

## ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΓΚΑΡΤΖΙΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΚΑΛΛΙΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

### Περίληψη

*Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης ως σύστημα ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών. Στην εισαγωγή γίνεται μια αναφορά στην ιστορία της μεθόδου αυτής και προσδιορίζεται η έννοια και ο στόχος της. Στη συνέχεια αναφέρονται οι κατηγορίες των κτιρίων που κρίνονται κατάλληλα για εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής μόνωσης και οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται από τα συστήματα αυτά. Ακόμη παρουσιάζονται τα συστήματα σεισμικής μόνωσης σε κατηγορίες ανάλογα με τη λειτουργία τους.*

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

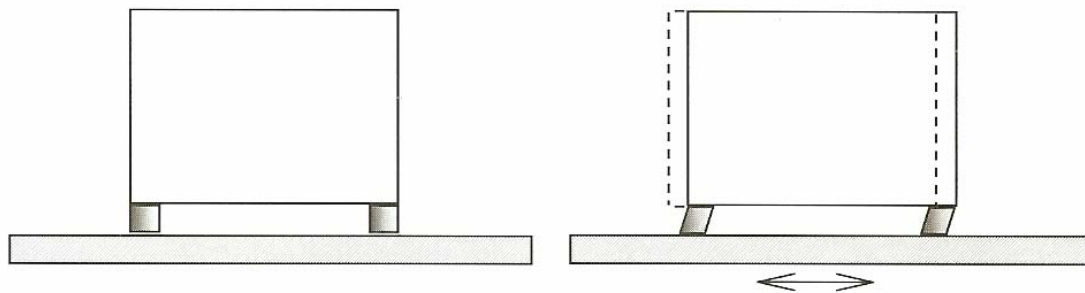
### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η έννοια της μόνωσης των κτιρίων από τις σεισμικές δράσεις είναι γνωστή από τους αρχαίους χρόνους. Στις ελληνικές αποικίες της νότιας Ιταλίας του 5<sup>ου</sup> π.χ. αιώνα τοποθετούσαν ανάμεσα στη θεμελίωση και την ανωδομή ένα στρώμα άμμου, το οποίο αποτελεί το πρώτο αρχειοθετημένο εφεδρανο {2}. Στη σύγχρονη εποχή η σεισμική μόνωση άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως σε γέφυρες από την αρχή της δεκαετίας του '70 και σε κτίρια από τα τέλη της δεκαετίας του '70, αν και υπάρχουν παραδείγματα σεισμικά μονωμένων κατασκευών πολύ νωρίτερα {3}.

### 1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Ο αντισεισμικός κανονισμός των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα βασίζεται μέχρι σήμερα στην κατάλληλη επιλογή των δυναμικών χαρακτηριστικών των κτιρίων ώστε να βελτιστοποιείται η σεισμική απόκριση τους και να περιορίζονται οι πιθανές παραμορφώσεις από ισχυρές σεισμικές φορτίσεις. Οι απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού των φορέων κατά τους ισχύοντες κανονισμούς επιβάλλουν αυξημένη παραμορφωσιμότητα και ταχεία απόσβεση των ταλαντώσεων, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη απόκριση των δομικών στοιχείων στις εξωτερικά επιβαλλόμενες σεισμικές δράσεις. Με τον τρόπο αυτό οι 'επαρκώς πλαστικές' κατασκευές αντέχουν και στους πιο ισχυρούς σεισμούς.

Σαν εναλλακτική στρατηγική σε μια τέτοια προσέγγιση αναπτύχθηκε η μεθοδολογία της σεισμικής μόνωσης, η οποία αποσκοπεί στην απομόνωση της ανωδομής από τη σεισμική κίνηση του εδάφους. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ειδικών συσκευών μικρής δυσκαμψίας, τους μονωτήρες. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1 η καταλληλότερη θέση για να τοποθετηθούν οι μονωτήρες είναι η διεπιφάνεια μεταξύ των υποστυλωμάτων και των θεμελίων του κτιρίου. Το τμήμα της κατασκευής πάνω από την στάθμη που τοποθετούνται οι μονωτήρες αποτελεί την ανωδομή ενώ κάτω από την στάθμη τους βρίσκεται το τμήμα της υποδομής, το οποίο ουσιαστικά μετακινείται μαζί με το έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο η ανωδομή συμπεριφέρεται ελαστικά σε ισχυρό σεισμό.



