

## ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

**ΙΩΑΝΝΟΥ ΙΩΑΝΝΑ-ΜΑΡΙΑ**

Προπτυχιακή Φοιτήτρια Π.Π., [up1051367@upnet.gr](mailto:up1051367@upnet.gr)

### Περίληψη

*Η εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενα κτήρια. Αρχικά, στο εισαγωγικό μέρος καταγράφεται ο λόγος ύπαρξης της σεισμικής μόνωσης ως τεχνική σχεδιασμού και ενίσχυσης κτηρίων. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στον τρόπο εφαρμογής της σε υφιστάμενες κατασκευές καθώς και στα απαραίτητα υλικά που χρησιμοποιούνται για την μόνωση αυτών. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα που μπορεί να έχει η τεχνική αυτή. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε είδη κτηρίων στα οποία έχει εφαρμογή αυτή η μέθοδος και μελετάται εάν δύναται να μονώνονται σεισμικά μικρής αξίας κτήρια λαμβάνοντας ως βασική παράμετρο το οικονομικό κόστος της εφαρμογής της σεισμικής μόνωσης. Τέλος, έπειτα από συγκρίσεις και εφαρμογές σε κτήρια που έχουν ενισχυθεί με αυτόν τον τρόπο, οδηγούμαστε σε πιθανές αδυναμίες, στην εύρεση τρόπων αντιμετώπισης αυτών, στις προϋποθέσεις για σωστή εφαρμογή και τέλος σε συμπεράσματα που αφορούν την τεχνική αυτή.*

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης κατασκευών, αν και βιβλιογραφικές αναφορές την τοποθετούν σε προγενέστερο χρόνο, άρχισε να είναι ευρέως γνωστή μετά το 1980, ιδιαίτερα σε σειсмоγενής περιοχές. Οι ζημιές και οι συνέπειες των ισχυρών σεισμών, κυρίως λόγω του συντονισμού με τις επικράτουςες συχνότητες των σύνηθων σεισμικών διεγέρσεων των σχετικά δύσκαμπτων συμβατικών θεμελιωμένων κτηρίων τα οποία διατρέχουν κίνδυνο συντονισμού που συμβαίνει κατά την διάρκεια του σεισμού, οδήγησε στην ανάπτυξη της σεισμικής μόνωσης των κατασκευών ως μέθοδο αντισεισμικής προστασίας κατασκευών. Η βασική ιδέα είναι η μείωση των σεισμικών φορτίων της κατασκευής με την εισαγωγή εύκαμπτων στοιχείων, τα σεισμικά εφένδρανα ή σεισμικούς μονωτήρες, στο επίπεδο της σεισμικής μόνωσης ώστε να μετατοπιστεί η θεμελιώδης περίοδος της κατασκευής εκτός της περιοχής των κυριαρχουσών επιταχύνσεων των συνηθων σεισμικών διεγέρσεων, αποφεύγοντας τον συντονισμό με αυτές. Σκοπός είναι η ύπαρξη εύκαμπτου ή ολισθαίνον συστήματος για παραμορφωσιμότητα στη βάση ή σε οποιαδήποτε ανώτερη στάθμη της κατασκευής κατά την οριζόντια διεύθυνση, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της απόκρισης της ανωδομής υπο σεισμικές διεγέρσεις. Η φιλοσοφία της σεισμικής μόνωσης στοχεύει στη μείωση της σεισμικής απαίτησης και όχι τόσο στην αύξηση της σεισμικής αντοχής ή πλαστιμότητας μιας κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να επιτευχθεί πενταπλάσια ως και δεκαπλάσια μείωση του μεγέθους των σεισμικών δυνάμεων που αναπτύσσονται σε σεισμικά μονωμένο κτήριο στην περίπτωση ισχυρής σεισμικής δόνησης. Με άλλα λόγια, στόχος της σεισμικής μόνωσης είναι η (κατά το δυνατόν) ελαστική απόκριση της κατασκευής. Βασικό όφελος είναι ότι ενώ δεν μπορεί να ελεγχθεί η ένταση του σεισμού, ως φυσικό φαινόμενο, ελέγχεται η απαίτηση που δημιουργεί στην κατασκευή, αφού επιτυγχάνεται η αποσύζευξη της κίνησης του φορέα από την εδαφική κίνηση, μέσω της εισαγωγής έντονης ασυνέχειας στην κατανομή της πλευρικής δυσκαμψίας καθ' ύψος της κατασκευής. Η χρήση της σεισμικής μόνωσης γίνεται όλο και πιο ευρεία, καθώς τα πλεονεκτήματά της γίνονται πιο γνωστά, η εμπειρία των μηχανικών αυξάνει ενώ ταυτόχρονα το κόστος της μειώνεται ραγδαία. Στη γεφυροποιία η σεισμική μόνωση χρησιμοποιείται τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα έργα. Αντίθετα στα κτήρια εφαρμόζεται κυρίως σε νέες κατασκευές. Οι περιπτώσεις σεισμικής αναβάθμισης υφιστάμενων κτηρίων με αυτή τη μέθοδο είναι λιγιστές, κυρίως λόγω διερεύνσεων ως προς τις αρχιτεκτονικές και στατικές απαιτήσεις και φυσικά το κόστος.

