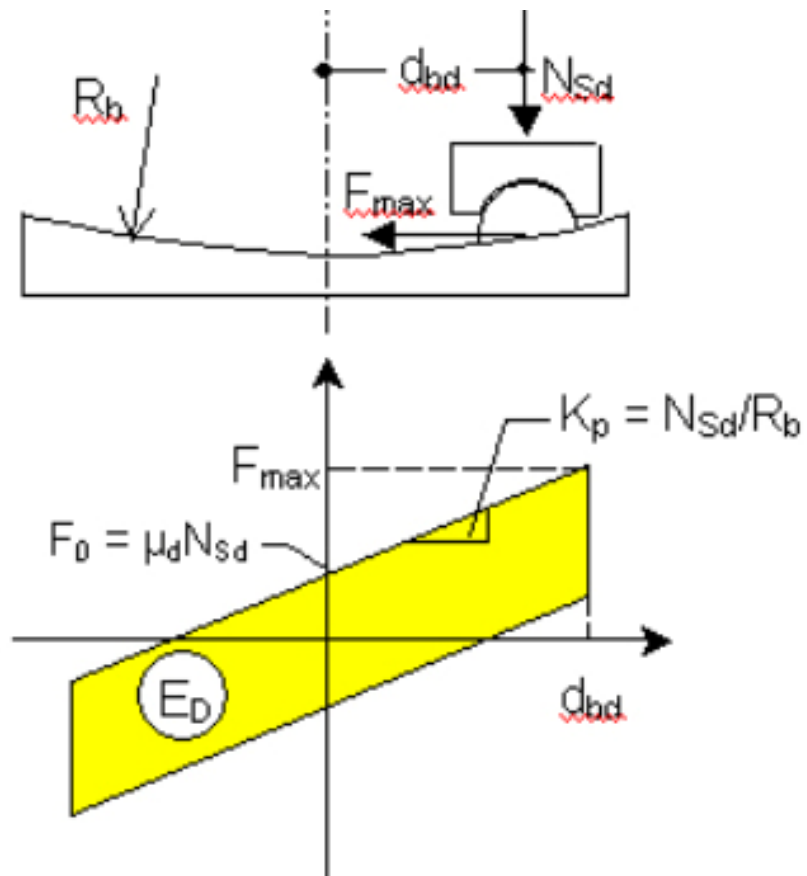
# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Εκρεμμούς Τριβής



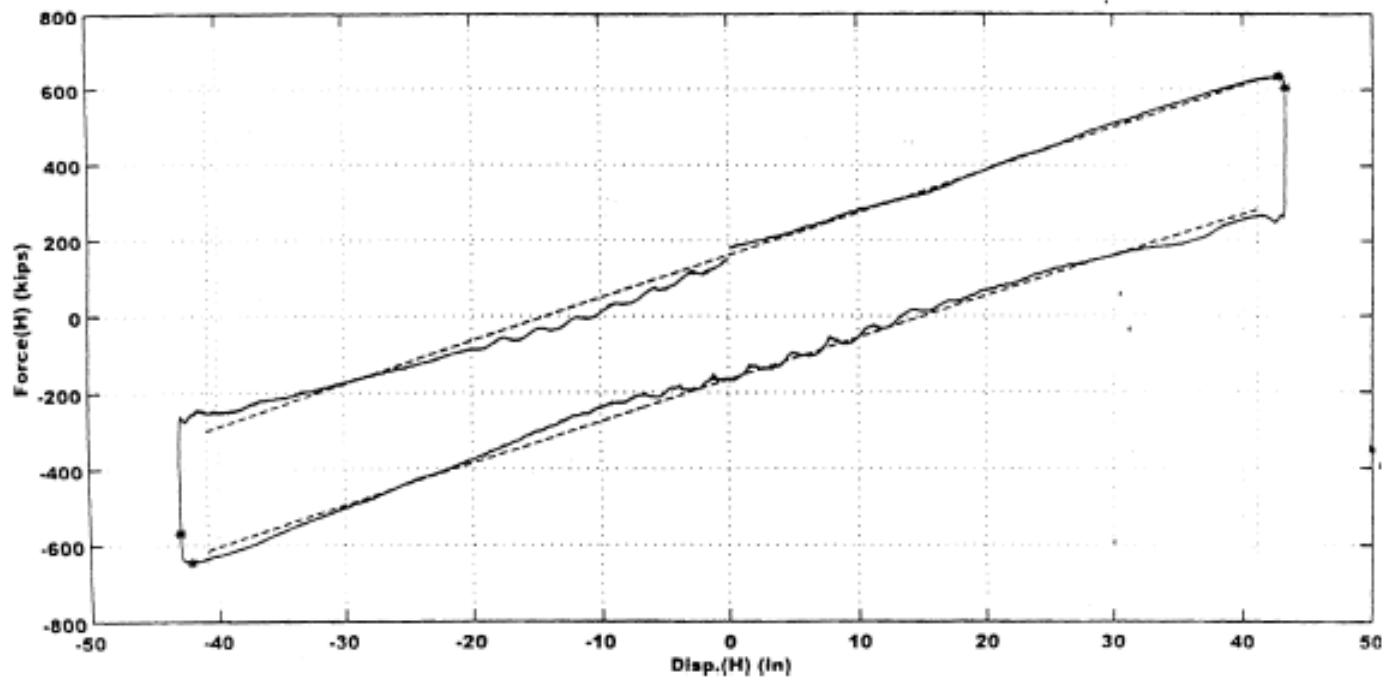
# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Εκρεμμούς Τριβής



# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Εκρεμμούς Τριβής



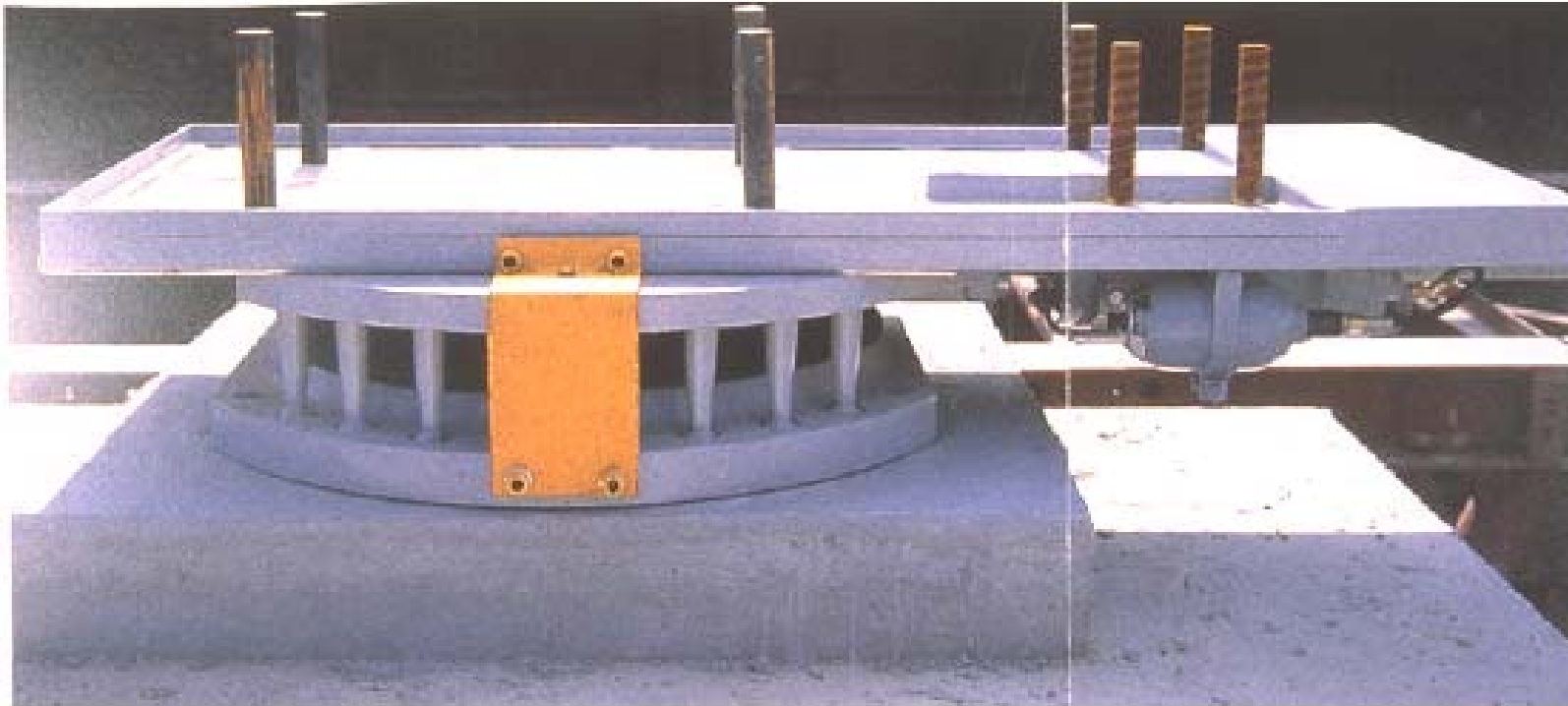
# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Με ικανότητας Επαναφοράς