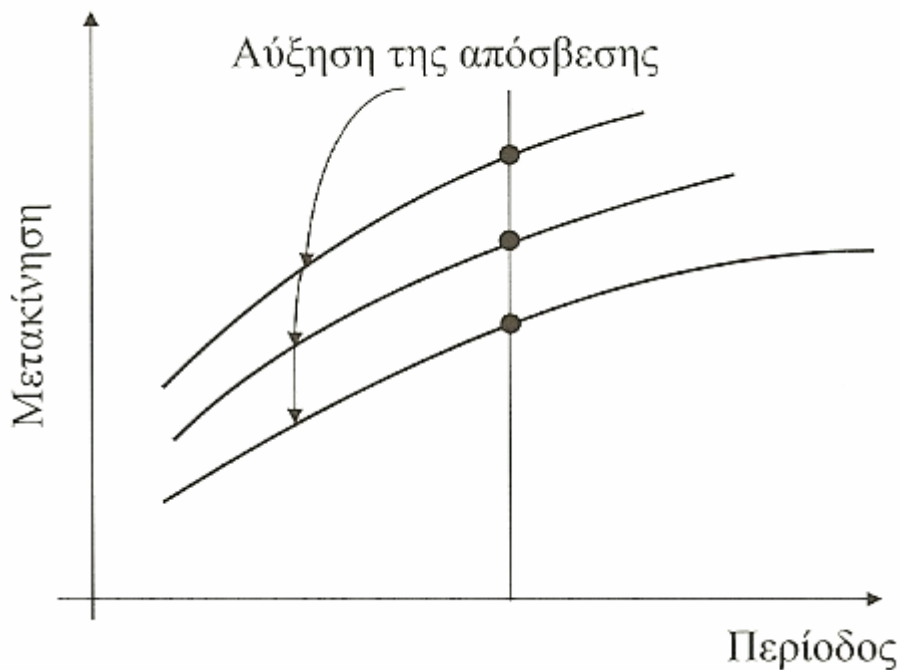
Σχ. 1 Αρχή λειτουργίας σεισμικής μόνωσης  
«Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

### 1.3 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Η σεισμική μόνωση είναι μια διαφορετική προσέγγιση για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, η οποία έχει ως στόχο την μείωση της σεισμικής απαίτησης και όχι την αύξηση της σεισμικής αντοχής μιας κατασκευής. Συγκεκριμένα η σύγχρονη τεχνολογία της σεισμικής μόνωσης επιτυγχάνει πενταπλάσια έως και δεκαπλάσια μείωση του μεγέθους των σεισμικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στην κατασκευή στη περίπτωση ισχυρής σεισμικής δόνησης. Μια τέτοια μείωση αποτρέπει την κατάρρευση της κατασκευής σε ισχυρό σεισμό αλλά επίσης συμβάλλει και στον περιορισμό των βλαβών που μπορούν να προκαλέσουν σεισμοί με μικρότερη ένταση. Η μείωση της σεισμικής απαίτησης επιτυγχάνεται με αύξηση της ιδιοπεριόδου των κατασκευών. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 καθώς η περίοδος αυξάνει η μεταδιδόμενη σεισμική δύναμη μειώνεται με ταυτόχρονη αύξηση της πλευρικής μετακίνησης. Ο περιορισμός αυτών των μεγάλων κινήσεων της κατασκευής επιτυγχάνεται συνήθως με αύξηση της απόσβεσης (σχήμα 3). Με την παρουσία των μονωτήρων το κτίριο κινείται πολύ πιο αργά σε σύγκριση με τα διαδιδόμενα στο έδαφος σεισμικά κύματα και μειώνεται η πιθανότητα συντονισμού που μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες μετακινήσεις στο κτίριο και πιθανή κατάρρευση.



Σχ. 2 Μεταβολή της σεισμικής δύναμης και της μετακίνησης λόγω σεισμικής μόνωσης  
«Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

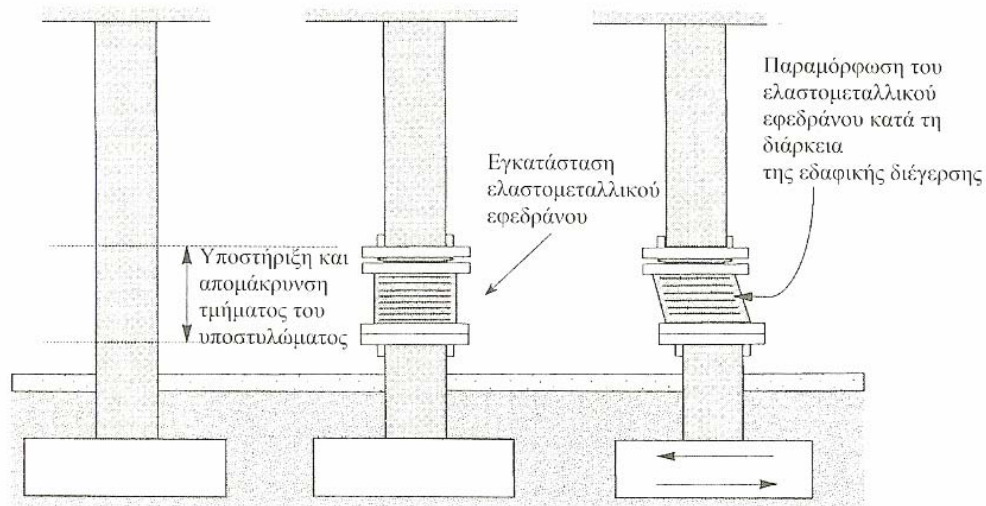


Σχ. 3 Μεταβολή της μετακίνησης λόγω αύξησης της απόσβεσης  
 «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

## 2. ΤΥΠΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

### 2.1 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Η τυπική διαδικασία εγκατάστασης ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια. Καταρχήν τα υποστυλώματα που έχει σχεδιαστεί να δεχτεί το εφέδρανο υποστηρίζεται και ένα τμήμα του υποστυλώματος κοντά στη βάση απομακρύνεται. Στη συνέχεια με τη βοήθεια γρύλων τοποθετείται το εφέδρανο (όπως φαίνεται στο σχήμα 4, «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004). Αν απαιτείται, η θεμελίωση ενισχύεται ή επανακατασκευάζεται πριν από την τοποθέτηση των εφεδράνων. Συνήθης πρακτική είναι η κατασκευή δύσκαμπτης θεμελίωσης όπου τοποθετούνται τα εφέδρανα {1}.



