

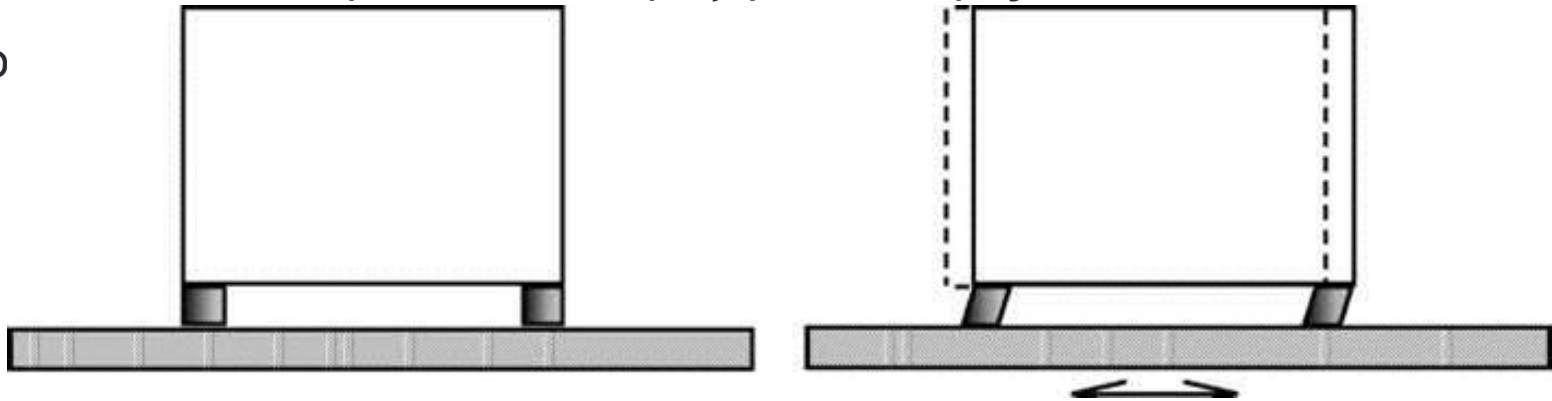
MS RETROFIT
ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 2-2-
16

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Εισαγωγή: Η έννοια της σεισμικής μόνωσης

- Διαφορετική προσέγγιση για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών,
- Στοχεύει στη **μείωση της σεισμικής απαίτησης** και **όχι την αύξηση της σεισμικής αντοχής**.
- Επιτυγχάνεται με ειδικές συσκευές μικρής δυσκαμψίας, **τους μονωτήρες**.
- Καταλληλότερη θέση μονωτήρων η διεπιφάνεια υποστυλωμάτων και θεμελίων του κτιρίου,
- Τα θεμέλια ουσιαστικά μετακινούνται μαζί με το έδαφος.
- Ανωδο



Αρχή λειτουργίας της σεισμικής μόνωσης

- ✓ Με σεισμική μόνωση **πενταπλάσια -δεκαπλάσια μείωση** μεγέθους των σεισμικών δυνάμεων.
- ✓ **Αποτρέπει κατάρρευση** σε ισχυρό σεισμό, συμβάλλει σε **περιορισμό των βλαβών** σε μέτριας έντασης.
- ✓ Δοκιμές σε πραγματικούς σεισμούς -**τρεις δεκαετίες επιτυχής** πρακτική εφαρμογή .

Πλευρική ευκαμψία για ισχυρή σεισμική δόνηση- πρακτικά άκαμπτο ΣΕ πλευρικά φορτία, ανεμοπιέσεις.

Πλευρική μετακίνηση μέσα σε ανεκτά όρια για όλες τις φορτίσεις.

✓ **Σεισμική μόνωση: ικανοποίηση των κριτηρίων**

Τοποθέτηση ενός κτιρίου πάνω σε κυλίσεις ή σφαιρικά εφέδρανα που πρακτικά δεν μεταδίδουν σεισμικές δυνάμεις στην κατασκευή.

Ικανότητα **αυτοδύναμης οριζόντιας επαναφοράς** της κατασκευής και ο **περιορισμός της μετακίνησης** εντός πρακτικά επιτρεπομένων ορίων.

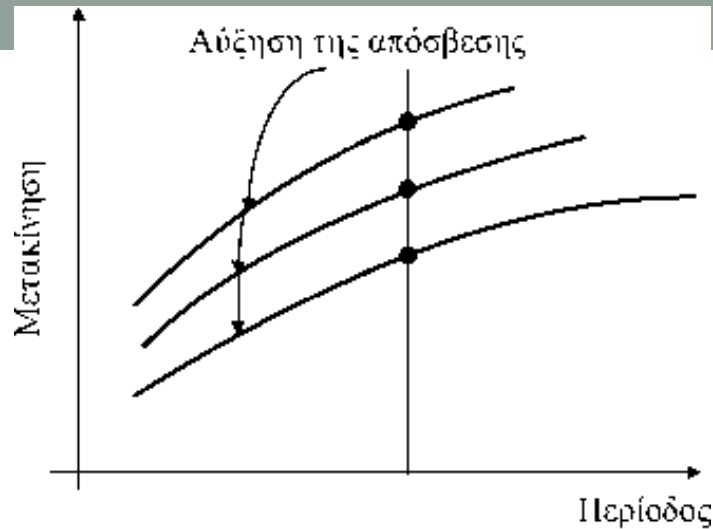
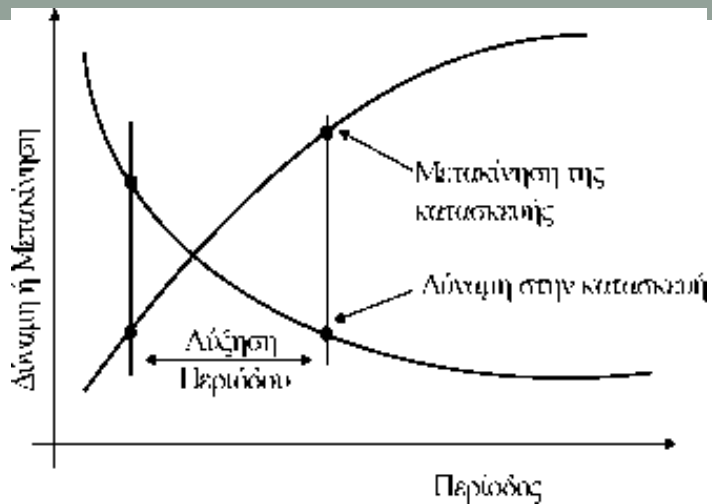
Στην πράξη ελαστομερή υλικά (επαναφέρουν την κατασκευή στην αρχική της θέση).

Επιτρέπουν μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις.

➤ Αύξηση της ιδιοπεριόδου των κατασκευών. περίοδος αυξάνει σεισμική δύναμη

➤ Μονωτήρες κίνηση πολύ πιο αργή από διαδιδόμενα στο έδαφος σεισμικά κύματα

❖ Μειώνεται η πιθανότητα συντονισμού (μεγάλες μετακινήσεις και πιθανή κατάρρευση).



Μεταβολή σεισμικής δύναμης και απόσβεσης

Μετακίνησης λόγω σεισμικής μόνωσης

Μεταβολή μετακίνησης λόγω αύξησης της

Σεισμική μόνωση : ακόλουθες προϋποθέσεις:

1. Το έδαφος θεμελίωσης να μην ευνοεί εδαφικές δονήσεις για μεγάλες περιόδους, γεγονός που χαρακτηρίζει **‘μαλακά’ εδάφη**.
2. Το κτίριο **σχετικά δύσκαμπτο**, (ιδιοπερίοδο μικρότερη από 1.5 έως 2 sec,) --- δύσκαμπτες κατασκευές, και ευρύ φάσμα σχετικά εύκαμπτων κατασκευών.
3. Το μέγεθος ανεμοφορτίων σχεδιασμού και υπολοίπων μη σεισμικών πλευρικών φορτίων **ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ 10% του βάρους του κτιρίου**.

