



Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Π Τ Υ Χ Ι Α Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΘΕΜΑ: " Χρήση παθητικών συστημάτων σε κτίρια για την μείωση ζημιών από σεισμούς "

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΠΑΠΑΛΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ
ΓΑΔ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΠΑΤΡΑ 2009

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ - ΖΗΜΙΕΣ.....	5
1.1 Ο Σεισμός ως Φυσικό Φαινόμενο	5
1.2 Σεισμικά κύματα.....	7
1.3 Αποτίμηση του Σεισμού	9
1.4 Καταστροφικές Συνέπειες του Σεισμού	10
1.4.1 Εδαφικές Κατολισθήσεις.....	10
1.4.2 Η Επίδραση του Σεισμού στα Κτίρια και στις Κατασκευές.....	10
1.4.2.α Διατμητικές Αστοχίες.....	11
1.4.2.β Άλλες Περιπτώσεις Αστοχιών.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗ - ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΙ	
ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΒΛΑΒΗ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ..	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Υποστήλωσεις	13
2.2.1 Μέθοδοι Ανάλυσης Κατακόρυφων Φορτίων.....	13
2.2.2 Μέθοδοι Ανάλυσης Οριζοντίων Φορτίων	15
2.3 Επισκευή και Ενίσχυση Φέροντος Οργανισμού.....	17
2.3.1 Τοπική Ενίσχυση	17
2.3.2 Οπλισμένοι Μανδύες.....	17
2.3.3 Επικολλήσεις Ελασμάτων	18
2.3.4 Μεταλλικοί Κλωβοί.....	18
2.3.5 Προσθήκη Τοιχωμάτων.....	18
2.3.6 Σύνθετα Υλικά.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Συστημάτων Ελέγχου Ταλάντωσης και Σεισμικής Μόνωσης	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ.....	26
4.1 Εισαγωγή	26
4.2 Ο στόχος της Σεισμικής Μόνωσης	27
4.3 Τύποι Εφεδράνων	28
4.3.1 Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα (ELB).....	29
4.3.2. Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα με Πυρήνα από Μόλυβδο (LRB)	32
4.3.3 Εφέδρανο από Λάστιχο υψηλής απόσβεσης (LHDRBs)	35
4.3.4 Εφέδρανο από Λάστιχο υψηλής απόσβεσης με πυρήνα μόλυβδου	
(LHDRBs)	35
4.3.5 Εφέδρανο που χρησιμοποιεί Πολυστρωματικό Φυσικό Λάστιχο(RB/RBs)	37
4.3.6 Σύστημα Εκκρεμούς Τριβής (FPS)	38
4.3.7 Σύστημα Τριπλού Εκκρεμούς Τριβής (FPS)	40
4.3.8 Σύστημα Ολίσθησης (SSR).....	41
4.3.9 GERB	43
4.4 Άλλοι Τύποι Εφεδράνων	44
4.5 Ιδιότητες των Εφεδράνων.....	45
4.6 Τρόποι Τοποθέτησης των Εφεδράνων	48
4.7 Παράμετροι Σχεδιασμού.....	50
4.8 Πρακτικά Θέματα και Προβλήματα.....	52
4.9 Συντήρηση του Συστήματος Μόνωσης	56
4.10 Επιλογή Κατάλληλου Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο - ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ.....	59
5.1 Εισαγωγή	59

5.2 Τύποι Αποσβεστήρων Συστημάτων Ελέγχου Δόνησης	60
5.2.1 Αποσβεστήρας Ταλαντώσεων με Τοίχωμα (VWD).....	61
5.2.2 Κυλινδρικός Ιξώδης Αποσβεστήρας (CVD)	62
5.2.3 Αποσβεστήρας Bingham (BMS).....	63
5.2.4 Αποσβεστήρας Εξώθησης Μολύβδου (LED)	64
5.2.5.1 Ρυθμιζόμενος Αποσβεστήρας Μάζας (TMD)	65
5.2.5.2 Κυλινδρικού Εκκρεμούς(TMD-RP).....	65
5.3 Άλλοι Τύποι Αποσβεστήρων.....	67
5.3.1 Αποσβεστήρες με Σωλήνες Γεμάτες με Υγρό (LCMD).....	67
5.3.2 Αποσβεστήρας Τριβής (MR).....	68
5.3.3 Παθητικός Έλεγχος Ενισχυμένων Χαλύβδινων Πλαισίων χρησιμοποιώντας Έκκεντρους Διάγώνιους Συνδέσμους (SPS)	68
5.3.4 Ρυθμιζόμενος Αποσβεστήρας με Περιστεροφόμενη Μάζα (TMD).....	69
5.3.5 Αποσβεστήρας Καλωδίων.....	71
5.3.6 Αποσβεστήρας Συντονισμένης Μάζας Απόσβεσης για τον Έλεγχο Δόνησης Πατωμάτων	73
5.4 Αποσβεστήρας με Σωματίδια	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ .	75
6.1 Σεισμική Μόνωση στο Εξωτερικό	75
6.2 Συστήματα Μόνωσης Πατωμάτων.....	78
6.2.1 Συστήματα Μόνωσης Πατωμάτων 2D.....	78
6.2.2 Συστήματα Μόνωσης Πατωμάτων 3D.....	79
6.5 Συστήματα Μόνωσης Εξοπλισμού.....	80
6.3.1 Συστήματα Κοίλων Ραγών (CRS)	81
6.3.2 Παράδειγμα του Συστήματος Μόνωσης Εξοπλισμού – Ερμής του Πραξιτέλη στο Νέο Μουσείο της Αρχαίας Ολυμπίας.....	82
6.4 Εφαρμογή Σεισμικής Μόνωσης σε Γέφυρες.....	85
6.4.1 Εισαγωγή.....	85
6.4.2 Τύποι Εφεδράνων για Γέφυρες.....	86
6.4.3 Διαμόρφωση Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης.....	87
6.5 Ιστορικό Κτίριο του Εφετείου Του San Francisco	90
6.5.1 Εκτίμηση Υπαρχόντος Κτιρίου	91
6.5.2 Επιλογή Θέσης του Μονωτή	92
6.5.3 Επιλογή Συστήματος Μόνωσης	93
6.5.4 Τοποθέτηση των Εκκρεμών Τριβής	94
6.6 Σύγχρονο Κτίριο Τερματικού Σταθμού Διεθνούς Αερολιμένα Κωνσταντινουπόλεως K. Ataturk.....	95
6.6.1 Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης στο Υπάρχον Κτίριο.....	96
6.6.2 Επεμβάσεις Ενίσχυσης	97
6.7 Το Δημαρχείο του Los Angeles.....	99
6.7.1 Επιλογή Συστήματος Μόνωσης	99
6.7.2 Τοποθέτηση των Εφεδράνων	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο - ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	102
7.1 Ωνάσεις Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών	102
7.1.1 Επιλογή Συστήματος Μόνωσης	103
7.1.2 Επιλογή Θέσης της Μονωτής	104
7.1.3 Κέλφος Κτιρίου	107
7.1.4 Στατικό Προσομοίωμα	108
7.1.5 Έδραση Μονωτήρων	109

7.1.6 Έλεγχος Μεταλλικών Πλακών Εφεδράνων	110
7.1.7 Πλάκα Δαπέδου Ισογείου.....	112
7.1.8 Αντικατάσταση των Εφεδράνων	112
7.1.9 Ειδικά Θέματα Εφαρμογής Σεισμικής Μόνωσης.....	113
7.1.10 Συμπεράσματα.....	115
7.2 Το Νέο Μουσείο Ακρόπολη.....	116
7.2.1 Κέλυφος Κτιρίου	117
7.2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	118
7.3 Δεξαμενές στη Ρεβυθούσα	119
7.3.1 Λειτουργίες και Σχεδιαστικά Χαρακτηριστικά της Εξωτερικής Δεξαμενής	122
7.4 Γέφυρα Ρίο-Αντίριο.....	123
7.4.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ ΕΔΡΑΣΗΣ	126
8.1 Εισαγωγή	126
8.2 Παράδειγμα Σύγκρισης Μεθόδων Έδρασης	127
8.2.1 Περιγραφή του Κτιρίου	128
8.2.3 Μοντέλο Προσομοίωσης.....	129
8.2.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης.....	130
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	132
9.1 Το Κόστος της Σεισμικής Μόνωσης	132
9.2 Το Μέλλον της Σεισμικής Μόνωσης	133
9.3 Ατενίζοντας το Μέλλον.....	136
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138
ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ	142
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΑΚΡΟΠΟΛΗΣ	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΓΕΦΥΡΑ ΡΙΟΥ-ΑΝΤΙΡΡΙΟΥ	147

Εισαγωγή

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός τρόπος σεισμικής θωράκισης των κατασκευών χρησιμοποιώντας παθητικά συστήματα ελέγχου.

Στα συστήματα αυτά περιλαμβάνονται συσκευές που εμποδίζουν την διασπορά της σεισμικής ενέργειας στην ανωδομή περιορίζοντας την στην βάση ή αποσβένοντας την.

Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται αναλυτικά τα πιο διαδεδομένα είδη εφέδρανων και αποσβεστήρων και οι αναμενόμενες εξελίξεις στον τομέα ελέγχου δόνησης των κατασκευών.

Στο τέλος της πτυχιακής παρουσιάζονται εφαρμογές των παραπάνω συστημάτων στην Ελλάδα και στο εξωτερικό, για νέες και υπάρχουσες κατασκευές.

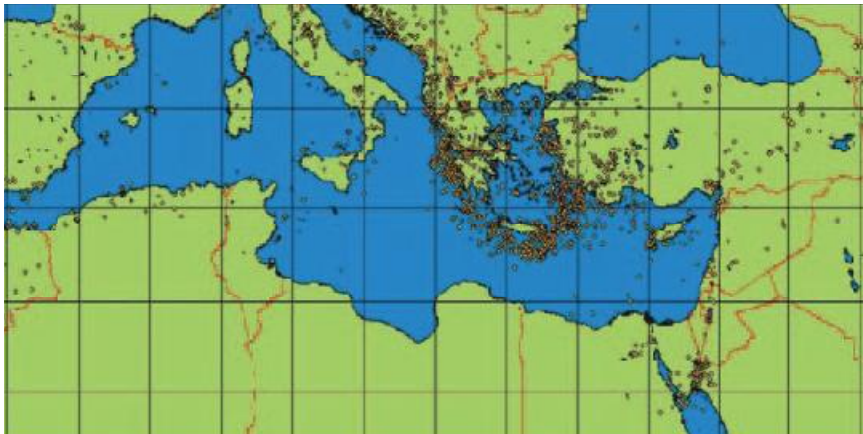
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ -ΖΗΜΙΕΣ

1.1. Ο Σεισμός ως Φυσικό Φαινόμενο

Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο, άρρηκτα συνδεδεμένο με τη ζωή και την ιστορία της γης, που εκδηλώνεται τις περισσότερες φορές ξαφνικά, ενώ συνήθως, δεν υπάρχουν πολλά περιθώρια για προφύλαξη και δράση. Οι σεισμοί αποδεσμεύουν ένα τεράστιο ποσό ενέργειας κι αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο μπορούν να είναι τόσο καταστρεπτικοί, αξίζει να σημειωθεί ότι το 50% της σεισμικής ενέργειας του Ευρωπαϊκού χώρου εκλύεται στην Ελλάδα (Εικόνα 1.1).

Ανάλογα με τα αίτια του φαινομένου, διακρίνουμε τις καταστροφές σε φυσικές και ανθρωπογενείς ή τεχνολογικές και αποτελούν εκδήλωση Φυσικών ή Τεχνολογικών δραστηριοτήτων αντίστοιχα. Αυτές οι δραστηριότητες, είναι ικανές να προκαλέσουν βλάβες ή καταστροφές στον άνθρωπο ή το περιβάλλον.

Το κόστος στην παγκόσμια οικονομία σήμερα υπερβαίνει τα 60 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, από τα οποία τα 20 αντιστοιχούν σε έξοδα για την πρόβλεψη, την πρόληψη και την αποφυγή των φυσικών καταστροφών, ενώ τα υπόλοιπα 40 αντιστοιχούν στις άμεσες ζημιές από τις καταστροφές και στην αποκατάστασή τους.



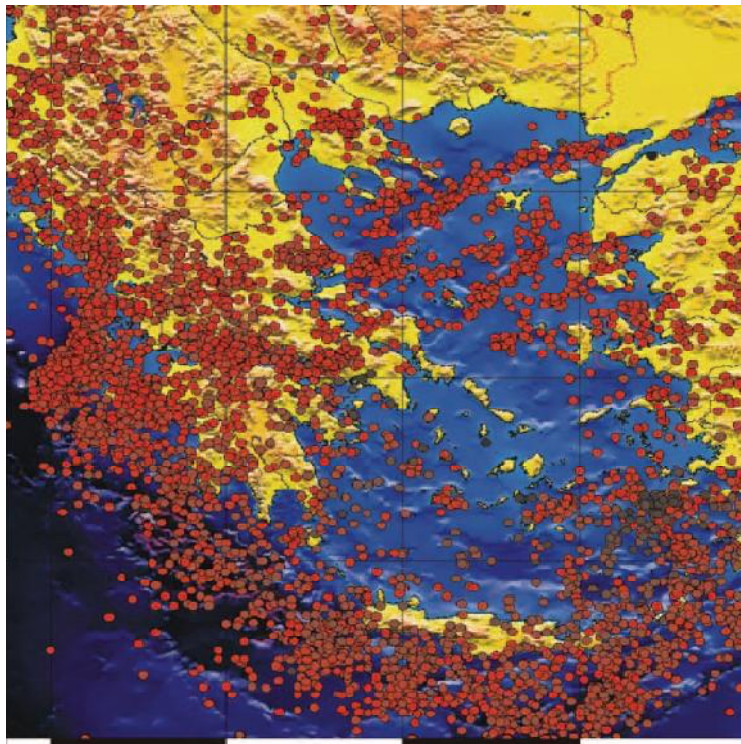
Εικόνα 1.1 κατανομή των επικέντρων της μεσογείου.

Οι σεισμοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, στους τεκτονικούς και στους ηφαιστειακούς.

A) Τεκτονικοί: Η λιθόσφαιρα αποτελείται από πολλές πλάκες που βρίσκονται σε διαρκή κίνηση, λόγω των πιέσεων που εξασκούνται από τις περιβάλλουσες λιθοσφαιρικές πλάκες ή λόγω των κινήσεων του μάγματος κάτω από αυτές. Στα όρια των πλακών δημιουργούνται εφελκυστικές ή συμπιεστικές ζώνες διάρρηξης: εφελκυστικές στα σημεία που οι πλάκες απομακρύνονται μεταξύ τους, συμπιεστικές στα σημεία που πλησιάζουν.

Τα όρια των τεκτονικών πλακών καθώς κινούνται τρίβονται μεταξύ τους συσσωρεύοντας ενέργεια, τασικό φορτίο. Όταν η πίεση ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή και φθάσει το όριο θραύσεως του πετρώματος του εστιακού χώρου, το αποτέλεσμα είναι η βίαιη ταλάντωση των πετρωμάτων και η απελευθέρωση της συσσωρευμένης ενέργειας.

B) Ηφαιστειακοί: Οι σεισμοί που σχετίζονται με ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να είναι εξίσου καταστροφικοί, προκαλώντας σχισμές στο έδαφος, παραμόρφωση του εδάφους, και ζημιές σε κατασκευές.

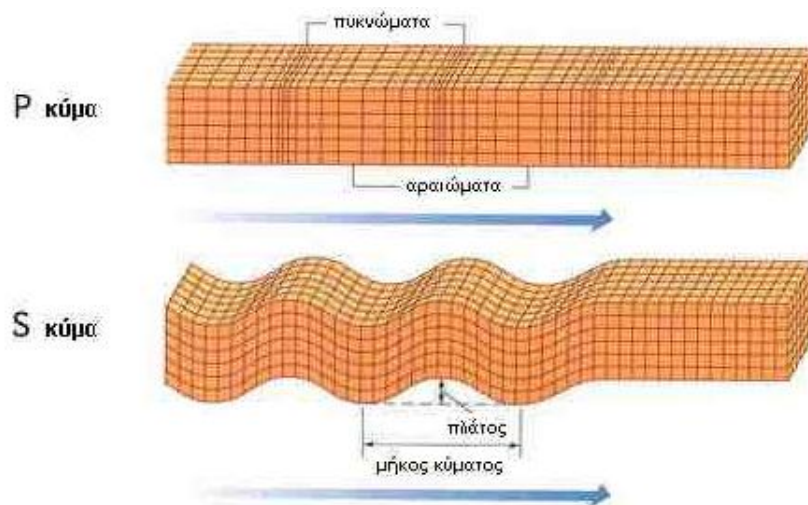


Εικόνα 1.2. Επίκεντρα σεισμών στην Ελλάδα τα τελευταία 90 χρόνια (πάνω από 4,5 R)

1.2.Σεισμικά κύματα

Για να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα των σεισμών πρέπει να καθοριστούν διάφορα στοιχεία, που χρησιμεύουν σαν βάση εκτιμήσεως. Πρώτο στοιχείο είναι η εστία του σεισμού, η υπόγεια θέση στην οποία γεννιέται ο σεισμός. Δεύτερο στοιχείο είναι το επίκεντρο του σεισμού, δηλ. η περιοχή της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται κάθετα πάνω από την εστία.

Όταν ένας σεισμός γεννιέται ο πρώτος παλμός της ενέργειας, που έρχεται από το σημείο της εστίας, περιλαμβάνει τα πρωτεύοντα ή κύματα πίεσης (P - primary) (Εικόνα 1.3). Είναι διαμήκη κύματα και διατρέχουν όλη τη Γη ενώ φτάνουν πρώτα σε ένα σεισμολογικό σταθμό. Όταν φθάσουν στην επιφάνεια της Γης μπορούν να κινηθούν και στον αέρα, σαν ηχητικά κύματα. Ανάλογα με τη συχνότητά τους μπορούν να ακουστούν από τον άνθρωπο ή μόνο από τα ζώα.



Εικόνα 1.3. Κύματα Secondary (S) και Primary (P)

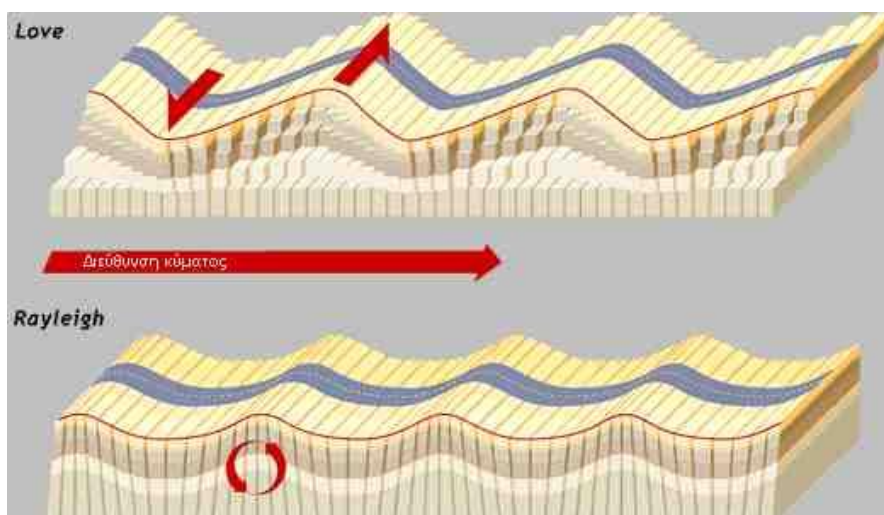
Τα επόμενα κύματα που φτάνουν σε ένα τόπο είναι τα δευτερεύοντα (S - secondary). Δεν διαδίδονται μέσω υγρών σωμάτων (π.χ. στη θάλασσα ή στον εξωτερικό πυρήνα της Γης). Είναι πιο αργά (κινούνται με περίπου 2 km/sec), αλλά πιο ισχυρά και καταστρεπτικά από τα διαμήκη και τα ακολουθούν στο σεισμόγραμμα.

Τέλος, όταν η ενέργεια ενός σεισμού φθάσει στην επιφάνεια της Γης, δημιουργούνται δύο άλλοι τύποι επιφανειακών σεισμικών κυμάτων που έπονται των άλλων δύο. Το όνομά τους, Love και Rayleigh (Εικόνα 1.4) προέρχεται από αυτόν που τα ανακάλυψε και δημιουργούνται όταν η εστία είναι σε μικρό βάθος.

Τα επιφανειακά κύματα Love (Εικόνα 1.4.) (τα ανακάλυψε ο H. Love θεωρητικά το 1911), που κατά τη διάδοσή τους τα υλικά σημεία του μέσου ταλαντώνονται οριζοντίως αλλά και καθέτως προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Δημιουργούν δηλαδή πλευρικές μετακινήσεις της επιφανείας του εδάφους.

Τα επιφανειακά κύματα Rayleigh (Εικόνα 1.4.) (τα ανακάλυψε το 1887 ο Strutt Rayleigh), που κατά τη διάδοσή τους τα υλικά σημεία του μέσου κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές των οποίων οι μεγάλοι άξονες είναι κατακόρυφοι και οι μικροί παράλληλοι με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Διαδίδονται στα επιφανειακά στρώματα της Γης και για το λόγο αυτό δεν εμφανίζονται σχεδόν καθόλου σε σεισμούς με βαθύτερες εστίες.

Τα δύο τελευταία είδη κύματων κινούνται πιο αργά από τα πρώτα (P και S) αλλά είναι πιο καταστρεπτικά, ιδιαίτερα τα κύματα Love που είναι συχνά υπεύθυνα για την κατάρρευση των κτιρίων.



Εικόνα 1.4. Επιφανειακά Κύματα Love και Rayleigh

1.3. Αποτίμηση του Σεισμού

Τα όργανα καταγραφής των σεισμικών δονήσεων είναι τα σεισμοσκόπια, οι σειсмоγράφοι, και τα σεισμόμετρα. Η λειτουργία του σειсмоγράφου βασίζεται στον νόμο της αδράνειας. Στον ελληνικό χώρο, υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένοι, για την καταγραφή των σεισμικών δονήσεων, με ενόργανες καταγραφές των σεισμών στην Ελλάδα να ξεκινούν στην αρχή του αιώνα (1911) με την εγκατάσταση του πρώτου σεισμομέτρου στην Αθήνα.

Για να υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης των σεισμών δημιουργήθηκε η ανάγκη υπολογισμού μίας ποσότητας που να τους χαρακτηρίζει. Έτσι, ορίστηκε το μέγεθος (M) του σεισμού, που είναι το μέτρο της ενέργειας που εκλύεται από την εστία κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης.

Το μέγεθος προσδιορίζεται με μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων των σεισμικών κυμάτων, όπως το πλάτος, η περίοδος και η διάρκεια. Οι σεισμοί που προκαλούν βλάβες έχουν τις περισσότερες φορές μέγεθος μεγαλύτερο από 5 βαθμούς της κλίμακας Richter.

Οι επιπτώσεις ενός σεισμού στους ανθρώπους και στις κατασκευές, εξαρτώνται, εκτός από το μέγεθος και από άλλους παράγοντες, όπως το βάθος της εστίας, τη θέση του επικέντρου, την κατασκευή, το έδαφος θεμελίωσης της κατασκευής, τη γεινίαση με ενεργά ρήγματα. Για να γίνει κατανοητή η αντιστοιχία των εννοιών μέγεθος - ενέργεια που εκλύεται από έναν σεισμό, αρκεί να αναφερθεί ότι για μεγάλους σεισμούς (8,7 Richter - 8,9 Richter), η ενέργεια που εκλύεται είναι περίπου 900 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της βόμβας στη Χιροσίμα.

Ένα άλλο μέτρο αποτίμησης του σεισμού είναι η ένταση που μετρά τα αποτελέσματα του σεισμού στους ανθρώπους και στις κατασκευές μιας περιοχής.

Οι εμπειρικές κλίμακες, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της έντασης, είναι: η τροποποιημένη 12βάθμια κλίμακα Mercalli, η επίσης 12βάθμια MSK, καθώς και η 8βάθμια JMA, που χρησιμοποιείται από τους Ιάπωνες.

1.4. Καταστροφικές Συνέπειες του Σεισμού

1.4.1. Εδαφικές Κατολισθήσεις

Οι εδαφικές κατολισθήσεις που παράγονται κατά τη γένεση των σεισμών, οφείλονται στην προκαλούμενη από τη σεισμική κίνηση ελάττωση της τριβής που συγκρατεί σε επαφή τα διάφορα στρώματα.

Η ρευστοποίηση εδάφους, παρατηρείται αρκετές φορές, κυρίως σε αμμώδη εδάφη, τα οποία είναι κορεσμένα με νερό, και οφείλεται στην αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων, λόγω του σεισμού. Το γεγονός αυτό, έχει ως συνέπεια τη μείωση της τριβής μεταξύ των κόκκων του υλικού, έτσι ώστε αυτό να συμπεριφέρεται ως ρευστό. Έτσι, οι κατασκευές σε τέτοιες περιοχές υφίστανται σημαντικές βλάβες λόγω μερικής βύθισης, κλίσης, κλπ.

1.4.2. Η Επίδραση του Σεισμού στα Κτίρια και στις Κατασκευές

Οι σεισμικές βλάβες που εμφανίζονται στα κτίρια διακρίνονται σε άμεσες και σε έμμεσες. Οι άμεσες βλάβες οφείλονται στη διάδοση των σεισμικών κυμάτων από το έδαφος στα θεμέλια, στους τοίχους και στη στέγη των κτιρίων. Οι έμμεσες βλάβες, προκαλούνται από πυρκαγιές που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των μεγάλων σεισμών.

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης προκαλεί μικρότερες βλάβες από την οριζόντια συνιστώσα, και έχει ως άμεση συνέπεια την ελάττωση της κατακόρυφης αντίδρασης, με αποτέλεσμα την ελάττωση της τριβής και την ολίσθηση αντικειμένων που συγκρατούνται με την τριβή (κεραμίδια, καπνοδόχοι).



Εικόνα 1.5. Αστοχία κολώνας 5όροφης οικοδομής (έτος κατασκευής 1997) που προκλήθηκε από το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (M=5.9) (Anastasiadis et al., 1999)

1.4.2.α. Διατμητικές Αστοχίες

Η πιο φαθυρή μορφή αστοχίας μελών, είναι από διάτμηση και συμβαίνει στις θέσεις μέγιστης διάτμησης, δηλαδή στα άκρα των στοιχείων (Εικόνα 1.5). Ένα φαθυρό μέλος αστοχεί απότομα μόλις αναλάβει τη μέγιστη έντασή του, δηλαδή χωρίς προειδοποίηση της επικείμενης αστοχίας. Διατμητική αστοχία σε ένα υποστύλωμα, μπορεί να εμφανισθεί κυρίως στο πάνω ή στο κάτω άκρο του όπου η διάτμηση είναι μέγιστη.

Μια πολύ συχνή μορφή αστοχίας δημιουργείται όταν το υποστύλωμα είναι κοντό. Κοντό υποστύλωμα εμφανίζεται σε κατασκευές όπου χρησιμοποιούνται τοιχοποιίες μεταξύ υποστυλωμάτων από το επίπεδο της πλάκας του ορόφου μέχρι το κάτω μέρος του παραθύρου, αφήνοντας έτσι ελεύθερο ένα σχετικά μικρό τμήμα του υποστυλώματος στο πάνω μέρος του.



Εικόνα 1.6. Αστοχία κοντού υποστυλώματος

Η διατμητική δύναμη που αναλαμβάνει το υποστύλωμα με ουσιαστικά μικρότερο ύψος, είναι μεγαλύτερη από αυτή που θα αναλάμβανε το αντίστοιχο υποστύλωμα με πλήρες ύψος. Εάν αυτό δεν ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς, και δεν τοποθετηθούν πολλοί και πυκνοί συνδετήρες, μπορεί να δημιουργηθεί διατμητική αστοχία στο «κοντό υποστύλωμα» (Εικόνα 1.6.), που σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε πλήρη αστοχία και κατάρρευση της κατασκευής.

1.4.2.β. Άλλες Περιπτώσεις Αστοχιών

Αστοχίες σε μέλη της κατασκευής μπορούν να εμφανιστούν:

Α) Όταν τοποθετηθούν υδρορροές εντός των υποστυλωμάτων μπορεί να προκληθεί τοπική αστοχία (Εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7



Εικόνα 1.8

Β) Όταν κατασκευάζονται κτίρια σε επαφή, ή πολύ κοντά μεταξύ τους, μπορεί να προκληθεί αστοχία από εμβολισμό. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν οι πλάκες των δύο γειτονικών κτιρίων δεν είναι στο ίδιο ύψος και η πάνω πλάκα του χαμηλότερου κτιρίου εμβολίζει τα υποστυλώματα του γειτονικού κτιρίου (Εικόνα 1.8).

Γ) Σε κτίρια με εκτεταμένη κάτοψη, όπου επιλέγεται η χρήση αρμών διαστολής, για περιορισμό των επιβαλλόμενων παραμορφώσεων από συστολή ξηράνσεως και θερμοκρασιακές μεταβολές, χρειάζεται ειδική διαμόρφωση και όπλιση των αρμών αυτών, ώστε τα μέλη που συντρέχουν σε αυτούς να μην κινδυνεύουν να χάσουν τη στήριξή τους, όταν δημιουργηθεί μεγάλο άνοιγμα των αρμών από τις οριζόντιες σεισμικές μετακινήσεις (Εικόνα 1.9)



Εικόνα 1.9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΗ - ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ – ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

2.1. Εισαγωγή

Το πρώτο πράγμα που απαιτείται μετά από ένα σεισμό μεγάλου μεγέθους, είναι η οπτική διαπίστωση των βλαβών που έχει υποστεί μια κατασκευή, με απώτερο σκοπό τη σύλληψη ενός συστήματος επισκευής-ενίσχυσης, ώστε να ληφθούν ορισμένα μέτρα τα οποία αφορούν την ασφάλεια:

- α) των ενοίκων (αν θα γίνει εκκένωση του κτιρίου ή όχι)
- β) των γειτόνων (αν θα γίνει κατεδάφιση μέρους ή όλου του κτιρίου που έχει υποστεί βλάβη)
- γ) του κτιρίου (αν θα γίνει άμεση υποστύλωση-αντιστήριξη ορισμένων στοιχείων ή του συνόλου της κατασκευής με σκοπό την αποφυγή αυξήσεως των βλαβών με το χρόνο, λόγω έντονων μεταβολών στη στατική λειτουργία)¹.

Ακολουθούν συνοπτικά τρόποι συμβατικής ενίσχυσης μιας κατασκευής μετά από ένα σεισμό.

2.2. Υποστυλώσεις

Με τον όρο υποστύλωση, εννοούμε τον τρόπο εκείνο με τον οποίο επιτυγχάνεται η ασφαλής λειτουργία του φέροντος οργανισμού σε κτίρια που έπαθαν σοβαρές ζημιές στα κατακόρυφα στοιχεία τους, όπως θραύση υποστυλωμάτων, ρηγματώσεις τοιχοποιιών ή στα οριζόντια στοιχεία τους, όπως βλάβες σε δοκούς ή πλάκες.

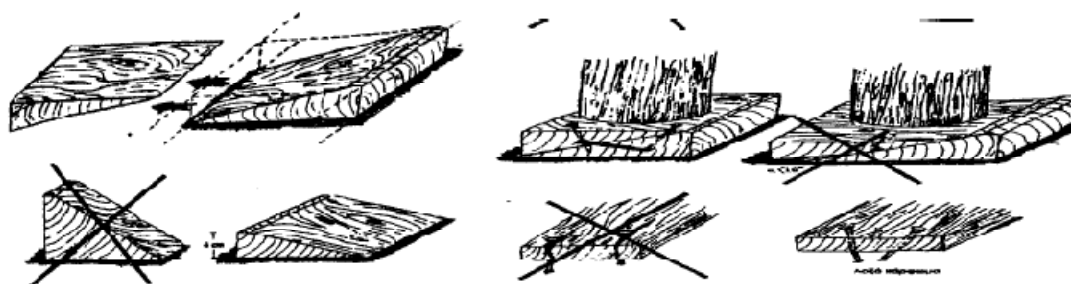
2.2.1. Μέθοδοι Ανάληψης Κατακόρυφων Φορτίων

- A) Υποστύλωση με Ξυλεία
- B) Υποστύλωση με Μεταλλικούς Στύλους ή Βιομηχανικά Ικρίωματα
- Γ) Υποστύλωση με Σιδηρές Διατομές

¹ Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρείου Πολιτικών Μηχανικών, 1992.

A) Υποστύλωση με Ξυλεία

Η υποστύλωση με λατάκια ή καδρόνια είναι φθηνή μέθοδος και συνίσταται για μικρές ζημιές. Εξίσου σημαντική, κρίνεται η σωστή εφαρμογή των σφηνώσεων, οι οποίες πρέπει να εδράζονται σε σταθερό υπόβαθρο για την επίτευξη ικανοποιητικής στήριξης.



Εικόνα 2.1. Τρόποι χρήσης των ξύλινων σφηνών

Συνοπτικά, η σφήνωση επιτυγχάνεται με χρήση ξύλινων σφηνών, οι οποίες θα αναλάβουν το θλιπτικό φορτίο της υποστύλωσης. Στην εικόνα 2.1. φαίνονται τα είδη της και οι τρόποι σφήνωσης μιας σφήνας, οι οποίοι πρέπει να τηρούνται, ώστε αυτή να μην καταπονείται καμπτικά όταν σφηνώνεται. Επιπλέον, φαίνεται η σωστή σύνδεση δυο σφηνών για εξασφάλιση έναντι ολίσθησης (με καρφιά ή μεταλλικά τζινέτια).

B) Υποστύλωση με Μεταλλικούς Στύλους ή Βιομηχανικά Ικριώματα

Η υποστύλωση με μεταλλικούς στύλους ή βιομηχανικά ικριώματα χρησιμοποιείται για την ανάληψη μικρών φορτίων ή πολύ ελαφρών ζημιών ή ακόμα και για την ανακούφιση καμπτόμενων στοιχείων (δοκών ή κυρίως πλακών). Η φέρουσα ικανότητα των μεταλλικών ικριωμάτων δίνεται από τους κατασκευαστές τους.

Τέλος να σημειωθεί, ότι ανάλογα με την παλαιότητα τους, η φέρουσα ικανότητα στύλων ή ικριωμάτων μπορεί να μειωθεί και αυτό πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

Γ) Υποστύλωση με Σιδηρές Διατομές

Η προσωρινή αυτή υποστύλωση, μπορεί να γίνει και μόνιμη αν σκυροδετηθεί, με την προϋπόθεση μεγάλου πάχους έγχυτου σκυροδέματος. Σαν μέθοδος, είναι ιδανική για προσωρινή υποστύλωση. Είναι όμως χρονοβόρα στην διεκπεραίωση της, αφού απαιτεί μεγάλο χρόνο παραμονής του συνεργείου στο χώρο εργασίας.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει όπως προαναφέρθηκε και ο μεταλλικός κλωβός, ο οποίος αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές περίσφιγξης.

2.2.2. Μέθοδοι Ανάληψης Οριζοντίων Φορτίων

A) Αντιστήριξη με Αντηρίδες

Η αντιστήριξη με αντηρίδες από ξύλο αποτελεί το πιο διαδεδομένο τρόπο ανάληψης οριζοντίων φορτίων που προέρχονται από απόκλιση της κατασκευής από την κατακόρυφο. Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου θα πρέπει να προσέχουμε ιδιαίτερα να γίνεται καλή αγκύρωση των αντηρίδων στο έδαφος για παραλαβή των οριζόντιων ωθήσεων, το κατακόρυφο σκέλος της αντηρίδας να συνδέεται με το κτίριο για να αποφεύγεται σχετική ολίσθηση και να διασφαλίζεται το κεκλιμένο σκέλος της κατασκευής της αντηρίδας από λυγισμό, είτε κάθετα είτε στο επίπεδο του, μέσω κατάλληλων συνδέσμων. Τέλος είναι και απαραίτητη η σύνδεση των κατακόρυφων στοιχείων μεταξύ τους με οριζόντιους συνδέσμους.

B) Αντιστήριξη με Διαγώνιους Συνδέσμους

Η αντιστήριξη με διαγώνιους συνδέσμους χρησιμοποιείται όταν δεν είναι εύκολη η αντιστήριξη με αντηρίδες. Οι συνδέσεις πρέπει να γίνονται στην περίμετρο της οικοδομής και σε ζεύγη για κάθε μια από τις διευθύνσεις των αξόνων συμμετρίας της οικοδομής. Οι διαγώνιοι σύνδεσμοι εμποδίζουν τις πλευρικές παραμορφώσεις, ενώ επιτρέπουν τη μεταφορά φορτίων σε υποστυλώματα ή δοκούς, που δεν έχουν αστοχήσει. Οι διαγώνιοι σύνδεσμοι στο σημείο τομής, πρέπει να εξασφαλίζονται έναντι λυγισμού.

Γ) Αντιστήριξη με Εσωτερικές Αγκυρώσεις ή με Ελκυστήρες (Δακτυλίους) – Ιπτάμενη Αντιστήριξη

Οι αγκυρώσεις χρησιμοποιούνται για μικτές κατασκευές, (πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσες τοιχοποιίες) για συγκράτηση τοίχων που έχουν αποκολληθεί και αποκλίνουν από την κατακόρυφο, ενώ οι ελκυστήρες σε περιπτώσεις απόκλισης από την κατακόρυφο, λόγω απωθητικών δυνάμεων τόξου. Η ιπτάμενη αντιστήριξη υλοποιείται όταν υπάρχει έλλειψη χώρου, απαιτείται διέλευση πεζών ή άλλων από το σημείο βλάβης, ή δεν μπορούν να στερεωθούν αντηρίδες κοντά στο βλαμμένο κτίριο. Σαν κατασκευή είναι δύσκολη και πρέπει να αποφεύγεται ενώ δεν ενδείκνυται για μεγάλες αποστάσεις τοίχων (>7 m).

Δ) Ειδική Μέθοδος Αντιστήριξης Κατασκευών από Τοιχοποιία

Η μέθοδος αυτή, γνωστή ως strapping, ουσιαστικά προσπαθεί να ξαναδώσει στην κατασκευή τη χαμένη κατασκευαστική της συνέχεια, βελτιώνοντας προσωρινά την ευστάθεια της με χρήση σφικτών μεταλλικών καλωδίων γύρω από συγκεκριμένες θέσεις όπως στις κορυφές των τοίχων ή στα επίπεδα των πατωμάτων.

Ε) Οριζόντιες και Κατακόρυφες Αντηρίδες σε Τοιχοποιία

Οι οριζόντιες αντηρίδες, είναι χρήσιμες για την ελάττωση του μήκους λυγισμού σε κτίρια με μεγάλο ύψος ορόφων, ή για την εγκατάσταση πρόσθετων στηριγμάτων, όταν η στήριξη του τοίχου γίνεται κατά την κατακόρυφη έννοια. Οι κατακόρυφες αντηρίδες είναι χαλύβδινα ή από οπλισμένο σκυρόδεμα πλαίσια, σε άμεση επαφή με την τοιχοποιία, με την οποία ενώνονται με μπουλόνια ή λάμες.

2.3. Επισκευή και Ενίσχυση Φέροντος Οργανισμού

Ο φέροντας οργανισμός του δομικού έργου ενισχύεται ή επισκευάζεται ανάλογα με τον βαθμό ζημιών που έχει υποστεί. Η ενίσχυση ή η επισκευή της κατασκευής μπορεί να γίνει με ρητινενέσεις ή ρητινοκονιάματα, οπλισμένους μανδύες, επικολλήσεις ελασμάτων, μεταλλικούς κλωβούς, προσθήκη τοιχωμάτων και σύνθετα υλικά (FRP).

2.3.1. Τοπική Ενίσχυση

Ρητινενέσεις και ρητινοκονιάματα χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης ρωγμών σκυροδέματος ή τοιχοποιίας, χωρίς συντριβή στο σκυρόδεμα ή διάρρηξη από οπλισμούς. Αποτελούνται συνήθως από δύο συστατικά τα οποία μετά την ανάμιξή τους σκληρύνονται, αναπτύσσοντας μηχανικά χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από την χημική σύσταση των συστατικών υλικών και την αναλογία τους. Οι ρητίνες αυτούσιες στη ρευστή τους κατάσταση χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση ρωγμών πλάτους από 0,1mm ως 3mm σε άοπλο και σε οπλισμένο σκυρόδεμα. Επίσης χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση νέου σκυροδέματος σε παλιό και για την συγκόλληση οπλισμού ή μεταλλικών ενισχύσεων σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα.

2.3.2. Οπλισμένοι Μανδύες

Οι μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα εφαρμόζονται στην περίπτωση βαρείας βλάβης ή μη επαρκούς σεισμικής ικανότητας του στύλου. Ανάλογα με τις υφιστάμενες τοπικές συνθήκες οι μανδύες εφαρμόζονται περιμετρικά, που είναι και το ιδεώδες, ή και μονόπλευρα. Συνίσταται οι μανδύες να διαπερνούν την οροφή και το δάπεδο του ορόφου στον οποίο κατέστη αναγκαία η κατασκευή τους.

Ανάλογα με το υλικό σκυροδέτησης οι οπλισμένοι μανδύες διακρίνονται σε μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα, από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, από σκυροτσιμεντόπηγμα και από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.

Η τεχνική ενίσχυσης με οπλισμένο μανδύα προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή, δυσκαμψία και ικανότητα απορρόφησης ενέργειας.

2.3.3. Επικολλήσεις Ελασμάτων

Τα μεταλλικά ελάσματα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση στοιχείων σκυροδέματος. Η σωστή εφαρμογή τους απαιτεί επιμελημένη προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος και επάλειψη της με κατάλληλες εποξειδικές ρητίνες. Γίνεται με τη χρήση εποξειδικής ρητίνης πάνω σε μπετόν, σε σημεία όπως οι δοκοί και τα υποστηλώματα. Τα ελάσματα πρέπει να είναι λεπτά (συνήθως 1 έως 1.5 mm) για να περιορισθεί η τάση αποκολλήσεως και επίσης για να είναι εύκαμπτα ώστε να κολλήσουν καλά και να συνεργαστούν με την υπάρχουσα δοκό.

2.3.4. Μεταλλικοί Κλωβοί

Οι μεταλλικοί κλωβοί χρησιμοποιούνται συνήθως για την ενίσχυση υποστυλωμάτων. Συνίσταται από μεταλλικά ελάσματα που τοποθετούνται στις γωνίες των υποστυλωμάτων και συνδέονται μεταξύ τους με συγκολλημένες μεταλλικές λάμες. Η μέθοδος αποσκοπεί στην αύξηση της περισφιξης του σκυροδέματος, με επακόλουθο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του υποστυλώματος. Όσον αφορά στη χρήση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ως μεθόδων επισκευής, είναι γνωστό ότι και οι δυο μέθοδοι απαιτούν ιδιαίτερη προετοιμασία του χώρου που θα γίνει η επέμβαση. Τις περισσότερες φορές απαιτείται εκκένωση του προς ενίσχυση χώρου από τους ενοίκους του, τουλάχιστον για το χρονικό διάστημα που διαρκούν οι εργασίες επισκευής. Το γεγονός αυτό είναι από μόνο του σημαντικό καθώς ανεβάζει το συνολικό κόστος του έργου.

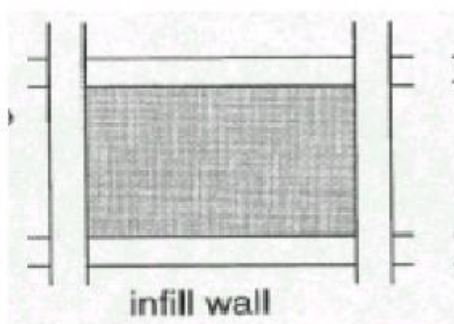
2.3.5. Προσθήκη Τοιχωμάτων

Τα τοιχώματα μειώνουν τις συνολικές μετατοπίσεις του κτιρίου κατά τη σεισμική κίνηση σε επίπεδα ανεκτά για την ικανότητα παραμόρφωσης των υπάρχουσών μελών. Με τον τρόπο αυτό, ένα κτίριο που μπορεί να χαρακτηριστεί εύκαμπτο, γίνεται πιο ευσταθές, μειώνεται η επιρροή των φαινομένων δευτέρας τάξεως, ενώ πιθανά προβλήματα σε δευτερεύοντα στοιχεία (τοίχοι πληρώσεως, υαλοστάσια) ή με γειτονικά κτίρια αποφεύγονται σε πιθανό μελλοντικό σεισμό. Οι τεχνικές προσθήκης τοιχωμάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους είναι οι ακόλουθες τρεις:

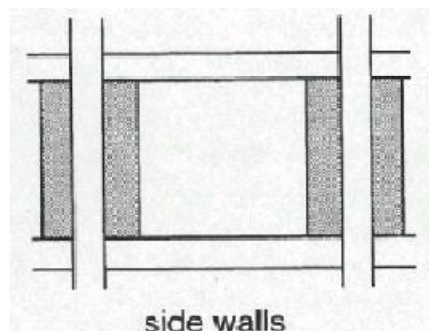
1) Τοιχώματα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευαζόμενα επί τόπου. Τα τοιχώματα αυτά, τοποθετούνται σε επιλεγμένα πλαίσια εσωτερικά ή περιμετρικά της κάτοψης.

2) Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels) (Εικόνα 2.2.α). Η τεχνική αυτή είναι πιο εύκολη κατασκευαστικά και οικονομικότερη σε σχέση με την προηγούμενη. Η τοποθέτηση των τοιχωμάτων γίνεται όπως και πριν, αλλά η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας είναι μικρότερη.

3) Πλευρικά τοιχώματα σε συνέχεια υποστυλωμάτων (Εικόνα 2.2.β). Τα τοιχώματα αυτά, προστίθενται με στόχο την αύξηση της ολκιμότητας της κατασκευής, με ταυτόχρονη μικρή αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας. Τοποθετούνται σε γωνιακά υποστυλώματα σε δύο διευθύνσεις ή σε εσωτερικά υποστυλώματα κατά μία διεύθυνση. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ή ακόμη και προκατασκευασμένα στοιχεία².



Εικόνα 2.2.α



Εικόνα 2.2.β

2.3.6. Σύνθετα Υλικά (Fibre-Reinforced Plastic - FRP)

Η χρήση των σύνθετων υλικών για την ενίσχυση κατασκευών μπορεί να θεωρηθεί ως η φυσική εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα. Ενώ παλιότερα χρησιμοποιούσαν ίνες χάλυβα, σήμερα χρησιμοποιούν ίνες πολυμερών. Τα σύνθετα υλικά αρχικά χρησιμοποιήθηκαν ευρέως και αποκλειστικά σε τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυσιπλοΐα, η αεροναυπηγική, η αεροδιαστημική, τα είδη ηλεκτρονικών συσκευών και τα αθλητικά είδη. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει η εικόνα αυτή καθώς ένα μεγάλο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής, απορροφάται στο πεδίο των τεχνικών έργων.

² Δρίτσος Σ., (2002) “Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Εκδόσεις Παν.Πατρών, Πάτρα.

Η μέθοδος ενίσχυσης με σύνθετα υλικά στηρίζεται στην χρήση ινών κυρίως άνθρακα και γυαλιού και σπανιότερα αραμιδίου, σε συνδυασμό με εποξειδική ρητίνη ή κάποιο είδος ρητινούχου κονιάματος. Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος συνίσταται στην επικόλλησή τους στις εξωτερικές επιφάνειες δομικών στοιχείων, με τέτοια διεύθυνση ινών ώστε να παραλαμβάνουν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των συνθέτων υλικών είναι η ανθεκτικότητα σε διάβρωση και η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή τους (πολλαπλάσια του κοινού χάλυβα) που συνδυάζεται με το χαμηλό τους βάρος.

Η εκτεταμένη βιομηχανική παραγωγή των συνθέτων υλικών εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητά τους σε πολύ μεγάλα μήκη και σε εύκαμπτη μορφή. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής είναι η εφαρμογή της σε δυσπρόσιτα τμήματα των κατασκευών επιφέροντας σχετικά μικρή όχληση.

Τέλος, το υψηλό κόστος στην παραγωγή των συνθέτων υλικών θεωρείται ένας ανασταλτικός παράγοντας στη χρήση των συνθέτων υλικών, ο οποίος όμως μετριάζεται λόγω της ταχύτητας και της ευκολίας στην εφαρμογή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1. Εισαγωγή

Η φιλοσοφία των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών στηρίζεται στο γεγονός ότι τα υλικά του δομικού έργου μπορούν να απορροφήσουν ποσοστό της σεισμικής ενέργειας λόγω της πλάστιμης συμπεριφοράς τους. Αυτό οδηγεί στον σχεδιασμό δομικών έργων που ανθίστανται τους σεισμούς μικρής έντασης χωρίς βλάβες, τους σεισμούς μεσαίας έντασης με επισκευάσιμες βλάβες και τους καταστροφικούς σεισμούς χωρίς κατάρρευση.

Μια διαφορετική αντιμετώπιση των σεισμικών δράσεων στις κατασκευές γίνεται με την χρήση συστημάτων ελέγχου ταλαντώσεων των κατασκευών όπως και με την χρήση της σεισμικής μόνωσης.