Σχ.4 Διαδικασία εγκατάστασης και συμπεριφορά ελαστομεταλλικού εφεδράνου

## 2.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΛΗΡΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Ένα σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια. Καταρχήν θα πρέπει ένα τέτοιο σύστημα να παρέχει πλευρική ευκαμψία στην κατασκευή για ισχυρή σεισμική δόνηση αλλά και να παραμένει πρακτικά άκαμπτο για συνήθη πλευρικά φορτία όπως ανεμοπιέσεις και σειμούς μικρής έντασης. Επίσης τα κτίρια πρέπει να παραμένουν αμετακίνητα για τα συνήθη κατακόρυφα φορτία. Η κατασκευή πρέπει να είναι σχετικά δύσκαμπτη για να εμποδίσει τη διασπορά ενέργειας στην ανωδομή και να την περιορίσει στο σύστημα σεισμικής μόνωσης που βρίσκεται στη βάση {1}.

Γενικά για την επιλογή ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι επιθυμητό να πληρούνται και οι παρακάτω προϋποθέσεις χωρίς να είναι περιοριστικές. Το έδαφος θεμελίωσης της κατασκευής να μην ευνοεί εδαφικές δονήσεις πλούσιες σε μεγάλες περιόδους, γεγονός που χαρακτηρίζει τα «μαλακά» εδάφη. Η κατασκευή η οποία μονώνεται σεισμικά να είναι σχετικά δύσκαμπτη, δηλαδή να έχει ιδιοπερίοδο μικρότερη από 1,5 έως 2sec, γεγονός που χαρακτηρίζει τις δύσκαμπτες κατασκευές αλλά και ένα ευρύ φάσμα σχετικά εύκαμπτων κατασκευών. Τέλος το μέγεθος των ανεμοφορτίων σχεδιασμού καθώς και των υπόλοιπων μη σεισμικών πλευρικών φορτίων να μην ξεπερνά το 10 % του βάρους του κτιρίου.

## 2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΠΟΥ ΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Η σεισμική μόνωση χρησιμοποιείται λόγω και του υψηλού κόστους, σε κτίρια μεγάλης σπουδαιότητας στα οποία η λειτουργικότητα παίζει πρωταρχικό ρόλο, όπως είναι νοσοκομεία, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κτίρια πολιτικής προστασίας. Επίσης χρησιμοποιείται σε ιστορικά μνημεία όπου κάποια άλλη επέμβαση θα αλλοίωνε τον χαρακτήρα και την αισθητική τους. Μια ακόμα κατηγορία κτιρίων που η σεισμική μόνωση κρίνεται κατάλληλη είναι τα κτίρια που περιέχουν αντικείμενα μεγάλης αξίας, όπως είναι μουσεία, βιομηχανικές μονάδες κ.α.

### 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

#### 3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

Τα πιο συνηθισμένα συστήματα μείωσης δυσκαμψίας είναι τα ελαστομεταλλικά εφεδρανα με το ελαστομερές να είναι είτε φυσικής είτε τεχνητής προέλευσης (νεοπρένιο) και τα εφεδρανα ολίσθησης με χρήση τεφλόν και ανοξειδωτού χάλυβα στην επιφάνεια ολίσθησης.

##### 3.1.1 ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ

Πρόκειται για τον απλούστερο και πιο εύχρηστο τύπο εφεδρανών τα οποία είναι είτε φυσικά είτε συνθετικά ελαστομεταλλικά έφεδρανα χαμηλής απόσβεσης(ELB). Το σχήμα τους είναι κυλινδρικό ή παραλληλεπίπεδο και αποτελούνται από ελαστομερές σε συνδυασμό με μεταλλικά φύλλα τα οποία είναι υπεύθυνα για την αυξημένη κατακόρυφη δυσκαμψία των εφεδρανών και την μείωση του κινδύνου ανατροπής λόγω οριζόντιων φορτίων. Στο πάνω και κάτω άκρο του εφεδράνου βρίσκονται το μεταλλικό κολάρο και η πλάκα του εφεδράνου όπως φαίνεται στη εικόνα 1.

Το ελαστομερές υλικό είναι συνήθως πολυμερές νεοπρένιο και είναι υπεύθυνο για την γραμμική συμπεριφορά του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Το υλικό αυτό είναι ανθεκτικό στο φως, στον αέρα, στις λιπαρές ουσίες και τα οξέα και έχει μεγαλύτερη αντοχή σε διάβρωση και γήρανση από το σκυρόδεμα και τον χάλυβα.

Η οριζόντια διατμητική ακαμψία ελαστομεταλλικών εφεδρανών από τις διαστάσεις και το μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς. Το ισοδύναμο ποσοστό ιξώδους απόσβεσης τους είναι της τάξης του 5% ή και μικρότερο.