Είδη συστημάτων σεισμικής μόνωσης

Συστήματα Μείωσης της Δυσκαμψίας

- (α) **Ελαστομεταλλικά εφέδρανα** : ελαστομερές φυσικής είτε τεχνητής προέλευσης (νεοπρένιο)
- (β) **Εφέδρανα ολίσθησης** : τεφλόν (PTFE) και ανοξείδωτου χάλυβα στην επιφάνεια ολίσθησης.

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

- Φυσικά -συνθετικά ελαστο μεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (κοινά - ELB).
- Απλούστερος - εύχρηστος τύπος εφεδράνων για σεισμική μόνωση.
- Κυλινδρικό -παραλληλεπίπεδο σχήμα (ελαστομερές υλικό με μεταλλικά φύλλα).
- Τα φύλλα για αυξημένη κατακόρυφη δυσκαμψία και μειώνει τον κίνδυνο ανατροπής από οριζόντια φορτία.
- ✓ Γραμμική συμπεριφορά
- ✓ Πολυμερές νεοπρένιο, ανθεκτικό στο φως, αέρα, λιπαρές ουσίες και τα οξέα,
- ❑ Μεγαλύτερη αντοχή σε διάβρωση και γήρανση από το σκυρόδεμα και το χάλυβα.
- ❖ Η οριζόντια διατμητική δυσκαμψία των ελαστομεταλλικών εφεδράνων εξαρτάται από τις διαστάσεις και το μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς.
- ❖ Το ισοδύναμο ποσοστό ιξώδους απόσβεσής τους είναι της τάξης του 5% ή και μικρότερο.



Ελαστομερές εφέδρανο χαμηλής απόσβεσης (κοινό ελαστομεταλλικό εφέδρανο - ELB).

Συστήματα που βασιζονται στην ολίσθηση.

1. Συστήματα τριβής - αρχή του εκκρεμούς - συστήματα σφαιρικής ολίσθησης - FPS, Σχήμα. ολίσθηση σε κοίλη επιφάνεια δυνατότητα της αυτοεπαναφοράς σε αρχική θέση μετά σεισμό.

οριζόντια δυσκαμψία ανάλογη του βάρους, ιδιοπερίοδος είναι ανεξάρτητη μάζας

2. Συστήματα με επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης.

δύο κατηγορίες: (α) συστήματα που λιπαίνονται - συντελεστή τριβής μικρότερο του 0.02 και

(β) συστήματα που δεν λιπαίνονται και έχουν συντελεστή τριβής της τάξης του 0.03.

πρακτικά έχουν μετρηθεί συντελεστές τριβής 0.10 έως 0.15 κατά την εκδήλωση σεισμού.

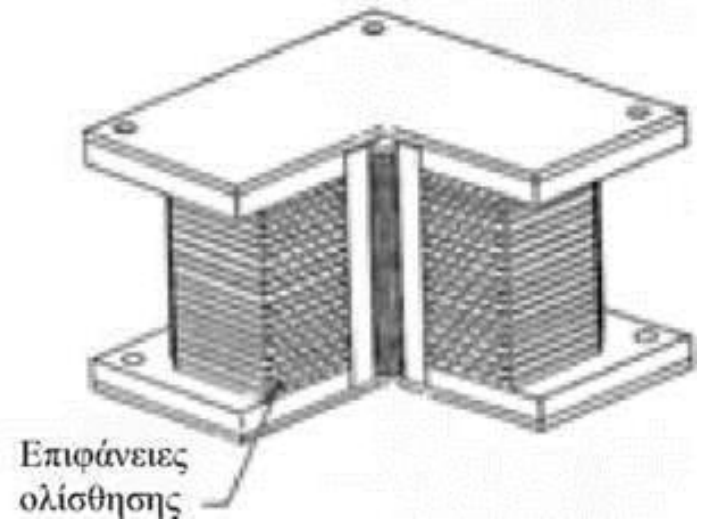
Όταν το ποσοστό της οριζόντιας δύναμης προς την κατακόρυφη είναι μικρότερο του συντελεστή τριβής, η συμπεριφορά του συστήματος είναι γραμμική.

Μετά την υπέρβαση συντελεστή τριβής ολίσθηση και η τιμή της διατμητικά μεταφερόμενης δύναμης δεν αυξάνει - σημαντική μείωση σεισμικών δυνάμεων που συνοδεύεται από μεγάλες μόνιμες μετακινήσεις.

Προβλέψη επαναφοράς ζ κατασκευής στην αρχική της θέση.

συστήματα με επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης σε συνδυασμό με ελαστομεταλλικά σφάδρανα, -δυνατότητα επαναφοράς κατασκευής στην αρχική της θέση.

- 3. Εφέδρανα με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης: μείωση του συντελεστή τριβής (Σχ7.6). Κυλινδρικό ή παραλληλεπίπεδο σχήμα, όπως και τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα,
 - Μείωση των σεισμικών δυνάμεων μέσω τριβής στις επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης μεταξύ των μεταλλικών φύλλων που αποτε



Εφέδρανο ολίσθησης που βασίζεται στην αρχή του εκκρεμούς (FPS).

Εφέδρανο ολίσθησης με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης.

Συστήματα Αύξησης της Απόσβεσης

Ποσοστό 10 - 20% της κρίσιμης -με χρήση αποσβεστήρων,

χαλύβδινοι αποσβεστήρες, αποσβεστήρες τριβής, ισοελαστικοί αποσβεστήρες και αποσβεστήρες ιζώδους υγρού.

Χαλύβδινοι αποσβεστήρες εύχρηστοι - αποτελεσματικοί μηχανισμοί απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας, -ανελαστική παραμόρφωσή.

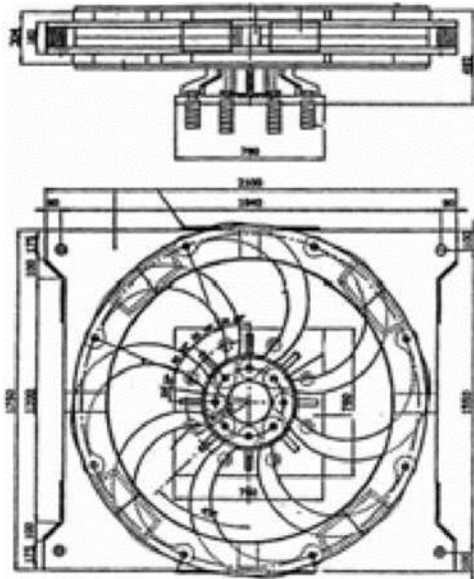
Κίνδυνος τοπικού λυγισμού, χαλύβδινοι αποσβεστήρες με μεγαλύτερη αντοχή σε κόπωση από τα συνήθη μεταλλικά μέλη των κατασκευών.

Οι αποσβεστήρες αυτοί ονομάζονται τύπου 'Ε', 'Τ' και 'Υ'.

Αυξημένη δυσκαμψία για ανεμοφορτία-για μεγάλα σεισμικά φορτία μικρές παραμορφώσεις -περιορίζουν αναπτυσσόμενες σεισμικές δυνάμεις στην κατασκευή.

Διαρροή των χαλύβδινων αποσβεστήρων εισάγει μη γραμμικότητες στην απόκριση -

περιπλέκουν την ανάλυση της μονωμένης κατασκευής -οι αποσβεστήρες μειώνουν το βαθμό σεισμικής μόνωσης -απόκριση σε υψηλότερες από τη θεμελιώδη ιδιομορφές.



Τύπος χαλύβδινου αποσβεστήρα (διαστάσεις σε mm).

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΡΙΒΗΣ

Διάφοροι τύποι απόσβεσης τριβής, -

❑ **Συστήματα μερικώς ολισθαίνοντα αρμού** (limited slip bolt joint - LSB), συστήματα με πλάκες τριβής - ολισθαίνουν κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας μιας κυλινδρικής μεταλλικής θήκης, συστήματα στα οποία η απόσβεση συντελείται στην κοινή επιφάνεια μεταξύ των μπρούντζινων σφηνών τριβής και του μεταλλικού τοιχώματος του κυλίνδρου στον οποίο περιέχονται, κ.τ.λ.

❑ **Ιξοελαστικών αποσβεστήρων**-το 1969 για ανεμοπίεση, 1993 εφαρμόστηκαν για τη σεισμική αναβάθμιση υπάρχοντος κτιρίου.

