

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

### 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις μεθόδους συνολικής ενίσχυσης μιας κατασκευής είναι η σεισμική μόνωση. Η βασική ιδέα αυτής της μεθόδου είναι η ενσωμάτωση στην κατασκευή ειδικών διατάξεων απορρόφησης ενέργειας, με τελικό στόχο την απομόνωση της κατασκευής από από τις εδαφικές κινήσεις κατά τη διάρκεια των σεισμικών φαινομένων. Έτσι, προσδίδεται αυξημένη προστασία από σεισμική καταπόνηση στην ανωδομή της κατασκευής, και βελτιώνεται η δυνατότητα απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας. {1, 2, 3, 5}

Οι συσκευές απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι τα εφέδρανα. Τα εφέδρανα τοποθετούνται ανάμεσα στην ανωδομή και τα θεμέλια του κτιρίου. {1, 2, 3, 5}

Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ισχυρή μεταβολή του στατικού συστήματος μιας κατασκευής.

Μεταβάλλοντας το στατικό σύστημα μιας κατασκευής, μειώνονται οι απαιτήσεις για ενίσχυση των υπαρχόντων στοιχείων, και προστατεύεται με αυτόν τον τρόπο η ακεραιότητα του συνόλου της κατασκευής. {1, 2, 3, 5}

Στην πράξη η μέθοδος εφαρμόζεται σπάνια και μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως στην περίπτωση σημαντικών (ιστορικά ή αρχιτεκτονικά) κτιρίων. Για παράδειγμα, η μέθοδος σεισμικής μόνωσης έχει εφαρμοστεί για την ενίσχυση κτιρίων όπως η Βουλή της Νέας Ζηλανδίας, το Δημαρχείο του Los Angeles (California), το Δημαρχείο στο Salt Lake City (Utah) κ.α. {1, 2, 3, 5}

### 2.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Μια σεισμικά μονωμένη κατασκευή παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Αυξημένη ασφάλεια σε κατάρρευση.
- Εξασφάλιση ελαστικής συμπεριφοράς στο κτίριο ακόμα και σε περιπτώσεις ισχυρών σεισμών.
- Περιορισμός των ζημιών στα μη-φέροντα δομικά στοιχεία.
- Περιορισμός των ζημιών στα περιεχόμενα του κτιρίου (π.χ. οικοσυσκευές).
- Επιτρέπει τη συνεχή λειτουργία του κτιρίου κατά τη διάρκεια των εργασιών επισκευής.
- Μειώνει δραστικά τη διέγερση της ανωδομής.
- Αποτρέπει τη γέννηση βλαβών στον φέροντα οργανισμό του έργου.

{1, 2, 5}

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος, το οποίο επιτρέπει τη χρήση της μόνο σε κτίρια υψηλής σπουδαιότητας. Δηλαδή κτίρια που πρέπει οπωσδήποτε να συνεχίσουν να λειτουργούν μετά από καταστρεπτικούς σεισμούς (π.χ. νοσοκομεία, κτίρια τηλεπικοινωνιών κ.λ.π.), κτίρια με περιεχόμενο υψηλής αξίας (π.χ. μουσεία, βιβλιοθήκες κ.λ.π.), καθώς και σε κτίρια ιστορικής ή αρχιτεκτονικής αξίας. {1, 3}

### 3.ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η ιδέα της σεισμικής μόνωσης είναι να προστεθεί οριζόντια ευκαμψία στη βάση της κατασκευής, ενώ ταυτόχρονα να διατηρηθεί η ακαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση προκειμένου να μεταφερθούν τα φορτία βαρύτητας από την κατασκευή. Η ευκαμψία στην οριζόντια διεύθυνση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση εφεδράνων.

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, το μεγαλύτερο μέρος των παραμορφώσεων θα πάρουν τα εύκαμπτα στοιχεία (εφέδρανα) και όχι ολόκληρη η κατασκευή. Αυτό φαίνεται στην εικόνα1, όπου γίνεται σύγκριση στην παραμορφωμένη κατάσταση μεταξύ ενός συμβατικού κτιρίου, και του ίδιου κτιρίου αλλά ενισχυμένο με σεισμική μόνωση.