Εικ. 1 Ελαστομεταλλικό εφεδρανο - ELB

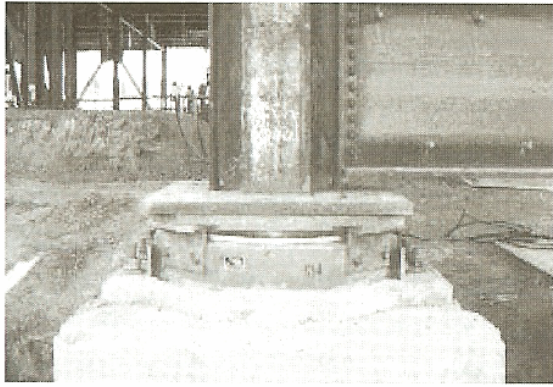
«Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

### 3.1.2 ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

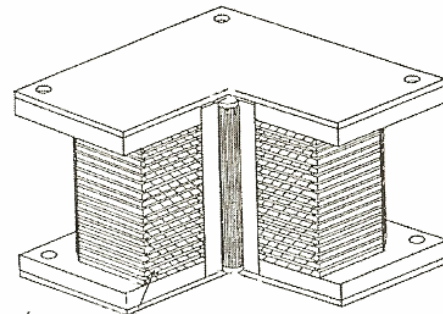
Η πρώτη κατηγορία των συστημάτων που βασίζονται στην ολίσθηση είναι τα συστήματα τριβής (FPS) σχ. 5. Αρχισαν να μελετούνται στη δεκαετία του '90 και η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή του εκκρεμούς. Αποτελούνται από ένα αρθρωτό ολισθήρα ο οποίος ολισθαίνει πάνω σε σφαιρική επιφάνεια τριβής από ανοξείδωτο χάλυβα ακτίνας καμπυλότητας R.H επιφάνεια του ολισθήρα η οποία έρχεται σε επαφή με τη σφαιρική επιφάνεια είναι επικαλυμμένη με συνθετικό υλικό. Κατά την ολίσθηση στην σφαιρική επιφάνεια η μάζα της ανωδομής ανυψώνεται και έτσι εμφανίζεται μία δύναμη επαναφοράς με αποτέλεσμα η κατασκευή να έχει την δυνατότητα να αυτοεπαναφέρεται στην αρχική της θέση μετά το πέρας του σεισμού. Αυτή η δύναμη επαναφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας καμπυλότητας της σφαιρικής επιφάνειας και ανάλογη της μετατόπισης του μονωτήρα. Η περίοδος ταλάντωσης της ανωδομής είναι ανεξάρτητη από τη μάζα αυτής και εξαρτάται μόνο από την ακτίνα καμπυλότητας της κοίλης επιφάνειας του μονωτήρα. Η οριζόντια δυσκαμψία των συστημάτων σφαιρικής ολίσθησης είναι ανάλογη του βάρους της κατασκευής. Ο βαθμός απόσβεσης του μονωτήρα καθώς επίσης και η ενεργός ακαμψία εξαρτώνται από την ακτίνα καμπυλότητας.

Ένα ακόμα σύστημα είναι το σύστημα που βασίζεται σε επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης. Χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τα συστήματα που λιπαίνονται και έχουν κατά κανόνα συντελεστή τριβής μικρότερο του 0,02 και τα συστήματα που δεν λιπαίνονται και έχουν συντελεστή τριβής της τάξης του 0,03. Ο συντελεστής τριβής όμως εξαρτάται από την ταχύτητα ολίσθησης και την ασκούμενη κατακόρυφη πίεση στην επιφάνεια ολίσθησης. Πρακτικά έχουν μετρηθεί συντελεστές τριβής 0,10 έως 0,15 κατά την εκδήλωση σεισμού. Η συμπεριφορά του συστήματος είναι γραμμική όταν το ποσοστό της οριζόντιας δύναμης προς την κατακόρυφη είναι μικρότερο του συντελεστή τριβής, όταν ξεπεραστεί ο συντελεστής αυτός τότε δημιουργείται ολίσθηση και η τιμή της διατμητικά μεταφερόμενης δύναμης δεν αυξάνει άλλο. Έτσι μειώνονται σημαντικά οι σεισμικές δυνάμεις οι οποίες συνοδεύονται από μεγάλες μόνιμες μετακινήσεις. Όταν χρησιμοποιούνται τέτοια συστήματα σεισμικής μόνωσης προκειμένου η κατασκευή να επανέρχεται στην αρχική της θέση συνοδεύονται από ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

Η τρίτη και τελευταία κατηγορία συστημάτων που βασίζεται στην ολίσθηση είναι τα συστήματα με εφέδρανα με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης για μείωση του συντελεστή τριβής όπως φαίνεται στο σχ. 6. Τα εφέδρανα αυτά έχουν κυλινδρικό ή παραλληλεπίπεδο σχήμα και η λειτουργία τους βασίζεται στη μείωση των σεισμικών δυνάμεων μέσω της τριβής που αναπτύσσεται στις επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης μεταξύ των μεταλλικών φύλλων που αποτελούν το εφέδρανο.