Τα ιξοελαστικά υλικά :συμπολυμερή ή υαλώδη υποκατάστατα - αποσβένουν ενέργεια σε διατμητική παραμόρφωση. (συχνότητα διέγερσης, θερμοκρασία, διατμητική τάση)

Συσκευές που εκμεταλλεύονται ιδιότητες των υγρών για τον ίδιο σκοπό. ς:

(α) οι αποσβεστήρες κυλινδρικού δοχείου,

(β) τα τοιχώματα ιξώδους απόσβεσης,

(γ) οι αποσβεστήρες Taylor και

(δ) οι αποσβεστήρες Jarret. μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε θερμότητα καθώς ένα έμβολο παραμορφώνει μία παχύρρευστη, υψηλού ιξώδους ουσία, π.χ. παχύρρευστη σιλικόνη

Κατά κανόνα όλα τα είδη των αποσβεστήρων απαιτούν μηχανικούς συνδέσμους και τακτική συντήρηση.

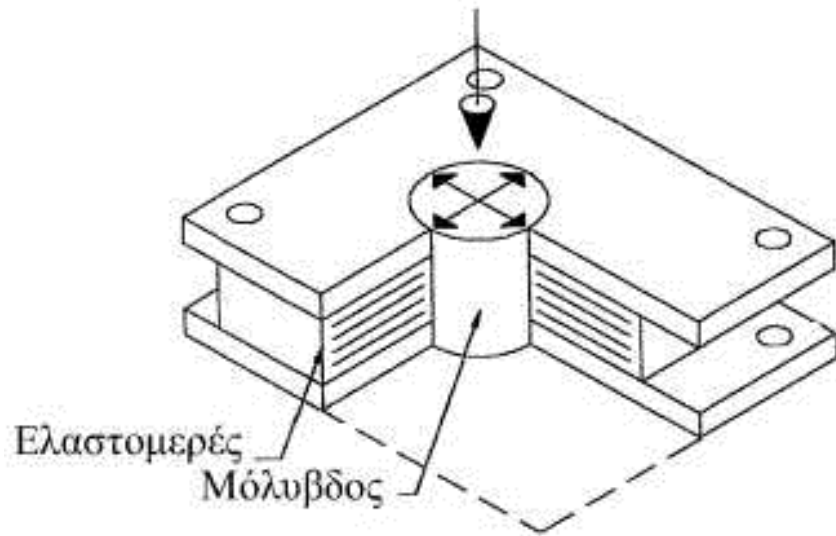
Συστήματα Ταυτόχρονης Μείωσης της Δυσκαμψίας και Αύξησης της Απόσβεσης

1. Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου για αύξηση της απόσβεσης (LRB - Σχ).

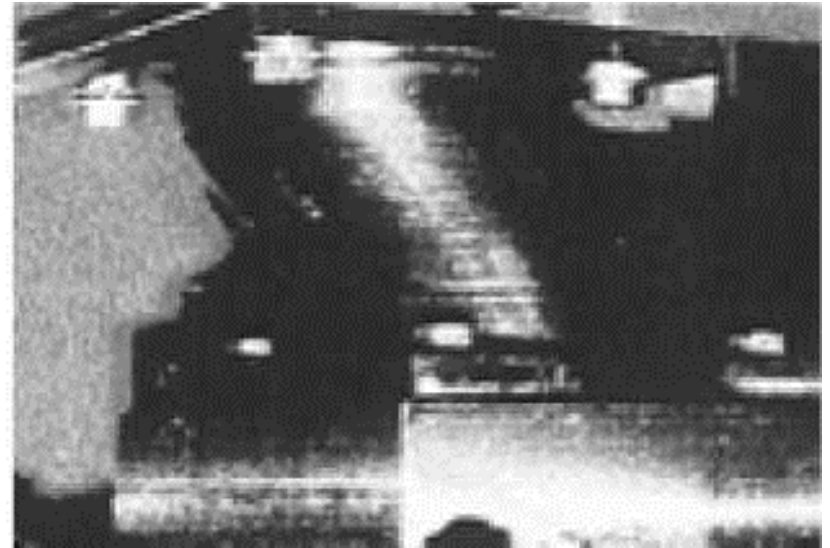
- Τροποποίηση των ELB :έχει προστεθεί κεντρικά στοιχείο από μόλυβδο για αύξηση απόσβεσης. Επιτυγχάνεται ταυτόχρονα επαρκής δυσκαμψία για τα συνήθη στατικά φορτία.
- Σχετικά μικρή τάση διαρροής :επιτρέπει ελαστοπλαστική συμπεριφορά,
- Μικρή απαιτούμενη θερμοκρασία (20oC) για πλαστιμότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα μέταλλα.
- Έχουν ελαστοπλαστική, διγραμμική συμπεριφορά με υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας σε κάθε κύκλο επαναλαμβανόμενης φόρτισης.
- Εφέδρανο χάνει ικανότητα αυτόματης επαναφοράς -δεν αποτελεί μειονέκτημα ,οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι μικρές και, σε επάλληλα σεισμικά γεγονότα, οι συνολικές μετακινήσεις δεν αθροίζονται.
- Άνω και κάτω μεταλλική πλάκα του εφεδράνου να λειτουργεί σε καθαρή διάτμηση.

2. Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDNR - Σχ).

- Η διαφορά με τα ELB υλικό με σημαντικά υψηλότερη τιμή του ποσοστού ιξώδους απόσβεσης. Μεγάλα βάρη και μικρή δυσκαμψία σε οριζόντιες μετακινήσεις.
- Ικανότητα μεγάλης απορρόφησης ενέργειας
- Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση από 5% έως και 16% της κρίσιμης απόσβεσης για το 100% της διατμητικής παραμόρφωσης και αυτόματης επαναφοράς κατασκευής στην αρχική της θέση.



Ελαστομεταλλικό εφέδρανο με πυρήνα μολύβδου (LRB).



Ελαστομεταλλικό εφέδρανο υψηλής απόσβεσης (HDNR).

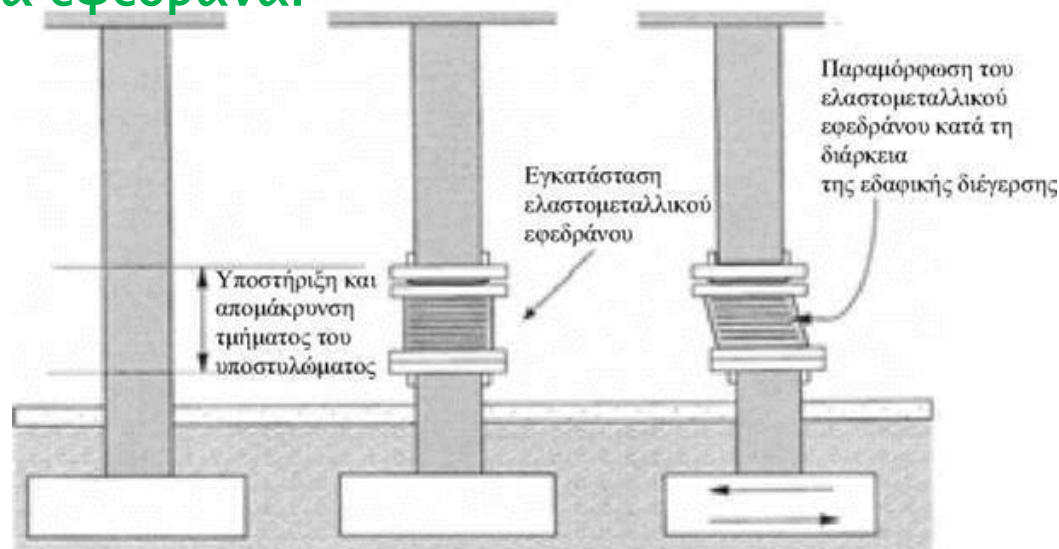
3. Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα από κοκκώδη υλικά (ΘΚΒ).
Παραλλαγή των ΕΚΒ ο πυρήνας μολύβδου έχει αντικατασταθεί από κοκκώδες υλικό, όπως είναι η άμμος, ο τριμμένος ύαλος, κ.τ.λ.