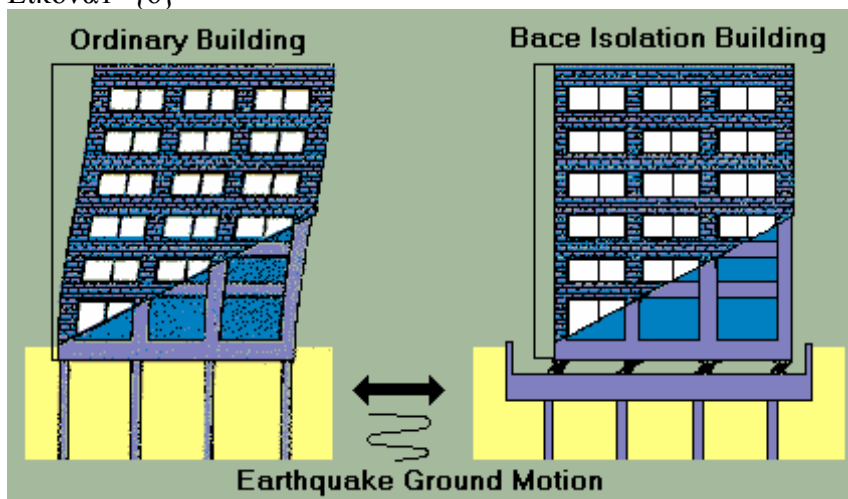
Τα εφέδρανα έχουν σχεδιαστεί να αντέχουν μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς βλάβες. Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος μόνωσης είναι η ευκαμψία στην οριζόντια διεύθυνση προκειμένου να επαναφέρει μία παραμορφωμένη κατασκευή στην αρχική της θέση, μεγάλη δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση, και ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Αυτά τα χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται στα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης. Οι ιδιότητες και ορισμένοι τύποι εφεδράνων περιγράφονται παρακάτω.

Ένας τρόπος με τον οποίο η μόνωση βελτιώνει την απόκριση των κτιρίων είναι μεγαλώνοντας την ιδιοπερίοδο μίας κατασκευής ή μικραίνοντας την φυσική της συχνότητα. Προσθέτοντας τα εύκαμπτα εφέδρανα, η ιδιοπερίοδος του κτιρίου μπορεί να παραταθεί μέχρι και 0,5sec , κάτι που οδηγεί το κτίριο μακριά από τη ζώνη κινδύνου. Για παράδειγμα, κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τα αμορτισέρ στο αυτοκίνητο και γίνεται πιο άνετη η οδήγηση.

Τελικά, αν και στο επίπεδο μόνωσης οι μετακινήσεις θα είναι μεγάλες, οι μετακινήσεις και οι επιταχύνσεις θα είναι μειωμένες στην ανωδομή. Συγκεκριμένα, σεισμικά μονωμένες κατασκευές κατά τη διάρκεια ενός σεισμικού φαινομένου υποβάλλονται σε επιταχύνσεις ίσες με το 1/5 έως το 1/3 των επιταχύνσεων στις οποίες υποβάλλονται οι συμβατικές κατασκευές.

{3, 5}

Εικόνα1 {6}



#### 4.ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η τεχνική περιλαμβάνει το κόψιμο όλων των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων (υποστυλώματα) του κατασκευαστικού συστήματος, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κενό περίπου 18 ιντσών ανάμεσα στο κάτω μέρος του υποστυλώματος και του συστήματος θεμελίωσης. Έπειτα τοποθετούνται σε αυτό το κενό τα εφέδρανα.

Προκειμένου να εγκατασταθούν τα εφέδρανα, τα υποστυλώματα χρειάζεται να υποστηριχθούν από γρύλλους. Οι γρύλλοι θα αναλάβουν το φορτίο κάθε υποστυλώματος ενώ τοποθετούνται τα εφέδρανα.

