

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ  
ΜΕ ΤΙΤΛΟ

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

**ΤΕΥΧΟΣ Β'**  
ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ -ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΩΝ-  
ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:** 1<sup>η</sup>, 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. Παρίση 40  
Νέο Ψυχικό  
15451 Αθήνα  
Τηλ.: 210 67 77 115  
210 67 28 657  
Fax: 210 67 28 658

ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ  
ΜΕ ΤΙΤΛΟ

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

**ΤΕΥΧΟΣ Β-1**

ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ  
ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:** 1<sup>η</sup>, ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

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

**ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ:** ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΚΑΖΕΤΑΣ

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

ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

# **ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ**

**Ιούλιος 2007**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.		
1.	<b>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....</b>	<b>1</b>
2.	<b>ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ .....</b>	<b>2</b>
2.1	Ορισμοί.....	2
2.2	Σύμβολα.....	4
3.	<b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ.....</b>	<b>6</b>
4.	<b>ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ.....</b>	<b>7</b>
4.1	Φάσματα	
	σχεδιασμού.....	7
4.2	Σεισμικές	χρονοϊστορίες
	.....	8
5.	<b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>9</b>
5.1	Γενικά.....	9
5.2	Ιδιότητες του συστήματος μόνωσης.....	10
5.2.1	Δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση.....	10
5.2.2	Ιδιότητες σε οριζόντιες διευθύνσεις.....	11
5.2.3	Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων .....	16
5.3	Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης.....	17
5.4	Μέθοδος ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος .....	18
5.5	Μέθοδος φασματικής απόκρισης.....	22
5.6	Ανάλυση χρονοϊστορίας .....	23
5.7	Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας .....	24
6.	<b>ΕΛΕΓΧΟΙ.....</b>	<b>24</b>
6.1	Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού.....	24
6.2	Σύστημα σεισμικής μόνωσης.....	24
6.2.1	Γενικά	24
6.2.2	Ελαστομεταλλικά εφέδρανα	25
6.2.3	Εφέδρανα ολίσθησης	29
6.3	Υποδομή και ανωδομή .....	29
7.	<b>ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΩΣΗΣ .....</b>	<b>31</b>
7.1	Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς.....	31
7.2	Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης.....	32
7.3	Επιθεώρηση και συντήρηση.....	33
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	<b>34</b>
	<b>ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ</b>	
	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ</b>	
A.1	Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής.....	34
A.2	Δοκιμές Προτύπων.....	34
A.3	Λοιπές Δοκιμές.....	38
A.4.	Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων.....	39

## 1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

(1) Οι παρούσες οδηγίες αφορούν την μελέτη γεφυρών με ειδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης, με το οποίο επιτυγχάνεται μείωση ή βελτίωση της σεισμικής απόκρισης που οφείλεται στις οριζόντιες σεισμικές δράσεις. Οι μονάδες οι οποίες συνθέτουν το σύστημα σεισμικής μόνωσης, διατάσσονται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης της γέφυρας. Κατά κανόνα, η διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης βρίσκεται κάτω από το φορέα και πάνω από τις κεφαλές των ακροβάθρων / μεσοβάθρων της γέφυρας.

(2) Η μείωση της απόκρισης επιτυγχάνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

- με επιμήκυνση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής (επίδραση της μετάθεσης της περιόδου στο φάσμα σχεδιασμού), με την οποία επιτυγχάνεται μείωση των σεισμικών δυνάμεων, αλλά με αύξηση των μετακινήσεων
- με αύξηση της ικανότητας απόσβεσης, με την οποία επιτυγχάνεται μείωση των σεισμικών μετακινήσεων και ενδεχομένως των δυνάμεων
- με συνδυασμό (κατά προτίμηση) των επιδράσεων και των δύο παραπάνω παραγόντων

**Σημείωση:** Οι επισημάνσεις που ακολουθούν δίνονται υπό μορφήν γενικών κατευθύνσεων που αφορούν στην σκοπιμότητα επιλογής λύσης σεισμικής μόνωσης για μία γέφυρα:

α. Όσον μεγαλύτερη είναι η περίοδος  $T_2$  του φάσματος απόκρισης (π.χ. για κατηγορία εδάφους Δ), τόσο μικρότερη είναι η μείωση της σεισμικής απόκρισης που επιτυγχάνεται από σεισμική μόνωση, μέσω της επιμήκυνσης της θεμελιώδους περιόδου της γέφυρας, και επομένως τόσο λιγότερο αποδοτική είναι μια λύση σεισμικής μόνωσης.

β. Ανάλογα μειωμένη είναι η επίδραση του ίδιου παράγοντα, όταν η ιδιοπερίοδος λύσης μη σεισμικά μονωμένης γέφυρας είναι ήδη μεγάλη. δηλαδή βρίσκεται ήδη μακριά από την περιοχή των υψηλών επιταχύνσεων του φάσματος, π.χ. σε γέφυρες με υψηλά ή εύκαμπτα βάθρα. Στην περίπτωση αυτή μείωση της σεισμικής απόκρισης μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της απόσβεσης, μέσω αποσβεστήρων. Η μελέτη ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να βασίζεται στις αρχές που διέπουν τις παρούσες οδηγίες.

γ. Αντίθετα προσφέρεται ιδιαίτερα λύση σεισμικής μόνωσης σε περιπτώσεις γεφυρών σε περιοχές με υψηλή σεισμική δράση, όταν τα βάθρα που αναλαμβάνουν τις σεισμικές δυνάμεις είτε είναι πολύ δύσκαμπτα είτε παρουσιάζουν έντονες διαφορές δυσκαμψίας, με αποτέλεσμα η γέφυρα χωρίς μόνωση να έχει μη-κανονική συμπεριφορά.

δ. Η σεισμική μόνωση δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτοτελώς τις πρωτογενείς συνέπειες ρευστοποίησης του εδάφους θεμελίωσης.

## 2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ

### 2.1 Ορισμοί

**Σύστημα σεισμικής μόνωσης** είναι το σύνολο των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της σεισμικής μόνωσης του έργου. Τα στοιχεία αυτά διατάσσονται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης του έργου.

**Μονωτήρες:** είναι τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν το σύστημα σεισμικής μόνωσης. 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 (απόσβεση) μορφής ιξώδους, υστερητικής ή τριβής
- Επαρκή ικανότητα επαναφοράς της γέφυρας στην πριν τον σεισμό θέση της (επανακέντρωση)
- Περιορισμό της οριζόντιας μετακίνησης του δομήματος (επαρκή ελαστική δυσκαμψία) υπό οριζόντιες, μη-σεισμικές δράσεις λειτουργίας

**Δυσκαμψία μονωτήρα ή άλλου στοιχείου:** στο κείμενο αυτό σημαίνει την αντίσταση ανά μονάδα μετακίνησης στην διεύθυνση παραμόρφωσης του μονωτήρα (π.χ. δυσμησία για διατμητική παραμόρφωση ή δυστένεια για αξονική παραμόρφωση). Ανάλογα ισχύουν για τον όρο ευκαμψία.

**Υποδομή:** είναι το τμήμα της γέφυρας που βρίσκεται κάτω από την διεπιφάνεια μόνωσης. Πρόκειται συνήθως για τα μεσόβαθρα και ακρόβαθρα. Η ευκαμψία των υποδομών στο οριζόντιο επίπεδο πρέπει κατά κανόνα να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό.

**Ανωδομή:** είναι το τμήμα της κατασκευής που βρίσκεται πάνω από την διεπιφάνεια μόνωσης. Στις γέφυρες αυτό το τμήμα είναι συνήθως ο φορέας της γέφυρας.

**Κέντρο δυσκαμψίας:** είναι το κέντρο δυσκαμψίας  $c$  στο πάνω μέρος της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης που προσδιορίζεται με την παραδοχή στερεής ανωδομής αλλά λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική δυσκαμψία των μονωτήρων και της υποδομής.

**Μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{cd}$ )** του συστήματος σεισμικής μόνωσης κατά μια κύρια διεύθυνση είναι η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση του κέντρου δυσκαμψίας  $c$  υπό την σεισμική δράση σχεδιασμού.

**Μετακίνηση ( $d_{bi}$ )** ενός μονωτήρα  $i$  είναι η σχετική μετακίνηση της ανωδομής ως προς την υποδομή στην θέση του μονωτήρα.

**Μετακίνηση σχεδιασμού** ( $d_{bi,d}$ ) ενός μονωτήρα  $i$  είναι η μετακίνηση του μονωτήρα που αντιστοιχεί στην σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{cd}$ ) κατά την εξεταζόμενη διεύθυνση.

**Αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού** ( $d_{bi,a}$ ) ενός μονωτήρα  $i$  είναι η μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα ( $d_{bi,d}$ ) πολλαπλασιασμένη επί τον συντελεστή μεγέθυνσης  $\gamma_{is}$  της 6.2.

**Συνολική μέγιστη μετακίνηση** ενός μονωτήρα είναι η αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα ( $d_{bi,a}$ ) προσαυξημένη κατά την σχετική μετακίνηση του, που οφείλεται στις μόνιμες και οιονεί μόνιμες δράσεις σχεδιασμού

**Ενεργός δυσκαμψία** του συνολικού συστήματος κατά μια κύρια διεύθυνση είναι ο λόγος της τιμής της συνολικής οριζόντιας δύναμης η οποία μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης, κατά την μετακίνηση σχεδιασμού στην ίδια διεύθυνση, ως προς την απόλυτη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού.

**Ενεργός ιδιοπερίοδος:** είναι η θεμελιώδης περίοδος, στην υπό εξέταση διεύθυνση, ενός μονοβάθμιου συστήματος ταλάντωσης, το οποίο έχει την μάζα της ανωδομής και δυσκαμψία ίση με την ενεργό δυσκαμψία του συνολικού συστήματος, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 5.4.

**Ενεργός απόσβεση** του συνολικού συστήματος είναι η τιμή της ιξώδους απόσβεσης, η οποία αντιστοιχεί στην ενέργεια που αποσβένεται τόσον από το σύστημα σεισμικής μόνωσης κατά την διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης-στην μετακίνηση σχεδιασμού, όσον και από τον υπόλοιπο φορέα.

**Μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας** είναι μη-γραμμική δυναμική ανάλυση στην οποία η σεισμική διέγερση και η απόκριση της κατασκευής λαμβάνονται με μορφή χρονοϊστορίας. Συνήθως η διέγερση ορίζεται από επιταχυνσιογραφήματα.

**Συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα** είναι ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης, σύμφωνα με το EN1337-3-2003. Τα εφέδρανα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να έχουν υποστεί τις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α.

**Ειδικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα** είναι εφέδρανα που έχουν υποστεί επιτυχώς τις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α.

## 2.2 Σύμβολα

$A_g$	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στην κατηγορία σπουδαιότητας της γέφυρας
$A_{g,475}$	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον σεισμό σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 475 έτη
$A_b$	επιφάνεια ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$A_r$	ενεργός επιφάνεια ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$d_b$	μετακίνηση μονωτήρα, δηλαδή σχετική μετακίνηση ανωδομής και υποδομής στην θέση του μονωτήρα
$d_{bi}$	μετακίνηση του μονωτήρα $i$
$d_{bd}$	μετακίνηση σχεδιασμού ενός μονωτήρα, δηλαδή σχετική μετακίνηση που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{cd}$ του συστήματος σεισμικής μόνωσης
$d_{bi,d}$	μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα $i$
$d_{bi,a}$	αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα $i$
$d_{cd}$	μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση
$d_{cf}$	μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης όπως υπολογίζεται με την μέθοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος
$d_{id}$	μετακίνηση της ανωδομής στην θέση του βάθρου $i$ που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{cd}$ του συστήματος σεισμικής μόνωσης
$d_m$	ικανότητα μετακίνησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση
$d_n$	ελάχιστη αρνητική μετακίνηση στην δοκιμή
$d_p$	μέγιστη θετική μετακίνηση στην δοκιμή
$d_{rm}$	παραμένουσα μετακίνηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης που αντιστοιχεί στην $d_m$
$d_y$	μετακίνηση διαρροής
$e_x$	εκκεντρότητα στην διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας
$E_d$	ένταση σχεδιασμού του σεισμικού συνδυασμού δράσεων
$E_D$	αποσβενόμενη ενέργεια μονωτήρα ανά κύκλο φόρτισης στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{bd}$
$E_{Di}$	αποσβενόμενη ενέργεια από τον μονωτήρα $i$ ανά κύκλο φόρτισης στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{bi,d}$
$E_E$	σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού
$E_{E,A}$	εσωτερικές σεισμικές δυνάμεις όπως προκύπτουν από την ανάλυση
$F_{max}$	μέγιστη δύναμη, που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού
$F_n$	ελάχιστη αρνητική δύναμη για μονωτήρες που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά και συμπεριφορά τριβής ή αρνητική δύναμη που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $d_n$ για μονωτήρες που παρουσιάζουν ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά



$F_{Ly}$	δύναμη διαρροής του μολύβδινου πυρήνα
$F_p$	μέγιστη θετική δύναμη για μονωτήρες που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά και συμπεριφορά τριβής ή θετική δύναμη που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $d_p$ για μονωτήρες που παρουσιάζουν ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά
$F_y$	δύναμη διαρροής υπό μονοτονική φόρτιση
$F_o$	δύναμη σε μηδενική μετακίνηση
$G_b$	μέτρο διάτμησης ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$G_g$	τιμή του «φαινομένου συμβατικού μέτρου διάτμησης» ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$H_i$	ύψος βάθρου $i$
$K_e$	ελαστική δυσκαμψία του μονωτήρα υπό μονοτονική φόρτιση, ίση με την δυσκαμψία αποφόρτισης υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση
$K_{eff}$	ενεργός δυσκαμψία του συνολικού συστήματος κατά την εξεταζόμενη κύρια οριζόντια διεύθυνση, για μετακίνηση ίση με τη μετακίνηση σχεδιασμού $d_{cd}$
$K_{eff,i}$	ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα $i$ κάτω από τις ίδιες συνθήκες
$K_{bi}$	ενεργός δυσκαμψία μονωτήρων στην κεφαλή του βάθρου $i$
$K_L$	δυσκαμψία του μολύβδινου πυρήνα
$K_p$	μετελαστική (εφαπτομενική) δυσκαμψία του μονωτήρα μετά την διαρροή
$K_{ri}$	δυσκαμψία στροφής της θεμελίωσης του βάθρου $i$
$K_R$	δυσκαμψία ελαστομεταλλικού τμήματος του εφεδράνου
$K_{si}$	δυσκαμψία μετακίνησης του κορμού του βάθρου $i$
$K_{ti}$	δυσκαμψία σε οριζόντια μετάθεση της θεμελίωσης του βάθρου $i$
$K_{xi}$	σύνθετη ενεργός δυσκαμψία του βάθρου $i$ και των μονωτήρων που βρίσκονται στην κεφαλή του, στην διεύθυνση $x$
$K_{yi}$	σύνθετη ενεργός δυσκαμψία του βάθρου $i$ και των μονωτήρων που βρίσκονται στην κεφαλή του, στην διεύθυνση $y$
$L$	συνολικό μήκος του φορέα μεταξύ των αρμών
$N_{sd}$	αξονική δύναμη που μεταφέρεται από τον μονωτήρα
$Q_G$	μόνιμο κατακόρυφο φορτίο μονωτήρα
$r$	ακτίνα αδράνειας της μάζας του φορέα ως προς τον κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο της μάζας του φορέα
$R_b$	ακτίνα σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης
$R_d$	αντοχή σχεδιασμού της διατομής
$\text{sign}(\dot{d}_b)$	πρόσημο του ανύσματος της ταχύτητας μετακίνησης $\dot{d}_b$
$t_e$	συνολικό πάχος του ελαστομερούς
$T_{eff}$	ενεργός ιδιοπερίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση
$T_v$	περίοδος της πρώτης ιδιομορφής στην οποία δεσπόζουν οι κατακόρυφες μετακινήσεις
$T_2$	όριο μεταξύ περιοχών σταθερής επιτάχυνσης και σταθερής ταχύτητας του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4 του ΕΑΚ 2000
$T_C$	$= T_2$

$T_D$	όριο μεταξύ περιοχών σταθερής ταχύτητας και σταθερής μετακίνησης του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, όπως ορίζεται στην 4.1
$T_{min,b}$	ελάχιστη θερμοκρασία σεισμικού σχεδιασμού μονωτήρων
$v$	ταχύτητα κίνησης αποσβεστήρων
$v_{max}$	μέγιστη ταχύτητα
$V_d$	μέγιστη τέμνουσα που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης
$V_f$	τέμνουσα που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης όπως προκύπτει με την μέθοδο ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος
$W_d$	βάρος της μάζας της ανωδομής
$x_i$	τεταγμένη του βάθρου $i$ ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας
$y_i$	τετμημένη του βάθρου $i$ του ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας
$\alpha$	εκθέτης της ταχύτητας που καθορίζει την αντίδραση υδραυλικού αποσβεστήρα
$\alpha_g$	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ανηγμένη ως προς $g$
$\gamma_l$	συντελεστής σπουδαιότητας της γέφυρας
$\Delta F_{Ed}$	επιπρόσθετο κατακόρυφο φορτίο λόγω ροπών ανατροπής
$\Delta F_m$	αύξηση της δύναμης από μετακίνηση ίση με $d_m/2$ μέχρι μετακίνηση $d_m$
$\mu_d$	συντελεστής δυναμικής τριβής
$\xi$	ιξώδης απόσβεση
$\xi_b$	συμβολή των αποσβεστήρων στην δρώσα απόσβεση $\xi_{eff}$
$\xi_{eff}$	ενεργός απόσβεση του συνολικού συστήματος
$\Sigma E_{D,bi}$	άθροισμα των αποσβενομένων ενεργειών όλων των μονωτήρων $i$
$\psi_{fi}$	συντελεστές συνδυασμού επιδράσεων (βλ. Α.4.1)

### 3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

(1) Πρέπει να ικανοποιούνται οι βασικές απαιτήσεις που διέπουν τον σεισμικό σχεδιασμό συμβατικών (χωρίς σεισμική μόνωση) γεφυρών (παράγραφος 1.3 της Ε39/99).

(2) Η σεισμική απόκριση της ανωδομής και της υποδομής πρέπει να παραμένει ουσιαστικά ελαστική.

(3) Η γέφυρα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις παραπάνω βασικές απαιτήσεις, αν ο σχεδιασμός πραγματοποιηθεί σύμφωνα με διαδικασίες που αναφέρονται στα άρθρα 4 και 5 και ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που καθορίζονται στα άρθρα 6, 7 και 8.

(4) Απαιτείται αυξημένη αξιοπιστία για την αντοχή και την ακεραιότητα του συστήματος μόνωσης, λόγω της κρισιμότητας που έχει η ικανότητα μετακίνησής του για την συνολική ασφάλεια της κατασκευής. Αυτή η αξιοπιστία θεωρείται ότι επιτυγχάνεται εφόσον το σύστημα μόνωσης σχεδιασθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του άρθρου 6.2

(5) Οι παράμετροι σχεδιασμού όλων των μονωτήρων, με εξαίρεση τα συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.2(5) και τα εφέδρανα ολίσθησης σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.4(5), θα πρέπει να προσδιορίζονται είτε να επιβεβαιώνονται με τις Δοκιμές Προτύπων που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

#### 4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

##### 4.1 Φάσματα σχεδιασμού

(1) Γενικά, πρέπει τα φάσματα σχεδιασμού (για τις οριζόντιες και κατακόρυφες συνιστώσες), να μην υπολείπονται των αντίστοιχων ελαστικών φασμάτων απόκρισης που ορίζονται στο Παράρτημα Α.1 του ΕΑΚ 2000, με τις ακόλουθες τροποποιήσεις.

- Οριζόντιες συνιστώσες

Στην περιοχή  $T > T_D$  όπου  $T_C = T_2$  και  $T_D = 2.50 \text{ sec}$ .

$$\Phi_e(T) = A_v \eta \beta_0 \frac{T_C T_D}{T^2} \quad (4.1)$$

- Κατακόρυφη συνιστώσα

$A_v = 0.9A$ ,  $\beta_0 = 3,0$ ,  $T_1 = 0.05 \text{ sec}$ ,  $T_C = T_2 = 0.15 \text{ sec}$  για όλες τις κατηγορίες εδάφους.

Στην περιοχή  $T > T_D = 1.0 \text{ sec}$  ισχύει η (4.1) με τις οριζόμενες εδώ τιμές για τα  $A_v$ ,  $T_C$  και  $T_D$ .

(2) Το άρθρο 5.1.2 του ΕΑΚ2000 εφαρμόζεται ως εξής: Όταν η θέση του έργου βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 5 χιλιομέτρων από γνωστή σεισμογόνο ζώνη, η οποία μπορεί να προκαλέσει σεισμό Μεγέθους Σεισμικής Ροπής μεγαλύτερου από 6,5 ή που οφείλεται σε διάρρηξη σε καταβυθιζόμενη τεκτονική πλάκα, τότε πρέπει να γίνει ειδική εδαφοδυναμική μελέτη ώστε να προσδιοριστεί και να χρησιμοποιηθεί ειδικό τοπικό φάσμα σχεδιασμού και αντίστοιχα επιταχυνσιογραφήματα, στα οποία να έχουν ληφθεί υπόψη οι ιδιαιτερότητες της σεισμικής διέγερσης κοντά σε σεισμογόνο ζώνη καθώς και οι ιδιότητες του εδάφους της περιοχής του έργου.

**Σημείωση:** Για τους σκοπούς αυτού του κειμένου, σεισμοτεκτονικό ρήγμα θεωρείται ενεργό, και επομένως δυνητικά σεισμογόνο, όταν εμφανίζει μέσο ιστορικό ρυθμό ολίσθησης τουλάχιστον 1mm/έτος και υπάρχουν γεωγραφικές μαρτυρίες σεισμογόνου δραστηριότητας μέσα στην Ολόκαινη περίοδο (στα τελευταία 11000 χρόνια]

## 4.2 Σεισμικές χρονοϊστορίες

(1) Για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση με την μέθοδο της χρονοϊστορίας, πρέπει να χρησιμοποιούνται το λιγότερο τρία ζεύγη οριζοντίων συνιστωσών χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης. Όταν δεν γίνει ειδική εδαφοδυναμική μελέτη προσδιορισμού της σεισμικής δράσης στην περιοχή του έργου (όπως π.χ. η μελέτη που προβλέπεται από το 4.1(2)), τότε τα ζεύγη αυτά θα πρέπει κατά προτίμηση και στο μέτρο του δυνατού να επιλέγονται από καταγραφές σεισμών με μέγεθος, αποστάσεις πηγής και μηχανισμό γένεσης συμβατά με εκείνα που ορίζουν την σεισμική κίνηση σχεδιασμού της 4.1, και θα εφαρμόζεται η διαδικασία που προβλέπεται στις παραγράφους (2) έως (6) παρακάτω.

(2) Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμος ο απαιτούμενος αριθμός ζευγών κατάλληλων πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων, ο απαιτούμενος αριθμός μπορεί να συμπληρωθεί με κατάλληλα ημισυνθετικά (τροποποιημένα πραγματικά) ή και συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα.

(3) Η συμβατότητα των επιταχυνσιογραφημάτων προς το φάσμα σχεδιασμού θα επιτευχθεί με κλιμάκωση του εύρους τους, ως εξής:

- Για κάθε σεισμό ο οποίος αποτελείται από ένα ζεύγος οριζοντίων χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης (επιταχυνσιογραφημάτων), υπολογίζεται το φάσμα - TRAT ως τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των φασμάτων κάθε συνιστώσας, με ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%.
- Ως συνολικό φάσμα της ομάδας των σεισμών θα λαμβάνεται ο μέσος όρος των φασμάτων - TRAT των επιμέρους σεισμών σύμφωνα με τα προηγούμενα.
- Το συνολικό φάσμα πρέπει να κλιμακωθεί, με την χρήση κατάλληλου συντελεστή κλίμακας, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι χαμηλότερο από 1,3 φορές το φάσμα σχεδιασμού - με απόσβεση 5% – όπως αυτό καθορίζεται στην προηγούμενη παράγραφο 4.1, στην περιοχή περιόδων μεταξύ  $0,5T_{eff}$  και  $1,5T_{eff}$ .  
Για την περίπτωση όπου η  $T_{eff}$  δεν είναι ίδια στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, η χαμηλότερη τιμή θα χρησιμοποιηθεί για να τον καθορισμό του κατώτερου ορίου ( $0,2 T_{eff}$ ) και η υψηλότερη τιμή για το ανώτερο όριο ( $1,5T_{eff}$ ).
- Ο συντελεστής κλίμακας που προκύπτει από την προηγούμενη παράγραφο θα εφαρμόζεται σε κάθε μία από τις συνιστώσες της σεισμικής διέγερσης.

**Σημείωση:** Οι φυσικές καταγραφές δύο ταυτόχρονων οριζοντίων συνιστωσών της επιτάχυνσης, δεν είναι όμοιες και δεν παρουσιάζουν εν γένει χρονική σύμπτωση των μεγίστων. Ανάλογα χαρακτηριστικά πρέπει να παρουσιάζουν και οι τεχνητές ή τροποποιημένες χρονοϊστορίες.

(4) Όταν το φάσμα ΤΡΑΤ που αντιστοιχεί στις συνιστώσες κάποιου από τα φυσικά επιταχυνσιογραφήματα εμφανίζει επιταχύνσεις των οποίων ο λόγος προς τις αντίστοιχες επιταχύνσεις του φάσματος σχεδιασμού παρουσιάζει έντονη μεταβολή στο διάστημα  $0.2 T_{eff}$  έως  $1.5 T_{eff}$ , επιτρέπεται κατάλληλη τροποποίηση του φυσικού επιταχυνσιογραφήματος, έτσι ώστε το φάσμα ΤΡΑΤ των τροποποιημένων συνιστωσών να προσαρμόζεται καλύτερα προς το φάσμα σχεδιασμού.

(5) Οι δύο συνιστώσες κάθε ζεύγους χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης πρέπει να εφαρμόζονται ταυτόχρονα.