Το Σχήμα τυπική διαδικασία εγκατάστασης σεισμικής μόνωσης σε υπάρχον κτίριο.

Το υποσύλωμα υποστηρίζεται, **ένα τμήμα του υποστυλώματος κοντά στη βάση απομακρύνεται** και το εφέδρανο τοποθετείται με τη βοήθεια γρύλων.

Η θεμελίωση ενισχύεται ή επανακατασκευάζεται πριν των εφεδράνων.

Συνήθης πρακτική είναι κατασκευή δύσκαμπτης θεμελίωσης – τοποθετούνται τα εφέδρανα.



Διαδικασία εγκατάστασης και συμπεριφορά ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης με ελαστομεταλλικό εφέδρανο

Εφαρμογές συστημάτων σεισμικής μόνωσης

Σεισμική μόνωση : διάφορες χώρες του κόσμου,

Προστασία κτιρίων η λειτουργία, κατά τη διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά το σεισμό, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών κλπ., καθώς και κτιρίων που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία) ή έχουν μεγάλη ιστορική σημασία (π.χ. μνημεία).

Οι περισσότερες εφαρμογές συστημάτων σεισμικής μόνωσης έχουν πραγματοποιηθεί σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία, η Ιταλία και η Νέα Ζηλανδία.

Φέρων οργανισμός: παισιακός φορέας οπλισμένου σκυροδέματος

Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC), Rancho Cucamonga, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης

Κέντρο Πυροσβεστικού Ελέγχου (FCCF), Los Angeles, Καλιφόρνια,

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης

Νοσοκομείο M.L. King/C.R. Drew Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής Diagnostics Trauma Center, απόσβεσης και εφέδρανα ολίσθησης

Willowbrook, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Εθνικό Μουσείο Νέας Ζηλανδίας, Wellington, Νέα Ζηλανδία

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου και εφέδρανα ολίσθησης

Union House, Auckland, Νέα Ζηλανδία

Σύστημα σεισμικής μόνωσης με πασσάλους

Κτίριο της Telecom Italia, Ancona,

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης

(β) Φέρων οργανισμός: μεταλλικός παισιακός φορέας

Κέντρο Συγκοινωνιακού Ελέγχου, San Diego, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης

Κέντρο Άμεσων Ενεργειών (EOC), Los Angeles, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης

Κέντρο Κατασκευής Προσομοιωτών Πτήσης, Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου και κοινά Salt Lake City, Γιούτα, ΗΠΑ ελαστομεταλλικά εφέδρανα

Δημαρχιακό Μέγαρο του San Francisco, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου

Δημαρχιακό Μέγαρο του Los Angeles, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης και εφέδρανα ολίσθησης

Εφετείο του San Francisco, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

Εφέδρανα ολίσθησης που βασίζονται στην αρχή του εκκρεμούς

(γ) Φέρων οργανισμός: φέρουσα τοιχοποιία

Εκκλησία Αγίου Πέτρου, Frigento, Ιταλία

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης

Κοινοβούλιο Νέας Ζηλανδίας, Wellington, Νέα Ζηλανδία

Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου



Δημαρχιακό Μέγαρο του San Francisco, Καλιφόρνια, ΗΠΑ.

..: Μονωτήρες στο επίπεδο της θεμελίωσης του Δημαρχιακού Μεγάρου του San Francisco.

Το κτίριο, μελέτη 1912 για να αντικαταστήσει προηγούμενη κατασκευή που είχε καταστραφεί από το σεισμό του 1906,

Καταλαμβάνει δύο οικοδομικά τετράγωνα και βρίσκεται στην παναμερικανική λίστα των κτιρίων μοναδικής ιστορικής σημασίας.

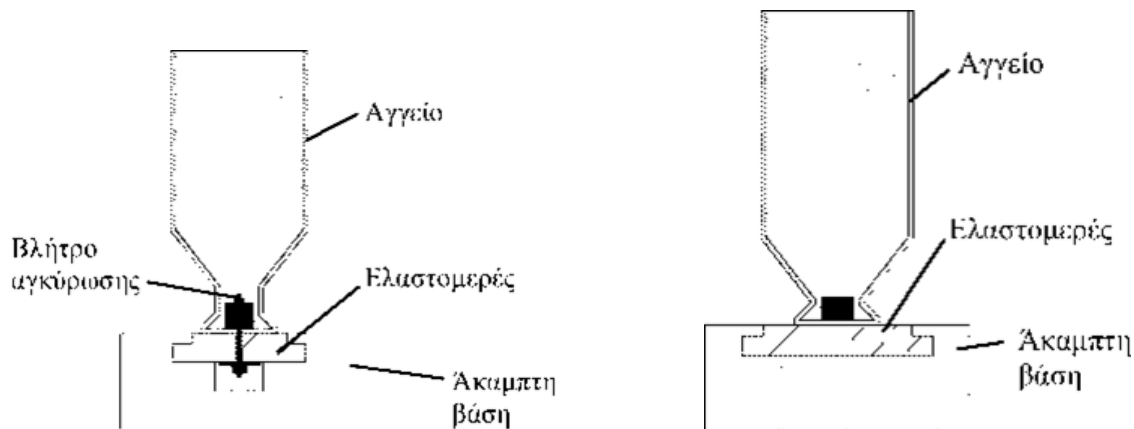
Το πενταόροφο κτίριο έχει τρούλο ύψους 91 m. **Ο φέρων οργανισμός είναι μεταλλικό πλαίσιο και μέσα από την επένδυση γρανίτη φέρει άοπλη τοιχοποιία από οπτόπλινθους.** Επιλέχθηκε η μέθοδος **της σεισμικής μόνωσης με ταυτόχρονη ενίσχυση της ανωδομής με τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος**. Το επίπεδο που τοποθετήθηκε το σύστημα της σεισμικής μόνωσης βρίσκεται ακριβώς πάνω από το επίπεδο της θεμελίωσης. Χρησιμοποιήθηκαν **530 ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου**. Πολλά από τα υποστυλώματα στηρίζονται σε τέσσερεις μονωτήρες κάτω από μία μεταλλική σταυροειδή κατασκευή.

Ανάλυση Μονώροφου Πλαισιακού Φορέα

Ας θεωρήσουμε το μονώροφο πλαίσιο του Σχήματος 7.17α με συγκεντρωμένη μάζα $m = 900 \text{ Mgr}$ και οριζόντια δυσκαμψία $k = 222138 \text{ kN/m}$. Πρόκειται για ένα μονοβάθμιο σύστημα με ιδιοσυχνότητα ω και ιδιοπερίοδο T_f , όπου

$$\omega_f = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

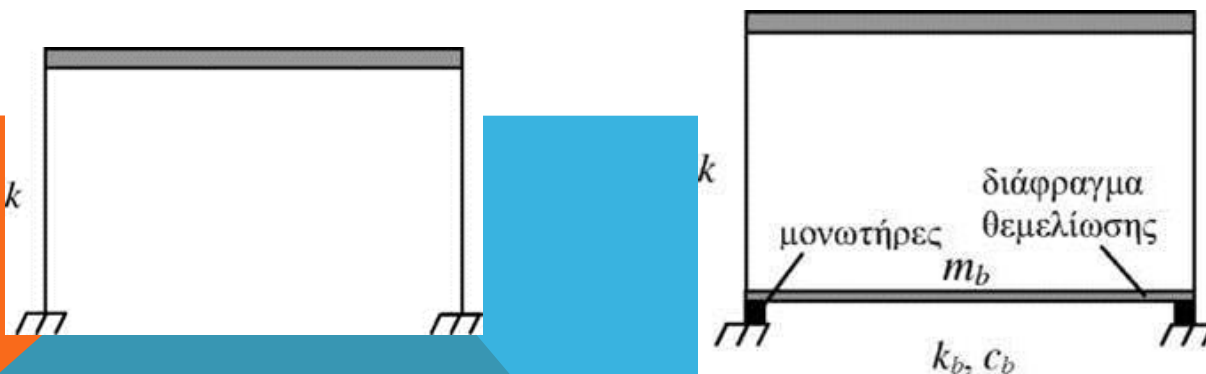
$$T_f = \frac{2\pi}{\omega_f}$$



(α)

(β)

Παραδείγματα σεισμικής μόνωσης αγγείων με χρήση κοινών ελαστομεταλλικών εφεδράνων



∴ (α) Πακτωμένη κατασκευή. (β) Σεισμικά μονωμένη κατασκευή

$\omega = 15.71 \text{ rad/sec}$ και $T_f = 0.4 \text{ sec}$. Επιπλέον θεωρούμε ότι το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης του κτιρίου για το σεισμό σχεδιασμού είναι $Z_f = 5\%$.

