

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ**

**«ΣΥΝΤΑΞΗ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ»**

**ΤΕΥΧΟΣ Α΄
ΕΚΘΕΣΗ ΓΝΩΣΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ**

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: 1^η, ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

**ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΘΕΟΔΟΣΙΟΣ Π. ΤΑΣΙΟΣ
ΜΙΧΑΛΗΣ Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΟΛΙΑΣ
ΤΗΛΕΜΑΧΟΣ ΤΣΙΚΝΙΑΣ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΠΛΑΚΑΣ
ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΛΟΓΙΑΔΗΣ**

ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ: ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΚΑΖΕΤΑΣ

**ΕΠΙΣΤ. ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Σ. ΛΟΓΙΑΔΗΣ
Διευθ.: Ν. Παρίτη 40
Νέο Ψυχικό
15451 Αθήνα
Τηλ.: 210 67 77 115
210 67 28 657
Fax: 210 67 28 658**

**ΑΘΗΝΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2007**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Πρόλογος.....	
1.1 Πεδίο Εφαρμογής.....	3
1.2 Συμβατικός αντισεισμικός σχεδιασμός, πλαστιμότητα, Απαιτήσεις έναντι Ικανότητας	3
1.3 Επιλογή μεθοδολογίας αντισεισμικού σχεδιασμού σε συσχέτιση με την επιθυμητή επιτελεστικότητα της δυναμικής απόκρισης της κατασκευής (Performance-based design).....	6
1.3.1 Στάθμες επιτελεστικότητας.....	6
1.3.2 Καταλληλότητα της σεισμικής μόνωσης για την αντισεισμική προστασία των κατασκευών.....	8
1.4 Κατασκευές (Κτίρια & Γέφυρες) με Σεισμική Μόνωση.....	10
1.4.1 Κτίρια με σεισμική μόνωση.....	10
1.4.2 Γέφυρες με σεισμική μόνωση.....	13
1.5 Κατασκευές (Κτίρια & Γέφυρες) με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας.....	15
1.5.1 Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας.....	15
1.5.2 Γέφυρες με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας.....	16
1.6 Κτίρια με Σεισμική Μόνωση και με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στην Ελλάδα.....	18
1.7 Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση και με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στην Ελλάδα...	18
1.8 Στόχοι της Σεισμικής Μόνωσης και της Απόσβεσης Ενέργειας.....	19
1.9 Τρόπος Δράσης της Σεισμικής Μόνωσης και της Απόσβεσης Ενέργειας.....	21
1.9.1 Τρόπος Δράσης της Σεισμικής Μόνωσης.....	21
1.9.2 Τρόπος Δράσης της Παθητικής Απόσβεσης Ενέργειας.....	22
1.9.2.1 Αποσβεστήρες σε Κατασκευές χωρίς Σεισμική Μόνωση.....	22
1.9.2.2 Αποσβεστήρες ως Στοιχεία Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης.....	26
1.10 Ταξινόμηση των Συστημάτων Ελέγχου Σεισμικής Απόκρισης των Κατασκευών: Παθητικά, ενεργητικά, ημι-ενεργητικά, συστήματα σεισμικής μόνωσης, απόσβεσης ενέργειας, υβριδικά συστήματα, σχέσεις μεταξύ τους.....	29
1.10.1 Παθητικά Συστήματα ελέγχου σεισμικής απόκρισης.....	29
1.10.2 Ενεργητικά Συστήματα Ελέγχου Σεισμικής Απόκρισης.....	30
1.10.3 Ημι-ενεργητικά Συστήματα Ελέγχου Σεισμικής Απόκρισης.....	31
1.11 Ταξινόμηση εφεδράνων σεισμικής μόνωσης.....	33
1.11.1 Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα.....	33
1.11.2 Εφέδρανα Ολισθήσεως.....	35
1.12 Ταξινόμηση παθητικών συσκευών απόσβεσης ενέργειας.....	38
1.12.1 Αποσβεστήρες Εξαρτώμενοι από την Μετακίνηση.....	38
1.12.2 Αποσβεστήρες Εξαρτώμενοι από την Ταχύτητα Φόρτισης.....	40
1.12.3 Λοιποί Αποσβεστήρες.....	42
1.13 Σύμβολα και ορισμοί.....	43
2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	49
2.1 Γενικά.....	49
2.2 Φασματική Ανάλυση Πρώτης Ιδιομορφής.	50
2.2.1 Ανάλυση Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης.....	50
2.2.2 Ανάλυση Ανωδομής και Υποδομής.....	54
2.3 Φασματική Ανάλυση Περισσοτέρων Ιδιομορφών.....	54
2.4 Μη-γραμμική Δυναμική Ανάλυση (Χρονο-ιστορία)	55

3	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	56
3.1	Βασικές Απαιτήσεις.....	56
3.2	Γενικά Κριτήρια Συμμόρφωσης.....	56
3.2.1	Μεταβλητότητα Παραμέτρων Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης.....	56
3.2.2	Ανωδομή / Υποδομή.....	57
3.2.3	Ανάληψη Μη-σεισμικών Δυνάμεων.....	57
3.2.4	Δύναμη Επαναφοράς.....	57
3.2.5	Πυρασφάλεια.....	57
4	ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	58
4.1	Επίδραση του Περιβάλλοντος, Θερμοκρασίας και Γήρανσης και Μεταβλητότητα Ιδιοτήτων.....	58
4.1.1	Μεταβλητότητα Ιδιοτήτων.....	58
4.1.2	Γήρανση.....	58
4.1.3	Θερμοκρασία.....	61
4.1.4	Ιστορικό Φόρτισης.....	63
4.2	Συντελεστές Τροποποίησης Ιδιοτήτων Συστήματος (Συντελεστές λ)	64
4.3	Πυραντοχή Εφεδράνων Σεισμικής Μόνωσης.....	65
4.4	Ελάχιστη Δύναμη Επαναφοράς (Ελάχιστη Μεταλαστική Δυσκαμψία).....	66
4.5	Ασφάλεια έναντι Λυγισμού των Εφεδράνων Σεισμικής Μόνωσης.....	67
4.6	Ανασήκωση των Εφεδράνων Σεισμικής Μόνωσης.....	68
4.7	Στρέψη Εφεδράνων Σεισμικής Μόνωσης.....	72
4.8	Πίνακες & Σχήματα.....	72
5	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	81
6	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	83
6.1	Δοκιμές Πρωτοτύπων.....	84
6.1.1	Καταγραφή.....	85
6.1.2	Ακολουθία και Κύκλοι Φόρτισης.....	85
6.1.3	Μονάδες Εξαρτώμενες από την Ταχύτητα Φόρτισης.....	86
6.1.4	Μονάδες Εξαρτώμενες από Εναλασσόμενες Φορτίσεις.....	87
6.1.5	Μέγιστη και Ελάχιστη Κατακόρυφη Φόρτιση.....	87
6.1.6	Συστήματα Ελέγχου Ανεμοπίεσης.....	87
6.1.7	Δοκιμές Μονάδων Παρομοίων Ιδιοτήτων.....	87
6.2	Προσδιορισμός της Σχέσης «Δύναμη-Μετακίνηση» του Συστήματος Μόνωσης.....	87
6.3	Κριτήρια Στάθμης Επιτελεστικότητας των Δοκιμών.....	88
6.4	Ιδιότητες Σχεδιασμού του Συστήματος Μόνωσης.....	89
6.4.1	Μέγιστη και Ελάχιστη Ενεργός Δυσκαμψία.....	89
6.4.2	Ενεργός Απόσβεση.....	90
6.5	Δοκιμές Ελέγχου Ποιότητας Κατασκευής των Μονωτήρων.....	90
7	ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ.....	91
7.1	Γενικά.....	91
7.1.1	Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα Χαμηλής Απόσβεσης.....	91

7.1.2	Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα με Πυρήνα Μολύβδου.....	91
7.1.3	Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα Υψηλής Απόσβεσης.....	92
7.2	Κριτήρια-Μεθοδολογία Σχεδιασμού.....	93
7.3	Συνδυασμοί Δράσεων.....	94
7.4	Προδιαγραφές – Υλικά Κατασκευής Ελαστομεταλλικών Εφεδράνων.....	94
7.4.1	Δοκιμές Προτύπων.....	94
7.4.2	Δοκιμές Ελέγχου Ποιότητας.....	96
7.4.3	Κριτήρια Αποδοχής.....	97
8	ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ.....	98
8.1	Εισαγωγή.....	98
8.2	Σχεδιασμός Εφεδράνων Ολίσθησης.....	99
8.3	Χαρακτηριστικά Τριβής Εφεδράνων Ολίσθησης.....	102
8.4	Δοκιμές Εφεδράνων Ολίσθησης Σεισμικής Μόνωσης.....	104
9.	ΕΛΑΣΤΟΠΛΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ.....	113
9.1	Γενικά.....	113
9.2	Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ελαστοπλαστικής Συμπεριφοράς.....	116
9.3	Έλεγχοι Πρωτοτύπων και Έλεγχοι Διασφάλισης Ποιότητας.....	117
10	ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	119
10.1	Γενικά.....	119
10.2	Προσομοίωση Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας.....	119
10.2.1	Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Εξαρτώμενες από την Μετατόπιση.....	120
10.2.2	Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Εξαρτώμενες από την Ταχύτητα.....	121
10.2.2.1	Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Ιξοελαστικών Στερεών.....	121
10.2.2.2	Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Ιξοελαστικών Ρευστών.....	122
10.2.2.3	Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Ιξώδων Ρευστών.....	123
10.2.3	Άλλοι Τύποι Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας.....	123
10.3	Απαιτήσεις για Συστήματα Απόσβεσης Ενέργειας.....	124
10.4	Κριτήρια-Μεθοδολογία Σχεδιασμού.....	125
10.5	Δοκιμές Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας.....	126
10.5.1	Γενικά.....	126
10.5.2	Δοκιμές Πρωτοτύπων.....	127
10.5.3	Προσδιορισμός των Χαρακτηριστικών της Σχέσης Δύναμης-Μετατόπισης... ..	129
10.5.4	Κριτήρια Αποδοχής, Επάρκεια Συστήματος.....	130
11	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ.....	132
12	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
	Παράρτημα 1 Κτίρια με σεισμική μόνωση (Πίνακες)	Π-1
	Παράρτημα 2 Γέφυρες με σεισμική μόνωση (Πίνακες)	Π-12
	Παράρτημα 3 Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας (Πίνακες)	Π-35
	Παράρτημα 4 Γέφυρες με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας (Πίνακες)	Π-48

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόλογος

Η σεισμική μόνωση είναι μια εναλλακτική τεχνολογία αντισεισμικής άμυνας των κατασκευών, η οποία σκοπεύει στην ελαχιστοποίηση ή αποφυγή ζημιών σε κτίρια, γέφυρες και βιομηχανικές εγκαταστάσεις εξαιτίας σεισμικής καταπόνησης. Η εφαρμογή συστημάτων σεισμικής μόνωσης (ελαστομεταλλικά εφέδρανα, εφέδρανα ολίσθησης, παθητικοί αποσβεστήρες ενέργειας και υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν τα ανωτέρω) σε κτίρια και γέφυρες, έχει γίνει ευρέως αποδεκτή σε αρκετές σεισμογενείς χώρες, όπως στην Ιαπωνία, ΗΠΑ, Ιταλία και Νέα Ζηλανδία. Στις χώρες αυτές, η τεχνολογία της σεισμικής μόνωσης αναπτύσσεται ραγδαία, και έχει να επιδείξει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών και έναν σημαντικό όγκο εργαστηριακών-πειραματικών και θεωρητικών δεδομένων. Στα ανωτέρω προστίθενται οι ενθαρρυντικές παρατηρήσεις σε σεισμικά μονωμένες κατασκευές, τόσο όσον αφορά την συμπεριφορά και την αξιοπιστία λειτουργίας των συστημάτων σεισμικής μόνωσης, όσο και τη δυναμική απόκριση των ίδιων των κατασκευών υπό ισχυρή σεισμική φόρτιση.

Ιδιαίτερα στην Ιαπωνία και ΗΠΑ παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σημαντική αύξηση των εφαρμογών της σεισμικής μόνωσης. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, σε άλλες σεισμογενείς χώρες, μεταξύ αυτών και στην Ελλάδα, η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης βρίσκεται ακόμα στα αρχικά στάδια αποδοχής και εφαρμογής. Μεταξύ άλλων, βασικοί λόγοι αυτής της διαφοροποίησης είναι:

1. Οι συνέπειες των σεισμών του 1994 στην περιοχή Northridge των ΗΠΑ, και 1995 στην περιοχή Kobe της Ιαπωνίας. (Σημειώνεται η ευρύτατη χρήση συστημάτων σεισμικής μόνωσης στην αποκατάσταση και αναβάθμιση του Kobe και του Northridge),
2. Ο σημαντικός όγκος έρευνας που έγινε στις χώρες αυτές, πριν και μετά από τους προαναφερθέντες σεισμούς, σχετικά με τις νέες τεχνολογίες αντισεισμικής άμυνας οι οποίες αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση των επιδράσεων των σεισμών στις κατασκευές.
3. Η ανάπτυξη στις χώρες αυτές οδηγιών, προδιαγραφών, και κανονισμών για την ανάλυση και σχεδιασμό σεισμικώς μονωμένων κατασκευών (οι οποίες

προδιαγραφές έχοντας ξεκινήσει από προσχέδια στην δεκαετία το '80 έχουν σήμερα εξελιχθεί σε κεφάλαια κανονισμών) .

Ωστόσο δύο τέτοια σημαντικά έργα, η νέα δίδυμη Γέφυρα του Ισθμού της Κορίνθου και οι δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα, έχουν εξοπλισθεί με εφέδρανα σεισμικής μόνωσης (ελαστομεταλλικά εφέδρανα, εφέδρανα ολίσθησης, παθητικοί αποσβεστήρες ενέργειας και υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν τα ανωτέρω).

Για την εφαρμογή και αποδοχή της τεχνολογίας αυτής και στην Ελλάδα, θα συνέβαλε αποφασιστικά μεταξύ άλλων η ανάπτυξη ενός Ελληνικού Κανονισμού Σεισμικής Μόνωσης των Κατασκευών.

Στόχος του προτεινόμενου προγράμματος είναι η σύνταξη ενός Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κατασκευών (κτιρίων και γεφυρών) με Σεισμική Μόνωση **προσαρμοσμένου στα Ελληνικά δεδομένα.**

Τονίζεται ότι το Προσχέδιο Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κατασκευών με Σεισμική Μόνωση θα αντιμετωπίζει όλες τις κατηγορίες συστημάτων σεισμικής μόνωσης:

- ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης ενέργειας
- εφέδρανα ολίσθησης
- παθητικοί αποσβεστήρες ενέργειας
- υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν τα ανωτέρω

Το Προσχέδιο αυτό θα μπορούσε μετά από κάποια περίοδο παρατηρήσεων, ενστάσεων και τροποποιήσεων, να αποτελέσει **την πλατφόρμα** πάνω στην οποία θα αναπτυχθεί ο Ελληνικός Κανονισμός Σεισμικής Μόνωσης των Κατασκευών.

1.1 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Τα κριτήρια και οι κανόνες σχεδιασμού του Προσχεδίου Οδηγιών αφορούν τον σχεδιασμό νέων δομημάτων –κτιρίων και γεφυρών- με πλήρη ή μερική σεισμική μόνωση στο οριζόντιο επίπεδο. Δεν γίνεται αναφορά στην σεισμική μόνωση στην κατακόρυφο κατεύθυνση.

Τα κριτήρια και οι κανόνες σχεδιασμού του Προσχεδίου δεν καλύπτουν την σεισμική μόνωση έργων υψηλού κινδύνου για τον πληθυσμό, όπως πυρηνικοί αντιδραστήρες και δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, ούτε και την σεισμική μόνωση μηχανημάτων ή τεχνουργημάτων κλπ. Επιπρόσθετα, δεν καλύπτεται η αποκατάσταση / ενίσχυση της αντισεισμικής προστασίας υφισταμένων δομημάτων με την χρήση της σεισμικής μόνωσης.

Τέλος, τα κριτήρια και οι κανόνες σχεδιασμού του Προσχεδίου έχουν γενικότερη εφαρμογή, και ισχύουν ανεξάρτητα από το είδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Κανένα σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν κρίνεται εν γένει αποδεκτό ή μη αποδεκτό. Ωστόσο, κάθε σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να διαθέτει ορισμένες βασικές ιδιότητες οι οποίες αναφέρονται στο κεφάλαιο 1.9.1 (Τρόπος Δράσης της Σεισμικής Μόνωσης, σελ. 75).

1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ, ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΑΝΤΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Η εξέλιξη της προσέγγισης του προβλήματος του αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών βασίζεται στην ικανοποίηση της θεμελιώδους ανίσωσης ασφαλείας, ότι η αντοχή του φορέα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της σεισμικής δράσης σχεδιασμού, δηλαδή της σεισμικής απαίτησης.

Οι αδρανειακές δυνάμεις της κατασκευής λόγω σεισμικής δράσης εξαρτώνται μεταξύ άλλων από την μάζα της κατασκευής, την αντοχή του φορέα και από την εδαφική επιτάχυνση. Όσο αυξάνεται η εδαφική επιτάχυνση πρέπει να αυξηθεί και η αντοχή του φορέα ώστε να αποφευχθούν βλάβες σ' αυτόν.

Στο πλαίσιο του συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού, κυρίως για λόγους οικονομίας των κατασκευών, δεν κρίθηκε σκόπιμο να αυξάνεται η αντοχή του φορέα όσο αυξάνεται η ένταση του σεισμού.

Οι σύγχρονοι συμβατικοί αντισεισμικοί κανονισμοί επιτρέπουν την χρήση της πλαστιμότητας του φορέα ώστε να επιτευχθεί με οικονομικό τρόπο, τόσο το επιθυμητό επίπεδο αντοχής του φέροντα οργανισμού όσο και η εξασφάλιση ελάχιστης στάθμης λειτουργικότητας της κατασκευής σε έναν ισχυρό σεισμό (επιθυμητό επίπεδο ασφάλειας έναντι καταρρεύσεως). Αυτό σημαίνει ότι η κατασκευή μελετάται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να υποστεί μετελαστικές παραμορφώσεις οι οποίες έχουν πλάσιμη μορφή (πλαστικές αρθρώσεις, ζώνες) χωρίς να χάσει μεγάλο ποσοστό της αντοχής της. Αυτή είναι η βασική αρχή σχεδιασμού που επιδιώκουν να ικανοποιήσουν όλοι οι σύγχρονοι συμβατικοί αντισεισμικοί κανονισμοί: διασφάλιση ικανοποιητικής αντοχής με επαρκή γι' αυτήν πλαστιμότητα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι κανονισμοί ορίζουν ως οριζόντια σεισμικά φορτία σχεδιασμού της κατασκευής, φορτία τα οποία είναι πολύ μικρότερα -κατά 2 έως 4 φορές ανάλογα με τη στάθμη πλαστιμότητας της κατασκευής- από εκείνα για τα οποία θα έπρεπε να σχεδιασθεί η κατασκευή υπό ελαστικές συνθήκες απόκρισης.

Κατ' αυτή την έννοια, ο συμβατικός αντισεισμικός σχεδιασμός (ο οποίος βασίζεται στον συνδυασμό διασφάλιση επαρκούς αντοχής / πλαστιμότητας) έχει ως αποτέλεσμα ότι ο μελετητής καλείται να επιλέξει μεταξύ δύο μεθοδεύσεων:

- 1) Αύξηση της αντοχής του φορέα με στόχο την αποτροπή της μετελαστικής απόκρισής του. Αυτό συνεπάγεται υψηλές επιταχύνσεις στο έργο κι έχει υψηλό κόστος κατασκευής.
- 2) Περιορισμός της ελαστικής αντοχής του φορέα, διασφάλιση πλάστιμης μετελαστικής απόκρισης της κατασκευής, και εξασφάλιση αποφυγής ψαθυρών μορφών αστοχίας. Η προσέγγιση αυτή συνεπάγεται χαμηλότερες επιταχύνσεις στο έργο σε σχέση με την προηγούμενη μεθόδευση, αλλά αποδέχεται την γένεση βλαβών στον φορέα, οι οποίες ενδέχεται να μην είναι επιδιορθώσιμες.

Η σεισμική μόνωση κάνει χρήση της αντίθετης προσέγγισης: Στόχος της σεισμικής μόνωσης είναι η κατά κύριο λόγο ελαστική απόκριση της κατασκευής, μέσω ελάττωσης της σεισμικής απαίτησης αντί της αύξησης της αντοχής του φορέα.

Η προσέγγιση αυτή συνεπάγεται χαμηλές επιταχύνσεις στην κατασκευή, περιορισμό της απαίτησης πλαστιμότητας του φορέα, ελάττωση των παραμορφώσεών του, και κατ' αυτήν την έννοια γίνεται εφικτός ο σχεδιασμός του έργου με την παραδοχή κυρίως ελαστικής συμπεριφοράς.

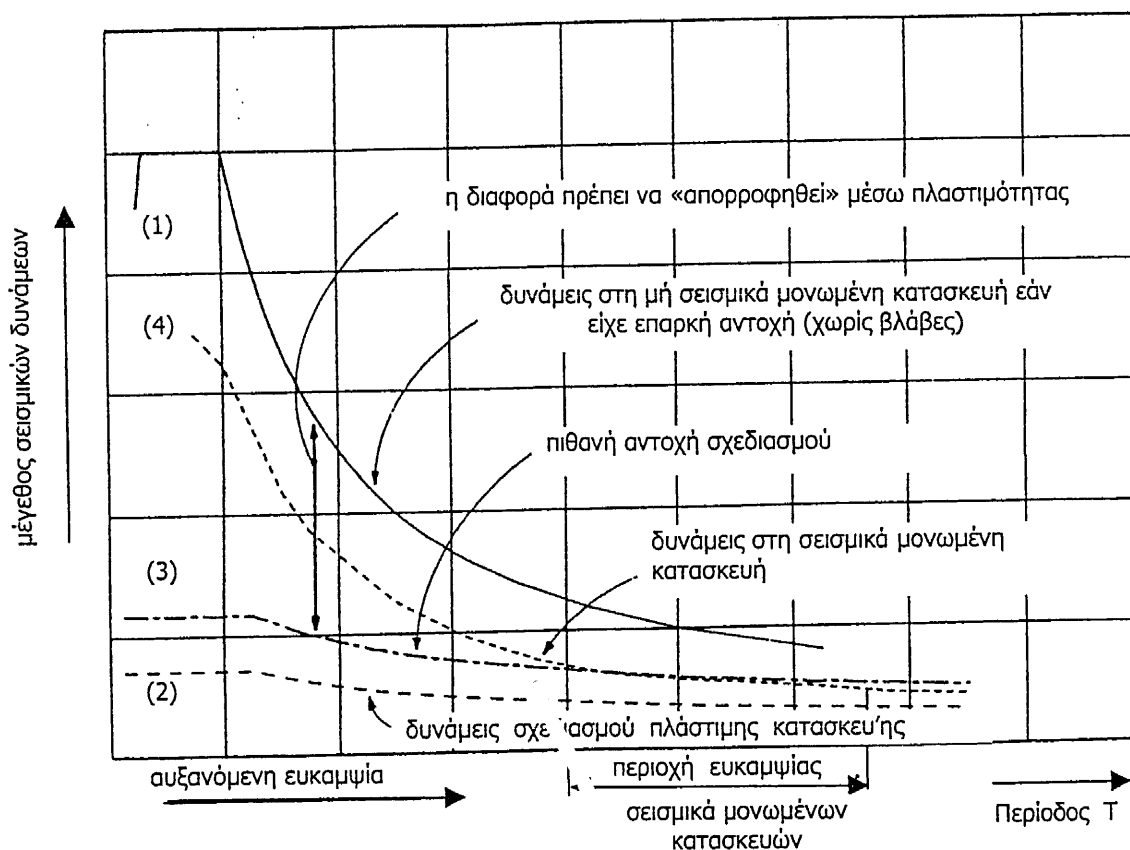
Ο πίνακας 1 δίδει μια συνοπτική συσχέτιση της μεθοδολογίας του συμβατικού αντισεισμικού σχεδιασμού και του σχεδιασμού με σεισμική μόνωση, συγκρίνοντας την σεισμική απαίτηση και την απαίτηση για πλάστιμη συμπεριφορά κάθε μεθοδολογίας.

Στο σχήμα 1 απεικονίζεται: α) η σεισμική απαίτηση σχεδιασμού της κατασκευής για ελαστική απόκριση (ελαστικό φάσμα σχεδιασμού: φάσμα 1), β) η σεισμική δράση σχεδιασμού με την παραδοχή κάποιου δείκτη συμπεριφοράς της κατασκευής «q» (φάσμα σχεδιασμού με παραδοχή πλάστιμης συμπεριφοράς: φάσμα 2), γ) η πιθανή πραγματική αντοχή της κατασκευής για την περίπτωση της πλάστιμης μετελαστικής απόκρισης (φάσμα 3), και δ) η σεισμική δράση σχεδιασμού για την περίπτωση της εφαρμογής σεισμικής μόνωσης στο έργο (φάσμα 4).

Πίνακας 1

	Σεισμική απαίτηση (seismic demand)	Απαίτηση Πλαστιμότητας (ductility demand)	Αντοχή του φέροντα οργανισμού (structural capacity)
Συμβατικός αντισεισμικός σχεδιασμός	Υψηλή	Υψηλή	Καθορισμός της αντοχής του φορέα με κριτήρια την ασφάλεια και την οικονομία του έργου.
Σεισμική μόνωση	Χαμηλή	Χαμηλή	

Σχήμα 1



1.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ (PERFORMANCE BASED DESIGN)

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός έργων σε συσχέτιση με τη στάθμη επιτελεστικότητας της σεισμικής απόκρισής τους είναι μια νέα προσέγγιση του προβλήματος της αντισεισμικής προστασίας των κατασκευών. Αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ κατά την δεκαετία 1990-2000, κυρίως υπό την εποπτεία της FEMA (Federal Emergency Management Agency) και διατυπώθηκε σε κείμενα μετά το 1995 (FEMA 273, FEMA 274). Τα κείμενα αυτά παρουσιάστηκαν με τη μορφή προσχεδίου Κανονισμού τον Νοέμβριο 2000 (FEMA 356), ο οποίος μετετράπη σε Κανονισμό από την ASCE.

Κεντρική ιδέα της προσέγγισης του αντισεισμικού σχεδιασμού έργων σε συσχέτιση με τη στάθμη επιτελεστικότητας της σεισμικής απόκρισής τους, είναι ότι παρέχεται στον κύριο του έργου η δυνατότητα να προεπιλέξει λεπτομερώς -και να προδιαγράψει-, για ένα δεδομένο επίπεδο σεισμικής φόρτισης, τον τρόπο της απόκρισης του έργου του, δηλαδή του παρέχεται η δυνατότητα να προδιαγράψει το ανεκτό για εκείνον επίπεδο βλαβών (στάθμη επιτελεστικότητας) της κατασκευής για την δεδομένη σεισμική φόρτιση.

Στα προαναφερόμενα κείμενα της FEMA περιγράφονται λεπτομερώς οι στάθμες επιτελεστικότητας, τόσο για τα φέροντα όσο και για τα μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής, και καθορίζονται και μεγέθη σεισμικής φόρτισης. Για την επίτευξη κάθε στάθμης επιτελεστικότητας ορίζονται διαδικασίες ανάλυσης και στόχοι σχεδιασμού, προτείνονται μεθοδολογίες (στρατηγικές) αντισεισμικού σχεδιασμού ανάλογα με την καταλληλότητά τους, και παρέχονται τα αντίστοιχα κριτήρια αποδοχής.

1.3.1 Στάθμες επιτελεστικότητας

Ορίζονται χωριστές στάθμες επιτελεστικότητας για τα φέροντα και για τα μη φέροντα στοιχεία, και από τον συνδυασμό τους προκύπτουν οι στάθμες επιτελεστικότητας της απόκρισης της συνολικής κατασκευής.

Φέροντα στοιχεία

Για τα φέροντα στοιχεία ορίζονται τρεις διακριτές στάθμες επιτελεστικότητας (S-1, S-3 S-5) και δύο περιοχές επιτελεστικότητας (S-2 και S-4) μεταξύ των τριών προαναφερομένων διακριτών σταθμών. Το γράμμα «S» υποδηλώνει ότι γίνεται αναφορά σε φέροντα στοιχεία -Structural member-, και τα ψηφία 1-5 υποδηλώνουν

τον βαθμό επιτελεστικότητας, όπου ο υψηλότερος βαθμός (ελαχιστοποίηση βλαβών) χαρακτηρίζεται με τον αριθμό 1, και ο χαμηλότερος με τον αριθμό 5.

Οι στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται ως εξής:

S-1: Άμεση λειτουργία (Immediate Occupancy, IO)

S-3: Προστασία ζωής (Life Safety, LS)

S-5: Αποφυγή κατάρρευσης (Collapse prevention, CP)

Οι περιοχές επιτελεστικότητας ορίζονται ως εξής:

S-2: Ελεγχόμενες βλάβες (Damage Control, DC)

S-4: Περιορισμένη ασφάλεια (Limited Safety, LS)

Μη Φέροντα στοιχεία

Για τα μη φέροντα στοιχεία ορίζονται πέντε διακριτές στάθμες επιτελεστικότητας:

N-A: Λειτουργικότητα (Operational)

N-B: Άμεση λειτουργία (Immediate Occupancy)

N-C: Προστασία ζωής (Life Safety)

N-D: Πρόληψη κινδύνων (Hazards Reduction)

N-E: Αδιάφορη (Not Considered)

Το γράμμα «N» υποδηλώνει ότι γίνεται αναφορά σε μη φέροντα στοιχεία -Non-Structural member-, και οι χαρακτήρες «A-E» υποδηλώνουν τον βαθμό επιτελεστικότητας, όπου ο υψηλότερος βαθμός (ελαχιστοποίηση βλαβών) χαρακτηρίζεται με τον χαρακτήρα «A», και ο χαμηλότερος με τον χαρακτήρα «E».

Οι οριακές καταστάσεις βλαβών των παραπάνω σταθμών επιτελεστικότητας περιγράφονται λεπτομερώς.

Συνολική κατασκευή

Οι στάθμες επιτελεστικότητας της συνολικής κατασκευής προκύπτουν από συνδυασμό των σταθμών επιτελεστικότητας των φερόντων και μη φερόντων στοιχείων και δίδονται αλφαριθμητικά στον Πίνακα 1 (Πίνακας C1-8, FEMA 356).

Ο πρώτος χαρακτήρας της αλφαριθμητικής παράστασης αναφέρεται στη στάθμη επιτελεστικότητας των φερόντων στοιχείων, και ο δεύτερος στη στάθμη επιτελεστικότητας των μη φερόντων στοιχείων.

Επιγραμματικά οι στάθμες επιτελεστικότητας είναι οι εξής:

1-A: Λειτουργικότητα

1-B: Άμεση λειτουργία

3-C: Προστασία ζωής

5-E: Αποφυγή κατάρρευσης

Για περισσότερες λεπτομέρειες αναφορικά με τον σχεδιασμό σε συσχέτιση με την επιτελεσματικότητα, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στα κείμενα της FEMA 273, 274, 356.

Πίνακας 1 (Πίνακας C1-8, FEMA 356*)

Στάθμες & περιοχές επιτελεσματικότητας της συνολικής κατασκευής					
Στάθμες επιτελεσματικότητας των μη φερόντων στοιχείων	Στάθμες & περιοχές επιτελεσματικότητας των φερόντων στοιχείων				
	(IO) Immediate Occupancy Άμεση Λειτουργία S-1	S-2	(LS) Life Safety Προστασία Ζωής S-3	S-4	(CP) Collapse Prevention Αποφυγή Κατάρρευσης S-5
N-A (OP) Operational Λειτουργικότητα	1-A Operational Λειτουργικότητα	2-A	Δεν συνιστάται	Δεν συνιστάται	Δεν συνιστάται
N-B (IO) Immediate Occupancy Άμεση Λειτουργία	1-B Immediate Occupancy Άμεση Λειτουργία	2-B	3-B	Δεν συνιστάται	Δεν συνιστάται
N-C (LS) Life Safety Προστασία Ζωής	1-C	2-C	3-C Life Safety Προστασία Ζωής	4-C	5-C
N-D (CP) Collapse Prevention Αποφυγή κατάρρευσης	Δεν συνιστάται	2-D	3-D	4-D	5-D
N-E	Δεν συνιστάται	Δεν συνιστάται	Δεν συνιστάται	4-E	5-E Collapse Prevention Αποφυγή Κατάρρευσης

* Στον Πίνακα 1 δεν αναφέρεται η τελευταία στήλη του Πίνακα C1-8, FEMA 356

Από τους συνδυασμούς του Πίνακα 1 περισσότερο πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συνδυασμοί οι οποίοι αναφέρονται με έντονους χαρακτήρες (κίτρινο φόντο).

1.3.2 Εφαρμοσιμότητα/καταλληλότητα της σεισμικής μόνωσης για την αντισεισμική προστασία των κατασκευών

Συμβατικές -χωρίς σεισμική μόνωση- κατασκευές οι οποίες μελετώνται σύμφωνα με τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, γενικά σχεδιάζονται ώστε να ικανοποιούνται οι ακόλουθες στάθμες επιτελεσματικότητας ως προς την σεισμική απόκρισή τους:

Για ασθενείς σεισμούς (πιθανότητα υπέρβασης 50% σε 50 χρόνια) η κατασκευή θα πρέπει να παραμείνει αρηγμάτωση (ελαστική απόκριση).

Για μεσαίας έντασης σεισμούς -σεισμός σχεδιασμού-, (πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια) γίνονται αποδεκτές βλάβες στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, οι οποίες όμως -κατά την έννοια του κανονισμού- είναι ελεγχόμενες και επισκευάσιμες, ενώ γίνονται αποδεκτές μεγαλύτερες βλάβες στα μη φέροντα στοιχεία του έργου.

Για ισχυρούς σεισμούς (π.χ. πιθανότητα υπέρβασης 2% σε 50 χρόνια) γίνονται αποδεκτές σοβαρές βλάβες τόσο στα φέροντα στοιχεία όσο και στα μη φέροντα στοιχεία του έργου, ενώ η απομένουσα αντοχή και υπερστατικότητα του φορέα επαρκούν ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση (ΕΑΚ 2000).

Κατασκευές με σεισμική μόνωση γενικά μελετώνται ώστε να ικανοποιούνται οι ακόλουθες στάθμες επιτελεσματικότητας ως προς την σεισμική απόκρισή τους:

Για ασθενείς και μεσαίας έντασης σεισμούς (πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια) η κατασκευή θα πρέπει να συμπεριφερθεί κατά κύριο λόγο ελαστικά, χωρίς βλάβες στα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία του έργου και χωρίς βλάβες στο περιεχόμενο ή τα προσαρτήματά του.

Για ισχυρούς σεισμούς (πιθανότητα υπέρβασης 2% σε 50 χρόνια), το σύστημα μόνωσης πρέπει να παραμείνει λειτουργικό, τα φέροντα στοιχεία του έργου να μην παρουσιάσουν σοβαρή αστοχία, οι βλάβες των μη φερόντων στοιχείων του έργου να είναι περιορισμένης έκτασης και η χρήση / λειτουργία του έργου να μην διαταραχθεί σε σημαντικό βαθμό (FEMA 274).

Από τα παραπάνω είναι καταφανές ότι οι στάθμες επιτελεσματικότητας σχεδιασμού της σεισμικής απόκρισης κατασκευών με σεισμική μόνωση είναι υψηλότερες από τις στάθμες επιτελεσματικότητας των συμβατικών -χωρίς σεισμική μόνωση- κατασκευών για μεσαίας ή υψηλής έντασης σεισμούς.

Σύγκριση της αναμενόμενης στάθμης επιτελεσματικότητας της σεισμικής απόκρισης για συμβατικές κατασκευές και κατασκευές με σεισμική μόνωση δίδεται στον Πίνακα 2.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 2 προκύπτει ότι η σεισμική μόνωση ενδείκνυται για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο κύριος του έργου απαιτεί υψηλό επίπεδο επιτελεσματικότητας της σεισμικής απόκρισης του έργου (1-A, 1-B).

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται μια απλουστευμένη καθοδήγηση σχετικά με τις στάθμες επιτελεσματικότητας για τις οποία η μέθοδος της σεισμικής μόνωσης και της απόσβεσης ενέργειας προτείνεται ως προτιμώμενη μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού ενός έργου.

Πίνακας 2 (Πίνακας C9-2, FEMA 274 ⁴)

Μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού σε σχέση με τη στάθμη επιτελεστικότητας			
Στάθμη επιτελεστικότητας	Ένταση σεισμού		
	Μικρή	Μεσαία	Υψηλή
Προστασία ζωής ¹ 3-B, 3-C, 3-D ⁴	Σ* / ΣΜ**	Σ / ΣΜ	Σ / ΣΜ
Αποφυγή σημαντικών βλαβών στα φέροντα στοιχεία ² 1-C, 2-A, 2-B, 2-C ⁴	Σ / ΣΜ	Σ / ΣΜ	ΣΜ
Αποφυγή σημαντικών βλαβών στα μη φέροντα στοιχεία και περιεχόμενο ³ 1-A, 1-B ⁴	Σ / ΣΜ	ΣΜ	ΣΜ

* Σ: Συμβατική κατασκευή (χωρίς σεισμική μόνωση)

** ΣΜ: Σεισμική Μόνωση

¹: Προστασία της ζωής (αποφυγή κατάρρευσης) είναι αναμενόμενη για συμβατικές κατασκευές (Σ) και κατασκευές με σεισμική μόνωση (ΣΜ)

²: Αποφυγή σημαντικών βλαβών στα φέροντα στοιχεία είναι αναμενόμενη για συμβατικές κατασκευές (Σ) και κατασκευές με σεισμική μόνωση (ΣΜ)

³: Αποφυγή σημαντικών βλαβών στα μη φέροντα στοιχεία και περιεχόμενο είναι αναμενόμενη για συμβατικές κατασκευές (Σ) και κατασκευές με σεισμική μόνωση (ΣΜ)

⁴: Προσεγγιστική αναφορά στις στάθμες & περιοχές επιτελεστικότητας της συνολικής κατασκευής

Πίνακας 3 (Πίνακας C9-1, FEMA 356)

Εφαρμοσιμότητα / καταλληλότητα της σεισμικής μόνωσης και απόσβεσης ενέργειας σε σχέση με τη στάθμη επιτελεστικότητας			
Στάθμη επιτελεστικότητας	Περιοχή επιτελεστικότητας	Σεισμική Μόνωση	Απόσβεση Ενέργειας
Λειτουργικότητα 1-A (Operational)	Ελεγχόμενες βλάβες (Damage Control)	Πολύ πιθανή	Περιορισμένη
Άμεση λειτουργία 1-B (Immediate Occupancy)		Πιθανή	Πιθανή
Προστασία ζωής 3-C (Life Safety)	Περιορισμένη ασφάλεια (Limited Safety)	Περιορισμένη	Πιθανή
Αποφυγή κατάρρευσης 5-E (Collapse Prevention)		Μη πρακτική	Περιορισμένη

1.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΚΤΙΡΙΑ & ΓΕΦΥΡΕΣ) ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

Στο σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί το γεγονός ότι για τις αναφορές στις εφαρμογές της σεισμικής μόνωσης και συσκευών απόσβεσης ενέργειας σε κτίρια και γέφυρες έγινε προσπάθεια ώστε να συμπεριληφθούν το δυνατόν περισσότερα στοιχεία. Μολαταύτα οι αναφορές αυτές δεν είναι πλήρεις, καθώς νέες εφαρμογές των τεχνολογιών προσθέτονται καθημερινώς στις υπάρχουσες. Οι εφαρμογές της σεισμικής μόνωσης και συσκευών απόσβεσης ενέργειας σε κτίρια και γέφυρες παραθέτονται αναλυτικά στους πίνακες των Παραρτημάτων 1 έως 4. Επίσης στις αναφορές αυτές δεν έχουν συμπεριληφθεί κατασκευές με σεισμική μόνωση ή με συσκευές απόσβεσης ενέργειας οι οποίες βρίσκονται στην φάση της μελέτης.

1.4.1. Κτίρια με σεισμική μόνωση

ΗΠΑ (Πίνακας 1, Παράρτημα 1)

Στις ΗΠΑ παρατηρείται σημαντική πρόοδος στον τομέα της σεισμικής μόνωσης νέων και υφισταμένων κτιρίων. Συνολικά 63 κτίρια με σεισμική μόνωση έχουν κατασκευαστεί ή είναι υπό κατασκευή, εκ των οποίων 23 είναι υφιστάμενα και 38 είναι νέα, ενώ για δύο από αυτά δεν βρέθηκαν στοιχεία σχετικά με το αν ήταν νέα ή υφιστάμενα. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, και όπi αφορά την εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης για την αντισεισμική προστασία υφισταμένων κτιρίων, την πρώτη θέση παγκοσμίως κατέχουν οι ΗΠΑ. Από τις 63 αυτές κατασκευές, 8 είναι κατοικίες/ διαμερίσματα, 16 δημόσια κτίρια, 8 νοσοκομεία, 18 κτίρια γραφείων, 1 ξενοδοχείο, 1 εργοστάσιο, 7 ερευνητικά κέντρα και οι 5 έχουν άλλη χρήση, π.χ. κτίρια πανεπιστημίων, κτίρια πυροσβεστικής, κτίρια αεροδρομίων, κλπ. Επιπρόσθετα, σε 37 κτίσματα έχουν χρησιμοποιηθεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) είτε μόνα τους είτε συνδυαζόμενα με ελαστομεταλλικούς σεισμικούς μονωτήρες από φυσικό ελαστομερές (NRB), σε 13 έχουν χρησιμοποιηθεί σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (FPS), σε 11 ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDR), είτε μόνα τους είτε συνδυαζόμενα με ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ελαστομερές (NRB) ή/ και επίπεδα εφέδρανα ολίσθησεως, ενώ στα υπόλοιπα δύο κτίρια εφαρμόστηκαν άλλου τύπου συστήματα μόνωσης.

Κεντρική Αμερική (Πίνακας 2, Παράρτημα 1)

Στην Κεντρική Αμερική και συγκεκριμένα στο Μεξικό, έχουν καταγραφεί τουλάχιστον 2 εφαρμογές σεισμικής μόνωσης σε κτίρια. Το ένα κτίριο είναι Πανεπιστήμιο και το άλλο είναι εκθεσιακό κέντρο. Και στις δύο περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB), ενώ και τα δύο κτίρια είναι νέες κατασκευές.

Ιταλία (Πίνακας 3, Παράρτημα 1)

Η Ιταλία έχει να επιδείξει σημαντική συμμετοχή στον τομέα της σεισμικής μόνωσης των κτιρίων από το 1981. Στα 11 από τα 26 κτίρια με σεισμική μόνωση, η τεχνολογία εφαρμόστηκε όταν αυτά είχαν ήδη κτιστεί, πρόκειται δηλαδή για εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης σε υφιστάμενες κατασκευές. Στα 14 από τα 26 τοποθετήθηκαν ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDR) ενώ στα υπόλοιπα χρησιμοποιήθηκαν είτε ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ελαστικό υλικό συνδυαζόμενα με συσκευές απόσβεσης ενέργειας, είτε ελαστομεταλλικά εφέδρανα από νεοπρένιο συνδυαζόμενα με συσκευές απόσβεσης ενέργειας. Από τα 26 κτίρια, 4 είναι κτίρια κατοικιών / διαμερισμάτων, 2 είναι κτίρια της πυροσβεστικής υπηρεσίας, 1 ιατρικό κέντρο, 1 κέντρο επιχειρήσεων της αστυνομίας, 8 κτίρια γραφείων, 5 εκκλησίες / κωδωνοστάσια, και τα υπόλοιπα 5 κτίσματα με λοιπές χρήσεις.

Κίνα (Πίνακας 4, Παράρτημα 1)

Τα 9 από τα 10 κτίρια με σεισμική μόνωση είναι κατοικίες / διαμερίσματα και 1 κτίριο γραφείων. Για όλα χρησιμοποιήθηκαν ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDR).

Ιαπωνία (Πίνακας 5, Παράρτημα 1)

Στην Ιαπωνία, κατά τον καταστροφικό σεισμό στο Kobe στις 17 Ιανουαρίου 1995 καταγράφηκαν οι δυναμικές αποκρίσεις δύο κατασκευών με σεισμική μόνωση και μ' αυτόν τον τρόπο πιστοποιήθηκε πλέον η άριστη δυναμική συμπεριφορά των κατασκευών με σεισμική μόνωση. Ο σεισμός στο Kobe οριοθέτησε για την Ιαπωνία την αρχή της περιόδου στην οποία πλέον γίνεται εκτεταμένη χρήση της σεισμικής μόνωσης τόσο σε υφιστάμενες όσο και νέες κατασκευές. Από γενικά στοιχεία, στην Ιαπωνία, ο καταμερισμός έχει ως εξής: από τα 34 κτίρια με σεισμική μόνωση που παραθέτονται στον Πίνακα 5 του Παραρτήματος 1, τα 17 είναι κτίρια διαμερισμάτων/κατοικιών, 8 είναι κτίρια γραφείων, 2 εργοστάσια/αποθήκες, 2 ιατρικά κέντρα, 1 μουσείο, και 7 κτίρια λοιπών χρήσεων. Βέβαια, συμπεριλαμβανομένων και των γεφυρών, οι εφαρμογές της σεισμικής μόνωσης στην Ιαπωνία σήμερα ξεπερνούν συνολικά τις 800. Όσον αφορά τον τύπο των εφεδράνων, σε 12 έχουν χρησιμοποιηθεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB), σε 9 ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ελαστομερές (NRB) συνδυαζόμενα με διάφορους τύπους αποσβεστήρων ενέργειας, σε 11 ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDR) και σε 2 κτίρια, άλλα είδη συστημάτων σεισμικής μόνωσης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5, μόνον 2 εφαρμογές σεισμικής μόνωσης έγιναν σε υφιστάμενες κατασκευές.

Ν. Ζηλανδία (Πίνακας 6, Παράρτημα 1)

Στη Ν. Ζηλανδία καταγράφεται εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης από το 1981. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 6 του Παραρτήματος 1, έχουν καταγραφεί 9 κτίρια με σεισμική μόνωση, από τα οποία 4 είναι δημόσια, 2 είναι κτίρια γραφείων και τα υπόλοιπα στεγάζουν άλλες χρήσεις. Ακόμη, 3 από τα 9 είναι υφιστάμενα, ενώ σε 6 έχουν εφαρμοστεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB), σε 1 ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ελαστομερές (NRB) συνδυαζόμενα με αποσβεστήρες ενέργειας και στα υπόλοιπα άλλοι τύποι μόνωσης.

Άλλες χώρες (Πίνακας 7, Παράρτημα 1)

Αξιόλογες εφαρμογές σεισμικής μόνωσης έχουν γίνει και σε άλλες χώρες ανά τον κόσμο, όπως Ινδία, Ταϊβάν, Τουρκία. Συγκεκριμένα, ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) έχουν χρησιμοποιηθεί σε κτίριο τραπέζης στην Ινδία, ενώ σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της αντισεισμικής προστασίας τόσο υφιστάμενου τμήματος στο αεροδρόμιο της Κων/πολης, όσο και για την αντισεισμική θωράκιση νέου τμήματος αυτού.

1.4.2 Γέφυρες με σεισμική μόνωση

ΗΠΑ (Πίνακας 1, Παράρτημα 2)

Στις ΗΠΑ και στον τομέα της γεφυροποιίας, η σεισμική μόνωση έχει τύχει ευρύτατης εφαρμογής. Η σεισμικότητα κάποιων περιοχών, π.χ. Καλιφόρνια, καθώς και το ευρύτατο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο που απαιτεί αυξημένα επίπεδα ασφάλειας, οδήγησε τους μηχανικούς στη σεισμική μόνωση αρκετών γεφυρών οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, αλλά και πεζογεφυρών. Από τις 134 εφαρμογές σεισμικής μόνωσης σε γέφυρες οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος 2, στις 114 έχουν χρησιμοποιηθεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) είτε αμιγώς είτε συνδυαζόμενα με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με φυσικό ελαστομερές (NRB), στις 6 σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησεως (FPS), και στις υπόλοιπες 12 τύπου Eradiquake. Οι 59 από τις εφαρμογές αυτές έγιναν σε υφιστάμενη κατασκευή, ενώ οι υπόλοιπες 75 αφορούν νέες γέφυρες.

Καναδάς (Πίνακας 2, Παράρτημα 2)

Εφαρμογές σεισμικής μόνωσης έχει να επιδείξει και ο Καναδάς. Τουλάχιστον 8 εφαρμογές σεισμικής μόνωσης έχουν καταγραφεί στον Καναδά, από τις οποίες 4 γέφυρες μονώθηκαν μετά την κατασκευή τους, ενώ οι 4 ήταν καινούργιες γέφυρες.

Σε 2 γέφυρες χρησιμοποιήθηκαν σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (FPS) και στις υπόλοιπες ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB).

Ιταλία (Πίνακας 3, Παράρτημα 2)

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος 2, η Ιταλία έχει να επιδείξει 184 γέφυρες με σεισμική μόνωση. Οι γέφυρες αυτές είναι είτε οδικές, είτε σιδηροδρομικές, είτε πεζογέφυρες. Σε 8 από αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB), σε 63 γέφυρες, δηλαδή στις περισσότερες περιπτώσεις, η σεισμική μόνωση έγινε με την χρήση μονωτήρων ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς, και στις υπόλοιπες χρησιμοποιήθηκαν άλλου τύπου συστήματα σεισμικής μόνωσης.

Ιαπωνία (Πίνακας 4, Παράρτημα 2)

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, στην Ιαπωνία, όπου οι απαιτήσεις σε ασφάλεια έναντι σεισμών είναι ιδιαίτερα αυξημένες, έχουν κατασκευαστεί πολλές γέφυρες με σεισμική μόνωση. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 του Παραρτήματος 2, σε 7 από 34 γέφυρες με σεισμική μόνωση έχουν χρησιμοποιηθεί ελαστικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDR), ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις η μόνωση έγινε με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB).

Ν. Ζηλανδία (Πίνακας 5, Παράρτημα 2)

Στη Ν. Ζηλανδία, ο αριθμός των σεισμικά μονωμένων γεφυρών φθάνει τις 43, ξεκινώντας χρονολογικά από το 1973. Σχεδόν σε όλες τις καταγεγραμμένες γέφυρες η μόνωση έγινε με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB).

Άλλες χώρες (Πίνακας 6, Παράρτημα 2)

Αξιόλογες εφαρμογές σεισμικής μόνωσης έχουν γίνει και σε άλλες χώρες ανά τον κόσμο. Συγκεκριμένα, ελαστομεταλλικά εφέδρανα (LRB) έχουν χρησιμοποιηθεί σε 9 γέφυρες στην Ταϊβάν, την Κορέα, τη Χιλή και το Μεξικό, στην Τουρκία σε υφιστάμενη γέφυρα έχουν τοποθετηθεί σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (FPS), ενώ σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες έχουν χρησιμοποιηθεί υδραυλικά συστήματα μείωσης της σεισμικής δράσης.

1.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΚΤΙΡΙΑ & ΓΕΦΥΡΕΣ) ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.5.1. Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας

Η.Π.Α. (Πίνακας 1, Παράρτημα 3)

Στις Η.Π.Α. παρατηρείται σημαντική αύξηση στη χρήση συστημάτων απόσβεσης ενέργειας. Περίπου σε 80 κτίρια έχουν συμπεριληφθεί τέτοιου είδους συστήματα, από τα οποία τα 37 είναι υφιστάμενα. Στα περισσότερα από αυτά, σε 64, έχουν χρησιμοποιηθεί αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς (fluid viscous dampers), ενώ περίπου σε 8 κτίρια έχουν χρησιμοποιηθεί αποσβεστήρες ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς (viscoelastic dampers), και στις υπόλοιπες περιπτώσεις εγκαταστάθηκαν αποσβεστήρες ολίσθησης (friction dampers). Πάνω από 31 από τα παραπάνω κτίσματα είναι κτίρια γραφείων, 10 είναι κτίσματα δημόσιου χαρακτήρα, 5 είναι κτίρια κατοικιών, 5 είναι νοσοκομεία, 6 είναι βιομηχανικά κτίρια, 4 είναι ξενοδοχεία και τα υπόλοιπα έχουν διάφορες άλλες χρήσεις, όπως πανεπιστημιακά κτίρια, ερευνητικά κέντρα, κτίρια πυροσβεστικής και αστυνομίας, κτίρια αεροδρομίων, αθλητικές εγκαταστάσεις, κλπ.

Καναδάς (Πίνακας 2, Παράρτημα 3)

Στον Καναδά έχουμε τουλάχιστον 24 εφαρμογές συστημάτων απόσβεσης ενέργειας, ενώ τουλάχιστον οι 11 περιπτώσεις είναι εφαρμογή σε υφιστάμενη κατασκευή. Στα 3 από αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς (fluid viscous dampers), σε 1 έχουν χρησιμοποιηθεί αποσβεστήρες ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς (viscoelastic dampers) και σε 19 χρησιμοποιήθηκαν αποσβεστήρες ολίσθησης (friction dampers). Όσον αφορά τη χρήση τους, 5 από αυτά είναι κτίρια γραφείων, 1 είναι νοσοκομείο, 3 είναι δημόσια κτίρια, 5 είναι κτίρια κατοικιών και τα υπόλοιπα έχουν διάφορες άλλες χρήσεις, π.χ. πανεπιστήμια, casino, κλπ.

Κεντρική Αμερική (Πίνακας 3, Παράρτημα 3)

Στην Κεντρική Αμερική έχουμε 5 εφαρμογές συστημάτων απόσβεσης ενέργειας, κυρίως στο Μεξικό. Οι 3 περιπτώσεις είναι εφαρμογή σε υφιστάμενη κατασκευή και τοποθετήθηκαν μεταλλικοί αποσβεστήρες ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν αποσβεστήρες υγρού ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς (fluid viscous dampers).

Ιταλία (Πίνακας 4, Παράρτημα 3)

Στην Ιταλία έχουν τοποθετηθεί συστήματα απόσβεσης ενέργειας σε 19 κτίρια, 10 από τα οποία προϋπήρχαν της τοποθέτησης (υφιστάμενα). Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών στην Ιταλία ξεκίνησε το 1986. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς ή μεταλλικοί αποσβεστήρες. Τα 5 είναι κτίρια γραφείων, 1 είναι νοσοκομείο, 1 είναι ξενοδοχείο, 4 είναι βιομηχανικά και τα υπόλοιπα είναι ερευνητικά κέντρα, πανεπιστημιακά κτίρια, κλπ.

Ιαπωνία (Πίνακας 5, Παράρτημα 3)

Η Ιαπωνία από το 1984 και μετά απαριθμεί τουλάχιστον 34 εφαρμογές συστημάτων απόσβεσης ενέργειας σε κτίρια. Σε 2 περιπτώσεις έχουν εγκατασταθεί μεταλλικοί σύνδεσμοι, ενώ στις υπόλοιπες χρησιμοποιήθηκαν αποσβεστήρες ολίσθησης (friction dampers), υγρού (fluid dampers), υγρού ιξώδους συμπεριφοράς (Fluid Viscous Dampers), μεταλλικοί σύνδεσμοι χαμηλού ορίου διαρροής (LYS) και αποσβεστήρες παραμόρφωσης μολύβδου (LED). Επί πλέον, τουλάχιστον 15 από αυτά είναι κτίρια γραφείων, 6 είναι ξενοδοχεία, 1 είναι νοσοκομείο, 8 είναι κτίρια δημόσιου χαρακτήρα και τα υπόλοιπα είναι κτίρια διαμερισμάτων και κατοικιών, πανεπιστήμια, κτίρια αεροδρομίου, ερευνητικά κέντρα, κλπ.

Άλλες χώρες (Πίνακας 6, Παράρτημα 3)

Τουλάχιστον άλλες 12 εφαρμογές συστημάτων απόσβεσης ενέργειας έχουν καταγραφεί σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο, ενώ τουλάχιστον οι 3 περιπτώσεις είναι εφαρμογή σε υφιστάμενη κατασκευή. Σε 10 περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς (fluid viscous dampers), ενώ στις υπόλοιπες εγκαταστάθηκαν αποσβεστήρες ολίσθησης (friction dampers). Από αυτά τα κτίρια, 5 είναι κτίρια γραφείων, 2 είναι εργοστάσια, 1 είναι νοσοκομείο, 3 είναι δημόσια κτίρια, και 1 είναι κτίριο διαμερισμάτων.

1.5.2 Γέφυρες με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας

ΗΠΑ (Πίνακας 1, Παράρτημα 4)

Στις ΗΠΑ έχουν καταγραφεί τουλάχιστον 24 εφαρμογές συστημάτων απόσβεσης ενέργειας σε γέφυρες, ενώ τουλάχιστον σε 16 περιπτώσεις η εφαρμογή έγινε σε υφιστάμενη κατασκευή. Σε όλες έχουν χρησιμοποιηθεί αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς (fluid viscous dampers). Οι γέφυρες αυτές είναι είτε οδικές, είτε σιδηροδρομικές είτε πεζογέφυρες.

Ιταλία (Πίνακας 2, Παράρτημα 4)

Στην Ιταλία έχουν καταγραφεί τουλάχιστον 76 εφαρμογές συστημάτων απόσβεσης ενέργειας σε γέφυρες. Σε τουλάχιστον σε 61 περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν αποσβεστήρες υγρού (fluid dampers), σε 3 περιπτώσεις αποσβεστήρες ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς, σε 2 περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν αποσβεστήρες ιξώδους-ελαστικής συμπεριφοράς και στις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν μηχανισμοί μεταβίβασης κρουστικών δράσεων συνδυαζόμενοι με επίπεδα εφέδρανα ολισθήσεως. Οι γέφυρες αυτές είναι οδικές, σιδηροδρομικές ή πεζογέφυρες.

Άλλες χώρες (Πίνακας 3, Παράρτημα 4)

Μια εφαρμογή συστημάτων απόσβεσης ενέργειας είναι καταγεγραμμένη στη Χιλή. Οι αποσβεστήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς.

1.6 ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1. Δικαστικό Μέγαρο Αθηνών (Εφέδρανα ολισθήσεως, 1974)
2. Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, Ρεβυθούσα (1996, Σφαιρικά εφέδρανα ολισθήσεως)
3. Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας, Αθήνα (Επίπεδα εφέδρανα ολισθήσεως και αποσβεστήρες ενέργειας, 2004)
4. Νέο Μουσείο Ακρόπολης, Αθήνα (Σφαιρικά εφέδρανα ολισθήσεως, 2006)
5. Ωνάσιος Στέγη Γραμμάτων και Καλών Τεχνών, Αθήνα (Σφαιρικά εφέδρανα ολισθήσεως, 2005)

1.7 ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1. Οδική γέφυρα Ισθμού της Κορίνθου (1998, ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης HDR συνδυαζόμενα με επίπεδα εφέδρανα ολισθήσεως)
2. Σιδηροδρομική Γέφυρα Ισθμού της Κορίνθου (2002, υπό κατασκευή)
3. Κύρια Ζεύξη Ρίο-Αντίρριο (2000, υπό κατασκευή, αποσβεστήρες υγρού τύπου, ιξώδους συμπεριφοράς)
4. Γέφυρα προσέγγισης στην Κυρίως Γέφυρα Ρίο-Αντίρριο, Αντίρριο (2000, υπό κατασκευή, ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ελαστομερές NRB συνδυαζόμενα με αποσβεστήρες υγρού τύπου, ιξώδους συμπεριφοράς)
5. Γέφυρα προσέγγισης στην Κυρίως Γέφυρα Ρίο-Αντίρριο, Ρίο (2000, υπό κατασκευή, ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ελαστομερές NRB συνδυαζόμενα με αποσβεστήρες υγρού τύπου, ιξώδους συμπεριφοράς)
6. Γέφυρα Μεγαλορέματος (2002, υπό κατασκευή, συσκευές απόσβεσης ενέργειας)
7. Γέφυρα Νέστου (υπό κατασκευή)

Στην Ελλάδα, οι πρώτες εφαρμογές σεισμικής μόνωσης σε κατασκευές πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1968-1975. Ως σύστημα σεισμικής μόνωσης χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα το οποίο παρουσιάστηκε από τον καθηγητή κ. Αρίσταρχο Οικονόμου με την ονομασία «Αλεξίσεισμο σύστημα σεισμικής μόνωσης».

Περιγραφή του συστήματος

Το «Αλεξίσεισμο σύστημα σεισμικής μόνωσης» αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα [σχήμα 1]:

1. «Αλεξίσεισμες Στηρίξεις»

Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε αντί του σήμερα χρησιμοποιούμενου όρου «σεισμικοί μονωτήρες». Οι «Αλεξίσεισμες Στηρίξεις» είναι φέροντα στοιχεία που τοποθετούνται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης και έχουν ως προορισμό τους την μεταφορά των κατακόρυφων αλλά και των οριζόντιων φορτίων της ανωδομής στην υποδομή στην περίπτωση ενεργοποίησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Το σύστημα μόνωσης ενεργοποιείται μετά την θραύση (την ρήξη) ειδικών συνδέσμων, οι οποίοι προσδίδουν στο σύστημα μόνωσης την απαιτούμενη υψηλή αρχική δυσκαμψία, και οι οποίοι αναφέρονται ως «Αλεξίσεισμοι Σύνδεσμοι».

Οι «Αλεξίσεισμες Στηρίξεις» διαθέτουν χαμηλή δυσκαμψία στο οριζόντιο επίπεδο, χαμηλή στρεπτική δυσκαμψία ως προς τους οριζόντιους άξονες και υψηλή δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση. Στην περίπτωση ενεργοποίησης του συστήματος μόνωσης, επιτρέπουν την σχετική μετακίνηση της ανωδομής ως προς την υποδομή της κατασκευής, χωρίς όμως να μεταφέρουν μεγάλα οριζόντια φορτία από το ένα τμήμα της κατασκευής στο άλλο, και αποτρέποντας την δημιουργία ταλαντώσεων λικνισμού της κατασκευής. Οι «Αλεξίσεισμες Στηρίξεις» μπορεί να είναι είτε ελαστομεταλλικά εφέδρανα μόνον, είτε συνδυασμός ελαστομεταλλικών εφεδράνων και εφεδράνων άλλου τύπου (π.χ. εφεδράνων ολίσθησης) με συμπληρωματικούς αλλά διαφορετικούς ρόλους. Κατά την τελευταία περίπτωση, τα εφέδρανα ολίσθησης αναλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής ενώ τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα δεν αναλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία αλλά παρέχουν στο σύστημα μόνωσης, σε περίπτωση ενεργοποίησής του, την απαιτούμενη οριζόντια ικανότητα επαναφοράς. Ως εφέδρανα ολίσθησης αναφέρεται η χρήση εφεδράνων ολίσθησης με πολύ χαμηλόν συντελεστή τριβής (εφέδρανα με λιπαντικό μέσο).