Τα συστήματα ελέγχου ταλαντώσεων των κατασκευών είναι ο πιο σύγχρονος τρόπος αντιμετώπισης του σεισμού στις κατασκευές. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ειδικές συσκευές που μπορούν να ελέγχουν τις ταλαντώσεις των κατασκευών. Στην σεισμική μόνωση περιορίζεται το ποσοστό ενέργειας που μπορεί να εισαχθεί από μια σεισμική διέγερση απομονώνοντας την κατασκευή από το έδαφος.

Η έννοια της μόνωσης των κτιρίων από τις σεισμικές δράσεις είναι γνωστή από τους αρχαίους χρόνους. Στις ελληνικές αποικίες της νότιας Ιταλίας του 5ου π.χ. αιώνα τοποθετούσαν ανάμεσα στη θεμελίωση και την ανωδομή ένα στρώμα άμμου, το οποίο αποτελεί το πρώτο αρχειοθετημένο εφέδρανο³.

Μια από τις πιο παλιές εφαρμογές σεισμικής μόνωσης εμφανίζεται στον Παρθενώνα, όπου μετά από μελέτες ανακάλυψαν ότι δεν έχει θεμέλια και είναι τριπλά μονωμένος σεισμικά. Ο λόφος της Ακροπόλεως έχει ισοπεδωθεί στην κορυφή του και εκεί επάνω τοποθετήθηκαν οριζόντια, τεράστια επεξεργασμένα διαδοχικά στρώματα λείων μαρμάρων. Οριζόντια οι πλάκες κάθε στρώματος συνδέονται με μεταλλικούς ελαστικούς συνδέσμους όπου έχουμε στο κέντρο μικρούς σιδηροπασσάλους και γύρω έχει χυθεί μολύβι, γεμίζοντας τελείως τον ενδιάμεσο χώρο.

³ «Σεισμική προστασία κτιρίων με τεχνικές σεισμομόνωσης», Δελτίο ΣΠΜΕ Νο 315 Μάρτιος 2004, του Δ.Α.Γεωργούλια

Το μολύβι προστατεύει τον σίδηρο από τη σκουριά αλλά επιπλέον επιτρέπει με την ελαστικότητά του να εξασθενήσει το σεισμικό κύμα, καθώς ένα μέρος της κινητικής του ενέργειας θα μετατραπεί σε θερμότητα. Οι κολόνες δεν είναι μονοκόμματα, αλλά από φέτες μαρμάρου τέλεια εφαρμοσμένες η μία επάνω στην άλλη. Τα επιφανειακά σεισμικά κύματα κάνουν μόνο να κινηθεί το ένα στρώμα των μαρμάρινων πλακών επάνω στο άλλο, οι σύνδεσμοι ενεργούν και αυτοί εξασθενητικά ενώ οι εύκαμπτες κολόνες επιτρέπουν στο όλο οικοδόμημα να ταλαντωθεί αλλά να μην καταρρεύσει. Αν δηλαδή δεν είχε μεσολαβήσει η έκρηξη των πυρομαχικών την εποχή του Ιταλού Μοροζίνι όλα θα ήταν στη θέση τους στην Ακρόπολη ακόμη και σήμερα.

Η σεισμική μόνωση φαίνεται ότι ήταν γνωστή και σε λαούς όπως οι Αιγύπτιοι οι Βαβυλώνιοι και οι Πέρσες. Έτσι μεταγενέστερα βρίσκουμε ότι τα περσικά τζαμιά θεμελιώνονται επάνω σε μια σχάρα από κορμούς δέντρων μέσα σε μια υπόγεια φλέβα νερού.

Στην σύγχρονη εποχή η σεισμική μόνωση άρχισε να εμφανίζεται με χρήση ειδικών διατάξεων απόσβεσης ενέργειας. Η πρώτη σχετική πρόταση φαίνεται ότι διατυπώθηκε το 1891 στην Ιαπωνία και προέβλεπε τη στήριξη ενός κτιρίου σε δύο επάλληλες στρώσεις κορμών κάθετα τοποθετημένων μεταξύ τους ώστε να επιτρέπεται η κύλιση του κτιρίου σε δύο διευθύνσεις.

Στις αρχές 20ου αιώνα παρουσιάστηκαν πολλές παραλλαγές της ιδέας της μόνωσης οι οποίες εστίαζονταν κυρίως στη διαμόρφωση ενός απλού επιπέδου κύλισης ή ολίσθησης μεταξύ θεμελίωσης και ανωδομής με τοποθέτηση σκληρών σφαιρών, σκόνης ορυκτού μαγνησίου και άλλα παρόμοια. Καμία από τις παραπάνω ιδέες δεν υλοποιήθηκε.

Το 1928 στην Ιαπωνία πραγματοποιήθηκε η πρώτη εφαρμογή η οποία περιελάμβανε την τοποθέτηση κατακόρυφων σφαιρικών στηρίξεων κινούμενων σε μεταλλικούς οδηγούς.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 στην Ευρώπη μονώθηκαν κτίρια με χρήση ελαστικών σφαιρών. Το κύριο πρόβλημα στη σύλληψη αυτών των διατάξεων ήταν ότι δεν εξασφάλιζαν καμία δύναμη επαναφοράς στην κατασκευή ώστε να περιορίζονται οι μετακινήσεις σε ανεκτά μεγέθη.

Επιπλέον, η παρεχόμενη απόσβεση ήταν μάλλον ανεπαρκής ενώ σε κάποιες περιπτώσεις οι αρχικές δυνάμεις τριβής που έπρεπε να υπερνικηθούν για να ενεργοποιηθεί η διάταξη ήταν πολύ μεγάλες.

Το 1969 στα Σκόπια εφαρμόζονται ελαστικά εφέδρανα σε τριώροφο σχολείο ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1970 εμφανίζονται τα σύγχρονα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τα οποία προσφέρουν και απόσβεση με τρόπους που θα αναπτυχθούν παρακάτω. Τη δεκαετία του 1980 εφαρμόσθηκε η σεισμική μόνωση σε κτίρια στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Το 1985 αναπτύσσεται το εκκρεμές τριβής, το οποίο αποτελεί τον κυριότερο εκπρόσωπο μιας νέας γενιάς συστημάτων ολίσθησης, τα οποία εξασφαλίζουν και δύναμη επαναφοράς.

Η σεισμική μόνωση δεν επεμβαίνει στα δομικά στοιχεία τις κατασκευής με στόχο την αύξηση του ποσού ενέργειας που αυτά μπορούν να δεχθούν με ασφάλεια, αλλά περιορίζει το ποσό της ενέργειας που μπορεί να εισαχθεί στην κατασκευή από μια δεδομένη διέγερση. Η σεισμική μόνωση δεν είναι ευρέως εφαρμοζόμενη λόγω του σχετικά υψηλού της κόστους, όμως εμφανίζεται ιδιαίτερα πλεονεκτική έναντι των άλλων μεθόδων σε τέσσερις κυρίως περιπτώσεις:

α) Στην περίπτωση κτιρίων μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας στον αρχιτεκτονικό ιστό των οποίων, οποιαδήποτε σημαντική επέμβαση θα αλλοίωνε ουσιαστικά το χαρακτήρα τους και θα μείωνε την αξία τους.

β) Στην περίπτωση κτιρίων που περιέχουν αντικείμενα μεγάλης αξίας ή τα μη φέροντα αρχιτεκτονικά στοιχεία (π.χ. γλυπτός και ζωγραφικός διάκοσμος) είναι πιο πολύτιμα και πιο ευαίσθητα απ' ότι ο ίδιος ο φέρων οργανισμός (μουσεία, δημόσια μέγαρα, βιομηχανικές μονάδες κ.α.).

γ) Στην περίπτωση κατασκευών για τις οποίες απαιτείται υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας ακόμα και μετά από ένα πολύ ισχυρό σεισμό (νοσοκομεία, πυροσβεστικές εγκαταστάσεις, εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών, δεξαμενές καυσίμων κοκ).

δ) Στη περίπτωση που αντιμετωπίζονται ιδιαίτερα προβλήματα με τη θεμελίωση και επιθυμούμε να μειώσουμε τις δυνάμεις που θα ασκηθούν σε αυτή κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

3.2. Συστήματα Ελέγχου Ταλάντωσης και Σεισμικής Μόνωσης

Εκτός από τον συμβατικό τρόπο σχεδιασμού των αντισεισμικών κατασκευών υπάρχει κ άλλος τρόπος αποφυγής ζημιών ή κατάρρευσης της κατασκευής με την χρήση συσκευών που μπορούν να ελέγχουν τις ταλαντώσεις της κατασκευής ή να την απομονώσουν από το έδαφος. Ο έλεγχος των ταλαντώσεων μια κατασκευής γίνεται με την χρήση παθητικών, ενεργητικών ή υβριδικών συστημάτων ελέγχου.

A) Παθητικά (Passive) συστήματα ελέγχου.

Τα παθητικά συστήματα είναι σχεδιασμένα να αποσβέουν μεγάλο τμήμα της ενέργειας του σεισμού με ειδικές συσκευές που τοποθετούνται στις κατασκευές. Δεν απαιτούν πρόσθετη πηγή ενέργειας για να λειτουργήσουν και ενεργοποιούνται από τον σεισμό. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι μερικές από αυτές τις συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην βάση μιας κατασκευής σαν κομμάτι της σεισμικής μόνωσης ή σαν συνδυασμός με ζευκτά πλαίσια ή τοίχους σαν συσκευές απόσβεσης ενέργειας. Αυτά τα συστήματα ελέγχου στοχεύουν στη μείωση του κόστους.

B) Ενεργητικά (Active) συστήματα ελέγχου.

Τα ενεργητικά συστήματα παρέχουν σεισμική προστασία με την επιβολή δυνάμεων σε μια κατασκευή με τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχει τις ταλαντώσεις της. Απαιτούν μια πηγή ενέργειας και ηλεκτρονικά - ελεγχόμενους ενεργοποιητές. Τα ενεργητικά συστήματα είναι πιο πολύπλοκα από τα παθητικά αφού χρειάζονται έλεγχο μέσω υπολογιστή, αισθητήρες κινήσεως, μηχανισμούς ανατροφοδότησης και κινούμενα κομμάτια που μπορεί να χρειάζονται επισκευές ή συντήρηση. Επίσης αυτά τα συστήματα χρειάζονται μια επιπλέον πηγή ενέργειας όταν γίνεται διακοπή ρεύματος για να εξασφαλιστεί η λειτουργία τους κατά την διάρκεια ενός μεγάλου σεισμού και των άμεσων μετασεισμών.

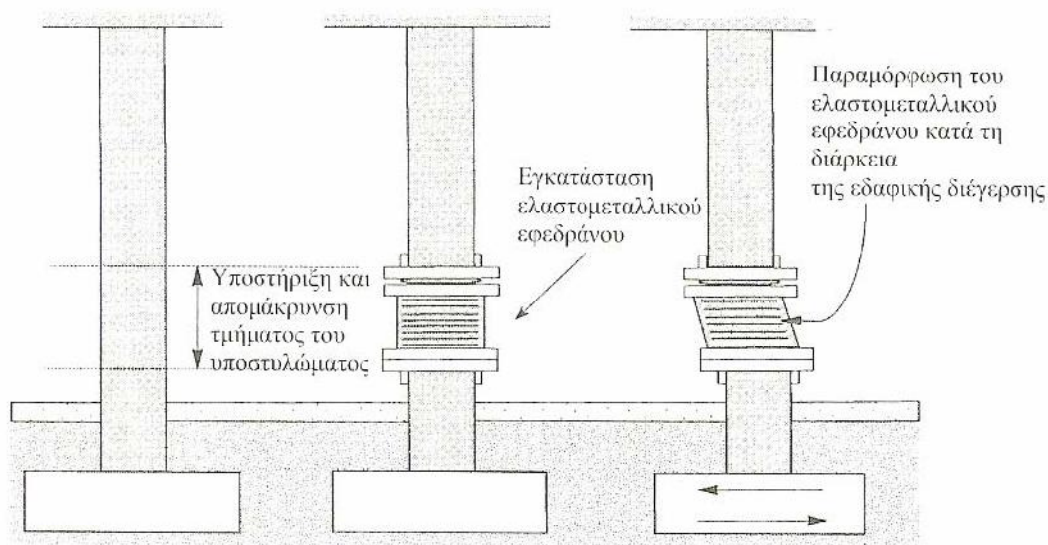
Γ. Υβριδικά (Hybrid) συστήματα ελέγχου.

Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν χαρακτηριστικά και των παθητικών και των ενεργητικών συστημάτων ελέγχου. Συγκρινόμενα με τα ενεργητικά συστήματα απαιτούν μικρότερη ενέργεια, έχουν χαμηλότερο κόστος και είναι πιο αξιόπιστα.

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθούν εκτεταμένα τα παθητικά συστήματα με έμφαση στην σεισμική μόνωση και θα παρουσιαστούν εν συντομία κάποια ενεργητικά και υβριδικά συστήματα.

3.3. Τυπική Διαδικασία Εγκατάστασης

Η τυπική διαδικασία εγκατάστασης ενός συστήματος σεισμικής μόνωσης σε υπάρχουσα κτίρια περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια. Καταρχήν τα υποστυλώματα που έχουν σχεδιαστεί να δεχτούν το εφέδρανο υποστηρίζονται και ένα τμήμα τους κοντά στη βάση απομακρύνεται. Στη συνέχεια με τη βοήθεια γρύλων τοποθετείται το εφέδρανο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4. Αν απαιτείται, η θεμελίωση ενισχύεται ή επανακατασκευάζεται πριν από την τοποθέτηση των εφεδράνων. Συνήθης πρακτική είναι η κατασκευή δύσκαμπτης θεμελίωσης όπου τοποθετούνται τα εφέδρανα⁴.



Εικόνα 3.4. Διαδικασία εγκατάστασης και συμπεριφορά ελαστομεταλλικού εφεδράνου

⁴ «Σεισμική προστασία κτιρίων με τεχνικές σεισμομόνωσης», Δελτίο ΣΠΜΕ Νο 315 Μάρτιος 2004, του Δ.Α.Γεωργούλια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

4.1. Εισαγωγή

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 πιέσεις ανέμων και σεισμούς μικρής έντασης.

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. 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. Οι ιδιοπερίοδοι αυτοί αντιστοιχούν σε δύσκαμπτες αλλά και σε σχετικά εύκαμπτες κατασκευές.
- Τέλος το μέγεθος των ανεμοφορτίων σχεδιασμού καθώς και των υπόλοιπων μη σεισμικών πλευρικών φορτίων να μην ξεπερνά το 10 % του βάρους του κτιρίου.

Γενικά, τρία είναι τα στοιχεία που πρέπει να διαθέτει μια διάταξη σεισμικής μόνωσης :

α) Να εξασφαλίζει αποσύνδεση της ανωδομής με το κάτω μέρος της κατασκευής

β) Να παρέχει δύναμη επαναφοράς και

γ) Να προκαλεί απόσβεση.

Κάθε μία από τις παραπάνω απαιτήσεις μπορεί να καλύπτεται είτε από μια ξεχωριστή συσκευή, πρακτική που εφαρμόζεται κυρίως στην Ιαπωνία, είτε μία συσκευή να παρέχει και τις τρεις απαιτήσεις.

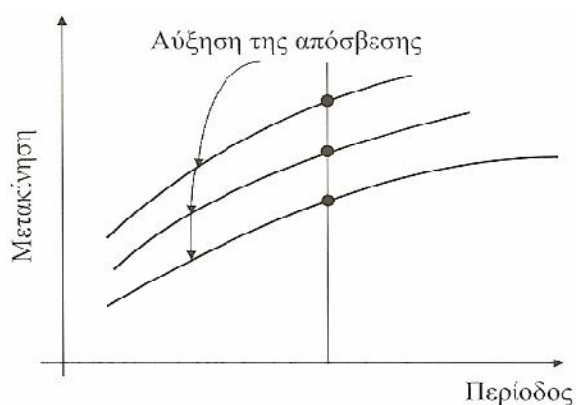
4.2. Ο στόχος της σεισμικής μόνωσης

Η τεχνική της σεισμικής μόνωσης περιλαμβάνει την εγκατάσταση ειδικών διατάξεων στο κτίριο που μεταβάλλουν ριζικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και εξασφαλίζουν την ευνοϊκότερη απόκρισή της κατά τις αναμενόμενες δυναμικές διεγέρσεις. Η ευνοϊκή αυτή απόκριση είναι το αποτέλεσμα της επίτευξης τριών πιο άμεσων στόχων:

α) Να προσδώσουμε στην κατασκευή μια συγκεκριμένη επιθυμητή ιδιομορφή με όσο το δυνατό μεγαλύτερο συντελεστή συμμετοχής. Όταν εφαρμόζεται σεισμική μόνωση μια από τις βασικές επιδιώξεις είναι η προστασία των μη φερόντων στοιχείων με μείωση της σχετικής μετακίνησης των ορόφων. Επομένως επιθυμητή ιδιομορφή θεωρείται αυτή κατά την οποία το μεγαλύτερο μέρος της μετακίνησης στην κορυφή εμφανίζεται ως σχετική μετακίνηση δύο τμημάτων της κατασκευής σε κάποιο επίπεδο μόνωσης, ενώ η κίνηση του άνω τμήματος είναι σε μεγάλο βαθμό αυτή του άκαμπτου σώματος. Η σχετική μετακίνηση στο επίπεδο μόνωσης παραλαμβάνεται με παραμορφώσεις ή ολίσθηση στις συσκευές μόνωσης οι οποίες είναι ειδικά σχεδιασμένες για το σκοπό αυτό.

β) Η ιδιοσυχνότητα που αντιστοιχεί σε αυτή την ιδιομορφή πρέπει να είναι επαρκώς απομακρυσμένη από τις κυρίαρχες ιδιοσυχνότητες της διέγερσης, έτσι ώστε, η επιτάχυνση απόκρισης, και κατά συνέπεια και οι αντίστοιχες ελαστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται επί της κατασκευής, να είναι αρκετά μικρές.

γ) Ο τρίτος στόχος είναι η απορρόφηση ενέργειας (απόσβεση) από στοιχεία σεισμικής μόνωσης ειδικά σχεδιασμένα για το σκοπό αυτό. Η απόσβεση είναι πολλαπλώς ευεργετική για την κατασκευή. Παρατηρώντας, τα φάσματα μετακινήσεων (Εικόνα 4.1) διαπιστώνουμε ότι η επιμήκυνση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής οδηγεί σε αύξηση των μετατοπίσεων.

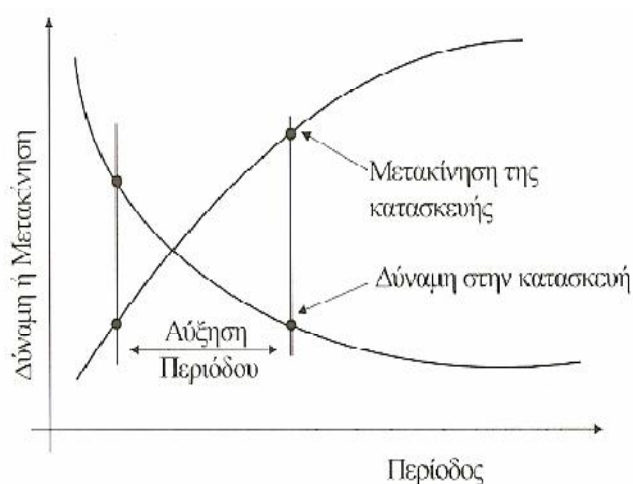


Εικόνα 4.1. Μεταβολή της μετακίνησης λόγω αύξησης της απόσβεσης "Ενίσχυση

κατασκευών για σεισμικά φορτία" Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

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. Για τον περιορισμό αυτών των μετακινήσεων ενδείκνυται η αύξηση της απόσβεσης πάντα, όμως, με μέτρο για τους λόγους που θα εξηγήσουμε παρακάτω.

Η μείωση της σεισμικής απαίτησης επιτυγχάνεται με αύξηση της ιδιοπεριόδου των κατασκευών. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. καθώς η περίοδος αυξάνει η μεταδιδόμενη σεισμική δύναμη μειώνεται με ταυτόχρονη αύξηση της πλευρικής μετακίνησης.



Εικόνα 4.2. Μεταβολή της σεισμικής δύναμης και της μετακίνησης λόγω σεισμικής μόνωσης "Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία" Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

4.3. Τύποι εφεδράνων

Οι βασικοί τύποι εφεδράνων είναι:

- **Ελαστομεταλλικά εφέδρανα:** Στρογγυλοί και τετραγωνικού σχήματος μονωτές βάσεων φτιαγμένοι από πολυστρωματικό συνθετικό ελαστικό (Elastomeric Lead Bearing - ELB)
- **Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου:** Στρογγυλοί και τετραγωνικού σχήματος μονωτές βάσεων φτιαγμένοι από πολυστρωματικό φυσικό ελαστικό με πυρήνα εσωτερικού μολύβδου (Lead Rubber Bearing/ Lead Rubber Bearing Square type - LRB/ LRB-s)
- **Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης:** Στρογγυλοί και τετραγωνικού σχήματος μονωτές βάσεων φτιαγμένοι από πολυστρωματικό φυσικό ελαστικό υψηλής απόσβεσης (High Damping Rubber Bearings - HDRBs)

- **Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης με πυρήνα μολύβδου:** Στρογγυλοί και τετραγωνικού σχήματος μονωτές βάσεων φτιαγμένοι από πολυστρωματικό φυσικό ελαστικό υψηλής απόσβεσης με πυρήνα εσωτερικού μολύβδου (Lead High Damping Rubber Bearings - LHDRBs)
- Σύστημα ολίσθησης μόνωσης εκκρεμούς τριβής (Friction Pendulum System – FPS)
- Σύστημα σεισμικής μόνωσης που χρησιμοποιούν πολυστρωματικό φυσικό ελαστικό (Rubber Bearing/Rubber Bearing Square type RB/RB-s)
- Σύστημα ολίσθησης μόνωσης βάσεων που ενσωματώνουν πολυστρωματική πλάκα από φυσικό ελαστικό (Sliding Support with Rubber-pad - SSR)

4.3.1. Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα – Elastomeric Lead Bearing (ELB)

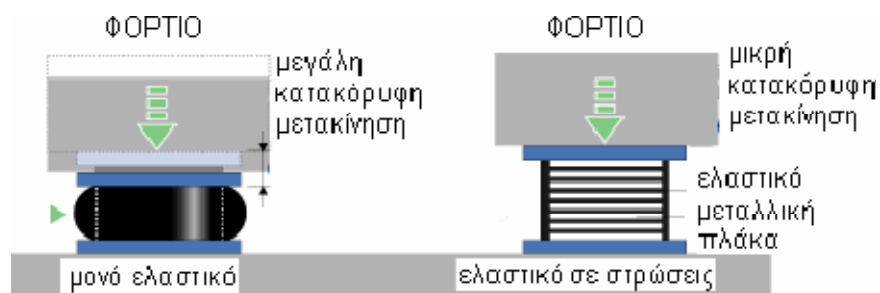
Πρόκειται για τον απλούστερο, πιο εύχρηστο και πιο δημοφιλή τύπο εφεδρανών σεισμικής μόνωσης τα οποία είναι είτε φυσικά είτε συνθετικά ελαστομεταλλικά έφεδρανα χαμηλής απόσβεσης και συνδέονται με ένα μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας. Το σχήμα τους είναι κυλινδρικό ή τετραγωνικής μορφής και αποτελούνται από επάλληλα στρώματα ελαστομερούς και χαλύβδινων ελασμάτων. Τα χαλύβδινα ελάσματα είναι υπεύθυνα για την αυξημένη κατακόρυφη δυσκαμψία των εφεδράνων 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 στην εικόνα 4.3.

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.



Εικόνα 4.3. Ελαστομεταλλικό εφέδρανο

Οι εσωτερικές μεταλλικές πλάκες παρέχουν την ικανότητα στήριξης του κάθετου φορτίου και στιβαρότητα και αποτρέπουν την κύρτωση του ελαστικού. Συγκεκριμένα, οι μεταλλικές πλάκες περιορίζουν τα στρώματα ελαστικού καθώς τα κάθετα φορτία εφαρμόζονται στο ELB, παρέχοντας κάθετη δυσκαμψία (Εικόνα 4.4).



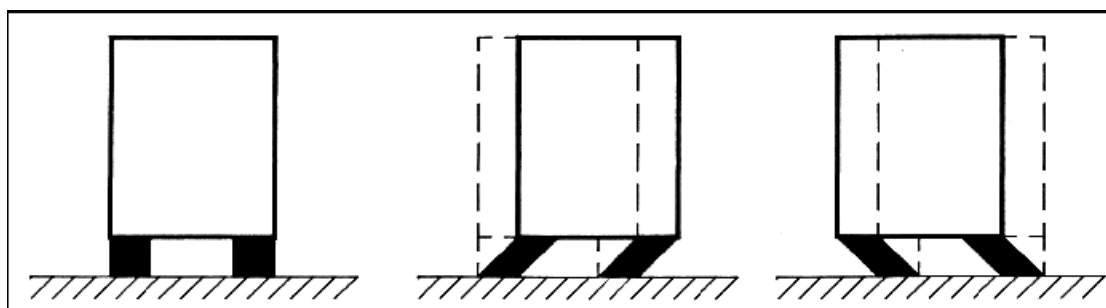
Εικόνα 4.4. Όσο μειώνεται το πάχος των στρώσεων τόσο αυξάνεται η κατακόρυφη δυσκαμψία

Οι στρώσεις του ελαστικού παρέχουν οριζόντια (διατμητική) παραμορφωσιμότητα, είναι βουλκανισμένες και δένονται με τα λεπτά μεταλλικά ελάσματα υπό πίεση και θερμότητα. Η παραμορφωσιμότητα ελέγχεται επιλέγοντας τον αριθμό των στρώσεων και το κατάλληλο πάχος κάθε στρώσης ελαστικού.

Λεπτά μεταλλικά ελάσματα τοποθετούνται στη βάση και στην επιφάνεια του εφεδράνου και του επιτρέπουν να είναι γερά συνδεδεμένο με τα θεμέλια από κάτω και με την ανωδομή από πάνω.

Το ELB έχει ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης μιας και δεν έχει κινούμενα στοιχεία που να εκτίθενται σε συνθήκες διάβρωσης. Όμως το κόστος των ELB είναι σχετικά υψηλό απαγορεύοντας την ευρεία χρήση τους σε οικείες, εμπορικά κτίρια και γραφεία. Το υψηλό κόστος προκύπτει λόγω των ειδικών κατασκευαστικών απαιτήσεων και το κόστος εργαστηρίου. Τα μεταλλικά ελάσματα πρέπει να κοπούν στο ίδιο μέγεθος, να περάσουν από αμμοβολή και να καθαριστούν χημικά. Μετά πρέπει να τα επιχρίσουν με ένα συνθετικό υλικό, όπου πάνω τους τοποθετούνται τα ελαστικά στρώματα και τέλος όλα μαζί μπαίνουν σε καλούπι για να συγκολληθούν με βουλκανισμό. Στη συνέχεια το καλούπι οδηγείται σε ένα πιεστήριο για πολλές ώρες.

Τέλος χρησιμοποιείται ελαστικό για να τυλιχτεί το εφέδρανο ως ένα πρόσθετο μέτρο προστασίας των μεταλλικών ελασμάτων από την οξείδωση. Επιπροσθέτως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά αντιπυρικά κάλυπτρα για την προστασία των εφεδράνων σε περιπτώσεις φωτιάς.

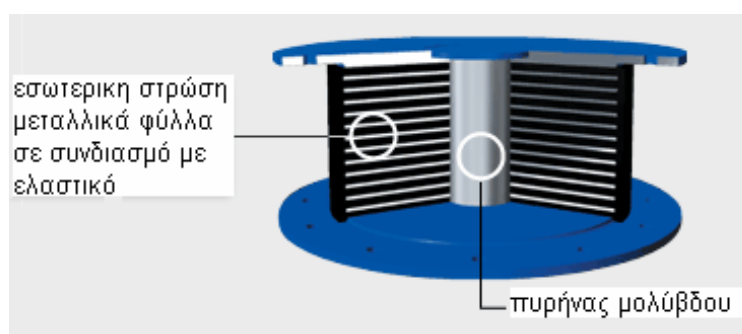


Εικόνα 4.5. Σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου με τα εφέδρανα

Περιορισμοί τίθενται στην επιλογή του αριθμού των στρώσεων γιατί με την αύξηση τους αυξάνεται και το ύψος του εφεδράνου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα αστάθειας και μείωση της κατακόρυφης δυσκαμψίας.

4.3.2. Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με Πυρήνα Μολύβδου – Lead Rubber Bearings (LRB)

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα (LRB), αποτελούν τροποποίηση των εφεδράνων ELB στα οποία έχει προστεθεί κεντρικά πυρήνας από μόλυβδο (Εικόνα 4.6). Εφευρέθηκαν στην Νέα Ζηλανδία την δεκαετία του 1970. Τα εφέδρανα αυτού του είδους παράγονται με βουλκανισμό επάλληλων στρώσεων ελαστικού και μεταλλικών πλακών μέσα σε μεταλλική μήτρα συγκεκριμένων διαστάσεων. Οι μεταλλικές πλάκες περιορίζουν τον πυρήνα μολύβδου που είναι σφιχτά τοποθετημένος στο κέντρο για την παραμόρφωση των διατμήσεων. Δεδομένου ότι τα στρώματα του ελαστικού διαστρεβλώνονται, ο πυρήνας μολύβδου παραμορφώνεται πλαστικά, απορροφώντας την ενέργεια του σεισμού και μετριάζοντας γρήγορα τη δόνηση. Ελαστικό χαμηλής απόσβεσης χρησιμοποιείται συχνά στα LRBs.



Εικόνα 4.6. Τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου (LRB)

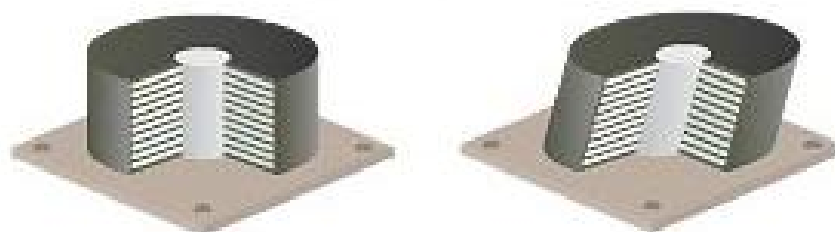
Η οριζόντια ελαστικότητα επιτυγχάνεται από τον πολύ μικρό συντελεστή διάτμησης του ελαστικού, που παρουσιάζει γραμμική συμπεριφορά για περιορισμούς από 100% μέχρι 250%.

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι μηχανικές ιδιότητες του δεν επηρεάζονται από την θερμοκρασία, την πάροδο του χρόνου και το βαθμό του φορτίου. Όσο μειώνεται το πάχος των στρώσεων τόσο αυξάνεται η κατακόρυφη δυσκαμψία και η επάρκεια ανάληψης των κατακόρυφων φορτίων.

Το εφέδρανο περιβάλλεται από επικάλυψη ελαστικού προκειμένου να προστατευθεί από περιβαλλοντικές αρνητικές επιδράσεις.

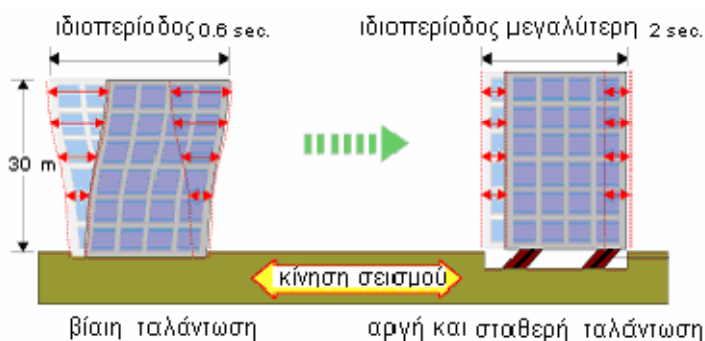
Ο μόλυβδος είναι ένα κρυστάλλινο υλικό που αλλάζει την δομή του προσωρινά, κάτω από παραμορφώσεις πέρα από το σημείο διαρροής και επανακτεί την αρχική του δομή και τα ελαστικά χαρακτηριστικά του αμέσως μετά την απομάκρυνση της παραμόρφωσης, λόγω της δύναμης επαναφοράς του ελαστικού. Ο μόλυβδος έχει καλές ιδιότητες κόπωσης για συνεχόμενους κύκλους φορτίων πέρα από το σημείο διαρροής. Επίσης έχει σχετικά μικρή τάση διαρροής που του επιτρέπει ελαστοπλαστική συμπεριφορά καθώς και μικρή απαιτούμενη θερμοκρασία (20° C) για ανάπτυξη ολκιμότητας σε σχέση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Κατά την διάρκεια ενός σεισμού ο πυρήνας μολύβδου υποβάλλεται σε διατμητική παραμόρφωση από τις μεταλλικές πλάκες και μόλις υπερβεί το σημείο διαρροής, αποσβέει ενέργεια υστερητικά, ακόμη και όταν η τάση είναι μικρή, έτσι μετά την διαρροή του παρουσιάζει πλαστική συμπεριφορά.

Η ενέργεια που διοχετεύεται κατά την διάρκεια του σεισμού στον πυρήνα μολύβδου και το λάστιχο που παρέχει την απαραίτητη δύναμη επαναφοράς, κεντράρει την συσκευή και την κατασκευή στην αρχική της μορφή μετά τον σεισμό (Εικόνα 4.7).



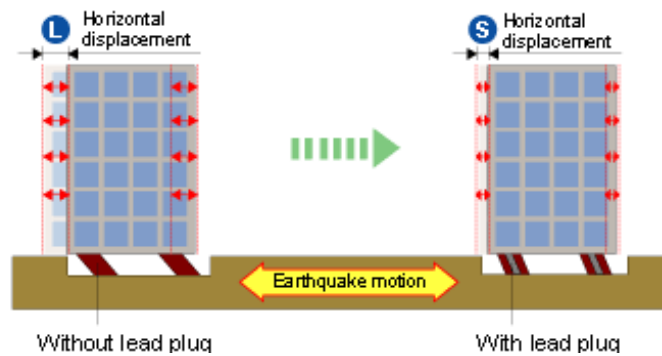
Εικόνα 4.7. Συμπεριφορά του LRB

Η δόνηση σεισμού μετατρέπεται σε χαμηλής ταχύτητας κίνηση. Δεδομένου ότι η οριζόντια δυσκαμψία του πολυστρωματικού ελαστικού εφεδράνου είναι χαμηλή, η ισχυρή δόνηση σεισμού ανακουφίζεται και η περίοδος ταλάντωσης του κτιρίου αυξάνεται (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8. Αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής

Οι μη γραμμικότητες λόγω της παραμόρφωσης του πυρήνα μολύβδου, παρόλο που παρέχουν απόσβεση μπορεί να επηρεάσουν τις αποκρίσεις σε υψηλές ιδιομορφές της κατασκευής. Συγκεκριμένα, η συνεχής ξαφνικές αλλαγές της ακαμψίας του LRB μπορεί να προκαλέσουν αύξηση της απόκρισης της κατασκευής. Το ελαστομεταλλικό εφέδρανο μπορεί εύκολα να υποστεί μεγάλες μετατοπίσεις, αντέχοντας πολύ μεγάλες παραμορφώσεις.



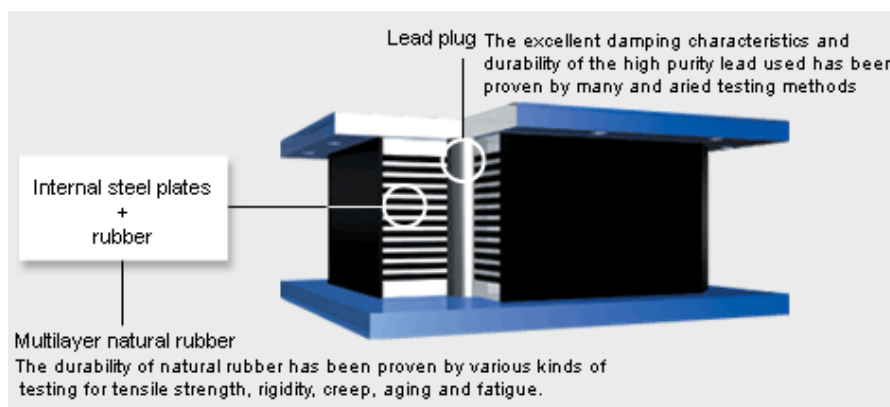
Εικόνα 4.9.α

Εικόνα 4.9.α β

Οριζόντια μετατόπιση κτιρίου α) χωρίς πυρήνα μολύβδου και β) με πυρήνα μολύβδου

Η αποτυχία ενός εφεδράνου μπορεί να επέλθει κυρίως λόγω της διαμόρφωσης και ανάπτυξης ελαττωμάτων στο λάστιχο. Το μέγεθος της ρήξης εξαρτάται από την σύνθεση και την ακαμψία του υλικού. Προσεκτική κατασκευή και έλεγχος ασφάλειας της ποιότητας μπορεί να αποτρέψει τα μεγάδια στο ελαστικό που θα οδηγήσουν στην αστοχία του, υπό ακραίες συνθήκες φόρτισης.

Το LRB λόγω του ότι δεν διαθέτει μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας υπό πίεση φορτίων είναι μη αποτελεσματικό για απόσβεση ενέργειας ενάντια μικροδονήσεων ή μικρών πλευρικών φορτίων και έτσι μπορεί να μην είναι κατάλληλο για κατασκευές με ευαίσθητο εξοπλισμό. Εφεδρικοί αποσβεστήρες μπορούν να ενσωματωθούν για να αποσβέουν την ενέργεια πριν την διαρροή.



Εικόνα 4.10.
Εφέδρανο
τετραγωνικής
μορφής

Τα LRB εκτός από στρογγυλά μπορούν να κατασκευαστούν και σε τετραγωνική μορφή (Εικόνες 4.10 και 4.11).



Εικόνα 4.11

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μορφής είναι τα εξής:

- Στο σύστημα υποστήριξης και μόνωσης μπορεί να παρασχεθεί οικονομικά, με την ίδια απόδοση με το στρογγυλό LRB.
- Παρέχεται η σταθερότητα σε όλες τις οριζόντιες κατευθύνσεις και η ικανότητα για μεγάλες παραμορφώσεις.
- Λόγω της τετραγωνικής γεωμετρίας, η πυροπροστασία μπορεί να παρασχεθεί με χαμηλό κόστος.
- Ένα μικρότερο εφέδρανο μπορεί να γίνει με τα ίδια χαρακτηριστικά με ένα στρογγυλό LRB, εξοικονομώντας χώρο και μειώνοντας το κόστος.

4.3.3 Εφέδρανο από ελαστικό υψηλής απόσβεσης - High Damping Rubber Bearings (HDRBs)

Αυτός ο τύπος του HDRB αποτελείται από στρώματα ελαστικού υψηλής απόσβεσης και μεταλλικά ελάσματα που τοποθετούνται εναλλάξ.

Το HDRB είναι ιδανικό για σεισμική μόνωση γιατί με μια συσκευή παρέχεται δύναμη επαναφοράς και επίσης το απαραίτητο ποσοστό απόσβεσης (10-15% κρίσιμου).

4.3.4. Εφέδρανο από ελαστικό υψηλής απόσβεσης με πυρήνα μόλυβδου -Υβριδικός τύπος – Lead High Damping Rubber Bearings (LHDRBs)

Αυτός ο τύπος του LHDRB αποτελείται από στρώματα ελαστικού υψηλής απόσβεσης και ένα μικρής διαμέτρου κυλινδρικό πυρήνα μόλυβδου στο κέντρο. Η διαφορά τους από τα ELB οφείλεται στο ότι το υλικό που χρησιμοποιείται χαρακτηρίζεται από σημαντικά υψηλότερη τιμή απόσβεσης. Τοποθετούνται συνήθως μεταξύ της βάση μιας κατασκευής και των θεμελίων της.

Τα εφέδρανα αυτά είναι σχεδιασμένα να στηρίζουν μεγάλα βάρη και παράλληλα να παρέχουν μικρή δυσκαμψία σε οριζόντιες μετακινήσεις.

Χαρακτηρίζονται επίσης από την ικανότητα μεγάλης απορρόφησης ενέργειας καθώς η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση κυμαίνεται από 5% έως και 16% της κρίσιμης απόσβεσης για το 100% της διατμητικής παραμόρφωσης και επιπλέον έχουν την ικανότητα αυτόματης επαναφοράς της κατασκευής στην αρχική της θέση. Τα LHDRB 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.

Τα LHDRB συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των LRB και HDRB, έχοντας και αρχική ακαμψία, λόγω του πυρήνα και συνεχή μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας, λόγω των χαρακτηριστικών υψηλής απόσβεσης του ελαστικού. Γι' αυτό το σύστημα αποδίδει καλά σε μικρούς και μεγάλους σεισμούς αλλά και σε μικρά πλευρικά φορτία.

Τα LHDRB δεν είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές ενώ μειώνουν την αρχική δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης που είναι υπεύθυνη για αποτελέσματα υψηλών συχνοτήτων. Επίσης το συμπαγές μέγεθος της συσκευής την κάνει πιο κατάλληλη για περιπτώσεις όπου ο χώρος εγκατάστασης είναι περιορισμένος.

Πρακτικά, μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά να τοποθετηθούν τα LHDRB στην περίμετρο του κτιρίου κάτω από τις κολώνες όσο το δυνατόν πιο μακριά από το κέντρο ακαμψίας και μάζας της μονωμένης κατασκευής, ενώ τα HDRB που δεν έχουν πυρήνα μολύβδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από τις εσωτερικές κολώνες. Αυτή η διαμόρφωση θα επιτρέψει στην μείωση της δυσκαμψίας πριν την διαρροή των πυρήνων μολύβδου και συνεπώς στην πιο ήπια αλλαγή της δυσκαμψίας κατά την διάρκεια της διαρροής. Η υψηλή αρχική δυσκαμψία και οι ξαφνικές σεισμικές δονήσεις παράγουν υψηλές ιδιομορφές και υψηλές επιταχύνσεις. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την μείωση της αρχικής δυσκαμψίας. Επίσης η αρχική δυσκαμψία παρέχει ένα υψηλό βαθμό μόνωσης στο στάδιο πριν την διαρροή.

Ένα αποτελεσματικό σύστημα μόνωσης πρέπει να έχει και ιξώδης και υστερητική απόσβεση και πρέπει να διασφαλιστεί ένας συνεχής μηχανισμός απόσβεσης ενέργειας.

Η ιξώδης απόσβεση, που εξαρτάται από την ταχύτητα της κατασκευής θα διασφαλίσει ένα μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας και για όλες τις σεισμικές δονήσεις. Μπορεί να παραχθεί από ιξώδεις αποσβεστήρες ή από ελαστικά με έμφυτες ιδιότητες απόσβεσης. Το πιο ευνοϊκό ποσοστό ιξώδους απόσβεσης είναι 20-30% ενώ υψηλότερες τιμές οδηγούν σε αυξήσεις των επιταχύνσεων των ορόφων.

Τα συστήματα ιξώδης απόσβεσης δεν είναι τόσο αποτελεσματικά σε σοβαρές διεγέρσεις και γενικά δεν παρέχουν υψηλή αρχική δυσκαμψία. Όπως προαναφέρθηκε, η υστερητική απόσβεση συνήθως παρέχεται από την πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου, μολυβδου ή χάλυβα και είναι πολύ αποτελεσματική για δυνατές κινήσεις, μειώνοντας ουσιαστικά την απόκριση και ειδικά την σχετική μετατόπιση στην στάθμη μόνωσης. Γι' αυτό, ένας συμβιβασμός μεταξύ αυτών των δυο συστημάτων απόσβεσης θα ήταν η καλύτερη λύση στον σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης ενός κτιρίου.

Τοποθετώντας τα εφέδρανα με τον μολυβδο κάτω από τις εξωτερικές κολώνες μακριά από το κέντρο της δυσκαμψίας παρέχεται υψηλή αντοχή ενάντια στην στρέψη, λόγω της μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ των σημείων εφαρμογής των δυνάμεων και του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης. Αυτή η διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όπου υπάρχει ένα άκαμπτο διάφραγμα στην στάθμη μόνωσης.

4.3.5. Εφέδρανο που χρησιμοποιεί Πολυστρωματικό Φυσικό Ελαστικό – Rubber Bearing (RB/RB-s)

Το RB/RB-s είναι ένα σύστημα μόνωσης με πολυστρωματική κατασκευή φυσικού ελαστικού(καουτσούκ). Δεδομένου ότι η οριζόντια δυσκαμψία του πολυστρωματικού ελαστικού εφεδράνου είναι χαμηλή, η ισχυρή σεισμική δόνηση ανακουφίζεται και η περίοδος ταλάντωσης του κτιρίου αυξάνεται. Μετά από έναν σεισμό η δύναμη επαναφοράς των ελαστικών στρωμάτων επαναφέρει το κτίριο στην αρχική του θέση.

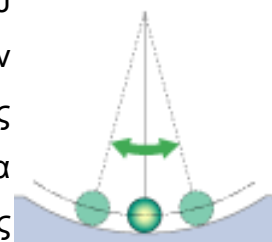
Τα πλεονεκτήματα αυτού του εφεδράνου είναι τα εξής:

- Το φυσικό λάστιχο παρέχει υψηλή ανθεκτικότητα, αξιοπιστία με τη σταθερή απόδοση του και ομοιόμορφη μηχανική συμπεριφορά.
- RB και το RB-s μπορούν να συνδυαστούν με ποικίλα συστήματα ή διατάξεις απόσβεσης μόνωσης όπως LRB.
- Παρέχεται σταθερότητα σε όλες τις οριζόντιες κατευθύνσεις και ικανότητα για μεγάλες παραμορφώσεις.

Είναι μικρότερο σε μέγεθος, αποταμιεύοντας χώρο και μειώνοντας το κόστος.

4.3.6. Συστήματα Εκκρεμούς Τριβής - Friction Pendulum System (FPS)

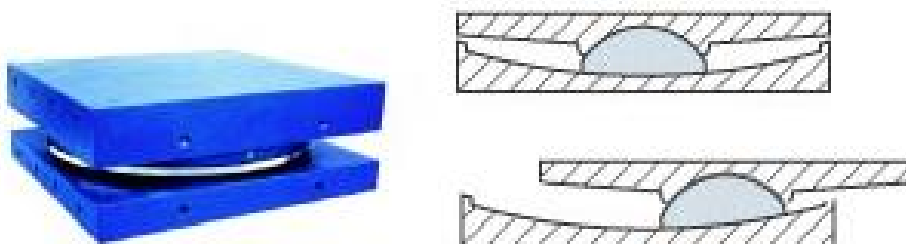
Η πρώτη κατηγορία των συστημάτων που βασίζονται στην ολίσθηση είναι τα συστήματα τριβής (FPS) όπου κατά την διάρκεια του σεισμού το κτίριο γλιστράει πάνω στο εφέδρανο. Είναι ένα εύκαμπτο σύστημα μόνωσης, κατάλληλο για μικρά αλλά και μεγάλα κτίρια και ανταποκρίνεται καλά σε μικρές και μεγάλες δονήσεις. Δεν είναι κατάλληλο για κατασκευές με απαιτήσεις για την προστασία του περιεχομένου. Η λέξη εκκρεμές χρησιμοποιείται γιατί το σύστημα βασίζεται στην αρχή του εκκρεμούς (Εικόνα 4.12). Το πρόβλημα αυτού του συστήματος είναι ο τρόπος επαναφοράς του κτιρίου στην αρχική θέση. Ένας τρόπος επαναφοράς του συστήματος στην αρχική του θέση δημιουργείται με την χρήση ενός σφαιρικού εφεδράνου ολίσθησης. Η περίοδος ταλάντωσης της ανωδομής είναι ανεξάρτητη από τη μάζα αυτής και εξαρτάται μόνο από την ακτίνα καμπυλότητας της κοίλης επιφάνειας του μονωτήρα.



Εικόνα 4.12.

Ένα βασικό μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι ο συντελεστής τριβής δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται με την αλλαγή της θερμοκρασίας και την πάροδο του χρόνου, λόγω της φθοράς των υλικών. Αυτό μπορεί να προκαλέσει αύξηση στις πραγματικές εισερχόμενες σεισμικές δυνάμεις, σε σχέση με τις δυνάμεις σχεδιασμού, με αποτέλεσμα την δημιουργία σοβαρών ζημιών.

Τα σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης αποτελούνται από ένα αρθρωτο ολισθήρα ο οποίος ολισθαίνει πάνω σε σφαιρική επιφάνεια τριβής από ανοξείδωτο χάλυβα (Εικόνα 4.13). Η επιφάνεια του ολισθήρα η οποία έρχεται σε επαφή με τη σφαιρική επιφάνεια είναι επικαλυμμένη με σύνθετο υλικό. Κατά την ολίσθηση στην σφαιρική επιφάνεια η μάζα της ανωδομής ανυψώνεται και έτσι εμφανίζεται μια 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 οριζόντια δυσκαμψία των συστημάτων σφαιρικής ολίσθησης είναι ανάλογη του βάρους της κατασκευής. Ο βαθμός απόσβεσης του μονωτήρα καθώς επίσης και η ενεργός δυσκαμψία εξαρτώνται από την ακτίνα καμπυλότητας.