## 2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ- ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα εφαρμογής μεθόδων σεισμικής μόνωσης μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Οι απόλυτες επιταχύνσεις των ορόφων όσο και οι σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων μειώνονται σημαντικά.
- Οι παραμορφώσεις περιορίζονται στους σεισμικούς μονωτήρες οι οποίοι σχεδιάζονται ειδικά για να μπορούν να παραλάβουν τέτοιες παραμορφώσεις προσφέροντας υψηλά επίπεδα απόσβεσης.
- Έτσι επιτυγχάνεται περιορισμός των βλαβών στην ανωδομή αφού κινείται σαν στερεό σώμα. Αποτέλεσμα αυτών είναι η προστασία της ανθρώπινης ζωής, ενώ ταυτόχρονα προστατεύεται σημαντικός εξοπλισμός μεγάλου κόστους που ενδεχομένως να στεγάζεται στο κτήριο, λόγω μείωσης χαμηλών επιταχύνσεων στην ανωδομή του ορόφου.
- Επιπλέον η σεισμική μόνωση μπορεί να επιτευχθεί με την ελάχιστη δυνατή διακοπή της κανονικής χρήσης της κατασκευής, καθώς βασική διαφορά με τις συνηθισμένες μεθόδους ενίσχυσης είναι ότι εφαρμόζεται σε μία στάθμη (επίπεδο) της κατασκευής. Η στάθμη αυτή μπορεί να είναι είτε στη θεμελίωση είτε σε κάποιο ενδιάμεσο επίπεδο. Για το λόγο αυτό, δεν παρεμβαίνει στην εμφάνιση και τη λειτουργία της κατασκευής και αποτελεί μια ελκυστική λύση για αρκετά κτήρια για τα οποία πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα ώστε να βελτιώσουν την αντισεισμική τους συμπεριφορά και χωρίς απαιτούμενες αρχιτεκτονικές και δομικές επεμβάσεις στην ανωδομή το οποίο είναι σημαντικό, ειδικά για κτήρια μεγάλης λειτουργικής, αρχιτεκτονικής και ιστορικής σπουδαιότητας αντίστοιχα που η εμφάνιση και ο χαρακτήρας πρέπει να παραμείνουν αναλλοίωτα και για μελλοντικές γενιές. Επίσης σε άλλα κτήρια που συνεισφέρουν στη δημόσια ασφάλεια και ευημερία και έχουν σημαντικές λειτουργίες που πρέπει να μη διακοπούν έστω και προσωρινά, είτε για ενίσχυση είτε για επισκευή μετά από ισχυρό σεισμό. Αλλά και σε κατοικίες οι ένοικοι μπορούν να παραμείνουν στα διαμερίσματά τους χωρίς να απαιτηθεί εκκένωση.[14]
- Ο χρόνος που απαιτείται για να εφαρμοστεί η σεισμική μόνωση, μειώνεται περίπου στο μισό χρονικό διάστημα, συγκριτικά με την ενίσχυση με συμβατικές μεθόδους.
- Τα οφέλη αυτά μεγιστοποιούνται σε δύσκαμπτες κατασκευές με άκαμπτη θεμελίωση, όπως χαμηλά και μεσαίου ύψους κτήρια και σε γέφυρες.
- Προστασία θεμελίωσης. Ελαττώνεται σημαντικά η δυναμική καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης καθώς και οι καθιζήσεις.
- Διατήρηση ιστορικών κτηρίων.
- Οικονομία, αφού αποφεύγονται κατά ένα μεγάλο μέρος οι επισκευές καθώς το κτήριο δεν κινδυνεύει να καταρρεύσει. Επίσης όπως προανέφερα, η λειτουργία του κτηρίου δεν σταματά, έτσι συνεχίζεται η παροχή υπηρεσιών και το περιεχόμενο του έργου δεν καταστρέφεται.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της, αναφέρονται:

- Η απαραίτητη διασφάλιση επαρκούς διακένου περιμετρικά μιας σεισμικά μονωμένης κατασκευής.
- Το υψηλό κόστος όταν δεν τηρούνται οι προϋποθέσεις και χρειάζεται να δημιουργηθούν με πρόσθετες και δαπανηρές διαδικασίες. Και γι' αυτό λοιπόν χρησιμοποιείται πιο συχνά σε κτήρια μεγάλης σπουδαιότητας που υπάρχει συγκεκριμένος προϋπολογισμός δεδομένης της εκάστοτε κατάστασης.

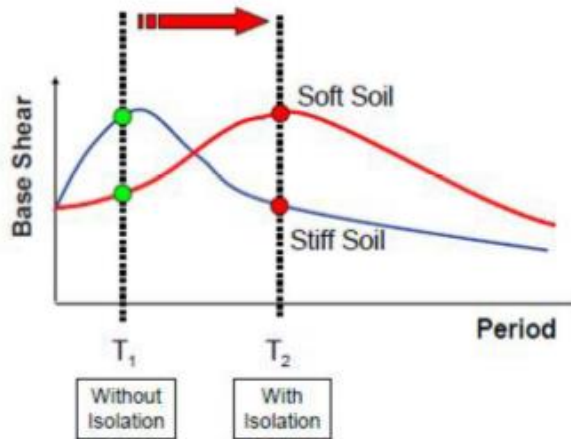
## 3. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΑ

Η εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής μόνωσης συνίσταται για:

- Κτήρια ιστορικής σημασίας, μουσεία με έργα τέχνης και άλλα κειμήλια που πρέπει να παραμείνουν ασφαλή για την διατήρηση της κουλτούρας, παράδοσης και ιστορίας κάθε χώρας.
- Υψηλής σημαντικότητας κτήρια (νοσοκομεία, σχολεία, εκκλησίες) για την ύπαρξη ασφάλειας και προστασίας ανθρώπων
- Κτήρια που διαθέτουν και διαφυλάσσουν σημαντικό εξοπλισμό

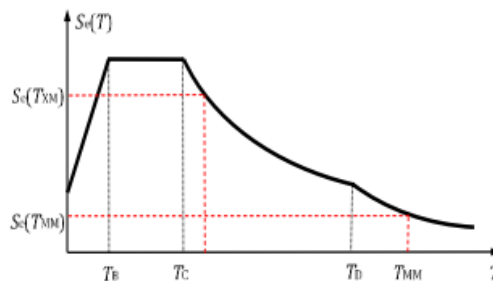
Επιπλέον, οι παρακάτω παράγοντες δύναται να δυσχεράνουν την εφαρμογή της μεθόδου.