(6) Αν η μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας γίνει με τριάδες συνιστωσών πραγματικών καταγραφών, η κλιμάκωση των ζευγών οριζοντίων καταγραφών σύμφωνα με το 4.2(3) θα γίνεται ανεξάρτητα από την κλιμάκωση των κατακόρυφων συνιστωσών. Η τελευταία θα γίνει έτσι ώστε ο μέσος όρος των αντίστοιχων φασμάτων να μην υπολείπεται περισσότερο από 10% από το κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού σε κανένα σημείο στην περιοχή περιόδων από  $0,2T_v$  έως  $1,5T_v$ , όπου  $T_v$  είναι περίοδος της πρώτης ιδιομορφής στην οποία δεσπόζουν οι κατακόρυφες μετακινήσεις.

(7) Επιτρέπεται επίσης να χρησιμοποιείται συνδυασμός ζευγών οριζοντίων καταγραφών με κατακόρυφες καταγραφές από διαφορετικούς σεισμούς, συμβατούς με τις απαιτήσεις της 4.2(1). Η ανεξάρτητη κλιμάκωση των ζευγών των οριζοντίων και των κατακόρυφων καταγραφών θα γίνεται σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο.

(8) Επιτρέπεται τροποποίηση κατακόρυφης καταγραφής, που αναφέρεται στις (6) και (7), κατ' αναλογία προς τα προδιαγραφόμενα στην (4).

## 5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 5.1 Γενικά

(1) Οι μέθοδοι ανάλυσης γεφυρών με σεισμική μόνωση, οι οποίες προβλέπονται από τις παρούσες οδηγίες, έχουν πεδίο εφαρμογής σύμφωνα με την παράγραφο 5.3, και είναι οι ακόλουθες:

- (α) Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος
- (β) Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης
- (γ) Μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας

(2) Επιπρόσθετα προς τις συνθήκες που δίδονται στην παράγραφο 5.3, αναγκαίες προϋποθέσεις για την εφαρμογή των μεθόδων (α) και (β) είναι οι ακόλουθες:

- Η συνήθως μη-γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης του συστήματος μόνωσης πρέπει να προσεγγισθεί με επαρκή ακρίβεια με την χρήση της ενεργού δυσκαμψίας ( $K_{eff}$ ), δηλαδή της τιμής της δυσκαμψίας στη μετακίνηση σχεδιασμού (σχήμα 1). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διαδοχικές προσεγγίσεις της μετακίνησης σχεδιασμού ( $d_{cd}$ ) του συστήματος μόνωσης.
- Η ικανότητα απόσβεσης του συστήματος μόνωσης θα εκφράζεται σε όρους ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης και θα χαρακτηρίζεται ως ενεργός απόσβεση ( $\xi_{eff}$ ).

(3) Ένα σύστημα σεισμικής μόνωσης που συντίθεται αποκλειστικά από ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση περί την τιμή 0,05) αποτελεί ειδική περίπτωση. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συνήθεις μέθοδοι γραμμικής δυναμικής ανάλυσης (μέθοδος φασματικής απόκρισης, βλ. 5.2.2.2 (1),(2), (5) και (6)). Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να θεωρηθούν ως γραμμικά ελαστικά στοιχεία με διατμητική (και ενδεχομένως θλιπτική) παραμόρφωση. Η απόσβεσή τους μπορεί να θεωρηθεί ίση με την εγγενή ιξώδη απόσβεση του φορέα (βλ. παράγραφο 5.2.2.2(2)). Ο συνολικός φορέας πρέπει να παραμείνει ουσιαστικά ελαστικός.

## 5.2 Ιδιότητες του συστήματος μόνωσης

### 5.2.1 Δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση

(1) Μονωτήρες που αναλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία πρέπει να διαθέτουν επαρκή δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση.

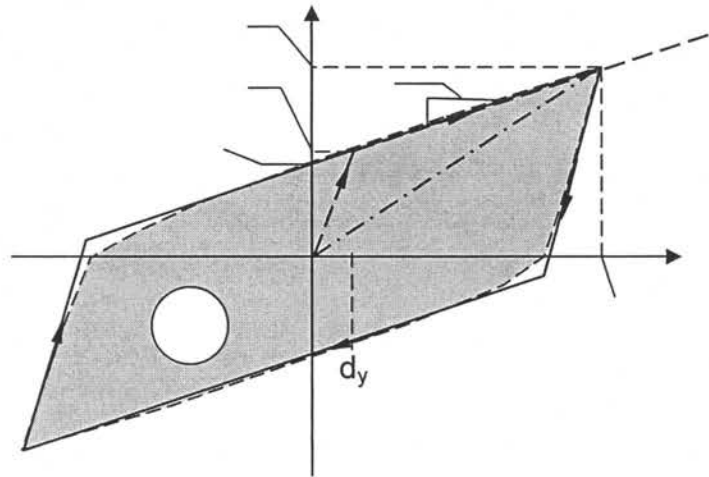
(2) Αυτή η απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται, όταν η οριζόντια μετακίνηση του κέντρου της μάζας της ανωδομής, που οφείλεται στην ευκαμψία των μονωτήρων στην κατακόρυφη διεύθυνση, είναι μικρότερη από το 5% της μετακίνησης σχεδιασμού  $d_{cd}$ .

(3) Ο έλεγχος αυτής της συνθήκης δεν απαιτείται, αν στη διεπιφάνεια μόνωσης το κατακόρυφο φορτίο αναλαμβάνουν εφέδρανα ολίσθησης ή συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα ή ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου.

### 5.2.2 Ιδιότητες σε οριζόντιες διευθύνσεις

#### 5.2.2.1 Υστερητική συμπεριφορά

(1) Η σχέση δύναμης-μετακίνησης των μονωτήρων μπορεί για την ανάλυση να προσεγγιστεί από μια δι-γραμμική σχέση, όπως φαίνεται στο σχήμα 1 για τον μονωτήρα  $i$  (ο δείκτης  $i$  έχει παραλειφθεί).



**Σχήμα 1: Διγραμμική προσομοίωση υστερητικής συμπεριφοράς μονωτήρα**

- (2) Οι παράμετροι της διγραμμικής προσομοίωσης είναι οι εξής:
- $d_{bd}$  = μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα, που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$  του συστήματος σεισμικής μόνωσης
  - $d_y$  = μετακίνηση διαρροής του μονωτήρα
  - $F_y$  = δύναμη διαρροής υπό μονοτονική φόρτιση
  - $F_{max}$  = μέγιστη δύναμη, που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{bd}$
  - $F_o$  = Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση =  $F_y - K_p d_y$
  - $K_e$  = Ελαστική δυσκαμψία υπό μονοτονική φόρτιση =  $F_y / d_y$   
= Δυσκαμψία αποφόρτισης υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση
  - $K_p$  = Μετελαστική (εφαπτομενική) δυσκαμψία του μονωτήρα  
=  $(F_{max} - F_y) / (d_{bd} - d_y)$
  - $E_D$  = Αποσβενόμενη ενέργεια ανά κύκλο στην μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα  $d_{bd}$ , ίση προς το εμβαδόν του υστερητικού βρόχου  
=  $4(F_y d_{bd} - F_{max} d_y)$

#### 5.2.2.2 Συμπεριφορά ελαστομεταλλικών εφεδράνων

**Σημείωση:** Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα έχουν υστερητική συμπεριφορά με λεπτούς ή ουσιαστικούς βρόχους υστέρησης. Η διάκρισή τους γίνεται μόνον για να δοθούν περισσότερες πληροφορίες γι' αυτήν την πολύ συνήθη κατηγορία μονωτήρων.

(1) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα στα οποία αναφέρονται οι παρούσες οδηγίες, αποτελούνται από στρώσεις ελαστικού οπλισμένες με πλήρως εγκιβωτισμένα και συγκολλημένα χαλυβδόφυλλα. Αναφορικά με την απόσβεση, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα διακρίνονται σε εφέδρανα χαμηλής και υψηλής απόσβεσης.

(2) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης έχουν ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης  $\xi$  μικρότερο του 0,06. Η ανακυκλική συμπεριφορά τέτοιων εφεδράνων είναι παρόμοια με την υστερητική με λεπτούς βρόχους. Η συμπεριφορά τους μπορεί να προσεγγιστεί σαν συμπεριφορά γραμμικών ελαστικών στοιχείων με ισοδύναμη ελαστική δυσκαμψία  $G_b A_b / t_e$ , όπου  $G_b$  είναι το μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς,  $A_b$  είναι η επιφάνεια και  $t_e$  το συνολικό πάχος του ελαστομερούς.

(3) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης εμφανίζουν ουσιαστικούς υστερητικούς βρόχους, που αντιστοιχούν σε ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης μεταξύ 0,10 και 0,20. Η συμπεριφορά τους θα πρέπει να θεωρηθεί ως μη γραμμική υστερητική.

(4) Από την άποψη των απαιτούμενων ειδικών δοκιμών για την σεισμική συμπεριφορά, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα διακρίνονται στις παρούσες οδηγίες, σε συνήθη και ειδικά.

(5) Συνήθη χαρακτηρίζονται ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης σύμφωνα με το EN1337-3-2005.

(6) Συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα δεν χρειάζεται να ελεγχθούν με τις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α.

(7) Ειδικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα είναι ελαστομεταλλικά εφέδρανα που δοκιμάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Α.

(8) Οι παράμετροι σχεδιασμού ελαστομεταλλικών εφεδράνων που χρησιμοποιούνται σ' αυτό το κεφάλαιο πρέπει να καλύπτουν τις ιδιότητες των εφεδράνων τόσο πριν όσο και μετά από προπαραμόρφωση στην μετακίνηση σχεδιασμού.

**Σημείωση:** Προπαραμόρφωση ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε ένα ή περισσότερους κύκλους υψηλής διατμητικής παραμόρφωσης, πριν από την δοκιμή διάτμησης, επιφέρει σημαντική μείωση της διατμητικής δυσκαμψίας σε επόμενους κύκλους παραμόρφωσης. Τα εφέδρανα όμως επανακτούν την αρχική (παρθενική) δυσκαμψία τους μετά παρέλευση κάποιου χρόνου (λίγων μηνών). Το φαινόμενο αυτό είναι έντονο κυρίως σε εφέδρανα με χαμηλό μέτρο διάτμησης και υψηλή απόσβεση, και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις παραμέτρους σχεδιασμού των εφεδράνων (βλ. Α2.1(1) και Α2.3.3 R4).

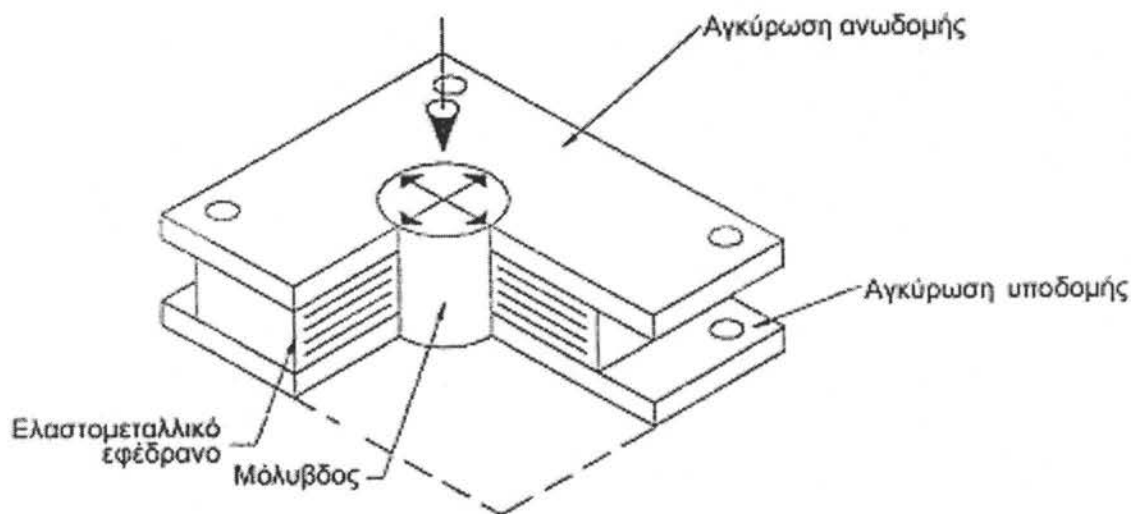
(9) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) αποτελούνται από ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης που διαθέτουν κυλινδρικό (συνήθως) μολύβδινο πυρήνα. Η διαρροή του μολύβδινου πυρήνα προσφέρει στα εφέδρανα αυτά υστερητική συμπεριφορά, η οποία αποδίδεται από το διάγραμμα δύναμης – μετακίνησης του Σχήματος 1, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ελαστική δυσκαμψία  $K_e = K_L + K_R$ , όπου  $K_L$  είναι η δυσκαμψία του μολύβδινου πυρήνα και  $K_R$  η δυσκαμψία του ελαστομεταλλικού τμήματος του εφεδράνου
- Μετελαστική δυσκαμψία  $K_p = K_R$
- Δύναμη διαρροής  $F_y = F_{Ly} (1 + K_R / K_L)$ , όπου  $F_{Ly}$  είναι η δύναμη διαρροής του μολύβδινου πυρήνα



**Σημείωση:**

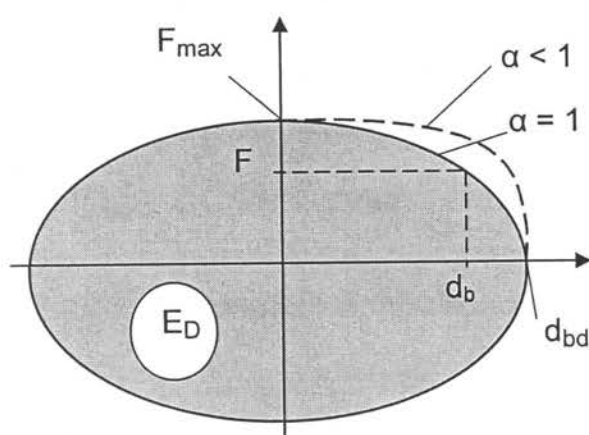
1. Όταν είναι  $K_R \ll K_L$ , τότε:  $K_e \approx K_L$  και  $F_y \approx F_{Ly}$
2. Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου υπόκεινται στις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α, από τις οποίες προκύπτουν ή επιβεβαιώνονται οι τιμές των χαρακτηριστικών τους ( $K_e$ ,  $K_p$ ,  $F_y$  ή/και  $E_D$ )



**Σχήμα 2: Ελαστομεταλλικό εφέδρανο με πυρήνα μολύβδου**

### 5.2.2.3 Ιξώδης συμπεριφορά (Υδραυλικοί αποσβεστήρες)

(1) Η αντίδραση υδραυλικών αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς είναι ανάλογη του  $v^\alpha$ , όπου  $v = \dot{d}_b = \frac{d}{dt}(d_b)$  είναι η ταχύτητα κίνησης. Η αντίδραση είναι μηδενική στη μέγιστη σχετική μετακίνηση του μονωτήρα  $d_{bd}$ , και συνεπώς ο αποσβεστήρας δεν συνεισφέρει στην ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης. Η σχέση δύναμης-μετακίνησης ενός στοιχείου με ιξώδη συμπεριφορά, ανάλογα με τον εκθέτη  $\alpha$  της ταχύτητας, δίδεται στο Σχήμα 2 (για ημιτονοειδή κίνηση).



$$d_b = d_{bd} \sin(\omega t) \text{ με } \omega = 2\pi/T_{eff}$$

$$F = C v^\alpha = F_{max} \cos(\omega t)^\alpha$$

$$F_{max} = C (d_{bd} \omega)^\alpha$$

$$E_D = \lambda(\alpha) F_{max} d_{bd}$$

$$\lambda(\alpha) = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+0.5\alpha)}{\Gamma(2+\alpha)}$$

$\Gamma(\ )$  = είναι η συνάρτηση Γάμα

**Σχήμα 3: Ιξώδης συμπεριφορά**

**Σημείωση:** Σε κάποιες περιπτώσεις υδραυλικών αποσβεστήρων με πολύ μικρό εκθέτη  $\alpha$ , είναι αναγκαία προσομοίωση με εν σειρά διάταξη ιξώδους στοιχείου και γραμμικού ελατηρίου (που αντιστοιχεί την συμπίεστικότητα του υγρού), ώστε η σχέση ταχύτητας-δύναμης να αποδίδει με ικανοποιητική προσέγγιση τα πειραματικά αποτελέσματα. Αυτό όμως έχει αμελητέα επίδραση στην αποσβεσόμενη ενέργεια ανά κύκλο  $E_D$

#### 5.2.2.4 Συμπεριφορά τριβής

(1) Συσσκευές ολίσθησης με επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης περιορίζουν τη δύναμη που μεταφέρεται στην ανωδομή σε:

$$F_{\max} = \mu_d N_{Sd} \text{sign}(\dot{d}_b) \quad (5.1)$$

Όπου:

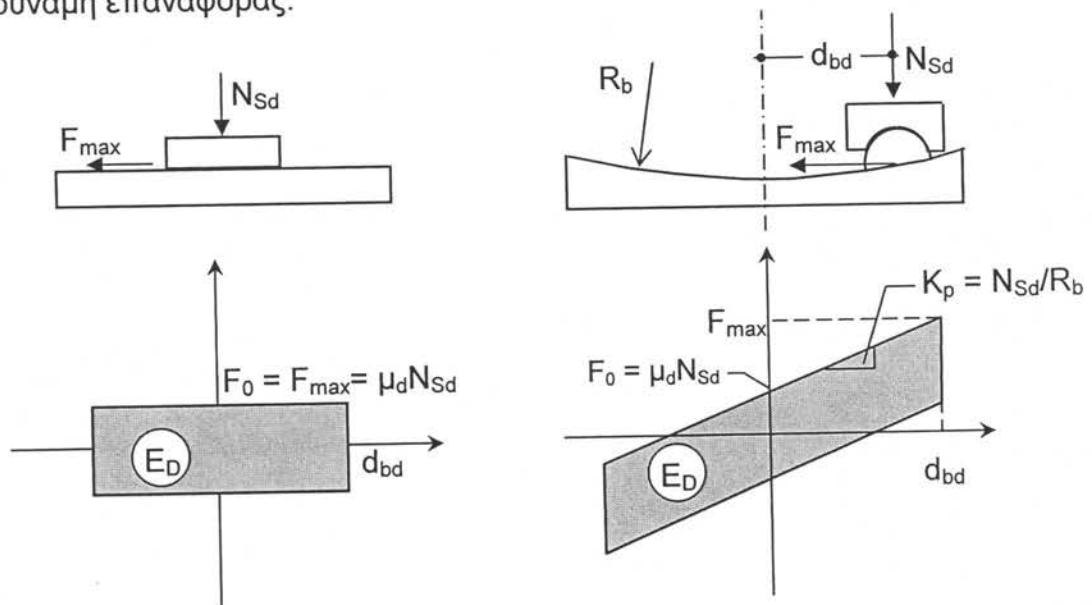
$\mu_d$  είναι ο συντελεστής δυναμικής τριβής

$N_{Sd}$  είναι η αξονική δύναμη που μεταφέρεται από την συσκευή, και

$\text{sign}(\dot{d}_b)$  είναι το πρόσημο του ανύσματος της ταχύτητας  $\dot{d}_b$

$d_b$  είναι η σχετική μετακίνηση των δύο επιφανειών ολίσθησης

Τέτοιες συσκευές μπορεί να εμφανίζουν ουσιαστικές παραμένουσες μετακινήσεις. Επομένως πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με στοιχεία που παρέχουν επαρκή δύναμη επαναφοράς.



Σχήμα 4: Συμπεριφορά Τριβής

(2) Συσσκευές ολίσθησης με σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης ακτίνας  $R_b$  (π.χ. σφαιρικοί μονωτήρες ολίσθησης) παρέχουν δύναμη επαναφοράς στην σχετική μετακίνηση του μονωτήρα  $d_d$  ίση με  $N_{Sd} d_d / R_b$ . Η σχέση δύναμης –μετακίνησης σε τέτοιο εφέδρανο είναι:

$$F_{\max} = \frac{N_{Sd}}{R_b} d_{bd} + \mu_d N_{Sd} \text{sign}(\dot{d}_{bd}) \quad (5.2)$$

(3) Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η ενέργεια  $E_D$  που αποσβένεται ανά κύκλο στη μετακίνηση  $d_d$  είναι ίση προς:

$$E_D = 4 \mu_d N_{sd} d_{bd} \quad (5.3)$$

(4) Ο συντελεστής δυναμικής τριβής εξαρτάται κυρίως από:

- την σύνθεση των επιφανειών ολίσθησης
- τη χρήση ή μη λιπαντικού
- την πίεση στην επιφάνεια ολίσθησης
- την ταχύτητα ολίσθησης

και πρέπει να προσδιορίζεται με κατάλληλες δοκιμές (Παράρτημα Α).

**Σημείωση:** Πρέπει να επισημανθεί ότι σε περίπτωση ολίσθησης λείων επιφανειών ανοξείδωτου χάλυβα πάνω σε παρθένο καθαρό PTFE με λιπαντικό, στην περιοχή ταχυτήτων που αντιστοιχεί σε σεισμικές κινήσεις και στην συνήθη περιοχή πιέσεων στην επιφάνεια ολίσθησης, ο συντελεστής δυναμικής τριβής μπορεί να είναι εξαιρετικά χαμηλός ( $\leq 0,01$ ). Τέτοια εφέδρανα δεν προσφέρουν απόδοση ενέργειας ( $E_d \approx 0$ ).

(5) Επίπεδα εφέδρανα, σύμφωνα με το EN 1337-2, που επιτρέπουν ολίσθηση σε 2 διευθύνσεις, και ελαστομεταλλικά εφέδρανα με στρώση PTFE και πλάκα ολίσθησης, σύμφωνα με το EN 1337-2, που επιτρέπουν ολίσθηση στην μία οριζόντια διεύθυνση ενώ στην άλλη διεύθυνση συμπεριφέρονται ως συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα, όταν συμμετέχουν στο σύστημα σεισμικής μόνωσης, απαλλάσσονται από την υποχρέωση Δοκιμών Προτύπων, εφόσον δεν λαμβάνεται υπόψη στην μελέτη οποιαδήποτε συμμετοχή τους στην απόσβεση σεισμικής ενέργειας του συνολικού συστήματος.

### 5.2.3 Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων

(1) Η επάρκεια του συστήματος σεισμικής μόνωσης και η επάρκεια και οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων θα προσδιορίζονται με Δοκιμές Προτύπων και άλλες δοκιμές όπως προδιαγράφονται στο Παράρτημα Α. Οι παράμετροι σχεδιασμού συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων που ικανοποιούν τις συνθήκες της 5.2.2.2(5), μπορούν να ληφθούν σύμφωνα με τις ακόλουθες παραγράφους (5) και (6).

(2) Οι ιδιότητες των μονωτήρων και επομένως και εκείνες του ίδιου του συστήματος μόνωσης, είναι δυνατό να επηρεάζονται από την θερμοκρασία, την γήρανση, την προπαραμόρφωση, την ταχύτητα της κίνησης, τη συσσωρευόμενη διαδρομή, και την ρύπανση. Επιπρόσθετα προς τις τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού (ΤΠΣ) που καθορίζονται από τις Δοκιμές Προτύπων, πρέπει επίσης να καθορισθούν δύο ακόμα σύνολα τιμών σχεδιασμού των παραμέτρων του συστήματος μόνωσης με βάση είτε ειδικές δοκιμές είτε τις σχετικές διατάξεις του Α4 του Παραρτήματος Α.

- οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), και
- οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

(3) Ανεξάρτητα της μεθόδου ανάλυσης που θα επιλεγεί, πρέπει να γίνονται κατά κανόνα δύο αναλύσεις. Στην μία ανάλυση θα χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), για τον υπολογισμό των μεγίστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή. Στην άλλη ανάλυση θα χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ), για τον υπολογισμό των μεγίστων μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης και της ανωδομής.

(4) Είναι αποδεκτή πολυβάθμια φασματική ανάλυση, ή δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας με την χρήση μόνον των Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΤΠΣ), εφόσον οι μετακινήσεις σχεδιασμού  $d_{dc}$ , οι οποίες υπολογίζονται από ανάλυση με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, σύμφωνα με την παράγραφο 5.4, με χρήση των Ανώτερων και Κατώτερων Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ, ΚΤΠΣ), δεν διαφέρουν περισσότερο από  $\pm 15\%$  από τις μετακινήσεις σχεδιασμού οι οποίες υπολογίζονται με την ίδια μέθοδο με χρήση των Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΤΠΣ).

(5) Οι ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων σύμφωνα με την 5.2.2.2(5) μπορούν να ληφθούν ως ακολούθως:

Μέτρο διάτμησης  
Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση

$$G_b = 1,40 G_g$$

$$\xi_{eff} = 0,05$$

όπου  $G_g$  είναι η τιμή του «φαινομένου συμβατικού μέτρου διάτμησης» που ορίζεται στην 4.3.1.1 του EN1337-3-2005.

**Σημείωση:** Η μελέτη ελαστομεταλλικών εφεδράνων πρέπει εκτός από τις διαστάσεις τους να προδιαγράφει το εύρος διακύμανσης της τιμής του μέτρου διάτμησης  $G_g$ , την μέγιστη συνολική μετακίνηση σχεδιασμού σύμφωνα με την 6.2.1 (1) και (2) και τις αντίστοιχες μέγιστες αντιδράσεις σύμφωνα με τις 6.2.1 (3) και (4).

(6) Η μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων, που οφείλεται στην γήρανση και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, μπορεί να περιοριστεί στην τιμή του  $G_b$  και να ληφθεί ως ακολούθως:

- Κατώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)  $G_{b,min} = G_b$

- Ανώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), εξαρτάται από την ελάχιστη θερμοκρασία σεισμικού σχεδιασμού των μονωτήρων  $T_{min,b}$  (βλ. Παράρτημα Α, Α.3.2 και Πίνακα Α3) ως εξής:

- όταν  $T_{min,b} \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ :  
 $G_{b,max} = 1.5 G_b$
- όταν  $T_{min,b} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ :  
η τιμή του  $G_{b,max}$  που ορίστηκε παραπάνω πρέπει να διορθωθεί μέσω των τιμών  $\lambda_{max}$  που αντιστοιχούν στο  $k_p$ , όπως ορίζονται στον Πίνακα Α.3 του Παραρτήματος Α.