Η τοποθέτηση των γρύλλων απαιτεί πρώτα την σύνδεση μιας μεταλλικής βάσης στο θεμέλιο, και την τοποθέτηση άλλης μίας μεταλλικής βάσης στο κάτω μέρος του υποστυλώματος.

Έπειτα, το εφέδρανο τοποθετείται στο κενό ανάμεσα στις δυο μεταλλικές βάσεις και

συνδέεται με αυτές. Όταν η σύνδεση ολοκληρωθεί, οι γρύλλοι αφαιρούνται. Τα εφέδρανα δεν είναι λειτουργικά αν δεν συμπληρωθεί η επισκευή στο κτίριο.

Το περιμετρικό σύστημα των τοίχων που είναι συνδεδεμένο με την κατασκευή πρέπει επίσης να αποκοπεί από την θεμελίωση (αυτό μπορεί να χρειαστεί μεγάλες κατασκευαστικές τροποποιήσεις στις υφιστάμενες κατασκευές με περιμετρικούς φέροντες τοίχους). Η μονωμένη κατασκευή και η ανωδομή πρέπει έπειτα να ξαναδουλεутούν προκειμένου να παραμείνουν γραμμικά ελαστικές σε οριακές καταστάσεις σεισμικής φόρτισης. Αυτό γίνεται είτε προσθέτοντας μεγάλο αριθμό συνδετήριων πλαισίων, είτε προσθέτοντας ένα μεγάλο αριθμό τοιγίων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

{4, 5}

## 5.ΣΕΙΣΜΙΚΟΙ ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ

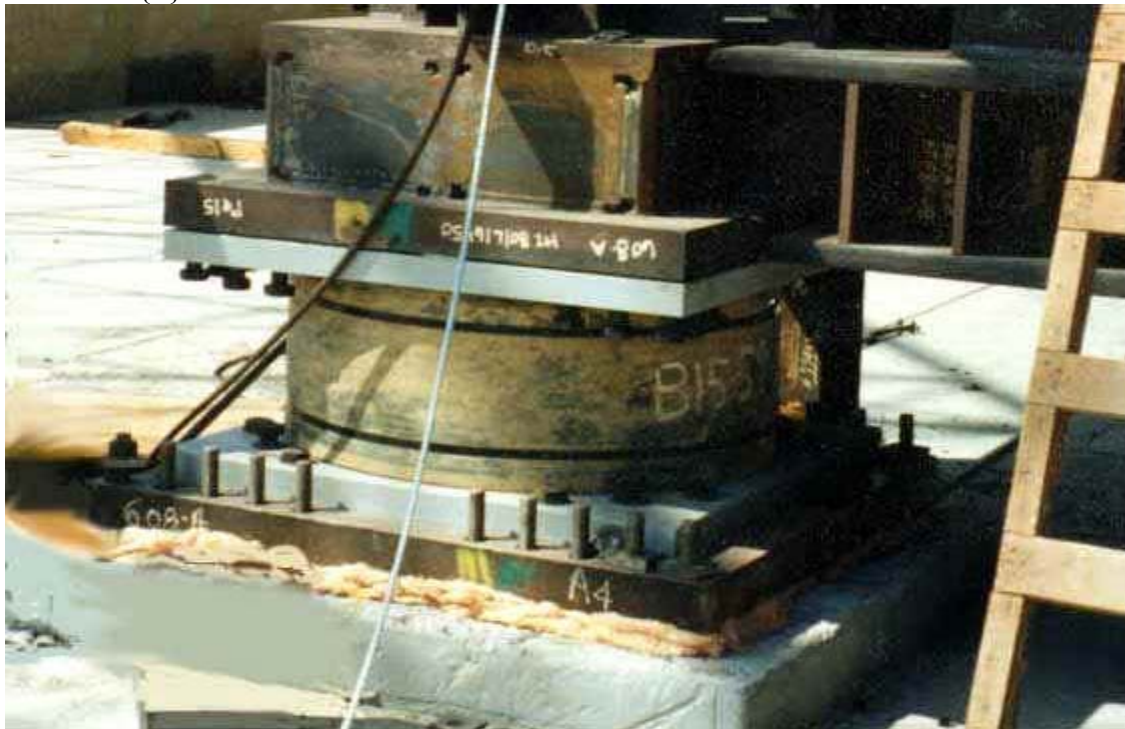
Είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για να απελευθερώσουν την ενέργεια λόγω σεισμού πριν αυτή μεταφερθεί στο κτίριο. Μονώνουν την βάση του κτιρίου από το έδαφος ώστε οι επιπτώσεις λόγω κίνησης του εδάφους να μειώνονται σε ένα αποδεκτό επίπεδο.