- Οι υψηλές προδιαγραφές σεισμικής συμπεριφοράς
- Το κτήριο να είναι σχετικά δύσκαμπτο, δηλαδή να έχει ιδιοπερίοδο μικρότερη από 1,5 έως 2 sec (χαρακτηρίζει οπωσδήποτε τις δύσκαμπτες κατασκευές αλλά και ευρύ φάσμα σχετικά εύκαμπτων κατασκευών).
- Το μέγεθος των ανεμοφορτίων καθώς και των υπόλοιπων μη σεισμικών φορτίων να μην ξεπερνά το 10% του βάρους του κτηρίου ( $F_{\text{ανεμ}} < 10\% < W_{\text{κτηρ}}$ )
- Κακές εδαφικές συνθήκες, δηλαδή το έδαφος της θεμελίωσης να μην ευνοεί εδαφικές δονήσεις με προεξέχουσες τις μεγάλες περιόδους, γεγονός που χαρακτηρίζει τα «μαλακά» εδάφη



Σχήμα 1: Ευμενής ή δυσμενής επίδραση της σεισμικής μόνωσης στην τέμνουσα βάσης ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες [2]

Η μείωση της σεισμικής απόκρισης, που επιτυγχάνεται με τους μονωτήρες, μπορεί να οφείλεται στην αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής ή στην αύξηση της απόσβεσης ή στον συνδυασμό των δύο παραπάνω παραγόντων. [10]

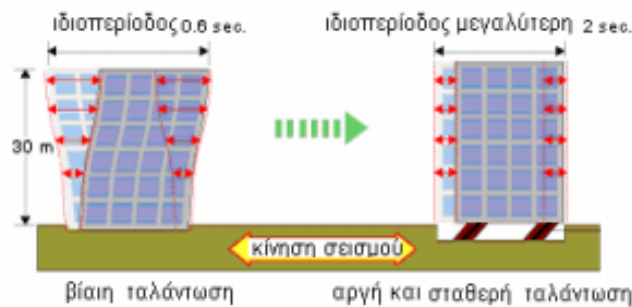


Σχήμα 2: Μείωση της ελαστικής φασματικής επιτάχυνσης με την αύξηση της ιδιοπεριόδου [3]

Ένας παράγοντας που καθορίζει εάν η σεισμική μόνωση είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος ενίσχυσης είναι οι διαστάσεις ενός κτηρίου. Οι τελευταίες επιδρούν στην καταλληλότητα ή

μη της σεισμικής μόνωσης. Με άλλα λόγια ψηλά και εύκαμπτα κτήρια έχουν μεγάλη ιδιοπερίοδο και έτσι η σεισμική μόνωση δεν είναι πάντα αποδοτικός τρόπος ενίσχυσης. Επιπλέον αν η αντοχή του ήδη υπάρχοντος κτηρίου είναι υπερβολικά χαμηλή (λιγότερο από το 5% του βάρους του κτιρίου) τότε πρέπει να μελετηθεί άλλη μέθοδος ενίσχυσης. Βέβαια,πιο πρόσφατες σκέψεις των μηχανικών,με στόχο την άνεση των χρηστών του κτηρίου,την λειτουργικότητα σημαντικών κτηρίων κατά την διάρκεια και μετά από ένα σεισμό και την αποφυγή ζημιών σε μη δομικά μέρη και περιεχόμενα του κτιρίου τους ώθησαν να εφαρμόσουν σεισμική μόνωση σε κτίρια από 10 έως 20 ορόφους.

Για τον ίδιο λόγο πρέπει να μελετηθεί και η θεμελίωση. Αυτό συμβαίνει γιατί η μόνωση μειώνει τις σεισμικές δυνάμεις, όμως δεν τις εξαφανίζει. Συνεπώς η αντοχή και η πλαστιμότητα της υπάρχουσας κατασκευής πρέπει τουλάχιστον να επαρκεί για να αντισταθεί στις μειωμένες δυνάμεις. Σε περίπτωση τοποθέτησης της μόνωσης στο υπόγειο είναι απαραίτητη η διαμόρφωση τάφρου. Οι διαστάσεις αλλά και θέματα όπως η επέκταση του κενού πέρα από τα όρια ιδιοκτησίας μελετούνται στη φάση του σχεδιασμού. Επίσης πρέπει να υπάρχει αρκετό διάστημα μέχρι τα γειτονικά κτήρια ώστε να επιτραπεί μια κίνηση από 15 μέχρι 60εκ. Επίσης πρακτικά δεν πρέπει η συχνότητα της μονωμένης κατασκευής να πλησιάζει τη συχνότητα του σεισμού σχεδιασμού,γιατί θα προκαλούταν συντονισμός. Άλλες προκλήσεις της εφαρμογής της σεισμικής μόνωσης είναι η διαχείριση των σκαλών, των ανελκυστήρων και των ηλεκτρομηχανολογικών δικτύων, ώστε να συμβιβάσουν τις μεγάλες παραμορφώσεις, η πυροπροστασία των μονωτήρων αλλά και η ελαχιστοποίηση της σεισμικής τρωτότητας στη φάση της κατασκευής.



Σχήμα 3: Αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής[4]

#### 4. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ

Οι πιο βασικοί τύποι μόνωσης είναι

- 1) Τα ελαστομεταλλικά ή ελαστομερή εφέντρανα
- 2) Τα χαλύβδινα εφέντρανα τύπου ελατηρίου
- 3) Τα εφέντρανα ολίσθησης

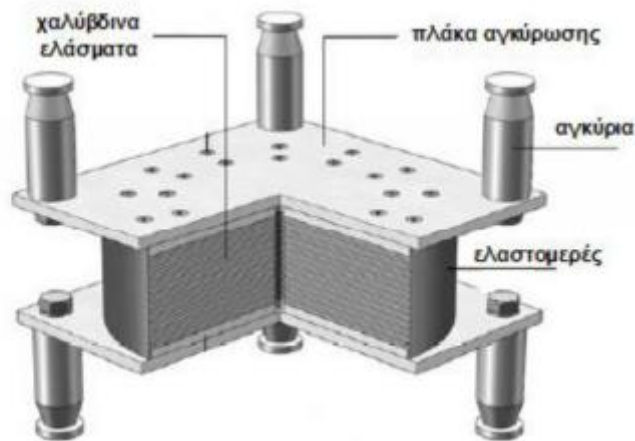
Πιο αναλυτικά τα ελαστομερή εφέντρανα αποτελούνται από επάλληλες στρώσεις ελαστομερούς υλικού (το οποίο προέρχεται είτε από καουτσούκ είτε από νεοπρέν) και προσδίδουν γωνιακή παραμορφωσιμότητα και χαλύβδινα φύλλα προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλή δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση για την ανάληψη κατακόρυφων φορτίων και τον περιορισμό σημαντικών πλευρικών παραμορφώσεων του ελαστομερούς. Διατίθενται τόσο σε ορθογωνικές όσο και σε κυκλικές διατομές διαφόρων διαστάσεων.