Για να μονωθεί σεισμικά το πλαίσιο κατασκευάστηκε άκαμπτη θεμελίωση με μάζα $m_b = 600 \text{ Mgr}$ και τοποθετήθηκε σύστημα σεισμικής μόνωσης με οριζόντια δυσκαμψία $k_b = 14788 \text{ kN/m}$.

Η ιδιοσυχνότητα ω_b και η ιδιοπερίοδος T_b του πλαισίου με τη γενική κοιτόστρωση και τους αποσβεστήρες δίνονται από τις σχέσεις

$$T_b = \frac{2\pi}{\omega_b} \quad \omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{m + m_b}}$$

$\omega_b = 3.14 \text{ rad/sec}$ και $T_b = 2.0 \text{ sec}$. Επίσης θεωρούμε ότι το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης του σεισμικά μονωμένου συστήματος είναι $\zeta_b = 10\%$.

Η τέμνουσα βάσης V_b και μετατόπιση στο επίπεδο των μονωτήρων u_b από φάσμα σχεδιασμού, για ποσοστά κρίσιμης απόσβεσης 5 και 10%. (ΕΑΚ 2000) $A = 0.16g$ (ζώνη : I), συντελεστή σπουδαιότητας του κτιρίου $\gamma_i = 1.0$ (κατηγορία σπουδαιότητας: Σ2), συντελεστή συμπεριφοράς $q = 1.00$, συντελεστή επιρροής της θεμελίωσης $\theta = 1.00$ και κατηγορία εδάφους B. ο $q = 1.00$ σκοπός σεισμικής μόνωσης είναι μείωση των δυνάμεων που ασκούνται στην ανωδομή ώστε να αποτρέπονται μεγάλες παραμορφώσεις, **με αποτέλεσμα η ανωδομή να συμπεριφέρεται ελαστικά κατά τη διάρκεια του σεισμού.**

Σύμφωνα με τη σχέση (2.2) του ΕΑΚ 2000, ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης για ποσοστό απόσβεσης $\Phi = 5\%$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0.7$$

Επομένως για $\zeta = 10\%$ προκύπτει $\eta = 0.76$.

Για ιδιοπερίοδο πακτωμένης κατασκευής $T_f = 0.4 \text{ sec}$ και ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\zeta_f = 5\%$, το φάσμα σχεδιασμού $\Phi_d(T_f, \zeta_f) = 0.400g$. Επομένως, η τέμνουσα βάσης της πακτωμένης κατασκευής είναι

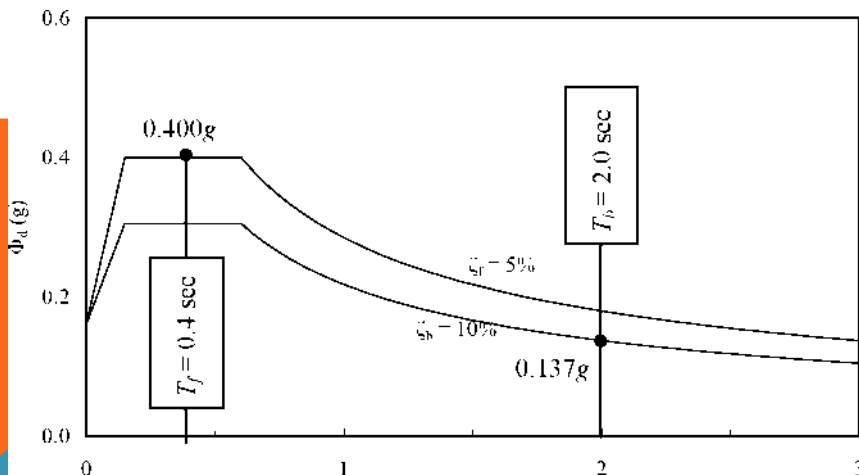
$$V_b = m \Phi_d(T_f, \zeta_f) = m (0.400g) \quad \text{ή} \quad \frac{V_b}{w} = 0.400$$

δηλαδή το 40% του βάρους w του κτιρίου (χωρίς το βάρος της θεμελίωσης).

Παρόλο που η σεισμικά μονωμένη κατασκευή έχει δύο βαθμούς ελευθερίας (την οριζόντια μετατόπιση της αδράνειας m και της γενικής κοιτόστρωσης με αδράνεια m_b , μπορεί και αυτή να αντιμετωπιστεί ως μονοβάθμιο σύστημα θεωρώντας ότι, λόγω της μεγάλης διαφοράς δυσκαμψίας μεταξύ μονωτήρων και ανωδομής, το κτίριο πάνω από τους μονωτήρες είναι άκαμπτο. Η μετατόπιση των μονωτήρων

$$u_b = \frac{\Phi_d(T_b, \zeta_b)}{\omega_b^2}$$

Αντίστοιχα, η τέμνουσα βάσης της κατασκευής είναι



$$V_b = m \Phi_d(T_b, \zeta_b)$$

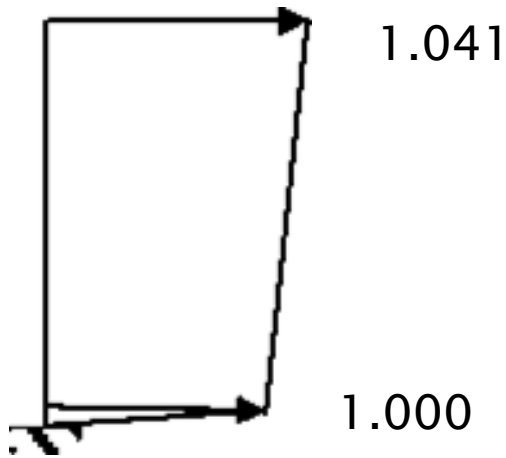
Φάσμα σχεδιασμού και φασματικές τιμές για πακτωμένη και σεισμικά μονωμένη κατασκευή

Τα αποτελέσματα των εξισώσεων μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά ακριβή για σεισμικά μονωμένα συστήματα στα οποία η ιδιοπερίοδος T_b είναι πολύ μεγαλύτερη από την ιδιοπερίοδο T_f της αντίστοιχης πακτωμένης κατασκευής. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, για $T_b = 2.0 \text{ sec}$ και $\zeta_b = 10\%$, από το φάσμα σχεδιασμού του Σχήματος προκύπτει $\Phi_d(T_b, \zeta_b) = 0.137^*$. Επομένως,

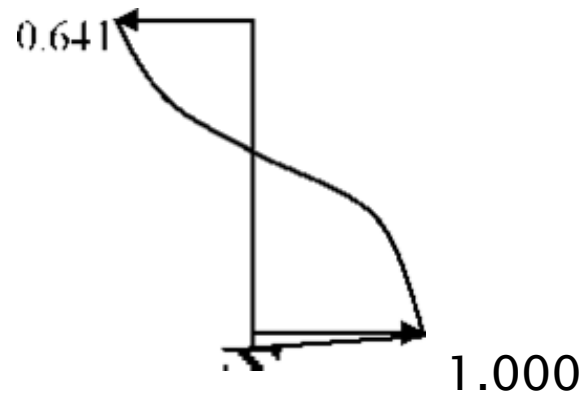
$$V_b = m \Phi_d(T_b, \zeta_b) = m (0.137g) \quad \text{ή} \quad \frac{V_b}{w} = 0.137$$

δηλαδή περίπου ίση με το 1/3 της τέμνουσας βάσης χωρίς το σύστημα σεισμικής μόνωσης.