Εικόνα 4.13. Σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης(FPS)

Τα πλεονεκτήματα αυτών των εφεδράνων είναι τα εξής:

- Είναι δυνατό να ορισθεί η περίοδος ταλάντωσης ενός κτιρίου ανεξάρτητα από το βάρος του. Η υψηλής επίδοσης σεισμική μόνωση μπορεί να επιτευχθεί και για τα ελαφριά κτίρια, για τα οποία οι συμβατικές μέθοδοι έχουν θεωρηθεί μη πρακτικές.
- Το κόστος της συσκευής και της εγκατάστασης είναι χαμηλότερο από τα άλλα συστήματα μόνωσης.
- Η απλή αυτή συσκευή λειτουργεί καλά, είναι εύκολο να εγκατασταθεί, εξοικονομεί χώρο και είναι πρακτική για την αντισεισμική ενίσχυση.
- Η συντήρηση είναι εύκολη και απαιτεί μόνο έναν απλό οπτικό έλεγχο.



Εικόνα 4.14.

4.3.7 Συστήματα Τριπλού Εκκρεμούς Τριβής - Triple Pendulum

Το τριπλό αυτό εφέδρανο ενσωματώνει τρία σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης σε ένα (Εικόνα 4.15, 4.16), όπου το κάθε ένα έχει συγκεκριμένες ιδιότητες, για την καλύτερη απόκριση της κατασκευής, σε διαφορετικές σεισμικές δυνάμεις και συχνότητες.

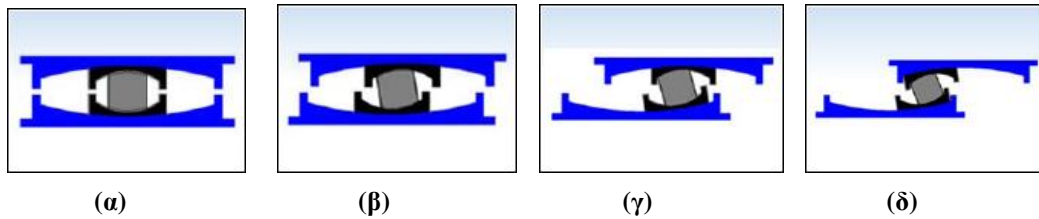
Προσφέρει καλύτερη σεισμική απόκριση και χαμηλό κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους. Οι ιδιότητες κάθε ενός από τα τρία εφέδρανα επιλέγονται ώστε να γίνουν διαδοχικά ενεργές σε διαφορετικά μεγέθη σεισμών. Όσο οι κινήσεις του εδάφους γίνονται ισχυρότερες τόσο οι μετατοπίσεις των εφεδράνων αυξάνονται.

Αποτελείται από έναν εσωτερικό ολισθήρα ο οποίος ολισθαίνει μέσα σε δύο κοίλες επιφάνειες τριβής (Εικόνα 4.16(α)). Οι ιδιότητες του εσωτερικού εκκρεμούς επιλέγονται ώστε να μειώνονται οι μέγιστες επιταχύνσεις και οι διατμητικές δυνάμεις που δημιουργούνται στη κατασκευή και το περιεχόμενό της. Οι δύο κοίλες επιφάνειες ολίσθησης, περιλαμβάνουν δύο ανεξάρτητους μονωτές εκκρεμούς. Οι ιδιότητες του κάτω μέρους του εκκρεμούς επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διατμητικές δυνάμεις της κατασκευής. Οι ιδιότητες του πάνω μέρους του εκκρεμούς επιλέγονται ώστε να ελαχιστοποιούνται οι μετατοπίσεις που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου σεισμού.



Εικόνα 4.15.

Οι τρεις μηχανισμοί ενεργοποιούνται διαδοχικά ανάλογα με το μέγεθος του σεισμού. Μικρή μετατόπιση (υψηλή συχνότητα κίνησης εδάφους) απορροφάται από το εσωτερικό εκκρεμές (Εικόνα 4.16(β)). Μετατόπιση στο επίπεδο του σεισμού σχεδιασμού ενεργοποιεί το κάτω μέρος του εκκρεμούς (Εικόνα 4.16(γ)) ενώ μετατόπιση στο επίπεδο του δυνατότερου σεισμού ενεργοποιεί το πάνω μέρος του εκκρεμούς (Εικόνα 4.16(δ)).



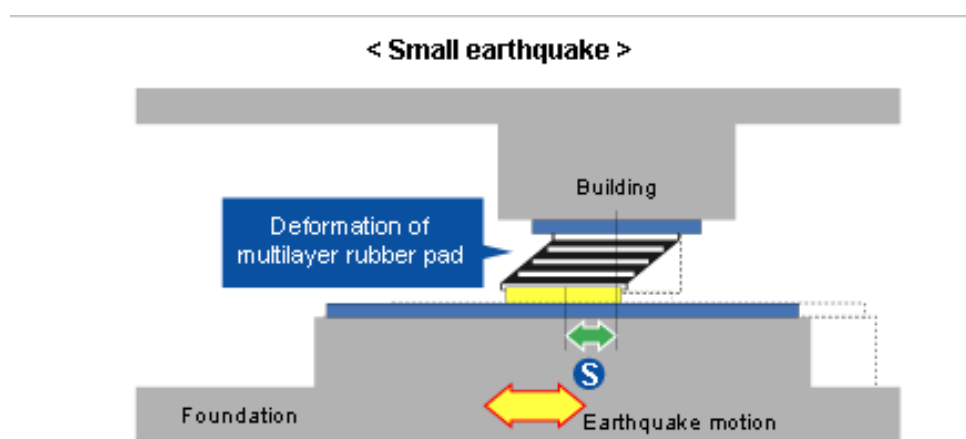
Εικόνα 4.16

Για τον μέγιστο δυνατό σεισμό οι διαστάσεις του τριπλού εκκρεμούς είναι το 60% του ισοδύναμου μονού εκκρεμούς.

4.3.8 Σύστημα ολίσθησης - Sliding System (SSR)

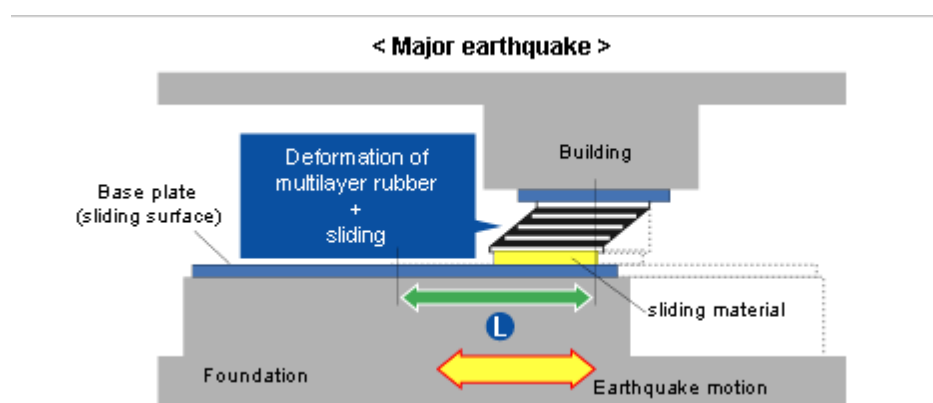
Το SSR είναι ένα σύστημα ολίσθησης φτιαγμένο από πολλά στρώματα φυσικού ελαστικού με χαμηλή τριβή. Τα πιο συχνά συστήματα ολίσθησης έχουν ολισθηρές επιφάνειες, ανοξείδωτου χάλυβα και τεφλόν.

Για τις μικρές δονήσεις ή τις διατμητικές παραμορφώσεις των ελαστικών στρωμάτων παρέχει την ίδια μόνωση με τα συμβατικά πολυστρωματικά ελαστικά εφέδρανα.



Εικόνα 4.17.

Η μείωση της διάτμησης που μπορεί να μεταδοθεί στην ανωδομή κατά την διάρκεια ενός δυνατού σεισμού, είναι ανεξάρτητη από την ισχύ του σεισμού (Εικόνα 4.17 και 4.18), μιας και η δύναμη μετάδοσης βασίζεται στον συντελεστή τριβής. Γι' αυτό τα συστήματα ολίσθησης είναι πολύ αποδοτικά στην μείωση των αποτελεσμάτων ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων. Επίσης, είναι σχετικά φτηνά, συμπαγούς μεγέθους και γι' αυτό είναι κατάλληλα για χρήση σε αποκατάσταση υπάρχοντων κτιρίων. Η δύναμη επαναφοράς μπορεί να εξασφαλιστεί από ελαστικά εφεδράνα σε συνδυασμό με συστήματα ολίσθησης. Ένας τέτοιος συνδυασμός πρέπει να είναι ικανός να αξιοποιήσει και τα δύο συστήματα μόνωσης. Εκτός της παροχή της δύναμης επαναφοράς, η χρήση ελαστικού εφεδράνου παρέχει επίσης και αντοχή ενάντια ισχυρών σεισμικών διεγέρσεων.



Εικόνα 4.18.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Μπορεί να παρέχει μόνωση για τα ελαφριά φορτία καθώς επίσης και μεγάλη παραμόρφωση.
- Παρέχει την προστασία ενάντια σε ένα ευρύ φάσμα σεισμών, από τις μικρές δονήσεις έως σημαντικούς σεισμούς.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κοινού με άλλα συστήματα μόνωσης όπως LRB ή RB.

4.3.9. GERB

Τα συστήματα GERB αποτελούνται από ελικοειδή χαλύβδινα ελατήρια (Εικόνα 4.19), και εάν είναι απαραίτητο, ιξώδεις αποσβεστήρες. Το GERB τοποθετείται στην κατασκευή σε προσβάσιμο σημείο όπου μπορεί να επιθεωρηθεί και να αντικατασταθεί αν χρειαστεί.



Εικόνα 4.19.

Η συσκευή μπορεί να ενσωματωθεί στην κατασκευή αποσυνδέοντας τα βαριά θεμέλια της από την ανωδομή. Η συσκευή μπορεί να φέρει το στατικό βάρος της κατασκευής και να μονώνει την κατασκευή από τις σεισμικές δονήσεις, και άλλες εξωτερικές δυνάμεις, μειώνοντας τον κίνδυνο ζημίας. Η μάζα της θεμελίωσης μπορεί να μειωθεί κατά τουλάχιστον 60%, σε αντίθεση με τις συμβατικές θεμελιώσεις. Τα μικρότερα θεμέλια εξοικονομούν χώρο, και μειώνουν το κόστος και τον χρόνο εγκατάστασης (Εικόνα 4.20).



Εικόνα 4.20.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των εφεδράνων είναι τα εξής:

- Χαμηλότερη συχνότητα για το φορτίο.
- Μπορεί να επιτευχθεί μικρότερο ύψος του εφεδράνου
- Το εφέδρανο είναι ελαφρύ και μη-μαγνητικό.
- Οι τροποποιήσεις της τελευταίας στιγμής είναι εύκολο να γίνουν – με το να κοπούν τα εφέδρανα στο μέγεθος που απαιτείται.

4.4. Άλλοι Τύποι Εφεδράνων

Τα πιο πολλά συστήματα εφεδράνων χρησιμοποιούν φυσικό λάστιχο (Natural Rubber Bearings – NRBs) με ένα πρόσθετο αποσβεστήρα μολύβδου ή χάλυβα. Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια απόσβεσης εξαρτάται από την πλαστική παραμόρφωση του αποσβεστήρα.

Ένας άλλος τύπος εφεδράνων είναι 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.

Τέλος μια άλλη κατηγορία συστημάτων που βασίζεται στην ολίσθηση είναι τα συστήματα με εφέδρανα με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης για μείωση του συντελεστή τριβής όπως φαίνεται στην εικόνα 4.21. 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 επιφάνειες ολίσθησης μεταξύ των μεταλλικών φύλλων που αποτελούν το εφέδρανο.



Εικόνα 4.21. Εφέδρανο ολίσθησης με επάλληλες διεπιφάνειες ολίσθησης

Οι μονωτές έχουν γενικά υψηλή δυσκαμψία σε περίπτωση μικρών μετατοπίσεων (προκειμένου να αποτραπούν οι μετακινήσεις από φορτίο αέρα ή μικρούς σεισμούς) και χαμηλή δυσκαμψία για τις υψηλές μετατοπίσεις (για να καλύψει ευρείες ταλαντώσεις κάτω από χαμηλές επιταχύνσεις κατά τη διάρκεια μιας ισχυρής σεισμικής δύναμης). Η κάθετη δυσκαμψία είναι πάντα πολύ υψηλή, είτε για να αντισταθεί στο στατικό φορτίο βαρύτητας είτε για να ελεγχτεί η μετατόπιση.

4.5. Ιδιότητες των Εφέδρανων

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα πρέπει να είναι δυνατά και άκαμπτα για τα κάθετα φορτία και ελαστικά για τις διατμητικές πιέσεις. Οι ιδιότητες των εφεδράνων μπορούν να ελεγχθούν από την σωστή επιλογή της σύνδεσης του ελαστικού και την γεωμετρία του εφεδράνου. Τα εφέδρανα πρέπει να σχεδιαστούν ώστε να είναι αρκετά μεγάλα για να μπορούν να υποστηρίξουν, με ένα επαρκή βαθμό ασφάλειας τα μέγιστα αναμενόμενα κάθετα φορτία, λαμβάνοντας υπόψη την αποκρινόμενη μέγιστη οριζόντια μετατόπιση. Τα μεταλλικά χαλύβδινα ελάσματα είναι δεμένα με το ελαστικό για τον περιορισμό της κύρτωσης υπό υψηλές καταπονήσεις. Το πάχος των μεταλλικών ελασμάτων και των ελαστικών στρωμάτων καθορίζει την κάθετη δυσκαμψία του εφεδράνου. Η ικανότητα παραλαβής των κάθετων φορτίων αυξάνεται καθώς μειώνεται το πάχος των ελαστικών στρωμάτων από λάστιχο.

Η διάμετρος των πυρήνων μολύβδου του LRB καθορίζεται από την απαιτούμενη αρχική δυσκαμψία για μικρά πλευρικά φορτία. Η περιοχή των πυρήνων μολύβδου πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι διατμητικές δυνάμεις απόκρισης που μπορούν να δημιουργούνται από τα μικρά πλευρικά φορτία να μπορούν να διαδοθούν χωρίς διαρροή. Το επίπεδο διαρροής συνήθως καθορίζεται σαν ποσοστό (τυπικά της τάξης του 5%) του βάρους της κατασκευής. Η διάμετρος του HDRB μπορεί να αποφασιστεί με ένα παρόμοιο τρόπο.

Η παρούσα κατάσταση εφεδράνων από φυσικό ελαστικό, που έχουν χρησιμοποιηθεί σε γέφυρες περισσότερο από μισό αιώνα δείχνουν μια αναμενόμενη διάρκεια ζωής τουλάχιστον 100 χρόνια. Όμως πρόσφατη εξέταση σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα 45 χρόνων, δείχνουν μια μικρή σκληρότητα, που πιθανότατα προκλήθηκε λόγω της γήρανσης των μηχανισμών. Τέτοια σκλήρυνση δεν προκαλεί σημαντική αύξηση των δυνάμεων που μπορούν να μεταδοθούν στην ανωδομή.

Το ελαστικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των εφεδράνων επιστρέφει στην αρχική του μορφή και διαστάσεις όταν αποφορτίζεται. Συνήθως αποτελείται από καουτσούκ (NR), χρώμιο (natural polyisoprene neoprene chloroprene - CR), μονομερές προπένιο αιθυλενίου (ethylene propylene diene monomer - EPDM) ή ελαστικό νιτριλίων βουταδιενίου (nitrile butadiene rubber - NRB).

Το NR και το CR είναι πολύ γνωστά υλικά και χρησιμοποιούνται πολύ στην κατασκευή κοινών εφεδράνων για γέφυρες. Η χημική σύνθεση και η κατασκευαστική μέθοδος καθορίζουν τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του λάστιχου.

Οι μηχανικές ιδιότητες του ελαστικού εξαρτώνται από τον χρόνο και την θερμοκρασία. Το εφέδρανο μπορεί να σκληραίνει σε χαμηλές θερμοκρασίες, με κίνδυνο πιθανού κρυσταλλισμού του ελαστικού αν εκτεθεί σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε περιοχές όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες η θερμική σκληρότητα του ελαστικού μπορεί να είναι ένα σοβαρό πρόβλημα μια και ελαττώνεται η ελαστικότητα του μονωτικού συστήματος και συνεπώς ο βαθμός της μόνωσης. Συγκεκριμένα, το neoprene γίνεται ιδιαίτερα άκαμπτο στους -40°C περίπου, προσεγγίζοντας το όριο μετάβασης του ύαλου, ενώ το NR πλησιάζει το όριο μετάβασης του ύαλου στους -55°C . Σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν ακόμα να μεταφέρουν δυνάμεις που είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες και η υποτιθέμενη μονωμένη κατασκευή συμπεριφέρεται ως πακτωμένη. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας μια πιο κατάλληλη σύνθεση ελαστικού.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα αντιστέκονται αρκετά στις μηχανικές δράσεις λαδιών και χημικών ουσιών, υποθέτοντας ότι μόνο οι επιφάνειες τους εκτίθενται σε τέτοιες επιδράσεις. Τα RB έχουν χρησιμοποιηθεί σε γέφυρες εκτεταμένα και για μεγάλα χρονικά διαστήματα με κανένα σημαντικό πρόβλημα φθοράς, όπως επίσης και σε μηχανές αυτοκινήτων υπό συνεχή έκθεση σε λάδια. Η συγκέντρωση όζοντος για μεγάλες περιόδους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ρωγμών στα εφέδρανα κυρίως όταν το ελαστικό εντείνεται. Οι ρωγμές αυτές μπορεί να ελαττωθούν ή να εξαφανιστούν πρόσθετοντας τα υλικά αντιοζοναnts κατά την διάρκεια της συνθέσεως του εφεδράνου. Ένα προστατευτικό κάλυμμα από ελαστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προστατέψει το εφέδρανο από τον καιρό, την υγρασία, το όζον και άλλες επιδράσεις. Το κάλυμμα από ελαστικό επίσης αυξάνει την αντοχή του εφεδράνου σε περίπτωση φωτιάς, η οποία ήδη είναι ικανοποιητική, σύμφωνα με έρευνες.

Το δέσιμο των στρωμάτων δεν δημιουργεί πρόβλημα μιας και η αντοχή της συγκόλλησης μεταξύ τους είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του ίδιου του ελαστικού. Εφέδρανα διαφορετικού μεγέθους έχουν σχεδιαστεί, κατασκευαστεί και χρησιμοποιηθεί για την σεισμική μόνωση. Εφέδρανα που αντέχουν κατακόρυφα φορτία κλίμακας 1-10.000 τόνων είναι διαθέσιμα. Τα μεγαλύτερα εφέδρανα μπορεί να ζυγίζουν πάνω από ένα τόνο και να έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 1.5 μέτρο. Επίσης έχουν κατασκευαστεί εφέδρανα των οποίων η πάνω πλάκα μπορεί να μετατοπιστεί ένα μέτρο σε σχέση με την κάτω πλάκα.

Τέλος, η θέση και η διάσταση των εφεδράνων πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι στρεπτικές δονήσεις της κατασκευής να αποφεύγονται. Αυτό επιτυγχάνεται εύκολα εάν το κέντρο της δυσκαμψίας της στάθμης μόνωσης και το κέντρο της μάζας της ανωδομής συμπίπτουν. Όταν LRB και LHDRBs χρησιμοποιούνται, πρέπει να εξασφαλίζεται η σύμπτωση του κέντρου μάζας και του κέντρου δυσκαμψίας και πριν και μετά την διαρροή του πυρήνα του μολύβδου.

Σε σχέση με τα ELB τα LRB και τα HDRBs παρέχουν τα ακόλουθα σαν μια ξεχωριστή μονάδα :

- Υποστήριξη λόγω της υψηλής δυσκαμψίας η οποία είναι συνήθως πάνω από 100 φορές της οριζόντιας δυσκαμψίας. Η επαρκής κάθετη δυσκαμψία είναι αναγκαία για την αποφυγή λικνίσματος της κατασκευής.
- Η οριζόντια ελαστικότητα εναλλάσσει την θεμελιώδη συχνότητα μιας κατασκευής έξω από το κρίσιμο φάσμα συχνότητα αντήχησης.
- Ένα μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας είτε μέσω της πλαστικής παραμόρφωσης του πυρήνα μολύβδου είτε μέσω των έμφυτων ιδιοτήτων των εφεδράνων υψηλής απόσβεσης (HDRBs).

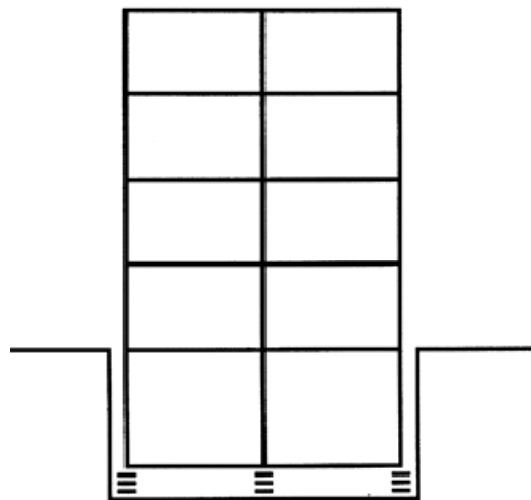
Επίσης ένα LRB παρέχει αρχική δυσκαμψία για την εξυπηρέτηση πλευρικών φορτίων λόγω της παρουσίας του μολύβδινου πυρήνα για την υψηλή δυσκαμψία πριν την διαρροή. Σε αυτή τη περίπτωση όμως ο μηχανισμός απόσβεσης ενέργειας ενεργοποιείται μόνο όταν ο πυρήνας μολύβδου διαρρεύσει. Τα HDRB παρέχουν ένα μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας σε συνεχή βάση και μεγαλύτερη ικανότητα επαναφοράς για την επιστροφή των εφεδράνων στην αρχική τους θέση μετά το τέλος του σεισμού.

4.6. Τρόποι τοποθέτησης εφεδράνων

A) Εφέδρανα στο υπόγειο

Πλεονεκτήματα

- Δεν χρειάζονται ειδικές σχεδιαστικές λεπτομέρειες για τον διαχωρισμό εσωτερικών εγκαταστάσεων όπως ασανσέρ και κλιμακοστάσια.
- Οι βάσεις των υποστυλωμάτων συνδέονται με ένα διάφραγμα στην στάθμη μόνωσης.
- Εύκολα στην υποστήριξη εφεδρικών συστημάτων για κατακόρυφα φορτία.



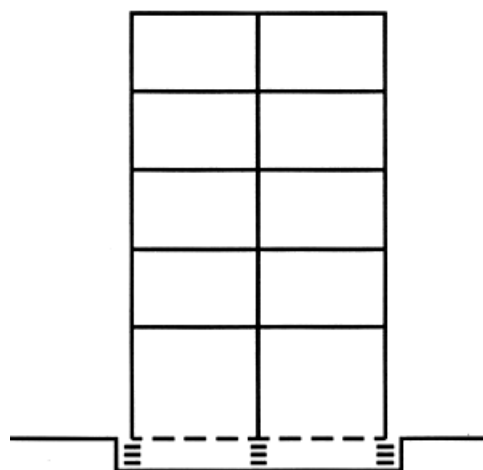
Μειονεκτήματα

- Προστιθέμενο κατασκευαστικό κόστος προκύπτει εκτός αν το υπόγειο έχει προβλεφθεί για κάποιο άλλο σκοπό.
- Απαιτείται ένας πρόσθετος ξεχωριστός τοίχος αντιστήριξης.

B) Εφέδρανα κάτω από τις κολώνες του πρώτου ορόφου

Πλεονεκτήματα

- Μικρότερο κατασκευαστικό κόστος.
- Ο διαχωρισμός στη στάθμη μόνωσης είναι απλός να πραγματοποιηθεί.
- Οι βάσεις των υποστυλωμάτων μπορούν να συνδεθούν με ένα διάφραγμα.
- Εύκολα στην υποστήριξη εφεδρικών συστημάτων για κατακόρυφα φορτία.



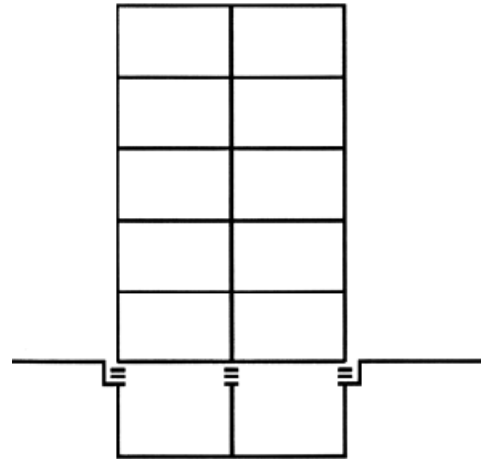
Μειονεκτήματα

- Μπορεί να απαιτεί προβόλους.

Γ) Εφέδρανα πάνω από τις κολόνες του υπογείου

Πλεονεκτήματα

- Δεν υπάρχει κάποια απαίτηση για υπόγειο.
- Μικρότερο κατασκευαστικό κόστος.
- Οι βάσεις των υποστυλωμάτων συνδέονται με ένα διάφραγμα στην στάθμη μόνωσης.
- Εφεδρικά συστήματα για κατακόρυφα φορτία παρέχονται από τα υποστυλώματα.



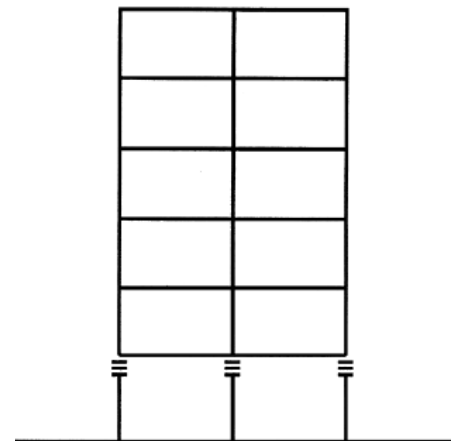
Μειονεκτήματα

- Μπορεί να χρειαστεί το φρεάτιο του ασανσέρ να γίνει με μορφή προβόλου κάτω από το επίπεδο του πρώτου ορόφου.
- Οι εσωτερικές κλίμακες χρειάζονται ειδική μεταχείριση κάτω από το επίπεδο του πρώτου ορόφου.

Δ) Εφέδρανα πάνω από τις κολόνες του πρώτου ορόφου

Πλεονεκτήματα

- Μικρό προστιθέμενο κατασκευαστικό κόστος.
- Οικονομικό στην περίπτωση που ο πρώτος όροφος θα χρησιμοποιηθεί για χώρο στάθμευσης.
- Εφεδρικά συστήματα για κατακόρυφα φορτία παρέχονται από τα υποστυλώματα.



Μειονεκτήματα

- Ειδικές σχεδιαστικές λεπτομέρειες απαιτούνται για το ασανσέρ και τις κλίμακες.
- Πρόσθετες λεπτομέρειες επένδυσης χρειάζονται εάν ο πρώτος όροφος δεν είναι ανοιχτός.
- Πρόσθετες λεπτομέρειες απαιτούνται για τα κατακόρυφα φορτία.

4.7. Παράμετροι Σχεδιασμού

Η εφαρμογή σεισμικής μόνωσης μεταβάλλει με ιδιαίτερα δραστικό τρόπο τη συμπεριφορά και τη λειτουργία του κτιρίου από κάθε άποψη οδηγώντας σε καταστάσεις μη οικείες οι οποίες απαιτούν προσεκτικό χειρισμό. Ας ξεκινήσουμε με κάποιες επισημάνσεις πάνω στις διαθέσιμες μεθόδους ανάλυσης.

Σύμφωνα με τις συστάσεις του FEMA⁵ η ανάλυση κατασκευών με σεισμική μόνωση μπορεί να γίνει με μία από τις παρακάτω μεθόδους: γραμμική ισοδύναμη στατική, φασματική και μη γραμμική ανάλυση στο πεδίο του χρόνου. Λόγω όμως των σημαντικών παραδοχών που ενέχονται στις δύο πρώτες μεθόδους το FEMA θέτει περιορισμούς στην εφαρμογή τους. Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται τόσο με τη γεωμετρία του κτιρίου όσο και με το βαθμό μη γραμμικότητας των εφεδράνων, κι επιπλέον πρέπει οι ιδιότητες τους να έχουν μικρή εξάρτηση από τη συχνότητα.

Καθώς σε αρκετές περιπτώσεις οι περιορισμοί αυτοί δεν ικανοποιούνται, συχνά είναι αναγκαία η εφαρμογή μιας μη γραμμικής ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου. Επειδή μια τέτοια ανάλυση με θεώρηση μη γραμμικότητας σε όλα τα μέλη είναι ιδιαίτερα απαιτητική υπολογιστικά έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι με θεώρηση μη γραμμικότητας σε ορισμένα μόνο μέλη οι οποίες είναι αποτελεσματικότερες για τέτοιου είδους αναλύσεις. Θα πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται ειδικά στοιχεία για την προσομοίωση των συστημάτων μόνωσης τα οποία να έχουν κατάλληλα συζευγμένους τους βαθμούς ελευθερίας τους. Τέτοια κατάλληλα στοιχεία είναι ενσωματωμένα σε αρκετά εμπορικά προγράμματα.

Μία ιδιαίτερα κρίσιμη φάση του σχεδιασμού είναι ασφαλώς η επιλογή της πρώτης ιδιοπεριόδου η οποία εξαρτάται από τη δυστημσία των εφεδράνων. Η επιλογή αυτή πρέπει να γίνει επί τη βάση φασμάτων προσεκτικά επιλεγμένων και αντιπροσωπευτικών της περιοχής του έργου και των εδαφικών της συνθηκών.

⁵ FEMA 273, Seismic Rehabilitation Guidelines. Chapter 9: Seismic Isolation and Energy Dissipation (Systematic Rehabilitation)

Ο σχεδιαστής οφείλει να εξασφαλίσει ότι δεν πρόκειται να συμβεί συντονισμός της πρώτης τουλάχιστον ιδιομορφής καθώς δεδομένου του μεγάλου συντελεστή συμμετοχής αυτής της ιδιομορφής το αποτέλεσμα θα είναι καταστρεπτικό. Θα πρέπει επιπλέον να εξετάζεται σοβαρά το ενδεχόμενο σημαντικής ενεργοποίησης των υψηλών ιδιομορφών καθώς η συνεισφορά τους ακόμα και σε σεισμικά μονωμένα κτίρια μπορεί να είναι σημαντική.

Αυτές οι παρατηρήσεις μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στην περίπτωση της ενίσχυσης κτιρίων με σεισμική μόνωση είναι σημαντικός ο ακριβέστερος προσδιορισμός των πραγματικών δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής πριν την επέμβαση. Η πιο αξιόπιστη μέθοδος για το σκοπό αυτό, ιδιαίτερα στην περίπτωση ιστορικών κτιρίων, είναι οι πλήρους κλίμακας δυναμικές δοκιμές επί του ίδιου του κτιρίου.

Μεγάλη σύνεση απαιτείται και κατά την επιλογή του ποσοστού απόσβεσης που θα εισαχθεί επιπλέον στην κατασκευή. Έχει παρατηρηθεί ότι η τοποθέτηση συσκευών με πολύ μεγάλους συντελεστές απόσβεσης με στόχο την απορρόφηση μεγάλων ποσών ενέργειας σε περίπτωση ισχυρού σεισμού προκαλεί δυσμενή απόκριση του κτιρίου σε περίπτωση σεισμών μεσαίας και μικρής έντασης. Αυτό συμβαίνει διότι οι συσκευές αυτές έχουν τρεις θεμελιώδεις μηχανικές ιδιότητες: οριζόντια ευκαμψία που αυξάνει την ιδιοπερίοδο και μειώνει τη μεταφορά τη σεισμικής ενέργειας στην ανωδομή (με εξαίρεση πολύ μαλακά εδάφη), απόσβεση ενέργειας ώστε να μειωθούν οι μετακινήσεις και επαρκή δυσκαμψία στις μικρές μετατοπίσεις ώστε το κτίριο να παραμένει άκαμπτο σε ανεμοπιέσεις και μικρούς σεισμούς⁶.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού πραγματοποιείται εντατική έρευνα αυτή την περίοδο σε όλο τον κόσμο για την ανάπτυξη ενεργητικών και ημι-ενεργητικών συστημάτων απόσβεσης. Αυτά τα συστήματα θα είναι ικανά να προσαρμόζουν τη παραμορφωσιμότητά τους ανάλογα με την ένταση της δόνησης και να αξιοποιούν τα δεδομένα εδαφικών επιταχύνσεων σε πραγματικό χρόνο.

⁶ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ - ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

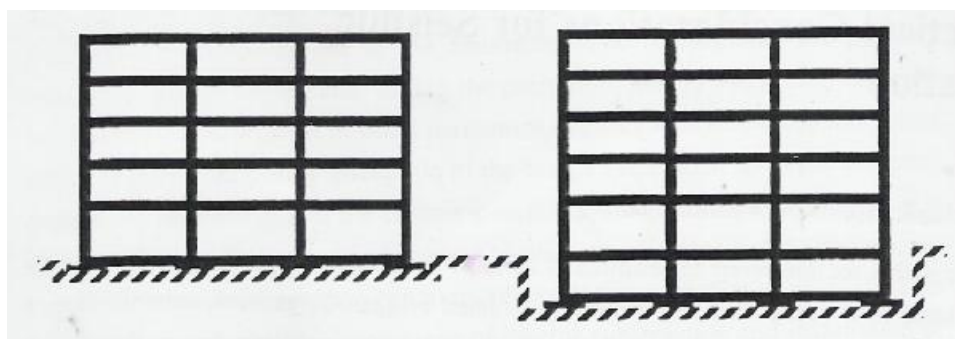
Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πιθανότητα ενεργοποίησης των ανώτερων ιδιόμορφων και των επιδράσεων της υψηλής απόσβεσης αποδίδεται κυρίως η χειρότερη από την αναμενόμενη απόκριση πολλών μονωμένων κτιρίων σε σεισμούς μικρότερης έντασης από το σεισμό σχεδιασμού.

Θα πρέπει επίσης να περιορίζεται και η επίδραση των διαφόρων τύπων εκκεντροτήτων στη στρεπτική απόκριση του κτιρίου καθώς αυτή μεγεθύνει σημαντικά τις μετατοπίσεις στις γωνίες του κτιρίου. Η επίδραση της εκκεντρότητας στην κατανομή των εφεδράνων είναι επίσης αμελητέα στην περίπτωση χρήσης εκκρεμών τριβής ενώ γίνεται σημαντική αν χρησιμοποιηθούν ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

Η επίδραση της εκκεντρότητας στην κατανομή της δυσκαμψίας του κτιρίου, όμως, δύσκολα μπορεί να περιοριστεί. Ο μόνος τρόπος για να καταστήσουμε την επίδραση αυτή αμελητέα είναι, όπου έχουμε τη δυνατότητα, να σχεδιάζουμε κτίρια μεγάλης δυστρεψίας.

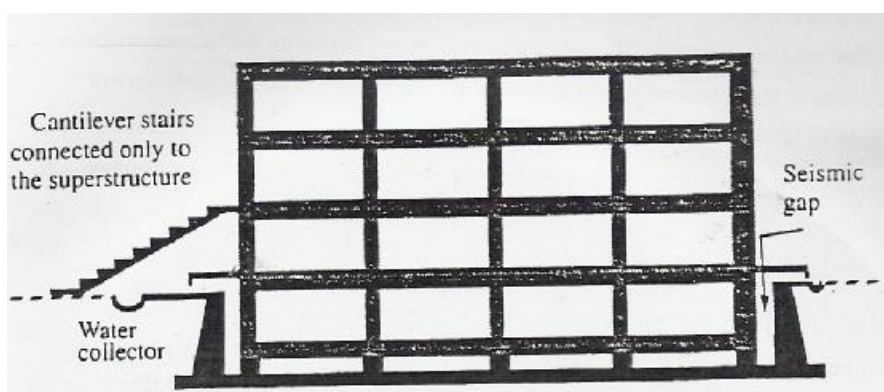
4.8. Πρακτικά θέματα και προβλήματα

Όταν γίνεται χρήση εφεδράνων πρέπει γύρω από το κτίριο να υπάρχει ένα διάκενο για να μπορούν να εκδηλωθούν ανεμπόδιστα οι μετακινήσεις του κτιρίου οι οποίες στη βάση μπορεί να φτάνουν τα 30 εκατοστών (εικόνα 4.22). Δηλαδή όταν τοποθετηθεί το μονωτικό σύστημα κάτω από την στάθμη του εδάφους, απαιτείται μια τάφρος περιμετρικά του κτιρίου για την παροχή του διαύλου.



Εικόνα 4.22. Τυπική Διαμόρφωση σεισμικής μόνωσης

Το κενό μόνωσης πρέπει να σκεπάζεται για την προστασία τόσο του διάκενου και του συστήματος μόνωσης, όσο και για πιθανά ατυχήματα. Εξωτερικές ή εσωτερικές κλίμακες και ανελκυστήρες που διαπερνούν την μονωτική στάθμη πρέπει να είναι με τη μορφή προβόλου, ώστε να επιτρέπεται η σχετική μετατόπιση της οικοδομής (Εικόνα 4.23). Το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες εσωτερικές λειτουργίες, όπως σωλήνες νερού, αερίου, αποχετεύσεις, καλωδιακές συνδέσεις και άλλα, οι οποίες πρέπει να σχεδιάζονται με εύκαμπτα καλώδια, ώστε να διευκολύνουν την οποιαδήποτε μετατόπιση.

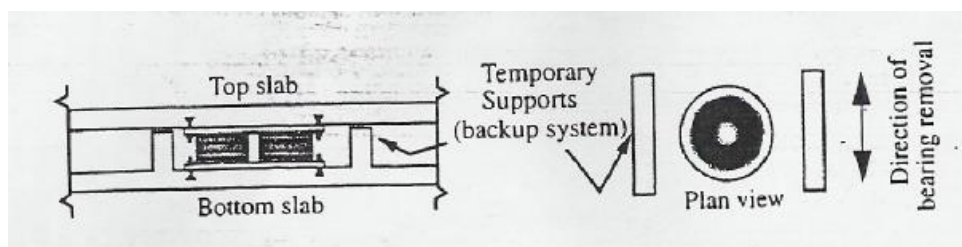


Εικόνα 4.23. Τομές ενός σεισμικά μονωμένου κτιρίου

Καμιά μελλοντική μετατροπή δεν πρέπει να επιβάλλει κάποιο περιορισμό ή εμπόδιο στην σχετική κίνηση της οικοδομής. Παρ' όλο που υπάρχει ένα επιπλέον κόστος για τα εύκαμπτα καλώδια, τον ειδικό σχεδιασμό και τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της ουσιαστικής μείωσης των μετακινήσεων μεταξύ ορόφων. Αυτό επιτρέπει ένα λιγότερο συντηρητικό σχεδιασμό των εσωτερικών λειτουργιών που δεν χρειάζεται να υποστούν μεγάλες παραμορφώσεις.

Έτσι οι πιθανότητες διαρροής αερίου, που σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να είναι πιο καταστροφική από κάποιες σεισμικές ζημιές, μειώνεται. Κατά την διάρκεια ελέγχου μετά από ένα δυνατό σεισμό, η οποιαδήποτε διαρροή στην στάθμη μόνωσης, λόγω υπερφόρτωσης των συνδέσμων πρέπει να ανιχνεύεται.

Λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με την σεισμική διέγερση και την ανάλυση είναι λογικό να εγκατασταθούν εφεδρικά συστήματα στην περίπτωση που θα έχουμε μεγαλύτερη από την αναμενόμενη απόκριση της οικοδομής στον σεισμό. Τα εφεδρικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τις κατακόρυφες όσο και για τις οριζόντιες μετατοπίσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να αντέξουν τα κατακόρυφα φορτία στην περίπτωση κακής λειτουργίας του εφεδράνου με την ανακατανομή των αντίστοιχων φορτίων σε προσωρινές στηρίξεις για να επιτραπεί η αντικατάσταση του εφεδράνου κατά την διάρκεια επισκευών (Εικόνα 4.24).



Εικόνα 4.24. Εφεδρικό σύστημα για προσωρινή κάθετη στήριξη

Τα εφεδρικά συστήματα ασφαλείας και οι σχεδιαστικές λεπτομέρειες που επιτρέπουν και διευκολύνουν την αφαίρεση και την αντικατάσταση ενός εφεδράνου, είναι πολύ επιθυμητά στην περίπτωση αστοχίας του μονωτήρα. Ένα εφεδρικό σύστημα μπορεί να αποτελείται από μια ράβδο αρκετά μεγάλης διαμέτρου από μολύβδο ή χάλυβα, περικυκλωμένη από ένα κυλινδρικό εφέδρανο, εσωτερικής διάμετρου λίγο μικρότερη από το διπλάσιο άθροισμα της ακτίνας της ράβδου και του πλάτους του σεισμικού κενού. Για να μειώσουμε το τράνταγμα είναι καλύτερα να σχεδιαστεί κάθε στρώμα από τα ελάσματα του εφεδράνου με μικρότερη εσωτερική διάμετρο από κάτω προς τα πάνω.

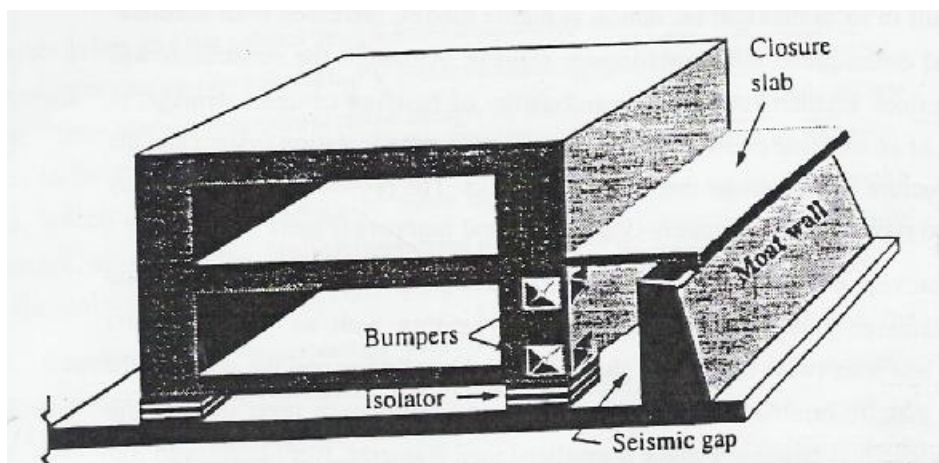
Μπορούν να τοποθετηθούν κομμάτια εύκαμπτου υλικού π.χ. ελαστομερές με ιξώδη χαρακτηριστικά, περιμετρικά του κτιρίου ως απορροφητές κραδασμών. Πρέπει να προεξέχουν από τις άκρες του κτιρίου για να χτυπηθούν πρώτα και να αποφευχθεί το αιφνίδιο επιτόπιου τράνταγμα της οικοδομής με τον προστατευτικό τοίχο ή τις γειτονικές κατασκευές.

Οι προσωρινές στηρίξεις πρέπει να σχεδιαστούν για να αντέχουν φορτία και να τα μεταφέρουν στα θεμέλια. Η δυσκολία που υπάρχει στην αντικατάσταση ενός εφεδράνου εξαρτάται από την διαμόρφωση του μονωτικού συστήματος και την τοποθεσία του εφεδράνου. Προσεκτική επιλογή στους συνδέσμους του εφεδράνου μπορεί να απλουστεύουν την απομάκρυνση τους.

Οι μονωτές πρέπει να εγκατασταθούν σε περιοχές όπου τα μέλη της κατασκευής είναι αρκετά δυνατά ώστε να αποφευχθεί τοπική ζημιά. Επιπρόσθετη ενίσχυση, σε περιπτώσεις οικοδομών από οπλισμένο σκυρόδεμα, μπορούν να αυξήσουν την αντοχή τοπικά.

Ειδικές συσκευές (προφυλακτήρες και προσκρουστήρες εικόνα 4.25) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εφεδρικά συστήματα για να ελαχιστοποιήσουν τις σχετικές μετατοπίσεις στην στάθμη μόνωσης μέσα στο διάκενο που υπάρχει γύρω από την κατασκευή. Αυτές οι συσκευές είναι αναγκαίες για την αποφυγή πρόσκρουσης του κτιρίου με όμορες κατασκευές ή με το προστατευτικό τοίχος (τάφρος) σε περίπτωση ενός ισχυρότερου σεισμού από τον σεισμό σχεδιασμού. Τέτοιες προσκρούσεις έχουν ως αποτέλεσμα τοπικές ζημιές, υψηλές ιδιομορφές, αυξημένες επιταχύνσεις ορόφων και ως συνέπεια ζημιά στο περιεχόμενο του κτιρίου.

Παρ' όλο που οι προφυλακτήρες και προσκρουστήρες θα αυξήσουν τις επιταχύνσεις των ορόφων και την πιθανότητα ζημιάς του περιεχομένου του κτιρίου, σε περίπτωση ενός ακραίου γεγονότος είναι προτιμότερο να υπάρχουν για να προστατευτεί το σύστημα μόνωσης και η κατασκευή από ζημιές.



Εικόνα 4.25. Οι προσκρουστήρες ως απορροφητές ενέργειας

Ένα άλλο θέμα ανησυχίας είναι η ανύψωση του εφεδράνου λόγω ροπών ανατροπής. Τα εφέδρανα δεν είναι σχεδιασμένα να φέρουν έντονες πιέσεις και γι' αυτό τέτοιες πιέσεις πρέπει να αποφεύγονται ή τουλάχιστον να περιορίζονται σε επίπεδα που δεν θα επηρεάσουν την απόδοση των εφεδράνων. Προσεχτική διαμόρφωση των εφεδράνων και διανομή των φορτίων βαρύτητας, που όσο πιο υψηλά είναι τόσο πιο ωφέλιμα είναι, μπορούν να εξαλείψουν το πρόβλημα της ανύψωσης.

Εφέδρανα στις άκρες τοιχωμάτων ή γωνιακών υποστυλωμάτων είναι συνήθως πιο επιρρεπή στην ανύψωση. Όταν οι έντονες δυνάμεις δεν μπορούν να περιοριστούν σε αποδεκτά επίπεδα, πρόσθετες λεπτομέρειες σύνδεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποφυγή της μετάδοσης των δυνάμεων και για να επαναφέρουν το εφέδρανο στην αρχική του μορφή, μετά της ανυψωτικές κινήσεις.

4.9. Συντήρηση του Συστήματος Μόνωσης

Το σύστημα μόνωσης πρέπει να παραμένει λειτουργικό για όλο τον αναμενόμενο χρόνο ζωής της κατασκευής υπό όλες τις πιθανές περιβαλλοντολογικές επιδράσεις. Το σκούριασμα μεταλλικών στοιχείων ή η φθορά του ελαστομερούς μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση ενός προστατευτικού καλύμματος από λάστιχο. Η συντήρηση του συστήματος μόνωσης και ειδικά του σεισμικού κενού πρέπει να είναι συχνή για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας της σεισμικής μόνωσης.

Έλεγχοι πρέπει να γίνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα αλλά και μετά από ένα δυνατό σεισμό που θα περιλαμβάνουν την εξέταση των μεταλλικών στοιχείων για σκουριά, έλεγχο στενότητας των μπουλονιών, τη φθορά του ελαστικού και όποια άλλη δυσλειτουργία. Επίσης, ένα σύστημα αποστράγγισης νερού πρέπει να προβλεφθεί για να εξαλείφει το νερό αλλά και άλλα σκουπίδια από το σύστημα μόνωσης ώστε να μειώνεται η πιθανότητα φθοράς του από το περιβάλλον. Επίσης έλεγχοι απαιτούνται για να σιγουρευτούμε ότι κανένα αντικείμενο δεν βρίσκεται στο σεισμικό κενό, που θα μπορούσε να περιορίσει στη σχετική κίνηση της ανωδομής και συνεπώς τον διαχωρισμό της κατασκευής από τις κινήσεις εδάφους.

Γι' αυτό, οι κάτοικοι των σεισμικά μονωμένων κτιρίων πρέπει να γνωρίζουν τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος μόνωσης και τη σημασία της συντήρησης του σεισμικού κενού.

Οποιαδήποτε αυθαίρετη κατασκευή ή μετατροπή θα επιφέρει περιορισμούς στη σχετική μετατόπιση της ανωδομής, γι' αυτό θα πρέπει να αποφεύγεται. Ένα περιθώριο γύρω από το κτίριο της τάξης των 10-20 εκατοστών πρέπει να υπάρχει για όλη την ζωή του κτιρίου, για την διευκόλυνση των μετατοπίσεων μεταξύ της ανωδομής και των θεμελίων.

4.10. Επιλογή Κατάλληλου Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης

Ο τύπος και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτιρίου που έχουμε να μελετήσουμε, όπως και οι δοθείσες σχεδιαστικές απαιτήσεις πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στην επιλογή ενός κατάλληλου συστήματος σεισμικής μόνωσης. Μη γραμμικά συστήματα, π.χ. αυτά με συμπεριφορά υστερητική ή συμπεριφορά τριβής, είναι πιο αποτελεσματικά για μεγάλα σεισμικά φορτία μειώνοντας την ολική μετατόπιση της κατασκευής και τις σχετικές μετατοπίσεις των ορόφων.