Χαρακτηριστικά σεισμικών μονωτήρων:

- Μικρή συχνότητα και μεγάλη απόσβεση του πλάτους ταλάντωσης.
- Μηχανισμό που μειώνει την ενέργεια (δηλαδή τα φορτία) που μεταφέρονται από το έδαφος στην κατασκευή και επαναφέρει τους μονωτήρες στην αρχική τους θέση μετά το σεισμό.
- Μεγάλη ευκαμψία για πλευρική κίνηση και μεγάλη ακαμψία για να αντέξουν τα φορτία βαρύτητας.
- Στερεοί σύνδεσμοι ανάμεσα στη κατασκευή και την θεμελίωση.

Η εικόνα 2 δείχνει την εγκατάσταση ενός σεισμικού μονωτήρα κάτω από ένα υποστύλωμα.

Εικόνα 2 {6}



Οι τρεις τύποι εφεδράνων που εφαρμόζονται συνήθως στην πράξη για μόνωση σε κτίρια είναι:

- Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μόλυβδου,

- Εφένδρανα υψηλής απόσβεσης, και
- Σφαιρικά εφένδρανα ολίσθησης.

Και οι τρεις τύποι έχουν την ίδια βασική ιδιότητα: επιτρέπουν στο κτίριο να κινείται ανεξάρτητα από την εδαφική κίνηση.

{6}

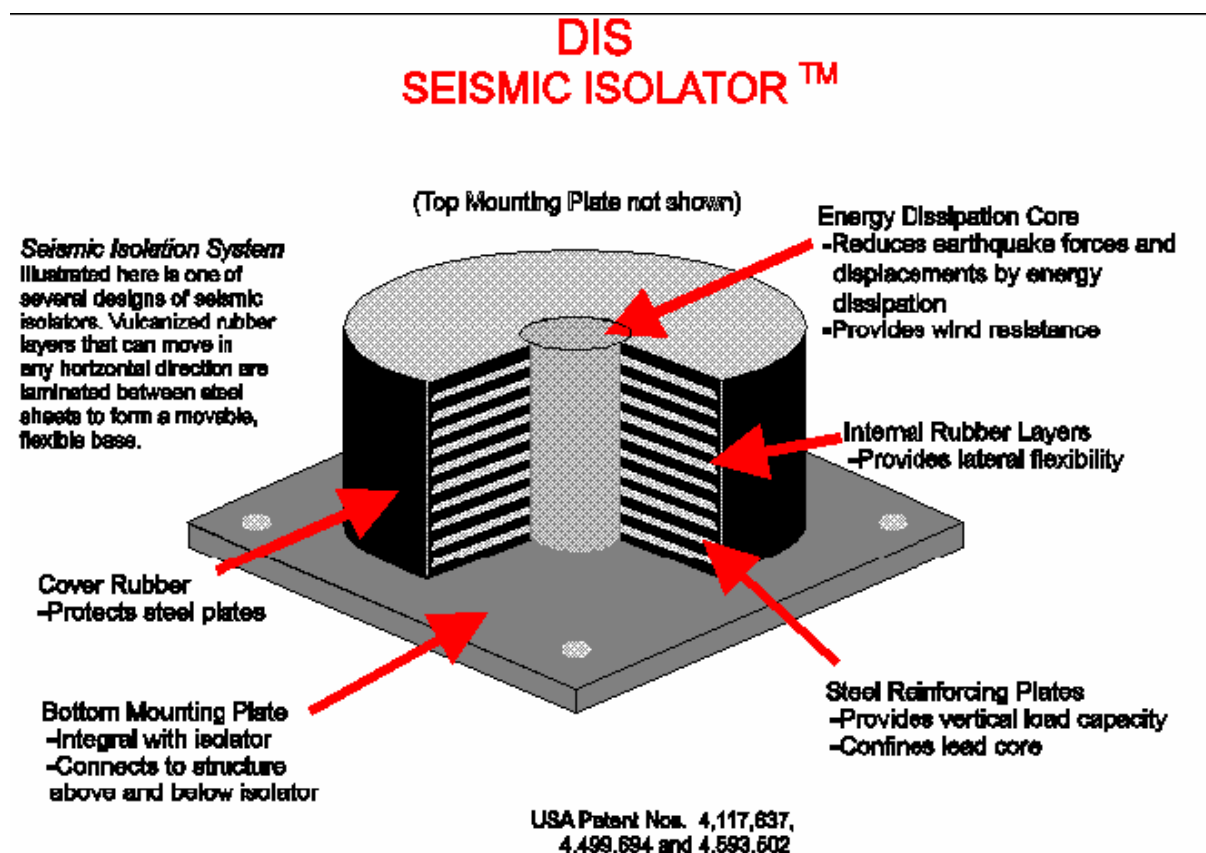
### 5.1. ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ

Τα ελαστομεταλλικά εφένδρανα με πυρήνα μόλυβδου αποτελούνται από εναλλαγές στρώσεων ελαστικού και χάλυβα, που περιβάλλουν έναν κύλινδρο από μόλυβδο, συμπαγή και τοποθετημένο στο κέντρο των στρώσεων (εικόνα 3). Τα χάλυβδινα και ελαστικά στρώματα καλουπώνονται κάτω από συνθήκες θέρμανσης και πίεσης σε μία ενότητα, με το μέταλλο να συνδέεται μόνιμα με το ελαστικό. Η αρχή αυτού του είδους των εφενδράνων είναι:

- Τα ελαστικά στρώματα μετακινούνται πλευρικά, και απορροφώντας την ενέργεια λόγω σεισμού, μειώνουν τα φορτία λόγω σεισμού που μεταφέρονται από το έδαφος στο κτίριο, και μετά το σεισμό επαναφέρουν το κτίριο στην αρχική του θέση.
- Τα στρώματα χάλυβα παρέχουν ικανότητα μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων, και συγκρατούν τον πυρήνα μόλυβδου.
- Ο πυρήνας μόλυβδου εμποδίζει την κατασκευή να μετακινηθεί πλευρικά εξαιτίας φορτίων ανέμου, απορροφούν μέρος των σεισμικών φορτίων, και ελέγχουν την πλευρική μετακίνηση της κατασκευής.

{6}

Εικόνα 3 {6}



## 5.2. ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Παρόμοια με τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα, αλλά χωρίς εναλλακτικές στρώσεις, τα εφέδρανα υψηλής απόσβεσης αποτελούνται μόνο από στρώματα ελαστικού υψηλών χαρακτηριστικών απόσβεσης πλάτους ταλάντωσης, και έναν κύλινδρο από μόλυβδο, συμπαγή και τοποθετημένο στο κέντρο των ελαστικών στρωμάτων. Διάφοροι βαθμοί ευκαμψίας του ελαστικού επιτρέπουν διαφορετικά επίπεδα κίνησης. Η αρχή αυτού του τύπου εφεδράνων είναι παρόμοια με αυτή των ελαστομεταλλικών εφεδράνων, εκτός από το ότι το τροποποιημένο ελαστικό παρέχει και ικανότητα μεταφοράς κατακόρυφων φορτίων και βοηθάει στη συγκράτηση του πυρήνα μόλυβδου. Ο μόλυβδος απορροφάει μέρος της σεισμικής ενέργειας, όπως στα ελαστομεταλλικά εφέδρανα, και βοηθάει στον έλεγχο της πλευρικής μετακίνησης της κατασκευής.