Σχ. 5 Εφέδρανο ολίσθησης (FPS)



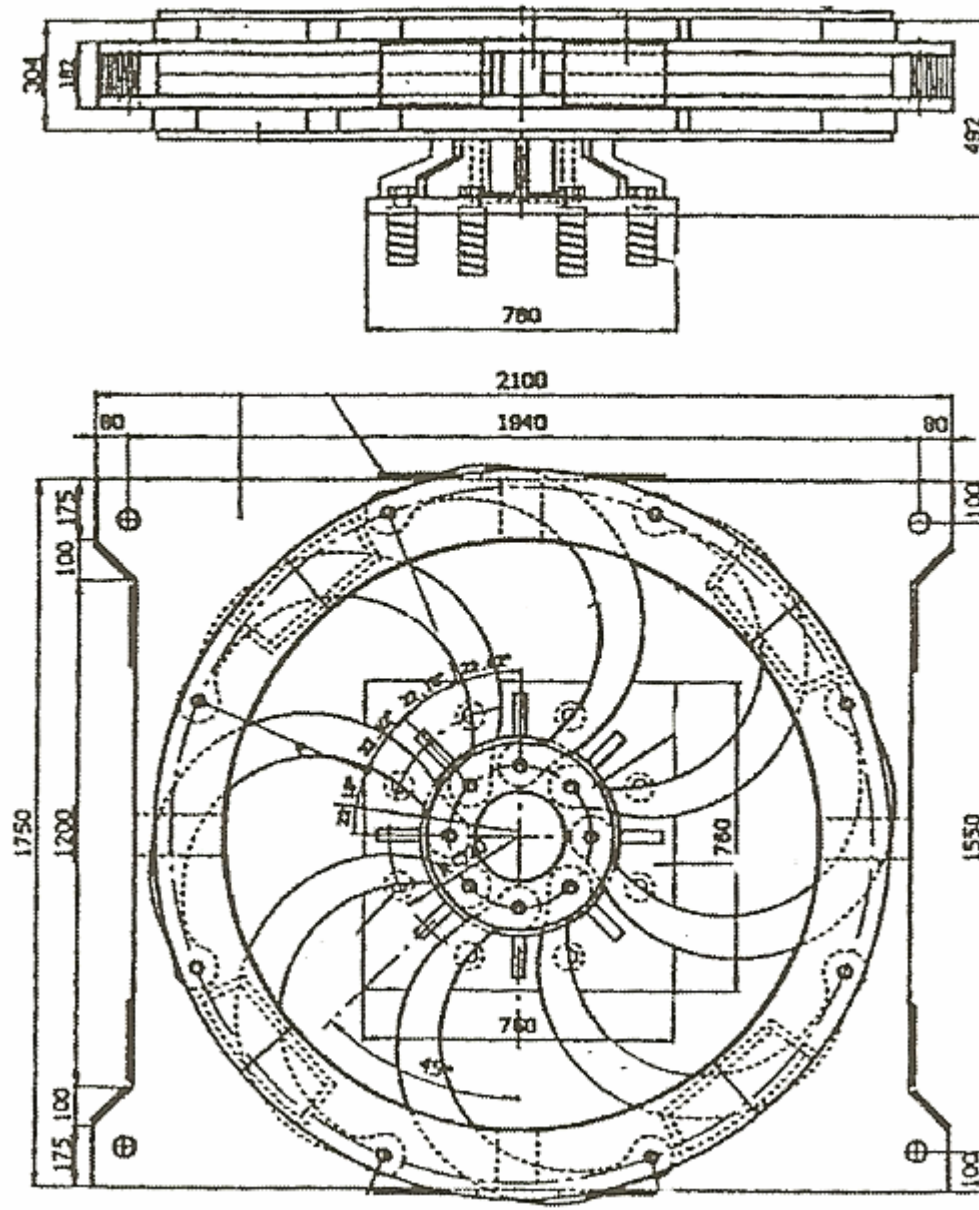
Επιφάνειες  
ολίσθησης

Σχ.6 Εφέδρανο ολίσθησης με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης  
«Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία»,  
Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

### 3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Τα κυριότερα είδη αποσβεστήρων είναι οι χαλύβδινοι αποσβεστήρες ,οι αποσβεστήρες τριβής, ιξοελαστικοί αποσβεστήρες και οι αποσβεστήρες ιξώδους υγρού. Οι πρώτες δυο κατηγορίες αποσβεστήρων συμβάλλουν στην αύξηση της παραμένουσας παραμόρφωσης ,η τρίτη στον περιορισμό της ενώ η τελευταία δεν έχει καμία επίδραση σ' αυτή.