Υψηλά μη γραμμικά συστήματα μόνωσης δεν είναι κατάλληλα όταν η προστασία των περιεχομένων μιας κατασκευής είναι μία σημαντική σχεδιαστική παράμετρος γιατί μπορεί να παράγουν υψηλές επιταχύνσεις ορόφων. Το τελευταίο μπορεί να περιοριστεί αρχικά όταν πριν από την διαρροή η δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης είναι σημαντικά χαμηλότερη από την δυσκαμψία της ανωδομής. Αυτό εξασφαλίζει σε ένα επαρκή βαθμό την μόνωση από τα επιβαλλόμενα φορτία πριν από την διαρροή. Αυτή η διαφορά στην δυσκαμψία είναι εύκολα εφικτή σε πολύ δύσκαμπτες ανωδομές με υψηλή θεμελιώδη συχνότητα.

Αντίθετα τα γραμμικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση υψηλών ιδιομορφιών δονήσεων και να περιορίσουν τις επιταχύνσεις των ορόφων. Επίσης, η συνεχής παρουσία ενός μηχανισμού απόσβεσης ενέργειας, ακόμη και για μικρά πλευρικά φορτία, μπορεί να είναι ουσιώδης σε αρκετές περιπτώσεις.

Ο σχεδιαστής πρέπει επίσης να μελετήσει την διαθεσιμότητα και το κόστος του κάθε συστήματος σεισμικής μόνωσης, αλλά και την πείρα των προμηθευτών. Στις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις προτείνεται η χρήση ενός υβριδικού συστήματος σεισμικής μόνωσης για την επίτευξη πιο ευνοϊκής λύσης μεταξύ ακραίων περιπτώσεων ενός κατά προσέγγιση γραμμικού ελαστικού και ενός υψηλού μη-γραμμικού υστερητικού συστήματος. Τέλος το κόστος παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή του συστήματος μόνωσης. Για πολύ σημαντικές κατασκευές με ακριβό εξοπλισμό, όπως εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας και υπολογιστών, η σεισμική απόδοση και η απαιτούμενη προστασία υπερισχύουν στον σχεδιασμό.

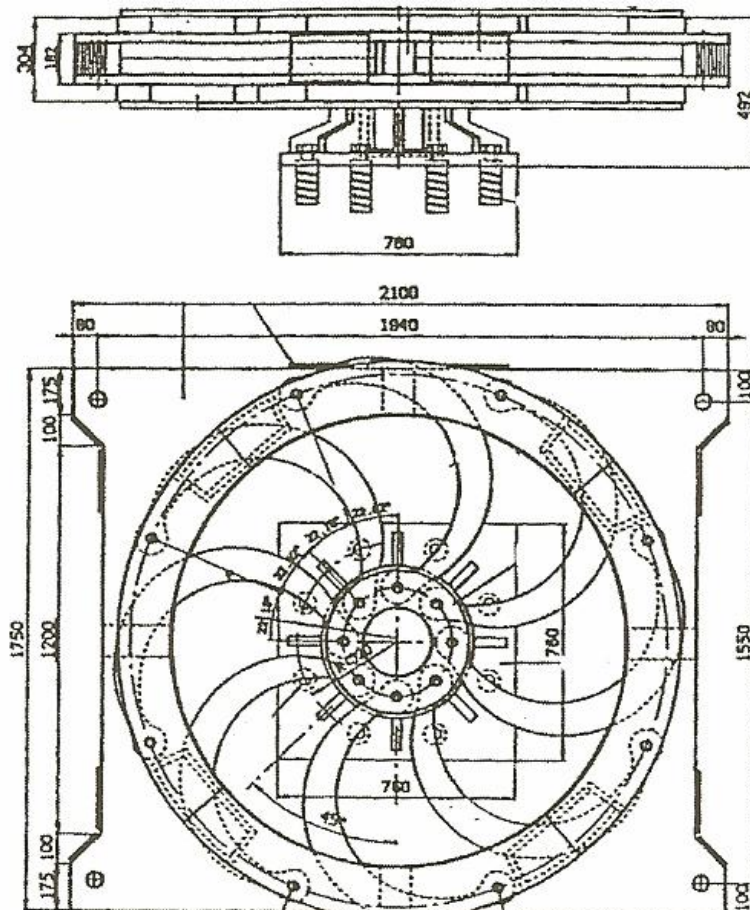
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ

5.1. Εισαγωγή

Τα κυριότερα είδη αποσβεστήρων είναι οι χαλύβδινοι αποσβεστήρες, οι αποσβεστήρες τριβής, οι 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. 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 στην εικόνα 5.1.

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 πολυμερή ή υαλώδη υποκατάστατα τα οποία έχουν την ιδιότητα να αποσβέουν 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.

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.



Εικόνα 5.1. Χαλύβδινος αποσβεστήρας

5.2. Τύποι Αποσβεστήρων Συστημάτων Ελέγχου Δόνησης

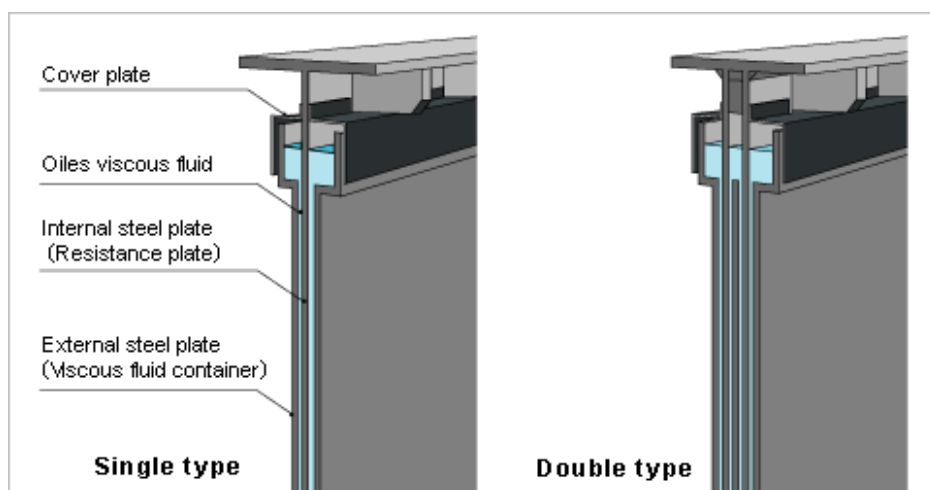
Το παθητικά σύστημα ελέγχου δόνησης εγκαθίστανται σε κτίρια για να περιορίσουν τη μετακίνηση του λόγω σεισμών ή ισχυρών ανέμων και για να προστατεύσουν τους κατοίκους, τις εγκαταστάσεις και γενικά να αποτρέψουν οποιαδήποτε ζημία σε αυτό. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αποσβεστήρων είναι οι εξής:

- Αποσβεστήρας ταλαντώσεων με τοίχωμα (Vibration Wall Damper -VWD)
- Κυλινδρικός ιξώδης αποσβεστήρας (Cylindrical Viscous Damper-CVD)
- Αποσβεστήρας ταλαντώσεων με υλικά - Αποσβεστήρας Bingham (Bingham Material Damper - BMD)
- Αποσβεστήρας εξώθησης μολύβδου (Lead Extrusion Damper- LED)
- Ρυθμιζόμενος αποσβεστήρας μάζας (Tuned Mass Damper)

5.2.1. Αποσβεστήρας Ταλαντώσεων με Τοίχωμα - Wall-type viscous shear damper (VWD)

Ο αποσβεστήρας αυτός είναι υψηλής επίδοσης με άριστη διάρκεια ζωής, κατάλληλος για πολυκατοικίες. Η απόσβεση της δόνησης χρησιμοποιεί τη διατμητική δύναμη αντίστασης ενός ιδιαίτερα ιξώδους υγρού. Αποτελείται από το εξωτερικό πλαίσιο χάλυβα που γεμίζεται με ένα ιξώδες ρευστό και μια εσωτερική διατμητική πλάκα (Εικόνα 5.2). Η σχετική μετατόπιση ορόφων που προκαλείται από έναν σεισμό ή έναν ισχυρό άνεμο μετακινεί την εσωτερική διατμητική πλάκα που βρίσκεται στο ανώτερο σημείο του τοίχου και έρχεται σε επαφή με το ιξώδες ρευστό που είναι σταθερό στο χαμηλότερο σημείο.

Η αντίσταση που δημιουργείται από τη μετακίνηση της πλάκας μέσα στο ιξώδες ρευστό απορροφά αποτελεσματικά την ενέργεια δόνησης.



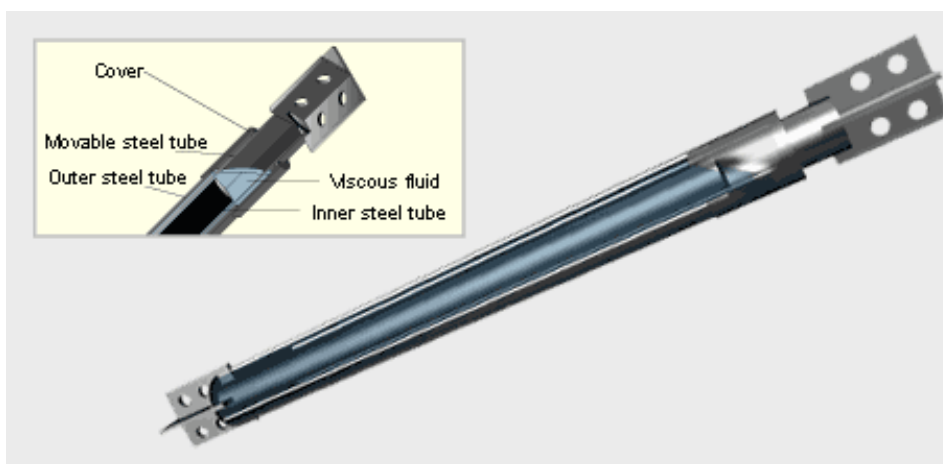
Εικόνα 5.2.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Είναι αποτελεσματικό για να απορροφά ένα ευρύ φάσμα δονήσεων, από δονήσεις λόγω αέρα έως ένα βίαιο τίναγμα που προκαλείται από ένα ισχυρό σεισμό.
- Μπορεί να σχεδιαστεί ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κτιρίου, στην κλίμακα του κτιρίου και στην απόσβεση δόνησης που απαιτείται.
- Δεν απαιτείται καμία συντήρηση στο ιξώδες υγρό, γιατί αυτό παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια πολλών ετών και δεν υπάρχει καμία απολύτως διαρροή.

5.2.2. Κυλινδρικός Ιξώδης Αποσβεστήρας – Cylindrical Viscous Damper (CVD)

Ο αποσβεστήρας αυτός είναι κυλινδρικός και χρησιμοποιεί την διατμητική αντίσταση ενός ιξώδους ρευστού. Αποτελείται από τρεις ομόκεντρους σωλήνες χάλυβα που γεμίζουν με το ιξώδες υγρό (Εικόνα 5.3). Είναι μια οικονομική και αποδοτική συσκευή.



Εικόνα 5.3

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Ανθεκτική ιξώδης διάταξη διατμητικής απόσβεσης
- Η συμπαγής και κυλινδρική γεωμετρία παρέχει ευελιξία στην εγκατάσταση (Εικόνα 5.4).
- Είναι αποτελεσματική για να απορροφά ένα ευρύ φάσμα δονήσεων, από τη δόνηση του αέρα έως το βίαιο τίναγμα που προκαλείται από τους ισχυρούς σεισμούς.
- Η απλή δομή του συμβάλλει στη μείωση κόστους και περιορίζει τα μηχανικά προβλήματα.
- Δεν παρουσιάζονται προβλήματα διαρροής του υγρού.

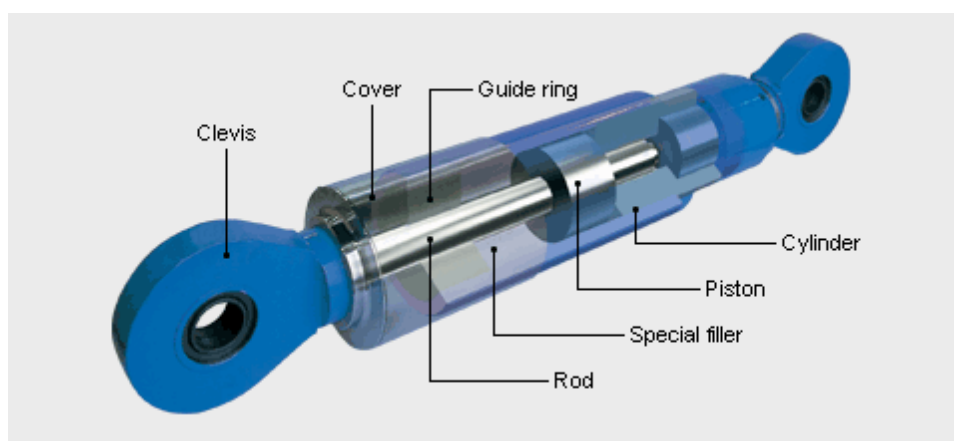


Εικόνα 5.4

5.2.3. Αποσβεστήρας Bingham – Bingham Material Damper (BMS)

Ο αποσβεστήρας Bingham χρησιμοποιεί την ιξώδη αντίσταση ενός πρόσθετου υλικού πληρώσεως. Αποτελείται από έναν κύλινδρο γεμάτο με ρευστό, ένα έμβολο και μια ράβδο (Εικόνες 5.5 και 5.6).

Η λειτουργία του αποσβεστήρα Bingham μετασχηματίζει τη δόνηση από το σεισμό ή τους ισχυρούς άνεμους στην κίνηση ενός εμβόλου μέσα στον κύλινδρο που γεμίζεται με ειδικό υλικό αποσβένοντας την ενέργεια δόνησης.



Εικόνα 5.5

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Η διάταξη απόσβεσης προσφέρει σταθερή απόδοση ακόμη και σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και μπορεί να απόσβεσει πολλούς σεισμούς.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τύπους κτιρίων με διαφορετικά χαρακτηριστικά λόγω της μεγάλης ικανότητας απόσβεσής του.
- Καμία συντήρηση δεν απαιτείται στο ιξώδες υλικό που παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια πολλών ετών χωρίς να εμφανίζονται προβλήματα διαρροής.
- Δεν υπάρχει καμία ειδική απαίτηση για την εγκατάσταση.

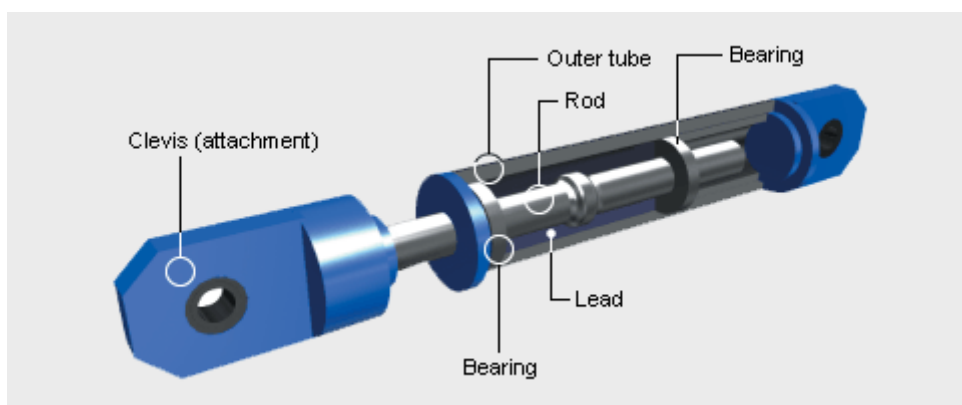


Εικόνα 5.6

5.2.4. Αποσβεστήρας Εξώθησης Μολύβδου – Lead Extrusion Damper (LED)

Ο αποσβεστήρας εξώθησης μολύβδου αποτελείται από μια ράβδο τοποθετημένη εσωτερικά ενός κυλίνδρου γεμάτου από μολύβδο. (Εικόνα 5.7).

Η κίνηση του κτιρίου λόγω σεισμού ή αέρα προκαλεί την κίνηση της διογκωμένης ράβδου μέσα στον κύλινδρο που αποφέρει εσωτερική τριβή και πλαστική παραμόρφωση στον μολύβδο, απορροφώντας με αυτό τον τρόπο την ενέργεια δόνησης (εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.7

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Ο εξοπλισμός καταλαμβάνει μικρό χώρο ενώ ταυτόχρονα παρέχει σχετικά μεγάλη δύναμη αντίστασης.
- Μπορεί να σχεδιαστεί ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κτιρίου και την απόσβεση δόνησης που απαιτείται.
- Η απόδοση του συστήματος είναι σταθερή.
- Ο μολύβδος είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός χωρίς να απαιτεί καμία συντήρηση.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την προστασία μεγάλου εξοπλισμού.



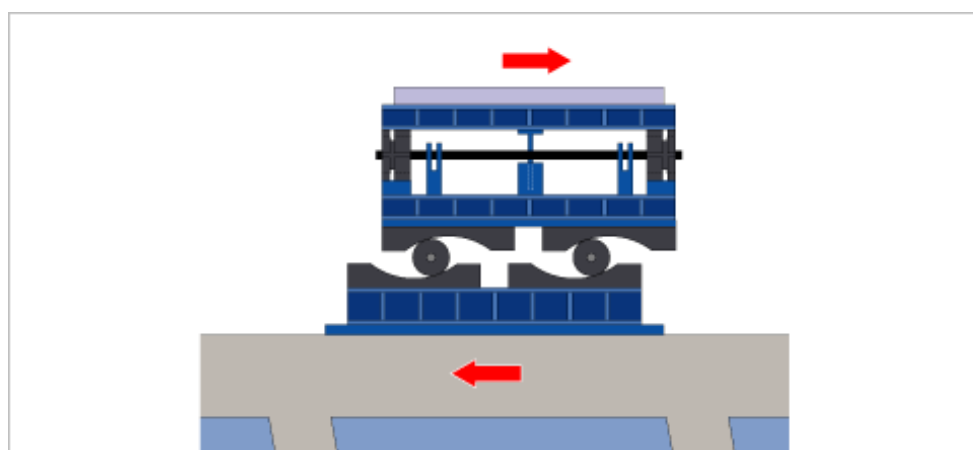
Εικόνα 5.8

5.2.5.1. Ρυθμιζόμενος Αποσβεστήρας Μάζας - Tuned Mass Damper

Είναι μια συσκευή που τοποθετείται στις κατασκευές για την μείωση των ταλαντώσεων τους από σεισμούς ή ανέμους. Συνήθως είναι μεγάλα τεμάχια από σκυρόδεμα που τοποθετούνται σε ψηλά κτίρια και κινούνται αντίθετα από ότι η κατασκευή με την βοήθεια ελατηρίων, καλωδίων (αντίβαρα αναρτώμενης μάζας) ή ρευστών. Οι ρυθμιζόμενοι αποσβεστήρες μάζας κατασκευάζονται έτσι ώστε να αποσβένουν τις επικίνδυνες συχνότητες ταλάντωσης.

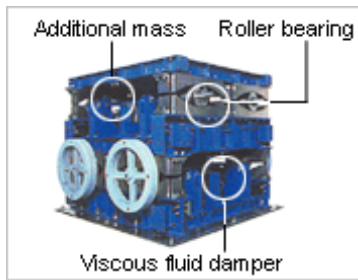
5.2.5.2. Κυλινδρικού Εκκρεμούς - Tuned Mass Damper-Roller Pendulum (TMD-RP)

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού ή ενός ισχυρού ανέμου, κάθε κτίριο δονείται στη φυσική περίοδο του ανάλογα με την δυσκαμψία και το μέγεθός του. Το TMD-RP κινείται έτσι ώστε η πρόσθετη μάζα του συστήματος ελέγχου δόνησης να αντισταθμίζει την κίνηση του κτιρίου για να απορροφώντας με αυτό τον τρόπο την ενέργεια δόνησης. Συνήθως εγκαθίστανται στο τελευταίο όροφο ενός κτιρίου (Εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9

Αποτελείται από ένα τμήμα ρουλεμάν κυλίνδρων, μια πρόσθετη μάζα και ένα αποσβεστήρα με ιξώδες υγρό (Εικόνα 5.10). Η πρόσθετη μάζα παρέχει τη δύναμη αντιστάσης για την μείωση της δόνησης του κτιρίου. Ο αποσβεστήρας με το ιξώδες ρευστό μετατρέπει την κινητική ενέργεια της πρόσθετης μάζας σε θερμική ενέργεια, ενισχύοντας τον έλεγχο δόνησης.



Εικόνα 5.10

Στην εικόνα 5.11 βλέπουμε την απόκριση ενός κτιρίου με το TMD-RP και χωρίς. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι με την χρήση του TMD-RP η κίνηση του κτιρίου λόγω σεισμού ή ανέμου αποσβένεται πολύ γρήγορα.



Εικόνα 5.11. α) Με το TMD-RP και β) Χωρίς το TMD-RP

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

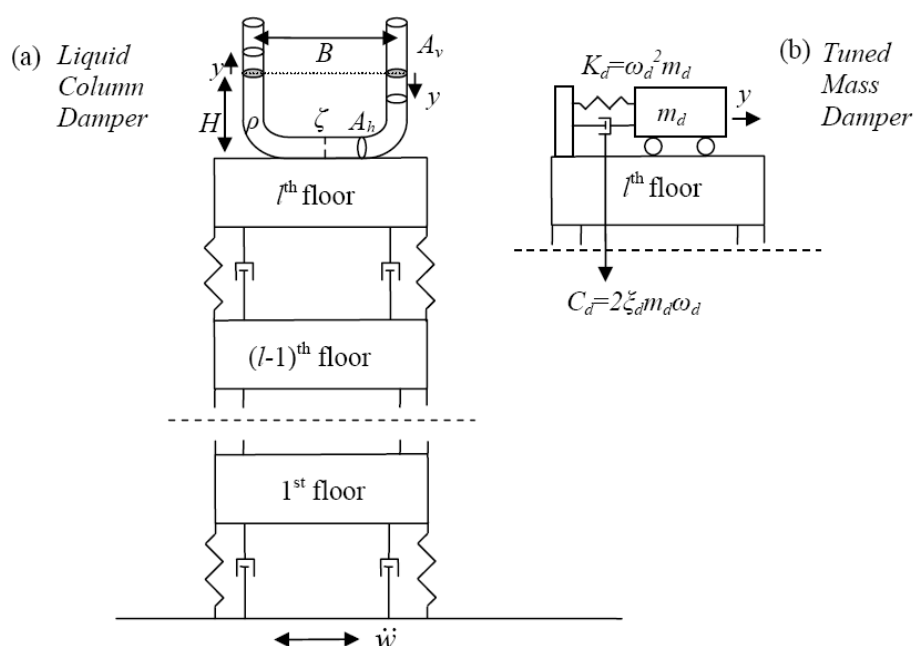
- Αποτελεσματική στη μείωση ακόμη και των μικρών δονήσεων λόγω του αέρα δεδομένου ότι έχει πολύ χαμηλή τριβή.
- Η προσθήκη της μάζας επιτρέπει το συντονισμό της περιόδου δόνησης του κτιρίου στις οριζόντιες κατευθύνσεις.
- Η συσκευή έχει μικρότερο ύψος από άλλα παρόμοια συστήματα.

Ο αποσβεστήρας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποσβέσει ταλαντώσεις πιο ευρέου φάσματος ελέγχοντας την δόνηση της κατασκευής όχι πια παθητικά αλλά ενεργά με την προμήθεια εξωτερικής ενέργειας, συστήματος ελέγχου της κίνησης και ενός υπολογιστή (Active Mass Damper).

5.3. Άλλοι Τύποι Αποσβεστήρων

5.3.1. Αποσβεστήρες με Σωλήνες Γεμάτες με Υγρό – Liquid column mass dampers (LCMD)

Το TMD είναι ο πιο δημοφιλής αντιπροσωπευτικός τύπος των αποσβεστήρων. Ως εναλλακτική λύση για τα TMDs, σωλήνες σχήματος U με υγρό (συνήθως νερό) μπορούν να εισαχθούν στην κορυφή μιας κατασκευής (Εικόνα 5.12). Η κίνηση του νερού προκαλεί απόσβεση της ενέργειας που εισάγεται στην κατασκευή λόγω της σεισμικής δόνησης.



Εικόνα 5.12. Η διαμόρφωση του αποσβεστήρα με την κατασκευή

Πειράματα που έγιναν σε μοντέλα κτιρίου εφοδιασμένα με αυτόν τον αποσβεστήρα έδειξαν ότι είναι τόσο αποτελεσματικά όσο οι παραδοσιακοί ρυθμιζόμενοι αποσβεστήρες μάζας, εάν οι παράμετροι τους επιλεχθούν σωστά. Εντούτοις, η υπερβολική κίνηση το υγρού μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα αυτής της συσκευής⁷.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτής της συσκευής είναι το χαμηλό κόστος, η εύκολη εγκατάσταση και εύκολη ρύθμιση της συχνότητας των αποσβεστήρων.

⁷ *Journal of Engineering Mechanics*

5.3.2. Αποσβεστήρας Τριβής - Friction External Damper

Οι αποσβεστήρες τριβής (Εικόνα 5.13) αποσβένουν ενέργεια μέσω της τριβής χαλύβδινων πλακών. Με την χρήση προ-συμπιεσμένων ελατηρίων ή μπουλονιών ελέγχεται η δύναμη αντίστασης. Οι αποσβεστήρες αυτοί έχουν σχετικά σταθερές μηχανικές ιδιότητες οι οποίες δεν αλλάζουν σημαντικά με την χρήση ή τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι αποσβεστήρες τριβής έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ψηλά κτίρια αλλά και σε γέφυρες για πεζούς. Η μείωση της ταλάντωσης του κτιρίου μπορεί να φτάσει το 50%.



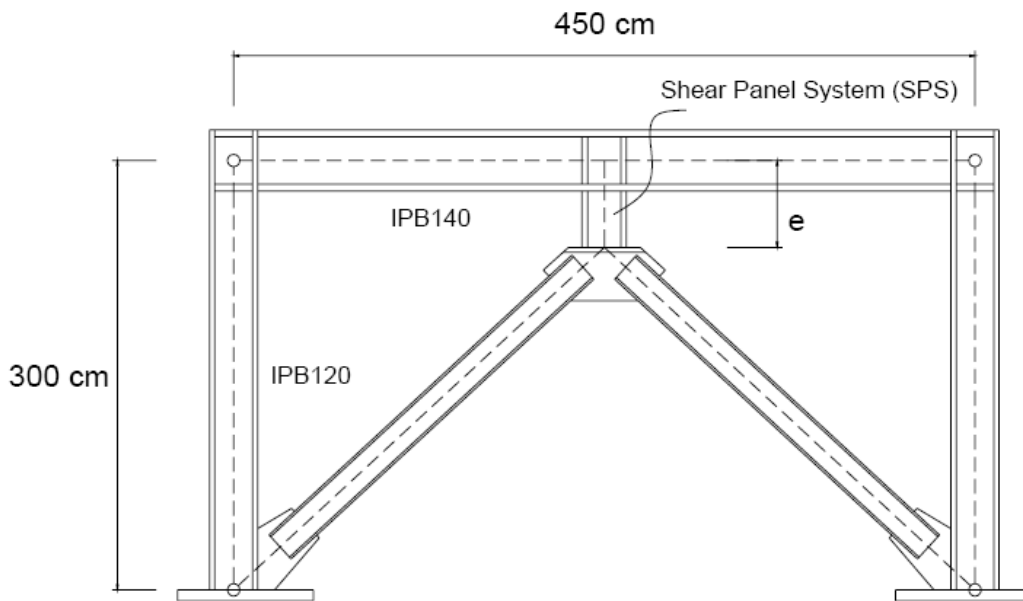
Εικόνα 5.13. Αποσβεστήρες Τριβής

5.3.3. Παθητικός Έλεγχος Ενισχυμένων Χαλύβδινων Πλαισίων χρησιμοποιώντας Έκκεντρους Διαγώνιους Συνδέσμους - Passive Control of steel braced Frames using Shear Panel Systems (SPS)

Τα κτίρια που αποτελούνται από χαλύβδινα πλαίσια σχεδιάζονται έτσι ώστε τα πλαίσια να έχουν είτε άκαμπτες συνδέσεις ροπής είτε απλές συνδέσεις αλλά ενισχυμένα με διαγώνιους έκκεντρους συνδέσμους (Εικόνα 5.14).

Τα πλαίσια με άκαμπτες συνδέσεις ροπής αποσβένουν ενέργεια με διαρροή τον δοκών λόγω κάμψης προσφέροντας μικρή δυσκαμψία στο όλο κτίριο, ενώ τα πλαίσια με τους κεντρικούς διαγώνιους συνδέσμους παρέχουν υψηλή δυσκαμψία στο όλο κτίριο αλλά μικρή πλαστιμότητα λόγω λυγισμού των διαγώνιων ράβδων θλίψης.

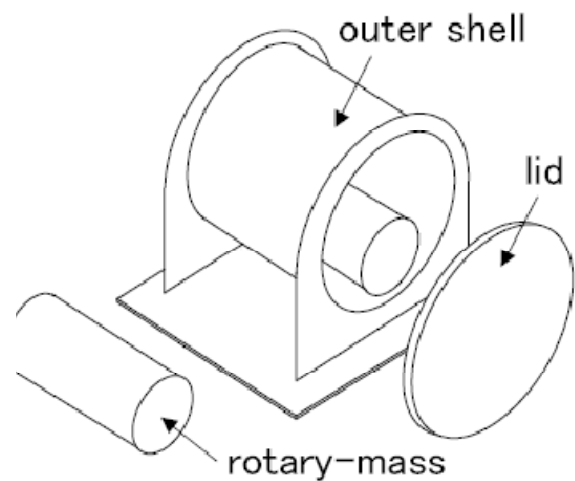
Συνδυασμός των δυο πλαισίων αυξάνει την δυσκαμψία απόσβεσης ενέργειας. Η δε απόσβεση ενέργειας μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας έκκεντρες διαγώνιες ράβδους σχηματίζοντας διάφορες μορφές για την αποφυγή σοβαρών βλαβών στις συνδεόμενες δοκούς. Το σύστημα που παρέχει καλύτερη απόσβεση ενέργειας και λιγότερες ζημιές στις συνδέσεις έχει την μορφή ανάποδου Υ (inverted-Y-bracing system).



Εικόνα 5.14. Γενική διαμόρφωση των στοιχείων

5.3.4. Ρυθμιζόμενος Αποσβεστήρας με Περιστρεφόμενη Μάζα - Tuned Rotary- Mass Damper

Ένα άλλο είδος αποσβεστήρα είναι ο ρυθμιζόμενος αποσβεστήρας με περιστρεφόμενη μάζα (TRMD). Ο αποσβεστήρας αυτός αποτελείται από μια μάζα κυλινδρικού σχήματος που μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα μέσα στο εσωτερικό μέρος ενός κυλινδρικού δοχείου (Εικόνα 5.15).



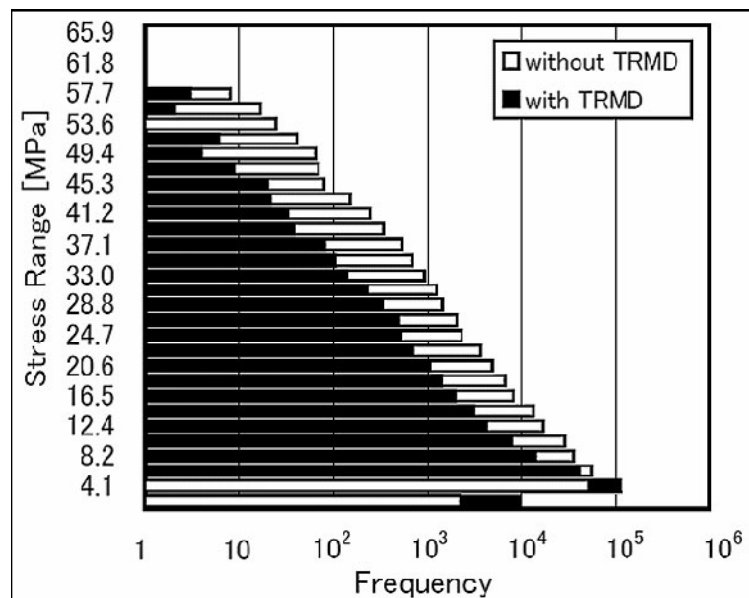
Εικόνα 5.15.

Η ιδιοσυχνότητα περιστροφής του TRMD μπορεί να ρυθμιστεί διαλέγοντας κατάλληλα την διάμετρο της κυλινδρικής μάζας και την καμπυλότητα του εσωτερικού μέρους του κυλινδρικού δοχείου.

Συγχρονίζοντας την ιδιοσυχνότητα του TRMD με την ιδιοσυχνότητα της κατασκευής η μάζα του TRMD κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση από ότι η κατασκευή μειώνοντας έτσι την ταλάντωση της κατασκευής.

Ο αποσβεστήρας TRMD χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για την απόσβεση ταλάντωσης ενός στύλου φωτισμού ύψους 12m, διαμέτρου 213mm στη βάση και 75mm στην κορυφή. Η δεύτερη ιδιοσυχνότητα του στύλου αυτού για κίνηση στο επίπεδο συνέπιπτε με την ιδιοσυχνότητα οδικής γέφυρας που τίθετο σε κίνηση από τα οχήματα, με αποτέλεσμα ο στύλος να παρουσιάζει μεγάλη κατακόρυφη κίνηση (εικόνα 5.16). Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του TRMD, η δόνηση του στύλου του φωτισμού μειώθηκε. Επιπλέον, μετρήσαμε την πίεση κοντά στη βάση του στύλου φωτισμού και βρήκαμε ότι η διάρκεια ζωής του στύλου επεκτάθηκε.

Η χρήση του TRMD με λόγο μαζών = 1.3% και με ιδιοσυχνότητα που να συμπίπτει με την 2^η ιδιοσυχνότητα του στύλου απέφερε μείωση της ταλάντωσης του πάνω από 60%.

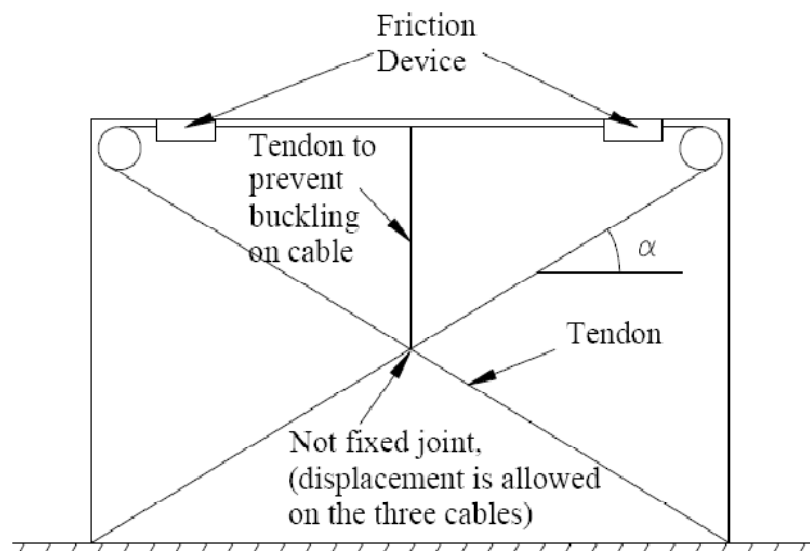


Εικόνα 5.16.

5.3.5. Αποσβεστήρας Καλωδίων (Cable Damper) .

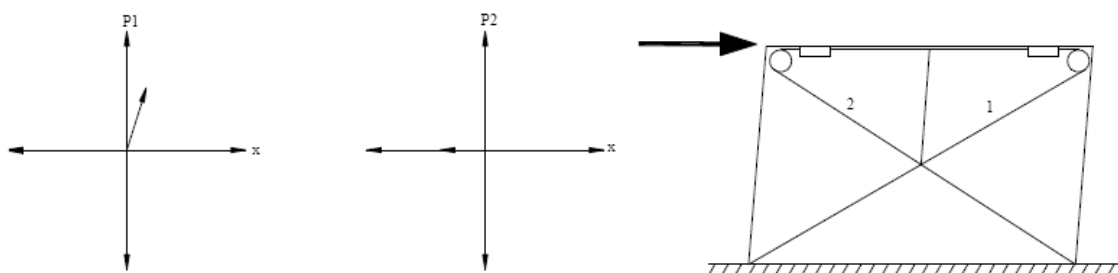
Αυτός ο αποσβεστήρας αποτελείται από ένα απλό σύστημα καλωδίων που τίθεται στα πλαίσια της κατασκευής όπως ένα διαγώνιο σύστημα χρησιμοποιώντας τροχαλίες και συσκευές τριβής που εμποδίζουν την μεγάλη επιμήκυνση των καλωδίων. Το σύστημα των καλωδίων συνίσταται από ένα τένοντα που τοποθετείται σε διαγώνια μορφή και ένα άλλο τένοντα στη διαστάυρωση των καλωδίων προκειμένου να αποτραπεί ο λυγισμός τους (εικόνα 5.17).

Η κίνηση μεταξύ των τριών καλωδίων επιτρέπεται. Οι συσκευές τριβής αποτελούνται από δύο χαλύβδινες πλάκες που ολισθαίνουν μεταξύ τους απορροφώντας έτσι το τμήμα της ενέργειας.

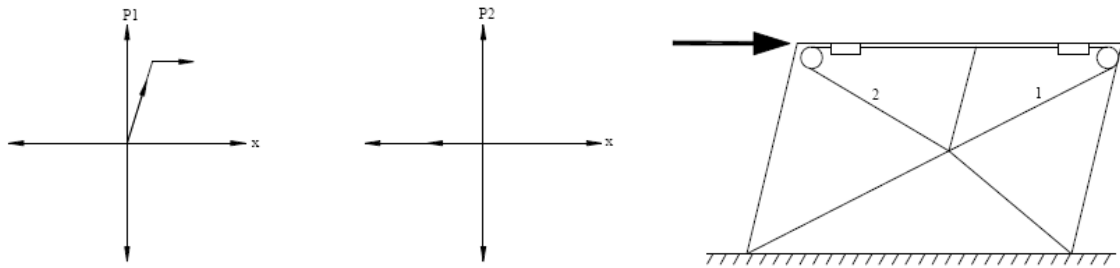


Εικόνα 5.17. Σχηματικό διάγραμμα

Η συμπεριφορά του αποσβεστήρα φαίνεται στις εικόνες 5.18 και 5.19 και 5.20. Στα πολύ αρχικά στάδια της φόρτωσης το ένα καλώδιο είναι ενεργό και συμπεριφέρεται ελαστικά ενώ το άλλο που δεν ενεργοποιείται ακόμα δεν λυγίζει.

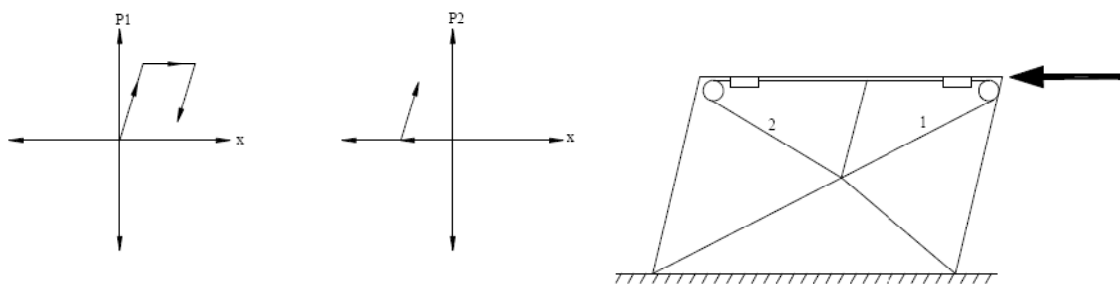


Εικόνα 5.18.



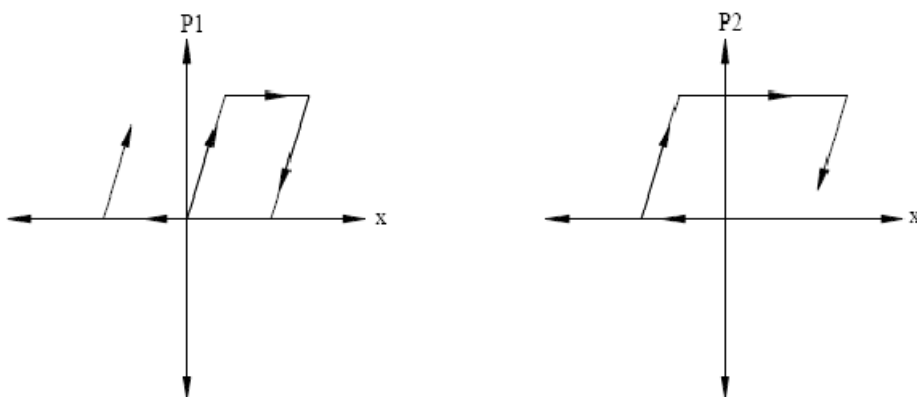
Εικόνα 5.19.

Όταν το φορτίο αντιστρέφεται ο νέος τένοντας εφελκύεται απορροφώντας την εισαγόμενη ενέργεια της έντασης (Εικόνα 5.20).



Εικόνα 5.20.

Οι βρόγχοι υστέρησης μπορούν να δείξουν την απόσβεση ενέργειας με την χρήση αυτού του αποσβεστήρα (Εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.21.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- 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. οικουσκευές).

- Επιτρέπει τη συνεχή λειτουργία του κτιρίου κατά τη διάρκεια των εργασιών επισκευής.
- Μειώνει δραστικά τη διέγερση της ανωδομής.
- Αποτρέπει τη δημιουργία βλαβών στον φέροντα οργανισμό του έργου.

Ο αποσβεστήρας καλωδίων μειώνει αρκετά τις μετατοπίσεις των κόμβων, αντιπροσωπεύει επίσης μια επιλογή χαμηλού κόστους. Μέχρι τώρα δεν υπάρχει οποιαδήποτε εφαρμογή αυτού του συστήματος και δεν έχουν γίνει πειραματικές μελέτες αλλά μόνο αναλυτικές.

5.3.6. Αποσβεστήρας Συντονισμένης Μάζας για τον Έλεγχο Δόνησης Πατωμάτων (Tune Mass Damper For floor Vibration control)

Οι ανθρώπινες μετακινήσεις μπορούν να προκαλέσουν δονήσεις στα πατώματα πέραν του συνηθισμένου. Υπάρχουν λίγα αποτελεσματικά διορθωτικά μέτρα όταν εμφανίζονται τέτοια προβλήματα. Η εφαρμογή του αποσβεστήρα ταλαντώσεων με συντονισμένη μάζα (TMDs) είχε κάποια επιτυχία στη μείωση των δονήσεων πατωμάτων. Εντούτοις, η εγκατάσταση αυτής της συσκευής και ιδιαίτερα τα επίπεδα απόσβεσης τους είναι μια πρόκληση.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών οι ενοχλητικές δονήσεις των πατωμάτων, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως το περπάτημα, έχει γίνει πιο κοινό. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση της μάζας των πατωμάτων λόγω της χρήσης οικοδομικών υλικών υψηλής αντοχής, στη μείωση της φυσικής συχνότητας του πατώματος λόγω μεγαλύτερης έκτασης και στη μείωση της απόσβεσης λόγω λιγότερων χωρισμάτων, συνδέσεων, κ.λπ. Γενικά, το TMDs είναι ταξινομημένο ως παθητικό, ενεργητικό, και ημι-ενεργητικό σύστημα. Τα χαρακτηριστικά του ελατηρίου ή και της διάταξης απόσβεσης δεν αλλάζουν με το χρόνο στο παθητικό TMDs και είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιημένη συσκευή για τον έλεγχο δόνησης πατωμάτων. Το ενεργητικό TMDs απαιτεί μια εξωτερική πηγή ενέργειας και σύστημα ελέγχου για τη λειτουργία του. Το ημι-ενεργητικό TMDs έχει απλούστερο υλικό από το ενεργό και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να λειτουργήσει, εντούτοις, δεν έχει δοκιμαστεί πλήρως.

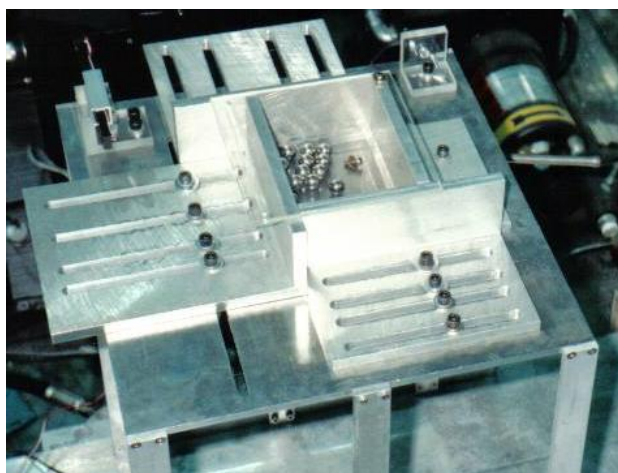
Ο αποσβεστήρας ταλαντώσεων με συντονισμένη μάζα (TMDs) έχει χρησιμοποιηθεί για την επίλυση των προβλημάτων δόνησης πατωμάτων. Χαρακτηριστικά, ένα TMD αποτελείται από μια μικρή μάζα σε σχέση με τη μάζα των πατωμάτων, που συνδέεται με το πάτωμα μέσω ενός ελατηρίου και μιας διάταξης απόσβεσης.

Σε μία από τις εφαρμογές του TMD χρησιμοποιήθηκαν δοχεία γεμάτα με νερό ως στοιχεία απόσβεσης (Bladder Tuned mass Damper - BTMD). Το BTMDs εγκαταστάθηκε και λειτούργησε με επιτυχία για αρκετά έτη σε ένα πάτωμα ενός κτιρίου με γραφεία. Οι δονήσεις των πατωμάτων μειώθηκαν από «ενοχλητικές» σε «μη αντιληπτές».

Οι αποσβεστικές αυτές μονάδες απαιτούν οποιαδήποτε άμεση σύνδεση στο πάτωμα, κατά συνέπεια, η εγκατάσταση, και η συντήρηση είναι σχετικά απλές. Εντούτοις, όπως στην περίπτωση οποιουδήποτε TMD όταν η δομή του πατώματος τροποποιείται, ο αποσβεστήρας από-συντονίζεται και απαιτεί πάλι συντονισμό.

5.4. Αποσβεστήρας με σωματίδια (Particle damper)

Ο αποσβεστήρας σωματιδίων είναι ένα σύστημα απόσβεσης που προσαρτάται στην ταλαντευόμενη κατασκευή. Αποτελείται από ένα δοχείο μέσα στο οποίο τοποθετούνται σωματίδια μικρού μεγέθους (χαλύβδινα ή βολφραμιούχα) (Εικόνα 5.22). Τα σωματίδια μέσα στο δοχείο κινούνται αντίθετα από την κίνηση της κατασκευής συγκρούονται με τα τοιχώματα του δοχείου αποσβένοντας με αυτό τον τρόπο 20-50% της σεισμικής δόνησης.



Εικόνα 5.22.

Το ποσοστό απόσβεσης εξαρτάται από τον λόγο μάζας των σωματιδίων ως προς την μάζα της κατασκευής. Όσο πιο μεγάλος είναι ο λόγος αυτός τόσο πιο αποτελεσματική είναι η απόδοση (συνήθως 5-10%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

6.1. Σεισμική μόνωση στο Εξωτερικό

Στην Ευρώπη η σεισμική μόνωση χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Ιταλία, ειδικά σε γέφυρες εθνικών οδών και αυτοκινητόδρομων. Στην Ιταλία το GLIS (Gruppo De Lavoro Isolamento Sismico) είναι μια δημόσια ομάδα που ασχολείται με την σεισμική μόνωση και ιδρύθηκε το 1989 για την στήριξη της έρευνας και την διευκόλυνση πάνω στην σεισμική μόνωση.

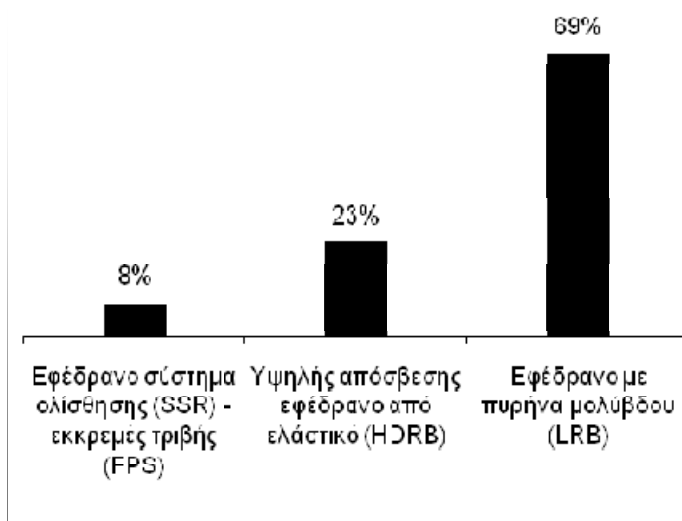
Αυτή η ομάδα εκτελεί αριθμητικές και πειραματικές μελέτες για την σεισμική μόνωση, παρέχει τεχνική υποστήριξη σε όσους σχεδιάζουν σεισμικά μονωμένα κτίρια, διαφημίζει την χρήση της και στηρίζει την ανάπτυξη σχετικών θεμάτων. Επίσης, οργανώνει συνέδρια που αφορούν την σεισμική μόνωση και στηρίζει Ινστιτούτα κάθε πόλης να ακολουθούν και να εγκρίνουν προτεινόμενες μελέτες με βάση την σεισμική μόνωση. Ο ρόλος της ομάδας αυτής είναι πολύ σημαντικός στην εξάπλωση και στην ευρύτερη χρήση της σεισμικής μόνωσης στην Ιταλία. Εκτιμάται ότι υπάρχουν περισσότερα από 30 σεισμικά μονωμένα κτίρια και περίπου 200 γέφυρες στην Ιταλία.