(7) Οι τιμές σχεδιασμού του συντελεστή τριβής εφεδράνων ολίσθησης των οποίων η συμβολή στην απόσβεση ενέργειας αγνοείται σύμφωνα με την 5.2.2.4(5), πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με το EN1337-2-2002.

### 5.3 Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης

(1) Η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος μπορεί να εφαρμοστεί όταν συνυπάρχουν όλες οι ακόλουθες συνθήκες:

- Η απόσταση μεταξύ της θέσης της γέφυρας και του πλησιέστερου γνωστού ενεργού σειсмоγόνου ρήγματος, υπερβαίνει τα 15 χιλιόμετρα.
- Οι εδαφικές συνθήκες στην θέση κατασκευής αντιστοιχούν σε μία από τις κατηγορίες εδάφους Α, Β, Γ ή Δ του άρθρου 2.3.6 του ΕΑΚ 2000
- Όταν η ενεργός απόσβεση δεν υπερβαίνει το 0.30

(2) Η Μέθοδος της Φασματικής Απόκρισης μπορεί να εφαρμοστεί όταν συνυπάρχουν οι συνθήκες b και c της παρ. (1)

(3) Μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη οποιασδήποτε μονωμένης γέφυρας.

### 5.4 Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

(1) Επιτρέπεται η θεώρηση της ανωδομής της γέφυρας ως στέρεου σώματος.

(2) Η τέμνουσα που μεταφέρεται μέσα από την διεπιφάνεια μόνωσης σε κάθε κύρια διεύθυνση, θα υπολογιστεί θεωρώντας ότι η ανωδομή συμπεριφέρεται ως σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας και χρησιμοποιώντας:

- την ενεργό δυσκαμψία του συνολικού συστήματος  $K_{eff}$
- την ενεργό απόσβεση του συνολικού συστήματος  $\xi_{eff}$
- την μάζα της ανωδομής  $W_d/g$
- την φασματική επιτάχυνση η οποία αντιστοιχεί στην ενεργό περίοδο  $T_{eff}$ , με  $n_{eff} = n(\xi_{eff})$   $S_e = S_e(T_{eff}, n_{eff})$   
όπου  $S_e = \Phi_e$ , βλ. ΕΑΚ 2000, Παράρτημα Α.1 και 4.1 της παρούσας

Τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται ως εξής:

$$\text{ενεργός δυσκαμψία} \quad K_{\text{eff}} = \sum K_{\text{eff},i} \quad (5.4)$$

όπου,

$K_{\text{eff},i}$  είναι η σύνθετη δυσκαμψία του βάθρου  $i$  και των μονωτήρων που αντιστοιχούν σ' αυτό

$$\text{ενεργός απόσβεση} \quad \xi_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{\text{eff}} d_{\text{cd}}^2} \right] \quad (5.5)$$

όπου  $\sum E_{D,i}$  είναι το άθροισμα των αποσβενόμενων ενεργειών όλων των μονωτήρων  $i$  σε ένα πλήρη κύκλο παραμόρφωσης στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{\text{bd}}$ .

$$\text{ενεργός ιδιοπερίοδος} \quad T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{W_d}{g K_{\text{eff}}}} \quad (5.6)$$

(3) Η ανάλυση αυτή οδηγεί στα ακόλουθα αποτελέσματα

**Πίνακας 1: Φασματική επιτάχυνση  $S_e$  και μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{\text{cd}}$**

$T_{\text{eff}}$	$\frac{S_e}{g}$	$d_{\text{cd}}$
$T_C \leq T_{\text{eff}} < T_D$	$2,5 \frac{T_C}{T_{\text{eff}}} \eta_{\text{eff}} \alpha_g$	$\frac{T_{\text{eff}}}{T_C} d_C$
$T_D \leq T_{\text{eff}}$	$2,5 \frac{T_C T_D}{T_{\text{eff}}^2} \eta_{\text{eff}} \alpha_g$	$\frac{T_D}{T_C} d_C$

Όπου:

$$\alpha_g = \frac{A_g}{g} = \frac{\gamma_I A_{g,475}}{g} \quad (5.7)$$

Η τιμή του  $\eta_{\text{eff}}$  μπορεί να ληφθεί από την σχέση

$$\eta_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{0,10}{0,05 + \xi_{\text{eff}}}} \geq 0,40 \quad (5.8)$$

$$d_C = 0,625 \frac{g}{\pi^2} \alpha_g \eta_{\text{eff}} T_C^2 \quad (5.9)$$

$$\text{Μέγιστη τέμνουσα} \quad V_d = W_d \frac{S_e}{g} = K_{\text{eff}} d_{\text{cd}} \quad (5.10)$$

και όπου,

$T_C = T_2$  και λαμβάνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4 του ΕΑΚ 2000,

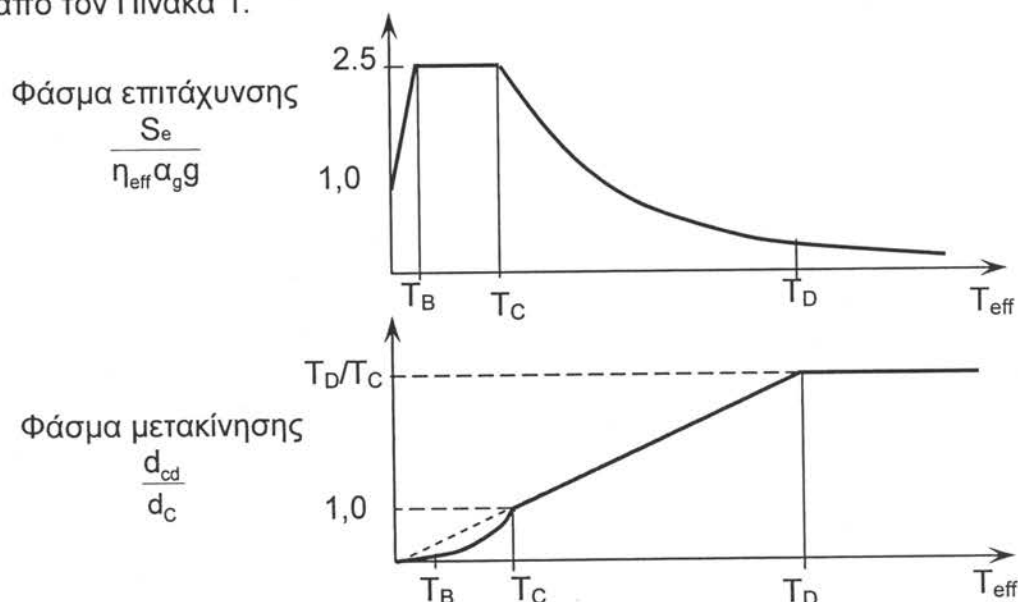
$T_D$  σύμφωνα με την 4.1,

$A_g$  είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που αντιστοιχεί στην κατηγορία σπουδαιότητας της γέφυρας.

$\gamma_i$  είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας της γέφυρας.

$A_{g,475}$  είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον σεισμό σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 475 έτη.

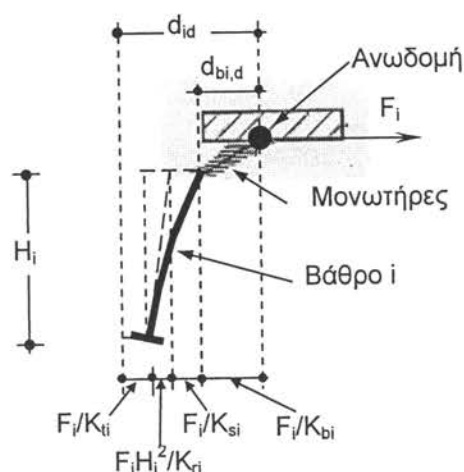
Το Σχ. 5 δείχνει την συσχέτιση των φασμάτων επιτάχυνσης και μετακίνησης όπως προκύπτει από τον Πίνακα 1.



**Σχήμα 5: Φάσματα επιτάχυνσης και μετακίνησης**

**Σημείωση:** Για βάθρο ύψους  $H_i$ , με δυσκαμψία μετακίνησης κορμού  $K_{si}$  (kN/m), εδραζόμενο σε θεμελίωση με δυσκαμψία μετάθεσης  $K_{ti}$  (kN/m) και στροφής  $K_{ri}$  (kNm), και το οποίο φέρει μονωτήρες με ενεργό δυσκαμψία  $K_{bi}$  (kN/m), βλ. Σχήμα 6, η σύνθετη δυσκαμψία  $K_{eff,i}$  μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\frac{1}{K_{eff,i}} = \frac{1}{K_{bi}} + \frac{1}{K_{si}} + \frac{1}{K_{ti}} + \frac{H_i^2}{K_{ri}} \quad (5.12)$$



**Σχήμα 6: Τυπικό βάθρο i**

Από την (5.12), και με παράλειψη της επίδρασης αδρανειακών δράσεων στις μάζες βάθρου και θεμελίωσης, προκύπτει η συσχέτιση της μετακίνησης σχεδιασμού των μονωτήρων ( $d_{bi,d}$ ) προς την μετακίνηση της ανωδομής ( $d_{id}$ ), στην θέση του βάθρου  $i$ :

(5.12α)

$$d_{bi,d} = d_{id} \frac{K_{eff,i}}{K_{bi}}$$

Επειδή η ευκαμψία των μονωτήρων  $1/K_{bi}$  και η σχετική μετακίνηση τους  $d_{bi} = F/K_{bi}$  είναι εν γένει πολύ μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες, η απόσβεση του συνολικού συστήματος εξαρτάται ουσιαστικά μόνον από την απόσβεση των μονωτήρων.

(4) Σε ουσιαστικά μη-γραμμικά συστήματα, τα  $K_{eff}$  και  $\xi_{eff}$  εξαρτώνται από την μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$  (βλ. Σχ. 1). Η μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$  προσδιορίζεται με διαδοχικές προσεγγίσεις. Ο προσδιορισμός της μετακίνησης σχεδιασμού  $d_{cd}$  θεωρείται επαρκώς ακριβής, όταν η διαφορά μεταξύ της υποτιθέμενης και υπολογιζόμενης τιμής της  $d_{cd}$  είναι μικρότερη του 5%.

(5) Για τον υπολογισμό της επίδρασης της σεισμικής δράσης στο σύστημα μόνωσης και στην υποδομή, στην κύρια εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας ( $y$ ), η επιρροή της εκκεντρότητας  $e_x$ , στην διαμήκη διεύθυνση ( $x$ ) της γέφυρας μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση της τελευταίας στην θέση του βάθρου  $i$ ,  $d_{id,x}$  και  $d_{id,y}$  κατά την διεύθυνση ( $x$ ) και ( $y$ ) αντίστοιχα, θα λαμβάνεται με πολλαπλασιασμό της  $d_{cd}$  επί συντελεστές  $\delta_{i,x}$  και  $\delta_{i,y}$  ως ακολούθως:

$$d_{id,y} = \delta_{i,y} d_{cd} \quad (5.13\alpha)$$

$$d_{id,x} = \delta_{i,x} d_{cd} \quad (5.13\beta)$$

όπου

$$\delta_{i,y} = 1 + \frac{e_x}{rr_x} x_i \quad (5.14\alpha)$$

$$\delta_{i,x} = \frac{e_x}{rr_x} y_i \quad (5.14\beta)$$

και

$$r_x^2 = \Sigma (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi}) / \Sigma K_{yi} \quad (5.15)$$

όπου:

$e_x$  είναι η εκκεντρότητα στην διαμήκη διεύθυνση  $x$  της γέφυρας.

$L$  είναι το συνολικό μήκος του φορέα μεταξύ αρμών

$r$  είναι η ακτίνα αδράνειας της μάζας του φορέα ως προς τον κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο της μάζας του φορέα

$x_i, y_i$  είναι οι συντεταγμένες του βάθρου  $i$  ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας

$K_{yi}, K_{xi}$  είναι η σύνθετη ενεργός δυσκαμψία του συστήματος βάθρου  $i$  και αντίστοιχων μονωτήρων στην διεύθυνση  $y$  και  $x$  αντίστοιχα.

Σημείωση: Σε ευθύγραμμες γέφυρες συνήθως ισχύει  $y_i \ll x_i$  οπότε ο όρος  $y_i^2 K_{xi}$  στην σχέση (5.15) μπορεί να παραλειφθεί.



(6) Η επιρροή της  $e_y$  πρέπει να εκτιμάται όπως στην 5.4 (5) εναλλάσσοντας τους δείκτες  $x$  και  $y$ . Σε ευθύγραμμες γέφυρες συνήθως ισχύει  $y_i \ll x_i$  οπότε η επιρροή της  $e_y$  μπορεί να παραλειφθεί.

(7) Για τον συνδυασμό των συνιστωσών της σεισμικής δράσης εφαρμόζεται ό,τι ισχύει για τις γέφυρες χωρίς σεισμική μόνωση.

## 5.5 Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης

(1) Η προσομοίωση του συστήματος μόνωσης πρέπει να απεικονίζει με επαρκή ακρίβεια:

- την κατανομή των μονωτήρων στο χώρο και τις όποιες δράσεις ανατροπής
- την μετακίνηση στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και την περιστροφή περί τον κατακόρυφο άξονα της ανωδομής.

(2) Η προσομοίωση της ανωδομής θα πρέπει να απεικονίζει με επαρκή ακρίβεια την παραμόρφωση της ανωδομής στην κάτοψη. Τυχνηματική εκκεντρότητα της μάζας δεν απαιτείται να ληφθεί υπόψη.

(3) Η προσομοίωση της υποδομής πρέπει να απεικονίζει με επαρκή ακρίβεια την κατανομή της δυσκαμψίας των βάθρων και τουλάχιστον την στροφική δυσκαμψία των θεμελίων. Αν τα βάθρα έχουν σημαντική μάζα και ύψος ή είναι βυθισμένα σε νερό, η κατανομή της μάζας τους κατά το ύψος πρέπει να απεικονίζεται κατάλληλα.

(4) Η ενεργός απόσβεση  $\xi_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{eff} d_{cd}^2} \right]$  θα εφαρμόζεται μόνο στις

ιδιομορφές που έχουν περίοδο μεγαλύτερη από  $0,8T_{eff}$ . Για όλες τις άλλες ιδιομορφές, εφόσον δεν γίνει ακριβέστερη ανάλυση, θα χρησιμοποιηθεί η ενεργός απόσβεση η οποία αντιστοιχεί στην συμβατική (χωρίς σεισμική μόνωση) κατασκευή.

(5) Για το συνδυασμό των οριζοντίων συνιστωσών της σεισμικής δράσης εφαρμόζεται ό,τι ισχύει για τις συμβατικές γέφυρες (βλ. παραγρ. 2.6.1 της Ε39/99).

(6) Η τιμή της μετακίνησης του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης ( $d_{cd}$ ), και η τιμή της συνολικής σεισμικής τέμνουσας που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης ( $V_d$ ), σε κάθε μία από τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, όπως προκύπτουν από την ανάλυση, υπόκεινται στα κάτω όρια που ορίζονται από τους παρακάτω λόγους:

$$\rho_d = \frac{d_{cd}}{d_{cf}} \geq 0,80 \quad (5.16)$$

$$\rho_v = \frac{V_d}{V_f} \geq 0,80 \quad (5.17)$$

όπου:

$d_{cf}$  και  $V_f$ , είναι αντίστοιχα η μετακίνηση σχεδιασμού και η τέμνουσα που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης, όπως υπολογίζονται με τη μέθοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σύμφωνα με την παράγραφο 5.4. Για την επαλήθευση αυτή, η εφαρμογή της μεθόδου της 5.4 δεν υπόκειται στους περιορισμούς της 5.3 (1)

(7) Σε περίπτωση που δεν πληρούνται οι προαναφερόμενες συνθήκες, όλα τα σχετικά μεγέθη στο σύστημα μόνωσης, στην ανωδομή και στην υποδομή θα πολλαπλασιάζονται με τους αυξητικούς συντελεστές που ορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{0.80}{\rho_d} \quad \text{για τις σεισμικές μετακινήσεις,} \quad (5.18)$$

$$\frac{0.80}{\rho_v} \quad \text{για τις σεισμικές δυνάμεις και ροπές} \quad (5.19)$$

(8) Τα όρια που ορίζονται στην παράγραφο (6) και οι αυξήσεις που ορίζονται στην παράγραφο (7), δεν χρειάζεται να εφαρμόζονται όταν η γέφυρα δεν μπορεί να προσομοιωθεί (έστω και με χονδρική προσέγγιση) με μονοβάθμιο σύστημα. Τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζονται π.χ. σε:

- γέφυρες με υψηλά μεσόβαθρα, η μάζα των οποίων έχει σημαντική επίδραση στην μετακίνηση του φορέα
- γέφυρες με σημαντική εκκεντρότητα  $e_x$  στην διαμήκη διεύθυνση μεταξύ κέντρου μάζας του φορέα και του κέντρου δυσκαμψίας ( $e_x > 0,10L$ ).

Σε τέτοιες περιπτώσεις συνιστάται η εφαρμογή των περιορισμών και των διορθώσεων των παραγράφων (6) και (7) να βασίζεται σε δυνάμεις και μετακινήσεις που αντιστοιχούν στην θεμελιώδη ιδιομορφή του πραγματικού προσομοιώματος της γέφυρας στην ίδια διεύθυνση.

## 5.6 Ανάλυση Χρονοϊστορίας

(1) Η προσομοίωση της ανωδομής πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των παρ. (1), (2) και (3) του 5.5.

(2) Όταν η μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας γίνει για τουλάχιστον 7 ζεύγη ή τριάδες οριζοντίων χρονοϊστοριών, επιτρέπεται οι τιμές σχεδιασμού των μεγεθών απόκρισης να λαμβάνονται ίσες με τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Όταν η ανάλυση γίνει με λιγότερα από 7 ζεύγη ή τριάδες κινήσεων οι

τιμές σχεδιασμού θα λαμβάνονται ίσες με τις μέγιστες τιμές που προκύπτουν από την ομάδα των αναλύσεων.

(3) Οι απαιτήσεις των παραγράφων (6), (7) και (8) του 5.5, ισχύουν και για τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την μέθοδο της χρονοϊστορίας.

### 5.7 Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας

(1) Η επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας επιτρέπεται να εκτιμάται με γραμμική φασματική ανάλυση, ανεξάρτητα από την μέθοδο ανάλυσης που εφαρμόζεται για τις οριζόντιες συνιστώσες. Η επαλληλία των αποκρίσεων επιτρέπεται να γίνεται σύμφωνα με το άρθρο 2.6.1 της E39/99.

## 6 ΕΛΕΓΧΟΙ

### 6.1 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού

(1) Ισχύει ο συνδυασμός σχεδιασμού της 2.6.2(1) της E39/99.

(2) Η σεισμική δράση για τον σχεδιασμό του συστήματος μόνωσης θα λαμβάνεται σύμφωνα με την 6.2 και για τον σχεδιασμό της ανωδομής και υποδομής σύμφωνα με την 6.3.

### 6.2 Σύστημα σεισμικής μόνωσης

#### 6.2.1 Γενικά

(1) Η απαιτούμενη αυξημένη αξιοπιστία του συστήματος μόνωσης (βλ. 3.(4)) επιτυγχάνεται με τον σχεδιασμό κάθε στοιχείου του συστήματος μόνωσης με αυξημένες σεισμικές μετακινήσεις σχεδιασμού ( $d_{bi,a}$ ), σε σχέση με εκείνες που προκύπτουν από την ανάλυση ( $d_{bi,d}$ )

$$d_{bi,a} = \gamma_{is} d_{bi,d} \quad (6.1)$$

όπου

$$\gamma_{is} = 1,50 \quad (6.2)$$

(2) Η συνολική μέγιστη μετακίνηση κάθε μονωτήρα θα λαμβάνεται αθροίζοντας στις παραπάνω αυξημένες σεισμικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις που οφείλονται σε μόνιμες δράσεις, χρόνιες παραμορφώσεις της ανωδομής (συστολή ξήρανσης και ερπυσμό του σκυροδέματος) και το 50% της θερμικής δράσης σχεδιασμού.

(3) Όλα τα στοιχεία του συστήματος μόνωσης πρέπει να μελετηθούν ώστε να λειτουργούν με ασφάλεια στις συνολικές μέγιστες μετακινήσεις.

(4) Η αντοχή σχεδιασμού κάθε φέροντος τμήματος του συστήματος μόνωσης, συμπεριλαμβανομένης της αγκύρωσης του, πρέπει να είναι υψηλότερη από την μέγιστη δύναμη σχεδιασμού που δρα στο στοιχείο αυτό, που αντιστοιχεί στην αυξημένη συνολική μέγιστη μετακίνηση. Πρέπει επίσης να είναι υψηλότερη από την καταπόνηση σχεδιασμού λόγω ανεμοπίεσης στην ίδια διεύθυνση.

**Σημείωση:** Η μέγιστη αντίδραση υδραυλικού αποσβεστήρα (5.2.2.3) που αντιστοιχεί στην αυξημένη μετακίνηση  $d_{bi,a}$  μπορεί να ληφθεί από την αντίστοιχη μετακίνηση της ανάλυσης  $d_{bi,d}$  με πολλαπλασιασμό επί  $\gamma_{IS}^{a/2}$

(5) Στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης θα προβλέπονται για την προστασία κυρίων ή κρισίμων στοιχείων του έργου ή για τυχόν διάταξη stoppers, περιθώρια που θα υπερβαίνουν την αντίστοιχη συνολική σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού, σύμφωνα με την 6.2.1 (2), τουλάχιστον κατά 30%.

## 6.2.2 Ελαστομεταλλικά εφέδρανα

(1) Μονωτήρες που αποτελούνται από συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης θα ελέγχονται με τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων, σύμφωνα με τους κανόνες που δίνονται σ' αυτήν την ενότητα. Οι κανόνες αυτοί αφορούν αποκλειστικά τις σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού. Για τις μη σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού έχει εφαρμογή το EN 1337-3.

(2) Η μέγιστη ισοδύναμη διατμητική παραμόρφωση σε κάθε διεύθυνση σχεδιασμού του εφεδράνου ( $\epsilon_{b,d}$ ) θα υπολογίζεται ως το άθροισμα των ακόλουθων μεγεθών που αντιστοιχούν στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού:

$$\epsilon_{b,d} = \epsilon_{s,d} + \epsilon_{c,d} + \epsilon_{a,d} \quad (6.3)$$

όπου:

$\epsilon_{s,d}$  είναι η διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην συνολική μέγιστη μετακίνηση του εφεδράνου (βλ. 6.2.1 (2)).

$\epsilon_{c,d}$  είναι η διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού που οφείλεται στην αξονική θλίψη.

$\epsilon_{a,d}$  είναι η διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην συνολική στροφή σχεδιασμού του εφεδράνου.

(3) Τα μεγέθη  $\epsilon_{s,d}$ ,  $\epsilon_{c,d}$  και  $\epsilon_{a,d}$  υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω διατάξεις α, β και γ.

α. Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω μετακίνησης  $\epsilon_{sd}$  θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\varepsilon_{sd} = \frac{d_{Ed}}{\sum t_i} \quad (6.4)$$

όπου

$d_{Ed}$  η συνολική μέγιστη σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού του εφεδράνου, όπως ορίζεται στην 6.2.1 (2)

$$d_{Ed} = \sqrt{d_{Edx}^2 + d_{Edy}^2} \quad (6.5)$$

$d_{Edx}$ ,  $d_{Edy}$  οι σύγχρονες συνιστώσες της  $d_{Ed}$

$\sum t_i$  το συνολικό πάχος ελαστομερούς

β. Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω θλίψεως  $\varepsilon_{c,d}$  θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\varepsilon_{c,d} = \frac{1,5}{S} \cdot \frac{\sigma_e}{G_b} \quad (6.6)$$

όπου

$G_b$  το μέτρο διάτμησης του εφεδράνου με τιμές που ορίζονται στην 5.2.3 (6)

$\sigma_e$  η μέγιστη ενεργή ορθή τάση του εφεδράνου ίση προς  $N_{sd}/A_r$ , όπου

$N_{sd}$  το μέγιστο θλιπτικό φορτίο εφεδράνου υπό το σεισμικό συνδυασμό

$S$  ο συντελεστής σχήματος του εφεδράνου, ίσος προς  $b_x b_y / (2(b_x + b_y) t_i)$  για ορθογωνικά εφέδρανα και  $D / (4 t_i)$  για κυκλικά ( $t_i$  είναι το τυπικό πάχος μιας μεμονωμένης στρώσης του ελαστομερούς).

$A_r$  η ελάχιστη ενεργός επιφάνεια του εφεδράνου ίση προς  $(b_x - d_{Edx}) \cdot (b_y - d_{Edy})$  για ορθογωνικά εφέδρανα και  $(\delta - \sin \delta) D^2 / 4$  για κυκλικά με

$$\delta = 2 \arccos (d_{Ed} / D) \text{ και } d_{Ed} = \sqrt{d_{Edx}^2 + d_{Edy}^2}$$

γ. Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω στροφών θα υπολογίζεται για ορθογωνικά εφέδρανα από την σχέση

$$\gamma_a = (b_x^2 \alpha_x + b_y^2 \alpha_y) / (2 t_i \sum t_i) \quad (6.7)$$

όπου

$\alpha_x$  και  $\alpha_y$  είναι αντίστοιχα οι γωνίες στροφής περί άξονες εγκάρσιους προς τις διαστάσεις  $b_x$  και  $b_y$  των εφεδράνων.

Η ίδια παραμόρφωση για κυκλικά εφέδρανα διαμέτρου D θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\varepsilon_{a,d} = D^2 \alpha / (2t_i \Sigma t_i) \quad (6.8)$$

όπου

$$\alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$$

**Σημείωση:** Κατά κανόνα η επιρροή του  $\varepsilon_{ad}$  στις γέφυρες είναι μικρή. Σε περίπτωση προκατασκευασμένων δοκών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατασκευαστικές γωνιακές αποκλίσεις.

(4) Ο έλεγχος της μέγιστης ισοδύναμης διατμητικής παραμόρφωσης σχεδιασμού θα γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνθήκη (βλέπε (2) της 5.3.3 του EN 1337-3:2000)

$$\varepsilon_{b,d} \leq \frac{\varepsilon_{u,k}}{\gamma_m} \quad (6.9)$$

όπου:

$\varepsilon_{u,k} = 7.0$  και η τιμή του  $\gamma_m$  θα λαμβάνεται ίση με 1.15.