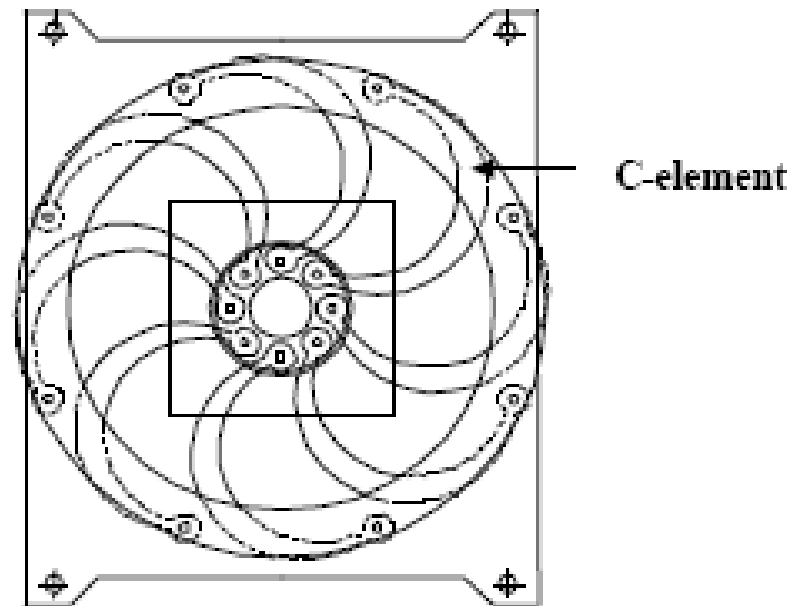
# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Ελαστοπλαστικά



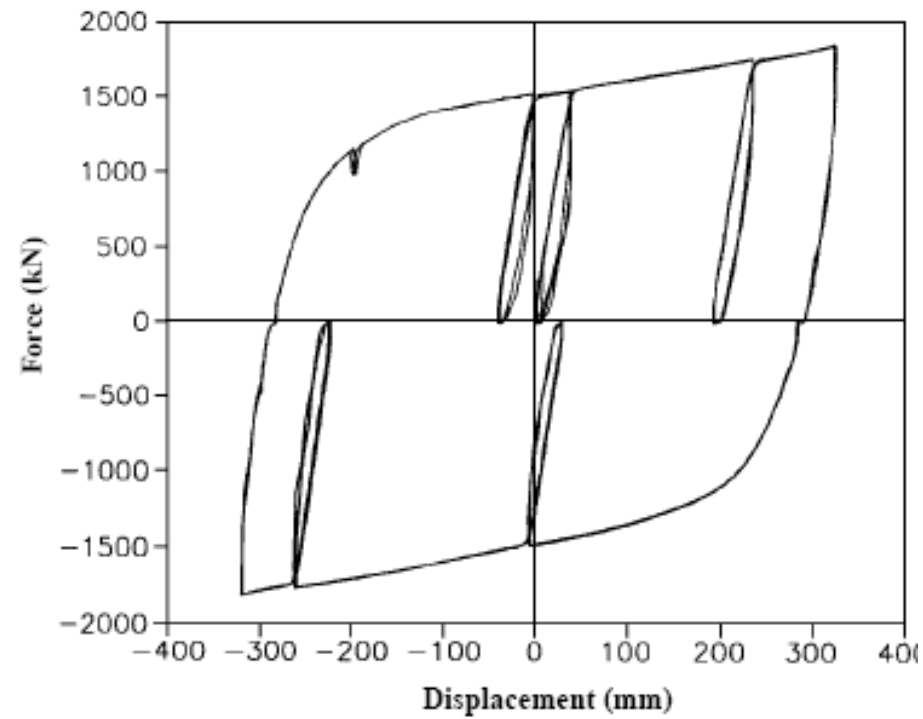
# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Ελαστοπλαστικά



# Εφέδρανα Ολίσθησης

- Ελαστοπλαστικά



# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

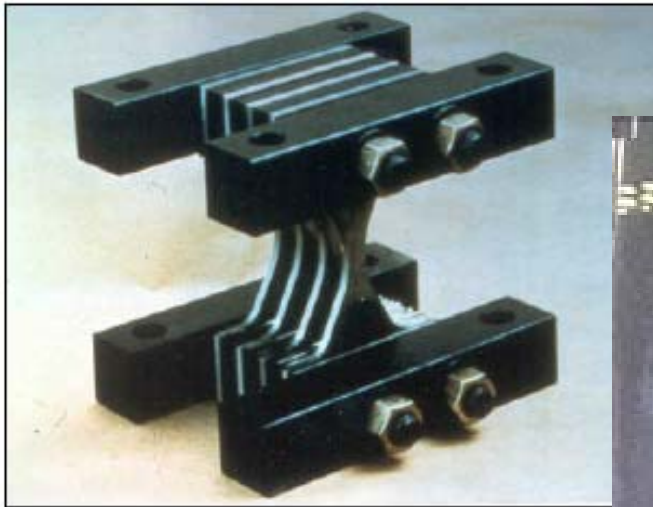
- Αποσβεστήρες





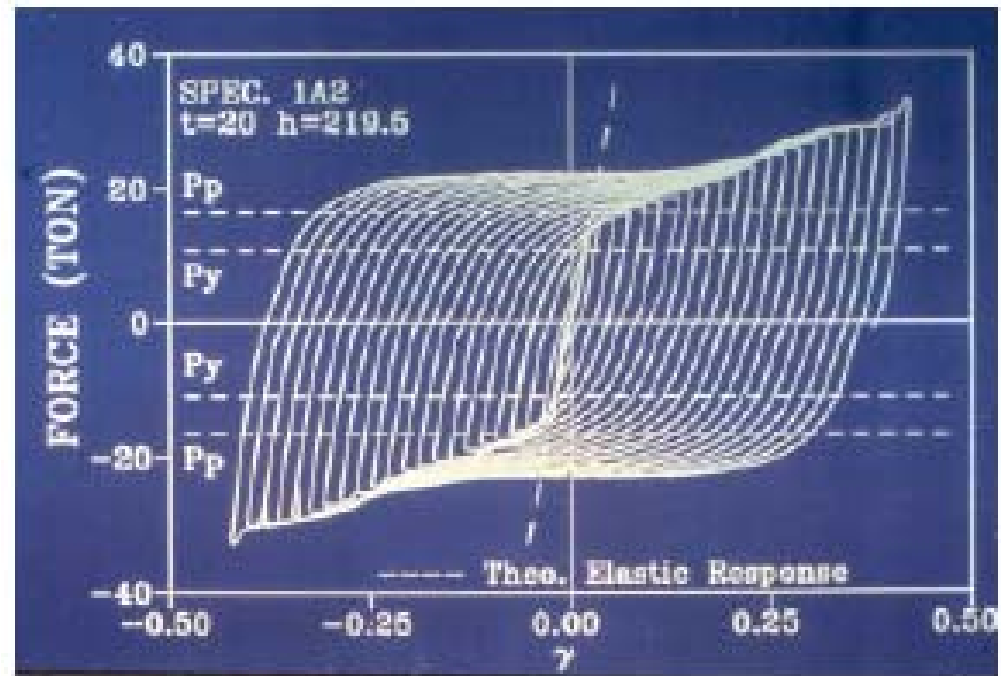
# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