Στις ΗΠΑ ο αριθμός των σεισμικά μονωμένων γεφυρών είναι περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερος από τον αριθμό των σεισμικά μονωμένων κτιρίων. Τα τελευταία είναι σχεδόν ισομερώς χωρισμένα σε νέες κατασκευές και σε αποκαταστάσεις υπάρχοντων κτιρίων. Οι περισσότερες σεισμικές μονωμένες κατασκευές στις ΗΠΑ είναι κτίρια που είτε φυλάσσουν πράγματα υψηλής αξίας είτε παρέχουν σημαντικές υπηρεσίες στους ανθρώπους, όπως νοσοκομεία και κέντρα υψηλής τεχνολογίας. Ο αριθμός σεισμικά μονωμένων κατασκευών ανεβαίνει σταθερά π.χ από το 1989 μόνο πέντε κτίρια και έξι γέφυρες ήταν σεισμικά μονωμένες ενώ μέχρι το 1993 άλλα είκοσι κτίρια και πενήντα γέφυρες είχαν μονωθεί σεισμικά. Σήμερα τα σεισμικά μονωμένα κτίρια στις ΗΠΑ υπολογίζονται πάνω από πενήντα και οι γέφυρες πάνω από διακόσιες. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα εφέδρανο που χρησιμοποιήθηκε σε γέφυρα στο San Francisco.



Εικόνα 6.1. Το εντυπωσιακά μεγάλο εφέδρανο σφαιρικής ολίσθησης

Τα FPS και τα ELB έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σεισμική μόνωση των σπουδαιότερων σεισμικά μονωμένων κατασκευών ανά τον κόσμο. Μεταξύ αυτών είναι ο Διεθνής Αερολιμένας του San Fransisco (ΗΠΑ), το Δημαρχείο της Hayward (ΗΠΑ), το Δημαρχείο του San Fransisco (ΗΠΑ), η Βουλή της Νέας Ζηλανδίας, το Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο του Los Angeles (ΗΠΑ), οι Δεξαμενές Αποθήκευσης Φυσικού Αερίου στη Ρεβυθούσα (Ελλάδα) κ.α. Στην εικόνα 6.2. βλέπουμε ένα γράφημα με τα στατιστικά έρευνας στις Η.Π.Α, βασιζόμενο στη συχνότητα χρήσης των εφεδράνων.



Εικόνα 6.2. Συστήματα σεισμικής μόνωσης που έχουν χρησιμοποιηθεί στις Η.Π.Α

Στην Ιαπωνία η πρώτη σεισμικά μονωμένη κατασκευή ήταν μια διώροφη κατοικία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εδραζόταν πάνω σε έξι ελαστικά εφέδρανα που βρίσκονταν στην στάθμη της θεμελίωσης, κάτω από τις έξι κολώνες της. Το πρώτο μεγάλο κτίριο σεισμική μόνωσης, ένα τετράωρο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα ολοκληρώθηκε το 1986.

Η σεισμική μόνωση χρησιμοποιείται πιο σπάνια για αποκατάσταση υπαρχόντων κατασκευών σε σχέση με τις ΗΠΑ που την χρησιμοποιούν για κτίρια ιστορικής αξίας. Η πρόταση της σεισμικής μόνωσης ξεκίνησε στην Ιαπωνία το 1924 με ένα εφέδρανο με μια σφαίρα (Kitagawa). Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 μερική μόνωση χρησιμοποιήθηκε σε περισσότερες από 100 γέφυρες, σε συνδυασμό με ιξώδες αποσβεστήρες.

Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 75 σεισμικά μονωμένα κτίρια και 20 γέφυρες, η πλειοψηφία τους στην περιοχή του Τόκιο. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια σημαντική αύξηση της χρήσης της σεισμικής μόνωσης. Ο αριθμός των αιτήσεων στο Υπουργείο Υποδομών της Ιαπωνίας, για την χρήση της σεισμικής μόνωσης είναι πολύ μεγάλος. Μέχρι τα μέσα του 1998 το Υπουργείο είχε εγκρίνει περισσότερες από 500 αιτήσεις. Για την κατασκευή ενός σεισμικά μονωμένου κτιρίου στην Ιαπωνία απαιτείται εξέταση και έγκριση από μια επιτροπή του Υπουργείου. Εκτιμάται ότι ο αριθμός των αδειών που θα χορηγούνται στο μέλλον θα είναι 200 με 300 κάθε χρόνο, ειδικά μετά την επιτυχημένη απόδοση της σεισμικής μόνωσης σε κτίρια της Ιαπωνίας μετά τους πρόσφατους ισχυρούς σεισμούς.

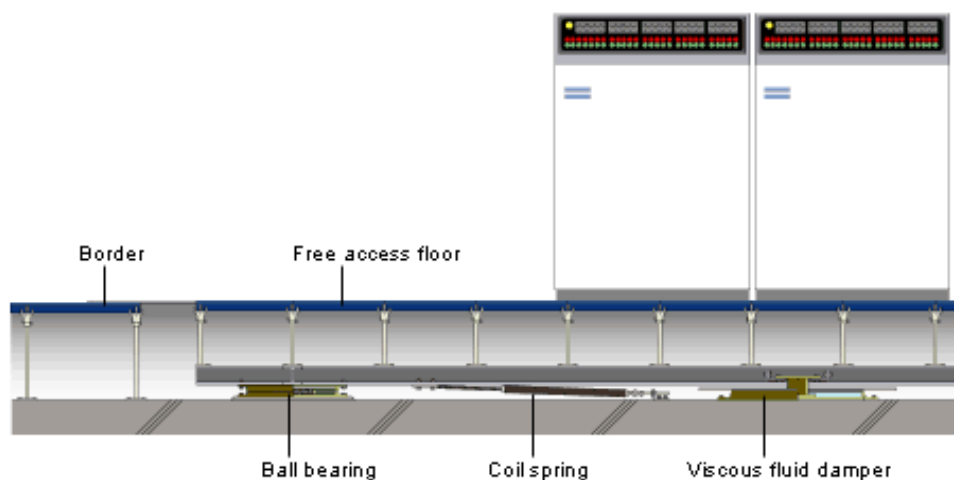
Η πλειοψηφία των σεισμικά μονωμένων κτιρίων στην Ιαπωνία είναι κατοικίες και γραφεία. Είναι αποδεδειγμένο ότι οι Ιάπωνες είναι πρόθυμοι να πληρώσουν ένα επιπλέον αρχικό κόστος για σεισμική μόνωση με στόχο την επίτευξη των υψηλότερων επιπέδων σεισμικής προστασίας.

6.2. Συστήματα Μόνωσης Πατωμάτων

Τα συστήματα μόνωσης πατωμάτων προστατεύουν τους ανθρώπους και τις πολύτιμες εγκαταστάσεις από τους σεισμούς. Σε ένα συμβατικό κτίριο, υπάρχει η δυνατότητα της πτώσης, της θραύσης και της κατάρρευσης των εγκαταστάσεων που αποθηκεύονται στο κτίριο, ακόμα κι αν το ίδιο το κτίριο δεν υποστεί κάποια σημαντική βλάβη. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για πολλά δωμάτια υπολογιστών και πυροσβεστικές υπηρεσίες.

6.2.1. Σύστημα μόνωσης πατωμάτων 2D

Το σύστημα μόνωσης πατωμάτων αποτελείται από πλάκες χάλυβα και ρουλεμάν, προενταμένα ελατήρια σπειρών και σύστημα απόσβεσης με ιξώδεις ρευστό (εικόνα 6.3).



Εικόνα 6.3. Σύστημα μόνωσης πατωμάτων 2D

Τα ρουλεμάν στηρίζουν το φορτίο του πάτωματος, απομονώνοντας ταυτόχρονα τη δόνηση με σχεδόν καμία τριβή και επεκτείνοντας την περίοδο της σεισμικής δόνησης. Το σύστημα απόσβεσης με ιξώδες ρευστό περιορίζει τη μετατόπιση του πατώματος που προκαλείται από τους σεισμούς και μετριάζει τη δόνηση.

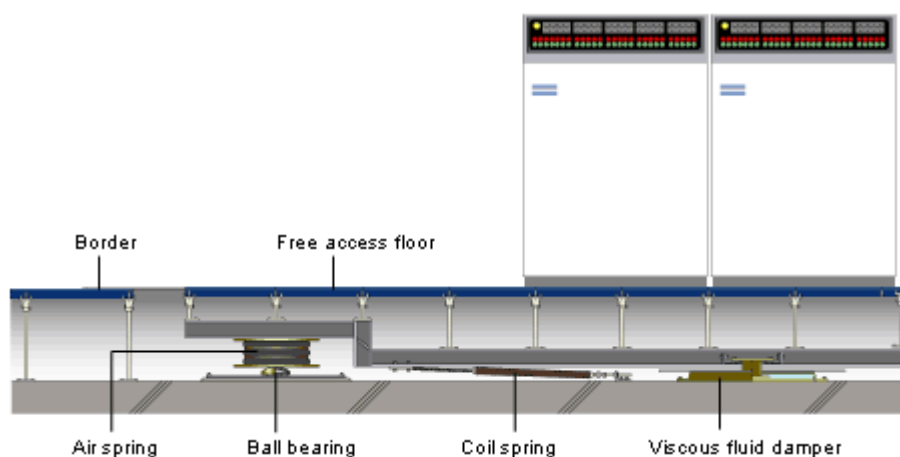
Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Οι χαλύβδινες πλάκες και τα ρουλεμάν παρέχουν σεισμική μόνωση υψηλής επίδοσης και κίνηση χωρίς κραδασμούς (συντελεστής τριβής 0.003 ή λιγότερο).
- Σε έναν σημαντικό σεισμό, η δόνηση του πατώματος μπορεί να μειωθεί εντυπωσιακά.
- Προστασία μπορεί να επιτευχθεί για ένα ευρύ φάσμα δονήσεων
- Το ύψος του συστήματος είναι χαμηλό, οπότε είναι σχετικά εύκολο να εγκατασταθεί σε υπάρχοντα κτίρια.
- Το ιξώδες ρευστό δεν παρουσιάζει κανένα φαινόμενο γήρανσης είναι εύκολο στη συντήρηση και έτσι μπορεί να διατηρηθεί η σταθερή του απόδοση.

6.2.2. Σύστημα μόνωσης πατωμάτων 3D

Το συμπαγές τρισδιάστατο σύστημα απομόνωσης πατωμάτων παρέχει σεισμική μόνωση για την οριζόντια και κάθετη κίνηση. Το τρισδιάστατο σύστημα απομόνωσης πατωμάτων γίνεται με την προσθήκη ελατηρίων αέρα σε ένα σύστημα 2-D (Εικόνα 6.4).

Τα ελατήρια αέρα απορροφούν την κάθετη κίνηση ενός σεισμού ήπια με το συμπιεσμένο αέρα. Επιπλέον, η κλίση του πατώματος που προκαλείται από την ανακατανομή φορτίων εξισορροπείται από ένα μηχανισμό που κρατά το ύψος του πατώματος σταθερό. Για τη σεισμική μόνωση της οριζόντιας κίνησης, χρησιμοποιούνται συμπαγή-ταξινομημένα ρουλεμάν και ένα σύστημα απόσβεσης με ιξώδες ρευστό.



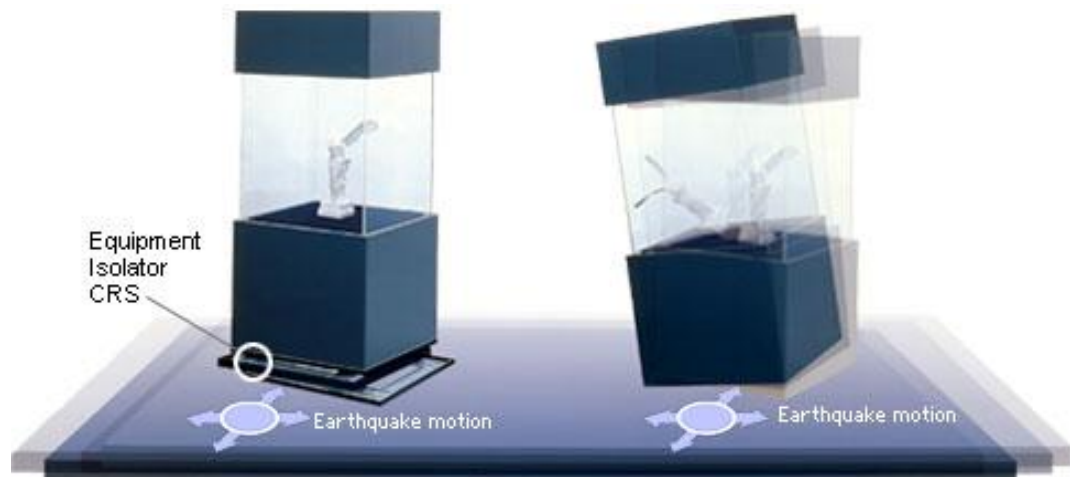
Εικόνα 6.4 Σύστημα μόνωσης πατωμάτων 3D

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Παρέχει σεισμική μόνωση υψηλής επίδοσης για την οριζόντια και κάθετη κίνηση.
- Προστασία μπορεί να επιτευχθεί για ένα ευρύ φάσμα δονήσεων.
- Το ύψος του συστήματος είναι χαμηλό.
- Δεδομένου ότι οι συσκευές είναι μικρές, είναι σχετικά εύκολο να εγκατασταθούν στα υπάρχοντα κτίρια.
- Τα ελατήρια αέρα και τα ρουλεμάν παρέχουν ομαλή κίνηση.

6.3. Σύστημα μόνωσης εξοπλισμού

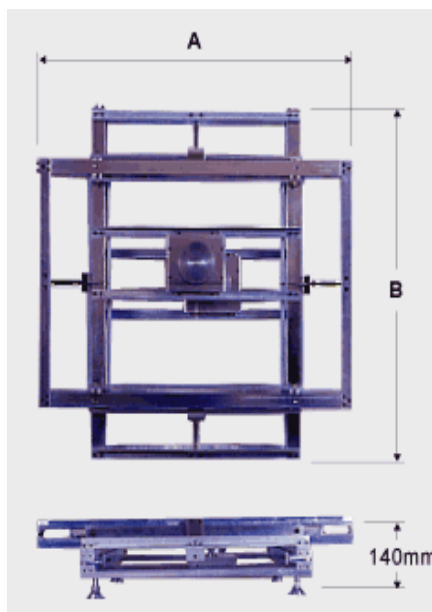
Ένας μονωτής εξοπλισμού μπορεί να προστατεύσει πολύτιμα έργα τέχνης. Χωρίζει τα έργα τέχνης από το πάτωμα με ένα σύστημα μόνωσης μειώνοντας τη μετάδοση της σεισμικής δόνησης (Εικόνα 6.5). Αυτό είναι ένα ιδανικό μέτρο για να προστατευθούν κοινωνικοί θησαυροί όπως σημαντικά πολιτιστικά εκθέματα ή έργα τέχνης και πολύτιμες εγκαταστάσεις από τους σεισμούς.



Εικόνα 6.5. Με και χωρίς το σύστημα μόνωσης εξοπλισμού

6.3.1. Σύστημα Κοίλων Ραγών (Cosine Curved Rail System - CRS)

Το CRS είναι ένα οικονομικό και αποτελεσματικό σύστημα απόσβεσης σεισμικής ενέργειας. Αποτελείται από εκκρεμή σε μορφή κυλίνδρων, ρουλεμάν, μια ιξώδη διάταξη απόσβεσης και ένα πλαίσιο (Εικόνα 6.6 και 6.7). Τα ρουλεμάν στηρίζουν το φορτίο απομονώνοντας σημαντικές δονήσεις σεισμού, παρατείνοντας την περίοδο ταλάντωσης. Τα ρουλεμάν αποτελούνται από κυλίνδρους και ειδικά διαμορφωμένες ράγες που μιμούνται τη κίνηση ενός εκκρεμούς. Επομένως, η φυσική περίοδος ολόκληρου του συστήματος είναι ανεξάρτητη του βάρους του αντικειμένου.



Εικόνα 6.6.

Η Ιξώδης διάταξη απόσβεσης με την χρήση ρευστού περιορίζει τη μετατόπιση που προκαλείται από τους σεισμούς και μετατρέπει το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής ενέργειας σε θερμική. Επιπλέον, δεδομένου ότι δεν έχει καμία αντίσταση τριβής, η προστασία μπορεί να παρασχεθεί ακόμη και ενάντια στις μικρές δονήσεις.

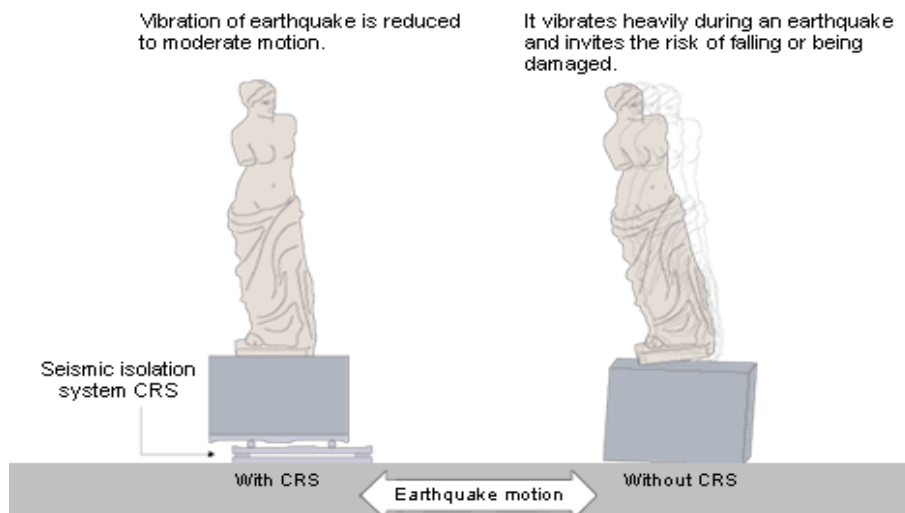
Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

- Η απομόνωση των εκθεμάτων από τις ισχυρές σεισμικές δονήσεις μειώνει την πιθανότητα πτώσης ή καταστροφής τους.
- Δεδομένου ότι η επίδραση της σεισμικής μόνωσης είναι ανεξάρτητη από το βάρος ή τη μορφή των εκθεμάτων, μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά πράγματα.



Εικόνα 6.7

- Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για μεγάλους και μικρούς σεισμούς
- Το σύστημα είναι συμπαγές για εξοικονόμηση χώρου.
- Η απλή του κατασκευή προβλέπει και την εύκολη συντήρηση.



Εικόνα 6.8. Με και χωρίς το CRS

6.3.2. Παράδειγμα του συστήματος μόνωσης εξοπλισμού του αγάλματος Ερμή του Πραξιτέλη στο Νέο Μουσείο της Αρχαίας Ολυμπίας

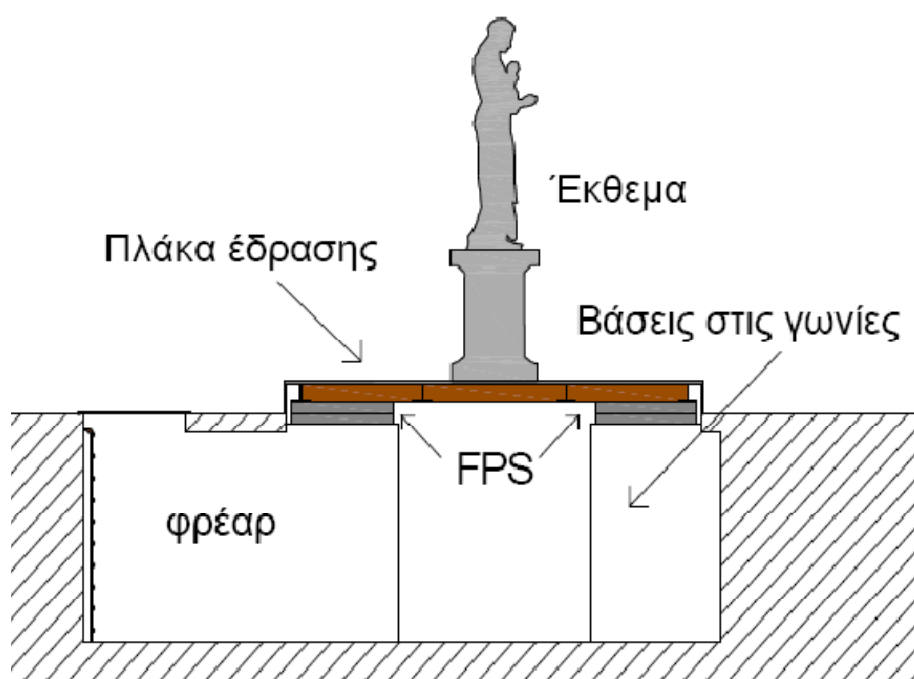
Ο Ερμής «που φέρει Διόνυσον νήπιον» κατά τον Πausanias και θεωρείται έργο του μεγάλου γλύπτη Πραξιτέλη (Εικόνα 6.9). Το άγαλμα από Παριανό μάρμαρο Λυχνίτη ύψους 2,13 μ. βρέθηκε το 1877 στο Ναό της Ήρας.

Λείπουν και είναι συμπληρωμένα με γύψο, το αριστερό πόδι του Ερμή από το γόνατο και κάτω, η δεξιά του κνήμη και το κατώτερο τμήμα του κορμού του δέντρου. Πρόκειται για ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά έργα του 4ου αι. π.Χ, όπου κυριαρχούν πλέον νέες καλλιτεχνικές εκφράσεις όπως ο ρεαλισμός και ο νατουραλισμός.

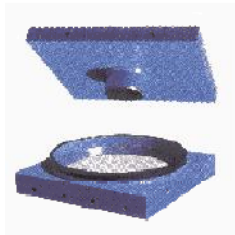
Στο άγαλμα έχει χρησιμοποιηθεί το σύστημα εκκρεμούςς τριβής (Εικόνα 6.11) όπου κατά την διάρκεια του σεισμού το άγαλμα γλιστράει πάνω στο εφέδρανο.



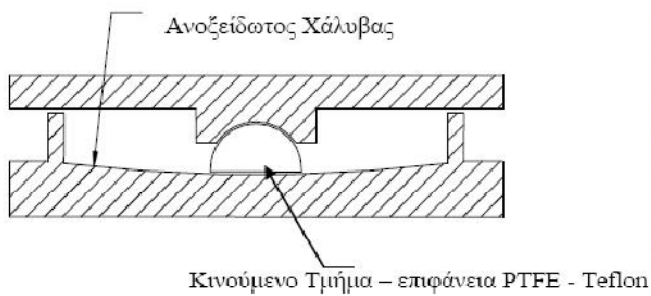
Εικόνα 6.9. Ο Ερμής



Εικόνα 6.10. Γενική Διάταξη Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης



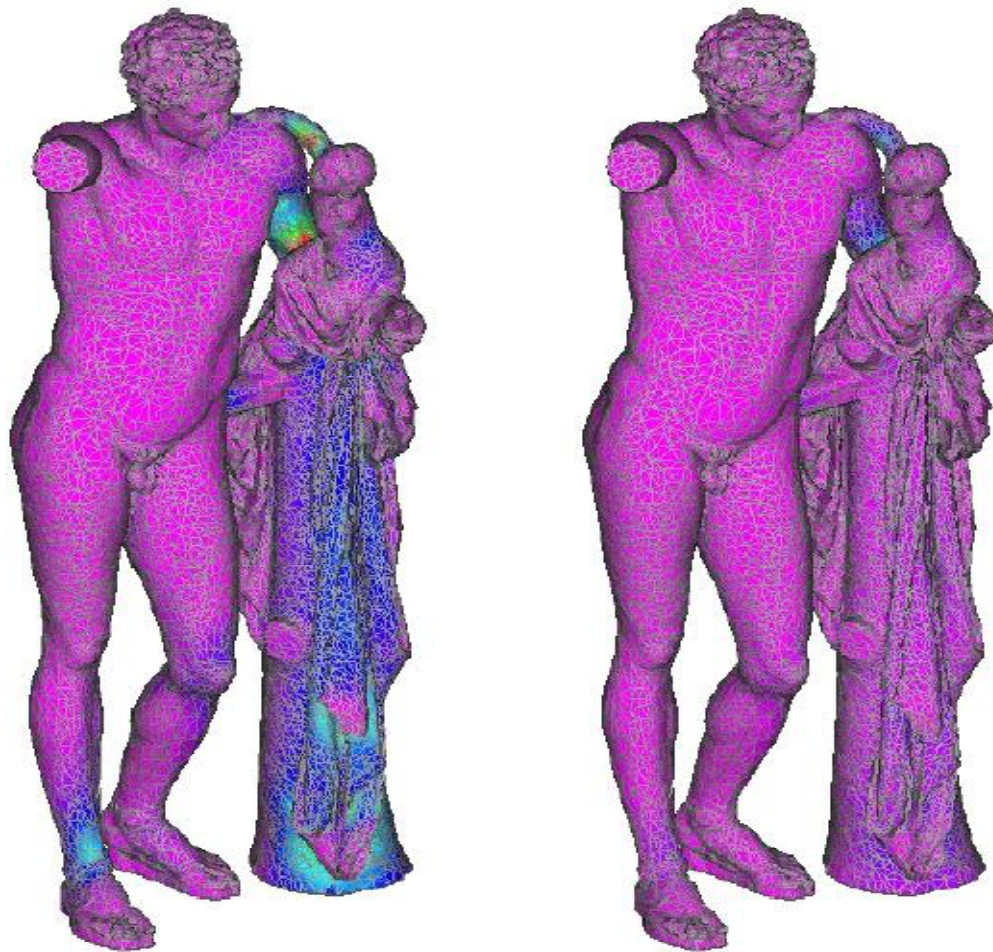
Εφέδρανο Ερμής
 $T=3 \text{ sec}$
 $\text{max } D=32 \text{ cm}$
 $\text{max } a=2.6 \text{ m/sec}^2$



Εικόνα 6.11. Σφαιρικό Εφέδρανο Τριβής - Friction Pendulum System (FPS)



Εικόνα 6.12. Βάση της Σεισμικής Μόνωσης



A) Χωρίς Σεισμική Μόνωση

B) Με Σεισμική Μόνωση

Εικόνα 6.13. Με και Χωρίς τη σεισμική μόνωση

Συμπεράσματα

- Η σεισμική μόνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μνημεία και εκθέματα καθώς η ενίσχυση τους δεν είναι πάντοτε εφικτή στο επίπεδο που επιβάλλουν οι σύγχρονοι κανονισμοί.
- Το μικρό βάρος των εκθεμάτων σε σχέση με κτίρια και γέφυρες καθιστά την επιλογή και το σχεδιασμό των συστημάτων σεισμικής μόνωσης ιδιαίτερα απαιτητικό.
- Τα σφαιρικά εφέδρανα τριβής ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις για μεσαίου και μεγάλου βάρους εκθέματα.

6.4. Εφαρμογή Σεισμικής Μόνωσης σε Γέφυρες

6.4.1. Εισαγωγή

Στο παρελθόν οι μηχανικοί γεφυρών στηριζόντουσαν στο να παρέχουν υπερβολική δυσκαμψία στην κατασκευή για να μειώσουν μετατοπίσεις και παραμορφώσεις κατά την διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων. Παρ' όλα αυτά, αυτή η σχεδιαστική προσέγγιση αποδείχτηκε τελικά προβληματική γιατί σε πολλές περιπτώσεις η αυξημένη δυσκαμψία προκαλούσε υψηλές σεισμικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα την πρόκληση ζημιών. Τις τελευταίες δεκαετίες ο σχεδιασμός για την σεισμική αντοχή πάνω στην κατασκευή γεφυρών, έχει βασιστεί επί τω πλείστων στην πλαστιμότητα, στην απόσβεση της σεισμικής ενέργειας και τέλος στην αποφυγή δομικής κατάρρευσης.

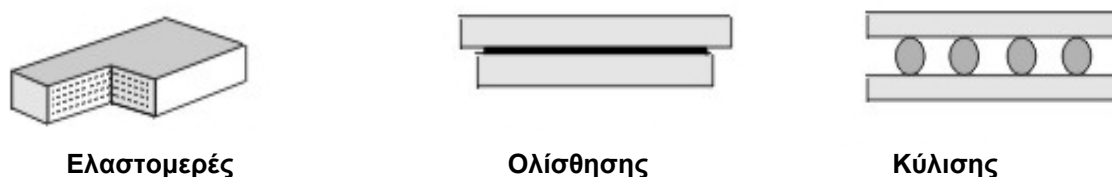
Ο σχεδιασμός της πλαστιμότητας έχει ως στόχο τις ανελαστικές παραμορφώσεις σε συγκεκριμένα τμήματα της κατασκευής, που είναι σημαντικά για την σταθερότητα, παρέχοντας τους αυξημένη αντοχή. Παρ' όλα αυτά η σχεδιαστική προσέγγιση της ολκιμότητας βασίζεται στην ζημία, για την απόσβεση της σεισμικής ενέργειας, που συχνά προκαλεί διακοπή της λειτουργίας της γέφυρας για την επισκευή της.

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει αυξημένο ενδιαφέρον για τον αντισεισμικό σχεδιασμό πάνω στις γέφυρες, με στόχο όχι μόνο την αποφυγή κατάρρευσης της γέφυρας αλλά και την αποτροπή ακραίων ζημιών με σκοπό την συνέχιση της λειτουργίας της. Η σεισμική μόνωση μπορεί να επιτευχθεί συχνά χωρίς σημαντική διακοπή στην λειτουργία της γέφυρας, αφού απαιτείται μια μικρή κατασκευαστική τροποποίηση.

Είναι γενικά πιο αποτελεσματικό από πλευράς κόστους και πιο πρακτικό να αναβαθμιστεί μια υπάρχουσα γέφυρα από την αποκατάσταση ενός υπάρχον κτιρίου, ειδικά αν θέλουμε μόνο να μονώσουμε το πάνω μέρος της γέφυρας.

6.4.2. Τύποι εφεδράνων για γέφυρες

Τα εφέδρανα των γεφυρών είναι συσκευές για να μεταφέρουν τα φορτία και τις κινήσεις από το κατάστρωμα στην υποκατασκευή και στα θεμέλια. Στις γέφυρες των εθνικών οδών οι κινήσεις των εφεδράνων συνοδεύονται από τους βασικούς μηχανισμούς της εσωτερικής παραμόρφωσης (ελαστικά), ολίσθησης ή κύλισης (Εικόνα 6.14)



Εικόνα 6.14. Τύποι Εφεδράνων

Οι βασικές λειτουργίες του κάθε τύπου εφεδράνου είναι οι εξής:

A. Ελαστικά

Τα ελαστικά εφέδρανα επιτρέπουν στο κατάστρωμα να αντιστέκεται σε φορτία κάθε φοράς. Τα αναπτυσσόμενα φορτία και οι κινήσεις της κατασκευής εξυπηρετούνται με την παραμόρφωση του ελαστικού εφεδράνου.

B. Ολίσθησης

Τα εφέδρανα ολίσθησης συνήθως αποτελούνται από ένα πολυμερές υλικό χαμηλής τριβής, πολυτετραφθοριοαιθυλένιο (PTFE) που ολισθαίνει πάνω σε ένα μεταλλικό έλασμα. Αυτό το εφέδρανο αντιστέκεται μόνο σε φορτία κατακόρυφης κατεύθυνσης.

Γ. Κύλισης

Τα εφέδρανα κύλισης επιτρέπουν μεγάλες ενώ γενικά αντιστέκονται μόνο κατακόρυφα φορτία. Ο σχεδιαστής πρέπει να υπολογίσει τα μέγιστα και τα ελάχιστα φορτία που το κατάστρωμα μπορεί να αναπτύξει στα εφέδρανα μαζί με τις αναμενόμενες κινήσεις. Τα εφέδρανα είναι σχεδιασμένα στο να επιτρέπουν στο κατάστρωμα να διαστέλλεται και να συστέλλεται αλλά να το διατηρεί στην αρχική του θέση.

6.4.3. Διαμόρφωση Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης

Το πάνω τμήμα μιας υπάρχουσας γέφυρας, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να μονωθεί σεισμικά με την απλή αντικατάσταση των υπαρχόντων κοινών εφεδράνων, που συχνά ούτως η άλλως πρέπει να αντικατασταθούν λόγω φθοράς, με μονωμένα εφεδρανα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η σεισμική μόνωση είναι σχετικά φθηνή και το μόνο έξοδο που χρειάζεται είναι του σεισμικού διακένου που πρέπει να δημιουργηθεί για τις σεισμικές μετατοπίσεις της ανωδομής.

Σημαντική εξοικονόμηση κόστους των πυλώνων, των στηριγμάτων και των θεμελίων μπορεί να επιτευχθεί στις κατασκευές νέων γεφυρών λόγω της περιορισμένης απαίτησης για αντοχή και ολκιμότητα. Παρομοίως ακριβές μετατροπές για την αύξηση της αντοχής και της ολκιμότητας των στοιχείων στην αποκατάσταση υπάρχουσων γεφυρών, μπορούν να μειωθούν ή και να εξαλειφθούν.

Μονώνοντας σεισμικά την ανωδομή μιας γέφυρας, μειώνεις τις σεισμικές δυνάμεις που την επηρεάζουν, βέβαια και η προστασία των πυλώνων, των στηριγμάτων αλλά και των θεμελίων είναι πολύ σημαντική και κρίσιμη. Παρ' όλο που αυτά τα στοιχεία δεν μονώνονται σεισμικά, προστατεύονται έμμεσα από την σεισμική μόνωση, αφού μειώνει και κατανέμει καλύτερα τα σεισμικά φορτία. Σωστή διαστασιολόγηση των μονωτήρων μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη επιθυμητού διαμοιρασμού των πλευρικών δυνάμεων σύμφωνα με τη δυσκαμψία του κάθε στοιχείου της κατασκευής. Τα φορτία μπορεί να κατευθυνθούν στα στοιχεία της κατασκευής που έχουν την απαραίτητη αντοχή και να μείνουν μακριά από τα αδύναμα στοιχεία της υποδομής.

Συχνά, οι πυλώνες έχουν διαφορετικό ύψος και δυσκαμψία λόγω της μορφολογίας του εδάφους γεγονός που προκαλεί ανεπιθύμητες κατανομές των πλευρικών φορτίων. Ας πάρουμε ως παράδειγμα μια γέφυρα που έχει ένα πυλώνα διπλάσιου ύψους από τον άλλον. Κάτω από σεισμική διέγερση, κατά μήκος της γέφυρας, ο κοντός πυλώνας θα έχει διατμητικές δυνάμεις περίπου 8 φορές υψηλότερες από τον ψηλό πυλώνα, υποθέτοντας ότι όλα τα άλλα χαρακτηριστικά είναι ίδια. Γι' αυτό ο κοντός πυλώνας πρέπει να έχει μεγαλύτερη αντοχή με σκοπό να αντέξει τις μεγάλες σεισμικές δυνάμεις.

Αν ο σεισμός γίνει στην εγκάρσια κατεύθυνση, σε περίπτωση μη σύμπτωσης του κέντρου δυσκαμψίας με το κέντρο μάζας, η κατάσταση μπορεί να είναι πολύ χειρότερη λόγω σοβαρών στρεπτικών μετακινήσεων.

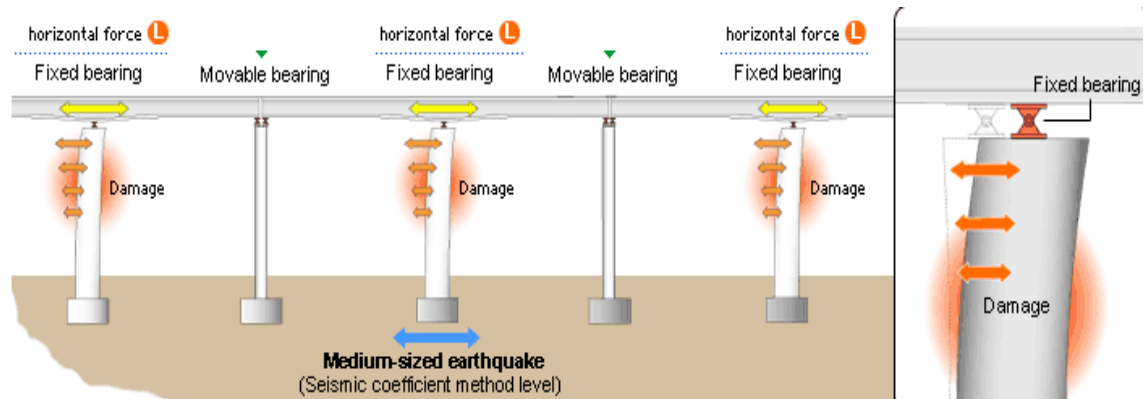
Η σεισμική μόνωση της ανωδομής και η σωστή διαστασιολόγηση των μονωτήρων μπορούν να ελέγξουν την κατανομή των πλευρικών φορτίων για να αποφευχθούν στρεπτικές επιδράσεις. Οι μετατοπίσεις της ανωδομής γίνονται κυρίως στη στάθμη μόνωσης από τις παραμορφώσεις των μονωτήρων παρά από τις παραμορφώσεις των πυλώνων. Επίσης, το συνολικό σεισμικό φορτίο που πρέπει να μεταφερθεί από τα θεμέλια, μειώνεται σημαντικά και η διανομή μπορεί να ελεγχθεί από τα χαρακτηριστικά των μονωτήρων.

Οι διατμητικές δυνάμεις ελέγχονται κυρίως από τα χαρακτηριστικά των μονωτήρων, συγκεκριμένα της δυσκαμψίας τους, εκτός αν οι πυλώνες είναι πολύ ελαστικοί. Τότε η συνδυασμένη ελαστικότητα των πυλώνων και των μονωτήρων καθορίζει τη διανομή των διατμητικών δυνάμεων στους πυλώνες. Όταν χρησιμοποιούνται εφέδρανα με πυρήνα μόλυβδου (LRB), η αρχική δυσκαμψία π.χ. πριν τη διαρροή του πυρήνα, καθορίζει την κατανομή των μικρών πλευρικών φορτίων, λόγω άνεμου και μικρών σεισμών. Στις ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις η μετά ελαστική δυσκαμψία των μονωτήρων καθορίζει την κατανομή των διατμητικών δυνάμεων που μεταφέρονται στο έδαφος. Γι' αυτό, ο κατάλληλος σχεδιασμός των μονωτήρων μπορεί να πετύχει τις επιθυμητές πλευρικές κατανομές φορτίων και αν είναι απαραίτητο να κατευθύνει τα φορτία μακριά από αδυναμίες της υποδομής της γέφυρας.

Τα σεισμικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα που έχουν πυρήνα από μόλυβδο ή βοηθητικούς αποσβεστήρες από μόλυβδο, μπορούν να λειτουργήσουν όχι μόνο ως μονωτήρες κάτω από σεισμικές διεγέρσεις αλλά και ως εφέδρανα για θερμικές επιδράσεις.

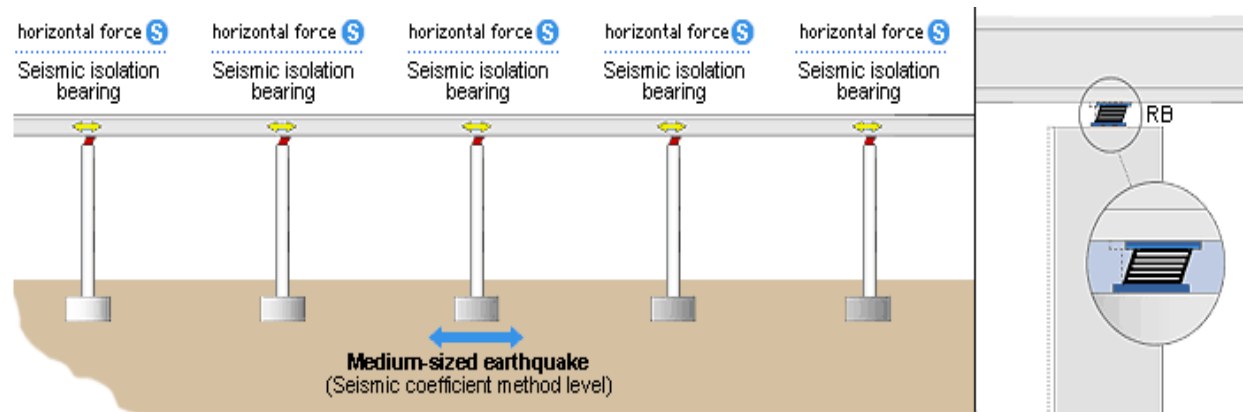
Υπάρχουν τρεις δημοφιλείς τύποι σεισμικού σχεδιασμού για γέφυρες:

A) Συμβατικές γέφυρες σχεδιασμένες για σεισμική αντοχή



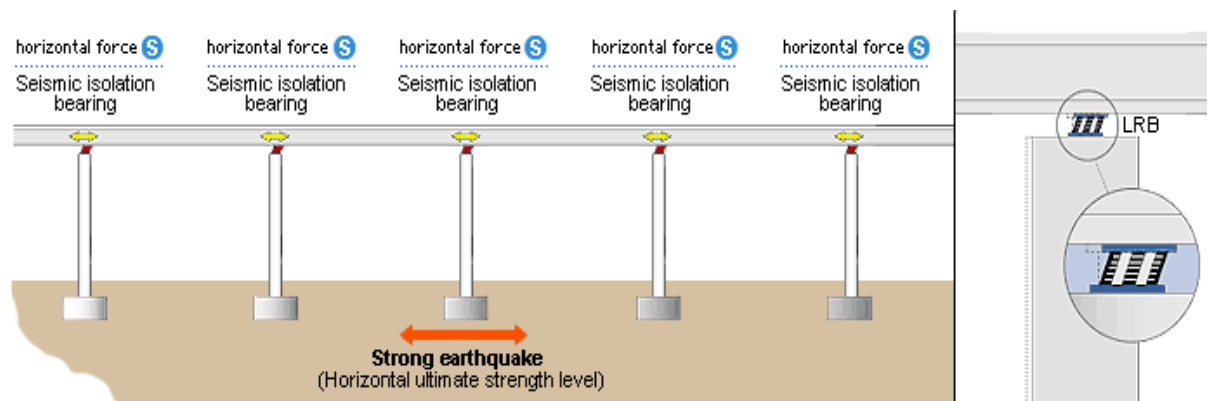
Εικόνα 6.15. Η οριζόντια δύναμη συγκεντρώνεται σε έναν άκαμπτο πυλώνα

B) Απόσβεση των φορτίων της γέφυρας (μονωμένη βάση)



Εικόνα 6.16. Τα RB και LRB χρησιμοποιούνται για να αποσβέσουν την οριζόντια δύναμη που προκαλείται σε κάθε πυλώνα

Γ) Σεισμική μόνωση γέφυρας



Εικόνα 6.17. Τα LRB εφέδρανα χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την περίοδο δόνησης και να μετριάσουν τη δόνηση

6.5. Ιστορικό Κτίριο του Εφετείου του San Francisco⁸

Το Εφετείο του San Francisco (Εικόνα 6.18) είναι ένα από τα καλλιτεχνικά αριστουργήματα του αρχιτέκτονα James Knox Taylor. Το αρχικό κτίριο σχήματος Π κατασκευάστηκε το 1905. Το 1906 καταπονήθηκε από δυνατό σεισμό που έλαβε χώρα στην περιοχή του San Francisco εμφανίζοντας μόνο ελάχιστες ζημιές. Το 1933 προστέθηκε και τέταρτη πτέρυγα στην ελεύθερη πλευρά του Π σχηματίζοντας αίθριο στο εσωτερικό του. Το κτίριο υπέστη νέες ζημιές κατά τον σεισμό Loma Prieta του 1989, μεγέθους 7,1 της κλίμακας Ρίχτερ, οπότε αποφασίστηκε η διακοπή λειτουργίας του.



Εικόνα 6.18. Το εφετείο του San Francisco

Κατά το έτος 1994 ολοκληρώθηκε η σεισμική μόνωση του κτιρίου, που το κατέστησε το μεγαλύτερο ιστορικό κτίριο που υπέστη ενίσχυση αυτής της μορφής, μέχρι τουλάχιστον το 1995. Είναι ένα 5-όροφο κτίριο: μήκους 100μ, πλάτους 81μ και ύψους 24μ περίπου και συνολικού εμβαδού 350.000 ft².

Ο φέρων οργανισμός αποτελείται από μεταλλικά πλαίσια, ενώ τα οριζόντια διαφράγματα είναι πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος. Εξωτερικά, τα μεταλλικά υποστυλώματα στηρίζουν άοπλη τοιχοποιία από επιμελώς λαξευμένο γρανίτη, ενώ τα εσωτερικά χωρίσματα είναι από κλασικά διάτρητα τούβλα. Η θεμελίωση του αρχικού κτιρίου αποτελείται από χαλύβδινα πέλματα εγκιβωτισμένα σε άοπλο σκυρόδεμα.

⁸Seismic Retrofit of Large Historic Building. A. Mokha, N. Amin, M . C. Constandinou, V. Zayas. ASCE J. Str. Eng., Vol. 122, No 3, March 1996. pp 298-307

6.5.1. Εκτίμηση Υπάρχοντος Κτιρίου

Η εκτίμηση των κατασκευαστικών ορίων και των δυναμικών χαρακτηριστικών ήταν πολύ σημαντική στην περίπτωση του κτιρίου του εφετείου, από την στιγμή που, εκτός από ένα δημόσιας χρήσης οικοδόμημα, αποτελεί και αρχιτεκτονικό μνημείο της πόλης. Συνεπώς, επιδιώχθηκε ταυτόχρονα η ασφάλεια των χρηστών και η διατήρηση των αρχιτεκτονικών του ιδιαιτεροτήτων.

Για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του υφιστάμενου κτιρίου εφαρμόστηκαν τόσο αναλυτικές τεχνικές όσο και πειραματικές δοκιμές τόσο στο ίδιο το κτίριο όσο και σε μοντέλα του. Για τις επί τόπου δοκιμές χρησιμοποιήθηκε δονητική μηχανή που παρήγαγε ταλαντώσεις πολύ μικρού εύρους (σχεδόν ανεπαίσθητες). Η ανάλυση των πειραματικών μετρήσεων έδειξε ότι η δυσκαμψία του κτιρίου καθοριζόταν σε μεγάλο βαθμό από τη δυσκαμψία των εξωτερικών γρανιτένιων τοίχων.

Παρατηρήσεις μετά τους σεισμούς του 1906 και του 1989 έδειξαν ότι οι τοίχοι αυτοί υπέστησαν σημαντικές ζημιές. Το συμπέρασμα ήταν ότι οι τιμές των δυναμικών ιδιοτήτων του κτιρίου πριν την επισκευή δε θα άλλαζαν σημαντικά στην περίπτωση ισχυρού σεισμού όσο οι εξωτερικοί τοίχοι δεν υπόκειντο σε εκτεταμένες αστοχίες. Η συμπεριφορά που αναμενόταν ήταν μια ήπια μείωση της δυσκαμψίας και αύξηση της περιόδου κατά 25% και του ποσοστού κρίσιμης απόσβεσης κατά 50-100% καταλήγοντας σε τιμές 0.7 s και 5-10% αντίστοιχα.

Η αποκατάσταση και ενίσχυση του κτιρίου του εφετείου περιελάμβανε, εκτός από σεισμική μόνωση του και την ενίσχυση της ανωδομής. Έτσι, τοποθετήθηκαν διατμητικοί τοίχοι σε επιλεγμένα σημεία, για ελαχιστοποίηση της επιρροής στα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, που θα παρελάμβαναν το 50% περίπου της υπολογισθείσας διατμητικής φόρτισης υπό ελαστικές συνθήκες, καθώς επίσης και ένα πλαίσιο για ενίσχυση σε κάμψη, στο χώρο του αίθριου. Συνολικά, η ανωδομή ενισχύθηκε σε σημείο που θα μπορούσε να συμπεριφερθεί ελαστικά ή σχεδόν ελαστικά για τις σεισμικές δράσεις που υπολογίσθηκαν.