Έχουν αναπτυχθεί χαλύβδινοι αποσβεστήρες με μεγαλύτερη αντοχή σε κόπωση από τα συνήθη μεταλλικά μέλη των κατασκευών. Ανάλογα με το σχήμα τους ονομάζονται τύπου "E", "T" και "U". Παρέχουν αυξημένη δυσκαμψία στην κατασκευή για ανεμοφορτία ,ενώ για μεγάλα σεισμικά φορτία υφίστανται μικρές παραμορφώσεις και με τον τρόπο αυτό περιορίζουν της αναπτυσσόμενες σεισμικές δυνάμεις στην κατασκευή. Ένας τύπος χαλύβδινου αποσβεστήρα που εξασφαλίζει σταθερή συμπεριφορά για όλες τις διευθύνσεις και για μεγάλου εύρους κύκλους φόρτισης φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχ. 7 Χαλύβδινος αποσβεστήρας

«Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

Εκμεταλλεύομενη το φαινόμενο της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ δυο στερεών σωμάτων όταν το ένα ολισθαίνει ως προς το άλλο υπάρχει η δυνατότητα απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας. Μερικοί από τους τύπους συσκευών απόσβεσης τριβής είναι συστήματα μερικώς ολισθαίνοντα αρμού (limited slip bolt point –LSB), συστήματα με πλάκες τριβής που ολισθαίνουν κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας μιας κυλινδρικής μεταλλικής θήκης, συστήματα στα οποία η απόσβεση συντελείται στην κοινή επιφάνεια μεταξύ των μπρούτζινων σφηνών τριβής και του μεταλλικού τοιχώματος του κυλίνδρου στο οποίο περιέχονται. Οι ιξοελαστικοί αποσβεστήρες χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά το 1969 στις ΗΠΑ για την παραλαβή ανεμοπιέσεων ενώ μόλις το 1993 εφαρμόστηκαν για τη σεισμική ενίσχυση υφιστάμενου κτιρίου. Τα ιξοελαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως συμπολυμερή ή υαλώδη υποκατάστατα τα οποία έχουν την ιδιότητα να αποσβένουν ενέργεια όταν υπόκεινται σε διατμητική παραμόρφωση. Το ποσό της ενέργειας που απορροφάται εξαρτάται από την συχνότητα της διέγερσης, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του ίδιου του υλικού και την διατμητική του τάση. Οι παρακάτω συσκευές



εκμεταλλεύονται ιδιότητες υγρών με σκοπό την απορρόφηση σεισμικής ενέργειας. Υπάρχουν τέσσερις τύποι τέτοιων συσκευών απόσβεσης. Οι αποσβεστήρες κυλινδρικού δοχείου όπου η απορρόφηση ενέργειας συντελείται μέσω μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε θερμότητα καθώς ένα έμβολο παραμορφώνει μια παχύρρευστη υψηλού ιξώδους ουσία π.χ. παχύρρευστη σιλικόνη. Τα τοιχώματα ιξώδους απόσβεσης όπου το ρόλο του εμβόλου που κινείται εντός ιξώδους υγρού έχει μια μεταλλική πλάκα η οποία είναι περιορισμένη έτσι ώστε να κινείται μόνο στο επίπεδό της.

Οι αποσβεστήρες Taylor που αποτελούνται από μια κυλινδρική συσκευή η οποία περιέχει συμπιεστό "λάδι" σιλικόνης που ωθείται να ρεύσει μέσω της δράσης ενός εμβόλου – διωστήρα από ανοξείδωτο ατσάλι με μπρούντζινη κεφαλή (εικ. 2).

Οι αποσβεστήρες Jarret οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα πεπιεσμένο, συμπιεστό ελαστομερές με βάση τη σιλικόνη για να παρέχουν πρόσθετη δυσκαμψία κ' απόσβεση σε μια κατασκευή.

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



Εικ. 2 Αποσβεστήρας Taylor

### 3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Τα παρακάτω τρία συστήματα εφεδράνων χρησιμοποιούνται για τη ταυτόχρονη μείωση της δυσκαμψίας και αύξηση της απόσβεσης .

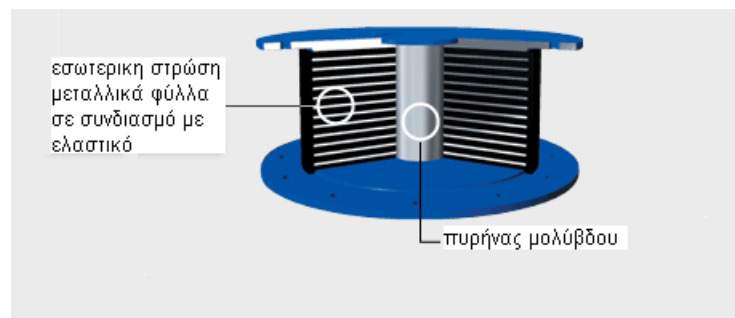
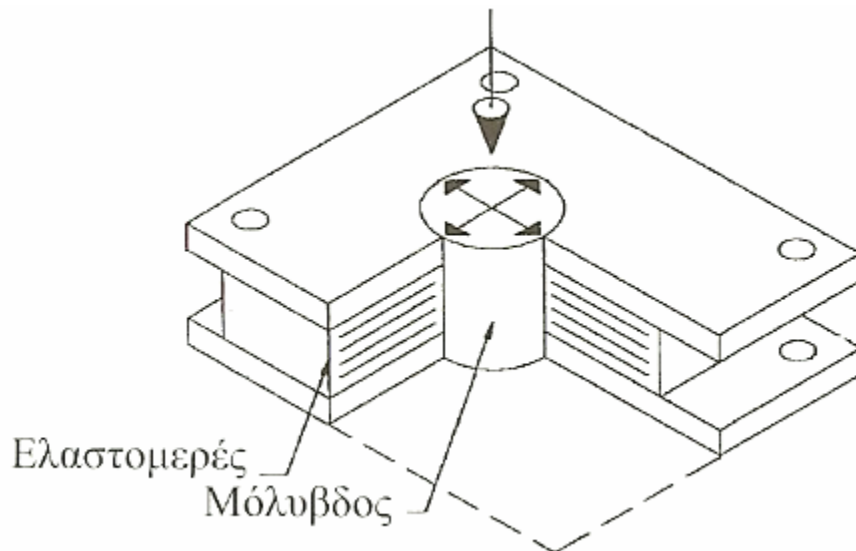
Το πρώτο σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα (LRB) τα οποία αποτελούν τροποποίηση των εφεδράνων ELB στα οποία έχει προστεθεί κεντρικά στοιχείο από μόλυβδο. Εφευρέθηκαν στην Νέα Ζηλανδία την δεκαετία του 1970 σχ.8.