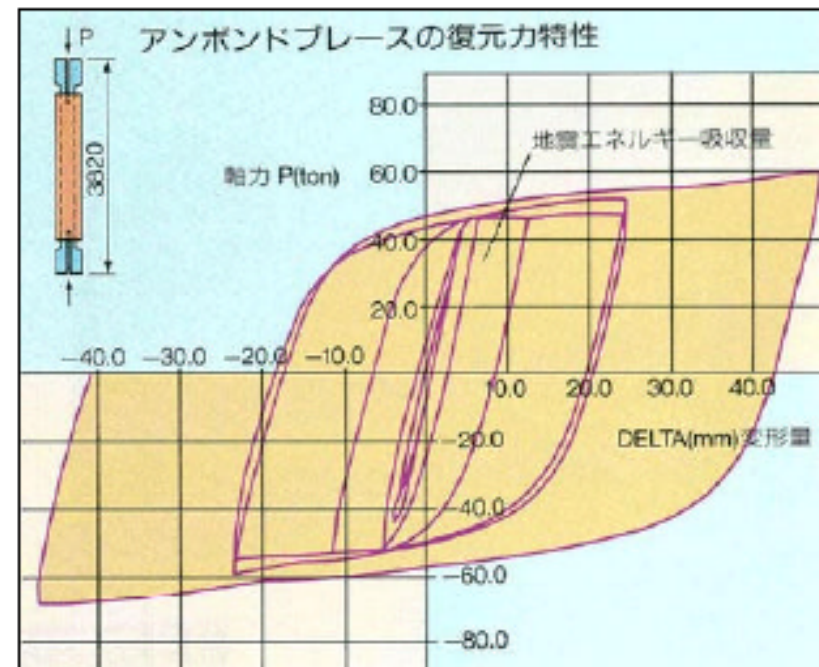
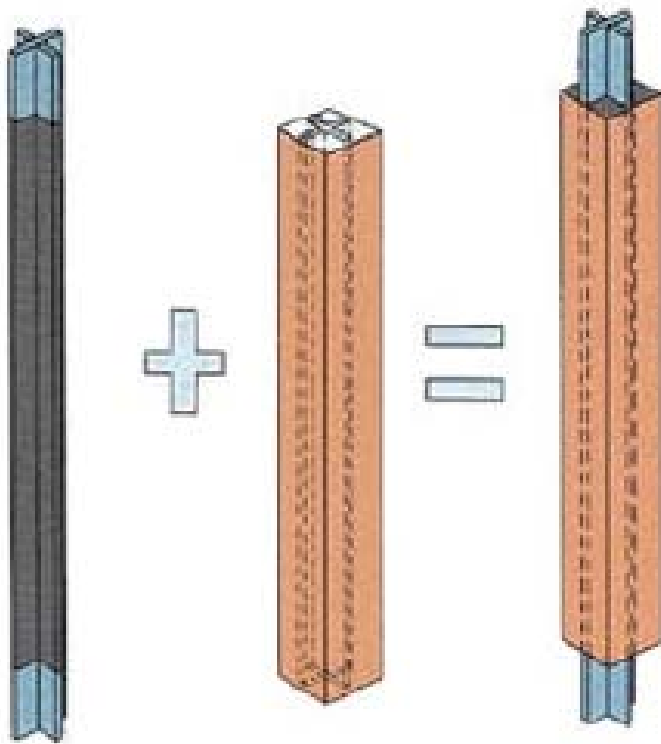
# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



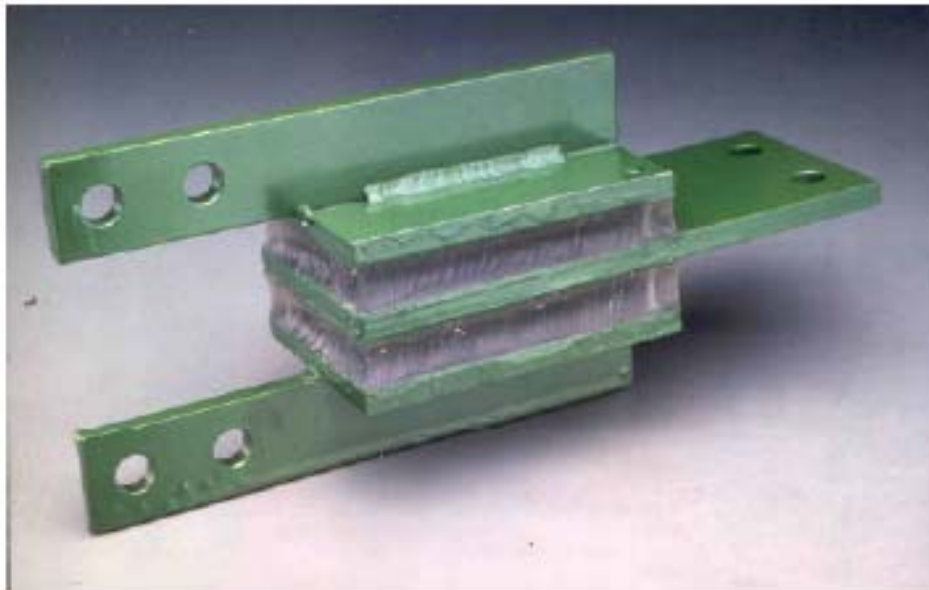
# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

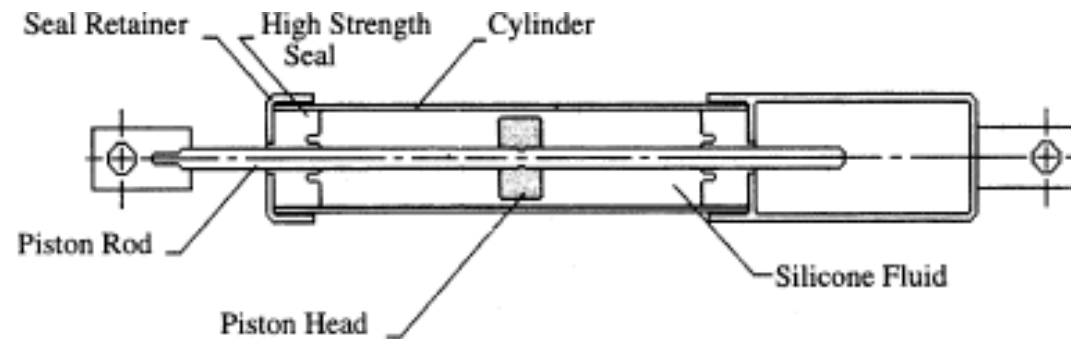
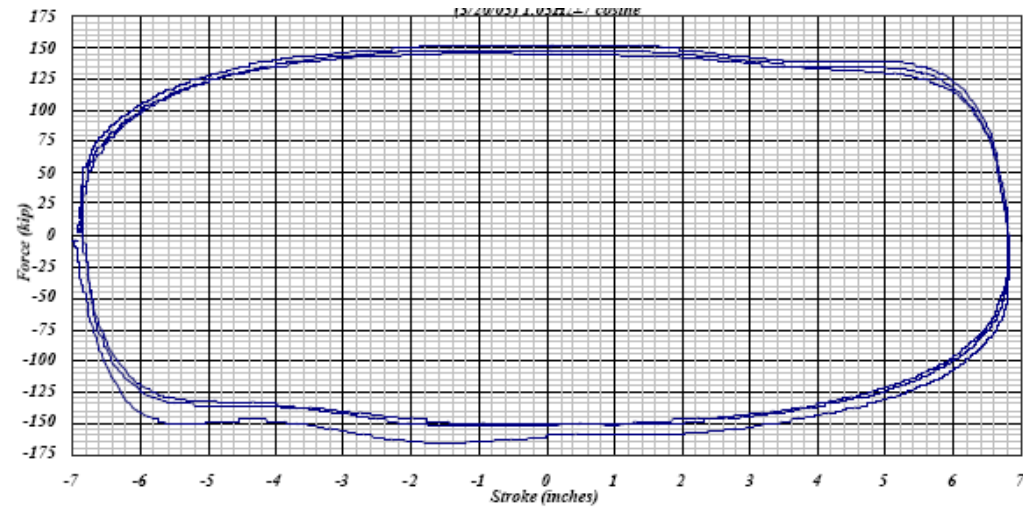
- Αποσβεστήρες



SANTA CLARA COUNTY BUILDING

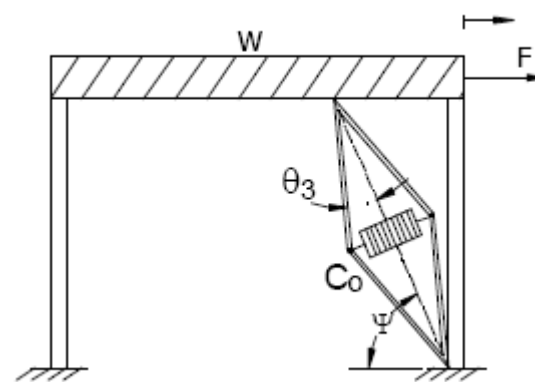
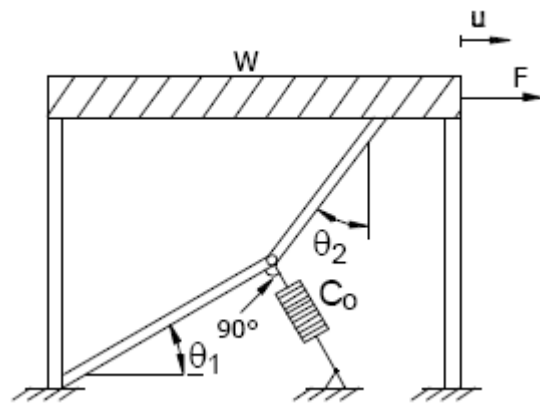
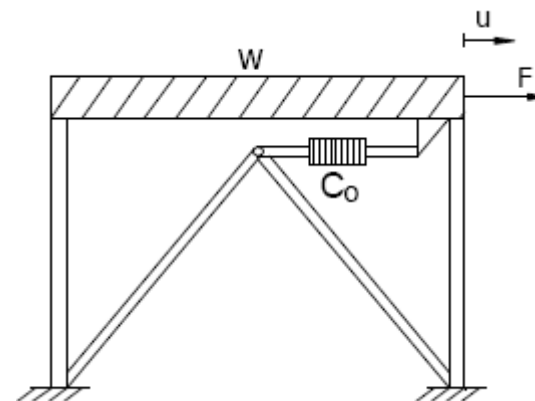
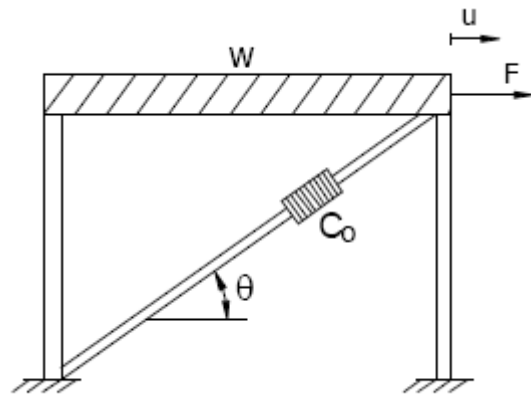
# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