6.5.2. Επιλογή Θέσης του Μονωτή

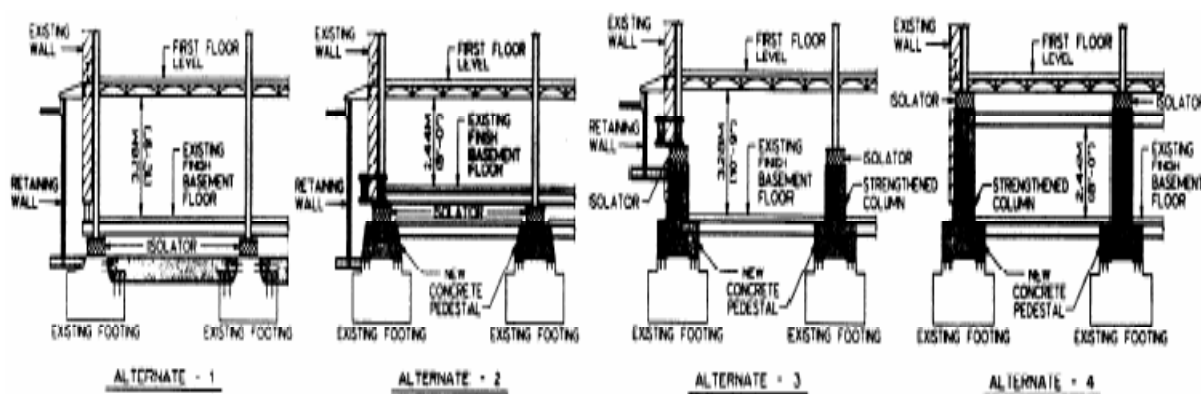
Για την επιλογή θέσης του μονωτή συγκρίθηκαν 4 εναλλακτικές λύσεις οι οποίες παρουσιάζονται στην εικόνα 6.19. Οι επεμβάσεις που συνεπάγεται κάθε επιλογή προκύπτουν κυρίως:

α) από την απαίτηση για εξασφάλιση διαφραγματικής λειτουργίας σε δύο επίπεδα λίγο πιο πάνω και λίγο πιο κάτω από το επίπεδο μόνωσης, (είτε με κατασκευή νέων πλακών και συνδετήριων δοκών στα θεμέλια είτε με κατάλληλη αξιοποίηση των υφιστάμενων πλακών),

β) την απαίτηση για εκσκαφή περιμετρικής τάφρου και κατασκευή τοίχου αντιστήριξης μέχρι τη στάθμη μόνωσης στην περίπτωση που αυτή είναι χαμηλότερα από τη στάθμη του εδάφους,

γ) την απαίτηση για κατασκευή πυλώνων έδρασης των μονωτών από τα θεμέλια έως τη στάθμη μόνωσης στην περίπτωση που οι συσκευές δεν εδράζονται κατευθείαν πάνω στα θεμέλια και

δ) τις απαιτήσεις για ενίσχυση της υπερκατασκευής που προκύπτουν από κάθε περίπτωση. Τα κριτήρια επιλογής αφορούσαν το κόστος και την ευκολία πραγματοποίησης των παραπάνω επεμβάσεων και την επίδραση στην αρχιτεκτονική λειτουργία και τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 6.19. Οι 4 εναλλακτικές λύσεις

Τελικά, επιλέχθηκε η πρώτη λύση (πάνω από την θεμελίωση και κάτω ακριβώς από την πλάκα υπογείου) γιατί παρείχε ικανοποιητικό χώρο για τις εργασίες επέμβασης, εξασφάλιζε εφικτή και ευκολότερη εγκατάσταση των μονωτών, προκαλούσε ελάχιστη επίδραση στις υπάρχουσες μηχανολογικές, ηλεκτρικές και υδραυλικές εγκαταστάσεις και κυρίως εξασφάλιζε σημαντικό ελεύθερο ύψος στο υπόγειο.

Οι υπόλοιπες εναλλακτικές λύσεις απορρίφθηκαν γιατί ήταν λιγότερο επιθυμητές αρχιτεκτονικά και θα δυσκόλευαν αρκετά τις εργασίες. Επίσης, θα απαιτούσαν περισσότερη ενίσχυση της ανωδομής και σε γενικές γραμμές μεγαλύτερο τελικό κόστος και χρονοδιάγραμμα εργασιών.

6.5.3. Επιλογή Συστήματος Μόνωσης

Τρεις εναλλακτικές λύσεις εξετάστηκαν: Ελαστομερή εφέδρανα (ELB), ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) και το σύστημα εκκρεμούς τριβής (FPS). Για κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα εξετάστηκαν παράμετροι όπως, το κόστος ανά τεμάχιο και ο απαιτούμενος αριθμός τεμαχίων, καθώς και τα αποτελέσματα προκαταρκτικών ελέγχων. Όσο προχωρούσε η ανάλυση ο αρχικός σχεδιασμός των συστημάτων επαναπροσδιορίστηκε ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση των αποδεκτών τύπων μονωτών στην απόκριση της ανωδομής και στην αρχιτεκτονική της μορφή.

Για κάθε τύπο διενεργήθηκε μη γραμμική δυναμική ανάλυση με δεδομένα τα χαρακτηριστικά τριών σεισμών της περιοχής. Σημαντικός αποδείχθηκε ο παράγοντας «ύψος μονωτή» με ουσιαστική επίδραση στο κόστος και την διαδικασία κατασκευής. Τελικά, επιλέχθηκε το σύστημα εκκρεμούς τριβής ως το αποδοτικότερο από τα τρία.

Ο τελικός σχεδιασμός απαιτούσε την τοποθέτηση 256 εκκρεμών τριβής 8 διαφορετικών τύπων. Επιλέχθηκε ακτίνα καμπυλότητας 1880mm για να επιτευχθεί η περίοδος σχεδιασμού των 2,75sec. Επίσης αποφασίστηκε η τοποθέτηση των εκκρεμών τριβής με την κοίλη επιφάνεια προς τα κάτω τόσο για λόγους συντήρησης και απόδοσης, όσο και διότι κατ' αυτόν τον τρόπο το σημείο εφαρμογής των κατακόρυφων φορτίων στα θεμέλια θα παρέμενε σταθερό κατά την πλευρική μετατόπιση της κατασκευής, μειώνοντας τις απαιτήσεις ενίσχυσής τους.

6.5.4. Τοποθέτηση των Εκκρεμών Τριβής

Η τοποθέτηση των εκκρεμών τριβής (Εικόνα 6.20) περιελάμβανε τα εξής στάδια:

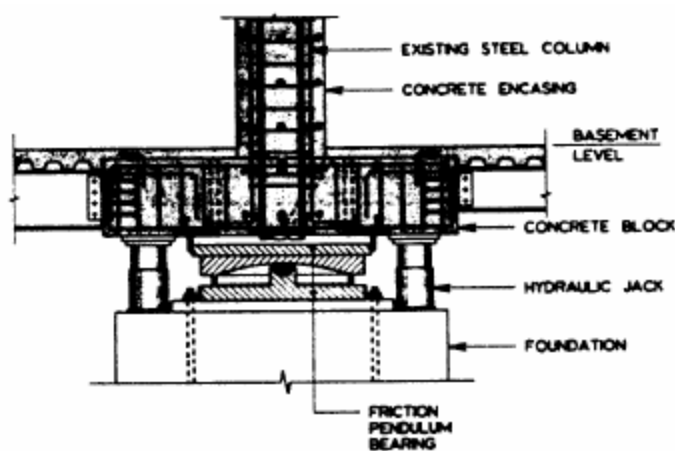
α) Εγκιβωτισμός των υποστυλωμάτων του υπογείου σε οπλισμένο σκυρόδεμα.

β) Κατασκευή ορθογωνικού στοιχείου οπλισμένου σκυροδέματος με διαστάσεις 2 επί 2,4m ακριβώς κάτω από την πλάκα θεμελίωσης και πάνω από το σημείο τοποθέτησης των μονωτών. Στόχος των δύο πρώτων βημάτων ήταν η βελτίωση της συμπεριφοράς των υποστυλωμάτων έναντι του φαινομένου P-delta κατά τον σεισμό καθώς και η παροχή μόνιμης δυνατότητας ανύψωσης για μελλοντική συντήρηση ή αντικατάσταση των μονωτών.

γ) Ανύψωση των υποστυλωμάτων του υπογείου που μετέφεραν στα θεμέλια αξονικά φορτία με εύρος τιμών από 2700 έως 4000 kN. Για τη ανύψωση χρησιμοποιήθηκαν 4 υδραυλικοί γρύλοι ανά εφέδρανο που τοποθετήθηκαν ανάμεσα στα θεμέλια και στα κιβώτια σκυροδέματος που προαναφέραμε και σε απόσταση μεταξύ τους 1,83m. Ειδικά ρολόγια προσδιόριζαν τη στιγμή που η κολώνα αποφορτιζόταν ενώ παράλληλα οι γρύλοι κλειδώνονταν και η υδραυλική πίεση ελευθερωνόταν. Οι γρύλοι ήταν σχεδιασμένοι για φορτία τρεις φορές μεγαλύτερα από τα υπολογισμένα αξονικά φορτία.

δ) Κόψιμο του υποστυλώματος 20mm περίπου κάτω από το block σκυροδέματος μέχρι τα θεμέλια και απομάκρυνση αυτού του τμήματος.

ε) Τοποθέτηση του μονωτή στο κενό μεταξύ θεμελίου και block σκυροδέματος. Η τοποθέτηση γινόταν με ρυθμό 8 συσκευών ανά ημέρα (6 μήνες για τους 256 μονωτές) από ένα συνεργείο τεσσάρων ατόμων.



Εικόνα 6.20

6.6. Σύγχρονο Κτίριο Τερματικού Σταθμού Διεθνούς Αερολιμένα Κωνσταντινουπόλεως Kemal Ataturk⁹

Το τερματικό κτίριο του αεροδρομίου Ataturk της Κωνσταντινούπολης (Εικόνα 6.21) είναι ένα νέο κτίριο του οποίου η κατασκευή ολοκληρώθηκε περίπου στα τέλη του 1999. Είναι μια τριώροφη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα στεγαζόμενη με χαλύβδινο χωροδικτύωμα. Το κτίριο έχει διαστάσεις σε κάτοψη 240μ. επί 168μ. και αποτελείται από 20 ανεξάρτητα πλαίσια διαστάσεων 48 επί 48μ., που διαχωρίζονται με κατασκευαστικούς αρμούς εύρους 50χιλ. Το χωροδικτύωμα της οροφής είχε αρχικά κατάλληλους συνδέσμους ανά αποστάσεις για να επιτρέπεται η θερμική διαστολή και συστολή των μελών του. Οι όροφοι διαχωρίζονται με δοκιδοτές πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το κτίριο υπέστη ζημιές κατά τον σεισμό της 19ης Αυγούστου 1999 με επίκεντρο τον κόλπο του Μαρμαρά. Καταγράφηκαν ζημιές στις βάσεις των υποστυλωμάτων του 3ου ορόφου με την μορφή αποφλοίσωσης του σκυροδέματος επικάλυψης των οπλισμών και λυγισμού του διαμήκους οπλισμού. Επίσης, παρατηρήθηκε απώλεια σκυροδέματος στις συνδέσεις των υποστυλωμάτων αυτών με την οροφή, μετακίνηση των μεταλλικών πλακών έδρασης της οροφής σε σχέση με τα υποκείμενα υποστυλώματα, καθώς και διαγώνιες ρωγμές και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στους κόμβους, αποτέλεσμα μη ύπαρξης εγκάρσιου οπλισμού σε αυτούς.



Εικόνα 6.21.

⁹Seismic Evaluation and Retrofit of the Ataturk International Airport Terminal Building. M. C. Constantinou, A. S. Whittaker, E. Velivasakis

Αρχικά έγινε μη γραμμική στατική ανάλυση σε ένα από τα 20 ανεξάρτητα πλαίσια διαστάσεων 48 επί 48μ. για να διαπιστωθεί αν τα σημεία αδυναμίας που προκύπτουν από αυτή συμπίπτουν με τις ζημιές που παρατηρήθηκαν και για να εκτιμηθεί η παραμορφωσιμότητα του υπάρχοντος συστήματος πλαισίων.

6.6.1. Επιλογή Τρόπου Παρέμβασης στο Υπάρχον Κτίριο

Για την αποκατάσταση και ενίσχυση του κτιρίου εξετάστηκαν τόσο οι κλασικές μέθοδοι ενίσχυσης όσο και νεότερες τεχνικές. Οι συμβατικές τεχνικές αφορούσαν την χρήση ενός πλάστιμου συστήματος αντίστασης στην πλευρική φόρτιση που θα αποτελείται από χαλύβδινα πλαίσια, ειδικούς διατμητικούς τοίχους και πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος. Όλες οι παραπάνω τεχνικές θα απαιτούσαν θεμελίωση των προσθέτων μελών επισκευή και ανακατασκευή των υποστυλωμάτων του τρίτου ορόφου, κατάργηση των αρμών μεταξύ των πλαισίων καθώς και πλήρη ενοποίηση με μανδύες, των χωρισμένων, σε μισά ή τέταρτα τμήματα, υποστυλωμάτων στην συμβολή των πλαισίων.

Η προσθήκη συμβατικών συστημάτων (τοιχία, πλαίσια) κρίθηκε μη υλοποιήσιμη επειδή νέα κατακόρυφα μέλη δεν θα μπορούσαν να τοποθετηθούν από τον 1ο όροφο και κάτω. Στην συνέχεια εξετάστηκαν νεότερες τεχνολογίες για την ενίσχυση του κτιρίου, όπως η σεισμική μόνωση και πρόσθετη απόσβεση. Επειδή η εφαρμογή πρόσθετης απόσβεσης θα απαιτούσε την προσθήκη χιαστί συνδέσμων οι εμφανιζόμενων τοιχωμάτων στους κατώτερους δύο ορόφους του κτιρίου η επιλογή τους δεν εξετάστηκε. Απέμειναν δύο εναλλακτικές λύσεις σεισμικής μόνωσης:

- α) Σεισμική μόνωση ολόκληρου του κτιρίου και
- β) μόνωση του δικτυώματος της οροφής.

Η πρώτη από τις δύο λύσεις θα απαιτούσε αρχικά την μετακίνηση όλου του μηχανολογικού υλικού του πρώτου ορόφου καθώς και των συστημάτων μεταφοράς αποσκευών και στην συνέχεια την καταστροφή της πλάκας ισογείου για την τοποθέτηση του συστήματος ακριβώς πάνω από τα θεμέλια. Επειδή, όμως, οι εργασίες βρίσκονταν σε προχωρημένο στάδιο την περίοδο εκείνη, ο ιδιοκτήτης του έργου επέλεξε την δεύτερη εναλλακτική λύση, την σεισμική μόνωση, δηλαδή της οροφής.

6.6.2. Επεμβάσεις Ενίσχυσης

Το τελικό σχέδιο επέμβασης περιελάμβανε, την μόνωση του χωροδικτυώματος της οροφής ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις αντοχής στα υποστυλώματα του τρίτου ορόφου (που υπέστησαν εξάλλου ζημιές κατά τον σεισμό) και στα πλαίσια των κατωτέρων ορόφων. Επίσης, αποφασίστηκε η κατάργηση των ειδικών συνδέσμων που χώριζαν την οροφή σε μερικώς ανεξάρτητα τμήματα, ώστε να επιτευχθεί διαφραγματική λειτουργία της οροφής σε περίπτωση σεισμικής δόνησης. Τέλος, σχεδιάστηκε η ενίσχυση της πλαισιακής κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος. Πιο αναλυτικά:

α) Τα εκκρεμή τριβής χρησιμοποιήθηκαν για να περιορίσουν τις πλευρικές δυνάμεις που θα ασκούσαν στις κολώνες του τρίτου ορόφου από την δικτυωτή οροφή σε περίπτωση σεισμού. Τα εφέδρανα αυτά επιλέχθηκαν έναντι άλλων διότι μπορούν να μονώσουν και ελαφρές κατασκευές με κατάλληλη επιλογή του συντελεστή τριβής της διεπιφάνειάς τους. Οι αρχικοί υπολογισμοί υπέδειξαν περίοδο ταλάντωσης 3,00 sec (με κατάλληλη επιλογή ακτίνας καμπυλότητας), συντελεστή τριβής 0,09 και δυνατότητα μετατόπισης μέχρι 260χιλ.

β) Οι χωρισμένες σε μισά ή τέταρτα, κολώνες στις συμβολές των πλαισίων ενώθηκαν σε ενιαία τμήματα με χρήση οπλισμένου σκυροδέματος. Επιπρόσθετος κατακόρυφος οπλισμός τοποθετήθηκε στους κόμβους συμβολής των διαχωρισμένων υποστυλωμάτων και περιμετρικά αυτών κατά την ενοποίησή τους, για επιπλέον ενίσχυση. Ο στόχος αυτής της ενίσχυσης ήταν να αυξηθεί ο λόγος της αντοχής των υποστυλωμάτων προς την αντοχή των δοκών. Στα υποστυλώματα του δευτέρου και του τρίτου ορόφου κατασκευάστηκαν μανδύες σκυροδέματος με χρήση κυκλικών μεταλλότυπων οι οποίοι παρέμειναν ως οπλισμοί μετά την έγχυση του σκυροδέματος, προσδίδοντας κατ' αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη διατμητική αντοχή και πλαστιμότητα στα υποστυλώματα.

γ) Στα πλαίσια των δύο ανωτέρων ορόφων, καταργήθηκαν οι αρμοί διαστολής. Τα πλαίσια διασυνδέθηκαν με οπλισμένο σκυρόδεμα για επιπλέον ενίσχυση της κατασκευής έναντι των πλευρικών φορτίσεων.

δ) Να σημειώσουμε, τέλος, ότι δεν πραγματοποιήθηκε καμία επέμβαση ενίσχυσης στους δύο κατωτέρους ορόφους, όπως εξάλλου είχε απαιτήσει από την αρχή ο ιδιοκτήτης του έργου λόγω του προχωρημένου των εργασιών.

Η απόκριση του ενισχυμένου κτιρίου εκτιμήθηκε εκ νέου με ανάλυση που υπέδειξε μέγιστη μετατόπιση στο επίπεδο οροφής 190mm. Οι απαιτήσεις παραμόρφωσης των δοκών και υποστυλωμάτων στο ενισχυμένο κτίριο γι' αυτήν την μετατόπιση της οροφής, κρίθηκαν αποδεκτές για επίπεδο απόδοσης την αποφυγή κατάρρευσης.

Τέλος συμπερασματικά θα λέγαμε ότι:

1) Η σεισμική μόνωση παρά το ότι εμφανίζεται σα μια σχεδόν ιδεώδης λύση, ενέχει αρκετές αβεβαιότητες. Για το λόγο αυτό απαιτείται αυξημένη ακρίβεια στον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του κτιρίου, στην πιστοποίηση των συστημάτων μόνωσης και στην ανάλυση καθώς και η χρήση αυξημένων συντελεστών ασφαλείας.

2) Οι αυξημένες απαιτήσεις ανάλυσης και προκαταρκτικών δοκιμών, οι σημαντικές τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν στις προσβάσεις του κτιρίου και στις συνδέσεις των παροχών, και το κόστος των ίδιων των συστημάτων είναι οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στο κόστος της ενίσχυσης με σεισμική μόνωση. Από την άλλη πλευρά ελαχιστοποιούνται οι οικονομικές απώλειες λόγω διακοπής λειτουργίας του κτιρίου κατά τις εργασίες ενίσχυσης επειδή οι εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν με το κτίριο σε πλήρη λειτουργία.

3) Το εκκρεμές τριβής εμφανίζεται πλεονεκτικότερο έναντι των ελαστομεταλλικών εφεδράνων για τους ακόλουθους κυρίως λόγους: α) Τα μηχανικά του χαρακτηριστικά μεταβάλλονται ελάχιστα στο χρόνο και σε ακραίες θερμοκρασίες. β) Η δύναμη που αντιτάσσει παραμένει σχεδόν σταθερή από κύκλο σε κύκλο φόρτισης ενώ παράλληλα διατηρεί μια πολύ ικανοποιητική υστερητική συμπεριφορά που εξασφαλίζει αποσβεση μεγάλων ποσών ενέργειας. γ) Επιτρέπει μεγάλη ευελιξία στην επιλογή ιδιοπεριόδου καθώς το ύψος του εφεδράνου διατηρείται σταθερό. δ) Μεγαλύτερη ευελιξία επιτρέπει επίσης στην κατανομή των συσκευών στη βάση του κτιρίου αφού έχει την ιδιότητα να αναιρεί την επίδραση της εκκεντρότητας της κατανομής των εφεδράνων και της μάζας του κτιρίου.

6.7. Το Δημαρχείο του Los Angeles

Το δημαρχείο του Los Angeles (Εικόνα 6.22 και 6.23) είναι ένα ιστορικό κτίριο τριάντα δύο ορόφων και 83.000 τετραγωνικών μέτρων που είχε κατασκευαστεί το 1926 χωρίς καμία απαίτηση σεισμικής αντοχής. Το κτίριο υπέστη σημαντική ζημιά από πολλαπλούς δυνατούς σεισμούς με σοβαρότερη αυτή του 1994 στο Northridge.



Εικόνα 6.22.

Η πόλη αποφάσισε να ενισχύσει το κτίριο αναβαθμίζοντας το σεισμικά. Ο στόχος ήταν να αυξήσουν την σεισμική αντίσταση του κτιρίου, ενώ θα διατηρούσαν τα μοναδικά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του και τις εσωτερικές λεπτομέρειες.

6.7.1. Επιλογή Συστήματος Μόνωσης

Τρία διαφορετικά συστήματα για σεισμική αναβάθμιση εξετάστηκαν. Δύο από τα συστήματα ήταν συμβατικής σεισμικής ενίσχυσης και το τρίτο ήταν η σεισμική μόνωση. Οι συμβατικές λύσεις απαιτούσαν την προσθήκη κατασκευαστικών στοιχείων για την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του κτιρίου, οι οποίες θα είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες σεισμικές απαιτήσεις. Εν αντιθέσει, η σεισμική μόνωση θα ελάττωνε τις σεισμικές δυνάμεις που θα μεταφέρονταν στην κατασκευή με το να την διαχωρίζει από το δονούμενο έδαφος κατά την διάρκεια μια μεγάλης σεισμικής διέγερσης. Γενικά η σεισμική μόνωση βρέθηκε πιο αποτελεσματική σε ρόλους απόδοσης και κόστους σε σχέση με τις δυο συμβατικές.

Η αξιολόγηση των τριών διαφορετικών συστημάτων επικεντρώθηκε στην μετακίνηση των μεταξύ ορόφων και στην επιτάχυνση τους. Ενώ και οι τρεις ελάττωναν τις μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων, μόνο η σεισμική μόνωση μείωνε τις επιταχύνσεις των ορόφων στα επιθυμητά επίπεδα.

6.7.2. Τοποθέτηση των Εφεδράνων

Η κατασκευή ξεκίνησε το 1997 και κράτησε τέσσερα χρόνια. Το επίπεδο της μόνωσης βρίσκεται μεταξύ των υπαρχόντων θεμελίων και της στάθμης του υπογείου. Αποτελείται από 416 εφέδρανα υψηλής απόσβεσης ελαστικών (HDRBs) διαμέτρου 0.70-1.20m και 90 εφέδρανα ολίσθησης. Το ύψος των HDRB ποικίλλει από 24 έως 41 εκατοστά (Εικόνα 6.24).



Εικόνα 6.23.

Τα εφέδρανα ολίσθησης αποτελούνται από ένα στρώμα από τεφλόν ανυψωμένα σε ένα εφέδρανο από φυσικό λάστιχο και μια ανοξειδωτη πλάκα από χάλυβα. Τα εφέδρανα ολίσθησης υποστηρίζουν λιγότερο από το 10% του συνολικού βάρους της κατασκευής. Μια χαλαρή συνδετική λεπτομέρεια θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε μονωτήρα, για να του επιτρέψει περιορισμένη ανύψωση χωρίς να φορτώνει το εφέδρανο, με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων λόγω της περιορισμένης εφελκυστικής ικανότητας του. Επίσης, για να αυξηθεί η ικανότητα απόσβεσης της ενέργειας της κατασκευής 52 ιξώδης αποσβεστήρες προστέθηκαν στην στάθμη μόνωσης και 12 αποσβεστήρες στον πύργο μεταξύ του 24^{ου} και 25^{ου} ορόφου για την παροχή απόσβεσης σε υψηλές ιδιομορφές.



Εικόνα 6.24. Τα HDRB κάτω από το δημαρχείο

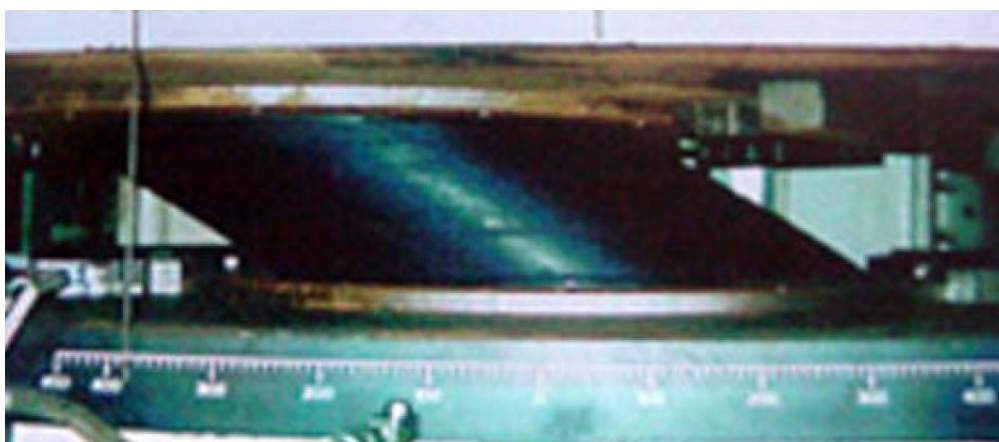
Ένα διάφραγμα είκοσι εκατοστών (Εικόνα 6.25) από οπλισμένο σκυρόδεμα αντικατέστησε το υπάρχων διάφραγμα του υπογείου, με σκοπό να δέσει όλους τους μονωτήρες και να διασφαλίσει σωστή μεταφορά και διανομή των φορτίων μεταξύ του συστήματος μόνωσης και της ανωδομής.

Οι τοίχοι του υπογείου διαχωρίστηκαν από τα θεμέλια και τοποθετήθηκαν σύνδεσμοι για την μεταφορά των φορτίων βαρύτητας από τα υποστηλώματα στους τοίχους διάτμησης. Μετά από την κατασκευή αυτών των τοίχων τα βάθρα των υποστηλωμάτων αφαιρέθηκαν. Τα εφέδρανα τοποθετήθηκαν κάτω από τα υποστηλώματα. Αυτή η μέθοδος εγκατάστασης της κατασκευής μείωσε σημαντικά τον χρόνο.



Εικόνα 6.25. Το νέο διάφραγμα υπό κατασκευή

Τα εφέδρανα εξετάστηκαν αυστηρά για να επαληθευτούν οι ιδιότητες τους που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και τον σχεδιασμό. Τέλος, επαληθεύτηκε μια μέγιστη πλευρική μετατόπιση του εφεδράνου έως 52.5 εκ. (Εικόνα 6.26).



Εικόνα 6.26. Τεστ μετατόπισης του εφεδράνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο – ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΕ ΝΕΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

7.1. Ωνάσιος Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών

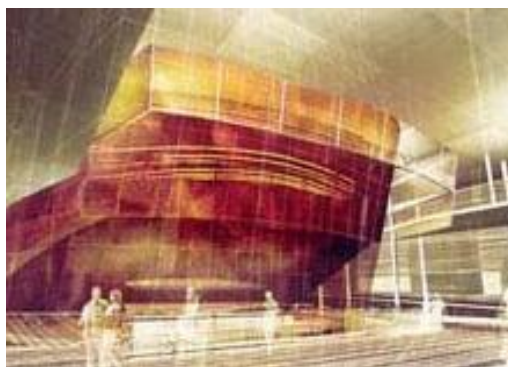
Το κτίριο της Στέγης Γραμμάτων και Τεχνών του Κοινοφελούς Ιδρύματος Αλέξανδρος Ωνάσης (Εικόνα 7.1) βρίσκεται στη Λεωφόρο Συγγρού 109 στην Αθήνα, είναι διαστάσεων 28.20 μ. επί 66.60 μ., και αποτελείται από 2 ενότητες: υπόγειο τμήμα και ανωδομή. Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου είναι 18000 τμ, καλύπτοντας τις πολύπλευρες πολιτιστικές εκδηλώσεις του.



Εικόνα 7.1.

Η έναρξη της κατασκευής του έργου έγινε το Φθινόπωρο του 2002 και ο προϋπολογισμός του κόστους ανέρχεται στα 50 εκατομμύρια ευρώ περίπου επιπλέον της αξίας του οικοπέδου.

Το υπόγειο τμήμα καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια της κάτοψης, έχει εννέα στάθμες που περιλαμβάνουν, χώρους στάθμευσης, μηχανολογικούς και αποθηκευτικούς χώρους. Η ανωδομή, έχει επτά στάθμες αποτελείται από το κεντρικό τμήμα, σε σχήμα ωοειδούς κελύφους (Εικόνα 7.2) το οποίο περιβάλλει δύο αίθουσες εκδηλώσεων, μία 900 και μία 220 θέσεων. Περιμετρικά διατάσσονται βιβλιοθήκη, εστιατόριο, γραφεία, φουαγιέ και βοηθητικοί χώροι. Προβλέπονται επίσης εκθεσιακοί χώροι, στούντιο επαγγελματικών ηχογραφήσεων και εστιατόριο με υπαίθριο χώρο για καλλιτεχνικές παραστάσεις, 200 περίπου θέσεων. Το ύψος του φθάνει τα



Εικόνα 7.2.

26.70μ. και υπάρχει πρόβλεψη για καθ' ύψος προσθήκη ενός επιπλέον ορόφου.

Ο σχεδιασμός του καθορίστηκε από αυξημένες απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς που οδήγησαν στην επιλογή της σεισμικής μόνωσης.

7.1.1. Επιλογή Συστήματος μόνωσης

Η επιλογή της σεισμικής μόνωσης δημιουργεί την ανάγκη αντιμετώπισης προβλημάτων συγκέντρωσης σημαντικών εντατικών καταστάσεων στις θέσεις των εφεδράνων καθώς και κατασκευαστικών λεπτομερειών για την εξασφάλιση του σεισμικού αρμού.

Από τον κύριο του έργου απαιτήθηκε ο σχεδιασμός να λάβει υπόψη αυξημένες σεισμικές προδιαγραφές που υπαγορεύονται από τη λειτουργία του κτιρίου ως πολιτιστικού κέντρου. Αυτές συνοψίζονται σε: α) σεισμικό συντελεστή $\alpha = 0.24$, β) σπουδαιότητα έργου 1.15, γ) ελαστική συμπεριφορά με συντελεστή συμπεριφοράς $q = 1.50$.

Ο σεισμικός συντελεστής λήφθηκε 1.5 φορά μεγαλύτερος από τον προβλεπόμενο για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ($\alpha = 0.16$) με σκοπό όχι να αυξήσει την περίοδο επαναφοράς του σεισμικού σχεδιασμού - που είναι 475 έτη - αλλά εκτιμώντας πιθανή αναθεώρηση της τιμής αυτής στη διάρκεια ζωής του έργου. Η απαίτηση για ελαστική συμπεριφορά ($q = 1.50$) προέκυψε για την αποτροπή πιθανών βλαβών και στο φορέα αλλά και στα δευτερεύοντα στοιχεία. Οι παραπάνω τιμές δίνουν σεισμική απαίτηση σε όρους φασματικών επιταχύνσεων περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη σε σχέση με ένα σύνηθες κτιριακό έργο ($\alpha = 0.16$, $\gamma_I = 1.00$, $q = 3.50$).

Οι αρχιτεκτονικές απαιτήσεις (λεπτά υποστυλώματα στην περίμετρο ώστε να αναδεικνύεται το ωοειδές κέλυφος, μαρμάρινες επενδύσεις στις όψεις) δεν μπορούσαν να ικανοποιηθούν με τις παραπάνω υψηλές σεισμικές προδιαγραφές όπως διαπιστώθηκε από την αρχική στατική προμελέτη. Παράλληλα όμως δεν μπορούσε να ικανοποιηθεί η προστασία του περιεχομένου του κτιρίου (εκθέματα, έργα τέχνης, ευπαθής οπτικοακουστικός εξοπλισμός) από τις αναπτυσσόμενες σε αυτό επιταχύνσεις και μετακινήσεις κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Έτσι αποφασίστηκε η τοποθέτηση σεισμικής μόνωσης που παρέχει:

- α. Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας βλαβών των φερόντων και μη στοιχείων του κτιρίου κατά το σεισμό σχεδιασμού.
- β. Προστασία του περιεχομένου του κτιρίου.
- γ. Απρόσκοπτη συνέχεια της λειτουργίας του κτιρίου μετά το σεισμό σχεδιασμού.

Τελικά, επελέγησαν εφέδρανα ολίσθησης (FPS) που διατάσσονται σε ενιαία στάθμη κάτω από την πλάκα ισογείου. Η πλάκα αυτή αποτελεί επίσης ιδιαίτερη κατασκευή, λόγω του σημαντικού πάχους της, 1.50 m περίπου, που υπαγορεύτηκε από τη διακοπή της συνέχειας των κατακόρυφων στοιχείων από την ανωδομή στο υπόγειο λόγω χρήσης διαφορετικού καννάβου στις δύο ενότητες.

7.1.2. Επιλογή Θέσης της Μόνωσης

Ως προς τη θέση της διεπιφάνειας της σεισμικής μόνωσης εξετάστηκαν δύο δυνατότητες τοποθέτησής της σεισμικής μόνωσης: Α) στη στάθμη θεμελίωσης (27.70μ.) Β) κάτω από την πλάκα δαπέδου του ισογείου (στάθμη 1.59μ.).

Οι λόγοι που οδήγησαν στην απόρριψη της πρώτης λύσης είναι το σημαντικά μεγαλύτερο κόστος που προκύπτει:

α. Λόγω των αυξημένων αξονικών φορτίων - περίπου διπλάσια - που θα έπρεπε να αναληφθούν από τα εφέδρανα στη στάθμη της θεμελίωσης, άρα απαίτηση για περισσότερα εφέδρανα.

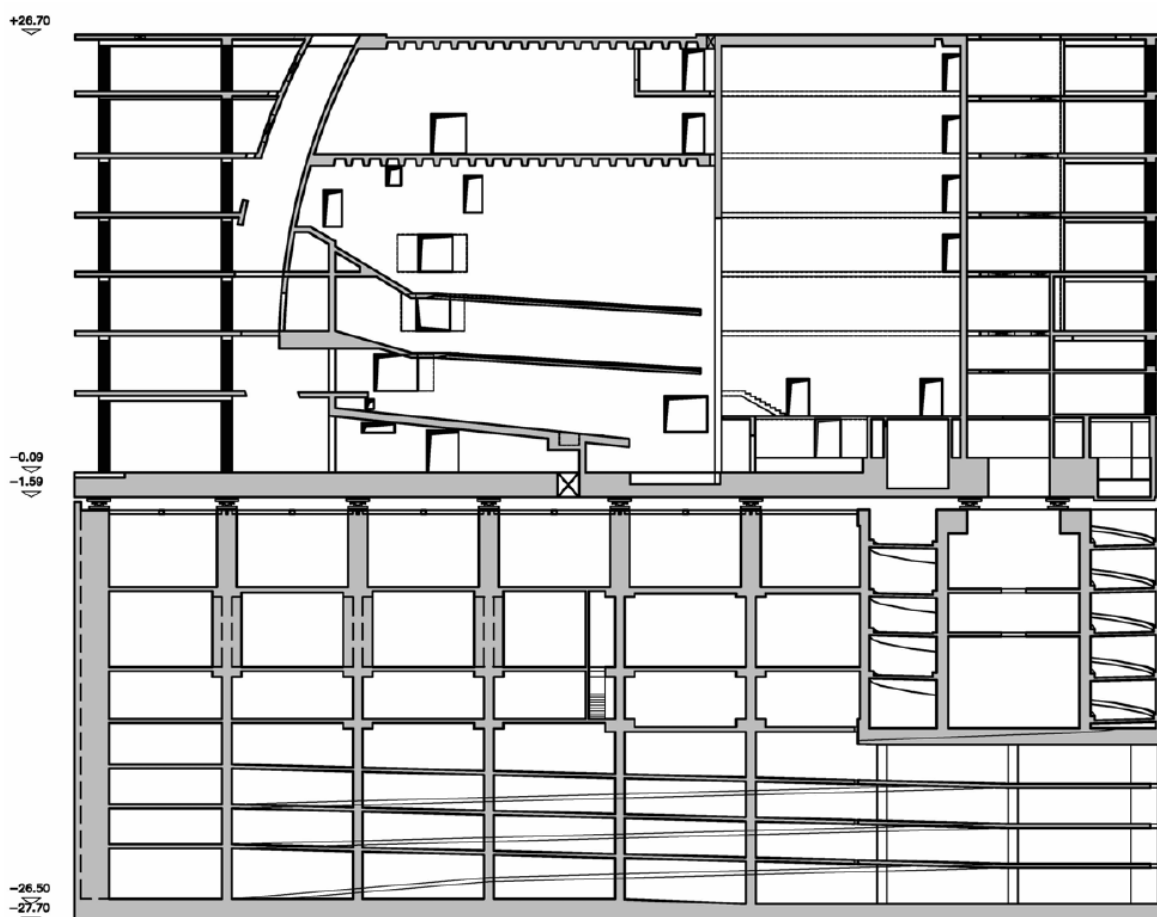
β. Από την απαιτούμενη περιμετρική κατασκευή σεισμικού αρμού στο ύψος των 8 υπογείων ορόφων σε απόσταση από το κτίριο κατ' ελάχιστον ίση με το άθροισμα της μέγιστης ικανότητας οριζόντιας μετατόπισης του συστήματος μόνωσης και της ελαστικής παραμόρφωσης της κατασκευής στο ύψος της στάθμης του εδάφους. Συνέπεια αυτού είναι άμεσο υψηλό κόστος για τις κατασκευές αλλά και έμμεσο εξαιτίας της μείωσης του ωφέλιμου χώρου των υπογείων ορόφων.

γ. Από τη διαμόρφωση πλάκας πάνω από τα εφέδρανα σε στάθμη όπου η πρόσβαση για τη συντήρηση και τυχόν αντικατάσταση του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι δυσχερής και η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού ιδιαίτερα αντιοικονομική.

Η επιλογή της δεύτερης λύσης βασίστηκε στα παρακάτω δεδομένα:

α. Η σεισμική επιβάρυνση του υπογείου δεν είναι σημαντική αφού λόγω οριζοντίων δεσμεύσεων, ουσιαστικά δεν επαυξάνεται η απόκριση και δεν παρουσιάζονται διαφορικές μετακινήσεις. Συνεπώς δεν υπάρχει ιδιαίτερη απαίτηση για σεισμική μόνωση.

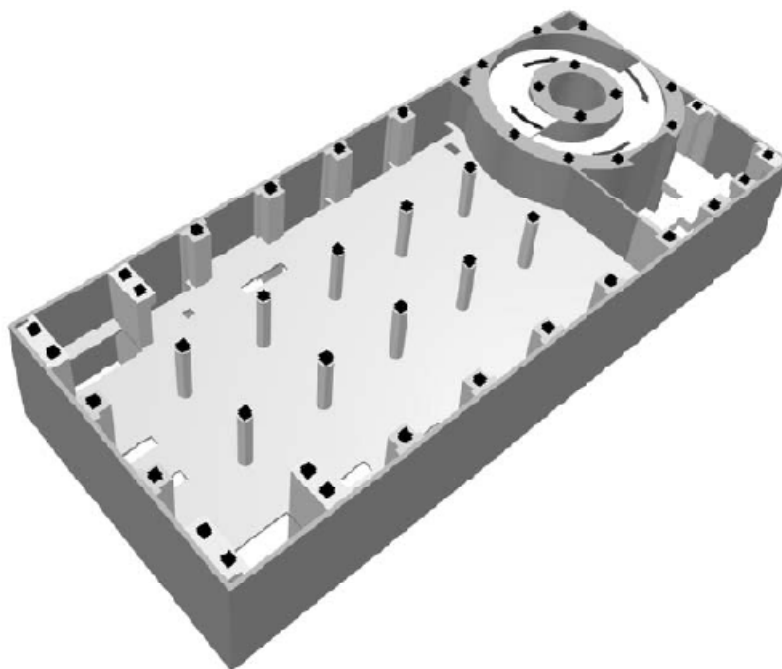
β. Η παρουσία της ισχυρής πλάκας δαπέδου ισογείου πάχους (1.50μ.) που υπαγορεύθηκε ως μια θεμελίωση των κατακόρυφων στοιχείων της ανωδομής, τα οποία για αρχιτεκτονικούς λόγους λειτουργίας του κτιρίου δε συνεχίζονται στο υπόγειο. Για τους παραπάνω λόγους η σεισμική μόνωση τοποθετήθηκε κάτω από την πλάκα δαπέδου του ισογείου (στάθμη .1.59μ.) (Εικόνα 7.3).



Εικόνα 7.3. Ξυλότυπος πλάκας δαπέδου ισογείου (με τα εφέδρανα) και διαμήκης τομή.

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης σχεδιάστηκε με δεδομένη την επιθυμητή δυναμική συμπεριφορά του κτιρίου. Το κρίσιμο στοιχείο σχεδιασμού είναι η ιδιοπερίοδος, βέλτιστη τιμή της οποίας ως προς τη σεισμική απαίτηση σε όρους φασματικών επιταχύνσεων αλλά και μετατοπίσεων θεωρήθηκε αυτή των 2.15 sec περίπου. Αύξηση της ιδιοπεριόδου σημαίνει μείωση της φασματικής επιτάχυνσης. Τότε όμως αυξάνεται η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου άρα και οι απαιτήσεις του σεισμικού αρμού και κατ' αναλογία το κόστος-μείωση ωφέλιμου χώρου και δαπανηρότερες λύσεις στο σχεδιασμό των κατακόρυφων διελεύσεων.

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης διαχωρίζει οριζόντια την ανωδομή από το υπόγειο. Τη μεταφορά των φορτίων της ανωδομής στο υπόγειο αναλαμβάνουν 46 εφέδρανα ολίσθησης (FPS) κόστους 12.000 ευρώ το ένα, πάνω από τα οποία βρίσκεται πλάκα πάχους 1.50μ. Το πάχος της, όπως προαναφέρθηκε, υπαγορεύεται από τη διακοπή της συνέχειας των κατακόρυφων στοιχείων από την ανωδομή στο υπόγειο λόγω χρήσης διαφορετικού κανάβου στις δύο ενότητες. Τα εφέδρανα τοποθετήθηκαν (Εικόνα 7.4) σε ανεστραμμένη διάταξη ώστε οι πρόσθετες ροπές που προκύπτουν από τη μετακίνηση του κτιρίου σε ενδεχόμενο σεισμό να μην καταπονούν τα υποστυλώματα στα οποία εδράζονται - που θα είχε ως συνέπεια τη σημαντική αύξηση των διαστάσεών τους - αλλά την υπερκείμενη πλάκα.



Εικόνα 7.4. Θέσεις εφεδράνων κτιρίου

Η θεμελίωση του κτιρίου έχει γίνει σε βάθος 27.70μ. από τη στάθμη εδάφους με γενική κοιτόστρωση πάχους που κυμαίνεται από 1.20μ. ως 1.50μ. Ο φέρων οργανισμός του υπογείου τμήματος αποτελείται από περιμετρικό τοίχωμα και εσωτερικά από υποστυλώματα και τοιχώματα στα οποία εδράζονται συμπαγείς πλάκες με ή χωρίς δοκούς. Στους χώρους που προορίζονται για στάθμευση, οι πλάκες είναι κεκλιμένες για την κυκλοφορία των οχημάτων.

Για τη μετάβαση των οχημάτων στους χώρους στάθμευσης, από τη στάθμη 16.50μ. έως τη στάθμη ± 0.00 , υπάρχουν δύο ανεξάρτητες κυκλικές ράμπες εδραζόμενες σε ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα. Το περιμετρικό τοίχωμα και τα υποστυλώματα της οροφής της α΄ στάθμης υπογείου συνδέθηκαν στη στέψη τους, ακριβώς κάτω από τα εφέδρανα, με μεταλλικό δικτύωμα που λειτουργεί ως υποκατάστατο διαφράγματος για τον περιορισμό και την ομοιομόρφιση των μετακινήσεων.

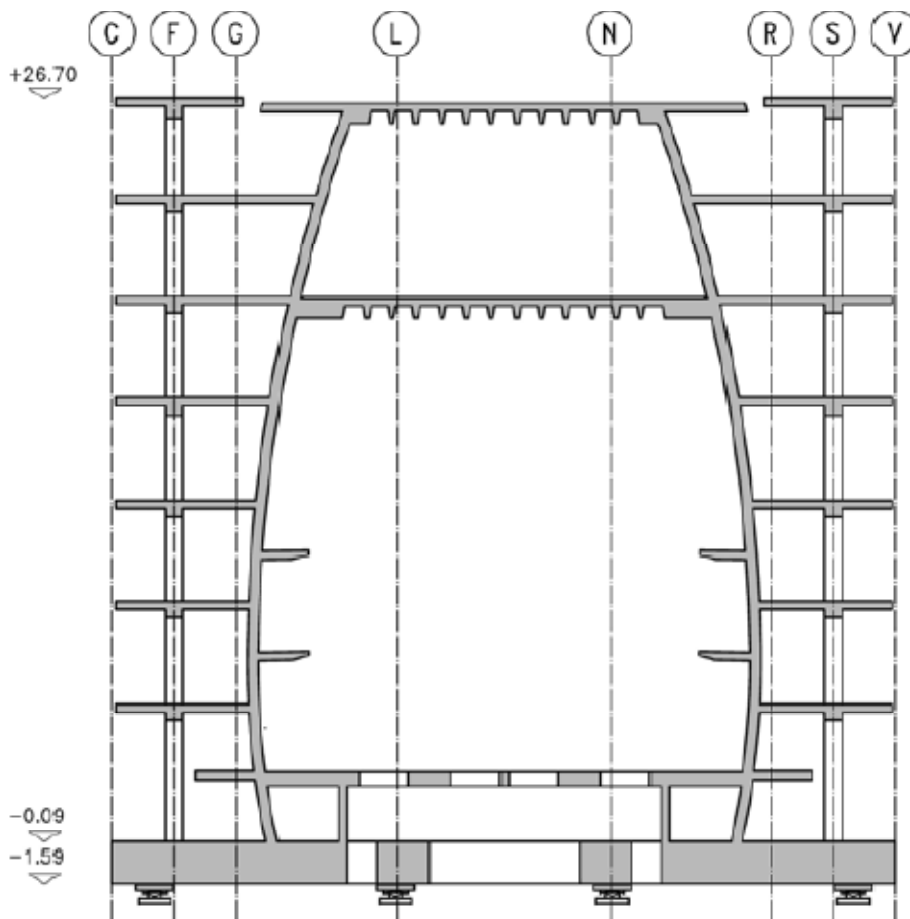
Η ανωδομή διακρίνεται σε δύο χαρακτηριστικές ενότητες. Η πρώτη είναι το συγκρότημα των δύο αιθουσών εκδηλώσεων - μεγάλης και μικρής - που βρίσκεται στο κέντρο του κτιρίου εντός του ωοειδούς κελύφους. Σε αυτό εδράζονται οι πλάκες των δύο αιθουσών που είναι οριζόντιες ή κεκλιμένες, δοκιδωτές ή συμπαγείς. Η δεύτερη ενότητα είναι το συγκρότημα γραφείων, βοηθητικών χώρων, εστιατορίου και άλλων χώρων του οποίου ο φέρων οργανισμός αποτελείται από πλαίσια κατακόρυφων στοιχείων (τοιχώματα και υποστυλώματα) με δοκούς επί των οποίων εδράζονται οι πλάκες.

7.1.3. Κέλυφος Κτιρίου

Το κέλυφος είναι ωοειδούς σχήματος και αποτελεί το κεντρικό τμήμα της ανωδομής (Εικόνα 7.5). Σε αυτό εσωτερικά εδράζονται η κεκλιμένη πλάκα της πλατείας, οι κεκλιμένες πλάκες των δύο εξωστών, η οροφή της μεγάλης αίθουσας και στην τελευταία στάθμη η οροφή της μικρής αίθουσας.

Ως προς το πρώτο, κρίσιμη ήταν η χάραξη και οι φάσεις κατασκευής (αλληλουχία καλουπωμάτων, ικριωμάτων). Ως προς το δεύτερο, καθοριστικό ήταν αφενός η επιλογή του στατικού συστήματος για τη στήριξη των εδραζόμενων πλακών, αφετέρου η σύνδεσή του με τον υπόλοιπο φορέα. Επιπρόσθετα έπρεπε να ικανοποιηθεί η αρχιτεκτονική απαίτηση ύπαρξης μεγάλων ανοιγμάτων στην περιμετρική σύνδεσή του ώστε το κέλυφος να είναι καθ' ύψος ορατό. Για να προκύψει οικονομία στη διαστασιολόγησή του θεωρήθηκε βέλτιστο να λειτουργεί υπό θλιπτικές τάσεις.

Λόγω του καμπύλου σχήματος του κελύφους, δεν ήταν δυνατή κατασκευαστικά η υλοποίηση αρμού διακοπής της σκυροδέτησης στο ύψος των τριών κεκλιμένων πλακών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν κοχλιωτές αρμοκλείδες (couplers) αντί των συνήθων αναμονών του οπλισμού.