2. «Αλεξίσεισμοι Σύνδεσμοι»

Πρόκειται για κατάλληλα διαμορφωμένα στοιχεία, π.χ. μεταλλικές ράβδοι κατακόρυφης ή οριζόντιας διάταξης, οι οποίες τοποθετούνται στην διεπιφάνεια μόνωσης και δημιουργούν διατμητική σύνδεση υψηλής δυσκαμψίας της ανωδομής με την υποδομή

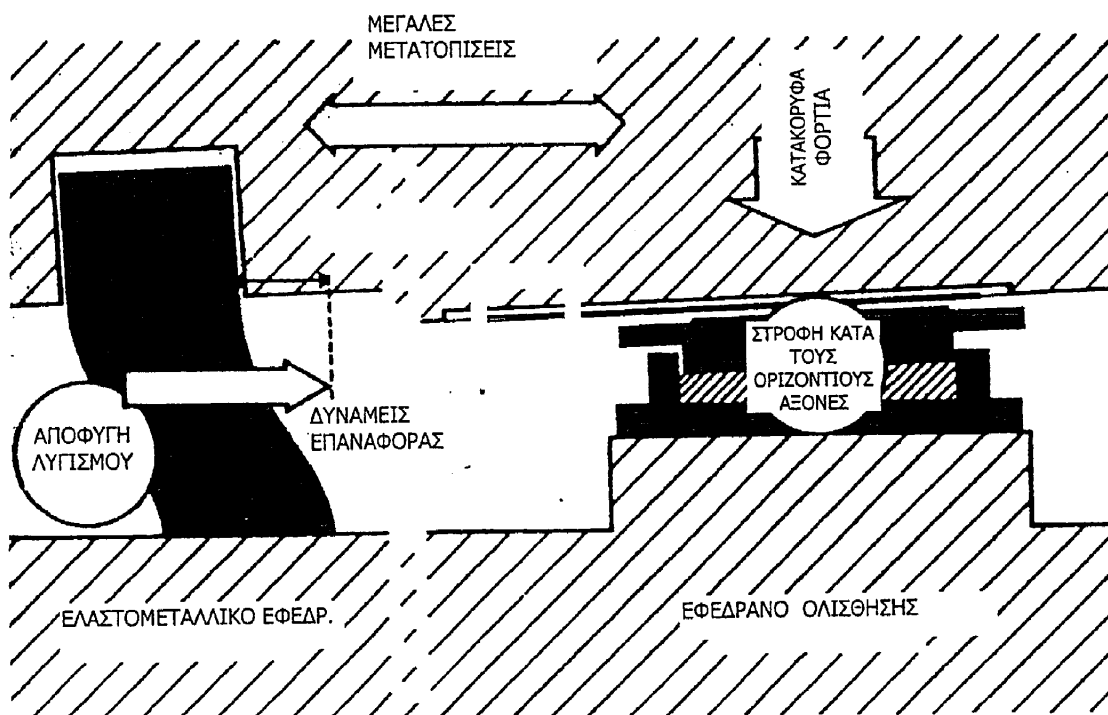
της κατασκευής. Οι «Αλεξίσεισμοι Σύνδεσμοι» εξασφαλίζουν το αμετάθετον της ανωδομής ως προς την υποδομή για φορτία ανέμου και για σεισμικά φορτία χαμηλότερα από τα φορτία σχεδιασμού, ενώ είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε για ισχυρή οριζόντια φόρτιση (σεισμός σχεδιασμού) να διαρρηγνύονται, με αποτέλεσμα να ενεργοποιείται το σύστημα μόνωσης. Μετά από έναν ισχυρό σεισμό, οι «Αλεξίσεισμοι Σύνδεσμοι» αντικαθίστανται με σκοπό την αποκατάσταση της υψηλής δυσκαμψίας σύνδεσης ανωδομής-υποδομής του έργου.

3. «Αλεξίσεισμος Δίσκος»

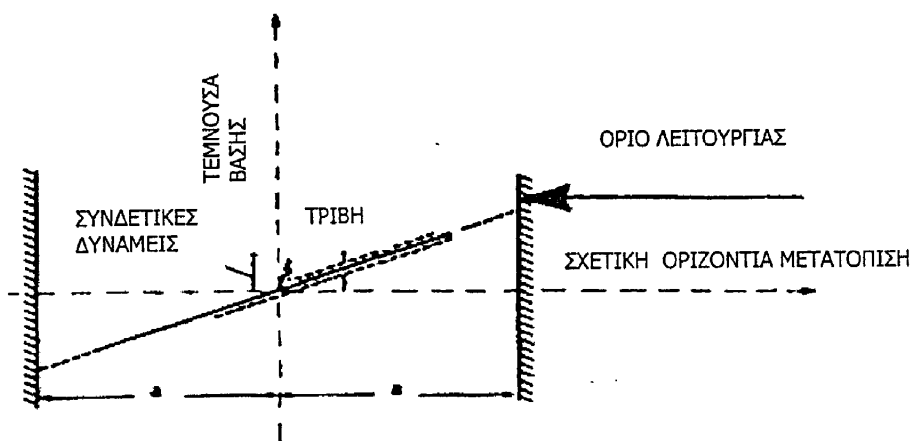
Πρόκειται για τα οριζόντια διαφράγματα που βρίσκονται ακριβώς επάνω και κάτω από την διεπιφάνεια μόνωσης του έργου, και παρέχουν την απαιτούμενη στο οριζόντιο επίπεδο σύνδεση όλων των κατακορύφων στοιχείων της ανωδομής και της υποδομής, μεταφέροντας τα φορτία της ανωδομής στην υποδομή και αντίστροφα, διαμέσου των «Αλεξίσεισμων Στηρίξεων» και «Αλεξίσεισμων Συνδέσμων».

Οι δυνάμεις που δρουν στους «Αλεξίσεισμους Δίσκους» είναι τα εντατικά μεγέθη (κατακόρυφες και οριζόντιες δυνάμεις, ροπές κάμψης κλπ.) των κατακορύφων φερόντων στοιχείων της ανωδομής (υποστυλωμάτων, τοιχίων), οι οριζόντιες δυνάμεις από τις Αλεξίσεισμες Συνδέσεις και οι οριζόντιες και κατακόρυφες δυνάμεις από τις Αλεξίσεισμες Στηρίξεις.

Το «Αλεξίσεισμο σύστημα μόνωσης» ανήκει στα συστήματα τα οποία διαθέτουν ικανότητα επαναφοράς, είναι χαμηλής απόσβεσης, και χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από γραμμική (ελαστική) συμπεριφορά. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται το ιδεατό διάγραμμα «Οριζόντια δύναμη-Μετατόπιση» του Αλεξίσεισμου συστήματος μόνωσης.



Σχήμα 1: «Αλεξίσεισμο σύστημα σεισμικής μόνωσης»



Σχήμα 2: Ιδεατό διάγραμμα «Οριζόντια δύναμη- Σχετική Οριζόντια Μετατόπιση» του «Αλεξίσεισμου συστήματος μόνωσης».

1.8 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στόχος της εφαρμογής της σεισμικής μόνωσης ή της απόσβεσης ενέργειας σε ένα τεχνικό έργο δεν είναι κατά κύριο λόγο η ελάττωση του αρχικού κόστους της κατασκευής, αλλά η υψηλότερων προδιαγραφών σεισμική συμπεριφορά του έργου, η οποία μεταφραζόμενη σε οικονομικά στοιχεία πρακτικά σημαίνει μείωση του κόστους κύκλου ζωής της κατασκευής (δηλαδή μείωση του κόστους συντήρησης της κατασκευής), προστασία του περιεχομένου της (πχ. εκθέματα σε μουσεία, ευπαθή μηχανήματα π.χ. σε αίθουσες χειρουργείων, κλπ) και διαφύλαξη της συνεχούς χρήσης του έργου (με ότι αυτό συνεπάγεται για κάθε έργο, πχ. για νοσοκομεία, σχολεία, κτίρια πυροσβεστικής υπηρεσίας, αστυνομίας, κλπ), αφ' ετέρου δε σε επίπεδο ποιότητας ζωής των χρηστών του έργου, διασφάλιση υψηλότερου αισθήματος ασφάλειας και καλύτερη ψυχολογική κατάσταση.

Όσον αφορά την σεισμική μόνωση, οι παραπάνω στόχοι καθίστανται εφικτοί διότι το σύστημα μόνωσης επιφέρει σοβαρότατη απομείωση της σεισμικής δράσης η οποία καταπονεί την κατασκευή. Στην περίπτωση χρήσης συσκευών απόσβεσης ενέργειας, οι παραπάνω στόχοι επιτυγχάνονται διότι οι αποσβεστήρες, «απορροφώντας» μεγάλο ποσοστό της σεισμικής ενέργειας του έργου, ελαχιστοποιούν τις ταλαντώσεις και τις σχετικές μετακινήσεις των φερόντων στοιχείων της κατασκευής.

Οι στόχοι της σεισμικής μόνωσης και της απόσβεσης ενέργειας είναι αναλυτικότερα οι εξής:

- 1.** Προστασία της ζωής, δηλαδή αποφυγή κατάρρευσης του δομήματος.
- 2.** Προστασία του φέροντα οργανισμού της κατασκευής, δηλαδή αποφυγή μετελαστικών παραμορφώσεων (βλαβών) στα φέροντα δομικά στοιχεία του έργου. Κατ' αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται ή και αποφεύγονται δύσκολες, υψηλού κόστους και αμφιβόλου αποτελεσματικότητας επισκευές του φέροντα οργανισμού του έργου.
- 3.** Προστασία των μη-φερόντων στοιχείων της κατασκευής (π.χ. τοιχοποιίες πλήρωσης, υαλοπίνακες, εσωτερικές εγκαταστάσεις, κλπ). Τα μη φέροντα στοιχεία ενός κτιρίου αντιπροσωπεύουν περίπου το 65% έως 75% του συνολικού κόστους κατασκευής του έργου. Η προστασία τους ισοδυναμεί με σημαντική μείωση τυχόν δαπάνης για την επισκευή της κατασκευής. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση των σεισμικών δυνάμεων που δρουν στην κατασκευή και, αντίστοιχα, με την ελαχιστοποίηση των σχετικών μετακινήσεων των ορόφων του κτιρίου.

4. Προστασία της μετασεισμικής ασφάλειας της κατασκευής. Η αντοχή και η σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής δεν επηρεάζονται ακόμα μετά από έναν ισχυρό σεισμό. Η κατασκευή είναι ικανή να αντισταθεί με ασφάλεια επάλληλες μετασεισμικές δονήσεις.
5. Προστασία της θεμελίωσης. Ελαττώνεται σημαντικά η δυναμική καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης, (ελαχιστοποίηση ή και αποφυγή καθιζήσεων).
6. Προστασία του περιεχομένου της κατασκευής (πχ ευπαθών μηχανημάτων, αντικειμένων μεγάλης αξίας, έργων τέχνης)
7. Προστασία της λειτουργίας του έργου (αποφυγή διακοπής χρήσης της κατασκευής).
8. Οικονομία του έργου. Η προστασία των φερόντων και μη-φερόντων στοιχείων της κατασκευής της θεμελίωσής της, του περιεχομένου της και η προστασία της λειτουργίας της έχουν ως αποτέλεσμα ότι το κόστος κύκλου ζωής της κατασκευής με σεισμική μόνωση ή αποσβεστήρες ενέργειας, είναι πολύ χαμηλότερο του κόστους συντήρησης της αντίστοιχης συμβατικής κατασκευής.
9. Υψηλό επίπεδο ποιότητας ζωής των χρηστών του έργου με την δημιουργία αισθήματος ασφάλειας και καλής ψυχολογικής κατάστασης.

1.9 ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.9.1 Τρόπος Δράσης της Σεισμικής Μόνωσης

Κεντρική ιδέα της σεισμικής μόνωσης είναι ότι η κατασκευή μπορεί να αποδεσμευτεί σε σημαντικό βαθμό από την εδαφική (σεισμική) διέγερση με στόχο την δραστική μείωση του επιπέδου απόκρισης της κατασκευής (δηλ. των αναπτυσσομένων σεισμικών φορτίων της ανωδομής). Η αποδέσμευση της κατασκευής από τις ταλαντώσεις του εδάφους επιτυγχάνεται με την κατάργηση της μονολιθικότητας της κατασκευής και την έδρασή της σε ειδικούς σεισμικούς μονωτήρες

Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης έχουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

1. Υψηλή αρχική δυσκαμψία* (ελαστική δυσκαμψία), ώστε για χαμηλές οριζόντιες φορτίσεις λειτουργικότητας (π.χ. φόρτιση λόγω ανέμου), το σύστημα μόνωσης πρακτικά να μην παραμορφώνεται (να παραμορφώνεται ελάχιστα).
2. Χαμηλή μετελαστική δυσκαμψία στο οριζόντιο επίπεδο για την αύξηση της περιόδου της θεμελιώδους ιδιομορφής (ανά κατεύθυνση στο οριζόντιο επίπεδο).
3. Υψηλή δυσκαμψία στην κατακόρυφο κατεύθυνση.
4. Επαρκή ικανότητα απόσβεσης ενέργειας, για περιορισμό των μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης εντός πρακτικών ορίων.
5. Ευστάθεια και ασφάλεια για την οριζόντια μετακίνηση (παραμόρφωση) σχεδιασμού.
6. Ως επί το πλείστον σταθερές ιδιότητες υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, δηλαδή ιδιότητες οι οποίες μεταβάλλονται μόνον εντός προκαθορισμένων ορίων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση και
7. Αυξάνουσα αντίσταση (δύναμη επαναφοράς) υπό αυξάνουσα οριζόντια παραμόρφωση.

Ο τρόπος δράσης της Σεισμικής Μόνωσης σε μια κατασκευή έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- 1) Αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της ανωδομής (ανά κατεύθυνση στο οριζόντιο επίπεδο) μακριά από τις δεσπόμενες περιόδους των συνήθων σεισμικών διεγέρσεων.
- 2) Διαχωρισμός των κατακόρυφων και οριζόντιων φερόντων στοιχείων της κατασκευής (υποστυλώματα, τοιχία, δοκοί) από τον μηχανισμό απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας

*Εναλλακτικά, και ίσως ορθότερα, αντί του όρου 'δυσκαμψία' μπορεί να γίνει χρήση του όρου 'δυστημσία'

3) Σημαντική αύξηση της ικανότητας απόσβεσης σεισμικής ενέργειας της κατασκευής (10% έως 40% της κρίσιμης απόσβεσης) σε σύγκριση με το 5% της συμβατικής κατασκευής

1.9.2 Τρόπος Δράσης της Παθητικής Απόσβεσης Ενέργειας

Η παθητική απόσβεση ενέργειας είναι μια μεθοδολογία αντισεισμικού σχεδιασμού, η οποία βασίζεται στην αύξηση της ικανότητας απόσβεσης ενέργειας της κατασκευής (λόγος ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης $\xi=15\%$ έως 50% της κρίσιμης απόσβεσης) και στην απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας από τους αποσβεστήρες και όχι από τον φέροντα οργανισμό ενός έργου (υποστυλώματα και δοκούς σε κτιριακά έργα, μεσόβαθρα σε γέφυρες). Κυριότερος στόχος της αύξησης της ικανότητας απόσβεσης σεισμικής ενέργειας ενός φορέα είναι η μείωση των παραμορφώσεων και μετακινήσεων του.

Ο όρος “παθητική” υποδηλώνει το γεγονός ότι για την λειτουργία των αποσβεστήρων δεν απαιτείται η παροχή ηλεκτρικής ή άλλης μορφής ενέργειας. Οι αποσβεστήρες θέτονται σε λειτουργία από τη σεισμική απόκριση του δομήματος.

Οι αποσβεστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά δύο διαφορετικούς τρόπους:

A) Σε κατασκευές χωρίς σεισμική μόνωση κατανεμημένοι στην κάτοψη και καθ' ύψος του δομήματος ή

B) Σε συνδυασμό με τη σεισμική μόνωση ενός έργου κατανεμημένοι στην διεπιφάνεια μόνωσης, οπότε και αποτελούν τμήμα του συστήματος μόνωσης της κατασκευής.

Έτσι, ανάλογα με την χρήση τους, διαφέρει και ειδικότερα ο σκοπός τον οποίο εξυπηρετούν.

1.9.2.1 Αποσβεστήρες σε κατασκευές χωρίς σεισμική μόνωση

Ο κυριότερος στόχος της εγκατάστασης παθητικών συσκευών απόσβεσης ενέργειας σε μια κατασκευή -δηλαδή ο κυριότερος στόχος της αύξησης της ικανότητας απόσβεσης σεισμικής ενέργειας ενός φορέα- είναι η μείωση των παραμορφώσεων ή μετακινήσεων του. Ο περιορισμός της σχετικής μεταθετότητας των τμημάτων ενός δομήματος επιτυγχάνεται είτε αυξάνοντας την δυσκαμψία, είτε/και αυξάνοντας την ικανότητα απόσβεσης του φορέα. Μεταλλικοί αποσβεστήρες, αποσβεστήρες ολίσθησης και αποσβεστήρες ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς (πχ αποσβεστήρες με βάση ελαστομερή υλικά) αυξάνουν τόσο την δυσκαμψία όσο και την απόσβεση. Αποσβεστήρες αμιγώς ιξώδους συμπεριφοράς αυξάνουν μόνον την ικανότητα απόσβεσης ενέργειας.

Τα σχήματα 1.9.2α , 1.9.2β, και 1.9.2γ απεικονίζουν σε απλουστευτική μορφή την επίδραση των διαφορετικών τύπων αποσβεστήρων στην σχέση «Τέμνουσα βάσης-παραμόρφωση της κατασκευής». Αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς δεν συμβάλλουν στην αύξηση της ακαμψίας της ανωδομής. Συνεπώς, κατά την χρήση τους η σχέση «Τέμνουσας βάσης-παραμόρφωσης» παραμένει περίπου η ίδια με εκείνη «χωρίς αποσβεστήρες».

Οι διάφοροι τρόποι διάταξης των παθητικών αποσβεστήρων ενέργειας καθ' ύψος μιας κατασκευής, οι συντελεστές μεγέθυνσης " f " της σχετικής μετακίνησης των άκρων του αποσβεστήρα ως προς την σχετική μετακίνηση των ορόφων της κατασκευής καθώς και βαθμός απόσβεσης " β " του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Για τον υπολογισμό των στοιχείων του Πίνακα 1, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των μονώροφων πλαισίων: Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος $T=0.3$ sec, γραμμικός αποσβεστήρας ιξώδους συμπεριφοράς με συντελεστή απόσβεσης $C_0=160$ kNsec/m, βάρος της κατασκευής $W=1370$ kN, και θ , θ_1 , θ_2 , θ_3 και ψ ίσες με 37.0 , 31.9 , 43.2 , 9.0 και 70.0 μοίρες αντιστοίχως [Constantinou et al 1999].

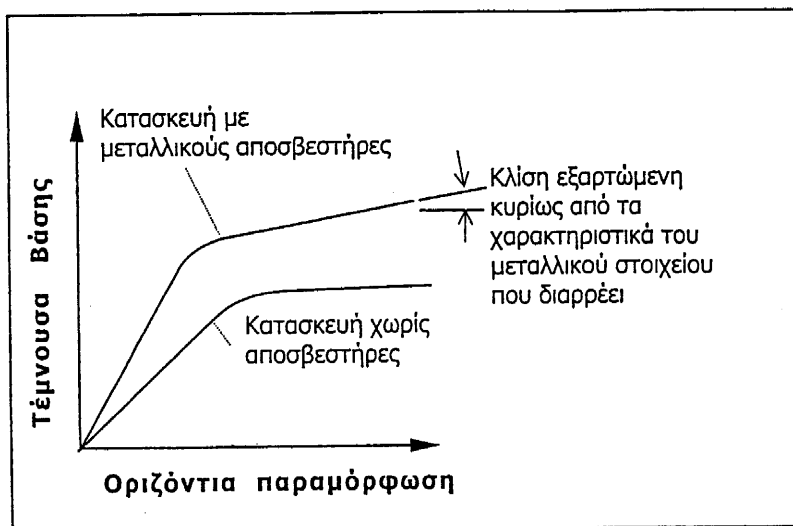
Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, με την χρήση αποσβεστήρων οι οποίοι κατανέμονται τόσο στην κάτοψη όσο και καθ' ύψος της κατασκευής, αποσκοπούνται τα εξής:

1. Αποσύζευξη του φέροντα οργανισμού της κατασκευής από τον μηχανισμό απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας,
2. Αύξηση της ικανότητας απόσβεσης ενέργειας της κατασκευής (15% - 50% της κρίσιμης, σε σύγκριση με 5% σε μια κατασκευή δίχως αποσβεστήρες).
3. Περιορισμός των σχετικών μετατοπίσεων των ορόφων τού έργου,
4. Ελαχιστοποίηση ή και αποφυγή βλαβών στον φέροντα και μη-φέροντα οργανισμό
5. Προστασία του περιεχομένου της κατασκευής.

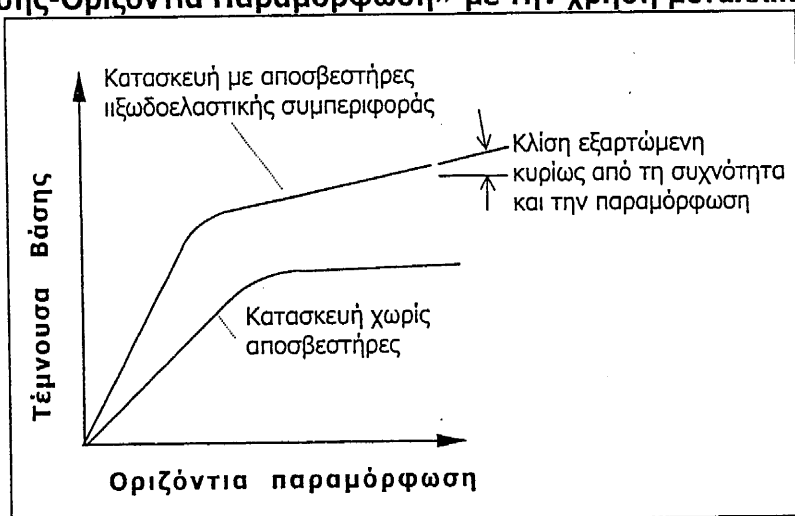
Στον πίνακα της σελίδας 25 παραθέτονται διάφοροι τρόποι διάταξης συσκευών απόσβεσης ενέργειας σε μια κατασκευή.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Λόγω του εύρους και της πολυπλοκότητας του αντικειμένου, στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος, δεν θα γίνει εκτενέστερη αναφορά σ' αυτόν τον τομέα εφαρμογής παθητικών συστημάτων απορρόφησης ενέργειας στις κατασκευές.

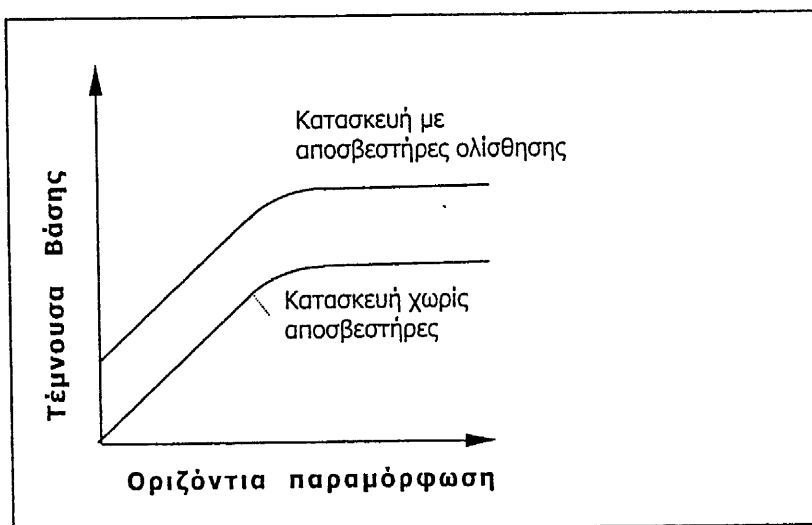
Η σύνταξη Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κατασκευών με Παθητικά Συστήματα Απόσβεσης Σεισμικής Ενέργειας, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο ιδιαίτερου ερευνητικού προγράμματος.



Σχήμα 1.9.2α : Επίδραση της απόσβεσης ενέργειας στην σχέση «Τέμνουσα Βάσης-Οριζόντια Παραμόρφωση» με την χρήση μεταλλικών αποσβεστήρων.



Σχήμα 1.9.2β : Επίδραση της απόσβεσης ενέργειας στην σχέση «Τέμνουσα Βάσης-Οριζόντια Παραμόρφωση» με την χρήση αποσβεστήρων ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς.



Σχήμα 1.9.2γ : Επίδραση της απόσβεσης ενέργειας στην σχέση «Τέμνουσα Βάσης-Οριζόντια Παραμόρφωση» με την χρήση αποσβεστήρων ολίσθησης.

Αποσβεστήρας σε διαγώνια διάταξη		$f = \cos \theta$	$f = 0.799$ $\beta = 0.017$
Αποσβεστήρας σε οριζόντια διάταξη		$f = 1$	$f = 1.00$ $\beta = 0.027$
Διάταξη αποσβεστήρα κάτω από μονή άρθρωση		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$	$f = 2.662$ $\beta = 0.194$
Διάταξη αποσβεστήρα επάνω από μονή άρθρωση		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta$	$f = 3.191$ $\beta = 0.279$
Διάταξη αποσβεστήρα εντός διπλής άρθρωσης		$f = \frac{\cos \psi}{\tan \theta_3}$	$f = 2.159$ $\beta = 0.126$

1.9.2.2 Αποσβεστήρες ως Στοιχεία Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης

Συνήθως τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης διαθέτουν επαρκή ικανότητα απόσβεσης ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται στους μεν μονωτήρες ολίσθησης με την τριβή ολίσθησης, στα δε ελαστομεταλλικά εφέδρανα είτε με την χρήση ειδικών μειγμάτων του ελαστομερούς υλικού, είτε με πυρήνες μολύβδου ή μεταλλικά στοιχεία που τοποθετούνται εντός των εφεδράνων και υποβάλλονται σε διατμητική / καμπτική επιπόνηση κατά την παραμόρφωση των εφεδράνων.

Ένας τρόπος είτε για την περαιτέρω αύξηση της ικανότητας της απόσβεσης ενέργειας του συστήματος μόνωσης πέραν εκείνης των εφεδράνων, είτε για να αποκτήσει το σύστημα μόνωσης το επιθυμητό επίπεδο απόσβεσης ενέργειας, είναι η τοποθέτηση επιπρόσθετων μονάδων απόσβεσης ενέργειας στο σύστημα μόνωσης, οι οποίες είναι ανεξάρτητες των εφεδράνων. Οι μονάδες αυτές κατανέμονται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης, συνήθως και στις δύο κύριες διευθύνσεις του δομήματος, ενώ το ένα άκρο τους συνδέεται με την ανωδομή και το άλλο με την υποδομή της κατασκευής.

Οι αποσβεστήρες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του συστήματος μόνωσης της κατασκευής. Μπορεί να είναι μεταλλικοί, ολίσθησης, ιξώδους ή ιξοελαστικής συμπεριφοράς. Κατά πλειοψηφία μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί μεταλλικοί αποσβεστήρες και αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα υβριδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης.

Η επιλογή να συνδυασθούν ανεξάρτητες συσκευές απόσβεσης ενέργειας με εφέδρανα για την σεισμική μόνωση ενός έργου, μπορεί να οφείλεται στους εξής λόγους:

1. Τα στοιχεία σεισμικότητας του τόπου κατασκευής του έργου είναι τέτοια, ώστε με στόχο τον περιορισμό της μετακίνησης της μονωμένης ανωδομής εντός (πρακτικών) ανεκτών ορίων, να απαιτείται πολύ υψηλή ικανότητα απόσβεσης ενέργειας του συστήματος μόνωσης, την οποία από μόνα τους τα εφέδρανα να μην μπορούν να προδώσουν στο σύστημα μόνωσης. Αυτό μπορεί π.χ. να συμβεί όταν σε μικρή απόσταση από τον τόπο κατασκευής έχει προσδιορισθεί η ύπαρξη ενεργού σεισμογόνου ρήγματος. Στις περιπτώσεις αυτές αναμένονται υψηλές εδαφικές ταχύτητες και επιταχύνσεις, γεγονός που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα –εφόσον δεν ενσωματωθούν στο σύστημα μόνωσης ανεξάρτητες συσκευές απόσβεσης ενέργειας – την πολύ μεγάλη μετακίνηση των μονωτήρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου είδους εφαρμογής είναι το μονωμένο Δημαρχείο της πόλης Hayward στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, στο οποίο χρησιμοποιήθηκε υβριδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (υψηλής απόσβεσης, χωρίς λιπαντικό μέσο) και αποσβεστήρες υγρού ιξώδους συμπεριφοράς (Φωτογραφία 1).

2. Επαναπροσδιορισμός της σεισμικότητας του τόπου κατασκευής του σεισμικώς μονωμένου έργου, λχ. μεταγενέστερος της σεισμικής μόνωσης του έργου, επαναπροσδιορισμός της σεισμικότητας του τόπου κατασκευής και κατάταξή του σε ζώνη υψηλότερης σεισμικότητας. Στην περίπτωση αυτή, και με σκοπό την μη αντικατάσταση των μονωτήρων που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν από άλλα με υψηλότερη ικανότητα απόσβεσης, μπορεί να γίνει χρήση εξωτερικών μονάδων απόσβεσης ενέργειας. Σκοπός της χρήσης των αποσβεστήρων είναι ο περιορισμός της μετακίνησης της μονωμένης ανωδομής εντός των αρχικών τιμών σχεδιασμού μετακίνησης των εφεδράνων και η δυνατόν μικρότερη αύξηση, ή η αποφυγή αύξησης, της τέμνουσας βάσης της κατασκευής. Για τις περιπτώσεις αυτές, ο πλέον ενδεδειγμένος τύπος αποσβεστήρων είναι οι αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς διότι αφενός δεν αυξάνουν την ακαμψία του συστήματος μόνωσης (και κατά συνέπεια δεν μειώνουν την ενεργό περίοδο του, άρα και η στάθμη επιτελεστικότητας του συστήματος μόνωσης) και αφετέρου διότι η δύναμη απόσβεσης είναι εκτός φάσης από την δύναμη επαναφοράς των εφεδράνων.

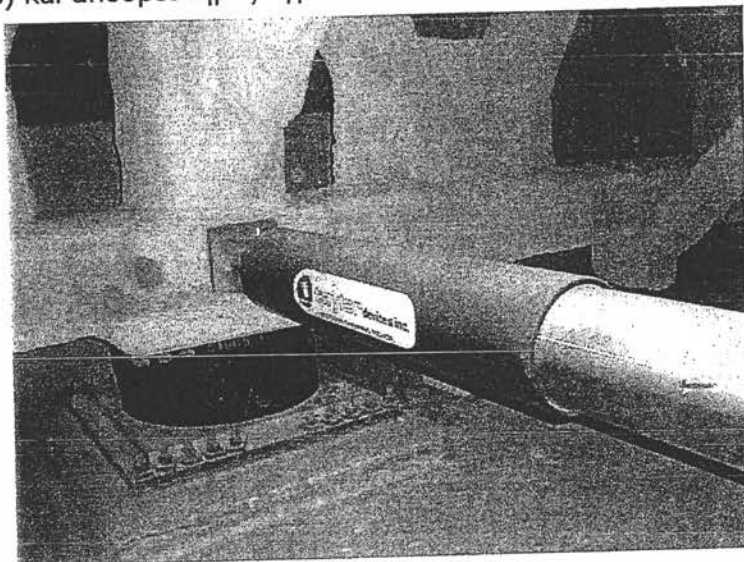
Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου είδους εφαρμογής είναι το μονωμένο πολυώροφο Νοσοκομείο Arrowhead Regional Medical Center, Colton, Καλιφόρνια στις ΗΠΑ, στο οποίο χρησιμοποιήθηκε υβριδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης και αποσβεστήρες σιλικονόχου ελαίου, ιξώδους συμπεριφοράς (Φωτογραφία 2 & 3)

3. Τα εφέδρανα δεν διαθέτουν ενσωματωμένο κάποιο είδους μηχανισμό απόσβεσης ενέργειας, είναι δηλαδή χαμηλής απόσβεσης, πχ ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό καουτσούκ, ή εφέδρανα ολίσθησης με λιπαντικό μέσο.

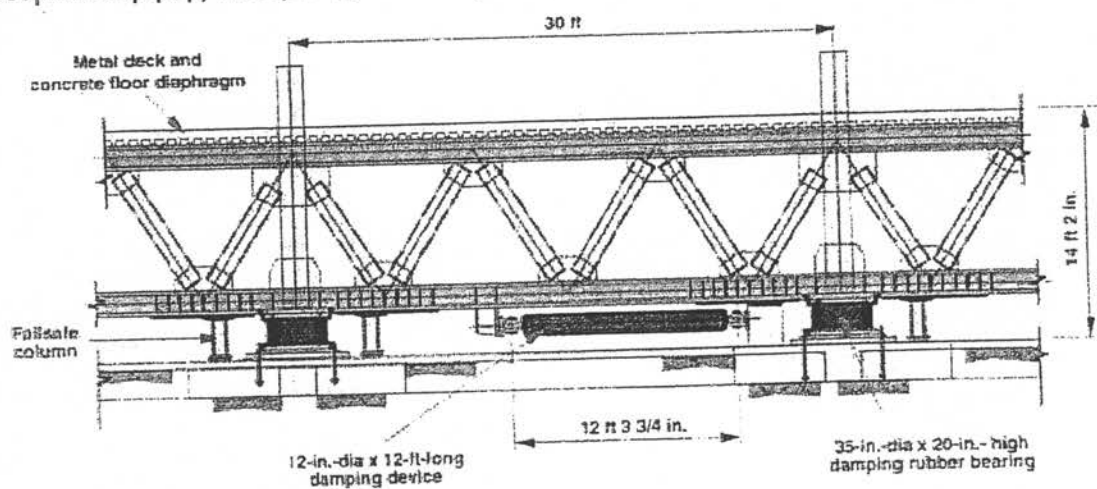
Για περισσότερες πληροφορίες ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στα συγγράμματα των Constantinou, M.C., Soong, T.T., Dargush, G.F., 1999: 'Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit', Monograph Series, MCEER, Hanson, R.D., Soong, T.T., 2001: 'Seismic Design with Supplemental Energy Dissipation Devices', Monograph MNO-8, Earthquake Engineering Research Institute and Douglas P. Taylor "Fluid Viscous Dampers in Seismic Isolation".



Φωτογραφία 1: Δημαρχείο της πόλης Hayward στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ: Υβριδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (χωρίς λιπαντικό μέσο) και αποσβεστήρες υγρού τύπου, ιξώδους συμπεριφοράς



Φωτογραφία 2: Νοσοκομείο Arrowhead Regional Medical Center, Colton, Καλιφόρνια στις ΗΠΑ: Υβριδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης και αποσβεστήρες ελαίου, ιξώδους συμπεριφοράς



Φωτογραφία 3: Σχηματική αναπαράσταση του υβριδικού συστήματος σεισμικής μόνωσης του νοσοκομείου Arrowhead Regional Medical Center, Colton, Καλιφόρνια, ΗΠΑ

1.10 Ταξινόμηση των συστημάτων ελέγχου σεισμικής απόκρισης των κατασκευών: Παθητικά, ενεργητικά, ημι-ενεργητικά, συστήματα σεισμικής μόνωσης, απόσβεσης ενέργειας, υβριδικά συστήματα, σχέσεις μεταξύ τους

Ο Έλεγχος Σεισμικής Απόκρισης των κατασκευών (Structural Control) είναι μια νέα μεθοδολογία αντισεισμικής προστασίας, κατά την οποία με την εφαρμογή (τοποθέτηση, εγκατάσταση) διαφόρων συστημάτων (διατάξεων, μηχανισμών) στον φορέα της κατασκευής επιδιώκεται η υψηλότερης επιτελεστικότητας δυναμική απόκριση του έργου, υπό την έννοια της ελαχιστοποίησης των επιδράσεων της σεισμικής διέγερσης στην κατασκευή.

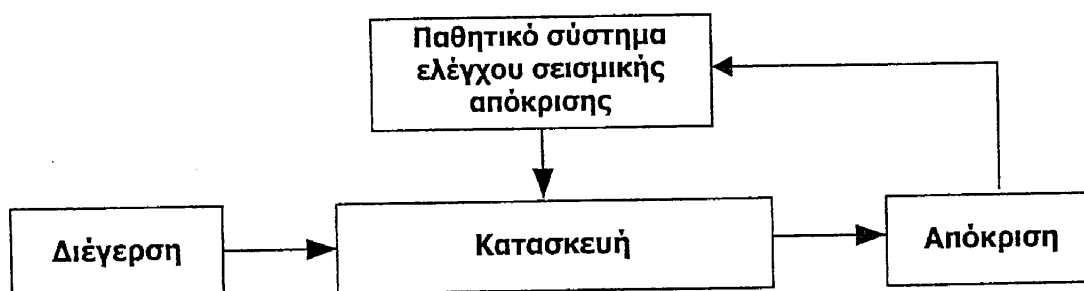
Τα Συστήματα Ελέγχου Δυναμικής Απόκρισης των κατασκευών, με κριτήριο το αν απαιτούν εξωτερική πηγή ενέργειας προκειμένου να ενεργοποιηθούν (τεθούν σε λειτουργία), όπως και το μέγεθος αυτής, διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: παθητικά, ενεργητικά και ημι-ενεργητικά συστήματα.

Αντίστοιχα, κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες περιλαμβάνει συστήματα σεισμικής μόνωσης, συστήματα απόσβεσης ενέργειας και υβριδικά συστήματα.

1.10.1 Παθητικά συστήματα Ελέγχου Σεισμικής Απόκρισης

Τα παθητικά συστήματα ελέγχου σεισμικής απόκρισης δεν απαιτούν εξωτερική πηγή ενέργειας προκειμένου να τεθούν σε λειτουργία και ενεργοποιούνται με την απόκριση (κίνηση / παραμόρφωση) του φορέα.

Τα παθητικά συστήματα έχουν ως στόχο τη δραστική μείωση των αδρανειακών δυνάμεων και των παραμορφώσεων που επιβάλλονται στην κατασκευή κατά τη σεισμική διέγερση, ελαχιστοποιώντας ή αποτρέποντας την γένεση βλαβών σ' αυτή. Διαχωρίζονται σε συστήματα σεισμικής μόνωσης, συστήματα απόσβεσης ενέργειας και υβριδικά συστήματα.



Σχήμα 1: Στοιχεία παθητικών συστημάτων ελέγχου σεισμικής απόκρισης

Συστήματα σεισμικής μόνωσης εφαρμόζονται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης του έργου (μεταξύ ανωδομής και υποδομής) και πραγματοποιούν «εκτροπή και απορρόφηση» της σεισμικής ενέργειας μέσω της ευκαμψίας και της ικανότητας απόσβεσης ενέργειας που διαθέτουν.

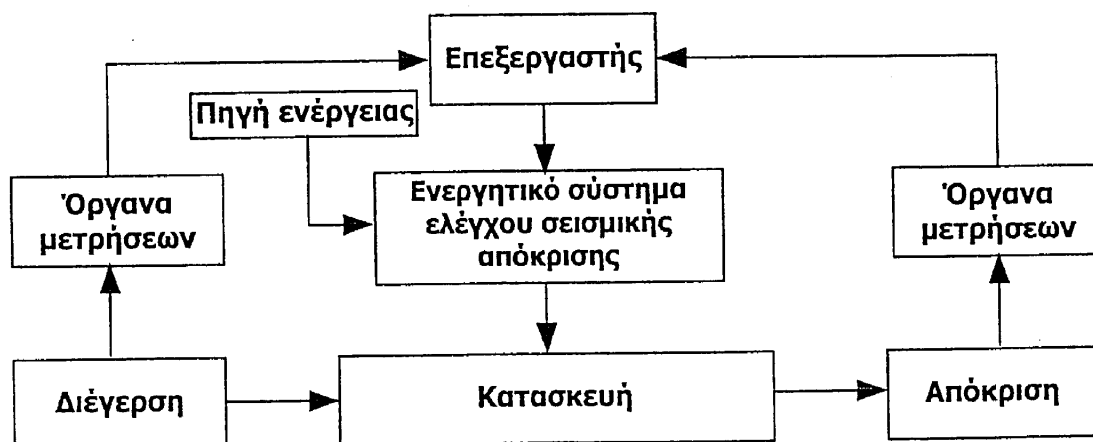
Συστήματα απόσβεσης ενέργειας κατανέμονται συνήθως τόσο στην κάτοψη όσο και καθ' ύψος της κατασκευής και μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του φορέα λόγω σεισμικής δράσης, σε θερμότητα.

Υβριδικά συστήματα σεισμικής μόνωσης προκύπτουν είτε από τον συνδυασμό εφεδράνων και αποσβεστήρων είτε από τον συνδυασμό διαφορετικών τύπων εφεδράνων. Παθητικά συστήματα απόσβεσης ενέργειας τα οποία προκύπτουν από συνδυασμό διαφόρων τύπων συσκευών απόσβεσης ενέργειας (υβριδικά συστήματα απόσβεσης ενέργειας) δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα.

1.10.2 Ενεργητικά Συστήματα Ελέγχου Σεισμικής Απόκρισης

Κεντρική ιδέα των ενεργητικών συστημάτων ελέγχου σεισμικής απόκρισης είναι η δυνατότητα τροποποίησης (αλλαγής) της δυναμικής συμπεριφοράς της κατασκευής μέσω ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ελέγχου, (το οποίο αποτελείται από αισθητήρες, συσκευές ελέγχου και ηλεκτρο-υδραυλικούς μηχανισμούς) το οποίο επιβάλλει δυνάμεις ή μετατοπίσεις στην κατασκευή βάσει μετρήσεων της απόκρισής της (τροποποίηση της απόσβεσης, τροποποίηση της δυσκαμψίας της κατασκευής).

Οι ηλεκτρο-υδραυλικοί μηχανισμοί επιβάλλουν δυνάμεις ή μετατοπίσεις στην κατασκευή, οι οποίες υπολογίζονται βάσει μετρήσεων της απόκρισης της κατασκευής.



Σχήμα 2: Στοιχεία ενεργητικών συστημάτων ελέγχου σεισμικής απόκρισης

Οι μετρήσεις της απόκρισης της κατασκευής πραγματοποιούνται από αισθητήρες, οι οποίοι μεταβιβάζουν τις καταγραφές στον υπολογιστή ελέγχου. Ο υπολογιστής επεξεργάζεται τα σήματα αυτά, υπολογίζει βάσει προκαθορισμένου αλγορίθμου τις δυνάμεις / μετατοπίσεις που πρέπει να επιβληθούν στην κατασκευή και στέλνει τα αντίστοιχα σήματα στους ηλεκτρο-υδραυλικούς μηχανισμούς, θέτοντάς τους σε λειτουργία.

Τα ενεργητικά συστήματα ελέγχου απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας προερχόμενα από εξωτερική πηγή προκειμένου να ενεργοποιηθούν.

Τα ενεργητικά συστήματα ελέγχου, παρ' ότι θεωρητικά παρέχουν ικανοποιητικότερο έλεγχο της απόκρισης της κατασκευής από τα παθητικά, μέχρι σήμερα δεν έχουν εφαρμοσθεί για την αντισεισμική προστασία τεχνικών έργων. Τούτο οφείλεται σε δυο βασικούς λόγους: αφενός γιατί η επιβολή δυνάμεων στην κατασκευή μέσω ηλεκτρο-υδραυλικών μηχανισμών απαιτεί υψηλό ποσό ενέργειας (από δεκάδες kilowatts για μικρές κατασκευές μέχρι αρκετά megawatts για μεγαλύτερες) και αφ' ετέρου γιατί είναι σύνθετα και απαιτούν διαρκή επισκόπηση και συντήρηση ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία τους.

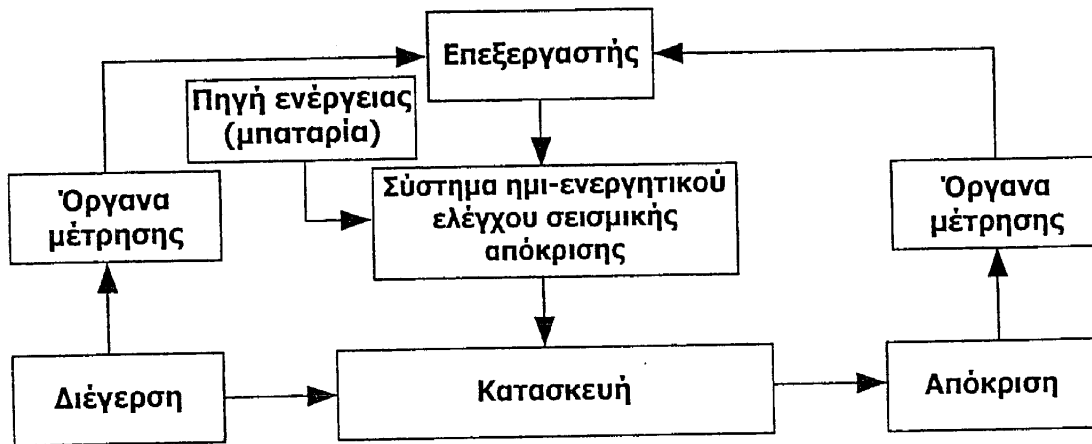
1.10.3 Ημι-ενεργητικά Συστήματα Ελέγχου Σεισμικής Απόκρισης

Ημι-ενεργητικά συστήματα έχουν ως στόχο τη δραστική μείωση των αδρανειακών δυνάμεων και των παραμορφώσεων που επιβάλλονται στην κατασκευή κατά τη σεισμική διέγερση, ελαχιστοποιώντας ή αποτρέποντας την γένεση βλαβών σ' αυτή. Σε ένα ημι-ενεργητικό σύστημα ελέγχου, ο καθορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων του συστήματος (απόσβεση ή/και δυσκαμψία) είναι αποτέλεσμα τόσο της ίδιας της απόκρισης της κατασκευής (όπως στα παθητικά συστήματα) όσο και μετρήσεων της απόκρισης οι οποίες καταγράφονται μέσω αισθητήρων και μεταφέρονται σε υπολογιστή ελέγχου (όπως στα ενεργητικά συστήματα). Εκεί, οι καταγραφές μετατρέπονται σε κατάλληλο σήμα μέσω προκαθορισμένου αλγόριθμου, από όπου στη συνέχεια μεταφέρονται στο ημι-ενεργητικό σύστημα και στην κατασκευή.

Τα ημι-ενεργητικά συστήματα ελέγχου απαιτούν μικρά ποσά ενέργειας προερχόμενα από εξωτερική πηγή προκειμένου να ενεργοποιηθούν (λίγες δεκάδες watts).

Επειδή οι δυνάμεις σε ένα ημι-ενεργητικό σύστημα πάντοτε αντιτίθενται στην φορά της κίνησης της κατασκευής, το σύστημα παρουσιάζεται πιο ευσταθές από το ενεργητικό.

Ημι-ενεργητικά συστήματα ελέγχου, μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να διατηρήσουν προκαθορισμένα επίπεδα απόσβεσης ή/και δυσκαμψίας, ακόμη και για πλήρη διακοπή παροχής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή το ημι-ενεργητικό σύστημα μετατρέπεται σε παθητικό. Χωρίζονται σε συστήματα μόνωσης, συστήματα απόσβεσης ενέργειας και υβριδικά συστήματα.



Σχήμα 2: Στοιχεία ημι-ενεργητικών συστημάτων ελέγχου σεισμικής απόκρισης

1.11 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Για την σεισμική μόνωση τεχνικών έργων χρησιμοποιούνται -κατά συντριπτική πλειονότητα- δύο είδη εφεδράνων (βλ. Κεφάλαια 1-4 & 1-5 σχετικά με τις εφαρμογές της σεισμικής μόνωσης): Ελαστομεταλλικά εφέδρανα, και εφέδρανα ολισθήσεως.

1.11.1 ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα κατασκευάζονται από επάλληλους εναλλασσόμενους δίσκους οπλισμού από χάλυβα, και στρώσεις ελαστομερούς υλικού. Για την αγκύρωση του εφεδράνου στην ανωδομή και υποδομή, το εφέδρανο φέρει επάνω και κάτω, μια βάση στήριξης από χάλυβα, ενώ περιμετρικά ο μονωτήρας περιβάλλεται από ένα προστατευτικό μανδύα από ελαστομερές υλικό. Συνήθως, λόγω της απαίτησης ότι το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να έχει τα ίδια χαρακτηριστικά προς κάθε οριζόντια κατεύθυνση, οι μονωτήρες έχουν κυλινδρική μορφή.

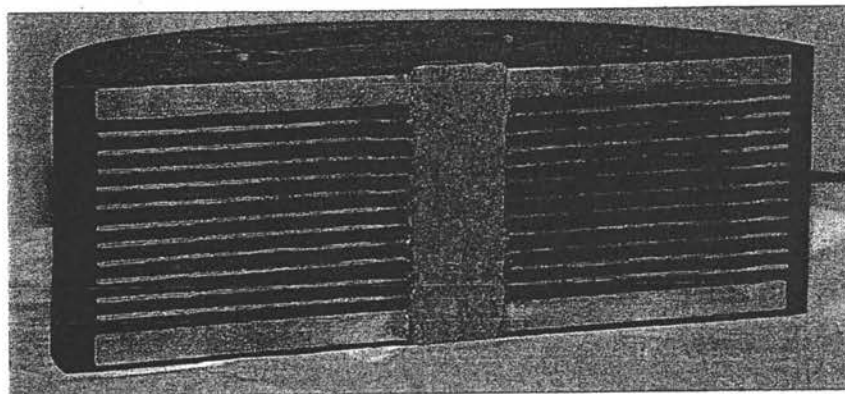
Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τα οποία χρησιμοποιούνται για την σεισμική μόνωση είναι τριών τύπων: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης, ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης και εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου.

Στα ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης προσδίδεται η υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας που απαιτείται για την σεισμική μόνωση του έργου με κατάλληλη χημική σύνθεση του ελαστομερούς μείγματος.

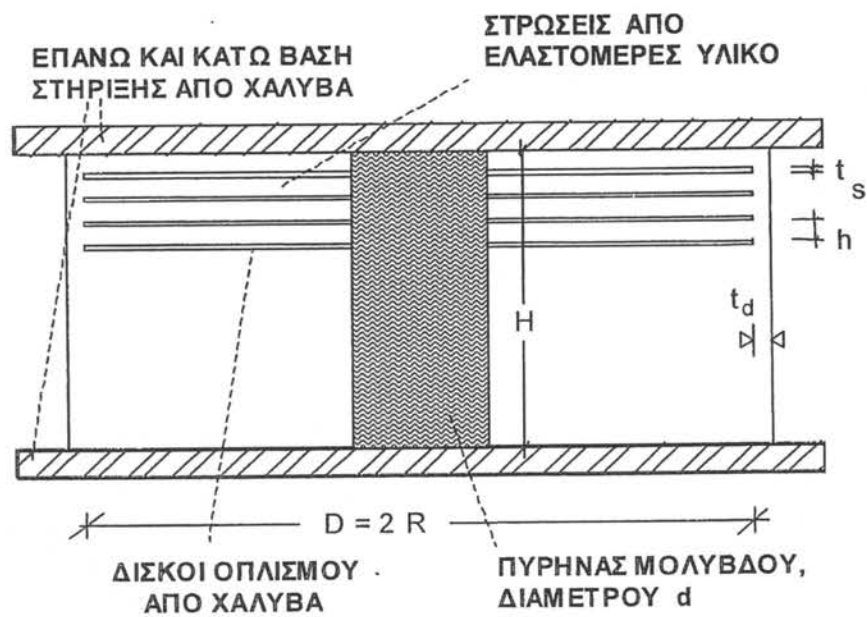
Για την κατασκευή ελαστομεταλλικών εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης, ως ελαστομερές υλικό χρησιμοποιείται φυσικό καουτσούκ. Τα εφέδρανα αυτού του τύπου διαθέτουν χαμηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και συνεπώς, για τον περιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης εντός πρακτικών ορίων, τα εφέδρανα αυτά συνδυάζονται με κάποιον τύπο αποσβεστήρα ενέργειας.

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται φωτογραφία της τομής ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου, ενώ στο Σχήμα 2 δίδεται σχηματική αναπαράσταση της τομής αυτής και γίνεται αναφορά στα στοιχεία που συνθέτουν το εφέδρανο. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ένα ιδεατό διάγραμμα (μαθηματικό μοντέλο) της σχέσης «Οριζόντια δύναμη-Παραμόρφωση» ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου.

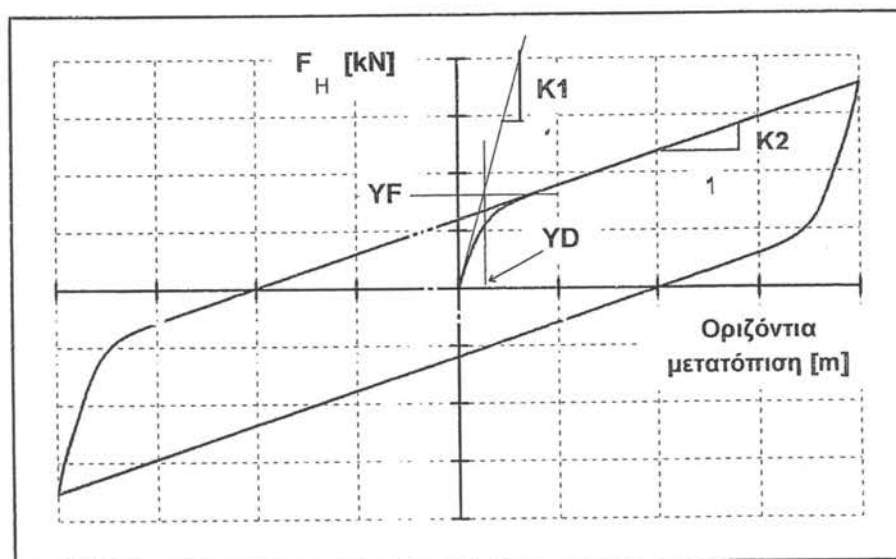
Για την κατασκευή ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου, ως ελαστομερές υλικό χρησιμοποιείται φυσικό καουτσούκ. Την υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας όπως και την υψηλή ελαστική (αρχική) δυσκαμψία, την προσδίδει στο εφέδρανο ο πυρήνας μολύβδου ο οποίος τοποθετείται στο κέντρο του.



Εικόνα 1 (1.11.1): Τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου.



Σχήμα 2 (1.11.1): Τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου.



Σχήμα 3 (1.11.1): Ιδεατό διάγραμμα της σχέσης «Οριζόντια δύναμη-Μετατόπιση» ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου.

1.11.2 ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ

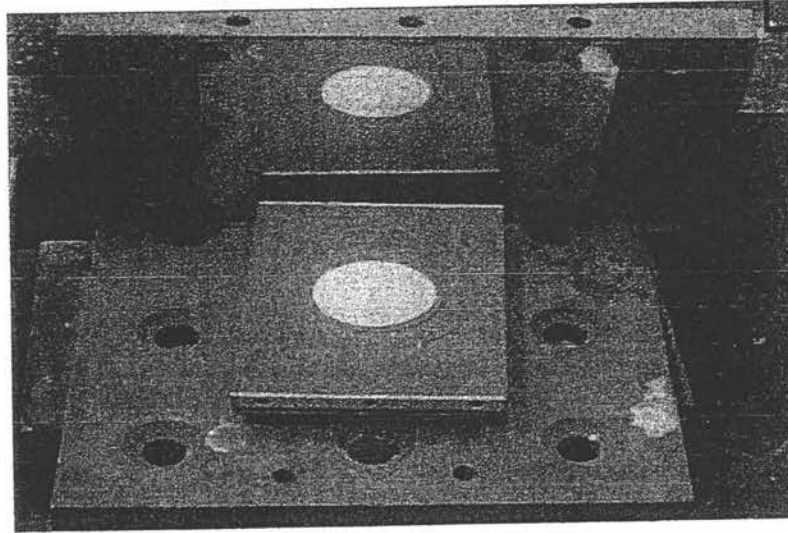
Τα εφέδρανα ολισθήσεως που χρησιμοποιούνται για την σεισμική μόνωση κατασκευών είναι δύο ειδών: επίπεδα και σφαιρικά.

Τα επίπεδα εφέδρανα ολίσθησης δεν διαθέτουν δυνάμεις επαναφοράς. Κατά συνέπεια για την σεισμική μόνωση ενός έργου συνδυάζονται με κάποιο τύπο μονωτήρα ο οποίος διαθέτει την απαιτούμενη ικανότητα να επαναφέρει την ανωδομή στην πριν από το σεισμό θέση της.

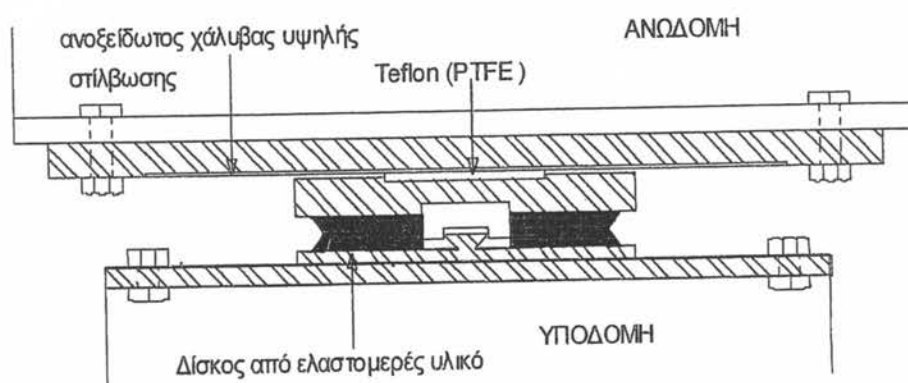
Οι σφαιρικοί μονωτήρες ολίσθησης (FPS) διαθέτουν δυνάμεις επαναφοράς, κατασκευάζονται εξ' ολοκλήρου από χάλυβα, και αποτελούνται από τρία τμήματα: από τον «κοίλο δίσκο έδρασης», από τον «δίσκο έδρασης του ημισφαιρικού τμήματος ολίσθησης», και από το «ημισφαιρικό τμήμα ολίσθησης». Το ημισφαιρικό τμήμα ολίσθησης κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα, και οι κυρτές επιφάνειες ολίσθησης φέρουν επένδυση ενός συνθετικού υλικού, του οποίου κύριο υλικό είναι το PTFE. Η σφαιρική, κοίλη επιφάνεια ολίσθησης του μονωτήρα έχει καμπυλότητα R, και είναι επενδυμένη με υψηλής στίλβωσης, ανοξείδωτο χάλυβα. Η υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας που απαιτείται για την σεισμική μόνωση του έργου, επιτυγχάνεται με την τριβή ολίσθησης του ημισφαιρικού τμήματος ολίσθησης επί του κοίλου δίσκου έδρασης.

Στην Εικόνα 1 (1.11.2) απεικονίζεται φωτογραφία της τομής ενός επίπεδου σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης, ανοιγμένου προς επίδειξη, και στο Σχήμα 1 (1.11.2) δίδεται σχηματική αναπαράσταση της τομής του εφεδράνου και γίνεται αναφορά στα στοιχεία που το συνθέτουν. Στο Σχήμα 2 (1.11.2) παρουσιάζεται ένα ιδεατό διάγραμμα (μαθηματικό μοντέλο) της σχέσης «Οριζόντια δύναμη-Μετατόπιση» ενός επίπεδου σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης.

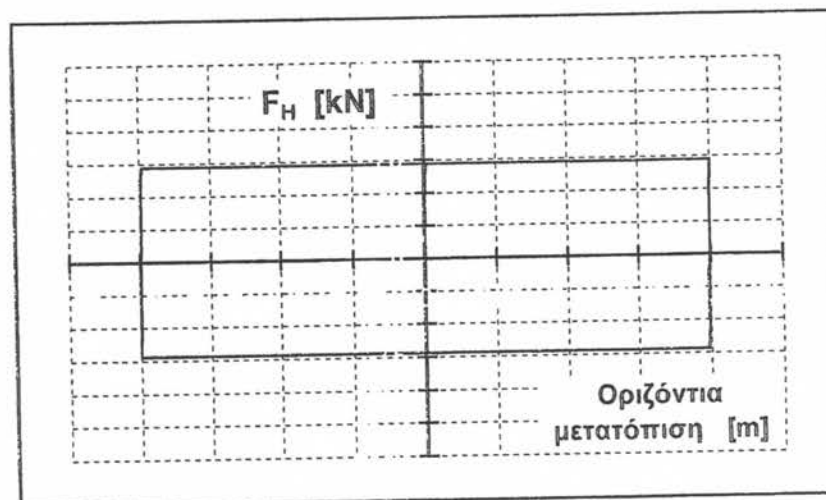
Στην Εικόνα 2 (1.11.2) παρουσιάζεται φωτογραφία ενός σφαιρικού σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης (FPS), ανοιγμένου προς επίδειξη, και στο Σχήμα 3 (1.11.2) δίδεται σχηματική αναπαράσταση της τομής του εφεδράνου και γίνεται αναφορά στα στοιχεία που το συνθέτουν. Στο Σχήμα 4 (1.11.2) παρουσιάζεται ένα ιδεατό διάγραμμα (μαθηματικό μοντέλο) της σχέσης «Οριζόντια δύναμη-Μετατόπιση» ενός σφαιρικού σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης (FPS).