Τα εφέδρανα αυτού του είδους παράγονται με βουλκανισμό επάλληλων στρώσεων ελαστικού και μεταλλικών πλακών μέσα σε μεταλλική μήτρα συγκεκριμένων διαστάσεων. Όσο μειώνεται το πάχος των στρώσεων τόσο αυξάνει η κατακόρυφη δυσκαμψία και η επάρκεια ανάληψης των κατακόρυφων φορτίων. (Σχ. 9) . Το εφέδρανο περιβάλλεται από επικάλυψη ελαστικού προκειμένου να προστατευθεί από περιβαλλοντικές αρνητικές επιδράσεις.

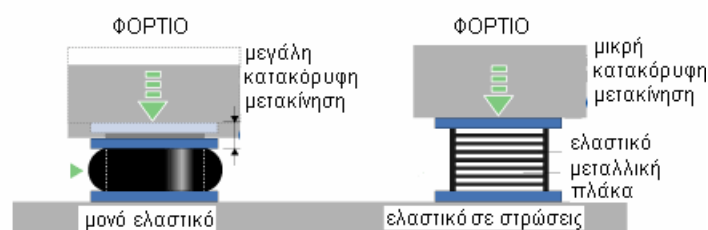
Ο κύριος λόγος επιλογής του μολύβδου είναι η σχετικά μικρή τάση διαρροής του που επιτρέπει ελαστοπλαστική συμπεριφορά καθώς και η μικρή απαιτούμενη θερμοκρασία ( $20^{\circ}\text{C}$ ) για ανάπτυξη πλαστιμότητας σε σχέση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Κατά την διάρκεια ενός σεισμού ο πυρήνας μολύβδου υποβάλλεται σε διατμητική παραμόρφωση από τις μεταλλικές πλάκες και διαρρέει ακόμη και όταν η τάση είναι μικρή. Έτσι μετά την διαρροή του παρουσιάζει πλαστική συμπεριφορά. Με την εισαγωγή του πυρήνα μολύβδου το

εφέδρανο χάνει την ικανότητα της αυτόματης επαναφοράς στην αρχική του θέση ,γεγονός όμως που δεν αποτελεί μειονέκτημα αφού οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι μικρές και επιπλέον σε επάλληλα σεισμικά φαινόμενα οι συνολικές μετακινήσεις δεν αθροίζονται.

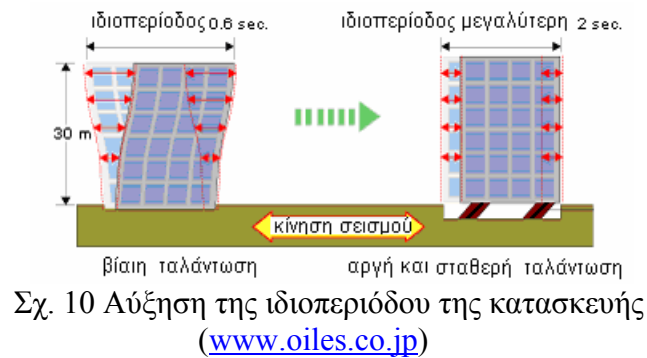
Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου έχουν ελαστοπλαστική , διγραμμική συμπεριφορά με υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας σε κάθε κύκλο επαναλαμβανόμενης φόρτισης σχ. 10.



Σχ. 8 Τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου (LRB)  
([www.oiles.co.jp](http://www.oiles.co.jp))