Οι τύποι των ελαστομεταλλικών ή ελαστομερών εφενδράνων που χρησιμοποιούνται είναι:

- 1) Ελαστομερή εφέντρανα χαμηλής απόσβεσης (Low-Damping Natural or Synthetic Rubber Bearing).Αποτελούν απλή κατασκευή, το φορτίο, η θερμοκρασία και ο χρόνος έχουν μικρή

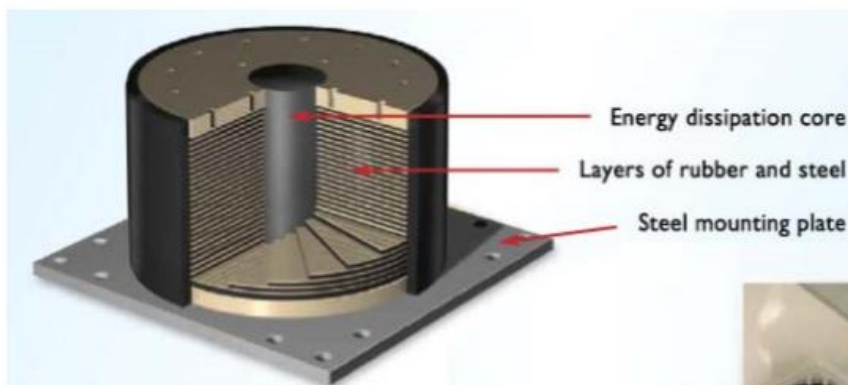
επίδραση στην απόκριση τους. Παραλαμβάνουν διατμητικές τάσεις μέχρι και το 100% της αντοχής των στοιχείων και ποσοστό απόσβεσης 2-3%. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η αναγκαιότητα ύπαρξης επιπρόσθετου συστήματος απόσβεσης.

2) Ελαστομερή εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (High-Damping Natural Rubber Bearing). Παραλαμβάνουν διατμητική καταπόνηση ίση με 200 έως 350% της αντοχής των στοιχείων και η απόσβεση τους, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 10- 20%, μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη στοιχείων πλήρωσης που αποτελούνται από ίνες άνθρακα, έλαια και ρητίνες. Το μέτρο διάτμησης τους είναι μεταξύ 350-1400 kPa. Η δυσκαμψία και η απόσβεση τους εξαρτάται από τους εξής παράγοντες: τα ελαστομερή και τα στοιχεία πλήρωσης, την πίεση επαφής, την ταχύτητα της εφαρμογής του φορτίου, το χρόνο της φόρτισης και τη θερμοκρασία.



Σχήμα 4: Τυπική διατομή ελαστομεταλλικών εφεδράνων χαμηλής ή υψηλής απόσβεσης χωρίς πυρήνα μολύβδου[5]

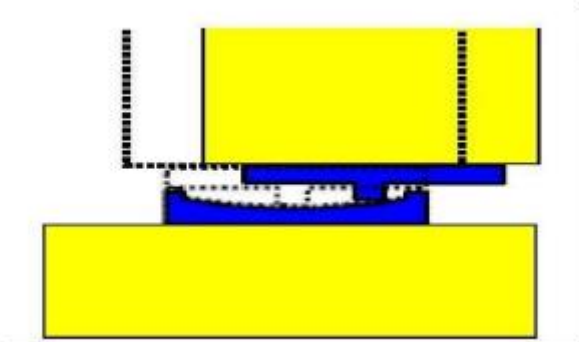
3) Ελαστομερή εφέδρανα πυρήνα μολύβδου χαμηλής απόσβεσης (Lead-Rubber Bearing). Τα ελαστικά εφέδρανα πυρήνα μολύβδου αποτελούνται από ελαστικό χαμηλής απόσβεσης συνδυασμένο με κεντρικό πυρήνα από μόλυβδο. Το μέτρο διάτμησης τους είναι 525-700 kPa και μπορούν να παραλάβουν διατμητική καταπόνηση ίση με 125- 200% της αντοχής των στοιχείων. Ο κυλινδρικός πυρήνας μολύβδου, που έχει τάση διαρροής ίση με 1500 psi, προσαρμόζεται σε οπή στο κέντρο του ελαστικού εφεδράνου. Η τάση διαρροής του εφεδράνου μειώνεται σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και η υστερητική του απόκριση εξαρτάται από την μετακίνηση.