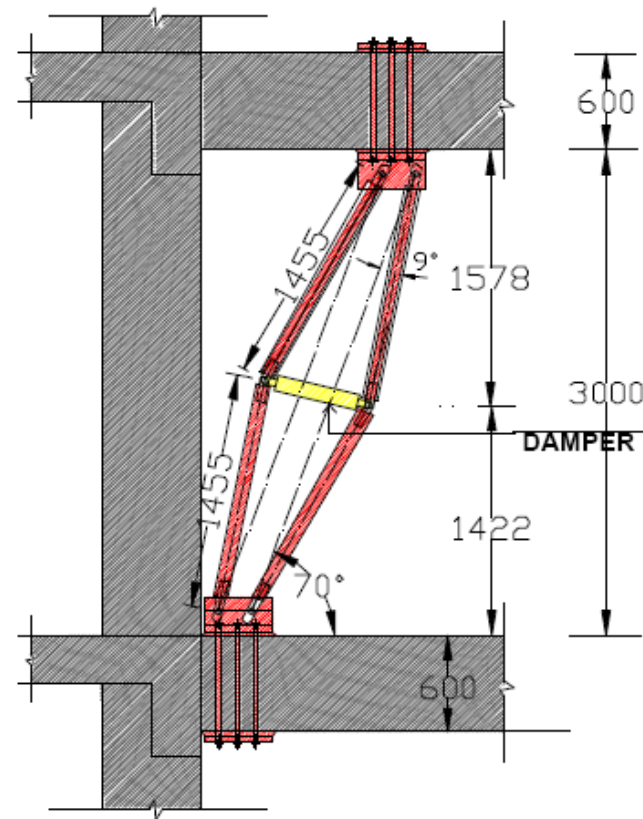
- Αποσβεστήρες





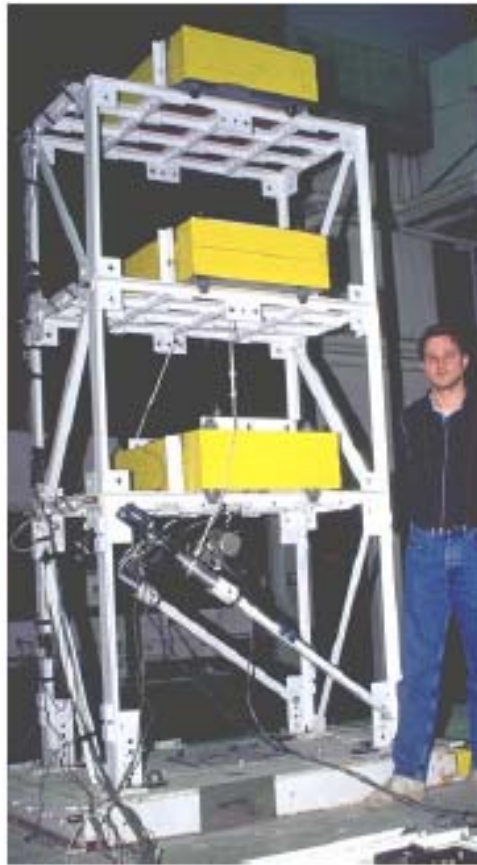
# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Αποσβεστήρες



# Συσκευές απορρόφησης Ενέργειας

- Ημι-ενεργά



# Εφαρμογές

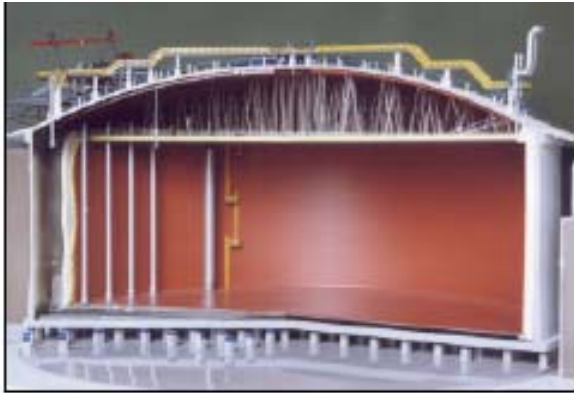
- Δεξαμενές Υγροποιημένου Αερίου (LNG)



LNG TANKS, INCHON, KOREA

# Εφαρμογές

- Δεξαμενές Υγροποιημένου Αερίου (LNG)



LNG TANKS, REVITHOUSSA, GREECE

# Εφαρμογές

- Πλατφόρμες



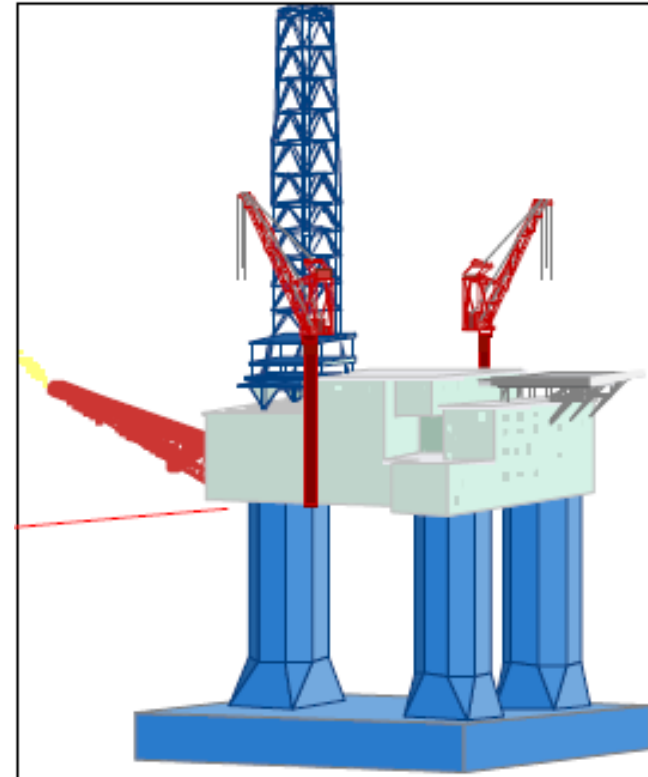
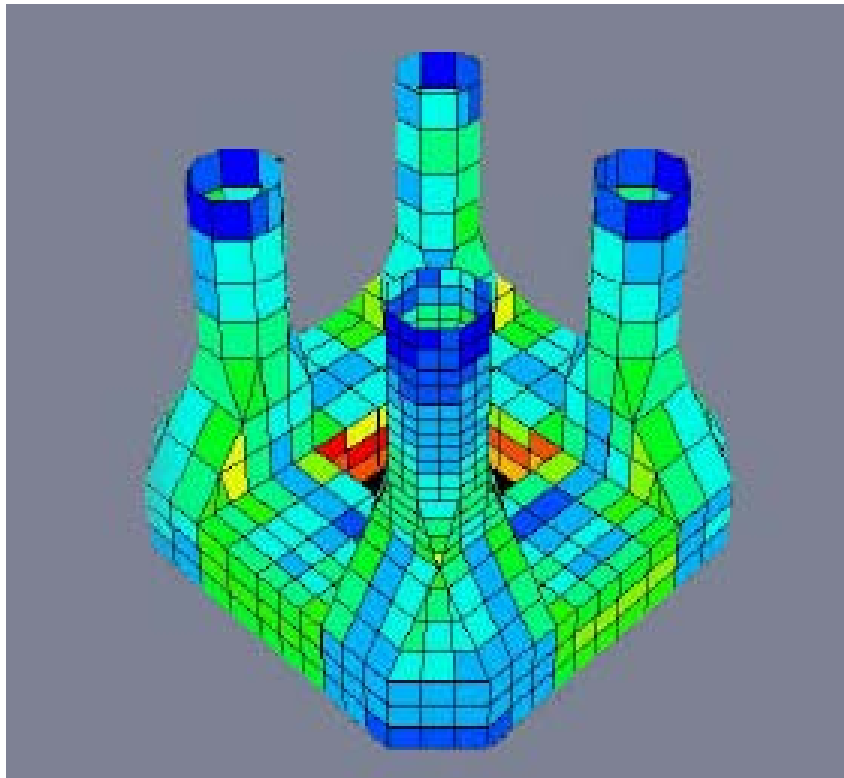
**SAKHALIN ISLAND, RUSSIA**