Οι δύο ιδιομορφές που προκύπτουν από τη δυναμική φασματική ανάλυση φαίνονται στο Σχήμα. Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T_1 και το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης που αντιστοιχεί στη θεμελιώδη ιδιομορφή ζ_1 έχουν αντίστοιχα τιμές: $T_1 = 2.024 \text{ sec}$, $\zeta_1 = 9.65\%$. Επειδή οι τιμές των δυναμικών παραμέτρων του συστήματος με θεώρηση άκαμπτης κατασκευής, $T_b = 2.0 \text{ sec}$ και $Z_b = 10\%$, πολύ κοντά στις τιμές της θεμελιώδους ιδιομορφής, $T_1 = 2.024 \text{ sec}$ και $\zeta_1 = 9.65\%$, οι φασματικές επιταχύνσεις $\Phi_a(T_b, Z_b)$ και $\Phi_a(T_1, \zeta_1)$ είναι οι ίδιες με. Επιπλέον, η δρώσα ιδιομορφική μάζα $M_1 = 1.015m$ είναι σχεδόν ίση με τη μάζα m που υπεισέρχεται στον υπολογισμό της τέμνουσας βάσης



$$T_1 = 2.024 \text{ sec}$$



$$T_2 = 0.250$$

\therefore Θεμελιώδεις ιδιομορφές σεισμο
 Η μετατόπιση των μονωτήρων είναι

$$u_b = \frac{\Phi_d (r_b \cdot \zeta_b)}{\omega_b^2} = \frac{0.137 \times 9.807}{(2\pi/2.0)^2} = 13.613 \text{ cm}$$

Λόγω της ακρίβειας που παρέχει, η προσέγγιση της άκαμπτης κατασκευής αποτελεί ένα **ικανοποιητικό εργαλείο** για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης, καθώς και της μετατόπισης στο επίπεδο των μονωτήρων.

Σύγχρονοι κανονισμοί για τη σεισμική μόνωση κατασκευών

ΗΠΑ και η Ιαπωνία έχουν ενσωματώσει το σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κατασκευών στους αντισεισμικούς κανονισμούς.

Ο Ευρωκώδικας 8 περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν στη σεισμική μόνωση γεφυρών με χρήση κοινών ελαστομεταλλικών εφεδράνων - ELB.

Αντίστοιχα οι ελληνικές 'Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών' (Εγκύκλιος Ε. 39/99) αναφέρονται στον έλεγχο της αντοχής σταθερών ή κινητών ελαστομεταλλικών εφεδράνων, καθώς και στις ωθήσεις γαιών που αναπτύσσονται σε ακρόβαθρα με ελαστικά εφέδρανα ή εφέδρανα ολίσθησης.

❖ **Ο ΕΑΚ 2000 αναφέρει ρητά ότι δεν καλύπτει το θέμα της σεισμικής μόνωσης.**

❑ Μία σεισμικά μονωμένη κατασκευή σύμφωνα με τις διατάξεις των κανονισμών θα υπερτερήσει μίας μη σεισμικά μονωμένης κατασκευής σε μέτριες και ισχυρές σεισμικές δονήσεις.

Πρόθεση των κανονισμών δεν είναι η μείωση του κατασκευαστικού κόστους αλλά ο περιορισμός των βλαβών της κατασκευής και των περιεχομένων της,

Η **σεισμική μόνωση επιτρέπει πρακτικά ελαστική απόκριση της κατασκευής και χαμηλές επιταχύνσεις ακόμα και για ισχυρή σεισμική δόνηση.**

Τα κριτήρια που υιοθετούνται από τους παραπάνω κανονισμούς προσεγγίζουν τη σεισμική διακινδύνευση σε δύο επίπεδα:

- **Σεισμός Σχεδιασμού (DBE).**

Το επίπεδο της εδαφικής ταλάντωσης με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια (σεισμός με περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια). Ταυτίζεται με τη σεισμική ένταση του σεισμού σχεδιασμού του ΕΑΚ 2000.

- **Μέγιστος Ικανός Σεισμός (MCE).**

Το μέγιστο επίπεδο της εδαφικής ταλάντωσης που εκτιμάται ότι μπορεί να συμβεί στη θέση του έργου. Αυτό μπορεί να ληφθεί ως το επίπεδο της εδαφικής κίνησης με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 100 χρόνια (σεισμός με περίοδο επαναφοράς 1000 χρόνια).

Σε όλες τις μελέτες συστημάτων σεισμικής μόνωσης είναι απαραίτητο να προηγηθεί μια 'ισοδύναμη στατική ανάλυση', η οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να είναι η μόνη μέθοδος σχεδιασμού που απαιτείται. Με την εξέλιξη του κανονισμού, οι περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται δυναμική ανάλυση έχουν αυξηθεί.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ

Συνηθέστερα είδη βλαβών σε γέφυρες

1. Απώλεια στήριξης της ανωδομής της γέφυρας στα υποκείμενα ακρόβαθρα ή μεσόβαθρα σε μη σταθερές ακραίες στηρίξεις στη διαμήκη διεύθυνση ή μεταξύ γειτονικών τμημάτων φορέα σε ενδιάμεσους αρμούς διαχωρισμού διατεταγμένους μέσα στο άνοιγμα λόγω ανεπαρκούς μήκους έδρασης.
2. Σημαντική απώλεια αντοχής λόγω αποσάθρωσης του σκυροδέματος και αστοχίας του οπλισμού των βάθρων. Ανάλογα με τη γεωμετρία του βάθρου, οι βλάβες μπορεί να είναι καμπτικού ή διατμητικού τύπου .
3. Βλάβες των ακρόβαθρων ή των θεμελίων των βάθρων λόγω αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης που οφείλεται σε ρευστοποίηση, εκτεταμένη καθίζηση, κτλ. Αυτού του είδους οι βλάβες, ακόμα και αν δεν επηρεάσουν τη στατική ακεραιότητα του φορέα, κατά κανόνα καθιστούν τη γέφυρα μη προσιτή.



Αστοχία λόγω απώλειας στήριξης



Αστοχία καμπτικού τύπου.



∴ Αστοχία διατμητικού τύπου.



*Αστοχία ακρόβαθρου λόγω
ρευστοποίησης εδάφους θεμελίωσης.*

Διαδικασία σεισμικής αξιολόγησης και φιλοσοφία ενίσχυσης γεφυρών

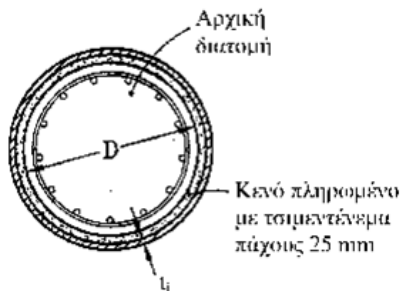
- **Δομική τρωτότητα.**
- **Σπουδαιότητα.**
- **Σεισμική επικινδυνότητα.**
- **Εδαφικά χαρακτηριστικά.**
- **Κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες.**

Μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων γέφυρας

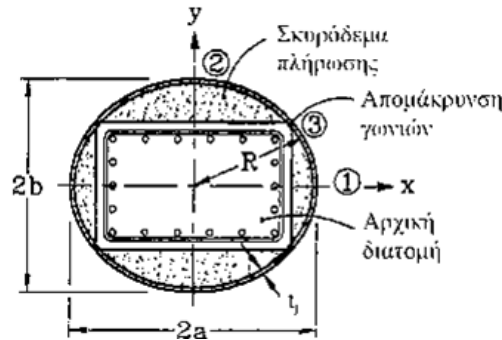
Παρακάτω περιγράφονται οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επισκευή και ενίσχυση των βάθρων, της κεφαλής των βάθρων, των κόμβων κεφαλής δοκού - υποστυλώματος και της ανωδομής.

Μέθοδοι Ενίσχυσης Βάθρων απο Οπλισμένο Σκυρόδεμα

α) Μεταλλικοί Μανδύες



(α) *Κυκλικό υποστύλωμα*



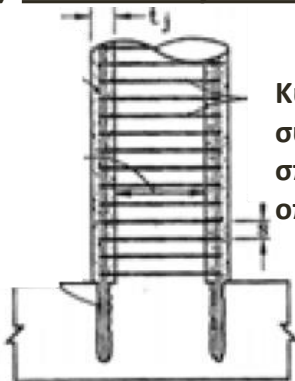
(β) *Ορθογωνικό υποστύλωμα (με ελλειπτικό μανδύα)*

β) Μανδύες από Οπλισμένο Σκυρόδεμα.