Σχήμα 5: Ευμενής ή δυσμενής επίδραση της σεισμικής μόνωσης στην τέμνουσα βάση ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες [6]

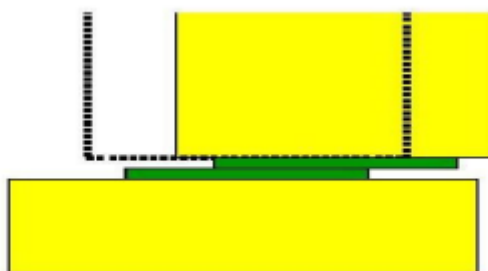
Τα εφέδρανα ολίσθησης διακρίνονται σε :

1) Σφαιρικά Εφέδρανα Ολίσθησης ή Τριβής (Spherical Sliding Bearing η Friction Pendulum bearings). Συχνά εφαρμόζονται τα εφέδρανα τύπου εκκρεμους τριβής ( FPS ). Σ'αυτά τα συστήματα σφαιρική ολίσθησης (FPS-friction pendulum system),η ολίσθηση συμβαίνει σε κοίλη επιφάνεια και έτσι η κατασκευή έχει τη δυνατότητα της αυτοεπαναφοράς στην αρχική της θέση μετα το πέρας του σεισμού. Η οριζόντια δυσκαμψία αυτών των συστημάτων σφαιρικής ολίσθησης είναι ανάλογη του βάρους, ενώ η ιδιοπερίοδος τους είναι ανεξάρτητη της μάζας. Επιπλέον είναι προτεινόμενη μέθοδος καθώς έχει πιο καλή αντισεισμική συμπεριφορά.[13]



Σχήμα 6: Σύστημα σφαιρικής ολίσθησης (FPS) [7]

2) Πλακοειδή ή επίπεδα Εφέδρανα Ολίσθησης (Flat Sliding Bearing). Όταν το ποσοστό της οριζόντιας δύναμης προς την κατακόρυφη είναι μικρότερο του συντελεστή τριβής, η συμπεριφορά του συστήματος είναι γραμμική. Μετά την υπέρβαση του συντελεστή τριβής δημιουργείται ολίσθηση και η τιμή της διατμητικά μεταφερόμενης δύναμης δεν αυξάνει περαιτέρω. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των σεισμικών δυνάμεων που συνοδεύεται από μεγάλες μόνιμες μετακινήσεις. Επομένως όταν χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους συστήματα είναι απαραίτητο να προβλέπεται τρόπος επαναφοράς της κατασκευής στην αρχική της θέση. Για το λόγο αυτό, τα συστήματα με επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με ελαστομεταλλικά εφέδρανα, τα οποία έχουν την δυνατότητα να επαναφέρουν την κατασκευή στην αρχική της θέση.



Σχήμα 7: Σύστημα με επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης (FSS)[8]

## 5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΚΤΗΡΙΑ

Η τοποθέτηση μονωτήρων μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια. Έτσι αφού αποφασιστεί ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες ποιο είναι το καταλληλότερο επίπεδο για τοποθέτηση της μόνωσης ξεκινάει η διαδικασία εφαρμογής. Αν και υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με το κτήριο, την τεχνογνωσία, τον διαθέσιμο



εξοπλισμό και τους διαθέσιμους πόρους η βασική διαδικασία είναι η ίδια. Για τη σωστή υλοποίηση της σεισμικής μόνωσης συνήθως απαιτείται η εξασφάλιση απαραμόρφωτης διαφραγματικής λειτουργίας εκατέρωθεν της σεισμικής διεπιφάνειας. Η κατασκευή γενικής κοιτόστρωσης που εγκιβωτίζει τα υφιστάμενα μεμονωμένα θεμέλια έχει το ρόλο κάτω διαφράγματος ενώ ένα πλέγμα νέων ισχυρών δοκών ΩΣ στο δάπεδο του ισογείου μπορεί να λειτουργήσει ως άνω διάφραγμα. Καταρχάς, πρέπει να ενισχυθούν οι δοκοί και τα υποστυλώματα στο επίπεδο μόνωσης, δηλαδή στον όροφο εγκατάστασης και τον υποκείμενο όροφο, αν αυτό κριθεί αναγκαίο. (Εαν το επίπεδο αυτό βρίσκεται στη βάση του κτηρίου ίσως ενισχυθεί ή επανακατασκευαστεί και η θεμελίωση). Αρχικά, καθαιρείται η πλάκα ισογείου και γίνεται εκσκαφή μέχρι τη στάθμη της θεμελίωσης και περίξ του κτηρίου. Δημιουργείται γενική κοιτόστρωση στη θεμελίωση πάχους περίπου 0.50 m που εγκιβωτίζει τα υφιστάμενα πέδιλα με προαπαιτούμενη την κατάλληλη μορφοποίηση τους και τη σύνδεση με βλήτρα μεταξύ παλαιών και νέων στοιχείων. Επίσης στο στάδιο αυτό κατασκευάζονται οι νέες δοκοί ΩΣ στο επίπεδο του δαπέδου του ισογείου που αποτελούν το άνω διάφραγμα. Έπειτα για το υποστήλωμα που ενισχύουμε τοποθετούνται στηρίγματα (προσωρινή υποστήλωση) με τη βοήθεια κατάλληλων υδραυλικών γρύλων, ώστε να παραλάβουν τα φορτία του και αποκόπτεται τμήμα του υποστηλώματος για να υπάρξει χώρος για την προσθήκη του μονωτήρα. Τέλος στο τρίτο στάδιο κατασκευάζεται περιμετρικός τοίχος αντιστήριξης που εξασφαλίζει το σεισμικό αρμό και τοποθετείται το πλέγμα μεταλλικών δοκών, η μεταλλική εσχάρα και η επικάλυψη που συνθέτουν το δάπεδο ισογείου. Έτσι επιτυγχάνεται η ασφαλής τοποθέτηση του μονωτήρα και ενσωμάτωση του με τα φέροντα στοιχεία. Τα εφεδράνα εγκιβωτίζονται σε πυροπροστατευτική μόνωση ή κλείνονται σε ειδικούς πίνακες και η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί.[1] Για μεγαλύτερη ασφάλεια πάντως απέναντι σε πιθανό σεισμό κατά τη διάρκεια της επισκευής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και προσωρινή πλασισωτή μεταλλική κατασκευή με συνδέσμους δυσκαμψίας σε όλο το επίπεδο της μόνωσης. Για την περίπτωση όμως που απαιτηθεί αντικατάστασή τους θα πρέπει να έχει γίνει σχετική πρόβλεψη. Σε τέτοια περίπτωση πρέπει να υποστυλωθεί ο φορέας με κατάλληλη διάταξη γρύλων ανάλογη με τη θέση και το φορτίο του εφεδράνου. Η εντατική κατάσταση που προκύπτει από την παρουσία των γρύλων έχει ληφθεί υπόψη στη διαστασιολόγηση και στην όπλιση των δομικών στοιχείων που επηρεάζονται. Δύο είναι οι βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου: (α) η διασφάλιση επαρκούς χώρου εργασίας μεταξύ της θεμελίωσης και του δαπέδου ισογείου (β) το κτήριο πρέπει να είναι πανταχόθεν ελεύθερο ώστε να εξασφαλίζεται ο σεισμικός αρμός αλλά και η πλευρική πρόσβαση για τις κατασκευαστικές εργασίες.