**OFFSHORE GAS PLATFORM WITH  
CONCRETE GRAVITY BASE**

# Εφαρμογές

- Πλατφόρμες



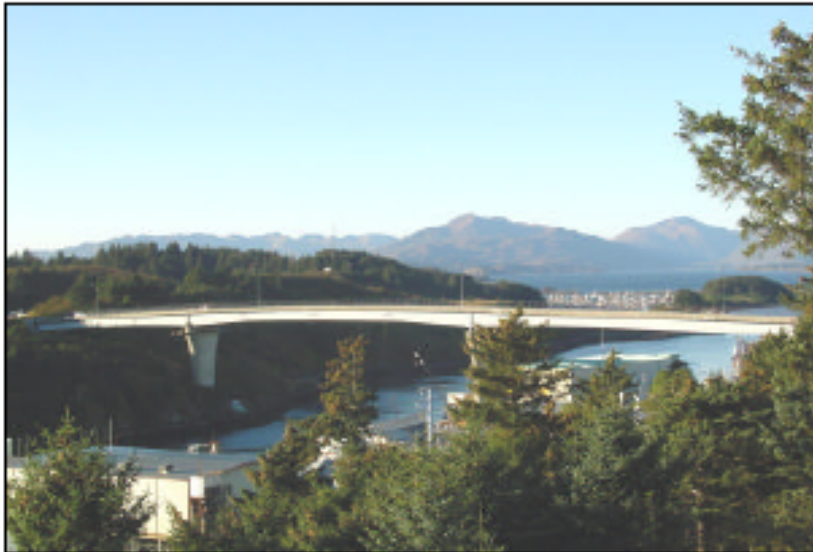
# Εφαρμογές

- Γέφυρες



# Εφαρμογές

- Γέφυρες



**KODIAK, ALASKA  
COLD TEMPERATURE APPLICATION  
-40 DEG TEMPERATURE**



# Εφαρμογές

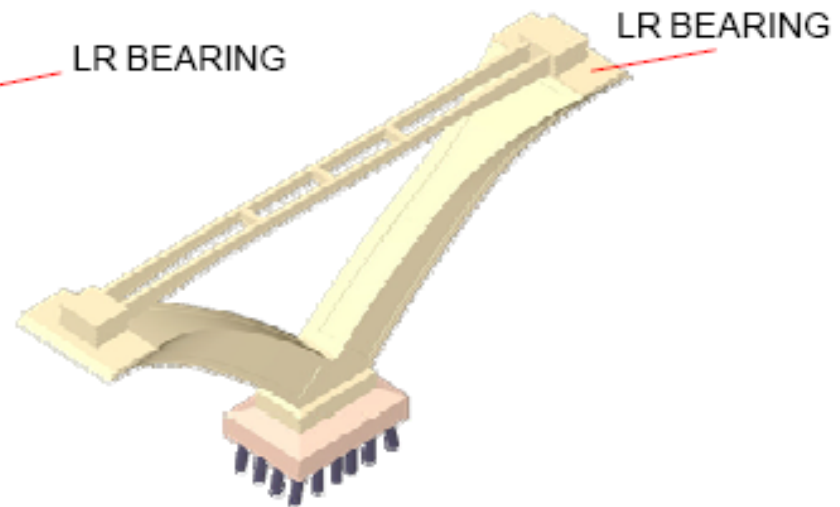
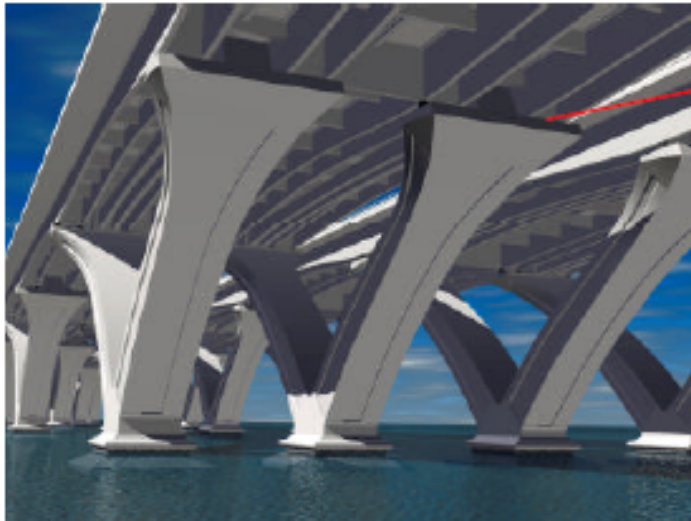
- Γέφυρες



**BOLU VIADUCT, TURKEY**  
**2.3 km LONG**

# Εφαρμογές

- Γέφυρες



**Woodrow Wilson  
Bridge, 2003**

# Εφαρμογές

- Γέφυρες



**Corinth Canal Bridges.**

# Εφαρμογές

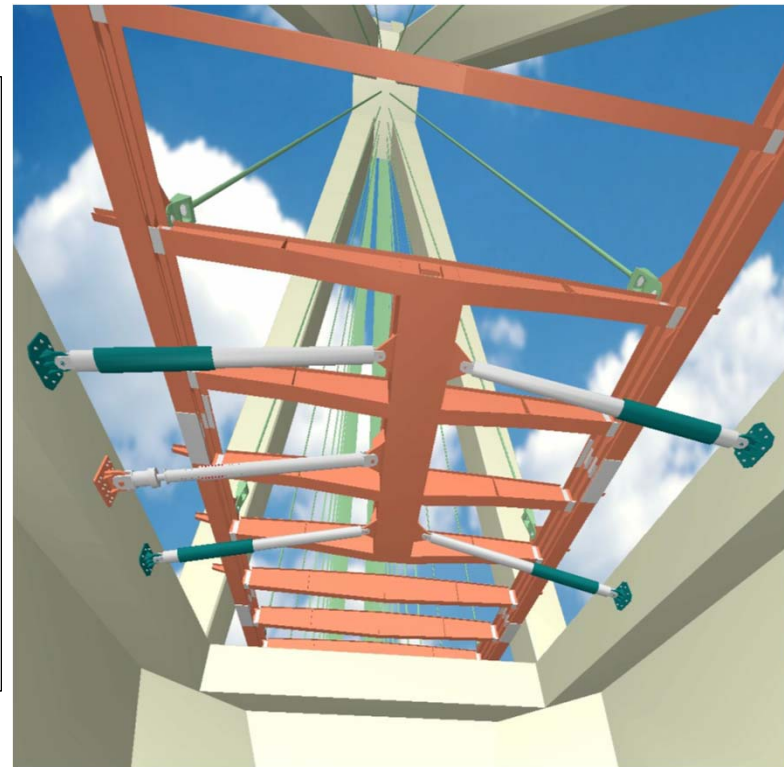
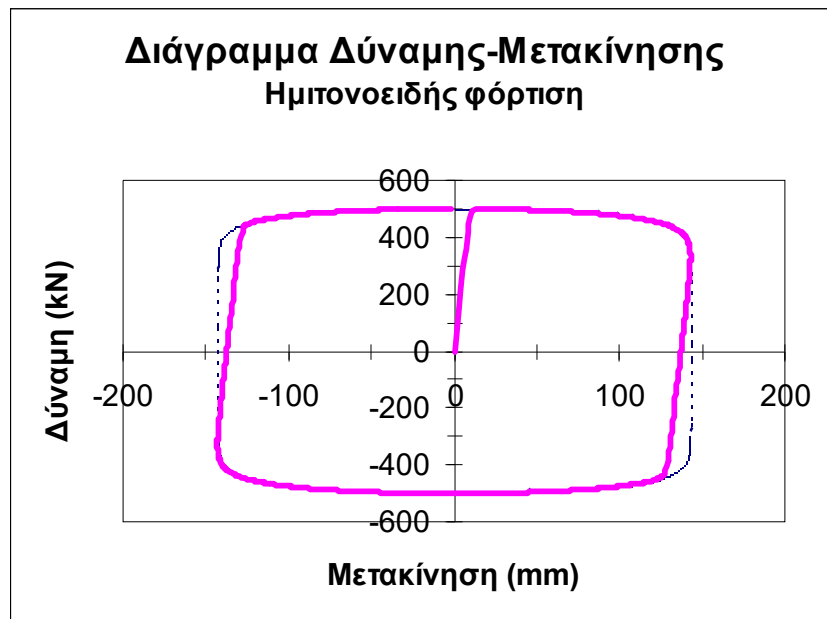
- Γέφυρες