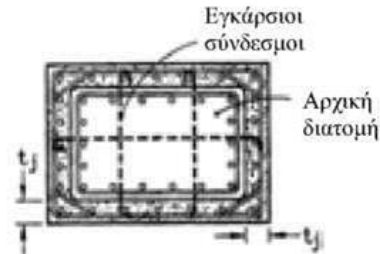
Μανδύας σκυροδέματος

Κυκλικοί συνδετήρες ή σπειροειδής οπλισμός

Υπάρχουσα διατομή Ράβδος αγκυρωμένη στο θεμέλιο



(α) *Κυκλικό υποστύλωμα (όψη)*



β) *Ορθογωνικό υποστύλωμα (τομή)*

(γ) Μανδύες από Σύνθετα Υλικά



Ενίσχυση με μανδύες από σύνθετα υλικά. (α) Υαλονήματα υψηλής αντοχής: διάστρωση με το χέρι. (β) Ανθρακονήματα: μηχανική περιέλιξη

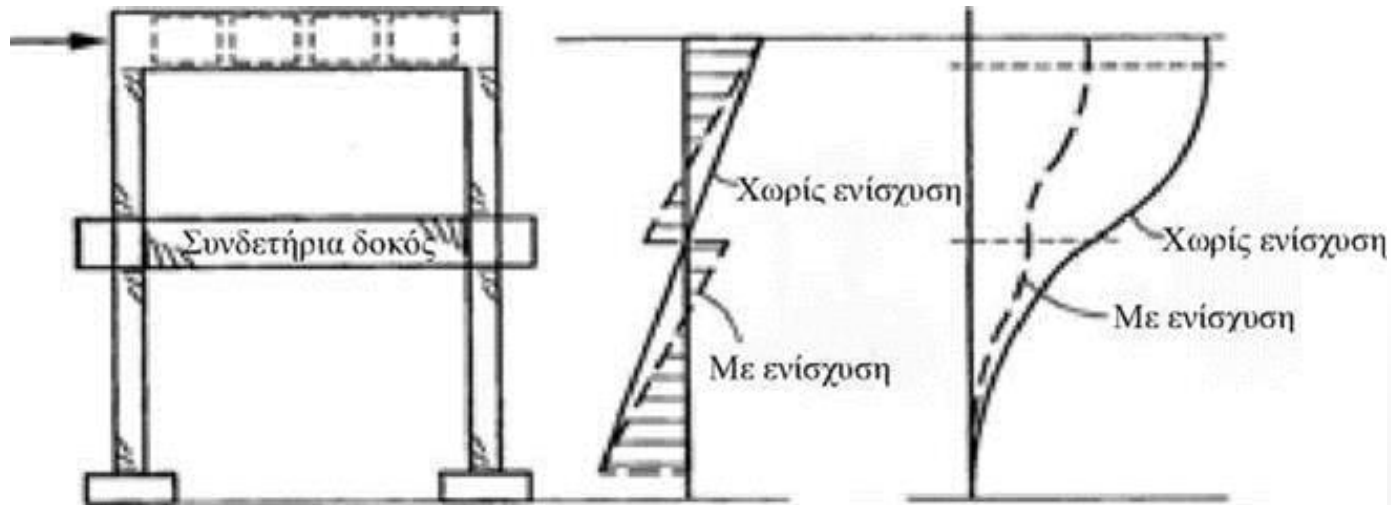
Κριτήρια Σχεδιασμού Ενίσχυσης Βάθρων

(α) Περίσφιγξη για Αύξηση της Καμπτικής Πλαστιμότητας.

(β) Περίσφιγξη για Καμπτική Επάρκεια των Συνδέσεων Οπλισμού με Παράθεση

(γ) Αύξηση της Διατμητικής Αντοχής.

(δ) Αύξηση της Δυσκαμψίας των Υποστυλωμάτων

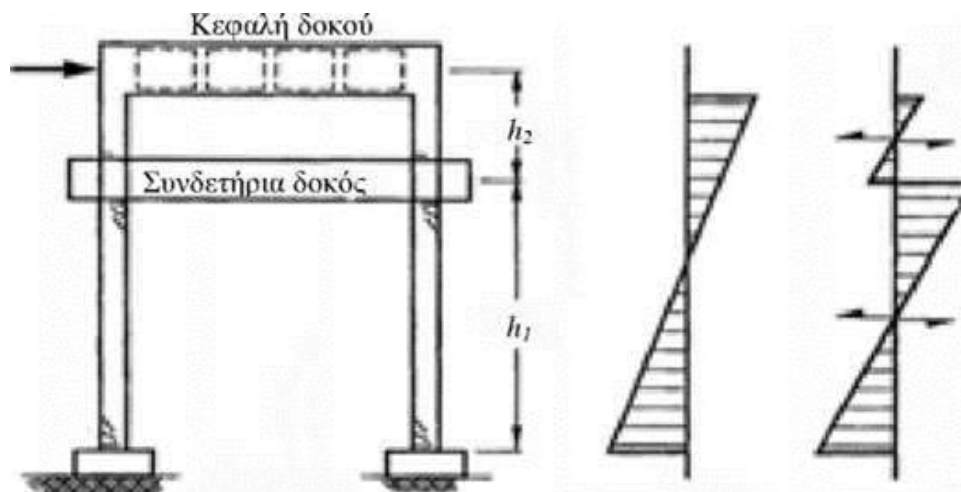


Χρήση συνδετήριας δοκού για μείωση των μετακινήσεων λόγω εγκάρσιας σεισμικής δράσης βάθρων με πολλά υποστυλώματα

(ε) Επισκευή Υποστυλωμάτων Βάθρων με Μανδύες.

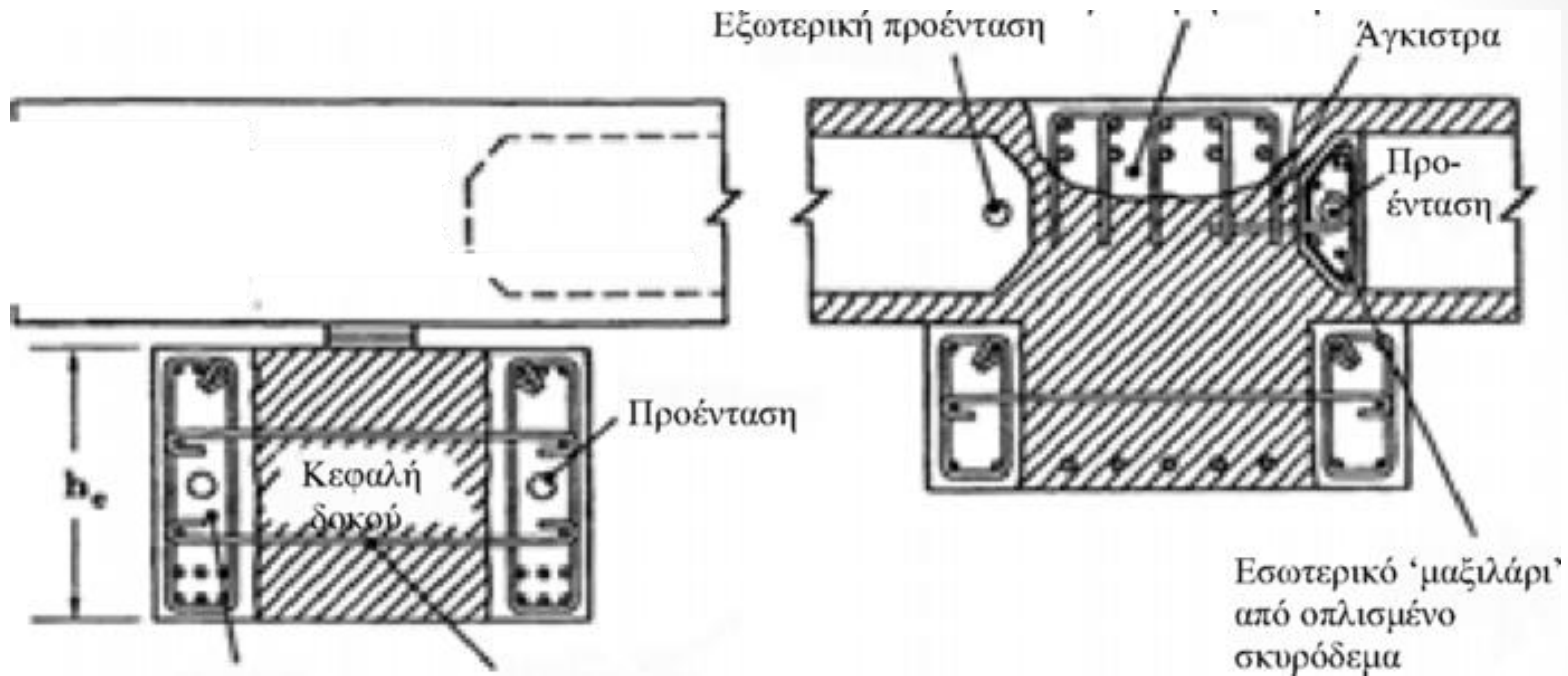
Μέθοδοι Ενίσχυσης της Κεφαλής των Βάθρων