Η τοποθέτηση των μονωτήρων μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα: στη βάση του υπογείου, στην κορυφή του υπογείου, στη βάση του πρώτου ορόφου, στην κορυφή του πρώτου ορόφου. Εξαιρείται βέβαια η τοποθέτηση μόνωσης στο ανώτερο πάτωμα με σκοπό την προσθήκη ορόφου που αποτελεί ειδική περίπτωση. Παρακάτω αναλύονται αυτές οι τέσσερις περιπτώσεις. Η πιο ίσως ενδιαφέρουσα αλλά παράλληλα δύσκολη περίπτωση μόνωσης είναι στην βάση υπογείου, καθώς τις περισσότερες φορές απαιτείται η εκ νέου διαμόρφωση κατασκευαστικού κενού(τάφρου) για να είναι δυνατές οι μεγάλες πλευρικές παραμορφώσεις του κτηρίου και η κατασκευή ξεχωριστών τοίχων αντιστήριξης.

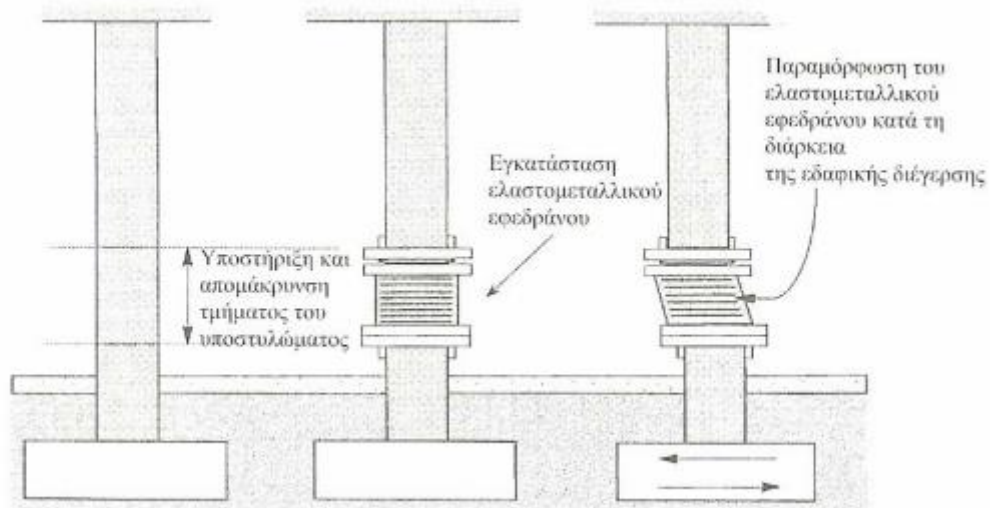
Η τοποθέτηση των μονωτήρων στη βάση του υπογείου (συνηθέστερη περίπτωση) έχει τα εξής πλεονεκτήματα: Αρχικά δεν χρειάζονται ειδικές διατάξεις για σκάλες, ανελκυστήρα και για μη φέροντες τοίχους. Ακόμη η βάση των υποστυλωμάτων μπορεί να συνδεθεί με διάφραγμα στο επίπεδο μόνωσης και μπορεί να επιτευχθεί εύκολη ενσωμάτωση εφεδρικού συστήματος για κατακόρυφα φορτία. Τα βασικά της μειονεκτήματα είναι: το μεγάλο πρόσθετο κόστος εαν το ήδη υπάρχον κτήριο δεν έχει υπόγειο καθώς και η απαίτηση ξεχωριστού τοίχου αντιστήριξης.

Η τοποθέτηση των μονωτήρων στην κορυφή του υπογείου έχει τα εξής πλεονεκτήματα: Δεν απαιτείται να έχει υπόγειο το κτήριο, το πρόσθετο κατασκευαστικό κόστος είναι ελάχιστο, η βάση των υποστυλωμάτων μπορεί να συνδεθεί με διάφραγμα στο επίπεδο μόνωσης και το εφεδρικό σύστημα για τα κατακόρυφα φορτία παρέχεται από τα υποστυλώματα. Μειονεκτεί όμως σε θέματα μηχανισμών, δηλαδή μπορεί να υπάρξει πιθανή ανάγκη προβολοδομημένου φρεατίου ανελκυστήρα κάτω από το πρώτο πάτωμα ή ειδικής μεταχείρισης εσωτερικής σκάλας κάτω από το πρώτο πάτωμα.

Με την τοποθέτηση των μονωτήρων στη βάση του πρώτου πατώματος, το πρόσθετο κατασκευαστικό κόστος είναι ελάχιστο, ο διαχωρισμός στο επίπεδο της μόνωσης είναι εύκολος, η βάση των υποστυλωμάτων μπορεί να συνδεθεί με διάφραγμα στο επίπεδο μόνωσης και επιτυγχάνεται εύκολη ενσωμάτωση εφεδρικού συστήματος για κατακόρυφα φορτία. Ωστόσο μπορεί να δημιουργηθεί κάποια δυσκολία λόγω της πιθανής απαίτησης ορύγματος-προβόλου.