(5) Πέραν αυτού θα ελέγχεται ότι ικανοποιείται η απαίτηση:

$$\varepsilon_{s,d} \leq 2.0 \quad (6.10)$$

(6) Επί πλέον και για την εξασφάλιση της ευστάθειας του εφεδράνου, θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστο ένα από τα ακόλουθα κριτήρια

$$b_{\min} \geq 4 \Sigma t_i \quad \text{ή} \quad \sigma_e \leq \frac{2b_{\min}}{3 \Sigma t_i} G_b S \quad (6.11, 6.12)$$

(7) Η συνολική αξονική (κατακόρυφη) παραμόρφωση εφεδράνου  $d_z$  που οφείλεται σε αξονικό φορτίο του εφεδράνου  $N_s$  μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$d_z = \frac{N_s}{A_b} \Sigma t_i \left( \frac{1}{5 \cdot G_q S^2} + \frac{1}{E_b} \right) \quad (6.13)$$

όπου

$A_b$  είναι η επιφάνεια του εφεδράνου ( $b_x b_y$  για ορθογωνικά, και  $\pi D^2/4$  για κυκλικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα) και  $E_b$  η τιμή του μέτρου διόγκωσης του ελαστομερούς η οποία θα λαμβάνεται ίση με 2.000 MN/m<sup>2</sup>.

$G_q$  είναι η τιμή του συμβατού μέτρου διάτμησης όπως ορίζεται στην 5.2.3(5).

(8) Επιτρέπεται η μεταφορά της τέμνουσας δύναμης  $V_{Ed}$  του εφεδράνου η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη συνολική διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού  $\varepsilon_{sd}$ , μέσω τριβής, εφ' όσον ικανοποιούνται οι συνθήκες:

$$\frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \leq \alpha + \frac{\beta}{\sigma_e} \quad \text{και} \quad \sigma_e \geq 3,0 \text{ N/mm}^2 \quad (6.14\alpha. 6.14\beta)$$

όπου

$\alpha = 0,10$  για εφέδρανα με εξωτερική επιφάνεια ελαστικού

$= 0,50$  για εφέδρανα με εξωτερικά ανάγλυφα χαλυβδόφυλλα

$\beta = 0,60$  για έδραση του εφεδράνου σε σκυρόδεμα

$= 0,20$  για έδραση του εφεδράνου σε μεταλλική ή άλλη επιφάνεια

$N_{Ed}$  είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού του εφεδράνου, σύμφωνα με τους σεισμικούς συνδυασμούς σχεδιασμού.

$\sigma_e = N_{Ed} / A_r$  η ενεργός ορθή τάση σε  $\text{N/mm}^2$ .

Εφ' όσον δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες επιβάλλεται μεταφορά της τέμνουσας δύναμης στο σύνολό της με μηχανικά μέσα αγκύρωσης (π.χ. βλήτρα).

(9) Δεν επιτρέπεται ανασήκωμα ελαστομεταλλικών εφεδράνων (ανάπτυξη δύναμης εφελκυσμού), υπό τον σεισμικό συνδυασμό σχεδιασμού με σεισμική δράση ίση με την οριζόμενη στο άρθρο 4.

### 6.2.3 Εφέδρανα ολίσθησης

(1) Ο έλεγχος εφεδράνων ολίσθησης (επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης) που συμμετέχουν στο σύστημα σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την 5.2.2.4 (5), θα γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN1337-2 για σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού σύμφωνα με τις 6.2.1 (1) και (2).

### 6.3 Υποδομή και ανωδομή

(1) Οι εσωτερικές σεισμικές δυνάμεις  $E_{E,A}$  στα βάθρα και την ανωδομή θα λαμβάνονται από τα αποτελέσματα μιας κατάλληλης ανάλυσης σύμφωνα με το άρθρο 5.

(2) Οι σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού  $E_E$  μπορούν να ληφθούν από τις δυνάμεις  $E_{E,A}$  της (1), με διαίρεση με συντελεστή συμπεριφοράς, με τιμή που αντιστοιχεί σε ουσιαστικά ελαστική συμπεριφορά δηλαδή  $E_E = E_{E,A} / q$  με  $q \leq 1,50$ .

(3) Όλα τα στοιχεία θα ελέγχονται σε κάμψη ώστε να ικανοποιούν την ανίσωση  $E_d \leq R_d$ , όπου  $R_d$  είναι η αντοχή σχεδιασμού της διατομής και  $E_d$  είναι η ένταση σχεδιασμού του σεισμικού συνδυασμού δράσεων (βλ. 2.6.2 της Ε39/99) με συμβολή από την σεισμική δράση ίση με  $E_E$ .

(4) Ο έλεγχος σε διάτμηση καθώς και έλεγχος εδαφικής αστοχίας θα γίνεται με τον ίδιο συνδυασμό αλλά με συμβολή της σεισμικής δράσης ίση με  $qE_E$ .

(5) Οι σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού βάθρων που φέρουν μόνον εφέδρανα ολίσθησης σύμφωνα με την 5.2.2.4(5) θα υπολογίζονται με τις μέγιστες τιμές του συντελεστή τριβής που προκύπτει από τη διάταξη του EN1337-2-2002.

(6) Στην περίπτωση της παραπάνω παραγράφου (5) και αν το βάθρο φέρει και υδραυλικούς ιξώδεις αποσβεστήρες τότε:

α. Η σεισμική δύναμη σχεδιασμού στη διεύθυνση δράσης των αποσβεστήρων θα λαμβάνεται αυξημένη κατά τις μέγιστες σεισμικές δυνάμεις που αναλαμβάνουν οι αποσβεστήρες.

β. Η δύναμη σχεδιασμού υπό μη-σεισμικές δράσεις επιβεβλημένης παραμόρφωσης (μεταβολή θερμοκρασίας κλπ.) πρέπει να επαυξάνονται κατά την αντίδραση των αποσβεστήρων, η οποία επιτρέπεται να εκτιμηθεί στο 10% της μέγιστης σεισμικής αντίδρασης των αποσβεστήρων.

(7) Σε σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από συνδυασμό ελαστομεταλλικών εφεδράνων και υδραυλικών αποσβεστήρων που φέρονται από το ίδιο βάθρο, και στο οποίο γίνεται ανάλυση φασματικής απόκρισης με την θεμελιώδη ή με περισσότερες ιδιομορφές (7.5.4 ή 7.5.5), η διαφορά φάσης των μέγιστων αντιδράσεων μεταξύ στοιχείων με ελαστική και ιξώδη συμπεριφορά μπορεί να ληφθεί υπόψη με την ακόλουθη προσέγγιση. Οι σεισμικές αντιδράσεις θα πρέπει να υπολογιστούν για τις ακόλουθες καταστάσεις:

α. Στην κατάσταση μέγιστης μετακίνησης, που δίνεται από την σχέση (5.11). Η ταχύτητα μετακίνησης και επομένως και η αντίδραση των αποσβεστήρων στην κατάσταση αυτή είναι μηδενική.

β. Στην κατάσταση της μέγιστης ταχύτητας και μηδενικής μετακίνησης, οπότε αναπτύσσονται οι μέγιστες αντιδράσεις των αποσβεστήρων. Η μέγιστη ταχύτητα μπορεί να ληφθεί ίση με:

$$V_{\max} = 2\pi d_{bd}/T_{\text{eff}} \quad (6.15)$$

όπου  $d_d$  είναι η μέγιστη μετακίνηση αποσβεστήρα η οποία αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_c$  του συστήματος σεισμικής μόνωσης.



γ. Στην κατάσταση μέγιστης αδρανειακής δύναμης της ανωδομής, η οποία μπορεί να εκτιμηθεί ως ακολούθως:

$$F_{\max} = (f_1 + 2\xi_b f_2) \frac{S_e}{g} W_d \quad (6.16)$$

όπου  $\frac{S_e}{g}$  όπως προκύπτει από την σχέση (5.7) με  $k_{\text{eff}}$  σύμφωνα με την σχέση (5.4) (χωρίς συμβολή των αποσβεστήρων στην δυσκαμψία) και με:

$$f_1 = \cos[\arctan(2\xi_b)] \quad (6.17)$$

$$f_2 = \sin[\arctan(2\xi_b)] \quad (6.18)$$

όπου  $\xi_b$  είναι η συμβολή των αποσβεστήρων στην δρώσα απόσβεση  $\xi_{\text{eff}}$  της σχέσης (5.5). Στην κατάσταση αυτή η μετακίνηση ανέρχεται σε  $f_1 d_{\text{cd}}$  και η ταχύτητα των αποσβεστήρων σε  $u = f_2 u_{\text{max}}$ .

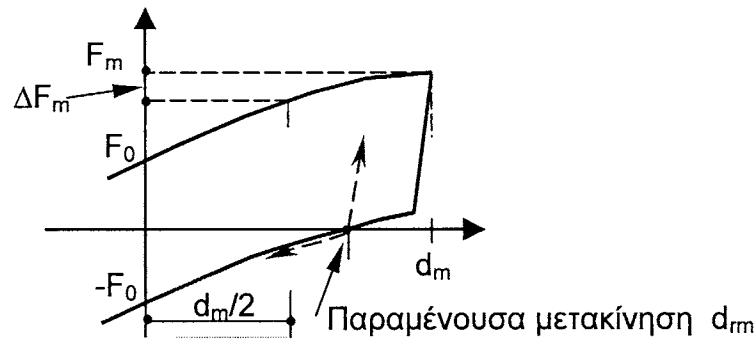
(8) Σε σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από συνδυασμό υδραυλικών αποσβεστήρων και ελαστομεταλλικών εφεδράνων χωρίς στοιχεία ολίσθησης και σε βάθρα που φέρουν εφέδρανα και αποσβεστήρες, όπως στην (7) παραπάνω, η δύναμη σχεδιασμού υπό μη-σεισμικές δράσεις επιβεβλημένης παραμόρφωσης (μεταβολή θερμοκρασίας κλπ.) επιτρέπεται να λαμβάνεται θεωρώντας μηδενική την αντίδραση των αποσβεστήρων.

## 7 ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

### 7.1 Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς

(1) Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να διαθέτει ικανότητα αυτοδύναμης οριζόντιας επαναφοράς σε όλες τις οριζόντιες διευθύνσεις. Η ικανότητα αυτή διατίθεται όταν το σύστημα έχει μία από τις ακόλουθες ιδιότητες και στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις (βλ. και Σχήμα 7).

- πολύ μικρή παραμένουσα μετακίνηση, σε σχέση με την ικανότητα μετακίνησης  $d_m$
- σε εκκίνηση από την θέση παραμένουσας μετακίνησης το σύστημα παρουσιάζει σημαντικά μικρότερη δυσκαμψία σε μετακίνηση με διεύθυνση προς το κέντρο απ' ότι στην αντίθετη διεύθυνση.



**Σχήμα 7: Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς**

(2) Η παραπάνω απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

$$\Delta F_m \geq 0.015 W_d d_{rm} / d_m \quad (7.1a)$$

$$d_{rm} \leq d_m - 0,5 d_{a,max} \quad (7.1b)$$

όπου

$\Delta F_m$  είναι η αύξηση της δύναμης από μετακίνηση ίση με  $d_m/2$  μέχρι μετακίνηση  $d_m$ ,  
 $W_d$  είναι το βάρος της μάζας της ανωδομής,

$d_m$  είναι η ικανότητα μετακίνησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση, και

$d_{rm}$  είναι η παραμένουσα μετακίνηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης, που αντιστοιχεί στην  $d_m$ , δηλαδή η παραμένουσα μετακίνηση μετά την αφαίρεση της δύναμης  $F_m$  που απαιτείται για την πρόκληση μετακίνησης  $d_m$

$d_{a,max}$  είναι η μέγιστη τιμή της σεισμικής μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης, αυξημένης σύμφωνα με την 6.2 (1).

(3) Ο υπολογισμός των μεγεθών  $d_{rm}$  και  $\Delta F_m$  επιτρέπεται να γίνει συντηρητικά με βάση τις ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων υπό δυναμικές συνθήκες.

**Σημείωση 1:** Συστήματα σεισμικής μόνωσης που ικανοποιούν την συνθήκες (7.1a και b), εμφανίζουν στην θέση παραμένουσας μετακίνησης επαρκώς μικρότερη δυσκαμψία σε μετακίνηση προς το κέντρο απ' ότι σε απομάκρυνση από το κέντρο. Κατά συνέπεια τέτοια συστήματα έχουν τάση επαναφοράς προς το κέντρο σε κάθε διαταραχή της ισορροπίας δυνάμεων. Για τον ίδιο λόγο η παραμένουσα μετακίνηση δεν χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη στον έλεγχο επάρκειας μετακίνησης μετά από ένα σεισμικό γεγονός.

**Σημείωση 2:** Σε σύστημα με διγραμμική υστερητική συμπεριφορά (βλ. 5.2.2.10) η παραμένουσα μετακίνηση  $d_{rm}$  μπορεί να υπολογιστεί από την  $d_r = F_0 / K_p = F_y / K_p - d_y$ , σε συνάρτηση προς την  $d_{rm}$ , όπως δείχνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Περιοχή $d_m$	$d_{rm}$
$d_r + 2d_y \leq d_m$	$d_r$
$d_y < d_m < d_r + 2d_y$	$d_r(d_m - d_y) / (d_r + d_y)$
$d_m \leq d_y$	0

## 7.2 Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης

- (1) Το συνολικό σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή περιορισμό μετακινήσεων στην οριζόντια διεύθυνση στην διεπιφάνεια μόνωσης προκειμένου να ικανοποιούνται όλες οι σχετικές απαιτήσεις των κριτηρίων λειτουργικότητας που αφορούν σε περιορισμό των μετακινήσεων.

**Σημείωση:** Απαιτήσεις αυτού του τύπου είναι συνήθως κρίσιμες σε σιδηροδρομικές γέφυρες.

(2) Αν, για την κάλυψη απαιτήσεων περιορισμού της σχετικής μετακίνησης μεταξύ φορέα και υποδομής υπό συνθήκες λειτουργίας, χρησιμοποιούνται σε κάποια στήριξη ή στηρίξεις θυσιαζόμενοι σύνδεσμοι (λειτουργία διακόπτου ασφαλείας) ενσωματωμένοι στο τελικό σύστημα της γέφυρας, τότε η ικανότητα διαρροής τους δεν πρέπει να υπερβαίνει το 40% της σεισμικής δύναμης που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης στην υπό εξέταση στήριξη και διεύθυνση. Αν δεν ικανοποιείται η απαίτηση αυτή, πρέπει να ελέγχεται η ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων (εκτός των σχετικών με κόπωση) των ισχυόντων μη σεισμικών κανονισμών (EN1992-2, EN1993-2 ή EN1994-3) για τα στοιχεία της γέφυρας που επηρεάζονται από την φόρτιση για την οποία διατάσσεται και διαστασιολογείται ο θυσιαζόμενος σύνδεσμος. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να εκτελείται με την φόρτιση αυτή αυξημένη ώστε η σχετική αντίδραση να φθάσει την διαρροή του συνδέσμου.

(3) Όταν η κάλυψη του περιορισμού μετακίνησης υπό συνθήκες λειτουργίας γίνεται μέσω συσκευής δυναμικής εμπλοκής (shock transmission unit) με λειτουργία άνω ορίου αντίδρασης, η λειτουργία της συσκευής πρέπει να συμπεριληφθεί στο σεισμικό προσομοίωμα και η συσκευή θα υπόκειται στους ελέγχους και τις δοκιμές των στοιχείων του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

## 7.3 Επιθεώρηση και Συντήρηση

(1) Για όλους τους μονωτήρες πρέπει να προβλέπεται η δυνατότητα πρόσβασης για επιθεώρηση, συντήρηση και πιθανή αντικατάσταση.

(2) Πρόγραμμα περιοδικής επιθεώρησης και συντήρησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης και όλων των στοιχείων που διαπερνούν τη διεπιφάνεια μόνωσης θα εκπονείται και θα εφαρμόζεται με μέριμνα του Κυρίου του έργου.

(3) Επισκευή, αντικατάσταση ή ενίσχυση οποιουδήποτε μονωτήρα ή στοιχείου που διαπερνά την διεπιφάνεια μόνωσης πρέπει να ικανοποιεί τις διατάξεις του παρόντος, να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του υπεύθυνου Μηχανικού και να καταγράφεται λεπτομερώς σε σχετική τεχνική έκθεση.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

#### A.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής

(1) Η αποδεκτή περιοχή τιμών για τα χαρακτηριστικά της σχέσης δύναμης-παραμόρφωσης και τις τιμές απόσβεσης των μονωτήρων που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση των γεφυρών με σεισμική μόνωση πρέπει να επιβεβαιώνονται με τις δοκιμές που δίνονται στο παρόν Παράρτημα.

(2) Οι Δοκιμές Προτύπων που καθορίζονται στην παράγραφο A.2 στοχεύουν στον καθορισμό ή επιβεβαίωση της αποδεκτής περιοχής τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων (βλ. A.2.3.3 R4). Οι δοκιμές αυτές αφορούν εν γένει ένα συγκεκριμένο έργο. Ωστόσο, υφιστάμενα αποτελέσματα δοκιμών που έγιναν σε δοκίμια παρόμοιου τύπου και μεγέθους και με παρόμοιες τιμές για τις παραμέτρους σχεδιασμού, είναι αποδεκτά. Οι δοκιμές αυτές δεν στοχεύουν σε διασφάλιση ποιοτικού ελέγχου των μονωτήρων.

(3) Σκοπός των δοκιμών της παραγράφου A.3 είναι να τεκμηριωθούν οι ιδιότητες των μονωτήρων που συνήθως δεν αφορούν ειδικά κάποιο συγκεκριμένο έργο.

(4) Πέρα από την επιβεβαίωση των ονομαστικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων, η οποία επιτυγχάνεται με την διεξαγωγή των Δοκιμών Προτύπων, η μεταβλητότητα των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων, λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων και παραγόντων που εξαρτώνται από τον χρόνο (ρύπανση, φθορά) θα πρέπει να προσδιορίζεται με τη διεξαγωγή ειδικών δοκιμών. Αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, η μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων μπορεί να υπολογίζεται βάσει των διατάξεων του άρθρου A.4.

#### A.2 Δοκιμές Προτύπων

##### A.2.1 Γενικά

(1) Οι δοκιμές για κάθε τύπο και μέγεθος μονωτήρα θα γίνονται τουλάχιστον σε δύο δοκίμια. Τα δοκίμια δεν θα πρέπει να έχουν υποστεί καμία οριζόντια ή κατακόρυφη φόρτιση πριν την διεξαγωγή των δοκιμών προτύπων.

(2) Γενικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δοκίμια σε φυσικό μέγεθος (κλίμακα 1:1). Επιτρέπεται χρήση δοκιμών υπό κλίμακα, κατόπιν έγκρισης της αρμόδιας αρχής, μόνο σε περίπτωση που οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις για την διεξαγωγή των δοκιμών δεν διαθέτουν την ικανότητα για δοκιμές επί δοκιμών φυσικού μεγέθους.

(3) Όταν χρησιμοποιούνται δοκίμια υπό κλίμακα, τα δοκίμια πρέπει να είναι του ίδιου υλικού και τύπου και, γεωμετρικά όμοια με τα δοκίμια φυσικού μεγέθους ενώ θα πρέπει να κατασκευάζονται ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και βάσει του ίδιου ελέγχου διασφάλισης ποιότητας.

(4) Τα δοκίμια επιτρέπεται να ενσωματωθούν στο έργο εφόσον έχουν υποστεί επιτυχώς της δοκιμές προτύπων.

#### A.2.2. Αλληλουχία δοκιμών

(1) Σε όλους τους μονωτήρες ίδιου τύπου και μεγέθους, πρέπει να διεξαχθεί η ακόλουθη αλληλουχία δοκιμών για έναν καθορισμένο αριθμό κύκλων, με κατακόρυφο φορτίο που θα ισούται με τη μέση τιμή του μόνιμου φορτίου.

T1 Τρεις πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στη μέγιστη θερμική μετακίνηση (με θετικό και αρνητικό πρόσημο), και με ταχύτητα δοκιμής όχι μικρότερη των 0,10 χιλιοστών / λεπτό.

T2 Είκοσι πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στη μέγιστη μη σεισμική δράση σχεδιασμού, με μέση συχνότητα δοκιμής 0,5Hz. Κατόπιν των κύκλων δοκιμών, η φόρτιση του δοκιμίου θα πρέπει να διατηρηθεί σταθερή για 1 λεπτό.

T3 Πέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στην αυξημένη σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού, σύμφωνα με την σχέση (6.1). Σε μονωτήρες των οποίων η συμπεριφορά εξαρτάται από την ταχύτητα φόρτισης (βλ. (2) παρακάτω) οι τρεις πρώτες από τις 5 φορτίσεις θα εκτελούνται με ταχύτητες 1, 1/4, 1/2, 3/4 της ταχύτητας που ορίζεται με βάση τη συχνότητα στην (2).

T4 Δεκαπέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στην μετακίνηση σχεδιασμού με εκκίνηση από την εκκεντρότητα που αντιστοιχεί στις μη σεισμικές δράσεις της σεισμικής κατάστασης σχεδιασμού σύμφωνα με την (2) της 6.2. Οι δεκαπέντε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις μπορούν να διεξαχθούν σε τρεις ομάδες των πέντε ανακυκλιζομένων φορτίσεων η κάθε μια. Ενδιάμεσα στις ομάδες των πέντε ανακυκλιζομένων φορτίσεων θα παρεμβάλλεται χρονικό διάστημα ικανό ώστε τα δοκίμια να ανακτήσουν την φυσιολογική θερμοκρασία τους.

T5 Επανάληψη της δοκιμής T2 μειώνοντας τον αριθμό κύκλων σε 3.

T6 Εάν ο μονωτήρας είναι στοιχείο που παραλαμβάνει κατακόρυφο φορτίο, τότε πρέπει να γίνουν επίσης δοκιμές για μια πλήρως ανακυκλιζόμενη φόρτιση στη συνολική σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού υπό τα ακόλουθα κατακόρυφα φορτία:

$$1.2 Q_G + \Delta F_{Ed}$$

$$0.8 Q_G + \Delta F_{Ed}$$

όπου:

$Q_G$  το μόνιμο κατακόρυφο φορτίο και

$\Delta F_{Ed}$  το επιπρόσθετο κατακόρυφο φορτίο λόγω ροπών ανατροπής που οφείλονται στη σεισμική καταπόνηση, κατά την μέγιστη απόκριση της κατασκευής κατά τον σεισμό σχεδιασμού.

(2) Οι δοκιμές T3, T4, και T6 θα πρέπει να διεξάγονται με συχνότητα ίση με το αντίστροφο της ενεργού περιόδου του συστήματος μόνωσης. Εξαιρέση στον κανόνα αυτό επιτρέπεται να γίνει για μονωτήρες των οποίων η συμπεριφορά δεν εξαρτάται από τον ρυθμό (ταχύτητα) φόρτισης. Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης ενός μονωτήρα θεωρούνται ότι δεν εξαρτώνται από την ταχύτητα φόρτισης όταν υπάρχει διαφορά μικρότερη του 15% στις τιμές  $F_0$  και  $K_p$  που καθορίζουν το βρόχο υστέρησης (βλέπε Σχήμα 1) όπως προκύπτουν από τρεις πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις κατά την μετατόπιση σχεδιασμού που διεξάγονται με συχνότητα που κυμαίνεται από 0,2 μέχρι 2,0 φορές της αντιστρόφου τιμής της ενεργού περιόδου του συστήματος μόνωσης.

### A.2.3 Καθορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού

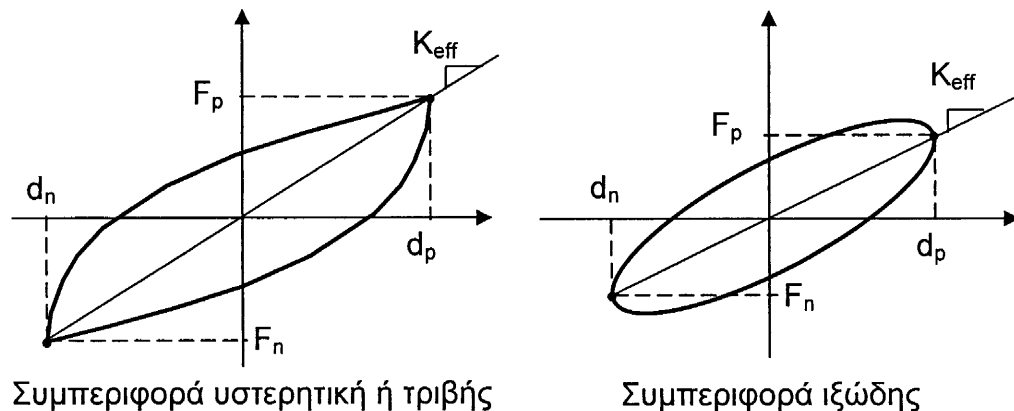
#### A.2.3.1 Χαρακτηριστικά Δύναμης – Μετατόπισης

(1) Η ενεργός δυσκαμψία ενός μονωτήρα θα υπολογίζεται για κάθε πλήρως ανακυκλιζόμενη φόρτιση, ως ακολούθως:

$$K_{eff} = (F_p - F_n) / (d_p - d_n) \quad (A.1)$$

όπου:

$d_p$  και  $d_n$  η μέγιστη θετική και αρνητική μετακίνηση της δοκιμής αντίστοιχα και  $F_p$  και  $F_n$  οι μέγιστες θετικές και αρνητικές δυνάμεις αντίστοιχα για μονωτήρες που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά και συμπεριφορά τριβής ή οι θετικές και αρνητικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στα  $d_p$  και  $d_n$  αντίστοιχα για μονωτήρες που παρουσιάζουν ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά (βλ. Σχήμα 1).