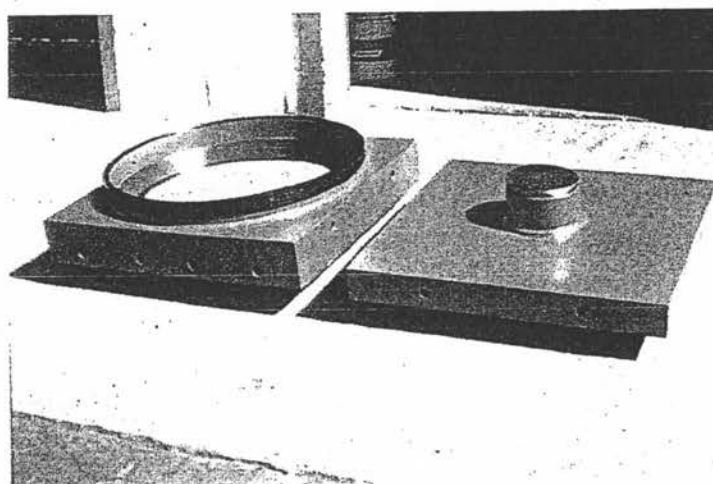
Εικόνα 1 (1.11.2): Φωτογραφία επίπεδου σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης, ανοιγμένου προς επίδειξη. Στο άνω μέρος της φωτογραφίας διακρίνεται η πλάκα ολίσθησης ανοξείδωτου χάλυβα υψηλής στίλβωσης (μέσα στον οποίο καθρεπτίζεται το κάτω τμήμα του εφεδράνου).



Σχήμα 1 (1.11.2): Τομή επίπεδου σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης με ελαστομερή βάση.



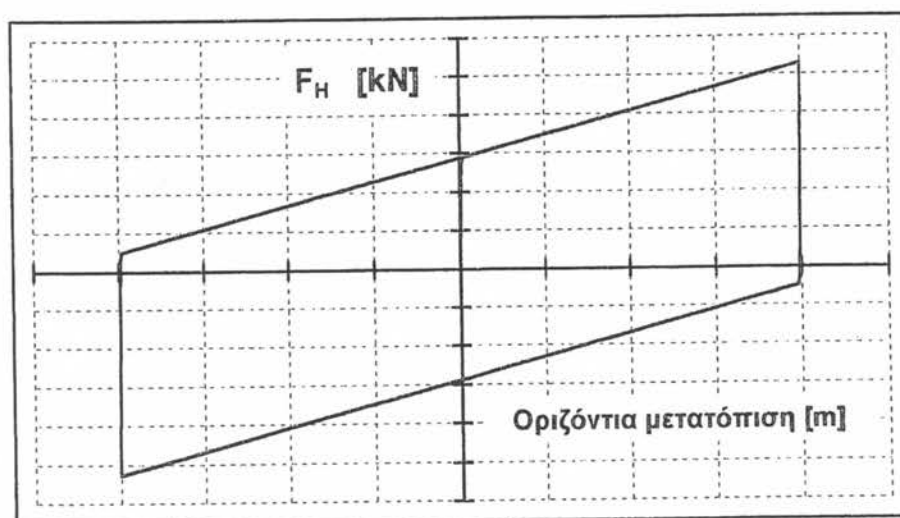
Σχήμα 2 (1.11.2): Ιδεατό διάγραμμα της σχέσης «Οριζόντια δύναμη -Μετατόπιση» ενός επίπεδου σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης.



Εικόνα 2 (1.11.2): Φωτογραφία σφαιρικού σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης (FPS), ανοιγμένου προς επίδειξη.



Σχήμα 3 (1.11.2): Τομή σφαιρικού σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης (FPS)



Σχήμα 4 (1.11.2): Ιδεατό διάγραμμα της σχέσης «Οριζόντια δύναμη -Μετατόπιση» ενός σφαιρικού σεισμικού μονωτήρα ολίσθησης (FPS).

1.12 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Γενικά, οι παθητικές συσκευές απόσβεσης ενέργειας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- α) Εξαρτώμενες από την μετακίνηση,
- β) Εξαρτώμενες από την ταχύτητα φόρτισης και
- γ) Λοιπές συσκευές

1.12.1 Αποσβεστήρες εξαρτώμενοι από την μετακίνηση

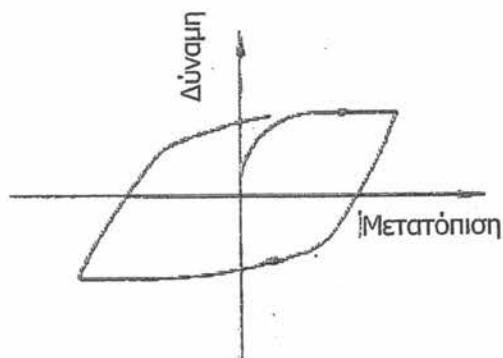
Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι αποσβεστήρες οι οποίοι διαθέτουν υστερητική συμπεριφορά. Η σχέση οριζόντιας δύναμης-μετατόπισης των συστημάτων αυτών είναι περίπου ανεξάρτητη από την ταχύτητα φόρτισής τους (δηλ. την ταχύτητα της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης/ σχετικής μετακίνησής των άκρων τους) και κατά κύριο λόγο εξαρτάται από το εύρος της μετακίνησης.

Παραδείγματα αποσβεστήρων υστερητικής συμπεριφοράς είναι π.χ. μεταλλικές κατασκευές ή διατάξεις οι οποίες υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενη κάμψη ή στρέψη, τέτοια ώστε η ροπή φόρτισης να υπερβαίνει την ροπή διαρροής του επιπονούμενου, (συνήθως) μεταλλικού στοιχείου, πλαστιμής συμπεριφοράς, της συσκευής. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η ενέργεια διαχέεται ανά κύκλο φορτίσεως υπό μορφή θερμότητας λόγω της μετελαστικής παραμόρφωσης του επιπονούμενου, πλαστιμού στοιχείου του αποσβεστήρα.

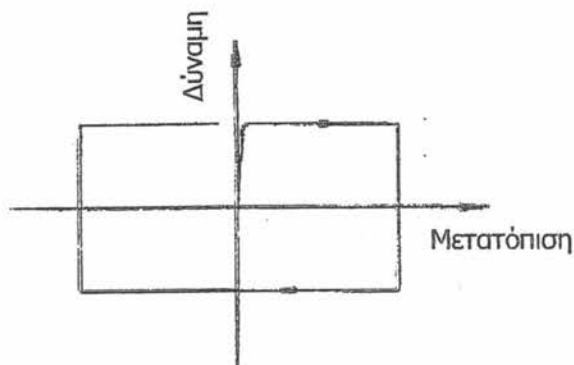
Στο Σχήμα 1.12.1α απεικονίζεται τυπικό ιδεατό διάγραμμα της σχέσης “οριζόντια δύναμη-μετατόπιση” συσκευών απόσβεσης ενέργειας μεταλλικού τύπου.

Άλλο παράδειγμα αποσβεστήρων υστερητικής συμπεριφοράς είναι π.χ. αποσβεστήρες ολίσθησης. Στους αποσβεστήρες αυτού του τύπου, η ενέργεια διαχέεται ανά κύκλο φορτίσεως υπό μορφή θερμότητας λόγω της τριβής ολίσθησης τμημάτων του αποσβεστήρα.

Στο Σχήμα 1.12.1β απεικονίζεται τυπικό ιδεατό διάγραμμα της σχέσης “Οριζόντια δύναμη-Μετατόπιση” συσκευών απόσβεσης ενέργειας τύπου ολίσθησης.

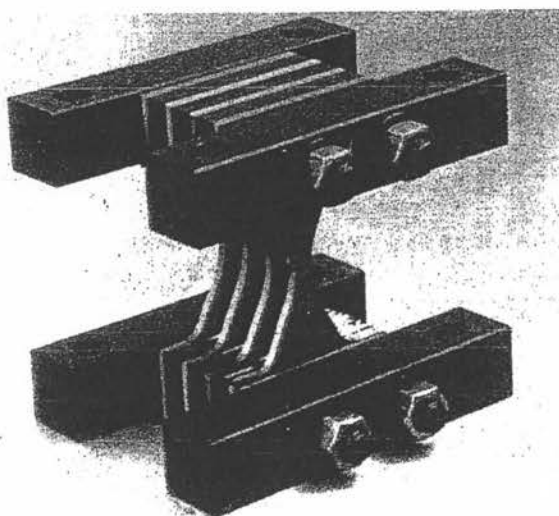


Σχήμα 1.12.1α:
Αποσβεστήρας πλάστιμης συμπεριφοράς π.χ. Διαρρέουσα Μεταλλική Διάταξη

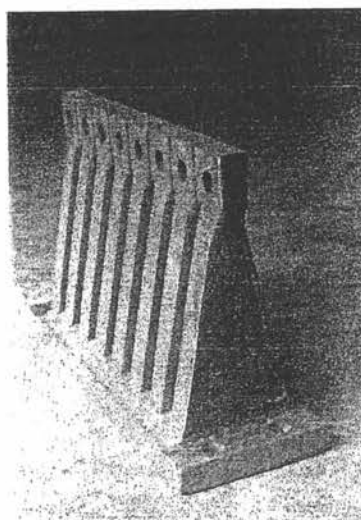


Σχήμα 1.12.1β:
Αποσβεστήρας ολίσθησης

Σχήματα 1.12.1α & 1.12.1β: Τυπικά ιδεατά διαγράμματα της σχέσης "Οριζόντια Δύναμη-Μετατόπιση" των αποσβεστήρων των οποίων τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την μετακίνηση.



Φωτογραφία 1: Μεταλλικός αποσβεστήρας πλάστιμης συμπεριφοράς, σχήματος «X» (ADAS). Added Damping and Stiffness Element



Φωτογραφία 2: Μεταλλικός αποσβεστήρας πλάστιμης συμπεριφοράς, τριγωνικού σχήματος (TADAS). Triangular ADAS Element

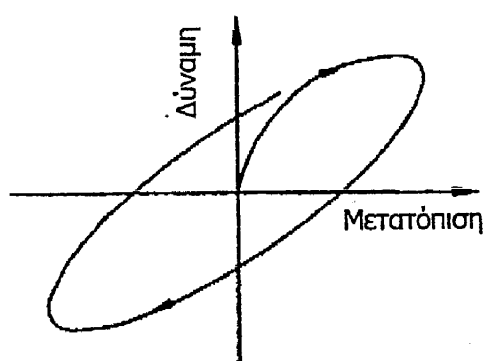
1.12.2 Αποσβεστήρες εξαρτώμενοι από την ταχύτητα φόρτισης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αποσβεστήρες οι οποίοι διαθέτουν ιξώδη ή ιξοελαστική συμπεριφορά. Η σχέση οριζόντιας δύναμης-μετατόπισης των συστημάτων αυτών είναι περίπου ανεξάρτητη από το εύρος της σχετικής μετακίνησης των άκρων τους. Η απόκρισή τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης/ σχετικής μετακίνησης των άκρων τους. Παραδείγματα αποσβεστήρων ιξοελαστικής συμπεριφοράς είναι π.χ. είτε συσκευές στις οποίες στερεά υλικά με ιξοελαστική συμπεριφορά υποβάλλονται σε διατμική επιπόνηση, είτε συσκευές στις οποίες υγρά που χαρακτηρίζονται από ιξοελαστική συμπεριφορά υποβάλλονται σε παραμόρφωση π.χ. Viscous Damping Wall: Τοιχία-αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς (Φωτογραφίες 3a, 3b, 3c, 3d).

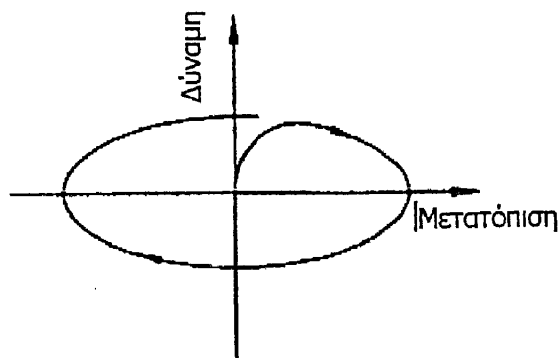
Στο σχήμα 1.12.2α απεικονίζεται τυπικό ιδεατό διάγραμμα της σχέσης "οριζόντια δύναμη-μετατόπιση" αυτού του είδους αποσβεστήρων.

Αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς είναι π.χ. συσκευές στις οποίες υγρά (σιλικονοειδή υγρά, ελαίου) εξαναγκάζονται να ρέυσουν μέσα σε υδραυλικούς κυλίνδρους, διαμέσου λεπτών οπών, οι οποίες βρίσκονται στην κεφαλή του εμβόλου του υδραυλικού κυλίνδρου (π.χ. viscous fluid damper: αποσβεστήρας υγρού ιξώδους συμπεριφοράς).

Στο σχήμα 1.12.2β απεικονίζεται τυπικό ιδεατό διάγραμμα της σχέσης "οριζόντια δύναμη-μετατόπιση" αυτού του είδους αποσβεστήρων.

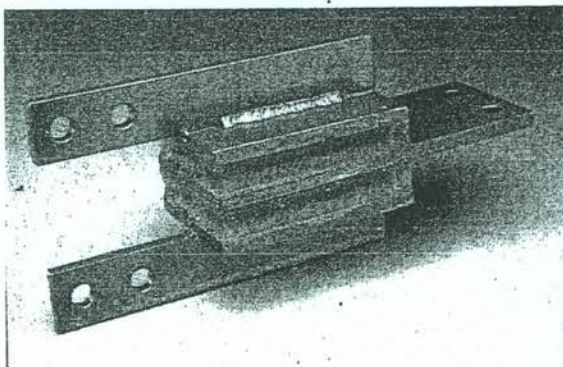


Σχήμα 1.12.2α:
Αποσβεστήρας στερεού υλικού
ιξοελαστικής συμπεριφοράς



Σχήμα 1.12.2β:
Αποσβεστήρας υγρού τύπου
(ελαίου) ιξώδους συμπεριφοράς

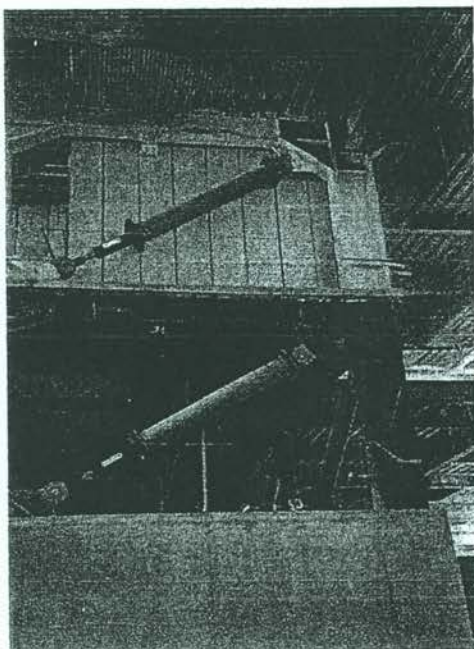
Σχήματα 1.12.2α & 1.12.2β: Τυπικά ιδεατά διαγράμματα της σχέσης "Οριζόντια Δύναμη-Μετατόπιση" των αποσβεστήρων των οποίων τα χαρακτηριστικά εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα φόρτισης.



Φωτογραφία 3α: Αποσβεστήρας στερεού υλικού ιξοελαστικής συμπεριφοράς



Φωτογραφία 3β: Τοιχίο-αποσβεστήρας ιξώδους συμπεριφοράς



Φωτογραφία 3c: Αποσβεστήρες σε διαγώνια διάταξη

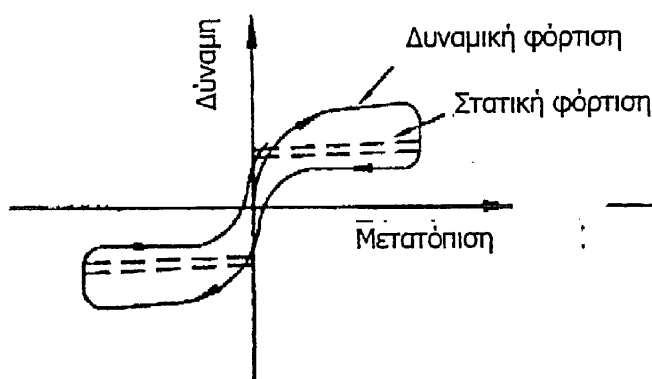


Φωτογραφία 3d: Αποσβεστήρες υγρού τύπου (σιλικονούχου ελαίου) ιξώδους συμπεριφοράς

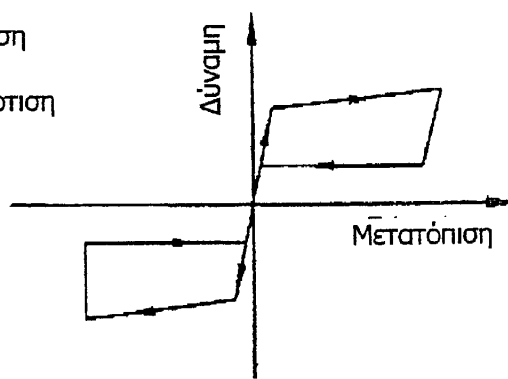
1.12.3 Λοιποί Αποσβεστήρες

Οι αποσβεστήρες αυτού του τύπου έχουν χαρακτηριστικά τα οποία δεν επιτρέπουν την ταξινόμησή τους σε μια από τις δύο παραπάνω κατηγορίες.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν π.χ. αποσβεστήρες οι οποίοι αποτελούνται από διατάξεις ελατηρίων και συσκευών ολίσθησης και οι οποίες διαθέτουν δυνάμεις επαναφοράς. Επίσης, στην κατηγορία αυτή ανήκουν αποσβεστήρες υγρού οι οποίοι διαθέτουν δυνάμεις επαναφοράς. Για περισσότερες πληροφορίες, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο έργο των M. C. Constantinou, Song & Dargush. Στα σχήματα 1.12.3α και 1.12.3β απεικονίζονται τυπικά ιδεατά διαγράμματα της σχέσης "οριζόντια δύναμη-σχετική μετατόπιση άκρων" αυτού του είδους αποσβεστήρων.



Σχήμα 1.12.3α:
Αποσβεστήρας υγρού
με δυνάμεις επαναφοράς



Σχήμα 1.12.3β:
Αποσβεστήρας ολίσθησης-ελατηρίων με
δυνάμεις επαναφοράς

Σχήματα 1.12.3α & 1.12.3β: Τυπικά ιδεατά διαγράμματα της σχέσης "Οριζόντια Δύναμη-Μετατόπιση" αποσβεστήρων οι οποίοι διαθέτουν ικανότητα (δύναμη) επαναφοράς.

1.13 ΣΥΜΒΟΛΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ του συστήματος Σ.Μ. κατά μια κύρια διεύθυνση είναι η μέγιστη μετακίνηση κατά τη διεύθυνση αυτή του κέντρου δυσκαμψίας υπό τη σεισμική δράση σχεδιασμού.

ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ του συστήματος μόνωσης είναι η τιμή της ιξώδους απόσβεσης, η οποία αντιστοιχεί στην ενέργεια που απορροφάται από το σύστημα σεισμικής μόνωσης κατά τη διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης στη μετακίνηση σχεδιασμού.

ΕΝΕΡΓΟΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ του συστήματος σεισμικής μόνωσης κατά μια κύρια διεύθυνση είναι ο λόγος της τιμής της συνολικής οριζόντιας δύναμης η οποία μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης κατά τη μετακίνηση σχεδιασμού στην ίδια διεύθυνση, ως προς την απόλυτη τιμή αυτής της μετακίνησης σχεδιασμού

ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΣ είναι η θεμελιώδης περίοδος στην υπό μελέτη διεύθυνση ενός μονοβάθμιου συστήματος ταλάντωσης, το οποίο έχει ως μάζα, την μάζα της ανωδομής και δυσκαμψία ίση με την ενεργό δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ είναι το σύνολο των (φερόντων) στοιχείων του συστήματος μόνωσης που συμμετέχουν στην ανάληψη των οριζοντίων φορτίσεων πλην των σεισμικών και που προσδίδουν στο σύστημα μόνωσης την απαιτούμενη υψηλή αρχική (ελαστική) δυσκαμψία. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι ενσωματωμένο στα εφέδρανα του συστήματος μόνωσης ή να είναι ένας ξεχωριστός μηχανισμός (διάταξη).

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ είναι το σύνολο των φερόντων στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της σεισμικής μόνωσης του έργου. Τα στοιχεία αυτά κατανέμονται στη διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης. Σε κατασκευές όπως κτίρια, δεξαμενές και σιλό, η διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης συνήθως εντοπίζεται στη βάση της κατασκευής. Σε γέφυρες, το σύστημα σεισμικής μόνωσης συνδυάζεται συνήθως με τα εφέδρανα, και η διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης εντοπίζεται μεταξύ του καταστρώματος και των ακροβάθρων/ μεσοβάθρων της γέφυρας.

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ (OFFSET) ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ είναι η οριζόντια μετατόπιση (ή μετατόπιση στο οριζόντιο επίπεδο) του σεισμικού μονωτήρα ως αποτέλεσμα ερπυσμού, συστολή ξήρανσης και 50% της μετατόπισης λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.

ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ είναι τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν το σύστημα σεισμικής μόνωσης ενός έργου. Κάθε μονωτήρας παρέχει είτε μία είτε συνδυασμό των παρακάτω λειτουργιών:

- Ανάληψη κατακόρυφων φορτίων, σε συνδυασμό με μειωμένη δυσκαμψία στο οριζόντιο επίπεδο και υψηλή δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση).
- Απόδοση ενέργειας είτε ιξώδους είτε υστερητικής μορφής
- Επαναφορά του δομήματος στην πριν τον σεισμό θέση του
- Περιορισμός της οριζόντιας μετατόπισης του δομήματος (επαρκής ελαστική δυσκαμψία) υπό οριζόντιες, μη-σεισμικές δράσεις λειτουργίας

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ είναι η μέγιστη πλευρική μετατόπιση του μονωτήρα λόγω σεισμικής δράσης, όπως προκύπτει από την ανάλυση και είναι αυτή που υπεισέρχεται στο σχεδιασμό του συστήματος Σ.Μ. Η συνολική μετατόπιση σχεδιασμού περιλαμβάνει την οριζόντια μετατόπιση το Κέντρου Δυσκαμψίας d_i καθώς και τη συνιστώσα της στρεπτικής μετατόπισης κατά τη διεύθυνση υπολογισμού.

ΥΠΟΔΟΜΗ (ΕΣ): το τμήμα (τα τμήματα) της κατασκευής που βρίσκονται κάτω από την διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης. Στα κτίρια, δεξαμενές και παρόμοιες κατασκευές, η οριζόντια δυσκαμψία) του συστήματος μόνωσης είναι αμελητέα σε σύγκριση με την οριζόντια δυσκαμψία) της υποδομής. Στις γέφυρες πρόκειται συνήθως για τα μεσόβαθρα και ακρόβαθρα. Η ευκαμψία των υποδομών στο οριζόντιο επίπεδο πρέπει κατά κανόνα να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό.

ΑΝΩΔΟΜΗ: το τμήμα της κατασκευής που βρίσκεται πάνω από τη διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης. Στις γέφυρες αυτό το τμήμα είναι συνήθως το κατάστρωμα

ΚΕΝΤΡΟ ΕΝΕΡΓΟΥ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ: εἶναι το κέντρο της δυσκαμψίας στο άνω μέρος της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης που προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπ' όψη τις πραγματικές δυσκαμψίες τόσο των μονωτήρων όσο και της υποδομής. Σε κτίρια, δεξαμενές και παρόμοιες κατασκευές η υποδομή μπορεί γενικά να θεωρηθεί άκαμπτη, και τότε το σημείο αυτό συμπίπτει με το κέντρο δυσκαμψίας των μονωτήρων. Στις γέφυρες προσδιορίζεται υπό την παραδοχή άκαμπτης ανωδομής αλλά λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική δυσκαμψία των μονωτήρων και της υποδομής

A = Συντελεστής Εδαφικής Επιτάχυνσης

A_b = Είναι η ενεργός επιφάνεια του ελαστομεταλλικού εφεδράνου, δηλαδή η κοινή επιφάνεια του ελαστομερούς και της χαλύβδινης πλάκας, αφαιρούμενης της επιφάνειας των οπών.

A_r = Είναι η μειωμένη ενεργός επιφάνεια του ελαστομεταλλικού εφεδράνου λόγω της διατμητικής παραμόρφωσης.

B = Αριθμητικός συντελεστής σχετικά με την ενεργό απόσβεση του συστήματος μόνωσης, όπως αναφέρεται στον Πίνακα Νο2 (κεφάλαιο 7)

DL = Μόνιμο φορτίο

d = Συνολική σχετική μετατόπιση του καταστρώματος ως προς το έδαφος (**$d_t + d_{sub}$**)

d_{dc} είναι η μετακίνηση σχεδιασμού του κέντρου ενεργού δυσκαμψίας στην υπό μελέτη διεύθυνση

d_i = Μετατόπιση σχεδιασμού του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος Σ.Μ. κατά τη διεύθυνση υπολογισμού.

d_{di} είναι η μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα i στην υπό μελέτη διεύθυνση

d_s = Διατμητική παραμόρφωση του σεισμικού μονωτήρα που περιλαμβάνει ερπυστικά φαινόμενα, συστολή λόγω ξήρανσης και 50% της παραμόρφωσης λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών

d_{sub} = Μετατόπιση της υποδομής ως προς το έδαφος

d_t = Συνολική μετατόπιση σχεδιασμού

E = Μέτρο Ελαστικότητας του ελαστομερούς υλικού

D_{ei} Αποδοθείσα (αποσβεσθείσα) ενέργεια ανά κύκλο φόρτισης του μονωτήρα i στην μετακίνηση σχεδιασμού **d_{dc}**

EDC = Η απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο φόρτισης (εμβαδόν βρόχου υστέρησης)

F = Ισοδύναμη στατική σεισμική φόρτιση

F_A = Δρώσα δύναμη σχεδιασμού σε συνδέσμους γεφυρών για σεισμική απόκριση κατηγορίας A (SPC A)

F_i = Δύναμη που δρα στο μονωτήρα για επιβαλλόμενη μετατόπιση **d_i**

F_n = Μέγιστη δύναμη αρνητικής φοράς που δρα στο μονωτήρα κατά τη διάρκεια δοκιμαστικής φόρτισης ενός κύκλου

$F_{n, max}$ = Μέγιστη δύναμη στο μονωτήρα, αρνητικής φοράς, που δρα κατά το σύνολο των κύκλων δοκιμαστικής φόρτισης, για κοινό επιβαλλόμενο εύρος μετατόπισης

$F_{n, min}$ =Ελάχιστη δύναμη στο μονωτήρα, αρνητικής φοράς, που δρα κατά τη διάρκεια του συνόλου των κύκλων δοκιμαστικής φόρτισης, υπό κοινό για όλους τους κύκλους επιβαλλόμενο εύρος μετατόπισης

F_p =Μέγιστη δύναμη στο μονωτήρα, θετικής φοράς, που δρα κατά τη διάρκεια ενός μόνο κύκλου δοκιμαστικής φόρτισης

$F_{p, max}$ =Μέγιστη δύναμη στον μονωτήρα, θετικής φοράς, που δρα κατά τη διάρκεια του συνόλου των κύκλων δοκιμαστικής φόρτισης, υπό κοινό για όλους τους κύκλους επιβαλλόμενο εύρος μετατόπισης

$F_{p, min}$ =Ελάχιστη δύναμη θετικής φοράς που δρα στο μονωτήρα κατά τη διάρκεια του συνόλου των κύκλων δοκιμαστικής φόρτισης, υπό κοινό για όλους τους κύκλους επιβαλλόμενο εύρος μετατόπισης

G =Μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς υλικού

g =Επιτάχυνση της βαρύτητας

\bar{k} =Σταθερά του ελαστομερούς υλικού

ΣΧΟΛΙΟ : \bar{k} = σταθερά του υλικού αναφορικά με τη σκληρότητά του

K =Μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης του ελαστομερούς (κεφάλαιο 14)

K_d =Η δεύτερη [?] εφαπτομενική δυσκαμψία της διγραμμικής καμπύλης υστέρησης
 K_{eff} είναι η ενεργός δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης στην κύρια, οριζόντια, υπό μελέτη διεύθυνση για μετακίνηση ίση με τη μετακίνηση σχεδιασμού d_{dc}

K_{eff} =Το άθροισμα των ενεργών δυσκαμψιών (οι οποίες υπολογίστηκαν με γραμμική ανάλυση) όλων των φερόντων στοιχείων της υποδομής που στηρίζουν την ανωδομή, για επιβαλλόμενες μετατοπίσεις d_i στο στοιχείο μόνωσης και d_{sub} στην υποδομή

$K_{eff,i}$ είναι η ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα i του συστήματος μόνωσης, υπό τις ίδιες συνθήκες όπως παραπάνω

k_{eff} = Ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα όπως προκύπτει από πειραματική διερεύνηση

k_{max} = Μέγιστη ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα για επιβαλλόμενη μετατόπιση ίση με τη μετατόπιση σχεδιασμού κατά την οριζόντια διεύθυνση υπολογισμού

k_{min} = Ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα για επιβαλλόμενη μετατόπιση ίση με τη μετατόπιση σχεδιασμού κατά την οριζόντια διεύθυνση υπολογισμού

LL =Κινητό φορτίο

LL_s =Κινητό φορτίο όπως λαμβάνεται υπ' όψη στο σχεδιασμό σε περίπτωση σεισμικής διέγερσης

ΣΧΟΛΙΟ : **LL_s** = Τα σεισμικό κινητό φορτίο μπορεί να θεωρηθεί από τον Μηχανικό ως ένα ποσοστό του συνολικού κινητού φορτίου που λαμβάνεται υπ' όψη κατά το σχεδιασμό της κατασκευής. Τυπικά τα κινητά φορτία δε λαμβάνονται υπ' όψη στην ομάδα φόρτισης VII του κανονισμού AASHTO. Επειδή όμως οι Σ.Μ. κατασκευές είναι πολύ πιο εύκαμπτες, η επιπρόσθετη μάζα που αντιστοιχεί σε κινητό φορτίο είναι πιθανό να πρέπει να συνυπολογιστεί κατά το σχεδιασμό τους

OT =Επιπρόσθετο κατακόρυφο φορτίο στο μονωτήρα εξ' αιτίας της ροπής ανατροπής που δημιουργείται από τις οριζόντιες δυνάμεις

P =Μέγιστο κατακόρυφο φορτίο που προκύπτει ως ο συνδυασμός του νεκρού (μόνιμου) και του κινητού φορτίου (συμπεριλαμβανομένου και του σεισμικού κινητού φορτίου **LL_s** εάν αυτό υπάρχει) με συντελεστή **$g = 1$**

Q_d =Χαρακτηριστική αντοχή του σεισμικού μονωτήρα. Είναι η τεταγμένη του βρόγχου υστέρησης για μηδενική μετατόπιση του μονωτήρα (τετμημένη ίση με το 0) βλ. σχ. C1-4

S_f =Αριθμητικός συντελεστής αναφορικά με το εδαφικό προφίλ θεμελίωσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-1 για Σ.Μ. κατασκευές

S =Συντελεστής αναφορικά με τον τόπο ανέγερσης της κατασκευής, όπως διευκρινίστηκε στο άρθρο 3.5.1 του κανονισμού AASHTO Standard Specifications (Ενότητα I –A, κεφάλαιο 5)

S =Γεωμετρικός συντελεστής (κεφάλαιο 14)

S_A =Φασματική επιτάχυνση

S_D =Φασματική μετατόπιση

T_{eff} =Ενεργός ιδιοπερίοδος της σεισμικά μονωμένης κατασκευής [σε δευτερόλεπτα] για την διεύθυνση υπολογισμού

T_r =Συνολικό πάχος των στρωμάτων του μονωτήρα που αποτελούνται από ελαστομερές υλικό

t_i =Πάχος του ελαστομερούς στρώματος i [ισοδυναμεί με το συμβολισμό **h_H** του άρθρου 14.3 του κανονισμού AASHTO Standard Specifications (Ενότητα I)]

W είναι το βάρος της μάζας της ανωδομής

W =Συνολικό κατακόρυφο φορτίο που λαμβάνει μέρος στο σχεδιασμό συστήματος
Σ.Μ. ($DL + LL_s$)

Δ_n =Μέγιστη προς τα αρνητικά μετατόπιση ενός μονωτήρα κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου δοκιμαστικής φόρτισης

Δ_p =Η μέγιστη προς τα θετικά μετατόπιση ενός μονωτήρα κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου δοκιμαστικής φόρτισης

Δ_s =Διατμητική (γωνιακή) παραμόρφωση του μονωτήρα λόγω μετατόπισης της ανωδομής από μη σεισμικά αίτια, όπως ερπυστικά φαινόμενα, συστολή ξήρανσης, θερμοκρασιακές μεταβολές

β = Η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση του συστήματος Σ.Μ.

β_i = Η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση του ενός μονωτήρα

γ_c =Διατμητική (γωνιακή) παραμόρφωση εξ' αιτίας κατακορύφων φορτίων

$\gamma_{c,eq}$ =Διατμητική παραμόρφωση εξ' αιτίας της συνολικής σεισμικής μετατόπισης σχεδιασμού d_t

$\gamma_{s,s}$ =Διατμητική (γωνιακή) παραμόρφωση που οφείλεται στη μέγιστη οριζόντια μετατόπιση εξ' αιτίας ερπυστικών φαινομένων, μετεντατικών καταστάσεων [?], συστολής ξήρανσης και θερμοκρασιακών μεταβολών οι οποίες προκύπτουν από τη διαφορά της θερμοκρασίας τοποθέτησης του συστήματος και της ανώτατης ή κατώτατης μη επιθυμητής εξωτερικής θερμοκρασίας

γ_r =Διατμητική (γωνιακή) παραμόρφωση εξ' αιτίας της επιβαλλόμενης στροφής

θ =Γωνία στροφής του μονωτήρα

$\lambda_{max}, \lambda_{min}$ =Διορθωτικοί συντελεστές που εξισορροπούν τις ασάφειες των ιδιοτήτων του συστήματος Σ.Μ. σχετικά με τις επιδράσεις των θερμοκρασιακών μεταβολών, τη γήρανση, την τραχύτητα, την ταχύτητα και την ποικιλία των υλικών κατασκευής του (κεφάλαιο 8.2)

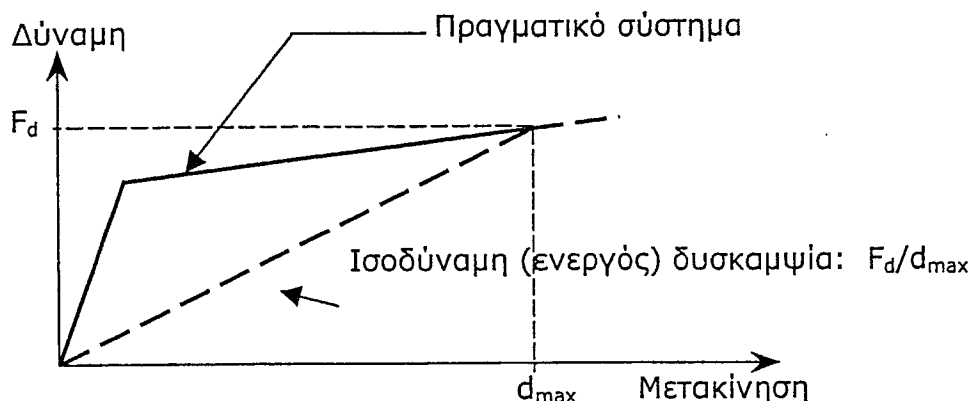
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

2.1 Γενικά

Οι μονάδες σεισμικής μόνωσης (μονωτήρες) έχουν κατά κανόνα μη-γραμμική συμπεριφορά. Κατά συνέπεια είναι προφανές ότι, από τις μεθόδους ανάλυσης κατασκευών με σεισμική μόνωση, εκείνη που μπορεί να έχει γενική εφαρμογή είναι η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονο-ιστορίας).

Όμως, η παρεμβολή σεισμικών μονωτήρων στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης προσθέτει ένα βάθμο ελευθερίας μετάθεσης, σε κάθε μία από τις δύο οριζόντιες κύριες διευθύνσεις, ο οποίος - επίσης κατά κανόνα - διαθέτει πολύ μειωμένη δυσκαμψία σε σχέση με τους άλλους βαθμούς ελευθερίας του στατικού συστήματος, με στόχο να επιτυγχάνεται αύξηση της περιόδου στην αντίστοιχη διεύθυνση. Αυτό έχει ως συνέπεια, οι αντίστοιχες πρώτες ιδιομορφές ταλάντωσης (ιδιομορφές που αντιστοιχούν στην σεισμική μόνωση) να δεσπόζουν εντονότερα των υπολοίπων ιδιομορφών της μονωμένης κατασκευής, σε σύγκριση με την σχέση που θα υπήρχε ανάμεσα στην πρώτη και τις υπόλοιπες ιδιομορφές της ίδιας, μη σεισμικά μονωμένης, κατασκευής. Επί πλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι είναι σκόπιμο, και επιβάλλεται από πολλούς σύγχρονους κανονισμούς, η μη γραμμική σεισμική απόκριση να περιορίζεται στο σύστημα σεισμικής μόνωσης. Δηλαδή η υπόλοιπη κατασκευή να παραμένει ουσιαστικά ελαστική.

Υπό τις προαναφερόμενες συνθήκες, η δυναμική απόκριση μιας σεισμικά μονωμένης κατασκευής μπορεί – κατά κανόνα - να προσεγγιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια σε κάθε διεύθυνση, με ένα προσομοίωμα απλού ταλαντωτή (μονοβάθμο σύστημα) αποτελούμενο από την συνολική μάζα της ανωδομής, που συνδέεται με το έδαφος μέσω της (μη-γραμμικής) δυσκαμψίας του συστήματος της σεισμικής μόνωσης (και της υποδομής) μόνον. Η σεισμική απόκριση αυτού του, έστω και έντονα μη-γραμμικού, συστήματος μπορεί να υπολογιστεί εύκολα αλλά προσεγγιστικά, από το φάσμα σεισμικού σχεδιασμού, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της *φασματικής ανάλυσης πρώτης ιδιομορφής* με την βοήθεια *ισοδύναμης (γραμμικής) δυσκαμψίας* του συστήματος σεισμικής μόνωσης και *ισοδύναμης (εξώδους) απόσβεσης*. Είναι φανερό ότι σε ένα μη-γραμμικό σύστημα τα δύο αυτά μεγέθη πρέπει να προσδιορίζονται με διαδοχικές προσεγγίσεις, που είναι σκόπιμο να βασίζονται σε διαδοχικές εκτιμήσεις της μέγιστης σεισμικής μετακίνησης d_{max} (βλέπε Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Διγραμμικό προσομοίωμα της μη-γραμμικής συμπεριφοράς μονάδων σεισμικής μόνωσης και ισοδύναμη (ενεργός) δυσκαμψία

2.2 Φασματική ανάλυση πρώτης ιδιομορφής

2.2.1 Ανάλυση συστήματος σεισμικής μόνωσης

Για την εφαρμογή της μεθόδου είναι σκόπιμο να δοθούν οι ακόλουθοι ορισμοί:

Ισοδύναμο κέντρο δυσκαμψίας είναι το κέντρο δυσκαμψίας στην άνω πλευρά της διεπιφάνειας μόνωσης, με θεώρηση της ανωδομής ως απολύτως στερεής αλλά λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκαμψίες των μονωτήρων και της υποδομής. Στην περίπτωση των κτιρίων η υποδομή μπορεί κατά κανόνα να θεωρηθεί απολύτως στερεή. Αυτό όμως δεν αποτελεί τον κανόνα στις γέφυρες.

Μετακίνηση σχεδιασμού (d_d) του συστήματος σεισμικής μόνωσης σε μια κύρια διεύθυνση είναι η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση, του ισοδύναμου κέντρου δυσκαμψίας στην διεύθυνση αυτή υπό την σεισμική δράση σχεδιασμού.

Ενεργός δυσκαμψία (K_{eff}) του συστήματος σεισμικής μόνωσης σε μια κύρια διεύθυνση είναι ο λόγος της συνολικής οριζόντιας δύναμης που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης, την στιγμή που αναπτύσσεται η μετακίνηση σχεδιασμού, προς την απόλυτη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού (επιβατική δυσκαμψία).

Ενεργός περίοδος (T_{eff}) είναι η πρώτη ιδιοπερίοδος στην εξεταζόμενη διεύθυνση ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με μάζα ίση με την μάζα της ανωδομής και δυσκαμψία ίση με την ισοδύναμη δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

Ενεργός απόσβεση (ξ_{eff}) του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι η τιμή του λόγου ιξώδους απόσβεσης που αντιστοιχεί στην ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα σεισμικής μόνωσης σε έναν κύκλο απόκρισης στην μετακίνηση σχεδιασμού.

Έστω ότι:

- Η ανωδομή έχει βάρος W_d και, επομένως, μάζα $\frac{W_d}{g}$
- Το σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελείται από i μονάδες, που κάθε μία έχει ενεργό δυσκαμψία $K_{eff,i}$ στην εξεταζόμενη διεύθυνση. Τότε η ενεργός δυσκαμψία του συστήματος είναι

$$K_{eff} = \sum K_{eff,i} \quad (2.1)$$

- Η ισοδύναμη περίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W_d}{gK_{eff}}} \quad (2.2)$$

- Το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού (φασματική επιτάχυνση S_e) ορίζεται συνήθως από τους κανονισμούς (πχ prEN 1998-1), με μια συνάρτηση της μορφής:

$$S_e = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot f(T_{eff}) \quad (2.3)$$

όπου:

a_g : είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού (σε βράχο)

S : είναι παράμετρος που εξαρτάται από το υπέδαφος

$\eta = \eta(\xi_{eff})$ είναι συντελεστής επίδρασης της απόσβεσης ξ_{eff}

f : συντελεστής φασματικής ενίσχυσης (μεγέθυνσης), ο οποίος δίδεται ως συνάρτηση της ενεργού περιόδου T_{eff}

Για την συνάρτηση $\eta(\xi_{eff})$ δίνονται διάφορες εκφράσεις από διάφορους κανονισμούς. Η κλασική σχέση που έχει προταθεί από τους Newmark-Hall

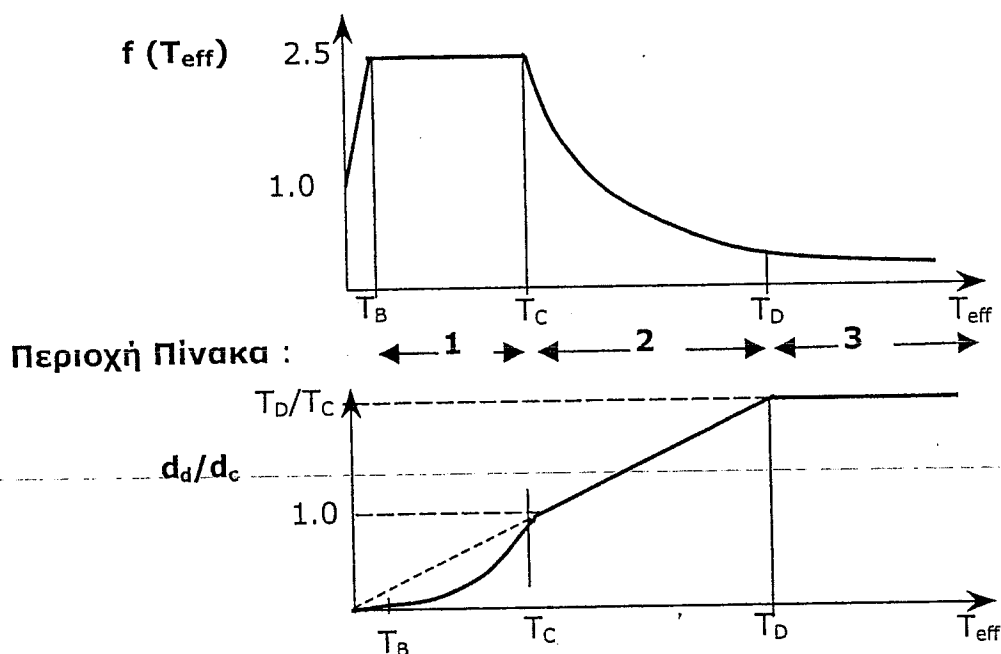
$$\eta = 1.4 - 0.2485 \cdot \ln(100\xi_{eff}) \quad (2.4)$$

δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα ακόμα και για υψηλές τιμές του ξ_{eff} (≤ 1.00)

Η συνάρτηση φασματικής μεγέθυνσης $f(T_{eff})$, σύμφωνα με το prEN1998-1, έχει τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 1, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται το T_{eff} , σε συσχέτιση με τις περιόδους T_B , T_C και T_D που χαρακτηρίζουν το υπέδαφος.

Πίνακας 1: Συναρτήσεις φασματικής μεγέθυνσης $f(T_{eff})$ και φασματικής μετακίνησης d_d

A/A	T_{eff}	Φασματική Μεγέθυνση $f(T_{eff})$	Φασματική Μετακίνηση d_d/d_c
1	$T_B \leq T_{eff} \leq T_C$	$f = 2.5$	$\left(\frac{T_{eff}}{T_C}\right)^2$
2	$T_C \leq T_{eff} \leq T_D$	$f = 2.5 \frac{T_C}{T_{eff}}$	$\frac{T_{eff}}{T_C}$
3	$T_D \leq T_{eff}$	$f = 2.5 \frac{T_C T_D}{T_{eff}^2}$	$\frac{T_D}{T_C}$



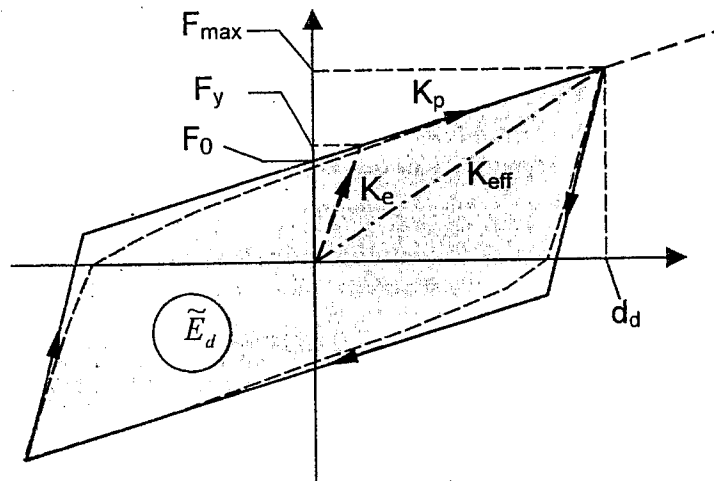
Σχήμα 2.2: Διαγράμματα μεταβολής συντελεστή φασματικής μεγέθυνσης $f(T_{eff})$ και φασματικής μετακίνησης d_d/d_c

- Η ισοδύναμη απόσβεση μπορεί να υπολογιστεί από την έκφραση

$$\xi_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum \tilde{E}_{d,i}}{K_{eff} d_d^2} \right] \quad (2.5)$$

όπου $\tilde{E}_{d,i}$ είναι ενέργεια που αποσβένεται από την μονάδα σεισμικής μόνωσης i , σε έναν πλήρη κύκλο παραμόρφωσης στην μετακίνηση σχεδιασμού d_d (βλέπε Σχήμα 2.3). Η ενέργεια αυτή ισούται με την επιφάνεια E_d που περικλείεται μέσα στον

βρόχο του προαναφερθέντος πλήρους κύκλου παραμόρφωσης, και προκύπτει από τις κατάλληλες δοκιμές του μονωτήρα.



Σχήμα 2.3: Διγραμμικό προσομοίωμα της μη-γραμμικής συμπεριφοράς μονάδων σεισμικής μόνωσης και ενεργός δυσκαμψία

Από τα προηγούμενα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

- Μετακίνηση σχεδιασμού d_d
Ο λόγος d_d/d_c δείχνεται στον Πίνακα 1 ανάλογα με την περιοχή της T_{eff} , όπου

$$d_c = \frac{0.625a_g}{\pi^2} \eta S T_C^2 \quad (2.6)$$

Σημειώνεται ότι η συνήθης περιοχή T_{eff} σε σεισμικά μονωμένες κατασκευές βρίσκεται μέσα στην περιοχή 2 του Πίνακα 1, δηλαδή $T_C < T_{eff} \leq T_D$

- Μέγιστη επιτάχυνση

$$\frac{S_e}{g} = \frac{a_g}{g} \times S \times \eta f(T_{eff}) \quad (2.7)$$

Οι τιμές του $f(T_{eff})$ φαίνονται στον Πίνακα 1.

Τα διαγράμματα μεταβολής των f και d_d/d_c δείχνονται στο σχήμα 2.2 αντίστοιχα.

- Μέγιστη σεισμική τέμνουσα στην διεπιφάνεια μόνωσης

$$V_d = W_d \frac{S_e}{g} \quad (2.8)$$

Είναι φανερό ότι σε ουσιαστικά μη-γραμμικά συστήματα, οι τιμές των K_{eff} και ξ_{eff} (και επομένως και του T_{eff}) εξαρτώνται από την ζητούμενη μετακίνηση σχεδιασμού d_d . Επομένως η ανάλυση πρέπει να γίνεται με διαδοχικά βελτιούμενες προσεγγίσεις

του d_d , μέχρι να επιτευχθεί επαρκώς χαμηλή απόκλιση μεταξύ υποτιθείσας και προκύπτουσας τιμής (π.χ. $<5\%$).

Η μέθοδος είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την προμελέτη σεισμικής μόνωσης αλλά και για εκ των υστέρων χονδρικό έλεγχο των αποτελεσμάτων των ακριβέστερων μεθόδων των ακολουθών παραγράφων.

2.2.2 Ανάλυση ανωδομής και υποδομής

Η ανάλυση της ανωδομής και της υποδομής γίνεται σε κάθε κύρια διεύθυνση, με την μέθοδο της ισοδύναμης στατικής φόρτισης, με βάση την μέγιστη σεισμική τέμνουσα στην διεπιφάνεια μόνωσης, όπως προκύπτει από την σχέση (2.8).

Σε κτίρια, η συνολική σεισμική τέμνουσα V_d στην διεπιφάνεια μόνωσης σε κάθε διεύθυνση, κατανέμεται στο ύψος της ανωδομής, όπως καθορίζεται από τον ισχύοντα κανονισμό για μη-μονωμένα κτίρια (συνήθως κατανομή ανεστραμμένου τριγώνου).

Οι προκύπτουσες ροπές ανατροπής, λαμβάνονται υπόψη για τον έλεγχο τόσο της ανωδομής και υποδομής, όσο και των μονωτήρων.

2.3 Φασματική ανάλυση περισσότερων ιδιομορφών

Με την μέθοδο αυτή μπορεί να επιδιωχθεί βελτίωση των αποτελεσμάτων της προαναφερθείσας μεθόδου, σε περιπτώσεις όπου εκτιμάται ότι υπάρχει σημαντική συμβολή υψηλότερων ιδιομορφών, στην σεισμική απόκριση.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου πρέπει να γίνεται με επαρκή ακρίβεια η προσομοίωση:

- Της χωρικής κατανομής των μονωτήρων και της επίδρασης των αξονικών δυνάμεων από ροπή ανατροπής
- Των μεταφορικών κινήσεων στις δύο κύριες διευθύνσεις και της στροφής της ανωδομής περί κατακόρυφο άξονα.

Στην περίπτωση γεφυρών, πρέπει επίσης να αποδίδεται με επαρκή ακρίβεια η επίδραση της παραμόρφωσης της ανωδομής σε κάτοψη.

Η ισοδύναμη απόσβεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης επιτρέπεται να χρησιμοποιείται εν γένει μόνον στην συμβολή ιδιομορφών με περίοδο T μεγαλύτερη του $0.8 \cdot T_{eff}$ ($T \geq 0.8 \cdot T_{eff}$). Για τις υπόλοιπες ιδιομορφές πρέπει να χρησιμοποιείται η χαμηλή τιμή της απόσβεσης που αντιστοιχεί σε συμβατική κατασκευή (χωρίς σεισμική μόνωση).

2.4 Μη-γραμμική Δυναμική Ανάλυση (χρονο-ιστορία)

Είναι φανερό ότι με την μέθοδο αυτή μπορούν να συλληφθούν και να αποδοθούν στα αποτελέσματα, επιδράσεις παραγόντων που εξ' ορισμού είναι αδύνατο να αποδοθούν με τις προηγούμενες μεθόδους. Αυτό όμως θα επιτευχθεί στον βαθμό που θα το επιτρέψει μια επιτυχημένη προσομοίωση. Μια τέτοια προσομοίωση πρέπει κατά συνέπειαν να αποδίδει με επαρκή ακρίβεια, πέραν των ιδιοτήτων του συστήματος που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.3, και τις ακόλουθες που αφορούν κυρίως το σύστημα σεισμικής μόνωσης:

- Η σχέση δύναμης-παραμόρφωσης πρέπει να αποδίδεται με επαρκούς ακρίβειας προσομοίωση όλων των κλάδων ενός πλήρους βρόχου, έτσι ώστε, εκτός από την επαρκή προσέγγιση της σχέσης δύναμης-μετακίνησης, να προκύπτει και επαρκής προσέγγιση της ενέργειας που αποδίδεται σε κάθε βρόχο (επιφάνεια E_d της σχέσης (2.5) βλέπε και Σχ. 2.3).
- Αν χρησιμοποιούνται μονάδες σεισμικής μόνωσης των οποίων η συμπεριφορά μεταβάλλεται ουσιαστικά με :
 - τον ρυθμό επιβολής της φόρτισης
 - το μέγεθος του σύγχρονου αξονικού φορτίου
 - το μέγεθος του σύγχρονου οριζόντιου φορτίου στην εγκάρσια διεύθυνση

οι επιδράσεις αυτές πρέπει να προσομοιωθούν κατάλληλα στα μοντέλα των μονωτήρων.

Σημειώνεται πάντως ότι, εφόσον τηρηθεί η αρχή του περιορισμού της ανελαστικής συμπεριφοράς μόνον στις μονάδες της σεισμικής μόνωσης, το χρησιμοποιούμενο προσομοίωμα απλοποιείται ουσιαστικά, καθώς περιορίζεται σημαντικά το πλήθος των μη-γραμμικών στοιχείων.

3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

3.1 Βασικές απαιτήσεις

Οι βασικές απαιτήσεις της σεισμικής μόνωσης είναι καταρχήν οι ίδιες με εκείνες που διέπουν τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών, χωρίς σεισμική μόνωση.

Ειδικότερα όμως για το σύστημα μόνωσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, σε αντίθεση με ό,τι κατά κανόνα πιστεύεται ότι συμβαίνει στα πλάστιμα και λοιπά στοιχεία των σεισμικά μή-μονωμένων κατασκευών, οι μονάδες σεισμικής μόνωσης δεν διαθέτουν πρόσθετη δυνατότητα μετακίνησης πέραν της συνολικής μετακίνησης σχεδιασμού, τα δε περιθώρια υπεραντοχής που μπορεί να διαθέτουν δεν είναι αξιοποιήσιμα για την αποφυγή της γενικότερης αστοχίας του συστήματος.

Είναι συνεπώς απαραίτητο ο σχεδιασμός του συστήματος σεισμικής μόνωσης να διαθέτει σημαντικά αυξημένη αξιοπιστία, σε σύγκριση με εκείνην του σχεδιασμού σεισμικά μή-μονωμένων κατασκευών, αλλά και με εκείνη της ανωδομής ή υποδομής της σεισμικά μονωμένης κατασκευής.

Αυτό επιτυγχάνεται με τον σχεδιασμό του συστήματος σεισμικής μόνωσης μόνον (όχι της ανωδομής και υποδομής) με σεισμό σχεδιασμού μεγαλύτερης περιόδου επανάληψης (π.χ. 2000-2400 χρόνια, σε σχέση με τα 475 χρόνια που συνήθως χρησιμοποιούνται στις άλλες κατασκευές).

3.2 Γενικά κριτήρια συμμόρφωσης

3.2.1 Μεταβλητότητα παραμέτρων συστήματος σεισμικής μόνωσης

Για να ληφθεί υπόψη η μεταβλητότητα των παραμέτρων του συστήματος σεισμικής μόνωσης (δυσκαμφιών και απόσβεσης), ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται με βάση άνω και κάτω όρια των παραμέτρων. Από το άνω όριο των παραμέτρων προκύπτουν εν γένει οι μέγιστες δυνάμεις στην ανωδομή/υποδομή και στο σύστημα σεισμικής μόνωσης, και από το κάτω όριο οι μέγιστες μετακινήσεις.

3.2.2 Ανωδομή/Υποδομή

Είναι σκόπιμο τόσο η ανωδομή όσο και η υποδομή να παραμένουν ουσιαστικά στην ελαστική περιοχή υπό τον σεισμό σχεδιασμού.

Εφόσον, όπως προαναφέρθηκε, έχει ληφθεί υπόψη άνω και κάτω όριο των παραμέτρων σεισμικής μόνωσης, δεν απαιτείται εφαρμογή ικανοτικού σχεδιασμού στην ανωδομή και υποδομή.

Εφόσον η ανωδομή υπόκειται σε όρια παραμόρφωσης υπό τον σεισμό σχεδιασμού ή υπό συχνότερο σεισμό μικρότερης έντασης, τα ίδια όρια πρέπει να τηρούνται και στις σεισμικά μονωμένες κατασκευές. Στις τελευταίες πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι λόγω της εν γένει μή-γραμμικής απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης, τα μεγέθη παραμόρφωσης δεν μπορούν να προκύψουν κατ' αναλογία προς την σεισμική επιτάχυνση. Τα μεγέθη αυτά υπό τον χαμηλότερο σεισμό θα πρέπει να προσδιοριστούν τουλάχιστον με εφαρμογή της φασματικής μεθόδου πρώτης ιδιομορφής.

3.2.3 Ανάλυση μή-σεισμικών δυνάμεων

Ανάλογα με τα προαναφερθέντα ισχύουν και για περιορισμούς μετακίνησης υπό μή-σεισμική φόρτιση (ανεμοπείση, τροχοπέδηση σε γέφυρες ιδιαίτερα τις σιδηροδρομικές). Εναλλακτικά, είναι δυνατή η πρόβλεψη συνδέσμων που αναλαμβάνουν τις μή-σεισμικές δυνάμεις στη διεπιφάνεια μόνωσης, οι οποίοι διαρρέουν ή αστοχούν πέραν του ανώτατου επιπέδου των δυνάμεων αυτών, οπότε ενεργοποιείται το σύστημα σεισμικής μόνωσης.

3.2.4 Δύναμη επαναφοράς

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να παρέχει μία ελάχιστη δύναμη επαναφοράς. Αυτό θεωρείται ότι επιτυγχάνεται όταν η δύναμη επαναφοράς στην μετακίνηση σχεδιασμού (d_d) υπερβαίνει τουλάχιστον κατά $0.025W_d$ την δύναμη επαναφοράς που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $0.5d_d$.

3.2.5 Πυρασφάλεια

Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να προστατεύεται έναντι πυρκαϊάς με τον ίδιο βαθμό προστασίας που πρέπει να εξασφαλίζεται στα κύρια φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

4. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

4.1 Επίδραση του περιβάλλοντος, θερμοκρασίας και γήρανσης, και μεταβλητότητα ιδιοτήτων

Οι ιδιότητες των μονάδων σεισμικής μόνωσης (μονωτήρων) ποικίλουν αναπόφευκτα λόγω κατασκευαστικών διαφορών, γήρανσης, φθοράς, ιστορικού φόρτισης, θερμοκρασίας κλπ. Αυτές οι διαφορές ενδεχομένως να μεταβάλλουν την ενεργό ιδιοπερίοδο και ενεργό απόσβεση του συστήματος μόνωσης οιαδήποτε εξ αυτών θα επηρεάσει την δυναμική απόκριση της μονωμένης κατασκευής. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο έργο του Constantinou, κ.α., (1999) για μια λεπτομερή παρουσίαση των επιδράσεων του περιβάλλοντος, της θερμοκρασίας, της γήρανσης, του ιστορικού φόρτισης, κλπ, στις μηχανικές ιδιότητες (χαρακτηριστικά) των μονωτήρων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται με συντομία οι επιδράσεις αυτές.

4.1.1 Μεταβλητότητα

Οι μηχανικές ιδιότητες μονάδων σεισμικής μόνωσης παρουσιάζουν μια μεταβλητότητα στις τιμές τους ως αποτέλεσμα της φυσικής διακύμανσης των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται και ως αποτέλεσμα της ποιότητας κατασκευής τους. Σε μια συγκεκριμένη ομάδα μεμονωμένων μονωτήρων είναι σύνηθες να υπάρχουν ιδιότητες, όπως η μετελαστική δυσκαμψία (δυστημψία) ή η χαρακτηριστική αντοχή, οι οποίες να αποκλίνουν κατά $\pm 25\%$ από τις μέσες τιμές μεταξύ των δοκιμαζόμενων μονωτήρων.

4.1.2 Γήρανση

Γήρανση είναι η επιδείνωση ή γενικότερα η μεταβολή των ιδιοτήτων με την πάροδο του χρόνου. Εδώ παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των επιδράσεων της γήρανσης στις μηχανικές ιδιότητες «χαρακτηριστική αντοχή» και «μετελαστική ακαμψία» μονάδων σεισμικής μόνωσης. Για εκτενή παρουσίαση ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο έργο του Constantinou κ.α., (1999). Επί πλέον, θα πρέπει να αναγνωριστεί το γεγονός ότι η γήρανση μπορεί να έχει επίδραση πάνω στην ικανότητα των μονάδων μόνωσης να αντέχουν τάσεις, ανηγμένες παραμορφώσεις, δυνάμεις ή παραμορφώσεις, η οποία θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπ'όψη κατά την μελέτη.