Με την τοποθέτηση των μονωτήρων στην κορυφή του πρώτου πατώματος, το πρόσθετο κατασκευαστικό κόστος είναι ελάχιστο και αποτελεί οικονομική λύση αν το πρώτο επίπεδο είναι για πάρκινγκ. Επίσης το εφεδρικό σύστημα για τα κατακόρυφα φορτία παρέχεται από τα υποστυλώματα. Όμως, υπάρχει απαίτηση ειδικών διατάξεων για σκάλες και ανελκυστήρα, για μη φέροντες τοίχους και για κατακόρυφες υπηρεσίες, κατακόρυφα φορτία.

Υπάρχει και η ειδική περίπτωση να τοποθετηθούν οι μονωτήρες στο ανώτερο πάτωμα. Αυτό γίνεται όταν δεν είναι δυνατόν να εγκατασταθεί η σεισμική μόνωση στη βάση ή στο ισόγειο επειδή δεν το επιτρέπει ο δομικός ιστός αλλά το κτήριο είναι σημαντικής σπουδαιότητας ή όταν πρέπει να προστεθεί νέος όροφος. Τότε η επιπλέον ενίσχυση εντοπίζεται στην ενδυνάμωση των υποστυλωμάτων στους υποκείμενους ορόφους ώστε να παραλάβουν τα αυξημένα φορτία βαρύτητας αλλά και ένα τμήμα των σεισμικών φορτίσεων των υπερκείμενων ορόφων που ορίζονται από την διαρροή ή την ολίσθηση των εφεδράνων του συστήματος. Επιπλέον οι νέοι όροφοι βελτιώνουν τη συμπεριφορά του κτιρίου δουλεύοντας σαν αποσβεστήρες. Δηλαδή σε ισχυρή σεισμική δόνηση τείνουν να επανορθώσουν την συμπεριφορά των υποκείμενων ορόφων.



Σχήμα 8: Διαδικασία εγκατάστασης και συμπεριφορά ελαστομεταλλικού εφεδράνου [11]

## 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΜΙΚΡΗΣ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑΣ

Δεδομένου των ανωτέρω και λαμβάνοντας υπόψιν την σεισμικότητα του Ελλαδικού χώρου, στην παρούσα ενότητα γίνεται αναφορά στη δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου της



σεισμικής μόνωσης σε συνήθεις κατασκευές (2-όροφες) οπλισμένου σκυροδέματος. Ανάλυση πρόσφατων στοιχείων από τεχνικές εταιρίες δείχνουν ότι κάτω απο συγκεκριμένες προϋποθέσεις ακόμη και σ'ένα διώροφο κτήριο που δεν χαρακτηρίζεται ως κτήριο με προδιαγραφές υψηλής σημαντικότητας, μας συμφέρει οικονομικά η ενίσχυση με την μέθοδο της σεισμική μόνωσης υπο την προϋπόθεση να τηρούνται οι βασικές προδιαγραφές. Δηλαδή να έχει διασφαλισθεί η ύπαρξη επαρκούς χώρου εργασίας μεταξύ της θεμελίωσης και του δαπέδου ισογείου ώστε να αποφευχθεί το μεγάλο πρόσθετο κόστος δημιουργίας εκ νέου υπογείου. Επίσης το κτήριο πρέπει να είναι πανταχόθεν ελεύθερο ώστε να εξασφαλίζεται ο σεισμικός αρμός αλλά και η πλευρική πρόσβαση για τις κατασκευαστικές εργασίες. Ένας άλλος παράγοντας που αυξάνει το κόστος σ'ένα κτήριο είναι η ύπαρξη μηχανολογικού εξοπλισμού για ανελκυστήρα ή κλιμακοστάσιο. Έτσι λοιπόν αν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις σ'ένα διώροφο κτήριο για παράδειγμα δεν έχουμε ανελκυστήρα, οπότε μειώνεται το κόστος.

Ακόμη, το κόστος εξαρτάται απο τα φορτία και απο την επιφάνεια του υλικού για το βάρος που είναι σχεδιασμένο να σηκώνει. Έπειτα απο μια σχετική διερεύνηση για ενα διώροφο κτήριο προκύπτει οτι: για παράδειγμα σ'ένα διώροφο 120 τ.μ., τοποθετούνται ανα 15 τ.μ. υποστηλώματα, έτσι θα υπάρχουν 8-10 υποστηλώματα. Γνωρίζοντας λοιπόν ότι το κόστος εφεδράνου(για διώροφο) είναι περίπου 3000€ το καθ'ένα προκύπτει 25000€ κόστος. Επομένως είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σ'ένα υφιστάμενο διώροφο κτήριο το κόστος ίσως να αυξηθεί με την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης καθώς μπορεί να μην τηρούνται οι προϋποθέσεις. Να σημειωθεί επίσης ότι και στην περίπτωση που δεν είναι υφιστάμενο το κόστος πάλι δεν είναι τοσο μεγάλο. Είναι όμως λογικό πως εάν δεν υπάρχει χώρος για πρόσβαση κάτω απο το κτήριο προτιμάμε άλλους τρόπους ενίσχυσης. Επίσης το διώροφο έχει λίγα φορτία , μεγάλη επιφάνεια και μικρό βάρος άρα δεν μπορεί εύκολα να υποστεί καθίζηση που είναι πολύ θετικό.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης στο υφιστάμενο κτήριο οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερη επιτάχυνση σχεδιασμού λόγω της μεταβολής της ιδιοπεριόδου αλλά και της αύξησης της απόσβεσης. Έτσι όλα τα δομικά στοιχεία πάνω από το επίπεδο σεισμικής μόνωσης παρουσιάζουν στατική επάρκεια. Επιπρόσθετα οι ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές του αρχικού κτηρίου. Είναι επίσης εν γένει χαμηλότερες και από αυτές του ενισχυμένου με συμβατική μέθοδο παρά την τοποθέτηση ισχυρών τοιχωμάτων.
- Σε αντίθεση με τη συμβατική λύση ενίσχυσης, δεν απαιτείται καμία επέμβαση στο φορέα πάνω από το επίπεδο σεισμικής μόνωσης. Αυτό σημαίνει ότι διατηρείται ο αρχιτεκτονικός χαρακτήρας του κτηρίου αλλά και ότι η σεισμική αναβάθμιση γίνεται ταχύτερα και με πολύ μικρή όχληση για τους χρήστες [12]. Καθώς βασική διαφορά με τις συνηθισμένες μεθόδους ενίσχυσης είναι ότι εφαρμόζεται σε μία στάθμη της κατασκευής. Η στάθμη αυτή μπορεί να είναι είτε στη θεμελίωση είτε σε κάποιο ενδιάμεσο επίπεδο. Για το λόγο αυτό, δεν παρεμβαίνει στην εμφάνιση και τη λειτουργία της κατασκευής και αποτελεί μια ελκυστική λύση για αρκετά κτήρια για τα οποία πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα ώστε να βελτιώσουν την αντισεισμική τους συμπεριφορά.
- Η εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενες κατασκευές είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή. Η σεισμική μόνωση έχει μέχρι σήμερα εφαρμοστεί σε αρκετές μελέτες ενίσχυσης κατασκευών, ωστόσο πρέπει να τηρούνται βασικές προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν.
- Η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης παρέχει υψηλή αξιοπιστία για τις κατασκευές που εφαρμόζεται. Έτσι, εκτός από την σεισμική αναβάθμιση που επιτυγχάνεται, αυξάνεται και το αίσθημα ασφάλειας των ανθρώπων που βρίσκονται μέσα. Κατά τη διάρκεια