**Σχήμα A1**

### A.2.3.2 Χαρακτηριστικά Απόσβεσης

(1) Η ενέργεια  $E_{Di}$  που αποδίδεται ανά κύκλο φόρτισης ενός μονωτήρα  $i$  καθορίζεται ως η επιφάνεια του αντίστοιχου βρόχου υστέρησης κάθε μίας από τις πέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, της δοκιμής T3 της παραγράφου A.2.2

### A.2.3.3 Επάρκεια συστήματος

(1) Η απόκριση των δοκιμών θεωρείται ως επαρκής εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις:

- R1** Τα διαγράμματα δύναμης–μετατόπισης όλων των δοκιμών που καθορίζονται στην παράγραφο A.2.2 θα πρέπει να έχουν αύξουσα φέρουσα ικανότητα.
- R2** Στην δοκιμή T1 της παραγράφου A.2.2, η μέγιστη μετρούμενη δύναμη δε θα πρέπει να ξεπερνά τη τιμή σχεδιασμού κατά περισσότερο από 5%.
- R3** Στις δοκιμές T2 και T5 της παραγράφου A.2.2 η μέγιστη μετρούμενη μετατόπιση δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 95% της τιμής σχεδιασμού.
- R4** Στην δοκιμή T3 της παραγράφου A.2.2, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ενεργού δυσκαμψίας  $k_{eff}$  (και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών του διαγράμματος δύναμης-μετακίνησης) καθώς και της ενέργειας που αποσβένεται ανά κύκλο  $E_d$  θα προσδιορίζονται από την μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα, των μέσων όρων των τεσσάρων ζευγών διαδοχικών κύκλων της δοκιμής. Οι τιμές αυτές καθορίζουν τα μετρούμενα όρια των ονομαστικών τιμών των αντίστοιχων παραμέτρων. Τα όρια αυτά πρέπει να βρίσκονται μέσα στην αποδεκτή από την μελέτη περιοχή τιμών.
- R5** Ο λόγος ελάχιστη / μέγιστη ενεργός δυσκαμψία που μετρήθηκε στις δεκαπέντε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις κατά τη δοκιμή T4 δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,7.
- R6** Στην δοκιμή T4 της παραγράφου A.2.2 ο λόγος  $\min E_D / \max E_D$  που μετρήθηκε στις δεκαπέντε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,7.
- R7** Όλοι οι μονωτήρες που παραλαμβάνουν κατακόρυφο φορτίο πρέπει να παραμένουν ευσταθείς (δηλαδή να παρουσιάζουν αύξουσα δυσκαμψία) κατά την δοκιμή T6 της παραγράφου A.2.2
- R8** Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών, όλα τα δοκίμια θα πρέπει να ελεγχθούν για ενδείξεις σημαντικής φθοράς που μπορεί να στοιχειοθετήσει απόρριψη, όπως (όπου είναι σχετικό):
  - Ελαττωματική συνάφεια του ελαστομερούς υλικού και των χαλυβδοφύλλων
  - Ελαττωματική κατασκευή των επάλληλων στρώσεων ελαστομερούς υλικού και χαλυβδοφύλλων
  - Ρωγμές στην επιφάνεια ελαστομερούς υλικού που έχουν πλάτος ή βάθος μεγαλύτερο από το 70% του πάχους του στρώματος επικάλυψης από ελαστομερές υλικό.
  - Αποφλοίωση υλικού σε έκταση επιφάνειας μεγαλύτερης του 5% της επιφάνειας του εφεδράνου

- Ελαττωματική συνάφεια του PTFE και της ανοξειδωτής μεταλλικής σε έκταση επιφάνειας μεγαλύτερης του 5% της επιφάνειας συνάφειας του PTFE και ανοξειδωτής μεταλλικής επιφάνειας
- Εμφάνιση σε πλάκα από ανοξειδωτο χάλυβα αυλακώσεων με βάθος ή πλάτος μεγαλύτερο των 0,5 mm και μήκους μεγαλύτερου των 20 mm .
- Μόνιμη παραμόρφωση
- Διαρροή

### A.3 Λοιπές Δοκιμές

#### A.3.1 Δοκιμές Φθοράς και Κόπωσης

(1) Οι δοκιμές αυτές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την επίδραση της συσσωρευτικής διαδρομής λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και λόγω φόρτων κυκλοφορίας. Η συνολική διαδρομή θα πρέπει να αντιστοιχεί σε τουλάχιστον 30 έτη λειτουργίας.

(2) Για γέφυρες συνήθους μήκους (περίπου μέχρι 200m) και εκτός εάν τεκμηριώνεται βάσει υπολογισμών μια διαφορετική τιμή, μπορεί για τις δοκιμές φθοράς και κόπωσης ως ελάχιστη συνολική διαδρομή να ληφθεί η τιμή των 2000m.

#### A.3.2 Δοκιμές χαμηλής θερμοκρασίας

(1) Εάν οι μονωτήρες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, με τιμή «ελαχίστης θερμοκρασίας σεισμικού σχεδιασμού μονωτήρων»  $T_{min,b} < 0^{\circ}$ , τότε πρέπει να γίνει δοκιμή στη θερμοκρασία αυτή, που θα περιλαμβάνει 5 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στη μετατόπιση σχεδιασμού, ενώ οι λοιπές συνθήκες θα παραμείνουν όπως ορίζονται στη δοκιμή T3 της παραγράφου A.2.2. Το δοκίμιο θα κρατείται κάτω από την θερμοκρασία ψύξης για τουλάχιστον 2 ημέρες πριν από την δοκιμή.

**Σημείωση:** Όταν η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας σεισμικού σχεδιασμού μονωτήρων  $T_{min,b}$  δεν ορίζεται από τις Προδιαγραφές του έργου, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση :

$$T_{min,b} = \psi_2 T_{min} + \Delta T_r$$

όπου

$T_{min}$  είναι η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα υπό σκιάν στην περιοχή του έργου, με ετήσια πιθανότητα αρνητικής υπέρβασης 0,02 (σύμφωνα με το EN1991-1-5),

$\psi_2 = 0,50$  είναι ο συντελεστής συνδυασμού θερμικών δράσεων υπό σεισμικές συνθήκες, σύμφωνα με το EN1990 – Annex A2, και το

$\Delta T_r$  σύμφωνα με το Σχ. 6.1 του EN1991-1-5, έχει τις παρακάτω τιμές ανάλογα με το είδος του φορέα της γέφυρας :

Φορέας	Από σκυρόδεμα	Σύμμεικτος	Χαλύβδινος
$\Delta T_r$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	7,5	5,0	-2,5

(2) Στην δοκιμή της παραγράφου A.3.1, 10 % της συνολικής μετακίνησης πρέπει να επιβάλλεται σε θερμοκρασία  $T_{min,b}$ .



## A.4. Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων

### A.4.1 Γενικά

(1) Οι ακόλουθες παράγραφοι παρέχουν οδηγίες για την εκτίμηση της μεταβλητότητας των παραμέτρων σχεδιασμού μονωτήρων με σκοπό την εκτίμηση της Ανώτερης και Κατώτερης Τιμής Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ) που απαιτείται για το σχεδιασμό του συστήματος μόνωσης, σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.3.

(2) Γενικά οι ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ θα πρέπει να καθορίζονται βάσει κατάλληλων δοκιμών, στις οποίες εκτιμάται η επίδραση των ακόλουθων παραγόντων σε κάθε παράμετρο:

- f1: γήρανση (συμπεριλαμβανομένης της οξείδωσης)
- f2: θερμοκρασία
- f3: ρύπανση
- f4: συνολική διαδρομή (φθορά)

Γενικά οι παράμετροι σχεδιασμού της κυκλικής απόκρισης που επηρεάζονται από τους ανωτέρω παράγοντες είναι οι ακόλουθες (Βλέπε Σχ. 1 και Σχ. 3).

- Η μετελαστική δυσκαμψία  $K_p$
- Η δύναμη σε μηδενική μετατόπιση  $F_0$

(3) Η επίδραση καθενός από τους ανωτέρω παράγοντες  $f_i$  ( $i = 1$  έως 4) σε κάθε μια από τις παραμέτρους σχεδιασμού, θα πρέπει να εκτιμηθεί κατόπιν σύγκρισης των μέγιστων και ελάχιστων τιμών της παραμέτρου σχεδιασμού ( $\max DP_{fi}$  και  $\min DP_{fi}$ ) που προκύπτει από την επίδραση των συντελεστών  $f_i$ , στην μέγιστη και στην ελάχιστη ονομαστική τιμή της ίδιας παραμέτρου ( $\max DP_{nom}$  και  $\min DP_{nom}$ ) αντίστοιχα, όπως μετρήθηκε με τις δοκιμές προτύπων της παραγράφου Α.2. Οι ακόλουθοι λόγοι θα πρέπει να καθορίζονται για την επίδραση κάθε συντελεστή  $f_i$  στην υπό εξέταση παράμετρο σχεδιασμού.

$$\lambda_{\max,fi} = \max DP_{fi} / \max DP_{nom} \quad (A.2)$$

$$\lambda_{\min,fi} = \min DP_{fi} / \min DP_{nom} \quad (A.3)$$

(4) Η ενεργός ΑΤΠΣ που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό θα πρέπει να υπολογίζεται όπως φαίνεται στην συνέχεια

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \dots \lambda_{U,f4} \quad (A.4)$$

με

$$\lambda_{U,fi} = 1 + (\lambda_{\max,fi} - 1) \psi_{fi} \quad (A.5)$$

όπου οι συντελεστές συνδυασμού  $\psi_{fi}$  εκφράζουν την μειωμένη πιθανότητα ταυτόχρονης παρουσίας των μέγιστων δυσμενών επιδράσεων όλων των συντελεστών, με τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα Α.1:

Πίνακας Α.1: Συντελεστές Συνδυασμού $\psi_{fi}$	
Σπουδαιότητα Γέφυρας	$\psi_{fi}$
Μεγαλύτερη της μέσης	0.90
Μέση	0.70
Μικρότερη της μέσης	0.60

(5) Για την ενεργό ΚΤΠΣ (και τους σχετικούς συντελεστές μεταβλητότητας  $\lambda_{L,fi}$ ) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σχέσεις παρόμοιες προς τις σχέσεις (Α.4) και (Α.5) σε συνδυασμό με τους  $\lambda_{min,fi}$ . Ωστόσο, για τα κοινά ελαστομεταλλικά εφέδρανα και τους μονωτήρες ολίσθησης, γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι:

$$\lambda_{min,fi} = 1 \quad (A.6)$$

και κατά συνέπεια

$$ΚΤΠΣ = \min DP_{nom} \quad (A.7)$$

(6) Για υδραυλικούς αποσβεστήρες και απουσία ειδικών δοκιμών, μπορεί να υποτεθεί ότι:

$$\begin{aligned} ΑΤΠΣ &= \max DP_{nom} \\ ΚΤΠΣ &= \min DP_{nom} \end{aligned}$$

#### Α.4.2 Τιμές $\lambda_{max}$ για ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

(1) Εν απουσία αποτελεσμάτων κατάλληλων δοκιμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ΚΤΠΣ, οι τιμές  $\lambda_{max}$  που δίνονται στους παρακάτω πίνακες Α.2 μέχρι Α.5

Πίνακας Α.2 f1: Γήρανση		
Τύπος ελαστομεταλλικών εφεδράνων	$\lambda_{max,f1}$ για	
	$F_o$	$K_p$
LDRB	1.1	1.1
HDRB1	1.2	1.2
HDRB2	1.3	1.3
Πυρήνας μολύβδου	1.0	-

Με τον ακόλουθο συμβολισμό για τους τύπους ελαστομεταλλικών εφεδράνων:

LDRB: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης με μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο από 0,5 MPa

HDRB1: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης με  $\xi_{eff} \leq 0.15$  και με μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο από 0,5 MPa

HDRB2: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης με  $\xi_{eff} \geq 0.15$  ή με μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο από 0,5 MPa

Πυρήνας μολύβδου: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου

<b>Πίνακας Α.3</b> <b>f2: Θερμοκρασία</b>						
Θερμοκρασία Σχεδιασμού $T_{min,b}$ (° C)	$\lambda_{max,f2}$					
	$F_0$			$K_p$		
	LDRB	HDRB1	HDRB2	LDBR	HDRB1	HDRB2
20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2
-10	1.4	1.4	1.4	1.1	1.2	1.4
-30	1.5	2.0	2.5	1.3	1.4	2.0

<b>Πίνακας Α.4</b> <b>f3: Ρύπανση</b>
$\lambda_{max,f3} = 1,0$

Πίνακας Α.5 f4: Συνολική διαδρομή	
Ελαστομερές	$\lambda_{\max,f4} = 1,0$
Μόλυβδος	Απαιτούνται δοκιμές

#### A.4.3 Τιμές $\lambda_{max}$ για μονωτήρες ολίσθησης

(1) Εν απουσία αποτελεσμάτων καταλλήλων δοκιμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης σε μηδενική μετατόπιση  $F_0$  που αντιστοιχεί σε ΑΤΠΣ, οι τιμές  $\lambda_{max}$  που δίνονται στους ακόλουθους πίνακες Α.6 έως Α.9. Οι τιμές που δίνονται για PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο καλύπτουν επίσης τους Σφαιρικούς Μονωτήρες Ολίσθησης (Εφέδρανα FPS).

<b>Πίνακας Α.6</b> <b>f1: Γήρανση</b>						
Στοιχείο	$\lambda_{max,f1}$					
	PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο		PTFE με λιπαντικό μέσο		Διμεταλλική Διεπιφάνεια	
	Προστατευτική σφράγιση μονωτήρα:		Προστατευτική σφράγιση μονωτήρα:		Προστατευτική σφράγιση μονωτήρα:	
	NAI	OXI	NAI	OXI	NAI	OXI
Περιβαλλοντικές Συνθήκες						
Κανονικές	1,1	1,2	1,3	1,4	2,0	2,2
Ακραίες	1,2	1,5	1,4	1,8	2,2	2,5

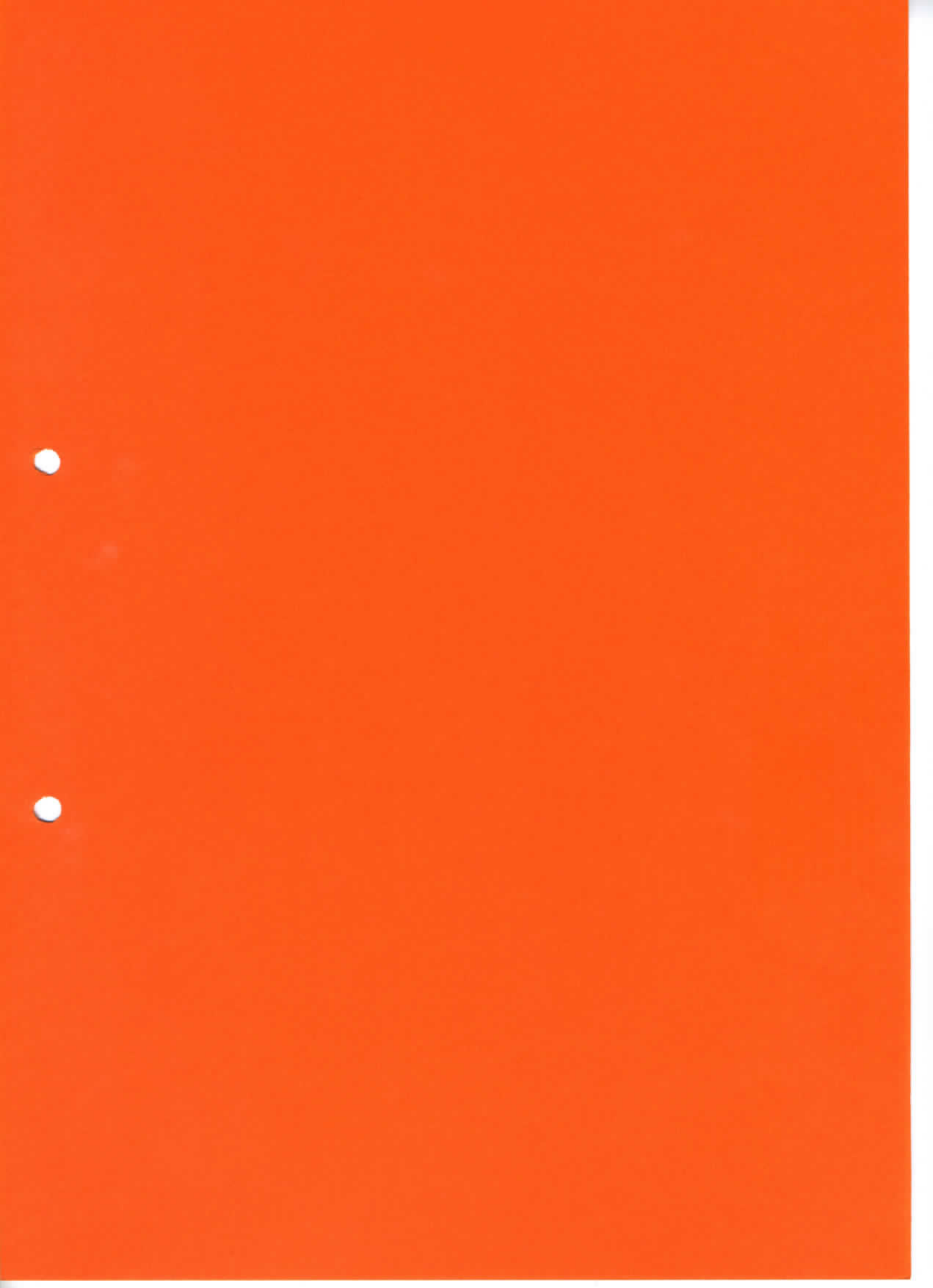
<b>Πίνακας Α.7</b> <b>f2: Θερμοκρασία</b>			
Θερμοκρασία Σχεδιασμού	$\lambda_{\max, f2}$		
$T_{\min, b}$	PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο	PTFE με λιπαντικό μέσο	Διμεταλλική Διεπιφάνεια
20	1,0	1,0	Απαιτούνται δοκιμές
0	1,1	1,3	
-10	1,2	2,5	
-30	1,5	3,0	

<b>Πίνακας Α.8</b> <b>f3: Ρύπανση</b>			
	$\lambda_{\max, f3}$		
Τρόπος εγκατάστασης	PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο	PTFE με λιπαντικό μέσο	Διμεταλλική Διεπιφάνεια
Μονωτήρας με προστατευτική σφράγιση, επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα κάτω	1.0	1.0	1.0
Μονωτήρας με προστατευτική σφράγιση, επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα επάνω	1.1	1.1	1.1
Μονωτήρας χωρίς προστατευτική σφράγιση, επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα κάτω	1,2	3.0	1.1

<b>Πίνακας Α.9</b> <b>f4: Συνολική διαδρομή</b>			
	$\lambda_{\max, f4}$		
Συνολική διαδρομή (km)	PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο	PTFE με λιπαντικό μέσο	Διμεταλλική Διεπιφάνεια
$\leq 1.0$	1.0	1.0	Απαιτούνται δοκιμές
$1.0 < \text{και} \leq 2$	1,2	1.0	

(2) Τα παραπάνω στοιχεία ισχύουν με τις ακόλουθες παραδοχές:

- Πίνακας Α.6
  - Γίνεται παραδοχή ότι οι πλάκες ολίσθησης είναι από ανοξείδωτο χάλυβα
  - Όταν δεν προβλέπεται προστατευτική σφράγιση των μονωτήρων θεωρούνται εκτεθειμένοι σε νερό και αλάτι
  - Ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες περιλαμβάνουν συνθήκες θαλάσσιου και βιομηχανικού περιβάλλοντος
  - Οι τιμές για διμεταλλική διεπιφάνεια αφορούν διεπιφάνεια μεταξύ ανοξείδωτου χάλυβα και μπρούντζου
- Πίνακας Α.8
  - Θεωρείται ότι η προστατευτική σφράγιση των μονωτήρων προσφέρει προστασία από τη ρύπανση υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας.



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ  
ΜΕ ΤΙΤΛΟ

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

**ΤΕΥΧΟΣ Β-2**  
ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ  
ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:** 1<sup>η</sup>, 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. Παρίση 40  
Νέο Ψυχικό  
15451 Αθήνα  
Τηλ.: 210 67 77 115  
210 67 28 657  
Fax: 210 67 28 658

ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

# **ΠΡΟΣΧΕΔΙΟ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ**

Ιούλιος 2007



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. <b>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ</b> .....	1
2. <b>ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ</b> .....	1
2.1 Ορισμοί .....	1
2.2 Σύμβολα.....	3
3. <b>ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ</b> .....	6
4. <b>ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ</b> .....	7
4.1 Φάσματα Σχεδιασμού .....	7
4.2 Σεισμικές ιστορίες .....	7
5. <b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</b> .....	9
5.1 Γενικά.....	9
5.2 Ιδιότητες του συστήματος μόνωσης .....	9
5.2.1 Δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση .....	9
5.2.2 Ιδιότητες σε οριζόντιες διευθύνσεις .....	10
5.2.3 Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων .....	15
5.3 Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης.....	17
5.4 Μέθοδος ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος .....	17
5.5 Μέθοδος φασματικής απόκρισης .....	21
5.6 Ανάλυση ιστορίας .....	22
5.7 Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας.....	23
6. <b>ΕΛΕΓΧΟΙ</b> .....	23
6.1 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού .....	23
6.2 Σύστημα σεισμικής μόνωσης .....	23
6.3 Υποδομή και ανωδομή.....	28
6.3.1 Γενικά.....	28
6.3.2 Σχετική μεταθετότητα ορόφων .....	29
6.3.3 Όρια τέμνουσας βάσης .....	29
6.3.4 Προσαρτήματα.....	29
7. <b>ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</b> .....	29
7.1 Συστάσεις για την διαμόρφωση του φορέα κοντά στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης .....	29
7.2 Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς .....	30
7.3 Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης .....	31
7.4 Άλλες απαιτήσεις .....	32
7.5 Επιθεώρηση και συντήρηση .....	32
7.6 Πυροπροστασία.....	33

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....</b>	<b>34</b>
<b>ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ</b>	
<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ</b>	
A.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής.....	34
A.2 Δοκιμές Προτύπων .....	34
A.3 Λοιπές Δοκιμές .....	39
A.4. Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων .....	39
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .....</b>	<b>44</b>
<b>ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΙΩΝ</b>	
B.1 Κριτική εξέταση σχεδιασμού και δοκιμών του συστήματος μόνωσης.	44

## 1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

(1) Οι παρούσες οδηγίες αφορούν την μελέτη κτιρίων με ειδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης, με το οποίο επιτυγχάνεται μείωση ή/και βελτίωση της σεισμικής απόκρισης που οφείλεται στις οριζόντιες σεισμικές δράσεις. Οι μονάδες οι οποίες συνθέτουν το σύστημα σεισμικής μόνωσης, διατάσσονται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης του κτιρίου.

(2) Η μείωση ή βελτίωση της απόκρισης επιτυγχάνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

- με επιμήκυνση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της κατασκευής (επίδραση της μετάθεσης της περιόδου στο φάσμα σχεδιασμού), με την οποία επιτυγχάνεται μείωση των σεισμικών δυνάμεων, αλλά με αύξηση των μετακινήσεων
- με αύξηση της ικανότητας απόσβεσης, με την οποία επιτυγχάνεται μείωση των σεισμικών μετακινήσεων και ενδεχομένως των δυνάμεων
- με συνδυασμό (κατά προτίμηση) των επιδράσεων και των δύο πιο πάνω παραγόντων

**Σημείωση:** Οι επισημάνσεις που ακολουθούν δίνονται υπό μορφή γενικών κατευθύνσεων που αφορούν στην σκοπιμότητα επιλογής λύσης σεισμικής μόνωσης για ένα κτίριο:

α. Όσον μεγαλύτερη είναι η περίοδος  $T_2$  του φάσματος απόκρισης (π.χ. για κατηγορία εδάφους Δ), τόσο μικρότερη είναι η μείωση της σεισμικής απόκρισης που επιτυγχάνεται από σεισμική μόνωση, μέσω της επιμήκυνσης της θεμελιώδους περιόδου του κτιρίου, και επομένως τόσο λιγότερο αποδοτική είναι μια λύση σεισμικής μόνωσης.

β. Ανάλογα μειωμένη είναι η επίδραση του ίδιου παράγοντα, όταν η ιδιοπερίοδος λύσης μη σεισμικά μονωμένου κτιρίου είναι ήδη μεγάλη. δηλαδή βρίσκεται ήδη μακριά από την περιοχή των υψηλών επιταχύνσεων του φάσματος, π.χ. υψηλά κτίρια. Στην περίπτωση αυτή μείωση της σεισμικής απόκρισης μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της απόσβεσης, μέσω αποσβεστήρων. Το παρών Προσχέδιο Οδηγιών δεν καλύπτει την μελέτη κτιρίων στα οποία εφαρμόζονται αποσβεστήρες κατανεμημένοι καθ' ύψος στην ανωδομή της κατασκευής.

γ. Αντίθετα προσφέρεται ιδιαίτερα λύση σεισμικής μόνωσης σε περιπτώσεις κτιρίων σε περιοχές με υψηλή σεισμική δράση, όταν η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της κατασκευής είναι χαμηλή.

δ. Η σεισμική μόνωση δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αυτοτελώς τις πρωτογενείς συνέπειες ρευστοποίησης του εδάφους θεμελίωσης.

## 2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ

### 2.1 Ορισμοί

**Σύστημα σεισμικής μόνωσης** είναι το σύνολο των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της σεισμικής μόνωσης του έργου. Τα στοιχεία αυτά διατάσσονται στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης του έργου.

**Μονωτήρες:** είναι τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν το σύστημα σεισμικής μόνωσης. Κάθε μονωτήρας παρέχει είτε μια, είτε συνδυασμό των παρακάτω λειτουργιών:

- Ανάληψη κατακόρυφων φορτίων σε συνδυασμό με μειωμένη δυσκαμψία στο οριζόντιο επίπεδο και υψηλή δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση

- Απόδοση ενέργειας (απόσβεση) μορφής ιξώδους, υστερητικής ή τριβής
- Επαρκή ικανότητα επαναφοράς του κτιρίου προς την πριν τον σεισμό θέση του
- Περιορισμό της οριζόντιας μετακίνησης του κτιρίου (επαρκή ελαστική δυσκαμψία) υπό οριζόντιες, μη-σεισμικές δράσεις λειτουργίας

**Δυσκαμψία μονωτήρα ή άλλου στοιχείου:** στο κείμενο αυτό σημαίνει την αντίσταση ανά μονάδα μετακίνησης στην διεύθυνση παραμόρφωσης του μονωτήρα ή του στοιχείου (π.χ. δυσστησία για διατμητική παραμόρφωση ή δυστένεια για αξονική παραμόρφωση). Ανάλογα ισχύουν για τον όρο ευκαμψία.

**Διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης:** είναι η συνοριακή επιφάνεια μεταξύ του σεισμικώς μονωμένου τμήματος του έργου (δηλ. της ανωδομής) και του μη-σεισμικώς μονωμένου τμήματος της κατασκευής (δηλ. της υποδομής), στην οποία τοποθετούνται τα στοιχεία του συστήματος μόνωσης. Η διεπιφάνεια μόνωσης μπορεί να εκτείνεται είτε σε ένα οριζόντιο επίπεδο είτε σε διαφορετικές στάθμες.

**Υποδομή:** είναι το τμήμα του κτιρίου που βρίσκεται κάτω από την διεπιφάνεια μόνωσης. Πρόκειται συνήθως για τους υπόγειους ορόφους ή την θεμελίωση του κτιρίου. Σε κτίρια, η ευκαμψία της υποδομής στο οριζόντιο επίπεδο είναι κατά κανόνα πολύ μικρότερη από την ευκαμψία του συστήματος μόνωσης και στην περίπτωση αυτή δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό.

**Ανωδομή:** είναι το τμήμα του φορέα που βρίσκεται πάνω από την διεπιφάνεια μόνωσης.

**Κέντρο δυσκαμψίας:** είναι το κέντρο δυσκαμψίας  $c$  στο πάνω μέρος της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης που προσδιορίζεται με την παραδοχή στερεής ανωδομής αλλά λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική δυσκαμψία των μονωτήρων.

**Μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{cd}$ )** του συστήματος σεισμικής μόνωσης κατά μια κύρια διεύθυνση είναι η μέγιστη οριζόντια μετακίνηση του κέντρου δυσκαμψίας  $c$  υπό την σεισμική δράση σχεδιασμού.

**Μετακίνηση ( $d_{bi}$ )** ενός μονωτήρα  $i$  είναι η σχετική μετακίνηση της ανωδομής ως προς την υποδομή στην θέση του μονωτήρα.

**Μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{bi,d}$ )** ενός μονωτήρα  $i$  είναι η μετακίνηση του μονωτήρα που αντιστοιχεί στην σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{cd}$ ) κατά την εξεταζόμενη διεύθυνση.

**Αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού ( $d_{bi,a}$ )** ενός μονωτήρα  $i$  είναι η μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα ( $d_{bi,d}$ ) πολλαπλασιασμένη επί τον συντελεστή μεγέθυνσης  $\gamma_{is}$  της 6.2.

**Συνολική μέγιστη μετακίνηση** ενός μονωτήρα είναι η αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα ( $d_{bi,a}$ ) προσαυξημένη κατά την σχετική μετακίνηση του, που οφείλεται στις μόνιμες και οιονεί μόνιμες δράσεις σχεδιασμού.

**Ενεργός δυσκαμψία** του συνολικού συστήματος κατά μια κύρια διεύθυνση είναι ο λόγος της απόλυτης τιμής της συνολικής οριζόντιας δύναμης η οποία μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης, κατά την μετακίνηση σχεδιασμού στην ίδια διεύθυνση, ως προς την απόλυτη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού.

**Ενεργός ιδιοπερίοδος:** είναι η θεμελιώδης περίοδος, στην υπό εξέταση διεύθυνση, ενός μονοβάθμιου συστήματος ταλάντωσης, το οποίο έχει την μάζα της ανωδομής και δυσκαμψία ίση με την ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 5.4.

**Ενεργός απόσβεση** του συνολικού συστήματος είναι η τιμή της ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης, η οποία αντιστοιχεί στην ενέργεια που αποσβένεται τόσο από το συνολικό σύστημα κατά την διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης-στην μετακίνηση σχεδιασμού, όσον και από τον υπόλοιπο φορέα.

**Μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας** είναι μη-γραμμική δυναμική ανάλυση στην οποία η σεισμική διέγερση και η απόκριση του φορέα λαμβάνονται με μορφή χρονοϊστορίας. Συνήθως η διέγερση ορίζεται από επιταχυνσιογραφήματα.

**Οριζόντιες φορτίσεις λειτουργικότητας:** οριζόντια δύναμη λόγω ανεμοπίεσης σχεδιασμού

**Συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα** είναι ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης, σύμφωνα με το EN1337-3-2005. Τα εφέδρανα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να έχουν υποστεί τις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α.

**Ειδικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα** είναι εφέδρανα που έχουν υποστεί επιτυχώς τις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α.

## 2.2 Σύμβολα

$A_g$	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στην κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου
$A_{g,475}$	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον σεισμό σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 475 έτη
$A_b$	ενεργός επιφάνεια ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$d_b$	μετακίνηση μονωτήρα, δηλαδή σχετική μετακίνηση ανωδομής και υποδομής στην θέση του μονωτήρα
$d_{bi}$	μετακίνηση του μονωτήρα $i$

$d_{bd}$	μετακίνηση σχεδιασμού ενός μονωτήρα, δηλαδή σχετική μετακίνηση που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{cd}$ του συστήματος σεισμικής μόνωσης
$d_{bi,d}$	μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα $i$
$d_{bi,a}$	αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα $i$
$d_{cd}$	μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση
$d_{cf}$	μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης όπως υπολογίζεται με την μέθοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος
$d_{id}$	μετακίνηση της ανωδομής στην θέση του μονωτήρα $i$ που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{cd}$ του συστήματος σεισμικής μόνωσης
$d_m$	ικανότητα μετακίνησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση
$d_n$	ελάχιστη αρνητική μετακίνηση στην δοκιμή
$d_p$	μέγιστη θετική μετακίνηση στην δοκιμή
$d_{rm}$	παραμένουσα μετακίνηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης που αντιστοιχεί στην $d_m$
$d_y$	μετακίνηση διαρροής
$e_{tot,x}$	συνολική εκκεντρότητα μεταξύ της κατακόρυφης προβολής του κέντρου μάζας της ανωδομής στην διεπιφάνεια μόνωσης και του κέντρου ενεργού δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης η οποία συμπεριλαμβάνει και την τυχηματική εκκεντρότητα $e_{tot,x} = e_{acc} + e_x$
$e_{acc}$	τυχηματική εκκεντρότητα ίση προς 5% της μέγιστης διάστασης του κτιρίου σε κάτοψη, κάθετα προς την εξεταζόμενη διεύθυνση
$e_x$	εκκεντρότητα στην διεύθυνση $X$ του κτιρίου
$E_d$	ένταση σχεδιασμού του σεισμικού συνδυασμού δράσεων
$E_D$	αποσβενόμενη ενέργεια μονωτήρα ανά κύκλο φόρτισης στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{bd}$
$E_{Di}$	αποσβενόμενη ενέργεια από τον μονωτήρα $i$ ανά κύκλο φόρτισης στην μετακίνηση σχεδιασμού $d_{bi,d}$
$E_E$	εντατικά μεγέθη σχεδιασμού λόγω σεισμικής φόρτισης
$E_{E,A}$	εντατικά μεγέθη λόγω σεισμικής φόρτισης όπως προκύπτουν από την ανάλυση
$F_{max}$	μέγιστη δύναμη, που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού
$F_n$	ελάχιστη αρνητική δύναμη για μονωτήρες που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά και συμπεριφορά τριβής ή αρνητική δύναμη που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $d_n$ για μονωτήρες που παρουσιάζουν ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά
$F_{Ly}$	δύναμη διαρροής του μολύβδινου πυρήνα
$F_p$	μέγιστη θετική δύναμη για μονωτήρες που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά και συμπεριφορά τριβής ή θετική δύναμη που αντιστοιχεί σε μετακίνηση $d_p$ για μονωτήρες που παρουσιάζουν ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά
$F_y$	δύναμη διαρροής υπό μονοτονική φόρτιση
$F_o$	δύναμη σε μηδενική μετακίνηση

$G_b$	μέτρο διάτμησης ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$G_g$	τιμή του «φαινομένου συμβατικού μέτρου διάτμησης» ελαστομεταλλικού εφεδράνου
$K_e$	ελαστική δυσκαμψία του μονωτήρα υπό μονοτονική φόρτιση, ίση με την δυσκαμψία αποφόρτισης υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση
$K_{eff}$	ενεργός δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης κατά την εξεταζόμενη κύρια οριζόντια διεύθυνση, για μετακίνηση ίση με τη μετακίνηση σχεδιασμού $d_{cd}$
$K_{eff,i}$	ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα $i$ κάτω από τις ίδιες συνθήκες
$K_L$	δυσκαμψία του μολύβδινου πυρήνα
$K_p$	μετελαστική (εφαπτομενική) δυσκαμψία του μονωτήρα μετά την διαρροή
$K_R$	δυσκαμψία ελαστομεταλλικού τμήματος του εφεδράνου
$K_{xi}$	ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα $i$ στην διεύθυνση $x$
$K_{yi}$	ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα $i$ στην διεύθυνση $y$
$N_{sd}$	αξονική δύναμη που μεταφέρεται από τον μονωτήρα
$Q_G$	μόνιμο κατακόρυφο φορτίο μονωτήρα
$Q_k$	κατακόρυφο φορτίο μονωτήρα λόγω μεταβλητών δράσεων
$r$	ακτίνα αδράνειας της μάζας της ανωδομής ως προς τον κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο της μάζας της ανωδομής
$R_b$	ακτίνα σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης
$R_d$	αντοχή σχεδιασμού της διατομής
$\text{sign}(\dot{d}_b)$	πρόσημο του ανύσματος της ταχύτητας μετακίνησης $\dot{d}_b$
$t_e$	συνολικό πάχος του ελαστομερούς
$T_{eff}$	ενεργός ιδιοπερίοδος του συστήματος μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση
$T_v$	περίοδος της πρώτης ιδιομορφής στην οποία δεσπόζουν οι κατακόρυφες μετακινήσεις
$T_2$	όριο μεταξύ περιοχών σταθερής επιτάχυνσης και σταθερής ταχύτητας του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4 του ΕΑΚ 2000
$T_C$	$= T_2$
$T_D$	όριο μεταξύ περιοχών σταθερής ταχύτητας και σταθερής μετακίνησης του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού, όπως ορίζεται στην 4.1
$T_{min,b}$	ελάχιστη θερμοκρασία σεισμικού σχεδιασμού μονωτήρων
$v$	ταχύτητα κίνησης αποσβεστήρων
$v_{max}$	μέγιστη ταχύτητα
$V_d$	μέγιστη τέμνουσα που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης
$V_f$	τέμνουσα που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης όπως προκύπτει με την μέθοδο ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος
$W_d$	βάρος της μάζας της ανωδομής
$x_i$	τεταγμένη του υποστυλώματος $i$ ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας
$y_i$	τετμημένη του υποστυλώματος $i$ του ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας
$\alpha$	εκθέτης της ταχύτητας που καθορίζει την αντίδραση υδραυλικού αποσβεστήρα
$\alpha_g$	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ανηγμένη ως προς $g$

$\gamma_i$	συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου (βλ. ΕΑΚ 2000, Πίνακας 2.3)
$\Delta F_{Ed}$	επιπρόσθετο κατακόρυφο φορτίο λόγω ροπών ανατροπής
$\Delta F_m$	αύξηση της δύναμης από μετακίνηση ίση με $d_m/2$ μέχρι μετακίνηση $d_m$
$\mu_d$	συντελεστής δυναμικής τριβής
$\xi$	ιξώδης απόσβεση
$\xi_b$	συμβολή των αποσβεστήρων στην δρώσα απόσβεση $\xi_{eff}$
$\xi_{eff}$	ενεργός απόσβεση του συνολικού συστήματος
$\Sigma E_{D,bi}$	άθροισμα των αποσβενομένων ενεργειών όλων των μονωτήρων $i$
$\psi_{fi}$	συντελεστές συνδυασμού επιδράσεων (βλ. Α.4.1)

### 3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

- (1) Πρέπει να ικανοποιούνται οι βασικές απαιτήσεις που διέπουν τον σεισμικό σχεδιασμό συμβατικών (χωρίς σεισμική μόνωση) κτιρίων.
- (2) Η σεισμική απόκριση της ανωδομής και της υποδομής πρέπει να παραμένει ουσιαστικά ελαστική.
- (3) Το κτίριο θεωρείται ότι ικανοποιεί τις παραπάνω βασικές απαιτήσεις, αν ο σχεδιασμός πραγματοποιηθεί σύμφωνα με διαδικασίες που αναφέρονται στα άρθρα 4 και 5 και ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που καθορίζονται στα άρθρα 6, και 7.
- (4) Απαιτείται αυξημένη αξιοπιστία για την αντοχή και την ακεραιότητα του συστήματος μόνωσης, λόγω της κρισιμότητας που έχει η ικανότητα μετακίνησής του για την συνολική ασφάλεια της κατασκευής. Αυτή η αξιοπιστία θεωρείται ότι επιτυγχάνεται εφόσον το σύστημα μόνωσης σχεδιασθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του άρθρου 6.2
- (5) Οι παράμετροι σχεδιασμού όλων των μονωτήρων, με εξαίρεση τα συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.2(5) και τα εφέδρανα ολίσθησης σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.4(5), θα πρέπει να προσδιορίζονται είτε να επιβεβαιώνονται με τις Δοκιμές Προτύπων που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.
- (6) Συστάσεις για την διαμόρφωση του φορέα κοντά στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης δίνονται στην 7.1.

### 4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

#### 4.1 Φάσματα σχεδιασμού

- (1) Γενικά, πρέπει τα φάσματα σχεδιασμού (για τις οριζόντιες και κατακόρυφες συνιστώσες), να μην υπολείπονται των αντίστοιχων ελαστικών φασμάτων απόκρισης που ορίζονται στο Παράρτημα Α.1 του ΕΑΚ 2000, με τις ακόλουθες τροποποιήσεις.



- Οριζόντιες συνιστώσες

Στην περιοχή  $T > T_D$  όπου  $T_C = T_2$  και  $T_D = 2.50 \text{ sec}$ .

$$\Phi_e(T) = A_{\gamma 1} \beta_0 \frac{T_C T_D}{T^2} \quad (4.1)$$

- Κατακόρυφη συνιστώσα

$A_v = 0.9A$ ,  $\beta_0 = 3,0$ ,  $T_1 = 0.05 \text{ sec}$ ,  $T_C = T_2 = 0.15 \text{ sec}$  για όλες τις κατηγορίες εδάφους.

Στην περιοχή  $T > T_D = 1.0 \text{ sec}$  ισχύει η (4.1) με τις οριζόμενες εδώ τιμές για τα  $A_v$ ,  $T_C$  και  $T_D$ .

(2) Το άρθρο 5.1.2 του ΕΑΚ2000 εφαρμόζεται ως εξής: Όταν η θέση του έργου βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 5 χιλιομέτρων από γνωστή σεισμογόνο ζώνη, η οποία μπορεί να προκαλέσει σεισμό Μεγέθους Σεισμικής Ροπής μεγαλύτερου από 6,5 ή που οφείλεται σε διάρρηξη σε καταβυθιζόμενη τεκτονική πλάκα, τότε πρέπει να γίνει ειδική εδαφοδυναμική μελέτη ώστε να προσδιοριστεί και να χρησιμοποιηθεί ειδικό τοπικό φάσμα σχεδιασμού και αντίστοιχα επιταχυνσιογραφήματα, στα οποία να έχουν ληφθεί υπόψη οι ιδιαιτερότητες της σεισμικής διέγερσης κοντά σε σεισμογόνο ζώνη καθώς και οι ιδιότητες του εδάφους της περιοχής του έργου.

**Σημείωση:** Σεισμοτεκτονικό ρήγμα θεωρείται ενεργό, και επομένως δυνητικά σεισμογόνο, όταν εμφανίζει μέσο ιστορικό ρυθμό ολίσθησης τουλάχιστον 1mm/έτος και υπάρχουν γεωγραφικές μαρτυρίες σεισμογόνου δραστηριότητας μέσα στην Ολόκαινη περίοδο (στα τελευταία 11000 χρόνια]

## 4.2 Σεισμικές χρονοϊστορίες

(1) Για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση με την μέθοδο της χρονοϊστορίας, πρέπει να χρησιμοποιούνται το λιγότερο τρία ζεύγη οριζοντίων συνιστωσών χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης. Όταν δεν γίνει ειδική εδαφοδυναμική μελέτη προσδιορισμού της σεισμικής δράσης στην περιοχή του έργου (όπως π.χ. η μελέτη που προβλέπεται από το 4.1(2)), τότε τα ζεύγη αυτά πρέπει κατά προτίμηση και στο μέτρο του εφικτού να επιλέγονται από καταγραφές σεισμών με μέγεθος, αποστάσεις πηγής και μηχανισμό γένεσης συμβατά με εκείνα που ορίζουν την σεισμική κίνηση σχεδιασμού της 4.1, και θα εφαρμόζεται η διαδικασία που προβλέπεται στις παραγράφους (2) έως (6) παρακάτω.

(2) Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμος ο απαιτούμενος αριθμός ζευγών κατάλληλων πραγματικών επιταχυνσιογραφημάτων, ο απαιτούμενος αριθμός

μπορεί να συμπληρωθεί με κατάλληλα ημισυνθετικά (τροποποιημένα πραγματικά) ή και συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα.

(3) Η συμβατότητα των επιταχυνσιογραφημάτων προς το φάσμα σχεδιασμού θα επιτευχθεί με κλιμάκωση του εύρους τους, ως εξής:

- Για κάθε σεισμό ο οποίος αποτελείται από ένα ζεύγος οριζοντίων χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης (επιταχυνσιογραφημάτων), υπολογίζεται το φάσμα - TRAT ως τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των φασμάτων κάθε συνιστώσας, με ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%.
- Ως συνολικό φάσμα της ομάδας των σεισμών θα λαμβάνεται ο μέσος όρος των φασμάτων - TRAT των επιμέρους σεισμών σύμφωνα με τα προηγούμενα.
- Το συνολικό φάσμα πρέπει να κλιμακωθεί, με την χρήση κατάλληλου συντελεστή κλίμακας, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι χαμηλότερο από 1,3 φορές το φάσμα σχεδιασμού - με απόσβεση 5% – όπως αυτό καθορίζεται στην προηγούμενη παράγραφο 4.1, στην περιοχή περιόδων μεταξύ  $0,5T_{eff}$  και  $1,5T_{eff}$ .  
Για την περίπτωση όπου η  $T_{eff}$  δεν είναι ίδια στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, η χαμηλότερη τιμή θα χρησιμοποιηθεί για να τον καθορισμό του κατώτερου ορίου ( $0,5 T_{eff}$ ) και η υψηλότερη τιμή για το ανώτερο όριο ( $1,5T_{eff}$ ).
- Ο συντελεστής κλίμακας που προκύπτει από την προηγούμενη παράγραφο θα εφαρμόζεται σε κάθε μία από τις συνιστώσες της σεισμικής διέγερσης.

**Σημείωση:** Οι φυσικές καταγραφές δύο ταυτόχρονων οριζοντίων συνιστωσών της επιτάχυνσης, δεν είναι όμοιες και δεν παρουσιάζουν εν γένει χρονική σύμπτωση των μεγίστων. Ανάλογα χαρακτηριστικά πρέπει να παρουσιάζουν και οι τεχνητές ή τροποποιημένες χρονοϊστορίες.

(4) Οι δύο συνιστώσες κάθε ζεύγους χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης πρέπει να εφαρμόζονται ταυτόχρονα.

(5) Αν η μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας γίνει με τριάδες συνιστωσών πραγματικών καταγραφών, η κλιμάκωση των ζευγών οριζοντίων καταγραφών σύμφωνα με το 4.2(3) θα γίνεται ανεξάρτητα από την κλιμάκωση των κατακόρυφων συνιστωσών. Η τελευταία θα γίνει έτσι ώστε ο μέσος όρος των αντίστοιχων φασμάτων να μην υπολείπεται περισσότερο από 10% από το κατακόρυφο φάσμα σχεδιασμού σε κανένα σημείο στην περιοχή περιόδων από  $0,2T_v$  έως  $1,5T_v$ , όπου  $T_v$  είναι περίοδος της πρώτης ιδιομορφής στην οποίαν δεσπόζουν οι κατακόρυφες μετακινήσεις.

(6) Επιτρέπεται επίσης να χρησιμοποιείται συνδυασμός ζευγών οριζοντίων καταγραφών με κατακόρυφες καταγραφές από διαφορετικούς σεισμούς, συμβατούς με τις απαιτήσεις της 4.2(1). Η ανεξάρτητη κλιμάκωση των ζευγών των οριζοντίων και των κατακόρυφων καταγραφών θα γίνεται σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο.

## 5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 5.1 Γενικά

(1) Οι μέθοδοι ανάλυσης κτιρίων με σεισμική μόνωση, οι οποίες προβλέπονται από τις παρούσες οδηγίες, έχουν πεδίο εφαρμογής σύμφωνα με την παράγραφο 5.3, και είναι οι ακόλουθες:

- (α) Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος
- (β) Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης
- (γ) Μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας

(2) Επιπρόσθετα προς τις συνθήκες που δίδονται στην παράγραφο 5.3, αναγκαίες προϋποθέσεις για την εφαρμογή των μεθόδων (α) και (β) είναι οι ακόλουθες:

- Η συνήθως μη-γραμμική σχέση δύναμης-μετακίνησης του συστήματος μόνωσης πρέπει να προσεγγισθεί με επαρκή ακρίβεια με την χρήση της ενεργού δυσκαμψίας ( $K_{eff}$ ), δηλαδή της τιμής της δυσκαμψίας στη μετακίνηση σχεδιασμού (σχήμα 1). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διαδοχικές προσεγγίσεις της μετακίνησης σχεδιασμού ( $d_{cd}$ ) του συστήματος μόνωσης.
- Η ικανότητα απόσβεσης του συστήματος μόνωσης θα εκφράζεται σε όρους ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης και θα χαρακτηρίζεται ως ενεργός απόσβεση ( $\xi_{eff}$ ).

(3) Ένα σύστημα σεισμικής μόνωσης που συντίθεται αποκλειστικά από ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης (ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση περί την τιμή 0,05) αποτελεί ειδική περίπτωση. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συνήθειες μέθοδοι γραμμικής δυναμικής ανάλυσης (μέθοδος φασματικής απόκρισης, βλ. 5.2.2.2 (1),(2), (5) και (6)). Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα μπορούν να θεωρηθούν ως γραμμικά ελαστικά στοιχεία με διατμητική (και ενδεχομένως θλιπτική) παραμόρφωση. Η απόσβεσή τους μπορεί να θεωρηθεί ίση με την εγγενή ιξώδη απόσβεση του φέροντα οργανισμού (βλ. παράγραφο 5.2.2.2(2)). Ο συνολικός φέρων οργανισμός πρέπει να παραμείνει ουσιαστικά ελαστικός.

### 5.2 Ιδιότητες του συστήματος μόνωσης

#### 5.2.1 Δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση

(1) Μονωτήρες που αναλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία πρέπει να διαθέτουν επαρκή δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση.

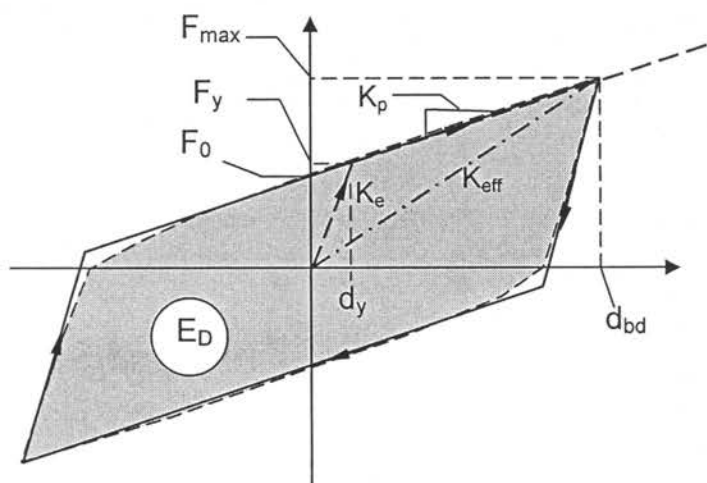
(2) Αυτή η απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται, όταν η οριζόντια μετακίνηση του κέντρου της μάζας της ανωδομής, που οφείλεται στην ευκαμψία των μονωτήρων στην κατακόρυφη διεύθυνση, είναι μικρότερη από το 5% της μετακίνησης σχεδιασμού  $d_{cd}$ .

(3) Ο έλεγχος αυτής της συνθήκης δεν απαιτείται, αν στη διεπιφάνεια μόνωσης το κατακόρυφο φορτίο αναλαμβάνουν εφέδρανα ολίσθησης ή συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα ή ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου.

## **5.2.2 Ιδιότητες σε οριζόντιες διευθύνσεις**

### **5.2.2.1 Υστερητική συμπεριφορά**

(1) Η σχέση δύναμης-μετακίνησης των μονωτήρων μπορεί για την ανάλυση να προσεγγιστεί από μια δι-γραμμική σχέση, όπως φαίνεται στο σχήμα 1 για τον μονωτήρα  $i$  (ο δείκτης  $i$  έχει παραλειφθεί).



**Σχήμα 1: Διγραμμική προσομοίωση υστερητικής συμπεριφοράς μονωτήρα**

Οι παράμετροι της διγραμμικής προσομοίωσης είναι οι εξής:

$d_{bd}$  = μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα, που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$  του συστήματος σεισμικής μόνωσης

$d_y$  = μετακίνηση διαρροής του μονωτήρα

$F_y$  = δύναμη διαρροής υπό μονοτονική φόρτιση

$F_{max}$  = μέγιστη δύναμη, που αντιστοιχεί στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{bd}$

$F_0$  = Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση =  $F_y - K_p d_y$

$K_e$  = Ελαστική δυσκαμψία υπό μονοτονική φόρτιση =  $F_y / d_y$   
= Δυσκαμψία αποφόρτισης υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση

$K_p$  = Μετελαστική (εφαπτομενική) δυσκαμψία του μονωτήρα  
=  $(F_{max} - F_y) / (d_{bd} - d_y)$

$E_D$  = Αποσβενόμενη ενέργεια ανά κύκλο στην μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα  $d_{bd}$ , ίση προς το εμβαδόν του υστερητικού βρόχου  
=  $4(F_y d_{bd} - F_{max} d_y)$

### 5.2.2.2 Συμπεριφορά ελαστομεταλλικών εφεδράνων

**Σημείωση:** Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα έχουν υστερητική συμπεριφορά με λεπτούς ή ουσιαστικούς βρόχους υστέρησης. Η διάκρισή τους γίνεται μόνον για να δοθούν περισσότερες πληροφορίες γι' αυτήν την πολύ συνήθη κατηγορία μονωτήρων.