Η σεισμική μόνωση είναι σχετικά μια νέα τεχνολογία και έτσι το πεδίο παρατήρησης της στάθμης επιτελεστικότητας μονάδων σεισμικής μόνωσης περιορίζεται σε βάθος χρόνου περίπου 15 ετών. Αυτά καθ'autά τα στοιχεία για τις μηχανικές

ιδιότητες εφεδράνων μόνωσης, που αφαιρέθηκαν από κατασκευές και υποβλήθηκαν εκ νέου σε πειραματικούς ελέγχους μετά από χρόνια χρήσης, περιορίζονται σε μερικά εφέδρανα αλλά τα αποτελέσματα είναι περιορισμένης εφαρμοσιμότητας, δεδομένου του γεγονότος ότι η αρχική κατάσταση των εφεδράνων δεν ήταν επακριβώς γνωστή. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά στοιχεία που έχουν συλλεγεί από το πεδίο επιθεωρήσεων μονάδων σεισμικής μόνωσης και από άλλα παρόμοια εφέδρανα, από δοκιμές γηρασμένων στο πεδίο χρήσης εφεδράνων σε μη σεισμικές εφαρμογές, καθώς και από εργαστηριακές και θεωρητικές μελέτες. Παρ'όλο που αυτά τα στοιχεία είναι έμμεσα, είναι πολύ χρήσιμα και μπορούν να συνοψιστούν ως εξής :

- (a) Η γήρανση σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα εξαρτάται από τη σύνθεση του ελαστομερούς υλικού και γενικά έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση τόσο της δυσκαμψίας (δυστημσίας) όσο και της χαρακτηριστικής αντοχής. Αυτές οι αυξήσεις αναμένεται να είναι μικρές, πιθανόν περίπου της τάξης του 10 έως 20 τα εκατό σε μια περίοδο 30 ετών, για τα συνήθη, χαμηλής απόσβεσης και υψηλού μέτρου διάτμησης μίγματα (μέτρο διάτμησης περίπου 0.5 μέχρι 1.0 MPa). Ωστόσο, οι αυξήσεις μπορεί να είναι μεγαλύτερες, και πιθανώς σημαντικά μεγαλύτερες, για ακαταλλήλως κατασκευασμένα εφέδρανα και για ελαστομερή μίγματα τα οποία κατασκευάζονται με σκοπό την επίτευξη είτε πολύ υψηλής απόσβεσης είτε πολύ χαμηλού μέτρου διάτμησης.
- (b) Η διαρκής κίνηση των εφεδράνων που οφείλεται σε φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες, μπορεί να προκαλεί φθορά και κόπωση. Ενώ το AASHTO (1999) απαιτεί τη διεξαγωγή δοκιμών για την αξιολόγηση των επιδράσεων συσσωρευτικής μετακίνησης τουλάχιστον 1600 m, αυτές οι δοκιμές δεν έχουν διεξαχθεί σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα. Αναμένεται ότι αυτές δοκιμές ενδέχεται να αποκαλύψουν κάποιαν, αλλά όχι σημαντική, μεταβολή ιδιοτήτων.
- (c) Η γήρανση σε εφέδρανα ολίσθησης γενικά έχει ως αποτέλεσμα αυξήσεις στον συντελεστή τριβής. Ωστόσο, η προέλευση της αύξησης είναι πολύπλοκη για να περιγραφεί και να ερμηνευθεί, και εξαρτάται από την φύση της διεπιφάνειας ολίσθησης.
- (d) Η γήρανση σε έδρανα ολίσθησης μπορεί να διακρίνεται ως διάβρωση του ανοξείδωτου χάλυβα, ως αύξηση της ενεργού επιφάνειας επαφής μετά από παρατεταμένη φόρτιση χωρίς μετακίνηση, ως ρύπανση, ή ως απώλεια υλικού στην επιφάνεια ολίσθησης.

- (e) Η διάβρωση ανοξειδωτου χάλυβα περιορίζεται συνήθως σε ελαφρά σημάδια σκουριάς πάνω σε μικρό τμήμα της επιφάνειας μετά από πάροδο αρκετών ετών λειτουργίας. Τα διαθέσιμα στοιχεία φθάνουν σε βάθος χρόνου έως τα 25 χρόνια σε αστικό, χημικό, βιομηχανικό και θαλάσσιο περιβάλλον. Ασήμαντη διάβρωση παρατηρήθηκε σε ωστενιτικό ανοξειδωτο χάλυβα τύπου 316 (ο οποίος περιέχει μολυβδαίνιο). Αυτός ο τύπος ανοξειδωτου χάλυβα χρησιμοποιείται κυρίως σε εφέδρανα σεισμικής μόνωσης.
- (f) Οι διμεταλλικές διεπιφάνειες ολίσθησης τείνουν να παρουσιάζουν ερπυσμό υπό παρατεταμένη φόρτιση, έχοντας ως αποτέλεσμα αύξηση της ενεργού επιφάνειας επαφής. Αυτή με τη σειρά της, έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική αύξηση στην τριβή ακόμη και με απουσία διάβρωσης. Το AASHTO (1999) περιορίζει αυστηρά την χρήση διμεταλλικών διεπαφών σε εφέδρανα ολίσθησης σεισμικής μόνωσης. Αντίθετα, οι πειραματικές και θεωρητικές μελέτες δείχνουν ότι αυτό το φαινόμενο δεν συμβαίνει σε διεπιφάνειες που αποτελούνται από PTFE, ή συνθετικό PTFE οι οποίες έρχονται σε επαφή με υψηλής στίλβωσης ανοξειδωτο χάλυβα.
- (g) Η ρύπανση διεπιφανειών ολίσθησης ενώ είναι υπό φορτίο (εφέδρανα σε χρήση), μπορεί να αποφευχθεί με την κατάλληλη εγκατάσταση και στεγανότητα των εφεδράνων. Το AASHTO (1999) συνιστά εγκατάσταση στεγανοποιημένων εφεδράνων με την επιφάνεια ανοξειδωτου χάλυβα στραμμένη προς τα κάτω. Για όλους τους άλλους τύπους εγκατάστασης, είτε προβλέπονται αυστηρές διατάξεις οι οποίες με την σειρά τους επιβαρύνουν τον σχεδιασμό του συστήματος μόνωσης, είτε προβλέπεται η απαγόρευσή τους. Επί πλέον, είναι σημαντικό να μην αποσυναρμολογούνται εφέδρανα ολίσθησης στο πεδίο χρήσης. Επίσης, εφέδρανα ολίσθησης με λιπαντικό μέσο τείνουν να ρυπαίνονται πολύ περισσότερο από ό,τι τα εφέδρανα δίχως λιπαντικό μέσο.
- (h) Σε γέφυρες, η συνεχής κίνηση εφεδράνων ολίσθησης η οποία οφείλεται κυρίως στα φορτία κυκλοφορίας έχει ως αποτέλεσμα την φθορά και την ενδεχόμενη απώλεια του μαλακότερου υλικού (συνθετικό PTFE or PTFE) της διεπιφάνειας ολίσθησης. Το AASHTO (1999) απαιτεί την αξιολόγηση φθοράς κατά τη διάρκεια της προσδοκώμενης διάρκειας ζωής της κατασκευής, περιλαμβανομένων των δοκιμών για συσσωρευτική διαδρομή τουλάχιστον 1600m. Αυτές οι δοκιμές έχουν έως τώρα διεξαχθεί μόνον για τους Σφαιρικούς Σεισμικούς Μονωτήρες Ολίσθησης (Εφέδρανα FPS).

4.1.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες εφεδράνων σεισμικής μόνωσης με τους εξής τρόπους: (α) επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας του εφεδράνου (ιξώδης, υστερητική ή τριβής) στις μηχανικές ιδιότητές του κατά την ανακυκλιζόμενη φόρτιση, και, (β) επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, (και ιδιαίτερα την επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας) και της διάρκειας έκθεσης του εφεδράνου σε αυτή τη θερμοκρασία, πάνω στις μηχανικές ιδιότητες.

Αύξηση θερμοκρασίας του εφεδράνου κατά τη διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης

Σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα χωρίς πυρήνα μολύβδου, η αύξηση θερμοκρασίας του εφεδράνου οφείλεται στην απορρόφηση ενέργειας σε ολόκληρο τον όγκο του ελαστομερούς. Ο Constantinou κ.α., (1999) έχει δείξει ότι για συνθήκες συνθήκες (θλιπτική τάση 7MPa, ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση 150 τα εκατό), η αύξηση της θερμοκρασίας είναι περίπου 1°C ή λιγότερο ανά κύκλο, ανεξάρτητα από την ταχύτητα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Αυτή η τιμή συμφωνεί με τα αποτελέσματα πειραματικών ελέγχων. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή για να έχει οιαδήποτε επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες των εφεδράνων.

Σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου, η παραγωγή ενέργειας κατά κύριο λόγο λαμβάνει χώρα στον πυρήνα μολύβδου ο οποίος θερμαίνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Κατά τη διάρκεια του πρώτου ζεύγους κύκλων, όταν η παραγόμενη θερμότητα στον πυρήνα μολύβδου καταναλώνεται εξ ολοκλήρου για την αύξηση της δικής του θερμοκρασίας, έχουν υπολογιστεί αυξήσεις θερμοκρασίας της τάξης των 20 έως 40°C ανά κύκλο (βλέπε Constantinou κ.α., 1999) για τυπικές συνθήκες (θλιπτική τάση περίπου 5.5 MPa, ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση 120 τα εκατό, ταχύτητα έως 1 m/sec). Υπό αυτές τις συνθήκες, οι μηχανικές ιδιότητες του μολύβδου (πχ, η αντοχή και η ενεργός τάση διαρροής) μειώνονται με αποτέλεσμα την αξιοσημείωτη μείωση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας ανά κύκλο.

Για εφέδρανα ολίσθησης, η θερμότητα τριβής, έχει περιγραφεί στο έργο του Κωνσταντίνου κ.α., (1999), όπου παρουσιάζονται αναλυτικά και πειραματικά αποτελέσματα. Λόγω του γεγονότος ότι αυτή η θερμότητα τριβής συμβαίνει στη διεπιφάνεια ολίσθησης, η οποία είναι πολύ μικρή σε όγκο, η θερμοκρασία στην διεπιφάνεια ολίσθησης αυξάνει σημαντικά και κατ' αναλογία προς την ταχύτητα ολίσθησης. Ενώ αυτές οι υψηλές θερμοκρασίες διαχέονται γρήγορα στο περιβάλλον

μέσο, προκαλούν φθορά και κάποια μείωση της δύναμης τριβής. Η μείωση στην δύναμη τριβής είναι μέτρια λόγω του γεγονότος ότι η τριβή οφείλεται σε διαφόρους συνεισφέροντες μηχανισμούς, έκαστος εκ των οποίων επηρεάζεται με διαφορετικό τρόπο από την αύξηση της θερμοκρασίας. Φαίνεται ότι η φθορά είναι το πλέον σημαντικό αποτέλεσμα της θερμότητας τριβής.

Επίδραση θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν αύξηση της ακαμψίας και της χαρακτηριστικής αντοχής (ή τριβής σε εφέδρανα ολίσθησης). Για ελαστομερή εφέδρανα αυτή η αύξηση απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 4-1. Όταν εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα ελαστομερή εμφανίζουν μια αρχική αύξηση της ακαμψίας η οποία ακολουθείται από περαιτέρω χρονοεξαρτώμενη αύξηση της ακαμψίας (Constantinou κ.α., 1999; Roeder κ.α., 1987). Για παράδειγμα, το Σχήμα 4-2 συγκρίνει διαγράμματα δύναμης-παραμόρφωσης (βρόχους υστέρησης) όπως καταγράφηκαν κατά τη δοκιμή προσδιορισμού της δυσστησίας ελαστομεταλλικού εφεδράνου (ενεργός επιφάνεια του ελαστομερούς = 114000 mm^2 , ύψος ελαστομερούς=195 mm, φυσικό καουτσούκ βαθμού 3, σκληρότητα 45 Shore A, μέγιστη ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση περίπου 60%). Η σημαντική αύξηση στην δυσκαμψία (δυσστησία) και στην απορροφούμενη ενέργεια ανά κύκλο φόρτισης είναι εμφανής μετά από παραμονή για 48 ώρες σε θάλαμο θερμοκρασίας -26°C . Επίσης, το Σχήμα 4-3 συγκρίνει διαγράμματα δύναμης-παραμόρφωσης όπως καταγράφηκαν κατά τη δοκιμή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μόλυβδου ταυτόσημης κατασκευής όπως το προηγούμενως περιγραφόμενο εφέδρανο αλλά με 70 mm διάμετρο πυρήνα μολύβδου. Να σημειωθεί ότι σε αυτή την περίπτωση οι αυξήσεις σε δυσκαμψία (δυσστησία) και απορρόφηση ενέργειας ανά κύκλο σε χαμηλή θερμοκρασία, οφείλονται κατά κύριο λόγο σε μεταβολές στις ιδιότητες του ελαστομερούς και όχι του μολύβδου.

Για εφέδρανα ολίσθησης, ο συντελεστής τριβής επηρεάζεται όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4-4. Γενικά, ο συντελεστής τριβής του PTFE ή παρόμοιων υλικών που είναι σε επαφή με υψηλής στιλπνότητας ανοξείδωτο χάλυβα εμφανίζει απόκλιση προς την ταχύτητα ολίσθησης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4-4. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής σημειώνεται σε ταχύτητες ολίσθησης που γενικά, υπερβαίνουν περίπου τα 100 mm/sec (σημειώνεται ως f_{\max}). Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, οι τιμές τριβής αυξάνονται σημαντικά κατά την έναρξη της κίνησης αλλά αυξάνονται πολύ λιγότερο σε υψηλές ταχύτητες ολίσθησης. Σε θερμοκρασία κάτω περίπου από -40°C , η μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής σημειώνεται κατά την έναρξη της κίνησης

(σημειώνεται ως μ_8). Για παράδειγμα, το Σχήμα 4-5 παρουσιάζει καταγεγραμμένη ανηγμένη δύναμη τριβής έναντι ανακυκλιζόμενης παραμόρφωσης εφέδρανου ολίσθησης (που αποτελείται από αμιγές φύλλο PTFE το οποίο είναι σε επαφή με υψηλής στιλπνότητας ανοξείδωτο χάλυβα) σε θερμοκρασίες 21°C και -38°C. Να σημειωθεί ότι οι δοκιμές διεξήχθησαν με επιβεβλημένο ιστορικό ημιτονοειδούς παραμόρφωσης μεγίστης ταχύτητας ίσης προς 125 mm/sec. Παρά την σχετικά μέτρια ταχύτητα και την εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία, η θέρμανση τριβής είναι σημαντική έτσι ώστε η επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας να αμβλύνεται.

4.1.4 Ιστορικό φόρτισης

Το ιστορικό φόρτισης έχει επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες όλων των τύπων εφεδράνων. Ωστόσο, μια ορισμένη επίδραση έχει ορισμένες φορές σοβαρή και συχνά εσφαλμένα αγνοημένη επίδραση. Στο σχήμα 4-6 απεικονίζεται η σχέση δύναμης-παραμόρφωσης ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου υψηλής απόσβεσης (Thompson κ.α., 2000). Το εφέδρανο εμφανίζει μια σημαντικά υψηλότερη ακαμψία κατά τη διάρκεια του αρχικού κύκλου παρά κατά την διάρκεια των επόμενων κύκλων φόρτισης. Η αρχική ακαμψία συμβαίνει κατά την μη-διαταραγμένη κατάσταση του ελαστομερούς, δηλαδή, υπό παρθενικές συνθήκες. Μετά το τέντωμα και την ρήξη των μορίων του ελαστομερούς κατά τη διάρκεια παραμόρφωσης, το εφέδρανο αποκτά την διαταραγμένη κατάσταση, κατά την οποία οι ιδιότητές του παραμένουν σταθερές. Στο παρελθόν υπήρχε η άποψη ότι το ελαστομερές δεν μπορούσε να επανέλθει στην παρθενική (μη διαταραγμένη) κατάσταση, έτσι ώστε να αγνοείται στην ανάλυση η αρχική υψηλή ακαμψία. Ωστόσο, τα πρόσφατα πειραματικά στοιχεία (βλέπε Thompson κ.α., 2000 και Constantinou κ.α., 1999) απέδειξαν ότι η επαναφορά συμβαίνει εντός βραχέως χρονικού διαστήματος οφειλόμενη πιθανώς στην ύπαρξη συνεχούς χημικής δραστηριότητας του ελαστομερούς. Ο Thompson κ.α. (2000) απέδειξε ότι οι σημαντικές διαφορές μεταξύ ιδιοτήτων διαταραγμένης και μη διαταραγμένης κατάστασης είναι δυνατές σε ελαστομερή χαμηλού μέτρου διάτμησης. Είναι ουσιώδες τα ελαστομερή εφέδρανα να δοκιμάζονται στην παρθενική κατάστασή τους έτσι ώστε να προσδιορίζονται αμφότερες οι ιδιότητές τους σε διαταραγμένη και μη διαταραγμένη κατάσταση.

4.2 Συντελεστές Τροποποίησης Ιδιοτήτων Συστήματος (συντελεστές λ)

Οι συντελεστές τροποποίησης των ιδιοτήτων του συστήματος έχουν περιγραφεί από τον Constantinou κ.α., (1999) και έχουν εισαχθεί στον Οδηγό Προδιαγραφών του AASHTO (AASHTO, 1999). Με αυτούς τους συντελεστές εκτιμώνται οι πιθανές διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των εφεδράνων σεισμικής μόνωσης κατά την διάρκεια ζωής ενός σεισμικώς μονωμένου δομήματος. Σε αυτή την προσέγγιση, η ελαχίστη και μέγιστη ενεργός δυσκαμψία και η ενεργός απόσβεση του συστήματος μόνωσης υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της μετελαστικής δυσκαμψίας, K_d , και της χαρακτηριστικής αντοχής, Q_d , κάθε εφέδρανου μόνωσης. Η ελαχίστη και η μέγιστη τιμή των ιδιοτήτων αυτών υπολογίζεται ως το γινόμενο της ονομαστικής τιμής της ιδιότητας, αφενός, και της ελαχίστης και μέγιστης τιμής του αντίστοιχου συντελεστή τροποποίησης, αφετέρου.

Η ελαχίστη τιμή του συντελεστή τροποποίησης των ιδιοτήτων του συστήματος (λ-συντελεστής) καθορίζεται ως λ_{\min} και έχει τιμές μικρότερες ή ίσες με την μονάδα. Λόγω του γεγονότος ότι οι περισσότερες τιμές του λ_{\min} που προτείνονται από τον Κωνσταντίνου et al (1999) είναι πλησίον της μονάδας, ο Οδηγός Προδιαγραφών του AASHTO (AASHTO, 1999) καθορίζει τον λ_{\min} ίσον με την μονάδα. Δηλαδή, οι χαμηλότερες τιμές των ιδιοτήτων των συστημάτων μόνωσης θεωρούνται ότι είναι οι ονομαστικές τιμές. Αυτές οι τιμές καθορίζονται ότι είναι εκείνες που προσδιορίζονται για καινούργια και υπό διαταραγμένη κατάσταση ευρισκόμενα δείγματα υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας. Η μέγιστη τιμή του λ-συντελεστή υπολογίζεται ως το γινόμενο των έξι επιμέρους συντελεστών:

$$\lambda_{\max} = (\lambda_{\max,t}) (\lambda_{\max,a}) (\lambda_{\max,v}) (\lambda_{\max,tr}) (\lambda_{\max,c}) (\lambda_{\max,scrag}) \quad (4-1)$$

όπου:

λ_t =συντελεστής για την εκτίμηση της επίδρασης της θερμοκρασίας,

λ_a =συντελεστής για την εκτίμηση της επίδρασης της γήρανσης
(συμπεριλαμβανομένης της διάβρωσης),

λ_v =συντελεστής για την εκτίμηση της επίδρασης της ταχύτητας (καθορίζεται από ελέγχους σε διάφορες ταχύτητες),

λ_{tr} =συντελεστής για την εκτίμηση της επίδρασης της συσσωρευμένης μετακίνησης και την φθορά,

λ_c =συντελεστής για την εκτίμηση της επίδρασης της ρύπανσης (συστήματα ολίσθησης),

λ_{scrag} =συντελεστής για την εκτίμηση της επίδρασης της παρθενικής δομής ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

Παραδείγματα των λ-συντελεστών από το AASHTO (1999) και από τον Constantinou κ.α., (1999) παρουσιάζονται στους Πίνακες 4-1 έως 4-5. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι συντελεστές για τα συστήματα ολίσθησης εφαρμόζονται στον συντελεστή τριβής.

Πρόσφατες μελέτες για τον λ-συντελεστή διαταραχής (Thompson κ.α., 2000) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι τιμές του συντελεστή διαταραχής στον Πίνακα 4-5 θα πρέπει να αυξηθούν και ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μάλλον το μέτρο διάτμησης παρά η ενεργός απόσβεση για την ταξινόμηση των υλικών. Ιδιαίτερα, ο Thompson κ.α. (2000) συστήνει τις ακόλουθες τιμές για τον λ-συντελεστή διατάραξης: (1) 1.5 για ελαστομερή με μέτρο διάτμησης (στον τρίτο κύκλο, με 100% ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση) μεγαλύτερο από 0.7 MPa, και (2) 2.0 για ελαστομερή με μέτρο διάτμησης μικρότερο από 0.7 MPa. Αυτή η σύσταση βασίζεται σε πειραματικά δεδομένα από 30 εφέδρανα με διαφορετικές ελαστομερή μίγματα, τα οποία κατασκευάστηκαν από κατασκευαστές στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Ιαπωνία, στην Αγγλία και στην Ιταλία. Το Σχήμα 4-7 παρουσιάζει τις τιμές για τον συντελεστή διατάραξης, όπως αναφέρθηκαν από τον Thompson κ.α., (2000).

4.3 Πυραντοχή Εφεδρανων Σεισμικής Μόνωσης

Η κατάταξη της πυραντοχής του συστήματος σεισμικής μόνωσης θα πρέπει να είναι συνεπής με τις απαιτήσεις για τα λοιπά φέροντα στοιχεία της μονωμένης κατασκευής, όπως τα υποστυλώματα και τα τοιχεία. Τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης που αποτελούνται κυρίως από χάλυβα, όπως τα εφέδρανα ολίσθησης χωρίς ελαστομερή τμήματα, θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις πυραντοχής, είτε λόγω της ειδικής κατασκευής τους είτε με την χρήση συνήθων μεθόδων και υλικών πυροπροστασίας, όπως π.χ. το ελαφρό ανθρακικό σκυρόδεμα.

Οι έλεγχοι πυραντοχής που διεξήχθησαν σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα και σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου από το Ινστιτούτο Αρχιτεκτονικής της Ιαπωνίας και από την Sumitomo Construction, έδειξαν ότι με κατάλληλα μέτρα πυροπροστασίας, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με ή δίχως πυρήνα μολύβδου, έχουν την δυνατότητα να διατηρούν με ασφάλεια την φέρουσα ικανότητά τους υπό 1000 °C πυρός για περίοδο 3 ωρών. Η πυροπροστασία τους αποτελείτο είτε από περίβλημα ενισχυμένο με κεραμικές ίνες πάχους 50 mm ή από περίβλημα αφρού σιλικόνης και σφράγισης πάχους 100 mm. Οι έλεγχοι πυραντοχής χωρίς μέτρα πυροπροστασίας υπό 1000 °C κατέληξαν στην καύση του εφεδράνου και στην απώλεια της φέρουσας ικανότητάς του.

4.4 Ελάχιστη Δύναμη Επαναφοράς (Ελάχιστη Μετελαστική Δυσκαμψία)

Τα σύγχρονα συστήματα σεισμικής μόνωσης που έχουν εφαρμοσθεί σε κτίρια, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ικανότητα δύναμης επαναφοράς. Ωστόσο, για τις εφαρμογές σε γέφυρες, έχουν αναπτυχθεί δυο συναγωνιζόμενες στρατηγικές για τον σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης: (1) η μια στρατηγική, η οποία υποστηρίζεται από μηχανικούς της Νέας Ζηλανδίας, των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ιαπωνίας, απαιτεί μια ισχυρή δύναμη επαναφοράς στο σύστημα μόνωσης, και (2) η Ιταλική στρατηγική, στην οποία το σύστημα μόνωσης επιδεικνύει ουσιαστικά μια ελαστο-πλαστική συμπεριφορά.

Τα κανονιστικά κείμενα στις Ηνωμένες Πολιτείες προδιαγράφουν ότι το σύστημα μόνωσης, εξαιρώντας οποιαδήποτε συμβολή από συσκευές οι οποίες έχουν ιξώδη συμπεριφορά, πρέπει να έχει μια διγραμμική υστερητική συμπεριφορά η οποία χαρακτηρίζεται από την δύναμη σε μηδενική παραμόρφωση (την χαρακτηριστική αντοχή) και από την μετελαστική δυσκαμψία. Ο κανονισμός IBC 2000 καθορίζει μια ελάχιστη απαιτούμενη δυσκαμψία, η οποία είναι ισοδύναμη με την απαίτηση ότι η περίοδος T , η οποία υπολογίζεται με βάση την μετελαστική δυσκαμψία, είναι:

$$T \leq 28 \left(\frac{D}{g} \right)^{1/2} \quad (4-2)$$

όπου D είναι η μετατόπιση σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης. Επί παραδείγματι, μια μετατόπιση $D = 250$ mm θα κατέληγε σε μια απαίτηση για $T \leq 4.5$ sec. Επιπλέον, ο IBC 2000 επιτρέπει την χρήση συστημάτων με ασθενή δύναμη επαναφοράς, υπό την προϋπόθεση ότι έχουν σχεδιασθεί με ικανότητα μετατόπισης η οποία είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από την υπολογιζόμενη.

Ο Οδηγός Προδιαγραφών του AASHTO (AASHTO, 1999) παρέχει μια πιο ανεκτική προδιαγραφή για την ελάχιστη δύναμη επαναφοράς:

$$T \leq 40 \left(\frac{D}{g} \right)^{1/2} \leq 6 \text{ sec.} \quad (4-3)$$

Επί πλέον, ο AASHTO δεν επιτρέπει την χρήση συστημάτων που δεν πληρούν αυτή την απαίτηση.

Η στρατηγική του σχεδιασμού που απαιτεί ισχυρή δύναμη επαναφοράς βασίζεται στην εμπειρία ότι οι αστοχίες των γεφυρών σε σεισμούς ήταν κυρίως το αποτέλεσμα υπερβολικών μετατοπίσεων. Απαιτώντας μια ισχυρή δύναμη επαναφοράς, αποφεύγονται οι αθροιστικές μόνιμες μετατοπίσεις και ο υπολογισμός της μετατόπισης

σχεδιασμού επιτυγχάνεται με μικρότερη αβεβαιότητα. Αντιθέτως, τα συστήματα σεισμικής μόνωσης με μικρή δύναμη επαναφοράς διασφαλίζουν ότι η δύναμη που μεταδίδεται από το εφέδρανο στην υποδομή μπορεί να προβλεφθεί με κάποια βεβαιότητα. Πάντως, αυτό επιτυγχάνεται με τίμημα την αβεβαιότητα για τις προκύπτουσες μετατοπίσεις και της πιθανότητας για σημαντικές μόνιμες μετατοπίσεις. Οι Tsopelas και Constantinou (1997) έδειξαν, ελέγχοντας επί της σεισμικής τράπεζας ομοιώματα γεφυρών με συστήματα σεισμικής μόνωσης που διέθεταν ασθενή ικανότητα επαναφοράς (ασθενή μετελαστική δυσκαμψία), ότι η χρήση αυτών των συστημάτων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιασθούν σημαντικές μόνιμες μετατοπίσεις στην κατασκευή.

4.5 Ασφάλεια Έναντι Λυγισμού των Εφέδρανων Σεισμικής Μόνωσης

Τα τυπικά εφέδρανα ολίσθησης σεισμικής μόνωσης είναι εγγενώς ασφαλή έναντι λυγισμού σε μεγάλες μετατοπίσεις. Ωστόσο, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα θα πρέπει να ελέγχονται έναντι λυγισμού τόσο στην μη-παραμορφωμένη όσο και στην παραμορφωμένη κατάσταση.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να εγκατασταθούν με τους ακόλουθους δυο τρόπους: (1) στερεωμένα με βλήτρα ή εντός εσοχών σε πλάκες στερέωσης και (2) στερεωμένα με κοχλίες. Στην μη-παραμορφωμένη κατάστασή τους, όταν φορτίζονται μόνον με κατακόρυφο φορτίο, το φορτίο λυγισμού των εφέδρανων που εγκαθίστανται με οποιαδήποτε από τις δυο τρόπους είναι θεωρητικά το ίδιο. Οι Naiem και Kelly (1999) παρουσίασαν μια απλή θεωρία για τον υπολογισμό του φορτίου λυγισμού. Με βάση αυτή την θεωρία, οι ακόλουθες απλοποιημένες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του κρίσιμου φορτίου P_{cr} στην μη-παραμορφωμένη κατάσταση.

Για τα κυκλικά εφέδρανα με διάμετρο B , με πάχος ελαστομερούς φύλλου t και με ολικό πάχος ελαστομερούς T_r , το φορτίο λυγισμού είναι:

$$P_{cr} = 0.218 \frac{GB^4}{tT_r} \quad (4-4)$$

Για τα τετράγωνα εφέδρανα με διαστάσεις $B \times B$, το φορτίο λυγισμού είναι:

$$P_{cr} = 0.344 \frac{GB^4}{tT_r} \quad (4-5)$$

Κατά την διάρκεια μεγάλης οριζόντιας μετατόπισης), τα εφέδρανα που είναι στερεωμένα με βλήτρα και τα εφέδρανα που είναι εντός εσοχών σε πλάκες στήριξης,

παρουσιάζουν μερική ανύψωση. Σε κάποια κρίσιμη οριζόντια μετατόπιση, D_{cr} , τα εφέδρανα περιστρέφονται ή ανατρέπονται. Η κρίσιμη τιμή της μετατόπισης παρέχεται από τον τύπο:

$$D_{cr} = \frac{PB}{Kh + P} \quad (4-6)$$

όπου P = αξονικό φορτίο του εφέδρανου, B = διάσταση κάτοψης (π.χ. διάμετρος), K = ενεργός οριζόντια δυσκαμψία και h = συνολικό ύψος του ελαστομερούς και χαλύβδινων πλακών οπλισμού του εφεδράνου.

Δεν υπάρχει μια ικανοποιητική θεωρία για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κοχλιωμένων ελαστομερών εφέδρανων σε μεγάλες πλευρικές μετακινήσεις. Παρόλα αυτά, η ακόλουθη εμπειρική απλή εξίσωση έχει αποδειχθεί ότι παρέχει καλά αποτελέσματα (Buckle and Liu, 1994):

$$P'_{cr} = P_{cr} \frac{A_r}{A} \quad (4-7)$$

όπου P'_{cr} = φορτίο λυγισμού σε κατάσταση παραμόρφωσης, A = ενεργός επιφάνεια του ελαστομερούς και A_r = η μειωμένη ενεργός επιφάνεια του ελαστομερούς η οποία ορίζεται ως η επιφάνεια επικάλυψης της άνω και κάτω ενεργού επιφάνειας του ελαστομερούς του παραμορφωμένου εφέδρανου.

4.6 Ανασκήκωση των Εφέδρανων Σεισμικής Μόνωσης

Τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης υπόκεινται συνήθως σε εντόνως μεταβαλλόμενα αξονικά φορτία κατά την διάρκεια μιας σεισμικής διέγερσης. Υπό ορισμένες συνθήκες, τα εφέδρανα μπορεί να καταπονηθούν είτε από δυνάμεις εφελκυσμού (π.χ. τα κοχλιωμένα ελαστομεταλλικά εφέδρανα) ή να ανασκηκωθούν (π.χ. τα εφέδρανα ολίσθησης ή τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα που στερεώνονται με βλήτρα). Η καταπόνηση των εφεδράνων από δυνάμεις εφελκυσμού ή η ανασκήκωσή τους μπορεί να προκύψει εξαιτίας διαφόρων αιτιών και συνθηκών. Παραδείγματα είναι:

(α) Κατασκευές με μεγάλη αναλογία ύψους προς πλάτος. Όσο αφορά κτίρια, ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το κτίριο της Excel Minami-Koshigaya στην Koshigaya City, Ιαπωνία. Αυτό το 10-όροφο κτίριο αποπερατώθηκε από την Sumitomo Construction το 1990, και εδράζεται σε 14 ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου, σε δυο σειρές από επτά εφέδρανα, σε απόσταση 9.30 m. Για να αποφευχθεί η ανασκήκωση των εφέδρανων, εγκαταστάθηκαν οκτώ μηχανισμοί περιστολής ανασκήκωσης. Κάθε ένας από αυτούς αποτελείται από δυο συμπαγείς μεταλλικές κατασκευές σχήματος «Π» τοποθετημένες σε ορθή γωνία μεταξύ τους, και οι οποίες είναι συνδεδεμένες αντιστοίχως με την ανωδομή και την υποδομή του

κτιρίου. Πριν οι μηχανισμοί αυτοί παραλάβουν τις δυνάμεις ανασήκωσης επιτρέπουν μια μικρή κάθετη ανύψωση της ανωδομής της τάξης των 10-mm περίπου.

(b) Γέφυρες π.χ. με φορέα κιβωτοειδούς μορφής από σκυρόδεμα ή χάλυβα, στις οποίες ο λόγος της απόστασης μεταξύ του οριζόντιου κεντροβαρικού άξονα της ανωδομής (του καταστρώματος) και του επιπέδου έδρασής του, προς την απόσταση μεταξύ των εφεδράνων, είναι μεγάλος. Συχνά σε τέτοιες περιπτώσεις, το ύψος του οριζόντιου κεντροβαρικού άξονα του καταστρώματος (το κέντρο μάζας της ανωδομής) επάνω από το επίπεδο έδρασης του καταστρώματος είναι μεγάλο, και η ανωδομή της γέφυρας εδράζεται σε εφεδράνα τα οποία βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Έτσι ο συνδυασμός πλευρικής σεισμικής δράσης και δυσμενούς διέγερσης στην κατακόρυφο διεύθυνση προκαλούν ανασήκωση των εφεδράνων. Αυτή η κατάσταση μπορεί επίσης να παρουσιασθεί σε άλλους τύπους γεφυρών, όπως για παράδειγμα στην Γέφυρα Oakland-Bay Bridge στο San Francisco. Στην πλευρά του San Francisco, η γέφυρα εδράζεται σε εφεδράνα FPS και για έναν συνδυασμό δράσεων το κατάστρωμα καταπονείται από δυνάμεις ανασήκωσης. Στο ακρόβαθρο αυτό έχουν τοποθετηθεί κατασκευές από χάλυβα για τον περιορισμό της ανασήκωσης του καταστρώματος, οι οποίοι ενεργοποιούνται μετά από μικρή ανασήκωση του καταστρώματος (κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του άνω και κάτω τμήματος της μεταλλικής κατασκευής).

(c) Εφεδράνα κάτω από τοιχία ή δικτυώματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πρακτική έως σήμερα είναι να δημιουργείται μια συμπαγής και άκαμπτη βάση επάνω από τους μονωτήρες με σκοπό την μεταβολή της πορείας των δυνάμεων ανασήκωσης και την ανακατανομή των δυνάμεων μέσα σ' αυτήν την βάση, αποτρέποντας έτσι την καταπόνηση των σεισμικών μονωτήρων από δυνάμεις εφελκυσμού.

Οι επιπτώσεις δυνάμεων εφελκυσμού στα εφεδράνα ή της ανύψωσης των εφεδράνων μόνωσης μπορεί να είναι:

(a) Καταστροφικές, όταν τα εφεδράνα διαρρηγνύονται και δεν μπορούν πλέον να παραλάβουν το κατακόρυφο φορτίο (εκτός εάν ο μελετητής προνοήσει για μια εναλλακτική πορεία του φορτίου) ή όταν η κατασκευή ανατρέπεται. Η τελευταία περίπτωση μπορεί να φαίνεται σαν μια ακραία κατάσταση. Παρ' όλα αυτά, ένας απλός υπολογισμός για το κτίριο της Excel Minami-Koshigaya στην Ιαπωνία (ύψους 32-m επάνω από τους μονωτήρες, και απόσταση 9.3-m μεταξύ των μονωτήρων) δείχνει ότι μια πλευρική δύναμη ίση με 0.22-φορές του βάρους του κτιρίου (ή μικρότερη, όταν ληφθεί υπόψη η δυσμενής διέγερση στην κατακόρυφο διεύθυνση) καταλήγει σε ανατροπή.

(b) Προβληματικές, όταν η σημαντική ανασήκωση και η κρούση κατά την επιστροφή προκαλούν βλάβες στα εφεδράνα.

(c) Ασήμαντες, όταν η ανασήκωση είναι μικρή και έχουν ληφθεί μέτρα κατά τον σχεδιασμό για τις προκύπτουσες αξονικές και διατμητικές δυνάμεις στα εφεδράνα

και την θεμελίωση. Ένα παράδειγμα αυτής της περιπτώσεως είναι τα πειράματα που αναφέρονται από τον Al-Hussaini et al. (1994), στα οποία ένα προσομοίωμα ενός 7-όροφου κτιρίου με φέροντα οργανισμό από χαλύβδινα πλαίσια, και το οποίο εδραζόταν σε μονωτήρες FPS, ελέγχθηκε επί της σεισμικής τράπεζας. Τα εφέδρανα κάτω από τα εξωτερικά υποστυλώματα παρουσίασαν ανασήκωση (η οποία καταγράφηκε από όργανα παρακολούθησης δυνάμεων, τα οποία μέτρησαν την μετάδοση μιας μηδενικής αξονικής δύναμης στα υποστυλώματα επάνω από τα ανασηκωμένα εφέδρανα). Παρ' όλα αυτά, η ανάλυση της κατασκευής με και χωρίς την πρόπουσα σημασία στο φαινόμενο ανασήκωσης, κατέληξε σε σχεδόν πανομοιότυπες καθολικές αποκρίσεις του δομήματος όσον αφορά την μετακίνηση, τις επιταχύνσεις και τις τέμνουσες των ορόφων. Ωστόσο, οι δυο αναλύσεις κατέληξαν σε σημαντικά διαφορετική κατανομή των δυνάμεων στα υποστυλώματα του πρώτου ορόφου.

Πάντως, ο μελετητής συχνά επιθυμεί να αποφύγει την ανασήκωση ή την καταπόνηση των μονωτήρων από δυνάμεις εφελκυσμού καθότι, υπό αυτές τις συνθήκες, η συμπεριφορά των μονωτήρων δεν μπορεί να προσομοιωθεί και να αναλυθεί εύκολα. Ιδιαίτερα, η ικανότητα ανάληψης δυνάμεων εφελκυσμού των ελαστομεταλλικών εφεδράνων δεν είναι κατανοητή. Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορεί να αστοχήσουν υπό εφελκυσμό, είτε λόγω της απώλειας της σύνδεσης του ελαστομερούς υλικού με τον χάλυβα, είτε λόγω εσωτερικής ρηγμάτωσης (cavitation) του ελαστομερούς. Το πρώτο, συμβαίνει τυπικά στην περίπτωση εφεδρανών χαμηλής κατασκευαστικής ποιότητας. Τα χαρακτηριστικά αστοχίας των ελαστομεταλλικών εφεδρανών λόγω εφελκυσμού εξαρτώνται επίσης από το μέγεθος του εφεδράνου, καθώς αυτό επηρεάζει την ποιότητα της κατασκευής του, όπως και από την επιτυχία και την ομοιογένεια του βουλκανισμού. Η ικανότητα ανάληψης τάσεων εφελκυσμού των ελαστομεταλλικών εφεδρανών μεγάλου μεγέθους είναι, εν γένει, μικρότερη από 1 MPa.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, δεν επιτρέπεται ανασήκωμα μονωτήρων οι οποίοι μεταφέρουν κατακόρυφα φορτία, υπό τον σεισμικό συνδυασμό σχεδιασμού. Ομοίως δεν επιτρέπεται εφελκυσμός ελαστομεταλλικών εφεδρανών. Με σκοπό την αποφυγή ανασηκώματος στοιχείων του συστήματος μόνωσης ή την αποτροπή εφελκυσμού ελαστομεταλλικών εφεδρανών, επιτρέπεται η χρήση συστήματος περιορισμού του ανασηκώματος σε ανεκτά όρια Σχήμα 4-8, (26), (27). Τα όρια αυτά πρέπει να επιβεβαιώνονται με κατάλληλες δοκιμές προτύπων των σεισμικών μονωτήρων. Κατά τον σχεδιασμό του συστήματος περιορισμού του ανασηκώματος, αλλά και του συνολικού συστήματος μόνωσης πρέπει, μεταξύ άλλων, να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω: α) Η αλληλεπίδραση του συστήματος περιορισμού του ανασηκώματος με τα λοιπά στοιχεία του συστήματος μόνωσης, β) Η ικανότητα οριζόντιας μετακίνησης του συστήματος περιορισμού του ανασηκώματος πρέπει να υπερβαίνει την συνολική μέγιστη μετακίνηση του συστήματος μόνωσης σε κάθε διεύθυνση και γ) Στους ελέγχους του συστήματος μόνωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα πρόσθετα κατακόρυφα φορτία που οφείλονται στο σύστημα περιορισμού του ανασηκώματος.

4.7 Στρέψη Εφεδράνων Σεισμικής Μόνωσης

Τα εφεδράνα ολίσθησης έχουν πολύ μικρή στρεπτική δυσκαμψία και μπορούν συνήθως να παραλάβουν πολύ μεγάλες περιστροφές λόγω στρέψης. Οι περιστροφές λόγω στρέψης είναι τυπικά πολύ μικρές και μπορούν να εκτιμηθούν, με βάση τις απλές διαδικασίες των προδιαγραφών, όπως του IBC 2000, ότι είναι:

$$\phi \approx \frac{12eD}{b^2 + d^2} \quad (4-8)$$

όπου: e = εκκεντρότητα μεταξύ του κέντρου της αντίστασης του συστήματος μόνωσης και του κέντρου μάζας της ανωδομής,

D = μετατόπιση του συστήματος μόνωσης στο κέντρο αντίστασης και

b, d = διαστάσεις του κτιρίου σε κάτοψη.

Με βάση την εξίσωση (4-8), οι περιστροφές είναι της τάξεως του 0.01 rad. Η προκύπτουσα μέγιστη ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση του ελαστομερούς, γ , είναι:

$$\gamma = \phi \cdot \frac{r}{h} \quad (4-9)$$

όπου: r = ακτίνα εφεδράνου και h = ύψος εφεδράνου

Επειδή τυπικά το r είναι σχεδόν ίσο ή λίγο μεγαλύτερο από το h , η μέγιστη ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση είναι της τάξης του 0.01, και ως εκ τούτου τελείως αμελητέα. Σε γενικές γραμμές, η στρεπτική αντίσταση των εφεδράνων και οι τάσεις και ανηγμένες παραμορφώσεις που προκύπτουν από την στρέψη είναι ασήμαντες και μπορούν να θεωρηθούν ως αμελητέες κατά την ανάλυση.

4.8 Πίνακες & Σχήματα

Πίνακας 4-1: Συντελεστές γήρανσης και διάβρωσης λ_a για εφέδρανα ολίσθησης

Συνθήκη	PTFE χωρίς Λιπαντικό Μέσο		PTFE με Λιπαντικό Μέσο		Διμεταλλικές Διεπιφάνειες	
	Σφραγισμ.	Μη Σφραγισμ.	Σφραγισμ.	Μη Σφραγισμ.	Σφραγισμ.	Μη Σφραγισμ.
Περιβάλλον						
Σύνηθες	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0	2.2
Πολύ Διαβρωτικό	1.2	1.5	1.4	1.8	2.2	2.5

Παρατηρήσεις:

1. Οι τιμές αναφέρονται για έκθεση ανοξείδωτου χάλυβα χρονικής διάρκειας 30 ετών
2. Μη σφραγισμένο: Υποτίθεται η έκθεση των εφεδράνων σε συνθήκες παρουσίας νερού και NaCl οι οποίες ευνοούν την εξέλιξη της οξείδωσης (διάβρωσης).
3. Πολύ Διαβρωτικό Περιβάλλον: παραθαλάσσιο περιβάλλον (απόσταση από την ακτή ≤ 1 km) και περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε χημικά προϊόντα (αέρια, υγρά, στερεά)
4. Οι τιμές για «Διμεταλλικές Διεπιφάνειες» αναφέρονται στον συνδυασμό διεπιφανειών «Ανοξείδωτος χάλυβας υψηλής στίλβωσης -Μπρούντζος».

Πίνακας 4-2: Συντελεστής θερμοκρασίας λ_t για εφέδρανα ολίσθησης

Ελάχιστη θερμοκρασία Σχεδιασμού		PTFE χωρίς Λιπαντικό Μέσο	PTFE με Λιπαντικό Μέσο	Διμεταλλικές Διεπιφάνειες
°C	°F			
21	70	1.0	1.0	Απαιτείται προσδιορισμός με δοκιμές (πειραματικό έλεγχο)
0	32	1.1	1.3	
-10	14	1.2	1.5	
-30	-22	1.5	3.0	

Πίνακας 4-3: Συντελεστές γήρανσης και διάβρωσης λ_a για Ελαστομεταλλικά εφέδρανα

Υλικό	K_d	Q_d
Χαμηλής απόσβεσης Φυσικό Ελαστομερές (καουτσούκ) (LDRB)	1.1	1.1
Υψηλής απόσβεσης Ελαστομερές με μικρή διαφορά των ιδιοτήτων του μεταξύ Διαταραγμένης και Μη-διαταραγμένης κατάστασης (HDRB)	1.2	1.2
Υψηλής απόσβεσης Ελαστομερές με μικρή διαφορά των ιδιοτήτων του μεταξύ Διαταραγμένης και Μη-διαταραγμένης κατάστασης ⁽¹⁾ (HDRB)	1.3	1.3
Μόλυβδος	-	1.0
Νεοπρένιο	3.0	3.0

Notes:

1. Ως Μεγάλη Διαφορά είναι εκείνη κατά την οποία οι ιδιότητες σε Μη-Διαταραγμένη κατάσταση του ελαστομερούς είναι κατ' ελάχιστον 25 τα εκατό υψηλότερες από τις αντίστοιχες σε Διαταραγμένη κατάσταση.

Πίνακας 4-4: Συντελεστές Θερμοκρασίας λ_t για Ελαστομεταλλικά εφέδρανα

Ελάχιστη Θερμοκρασία σχεδιασμού		Q_d			K_d		
°C	°F	HDRB ⁽¹⁾	HDRB ⁽²⁾	LDRB	HDRB ⁽¹⁾	HDRB ⁽²⁾	LDRB
21	70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0	32	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1
-10	14	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1.1
-30	-22	2.5	2.0	1.5	2.0	1.4	1.3

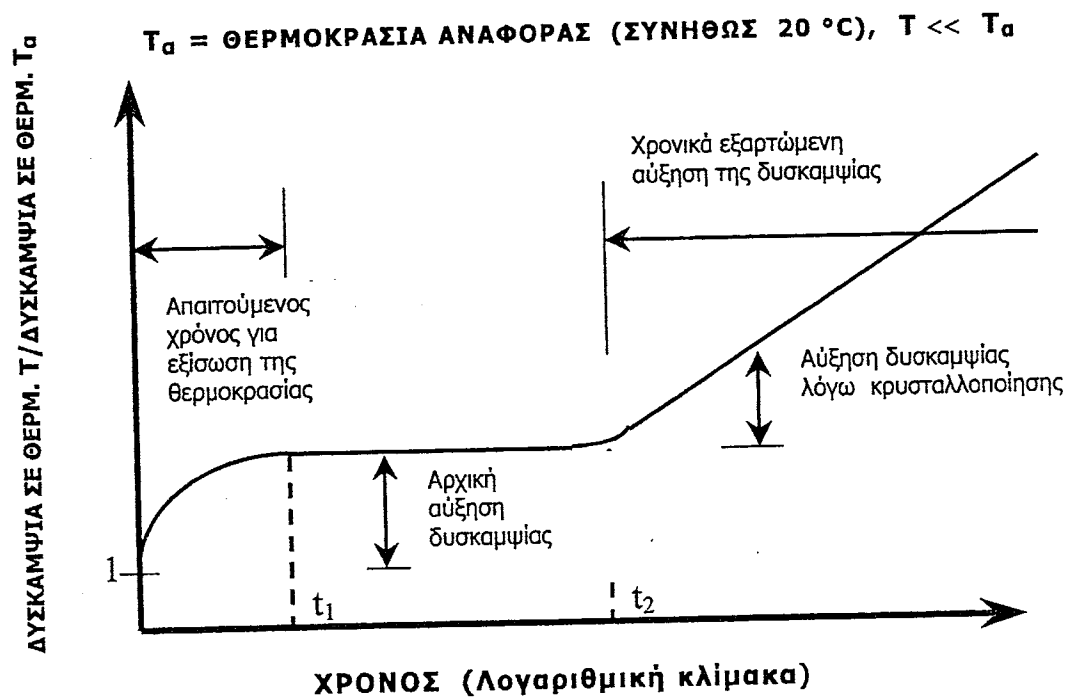
Notes:

1. Μεγάλη διαφορά μεταξύ των ιδιοτήτων της Διαταραγμένης και Μη-Διαταραγμένης κατάστασης του ελαστομερούς (βλέπε σημείωση για τον Πίνακα 4-3)
2. Μικρή διαφορά μεταξύ των ιδιοτήτων της Διαταραγμένης και Μη-Διαταραγμένης κατάστασης του ελαστομερούς

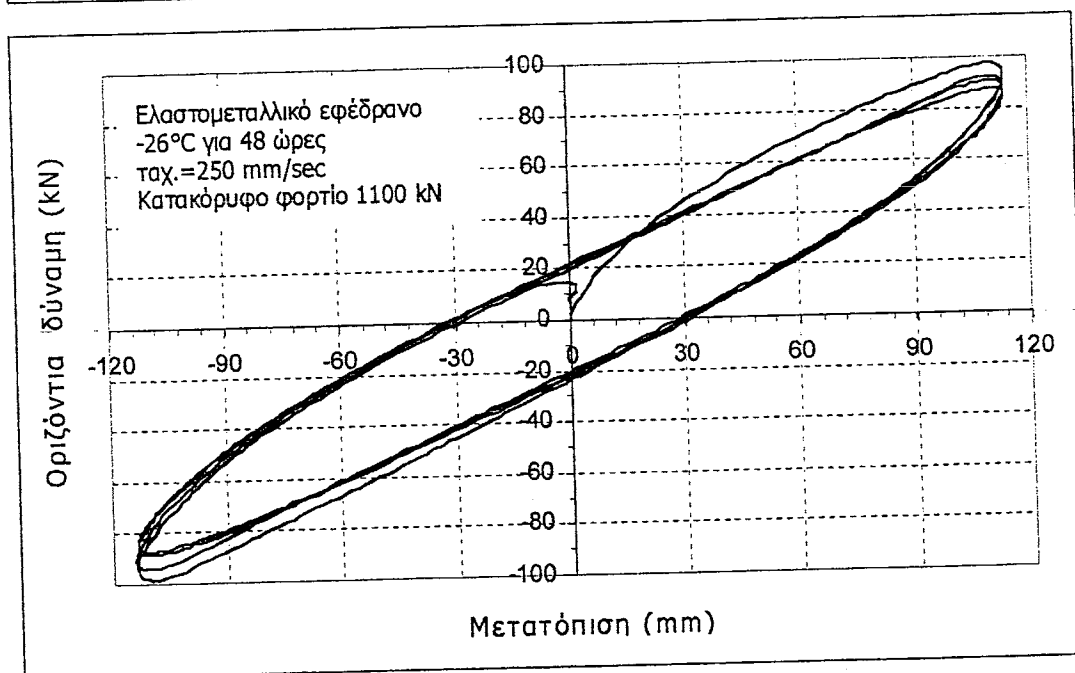
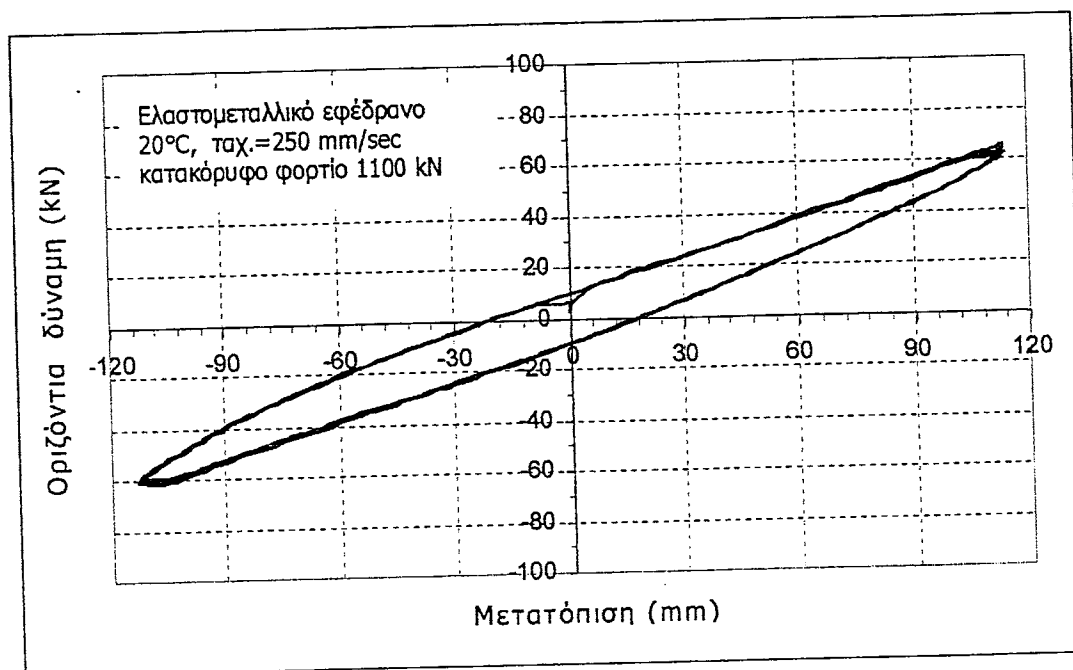
Πίνακας 4-5: Συντελεστής Διατάραξης λ για Ελαστομεταλλικά εφέδρανα

Υλικό	Q_d	K_d
LDRB	1.0	1.0
HDRB-A	1.2	1.2
HDRB-B	1.5	1.8

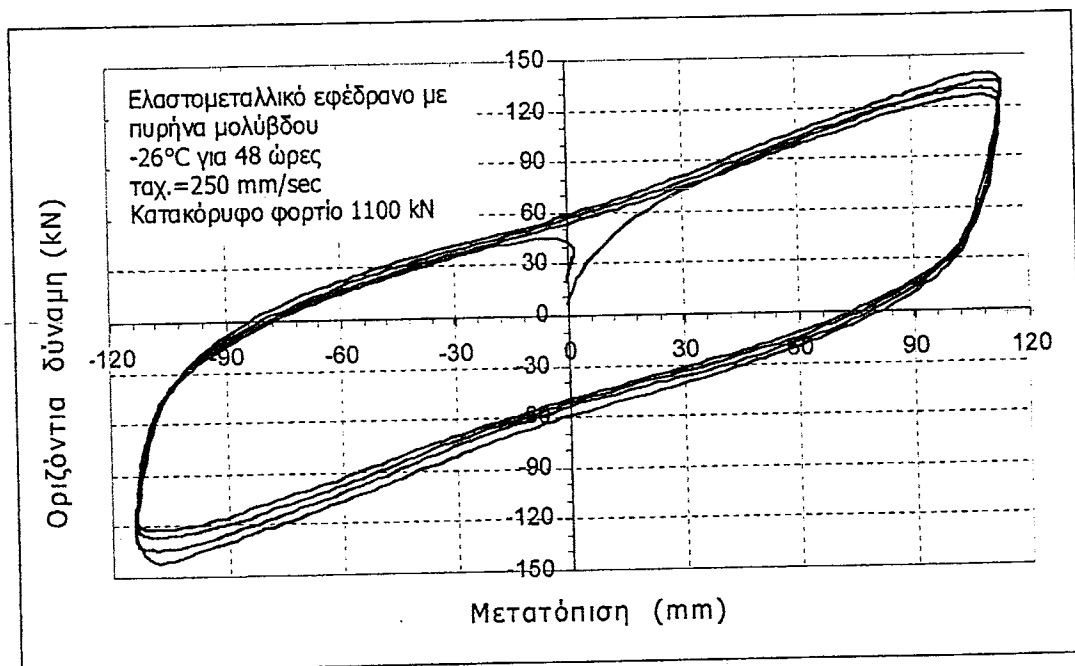
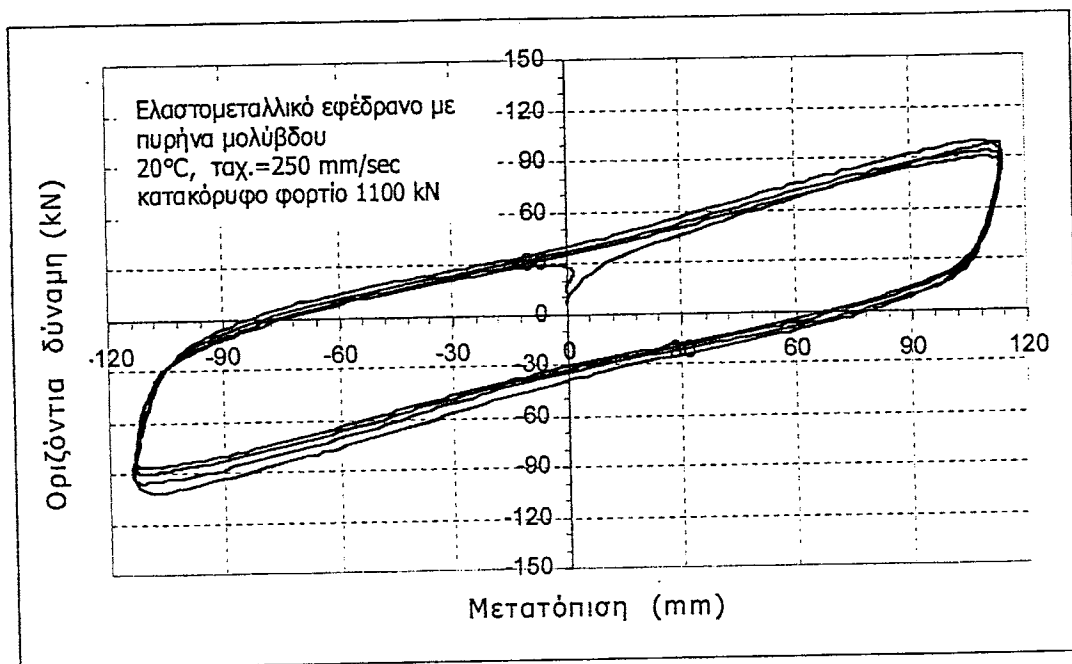
A= Υψηλής απόσβεσης Ελαστομερές με ισοδύναμη ιξώδη απόσβεση ≤ 0.15
 B= Υψηλής απόσβεσης Ελαστομερές με ισοδύναμη ιξώδη απόσβεση > 0.15



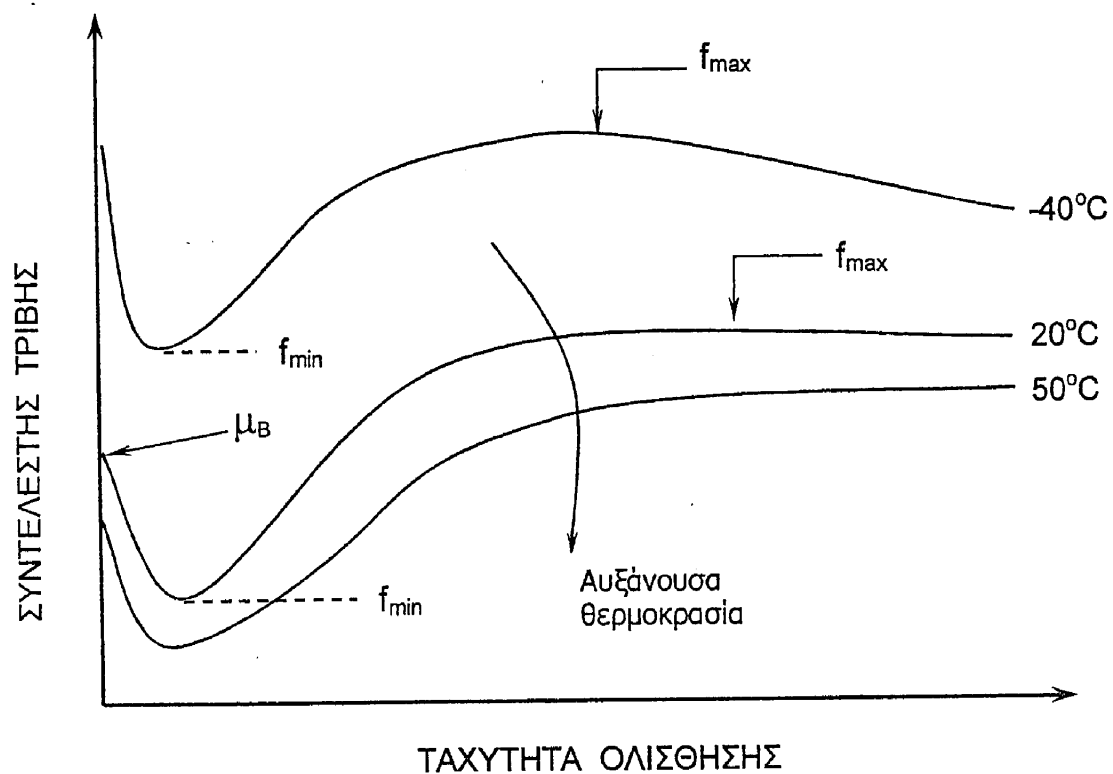
Σχήμα 4-1: Συμπεριφορά της δυσκαμψίας των ελαστομερών ως συνάρτηση του χρόνου επιβολής χαμηλής θερμοκρασίας



Σχήμα 4-2: Διάγραμμα Οριζόντιας δύναμης – Μετατόπισης ελαστομεταλλικού εφεδράνου σε κανονικές και χαμηλές θερμοκρασίες