MILLENIUM BRIDGE,

# Εφαρμογές

- Γέφυρες



Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου

# Δοκιμές

- Εργαστήρια



# Δοκιμές

- Εργαστήρια



# Σεισμική μόνωση - Κανονιστικό Πλαίσιο

## Γενικά

- Ευρωκώδικες:
  - Κτήρια: EN1998-1
  - Γεφυρες: EN1998-2

## Στην Ελλάδα σήμερα

- Εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ:
  - Οδηγίες για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση
  - Οδηγίες για μελέτη κτηρίων με σεισμική μόνωση



# Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού

## Παράμετροι σχεδιασμού μονωτήρων

- Εύρος διακύμανσης Ονομαστικών τιμών:  
⇒ ορίζεται από την μελέτη και πιστοποιείται από Δοκιμές Προτύπων
- Επιρροές εξωτερικών παραγόντων:  
⇒ λαμβάνονται υπόψη με εκπόνηση της μελέτης για δύο ομάδες τιμών:
  - ❖ ΑΤΠΣ: Ανωτ. Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού
  - ❖ ΚΤΠΣ: Κατωτ. Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού

# Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού

## Προσδιορισμός ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ:

- είτε με ειδικές δοκιμές
- είτε (για συνήθεις τύπους μονωτήρων) με συντελεστές επιρροής ( $\lambda$ ) στα άνω και κάτω όρια των ονομαστικών τιμών

## Εξωτερικοί παράγοντες που επιδρούν:

- θερμοκρασία μονωτήρα
- γήρανση
- ρύπανση
- φθορά (συσσωρευτική διαδρομή)

# Μέθοδοι ανάλυσης

- Μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας
- Φασματική ανάλυση
- Ανάλυση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

Οι δύο τελευταίες με περιορισμένο πεδίο εφαρμογής

## Μέθοδοι ανάλυσης

### Προσέγγιση από μονοβάθμιο σύστημα

- Η σημαντικά αυξημένη ευκαμψία των μονωτήρων καθιστά κυρίαρχη την ιδιομορφή που αντιστοιχεί στην παραμόρφωσή τους
- Η μεγάλη δυσκαμψία του φορέα διευκολύνουν την χρήση γενικευμένου μονοβάθμιου συστήματος για κάθε μία διεύθυνση

# Μέθοδοι ανάλυσης

## Ισοροπία στην θέση μέγιστης μετακίνησης

⇓

$$A_{\text{αν}} = F_{\text{max}}/M$$

⇓

$$K_{\text{eff}} = F_{\text{max}}/d_{\text{max}}$$

⇓

$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{\text{eff}}}}$$

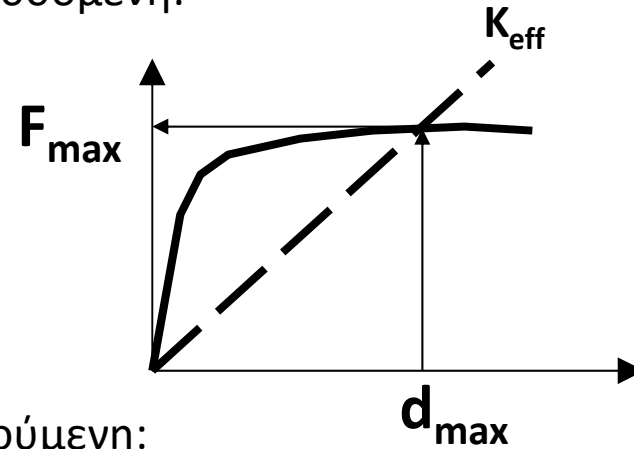
⇓

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{\text{eff}} d_{\text{cd}}^2} \right]$$

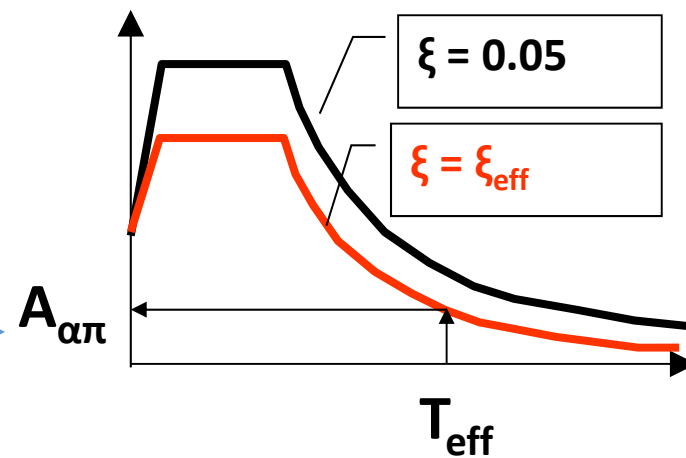
⇓

$$\eta_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{0,10}{0,05 + \xi_{\text{eff}}}}$$

Αναπτυσσόμενη:

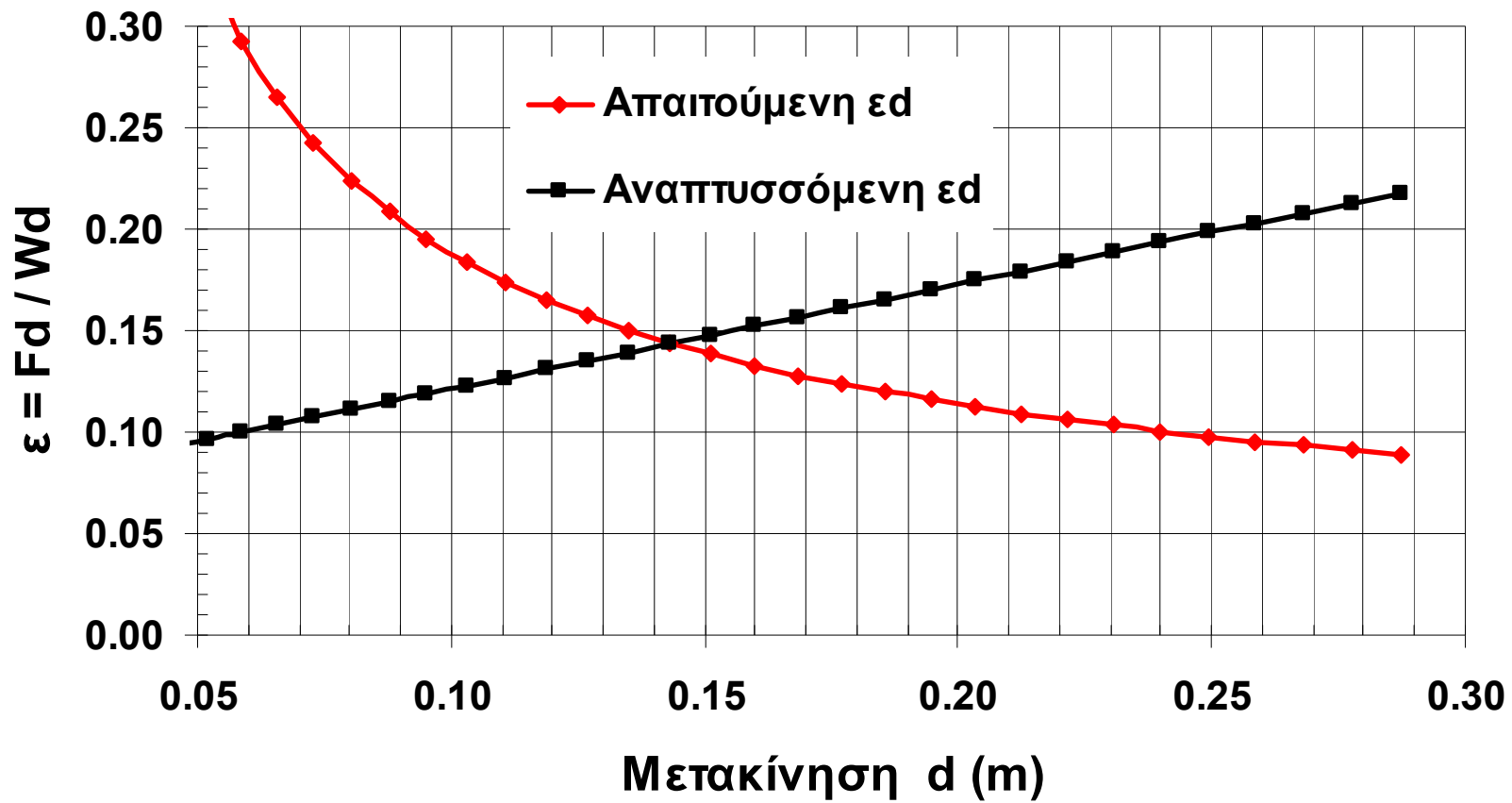


Απαιτούμενη:



# Μέθοδοι ανάλυσης

## Ισορροπία στην θέση μέγιστης μετακίνησης



# Έλεγχοι επάρκειας

Απαιτείται αυξημένη αξιοπιστία

Σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού;

$$d_{bi,a} = \gamma_{IS} d_{bi,max} \quad \gamma_{IS} = 1,50$$

Συνολική μετακίνηση:

$$d_{bi,\tau} = d_{bi,a} + d_G$$

# Έλεγχοι επάρκειας

## Υποδομή και ανωδομή - Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού

Έλεγχοι πλαστικών μορφών αστοχίας:

$$E_E = E_A/q \text{ με } q \leq 1,50$$

Έλεγχοι ψαθυρών μορφών αστοχίας και εδάφους θεμελίωσης:

$$E_E = E_A$$

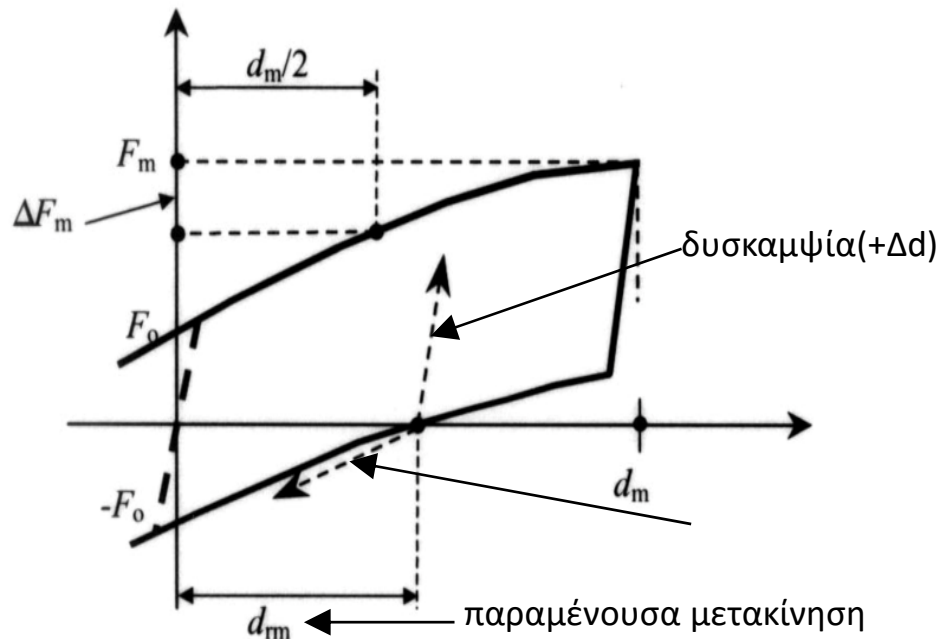


# Έλεγχοι επάρκειας

## Ειδικές απαιτήσεις για το σύστημα σεισμ. μόνωσης

### Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς

παραμένουσα μετακίνηση μικρή ως προς την ικανότητα  $d_m$ , είτε σε εκκίνηση από  $d_{rm}$ : δυσκαμψία(+ $\Delta d$ )  $\gg$  δυσκαμψία(- $\Delta d$ )

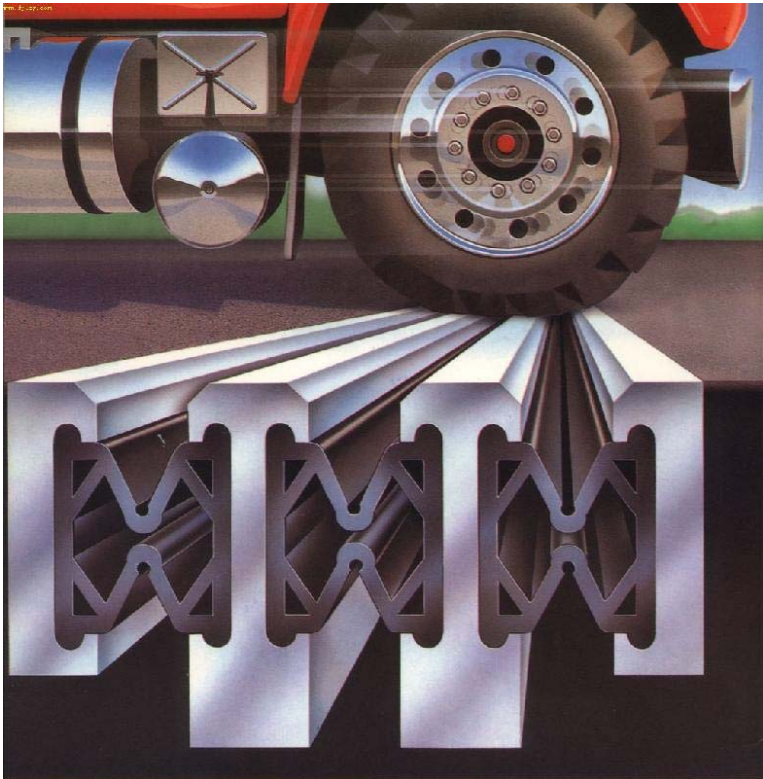


### Ποσοτικά κριτήρια

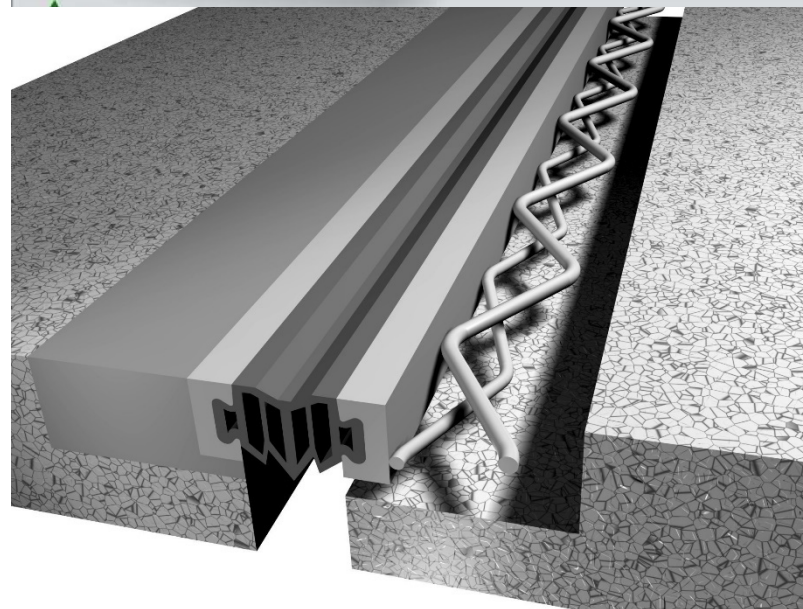
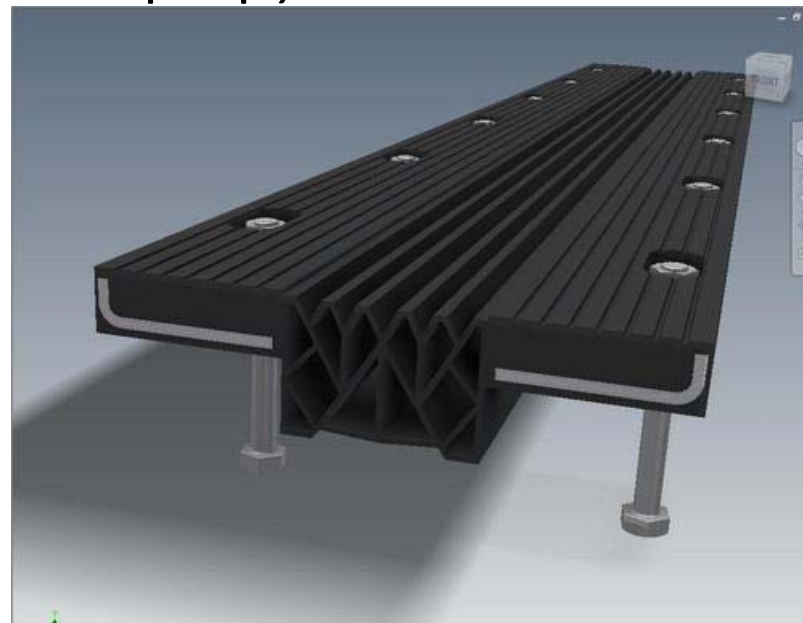
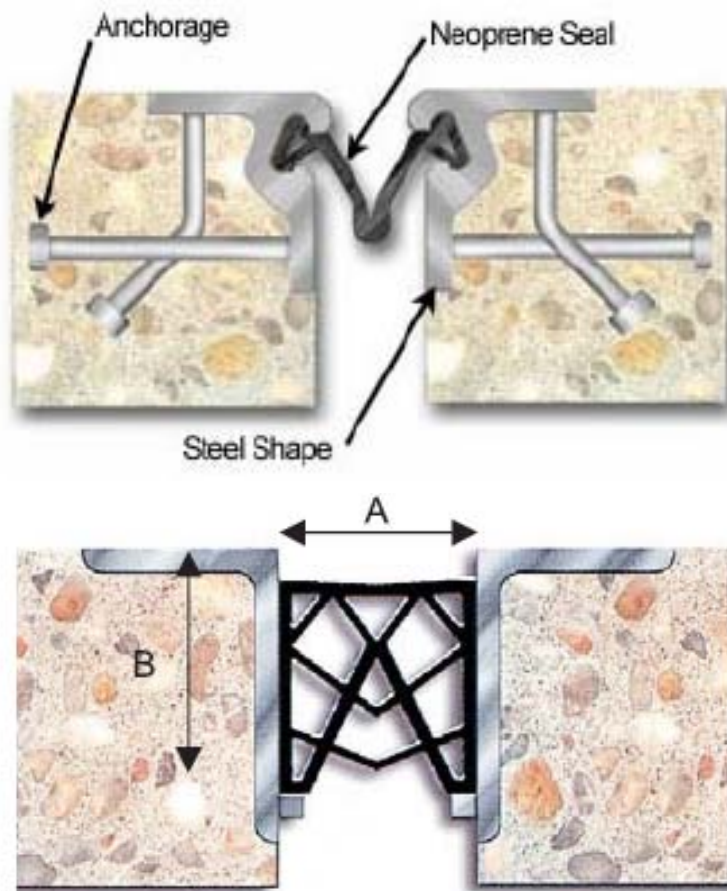
$$\Delta F_m \geq 0,015W_d d_{rm}/d_m$$