- ❖ Μείωση των Σεισμικών Δράσεων στην Κεφαλή του Βάθρου



Χρήση συνδετήριας δοκού για μείωση των σεισμικών δυνάμεων στην κεφαλή του βάθρου.

❖ Αύξηση της Αντοχής της Κεφαλής του Βάθρου (α) Καμπτική Αντοχή



Καμπτική και διατμητική ενίσχυση κεφαλών βάθρων. (α) Ανωδομή εδραζόμενη σε εφέδρανα. (β) Μονολιθική κεφαλή βάθρου.

❖ β) Διατμητική Αντοχή.

❖ (γ) Στρεπτική Αντοχή

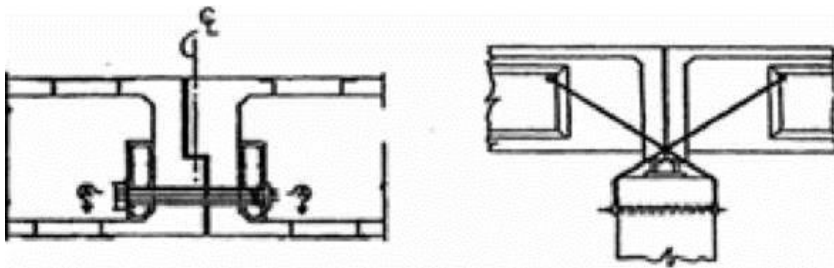
Μέθοδοι Ενίσχυσης της Περιοχής των Κόμβων Κεφαλής Δοκού - Υποστυλώματος

- Μείωση των Δυνάμεων του Κόμβου
- Αποδοχή Επισκευάσιμων Βλαβών
- Προένταση του Κόμβου
- Τοποθέτηση Μανδυών
- Αντικατάσταση του Κόμβου

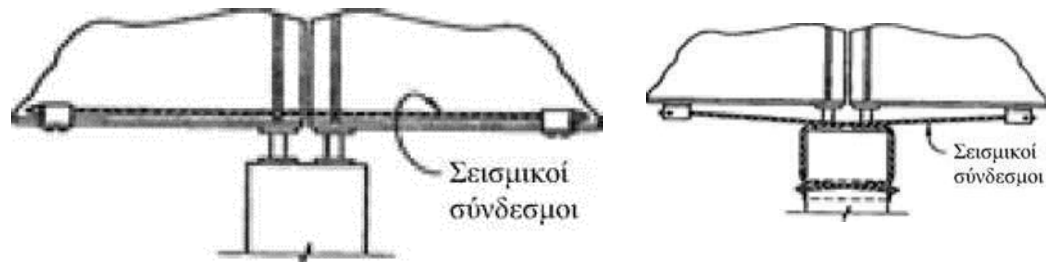
Μέθοδοι Ενίσχυσης της Ανωδομής

➤ Ενίσχυση των Αρμών

(α) Σεισμικοί Σύνδεσμοι



Σεισμικοί σύνδεσμοι - καλώδια για αρμούς ανωδομών από οπλισμένο σκυρόδεμα



Σεισμικοί σύνδεσμοι - καλώδια για αρμούς ανωδομών από χάλυβα

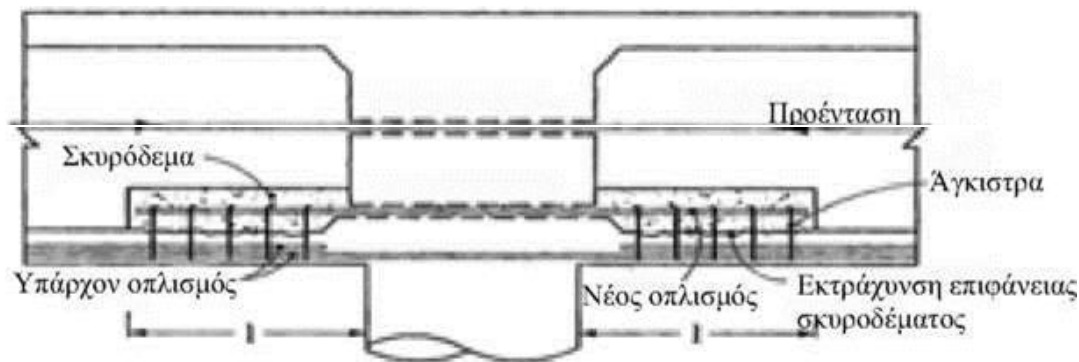


Καμπτική Αντοχή της Ανωδομής

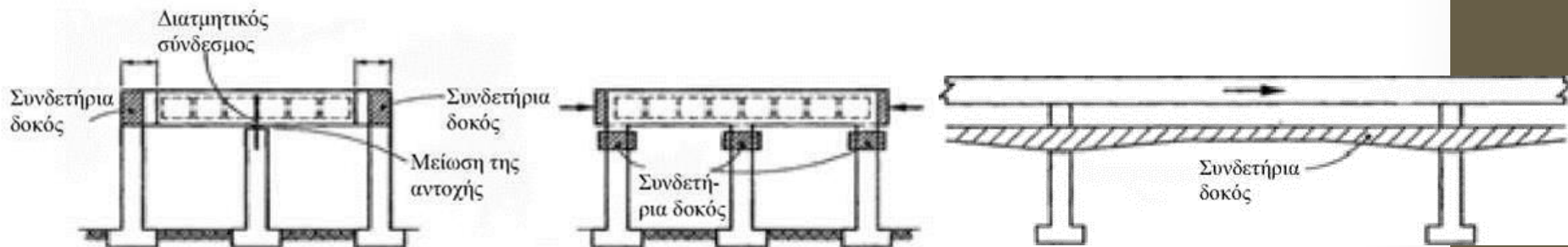


Ενίσχυση ανωδομής με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος για αύξηση της αντοχής.

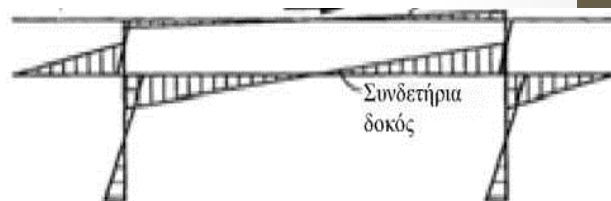
(α) Αύξηση της Αντοχής



(β) Μείωση των Δυνάμεων



α) Συνδετήριες δοκοί παράλληλα στο κατάστρωμα. (β) Συνδετήριες δοκοί κάτω από το κατάστρωμα. (γ) Όψη συνδετήριας δοκού κάτω από το κατάστρωμα.



Μείωση των διαμήκων ροπών της ανωδομής με συνδετήριες δοκοί

(δ) Διάγραμμα ροπών στην περίπτωση συνδετήριας δοκού κάτω από το κατάστρωμα

ΤΕΛΟΣ 7^{ης} ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