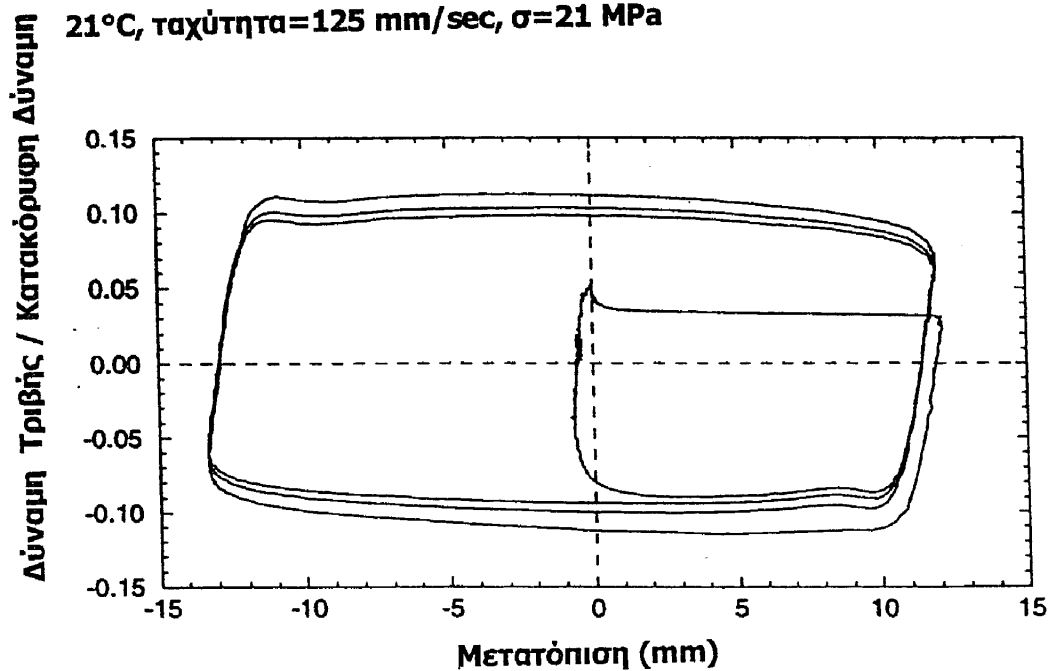


Σχήμα 4-3: Διάγραμμα Οριζόντιας δύναμης – Μετατόπισης ελαστομεταλλικού Εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου σε κανονικές και χαμηλές θερμοκρασίες

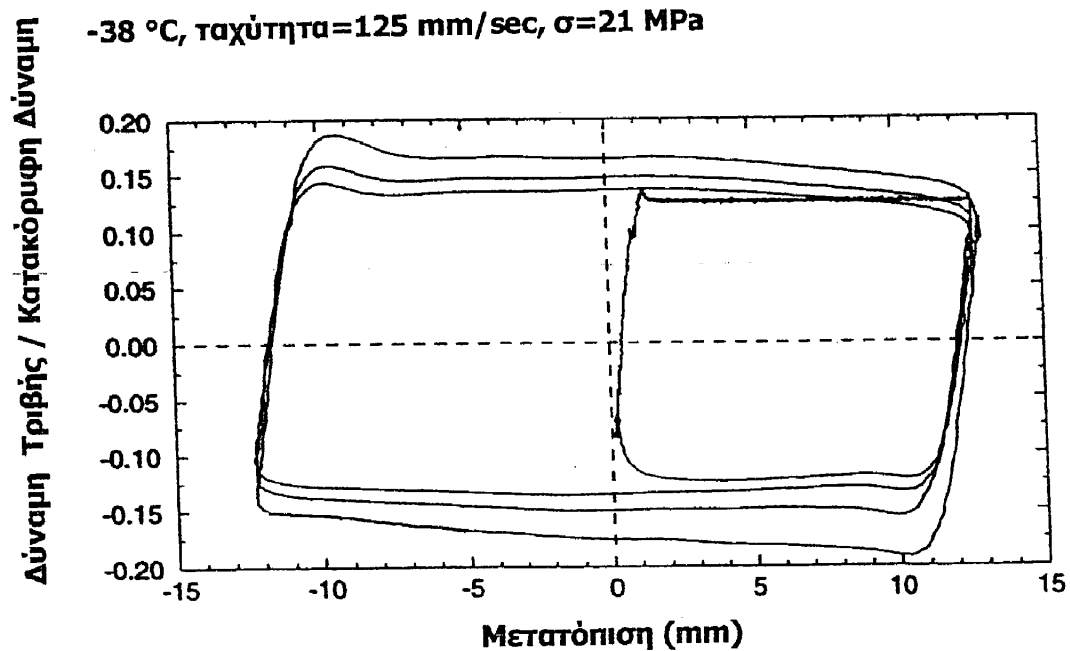


Σχήμα 4-4: Επίδραση της θερμοκρασίας στα χαρακτηριστικά τριβής σε διεπιφάνειες ολίσθησης PTFE – Ανοξείδωτου χάλυβα

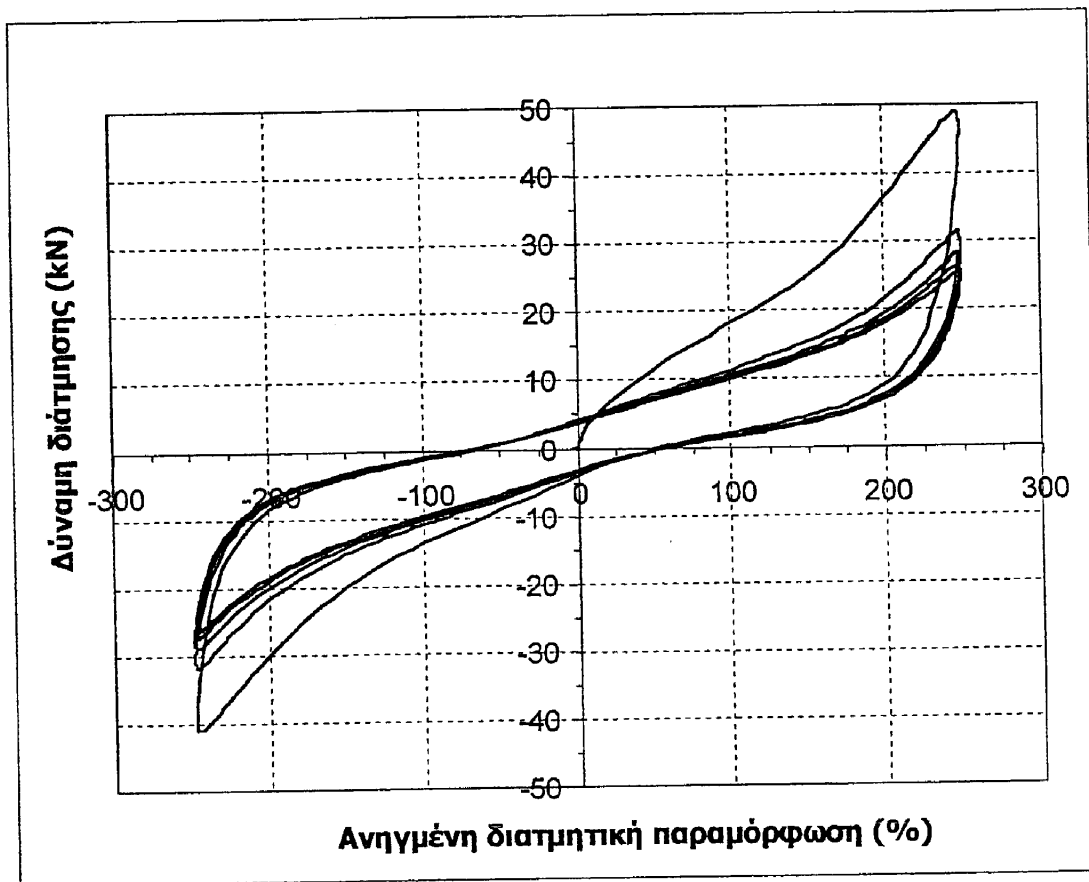
21°C, ταχύτητα=125 mm/sec, $\sigma=21$ MPa



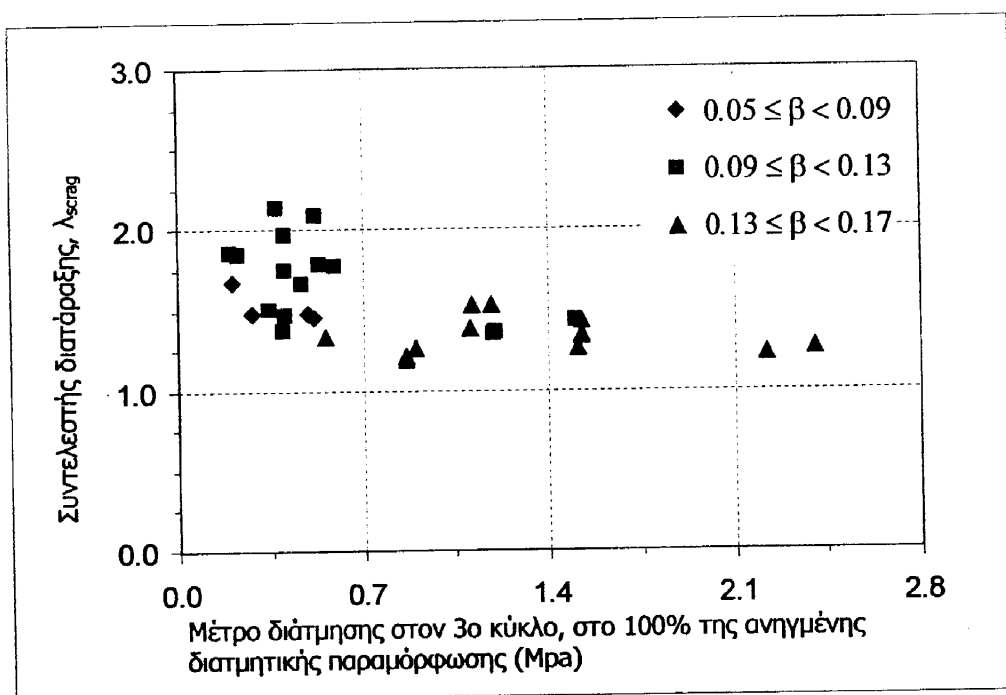
-38 °C, ταχύτητα=125 mm/sec, $\sigma=21$ MPa



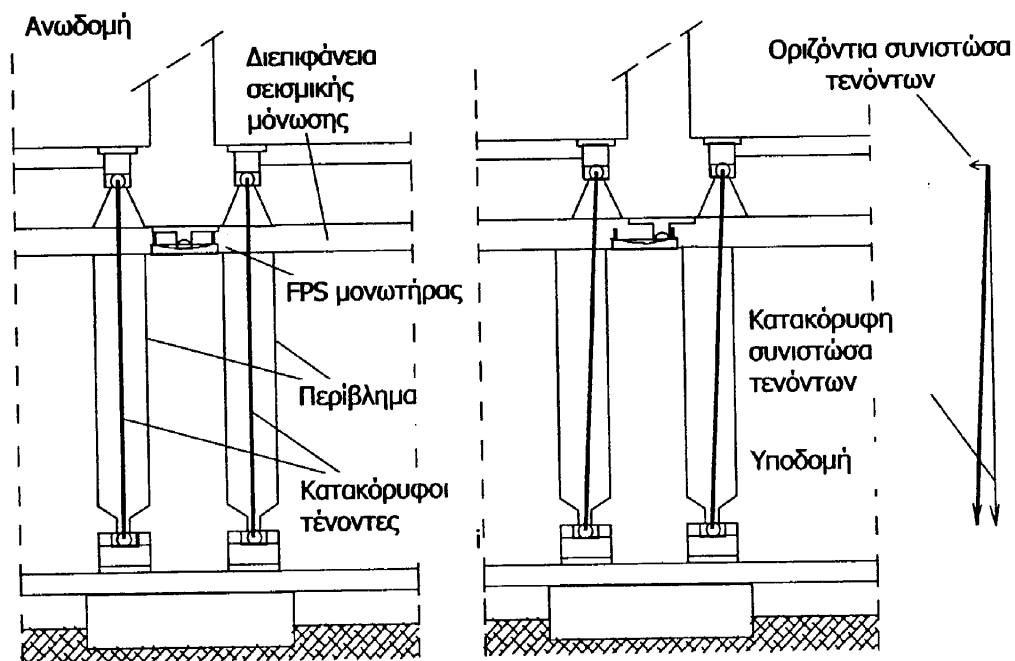
Σχήμα 4-5: Διάγραμμα Ανηγγμένης Δύναμης – Μετατόπισης ενός Επίπεδου Εφεδράνου Ολίσθησης σε Κανονική και Χαμηλή Θερμοκρασία



Σχήμα 4-6: Διάγραμμα 'Δύναμη διάτμησης– Διατμητική Παραμόρφωση' ενός Ελαστομεταλλικού Εφεδράνου Υψηλής Απόσβεσης στην Παρθενική (μη διαταραγμένη) κατάσταση (από Thompson κ.α., 2000)



Σχήμα 4-7: Τιμές του συντελεστή διατάραξης (Scragging factor), λ_{scrag} για Ελαστομεταλλικά εφέδρανα (από Thompson κ.α., 2000) [όπου 'β' η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση]



Σχήμα 4-8: Προεντεταμένα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης ως σύστημα περιορισμού του ανασηκώματος.

5. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Σύμφωνα με ένα από τα ισχύοντα κανονιστικά κείμενα των ΗΠΑ για κτίρια με σεισμική μόνωση (IBC 2000), θα πρέπει να πραγματοποιείται επισκόπηση τόσο του σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης όσο και των προγραμμάτων δοκιμών και ελέγχου ποιότητας των μονωτήρων.

Η επισκόπηση διεξάγεται από μια ομάδα μηχανικών η οποία είναι ανεξάρτητη της ομάδας μελετητών και του κατασκευαστή του έργου και διαθέτει επαρκή εμπειρία σε μεθόδους αντισεισμικής ανάλυσης και υψηλή ειδίκευση στη θεωρία και εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης.

Η επισκόπηση σχεδιασμού και κατασκευής του συστήματος μόνωσης περιλαμβάνει - *αλλά δεν πρέπει να περιορίζεται μόνο σε αυτά* - τα παρακάτω:

1. Επισκόπηση των κριτηρίων της σεισμικής δράσης σχεδιασμού του έργου, όπως τον έλεγχο της δημιουργίας τοπικού φάσματος απόκρισης, την επιλογή των χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης και άλλα κριτήρια της σεισμικής δράσης σχεδιασμού που έχουν ορισθεί για το συγκεκριμένο έργο.
2. Επισκόπηση της προμελέτης της σεισμικής μόνωσης της κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων των εξής στοιχείων:
 - a. Υπολογισμός της μέγιστης μετακίνησης σχεδιασμού των μονωτήρων
 - b. Υπολογισμός της μετακίνησης σχεδιασμού
 - c. Υπολογισμός των οριζοντίων δυνάμεων των μονωτήρων κατά την μετατόπιση σχεδιασμού.
3. Γενική εποπτεία και επίβλεψη των δοκιμών πρωτοτύπων.
4. Επισκόπηση της μελέτης εφαρμογής (της οριστικής μελέτης) του συστήματος μόνωσης.
5. Επισκόπηση του προγράμματος δοκιμών ελέγχου ποιότητας του συστήματος μόνωσης.

Η αιτιολόγηση της αναγκαιότητας της προτεινόμενης διαδικασίας του IBC 2000 παρατίθεται στο κανονιστικό κείμενο FEMA 274 "NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of buildings", και βασίζεται σε δυο κύρια σημεία:

1. Η αστοχία των μονωτήρων μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες.
2. Οι μεθοδολογίες σχεδιασμού και οι διαδικασίες κατασκευής μονωτήρων βρίσκονται υπό συνεχή εξέλιξη, και ενδεχομένως να βασίζονται σε τεχνολογίες με τις οποίες δεν είναι επαρκώς εξοικειωμένοι οι μελετητές μηχανικοί.

Η ομάδα επισκόπησης σχεδιασμού και κατασκευής του συστήματος μόνωσης πρέπει να συσταθεί πριν από τα δύο βασικά στάδια της μελέτης του έργου, δηλαδή:

- α) τον καθορισμό της σεισμικής δράσης σχεδιασμού του έργου (καθορισμό του τοπικού φάσματος απόκρισης, επιλογή των χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης, κλπ) και
- β) την επιλογή του τρόπου εφαρμογής της σεισμικής μόνωσης στο έργο μέσω εξέτασης εναλλακτικών σεναρίων προσέγγισης.

Επιπρόσθετα, η ομάδα επισκόπησης θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε όλες τις σχετικές με το έργο πληροφορίες και να συνεργάζεται με την ομάδα μελέτης του έργου και όλους τους φορείς οι οποίοι έχουν δικαιοδοσία στο έργο σε όλα τα στάδια.

6. ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ

Το κανονιστικό κείμενο των ΗΠΑ για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση, IBC 2000, προδιαγράφει δύο είδη δοκιμών για τις μονάδες σεισμικής μόνωσης: Δοκιμές Πρωτοτύπων και Δοκιμές Ελέγχου Ποιότητας Κατασκευής των μονωτήρων.

Το κανονιστικό κείμενο των ΗΠΑ για τον σχεδιασμό γεφυρών με σεισμική μόνωση, AASHTO 2000, προδιαγράφει τρία είδη δοκιμών για τις μονάδες σεισμικής μόνωσης: Δοκιμές Προ-πιστοποίησης, Δοκιμές Πρωτοτύπων και Δοκιμές Ελέγχου Ποιότητας Κατασκευής των μονωτήρων.

Μεταξύ των τριών τύπων δοκιμών, οι δοκιμές Προ-πιστοποίησης είναι οι πλέον εκτενείς και λεπτομερείς. Ακολουθούν οι δοκιμές πρωτοτύπων και τέλος έπονται οι δοκιμές ελέγχου ποιότητας κατασκευής των μονωτήρων. Κατ' αυτή την έννοια, οι δοκιμές ελέγχου ποιότητας κατασκευής των μονωτήρων μπορεί να χαρακτηρισθούν ως υποσύνολο των δοκιμών πρωτοτύπων, και αυτές με την σειρά τους ως υποσύνολο των δοκιμών προ-πιστοποίησης. Οι δοκιμές αυτές είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις πειραματικών ελέγχων των μονάδων μόνωσης και μπορούν να ορισθούν ως εξής:

Δοκιμές Χαρακτηρισμού του Συστήματος Μόνωσης: Οι δοκιμές Χαρακτηρισμού του Συστήματος Μόνωσης διεξάγονται κυρίως κατά τα πρώτα στάδια εξέλιξης και πιστοποίησης νέων συστημάτων σεισμικής μόνωσης με σκοπό την πειραματική επαλήθευση και διερεύνηση των θεμελιωδών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των μονωτήρων όπως επίσης με σκοπό την διερεύνηση του κατά πόσο και πως, διάφοροι παράγοντες, όπως π.χ. περιβαλλοντικές συνθήκες, συνθήκες φόρτισης, κ.α., επηρεάζουν τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των μονωτήρων. Οι δοκιμές αυτές δεν είναι απαραίτητο να καθορίζονται σύμφωνα με τα δεδομένα και τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε κατασκευής. Σαν παράδειγμα, το NISTIR 5800 παρουσιάζονται δοκιμές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δοκιμές Χαρακτηρισμού.

Δοκιμές Πρωτοτύπων: Καθορίζονται σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε έργου και διεξάγονται με σκοπό την επιβεβαίωση των τιμών των ιδιοτήτων σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης πριν την κατασκευή του.

Δοκιμές για τον Έλεγχο Ποιότητας Κατασκευής των μονωτήρων: Καθορίζονται σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε έργου και διεξάγονται με σκοπό την επιβεβαίωση της ποιότητας κατασκευής των μονάδων μόνωσης και την επιβεβαίωση των τιμών των ιδιοτήτων σχεδιασμού των μονωτήρων πριν από την τοποθέτησή τους στο έργο.

Σύμφωνα με τον IBC 2000, οι μονωτήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται στις δοκιμές πρωτύπων δεν επιτρέπεται να τοποθετηθούν στην κατασκευή, ενώ αντιθέτως, σύμφωνα με τον AASHTO 2000, επιτρέπεται η εγκατάστασή τους στο έργο, εφόσον τα αποτελέσματα των δοκιμών ελέγχου ποιότητας κατασκευής τους, ικανοποιούν τα κριτήρια αποδοχής.

Στην συνέχεια αυτού του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στις δοκιμές πρωτύπων, τον προσδιορισμό της σχέσης δύναμης - μετακίνησης του συστήματος μόνωσης, τα κριτήρια της στάθμης επιτελεστικότητας (κριτήρια αποδοχής) και τον υπολογισμό των ιδιοτήτων σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης, όπως αυτά ορίζονται στον IBC 2000.

Δοκιμές μονάδων σεισμικής μόνωσης (IBC 2000)

Τα χαρακτηριστικά παραμόρφωσης και οι τιμές απόσβεσης ενέργειας του συστήματος μόνωσης που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και την ανάλυση κατασκευών με σεισμική μόνωση πρέπει να βασίζονται σε ελέγχους επιλεγμένων δειγμάτων των μονωτήρων πριν από την κατασκευή, όπως περιγράφεται στις παραγράφους 6.1 έως 6.4. Οι μονάδες του συστήματος μόνωσης που θα ελεγχθούν, πρέπει να περιλαμβάνουν και το σύστημα περιορισμού μετακίνησης (παραμόρφωσης) του συστήματος μόνωσης λόγω ανεμοπίεσης, εφόσον ένα τέτοιο σύστημα έχει προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό του συστήματος μόνωσης. Οι έλεγχοι που περιγράφονται στις παραγράφους 6.1 έως 6.4, πραγματοποιούνται για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας των ιδιοτήτων σχεδιασμού των μονωτήρων και δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι ικανοποιούν τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας κατασκευής, οι οποίες πρέπει να ορισθούν σύμφωνα με την παράγραφο 6.5. [IBC 2000]

6.1 Δοκιμές Πρωτοτύπων. (IBC 2000)

Οι δοκιμές πρωτοτύπων πρέπει να πραγματοποιούνται ξεχωριστά σε δύο μονωτήρες σε κλίμακα 1:1 (ή σε ομάδα μονωτήρων, αναλόγως των απαιτήσεων) κάθε κύριου τύπου και μεγέθους μονωτήρα.

Τα δοκίμια τα οποία θα ελεγχθούν θα περιλαμβάνουν το σύστημα περιορισμού μετακίνησης λόγω ανεμοπίεσης καθώς και ανεξάρτητους του συστήματος ανεμοπίεσης μονωτήρες (αν χρησιμοποιούνται τέτοιοι στον σχεδιασμό). Τα δοκίμια τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στις δοκιμές πρωτοτύπων δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή.

6.1.1 Καταγραφή.

Για κάθε κύκλο δοκιμών, η σχέση δύναμης-παραμόρφωσης του δοκιμίου πρέπει να καταγράφεται.

6.1.2 Ακολουθία και Κύκλοι Φόρτισης

Πρέπει να πραγματοποιηθεί η παρακάτω ακολουθία δοκιμών για τον συγκεκριμένο αριθμό ανακυκλιζόμενων φορτίσεων με κατακόρυφο φορτίο ίσο με το μέσο όρο του μόνιμου φορτίου πλέον του ήμισυ λόγω των κινητών φορτίων για κάθε τύπο και μέγεθος μονωτήρα:

1. 20 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις σε οριζόντια δύναμη ίση με τη δύναμη σχεδιασμού λόγω ανεμοπίεσης
2. 3 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις για κάθε μία από τις ακόλουθες αυξήσεις της συνολικής μετακίνησης σχεδιασμού: $0,25 D_D$, $0,5 D_D$, $1,0 D_D$ και $1,0 D_M$ (τα D_D και D_M καθορίζονται στο Κανονιστικό Κείμενο IBC 2000 στις παραγράφους 1623.2.2.1 και 1623.2.3 αντίστοιχα ή στην παράγραφο 1623.3 αναλόγως των συνθηκών).
3. 3 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις για συνολική μέγιστη μετακίνηση $1,0 D_{TM}$ (το D_{TM} καθορίζεται στις παραγράφους 1623.2.4 ή 1623.3 του IBC 2000).
4. $15 S_{D1} B_D / S_{DS}$, αλλά όχι λιγότερο από 10, πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις για συνολική μετακίνηση σχεδιασμού $1,0 D_{TD}$ (τα S_{D1} και S_{DS} καθορίζονται στην παράγραφο 1615.1, το B_D καθορίζεται από τον πίνακα 1623.2.2.1, και το D_{TD} καθορίζεται στην παράγραφο 1623.2.4 ή 1623.3 αναλόγως των απαιτήσεων, όλες ευρισκόμενες στο Κανονιστικό Κείμενο IBC 2000).

Αν ένα άρθρο του μονωτήρα είναι ικανό να αντιμετωπίζει και κάθετη φόρτιση, τότε το 2^ο άρθρο της ακολουθίας των κυκλικών ελέγχων που περιγράφεται παραπάνω πρέπει να πραγματοποιηθεί για δύο επιπλέον περιπτώσεις κάθετης φόρτισης:

$$1,2D + 0,5L + |E|$$

(Εξ. 16-21)

$$0,8D - |E|$$

(Εξ. 16-22)

όπου η φόρτιση λόγω μόνιμου φορτίου D , και η φόρτιση λόγω κινητού φορτίου L καθορίζονται από τις παραγράφους 1606 και 1607 [IBC 2000] αντίστοιχα. Το σεισμικό φορτίο E δίδεται από τις εξισώσεις 16-28 και 16-29 και η προσαύξηση της φόρτισης λόγω της σεισμικής ανατροπής Q_E πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη μέγιστη απόκριση σε κάθετη σεισμική δύναμη, η οποία αντιστοιχεί στους ελέγχους μετακίνησης που μελετούνται.

Σε αυτούς τους ελέγχους, το συνδυαζόμενο κατακόρυφο φορτίο, θα λαμβάνεται ως τυπική ή μέση καθοδική δύναμη στις μονάδες ενός τυπικού μεγέθους και διαστάσεων μονωτήρα.

6.1.3 Μονάδες Εξαρτώμενες από την Ταχύτητα Φόρτισης.

Αν η ικανότητα του μονωτήρα για μετακίνηση εξαρτάται από το ρυθμό φόρτισης, τότε κάθε ομάδα ελέγχων που ορίζονται στην παράγραφο 6.1.2. πρέπει να πραγματοποιείται δυναμικά με συχνότητα ίση με το αντίστροφο της δραστηκής περιόδου T_D , όπως καθορίζεται στις παραγράφους 1623.2.2.2 ή 1623.3 (ανάλογα την περίπτωση) του Κανονιστικού Κειμένου IBC 2000.

Εάν για την ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων των μονωτήρων που εξαρτώνται από το ρυθμό φόρτισης χρησιμοποιούνται προσομοιώματα υπό κλίμακα, τότε αυτά πρέπει να είναι του ίδιου τύπου με τα πρωτότυπα, κατασκευασμένα με τις ίδιες μεθόδους παραγωγής και τα ίδια υλικά, ενώ θα πρέπει να ελέγχονται σε φόρτιση με συχνότητα η οποία να αντιπροσωπεύει το ρυθμό φόρτισης των πρωτοτύπων.

Οι δυνάμεις μετακίνησης των μονωτήρων θεωρείται ότι εξαρτώνται από το ρυθμό της φόρτισης, αν υπάρχει διαφορά μεγαλύτερη από $\pm 15\%$ στην ενεργό δυσκαμψία και την ενεργό απόσβεση (για μετακίνηση σχεδιασμού) κατά τη δοκιμή με συχνότητα ίση με την αντίστροφη ενεργό ιδιοπερίοδο T_D της μονωμένης κατασκευής και κατά τη δοκιμή με συχνότητα από 0,1 έως 2,0 φορές την αντίστροφη ενεργό ιδιοπερίοδο T_D της μονωμένης κατασκευής.

6.1.4 Μονάδες εξαρτώμενες από εναλασσόμενες φορτίσεις.

Αν οι δυνάμεις μετακίνησης των μονάδων του μονωτήρα εξαρτώνται από φορτίσεις που δρουν με εναλασσόμενη φορά, τότε οι έλεγχοι που καθορίζονται στις παραγράφους 6.1.2 και 6.1.3 πρέπει να επαναπροσδιοριστούν ώστε να περιλαμβάνονται οι φορτίσεις αυτές στις ακόλουθες αυξήσεις της συνολικής μετακίνησης σχεδιασμού: α) 0,25 και 0,10 β) 0,50 και 1,0 γ) 0,75 και 1,0 και δ) 1,0 και 1,0.

Αν για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων μονάδων που υπόκεινται σε εναλασσόμενες φορτίσεις χρησιμοποιηθούν προσομοιώματα μονωτήρων υπό κλίμακα, τότε αυτά πρέπει να είναι ίδιου τύπου και κατασκευασμένα με τον ίδιο τρόπο και τα ίδια υλικά όπως και τα φυσικού μεγέθους πρωτότυπα.

Οι δυνάμεις μετακίνησης των μονωτήρων θεωρείται ότι εξαρτώνται από φορτίσεις που δρουν με εναλασσόμενη φορά, αν υπάρχει διαφορά στην ενεργό δυσκαμψία και τη μετακίνηση σχεδιασμού μεγαλύτερη από $\pm 15\%$ για δυνάμεις εναλασσόμενης φοράς και δυνάμεις μιας κατεύθυνσης.

6.1.5 Μέγιστη και ελάχιστη κατακόρυφη φόρτιση.

Οι μονωτήρες που φέρουν κατακόρυφο φορτίο πρέπει να είναι στατικά ελεγμένοι για τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του φορτίου αυτού κατά τη μετακίνηση σχεδιασμού. Για αυτούς τους ελέγχους, σε κάθε μονωτήρα οποιουδήποτε μεγέθους και μορφής που υπεισέρχεται στο σύστημα μόνωσης, ως μέγιστη κατακόρυφη δύναμη λαμβάνεται ο συνδυασμός φόρτισης $1,2D + 1,0L + |E|_{max}$, ενώ ως ελάχιστη κατακόρυφη δύναμη λαμβάνεται ο συνδυασμός φόρτισης $0,8D - |E|_{min}$. Το μόνιμο φορτίο D και το κινητό φορτίο L καθορίζονται στην παράγραφο 1605 του Κανονιστικού Κειμένου IBC 2000. Το σεισμικό φορτίο E δίδεται από τις εξισώσεις 16-28 και 16-29, στις οποίες το S_{DS} αντικαθίσταται από το S_{MS} (και τα δύο όπως καθορίζονται στην παράγραφο 1615.1), ενώ η αύξηση του φορτίου λόγω της σεισμικής ανατροπής Q_E είναι ίση ή μεγαλύτερη με τη μέγιστη απόκριση έναντι κατακορύφων σεισμικών δυνάμεων που αντιστοιχούν στη μέγιστη σεισμική καταπόνιση που λαμβάνεται υπόψη.

6.1.6 Συστήματα ελέγχου ανεμοπίεσης.

Η μελέτη και διαστασιολόγηση ενός συστήματος ελέγχου ανεμοπίεσης θα γίνει βάση δοκιμών.

6.1.7 Δοκιμές παρεμφερών μονάδων.

Τεστ πρωτοτύπου δεν απαιτούνται σε περίπτωση που ένας μονωτήρας έχει παρόμοια χαρακτηριστικά, είναι παρόμοιου τύπου και κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό με μονωτήρα πρωτοτύπου που έχει προηγουμένως ελεγχθεί με τη συγκεκριμένη ακολουθία δοκιμών.

6.2 Προσδιορισμός της σχέσης δύναμης-μετακίνησης του συστήματος μόνωσης.

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων της σχέσης δύναμης-μετακίνησης του συστήματος μόνωσης πρέπει να βασίζεται σε δοκιμές ανακυκλιζόμενης φόρτισης των πρωτοτύπων μονωτήρων, όπως καθορίζεται στην παράγραφο 6.1. Η ενεργός δυσκαμψία ενός μονωτήρα k_{eff} υπολογίζεται για κάθε κύκλο φόρτισης από την εξίσωση:

$$K_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad (\text{Εξ. 16-90})$$

όπου F^+ και F^- είναι η θετική και η αρνητική δύναμη κατά τη Δ^+ και Δ^- αντίστοιχα.

Η ενεργός απόσβεση β_{eff} ενός μονωτήρα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε κύκλο φόρτισης από την εξίσωση:

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{E_{loop}}{K_{eff} \left(|\Delta^+| + |\Delta^-| \right)^2} \right] \quad (\text{ΕΞ. 16-91})$$

όπου η απορροφούμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο, E_{loop} , και η ενεργός δυσκαμψία K_{eff} , πρέπει να βασίζονται σε δοκιμές με μέγιστη επιβαλλόμενη μετακίνηση Δ^+ και Δ^- .

6.3 Κριτήρια Στάθμης Επιτελεστικότητας των δοκιμών.

Η απόδοση των δοκιμών θεωρείται επαρκής, αν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

1. Τα γραφήματα της σχέσης δύναμης – μετακίνησης, όπως προκύπτουν από τις δοκιμές και όπως καθορίζονται στην παράγραφο 6.1, να παρουσιάζουν αύξηση φέρουσας ικανότητας.
2. Για κάθε αύξηση της μετακίνησης της δοκιμής, όπως αυτή καθορίζεται στο άρθρο 2 της παραγράφου 6.1.2 και για κάθε περίπτωση κατακόρυφης φόρτισης που καθορίζεται στην παράγραφο 6.1.2, δεν υπάρχει μεγαλύτερη διαφορά από $\pm 15\%$ μεταξύ της ενεργού δυσκαμψίας που προκύπτει για κάθε ένα από τους 3 κύκλους των δοκιμών ξεχωριστά και της μέσης τιμής της ενεργού δυσκαμψίας για κάθε μονωτήρα.
3. Για κάθε αύξηση της μετακίνησης ελέγχου, όπως καθορίζεται από το άρθρο 2 της παραγράφου 6.1.2 και για κάθε περίπτωση κατακόρυφου φορτίου που ορίζεται στην παράγραφο 6.1.2, δεν υπάρχει μεγαλύτερη διαφορά από $\pm 15\%$ στη μέση τιμή της ενεργού δυσκαμψίας δυο μονωτήρων ίδιου τύπου και μεγέθους κατά τη διάρκεια των τριών δοκιμαστικών κύκλων φορτίσεως.
4. Για κάθε δοκίμιο δεν υπάρχει μεγαλύτερη από $\pm 20\%$ διαφοροποίηση στην αρχική ενεργό δυσκαμψία κάθε μονωτήρα για $15S_{DI}\beta_D/S_{DS}$ (δες άρθρο 4 της παραγράφου 6.1.2), αλλά όχι για λιγότερο από 10 δοκιμαστικούς κύκλους, όπως καθορίζεται στο άρθρο 3 της παραγράφου 6.1.2.
5. Για κάθε δείγμα, δεν υπάρχει μείωση μεγαλύτερη από 20% στην αρχική ενεργό απόσβεση μονωτήρα για $15S_{DI}\beta_D/S_{DS}$ αλλά όχι για λιγότερο από 10 κύκλους ελέγχου, όπως καθορίζεται στο άρθρο 3 της παραγράφου 6.1.2.
6. Όλα τα τμήματα των στοιχείων που φέρουν κατακόρυφο φορτίο στο σύστημα μόνωσης παραμένουν ευσταθή μέχρι τη συνολική μέγιστη μετακίνηση όπως υπολογίζεται για στατικά φορτία και περιγράφεται στην παράγραφο 6.1.5.

6.4 Ιδιότητες σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης.

Οι ιδιότητες του συστήματος μόνωσης υπολογίζονται από τις σχέσεις που περιγράφονται στις παραγράφους 6.4.1 και 6.4.2.

6.4.1 Μέγιστη και ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία.

Η μέγιστη και ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης k_{Dmax} και k_{Dmin} κατά τη μετακίνηση σχεδιασμού βασίζεται στις ανακυκλιζόμενες δοκιμές της παραγράφου 6.1.2 και υπολογίζεται από τις εξισώσεις:

$$k_{Dmax} = \frac{\sum |F_D^+|_{max} + \sum |F_D^-|_{max}}{2D_D} \quad (\text{Εξ. 16-92})$$

$$k_{Dmin} = \frac{\sum |F_D^+|_{min} + \sum |F_D^-|_{min}}{2D_D} \quad (\text{Εξ. 16-93})$$

Κατά τη μέγιστη μετακίνηση, η μέγιστη και ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης k_{Mmax} και k_{Mmin} θα βασίζονται στις ανακυκλιζόμενες δοκιμές του άρθρου 2 της παραγράφου 6.2 και θα υπολογίζονται από τις εξισώσεις:

$$k_{Mmax} = \frac{\sum |F_M^+|_{max} + \sum |F_M^-|_{max}}{2D_M} \quad (\text{Εξ. 16-94})$$

$$k_{Mmin} = \frac{\sum |F_M^+|_{min} + \sum |F_M^-|_{min}}{2D_M} \quad (\text{Εξ. 16-95})$$

Η μέγιστη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης k_{Dmax} (ή k_{Mmax}), θα βασίζεται στις δυνάμεις εκείνες που προέκυψαν από τις ανακυκλιζόμενες φορτίσεις για μετακίνηση ίση με D_D (D_M) οι οποίες παράγουν την μεγαλύτερη τιμή ενεργού δυσκαμψίας. Η ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης k_{Dmin} (ή k_{Mmin}) θα βασίζεται στις δυνάμεις εκείνες που προέκυψαν από τις ανακυκλιζόμενες φορτίσεις για μετακίνηση ίση με D_D (D_M) οι οποίες παράγουν την μικρότερη τιμή ενεργού δυσκαμψίας.

Για τμήματα μονωτήρων τα οποία κατά τους ελέγχους των παραγράφων 6.1.2 και 6.1.3 βρέθηκε ότι έχουν μεταβλητές ιδιότητες ανάλογα με το κατακόρυφο φορτίο, το ρυθμό φόρτισης ή τις εναλλασσόμενες φορτίσεις αντίστοιχα, οι τιμές των k_{Dmax} και k_{Mmax} πρέπει να αυξηθούν και οι τιμές k_{Dmin} και k_{Mmin} πρέπει να μειωθούν, ώστε να περιοριστούν οι αποκλίσεις στον υπολογισμό της ενεργού δυσκαμψίας.

6.4.2 Ενεργός απόσβεση. Κατά τη μετακίνηση σχεδιασμού, η ενεργός απόσβεση του συστήματος μόνωσης β_D βασίζεται στους ελέγχους του άρθρου 2 της παραγράφου 6.1.2 και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_D}{K_{Dmax} D_D^2} \right] \quad (\text{Εξ. 16-96})$$

Η συνολική ενέργεια που απορροφάται ανά κύκλο για απόκριση στη μετακίνηση σχεδιασμού ΣE_D , λαμβάνεται ως το άθροισμα της απορροφούμενης από το σύνολο των μονωτήρων ενέργειας ανά δοκιμαστικό κύκλο, για επιβαλλόμενη δοκιμαστική μετακίνηση ίση με D_D . Η συνολική ενέργεια που απορροφάται ανά κύκλο για απόκριση στη μετακίνηση σχεδιασμού ΣE_D βασίζεται στις δυνάμεις και μετατοπίσεις εκείνες, όπως προέκυψαν από τους δοκιμαστικούς κύκλους πρωτοτύπων για μετακίνηση ίση με D_D , που δίνουν την μικρότερη τιμή ενεργού απορρόφησης.

Η ενεργός απορρόφηση του συστήματος μόνωσης, β_M , για μέγιστη μετακίνηση, βασίζεται στους κυκλικούς ελέγχους του άρθρου 2 της παραγράφου 6.1.2 και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\sum E_M}{K_{Mmax} D_M^2} \right] \quad (\text{Εξ. 16-97})$$

Στην εξίσωση 16-97, η συνολική ενέργεια που απορροφάται ανά κύκλο για απόκριση στη μέγιστη μετακίνηση ΣE_M , λαμβάνεται ως το άθροισμα της απορροφούμενης από το σύνολο των μονωτήρων ενέργειας ανά δοκιμαστικό κύκλο, για επιβαλλόμενη δοκιμαστική μετακίνηση ίση με D_M . Το σύνολο της ενέργειας που απορροφάται ανά κύκλο για απόκριση στη μέγιστη μετακίνηση ΣE_M βασίζεται στις δυνάμεις και μετατοπίσεις εκείνες, όπως προέκυψαν από τους δοκιμαστικούς κύκλους πρωτοτύπων για μετακίνηση ίση με D_M που δίνουν την μικρότερη τιμή ενεργού απορρόφησης.

6.5 Δοκιμές ελέγχου ποιότητας κατασκευής των μονωτήρων.

Για τον έλεγχο της ποιότητας κατασκευής των μονάδων του συστήματος μόνωσης θα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα δοκιμών από εξουσιοδοτημένη ειδικευμένη ομάδα μηχανικών [IBC 2000].

7 ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ

7.1 Γενικά

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν στοιχεία συστημάτων σεισμικής μόνωσης μόνα τους ή σε συνδυασμό με άλλες συσκευές .

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να ταξινομηθούν εν γένει σε τρεις κατηγορίες: (α) ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (β) ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου και (γ) ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης .

7.1.1 Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα Χαμηλής Απόσβεσης (ΕΛ.Ε.Χ.Α)

- (1) Στα εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης ανήκουν τα κοινά ελαστομεταλλικά εφέδρανα από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό. Η απόσβεση που παρουσιάζουν τα εφέδρανα αυτά οφείλεται στην ιξώδη συμπεριφορά του ελαστικού , ως εκ τούτου εξαρτάται από την ταχύτητα και κυμαίνεται από 3 έως 7% της κρίσιμης απόσβεσης. Η χρήση των εφεδράνων αυτών σε συστήματα σεισμικής μόνωσης γίνεται πάντοτε σε συνδυασμό με συσκευές ή μηχανικές διατάξεις οι οποίες προσφέρουν απόσβεση.
- (2) Τα πλεονεκτήματα των ελαστομεταλλικών εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης είναι:
 - απλή, ευρέως γνωστή και μάλλον τυποποιημένη διαδικασία παραγωγής
 - εύκολη προσομείωση και σχετικώς σταθερή συμπεριφορά.
- (3) Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα των ελαστομεταλλικών εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης είναι ότι παρουσιάζουν μία κυρίως ελαστική συμπεριφορά σε οριζόντια φορτία και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να συνδυάζονται με άλλες συσκευές ή μηχανικές διατάξεις οι οποίες προσφέρουν απόσβεση ενέργειας ούτως ώστε να συσταθεί ένα αποτελεσματικό σύστημα σεισμικής μόνωσης.

7.1.2 Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου.

- (1) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου εφευρέθηκαν στην Νέα Ζηλανδία το 1975 και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην Νέα Ζηλανδία, στην Ιαπωνία και στις Η.Π.Α.
- (2) Το ελαστομερές υλικό των εφεδράνων αυτών είναι παρόμοιο με αυτό των εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης.

- (3) Τα εφεδράνα φέρουν κατακόρυφη οπή στην οποία εισπιέζεται ο πυρήνας μολύβδου.
- (4) Όταν στο εφεδράνο ασκείται οριζόντιο φορτίο οι μεταλλικές πλάκες του εφεδράνου μετακινούνται οριζόντια και υποβάλλουν τον πυρήνα του μολύβδου σε διάτμηση. Η τάση διαρροής του μολύβδου σε διάτμηση είναι χαμηλή (περίπου 10 MPa) με αποτέλεσμα η συμπεριφορά του εφεδράνου σε οριζόντια φορτία να είναι κυρίως ελαστο-πλαστική με μετελαστική δυσστησία και χωρίς προβλήματα κόπωσης.

7.1.3 Ελαστομεταλλικά εφεδράνα υψηλής απόσβεσης (ΕΛ.ΕΦ.ΥΨ.ΑΠ.)

- (1) Τα ΕΛ.ΕΦ.ΥΨ.ΑΠ διαφέρουν από τα κοινά ελαστομεταλλικά εφεδράνα χαμηλής απόσβεσης μόνον ως προς την σύνθεση του ελαστομερούς. Το ελαστομερές υλικό των ΕΛ.ΕΦ.ΥΨ.ΑΠ αποτελείται από ειδική σύνθεση φυσικού ελαστικού με διάφορα πρόσμικτα π.χ. άνθρακα, λάδια ή ρητίνες και άλλα υλικά (proprietary fillers). Τέτοιες συνθέσεις παρήχθησαν για πρώτη φορά το 1982 από την Ερευνητική Ένωση των Παραγωγών Ελαστικού Μαλαισίας (MRPRA) της Μ. Βρετανίας με στόχο την αύξηση της απόσβεσης.
- (2) Η τιμή της απόσβεσης των ΕΛ.ΕΦ.ΥΨ.ΑΠ κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 20% για ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση 100%.
- (3) Η απόσβεση των εφεδράνων αυτών δεν είναι καθαρά ιξώδης ούτε καθαρά υστερητική αλλά συνδυασμός αυτών. Σε ένα καθαρά γραμμικά ιξώδες στοιχείο, η ενέργεια η οποία καταναλώνεται είναι ανάλογη του τετραγώνου της μετακίνησης ενώ σε ένα καθαρά υστερητικό στοιχείο η ενέργεια η οποία καταναλώνεται τείνει να είναι γραμμικά ανάλογη της μετακίνησης. Στην περίπτωση των εφεδράνων ΕΛ.ΕΦ.ΥΨ.ΑΠ, πειραματικές δοκιμές στο EERC έδειξαν ότι η ενέργεια η οποία καταναλώνεται ανά κύκλο φόρτισης είναι περίπου ανάλογη της μετακίνησης με εκθέτη 1.5.
- (4) Η συμπεριφορά των ΕΛ.ΕΦ.ΥΨ.ΑΠ εξαρτάται έντονα από το εύρος της μετακίνησης και από την ιστορία φόρτισης του εφεδράνου με διακυμάνσεις στην δυσστησία της τάξεως του 50%. Επίσης η συμπεριφορά εξαρτάται σημαντικά από την θερμοκρασία.

7.2. Κριτήρια-Μεθοδολογία Σχεδιασμού

- (1) Η βασική παράμετρος σχεδιασμού των ελαστομεταλλικών εφεδράνων που αποτελούν στοιχεία συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι η ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση του ελαστομερούς.
- (2) Στην ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση του ελαστομερούς συμβάλλουν οι εξής συνιστώσες:
 - Ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση γ_c από θλιπτικό φορτίο N
 - Ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση $\gamma_{s,s}$ από μη σεισμικές οριζόντιες μετακινήσεις
 - Ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση $\gamma_{s,E}$ από σεισμικές οριζόντιες μετακινήσεις
 - Ανηγμένη γωνιακή παραμόρφωση γ_ϕ λόγω στροφής ϕ της άνω ως προς την κάτω εξωτερική επιφάνεια του εφεδράνου.
- (3) Κριτήριο σχεδιασμού των ελαστομεταλλικών εφεδράνων είναι η τιμή της ανηγμένη γωνιακής παραμόρφωσης η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη από τα όρια τα οποία δίνονται στην παράγραφο 7.3 για τους αντίστοιχους συνδυασμούς φορτίων.
- (4) Ο συντελεστής ασφάλειας για τον έλεγχο ευστάθειας των εφεδράνων με κατακόρυφο φορτίο από ίδια βάρη και κινητά ($N_{DL}+N_{LL}$) χωρίς οριζόντια μετακίνηση θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με 3. Θα πρέπει επίσης να ελέγχεται η ευστάθεια των εφεδράνων για κατακόρυφο φορτίο $1.2N_{DL}+N_{LE}+N_{OT}$ και οριζόντια μετακίνηση ίση με την $d_{t,1}$ ή $d_{t,2}$ ή $d_{t,3}$.
Όπου $d_{t,1} = d_{c+s} + 0.50 d_T + 1.5 d_{E,475}$ όταν $a_{g,475} > 0.19g$
 $d_{t,2} = d_{c+s} + 0.50 d_T + 2.0 d_{E,475}$ όταν $a_{g,475} \leq 0.19g$
 $d_{t,3} = d_{c+s} + 0.50 d_T + 1.1 d_{E,2400}$
 d_{c+s} οριζόντια μετακίνηση λόγω συστολής ξήρανσης και ερπυσμού
 d_T οριζόντια μετακίνηση από θερμοκρασιακές μεταβολές
 $d_{E,475}$ οριζόντια σεισμική μετακίνηση για σεισμό 475 ετών
 $d_{E,2400}$ οριζόντια σεισμική μετακίνηση για σεισμό 2400 ετών

a_g είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού για σεισμό 475 ετών

N_{DL} είναι το θλιπτικό φορτίο από ίδια βάρη

N_{LE} είναι το θλιπτικό φορτίο από το ποσοστό των κινητών το οποίο λαμβάνεται υπόψη στον σεισμικό συνδυασμό δράσεων

N_{OT} είναι το θλιπτικό φορτίο που παράγεται από την ροπή ανατροπής που δημιουργούν τα οριζόντια φορτία.

7.3 Συνδυασμοί δράσεων

- | | | | |
|-----|---|--------|------------|
| (1) | γ_c | \leq | 2.5 |
| (2) | $\gamma_c + \gamma_{s,s} + \gamma_r$ | \leq | 5.0 |
| (3) | $\gamma_c + \gamma_{s,s} + \gamma_{s,E} + 0.5 \gamma_r$ | \leq | 5.5 |

7.4 Προδιαγραφές-Υλικά Κατασκευής Ελαστομεταλλικών Εφεδράνων

Υπάρχουν δύο φάσεις δοκιμών για τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν στοιχεία συστήματος σεισμικής μόνωσης. Οι δοκιμές πρωτοτύπων και οι δοκιμές ελέγχου ποιότητας.

7.4.1 Δοκιμές Πρωτοτύπων

- (1) Οι δοκιμές πρωτοτύπων στόχο έχουν να επαληθεύσουν τις τιμές σχεδιασμού των εφεδράνων και να αποδείξουν την ικανότητά τους να παραλάβουν με ασφάλεια τα φορτία και τις μετακινήσεις σχεδιασμού.
- (2) Τα δοκίμια τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για δοκιμές πρωτοτύπων δεν θα έχουν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως σε οποιαδήποτε άλλη δοκιμή.
- (3) Οι δοκιμές πρωτοτύπων θα εκτελούνται σε δύο κατ' ελάχιστον ελαστομεταλλικά εφέδρανα χωριστά. Οι διαστάσεις των δοκιμών θα έχουν σχέση 1:1 με εκείνες των εφεδράνων της μελέτης ή θα είναι παραπλήσιες. Επίσης τα δοκίμια θα φέρουν και οποιοδήποτε εξάρτημα ανάσχεσης της οριζόντιας μετακίνησης (π.χ. από άνεμο) εφόσον τέτοια εξαρτήματα προβλέπονται από την μελέτη της σεισμικής μόνωσης.

- (4) Τα δοκίμια επί των οποίων εκτελέστηκαν οι δοκιμές πρωτοτύπων επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν στο έργο εφόσον έχουν τις προδιαγεγραμμένες από την μελέτη τιμές δυστημσίας και απόσβεσης και έχουν επιτυχώς συμπληρώσει όλες τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας.
- (5) Δοκιμές πρωτοτύπων σε δοκίμια υπό μειωμένη κλίμακα θα γίνονται αποδεκτές μόνον στην περίπτωση κατά την οποία οι δοκιμές σε δοκίμια πραγματικής κλίμακας (1:1) είναι πρακτικά ανέφικτες λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων των μηχανών δοκιμής που διατίθενται και εφόσον υπάρχει η σχετική έγκριση από τον Αρμόδιο.
- (6) Σε περίπτωση χρησιμοποίησης δοκιμών υπό μειωμένη κλίμακα, τα δοκίμια θα πρέπει να είναι γεωμετρικώς όμοια και από το ίδιο ακριβώς υλικό με τα εφέδρανα της μελέτης. Τα υπό κλίμακα δοκίμια θα πρέπει να παράγονται με τις ίδιες διαδικασίες και την ποιότητα που παράγονται τα δοκίμια πλήρους κλίμακας (1:1).
- (7) Στην σειρά δοκιμών που αναφέρονται ακολούθως το θλιπτικό φορτίο θα είναι ίσο με εκείνο που προκύπτει από ίδια βάρη στα ομοίου τύπου και διαστάσεων εφέδρανα της μελέτης.
- (7.1) Τρεις πλήρεις κύκλοι φόρτισης σε οριζόντια μετακίνηση ίση με την μέγιστη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού από θερμοκρασιακές δράσεις.
- (7.2) Είκοσι πλήρεις κύκλοι φόρτισης μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής του φορτίου που προέρχεται από την δράση του ανέμου (και της τροχοπέδησης στην περίπτωση των γεφυρών) συνολικής διάρκειας τουλάχιστον 40 sec. Μετά από την ανακυκλιζόμενη φόρτιση, θα ασκείται η μέγιστη τιμή του φορτίου σταθερά για 60 sec.
- (7.3) Τρεις πλήρεις κύκλοι φόρτισης σε κάθε μία από τις ακόλουθες τιμές οριζόντιας μετακίνησης και με την σειρά που αυτές δίνονται : $1.0d_t$, $0.25d_t$, $0.50d_t$, $0.75d_t$, $1.0d_t$ και $1.25d_t$. Όπου d_t είναι η συνολική μετακίνηση σχεδιασμού.
- (7.4) Είκοσι πέντε πλήρεις κύκλοι φόρτισης σε μετακίνηση ίση με $1.0 d_t$. Η εκκίνηση του κύκλου φόρτισης θα γίνει με αρχική μετακίνηση ίση με την «μακροχρόνια» τιμή της οριζόντιας μετακίνησης σχεδιασμού από μόνιμες δράσεις $d_p = d_{c+s} + 0.50d_T$ όπου d_{c+s} είναι η μετακίνηση από συστολή

ξήρανσης του σκυροδέματος και ερπυσμό και d_T είναι η μετακίνηση από θερμοκρασιακές μεταβολές.

(7.5) Τρεις πλήρεις κύκλοι φόρτισης μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής του φορτίου που προέρχεται από την δράση του ανέμου (και της τροχοπέδησης στην περίπτωση των γεφυρών) συνολικής διάρκειας τουλάχιστον 40 sec. Μετά από την ανακυκλιζόμενη φόρτιση, θα ασκείται η μέγιστη τιμή του φορτίου σταθερά για 60 sec.

(7.6) Τρεις πλήρεις κύκλοι φόρτισης σε μετακίνηση ίση με την $1.0 d_t$

(7.7) Ένας πλήρης κύκλος φόρτισης σε μετακίνηση $d_{t,1}$ ή $d_{t,2}$ ή $d_{t,3}$ (βλ. παραγρ.7.2.(4)). Στην δοκιμή αυτή το θλιπτικό φορτίο θα έχει μία μέγιστη τιμή ίση με $1.2N_{DL}+N_{LE}+N_{OT}$ και μία ελάχιστη τιμή ίση με $0.80N_{DL}-N_{OT}$. Οπου N_{DL} είναι το θλιπτικό φορτίο από ίδια βάρη, N_{LE} είναι το θλιπτικό φορτίο από το ποσοστό των κινητών το οποίο λαμβάνεται υπόψη στον σεισμικό συνδυασμό δράσεων και N_{OT} είναι το θλιπτικό φορτίο που παράγεται από την ροπή ανατροπής που δημιουργούν τα οριζόντια φορτία.

(8) Σε περίπτωση που υπάρχει διαφορά στην τιμή της K_d ή Q_d μεγαλύτερη από 15% για οποιαδήποτε συχνότητα φόρτισης μεταξύ $0.5/T_{eff}$ και $1.5/T_{eff}$ η σχέση δύναμης-μετακίνησης των εφεδράνων θα θεωρείται ότι εξαρτάται από την συχνότητα της δυναμικά ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Στην περίπτωση αυτή όλες οι προαναφερθείσες δοκιμές πρωτοτύπων θα εκτελεσθούν δυναμικά με συχνότητα $1/T_{eff}$.

7.4.2 Δοκιμές ελέγχου ποιότητας

- (1) Όλα τα εφέδρανα τα οποία πρόκειται να εγκατασταθούν στο έργο θα υποβάλλονται σε δοκιμές ελέγχου ποιότητας.
- (2) Οι συνδέσεις των εφεδράνων με την μηχανή δοκιμής θα είναι αντιπροσωπευτική των συνδέσεων του εφεδράνου στο έργο.
- (3) Κάθε εφέδρανο θα υποβάλλεται σε στατικό θλιπτικό φορτίο ίσο 1.5πλάσιο του μεγίστου φορτίου λειτουργίας (από ίδια βάρη και κινητά). Εάν η πλευρική διόγκωση του ελαστομερούς (bulging) είναι τόση ώστε να υποδηλώνει

αποκόλληση του ελαστομερούς από τα μεταλλικά ελάσματα, τότε το εφέδρανο θα απορρίπτεται.

- (4) Όλα τα εφέδρανα θα υποβάλλονται σε δοκιμή ταυτόχρονης θλίψης και διάτμησης. Η δοκιμή αυτή επιτρέπεται να γίνεται σε ζεύγη εφεδράνων. Το θλιπτικό φορτίο θα πρέπει να είναι ίσο με την μέση τιμή του θλιπτικού φορτίου από ίδια βάρη σε όλα τα εφέδρανα του ίδιου τύπου. Τα εφέδρανα θα υποβάλλονται σε πέντε πλήρεις κύκλους φόρτισης σε μετακίνηση ίση με την συνολική μετακίνηση σχεδιασμού ή με το 50% του πάχους του ελαστομερούς εάν αυτή η τιμή είναι μεγαλύτερη.
- (5) Για κάθε εφέδρανο θα υπολογίζεται η μέση τιμή (των πέντε κύκλων φόρτισης) της ενεργού δυστημσίας (K_{eff}) και της ενέργειας (E_{DC}) που καταναλώνεται σε κάθε κύκλο φόρτισης. Για κάθε ομάδα εφεδράνων ομοίου τύπου και διαστάσεων θα λαμβάνεται η μέση τιμή της προαναφερθείσας μέσης τιμής. Τα αποτελέσματα δεν θα πρέπει να διαφέρουν από τις τιμές σχεδιασμού περισσότερο από τα όρια που δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

	K_{eff}	E_{DC}
Για κάθε εφέδρανο	$\pm 20 \%$	-25 %
Για ομάδα εφεδράνων ομοίου τύπου και διαστάσεων	$\pm 10 \%$	-15%

7.4.3 Κριτήρια αποδοχής

- (1) Μετά τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας κάθε εφέδρανο θα εξετάζεται οπτικώς για τυχόν βλάβες. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί έστω και μία από τις ακόλουθως αναφερόμενες βλάβες το εφέδρανο θα απορρίπτεται:
- (1.1) Αποκόλληση του ελαστομερούς από μεταλλικό έλασμα.
 - (1.2) Αστοχία στην θέση των μεταλλικών ελασμάτων.
 - (1.3) Επιφανειακές ρωγμές στο ελαστομερές πάχους και βάθους μεγαλύτερου των 2/3 του πάχους επικάλυψης του ελαστομερούς.
 - (1.4) Παραμένουσες παραμορφώσεις.

8. ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

8.1 Εισαγωγή

Σύγχρονα συστήματα σεισμικής μόνωσης με εφέδρανα ολίσθησης είναι δυνατόν να λάβουν ποικίλες μορφές. Τα επίπεδα εφέδρανα ολίσθησης είναι δυνατόν να συνδυαστούν με ελαστομερή εφέδρανα προκειμένου να σχηματίσουν υβριδικά συστήματα μόνωσης με γκάμα ικανοτήτων απορρόφησης ενέργειας και δυσμνησίας. Οι βασικοί τύποι επίπεδων εφεδράνων ολίσθησης απεικονίζονται στο Σχήμα 8-1. Αυτοί περιλαμβάνουν εφέδρανα ολίσθησης με εγκλωβισμένο ελαστομερές, εφέδρανα ολίσθησης με ελαστομερή βάση, και σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης. Οι τρεις τύποι διαφέρουν στην κατασκευή του περιστρεφόμενου τμήματος, με τα σφαιρικά εφέδρανα να έχουν την μικρότερη περιστροφική αντίσταση και κατά συνέπεια την βέλτιστη κατανομή πίεσης στην διεπιφάνεια ολίσθησης.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην διεπιφάνεια ολίσθησης αυτών των εφεδράνων είναι συνήθως ο ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας (είτε τύπου 304 είτε κατά προτίμηση του ανθεκτικότερου τύπου στη διάβρωση, του τύπου 316 που περιέχει μολυβδαίνιο) σε επαφή με αμιγές PTFE. Για την επίτευξη σημαντικής ικανότητας απορρόφησης ενέργειας, η διεπιφάνεια ολίσθησης (το PTFE) θα πρέπει να μην λιπαίνεται. Στην διεπιφάνεια ολίσθησης έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλα υλικά ή συνδυασμοί υλικών, όπως σύνθετα PTFE, PTFE με προσμίξεις και σύνθετα ορείχαλκου-μόλυβδου, παρά το γεγονός ότι οι διμεταλλικές διεπιφάνειες εκτιμώνται ως προβληματικές, (AASHTO, 1999; Constantinou κ.α., 1999).

Επίπεδα εφέδρανα ολίσθησης με λιπαντικό στην διεπιφάνεια τριβής έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ελαστοπλαστικές συσκευές καμπτόμενου χάλυβα, (σχήματος «Ε», μηνοειδούς σχήματος, κλπ.) όπως αυτές που απεικονίζονται στα Σχήματα 8-2 και 8-3 (Tsopelas και Constantinou, 1997; Marionι, 1997), σε συστήματα σεισμικής μόνωσης γεφυρών. Σε αυτά τα συστήματα, χρησιμοποιούνται μηχανισμοί μεταβίβασης κρουστικών δράσεων για να επιτρέπεται η απρόσκοπτη θερμική κίνηση της γέφυρας πάνω στα επίπεδα εφέδρανα ολίσθησης. Οι μηχανισμοί μεταβίβασης κρουστικών δράσεων ασφαλίζουν κατά τη σεισμική διέγερση και η σεισμική επιπόνηση μεταφέρεται στους μηχανισμούς καμπτόμενου χάλυβα, οι οποίοι απορροφούν ενέργεια και περιορίζουν τη σεισμική μετακίνηση του έργου.

Η αρχή λειτουργίας παρουσιάζεται στο σχήμα 8-2 που δείχνει ένα τέτοιο εφέδρανο με συσκευές καμπτόμενου χάλυβα, σχήματος «Ε». Το εφέδρανο αποτελείται από το εφέδρανο ολίσθησης με λιπαντικό για την μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων

(βάρους) της γέφυρας και από τέσσερις χαλύβδινες συσκευές σχήματος «Ε». Τα κεντρικά τμήματα των χαλύβδινων συσκευών σχήματος «Ε» στην διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας είναι συνδεδεμένα στο εφέδρανο ολίσθησης διαμέσου ενός μηχανισμού μεταβίβασης κρουστικής δράσης (Σχήμα 8-2α). Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει την απρόσκοπη κίνηση της γέφυρας σε αργές κινήσεις όπως αυτές που προκαλούνται από θερμοκρασιακές μεταβολές (Σχήμα 8-2β). Κάτω από συνθήκες σεισμού, ο μηχανισμός μεταβίβασης κρουστικής δράσης ενεργοποιείται ώστε οι συσκευές σχήματος «Ε» κάμπτονται και διαρρέουν όπως δείχνεται στο Σχήμα 8-2γ.