$$\text{και } d_{rm} \leq d_m - 0,5d_{a,max}$$

# Αρμοί γεφυρών

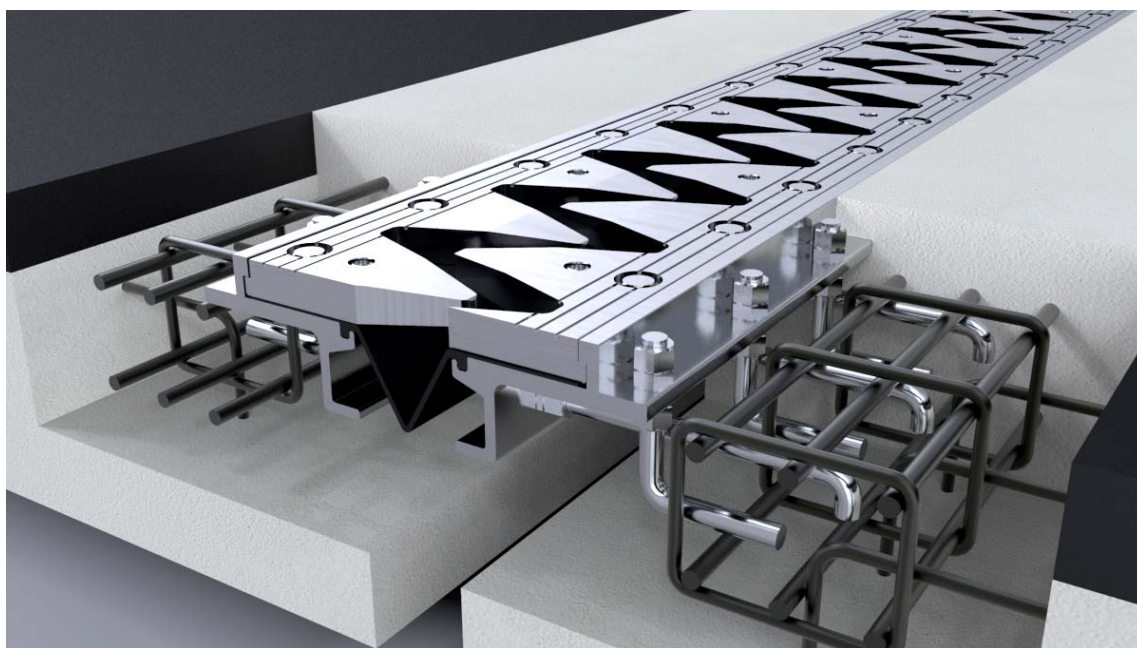


# Αρμοί μικρής ικανότητας μετακίνησης



# Αρμοί τύπου «κτένας»

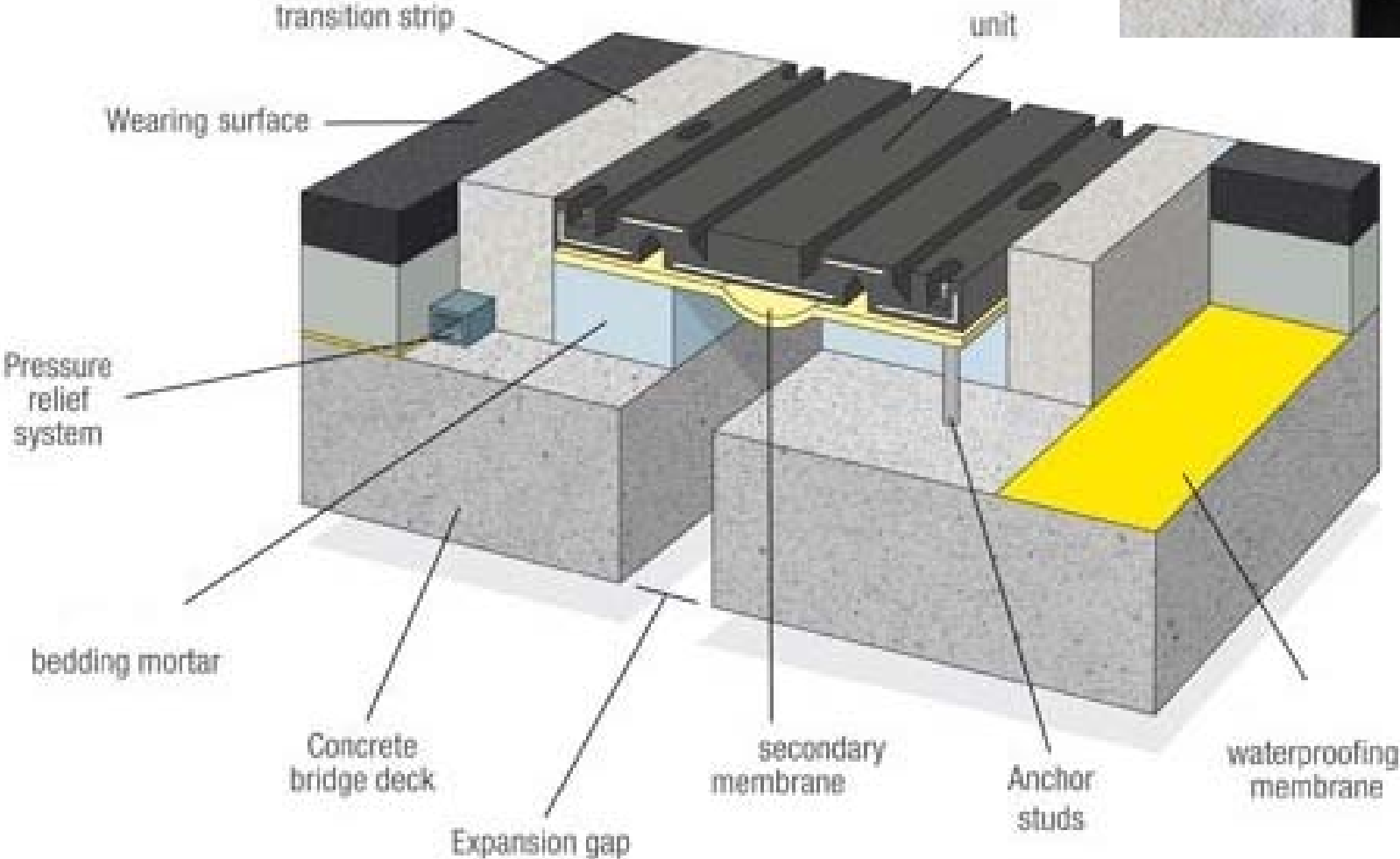
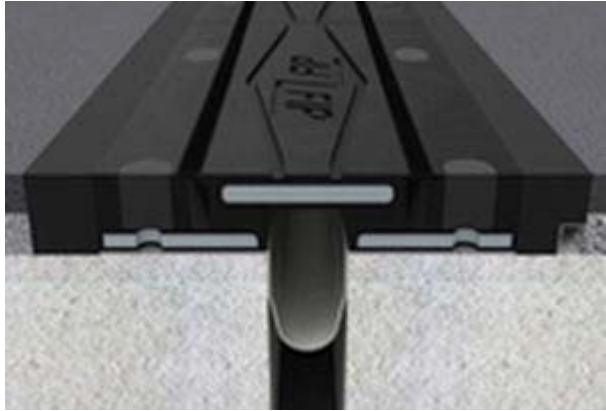
μικρής μετακίνησης



μεγάλης μετακίνησης



# Ελαστομεταλλικοί αρμοί



# Αρμοί μεγάλης ικανότητας μετακίνησης