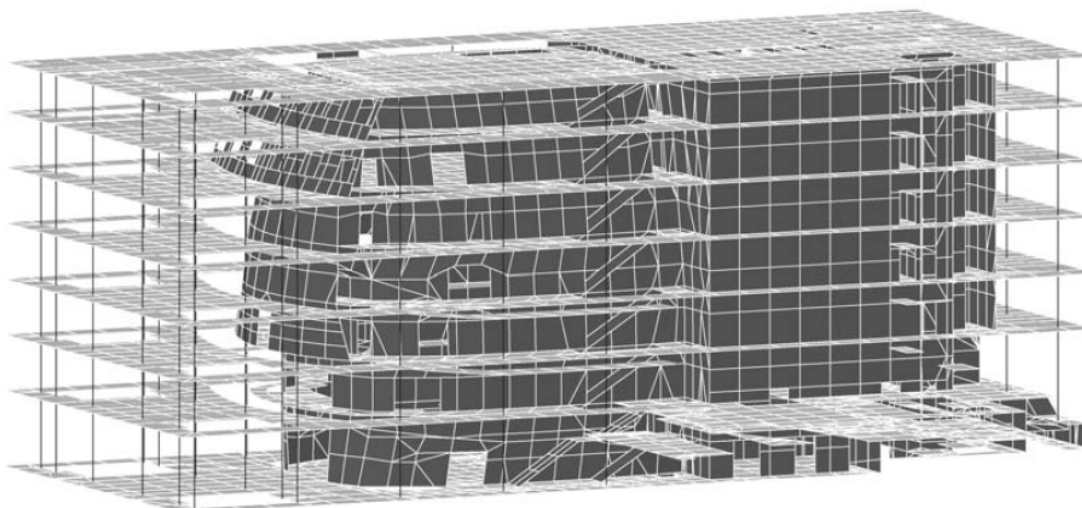
Εικόνα 7.5. Εγκάρσια τομή ανωδομής

7.1.4. Στατικό προσομοίωμα

Η ανωδομή και το υπόγειο προσομοιώθηκαν και αναλύθηκαν ξεχωριστά. Αυτό έγινε αφενός για να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος λόγω του σημαντικού μεγέθους - αριθμός πεπερασμένων στοιχείων - των προσομοιωμάτων αλλά και για να αποφευχθούν αριθμητικές δυσλειτουργίες στον προσδιορισμό των ιδιομορφών που μπορεί να προκύψουν από τη δέσμευση των οριζοντίων μετακινήσεων του υπογείου σε όλες τις στάθμες.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα ETABS. Ο φέρων οργανισμός προσομοιώθηκε με γραμμικά (υποστυλώματα - δοκοί) ή επιφανειακά (τοιχώματα, κέλυφος, πλάκες) πεπερασμένα στοιχεία. Για όλα τα επιφανειακά στοιχεία επιλέχθηκε η προσομοίωσή τους ως στοιχεία κελύφους. Στις πλάκες λήφθηκε υπόψη η πραγματική συμπεριφορά τους - χωρίς διαφραγματική λειτουργία.

Το προσομοίωμα της ανωδομής (Εικόνα 7.6) λήφθηκε ελαστικά στηριγμένο, στην κατακόρυφη διεύθυνση, στη βάση του στις θέσεις των μονωτήρων. Με την ελαστική στήριξη προσομοιώθηκε η ενδοσιμότητα του υπογείου και του υποκείμενου εδάφους. Οι ελαστικές σταθερές προσδιορίστηκαν μετά από σύγκλιση διαδοχικών κύκλων επιλύσεων της ανωδομής και του υπογείου ξεχωριστά.

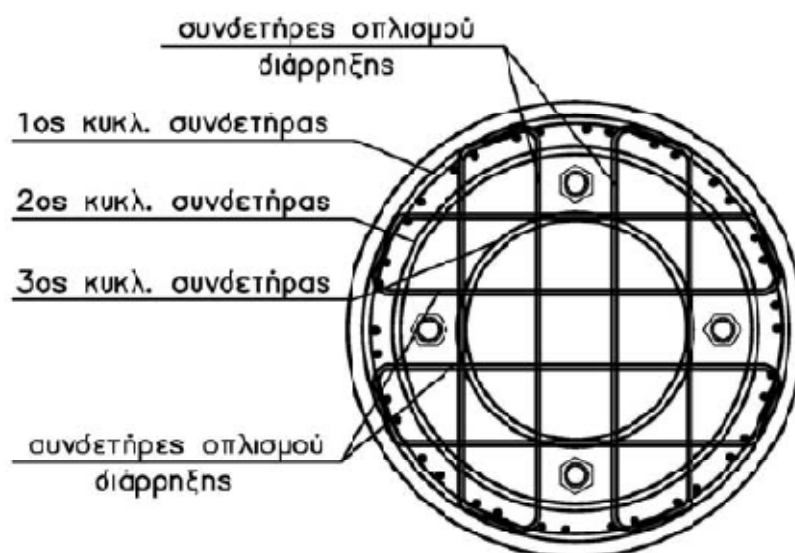


Εικόνα 7.6. Χωρικό προσομοίωμα ανωδομής.

7.1.5. Έδραση Μονωτήρων

Τα κατακόρυφα στοιχεία που φέρουν τα εφεδράνα είναι τοιχώματα και υποστυλώματα Ο/Σ. Λόγω των σημαντικών θλιπτικών φορτίων που δέχονται απαιτήθηκε η τοποθέτηση συμπαγών μεταλλικών πλακών στη στέψη τους. Η διαστασιολόγηση των πλακών αυτών και ο έλεγχος των αναπτυσσόμενων τάσεων στα υποκείμενα στοιχεία απαίτησε την ανάπτυξη προσομοιωμάτων με τη βοήθεια του προγράμματος SAP2000. Τα προσομοιώματα χρησιμοποιούν στερεά πεπερασμένα στοιχεία με 8 κόμβους. Η απαίτηση για αυξημένη τοπικά αντοχή σκυροδέματος ικανοποιήθηκε μέσω περίσφιγξης.

Για να αντιμετωπιστεί η τοπική συγκέντρωση σημαντικών θλιπτικών τάσεων κάτω από τις πλάκες έδρασης των εφεδράνων, υπολογίστηκε εγκάρσια οπλισμική διάταξη (συνδετήρες), επιπρόσθετη της απαιτούμενης για τη διάτμηση, ώστε να προσαυξηθεί μέσω περίσφιγξης η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.



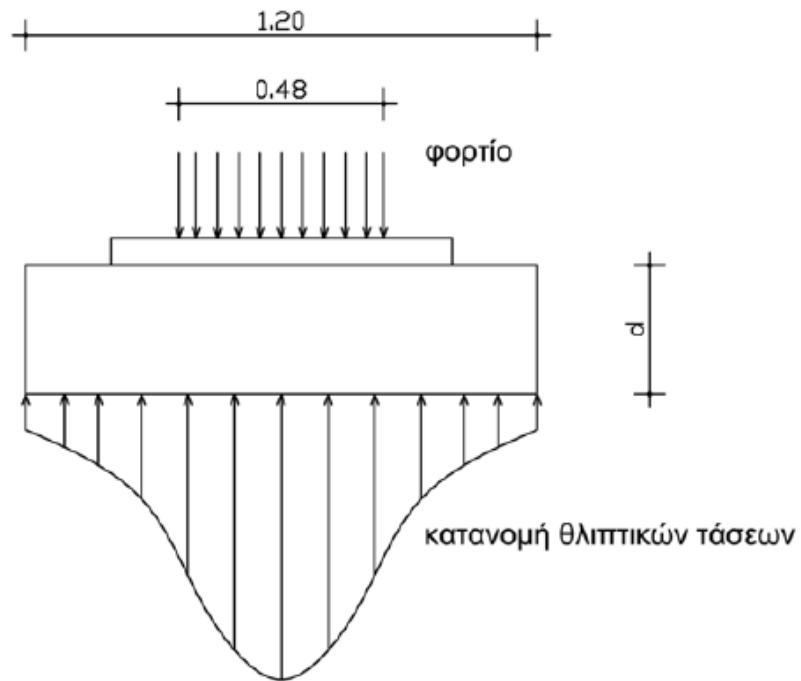
Εικόνα 7.7. Εγκάρσια διάταξη οπλισμού (συνδετήρες) κυκλικού υποστυλώματος.

7.1.6. Έλεγχος Μεταλλικών Πλακών Εφεδράνων

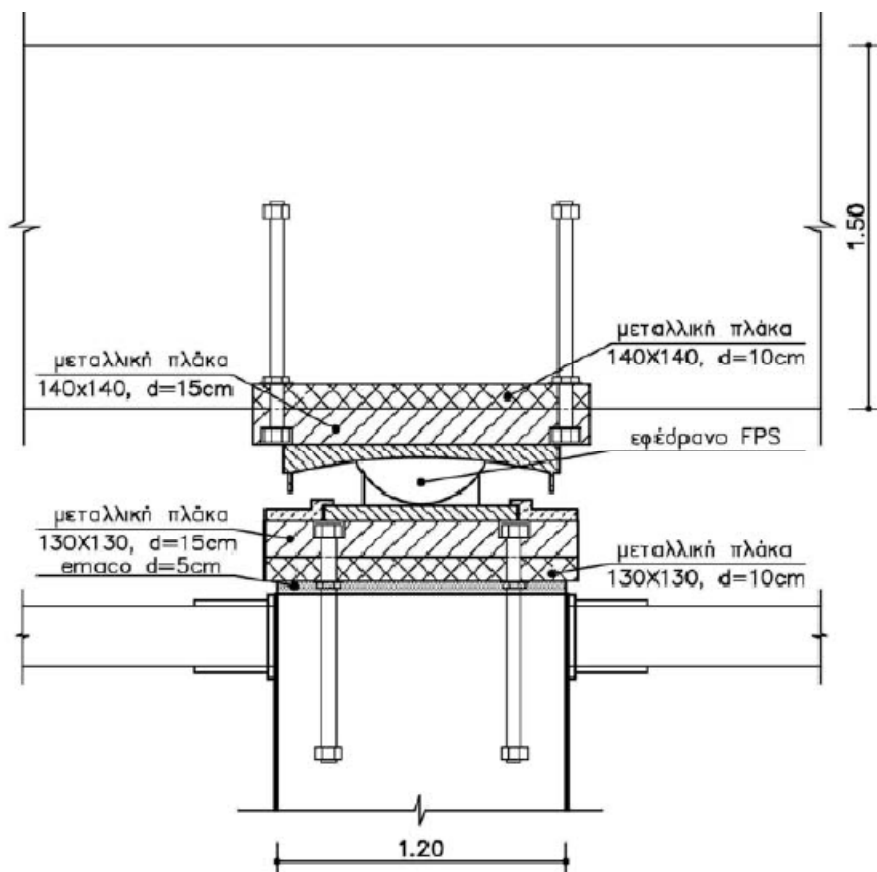
Οι μεταλλικές πλάκες έδρασης των εφεδράνων διαστασιολογήθηκαν με βάση τις αναπτυσσόμενες τάσεις (Εικόνα 7.8) που προέκυψαν από το προαναφερόμενο στερεό προσομοίωμα με την εφαρμογή των κριτηρίων αστοχίας Tresca και Mises.

Η τελική επιλογή του πάχους και της διάταξης των μεταλλικών πλακών έλαβε υπόψη τα επιμέρους σημειακά φορτία της ανωδομής, την καλύτερη δυνατή ομαδοποίηση ώστε να μειωθεί το κόστος καθώς και την αντιμετώπιση κατασκευαστικών ιδιαιτεροτήτων. Χρησιμοποιήθηκαν συμπαγείς πλάκες πάχους 10cm και 15εκ. τοποθετημένες είτε μεμονωμένα είτε επάλληλα.

Το τελευταίο επιλέχθηκε επειδή το κόστος προμήθειας συμπαγών μεταλλικών πλακών πάχους μεγαλύτερου των 15εκ. είναι πάρα πολύ υψηλό. Στην εικόνα 7.9 παρουσιάζεται κατασκευαστική λεπτομέρεια εφεδράνου όπου έχουν τοποθετηθεί επάλληλα δύο πλάκες πάχους 15 και 10 εκ.



Εικόνα 7.8. Φόρτιση μεταλλικών πλακών.



Εικόνα 7.9. Κατασκευαστική λεπτομέρεια εφεδράνου.

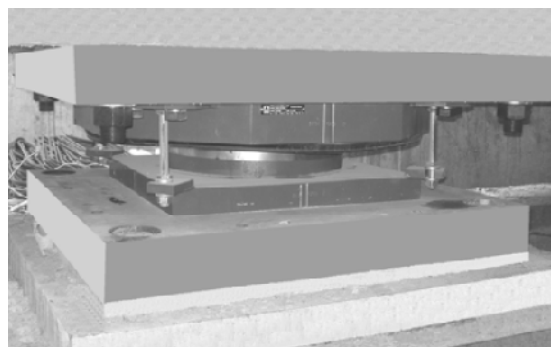
7.1.7. Πλάκα Δαπέδου Ισογείου

Η πλάκα δαπέδου του ισογείου λειτουργεί ως βάση έδρασης της ανωδομής και στηρίζεται στα εφέδρανα. Όπως προαναφέρθηκε το πάχος της υπαγορεύτηκε από τη διακοπή της συνέχειας των κατακόρυφων στοιχείων από την ανωδομή στο υπόγειο λόγω χρήσης διαφορετικού κανάβου στις δύο ενότητες. Για τη διασφάλιση επαρκούς καμπτικής και διατμητικής αντοχής, το πάχος της καθορίστηκε σε $d = 1.50\mu$. Οι οπλισμοί προέκυψαν από ελέγχους σε κάτοψη, διάτμηση και διάτρηση στους οποίους λήφθηκε υπόψη και η εντατική κατάσταση που προκύπτει από τη μετακίνηση του κτιρίου σε ενδεχόμενο σεισμό (πρόσθετη ροπή, μεγαλύτερη επιφάνεια ελέγχου διάτρησης). Επιπρόσθετα έχει τοποθετηθεί οπλισμός περίσφιγξης για την προσαύξηση της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν.

Λόγω του μεγάλου ίδιου βάρους της, απαιτήθηκε πρόσθετη μελέτη για την υποσύλωσή της κατά τη σκυροδέτηση. Για την εύρεση της βέλτιστης από πλευράς ασφάλειας και οικονομίας πρότασης υποσύλωσης εξετάστηκαν διάφορες λύσεις τμηματικής κατασκευής που συνοδεύτηκαν από αντίστοιχες αναλύσεις στατικών μοντέλων. Αποφασίστηκε ο ξυλότυπος να στηρίχθει σε πυκνό σύστημα ικριωμάτων που συνεχίστηκαν για ακόμη μία ή δύο, κατά περίπτωση, υποκείμενες στάθμες.

7.1.8. Αντικατάσταση των Εφεδράνων

Τα εφέδρανα (Εικόνα 7.10) και οι πλάκες έδρασης που τοποθετήθηκαν στο κτίριο, έχουν περάσει επιτυχώς σειρά ελέγχων που εγγυώνται την καλή λειτουργία τους σε όλη τη διάρκεια της ζωής του έργου. Έχει όμως γίνει πρόβλεψη για ενδεχόμενη αντικατάστασή τους. 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 όπλιση των δομικών στοιχείων που επηρεάζονται.



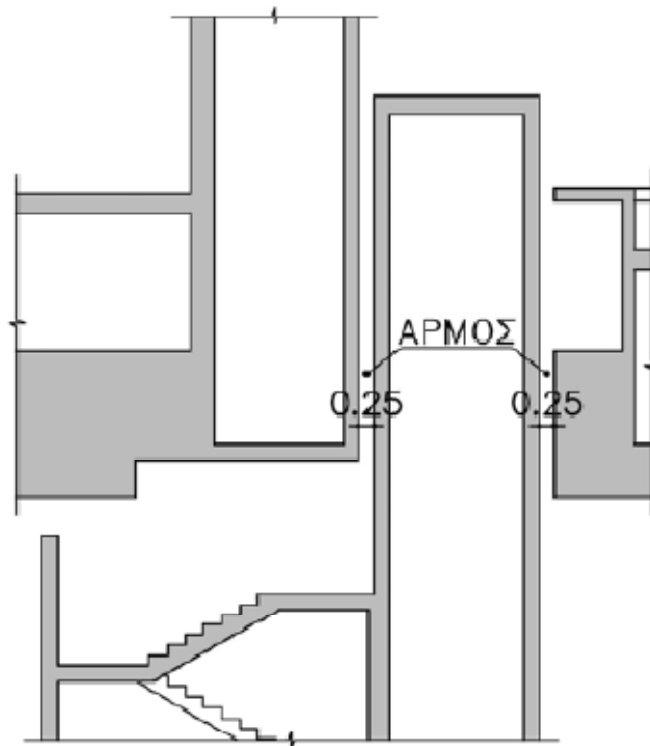
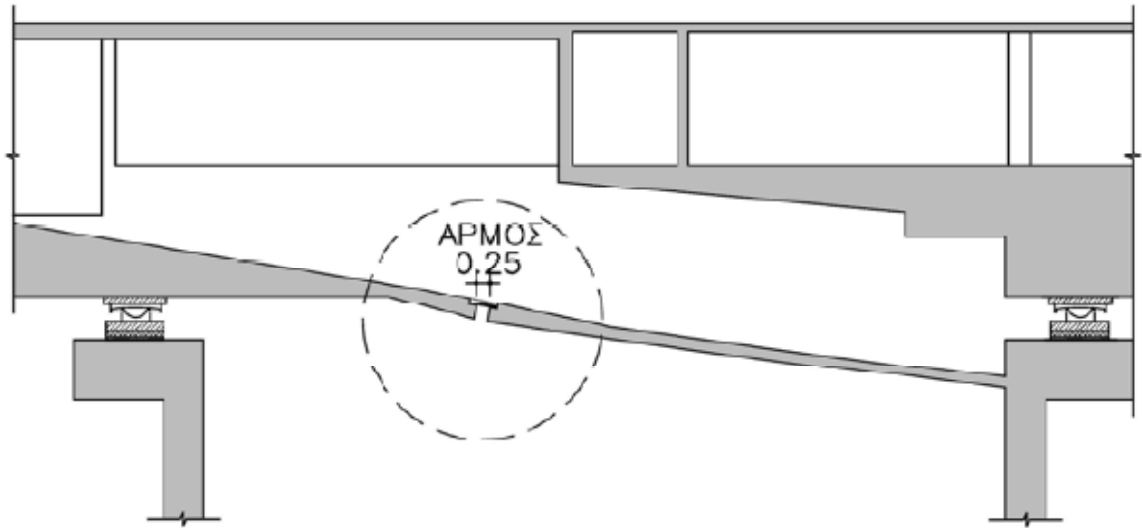
Εικόνα 7.10.

7.1.9. Ειδικά Θέματα Εφαρμογής Σεισμικής Μόνωσης

Τα στοιχεία του έργου που διέρχονται από τη διεπιφάνεια της σεισμικής μόνωσης (ανελκυστήρες, κλιμακοστάσια και ράμπες) απαιτούν ιδιαίτερη αντιμετώπιση: πρέπει να διασφαλίζεται η ελεύθερη μετακίνηση της ανωδομής σε περίπτωση σεισμού αλλιώς το κτίριο δε θα αποκριθεί με τον τρόπο που υπολογίστηκε. Ταυτόχρονα τα στοιχεία αυτά είναι ιδιαίτερα κρίσιμα σε τέτοια έκτακτα γεγονότα αφού αποτελούν διελεύσεις διαφυγής και δεν επιτρέπεται η αστοχία τους. Το σχετικά μεγάλο μέγεθος της πιθανής μετακίνησης της ανωδομής (25 εκ.) έκανε δυσχερή το σχεδιασμό των στοιχείων αυτών. Αναλυτικότερα:

Τα κλιμακοστάσια και οι ράμπες διακόπτονται στην διεπιφάνεια της σεισμικής μόνωσης λόγω του σεισμικού αρμού. Από τα δύο τμήματα που προκύπτουν, το ένα στηρίζεται στην πλάκα δαπέδου του ισογείου και το άλλο στην υποδομή (Εικόνα 7.11α).

Οι ανελκυστήρες, λόγω σεισμικού αρμού διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) σε αυτούς που εξυπηρετούν την ανωδομή και στηρίζονται στην ανωδομή και β) σε αυτούς που εξυπηρετούν την υποδομή και στηρίζονται στην υποδομή. Για την κατακόρυφη επικοινωνία του κτιρίου υπάρχει στάθμη που εξυπηρετείται και από τις δύο κατηγορίες. Τελικά προκύπτουν δύο περιπτώσεις ανάλογα με τη θέση καθ.ύψος του κοινού ορόφου: α) όταν κοινή στάθμη είναι το ισόγειο, ο πυρήνας των τοιχωμάτων του ανελκυστήρα του υπογείου, λειτουργεί ως πρόβολος εδραζόμενος στο υπόγειο (Εικόνα 7.11β) και β) όταν κοινή στάθμη είναι το υπόγειο, τότε ο πυρήνας των τοιχωμάτων του ανελκυστήρα της ανωδομής σταματά στην πλάκα δαπέδου ισογείου και συνεχίζει προς το υπόγειο μεταλλική κατασκευή ανηρτημένη από την ανωδομή. Και στις δύο περιπτώσεις, ο σεισμικός αρμός προκύπτει ως το άθροισμα της μέγιστης μετακίνησης του κτιρίου και της μετακίνησης του προβόλου, ορθού ή ανεστραμμένου (περίπου 25.4εκ. στη δυσμενέστερη περίπτωση).



Εικόνα 7.11 α,β. Σεισμικός αρμός στη θέση της ράμπας και του ανελκυστήρα αντίστοιχα.

7.1.10. Συμπεράσματα

Από την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης προέκυψαν προβλήματα συγκέντρωσης σημαντικών εντατικών καταστάσεων στις θέσεις των εφεδράνων, τα οποία αντιμετωπίστηκαν με την τοποθέτηση συμπαγών μεταλλικών πλακών και την προσαύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέσω περίσφιγξης.

Για την εξασφάλιση του σεισμικού αρμού αλλά και το σχεδιασμό κρίσιμων, για την ασφάλεια των ενοίκων, διελεύσεων διαφυγής (ανελκυστήρες, κλιμακοστάσια και ράμπες), απαιτήθηκαν πρόσθετοι υπολογισμοί και κατασκευαστικές λύσεις.

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της πλάκας δαπέδου ισογείου που υπέρκειται των εφεδράνων καθώς και του ωοειδούς κελύφους που φέρει τις αίθουσες εκδηλώσεων. Σε γενικές γραμμές η μεθοδολογία ανάλυσης, τα προβλήματα που προέκυψαν, τόσο από τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις όσο και από την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης, καθώς και οι τεχνικές λύσεις που επελέγησαν και παρουσιάστηκαν στην εργασία αυτή μπορούν να αποτελέσουν, στο σύνολο ή τμηματικά, χρήσιμο οδηγό για ανάλογα έργα.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι:

- α. Από την απλούστερη προσέγγιση -μονοβάθμιο σύστημα- ως την πιο πολύπλοκη – μη γραμμική ανάλυση με χρονοϊστορίες - τα αποτελέσματα (ιδιοπερίοδοι, μετακινήσεις) συγκλίνουν. Σε αυτό συντελεί η μεγάλη ακαμψία της ανωδομής.
- β. Τα αποτελέσματα της δυναμικής φασματικής ανάλυσης ως προς τα εντατικά μεγέθη είναι δυσμενέστερα από αυτά της μη γραμμικής. Αυτό αποδίδεται στην υπερτίμηση της συμβολής της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας κατά την εφαρμογή της πρώτης μεθόδου.
- γ. Αν το κτίριο είχε σχεδιαστεί χωρίς σεισμική μόνωση θα προέκυπταν μεγαλύτερες διαστάσεις στα δομικά στοιχεία και απαγορευτικές τιμές ανοιγμένων μετατοπίσεων ορόφων.

7.2. Το Νέο Μουσείο Ακρόπολη

Το μουσείο Ακρόπολης (Εικόνα 7.12) είναι ένα σύγχρονο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα, χτισμένο στο κατώτατο σημείο του λόφου ακρόπολη στην Αθήνα και στεγάζει αρχαία και άλλα εκθέματα σχετικά με το Παρθενώνα και τα μνημεία της Ακρόπολης. Από τα παράθυρα και τα πλατώματα του, προσφέρει μια θαυμάσια άποψη του μνημείου της Ακρόπολης, έτσι ώστε ο επισκέπτης του να μπορεί να έχει μια άποψη των εκθεμάτων, με τις αρχική τους θέση.



Εικόνα 7.12.

Το κτίριο έχει εννέα επίπεδα, τέσσερα υπόγεια και πέντε επάνω από το έδαφος. Είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ενισχυμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 7.13), εκτός από μερικούς προενταμένους προβόλους από σκυρόδεμα στο εξωτερικό του κτιρίου και μια κατασκευή χάλυβα που διαμορφώνεται στη στέγη στην πάνω στάθμη όπου θα παρουσιαστούν τα εκθέματα του Παρθενώνα. Ως υλικό φινιρίσματος αποτελεί το εμφανές οπλισμένο σκυρόδεμα το οποίο θα δεχθεί μόνο «επεξεργασία» αδιαβροχοποίησης.

Το φέρων σύστημα φορτίων είναι του τύπου πλαισίων με ένα σύνολο τοίχων διάτμησης που διαμορφώνουν τον κεντρικό πυρήνα ανελκυστήρα-κλιμακοστάσιων συν τέσσερις πρόσθετους τοίχους διάτμησης, όλοι τους μακριά από την περίμετρο λόγω των αρχιτεκτονικών περιορισμών.



Εικόνα 7.13.

Σύμφωνα με τον ελληνικό κώδικα για το ανθεκτικό σχεδιασμό κτιρίων κατά των σεισμών, η επιτάχυνση σχεδιασμού για τα κανονικά κτίρια στην Αθήνα όπου βρίσκεται το μουσείο ακρόπολη, είναι 0.24g. Αυτό αντιστοιχεί στο μέγιστο γεγονός με μια μέση περίοδο επανάληψης 475 ετών. Λόγω της σημασίας του μουσείου, ο αντισεισμικός σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε για ένα πιο ακραίο γεγονός, με μια περίοδο επανάληψης περίπου 2500 ετών και επιτάχυνση σχεδιασμού 0.36g. Το κτίριο μονώθηκε σεισμικά στην κορυφή του πρώτου υπογείου με τη βοήθεια 94 μονωτών του τύπου εκκρεμούς ολίσθησης (SIP).

7.2.1. Κέλυφος Κτιρίου

Εκτός από τα υαλοστάσια, που αποτελούν μεγάλο μέρος (85%) των προσόψεων (Εικόνα 7.14), οι προσόψεις αποτελούνται από εμφανές σκυρόδεμα και κλώστρα¹⁰-προκατασκευασμένου σκυροδέματος.

Το ύψος των πανέλων ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο των ανασκαφών και στηρίζονται στον σκελετό σκυροδέματος του κτιρίου μόνο κάτω από τη σεισμική μόνωση. Όλες οι συνδέσεις από το σκελετό στα πανέλα και των πανέλων μεταξύ τους δεν είναι ορατές. Όλη η εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου που έρχεται σε επαφή με τον αρχαιολογικό χώρο επενδύθηκε με προκατασκευασμένα πανέλα σκυροδέματος, τα οποία είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 30cm και βάρους έως 8 τόνους ενώ στην ανωδομή το κύριο στοιχείο είναι το τζάμι.



Εικόνα 7.14.

¹⁰Τζαμιλίκια συνδεδεμένα με γύψο ενισχυμένο με φυτικές ίνες και σίδηρο

Η τελική επένδυση της οροφής της Αίθουσας του Παρθενώνα αποτελείται από αδιαφανείς πλάκες γυαλιού (Εικόνα 7.15), διαστάσεων περίπου 4.29 μ. Χ 1.07 μ., με διαφοροποιήσεις στην ανατολική και δυτική



πλευρά. Οι πλάκες γυαλιού παρέχουν οπτική κάλυψη των μονώσεων της οροφής και στηρίζονται σε συνεχείς σιδηροτροχιές.

Εικόνα 7.15.

7.2.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Από στατικής πλευράς το κτίριο έχει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον μιας και η κατασκευή του φέροντος οργανισμού του περιλαμβάνει έναν συνδυασμό από πασσάλους, αντιστήριξη, εφέδρανα, προένταση, υψηλής ποιότητας οπλισμένο σκυρόδεμα και μεταλλική κατασκευή.

Ο αρχαιολογικός χώρος ο οποίος βρέθηκε κατά την εκσκαφή του οικοπέδου, θα αποκαλυφθεί. Ο χώρος προστατεύτηκε με γεωυφάσματα και χαλίκι, ώστε από πάνω του να μπορούν να εκτελεστούν οι εργασίες ανέγερσης του κτιρίου.

Η πιο χρονοβόρα διαδικασία κατά τη θεμελίωση ήταν να τοποθετηθούν τα εφέδρανα εκκρεμούς ολίσθησης (Εικόνα 7.16), που ήρθαν από την Γερμανία, τα οποία θωράκισαν το μουσείο για κάθε ενδεχόμενο σεισμού, ακόμη και εντάσεως 10 Ρίχτερ. Κάθε κυλινδρική κολώνα, από τις 94, έχει δικό της μεταλλικό εφέδρανο, διότι κάθε μια έχει διαφορετική στατική συμπεριφορά. Ο έλεγχός τους έγινε από υψηλής τεχνολογίας εργαστήριο στο Σαν Ντιέγκο της Καλιφόρνιας.



Εικόνα 7.16.

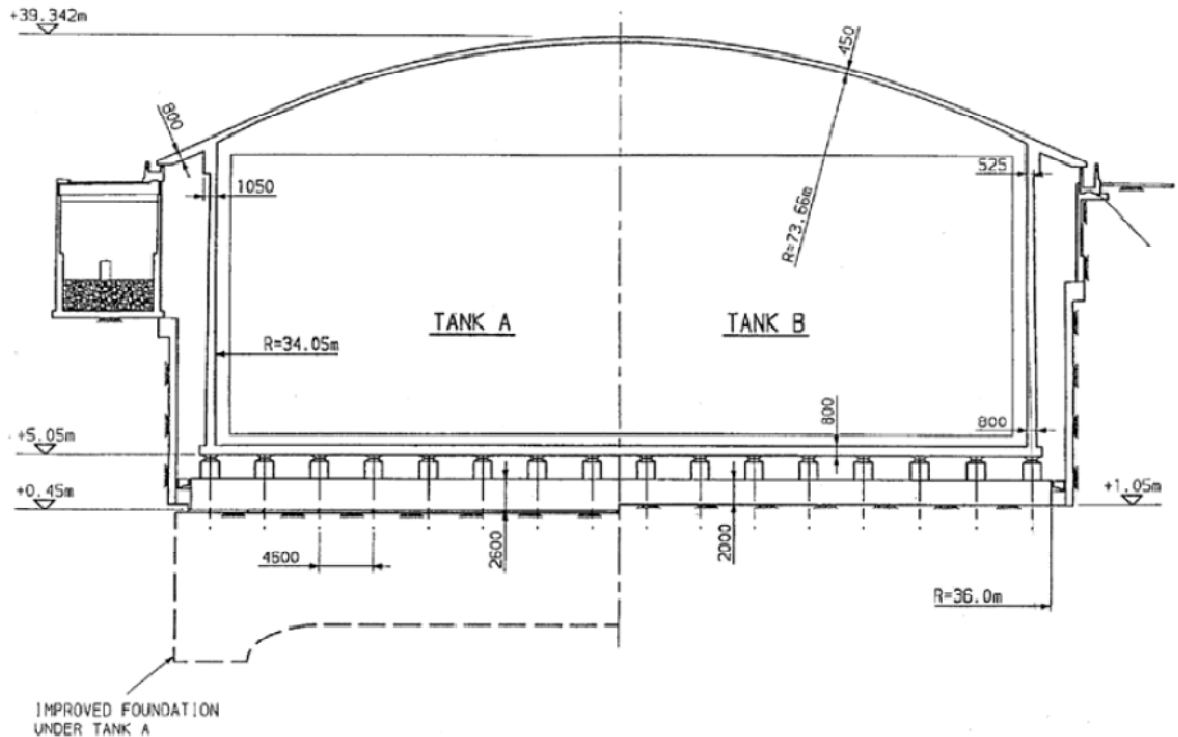
7.3. Δεξαμενές στη Ρεβυθούσα

Η Ρεβυθούσα, ένα μικρό νησί απέναντι από τα Μέγαρα φιλοξενεί την πρώτη καλά τεκμηριωμένη σημαντική εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης βάσεων στην Ελλάδα. Μετά από 12 χρόνια έργων και επενδύσεων συνολικών κεφαλαίων 440 δισ. δραχμών (περίπου 1.220 δισ. ευρώ) οι δεξαμενές τέθηκαν σε λειτουργία το 1999. Πρόκειται για ένα ζευγάρι δεξαμενών υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) από την Αλγερία, χωρητικότητας 65.000 κυβικών μέτρων η κάθε μία (Εικόνα 7.17). Αυτή η ποσότητα επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες φυσικού αερίου της χώρας για 15 ημέρες.



Εικόνα 7.17.

Αποτελούνται από μια εσωτερική δεξαμενή χάλυβα, η οποία περιέχει το φυσικό αέριο και μια εξωτερική προ-συμπιεσμένη δεξαμενή από σκυρόδεμα, που περιβάλλει και προστατεύει την εσωτερική δεξαμενή, με τη μόνωση να τοποθετείται μεταξύ των δύο δομών (Εικόνα 7.18). Η δεξαμενή από σκυρόδεμα εδράζεται σε μια πλάκα από μπετόν και αποτελείται από μια στενούς πλίνθους που επιτρέπουν στον αέρα να κυκλοφορήσει από κάτω. Η εσωτερική δεξαμενή, που αποτελείται από χάλυβα νικελίου και έχει διάμετρο 65.7m και ύψος 22.5m.



Εικόνα 7.18. Τομή δεξαμενής

Η διαρροή αερίου από το σύστημα συγκράτησης μπορεί να οδηγήσει σε εκρήξεις και πυρκαγιές που μπορούν να προκαλέσουν μια μεγάλη καταστροφή για τους ανθρώπους και το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, οι δομές δεξαμενών υποβάλλονται στις πολύ αυστηρές σεισμικές απαιτήσεις ασφαλείας που πρέπει να εξασφαλίσουν την πλήρη συγκράτηση του αερίου LNG μετά από μια διαρροή. Για παρόμοιους λόγους στον σχεδιασμό δεξαμενών LNG, είναι προτιμότερο να αποφευχθεί η χρήση αγκυρώσεων, που θα απέτρεπαν την εσωτερική δεξαμενή να ανυψωθεί κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Αυτές οι απαιτήσεις, δηλ. η συμπίεση και η αποφυγή των λουριών αγκύρων για την εσωτερική δεξαμενή, έχουν υπαγορεύσει την επιλογή της σεισμικής μόνωσης, ως λύση.

Οι δύο LNG δεξαμενές σχεδιάστηκαν για να μονωθούν σεισμικά από τη βάση τους με τη βοήθεια 212 μονωτήρων ολίσθησης ανά δεξαμενή, τοποθετημένοι σε ένα ακτινωτό σχέδιο (Εικόνα 7.19 και 7.20). Οι μονωτές είναι τριβής εκκρεμούς (FPS), τοποθετήθηκαν σε συγκεκριμένα βάθρα (Εικόνα 21) και έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Φυσική περίοδος δεξαμενής χωρίς μόνωση: ~ 0.2 s

Φυσική περίοδος απομονωμένης βάση δεξαμενής = 2.75 s

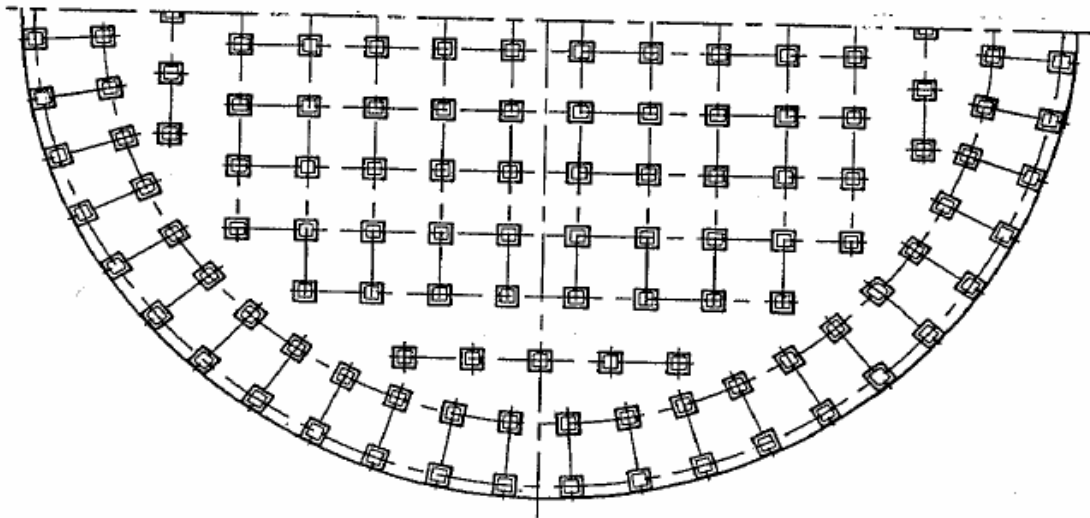
Διάμετρος μονωτών = 940 χιλ.

Δυναμική τριβή = 5%

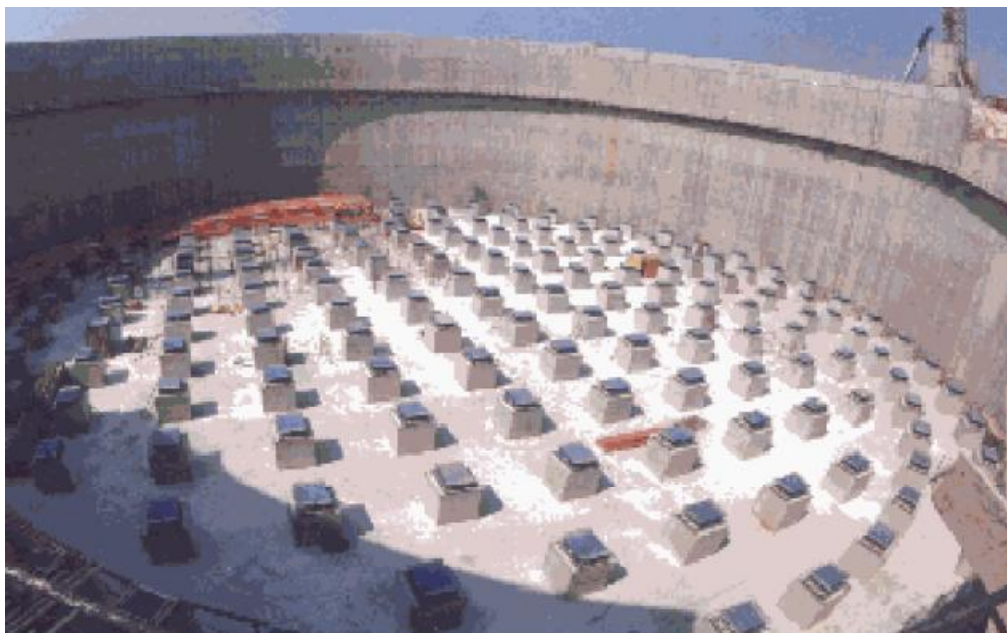
Σχεδιασμένο κάθετο φορτίο= 2.888 KN

Σχεδιασμένη μετατόπιση=267mm

Ακτίνα κυρτότητας του FPS =1880mm+_18mm



Εικόνα 7.19. Σχεδιάγραμμα και φωτογραφία των μονωτών της βάσης



Εικόνα 7.20

7.3.1. Λειτουργίες και Σχεδιαστικά Στοιχεία της Εξωτερικής Δεξαμενής

Οι λειτουργίες της εξωτερικής προ-συμπιεσμένης δεξαμενής είναι:

(α) Υπό φυσιολογικές συνθήκες:

- Υποστήριξη της εσωτερικής δεξαμενής χάλυβα και της διοχέτευσης σωλήνων στην στέγη και των εγκαταστάσεων
- Να φέρει την εσωτερική πίεση αερίου

(β) Υπό τους εξαιρετικές συνθήκες:

- Διατήρηση του φυσικού αερίου LNG σε περίπτωση εσωτερικής διαρροής στις δεξαμενές
- Προστασία της εσωτερικής δεξαμενής σε:
Χτύπημα από βλήματα
Χτύπημα από ελικόπτερο
Πυρκαγιά της διπλανής LNG δεξαμενής
Αποτυχία της συμπίεσης της



Εικόνα 7.21. Ο μονωτής FPS πάνω στο βάθρο

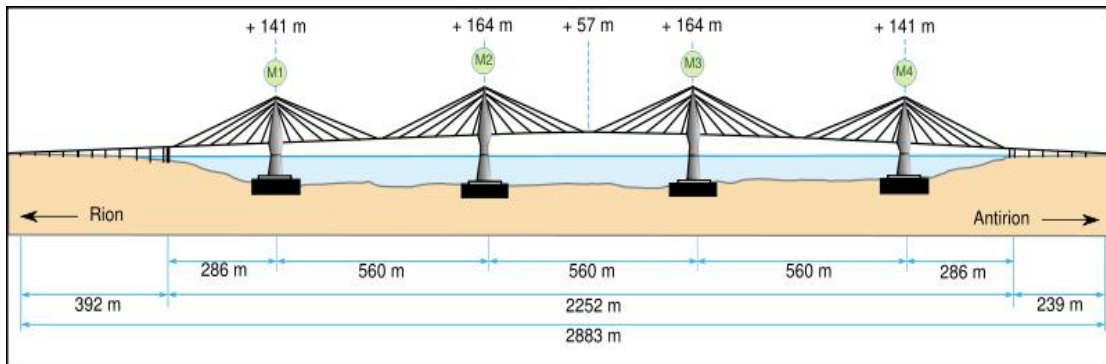
7.4. Γέφυρα Ρίο-Αντίρριο

Οι περισσότερες σύγχρονες γέφυρες στην Ελλάδα είναι εξοπλισμένες με συσκευές απόσβεσης ενέργειας, ειδικά ιξώδεις διατάξεις απόσβεσης. Η γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου είναι μια σημαντική καλωδιωτή γέφυρα που ενώνει το δυτικό μέρος της Πελοποννήσου με την ηπειρωτική χώρα (Εικόνα 7.22).



Εικόνα 7.22.

Το μήκος της γέφυρας που στηρίζεται σε τέσσερις πυλώνες, ανέρχεται στα 2252 μέτρα, ενώ μαζί με τις προσβάσεις φτάνει γύρω στα 2880 μέτρα (Εικόνα 7.23). Η γέφυρα αναπτύχθηκε και ολοκληρώθηκε μέσα σε 7 χρόνια, παρά τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ το μέγιστο βάθος θεμελίωσης φθάνει τα 65 μέτρα υπό την επιφάνεια της θάλασσας. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με προδιαγραφές να αντέξει σε σεισμό μεγαλύτερο από αυτόν που σημειώθηκε στις 17 Αυγούστου 1999 στο Ισμίτ της Τουρκίας, ο οποίος ήταν μεγέθους 7,4 της κλίμακας ρίχτερ. Έχει υπολογιστεί, επίσης, πως αντέχει σε ενδεχόμενη σύγκρουση τάνκερ εκτοπίσματος 180,000 τόνων, καθώς και σε ταχύτητα ανέμου 250 χλμ/ώρα, ταχύτητα που αντιστοιχεί σε τυφώνα. Το κατάστρωμα έχει πλάτος 27,2 μέτρα με δύο λωρίδες κυκλοφορίας, μια λωρίδα ασφαλείας και πεζοδρόμιο σε κάθε κατεύθυνση. Σε κάθε πλευρά, ένα μεταβατικό ακρόβαθρο εντυπωσιακών διαστάσεων παρεμβάλλεται ανάμεσα στο κατάστρωμα της καλωδιωτής γέφυρας και το κατάστρωμα της γέφυρας πρόσβασης.



Εικόνα 7.23.

7.4.1.Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Μια καλωδιωτή γέφυρα μήκους 2.252 μέτρων με τέσσερις πυλώνες των οποίων βάσεις έχουν μια διάμετρο μεταξύ 90μ-100μ και είναι "καθισμένοι" στον πυθμένα της θάλασσας. Τα ανοίγματα έχουν μήκος 286 μέτρα, 560 μέτρα, 560 μέτρα, 560 μέτρα και 286 μέτρα, δύο γέφυρες πρόσβασης, μήκους 392 μέτρων στην πλευρά του Ρίου και 239 μέτρων στην πλευρά του Αντιρρίου.



Εικόνα 7.24

Η άνω στρώση του υπεδάφους κάτω από τα θεμέλια των πυλώνων ενισχύθηκε με ενθέματα, τα οποία είναι κενοί χαλυβδοσωλήνες διαμέτρου 2 μέτρων και μήκους 25 έως 30 μέτρων που εμπήγνουνται σε αποστάσεις 7 μέτρων μεταξύ τους. Στη θέση των βάθρων τοποθετήθηκαν περίπου 200 τέτοιοι σωλήνες. Μια στρώση αμμοχάλικου, πάχους 3 μέτρων επιμελημένα ισοπεδωμένη καλύπτει τα εν λόγω ενθέματα. Τα θεμέλια είναι θάλαμοι από οπλισμένο σκυρόδεμα με διάμετρο 90 μέτρων, που εδράζονται στη στρώση του αμμοχάλικου. Το κάτω τμήμα του βάθρου αποτελείται από έναν κώνο, του οποίου η διάμετρος κυμαίνεται από 38 έως 26 μέτρα.

Η γέφυρα υποστηρίζεται μόνο από τα καλώδια (Εικόνα 7.24), ενώ οι θρυαλλίδες και οι αποσβεστήρες τοποθετούνται μεταξύ της γέφυρας και των βάσεων των πυλώνων στην εγκάρσια κατεύθυνση για να περιορίσουν τη σχετική μετατόπιση και να αποσβέσουν την ενέργεια σε περίπτωση σοβαρού σεισμού.

Κάτω από τα ισχυρά φορτία, οι θρυαλλίδες σταματούν τις εγκάρσιες μετατοπίσεις της γέφυρας για τη δράση του αέρα και τους μέτριους σεισμούς. Χρησιμοποιούνται επίσης για την πλευρική ρύθμιση (± 250 χιλ.) της γέφυρας σε περίπτωση πλευρικής τεκτονικής μετακίνησης. Οι αποσβεστήρες ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού και μετά από το σπάσιμο της θρυαλλίδας στον ανασταλτήρα. Χρησιμοποιούνται για να αποσβέσουν την ενέργεια και να μειώσουν τις σχετικές μετακινήσεις μεταξύ της γέφυρας και του πυλώνα.

Κάθε αποβάθρα είναι εξοπλισμένη με 4 υδραυλικούς απόσβεστηρες και 1 θρυαλλίδα, ενώ 2 υδραυλικοί απόσβεστηρες που ενσωματώνουν 1 θρυαλλίδα εγκαθίστανται σε κάθε πυλώνα μετάβασης. Στον άνω κορμό βάθρου υπάρχει μια ανεστραμμένη πυραμίδα ύψους περίπου 15 μέτρων και μια τετράγωνη βάση με πλευρές μήκους 38 μέτρων. Κάθε πυλώνας αποτελείται από τέσσερα σκέλη από οπλισμένο σκυρόδεμα, διατομής 4Χ4 μέτρων, που πακτώνονται στην κεφαλή του πυλώνα, σχηματίζοντας μια συμπαγή κατασκευή. Τα καλώδια ανάρτησης είναι κεκλιμένα. Το κάτω μέρος τους αγκυρώνεται σε μία από τις πλευρές του καταστρώματος και το πάνω μέρος τους στην ύψους 35 μέτρων κεφαλή του πυλώνα. Αποτελούνται από παράλληλα γαλβανισμένα συρματόσχοινα. Το πιο μεγάλο καλώδιο σχηματίζεται από εβδομήντα συρματόσχοινα των 15 χιλιοστών.

Πρόκειται για μια σύμμεικτη κατασκευή με χαλύβδινο σκελετό, που αποτελείται από δύο διαμήκεις κύριες δοκούς ύψους 2,2 μέτρων σε κάθε πλευρά με εγκάρσιες δοκούς ανά 4 μέτρα. Η επάνω πλάκα κατασκευάζεται από προκατασκευασμένα φατνώματα από σκυρόδεμα. Τέσσερις μηχανισμοί απόσβεσης συνδέουν το κατάστρωμα με την κορυφή κάθε βάθρου και περιορίζουν την ταλάντωση του καταστρώματος κατά τη διάρκεια σεισμών. Η δυναμική σχετική μετακίνηση κατά το σεισμό σχεδιασμού είναι της τάξης του $\pm 1,30$ μέτρων, ενώ η ταχύτητα μπορεί να υπερβεί το 1 μέτρο ανά δευτερόλεπτο. Τέλος, η γέφυρα είναι σχεδιασμένη να απορροφά πιθανές μετατοπίσεις μεταξύ δύο βάθρων, σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Ø Στο τέλος της πτυχιακής έχει αναρτηθεί ένα παράρτημα με φωτογραφίες από την ιστοσελίδα του Νίκου Δανιηλίδη με θέμα την γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου. (<http://www.daniilidis.gr/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ ΕΔΡΑΣΗΣ

8.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης ως εναλλακτικό τρόπο σεισμικής θωράκισης της κατασκευής. Προκειμένου να γίνει σύγκριση της μεθόδου με τον συμβατικό τρόπο έδρασης των κατασκευών, χρησιμοποιούνται δύο μοντέλα φορέων, ένα με συμβατική στήριξη και ένα σεισμικά μονωμένο (έδραση σε εφέδρανα) (Εικόνα 8.1).