(1) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα στα οποία αναφέρονται οι παρούσες οδηγίες, αποτελούνται από στρώσεις ελαστικού οπλισμένες με πλήρως εγκιβωτισμένα και συγκολλημένα χαλυβδόφυλλα. Αναφορικά με την απόσβεση, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα διακρίνονται σε εφέδρανα χαμηλής και υψηλής απόσβεσης.

(2) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης έχουν ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης  $\xi$  μικρότερο του 0,06. Η ανακυκλική συμπεριφορά τέτοιων εφεδράνων είναι παρόμοια με την υστερητική με λεπτούς βρόχους. Η συμπεριφορά τους μπορεί να προσεγγιστεί σαν συμπεριφορά γραμμικών ελαστικών στοιχείων με ισοδύναμη ελαστική δυσκαμψία  $G_b A_b / t_e$ , όπου  $G_b$  είναι το

μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς,  $A_b$  είναι η ενεργός επιφάνεια και  $t_{ee}$  το συνολικό πάχος του ελαστομερούς.

(3) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης εμφανίζουν ουσιαστικούς υστερητικούς βρόχους, που αντιστοιχούν σε ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης μεταξύ 0,10 και 0,20. Η συμπεριφορά τους θα πρέπει να θεωρηθεί ως μη γραμμική υστερητική.

(4) Από την άποψη των απαιτούμενων ειδικών δοκιμών για την σεισμική συμπεριφορά, τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα διακρίνονται στις παρούσες οδηγίες, σε συνήθη και ειδικά.

(5) Συνήθη χαρακτηρίζονται ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης σύμφωνα με το EN1337-3-2005.

(6) Συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα δεν χρειάζεται να ελεγχθούν με τις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α.

**Σημείωση:** Η απαλλαγή αυτή γίνεται επειδή οι παράμετροι σεισμικού σχεδιασμού των εφεδράνων αυτών, όπως ορίζονται στην (2) παραπάνω, και η μεταβλητότητα των παραμέτρων αυτών, όπως ορίζεται στην 5.2.3 (5), (6) και (7), αποτελούν επαρκώς συντηρητικές παραδοχές. Η μελέτη γίνεται σύμφωνα με την 6.2 (5) και (6), και εκτός από τις διαστάσεις των εφεδράνων προδιαγράφει το εύρος διακύμανσης τις τιμές του  $G_b$  (βλ. (2) παραπάνω), την μέγιστη συνολική μετακίνησή τους σύμφωνα με τις 6.2 (1) και (2) και τις αντίστοιχες μέγιστες αντιδράσεις σύμφωνα με τις 6.2 (3), (4).

(7) Ειδικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα είναι ελαστομεταλλικά εφέδρανα που δοκιμάζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Παραρτήματος Α.

(8) Οι παράμετροι σχεδιασμού ελαστομεταλλικών εφεδράνων που χρησιμοποιούνται σ' αυτό το κεφάλαιο πρέπει να καλύπτουν τις ιδιότητες των εφεδράνων τόσο πριν όσο και μετά από προπαραμόρφωση στην μετακίνηση σχεδιασμού.

**Σημείωση:** Προπαραμόρφωση ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε ένα ή περισσότερους κύκλους υψηλής διατμητικής παραμόρφωσης, πριν από την δοκιμή διάτμησης, επιφέρει σημαντική μείωση της διατμητικής δυσκαμψίας σε επόμενους κύκλους παραμόρφωσης. Τα εφέδρανα όμως επανακτούν την αρχική (παρθενική) δυσκαμψία τους μετά παρέλευση κάποιου χρόνου (λίγων μηνών). Το φαινόμενο αυτό είναι έντονο κυρίως σε εφέδρανα με χαμηλό μέτρο διάτμησης και υψηλή απόσβεση, και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις παραμέτρους σχεδιασμού των εφεδράνων (βλ. Α2.1(1) και Α2.3.3 R4).

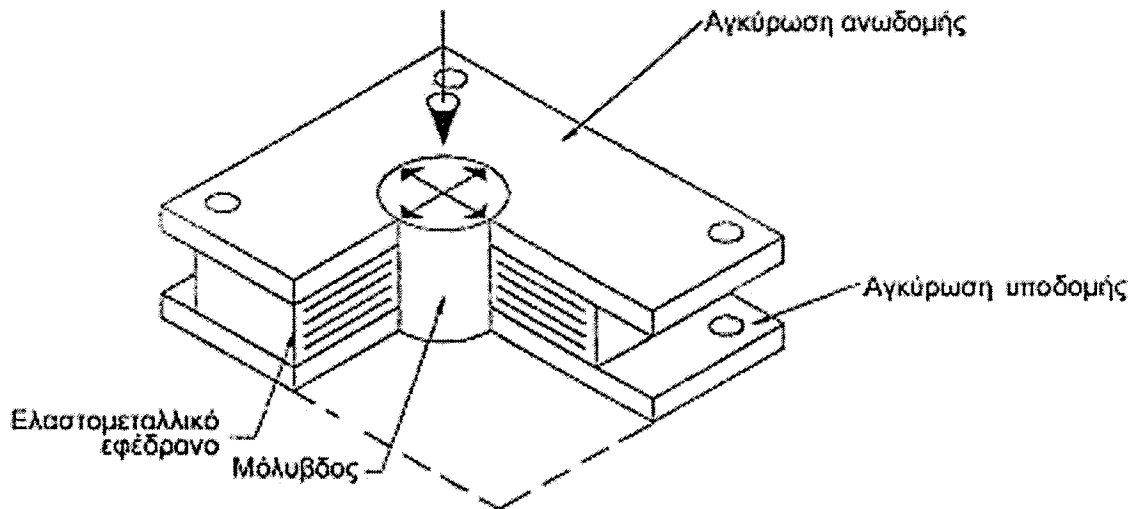
(9) Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) αποτελούνται από ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης που διαθέτουν κυλινδρικό (συνήθως) μολύβδινο πυρήνα. Η διαρροή του μολύβδινου πυρήνα προσφέρει στα εφέδρανα αυτά υστερητική συμπεριφορά, η οποία αποδίδεται από το διάγραμμα δύναμης – μετακίνησης του Σχήματος 1, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ελαστική δυσκαμψία  $K_e = K_L + K_R$ , όπου  $K_L$  είναι η δυσκαμψία του μολύβδινου πυρήνα και  $K_R$  η δυσκαμψία του ελαστομεταλλικού τμήματος του εφεδράνου
- Μετελαστική δυσκαμψία  $K_p = K_R$

- Δύναμη διαρροής  $F_y = F_{Ly} (1 + K_R / K_L)$ , όπου  $F_{Ly}$  είναι η δύναμη διαρροής του μολύβδινου πυρήνα

#### Σημείωση:

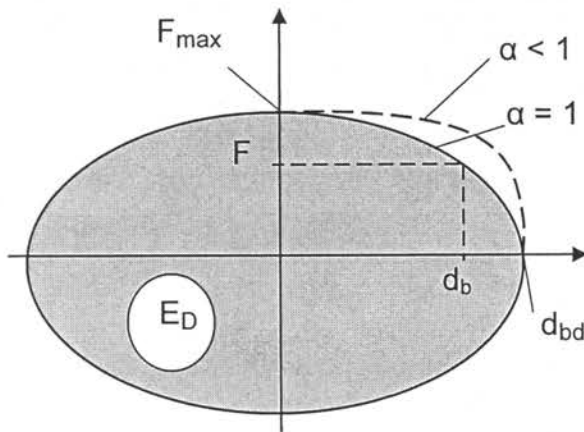
1. Όταν είναι  $K_R \ll K_L$ , τότε:  $K_e \approx K_L$  και  $F_y \approx F_{Ly}$
2. Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου υπόκεινται στις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α, από τις οποίες προκύπτουν ή επιβεβαιώνονται οι τιμές των χαρακτηριστικών τους ( $K_e$ ,  $K_p$ ,  $F_y$  ή/και  $E_D$ )



**Σχήμα 2: Ελαστομεταλλικό εφέδρανο με πυρήνα μολύβδου**

#### 5.2.2.3 Ιξώδης συμπεριφορά

(1) Η αντίδραση αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς είναι ανάλογη του  $\dot{v}^a$ , όπου  $\dot{v} = \dot{d}_b = \frac{d}{dt}(d_b)$  είναι η ταχύτητα κίνησης. Η αντίδραση είναι μηδενική στη μέγιστη σχετική μετακίνηση του μονωτήρα  $d_{bd}$ , και συνεπώς ο αποσβεστήρας δεν συνεισφέρει στην ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης. Η σχέση δύναμης–μετακίνησης ενός στοιχείου με ιξώδη συμπεριφορά, ανάλογα με τον εκθέτη  $a$  της ταχύτητας, δίδεται στο Σχήμα 2 (για ημιτονοειδή κίνηση).



$$d_b = d_{bd} \sin(\omega t) \text{ με } \omega = 2\pi/T_{eff}$$

$$F = C v^\alpha = F_{max} \cos(\omega t)^\alpha$$

$$F_{max} = C(d_{bd}\omega)^\alpha$$

$$E_D = \lambda(\alpha) F_{max} d_{bd}$$

$$\lambda(\alpha) = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+0.5\alpha)}{\Gamma(2+\alpha)}$$

$\Gamma(\ )$  = είναι η συνάρτηση Γάμμα

### Σχήμα 3: Ιξώδης συμπεριφορά

**Σημείωση:** Σε κάποιες περιπτώσεις υδραυλικών αποσβεστήρων με πολύ μικρό εκθέτη  $\alpha$ , είναι αναγκαία προσομοίωση με εν σειρά διάταξη ιξώδους στοιχείου και γραμμικού ελατηρίου (που αντιστοιχεί την συμπίεστικότητα του υγρού), ώστε η σχέση ταχύτητας-δύναμης να αποδίδει με ικανοποιητική προσέγγιση τα πειραματικά αποτελέσματα. Αυτό όμως έχει αμελητέα επίδραση στην αποσβεσόμενη ενέργεια ανα κύκλο  $E_D$

#### 5.2.2.4 Συμπεριφορά τριβής

(1) Συσκευές ολίσθησης με επίπεδες επιφάνειες ολίσθησης περιορίζουν τη δύναμη που μεταφέρεται στην ανωδομή σε:

$$F_{max} = \mu_d N_{sd} \text{sign}(\dot{d}_b) \quad (5.1)$$

Όπου:

$\mu_d$  είναι ο συντελεστής δυναμικής τριβής

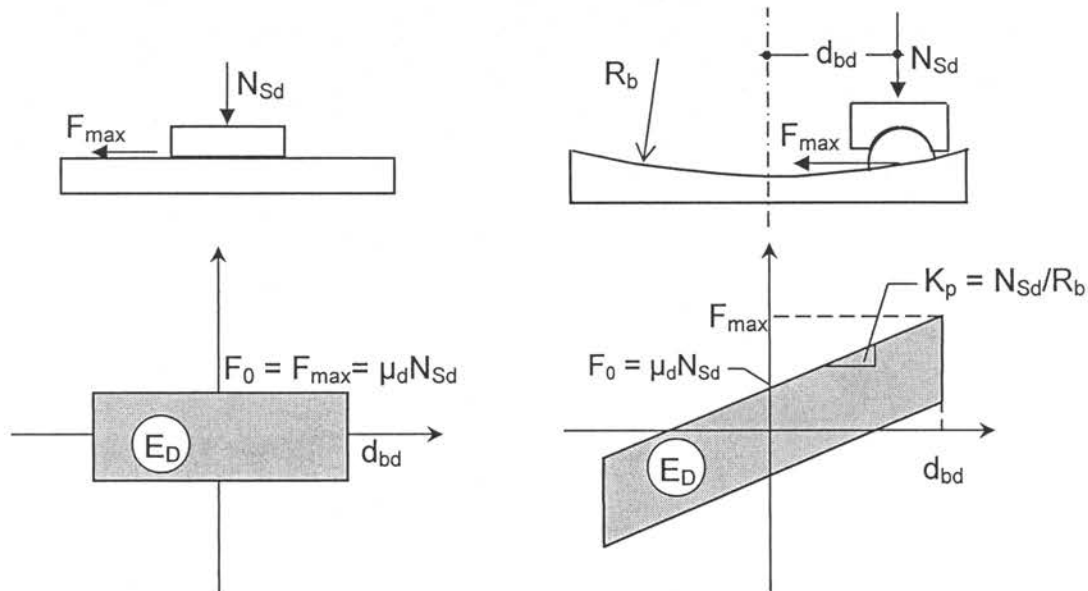
$N_{sd}$  είναι η αξονική δύναμη που μεταφέρεται από την συσκευή, και

$\text{sign}(\dot{d}_b)$  είναι το πρόσημο του ανύσματος της ταχύτητας  $\dot{d}_b$

$d_b$  είναι η σχετική μετακίνηση των δύο επιφανειών ολίσθησης

Τέτοιες συσκευές μπορεί να εμφανίζουν ουσιαστικές παραμένουσες μετακινήσεις. Επομένως πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με στοιχεία που παρέχουν επαρκή δύναμη επαναφοράς.





**Σχήμα 4: Συμπεριφορά Τριβής**

(2) Συσκευές ολίσθησης με σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης ακτίνας  $R_b$  (π.χ. σφαιρικοί μονωτήρες ολίσθησης) παρέχουν δύναμη επαναφοράς στην σχετική μετακίνηση του μονωτήρα  $d_d$  ίση με  $N_{Sd}d_d/R_b$ . Η σχέση δύναμης –μετακίνησης σε τέτοιο εφέδρανο είναι:

$$F_{\max} = \frac{N_{Sd}}{R_b} d_{bd} + \mu_d N_{Sd} \text{sign}(\dot{d}_{bd}) \quad (5.2)$$

(3) Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, η ενέργεια  $E_D$  που αποσβένεται ανά κύκλο στη μετακίνηση  $d_d$  είναι ίση προς:

$$E_D = 4 \mu_d N_{Sd} d_{bd} \quad (5.3)$$

(4) Ο συντελεστής δυναμικής τριβής εξαρτάται κυρίως από:

- την σύνθεση των επιφανειών ολίσθησης
- τη χρήση ή μη λιπαντικού
- την πίεση στην επιφάνεια ολίσθησης
- την ταχύτητα ολίσθησης

και πρέπει να προσδιορίζεται με κατάλληλες δοκιμές (Παράρτημα Α).

**Σημείωση:** Πρέπει να επισημανθεί ότι σε περίπτωση ολίσθησης λείων επιφανειών ανοξειδωτου χάλυβα πάνω σε παρθένο καθαρό PTFE με λιπαντικό, στην περιοχή ταχυτήτων που αντιστοιχεί σε σεισμικές κινήσεις και στην συνήθη περιοχή πιέσεων στην επιφάνεια ολίσθησης, ο συντελεστής δυναμικής τριβής μπορεί να είναι εξαιρετικά χαμηλός ( $\leq 0,01$ ). Τέτοια εφέδρανα δεν προσφέρουν απόδοση ενέργειας ( $E_d \approx 0$ ).

(5) Επίπεδα εφέδρανα που επιτρέπουν ολίσθηση σε 2 διευθύνσεις, και ελαστομεταλλικά εφέδρανα με στρώση PTFE και πλάκα ολίσθησης που επιτρέπουν ολίσθηση στην μία οριζόντια διεύθυνση ενώ στην άλλη διεύθυνση συμπεριφέρονται ως συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα, όταν συμμετέχουν στο σύστημα σεισμικής μόνωσης, απαλλάσσονται από την υποχρέωση Δοκιμών Προτύπων, εφόσον δεν λαμβάνεται υπόψη στην μελέτη οποιαδήποτε συμμετοχή τους στην απόσβεση σεισμικής ενέργειας του συνολικού συστήματος.

### 5.2.3 Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων

(1) Η επάρκεια του συστήματος σεισμικής μόνωσης και η επάρκεια και οι ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων θα προσδιορίζονται με Δοκιμές Προτύπων και άλλες δοκιμές όπως προδιαγράφονται στο Παράρτημα Α. Οι ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων που ικανοποιούν τις συνθήκες της 5.2.2.2(5), μπορούν να ληφθούν σύμφωνα με τις ακόλουθες παραγράφους (5) και (6).

(2) Οι ιδιότητες των μονωτήρων και επομένως και εκείνες του ίδιου του συστήματος μόνωσης, είναι δυνατό να επηρεάζονται από την θερμοκρασία, την γήρανση, την προπαραμόρφωση, την ταχύτητα της κίνησης, τη συσσωρευόμενη διαδρομή, και την ρύπανση. Επιπρόσθετα προς τις ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού (ΟΤΠΣ) που καθορίζονται από τις Δοκιμές Προτύπων, πρέπει επίσης να καθορισθούν δύο ακόμα σύνολα τιμών σχεδιασμού των παραμέτρων του συστήματος μόνωσης με βάση είτε ειδικές δοκιμές είτε τις σχετικές διατάξεις του Α4 του Παραρτήματος Α.

- οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), και
- οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

(3) Ανεξάρτητα της μεθόδου ανάλυσης που θα επιλεγεί, πρέπει να γίνονται κατά κανόνα δύο αναλύσεις. Στην μία ανάλυση θα χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), για τον υπολογισμό των μεγίστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή. Στην άλλη ανάλυση θα χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ), για τον υπολογισμό των μεγίστων μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης και της ανωδομής.

(4) Είναι αποδεκτή πολυβάθμια φασματική ανάλυση, ή δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας με την χρήση μόνον των Ονομαστικών Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΟΤΠΣ), εφόσον οι μετακινήσεις σχεδιασμού  $d_{dc}$ , οι οποίες υπολογίζονται από ανάλυση με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, σύμφωνα με την παράγραφο 5.4, με χρήση των Ανώτερων και Κατώτερων Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ, ΚΤΠΣ), δεν διαφέρουν περισσότερο από  $\pm 15\%$  από τις μετακινήσεις σχεδιασμού οι οποίες υπολογίζονται

με την ίδια μέθοδο με χρήση των Ονομαστικών Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΟΤΠΣ).

(5) Οι ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων σύμφωνα με την 5.2.2.2(5) μπορούν να ληφθούν ως ακολούθως:

Μέτρο διάτμησης	$G_b = 1,40 G_g$
Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση	$\xi_{eff} = 0,05$

όπου  $G_g$  είναι η τιμή του «φαινομένου συμβατικού μέτρου διάτμησης» που ορίζεται στην 4.3.1.1 του EN1337-3-2005.

**Σημείωση:** Η μελέτη ελαστομεταλλικών εφεδράνων πρέπει εκτός από τις διαστάσεις τους να προδιαγράφει το εύρος διακύμανσης της τιμής του μέτρου διάτμησης  $G_b$ , την μέγιστη συνολική μετακίνηση σχεδιασμού σύμφωνα με την 6.2.1 (1) και (2) και τις αντίστοιχες μέγιστες αντιδράσεις σύμφωνα με τις 6.2.1 (3) και (4).

(6) Η μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων, που οφείλεται στην γήρανση και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, μπορεί να περιοριστεί στην τιμή του  $G_b$  και να ληφθεί ως ακολούθως:

- Κατώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)  $G_{b,min} = G_b$
- Ανώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), εξαρτάται από την ελάχιστη θερμοκρασία σεισμικού σχεδιασμού των μονωτήρων  $T_{min,b}$  (βλ. Παράρτημα Α, Α.3.2 και Πίνακα Α3) ως εξής:
  - όταν  $T_{min,b} \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ :  
 $G_{b,max} = 1.5 G_b$
  - όταν  $T_{min,b} < 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ :  
 η τιμή του  $G_{b,max}$  που ορίστηκε παραπάνω πρέπει να διορθωθεί μέσω των τιμών  $\lambda_{max}$  που αντιστοιχούν στο  $k_p$ , όπως ορίζονται στον Πίνακα Α.3 του Παραρτήματος Α.

(7) Οι τιμές σχεδιασμού του συντελεστή τριβής εφεδράνων ολίσθησης των οποίων η συμβολή στην απόσβεση ενέργειας αγνοείται σύμφωνα με την 5.2.2.4(5), πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με το EN1337-2-2002.

### 5.3 Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης

(1) Η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος μπορεί να εφαρμοστεί όταν συνυπάρχουν όλες οι ακόλουθες συνθήκες:

- α. Η απόσταση μεταξύ της θέσης του κτιρίου και του πλησιέστερου γνωστού ενεργού σεισμογόνου ρήγματος, υπερβαίνει τα 15 χιλιόμετρα.
- β. Οι εδαφικές συνθήκες στην θέση κατασκευής αντιστοιχούν σε μία από τις κατηγορίες εδάφους Α, Β, Γ ή Δ του άρθρου 2.3.6 του ΕΑΚ 2000
- γ. Όταν η ενεργός απόσβεση δεν υπερβαίνει το 0.30
- δ. Η ανωδομή δεν υπερβαίνει τους 4 ορόφους ή 20 μέτρα ύψος (SEAOC 153.5.2(3) )
- ε. Η ανώτερη τιμή της ενεργού περιόδου του συστήματος μόνωσης, σε κάθε κύρια διεύθυνση, δεν υπερβαίνει τα 3.0 δευτερόλεπτα (SEAOC 153.5.2(4) )
- ζ. Η ελάχιστη τιμή της ενεργού περιόδου της σεισμικώς μονωμένης κατασκευής είναι τουλάχιστον τριπλάσια της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου της μη μονωμένης ανωδομής. (SEAOC 153.5.2(5) ) Για κατασκευές από σπλισμένο σκυρόδεμα, στον υπολογισμό της ιδιοπεριόδου αυτής, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επιρροή της ρηγμάτωσης.
- η. Η ανωδομή είναι κανονική σε κάτοψη και καθ' ύψος, σύμφωνα με τη παράγραφο 3.5.(4) του ΕΑΚ 2000. (επίσης SEAOC 153.5.2(6) )

(2) Η Μέθοδος της Φασματικής Απόκρισης μπορεί να εφαρμοστεί όταν συνυπάρχουν οι συνθήκες (β) και (γ) της παρ. (1)

(3) Μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη οποιουδήποτε μονωμένου κτιρίου.

#### 5.4 Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

(1) Η υποδομή θεωρείται απαραμόρφωτη και η ανωδομή θεωρείται στερεό σώμα που υπόκειται σε μεταφορική κίνηση σε κάθε μια από τις κύριες διευθύνσεις.

(2) Η τέμνουσα που μεταφέρεται μέσα από την διεπιφάνεια μόνωσης σε κάθε κύρια διεύθυνση, υπολογίζεται θεωρώντας ότι η ανωδομή συμπεριφέρεται ως σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας και χρησιμοποιώντας:

- την ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης  $K_{eff}$
  - την ενεργό απόσβεση του συστήματος μόνωσης  $\xi_{eff}$
  - την μάζα της ανωδομής  $W_d/g$
  - την φασματική επιτάχυνση η οποία αντιστοιχεί στην ενεργό περίοδο  $T_{eff}$ , με  $n_{eff} = n(\xi_{eff})$   $S_e = S_e(T_{eff}, n_{eff})$
- όπου  $S_e = \Phi_e$ , βλ. Παράρτημα Α.1 του ΕΑΚ 2000 και 4.1 της παρούσας

Τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται ως εξής:

$$\text{ενεργός δυσκαμψία} \quad K_{eff} = \sum K_{eff,i} \quad (5.4)$$

όπου,

$K_{eff,i}$  είναι η ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα  $i$

ενεργός απόσβεση 
$$\xi_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{eff} d_{cd}^2} \right] \quad (5.5)$$

όπου  $\sum E_{D,i}$  είναι το άθροισμα των αποσβενόμενων ενεργειών όλων των μονωτήρων  $i$  σε ένα πλήρη κύκλο παραμόρφωσης στην μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{bd}$ .

ενεργός ιδιοπερίοδος 
$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W_d}{g K_{eff}}} \quad (5.6)$$

(3) Η ανάλυση αυτή οδηγεί στα ακόλουθα αποτελέσματα

**Πίνακας 1: Φασματική επιτάχυνση  $S_e$  και μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$**

$T_{eff}$	$\frac{S_e}{g}$	$d_{cd}$
$T_C \leq T_{eff} < T_D$	$2,5 \frac{T_C}{T_{eff}} \eta_{eff} \alpha_g$	$\frac{T_{eff}}{T_C} d_C$
$T_D \leq T_{eff}$	$2,5 \frac{T_C T_D}{T_{eff}^2} \eta_{eff} \alpha_g$	$\frac{T_D}{T_C} d_C$

Όπου:

$$\alpha_g = \frac{A_g}{g} = \frac{\gamma_I A_{g,475}}{g} \quad (5.7)$$

Η τιμή του  $\eta_{eff}$  μπορεί να ληφθεί από την σχέση

$$\eta_{eff} = \sqrt{\frac{0,10}{0,05 + \xi_{eff}}} \geq 0,40 \quad (5.8)$$

$$d_C = 0,625 \frac{g}{\pi^2} \alpha_g \eta_{eff} T_C^2 \quad (5.9)$$

Μέγιστη τέμνουσα 
$$V_d = W_d \frac{S_e}{g} = K_{eff} d_{cd} \quad (5.10)$$

και όπου,

$T_C = T_2$  και λαμβάνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4 του ΕΑΚ 2000,

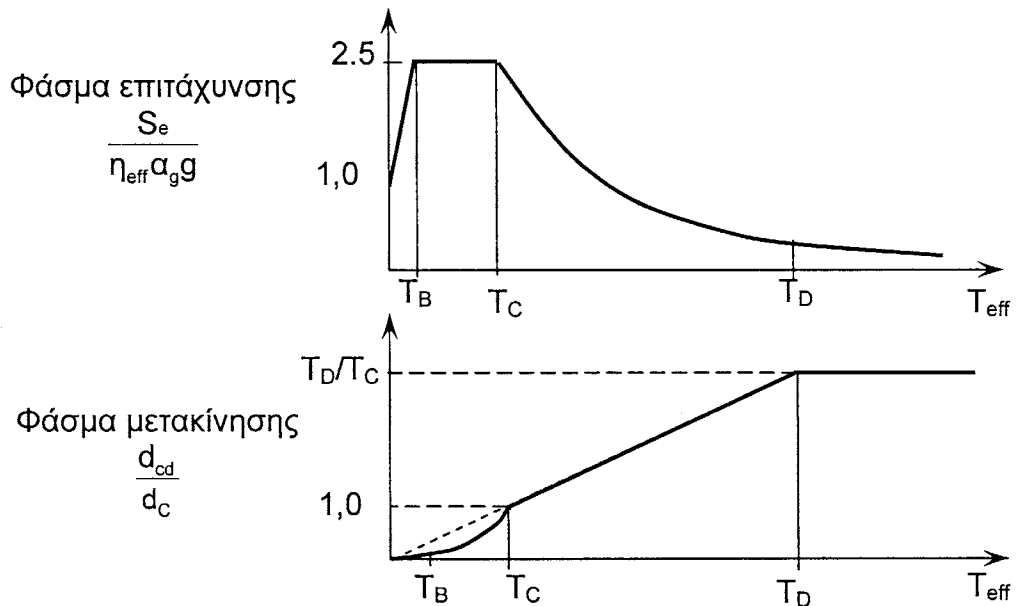
$T_D$  σύμφωνα με την 4.1,

$A_g$  είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που αντιστοιχεί στην κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου.