Ωστόσο, αυτά τα συστήματα στερούνται επαρκούς ικανότητας επαναφοράς και έτσι ενδεχομένως να αναπτύξουν σημαντικές μόνιμες μετακινήσεις.

Ο Σφαιρικός σεισμικός μονωτήρας ολίσθησης (εφέδρανο FPS) (Σχήμα 8-4) είναι ένα εφέδρανο τριβής με σφαιρική διεπιφάνεια ολίσθησης. Δρα σε μεγάλο βαθμό όπως το σφαιρικό εφέδρανο του Σχήματος 8-1(ς) αλλά επιπλέον διαθέτει οριζόντια δυσστησία ως αποτέλεσμα της καμπυλότητας της διεπιφάνειας ολίσθησης. Η οριζόντια δύναμη, F , η οποία απαιτείται για να επέλθει οριζόντια μετακίνηση, u , του εφεδράνου FPS, δίδεται με την εξής σχέση:

$$F = \frac{W}{R} u + \mu W \quad (8-1)$$

όπου W = το αξονικό θλιπτικό φορτίο του εφεδράνου, R = η ακτίνα καμπυλότητας της διεπιφάνειας ολίσθησης, και μ = συντελεστής τριβής ολίσθησης.

8.2 Σχεδιασμός Εφεδράνων ολίσθησης

Ο σχεδιασμός ολίσθησης συνεπάγεται τα κατωτέρω:

- Επιλογή των υλικών για τις διεπιφάνειες ολίσθησης και των συνθηκών θλιπτικών τάσεων με σκοπό την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών τριβής.
- Επιλογή του πάχους της πλάκας ανοξείδωτου χάλυβα με σκοπό την αποφυγή κυματοειδούς παραμόρφωσής της, η οποία ενδέχεται να οδηγήσει σε αστοχία του εφεδράνου.
- Επιλογή του πάχους του PTFE ή άλλου συνδυαζόμενου υλικού με σκοπό την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών φθοράς για την εκάστοτε εφαρμογή.

(d) Επιλογή πάχους της άνω και κάτω πλάκας του εφεδράνου για την ασφαλή ανάληψη (παραλαβή) των αναπτυσσομένων τάσεων και για την εξασφάλιση επαρκούς ακαμψίας με σκοπό την αποφυγή παραμόρφωσης της επιφάνειας ολίσθησης.

(e) Επιλογή των διαστάσεων και της ακαμψίας του περιστροφικού τμήματος του εφεδράνου με σκοπό την ελαχιστοποίηση των τάσεων στις ακμές της διεπιφάνειας ολίσθησης. Αυτές οι τάσεις ενδέχεται να οδηγήσουν σε υπερβολική φθορά του υλικού.

Οι κατωτέρω προδιαγραφές σχετικά με την γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής εφεδράνων ολίσθησης, συνιστώνται από το AASHTO (1999) και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό εφεδράνων ολίσθησης που χρησιμοποιούνται για την σεισμική μόνωση τεχνικών έργων:

(a) Το ωφέλιμο πάχος (το πάχος του τμήματος του PTFE που προβάλλει από την εσοχή εγκλωβισμού ή το πάχος του τμήματος του PTFE που μπορεί να φθαρεί) αμιγούς ή σύνθετου φύλλου PTFE θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.6 mm μετά τη συμπίεση (υπό συνθήκες φόρτισης). Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1337-1 (European, 2000) συσχετίζει το χρήσιμο πάχος (ή το πάχος του τμήματος που προβάλλει από την εσοχή) με τις διαστάσεις του φύλλου PTFE και απαιτεί ένα ελάχιστο πάχος 2,2 mm υπό συνθήκες μηδενικής φόρτισης.

(b) Το ωφέλιμο πάχος άλλων επενδύσεων εφεδράνων θα πρέπει να είναι 1,6 mm ή να καθορίζεται με βάση πειραματικών ελέγχων φθοράς για τις συγκεκριμένες συνθήκες εφαρμογής. Για εφαρμογές σε γέφυρες, ο κυρίαρχος παράγοντας για την επιλογή υλικών και παχών μπορεί να είναι η φθορά που οφείλεται σε κίνηση εφεδράνου που προκαλείται από την κυκλοφορία.

(c) Η επιφάνεια ολίσθησης από ανοξείδωτο χάλυβα θα πρέπει να στιλβώνεται ώστε να επιτυγχάνεται υψηλού βαθμού λείανση. Το AASHTO (1999) συνιστά ένα φινίρισμα με αριθμητική μέση τιμή τραχύτητας επιφάνειας (R_a) όχι πάνω από 0.8 micro meters. Ο τελικός βαθμός λείανσης που είναι διαθέσιμος στο εμπόριο συνήθως ισοδυναμεί με μια αριθμητική μέση τιμή τραχύτητας επιφάνειας (R_a) περίπου 0.05 micro meters σύμφωνα με το πρότυπο ANSI/ASME B46.1-1985 (ASME, 1985).

- (d) Ο ανοξείδωτος χάλυβας θα πρέπει να είναι ωστενιτικός και κατά προτίμηση του τύπου 316, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου ASTM A 240 (στις Η.Π.Α.) ή του τύπου 5 CrNiMo σύμφωνα με τις προδιαγραφές του προτύπου DIN 17440 (στη Γερμανία) ή ισοδύναμου προτύπου.
- (e) Το πάχος του ανοξείδωτου χάλυβα της πλάκας ολίσθησης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.5 mm για επιφάνειες έχουσες μέγιστη διάσταση μικρότερη των 300 mm, και τουλάχιστον 2.3 mm για επιφάνειες έχουσες μέγιστη διάσταση μικρότερη των 900 mm. Για μεγαλύτερες διαστάσεις το πάχος του φύλλου ανοξείδωτου χάλυβα θα πρέπει να εξακριβώνεται με πειραματικό έλεγχο των εφεδράνων (πλήρους μεγέθους) υπό κλίμακα 1:1 σε αντιπροσωπευτικά φορτία και ταχύτητες.
- (f) Δεν συνιστάται η επαφή υλικών, ανθεκτικών στη διάβρωση, εκτός του ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα με αμιγές ή σύνθετο PTFE, ή άλλα μη-μεταλλικά υλικά επενδύσεων. Ιδιαίτερα, ο επιχρωμιωμένος ανθρακούχος χάλυβας και οι διμεταλλικές διεπιφάνειες είναι γνωστές ότι είτε διαβρώνονται είτε ότι έχουν ως αποτέλεσμα την σημαντική μεταβολή της τριβής (British Standards Institution, 1979; Constantinou κ.α., 1999).
- (g) Σε εφέδρανα ολίσθησης με λιπαντικό θα πρέπει για την μια επιφάνεια ολίσθησης να χρησιμοποιείται φύλλο τύπου PTFE. Οι κοιλότητες για το λιπαντικό θα πρέπει να είναι διαμορφωμένες στο φύλλο αυτό και θα πρέπει να έχουν διάμετρο όχι πάνω από 8 mm και βάθος όχι περισσότερο από 2 mm. Οι κοιλότητες θα πρέπει να καλύπτουν το 20 έως 30-τα εκατό της επιφάνειας του φύλλου. Το λιπαντικό θα πρέπει να είναι γράσο σιλικόνης, αποτελεσματικό σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα εφέδρανα ολίσθησης θα πρέπει να παρέχουν δυνατότητα σχετικής στροφής του άνω και κάτω τμήματός τους με σκοπό να διευκολύνουν την περιστροφή που προκύπτει από φόρτωση, ανοχές κατασκευής, και θερμοκρασιακές επιδράσεις. Επιπλέον, το εφέδρανο FPS θα πρέπει να επιτρέπει την περιστροφή, ϕ , που προκύπτει από την οριζόντια μετακίνηση u :

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{u}{R}\right) \quad (8-2)$$

όπου u = οριζόντια μετακίνηση και R = ακτίνα καμπυλότητας. Δεδομένου ότι τυπικά $u/R \leq 0.2$, η περιστροφή είναι περίπου 0.2 rad ή μικρότερη.

Η στροφική ακαμψία των εφεδράνων ολίσθησης είναι σημαντική για τον υπολογισμό της ροπής που επιδρά στο εφέδρανο και τον υπολογισμό των, με τις ροπές αυτές, συνδεομένων πρόσθετων τάσεων οι οποίες αναπτύσσονται στις ακμές της διεπιφάνειας ολίσθησης. Ο Roeder et al. (1993) παρουσίασε στοιχεία πειραματικών δοκιμών σχετικά με την στροφική ακαμψία εφεδράνων ολίσθησης με εγκλωβισμένο ελαστομερές, εφεδράνων ολίσθησης με ελαστομερή βάση και σφαιρικών εφεδράνων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν καθοδήγηση για τον υπολογισμό της στροφικής ακαμψίας εφεδράνων ολίσθησης.

8.3 Χαρακτηριστικά τριβής εφεδράνων ολίσθησης

Μια απόπειρα σύνοψης του γνωστικού πεδίου αναφορικά με την φύση της τριβής σε δομικά εφέδρανα ολίσθησης, παρουσιάστηκε από τον Constantinou κ.α. (1999). Εδώ υπάρχουν αρκετά αντιπροσωπευτικά και ενημερωτικά στοιχεία σχετικά με τις ιδιότητες τριβής φύλλου PTFE δίχως λιπαντικό μέσο, το οποίο είναι σε επαφή με υψηλής στίλβωσης ανοξείδωτο χάλυβα. Η συμπεριφορά άλλων υλικών, όπως συνθετικού PTFE, υλικών με βάση το PTFE, ή μη-μεταλλικών σύνθετων υλικών, είναι παρόμοια.

Ο συντελεστής τριβής διεπιφανειών ολίσθησης στιλβωμένου ανοξείδωτου χάλυβα-PTFE εξαρτάται από αριθμό παραγόντων, εκ των οποίων, το μέγεθος της θλιπτικής τάσης στην διεπιφάνεια ολίσθησης, η ταχύτητα ολίσθησης, και η θερμοκρασία είναι οι σημαντικότεροι.

Γενικά, η συμπεριφορά αυτών των διεπιφανειών ολίσθησης μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

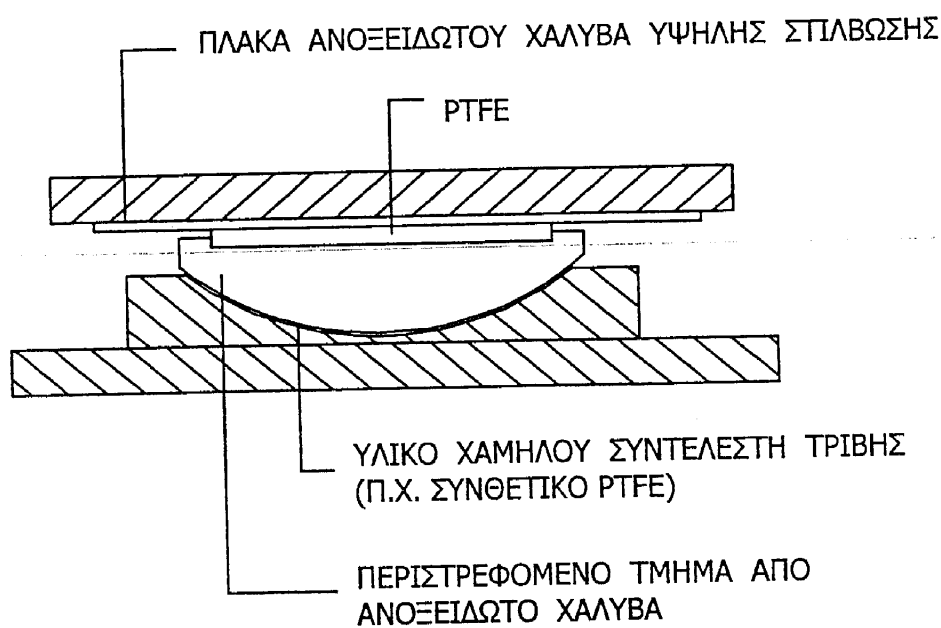
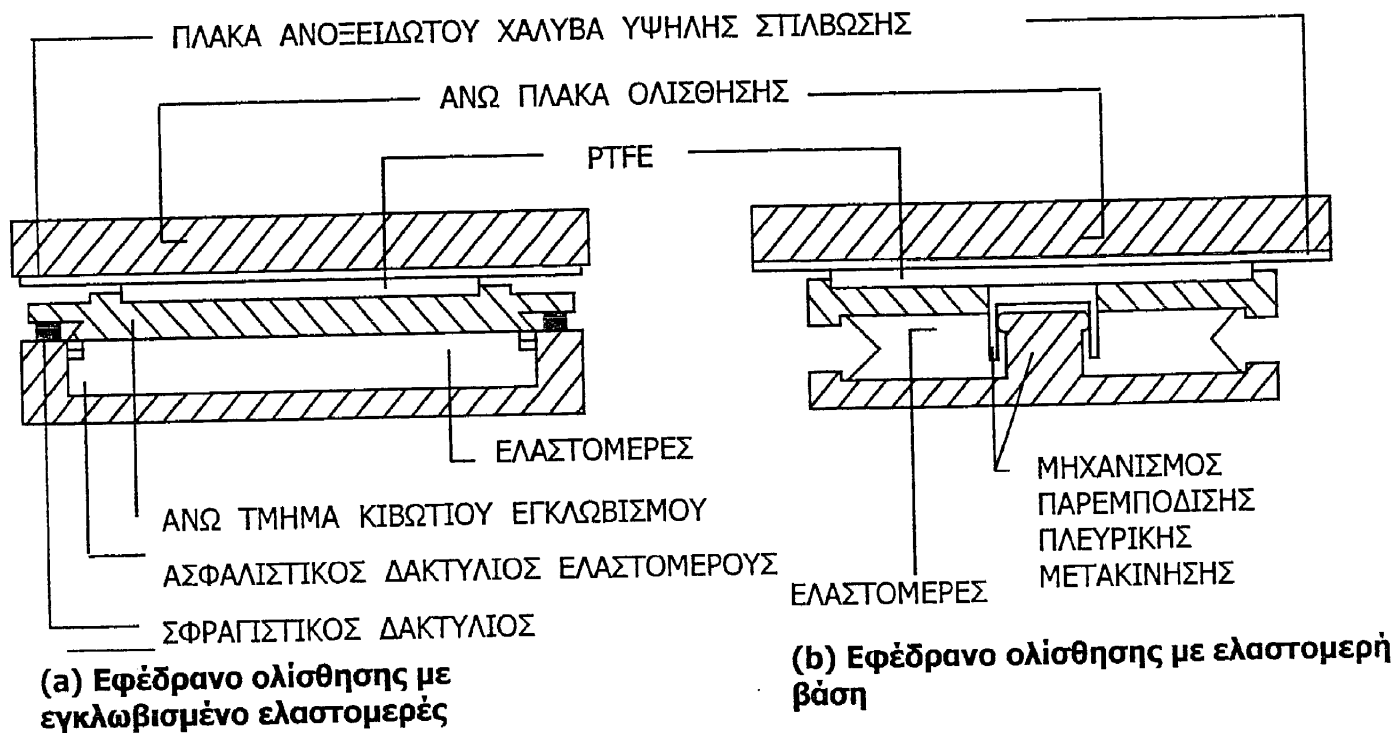
- (a) Κατά την έναρξη της κίνησης και υπό συνθήκες ίσο-στατικής φόρτισης, στην διεπιφάνεια παρουσιάζεται υψηλή τιμή του συντελεστή τριβής. Ο συντελεστής αυτός χαρακτηρίζεται ως στατικός συντελεστής τριβής ή συντελεστής απεμπλοκής και σημειώνεται ως μ_b .
- (b) Μετά την απεμπλοκή και ενώ η σχετική μετακίνηση του άνω τμήματος του εφεδράνου ως προς το κάτω τμήμα γίνεται με χαμηλή ταχύτητα, ο συντελεστής τριβής σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, f_{min} , η οποία είναι σημαντικά μικρότερη από την τιμή απεμπλοκής.

- (c) Ο συντελεστής τριβής αυξάνει με αυξανόμενη ταχύτητα της σχετικής μετακίνησης του άνω τμήματος του εφεδράνου ως προς το κάτω τμήμα και φθάνει μια σταθερή μέγιστη τιμή, f_{\max} , για ταχύτητες πάνω από περίπου τα 100 mm/sec.
- (d) Γενικά, η f_{\min} είναι κατά πολύ μικρότερη από την μ_B ή την f_{\max} και η f_{\max} είναι μεγαλύτερη από την μ_B , με εξαίρεση για τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (περίπου -40°C και χαμηλότερες) όπου η μ_B γίνεται μεγαλύτερη από την f_{\max} . Αυτή η συμπεριφορά απεικονίζεται στα Σχήματα 8-5 και 8-6.
- (e) Η τιμή απεμπλοκής του συντελεστή τριβής εμφανίζεται να είναι ανεξάρτητη από τη διάρκεια φόρτωσης χωρίς κίνηση. Αντίθετα, εμφανίζεται να είναι μέγιστη όταν το δείγμα δοκιμάζεται για πρώτη φορά, ανεξάρτητα από τη διάρκεια φόρτωσης.
- (f) Η θερμοκρασία στο εύρος -30°C έως 50°C έχει μάλλον ήπια επίδραση στη μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής (f_{\max}) όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-6. Αυτό το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα της θέρμανσης της διεπιφάνειας ολίσθησης εξαιτίας της τριβής (βλέπε επίσης παράγραφο 4).
- (g) Η συσσωρευτική (συσσωρευμένη) διαδρομή έχει επίδραση στο συντελεστή τριβής όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-7. Μετά από μικρή διαδρομή, ο συντελεστής τριβής πέφτει, για να σταθεροποιηθεί σε χαμηλότερη τιμή η οποία διατηρείται για διαδρομή τουλάχιστον 500 m.
- (h) Η επίδραση του βαθμού τραχύτητας της επιφάνειας ανοξειδωτού χάλυβα στον συντελεστή τριβής παρουσιάζεται στο σχήμα 8-8. Στο σχήμα αυτό, τα στοιχεία για την τραχύτητα που μετράται ως αριθμητικός μέσος όρος $0.03 \mu\text{m}$ R_a αντιστοιχούν σε επιφάνεια στιλνότητας υψηλού βαθμού λείανσης (φινίρισμα καθρέπτη). Τα στοιχεία για τραχύτητα 0.3 και $0.5 \mu\text{m}$ R_a αντιστοιχούν, αντίστοιχα, σε επιφάνειες σαν να έχουν φρεζαριστεί και σε τεχνητά τραχιές επιφάνειες. Κατά προσέγγιση αντιπροσωπεύουν την κατάσταση στην επιφάνεια ανοξειδωτού χάλυβα που θα ήταν επί χρόνια εκτεθειμένος και αυτή η έκθεση θα είχε σαν αποτέλεσμα σημάδια ομοιογενούς σκουριάς. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική επίδραση στην τιμή απεμπλοκής (μ_B) και στην τιμή της τριβής χαμηλής ταχύτητας (f_{\min}) και μάλλον ασήμαντη επίδραση στην τιμή της τριβής υψηλής ταχύτητας (f_{\max}).

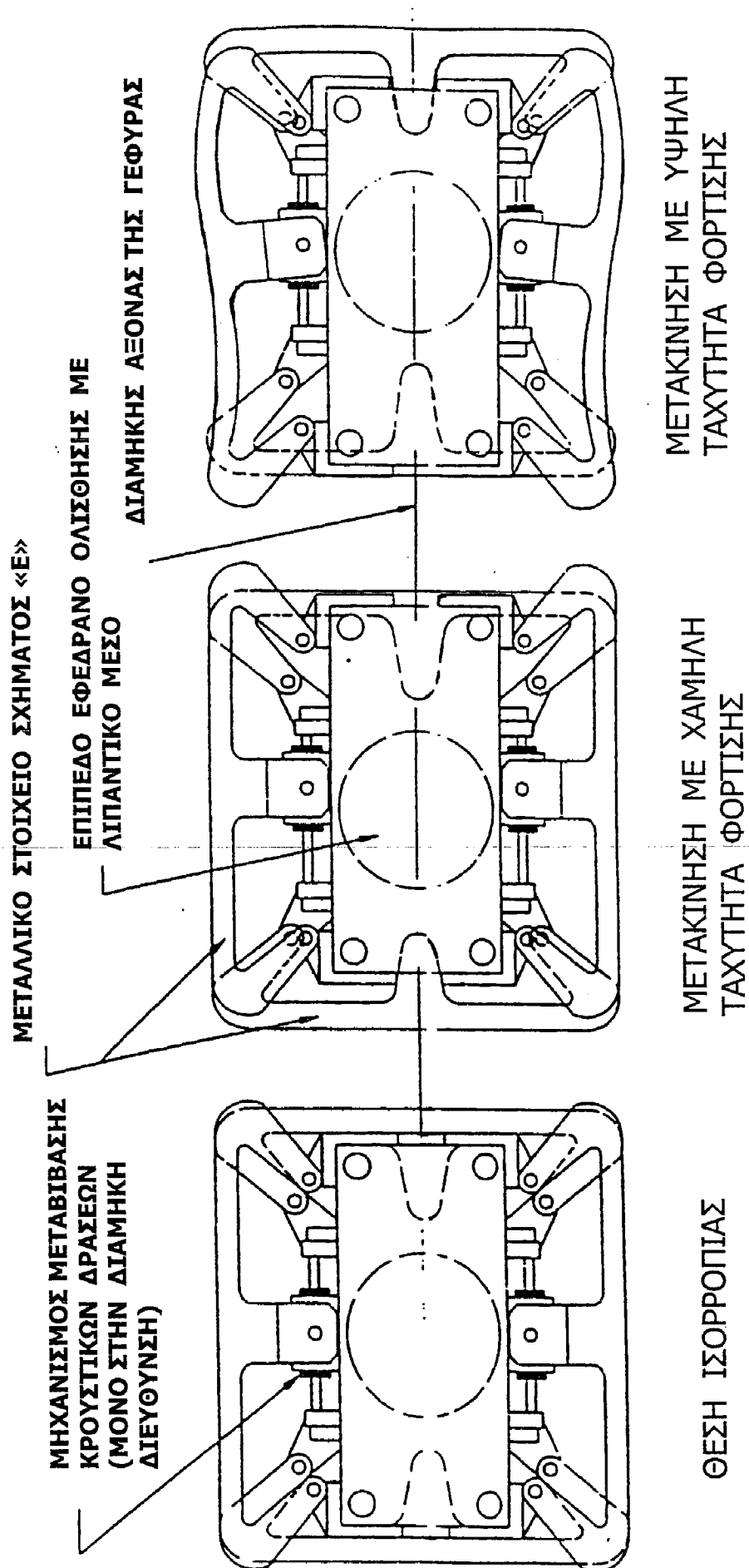
8.4 Δοκιμές Εφεδράνων Ολίσθησης Σεισμικής Μόνωσης

Τα εφέδρανα ολίσθησης σεισμικής μόνωσης θα υποβάλλονται στις ίδιες πειραματικούς ελέγχους που υποβάλλονται και τα ελαστομεταλλικά και λοιπά εφέδρανα. Γενικά, αυτοί οι πειραματικοί έλεγχοι συνίστανται σε:

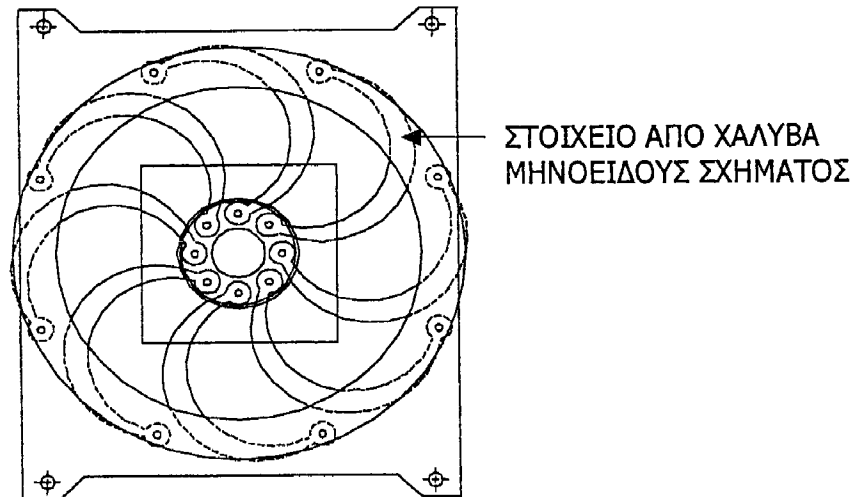
- (a) Δοκιμές χαρακτηρισμού που διεξάγονται για την δημιουργία βάσεων δεδομένων ιδιοτήτων υλικών όπως η επίδραση ταχύτητας, η επίδραση της επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης, η επίδραση συσσωρευτικής διαδρομής, κλπ. Αυτές οι δοκιμές διεξάγονται από τον κατασκευαστή και χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό συντελεστών μεταβολής (μεταβλητότητας) των ιδιοτήτων του συστήματος και για τον χαρακτηρισμό της μακροβιότητας του εφεδράνου.
- (b) Δοκιμές πρωτοτύπων διεξάγονται για κάθε έργο πριν από την έναρξη παραγωγής των εφεδράνων μόνωσης. Αυτές οι δοκιμές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των κύριων μηχανικών ιδιοτήτων των εφεδράνων για σύγκριση με την τιμή που χρησιμοποιείται από τον μηχανικό για την μελέτη της μόνωσης. Στις δοκιμές πρωτοτύπων συνήθως εξετάζονται σε κλίμακα 1:1, δύο μονωτήρες εκάστου τύπου και μεγέθους οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την σεισμική μόνωση του έργου.
- (c) Δοκιμές ποιοτικού ελέγχου παραγωγής (δοκιμές ελέγχου ποιότητας κατασκευής των μονωτήρων) εκτελούνται σε κάθε παραγόμενο εφέδρανο. Αυτές οι δοκιμές αντιπροσωπεύουν πειραματικούς ελέγχους ποιότητας και εκτελούνται συνήθως μαζί με άλλους ελέγχους ποιότητας των υλικών, όπως ορίζεται από τον μελετητή μηχανικό του έργου.



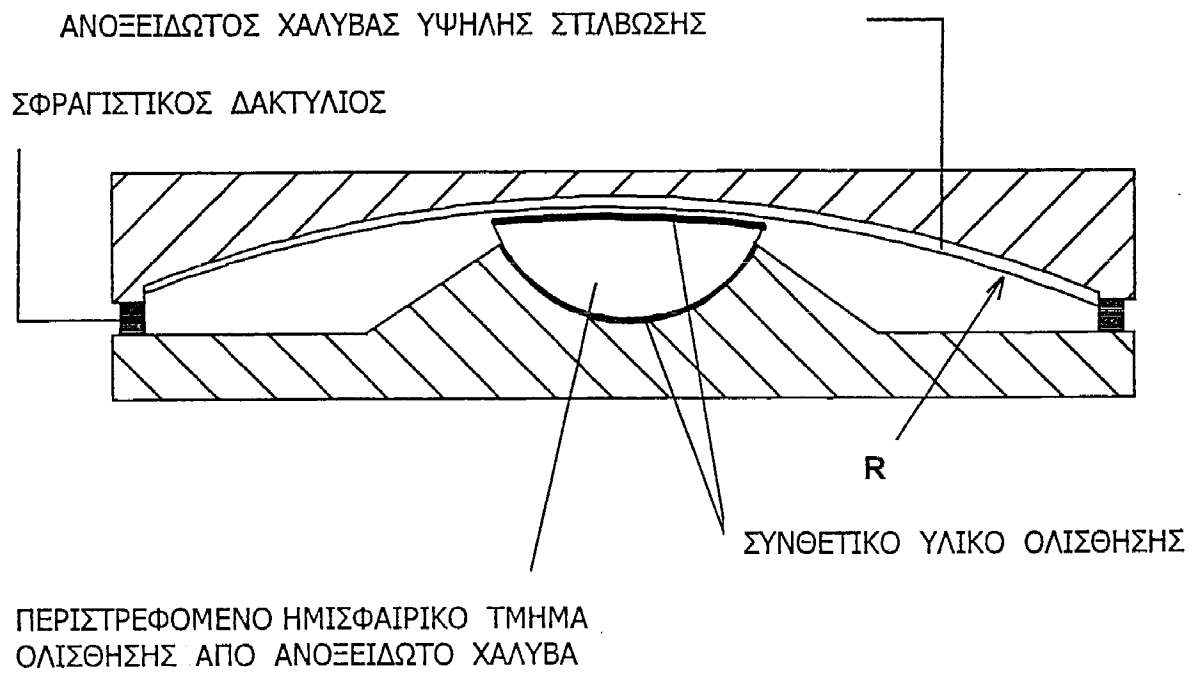
Σχήμα 8-1: Βασικοί τύποι επίπεδων εφεδράνων ολίσθησης: (a) Εφέδρανο ολίσθησης με εγκλωβισμένο ελαστομερές, (b) Εφέδρανο ολίσθησης με ελαστομερή βάση, (c) Σφαιρικό εφέδρανο



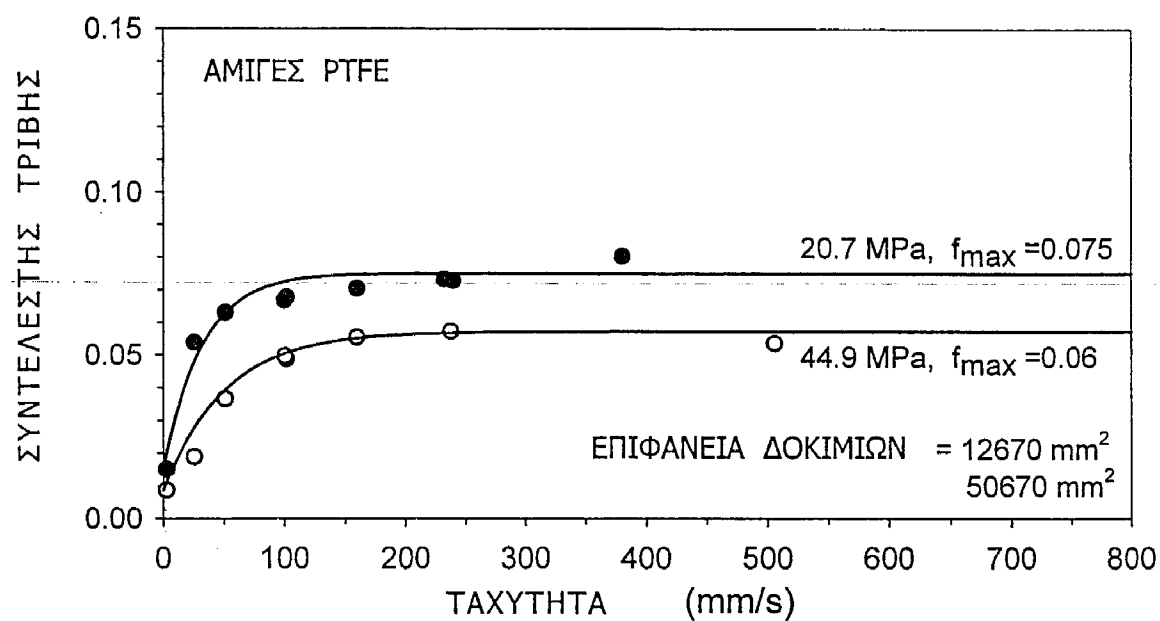
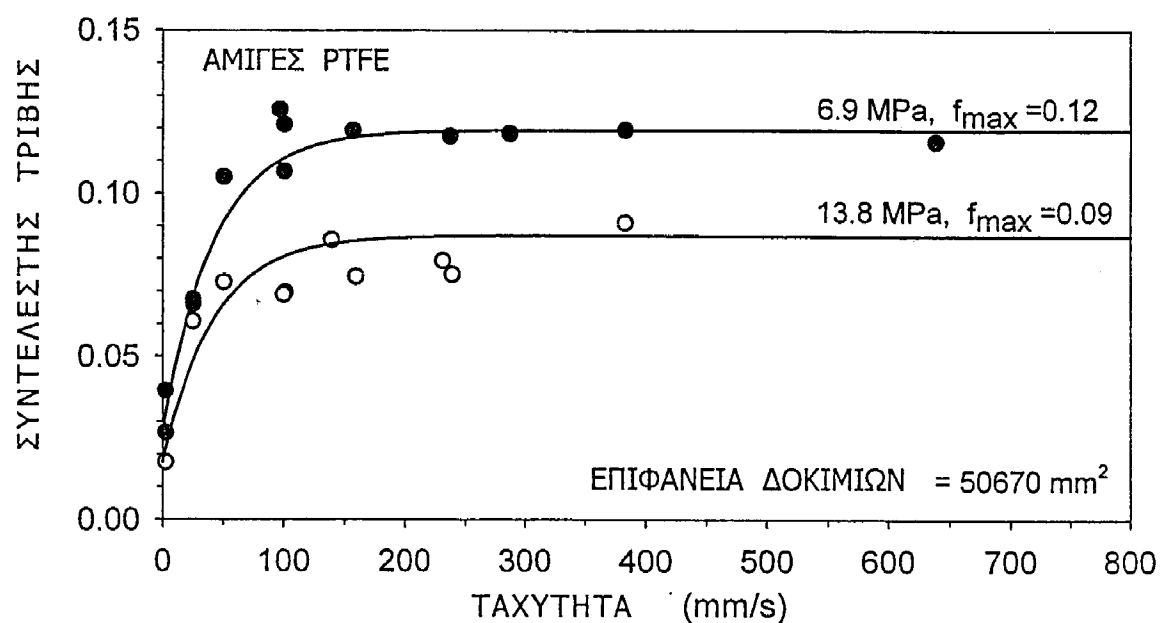
Σχήμα 8-2: Παράδειγμα Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης Ελαστοπλαστικής Συμπεριφοράς



Σχήμα 8-3: Ελαστοπλαστικός μηχανισμός καμπτόμενου χάλυβα μηνοειδούς σχήματος, ο οποίος χρησιμοποιείται συνδυαζόμενος με εφέδρανα ολίσθησης με λιπαντικό για την σεισμική μόνωση γεφυρών

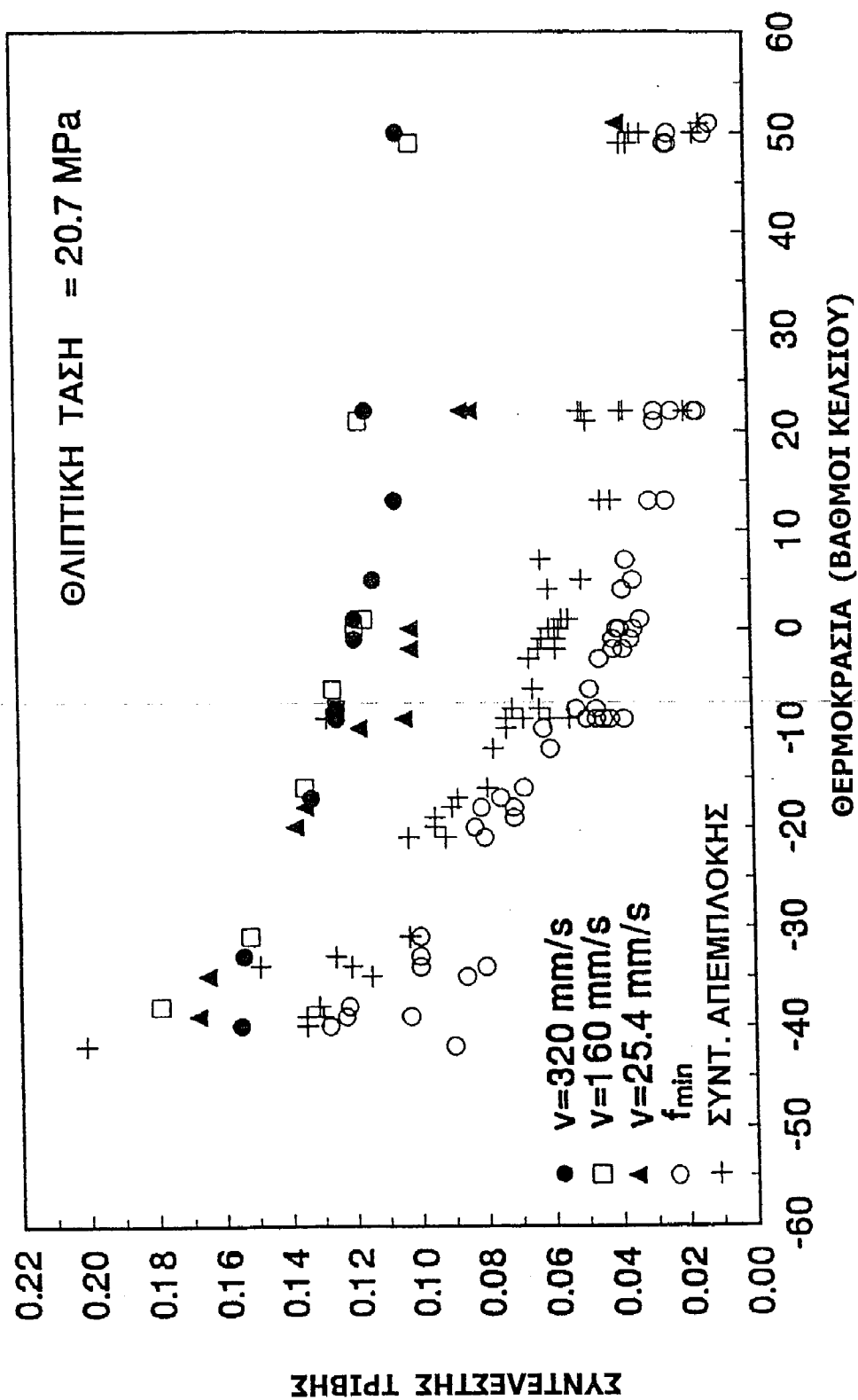


Σχήμα 8-4: Σφαιρικός σεισμικός μονωτήρας ολίσθησης (εφέδρανο FPS)



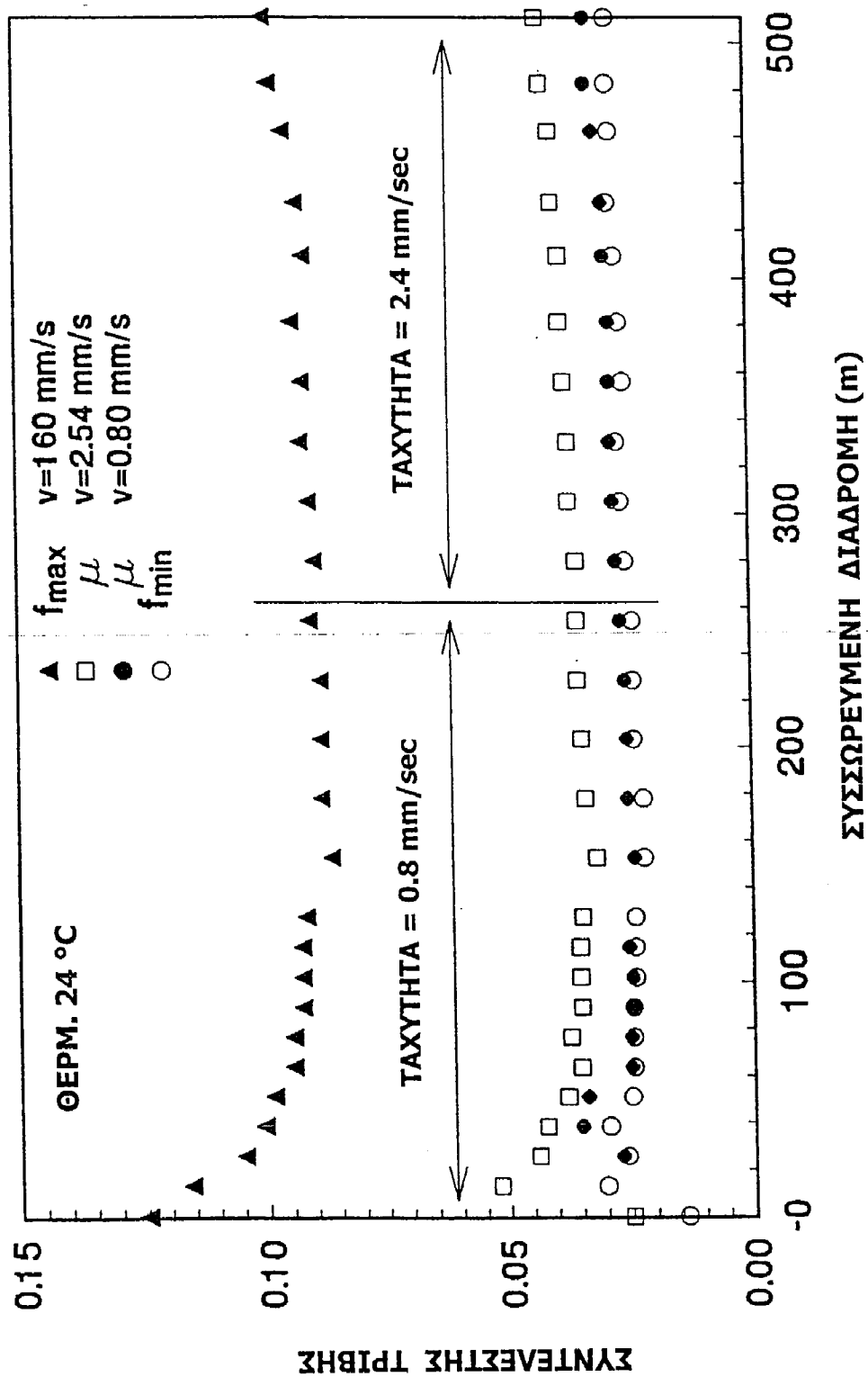
Σχήμα 8-5: Διάγραμμα Συντελεστή τριβής-Ταχύτητας
Διεπιφάνειες ολίσθησης: Αμιγές PTFE – Ανοξείδωτος χάλυβας υψηλής
στίλβωσης (0.03 μm Ra). Θερμοκρασία δοκιμών περίπου 20°C

ΑΜΙΓΕΣ ΡΤΦΕ



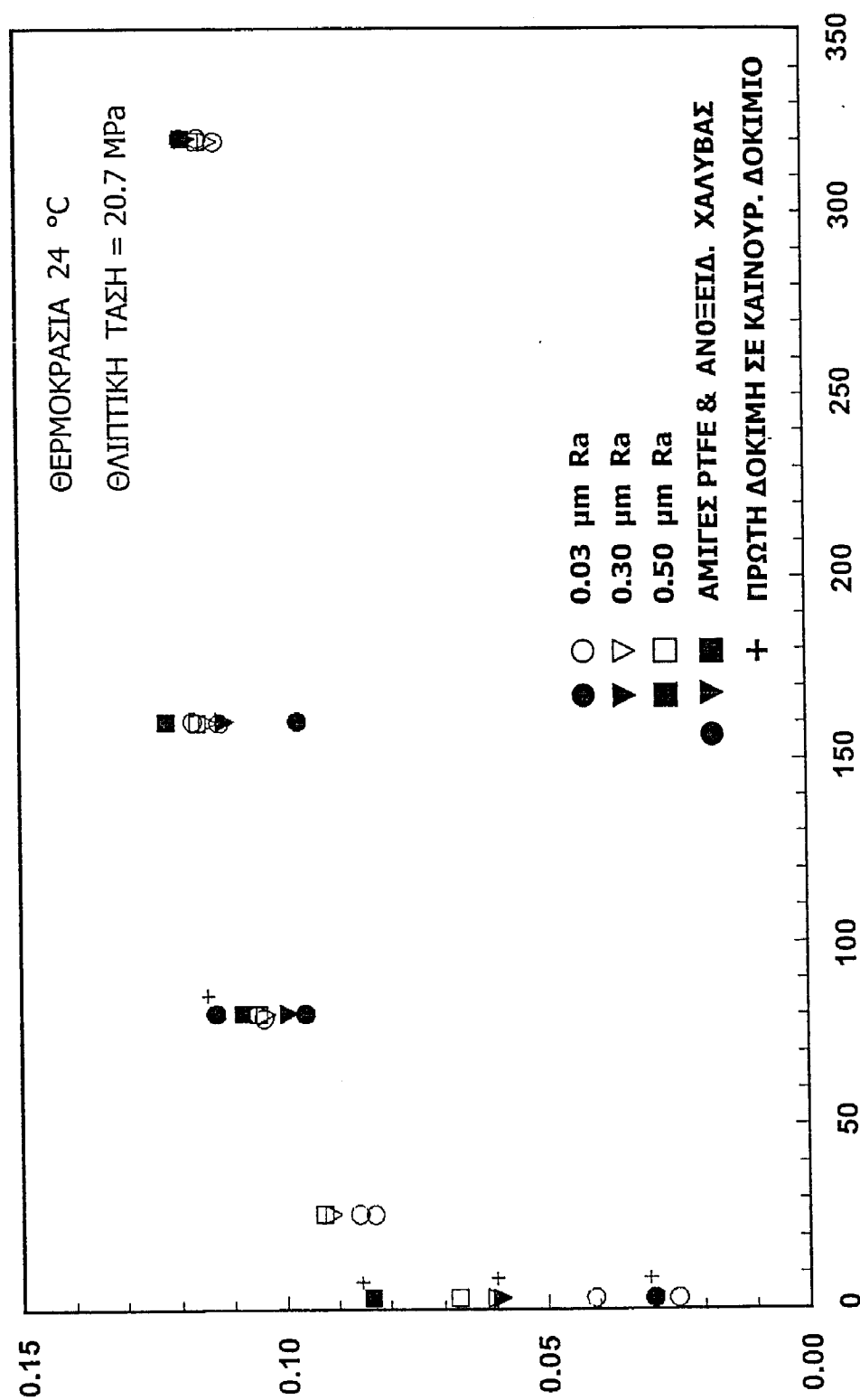
Σχήμα 8-6: Διάγραμμα Συντελεστή Τριβής-Θερμοκρασίας
Διεπιφάνειες Ολίσθησης: Αμιγές ΡΤΦΕ - Ανοξείδωτος Χάλυβας Υψηλής Στίλβωσης

ΑΜΙΓΕΣ ΡΤΦΕ (ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ = 20.7 ΜΡα)



Σχήμα 8-7: Διάγραμμα Συντελεστή τριβής - Συσσωρευμένης (συσσωρευόμενης) Διαδρομής (Μετατόπισης) Διεπιφάνειες Ολίσθησης: Αμιγές ΡΤΦΕ – Ανοξείδωτος Χάλυβας Υψηλής Στιλβωσης

ΑΜΙΓΕΣ ΡΤΦΕ



Σχήμα 8-8: Διάγραμμα Συντελεστή Τριβής - Τραχύτητας της Επιφάνειας του Ανοξείδωτου Χάλυβα Διεπιφάνειες ολίσθησης: Αμιγές ΡΤΦΕ – Ανοξείδωτος Χάλυβας Υψηλής Στίλβωσης

9.1 Γενικά

Συστήματα σεισμικής μόνωσης ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς, έχουν εφαρμοσθεί κατά κύριο λόγο σε γέφυρες στην Ιταλία, όπου και πρωτοεμφανίστηκαν.

Τα συστήματα αυτού του τύπου αποτελούνται από συνδυασμό επίπεδων εφεδράνων ολίσθησης και συσκευών απόσβεσης ενέργειας, οι οποίες είναι διατάξεις μεταλλικών στοιχείων που διαρρέουν υπό καμπτική φόρτιση. Τα μεταλλικά στοιχεία για την απόσβεση ενέργειας είναι σχήματος E, μηνοειδούς σχήματος κ.ά., των οποίων οι διαστάσεις, με στόχο την βελτιστοποίηση της υστερητικής συμπεριφοράς τους, καθορίζονται έτσι ώστε η διαρροή του στοιχείου να εκτείνεται σε μεγάλο μέρος αυτού. Στην Εικόνα 1 (9) απεικονίζεται ένας σεισμικός μονωτήρας ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς αυτού του τύπου, ο οποίος αποτελείται από ένα επίπεδο εφέδρανο ολίσθησης με ενσωματωμένα τέσσερα μεταλλικά στοιχεία απόσβεσης ενέργειας μορφής «E», δύο ανά κύρια κατεύθυνση X και Y.

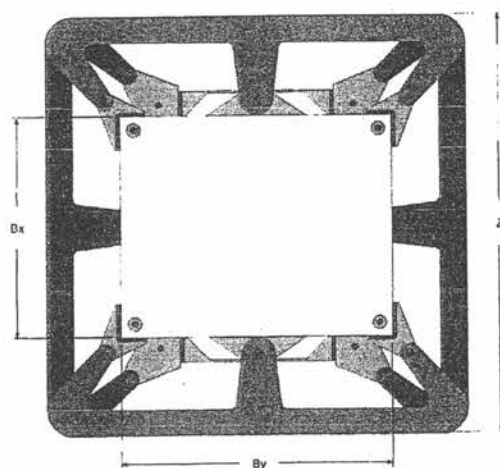
Σεισμικοί μονωτήρες ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς συνδυάζονται συχνά με συσκευές μεταβίβασης κρουστικών δράσεων. Στην Εικόνα 2 (9) απεικονίζεται ένας σεισμικός μονωτήρας ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς του τύπου αυτού, ο οποίος αποτελείται από ένα εφέδρανο ολίσθησης με ενσωματωμένα τέσσερα μεταλλικά στοιχεία απόσβεσης ενέργειας μορφής «E» και δύο συσκευές μεταβίβασης κρουστικών δράσεων. Στην Εικόνα 3 (9) απεικονίζεται φωτογραφία αυτού του είδους σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς. Στο Σχήμα 1 (9) απεικονίζεται το διάγραμμα της σχέσης «Οριζόντια Δύναμη-Μετακίνηση» σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής (δι-γραμμικής υστερητικής) συμπεριφοράς όπως προέκυψε από πειραματικές δοκιμές και αναλυτική προσομείωση [19].

Η σχέση «Οριζόντια δύναμη-Μετακίνηση» χαρακτηρίζεται ουσιαστικά από ελαστοπλαστική συμπεριφορά και είναι της μορφής που απεικονίζεται ιδεατά στο Σχήμα 2 (9). Το σύστημα διαθέτει πολύ μικρή μετελαστική δυσκαμψία (K_p). Λόγω αυτού, η οριζόντια δύναμη η οποία μεταβιβάζεται από το σύστημα στην ανωδομή και υποδομή του έργου περιορίζεται για ένα ευρύ φάσμα μετακινήσεων του συστήματος (η μεταβιβαζόμενη δύναμη παραμένει σχεδόν σταθερή για ένα ευρύ φάσμα μετακινήσεων).

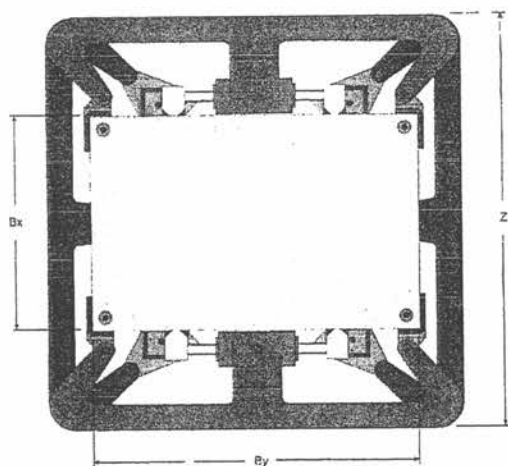
Από την άλλη μεριά όμως πρέπει να επισημανθεί ότι αυτή η επιδιωκόμενη συμπεριφορά έχει ως αντίκτυπο αβεβαιότητες σε ό,τι αφορά την μέγιστη μετακίνηση του συστήματος, όσο και την δυνατότητα δημιουργίας σημαντικών μονίμων

μετακινήσεων. Εδώ βέβαια έγκειται και η διαφορά μεταξύ αυτού και των υπολοίπων συστημάτων σεισμικής μόνωσης.

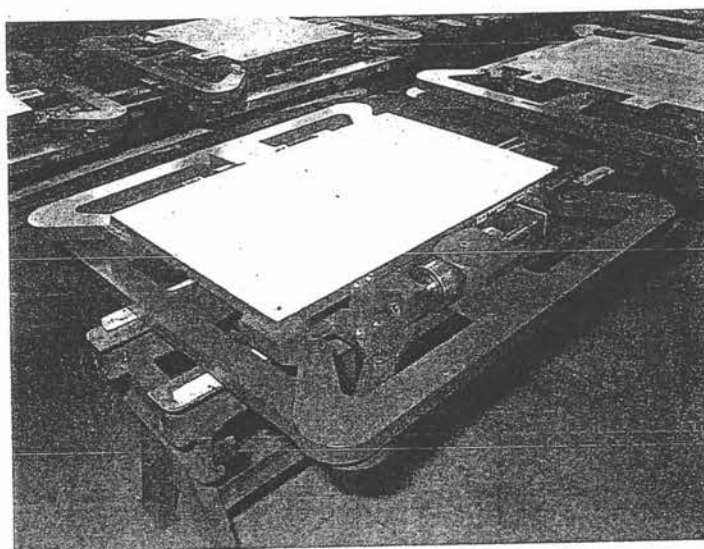
Επισημαίνεται πάντως ότι η χρήση των ελαστοπλαστικών στοιχείων που περιγράφονται παραπάνω ως μονωτήρων, βασίζεται στην επίτευξη μείωσης της απόκρισης τόσο λόγω της επιμήκυνσης της ενεργού περιόδου της κατασκευής όσο και λόγω της απόσβεσης ενέργειας. Επιπλέον, η χαμηλή μετελαστική δυσκαμψία αποτελεί διασφάλιση έναντι απρόβλεπτων αυξήσεων της οριζόντιας δύναμης που μεταβιβάζουν οι μονωτήρες στην υποδομή και την ανωδομή του έργου, για την περίπτωση που η σεισμική δράση ξεπεράσει την δράση σχεδιασμού του συστήματος.



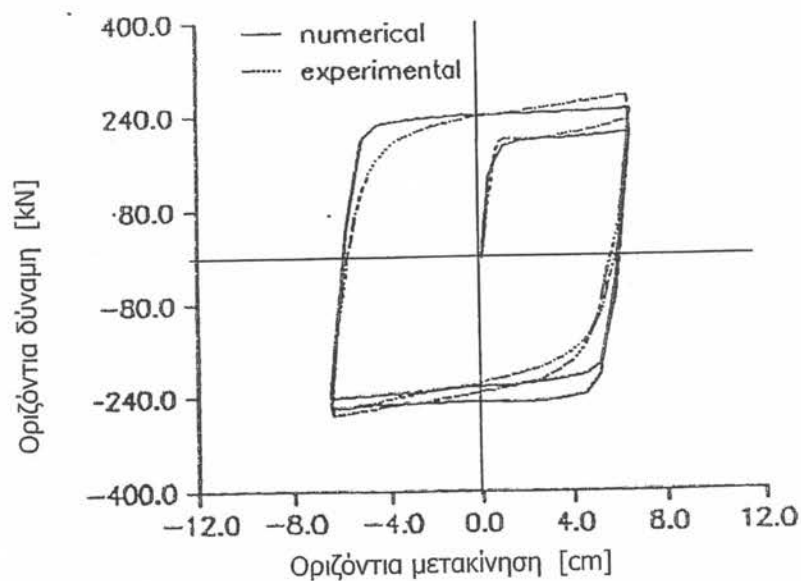
Εικόνα 1 (9): Απεικόνιση σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς ο οποίος αποτελείται από ένα επίπεδο εφέδρανο ολίσθησης με ενσωματωμένα τέσσερα μεταλλικά στοιχεία μορφής «Ε».



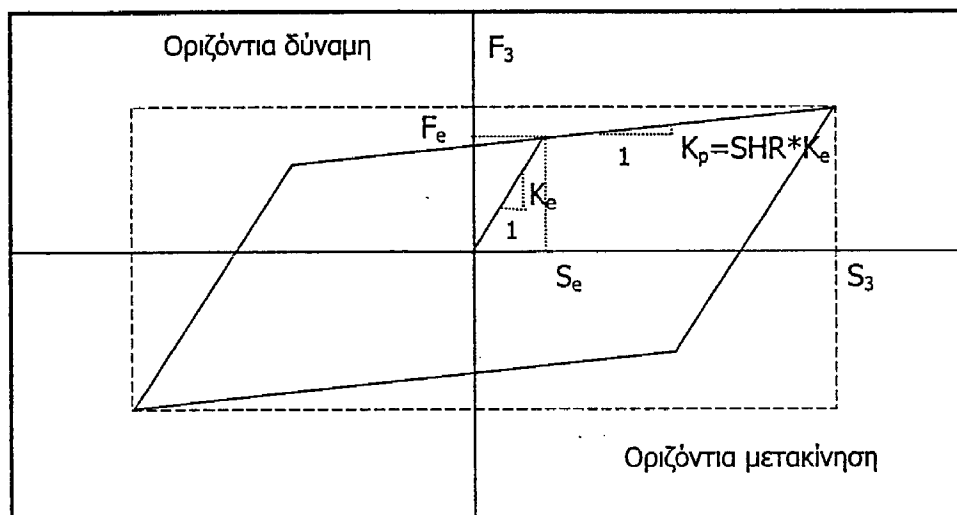
Εικόνα 2 (9): Απεικόνιση σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς ο οποίος αποτελείται από ένα επίπεδο εφέδρανο ολίσθησης με ενσωματωμένα τέσσερα μεταλλικά στοιχεία μορφής «Ε» και δύο συσκευές μεταβίβασης κρουστικών δράσεων.



Εικόνα 3 (9): Φωτογραφία σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς ο οποίος αποτελείται από ένα επίπεδο εφέδρανο ολίσθησης με ενσωματωμένα τέσσερα μεταλλικά στοιχεία μορφής Ε και δύο συσκευές μεταβίβασης κρουστικών δράσεων.



Σχήμα 1 (9): Διάγραμμα της σχέσης «Οριζόντια Δύναμη-Μετακίνηση» σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής (δι-γραμμικής υστερητικής) συμπεριφοράς [19]. Απόσβεση ενέργειας μέσω διατάξεων μεταλλικών στοιχείων μορφής «Ε» τα οποία διαρρέουν υπό καμπτική φόρτιση.



Σχήμα 2 (9): Ιδεατό διάγραμμα της σχέσης «Οριζόντια Δύναμη-Μετακίνηση» σεισμικού μονωτήρα ελαστοπλαστικής (δι-γραμμικής υστερητικής) συμπεριφοράς. Απόσβεση ενέργειας μέσω διατάξεων μεταλλικών στοιχείων τα οποία διαρρέουν υπό καμπτική ή στρεπτική φόρτιση (SHR συνήθως μεταξύ 0,01 και 0,1).

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 3 (9). Κατά την διαμήκη κατεύθυνση, τα κεντρικά τμήματα των μεταλλικών στοιχείων μορφής «Ε» συνδέονται με το εφέδρανο ολίσθησης μέσω συσκευών μεταβίβασης των κρουστικών (σεισμικών) δράσεων τα οποία επιτρέπουν απρόσκοπτη μετακίνηση σε χαμηλές ταχύτητες φόρτισης (π.χ. θερμική διαστολή). Υπό συνθήκες σεισμικής δράσης τα στοιχεία μεταβίβασης κρουστικών (σεισμικών) δράσεων 'κλειδώνουν', δημιουργώντας καμπτικές καταπονήσεις και διαρροή στα μεταλλικά στοιχεία μορφής «Ε».

9.2 Χαρακτηριστικά Συστημάτων Ελαστοπλαστικής Συμπεριφοράς

Οι σεισμικοί μονωτήρες ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς χαρακτηρίζονται ως εξής:

- Η σχέση «Οριζόντια δύναμη – Μετατόπιση» προσεγγίζεται ικανοποιητικά με δι-γραμμικό μοντέλλο (βλέπε Σχήμα 1 (9) & Σχήμα 2 (9)).
- Χαμηλή μετελαστική δυσκαμψία (μικρή αύξηση της οριζόντιας δύναμης στην μετελαστική περιοχή. Ο λόγος SHR κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,01 και 0,1)
- Μεγάλη ικανότητα απόσβεσης ενέργειας σε κάθε κύκλο, για μεγάλο αριθμό κύκλων
- Η συμπεριφορά τους (σχέση «Οριζόντια δύναμη – Μετατόπιση») είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας επιβολής του φορτίου.

Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν την συμπεριφορά ελαστοπλαστικών σεισμικών μονωτήρων, στους οποίους η απόσβεση ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω διαρρεουσών διατάξεων μεταλλικών στοιχείων, είναι οι εξής (βλέπε Σχήμα 9.2).