σεισμικών δονήσεων διαφορετικής έντασης, το κτήριο εμφανίζει τη συμπεριφορά που οραματίστηκε στο στάδιο του σχεδιασμού. Αυτό είναι μια αντικειμενική πραγματικότητα που δείχνει ότι οι τεχνολογίες σεισμικής μόνωσης μπορούν να παρέχουν υψηλή απόδοση στις ενισχύσεις κατασκευών. Ακόμη οι κανονισμοί έχουν να κάνουν με το βιωτικό επίπεδο των ανθρώπων. Έτσι εάν το οικονομικό επίπεδο των ανθρώπων στην Ελλάδα ήταν πιο υψηλό θα είχαμε πιο συχνά κτήρια με σεισμική μόνωση.

- Βασική παράμετρος για ένα σωστό συμπέρασμα και μια σωστή επένδυση είναι να αναγνωρίσουμε ότι κάθε περίπτωση κτηρίου είναι ξεχωριστή. Η ενίσχυση με την μέθοδο της σεισμικής μόνωσης προφυλάσσει το κτήριο από καταστροφικές συνέπειες, ενώ οι άλλες μέθοδοι δεν διασφαλίζουν με σιγουριά την ασφάλεια του κτηρίου.
- Η έρευνα γύρω από το αντικείμενο της συνεχίζεται, με σκοπό κυρίως την μείωση του κόστους των εφεδράνων και τον συνδυασμό της με άλλα συστήματα απόσβεσης ενέργειας, ώστε η τεχνική να γίνει πιο αποτελεσματική και να μπορεί να εφαρμόζεται και από λιγότερο ανεπτυγμένα κράτη με αυξημένες ανάγκες δόμησης αντισεισμικών κατασκευών. Για τα παραπάνω ωστόσο, είναι προϋπόθεση η οικονομική υποστήριξη προγραμμάτων έρευνας γύρω από το αντικείμενο.
- Ταυτόχρονα στον παράγοντα κόστος, πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος του μεγαλύτερου χρόνου μετεγκατάστασης των χρηστών του κτηρίου κατά τη διάρκεια των εργασιών επέμβασης στην περίπτωση της συμβατικής λύσης ή το κόστος του χώρου που καταλαμβάνεται από τα νέα τοιχώματα και μανδύες στην περίπτωση αυτή. Επιπλέον, η προστιθέμενη αξία της σεισμικής μόνωσης δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί. Αυτό έρχεται ως αποτέλεσμα της σημαντικά βελτιωμένης δυναμικής συμπεριφοράς μιας σεισμικώς μονωμένης κατασκευής σε σύγκριση με μια συμβατική.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Christos Giarlelis (Senior Structural Engineer), Dimitrios Koufalis (Structural Engineer) & Constantinos Repapis (Associate Professor) (2019): Seismic Isolation: An Effective Technique for the Seismic Retrofitting of a Reinforced Concrete Building, Structural Engineering International, <https://doi.org/10.1080/10168664.2019.1678449>
- [2-3-5] Β. Δημούδης, Διερεύνηση της επίδρασης της σεισμικής μόνωσης στη συμπεριφορά δυόροφης λίθινης κατασκευής έναντι σεισμών εγγύς πεδίου, Μεταπτυχιακή εργασία, Αθήνα: ΕΜΠ, 2011
- [4] [www.oiles.co.jp](http://www.oiles.co.jp)
- [6] Dynamic Isolation Systems [www.dis-inc.com](http://www.dis-inc.com)
- [7-8] Trevor E. Kelly, “Base Isolation of structures” Design Guidelines, 2001
- [9] Χ. Γιαρλέλης, Χ. Κωστίκας, Ε. Λαμπρινού, Μ. Δαλακίουριδου, “Ωνάσειος Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών : Δυναμική Συμπεριφορά Σεισμικώς Μονωμένου Κτιρίου”, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Νοέμβριος 2008
- [10] Anagnostopoulos S.A. (2007), “Applications of Base Isolation and Energy Dissipation Devices in Structures in Greece”, Proc. 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Istanbul, Turkey.
- [11] «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004
- [12] Giarlelis, C., Kostikas, C., Lambrinou, E., Dalakiouridou, M., (2008), “Dynamic Behaviour of a seismic isolated structure in Greece”, 14th World Conference on Earthquake Engineering, paper S05-01-017, Beijing, China.
- [13] Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές : <http://www.ggde.gr/dmdocuments/05-01-05-01.pdf>
- [14] «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004