{6}

## 5.3. ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

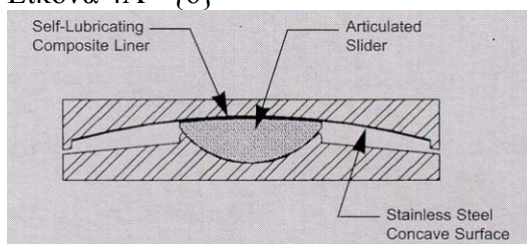
Τα σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης αποτελούνται από ένα τμήμα που ολισθαίνει προκειμένου να επιτρέψει στις κατασκευές να μετακινούνται πλευρικά. Όταν το έδαφος κινείται οριζόντια κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, η σεισμική δύναμη μειώνεται (μονώνεται) μέσω των εφεδράνων ολίσθησης, έτσι ώστε μόνο οι δυνάμεις λόγω τριβής να μεταδίδονται στην κατασκευή του κτιρίου. Το βάρος της κατασκευής επιβάλλει στο εφέδρανο να επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, επανατοποθετώντας έτσι το κτίριο στην αρχική τους θέση μετά από ένα σεισμό. Ένας κοινός τύπος εφεδράνων ολίσθησης είναι τα εκκρεμή εφέδρανα τριβής.

Τα εκκρεμή εφέδρανα τριβής έχουν ως αρχή την κίνηση του εκκρεμούς και την τριβή, προκειμένου να μειώνουν τις σεισμικές δυνάμεις που επενεργούν σε μία κατασκευή. Με πιο απλά λόγια, αυτά τα εφέδρανα λειτουργούν σαν μια μπάλα μέσα σε ένα πιάτο. Ένα τέτοιο εφέδρανο αποτελείται από ένα υλικό που μπορεί να ολισθαίνει και μπορεί να προσαρτηθεί είτε στο θεμέλιο (κάτω), είτε στο κτίριο (πάνω) και μια ανοξειδωτή χαλύβδινη κοίλη επιφάνεια (εικόνα 4A). Υπάρχει και ένα κάλυμμα (με μικρό συντελεστή τριβής) ανάμεσα στο υλικό που ολισθαίνει και την κοίλη επιφάνεια (εικόνα 4B).

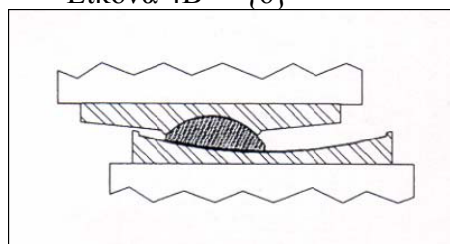
Όταν η σεισμική δύναμη υπερβεί την δύναμη στατικής τριβής, το υλικό που ολισθαίνει μετακινείται πάνω στην κοίλη σφαιρική επιφάνεια (εικόνα 4Γ). Η κίνηση του υλικού είναι παρόμοια αυτής του απλού εκκρεμούς και κάνει την υποστηριζόμενη κατασκευή να το ακολουθήσει. Καθώς το υλικό ανεβαίνει κατά μήκος της κοίλης σφαιρικής επιφάνειας, το εφέδρανο αναπτύσσει μία πλευρική δύναμη αντίστασης που είναι ισοδύναμη με το αποτέλεσμα του συνδυασμού της δύναμης τριβής και της δύναμης βαρύτητας του κτιρίου. Αυτό προσδίδει την απαιτούμενη απόσβεση του πλάτους ταλάντωσης για να απορροφηθεί η ενέργεια λόγω σεισμού.