F_e = Τιμή της οριζόντιας δύναμης του μονωτήρα στο όριο ελαστικότητας των μεταλλικών στοιχείων (Δύναμη Διαρροής Μονωτήρα)

F_3 = Τιμή της οριζόντιας δύναμης που μεταβιβάζεται για μετακίνηση μεγέθους S_3 (Μέγιστη Δύναμη Μονωτήρα)

S_e = Μέγεθος της μετακίνησης στο όριο ελαστικότητας (Μετακίνηση Διαρροής)

S_3 = Μέγιστη μετακίνηση για την σεισμική δράση σχεδιασμού του ελαστοπλαστικού συστήματος

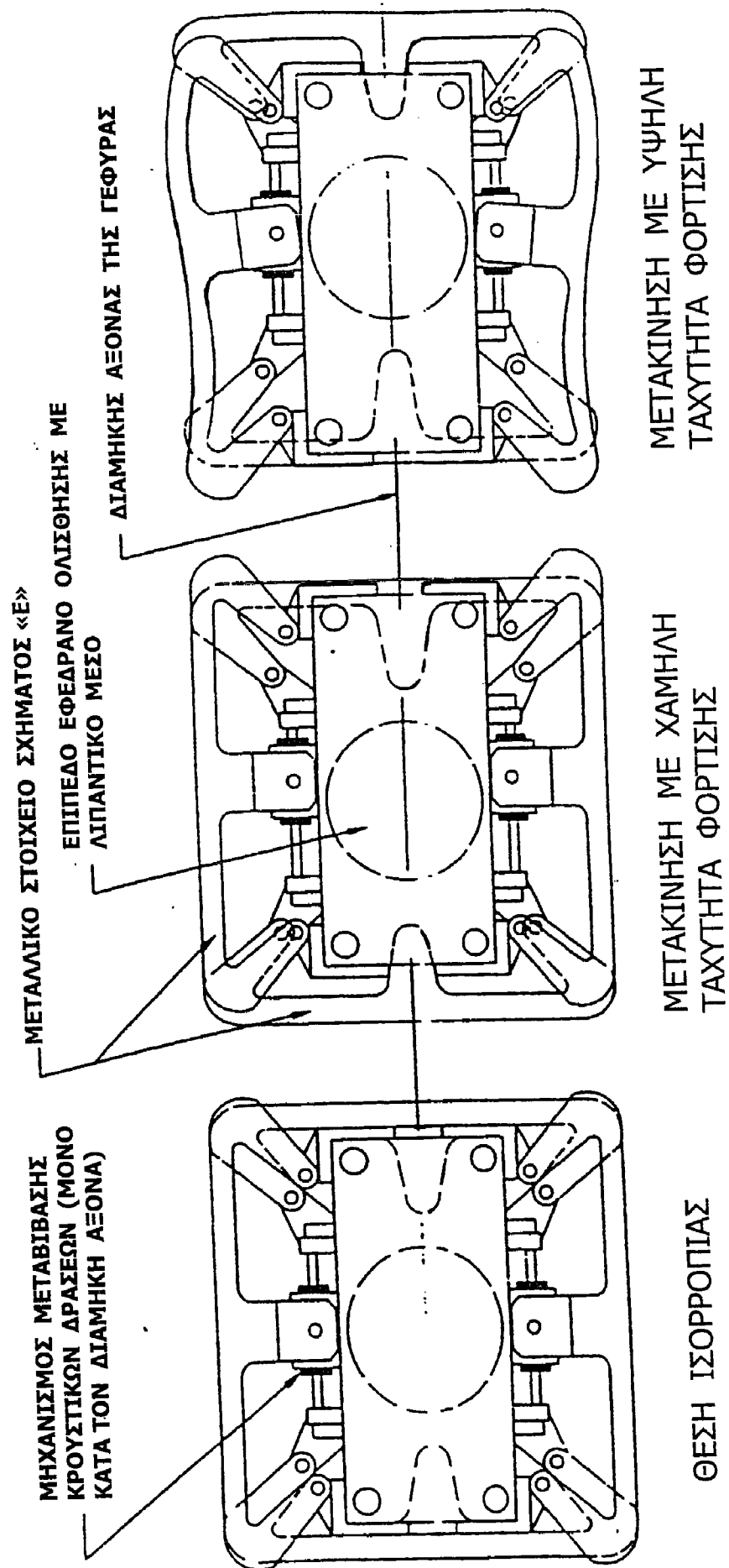
Η αποτελεσματικότητα της απόσβεσης ενέργειας (e_d) ορίζεται από τον λόγο

$$e_d = \frac{\left(\int F ds \right)_{\text{κύκλου}}}{4F_3 S_3}$$

όπου ο αριθμητής αντιπροσωπεύει την μέση ενέργεια που αποσβένεται σε μια πλήρη ανακυκλιζόμενη φόρτιση και ο παρανομαστής την απόσβεση ενέργειας μιας συσκευής η οποία παρουσιάζει ιδεατά πλάσιμη συμπεριφορά.

9.3 Έλεγχοι Πρωτοτύπων και Έλεγχοι Διασφάλισης Ποιότητας

Για την περίπτωση των ελαστοπλαστικών σεισμικών μονώσεων ισχύουν οι γενικές διατάξεις που διέπουν και τα άλλα συστήματα μόνωσης σε ό,τι αφορά τον έλεγχο των Πρωτοτύπων (πειραματικές δοκιμές), τις Απαιτήσεις Επιτελεσματικότητας (ευστάθεια έναντι κατακόρυφων και άλλων – άνεμος, προένταση – φορτίων, ευστάθεια στο χρόνο και σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας) και τους Ελέγχους Διασφάλισης Ποιότητας.



Σχήμα 3 (9): Παράδειγμα Συστήματος Σεισμικής Μόνωσης Ελαστοπλαστικής Συμπεριφοράς

10. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

10.1 Γενικά

Συσκευές απόσβεσης ενέργειας είναι διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν κινητική ενέργεια σε θερμότητα, και κατ' αυτήν την έννοια απορροφούν (διαχέουν) ενέργεια.

Όπως προαναφέρθηκε (Κεφάλαιο 1.9), στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος, η αναφορά σε συσκευές απόσβεσης ενέργειας αφορά συσκευές, οι οποίες τοποθετούνται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης, λειτουργούν σε παράλληλη σύνδεση με τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης και αποτελούν τμήμα του συστήματος σεισμικής μόνωσης της κατασκευής.

Γενικά, οι συσκευές απόσβεσης ενέργειας: (1) είτε είναι ενσωματωμένες εντός των εφεδράνων σεισμικής μόνωσης, (2) είτε είναι ανεξάρτητες από τα εφέδρανα διατάξεις, (3) είτε είναι τα ίδια τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1.12, οι συσκευές απόσβεσης ενέργειας κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: α) Συσκευές των οποίων η συμπεριφορά εξαρτάται από την μετακίνηση, β) Συσκευές των οποίων η συμπεριφορά εξαρτάται από την ταχύτητα φόρτισης και γ) Λοιπές συσκευές.

10.2 Προσομοίωση Συσκευών Απόσβεσης ενέργειας (FEMA 356, 9.3.3)

Μεθοδολογία προσομοίωσης των βασικών χαρακτηριστικών συσκευών απόσβεσης ενέργειας δίδεται στο FEMA 356. Οι παράγραφοι που ακολουθούν αποδίδουν κατά κύριο λόγο το κανονιστικό αυτό κείμενο των ΗΠΑ.

Συσκευές απόσβεσης ενέργειας των οποίων η συμπεριφορά εξαρτάται από τη μετατόπιση, είναι διατάξεις που επιδεικνύουν είτε άκαμπτη-πλαστική υστερητική συμπεριφορά (διατάξεις τύπου τριβής), είτε διγραμμική υστερητική συμπεριφορά (διατάξεις μεταλλικών στοιχείων που διαρρέουν υπό φόρτιση), είτε τριγραμμική υστερητική συμπεριφορά. Η απόκριση αποσβεστήρων που επιδεικνύουν εξαρτώμενη από την μετατόπιση συμπεριφορά είναι κατά κύριο λόγο ανεξάρτητη από την ταχύτητα (συνεπώς και τη συχνότητα) της επιβαλλόμενης φόρτισης.

Συσκευές απόσβεσης ενέργειας που επιδεικνύουν εξαρτώμενη από την ταχύτητα συμπεριφορά περιλαμβάνουν αποσβεστήρες οι οποίοι διαθέτουν ιξώδη ή ιξοελαστική συμπεριφορά. Η σχέση οριζόντιας δύναμης-μετατόπισης των συστημάτων αυτών είναι περίπου ανεξάρτητη από το εύρος της σχετικής μετακίνησης των άκρων τους. Η

απόκρισή τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης/σχετικής μετατόπισης των άκρων τους. Παραδείγματα αποσβεστήρων ιξοελαστικής συμπεριφοράς είναι π.χ. συσκευές στις οποίες στερεά υλικά με ιξοελαστική συμπεριφορά υποβάλλονται σε διατμική επιπόνηση, είτε συσκευές στις οποίες υγρά που χαρακτηρίζονται από ιξοελαστική συμπεριφορά υποβάλλονται σε παραμόρφωση. Αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς είναι π.χ. συσκευές στις οποίες υγρά (σιλικονοειδή υγρά, ελαίου) εξαναγκάζονται να ρέυσουν μέσα σε υδραυλικούς κυλίνδρους, διαμέσου λεπτών οπών, οι οποίες βρίσκονται στην κεφαλή του εμβόλου του υδραυλικού κυλίνδρου (π.χ. viscous fluid damper: αποσβεστήρας ρευστού ιξώδους συμπεριφοράς).

Οι διατάξεις που δεν ταξινομούνται ως εξαρτώμενες από τη μετατόπιση ή την ταχύτητα θα ταξινομούνται ως "Λοιπές Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας". Παραδείγματα "Λοιπών" διατάξεων περιλαμβάνουν κράματα με μνήμη-μορφής (φαινόμενο υπερ-ελαστικότητας), διατάξεις τριβής-ελατηρίων με δυνατότητα επαναφοράς, και αποσβεστήρες ρευστών με δυνατότητα επαναφοράς.

Η προσομοίωση του συστήματος απόσβεσης ενέργειας θα περιλαμβάνει την δυσκαμψία των δομικών στοιχείων που αποτελούν τμήμα της διαδρομής του φορτίου μεταξύ των συσκευών απόσβεσης ενέργειας και της κατασκευής, όπως των δομικών στοιχείων που λειτουργούν σε σειρά με τις συσκευές απόσβεσης ενέργειας, των συνδέσεων των αποσβεστήρων με την κατασκευή, των οποίων η ευκαμψία επηρεάζει την απόδοση του συστήματος απορρόφησης ενέργειας.

Οι διατάξεις απόσβεσης ενέργειας θα προσομοιώνονται σύμφωνα με όσα περιγράφονται στα ακόλουθες παραγράφους, εκτός και αν χρησιμοποιούνται άλλες εγκεκριμένες μέθοδοι.

10.2.1 Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Εξαρτώμενες από τη Μετατόπιση (FEMA 356, 9.3.3.1)

Μια συσκευή απόσβεσης ενέργειας που επιδεικνύει εξαρτώμενη από την μετατόπιση συμπεριφορά έχει σχέση δύναμης – μετατόπισης που είναι συνάρτηση της σχετικής μετατόπισης του ενός άκρου της συσκευής ως προς το άλλο. Η απόκριση του εξαρτώμενου από τη μετατόπιση αποσβεστήρα θα είναι ανεξάρτητη από τη σχετική ταχύτητα του ενός άκρου του αποσβεστήρα ως προς το άλλο, και από τη συχνότητα της φόρτισης.

Οι εξαρτώμενες από τη μετατόπιση διατάξεις απόσβεσης ενέργειας θα προσομοιώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε η σχέση δύναμης – μετατόπισης του αποσβεστήρα να αποδίδεται (περιγράφεται) με ακρίβεια και να συνεκτιμάται η εξάρτηση της απόκρισης των αποσβεστήρων, αν υφίσταται, από την αλληλεπίδραση αξονικής – διατμητικής – καμπτικής καταπόνησης, ή αμφίπλευρης διέγερσης.

Προκειμένου να υπολογιστεί η απόκριση εξαρτώμενης από τη μετατόπιση συσκευής απόσβεσης ενέργειας από δεδομένα δοκιμών, η δύναμη του αποσβεστήρα θα υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση:

$$F = k_{eff} \cdot D \quad (9-20)$$

όπου η ενεργός δυσκαμψία, k_{eff} του αποσβεστήρα υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|D^+| + |D^-|} \quad (9-21)$$

Οι δυνάμεις στον αποσβεστήρα, F^+ και F^- , θα υπολογίζονται για τις μετατοπίσεις D^+ και D^- , αντιστοίχως.

10.2.2 Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Εξαρτώμενες από την Ταχύτητα (FEMA 356, 9.3.3.2)

10.2.2.1 Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Ιξοελαστικών Στερεών (FEMA 356, 9.3.3.2.1)

Διατάξεις απόσβεσης ενέργειας ιξοελαστικών στερεών θα προσομοιώνονται με τη βοήθεια ελατηρίου και αποσβεστήρα σε παράλληλη σύνδεση (προσομοίωμα Kelvin). Οι σταθερές του ελατηρίου και του αποσβεστήρα που επιλέγονται, θα πρέπει να συνεκτιμούν την εξάρτηση του αποσβεστήρα από τη συχνότητα και τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη θεμελιώδη συχνότητα του δομήματος (f_I) και το εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας.

Η δύναμη σε μία διάταξη απόσβεσης ενέργειας ιξοελαστικού στερεού θα προσδιορίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση:

$$F = k_{eff} \cdot D + C \cdot \dot{D} \quad (9-22)$$

όπου C είναι ο συντελεστής απόσβεσης για την ισοελαστική διάταξη, D η σχετική μετατόπιση μεταξύ των άκρων της διάταξης, \dot{D} η σχετική ταχύτητα μεταξύ των άκρων της διάταξης, k_{eff} είναι η ενεργός δυσκαμψία της διάταξης που υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση:

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|D^+| + |D^-|} \quad (9-23)$$

Ο συντελεστής απόσβεσης της διάταξης θα υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση:

$$C = \frac{W_D}{\pi \cdot \omega_I \cdot D_{ave}^2} \quad (9-24)$$

όπου η γωνιακή συχνότητα ω_I είναι ίση με $2\pi f_I$, D_{ave} είναι η μέση τιμή των απόλυτων τιμών μετατόπισης D^+ και D^- , και W_D είναι το εμβαδόν ενός πλήρους κύκλου απόκρισης δύναμης-μετατόπισης της διάταξης.

Η ανακυκλιζόμενη απόκριση συσκευών απόσβεσης ενέργειας ισοελαστικών στερεών εξαρτάται κατά κανόντα από τη συχνότητα και το εύρος της κίνησης και τη θερμοκρασία λειτουργίας (περιλαμβανομένης της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω διέγερσης).

10.2.2.2 Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Ισοελαστικών Ρευστών (FEMA 356, 9.3.3.2.2)

Οι διατάξεις απόσβεσης ενέργειας ισοελαστικών ρευστών θα προσομοιώνονται με τη βοήθεια ελατηρίου και αποσβεστήρα εν σειρά (προσομοίωμα Maxwell). Οι σταθερές του ελατηρίου και του αποσβεστήρα που επιλέγονται, θα πρέπει να συνεκτιμούν την εξάρτηση του αποσβεστήρα από τη συχνότητα και τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη θεμελιώδη συχνότητα του δομήματος (f_I) και το εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας.

Η ανακυκλιζόμενη απόκριση διατάξεων απόσβεσης ενέργειας ισοελαστικών ρευστών εξαρτάται κατά κανόνα από τη συχνότητα και το εύρος της κίνησης και τη θερμοκρασία λειτουργίας (περιλαμβανομένης της αύξησης της θερμοκρασίας λόγω της διέγερσης).

10.2.2.3 Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας Ιξώδων Ρευστών (FEMA 356, 9.3.3.2.3)

Οι γραμμικοί αποσβεστήρες ιξώδων ρευστών, που επιδεικνύουν δυσκαμψία για εύρος τιμών συχνότητας μεταξύ $0,5 f_1$ έως $2,0 f_1$, θα προσομοιώνονται όπως οι διατάξεις ιξοελαστικών ρευστών.

Απουσία δυσκαμψίας για το εύρος συχνοτήτων μεταξύ $0,5 f_1$ και $2,0 f_1$ η δύναμη αποσβεστήρων ιξώδων ρευστών θα υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

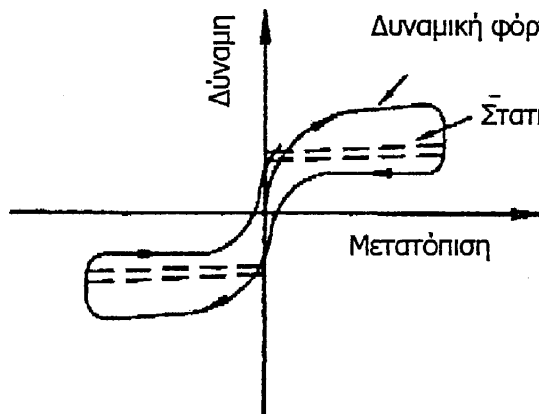
$$F = C_0 \cdot |\dot{D}|^\alpha \cdot \text{sgn}(\dot{D}) \quad (9-22)$$

όπου C_0 είναι ο συντελεστής απόσβεσης του αποσβεστήρα, α είναι ο εκθέτης της ταχύτητας του αποσβεστήρα, \dot{D} η σχετική ταχύτητα μεταξύ των άκρων της διάταξης, και sgn είναι η συνάρτηση signum η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση, ορίζει το πρόσημο του όρου της σχετικής ταχύτητας.

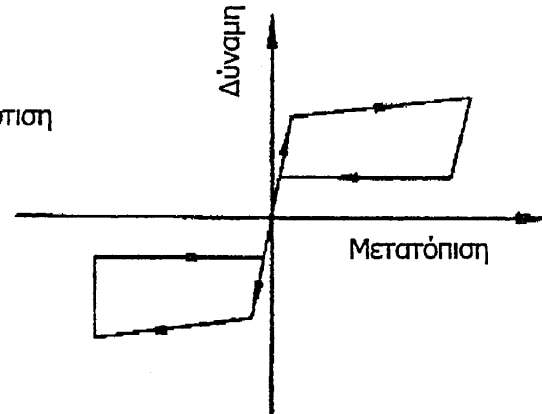
10.2.3 Άλλοι Τύποι Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας (FEMA 356, 9.3.3.3)

Συσκευές απόσβεσης ενέργειας οι οποίες δεν μπορούν να ταξινομηθούν ως εξαρτώμενες από τη μετατόπιση ή εξαρτώμενες από την ταχύτητα, θα προσομοιώνονται με τη βοήθεια εγκεκριμένων μεθόδων. Αυτές οι προσομοιώσεις θα περιγράφουν με ακρίβεια την απόκριση δύναμης-ταχύτητας-μετατόπισης της διάταξης υπό την επιρροή κάθε πηγής φόρτισης, περιλαμβανομένης της βαρύτητας, της σεισμικής και της θερμικής καταπόνησης.

Συσκευών απόσβεσης ενέργειας, όπως εκείνοι των οποίων η υστέρηση είναι του τύπου που απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα, απαιτούν τεχνικές προσομοίωσης διαφορετικές από εκείνες που περιγράφονται παραπάνω. Οι Tsopelas και Constantinou (1994a), Nims και συνεργάτες (1993), και Peckman και συνεργάτες (1995) περιγράφουν αναλυτικά προσομοιώματα για μερικές από αυτές τις διατάξεις.



Τυπικό ιδεατό διάγραμμα Δύναμης-Μετατόπισης ενός πλήρους κύκλου φόρτισης αποσβεστήρα υγρού τύπου με ικανότητα επαναφοράς



Τυπικό ιδεατό διάγραμμα Δύναμης-Μετατόπισης ενός πλήρους κύκλου φόρτισης αποσβεστήρα τριβής-ελατηρίων με ικανότητα επαναφοράς

10.3 Απαιτήσεις για Συστήματα Απόσβεσης Ενέργειας (FEMA 356, 9.3.6)

Συστήματα απόσβεσης ενέργειας θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις που καθορίζονται παρακάτω.

Θερμοκρασία Λειτουργίας

Η σχέση δύναμης-μετατόπισης μίας συσκευής απόσβεσης ενέργειας εξαρτάται κατά κανόνα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη θερμοκρασιακή αύξηση της συσκευής που οφείλεται στην ανακυκλιζόμενη σεισμική διέγερση.

Κατά την ανάλυση της κατασκευής θα συνεκτιμούνται οι μεταβολές της σχέσης δύναμης-μετατόπισης των αποσβεστήρων, που οφείλονται στη μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και την θερμοκρασιακή αύξηση του αποσβεστήρα λόγω της ανακυκλιζόμενης σεισμικής διέγερσης. Θα πραγματοποιούνται πολλαπλές αναλύσεις προκειμένου να προσδιοριστεί η περιβάλλουσα της σεισμικής απόκρισης του δομήματος κατά τη διάρκεια του Σεισμού Σχεδιασμού, και να αναπτυχθούν τα όρια για τον προσδιορισμό της αποδεκτής απόκρισης των πρωτότυπων συσκευών απόσβεσης ενέργειας και των συσκευών απόσβεσης ενέργειας παραγωγής.

Περιβαλλοντικές Συνθήκες

Εκτός από τις απαιτήσεις αναφορικά με κατακόρυφα και πλευρικά φορτία που επιβάλλονται από τις δράσεις του ανέμου και του σεισμού, οι διατάξεις απόσβεσης ενέργειας θα σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές συνθήκες, περιλαμβανομένων των επιδράσεων της γήρανσης, του ερπυσμού, της κόπωσης, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της έκθεσης σε υγρασία και ουσίες που προκαλούν φθορά.

Δυνάμεις λόγω Ανέμου

Θα γίνεται διερεύνηση της διάρκειας ζωής λόγω κόπωσης των διατάξεων απόσβεσης ενέργειας, ή των στοιχείων τους, περιλαμβανομένων των στεγανοποιητικών μέσων στην περίπτωση διατάξεων ιξοελαστικών ρευστών, και θα καταδεικνύεται ότι αυτή είναι επαρκής σε σχέση με τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού των διατάξεων. Διατάξεις υποκείμενες σε αστοχία σε λίγους κύκλους κόπωσης, θα πρέπει επιπονούμενες από δυνάμεις λόγω ανεμοπίεσης να παραμένουν στην ελαστική περιοχή.

Έλεγχος και Αντικατάσταση

Θα πρέπει να παρέχεται πρόσβαση για τον έλεγχο και την αντικατάσταση των διατάξεων απόσβεσης ενέργειας.

Ποιοτικός Έλεγχος Παραγωγής

Ο υπεύθυνος μηχανικός θα πρέπει να καθιερώνει ένα σχέδιο ποιοτικού ελέγχου παραγωγής για τις διατάξεις απόσβεσης ενέργειας. Αυτό το σχέδιο θα πρέπει να περιλαμβάνει περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής και διαδικασίες ελέγχου και δοκιμών που είναι απαραίτητες για τον ποιοτικό έλεγχο της παραγωγής των διατάξεων.

Συντήρηση

Ο υπεύθυνος μηχανικός θα καθιερώνει πρόγραμμα συντήρησης και δοκιμών για τις συσκευές απόσβεσης ενέργειας προκειμένου να εξασφαλίζεται η αξιόπιστη απόκριση της διατάξεων κατά τη διάρκεια της ζωής σχεδιασμού τους. Ο βαθμός συντήρησης και οι πειραματικές δοκιμές των συσκευών θα διαμορφώνονται σύμφωνα με το ιστορικό λειτουργίας των αποσβεστήρων.

10.4 Κριτήρια-Μεθοδολογία Σχεδιασμού Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε, στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος, η αναφορά σε συσκευές απόσβεσης ενέργειας αφορά συσκευές απόσβεσης ενέργειας, οι οποίες τοποθετούνται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης, λειτουργούν σε παράλληλη σύνδεση με τα εφέδρανα σεισμικής μόνωσης και κατ' αυτήν την έννοια αποτελούν τμήμα του συστήματος σεισμικής μόνωσης της κατασκευής.

Ο κυριότερος στόχος της εγκατάστασης συσκευών απόσβεσης ενέργειας σε ένα σύστημα μόνωσης -δηλαδή της αύξησης της ικανότητας απόσβεσης σεισμικής ενέργειας του συστήματος- είναι η μείωση των παραμορφώσεων ή μετακινήσεών του.

Γι' αυτήν την εφαρμογή των αποσβεστήρων, η μεθοδολογία σχεδιασμού τους είναι αντίστοιχη με εκείνη των εφεδράνων και αποδίδεται αναλυτικά στα αντίστοιχα κεφάλαια του παρόντος τα οποία αναφέρονται στα εφέδρανα.

10.5 Δοκιμές Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας (FEMA 356, 9.3.8)

Μεθοδολογία δοκιμών συσκευών απόσβεσης ενέργειας δίδεται στο FEMA 356. Οι παράγραφοι που ακολουθούν αποδίδουν κατά κύριο λόγο το κανονιστικό αυτό κείμενο των ΗΠΑ.

10.5.1 Γενικά (FEMA 356, 9.3.8.1)

Οι σχέσεις δύναμης-μετατόπισης και οι τιμές απόσβεσης που θεωρούνται κατά το σχεδιασμό του συστήματος απόσβεσης ενέργειας θα πρέπει να επαληθεύονται μέσω δοκιμών που πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις παρακάτω παραγράφους, πριν από την παραγωγή των αποσβεστήρων. Όταν οι δοκιμές που πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα παρακάτω προηγούνται του σχεδιασμού ενός έργου, κατά το σχεδιασμό θα χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα του προγράμματος δοκιμών.

Οι δοκιμές θα πραγματοποιούνται προκειμένου να: (1) επιβεβαιωθούν χαρακτηριστικά της σχέσης δύναμης-μετατόπισης των συσκευών απόσβεσης ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό, και (2) καταδειχτεί η ασφαλής λειτουργία των αποσβεστήρων για την περίπτωση εξαιρετικά ισχυρής σεισμικής διέγερσης. Αυτές οι δοκιμές δεν θα θεωρείται ότι αντικαθιστούν το σχέδιο ποιοτικού ελέγχου παραγωγής των αποσβεστήρων.

Ο υπεύθυνος μηχανικός θα παρέχει σαφή όρια αποδοχής για τις τιμές τέμνουσας δυσκαμψίας και απόσβεσης που επιβάλλονται από τις δοκιμές πρωτοτύπων. Αυτά τα κριτήρια θα αντικατοπτρίζουν τις τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το σχεδιασμό, θα αποδίδουν πιθανές μεταβολές στις ιδιότητες των υλικών και θα παρέχουν οριακές τιμές απόκρισης εκτός των οποίων οι συσκευές απόσβεσης ενέργειας θα απορρίπτονται.

Ο υπεύθυνος μηχανικός θα παρέχει σαφή κριτήρια αποδοχής για τις τιμές της τέμνουσας δυσκαμψίας και απόσβεσης που επιβάλλονται από τις δοκιμές παραγωγής. Τα αποτελέσματα των δοκιμών πρωτοτύπων θα αποτελούν τη βάση των κριτηρίων αποδοχής για τις δοκιμές παραγωγής, εκτός και αν ο υπεύθυνος μηχανικός συστήνει στις προδιαγραφές μία εναλλακτική βάση. Τέτοιου είδους κριτήρια αποδοχής θα

αναγνωρίζουν την επιρροή του ιστορικού φόρτισης στην απόκριση των αποσβεστήρων, απαιτώντας την πραγματοποίηση δοκιμών παραγωγής πριν από τις δοκιμές πρωτοτύπων.

Οι διαδικασίες κατασκευής και ποιοτικού ελέγχου που χρησιμοποιούνται για όλες τις πρωτότυπες συσκευές απόσβεσης ενέργειας και τους αποσβεστήρες παραγωγής θα πρέπει να είναι ίδιες. Αυτές οι διαδικασίες θα εγκρίνονται από τον υπεύθυνο μηχανικό πριν από την κατασκευή των πρωτότυπων συσκευών απόσβεσης ενέργειας.

10.5.2 Δοκιμές Πρωτοτύπων (FEMA 356, 9.3.8.2)

Γενικά (FEMA 356, 9.3.8.2.1)

Οι ακόλουθες δοκιμές πρωτοτύπων θα πραγματοποιούνται χωριστά σε δύο αποσβεστήρες πλήρους μεγέθους από κάθε τύπο και μέγεθος που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό. Μετά από έγκριση του υπεύθυνου μηχανικού του έργου, επιτρέπεται η επιλογή αντιπροσωπευτικών μεγεθών κάθε τύπου αποσβεστήρα για τις ανάγκες των δοκιμών πρωτοτύπων αντί για την επιλογή κάθε τύπου και μεγέθους αποσβεστήρα, υπό την προϋπόθεση ότι οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου είναι ίδιες για κάθε τύπο και μέγεθος αποσβεστήρα που χρησιμοποιείται στην κατασκευή.

Τα δοκίμια δεν θα χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εκτός και αν υπάρχει γραπτή έγκριση για το σκοπό αυτό από τον υπεύθυνο μηχανικό του έργου.

Καταγραφή Δεδομένων (FEMA 356, 9.3.8.2.2)

Το διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης για κάθε ανακυκλιζόμενη φόρτιση κάθε τύπου δοκιμής, θα καταγράφεται ηλεκτρονικά.

Ακολουθία και Κύκλοι Δοκιμών (FEMA 356, 9.3.8.2.3)

Κάθε συσκευή απόσβεσης ενέργειας θα φορτίζεται σύμφωνα με την παρακάτω ελάχιστη ακολουθία δοκιμών, προκειμένου να προσομοιωθούν τα φορτία επί της συσκευής όπως αυτή πρόκειται να εγκατασταθεί στο δόμημα και οι αναμενόμενες ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας.

1. Κάθε συσκευή απόσβεσης ενέργειας θα φορτίζεται με αριθμό ανακυκλιζόμενων φορτίσεων που αναμένονται κατά την ανεμοπίεση σχεδιασμού, αλλά όχι λιγότερες από 2000 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις δύναμης (για εξαρτώμενες από τη μετατόπιση και ιξοελαστικές διατάξεις) ή μετατόπισης (για ιξώδεις διατάξεις) εύρους που αναμένεται κατά την ανεμοπίεση σχεδιασμού, σε συχνότητα ίση με την αντίστροφη τιμή της θεμελιώδους περιόδου του δομήματος.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Οι διατάξεις που δεν υπόκεινται σε ανεμογενείς δυνάμεις ή μετατοπίσεις δεν χρειάζεται να υποβάλλονται σε αυτές τις δοκιμές.

2. Κάθε συσκευή απόσβεσης ενέργειας θα φορτίζεται με 20 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις μετατόπισης που αντιστοιχούν στον σεισμό σχεδιασμού, με συχνότητα ίση με την αντίστροφη τιμή της θεμελιώδους περιόδου του δομήματος.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Θα επιτρέπονται διαφορετικές μέθοδοι δοκιμής για συσκευές απόσβεσης ενέργειας από εκείνες που αναφέρονται παραπάνω, υπό τους ακόλουθους όρους: (1) θα μπορεί να αποδειχθεί η ισοδυναμία μεταξύ της προτεινόμενης μεθόδου και της ανακυκλιζόμενης δοκιμής (2) η προτεινόμενη μέθοδος θα εξετάζει και θα συνεκτιμά την εξάρτηση της απόκρισης του αποσβεστήρα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τη συχνότητα φόρτισης, και τη θερμοκρασιακή αύξηση κατά την εκτέλεση της δοκιμής και (3) η προτεινόμενη μέθοδος εγκρίνεται από τον υπεύθυνο μηχανικό του έργου.

Οι διατάξεις απόσβεσης ενέργειας δεν θα πρέπει να αποτελούν μέρος του φέροντος οργανισμού του έργου και να φέρουν φορτία βαρύτητας, παρόλα αυτά όμως, είναι δυνατό να απαιτηθεί από αυτές να παραλάβουν κάποιο μέρος φορτίου βαρύτητας.

Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας που Εξαρτώνται από την Ταχύτητα και/ή τη Συχνότητα της Διέγερσης (FEMA 356, 9.3.8.2.4)

Όταν τα χαρακτηριστικά της σχέσης δύναμης-παραμόρφωσης αποσβεστήρων ενέργειας, για οποιαδήποτε μετατόπιση που είναι μικρότερη ή ίση προς τη συνολική μετατόπιση σχεδιασμού, μεταβάλλονται κατά περισσότερο από 15% για μεταβολές της συχνότητας δοκιμής από $0,5 f_1$ έως $2,0 f_1$, τότε θα προηγούνται δοκιμές σε συχνότητες ίσες με $0,5 \cdot f_1$, f_1 και $2,0 \cdot f_1$.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Όταν χρησιμοποιούνται ως πρωτότυπα αποσβεστήρες μικρότερης κλίμακας για την ποσοτικοποίηση της εξάρτησης των ιδιοτήτων των αποσβεστήρων από την ταχύτητα φόρτισης, τότε αυτά τα μικρότερης κλίμακας πρωτότυπα θα είναι του ίδιου τύπου και των ίδιων υλικών κατασκευής – και κατασκευασμένα με τις ίδιες διαδικασίες παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου – όπως και τα πρωτότυπα κανονικής κλίμακας, και θα υποβάλλονται σε δοκιμή με μετατοπίσεις όμοιας κλίμακας που θα αντιπροσωπεύουν τις μετατοπίσεις την πλήρους κλίμακας.

Δοκιμή Όμοιων Συσκευών Απόσβεσης Ενέργειας (FEMA 356, 9.3.8.2.6)

Συσκευές απόσβεσης ενέργειας που (1) είναι παρόμοιου μεγέθους, ίδιων υλικών κατασκευής, εσωτερικής δομής και στατικών και δυναμικών εσωτερικών πιέσεων (αν

υπάρχουν), και (2) έχουν κατασκευαστεί με ίδιες διαδικασίες και διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου παραγωγής, και οι οποίες έχουν νωρίτερα υποβληθεί σε δοκιμή από ανεξάρτητο εργαστήριο σύμφωνα με την μέθοδο που περιγράφεται παραπάνω, δεν χρειάζεται να υποβάλλονται σε δοκιμή, υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

1. Όλα τα σχετικά δεδομένα δοκιμών είναι διαθέσιμα και έχουν την έγκριση του υπεύθυνου μηχανικού.
2. Ο κατασκευαστής των αποσβεστήρων μπορεί να τεκμηριώσει την ομοιότητα των διατάξεων που έχουν υποβληθεί σε δοκιμή προγενέστερα σε ικανοποιητικό βαθμό για τον υπεύθυνο μηχανικό.
3. Η υποβολή των δεδομένων από παλαιότερο πρόγραμμα δοκιμών έχει εγκριθεί εγγράφως από τον υπεύθυνο μηχανικό.

10.5.3 Προσδιορισμός των Χαρακτηριστικών της Σχέσης Δύναμης – Μετατόπισης (FEMA 356, 9.3.8.3)

Τα χαρακτηριστικά της σχέσης δύναμης-μετατόπισης μιας συσκευής απόσβεσης ενέργειας θα βασίζονται στις δοκιμές ανακυκλιζόμενης φόρτισης και μετατόπισης των πρωτοτύπων συσκευών.

Η τέμνουσα δυσκαμψία (k_{eff}) μιας συσκευής απόσβεσης ενέργειας (η οποία διαθέτει δυσκαμψία) θα υπολογίζεται για κάθε κύκλο παραμόρφωσης σύμφωνα με την Εξίσωση:

$$k_{eff} = \frac{|F^-| + |F^+|}{|D^-| + |D^+|} \quad (9-38)$$

όπου οι δυνάμεις F^+ και F^- θα υπολογίζονται για τις τιμές μετατόπισης D^+ και D^- , αντίστοιχα. Η τέμνουσα δυσκαμψία μιας διάταξης απόσβεσης ενέργειας θα καθορίζεται για τιμές μετατόπισης των δοκιμών που δίνονται στην παράγραφο 9.3.8.2.3.

Η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση (β_{eff}) ενός αποσβεστήρα που διαθέτει δυσκαμψία θα υπολογίζεται, για κάθε κύκλο παραμόρφωσης βάσει της Εξίσωσης:

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_D}{k_{eff} \cdot D_{ave}^2} \quad (9-39)$$

όπου η τέμνουσα δυσκαμψία k_{eff} θα υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση (9-38), και το W_D θα λαμβάνεται ως το εμβαδόν ενός πλήρους κύκλου απόκρισης δύναμης-μετατόπισης του αποσβεστήρα κατά την μετατόπιση δοκιμής πρωτοτύπου (D_{ave}) η οποία είναι ίση με τη μέση τιμή των απόλυτων τιμών μετατόπισης D^+ και D^- .

10.5.4 Κριτήρια Αποδοχής, Επάρκεια Συστήματος (FEMA 356, 9.3.8.4)

Η απόδοση (επιτελεστικότητα, συμπεριφορά) της πρωτότυπης συσκευής απόσβεσης ενέργειας θα θεωρείται επαρκής όταν ικανοποιούνται όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

1. Τα διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης των δοκιμών σύμφωνα με την παράγραφο 9.3.8.2.3 δεν παρουσιάζουν μείωση της δύναμης με αυξάνουσα μετατόπιση.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Συσκευές απόσβεσης ενέργειας που επιδεικνύουν εξαρτώμενη από την ταχύτητα συμπεριφορά, δεν απαιτείται να συμμορφώνονται με την παραπάνω απαίτηση.

2. Για οποιονδήποτε ανακυκλιζόμενη φόρτιση κάθε δοκιμής της παραγράφου 9.3.8.2.3, η τέμνουσα δυσκαμψία k_{eff} της συσκευής απόσβεσης ενέργειας δεν διαφέρει κατά περισσότερο από $\pm 15\%$ από τη μέση τέμνουσα δυσκαμψία, όπως αυτή υπολογίζεται από το σύνολο των ανακυκλιζόμενων φορτίσεων σε αυτήν τη δοκιμή.

ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ: (1) Το όριο του 15% μπορεί να αυξηθεί από τον υπεύθυνο μηχανικό στις προδιαγραφές, αρκεί να έχει αποδειχτεί μέσω ανάλυσης ότι το αυξημένο όριο δεν έχει δυσμενή επίδραση στην απόκριση του δομήματος. (2) Συσκευές απόσβεσης ενέργειας ιξώδων ρευστών, και άλλες διατάξεις που δεν διαθέτουν τέμνουσα δυσκαμψία, δεν απαιτείται να συμμορφώνονται με την παρούσα απαίτηση.

3. Σε κάθε δοκιμή της παραγράφου 9.3.8.2.3 και για οποιαδήποτε κύκλο φόρτισης, η μέγιστη και ελάχιστη δύναμη για μηδενική μετατόπιση της πρωτότυπης συσκευής, δεν διαφέρει περισσότερο από 15% της μέσης τιμής της μέγιστης και ελάχιστης δύναμης, όπως αυτή υπολογίζεται από το σύνολο των κύκλων της δοκιμής.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Το όριο του 15% μπορεί να αυξηθεί από τον υπεύθυνο μηχανικό στις προδιαγραφές, αρκεί να έχει αποδειχτεί μέσω ανάλυσης ότι το αυξημένο όριο δεν έχει δυσμενή επίδραση στην απόκριση του δομήματος.

4. Το εμβαδόν του βρόχου υστέρησης (W_d) πρωτότυπης διάταξης απόσβεσης ενέργειας σε κάθε δοκιμή της παραγράφου 9.3.8.2.3 και για οποιονδήποτε κύκλο, δεν διαφέρει κατά περισσότερο από 15% από τη μέση τιμή του εμβαδού της υστέρησης, όπως αυτό υπολογίζεται από το σύνολο των κύκλων της δοκιμής αυτής.

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Το όριο του 15% μπορεί να αυξηθεί από τον υπεύθυνο μηχανικό στις προδιαγραφές, αρκεί να έχει αποδειχτεί μέσω ανάλυσης ότι το αυξημένο όριο δεν έχει δυσμενή επίδραση στην απόκριση του δομήματος.

5. Στην περίπτωση εξαρτώμενων από την ταχύτητα συσκευών, η μέση τιμή τέμνουσας δυσκαμψίας, η μέση τιμή μέγιστης και ελάχιστης δύναμης για μηδενική

μετατόπιση, και η μέση τιμή του εμβαδού του βρόγχου υστέρησης (W_D), που υπολογίζονται για κάθε δοκιμή στην ακολουθία που περιγράφεται στην παράγραφο 9.3.8.2.3, θα βρίσκονται εντός των ορίων που τίθενται από τον υπεύθυνο μηχανικό στις προδιαγραφές. Το εμβαδόν του βρόγχου υστέρησης κατά τη λήξη της κυκλικής δοκιμής θα πρέπει να μην διαφέρει κατά περισσότερο από 15% από τη μέση τιμή των 20 κύκλων δοκιμής.

6. Στην περίπτωση εξαρτώμενων από την ταχύτητα συσκευών, η μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης δύναμης για μηδενική μετατόπιση, η τέμνουσα δυσκαμψία (μόνο για διατάξεις ιξοελαστικής συμπεριφοράς), και το μέσο εμβαδόν του βρόγχου υστέρησης (W_D), που υπολογίζονται από κάθε δοκιμή της ακολουθίας που περιγράφεται στην παράγραφο 9.3.8.2.3, θα βρίσκονται εντός των ορίων που τίθενται από τον υπεύθυνο μηχανικό στις προδιαγραφές.

11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- (1)** Al-Hussaini, T.M., Zayas, V.A. and Constantinou, M.C. (1994), "Seismic Isolation of Multistory Frame Structures Using Spherical Sliding Isolation Systems", Report NCEER-94-0007, Buffalo, NY.
- (2)** American Association of State Highway and Transportation Officials (1999), "Guide Specifications for Seismic Isolation Design", Washington, D.C.
- (3)** Buckle, I.G. and Liu, H. (1994) "Critical Loads of Elastomeric Isolators at High Shear Strain", Proc. 3rd US-Japan Workshop on Earthquake Protective Systems for Bridges", Report NCEER-94-0009, Buffalo, NY.
- (4)** Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Kasalanati, A. and Wolff, E.D. (1999), "Property Modification Factors For Seismic Isolation Bearings", Report No. MCEER-99-0012, Buffalo, NY.
- (5)** IBC 2000, International Code Council, Falls Church, Virginia.
- (6)** Naeim, F. and Kelly, J.M. (1999), "Design of Seismic Isolated Structures", J. Wiley & Sons, New York, NY.
- (7)** Roeder, C.W., Stanton, J.F. and Taylor, A. W.(1987), "Performance of Elastomeric Bearings", Report No. 298, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- (8)** Thompson, A.C.T., Whittaker, A.S., Fenves, G.L. and Mahin, S.A. (2000), "Property Modification Factors for Elastomeric Seismic Isolation Bearings", Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand.
- (9)** Tsopelas, P. and Constantinou, M.C. (1997), "Study Of Elastoplastic Bridge Seismic Isolation System" Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 4, pp. 489-498.
- (10)** Constantinou M.C., Soong T.T., Dargush G.F., (1998), "Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit", Monograph Series, MCEER.

- (11)** Soong, T.T., Constantinou, M.C., (1994), "Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering", Springer Verlag, Wien-New York.
- (12)** Buckle, I. G., Mayes R. L., (1990), 'Seismic Isolation: History, Application and Performance - A World View', Earthquake Spectra, Vol. 6, No 2.
- (13)** American Society of Mechanical Engineers (1885), "Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)", ANSI/ASME B46.1-1985, New York.
- (14)** Skinner, R.I., Robinson, W. H., McVery, G. H., 1993: 'An Introduction to Seismic Isolation', John Willey & Sons.
- (15)** Hanson, R.D., Soong, T.T., 2001: 'Seismic Design with Supplemental Energy Dissipation Devices', Monograph MNO-8, EERI.
- (16)** Ikononou, A.S., "The Alexisismon: An Application to a Building Structure", Proc. Second US National Conference on Earthquake Engineering, USA.
- (17)** Ikononou, A.S., 1985, "Alexisismon Isolation Engineering for Nuclear Plants", Nuclear Engineering and Design 85, North- Holland, Amsterdam, pp.201-216
- (18)** British Standards Institution (1979), "Commentary on Corrosion at Bi-metallic Contacts and Its Alleviation," BSI Standard PD 6484, Confirmed March 1990, London.
- (19)** European Committee for Standardization (2000), "Structural Bearings", European Standard EN 1337-1, Brussels.
- (20)** Marioni, A. (1996). "Development of a New Type of Hysteretic Damper for the Seismic Protection of Bridges." Proc. Fourth World Congress on Joint Sealants and Bearing Systems for Concrete Structures, SP-164, Vol. 2, American Concrete Institute, 955-976.
- (21)** Campi V., Marioni, A.: "New Types of Energy Dissipating Devices for Seismic Protection of Bridges". Proc. Third World Congress on Joint Sealing and Bearing Systems for Concrete Structures, Oct. 27-31, 1991, Toronto, Canada American Concrete Institute.

- (22) Sholl E. Roger: "Design Criteria for Yielding and Friction Energy Dissipators", Proc. Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, ATC 17-1, San Francisco, California, March 11-12, 1993, Vol. 2, 485-495
- (23) Roeder, C.W., Stanton, J.F. and Campbell, T.I. (1993), "Rotation of High Load Multirotational Bridge Bearings", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.121, No. 4, pp. 747-756.
- (24) DIS (Εταιρεία κατασκευής ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου LRB), λίστα κτιρίων και γεφυρών με σεισμική μόνωση. Χορηγήθηκε από την εταιρεία.
- (25) EPS - EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS (Εταιρεία κατασκευής σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης FPS), λίστα κτιρίων και γεφυρών με σεισμική μόνωση όπως χορηγήθηκε από την εταιρεία.
- (26) Kasalanati, A., Constantinou, M. C.: "Experimental Study of Bridge Elastomeric and Other Isolation and Energy Dissipation Systems with Emphasis on Uplift Prevention and High Velocity Near-Source Seismic Excitation", Technical Report MCEER-99-0004, University at Buffalo, SUNY, 1999.
- (27) Logiadis, I., Meskouris, K., Zilch, K.: "Prestressed Bearings in the Seismic Isolation of Structures", Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, June 23-28, 1996.
- (28) UC BERKELEY/ EERC, Πανεπιστήμιο Berkeley, Καλιφόρνια, ΗΠΑ, λίστα κτιρίων και γεφυρών με σεισμική μόνωση όπως χορηγήθηκε από το πανεπιστήμιο.
- (29) GLIS, GRUPPO DI LAVORO ISOLATIONE SEISMICO, Σύλλογος Ιταλών Ερευνητών για εφαρμογές σεισμικής μόνωσης, λίστα σεισμικά μονωμένων κτιρίων και γεφυρών στην Ιταλία όπως χορηγήθηκε από το σύλλογο.
- (30) ASIAN TECHNOLOGY INFORMATION PROGRAM (ATIP), ερευνητικό πρόγραμμα καταγραφής εφαρμογών σεισμικής μόνωσης και απόσβεσης ενέργειας στην Ασιατική Ήπειρο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ (ΠΙΝΑΚΕΣ)

Πίνακας 1: Κτίρια με Σεισμική Μόνωση στις Η.Π.Α.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Foothill Communities Law & Justice Center	Rancho Cucamonga, California	98 HDR	1985	Νέο
Stanford Linear Accelerator Center Mark II Detector	Menlo Park, California	4 LRB	1987	Υφιστ.
Evans & Sutherland Building 600	Salt Lake City, Utah	40 LRB 58 NRB	1988	Νέο
Emergency Water Tank	California	4 FPS	1988	Υφιστ.
Stanford Linear Accelerator- Liquid Argon Calorimeter	Menlo Park, California	LRB	1988	Νέο
Conexant Test Facility	Los Angeles, Calif.	LRB	1997	Νέο
Stanford Linear Accelerator Center	Menlo Park, California	4 LRB	1997	Νέο
Salt Lake City and County Building	Salt Lake City, Utah	208 LRB 239 NRB	1989	Υφιστ.
Fire Command and Control Center	East Los Angeles, California	32 HDR	1990	Νέο
USC University Hospital	Los Angeles, California	68 LRB 81 NRB	1991	Νέο
Rockwell International Corporate Headquarters	Seal Beach, California	54 LRB 30 NRB	1991	Υφιστ.
Marina Apartment Building	San Francisco, California	32 FPS	1990	Υφιστ.
Kaiser Permanente Regional Data Center	Corona, California	27 LRB 29 NRB	1992	Νέο
Two Residences	Los Angeles, Calif.	GERB Resist	1992	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Titan Solid Rocket Motor Storage	Vandenburg Air Force Base, Calif.	HDR	1992	Άγνωστ.
Portland Water Bureau-Water Control Center	Portland, Oregon	31 LRB 4 NRB	1993	Νέο
Campell Hall	Monmouth, Oregon	26 LRB 16 NRB	1993	Υφιστ.
Makay School Of Mines	Reno, Nevada	HDR & Sliding Bearings	1993	Υφιστ.
Emergency Operations Center	Los Angeles, Calif.	28 HDR	1994	Νέο
Traffic Management Center	San Diego, Calif.	44 HDR	1994	Νέο
Hughes Building S-12	El Segundo, Calif.	24 LRB 21 NRB	1994	Υφιστ.
Oakland City Hall	Oakland, Calif.	42 LRB 69 NRB	1994	Υφιστ.
U.S. Court of Appeals	San Francisco, Calif.	256 FPS	1994	Υφιστ.
San Francisco Main Library	San Francisco, Calif.	56 LRB 106 NRB	1994	Νέο
Martin Luther King/ Drew Trauma Center	Los Angeles, Calif.	70 HDR 12 SLIDER	1994	Νέο
AutoZone Headquarters	Memphis, Tennessee	24 LRB 19 NRB	1995	Νέο
Long Beach V.A. Hospital	Long Beach, Calif.	110 LRB 18 NRB	1995	Υφιστ.
Missouri Botanical Garden Research Center	St Louis, MO	44 HDR	1996	Νέο
Kerckhoff Hall	UCLA Campus, Los Angeles, Calif.	33 LRB 93 NRB	1996	Υφιστ.
Hayward City Hall	Hayward, Calif.	52 FPS & FV DAMPERS	1996	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :
Η.Π.Α.

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Arrowhead Regional Medical Center	San Bernardino County, Colton, Calif.	400 HDR & FV DAMPERS	1997	Νέο
Washington State E.O.C.	Camp Murray, Washington	22 FPS	1998	Νέο
Public Safety Bldg	Berkeley, Calif.	LRB	1998	Νέο
San Francisco Airport International Termin.	San Francisco, Calif.	267 FPS	1998	Νέο
San Francisco 911	San Francisco, Calif.	HDR	1998	Νέο
Los Angeles City Hall	Los Angeles, Calif.	530 LRB	1999	Υφιστ.
LAC + USC Medical Center	Los Angeles, Calif.	150 HDR	2000	Νέο
Channing House	Palo Alto, Calif.	56 LRB 56 NRB	2000	Υφιστ.
Channing House Sliders	Palo Alto, Calif.	LRB	2000	Υφιστ.
American Airlines	JFK Airport, NY	LRB	2001	Νέο
Immunex Buildings A, B & C	Seattle, Washington	LRB	2001	Νέο
Immunex Building J	Seattle, Washington	LRB	2001	Νέο
Long Beach 911	Long Beach, Calif.	LRB	2001	Νέο
Conexant addition	Newport Beach, Calif.	LRB	2000	Νέο
St. John's Medical Center	Los Angeles, Calif.	LRB	2000	Υφιστ.
Westin Hotel Times Square	New York City	LRB	2000	Υφιστ.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Conexant 503	Newport Beach, Calif.	LRB	1999	Υφιστ.
San Diego Emergency Center	San Diego, Calif.	LRB	1997	Νέο
San Francisco City Hall	San Francisco, Calif.	LRB	1997	Υφιστ.
Conexant 503 - Bump	Newport Beach, Calif.	LRB	1996	Υφιστ.
Mountain Fuel/ Questar	Salt Lake City, Utah	LRB	1996	Νέο
South Carolina Statehouse	Columbia, South Carolina	LRB	1996	Υφιστ.
Conexant Building 80	Seal Beach, Calif.	LRB	1991	Υφιστ.
Milwaukee County	Milwaukee, WI	LRB	1991	Άγνωστ
Cintamani Temple	Calif.	24 FPS	2002	Νέο
Los Angeles Cathedral	Los Angeles, Calif.	4 FPS	2000	Νέο
Above Net Communications	San Francisco, Calif.	100 FPS	2000	Νέο
Seattle Seahawks Football Stadium	Washington	4 FPS	2000	Νέο
Safeco Data Center	Washington	43 FPS	1999	Νέο
Light Tower, SF Civic Center	San Francisco, Calif.	4 FPS	1998	Νέο
ISP Ammonia Tank	Kentucky	4 FPS	1994	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Ingram Micro Office -	Santa Ana, Calif.	4 Sliders	2000	Υφιστ.
Conexant Mexicali II	Los Angeles, Calif.	LRB	2001	Νέο

Πίνακας 2: Κτίρια με Σεισμική Μόνωση στο Μεξικό

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΜΕΞΙΚΟ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
University of Guadalajara	Guadalajara,	LRB	2001	Νέο
Amplicion Expo, Guadalajara	Guadalajara, Jalisco	LRB	1999	Νέο

Πίνακας 3: Κτίρια με Σεισμική Μόνωση στην Ιταλία

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
New Fire Station Headquarters	Napoli (Campania)	Dampers & Isolators	1981	Νέο
2 nd Fire Station Building	Napoli (Campania)	24 Neoprene bear. & 72 Dampers	1985	Νέο
Civic Center at Monte d' Ago	Ancona (Marche)	6 Neoprene bear.	1989	Νέο
SIP Center of Marche Reg.	Ancona (Marche)	297 HDRB	1989-92	Νέο
TELECOM Administration Center – Buildings	Ancona (Marche)	276 HDRB	1989-1991	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ΥΦΙΣΤ.
Apartment house	Squillace Marina, Cantazaro, Calabria	31 HDRB	1990-92	Νέο
Navy building	Ancona (Marche)	44 HDRB	1991-92	Νέο
Navy Medical Center	Augusta, Siracusa, Sicily	24 HDRB	1992-93	Νέο
Apartment houses of the Italian Navy	Campo Palma at Augusta (Sicily)	192 HDRB	1992-93	Νέο
Dept. of Mathematics University Basilicata	Potenza (Basilicata)	89 HDRB	1995	Νέο
Faculty of Agriculture University Basilicata	Potenza (Basilicata)	132 HDRB	1995	Νέο
San Pietro Church	Frigento, Avellino	25 HDRB	1994	Υφιστ.
Fontana Maggiore	Perugia	Isolators	2002	Υφιστ.
San Bevignate Church	Perugia	Isolators	2002	Υφιστ.
Medieval Tower	Girifalco	Isolators	2002	Υφιστ.
Villa Fiorita	Ancona	Isolators	2002	Υφιστ.
San Francesco Basilica Superiore	Assisi Perugia, Umbria	SMA devices Dampers	1999	Υφιστ.
Bell tower	Trignano (R. Emilia)	4 SMA devices	1999	Υφιστ.
Civic Center	Soccavo, Campania	HDRB	Υπό μελέτη	Υφιστ.
Gas Insulated Electric Substations	ENEL Plants	4-8 HDRB/ RBRL/ Wire rope	2002	Νέο
Standard telephone switch houses	In seismic areas	HDRB	2002	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡ. & ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Brozes of Riace	Museum of Reggio, Calabria	12 Multistage HDRB	1995	Υφιστ.
Bronze Statue	Museum of Perugia	Multistage HDRB	1998	Υφιστ.
Operations Center for Traffic Police	Napoli	Isolators	2002	Υφιστ.
Apartment house	Rapolla, Potenza	28 HDRB	2002	Νέο

Πίνακας 4: Κτίρια με Σεισμική Μόνωση στην Κίνα

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΚΙΝΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡΙΘΜ. ΕΙΔΟΣ & ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Apartment building	Shantou, Guangdong	HDR	1993	Άγνωστ.
Apartment building	Anyang, Henan	HDR	1995	Άγνωστ.
Industrial building	Xichang, Sichuan	HDR	1995	Άγνωστ.
Apartment building	Xichang, Sichuan	HDR	1995	Άγνωστ.
Apartment building	Xichang, Sichuan	HDR	1995	Άγνωστ.
Apartment building	Xichang, Sichuan	HDR	1995	Άγνωστ.
Apartment building	Xichang, Sichuan	HDR	1995	Άγνωστ.
Apartment building	Xichang, Sichuan	HDR	1995	Άγνωστ.
Student housing building	Guangzhou	HDR	1995	Άγνωστ.
Apartment & office bldg.	Darli, Yunnan	HDR	1995	Άγνωστ.

Πίνακας 5: : Κτίρια με Σεισμική Μόνωση στην Ιαπωνία

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΑΠΩΝΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ ΥΦΙΣΤ.
Atsugi Sky Hotel	Atsugi	HDR	2001	Νέο
Kamikuzawa		LRB	2001	Νέο
Kojimachi		LRB	2001	Νέο
Nishi Gokencho Housing		HDR	2001	Νέο
Takasu Hospital		HDR	2001	Νέο
Ueno No.8 Office Building of Suimtomoto Realty & Dev. Co.,Ltd	Taito-ku, Tokyo Prefecture	LRB	2001	Νέο
Yuzawa		NRB & Dampers	2001	Νέο
DoCoMo Kobe Telecommunication Building	Kobe, Huogo Prefecture	NRB & Dampers	2000	Νέο
F Museum	Minato-ku, Tokyo	LRB	2000	Νέο
Head Office of Higashi Nihon Construction Industry Guarantee	Tsukiji, Tokyo	NRB & Dampers	Άγνωστ.	Υφιστ.
Industrial Research Institute of Senju Metal	Moka, Tochigi Prefecture	NRB & Dampers	2000	Νέο
Joraku Temple		LRB	2000	Νέο
Kawamura Condominium	Sendai, Miyagi Prefecture	LRB	2000	Νέο
Kobe North Fire Station	Kobe, Hyogo Prefecture	LRB	2000	Νέο
Nishi Gokencho redevelopment Proj.	Sinjuku-ku, Tokyo Pref.	Άγνωστ.	2000	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΑΠΩΝΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ ΥΦΙΣΤ.
Ritz Tower Hachioji Condominium	Hachioji, Tokyo Prefecture	LRB	2000	Νέο
Twins Square Asakadai Condominium	Asaka, Saitama Prefecture	HDR	2000	Νέο
Ueno No 9 Office Building of Suitomo Realty & Develop. Co.	Taito-ku, Tokyo Prefecture	HDR	2000	Νέο
Uniheim Sonoda Condominium	Amagasaki, Huogo	NRB & Dampers	2000	Νέο
Kudan Post Office	Chiyoda-ku, Tokyo Pref.	HDR	1999	Υφιστ.
Yamazaki Disaster Prevention Center	Shito-gun, Hyogo Prefect.	HDR	1999	Νέο
Atsugi Asahi-Machi Condominium	Atsugi, Kanagawa Pref.	HDR	1998	Νέο
Daito Seiki Mishima Factory Office Block	Shunto-gun, Sizuoka Prefect.	LRB	1998	Νέο
High City Kiyosumi-Shirakawa Stationb Plaza	Koto-ku, Tokyo Prefect.	NRB & Dampers	1998	Νέο
Chali Sakai Higashi Condominium	Sakai, Osaka Prefect.	NRB & Dampers	1997	Νέο
Fukae Mitsuke Condominium	Kobe, Huogo Prefect.	HDR	1997	Νέο
Lions Plaza Hiratsuka Mitsuke Condominium	Hiratsuka, Kanagawa	LRB	1997	Νέο
Kabeyzawa House Project	Άγνωστ.	HDR	1997	Νέο
Prospale Konakano Condominium	Hachinobe, Aomori Prefect.	LRB	1997	Νέο
Hills Chofu Grand First Condominium	Chofu, Tokyo Prefect.	HDR	1997	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΑΠΩΝΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ ΥΦΙΣΤ.
Sumitomo	Άγνωστ.	Άγνωστ.	1997	Νέο
West II Project	Nishinomiya, Huogo Prefect.	LRB	1997	Νέο
Liberte Yokohama West Condominium	Yokohama, Kanagawa	LRB	1997	Νέο
Konan-Cho Public Office	Osaito-gun, Saitama Prefect	Άγνωστ	1997	Νέο

Πίνακας 6: Κτίρια με Σεισμική Μόνωση στη Νέα Ζηλανδία

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
Ν. ΖΗΛΑΝΔΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
William Clayton Building	Wellington	LRB	1981	Νέο
Union House	Auckland	Sleeved piles	1983	Νέο
AC Filter Capacitor Banks, Haywards HVDC	Hutt Valley	Rubber bearings	1988	Νέο
Wellington Central Police Station	Wellington	Sleeved piles & LeadExtr.Dampers	1990	Νέο
Press Hall, Press House	Petone	LRB	1991	Νέο
Parliament House	Wellington	LRB & NRB	1994	Υφιστ.
Parliament Library	Wellington	LRB & NRB	1994	Υφιστ.
National Museum of New Zealand	Wellington	LRB & NRB & sliding bearings	1995	Νέο
Old Bank Arcade	Wellington	LRB	1997	Υφιστ.