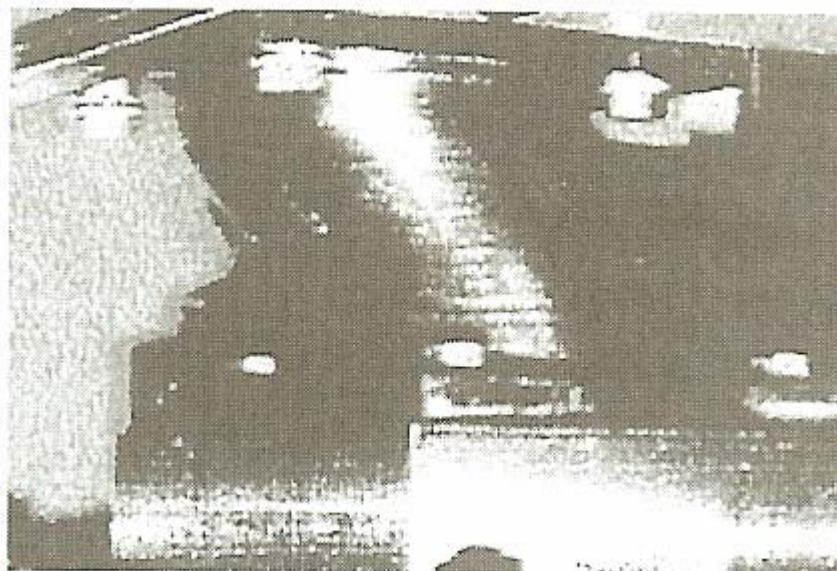


Σχ.9 Όσο μειώνεται το πάχος των στρώσεων τόσο αυξάνει η κατακόρυφη δυσκαμψία  
([www.oiles.co.jp](http://www.oiles.co.jp))



Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDNB) και η διαφορά τους από τα ELB οφείλεται στο ότι το υλικό που χρησιμοποιείται χαρακτηρίζεται από σημαντικά υψηλότερη τιμή του ποσοστού ιξώδους απόσβεσης εικ. 3. Τα εφέδρανα αυτά είναι σχεδιασμένα να υποστηρίζουν μεγάλα βάρη και παράλληλα να παρέχουν μικρή δυσκαμψία σε οριζόντιες μετακινήσεις και χαρακτηρίζονται από την ικανότητα μεγάλης απορρόφησης ενέργειας καθώς η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση κυμαίνεται από 5% έως και 16% της κρίσιμης απόσβεσης για το 100% της διαμητρικής παραμόρφωσης και επιπλέον έχουν την ικανότητα αυτόματης επαναφοράς της κατασκευής στην αρχική της θέση. Τα εφέδρανα αυτής της κατηγορίας έχουν χαμηλή ικανότητα ανάληψης εφελκυστικών τάσεων σε αντίθεση με την ικανότητα ανάληψης θλιπτικών τάσεων, γι' αυτό θα πρέπει σε περίπτωση εμφάνισης εφελκυστικών τάσεων να λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα κ' σχεδιασμός

Τέλος υπάρχουν και τα ελαστομεταλλικά έφεδρανα με πυρήνα από κοκκώδη υλικά (GRB), τα οποία αποτελούν παραλλαγή των LRB στα οποία ο πυρήνας μολύβδου έχει αντικατασταθεί από κοκκώδες υλικό, όπως είναι η άμμος, ο τριμμένος ύαλος κτλ.



Εικ.3 Ελαστομεταλλικό εφέδρανο υψηλής απόσβεσης (HDNR)  
«Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κόστος για την τοποθέτηση μονωτήρων εφόσον έχουν προβλεφθεί στην μελέτη, δεν είναι υψηλό. Αλλά ακόμα και για τοποθέτηση σεισμικών μονωτήρων σε υφιστάμενα

κτίρια το κόστος δεν είναι μεγάλο, αν συνυπολογιστεί το κόστος λόγω πιθανούς διακοπής χρήσης του κτιρίου για την αποκατάσταση των ζημιών σε περίπτωση σεισμού μεγάλης κλίμακας. Μονώνοντας ένα κτίριο εξασφαλίζεται καλύτερη σεισμική επίδοση αυτού, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η λειτουργικότητά του και να αποφεύγεται η εκκένωσή του. Επιπλέον λόγω της απορρόφησης της σεισμικής δύναμης αποφεύγεται εμφάνιση μικρών ή μεγάλων βλαβών σε αντίθεση με τις συμβατικές κατασκευές όπου εμφανίζονται εκτεταμένες βλάβες κυρίως στο ισόγειο. Τέλος λόγω της μείωσης της σεισμικής φόρτισης της ανωδομής ,μειώνονται και οι ροπές ανατροπής. Έτσι αποφεύγονται οι καθιζήσεις λόγω της μείωσης της καταπόνησης του εδάφους θεμελίωσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004
2. «Σεισμική προστασία κτιρίων με τεχνικές σεισμομόνωσης» ,Δελτίο ΣΠΙΜΕ Νο 315 Μάρτιος 2004 , του Δ.Α.Γεωργούλια
3. «Base isolation of structures, design guidelines», Trevor E. Kelly S.E. , Holmes Consulting Group Ltd, 2001
4. Proceedings, tenth world conference on earthquake engineering Madrid, Spain, July 1992  
Experimental studies of the mechanical characteristics of three types of seismic isolation bearings  
Ian D. Aiken, James M. Kelly and Peter W. Clark, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, USA  
Kazuo Tamura, Masaru Kikutci and Tetsuji Itoh , Ohsaki Research Institute, Shimizu Corporation, Tokyo, Japan
5. Σεισμομονώσεις Α.Ε , Συστήματα σεισμικής μόνωσης και απόσβεσης ενέργειας , [www.seismomonosis.com](http://www.seismomonosis.com)
6. [www.domiki.gr](http://www.domiki.gr)
7. [www.dis-inc.com](http://www.dis-inc.com)
8. [www.new-technologies.org](http://www.new-technologies.org)
9. [www.oiles.co.jp](http://www.oiles.co.jp)

10. [www.hibs.skku.ac.kr](http://www.hibs.skku.ac.kr)