{6}

Εικόνα 4A {6}

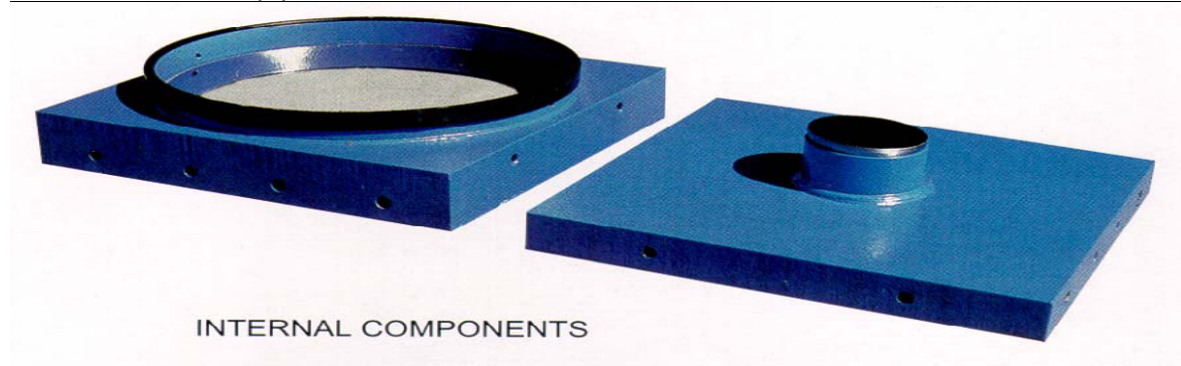


Εικόνα 4B {6}





Εικόνα 4Γ {6}



## 6.ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, οι σεισμικοί μονωτήρες κινούνται, ενώ η ανωδομή του κτιρίου υποβάλλεται μόνο σε πλευρικές κινήσεις με μεγάλη περίοδο και δεν υφίστανται καθόλου ζημιές. Οι σεισμικοί μονωτήρες λειτουργούν σαν εύκαμπτο επίπεδο ανάμεσα στη θεμελίωση και την κατασκευή έτσι ώστε οι εδαφικές κινήσεις να έχουν μικρή ή και καμία επίπτωση στην ανωδομή.

Η χρήση της μεθόδου της σεισμικής μόνωσης είναι πιο συχνή σε κτίρια αρχιτεκτονικής σημασίας, ιστορικής κληρονομιάς, με υλικό αξίας και με σημαντικούς λόγους συνεχούς λειτουργίας μετά από καταστρεπτικούς σεισμούς. Όμως το υψηλό κόστος εφαρμογής της μεθόδου είναι απαγορευτική για τις συνηθείς κατασκευές. Σταδιακά, όμως, η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης επεκτείνεται και σε συμβατικά κτίρια καθώς και σε έργα γεφυροποιίας και ειδικών θεμελιώσεων.

{1, 6}

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κατευθυντήριες Προδιαγραφές & Οδηγίες για Επισκευές Κτιρίων με Βλάβες από Σεισμό, Σεισμική Μόνωση, ΔΟΜΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ, 2002 ([www.domiki.gr/seismo/monwsh.htm](http://www.domiki.gr/seismo/monwsh.htm))
2. ΣΕΙΣΜΟΜΟΝΩΣΙΣ Α.Ε. ([www.seismomonosis.com](http://www.seismomonosis.com))
3. Earthquakes in Orange County: Introduction to Structure Response during an Earthquake, and Minimizing Structural Damage Using Seismic Base Isolation, Eduardo Mosqueda
4. Taylor Devices, Inc-Fluid Viscous Damping as an Alternative to Base Isolation, Gregg Haskell, David Lee, California
5. Seismic Retrofit of Municipal Services Building, Draft Environmental Impact Report, City of Glendale, Planning Department, July 2005

6. Seismic Hazard, Building Codes and Mitigation Options for Canadian Buildings, Simon Foo, Nove Naumoski, Murat Saatcioglu, Department of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada, June 2001