Πίνακας 7: Κτίρια με Σεισμική Μόνωση σε άλλες χώρες

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ/ ΧΩΡΑ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
World Bank	Mumbai, Ινδία	LRB	1998	Νέο
Ataturk International Airport Terminal	Istanbul, Τουρκία	130 FPS	2000	Υφισταμ.
Ataturk International Airpost Terminal Extention	Istanbul, Τουρκία	53 FPS	2002	Νέο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ (ΠΙΝΑΚΕΣ)

Πίνακας 1: Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση στις ΗΠΑ

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Calvin Coolidge Bridge	Northampton, MA	LRB	2001	Υφιστ.
I-40	Shelby Co, TN	LRB	2001	Υφιστ.
Richmond – San Rafael Bridge	Richmond, CA	LRB	2001	Υφιστ.
Coronado – San Diego Bay Bridge	San Diego, CA	LRB	2000	Υφιστ.
Grave Creak Bridge	Josephine County, OR	LRB	2000	Υφιστ.
JFK Airport Light Rail	New York City, NY	LRB	2000	Νέο
Rio Vista Bridge over Sacramento River	Rio Vista, CA	LRB	2000	Υφιστ.
Hwy 242/680 Separation (wid.)	Concord, CA	LRB	1999	Υφιστ.
I-15 Bridge 26	Salt Lake City, UT	LRB	1999	Νέο
Newport Viaduct (Flying Wye)	Jersey City, NJ	LRB	1999	Νέο
Atlantic Boulevard (Mixmaster)	Los Angeles, CA	LRB	1998	
Ferry Street Bridge	Eugene, OR	LRB	1998	Υφιστ.
I-15 Bridge 28	Salt Lake City, UT	LRB	1998	Νέο
Sandy River Bridge	Sandy, OR	LRB	1998	Υφιστ.
Chapman Avenue Bridge	Laguna Beach, CA	LRB	1997	Άγνωστ.
Golden Gate Bridge – North Approach	San Francisco, CA	LRB	1997	Υφιστ.
I-70 at 3 rd Street	East St. Louis, IL	LRB	1997	Υφιστ.
University Bridge	Seattle, WA	LRB	1997	Υφιστ.
Chickahominy Bridge	Hanover–Henrico County, VA	LRB	1996	Νέο
JFK Terminal 1 Access Bridge	New York City, NY	LRB	1996	Νέο
Norton House Bridge	Passaic County, NJ	LRB	1996	Υφιστ.
Stossel Bridge	Carnation, WA	LRB	1996	Υφιστ.
West Kenmore Bridge	Kenmore, WA	LRB	1996	Υφιστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
1 st Street over Figueroa Colfax Avenue over L.A. River	Los Angeles, CA	LRB	1995	Υφιστ.
Berry's Creek Bridge	East Rutherford, NJ	LRB	1995	Υφιστ.
Duwamish River Bridge	Seattle, WA	LRB	1995	Υφιστ.
175 over Kentucky River (Clays Ferry)	Fayetteville-Madison County Line, KY	LRB	1995	Υφιστ.
Mass. Turnpike 521-035 – North Street & Old Westborough Road Bridges	Grafton, MA	LRB	1995	Υφιστ.
Pennsylvania Turnpike	Chester County, PA	LRB	1995	Υφιστ.
Poplar St. E. Approach, Roadway C	East St. Louis, IL	LRB	1995	Νέο
Seekonk Bridge	Pawtucket, RI	LRB	1995	Υφιστ.
Squamscott II	Exeter, NH	LRB	1995	Νέο
Summer Street Bridge	Boston, MA	LRB	1995	Υφιστ.
West Street / I-93 Bridge	Wilmington, MA	LRB	1995	Υφιστ.
Bayshore Boulevard Overcrossing	San Francisco, CA	LRB	1994	Υφιστ.
Chain of Rocks Road Bridge	Madison County, IL	LRB	1994	Νέο
Home Bridge	Home, WA	LRB	1994	Νέο
Hwy 242 over Hwy 680	Concord, CA	LRB	1994	Υφιστ.
Lake Saltonstall Bridge	East Haven, CT	LRB	1994	Νέο
Moodna Creek Bridge	Oregon County, NY	LRB	1994	Υφιστ.
Neponset River Bridge	Near Boston, MA	LRB	1994	Νέο
New Jersey Turnpike 6411-1	Newark, NJ	LRB	1994	Υφιστ.
New Jersey Turnpike CW6412	Newark, NJ	LRB	1994	Υφιστ.
New Jersey Turnpike CW6421	Newark, NJ	LRB	1994	Υφιστ.
Pine Hill Road over Everett Turnpike	Nashua, NH	LRB	1994	Νέο
Poplar St. E. Approach, Roadway B	East St. Louis, IL	LRB	1994	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Route 101/280 Alemany Interchange	San Francisco, CA	LRB	1994	Υφιστ.
Saugatuck River Bridge	Westport, CT	LRB	1994	Υφιστ.
South Boston Bypass Viaduct	South Boston, MA	LRB	1994	Νέο
South Station Connector	Boston, MA	LRB	1994	Νέο
SR 504 – Coldwater Lake & E. Creek Brdg	St. Hellens, WA	LRB	1994	Νέο
West Fork River Bridge	Near Shinnston, WV	LRB	1994	Νέο
Aurora Expressway	Erie County, NY	LRB	1993	Υφιστ.
Bridge over County Road 3	Shinnston, WV	LRB	1993	Νέο
Main Street Bridge over Route 1	Saugus, MA	LRB	1993	Υφιστ.
New Hampshire Route 85	Exeter – Stratham, NH	LRB	1993	Νέο
NJ Turnpike over Foundry Avenue	Newark, NJ	LRB	1993	Υφιστ.
New York State Thoroughway – Mohawk River Bridge & Conrail Bridge	Herkimer, NY	LRB	1993	Υφιστ.
Olympic Boulevard	Walnut Creek, CA	LRB	1993	Νέο
Blackstone River Bridge	Woonsocket, RI	LRB	1992	Νέο
Carlson Boulevard	Richmond, CA	LRB	1992	Νέο
Cedar River Bridge	Renton, WA	LRB	1992	Νέο
Clackamas River Bridge	Milwaukie, OR	LRB	1992	Νέο
Dog River Bridge	Mobile County, AL	LRB	1992	Νέο
I-80 B764 Bridge	Verdi, NV	LRB	1992	Υφιστ.
Lacey V. Murrow Bridge	Seattle, WA	LRB	1992	Υφιστ.
Poplar Street Bridge	East St. Louis, IL	LRB	1992	Υφιστ.
Providence Viaduct	Providence, RI	LRB	1992	Υφιστ.
Route 5 Bridge (Ompompanoosuc River)	Norwich, VT	LRB	1992	Υφιστ.
Squamscott River Bridge	Exeter, NH	LRB	1992	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
US 51 over Minor Slough	Ballard County, KY	LRB	1992	Νέο
Cache River Bridge	Alexander County, IL	LRB	1991	Υφιστ.
Metro Link	St. Louis, MO	LRB	1991	Νέο
Pequannock River Bridge	Morris & Passaic Counties, NJ	LRB	1991	Νέο
Route 161 Dutch Hollow	St. Clair County, IL	LRB	1991	Νέο
US 40 over Wabash River	Terra Haute, IN	LRB	1991	Νέο
West Street Overpass	Harrison, NY	LRB	1991	Υφιστ.
Sexton Creek Bridge	Alexander County, IL	LRB	1990	Νέο
Toll Plaza Road Bridge	Montgomery County, PA	LRB	1990	Νέο
All American Canal Bridge	Winterhaven, CA	LRB	1988	Υφιστ.
Eel River Bridge	Rio Dell, CA	LRB	1987	Υφιστ.
LA Co. Vehicle Access Road Bridge	Long Beach, CA	LRB	1987	Υφιστ.
Santa Ana River Bridge	Riverside, CA	LRB	1986	Υφιστ.
Sierra Point Overhead	San Francisco, CA	LRB	1985	Υφιστ.
Highway I-40 Bridge	Memphis, Tennessee	18 FPS	Κατασκ.	Υφιστ.
Benicia – Martinez Toll Bridge	California	22 FPS	2001	Υφιστ.
Kodiak – Near Island Bridge	Alaska	15 FPS	2000	Υφιστ.
American River Bridge	Folsom, California	48 FPS	1998	Νέο
San Francisco – Oakland Bay Bridge	West Span, California	4 FPS	2000	Υφιστ.
Rio – Hondo Busway Bridge	California	21 FPS	1998	Υφιστ.
Montebello Bridge	Puerto Rico	38 LRB 42 NRB	1996	Νέο
Bridge over Rio Grande De Anasco	Puerto Rico	16 LRB 16 NRB	1997	Νέο
I-295 to Rt. 10 (Bridges 662 & 663)	Warwick / Cranston, RI	58 LRB	1996	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Widening of South Bound I-55 over Nonconnah Creek	Shelby County, TN	42 LRB 63 LRB	1999	Νέο
Lakemont Blvd, Southern Extension	Bellevue, WA	33 LRB	1997	Νέο
Tacony – Palmyra Approaches	Palmyra, NJ	10 LRB	1996	Νέο
Rt. 4 over Kinderkamach Rd.	Hackensack, NJ	24 LRB 32 NRB	1996	Νέο
Baldwin Street / Highland Avenue – Bridge over Conrail	Glen Ridge, NJ	22 LRB 44 NRB	1996	Νέο
Main Street Bridge over Passaic River	Paterson, NJ	48 LRB	1998	Νέο
Hudson – Bergen Light Rail Transit System – Newport Viaduct Area – 3	Jersey City, NJ	108 LRB	1999	Νέο
Route 9W over Washington Street	Rockland County, NY	23 LRB 52 NRB	1999	Νέο
I-87 Bridge over the Sawmill River Parkway	Westchester County, NY	28 LRB	2000	Νέο
Hood River Bridge	Hood River, OR	36 NRB	1996	Νέο
Willamette River (Abernethy) Bridge – Seismic Retrofit East Portland Freeway	Clackamas County, OR	64 LRB 44 LRB	2000	Υφιστ.
Schuylkill River Bridge	Montgomery County, PA	30 LRB	1999	Νέο
State Route 661 over Willimantic River	Town of Windham, CT	20 LRB	1999	Νέο
FAI Route 70 Sect. 82-(1,4) R5#70	St. Clair County, IL	92 LRB	1999	Νέο
FAI Route 70 Sect. 82-(1,4) R6#71	St. Clair County, IL	32 LRB	1999	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
FAI Route 70 Sect. 82-5HBR #102	St. Clair County, IL	42 LRB	1999	Νέο
KY 81 over Green River	McLean County, KY	8 LRB 8 NRB	1998	Νέο
Holyoke / South Hadley Bridge (Reconstruct over Conn. River & Canal St.)	South Hadley, MA	50 LRB 56 NRB	1996	Νέο
Lowell Bridge Reconstruction Aiken Street over Merrimack River	Lowell, MA	20 LRB	1997	Υφιστ.
Rt. 112 over Westfield River	Huntington, MA	8 LRB	1999	Νέο
Kootenai River / Libby	Lincoln County, MT	10 LRB	1999	Νέο
I-26 over Big Laurel Creek	Madison County, NC	16 LRB 32 NRB	1999	Νέο
US-176 over Green River Bridge #120 Replacement	Henderson County, NC	8 NRB 12 NRB	1999	Υφιστ.
Carquinez Bridge	Contra Costa & Solano Counties, CA	20 NRB	1999	Νέο
Reconstruction of I-95 over Yellow Mill Channel	Town of Bridgeport, CT	80 LRB	1997	Νέο
Rehab over Bridge #00014 – I- 95 over Metro North Railroad	Town of Greenwich, CT	108 LRB	1997	Νέο
I-95 Reconstruction Rt 8 & 25 to Yellowmill Channel	Bridgeport, CT	246 LRB	1998	Νέο
Granville Bridge	Vancouver, Canada	FIP	1996	Υφιστ.
Colfax Avenue over L.A. River	Los Angeles	Eradiquake	1995	Υφιστ.
3-Mile Slough	California	LRB	1997	Υφιστ.
RT 15 Viaduct	Hamden, CT	Eradiquake	1996	Νέο
RT 13 Bridge	Near Freeburg, IL	Eradiquake	1996	Νέο
RT 41 over Pigeon Creek	Evanville, IN	Eradiquake	1993	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Park Hill over Mass. Pike (I-90)	Millbury, MA	Eradiquake	1995	Νέο
RT 6 Swing Bridge	New Bedford, MA	Eradiquake	1995	Νέο
Mass Pike (I-90) over Fuller & North Sts.	Ludlow, MA	Eradiquake	1996	Νέο
Endicott Street RT 128 (I-95)	Danvers, MA	Eradiquake	1996	Νέο
Everett Turnpike over Nashua River & Canal	Nashua, NH	Eradiquake	1994	Νέο
Maxwell Ave. over I-95	Rye, NY	Eradiquake	1995	Νέο
Buffalo Airport Viaduct	Buffalo, NY	Eradiquake	1996	Νέο
Yonkers Avenue Bridge	Yonkers, NY	Eradiquake	1997	Νέο

Πίνακας 2: Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση στον Καναδά

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΚΑΝΑΔΑΣ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Highway 417 Bridge	Ontario, Canada	40 FPS	2000	Νέο
White River Bridge	Yukon, Canada	9 FPS	1997	Νέο
Lions Gate Bridge	Vancouver, British Columbia	LRB	2000	Υφιστ.
2 nd Narrows Bridge	Vancouver, British Columbia	LRB	1998	Άγνωστ.
Roberts Bank Overhead	Vancouver, British Columbia	LRB	1997	Νέο
Queensborough Bridge	New Westminster, British Columbia	LRB	1994	Υφιστ.
Burrard Bridge	Vancouver, British Columbia	LRB	1993	Υφιστ.
Deas Slough Bridge	Richmond, British Columbia	LRB	1990	Υφιστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΚΑΝΑΔΑΣ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ΥΦΙΣΤ.
Tamarac Bridge, Bridge #3090	Vancouver, British Columbia	LRB	1998	Νέο

Πίνακας 3: Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση στην Ιταλία

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ΥΦΙΣΤ.
Somplago	Udine – Tarvision	Elastic behavior devices (neoprene)	1974	Άγνωστ.
Resia	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1981	Άγνωστ.
Fella 2	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1981-83	Άγνωστ.
Chiusaforte	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1981-83	Άγνωστ.
Fella 3	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1981-83	Άγνωστ.
Sella Nevea	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1981-83	Άγνωστ.
Fella 1	Udine – Tarvisio	Long.: EP dampers Trans.: elast. Discs	1982	Άγνωστ.
Glagno	Udine – Tarvisio	Elastic behavior devices(elastromer)	1982	Άγνωστ.
Favarinis	Udine – Tarvisio	Elastic behavior devices(elastromer)	1982	Άγνωστ.
Carnia	Udine – Tarvisio	Elastic behavior devices(elastromer)	1982	Άγνωστ.
Slizza 2	Udine – Tarvisio	Elastic-plastic devices	1983	Άγνωστ.
Coccau	Udine – Tarvisio	Elastic behavior device (elastromer)	1983	Άγνωστ.
Cellina	SS 251	Elastic behavior (neoprene)	1983	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Bruscaia	Craco (MT)	Elastic behavior device (elastomer)	1983	Άγνωστ.
Cadramazzo	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Fella 8	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Fella 7	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Fella 6	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Slizza 1	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Fella 4	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Granuda	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Casello	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Fella 5	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
San Leopoldo	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Fella 10	Udine – Tarvisio	Long.:elast. Sleeves Trans.: elast. Discs	1983-86	Άγνωστ.
Scamirro	Craco (MT)	Elastic behavior devices	1984	Άγνωστ.
Pontebba	Udine – Tarvisio	Elastic behavior devices (elastomer)	1984	Άγνωστ.
Slizza 3	Udine – Tarvisio	Elastic behavior devices	1985	Άγνωστ.
Vallone, Railroad	Udine – Tarvisio	Elastic behavior devices	1985	Άγνωστ.
Val Freghizia	Milano – Napoli	Elastic-plastic devices (steel)	1985	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :**ΙΤΑΛΙΑ**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Aniene	Milano – Napoli	Elastic-plastic devices (steel)	1985	Άγνωστ.
Macchiettone	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1985	Άγνωστ.
Molinelle	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1985	Άγνωστ.
Ufita	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1985-87	Άγνωστ.
Tre Torri	Napoli – Bari	Longit : EP devides on abut or spans Transv : EP on pier	1985-87	Άγνωστ.
Vado della Ripa	Napoli – Bari	Longit : EP devides on abut or spans Transv : EP on pier	1985-87	Άγνωστ.
Lamia	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1985-87	Άγνωστ.
Paolo	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1985-87	Άγνωστ.
Omero Fabiani	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1985-87	Άγνωστ.
Flumeri	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1986	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Brancaleone	Napoli – Bari	Long: Elastic-plastic Devices on abutments or spans Tr.: Elastic-plastic Devices on pier	1986	Άγνωστ.
Carafone	Napoli – Canosa	LRB	1986	Άγνωστ.
Vallonalto 1	Napoli – Canosa	LRB	1986	Άγνωστ.
Vallonalto 2	Napoli – Canosa	LRB	1986	Άγνωστ.
F. Freghizia 1	Milano – Napoli	LRB	1986	Άγνωστ.
F. Freghizia 2	Milano – Napoli	LRB	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 27,191	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 27,410	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 28,282	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 29,801	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 29,989	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 30,337	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 31,228	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Viad. Km 31,513	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1986	Άγνωστ.
Corcolle 1	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
Corcolle 2	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
F. San Giuliano	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
F. Capaldo	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
La Muiatta	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
F. Vittorio	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
Viad. RM/PE	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
Tevere	Fiano – San Cesareo	Rubber bearings & metal shock	1986-87	Άγνωστ.
S. Cesareo 1	Fiano – San Cesareo	Elastic behavior devices (rubber discs)	1986-87	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Casilina	Fiano – San Cesareo	Elastic behavior devices (rubber discs)	1986-87	Άγνωστ.
Barco	Fiano – San Cesareo	Elastic behavior devices (rubber discs)	1986-87	Άγνωστ.
Fiora	Fiano – San Cesareo	Elastic behavior devices (rubber discs)	1986-87	Άγνωστ.
Ferr. RM/FI	Fiano – San Cesareo	Elastic behavior devices (rubber discs)	1986-87	Άγνωστ.
Ferr. RM/PE	Fiano – San Cesareo	Elastic behavior devices (rubber discs)	1986-87	Άγνωστ.
S. Cesareo 2	Fiano – San Cesareo	Viscoelastic shock absorber	1986-87	Άγνωστ.
Serra dei Lupi	Napoli – Bari	LRB	1987	Άγνωστ.
Cardinale	Napoli – Bari	LRB	1987	Άγνωστ.
Acqua Marcia	Milano – Napoli	Elastic-plastic devices	1987	Άγνωστ.
Ceszano	F. Salerno – Napoli	Elastic behavior devices & dampers	1987	Άγνωστ.
Calore	Caserta (railroad)	Elastic behavior devices & dampers	1987	Άγνωστ.
Platano	Potenza	Elastic behavior device	1987	Άγνωστ.
Ciaramitaio	Grammichele	Elastic behavior device	1987	Άγνωστ.
Viad. Km 32,383	Sora – Avezzano	Elastic behavior device	1987	Άγνωστ.
Valle Situra	Roma – L'Aquila-Teramo	Elastic behavior devices (rubber + metal shock)	1988	Άγνωστ.
Caldaarone	Roma – L'Aquila-Teramo	Elastic behavior devices (rubber + metal shock)	1988	Άγνωστ.
S. Nicola 1	Roma – L'Aquila-Teramo	Elastic behavior devices (rubber + metal shock)	1988	Άγνωστ.
S. Nicola 2	Roma – L'Aquila-Teramo	Elastic behavior devices (rubber + metal shock)	1988	Άγνωστ.
Le Grotte	Roma – L'Aquila-Teramo	Fluid Dampers + Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Biselli	Roma – L'Aquila-Teramo	Fluid Dampers + Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Grancia	SS 1	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
San Mauro	F. Salerno – Napoli	Elastic-plastic Devices	1988	Άγνωστ.
Mariaccio	Roma – Napoli	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Sovr. SS 11	Milano – Brescia	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Gerolomini	Napoli	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 17,009	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 17,303	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 17,593	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 18,344	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 18,649	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 18,954	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 20,049	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 20,449	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 20,997	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 21,388	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 16,730	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viad. Km 16,180	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1988	Άγνωστ.
Viadotto 7	S. Mango	Elastic behavior devices	1988-90	Άγνωστ.
Viadotto 4	S. Mango	Elastic behavior devices	1988-90	Άγνωστ.
Lenze-Pezze	Napoli –Bari	Elastic-plastic Devices	1989	Άγνωστ.
Restello	A27	Longit : Viscoelastic Transv : Elastic-plastic devices	1989	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Meschio	A27	Longit : Viscoelastic Transv : Elastic-plastic devices	1989	Άγνωστ.
Costaeelle	Roma – Teramo	Fluid Dampers & Rubber bearings	1989	Άγνωστ.
Castello	Roma – Teramo	Fluid Dampers & Rubber bearings	1989	Άγνωστ.
Carchiara	Roma – Teramo	Fluid Dampers & Rubber bearings	1989	Άγνωστ.
D'Antico	Napoli – Bari	Elastic-plastic Devices	1989	Άγνωστ.
Targia – Siracusa	Targia – Siracusa	Elastic-plastic Devices	1989	Άγνωστ.
Scrofeta Vergine	Napoli – Canosa	Elastic-plastic Devices	1989	Άγνωστ.
Lavornea	F. Salerno – Napoli	Elastic behavior devices & fluid dampers	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 22,384	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 23,397	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 24,302	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 25,042	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 25,497	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 15,770	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Viad. Km 9,330	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Scudillo	Napoli	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Fiume Magra	Tresana	Elastic behavior devices	1989	Άγνωστ.
Terza Corsia	Roma – Napoli	LRB	1990	Άγνωστ.
Santa Barbara	SS 1	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Tora	Firenze – Pisa – Livorno	Elastic-plastic devices	1990	Άγνωστ.
SS 206	Firenze – Pisa – Livorno	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Tiasca	Trafori	Elastic buffers	1990	Άγνωστ.
Vesuvio	SS 269 Vesuvio	Elastic buffers	1990	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Furiano	Messina – Palermo	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Malpertugio	Messina – Palermo	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Inganno	Messina – Palermo	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Mortaiolo	Livorno – Civitavecchio	Elastic-plastic Devices & hydraulic dampers	1990	Άγνωστ.
Viad. Via Napoli	Sora – Avezzano	Elastic behavior devices	1990	Άγνωστ.
Torti	Colle Sannita	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Montagna	Colle Sannita	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Cateni	Colle Sannita	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Passerelli	Colle Sannita	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Svincolo	Pisa A 12	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Sovrappasso	Pisa A 12	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Deledda	Pisa A 12	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Esero viad. 5	Cosenza	Elastic-plastic Devices	1990	Άγνωστ.
Incile Arno	Pisa	Elastic behavior devices	1990	Άγνωστ.
Colle Guardiani	Civitavecchia	Elastic behavior devices	1990	Άγνωστ.
Fosso della Vite	Civitavecchia	Elastic behavior devices	1990	Άγνωστ.
Cave di Gesso	Civitavecchia	Elastic behavior devices	1990	Άγνωστ.
Peccia 2	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.
Formanera	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.
Carducci	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.
Rio Pescara	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.
Fosso Ponticelli	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.
Fosso Savone	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Rivolo del Lanzo	Milano – Napoli	Elastic-plastic Devices	1990-91	Άγνωστ.
S. Antonio Gombetto	Rac. Goitese	Elastic-plastic devices with shock absorbers	1991	Άγνωστ.
Galdo 1	Salerno – Reggio	Elastic-plastic Devices	1991	Άγνωστ.
Galdo 2	Salerno – Reggio	Elastic-plastic Devices	1991	Άγνωστ.
Noncello	PN-Conigliano	Elastic-plastic Devices	1991	Άγνωστ.
S. Giuseppe	PN-Conigliano	Elastic-plastic Devices	1991	Άγνωστ.
Savalano	Livorno – Civitavecchia	Elastic-plastic Devices	1991	Άγνωστ.
Pollein e Buthier	Chatillon	-	1991	Άγνωστ.
Livornese	Pisa	Elastic behavior devices	1991	Άγνωστ.
Lenne	SS 106 Taranto	Elastic behavior devices	1992	Άγνωστ.
Svincolo 2	SS 106 Taranto	Elastic behavior devices	1992	Άγνωστ.
Svincolo 3	SS 106 Taranto	Elastic behavior devices	1992	Άγνωστ.
Lato	SS 106 Taranto	Elastic behavior devices	1992	Άγνωστ.
Ponte nelle Alpi	Aut. Mestre-V. Veneto P.di Vedoia	Elastic-plastic Devices	1992	Άγνωστ.
Fragneto	SS59 Brienza	Elastic-plastic Devices	1992	Άγνωστ.
S. Simone	-	Elastic-plastic Devices	1992	Άγνωστ.
Tammoro	-	Elastic-plastic Devices	1992	Άγνωστ.
Pecorone	-	Elastic-plastic Devices	1992	Άγνωστ.
Fiume Piave	-	Elastic-plastic Devices	1993	Άγνωστ.
Bormida di Pallare	Aut. Tp-SV	Elastic behavior devices	1993	Άγνωστ.
-	E45 Orte-RA	Elastic-plastic Devices	1993	Άγνωστ.
No.4	SGC Grosseto-Fano lotto	Elastic-plastic Devices	1993	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Monteroni	SS2 Cassia	Elastic behavior devices	1993	Άγνωστ.
-	Coll. SS62 loc. S. Giustina (MS)	Elastic behavior devices	1994	Άγνωστ.
Livenza	A28 PN-Conegliano lotto 27	Elastic-plastic Devices	1994	Άγνωστ.
-	SS517 Bussentina	Elastic-plastic Devices	1994	Άγνωστ.
Taro 1	SS308-SS253 Ghiare-Bertorella	Elastic behavior devices & STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Taro 2	SS308-SS253 Ghiare-Bertorella	Elastic behavior devices & STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Taro 3	SS308-SS253 Ghiare-Bertorella	Elastic behavior devices & STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Ponte Giulio	SS251 var. Montereale – Valcellina	Fluid Dampers & Elastic-plastic Devices	1994	Άγνωστ.
-	SS43 Val di Non	Elastic behavior devices	1994	Άγνωστ.
Acque Vive	SS517 Bussentina	Elastic-plastic Devices	1994	Άγνωστ.
Bussento	SS517 Bussentina	Elastic-plastic Devices	1994	Άγνωστ.
Monte Rolando	SS517 Bussentina	Elastic-plastic Devices	1994	Άγνωστ.
Rio Torto	SS517 Bussentina	Elastic-plastic Devices	1996	Άγνωστ.

Πίνακας 4: Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση στην Ιαπωνία

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΑΠΩΝΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Miyagawa Bridge	Shizuoka	LRB	1991	Άγνωστ.
Uehara Bridge	Nagoya	LRB	1991	Άγνωστ.
Route #12 Interchange	Tokyo	LRB	1991	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :**ΙΑΠΩΝΙΑ**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Bridge				
Karasaki Bridge	Fukushima	HDR	1991	Άγνωστ.
Moriguchi Route	Osaka	LRB	1991	Άγνωστ.
Moriguchi Route	Osaka	LRB	1991	Άγνωστ.
Maruki-bashi Bridge	Iwate	LRB	1992	Άγνωστ.
Route #6	Tokyo	LRB	1992	Άγνωστ.
Route #6	Tokyo	LRB	1992	Άγνωστ.
Route #6	Tokyo	LRB	1992	Άγνωστ.
Onnetoh Bridge	Hokkaido	LRB	1993	Άγνωστ.
Nagakigawa Bridge	Akita	LRB	1993	Άγνωστ.
Yama-age Bridge	Tochigi	HDR	1993	Άγνωστ.
Sakai Route	Osaka	LRB	1993	Άγνωστ.
O-hito Viaduct	Shizuoka	LRB	1994	Άγνωστ.
Hirao Bridge	Yamaguchi	HDR	1994	Άγνωστ.
Bay Shore Route	Tokyo	LRB	1994	Άγνωστ.
Matsunohama Bridge	Osaka	LRB	1994	Άγνωστ.
Izumisano Bridge	Osaka	LRB	1994	Άγνωστ.
Trans Tokyo Bay	Tokyo	HDR	1994	Άγνωστ.
Trans Tokyo Bay	Tokyo	LRB	1994	Άγνωστ.
Komatsukawa Route	Tokyo	LRB	1994	Άγνωστ.
Komatsukawa Route	Tokyo	LRB	1994	Άγνωστ.
Moriguchi Route	Osaka	LRB	1991	Άγνωστ.
Moriguchi Route	Osaka	LRB	1991	Άγνωστ.
Route #6	Tokyo	LRB	1992	Άγνωστ.
Route #6	Tokyo	LRB	1992	Άγνωστ.
Route #6	Tokyo	LRB	1992	Άγνωστ.
Sakai Route	Osaka	LRB	1993	Άγνωστ.
Chuo Expressway (Senkawa)	Tokyo	HDR	1993	Άγνωστ.
Komatsukawa Route	Tokyo	LRB	1994	Άγνωστ.
Komatsukawa Route	Tokyo	LRB	1994	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΙΑΠΩΝΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Sakai Route (Nishinari)	Osaka	HDR	1994	Άγνωστ.
Bay Shore Route (BY 513)	Kanagawa	HDR	1994	Άγνωστ.

Πίνακας 5: Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση στην Ν. Ζηλανδία

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
Ν. ΖΗΛΑΝΔΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Motu		Steel UBs in flexure	1973	Άγνωστ.
South Rangitikei		Steel torsion bars, rocking piers	1974	Άγνωστ.
Bolton Street		Lead extrusion	1974	Άγνωστ.
Aurora Terrace		Lead extrusion	1974	Άγνωστ.
Toetoe		LRB	1978	Άγνωστ.
King Edward Street		Steel cantilevers	1979	Άγνωστ.
Cromwell		Steel flexural beams	1979	Άγνωστ.
Clyde		LRB	1981	Άγνωστ.
Waiotukupuna		LRB	1981	Άγνωστ.
Ohaaki		LRB	1981	Άγνωστ.
Maungatapu		LRB	1981	Άγνωστ.
Scamperdown		LRB	1982	Άγνωστ.
Gulliver		LRB	1983	Άγνωστ.
Donne		LRB	1983	Άγνωστ.
Whangaparoa		LRB	1983	Άγνωστ.
Karakatuwhero		LRB	1983	Άγνωστ.
Devils Creek		LRB	1983	Άγνωστ.
Upper Aorere		LRB	1983	Άγνωστ.
Rangitaiki		LRB	1983	Άγνωστ.
Ngaparika		LRB	1983	Άγνωστ.
Hikuwai Nos. 1-4		LRB	1983-84	Υφιστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :**Ν. ΖΗΛΑΝΔΙΑ**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Oreti		LRB	1984	Άγνωστ.
Rapids		LRB	1984	Άγνωστ.
Tamaki		LRB	1985	Άγνωστ.
Deep Gorge		LRB	1984	Άγνωστ.
Twin Tunnels		LRB	1985	Άγνωστ.
Tarawera		LRB	1985	Άγνωστ.
Moonshine		LRB	1985	Άγνωστ.
Makarika No2		LRB	1985	Υφιστ.
Makatote		LRB	1986	Υφιστ.
Kopuaroa Nos 1- 4		Steel cantilever	1986-87	Υφιστ.
Glen Motorway and Railway		LRB	1987	Άγνωστ.
Grafton Nos 4&5		LRB	1987	Άγνωστ.
Northern Wairoa		LRB	1987	Άγνωστ.
Ruamahanga at Te Ore Ore		LRB	1987	Άγνωστ.
Maitai (Nelson)		LRB	1987	Άγνωστ.
Bannockburn		LRB	1988	Άγνωστ.
Hairini		LRB	-	Άγνωστ.
Limeworks		LRB	1990	Άγνωστ.
Waingawa		LRB	1990	Άγνωστ.
Mangaone		LRB	1990	Άγνωστ.
Porirua Ramp Overbridge		LRB	1993	Άγνωστ.
Porirua Ramp Steam Overbridge		LRB	1993	Άγνωστ.

Πίνακας 6: Γέφυρες με Σεισμική Μόνωση σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ :				
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Viana do Castelo	Portugal	Hydraulic shock transmitter, Hydraulic dissipator	1989	Άγνωστο
Portimao	Portugal	Hydraulic dissipater	1990	Άγνωστο
Rio Guadiana	Portugal	Elastomeric elastic device	1991	Άγνωστο
Pont de Socorridos	Portugal	Hydraulic shock transmitter	1992	Άγνωστο
Linda Velha, P6 No2/A	Portugal	Hydraulic shock transmitter	1992	Άγνωστο
Main Bridge, Second Severn Crossing	England	Hydraulic shock transmitter, elastomeric bearing	1993	Άγνωστο
Nantua, Supra A40	France	Hydraulic shock transmitter	1993	Άγνωστο
Nayrolles, Supra A40	France	Elasto-plastic yielding steel devices	1993	Άγνωστο
Knot of Odivelas, IC22	Portugal	Hydraulic shock transmitter	1994	Άγνωστο
Riberia da Seica	Portugal	Hydraulic shock transmitter, elastomeric bearing	1994	Άγνωστο
Know of Odivelas, IC22	Portugal	Hydraulic shock transmitter	1995	Άγνωστο
Amoreira, Via rapida Camara-lobos	Portugal	Hydraulic shock transmitter	1995	Άγνωστο
Main Bridge, East Link across Storebaelt	Denmark	Hydraulic shock transmitter	1995	Άγνωστο
Tagus, 2 nd crossing of the Tagus river	Portugal	Hydraulic shock transmitter, Elasto-plastic isolator	1996	Άγνωστο
Jamuna Multipurpose Bridge, Jamura	Bangladesh	Elasto-plastic yielding steel devices	1995-96	Άγνωστο
Retrofit of Bolu Viaduct 1	Bolu, Turkey	258 FPS	2002	Υφιστ.
Miaoli County	Taiwan	20 LRB	1999	Νέο
Taiwan Bridge	Taiwan	LRB	2000	Άγνωστο
Dang San Bridge	Korea	LRB	1998	Νέο
Jang-Ahn Bridge	Korea	LRB	1998	Νέο
Collahuasi Copper Shiploader	Iquique, Chile	LRB	1997	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ : ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Kwang Ahn Grand Bridge	Pusan, Korea	LRB	1997	Νέο
V5 Viaduct	Adana, Turkey	LRB	1997	Άγνωστο
Hidalgo-San Rafael Distributor	Mexico City, Mexico	LRB	1995	Νέο
Los Bronces Expansion	Chile	LRB	1991	Άγνωστο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΠΙΝΑΚΕΣ)

Πίνακας 1: Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στις ΗΠΑ

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Genentech FRC II	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 192 667 kN, \pm 102 mm stroke 890 kN, \pm 102 mm stroke 1334 kN, \pm 102 mm stroke	To be installed 2002	Νέο
Boise Airport	Boise, Idaho	Fluid Viscous Dampers Total : 8 445 kN, \pm 57 mm stroke 756 kN, \pm 84 mm stroke 979 kN, \pm 127 mm stroke	To be installed 2002	Νέο
Stacy Park Reservoir	St. Louis, MO	Fluid Viscous Dampers Total : 193 222 kN, \pm 63 mm stroke 445 kN, \pm 63 mm stroke	To be installed 2002	Υφιστ.
HP Invent Building 5	Corvallis, OR	Fluid Viscous Dampers Total : 18 400 kN, \pm 100 mm stroke 135 kN, \pm 100 mm stroke	To be installed 2002	Υφιστ.
Hollister Gymnasiums	Hollister, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 40 106 kN, \pm 76 mm stroke	To be installed 2001	Νέο
South Bay Office Tower	San Jose, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 88 490 kN, \pm 125 mm stroke	To be installed 2001	Υφιστ.
999 Sepulveda	Los Angeles, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 60 2670 kN, \pm 75 mm stroke	To be installed 2001	Υφιστ.
CMGI-Foxboro Stadium	Boston, MA	Fluid Viscous Dampers Total : 18 222 kN, \pm 178 mm stroke	To be installed 2001	Υφιστ.
Immunex Corporation Helix Project – Central Utility Plant	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 16 1670 kN, \pm 75 mm stroke	To be installed 2001	Νέο
Hearst Memorial	Berkeley, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 26	2001	Υφιστ.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Mining Building		890 kN, \pm 813 mm stroke		
WorldCom – Local Switch	Oakland, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 20 2225 kN, \pm 75 mm stroke 2225 kN, \pm 150 mm stroke	2001	Υφιστ.
Sacramento River Bridge at Rio Vista	Rio Vista, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 10 825 kN, \pm 133 mm stroke	2001	Υφιστ.
10 th & K Street	Sacramento, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 4 823 kN, \pm 76 mm stroke	2001	Υφιστ.
Palo Alto Office Building	Palo Alto, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 22 1670 kN, \pm 152 mm stroke	2001	Υφιστ.
Dexter Horton Building	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 18 1112 kN, \pm 63 mm stroke	2001	Υφιστ.
Web-hosting Data Center	Pleasanton, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 32 310 kN, \pm 64 mm stroke	2000	Υφιστ.
Yerba Buena Tower	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 20 445 kN, \pm 125 mm stroke	2000	Νέο
Ingram Micro Office Building	Santa Ana, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 7 490 kN, \pm 127 mm stroke	2000	Υφιστ.
111 Huntington Avenue	Boston, MA	Fluid Viscous Dampers Total : 60 1300 kN, \pm 101 mm stroke	2000	Νέο
Millennium Place	Boston, MA	Fluid Viscous Dampers Total : 40 445 kN, \pm 125 mm stroke	2000	Νέο
Los Angeles City Hall	Los Angeles, CA	Taylor Fluid Dampers Total : 68 1400 kN, \pm 600 mm stroke 1000 kN, \pm 115 mm stroke	1999	Υφιστ.
Microsoft Silicon Valley Campus – Building 1	Mountain View, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 15 1000 kN, \pm 75 mm stroke	1999	Νέο
1414 K Street	Sacramento, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 8 1125 kN, \pm 63 mm stroke	1999	Υφιστ.
San Francisco International Airport –	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 10 4225 kN, \pm 508 mm stroke 3115 kN, \pm 508 mm stroke	1999	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:
Η.Π.Α.

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
San Francisco International Airport – Rail Transit System Westside Guideway	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 10 4225 kN, \pm 508 mm stroke 3115 kN, \pm 508 mm stroke	1999	Νέο
Transbay Transit Terminal	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 36 1300 kN, \pm 44 mm stroke 1300 kN, \pm 76 mm stroke	1999	Υφιστ.
Santa Clara Police Facility	Santa Clara, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 40 575 kN, \pm 25 mm stroke 800 kN, \pm 25 mm stroke	1999	Νέο
The Nethercutt Collection	Sylmar, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 32 1500 kN, \pm 75 mm stroke 1065 kN, \pm 75 mm stroke 665 kN, \pm 75 mm stroke	1999	Νέο
Hyatt Park Tower	Chicago, IL	Fluid Viscous Dampers Total : 10 45 kN, \pm 500 mm stroke 22 kN, \pm 265 mm stroke 45 kN, \pm 300 mm stroke 175 kN, \pm 100 mm stroke	1999	Νέο
Ballpark at Union Station	Houston, TX	Fluid Viscous Dampers Total : 16 300 kN, \pm 153 mm stroke	1999	Νέο
New Pacific Northwest Baseball Park (SAFECO Field)	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 36 1780 kN, \pm 100 mm stroke 890 kN, \pm 400 mm stroke	1998/19 99	Άγνωστ.
UCLA – Knudsen Hall	Los Angeles, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 84 355 kN, \pm 100 mm stroke 245 kN, \pm 100 mm stroke	1998	Υφιστ.
Tillamook Hospital	Tillamook, OR	Fluid Viscous Dampers Total : 30 135 kN, \pm 50 mm stroke	1998	Υφιστ.
New Pacific Northwest Baseball Park (SAFECO Field)	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 8 3600 kN, \pm 381 mm stroke	1998	Νέο
Alaska Commercial Building	Alaska	Fluid Viscous Dampers Total : 2 445 kN, \pm 64 mm stroke	1997	Υφιστ.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Hayward City Hall	Hayward, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 15 1400 kN, \pm 600 mm stroke	1997	Νέο
CSULA Administration Building	Los Angeles, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 14 1100 kN, \pm 75 mm stroke	1997	Υφιστ.
Studio Parking Garage	Los Angeles, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 2 150 kN, \pm 50 mm stroke	1997	Άγνωστ.
Rockwell Building 505	Newport Beach, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 6 320 kN, \pm 64 mm stroke	1997	Υφιστ.
San Francisco Civic Center	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 292 1000 kN, \pm 100 mm stroke 550 kN, \pm 100 mm stroke	1997	Νέο
Worcester's Centrum Centre / Arena and Convention Complex	Worcester, MA	Fluid Viscous Dampers Total : 32 10 kN, \pm 75 mm stroke	1997	Άγνωστ.
Kaiser Data Center	Corona, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 16 425 kN, \pm 560 mm stroke	1996	Υφιστ.
Langenbach House	Oakland, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 4 130 kN, \pm 150 mm stroke	1996	Άγνωστ.
CSUS Science II Building	Sacramento, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 40 220 kN, \pm 50 mm stroke	1996	Άγνωστ.
The Money Store National Headquarters	Sacramento, CA	Taylor Fluid Dampers Total : 120 1290 kN, \pm 64 mm stroke 710 kN, \pm 64 mm stroke	1996	Νέο
Arrowhead Regional Medical Center (5 buildings)	San Bernardino, CA	Nonlinear Fluid Viscous Fluid Viscous Dampers Total : 186 1400 kN, \pm 600 mm stroke	1996	Νέο
Hotel Woodland	Woodland, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 16 450 kN, \pm 50 mm stroke	1996	Υφιστ.
28 State Street	Boston, MA	Fluid Viscous Dampers Total : 40 670 kN, \pm 25 mm stroke	1996	Άγνωστ.
Pacific Bell North Area Operation Center	Sacramento, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 62 130 kN, \pm 50 mm stroke	1995	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Rich Stadium	Buffalo, NY	Fluid Viscous Dampers Total : 12 50 kN, \pm 460 mm stroke	1993	Άγνωστ.
North American Air Defense Command	Cheyenne Mountain, CO	Dampers Quantity, type and size classified	1984	Άγνωστ.
Building 610, Stanford University	Palo Alto, California	Friction Dampers Total : 80	1994	Υφιστ.
Lou Henry Hoover Building, Stanford University	Palo Alto, California	Friction Dampers Total : 8	1994	Υφιστ.
Beaux Arts Overhead Water Tank	Beaux Arts, Washington	Friction Dampers Total : 16	1995	Υφιστ.
Overhead Water Tanks, University of California at Davis	Davis, California	Friction Dampers Total : 48	1996	Υφιστ.
Wells Fargo Bank	San Francisco, California	Yielding Steel (ADAS) Total : 7	1992	Υφιστ.
School Building	Phoenix, Arizona	Viscoelastic beam-column connectors	1992	Νέο
Santa Clara County Civic Center, East Wing Building	San Jose, California	Viscoelastic Dampers Total : 96	1993	Υφιστ.
Building 116, Naval Supply Facility	San Diego, California	Viscoelastic Dampers Total : 64	1996	Υφιστ.
Los Angeles Police Dept. Recruit Training Center	Los Angeles, California	Viscoelastic Dampers	1997	Υφιστ.
San Mateo County Hall of Justice	Redwood City, California	Viscoelastic Dampers	1997	Υφιστ.
Pacific Bell North Area Operation Center	Sacramento, California	Fluid Viscous Dampers	1995	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:**Η.Π.Α.**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
San Francisco Opera House	San Francisco, California	Fluid Viscous Dampers Total : 16	1996	Υφιστ.
Woodland Hotel	Woodland, California	Fluid Viscous Dampers Total : 16	1996	Υφιστ.
Science Building II, California State University, Sacramento	Sacramento, California	Fluid Viscous Dampers Total : 40	1996	Νέο
The Money Store	Sacramento, California	Fluid Viscous Dampers Total : 120	1997	Νέο
Rockwell Building 505	Newport Beach, California	Fluid Viscous Dampers	1997	Υφιστ.
San Francisco Civic Center Building	San Francisco, California	Fluid Viscous Dampers Total : 180	1997	Νέο
San Bernardino County Medical Center	Colton, California	Fluid Viscous Dampers Total : 186	1996	Νέο
Langenbach House	Oakland, California	Fluid Viscous Dampers Total : 4	1996	Νέο
Hayward City Hall	Hayward, California	Fluid Viscous Dampers	1997	Νέο
Kaiser Data Center	Corona, California	Fluid Viscous Dampers	1996	Υφιστ.
Los Angeles City Hall	Los Angeles, California	Fluid Viscous Dampers	1998	Υφιστ.
World Trade Center	New York City, NY	Viscoelastic Dampers Total : approx. 20,000 Evenly distributed, 10-110 floors	1969	Άγνωστ.
Columbia Sea First Building	Seattle, Washington	Viscoelastic Dampers Total : 260	1982	Νέο

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
No. Two Union Square Building	Seattle, Washington	Viscoelastic Dampers Total : 16	1988	Νέο
Light Towers	Buffalo, NY	Fluid Viscous Dampers Total : 12	1993	Άγνωστ.
28 State Street, Boston	Boston MA	Fluid Viscous Dampers	1996	Υφιστ.
Worcester Convention Center	Worcester, MA	Fluid Viscous Dampers	1996	Άγνωστ.

Πίνακας 2: Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στον Καναδά

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
ΚΑΝΑΔΑΣ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Pearson Airport	Toronto, ON	Fluid Viscous Dampers Total : 8	To be installed 2003	Νέο
BCBC Pandora Wing	Victoria, BC	Fluid Viscous Dampers Total : 76	To be installed 2001	Υφιστ.
New Westminster, BC Police Building	N. Westminster, BC	Fluid Viscous Dampers Total : 12	To be installed 2001	Υφιστ.
McConnel Bldg, Concordia Univ.	Montreal	Friction dampers Total : 143	1987	Άγνωστ.
Ecole Polyvalente	Sorel	Friction dampers Total : 64	1990	Υφιστ.
Centre Canadien de Research en Information du Travail	Laval	Friction dampers	1992	Άγνωστ.
Canadian Space Agency	St. Hubert (near Montreal)	Friction dampers Total : 58	1993	Άγνωστ.
Casino de Montreal	Montreal	Friction dampers Total : 32	1993	Υφιστ.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:**ΚΑΝΑΔΑΣ**

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Department of National Defence of Canada	Ottawa	Friction dampers	1994	Άγνωστ.
Desjardin Life Insurance Bldg.	Levis	Friction dampers	1995	Άγνωστ.
Hamilton Courthouse	Hamilton	Friction dampers Total : 74	1995	Άγνωστ.
Maison 1 McGill	Montreal	Friction dampers Total : 65	1995	Νέο
St. Luc Hospital 5- story R.C. frame	Montreal	Friction dampers Total : 34	1995	Υφιστ.
Federal Building	Sherbrooke	Friction dampers Total : 30	1995	Υφιστ.
Ecole Technologie Superieure	Montreal	Friction dampers Total : 74	1995	Υφιστ.
Residence Maison- Neuve	Montreal	Friction dampers Total : 42	1996	Άγνωστ.
Residence House	Montreal	Friction dampers 15 friction base- isolators	1988	Νέο
Harry Stevens Building	Vancouver	Friction dampers Total : 38	1996	Άγνωστ.
Justice Headquarters	Ottawa	Friction dampers Total : 84	1996	Άγνωστ.
BCBC Selkirk Waterfront Office Buildings	Victoria	Friction dampers Total : 74	1997	Νέο
Maisons de Beaucours	Quebec City	Friction dampers Total : 42	1997	Νέο
Maison Sherwin William	Montreal	Friction dampers Total : 64	1997	Άγνωστ.
Quebec Iron & Titanium Smelter	Tracy	Viscous Dampers	1996	Άγνωστ.

Πίνακας 3: Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στην Κεντρική Αμερική

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΜΕΡΙΚΗ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Izazaga #38-40	Mexico City, Mexico	Yielding Steel (ADAS) Total : approx. 200	1990	Υφιστ.
Cardiology Building	Mexico City, Mexico	Yielding Steel (ADAS) Total : 90	1990	Υφιστ.
Reforma #476 Building Mexican Institute for Social Security	Mexico City, Mexico	Yielding Steel (ADAS) Total : approx. 400	1992	Υφιστ.
Chapultepec Tower (Torre Major)	Mexico City, Mexico	Fluid Viscous Dampers Total : 98	2001/2002	Νέο
INTERCENTRO	Dominican Republic / Santo Domingo	Fluid Viscous Dampers Total : 48	To be installed 2002	Νέο

Πίνακας 4: Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στην Ιταλία

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ ΑΜ.
CCN Building	Centrale Nucleare Montalto di Castro	Hydraulic Shock Transmitter – 56	1986	Νέο
Metalcopre 3 Building	Pallazetto del ghiaccio di Collegno (RE)	Hydraulic Shock Transmitter – 10	1988	Νέο
Hospital	Siena	Friction dissipators – N.A.	1988	Υφιστ.
LISU Building	Universita di Brescia	Hydraulic Shock Transmitter – 12	1989	Νέο
San Giovanni Battista in Carife	Avellino, Campania	Dampers	1990	Υφιστ.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:
ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ. ΑΜ.
CNR Laboratory	Frascati	Mechanical dissipators – N.A.	1990	Υφιστ.
Cimolai Building	Stadio di Trieste	Elastomeric elastic device – 8	1991	Νέο
New ENEL Headquarters	Naples	Mechanical dissipators and oleodynamic restraints – 142	1989-93	Νέο
Dirna Building	Edificio ENEL No1	Dissipative device with spindle shape elements – 116	1992	Νέο
Torre 130 Building	Edificio ENEL No2	Dissipative device with spindle shape elements – 116	1992	Νέο
FIAT Industrial Building	Melfi (PZ) and Prato La Serra (CB)	Oleodynamic restraints – 173	1993	Νέο
Sports Hall	Rimini	Oleodynamic restraints – N.A.	1994	Υφιστ.
Faculty of Engineering	Brescia	Oleodynamic restraints – N.A.	1994	Υφιστ.
Airport Hangars	Bologna & Torino	Oleodynamic restraints – N.A.	1994	Υφιστ.
Turbine and Thermal Power Cycle Building	Montalto Power Station	Oleodynamic restraints – N.A.	1994	Υφιστ.
Large Water Supply Pipe	San Giacomo (Abruzzo)	Oleodynamic restraints – N.A.	1994	Υφιστ.
La Vista & Domiziano schools	Potenza, Basilicata	Dampers	1999	Υφιστ.
Turbine & Thermal Power Cycle Bldgs	Montalto Power Station	Dampers	2002	Νέο
Jolly Hotel	Caserta	Oleodynamic restraints	Υπό μελ.	Υφιστ.

Πίνακας 5: Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στην Ιαπωνία

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
ΙΑΠΩΝΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Hitachi Main Office	Tokyo	Steel Dampers	1984	Άγνωστ.
Sonic City Office Building	Omiya	Friction Dampers	1988	Άγνωστ.
Asahi Beer Building	Tokyo	Friction Dampers	1988	Άγνωστ.
Sumitomo-kagaku Oita	Άγνωστ.	Viscous Damping Walls Total: 2	1988	Άγνωστ.
Tanakaya Building	Άγνωστ.	Viscous Damping Walls Total: 6	1988	Άγνωστ.
Seavans South Building	Tokyo	Visco-Elastic Shear Damper	1991	Άγνωστ.
Oji Paper Building	Άγνωστ.	Damper	1991	Άγνωστ.
Chiba Sogo Gymnasium	Chiba	Visco-Elastic Shear Damper	1993	Άγνωστ.
Ski-Dome	Chiba	Steel Dampers Total: 12	1993	Άγνωστ.
Fukuoka Dome	Fukuoka	Oil Damper	1993	Άγνωστ.
Media City Shizuoka	Shizuoka	Viscous Damping Walls Total: 170	10/94	Άγνωστ.
NTT Shinjuku Building	Tokyo	Viscous Damping Walls Total: 60	6/95	Άγνωστ.
Kobe Fashion Plaza	Kobe	Low Yield Steel Shear Panels Total: 176	3/97	Άγνωστ.
Aoba Boulevard Plaza	Άγνωστ.	Low Yield Steel Pipe Total: 56	7/96	Άγνωστ.
Atami Korakuen Hotel	Άγνωστ.	Friction Dampers Total: 192	6/96	Άγνωστ.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:

ΙΑΠΩΝΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Esnic Building	Άγνωστ.	High Damping Rubber Total: 40	7/96	Άγνωστ.
Kanto Yuseikyoku Chosya	Omiya	Viscous Damping Wall Total: 450	2/2002	Άγνωστ.
JAL Building	Tokyo	Viscous Dampers Total: 120	6/96	Άγνωστ.
Arts Hotel	Sapporo	Dampers	3/98	Άγνωστ.
Nissei New Sannomiya Building	Άγνωστ.	Low Yield Steel Beam Shear Dampers Total: 24	12/97	Άγνωστ.
Nakano Sakaue Cho - 1 Plan	Tokyo	Viscous Damping Walls Total: 220	Άγνωστ.	Άγνωστ.
Kanto Teishin Hospital	Tokyo	Viscous Damping Walls Total: 208	Άγνωστ.	Άγνωστ.
KE Shibuya Building	Tokyo	Viscous Damping Walls Total: 76	Άγνωστ.	Άγνωστ.
Daikanyama Dev. Project	Άγνωστ.	Viscous Damping Walls	8/2000	Άγνωστ.
Asuru Esaka	Άγνωστ.	Damper	2/97	Άγνωστ.
Osaka Keizai Univ. Geikan	Osaka	Low Yield Steel	9/97	Άγνωστ.
Nissei Okayama Shimoishi Building	Άγνωστ.	Low Yield Steel	10/97	Άγνωστ.
Saitama Koiki Godo Chosya (E-2)	Άγνωστ.	Low Yield Steel Walls Total: 8	2000	Άγνωστ.
Saitama Koiki Godo Chosya (H)	Άγνωστ.	Low Yield Steel Walls Total: 8	2000	Άγνωστ.
Shin-Chuo Godo Chosya - 2	Άγνωστ.	Viscous Damping Walls + Low Yield Steel Walls	2000	Άγνωστ.
Jimbo-Cho Building	Tokyo	Fluid Viscous Dampers Total: 241	2001/2002	Άγνωστ.
Tokyo Rinkai Hospital	Tokyo	Fluid Viscous Dampers Total: 45	2001	Άγνωστ.

Πίνακας 6: Κτίρια με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο.

ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ΥΦΙΣΤ.
Taiwan Office Building	Taipei, Taiwan	Fluid Viscous Dampers, Total : 64	To be installed 2002	Υφιστ.
First International Computer Company Building	Taipei, Taiwan	Fluid Viscous Dampers, Total : 144	To be installed 2001	Νέο
Taishin Bank	Taipei, Taiwan	Fluid Viscous Dampers, Total : 144	To be installed 2001	Νέο
Buddhist Headquarters	Taipei, Taiwan	Fluid Viscous Dampers, Total : 60	To be installed 2002	Νέο
Hsien Dien / Tzu Chi Hospital	Taipei, Taiwan	Fluid Viscous Dampers, Total : 48	To be installed 2002	Νέο
Petronas Twin Towers	KLCC, Malaysia	Fluid Viscous Dampers, Total : 12	1995	Νέο
Beijing Railway Station	Beijing, China	Fluid Viscous Dampers, Total : 32	1999	Υφιστ.
Qinshan 111 Nuclear Powerplant	Shanghai, China	Fluid Viscous Dampers, Total : 16	2000	Νέο
Romanian Oil Refinery	Bucharest Romania	Fluid Viscous Dampers, Total : 8	2000	Υφιστ.
Ataturk Airport	Istanbul, Turkey	Fluid Viscous Dampers, Total : 120	2000	Νέο
Canadian Embassy	Bogota, Colombia	Friction dampers Total: 44	1997	Άγν.
Garden Housing	N. Delhi, India	Friction dampers Total: 504	1997/1998	Άγν.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΠΙΝΑΚΕΣ)*Πίνακας 1: Γέφυρες με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στις ΗΠΑ*

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Poplar Street Bridge	St. Louis, MO	Fluid Viscous Dampers Total : 64	2002	Άγνωστ.
Richmond-San Rafael Bridge	Richmond, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 28	2002	Υφιστ.
San Francisco-Oakland Bay Bridge, West Span-Suspension Bridge	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 100	2001/2002	Υφιστ.
Cochrane Bridge	Mobile County	Fluid Viscous Dampers Total : 68	2001	Υφιστ.
Cape Girardeau Bridge	Cape Girardeau, MO	Fluid Viscous Dampers Total : 16	2001	Νέο
Route 364 Page Aven. Extension Bridge	Saint Louis, MO	Fluid Viscous Dampers Total : 178	2001	Νέο
Abernethy Bridge	Oregon City, OR	Fluid Viscous Dampers Total : 32	2001	Υφιστ.
Sacramento River Bridge at Rio Vista	Rio Vista, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 10	2001	Υφιστ.
Maysville Bridge	Maysville, KY	Fluid Viscous Dampers Total : 8	2000	Νέο
Triborough Bridge Approaches	New York, NY	Fluid Viscous Dampers Total : 80	2000	Υφιστ.
Novelty Bridge #404B	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 8	2000	Υφιστ.
East Huntington Bridge	Huntington, WV	Fluid Viscous Dampers Total : 54	2000	Υφιστ.
I-5/91 HOV Bridge	Anaheim, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 8	1999	Νέο
SF-Oakland Bay Bridge, East Span-Truss Bridge	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 6	1999	Υφιστ.
SF Intern. Airport – S. Int. Parking Garage Pedestrian Bridge	San Francisco, CA	Fluid Viscous Dampers Total : 20	1999	Νέο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
Η.Π.Α.				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Sidney Lanier Bridge	Glynn County, GA	Fluid Viscous Dampers Total : 4	1999	Νέο
Willamette River Pedestrian Bridge	Eugene, OR	Fluid Viscous Dampers Total : 4	1999	Υφιστ.
First Avenue South Bridge	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 4	1998	Υφιστ.
First Avenue Bridge	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 4	1996	Άγνωστ.
Montlake Bridge	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 4	1996	Υφιστ.
West Seattle Bridge	Seattle, WA	Fluid Viscous Dampers Total : 6	1990	Άγνωστ.
Gerald Desmond Bridge	Long Beach, CA	Viscous dampers Total : 258	1996	Υφιστ.
Cape Girardeau Bridge	Cape Girardeau, Missouri	Viscous dampers	1997	Νέο
Golden Gate Bridge	San Francisco, CA	Viscous dampers (to be det.) Total : 40	1999	Υφιστ.
Santiago Creek Bridge	California	Fluid Viscous dampers	1997	Νέο
Sacramento River Bridge at Rio Vista	Rio Vista, CA	Fluid Viscous Dampers	1997	Υφιστ.
Vincent Thomas Bridge	Long Beach, CA	Viscous dampers (to be det.) Total : 16	-	Υφιστ.
Montlake Bridge	Seattle, WA	Viscous dampers	1996	Άγνωστ.
West Seattle Bridge	Seattle, WA	Fluid Viscous dampers	1990	Άγνωστ.

Πίνακας 2: Γέφυρες με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας στην Ιταλία

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ./ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Savio	Tiberina E47	Fluid Dampers	1974	Άγνωστ.
Fiumerella del Noce	Calabria	Fluid Dampers	1974	Άγνωστ.
Passerella	Udine – Tarvisio	Fluid Dampers	1983-86	Άγνωστ.
Fella 9	Udine – Tarvisio	Fluid Dampers	1983-86	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Malborghetto	Udine – Tarvisio	Fluid Dampers	1983-86	Άγνωστ.
Sesia	Trafori	Fluid Dampers	1984	Άγνωστ.
Rivoli Bianchi	Udine – Tarvisio	Pneumatic dampers	1985	Άγνωστ.
Ballendiero	Salerno – Reggio	Fluid Dampers	1986	Άγνωστ.
Janello	Salerno – Reggio	Fluid Dampers	1986	Άγνωστ.
Prenestino	Fiano – San Cesareo	Viscoelastic shock absorber	1986-87	Άγνωστ.
Coscile	Salemo – Reggio	Fluid Dampers	1987	Άγνωστ.
Caballa	Salemo – Reggio	Fluid Dampers	1987	Άγνωστ.
Sizzine	Trafori	Fluid Dampers	1987	Άγνωστ.
Le Ville	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Faella	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Giglio	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Riofr	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Chiana	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
San Zeno	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Arno	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Riganzi 1	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Riganzi 2	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Oreno	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Agna	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Ascione	Roma – Firenze Railway	Fluid Dampers	1987-89	Άγνωστ.
Lontrano	Salerno – Reggio	Fluid Dampers	1988	Άγνωστ.
Tagliamento	St. Pontebbana	Viscoelastic dampers	1988	Άγνωστ.
Morignano	A14	Elastic-plastic beviar dampers	1989	Άγνωστ.
Pont Suaz	Aosta	Elastic-plastic shock absorber	1989	Άγνωστ.
Flumicello	Bologna – Firenze	Fluid Dampers	1989	Άγνωστ.
Temperino	Roma – L'Aquila	Elastic-plastic dampers	1989	Άγνωστ.
S. Onofrio	Salerno – Reggio	Fluid Dampers	1989	Άγνωστ.
Caffaro	Salerno – Reggio	Fluid Dampers	1990	Άγνωστ.
P.O. Menia	Salerno – Reggio	Fluid Dampers	1990	Άγνωστ.
F. Rocca – Venafrò	Avellino	Fluid Dampers	1990	Άγνωστ.
Collecastino	Roma – Teramo	Fluid Dampers	1990	Άγνωστ.
Chiovano	Roma – Teramo	Fluid Dampers	1990	Άγνωστ.
S. Leonardo	Roma – Teramo	Hydraulik dampers	1990-91	Άγνωστ.
Petto	Roma – Teramo	Fluid Dampers	1990-91	Άγνωστ.
Fiumetto	Roma – Teramo	Fluid Dampers	1990-91	Άγνωστ.
Minuto	Fondo Valle Sele	Fluid Dampers	1991	Άγνωστ.
Oglio	Soncino (BS)	Fluid Dampers	1991	Άγνωστ.
Pian Mulino	Roma-L'Aquila – Teramo	Fluid Dampers	1991-92	Άγνωστ.
S. Rustico	Roma-L'Aquila – Teramo	Fluid Dampers	1991-92	Άγνωστ.
Mavone	Roma-L'Aquila – Teramo	Fluid Dampers	1991-92	Άγνωστ.
Poggio Iberna	Livorno – Civitavecchia	Fluid Dampers	1991-92	Άγνωστ.
Taro 1	Autostrada Cisa	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :

ΙΤΑΛΙΑ

ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Albanese	A3 SA-RC	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Albanese	A3 SA-RC	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Salini	A3 SA-RC	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Carusi	A3 SA-RC	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
-	A14 coll. Porto AN	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Fosso dei Mulini	SS89 Gargancia	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Pietrafitta	SS89 Gargancia	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Nocera 1	SS3 Flaminia	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Traone	SS3 Flaminia	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Cannamelata	SS113 loc. S. Agata Militello	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Minissale	Coll. A20 ME-PA loc. Calatabiano	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Malpasso	A20 ME-PA	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Sovr. SS286	A20 ME-PA	Fluid Dampers	1992	Άγνωστ.
Fiumetto	SS117	Fluid Dampers	1994	Άγνωστ.
S. Stefano	SS117	Fluid Dampers	1994	Άγνωστ.
Tarodine	SS308-SS253 Ghiare-Bertorella	Fluid Dampers & STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Sopra FS, SS47, Brenta	SS47 Valsugana	Fluid Dampers	1995	Άγνωστ.
Di Goglio	A20 ME-PA Lotto 24 bis	Fluid Dampers	1996	Άγνωστ.
Pirrerà	A20 ME-PA Lotto 24 bis	Fluid Dampers	1996	Άγνωστ.
Ficuzza	A20 ME-PA Lotto 24 bis	Fluid Dampers	1996	Άγνωστ.
-	SS38 Stelvio	STU associated with Sliding bearing	1992	Άγνωστ.
Fiumara di Gallico	A3 SA-RC	STU associated with Sliding bearing	1992	Άγνωστ.

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ :				
ΙΤΑΛΙΑ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ/ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤ.
Piana di Gallico	A3 SA-RC	STU associated with Sliding bearing	1992	Άγνωστ.
Fiume Panaro	-	STU associated with Sliding bearing	1993	Άγνωστ.
-	A27 Mestre-BL lotto 6-bis	STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Manubiola	SS308-SS253 Ghiare-Bertorella	STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Taro	SS308-SS253 Ghiare-Bertorella	STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
-	A27 Mestre-BL lotto 6-bis	STU associated with Sliding bearing	1994	Άγνωστ.
Bradonica	-	STU associated with Sliding bearing	1995	Άγνωστ.

Πίνακας 3: Γέφυρες με Συσκευές Απόσβεσης Ενέργειας σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο

ΓΕΦΥΡΕΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:				
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ				
ΕΡΓΟ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ & ΑΡΙΘΜ. ΜΟΝΑΔΩΝ	ΧΡΟΝ. ΕΓΚΑΤ.	ΝΕΟ/ ΥΦΙΣΤΑΜ.
Amolanas Bridge	Santiago, Chile	Fluid Viscous Dampers Total : 4	2000	Νέο