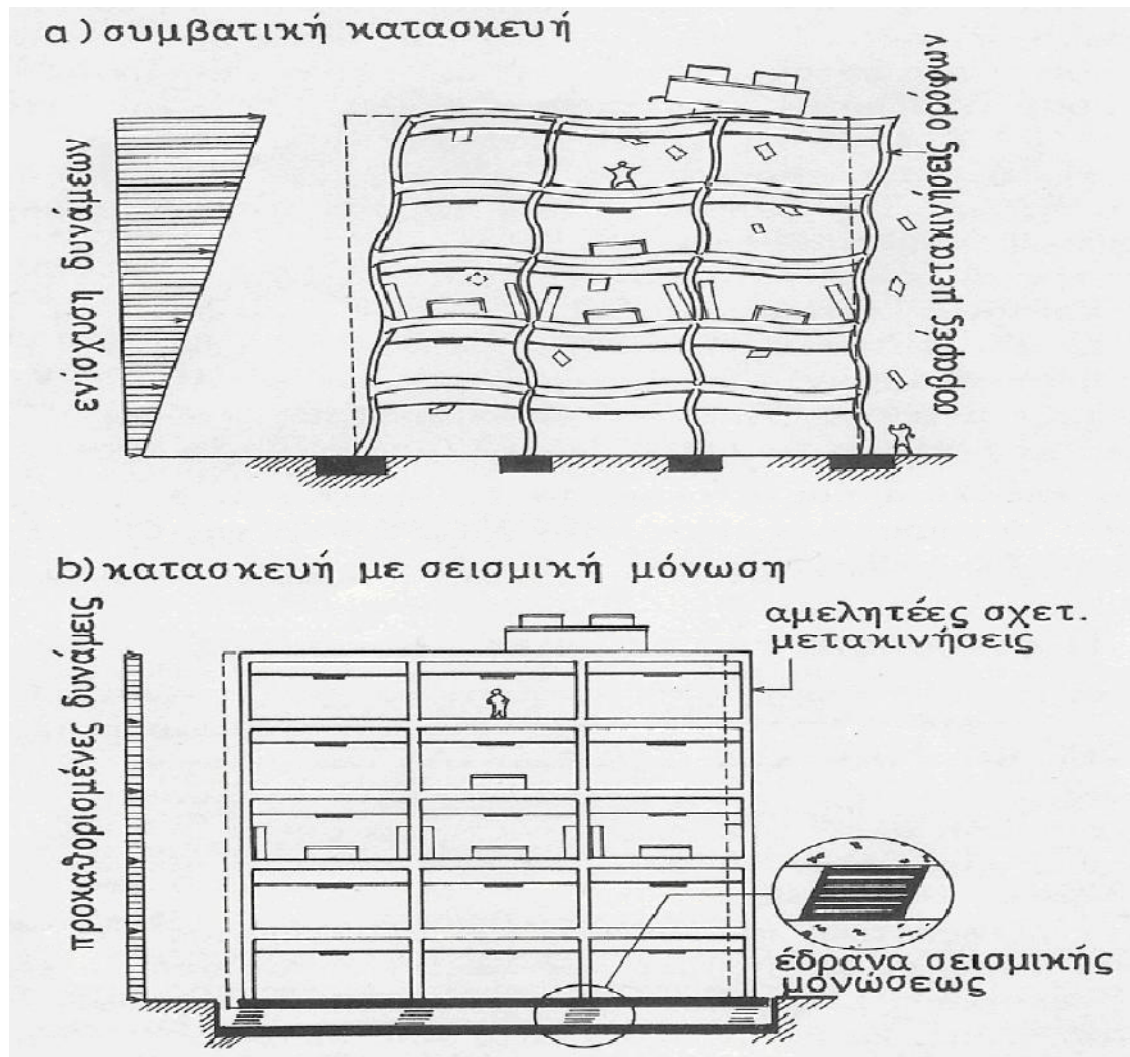
Τα αποτελέσματα τόσο της ανάλυσης, όσο και της θεωρητικής διερεύνησης του θέματος της σεισμικής μόνωσης, οδηγούν σε χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία καταδεικνύουν την σπουδαιότητα και τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής.

Οι απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού των φορέων κατά τους ισχύοντες κανονισμούς επιβάλλουν αυξημένη παραμορφωσιμότητα (πλαστιμότητα) και ταχεία απόσβεση των ταλαντώσεων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη απόκριση των δομικών στοιχείων στις εξωτερικά επιβαλλόμενες σεισμικές δράσεις. Ένας τέτοιος μηχανισμός μπορεί να υλοποιηθεί με την εφαρμογή μιας σειράς αυστηρών διατάξεων όπως είναι ο ικανοτικός σχεδιασμός των κόμβων, η διάταξη ελαχίστων διατμητικών τοιχωμάτων, η εξασφάλιση επαρκούς περίσφιξης στα στοιχεία και η επάρκεια αγκύρωσης οπλισμών. Με τον τρόπο αυτό οι «επαρκώς πλαστικές» κατασκευές αντέχουν ισχυρούς σεισμούς.

Σαν εναλλακτική στρατηγική σε μια τέτοια προσέγγιση αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια η τεχνική της «σεισμικής μόνωσης» η οποία βασίζεται στην αυξημένη προστασία της ανωδομής από τη σεισμική καταπόνηση και στη βελτίωση της δυνατότητας απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής στηρίζεται στην εισαγωγή ειδικών συστημάτων απορρόφησης ενέργειας (εφέδρανα) που αυξάνουν άμεσα την ικανότητα της κατασκευής να απορροφά σεισμική ενέργεια και με αυτό τον τρόπο μειώνουν την μετακίνηση της κατασκευής που συνεπάγεται μείωση ή και μηδενισμό ανελαστικών παραμορφώσεων.

Μία σεισμικά μονωμένη κατασκευή πλεονεκτεί έναντι μιας συμβατικής επειδή παρουσιάζει: α) αυξημένη ασφάλεια σε κατάρρευση, αφού εξασφαλιστεί έναντι ανατροπής, β) εξασφάλιση ελαστικής συμπεριφοράς ακόμα και σε περιπτώσεις ισχυρών σεισμών, γ) περιορισμό των ζημιών στα μη – φέροντα δομικά στοιχεία και δ) περιορισμό των ζημιών στα περιεχόμενα του κτιρίου (π.χ.οικοσυσσκευές).



Εικόνα 8.1. Συγκριτική απόκριση σε σεισμό συμβατικής και σεισμικά μονωμένης κατασκευής

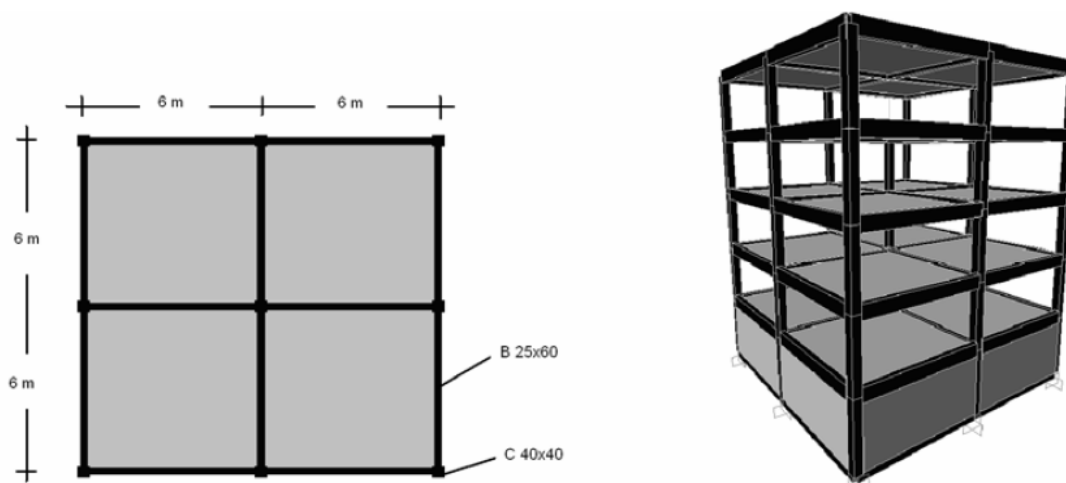
8.2. Παράδειγμα Σύγκρισης Μεθόδων Έδρασης

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα παράδειγμα όπου συγκρίνεται η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης με την συμβατική μέθοδο έδρασης. Οι δυο μέθοδοι εφαρμόζονται ξεχωριστά σε ένα κτίριο.

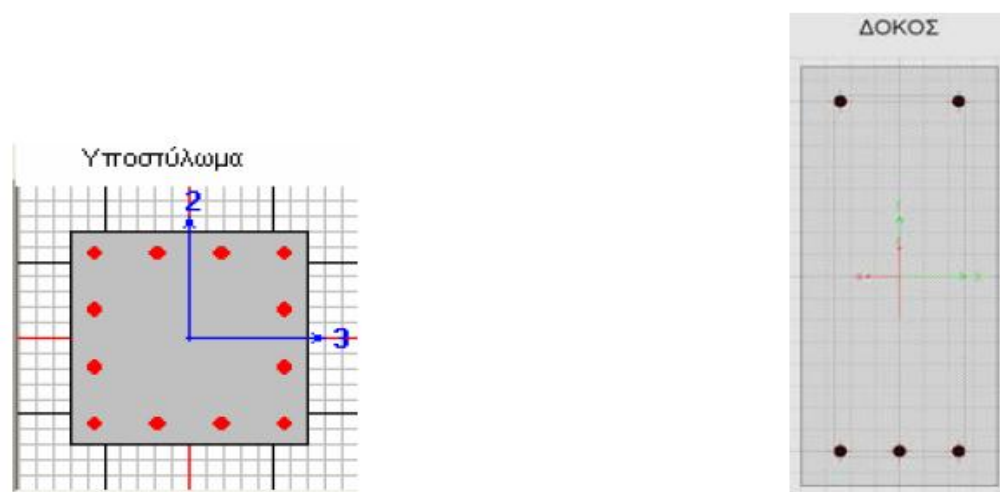
8.2.1. Περιγραφή του Κτιρίου

Το κτίριο αποτελείται από ένα υπόγειο και τέσσερις ορόφους (Εικόνα 8.2). Έχει διπλή συμμετρία, διαστάσεων κάτοψης 12x12 μέτρα και κάθε όροφος ύψους 3 μέτρων αποτελείται από έξι πλαίσια ανοίγματος 6 μέτρων το καθένα, σε κάθε διεύθυνση.

Όλες οι πλάκες έχουν πάχος 20 εκ. εκτός από την πλάκα οροφής του τέταρτου ορόφου που έχει πάχος 15 εκ. Όλα τα υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 40x40 εκ. με οπλισμό 12Φ20 περιμετρικά. Όλες οι δοκοί έχουν διαστάσεις 25x60 εκ. με οπλισμό 3Φ16 στο κάτω πέλμα και 2Φ20 στο άνω (Εικόνα 8.3). Η θεμελίωση του αρχικού φορέα είναι μεμονωμένα πέδιλα με συνδετήριες δοκούς. Το κτίριο φέρει κατακόρυφα φορτία στις πλάκες των ορόφων : 3 kN/m² (μόνιμα) και 5 kN/m² (κινητά). Τα φορτία διαφοροποιούνται στην πλάκα οροφής του τέταρτου ορόφου όπου γίνονται : 2 kN/m² (μόνιμα) και 1 kN/m² (κινητά).



Εικόνα 8.2. Κάτοψη και αξονομετρικό φέροντος οργανισμού



Εικόνα 8.3. Διατομές υποστυλωμάτων και δοκών αντίστοιχα, τετραώροφου κτιρίου.

8.2.3. Μοντέλο προσομοίωσης

Στο πρώτο μοντέλο της ανάλυσης (συμβατικό) ο φορέας είναι πλαισιακός και αποτελείται από τέσσερις ορόφους ενώ το υπόγειο θα προσομοιωθεί σαν πάκτωση όλων των κατακόρυφων στοιχείων της ανωδομής στο έδαφος. Κάθε όροφος έχει ύψος 3 μέτρα και αποτελείται από 9 υποστυλώματα (40x40 εκ.) και 12 δοκούς (25x60) οπλισμένα όλα όπως αναφέρεται παραπάνω.

Το δεύτερο μοντέλο (σεισμικά μονωμένο) είναι όμοιο με το πρώτο αλλά διαφοροποιείται στις συνθήκες στήριξής του. Συγκεκριμένα κάτω από την πλάκα δαπέδου του ισογείου έχουν τοποθετηθεί ελαστομεταλλικά εφεδράνα (ELB) σε θέσεις που συμπίπτουν με τα κατακόρυφα στοιχεία της ανωδομής. Αυτά εδράζονται στην πλάκα οροφής του υπογείου η οποία είναι μεγάλου πάχους και παίζει το ρόλο της γενικής κοιτόστρωσης κατά κάποιο τρόπο.

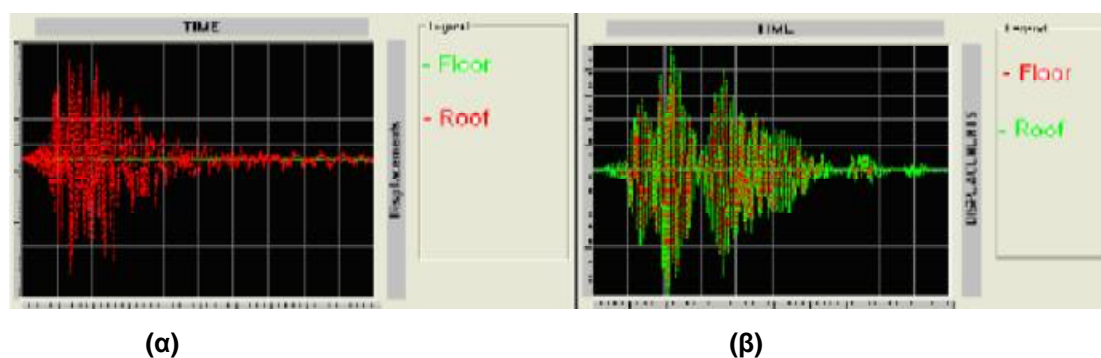
Για την στατική προσομοίωση και επίλυση του φορέα χρησιμοποιείται το υπολογιστικό πρόγραμμα SAP2000, όπου γίνεται χρήση ραβδόμορφων πεπερασμένων στοιχείων για δοκούς και υποστυλώματα και θεώρηση διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών. Όσο για την προσομοίωση των στοιχείων της σεισμικής μόνωσης στον φορέα χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία-σύνδεσμοι (Rubber isolators) με μη γραμμικές ιδιότητες (ελαστοπλαστική διγραμμική συμπεριφορά) οι οποίες ενεργοποιούνται μόνο για δυναμική επίλυση του φορέα με δεδομένα επιταχυνσιογραφήματα βάσης. Πραγματοποιήθηκαν πλήθος αναλύσεων για τα δύο μοντέλα ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποκρίσεων τους.

Επιλέχθηκε εν χρόνω ανάλυση και εφαρμόστηκε με δύο επιταχυνσιογραφήματα στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, όπου για κάθε μία υπάρχουν 3000 χρονικά βήματα, σε ίσα διαστήματα των 0,2 sec, για συνολικό χρόνο 60 sec. Στην κατακόρυφη διεύθυνση το κτίριο είναι ιδιαίτερα άκαμπτο και επομένως δεν επηρεάζεται από την παρουσία των εφεδράνων, στα οποία θεωρήθηκε ότι δεν εμφανίζονται ανυψώσεις.

8.2.4. Αποτελέσματα ανάλυσης

Από την ανάλυση προέκυψε ένας μεγάλος όγκος αποτελεσμάτων, τα οποία μελετήθηκαν, αξιολογήθηκαν, και τέλος εξετάστηκαν ώστε να βγουν ορισμένα συμπεράσματα.

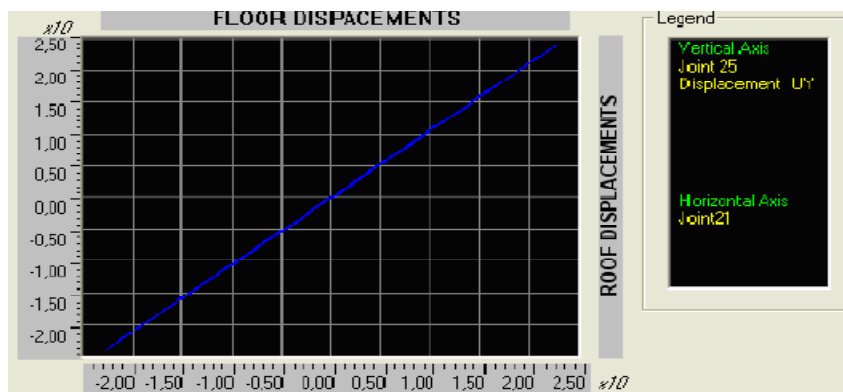
Ενδεικτικά παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα που αποδεικνύουν την συμπεριφορά της σεισμικά μονωμένης κατασκευής σαν στερεού απαραμόρφωτου σώματος. Αυτό σημαίνει ότι η ανωδομή αν και παρουσιάζει μεγάλες μετακινήσεις, ουσιαστικά έχει πολύ μικρές παραμορφώσεις και αυτό φαίνεται από τα διαγράμματα μετακίνησης των κόμβων του ισογείου και της οροφής της κατασκευής συναρτήσει του χρόνου που σχεδόν συμπίπτουν (Εικόνα 8.4. και 8.5.α).



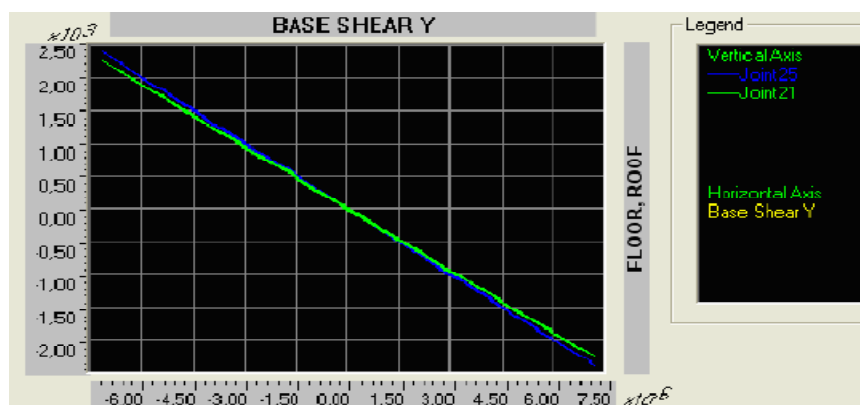
Εικόνα 8.4. Διαγράμματα χρόνου - μετατόπισης ισογείου και οροφής κτιρίου, συμβατικού και σεισμικά μονωμένου αντίστοιχα

Στην εικόνα 8.5.α παρουσιάζονται οι μετακινήσεις της βάσης του κτιρίου συναρτήσει της οροφής. Ακόμα βλέπουμε στην εικόνα 8.5.β την απορρόφηση της σεισμικής τέμνουσας όταν αρχίζουν και μετατοπίζονται τα εφέδρανα απορροφώντας έτσι τη σεισμική δύναμη και απομονώνοντας την ανωδομή η οποία συμπεριφέρεται στην ουσία «ελαστικά» αφού έχει ελάχιστες σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των φερόντων στοιχείων της. Έτσι εξασφαλίζεται καλύτερη σεισμική επίδοση της κατασκευής και βελτίωση της λειτουργικότητάς της.

Επίσης στην συμβατική κατασκευή παρατηρείται σημαντική συμμετοχή των υψηλών ιδιομορφών, σε αντίθεση με την σεισμικά μονωμένη όπου η συμμετοχή τους είναι πολύ μικρή, έως και μηδενική σε περίπτωση που η δυσκαμψία της ανωδομής είναι αρκετά μεγαλύτερη από των μονωτήρων.



Εικόνα 8.5.α. Διάγραμμα μετατοπίσεων πατώματος – οροφής 4ου ορόφου σεισμικά μονωμένου κτηρίου.



Εικόνα 8.5.β. Διάγραμμα τέμνουσας βάσης μετατοπίσεων ισογείου – οροφής σεισμικά μονωμένου κτηρίου.

Σε μία τελική αντιπαράθεση των δύο μοντέλων αξίζει να αναφερθεί ότι η σεισμικά μονωμένη κατασκευή παρουσίασε μείωση των εντατικών μεγεθών, σε σχέση με την συμβατική με ταυτόχρονη αύξηση της οριζόντιας μετατόπισης, η οποία αν και ήταν αρκετά μεγαλύτερη από της συμβατικής, δεν δημιούργησε προβλήματα στην ανωδομή που μετατοπίστηκε σαν «άκαμπτο» σώμα.

Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή των χαρακτηριστικών των εφεδράνων. Αυτό γιατί αφού έγιναν διάφορες δοκιμές, παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση της δυσκαμψίας των εφεδράνων αυξάνονταν και τα φορτία που μεταβιβάζονται στην ανωδομή, ενώ με τη μείωση της δυσκαμψίας τους αυξάνεται η απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας από τα εφέδρανα και άρα μικρότερες εντάσεις περνούν στην ανωδομή. Έτσι πρακτικά ένας σχετικά δύσκαμπτος φέρων οργανισμός στηριζόμενος σε σχετικά εύκαμπτα εφέδρανα έχει πολύ καλή συμπεριφορά σε ισχυρούς σεισμούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1. Το Κόστος Σεισμικής Μόνωσης

Η σεισμική μόνωση συνήθως απαιτεί ένα αρχικό κόστος το οποίο διασφαλίζει ένα κέρδος μακροπρόθεσμα, λόγω της καλύτερης σεισμικής απόδοσης και της αποφυγής ζημιών. Συγκεκριμένα το αρχικό κόστος υπολογίζεται της τάξης του 10%¹¹ της κατασκευής. Όταν η μέθοδος χρησιμοποιηθεί για την αναβάθμιση μιας υπάρχουσας κατασκευής κέρδος μπορεί να επιτευχθεί σύμφωνα με το επίπεδο της σεισμικής απόδοσης της κατασκευής, την επιθυμητή σεισμική αναβάθμιση και τους ήδη υπάρχοντες περιορισμούς. Είναι δύσκολο να συγκρίνεις το κόστος της σεισμικής μόνωσης με την συμβατική μέθοδο λόγω των διαφορετικών αποδόσεων, τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με την απόκριση τους σε σεισμούς και το ακριβές επίπεδο ζημιών που κάθε μέθοδος επιτρέπει.

Ένα παράδειγμα πραγματικής έρευνας σε μια εγκατάσταση πυρηνικής ενέργειας έδειξε ότι λόγω της σεισμικής μόνωσης σώθηκαν 34 εκατομμύρια δολάρια για μια κατασκευή 1.760 εκατομμυρίων δολαρίων, δηλαδή το κέρδος είναι της τάξεως του 2% του αρχικού κόστους. Ένα τυπικό LRB κοστίζει μεταξύ 5.000-25.000 δολαρίων. Επίσης επιπρόσθετα μέλη ή κατασκευαστικές αλλαγές μπορεί να χρειαστούν για την εισαγωγή των εφεδράνων. Μια πρόσθετη πλάκα στην στάθμη μόνωσης είναι αναγκαίο για ενιαία παραμόρφωση και κατανομή των φορτίων στους μονωτήρες.

Επιπλέον έξοδα εμφανίζονται από την δημιουργία των τοίχων διάτμησης και σεισμικού κενού γύρω από την κατασκευή για την διευκόλυνση της μετατοπίσεως του συστήματος. Η απώλεια γης για την δημιουργία του σεισμικού κενού μπορεί να θεωρηθεί σαν επιπλέον κόστος του συστήματος ειδικά σε περιοχές όπου η γη είναι ακριβή.

11

«Earthquake design practice for buildings» Από τους Edmund Booth και David Key

Τέλος, οι σεισμικά μονωμένες κατασκευές απαιτούν συχνή συντήρηση και ελέγχους για να σιγουρέψουμε την αποδοτικότητα τους σε όλη την διάρκεια της ζωής του, που αποτελούν ένα επιπλέον κόστος. Όμως είναι προτιμότερο να γίνεται κάποιος έλεγχος μετά από ένα καταστροφικό σεισμό παρά να επιδιορθώνονται ζημιές αν χρησιμοποιείται η συμβατική μέθοδος.

9.2. Το μέλλον της Σεισμικής Μόνωσης

Είναι φανερό ότι η σεισμική μόνωση είναι ένα αποτελεσματικό σχεδιαστικό σύστημα που ανταποκρίνεται επιτυχημένα στα σεισμικά φορτία και όχι μόνο παρέχει ασφάλεια αλλά και αποτρέπει τις ζημιές. Η σεισμική μόνωση συγκεκριμένα είναι πιο χρήσιμη για χαμηλού με μεσαίου ύψους κτίρια που τυχαίνει να έχουν τις θεμελιώδεις συχνότητες μέσα στην επικίνδυνη περιοχή αντηχήσης των ισχυρότερων σεισμικών συχνοτήτων.

Κρίσιμες εγκαταστάσεις, όπως κέντρα άμεσου κινδύνου, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κοινωφελείς υπηρεσίες και κέντρα επικοινωνίας πρέπει να παραμένουν υπό λειτουργία ακόμη και μετά από τους ισχυρότερους σεισμούς. Η διακοπή της λειτουργίας τόσο σημαντικών, για το κοινό εγκαταστάσεων πρέπει να αποφευχθεί με την χρήση της σεισμικής μόνωσης. Έτσι, αυξάνεται η σεισμική τους απόδοση με την μείωση των σεισμικών φορτίων που μπορούν να υποστούν κάτω από έναν δυνατό σεισμό.

Είναι επίσης πολύ χρήσιμη η σεισμική αναβάθμιση ιστορικών κατασκευών ή η προστασία πολύ ευαίσθητου εξοπλισμού και πολύτιμων αντικειμένων ενός κτιρίου. Στην παρούσα κατάσταση η σεισμική μόνωση μπορεί να μειώσει την ευπάθεια μιας ιστορικής κατασκευής χωρίς να βλάψει τα ευδιάκριτα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της, με την μείωση των σεισμικών δυνάμεων που δημιουργούνται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το περιεχόμενο της κατασκευής προστατεύεται με την μείωση των δυνάμεων αδράνειας που μπορεί να προκληθούν κατά την διάρκεια μιας δυνατής σεισμικής διέγερσης.

Ο σεισμικός κίνδυνος που διατρέχουν πολλές επιχειρήσεις με το να μην έχουν την απαραίτητη σεισμική προστασία είναι συχνά πολύ σοβαρό γεγονός για να αγνοηθεί. Η διάλυση μιας επιχείρησης και διαφημιστικών οργανισμών μπορεί να είναι καταστροφική, λόγω απώλειας των εσόδων και της παραγωγικότητας συν της πιθανής ζημιάς του εξοπλισμού και άλλων περιουσιακών στοιχείων. Η διακοπή της παραγωγής και η αναστολή των λειτουργιών μπορεί να οδηγήσουν σε απώλειες στην αγορά (πωλήσεων και πελατών) που μπορεί να χρειάστηκαν χρόνια για να επιτευχθούν.

Η σεισμική μόνωση μπορεί να μετριάσει ή την οικονομική απώλεια, μειώνοντας τον σεισμικό κίνδυνο. Βέβαια, η σεισμική μόνωση δεν εφαρμόζεται σε όλες τις κατασκευές, γι' αυτό γίνεται μια προκαταρκτική έρευνα στα αρχικά στάδια σχεδιασμού για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας της, σύμφωνα με συγκεκριμένες σχεδιαστικές απαιτήσεις. Επίσης, διαφορετικές σχεδιαστικές απαιτήσεις απαιτούν διαφορετικά συστήματα μόνωσης, γι αυτό μια κατάλληλη επιλογή πρέπει να γίνεται βάση των γνώσεων, της κατανόησης των χαρακτηριστικών, τα προτερήματα και τους περιορισμούς καθενός συστήματος.

Ένα γεγονός που αποθαρρύνει τους ιδιοκτήτες νέων κατασκευών να χρησιμοποιήσουν σεισμική μόνωση είναι η ψευδαίσθηση ότι μια κατασκευή σχεδιασμένη με συμβατικές αντισεισμικές μεθόδους είναι ασφαλής. Η έλλειψη πληροφοριών και γνώσης ότι η φιλοσοφία της συμβατικής αντισεισμικής προστασίας βασίζεται στην αποδοχή υψηλών επιπέδων ζημιάς κάτω από δυνατούς σεισμούς, κατευθύνει λανθασμένα τους ιδιοκτήτες, οι οποίοι δεν συνειδητοποιούν το ρίσκο που παίρνουν για την ιδιοκτησία τους. Όταν το κοινό πληροφορηθεί σωστά για την φιλοσοφία του σχεδιασμού και τους στόχους που προσεγγίζει η συμβατική σχεδιαστική μέθοδος, θα αυξηθεί το ενδιαφέρον για την σεισμική μόνωση, ειδικά στον επιχειρηματικό κόσμο.

Η δημοσιότητα που έχει δοθεί σε πρόσφατους σεισμούς και τις ζημιές τους, έχει κάνει τους ανθρώπους πιο ευαίσθητους και ανήσυχους στο θέμα των σεισμών και των συνεπειών τους. Ελπίζουμε ότι οι άνθρωποι θα αρχίσουν να δίνουν περισσότερη σημασία στη σεισμική αντοχή των κτιρίων τους και ότι θα είναι πιο πρόθυμοι να πληρώσουν ένα παραπάνω αρχικό κόστος με στόχο την ασφάλεια ζωών και περιουσίας εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο χρήματα μακροπρόθεσμα.

Το κόστος για την διόρθωση μια ζημιάς που προκλήθηκε από ισχυρό σεισμό, μπορεί να είναι μια σημαντική αναλογία του εθνικού ακαθάριστου προϊόντος μιας χώρας και καταστροφικό για την οικονομία της. Είναι επείγον και αναγκαίο οι χώρες που είναι σε περιοχές επιρρεπείς σε σεισμούς, να ενθαρρύνουν την χρήση προηγμένων μεθόδων σεισμικής αντοχής, όπως η σεισμική μόνωση, για την μείωση των συνεπειών σε επόμενους σεισμούς.

Τα μονωτικά συστήματα πρέπει να τυποποιηθούν για να γίνει πιο εύκολη η χρήση τους. Πιστοποιημένα χαρακτηριστικά των συστημάτων σεισμικής μόνωσης πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμα σε πολιτικούς μηχανικούς για να επιτρέπεται η εκτίμηση της μεθόδου σε οποιοδήποτε σημείο σχεδίασης του συστήματος. Επίσης, οι μελλοντικοί πολιτικοί μηχανικοί πρέπει να ενημερωθούν για την μέθοδο της σεισμικής μόνωσης, τα χαρακτηριστικά και τον σκοπό της κατά την διάρκεια των σπουδών τους.

Ευρεία εξάπλωση της σεισμικής μόνωσης πρέπει να είναι δυνατή μόνο όταν γίνει μια προσέγγιση κόστους-απόδοσης για την μείωση των σεισμικών κινδύνων. Δυστυχώς, όλα στον κόσμο οδηγούνται από την οικονομία και η σεισμική δόνηση, στις περισσότερες περιπτώσεις, έχει ένα αρχικό υψηλό κόστος, πράγμα που την κάνει λιγότερο ελκυστική σε σχέση με τις άλλες συμβατικές αντισεισμικές μεθόδους. Είναι πιθανό ότι όσο πιο πολλές σεισμικά μονωμένες οικοδομές κατασκευαστούν, το κόστος θα μειωθεί, η μεγαλύτερη απαίτηση θα επιτρέψει στις κατασκευαστικές εταιρείες συστημάτων σεισμικής μόνωσης να επωφεληθούν από τον αυξανόμενο αριθμό πωλήσεων με το να χαμηλώσουν τις τιμές τους σε ένα επίπεδο που θα προωθή την χρήση της σεισμικής μόνωσης. Αυτό θα ωφελήσει και την βιομηχανία σεισμικής μόνωσης, που θα αναγνωριστεί και θα καθιερωθεί πιο εύκολα αλλά και την κοινωνία αφού θα υπάρξει μείωση των κινδύνων από σεισμούς. Θα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μοντέρνα υλικά για την ανάπτυξη νέων τύπων σεισμικής μόνωσης, που θα είναι λιγότερα ακριβά για την κατασκευή τους.

Τέλος, όσο θα αυξάνεται ο αριθμός των κατασκευών με σεισμική μόνωση θα αποκτηθεί μεγαλύτερη εμπειρία όσον αφορά την απόδοση της μεθόδου και τα οφέλη της. Περισσότερη εμπειρία και πληροφορίες από την απόκριση των κατασκευών με σεισμική μόνωση κατά την διάρκεια βίαιων σεισμών, μπορεί να βοηθήσουν στην διστακτικότητα αυτής της καινοτόμου μεθόδου.

Άλλες καινοτόμες προσεγγίσεις μπορούν να αναγνωριστούν, όπως οι διατάξεις απόσβεσης παθητικού και ενεργητικού ελέγχου. Επίσης, είναι δυνατό η σεισμική μόνωση να συνδυαστεί με ένα σύγχρονο πλαίσιο ελέγχου, π.χ. για τα φορτία ανέμου, με σκοπό την κατεύθυνση του θέματος σε πολλαπλών φυσικών φορτιών.

Παρόλο που δεν μπορούμε να αποφύγουμε τους σεισμούς ή να τους προβλέψουμε με ακρίβεια, μπορούμε να προετοιμαστούμε ώστε να σωθούν ζωές και να μειωθούν οι ζημιές. Αντί να δυναμώνουν υπερβολικά μια κατασκευή για την αποφυγή της κατάρρευσης της από ένα δυνατό σεισμό, θα ήταν πιο σοφό να αποφύγουμε την υπερβολική δόνηση αυτής της κατασκευής με την σεισμική μόνωση.

9.3. Ατενίζοντας το Μέλλον

Οι επιστήμονες, αξιοποιώντας τις τελευταίες εξελίξεις στην έρευνα και στην τεχνολογία, προσπαθούν να βρουν τρόπους για να κατανοήσουν πλήρως το φαινόμενο του σεισμού κι έτσι να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις του. Παράλληλα τα κράτη και οι διεθνείς οργανισμοί εργάζονται για τη βελτίωση των διαδικασιών σε ό,τι αφορά την πρόληψη, τη διαχείριση της έκτακτης ανάγκης και την αποκατάσταση των περιοχών που έχουν πληγεί. Η συνεχής πρόοδος στην έρευνα και στην τεχνολογία έχει οδηγήσει σε εξελίξεις σε διάφορους τομείς που σχετίζονται με την αντισεισμική προστασία, όπως:

- δημιουργία προηγμένων υλικών τεχνικών για την ενίσχυση των κτιρίων,
- δημιουργία συστημάτων σεισμικής μόνωσης για κτίρια και γέφυρες,
- κατασκευή και χρήση νέων διασσωστικών συσκευών,
- ανάπτυξη εξελιγμένων συστημάτων επικοινωνιών και διαχείρισης κρίσεων,
- εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης.

Η τοποθέτηση σε τροχιά γύρω από τη Γη δορυφόρων έχει αλλάξει τη ζωή μας από πολλές απόψεις. Οι εικόνες του πλανήτη μας από το διάστημα έχουν γίνει ισχυρά επιστημονικά εργαλεία και συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση και τη βελτίωση της διαχείρισης του περιβάλλοντος.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 μια νέα τεχνική άρχισε να εφαρμόζεται με βάση εικόνες από δορυφόρους τύπου ραντάρ. Πρόκειται για την τεχνική της συμβολομετρίας, η οποία καθιστά εφικτή τη χαρτογράφηση της εδαφικής παραμόρφωσης, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από ένα σεισμικό γεγονός.

Η καταγραφή της παραμόρφωσης είναι χωρικά συνεχής για μια εκτεταμένη περιοχή. Μπορεί να καταγραφεί παραμόρφωση ακόμα και λίγων χιλιοστών. Κατά τη διάρκεια του διεθνούς συνεδρίου για τη μείωση των καταστροφών, που πραγματοποιήθηκε στο Κόμπε (Κοβέ) της Ιαπωνίας τον Ιανουάριο του 2005 υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, υιοθετήθηκε ένα πλαίσιο ενεργειών για τη δεκαετία 2005-2015 με το γενικό τίτλο: Ανάπτυξη της ικανότητας προσαρμογής των εθνών και των κοινοτήτων στις καταστροφές. Συμφωνά με αυτό τα κράτη, οι τοπικοί και οι διεθνείς οργανισμοί θα πρέπει να επικεντρωθούν στις ακόλουθες πέντε δράσεις:

- Να θέσουν ως εθνική και τοπική προτεραιότητα τη μείωση του κινδύνου των καταστροφών δημιουργώντας ένα ισχυρό θεσμικό πλαίσιο.
- Να εκτιμήσουν τους κινδύνους των καταστροφών και να βελτιώσουν τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης.
- Να χρησιμοποιήσουν τις γνώσεις και την εκπαίδευση, ώστε να αποκτηθεί η σχετική παιδεία σε όλα τα επίπεδα.
- Να μειώσουν τους παράγοντες κινδύνου.
- Να ενισχύσουν τα μέτρα ετοιμότητας για πιο αποτελεσματική ανταπόκριση σε όλα τα επίπεδα.

Σε αρκετά εργαστήρια ερευνητικών ιδρυμάτων σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούνται σεισμικοί προσομοιωτές για επιστημονικούς σκοπούς. Στόχος των εργαστηρίων αυτών είναι να διερευνήσουν πειραματικά την απόκριση κτιρίων υπό κλίμακα, στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος κ.ά., υιοθετώντας τις παραμέτρους πραγματικών ή υποθετικών σεισμών. Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά, για την υποστήριξη της εκπαιδευτικής διαδικασίας - η οποία, ως γνωστόν, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των επιπτώσεων ενός σεισμού - εκτός από τις κλασικές μεθόδους, χρησιμοποιούνται και σύγχρονες τεχνολογίες.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΠΘ, Επισκευή ζημιών από σεισμό σε κτίρια – Θεσσαλονίκη, 1978.
2. Δρίτσος Σ., Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2002.
3. Δρίτσος Σ. Η., Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα 2004.
4. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000, ΟΑΣΠ & ΣΠΜΕ.
5. Η Σεισμική Απομόνωση Βάσης ως Μέθοδος Προστασίας Ιστορικών Κτιρίων. Κ. Χ. Στυλιανίδης, Π. Πριντζης, Α. Σερταρίδης
6. Παπαζάχος Κ. Βασίλης, Εισαγωγή στη Σεισμολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 1997²,
7. Πενέλης – Κάππος, Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα, Θεσσαλονίκη, 1990, και στο Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου Πολιτικών Μηχανικών, 1992.
8. Πενέλης – Κάππος, Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα, Θεσσαλονίκη, 1990, και στο Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος 2000, ΟΑΣΠ & ΣΠΜΕ.
9. Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000).
10. Στυλιανίδης Κ. Χ., Π. Πρίντζης, Α. Σερταρίδης, Η Σεισμική Απομόνωση Βάσης ως Μέθοδος Προστασίας Ιστορικών Κτιρίων., σελ. 491-502
11. Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά, Πάτρα, 1999
12. ΥΠΕΧΩΔΕ, Τεχνικές επεμβάσεις έκτακτης ανάγκης μετά από καταστροφικό σεισμό – Άρση επικινδυνότητων, προσωρινές υποστυλώσεις – αντιστηρίξεις, Αθήνα, 2000.
13. Φαρδής Μ., Seismic retrofitting technics, παρ 5.5.1 – 5.5.2, Πάτρα.
14. Φυτρολάκης Ν., Γενική Γεωλογία, Ε.Μ.Π. Αθήνα 1990
15. Κατευθυντήριες Προδιαγραφές & Οδηγίες για Επισκευές Κτιρίων με Βλάβες από Σεισμό, Σεισμική Μόνωση, ΔΟΜΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ, 2002
16. Χρονόπουλος, “Επισκευές – Ενισχύσεις: Παραδείγματα διαστασιολόγησης”, ΤΕΕ, Αθήνα 1987.
18. «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», Σπυράκος Κωνσταντίνος Έκδοση ΤΕΕ 2004

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Petros Komodromos – Seismic Isolation for Earthquake-Resistant Structures
2. Design of structures with seismic isolation του Ronald L Mayes
3. «Base isolation of structures, design guidelines», Trevor E. Kelly S.E. , Holmes Consulting Group Ltd, 2001
4. Cairns, Load relief during structural repairs to reinforced concrete beams, Edinburgh, 1992.
5. Dheri S., Disaster management preparedness: A plan for action. Proceedings of the GIS Development Congress Map Asia. Bangkok Thailand 2002, available at www.gisdevelopment.net
6. Gulliver R.M., Summary of Recommendations for Development of Seismic Hazard Maps for Use in Planning and Policy Development, 1989, p.p.1-13, available <http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/urisa/ur94059.html>.
7. Gupta A., Information Technology and Natural Disaster Management in India. Proceedings of the GIS Development Congress Map Asia, Bangkok Thailand 2002, available at www.gisdevelopment.net
8. Leonard G. et al, GIS as a Tool for Seismological Data Processing Pure and Applied Geophysics, 2002.
9. Maria Oing Feng. J. Eng. Mechanics Application of Hybrid Sliding Isolation System to Buildings.. Vol.119, No 10, October 1993. pp 2090-2108.
10. Moehle J.P. and S.A. Mahin, Observations on the Behavior of Reinforced Concrete Buildings During Earthquakes, NISEE, University of California, Berkeley, 1991.
11. Mokha, M. C. Constantinou, A. M. Experimental Study of Friction – Pendulum Isolation System.
12. Mokha A., N. Amin, M , C. Constandinou, V. Zayas . «Seismic Retrofit of Large Historic Building». ASCE J. Str. Eng., Vol. 122, No 3, March 1996. pp 298-307.
13. Naaseh S., «Practical Solutions for Seismic Isolation, Lessons Learned». Proceedings of the 5th World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures. Rome Italy, 7-11 October 2001.

14. Nagarajaiah S., A. M. Reinhorn, M. C. Constantinou, «Torsional Coupling in Sliding Base – Isolation Structures», ASCE J. Str. Eng., Vol. 119, No. 1, January 1993.
15. Nagarajaiah S., A. M. Reinhorn, M. C. Constantinou, «Torsion in Base – Isolated Structures with Elastomeric Isolation Systems», ASCE J. Str. Eng., Vol. 119, No. 10, October 1993, p.p. 2932-2951.
16. Nagarajaiah S., S. Xiaohong, «Response of Base Isolated USC Hospital Building in Northeridge Earthquake», ASCE J. Str. Eng., Vol. 126, No 10, October 2000, p.p. 1177-1186.
17. Nagarajaiah S., X. Sun, «Base – Isolated FCC Building: Impact Response in Northeridge Earthquake», ASCE J. Str. Eng., Vol. 127, No 9, September 2001, p.p. 1063-1075.
18. Organization of American States, Disaster, Planning and Development: Managing Natural Hazards to Reduce Loss. Department of Regional Development and Environment p.p.80. 1990, available at <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea54e/begin.htm#Contents>.
19. Papanikolaou D.I. , in collaboration with: Dr. E.Lekkas, Dr. Ch. Sideris, Dr. I. Fountoulis, Dr. G.Danamos, Dr. Ch.Kranis, Dr. L.Loizios and at the contribution of: I.Antoniou, E.Vassilakis, S.Vasilopoulou, P.Nomikou, I.Papanikolaou, E.Skourtsos and K.Soukis, Geology and tectonics of Western Attica in relation to the 7-9-99 earthquake , Department of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, University of Athens.
20. Papanikolaou D.I. , in collaboration with: Dr. E.Lekkas, Dr. Ch. Sideris, Dr. I. Fountoulis, Dr. G.Danamos, Dr. Ch.Kranis, Dr. L.Loizios and at the contribution of: I.Antoniou, E.Vassilakis, S.Vasilopoulou, P.Nomikou, I.Papanikolaou, E.Skourtsos and K.Soukis, Geology and tectonics of Western Attica in relation to the 7-9-99 earthquake, Department of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, University of Athens.
21. Reinhorn, V. A. Zayas. ASCE J. Str. Eng., Vol. 117, No. 4, April 1991, p.p. 1201-1217.
22. «Seismic Assessment and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings FIB», Bulletin 24, state-of-art report, May 2003.

23. Shunsuke Sugano, Masaya Hirose and Takashi Kaminosono Essentials of Current Evaluation and Retro Fitting for Existing and Damaged Buildings in Japan.
24. Stavrakakis N. George, Some seismological aspects of the Athens earthquake of September 7, 1999
25. Triantafyllidis P. Study of the Seismic Waves Propagation in Heterogeneous Media to Estimate the Local Site Effects, 2002. PhD thesis Extended Abstract, in <http://lemnos.geo.auth.gr/>
26. Tselentis A. and Zahradnik J. «The Athens Earthquake of September 7», Bulletin of the Seismological Society of America, October 2000, Vol.90, No 5, pp. 1143-1160.
27. Building Seismic Safety Council. 2000. NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Washington D.C.
28. SEAOC. 1999. Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, 7th ed. Naeim, F. Kelly, J.M. 1999.
29. Design of Seismic Isolated structures: From Theory to Practice, John Willey & Sons Inc.
30. Earthquakes in orange County: Introduction to Structure Response during an Earthquake and Minimizing Structural Damage Using Seismic Base isolation, Eduardo Mosqueda
31. Taylor Devices, Inc- Fluid viscous Damping as an Alternative to Base isolation, Gregg Haskell, David Lee, California
32. Seismic Retrofit of Municipal Services Building, Draft Environmental Impact Report, City of Glendale, Planning Department, July 2005

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. www.seismomonosis.com
2. www.dis-inc.com
3. www.seismomonosis.com
4. www.domiki.gr
5. www.dis-inc.com
6. www.new-technologies.org
7. <http://new.csihellas.gr/>
8. <http://www.poweronline.com/storefronts/gerb.html>
9. www.wikipedia.com

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ

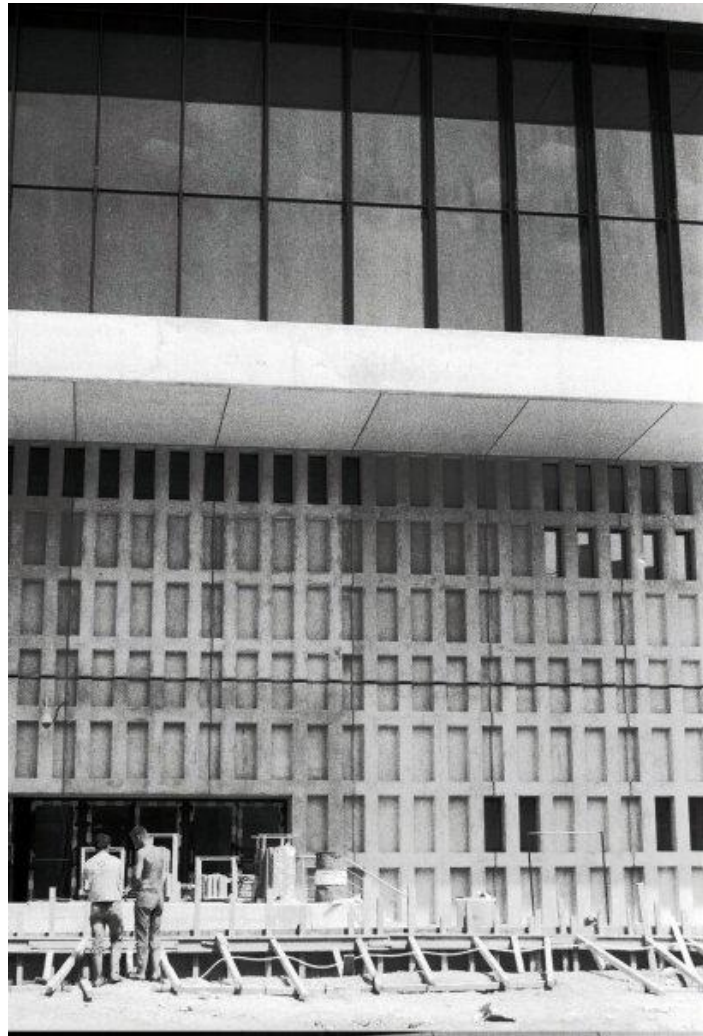
Bearing – Isolator : εφέδρανο
Damper : αποσβεστήρας
Configuration : διαμόρφωση
Critical: κρίσιμος/ οριακός
Decoupling : απόζευξη
Deformation: παραμόρφωση
Disruption: διακοπή
Coefficient: συντελεστής
Clearance: περιθώριο
Elastomeric: ελαστομερές
Energy dissipation mechanism: μηχανισμός απόσβεσης ενέργειας
Excitation : διέγερση
Feasible : εφικτός
Higher modes: υψηλές ιδιομορφές
Hysteretic: υστερητικό
Inertia: αδράνεια
Inherent damping properties : έμφυτες ιδιότητες απόσβεσης
Isolation level: στάθμη μόνωσης
Pier: πυλώνας
Response: απόκριση
Resonance: αντήχηση
Lateral: πλευρικός
Lead: μόλυβδος
Longitudinal: κατά μήκος
Mitigate: μετριάζω
Mounted: εδράζεται
Offset: αντισταθμίζω
Passive-Active-Hybrid Systems : Παθητικά-Ενεργητικά-Υβριδικά συστήματα
Prior to yielding : πριν από την διαρροή
Retrofit: αποκατάσταση
Resonance: αντήχηση
Seismic Gap: σεισμικό κενό
Shaking Table: σεισμική τράπεζα
Tangible assets: Περιουσιακά στοιχεία
Tension: εφελκυσμός
Torsional effects: στρεπτικές επιδράσεις/αποτελέσματα
Transverse: εγκάρσια
Viscous dampers: Ιξώδεις αποσβεστήρες

Νέο μουσείο Ακρόπολης









Γέφυρα Ρίου Αντιρρίου