$\gamma_I$  είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου.

$A_{g,475}$  είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στον σεισμό σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 475 έτη.

Το Σχ. 5 δείχνει την συσχέτιση των φασμάτων επιτάχυνσης και μετακίνησης όπως προκύπτει από τον Πίνακα 1



**Σχήμα 5: Φάσματα επιτάχυνσης και μετακίνησης**

(4) Σε ουσιαστικά μη-γραμμικά συστήματα, τα  $K_{eff}$  και  $\xi_{eff}$  εξαρτώνται από την μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$  (βλ. Σχ. 1). Η μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{cd}$  προσδιορίζεται με διαδοχικές προσεγγίσεις. Ο προσδιορισμός της μετακίνησης σχεδιασμού  $d_{cd}$  θεωρείται επαρκώς ακριβής, όταν η διαφορά μεταξύ της υποτιθέμενης και υπολογιζόμενης τιμής της  $d_{cd}$  είναι μικρότερη του 5%.

(5) Για τον υπολογισμό της επίδρασης της σεισμικής φόρτισης στο σύστημα μόνωσης στην ανωδομή, και στην υποδομή, η επιρροή της εκκεντρότητας  $e_x$ , στην διεύθυνση (X) του κτιρίου μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση του μονωτήρα  $i$ ,  $d_{id,x}$  και  $d_{id,y}$  στην διεύθυνση (x) και (y) αντίστοιχα, θα λαμβάνεται με πολλαπλασιασμό της  $d_{cd}$  επί συντελεστές  $\delta_{i,x}$  και  $\delta_{i,y}$  ως ακολούθως:

$$d_{id,y} = \delta_{i,y} d_{cd} \quad (5.13\alpha)$$

$$d_{id,x} = \delta_{i,x} d_{cd} \quad (5.13\beta)$$

όπου

$$\delta_{i,y} = 1 + \frac{e_{tot,x} \cdot x_i}{rr_x} \quad (5.14\alpha)$$

$$\delta_{i,x} = \frac{e_{tot,x} \cdot y_i}{rr_x} \quad (5.14\beta)$$

και

$$r_x^2 = \sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi}) / \sum K_{yi} \quad (5.15)$$

όπου:

$e_{tot,x}$  συνολική εκκεντρότητα στην κύρια διεύθυνση (X) του κτιρίου, μεταξύ της κατακόρυφης προβολής του κέντρου μάζας της ανωδομής στην διεπιφάνεια μόνωσης και του κέντρου ενεργού δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης, η οποία συμπεριλαμβάνει και την τυχαματική εκκεντρότητα ( $e_{tot,x} = e_{acc} + e_x$ )

$e_{acc}$  τυχαματική εκκεντρότητα ίση προς 5% της μέγιστης διάστασης του κτιρίου σε κάτοψη, κάθετα προς την εξεταζόμενη διεύθυνση

$r$  είναι η ακτίνα αδράνειας της μάζας της ανωδομής ως προς τον κατακόρυφο άξονα που περνά από το κέντρο της μάζας της ανωδομής

$x_i, y_i$  είναι οι συντεταγμένες του μονωτήρα  $i$  ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας

$K_{yi}, K_{xi}$  είναι ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα  $i$  στην διεύθυνση Y και X αντίστοιχα

(6) Η επιρροή της  $e_{tot,y}$  πρέπει να εκτιμάται όπως στην 5.4 (5) εναλλάσσοντας τους δείκτες  $x$  και  $y$

(7) Για τον συνδυασμό των συνιστωσών της σεισμικής δράσης εφαρμόζεται ό,τι ισχύει για τα κτίρια χωρίς σεισμική μόνωση.

(8) Η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών φορτίων γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$F_x = \frac{V_d \cdot m_x \cdot z_x}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot z_i} \quad (5.16)$$

Όπου:

$F_x$  = σεισμικό φορτίο της στάθμης  $x$

$V_d$  = τέμνουσα βάσης όπως προσδιορίζεται από την σχέση (5.10) και το άρθρο 6

$n$  = αριθμός σταθμών στις οποίες θεωρείται η μάζα της κατασκευής συγκεντρωμένη

$z_i$  = απόσταση της στάθμης  $i$  στην κατακόρυφη διεύθυνση από την διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης

$m_i$  = μάζα της στάθμης  $i$

$m_x$  = μάζα της στάθμης  $x$

$z_x$  = απόσταση της στάθμης  $x$  στην κατακόρυφη διεύθυνση από την διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης

Τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού του φέροντα οργανισμού της κατασκευής θα υπολογίζονται ως αποτέλεσμα των σεισμικών φορτίων  $F_x$  που εφαρμόζονται στις στάθμες πάνω από την διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης.

(9) Η προσομοίωση και η ανάλυση της ανωδομής πρέπει να επιτρέπει μια επαρκώς ακριβή εκτίμηση των κατακόρυφων φορτίων και των επιδράσεων των ροπών ανατροπής στους μονωτήρες. Ειδικά για τον υπολογισμό των

κατακόρυφων φορτίων στους μονωτήρες είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης.

(10) Οι επιδράσεις των στρεπτικών καταπονήσεων στην ανωδομή μπορούν να εκτιμηθούν σύμφωνα με το άρθρο 3.3 και την παράγραφο 3.3.3 του ΕΑΚ 2000.

## 5.5 Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης

(1) Η προσομοίωση του συστήματος μόνωσης πρέπει να απεικονίζει με επαρκή ακρίβεια:

- την κατανομή των μονωτήρων στο χώρο και τις όποιες δράσεις ανατροπής
- την μετακίνηση στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και την περιστροφή περί τον κατακόρυφο άξονα της ανωδομής.

(2) Η προσομοίωση της ανωδομής θα γίνεται σύμφωνα με τους σχετικούς κανόνες του άρθρου 3.2 του ΕΑΚ 2000. Για την προσομοίωση θα πρέπει να χρησιμοποιείται χωρικό προσομοίωμα και να απεικονίζεται με επαρκή ακρίβεια η παραμόρφωση της ανωδομής. Η τυχηματική εκκεντρότητα της μάζας θα λαμβάνεται υπόψη μετατοπίζοντας αντίστοιχα το κέντρο μάζας όλων των ορόφων στις δύο οριακές θέσεις κατά μήκος των αξόνων.

(3) Η προσομοίωση της υποδομής πρέπει να απεικονίζει με επαρκή ακρίβεια την παραμόρφωση της υποδομής στην κάτοψη.

(4) Η ενεργός απόσβεση  $\xi_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{\text{eff}} d_{\text{cd}}^2} \right]$  θα εφαρμόζεται μόνο στις

ιδιομορφές που έχουν περίοδο μεγαλύτερη από  $0,8T_{\text{eff}}$ . Για όλες τις άλλες ιδιομορφές, εφόσον δεν γίνει ακριβέστερη ανάλυση, θα χρησιμοποιηθεί η ενεργός απόσβεση η οποία αντιστοιχεί στην συμβατική (χωρίς σεισμική μόνωση) κατασκευή.

(5) Για το συνδυασμό των οριζοντίων συνιστωσών της σεισμικής δράσης εφαρμόζεται ό,τι ισχύει τα συμβατικά κτίρια (βλ. άρθρο 3.4.4 του ΕΑΚ 2000).

(6) Η τιμή της μετακίνησης του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης ( $d_{\text{cd}}$ ), και η τιμή της συνολικής σεισμικής τέμνουσας που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης ( $V_d$ ), σε κάθε μία από τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, όπως προκύπτουν από την ανάλυση, υπόκεινται στα κάτω όρια που ορίζονται από τους παρακάτω λόγους:

$$\rho_d = \frac{d_{\text{cd}}}{d_{\text{cf}}} \geq 0,80 \quad (5.16)$$

$$\rho_v = \frac{V_d}{V_f} \geq 0,80 \quad (5.17)$$

όπου:



$d_{cf}$  και  $V_f$ , είναι αντίστοιχα η μετακίνηση σχεδιασμού και η τέμνουσα που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας μόνωσης, όπως υπολογίζονται με τη μέθοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος σύμφωνα με την παράγραφο 5.4. Για την επαλήθευση αυτή, η εφαρμογή της μεθόδου της παραγράφου 5.4 δεν υπόκειται στους περιορισμούς της παραγράφου 5.3 (1)

(7) Σε περίπτωση που δεν πληρούνται οι προαναφερόμενες συνθήκες, όλα τα σχετικά μεγέθη στο σύστημα μόνωσης, στην ανωδομή και στην υποδομή θα πολλαπλασιάζονται με τους αυξητικούς συντελεστές που ορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{0.80}{\rho_d} \quad \text{για τις σεισμικές μετακινήσεις,} \quad (5.18)$$

ή

$$\frac{0.80}{\rho_v} \quad \text{για τις σεισμικές δυνάμεις και ροπές} \quad (5.19)$$

## 5.6 Ανάλυση Χρονοϊστορίας

(1) Κατά την προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος σεισμικής μόνωσης, επιπρόσθετα προς τις απαιτήσεις της παρ. (1) του 5.5, πρέπει να συνεκτιμάται με ικανοποιητική ακρίβεια η επίδραση των παρακάτω παραγόντων (εφόσον η επίδραση αυτή είναι ουσιαστική) στις ιδιότητες του συστήματος μόνωσης.

- η ταχύτητα φόρτισης
- το ταυτόχρονα επιβαλλόμενο κατακόρυφο φορτίο
- το ταυτόχρονα επιβαλλόμενο οριζόντιο φορτίο, εγκάρσια στην υπό διερεύνηση διεύθυνση.

(2) Η προσομοίωση της ανωδομής πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των παρ. (2) και (3) του 5.5.

(3) Όταν η μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας γίνει για τουλάχιστον 7 ζεύγη ή τριάδες χρονοϊστοριών, επιτρέπεται οι τιμές σχεδιασμού των μεγεθών απόκρισης να λαμβάνονται ίσες με τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Όταν η ανάλυση γίνει με λιγότερα από 7 ζεύγη ή τριάδες κινήσεων οι τιμές σχεδιασμού θα λαμβάνονται ίσες με τις μέγιστες τιμές που προκύπτουν από την ομάδα των αναλύσεων.

(4) Οι απαιτήσεις των παραγράφων (6) και (7) του 5.5, ισχύουν και για τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την μέθοδο της χρονοϊστορίας.

## 5.7 Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας

(1) Η επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας επιτρέπεται να εκτιμάται με γραμμική φασματική ανάλυση, ανεξάρτητα από την μέθοδο ανάλυσης που εφαρμόζεται για τις οριζόντιες συνιστώσες. Η επαλληλία των αποκρίσεων επιτρέπεται να γίνεται σύμφωνα με το άρθρο 3.4.4 του ΕΑΚ 2000).

(2) Οι απαλλαγές που προβλέπονται στην παράγραφο 3.1.1[5] του ΕΑΚ 2000 όσον αφορά την παράλειψη της κατακόρυφης συνιστώσας δεν ισχύουν για τους ελέγχους των μονωτήρων του κτιρίου.

## 6 ΕΛΕΓΧΟΙ

### 6.1 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού

(1) Ισχύει ο συνδυασμός σχεδιασμού του άρθρου 4.1.2 του ΕΑΚ 2000

(2) Η σεισμική δράση για τον σχεδιασμό του συστήματος μόνωσης θα λαμβάνεται σύμφωνα με την 6.2 και για τον σχεδιασμό της ανωδομής και υποδομής σύμφωνα με την 6.3.

### 6.2 Σύστημα σεισμικής μόνωσης

#### 6.2.1 Γενικά

(1) Η απαιτούμενη αυξημένη αξιοπιστία του συστήματος μόνωσης (βλ. 3.(4)) επιτυγχάνεται με τον σχεδιασμό κάθε στοιχείου του συστήματος μόνωσης με αυξημένες σεισμικές μετακινήσεις σχεδιασμού ( $d_{bi,a}$ ), σε σχέση με εκείνες που προκύπτουν από την ανάλυση ( $d_{bi,d}$ )

$$d_{bi,a} = \gamma_{is} d_{bi,d} \quad (6.1)$$

όπου

$$\gamma_{is} = 1,50 \quad (6.2)$$

(2) Η συνολική μέγιστη μετακίνηση κάθε μονωτήρα θα λαμβάνεται αθροίζοντας στις παραπάνω αυξημένες σεισμικές μετακινήσεις, τις μετακινήσεις που οφείλονται σε μόνιμες δράσεις, χρόνιες παραμορφώσεις της ανωδομής (συστολή ξήρανσης και ερπυσμό του σκυροδέματος) και το 50% της θερμικής δράσης σχεδιασμού.

(3) Όλα τα στοιχεία του συστήματος μόνωσης πρέπει να μελετηθούν ώστε να λειτουργούν με ασφάλεια στις συνολικές μέγιστες μετακινήσεις.

(4) Η αντοχή σχεδιασμού κάθε φέροντος τμήματος του συστήματος μόνωσης, συμπεριλαμβανομένης της αγκύρωσης του, πρέπει να είναι υψηλότερη από την μέγιστη δύναμη σχεδιασμού που δρα στο στοιχείο αυτό, που αντιστοιχεί στην αυξημένη συνολική μέγιστη μετακίνηση. Πρέπει επίσης να είναι υψηλότερη από την καταπόνηση σχεδιασμού λόγω ανεμοπίεσης στην ίδια διεύθυνση.

**Σημείωση:** Η μέγιστη αντίδραση υδραυλικού αποσβεστήρα (5.2.2.3) που αντιστοιχεί στην αυξημένη μετακίνηση  $d_{em}$  μπορεί να ληφθεί με πολλαπλασιασμό επί  $\gamma_{IS}^{a/2}$

(5) Δεν επιτρέπεται ανασήκωμα μονωτήρων οι οποίοι μεταφέρουν κατακόρυφα φορτία, υπό τον σεισμικό συνδυασμό σχεδιασμού με σεισμική δράση ίση με την οριζόμενη στο άρθρο 4. Ομοίως δεν επιτρέπεται εφελκυσμός ελαστομεταλλικών εφεδράνων.

(6) Με σκοπό την αποφυγή ανασηκώματος στοιχείων του συστήματος μόνωσης ή την αποτροπή εφελκυσμού ελαστομεταλλικών εφεδράνων, επιτρέπεται η χρήση συστήματος περιορισμού του ανασηκώματος σε ανεκτά όρια. Τα όρια αυτά πρέπει να επιβεβαιώνονται με κατάλληλες δοκιμές προτύπων.

Ο σχεδιασμός του συστήματος αυτού πρέπει να γίνει σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- α. Η ικανότητα οριζόντιας μετακίνησης του συστήματος περιορισμού του ανασηκώματος πρέπει να υπερβαίνει την συνολική μέγιστη μετακίνηση του συστήματος μόνωσης σε κάθε διεύθυνση.
- β. Στους ελέγχους της (4) πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα πρόσθετα κατακόρυφα φορτία που οφείλονται στο σύστημα περιορισμού του ανασηκώματος.

(7) Στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης θα προβλέπονται για την προστασία κυρίων ή κρίσιμων στοιχείων του έργου ή για τυχόν διάταξη stoppers, περιθώρια που θα υπερβαίνουν την αντίστοιχη συνολική σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού, σύμφωνα με την 6.2.1 (2), τουλάχιστον κατά 30%.

## 6.2.2 Ελαστομεταλλικά εφέδρανα

(1) Μονωτήρες που αποτελούνται από συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης, σύμφωνα με το EN 1337-3, θα ελέγχονται με τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων, σύμφωνα με τους κανόνες που δίνονται σ' αυτήν την ενότητα. Οι κανόνες αυτοί αφορούν αποκλειστικά τις σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού. Για τις μη σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού έχει εφαρμογή το EN 1337-3.

(2) Η μέγιστη ισοδύναμη διατμητική παραμόρφωση σε κάθε διεύθυνση σχεδιασμού του εφεδράνου ( $\epsilon_{b,d}$ ) θα υπολογίζεται ως το άθροισμα των ακόλουθων μεγεθών που αντιστοιχούν στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού:

$$\epsilon_{b,d} = \epsilon_{s,d} + \epsilon_{c,d} + \epsilon_{a,d} \quad (6.3)$$

όπου:

$\varepsilon_{s,d}$  είναι η διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην συνολική μέγιστη μετακίνηση του εφεδράνου (βλ. 6.2.1 (2)).

$\varepsilon_{c,d}$  είναι η διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού που οφείλεται στην αξονική θλίψη.

$\varepsilon_{a,d}$  είναι η διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην συνολική στροφή σχεδιασμού του εφεδράνου.

(3) Τα μεγέθη  $\varepsilon_{s,d}$ ,  $\varepsilon_{c,d}$  και  $\varepsilon_{a,d}$  υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω διατάξεις α, β και γ.

α. Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω μετακίνησης  $\varepsilon_{sd}$  θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\varepsilon_{sd} = \frac{d_{Ed}}{\Sigma t_i} \quad (6.4)$$

όπου

$d_{Ed}$  η συνολική μέγιστη σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού του εφεδράνου, όπως ορίζεται στην 6.2.1 (2)

$$d_{Ed} = \sqrt{d_{Edx}^2 + d_{Edy}^2} \quad (6.5)$$

$d_{Edx}$ ,  $d_{Edy}$  οι σύγχρονες συνιστώσες της  $d_{Ed}$

$\Sigma t_i$  το συνολικό πάχος ελαστομερούς

β. Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω θλίψεως  $\varepsilon_{c,d}$  θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\varepsilon_{c,d} = \frac{1,5}{S} \cdot \frac{\sigma_e}{G_b} \quad (6.6)$$

όπου

$G_b$  το μέτρο διάτμησης του εφεδράνου με τιμές που ορίζονται στην 5.2.3 (6)

$\sigma_e$  η μέγιστη ενεργή ορθή τάση του εφεδράνου ίση προς  $N_{sd}/A_r$ , όπου

$N_{sd}$  το μέγιστο θλιπτικό φορτίο εφεδράνου υπό το σεισμικό συνδυασμό

$S$  ο συντελεστής σχήματος του εφεδράνου, ίσος προς  $b_x b_y / (2(b_x + b_y)t_i)$  για ορθογωνικά εφέδρανα και  $D/(4t_i)$  για κυκλικά ( $t_i$  είναι το τυπικό πάχος μιας μεμονωμένης στρώσης του ελαστομερούς).

$A_r$  η ελάχιστη ενεργός επιφάνεια του εφεδράνου ίση προς  $(b_x - d_{Edx}) \cdot (b_y - d_{Edy})$  για ορθογωνικά εφέδρανα και  $(\delta - \sin \delta) D^2/4$  για κυκλικά με

$$\delta = 2\arccos(d_{Ed}/D) \text{ και } d_{Ed} = \sqrt{d_{Edx}^2 + d_{Edy}^2}$$

γ. Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω στrophών θα υπολογίζεται για ορθογωνικά εφεδράνα από την σχέση

$$\gamma_\alpha = (b_x^2 \alpha_x + b_y^2 \alpha_y) / (2t_i \Sigma t_i) \quad (6.7)$$

όπου

$\alpha_x$  και  $\alpha_y$  είναι αντίστοιχα οι γωνίες στrophής περί άξονες εγκάρσιους προς τις διαστάσεις  $b_x$  και  $b_y$  των εφεδράνων.

Η ίδια παραμόρφωση για κυκλικά εφεδράνα διαμέτρου  $D$  θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\epsilon_{\alpha,d} = D^2 \alpha / (2t_i \Sigma t_i) \quad (6.8)$$

όπου

$$\alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$$

**Σημείωση:** Κατά κανόνα η επιρροή του  $\epsilon_{ad}$  σε κτίρια είναι αμελητέα. Σε περίπτωση προκατασκευασμένων δοκών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατασκευαστικές γωνιακές αποκλίσεις.

(4) Ο έλεγχος της μέγιστης ισοδύναμης διατμητικής παραμόρφωσης σχεδιασμού θα γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνθήκη (βλέπε και (2) της 5.3.3 του EN 1337-3:2000)

$$\epsilon_{b,d} \leq \frac{\epsilon_{u,k}}{\gamma_m} \quad (6.9)$$

όπου:

$\epsilon_{u,k} = 7.0$  και η τιμή του  $\gamma_m$  θα λαμβάνεται ίση με 1.15.

(5) Πέραν αυτού θα ελέγχεται ότι ικανοποιείται η απαίτηση:

$$\epsilon_{s,d} \leq 2.0 \quad (6.10)$$

(6) Επί πλέον και για την εξασφάλιση της ευστάθειας του εφεδράνου, θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστο ένα από τα ακόλουθα κριτήρια

$$b_{\min} \geq 4\Sigma t_i \quad \text{ή} \quad \sigma_e \leq \frac{2b_{\min}}{3\Sigma t_i} G_b S \quad (6.11, 6.12)$$

(7) Η συνολική αξονική (κατακόρυφη) παραμόρφωση εφεδράνου  $d_z$  που οφείλεται σε αξονικό φορτίο του εφεδράνου  $N_s$  μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$d_z = \frac{N_s}{A_b} \sum t_i \left( \frac{1}{5 \cdot G_q s^2} + \frac{1}{E_b} \right) \quad (6.13)$$

όπου

$A_b$  είναι η επιφάνεια του εφεδράνου ( $b_x b_y$  για ορθογωνικά, και  $\pi D^2/4$  για κυκλικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα) και  $E_b$  η τιμή του μέτρου διόγκωσης του ελαστομερούς η οποία θα λαμβάνεται ίση με  $2.000 \text{ MN/m}^2$ .  
 $G_q$  είναι η τιμή του συμβατού μέτρου διάτμησης όπως ορίζεται στην 5.2.3(5).

(8) Επιτρέπεται η μεταφορά της τέμνουσας δύναμης  $V_{Ed}$  του εφεδράνου η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη συνολική διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού  $\varepsilon_{sd}$ , μέσω τριβής, εφ' όσον ικανοποιούνται οι συνθήκες:

$$\frac{V_{Ed}}{N_{Ed}} \leq \alpha + \frac{\beta}{\sigma_e} \quad \text{και } \sigma_e \geq 3,0 \text{ N/mm}^2 \quad (6.14\alpha, 6.14\beta)$$

όπου

- $\alpha = 0,10$  για εφέδρανα με εξωτερική επιφάνεια ελαστικού
- $= 0,50$  για εφέδρανα με εξωτερικά ανάγλυφα χαλυβδόφυλλα
- $\beta = 0,60$  για έδραση του εφεδράνου σε σκυρόδεμα
- $= 0,20$  για έδραση του εφεδράνου σε μεταλλική ή άλλη επιφάνεια

$N_{Ed}$  είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού του εφεδράνου, σύμφωνα με τους σεισμικούς συνδυασμούς σχεδιασμού.

$\sigma_e = N_{Ed} / A_r$  η ενεργός ορθή τάση σε  $\text{N/mm}^2$ .

Εφ' όσον δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες επιβάλλεται μεταφορά της τέμνουσας δύναμης στο σύνολό της με μηχανικά μέσα αγκύρωσης (π.χ. βλήτρα).

### 6.2.3 Εφέδρανα ολίσθησης

(1) Ο έλεγχος εφεδράνων ολίσθησης (επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης) που συμμετέχουν στο σύστημα σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την 5.2.2.4 (5), θα γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN1337-2 για σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού σύμφωνα με τις 6.2.1 (1) και (2).

## 6.3 Υποδομή και ανωδομή

### 6.3.1 Γενικά

(1) Τα εντατικά μεγέθη λόγω σεισμικής φόρτισης  $E_{E,A}$  στην υποδομή και στην ανωδομή θα λαμβάνονται από τα αποτελέσματα μιας κατάλληλης ανάλυσης σύμφωνα με το άρθρο 5.

(2) Τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού λόγω σεισμικής φόρτισης  $E_E$  μπορούν να ληφθούν από τα εντατικά μεγέθη  $E_{E,A}$  της (1), με διαίρεση με συντελεστή συμπεριφοράς, με τιμή  $E_E = E_{E,A} / q$  με  $q \leq 1,50$  για την ανωδομή και  $q = 1,0$  για την υποδομή.

(3) Όλα τα στοιχεία θα ελέγχονται σε κάμψη ώστε να ικανοποιούν την ανίσωση  $E_d \leq R_d$ , όπου  $R_d$  είναι η αντοχή σχεδιασμού της διατομής και  $E_d$  είναι η ένταση σχεδιασμού του σεισμικού συνδυασμού δράσεων (βλ. άρθρο 4.1.2 του ΕΑΚ 2000) με συμβολή από την σεισμική δράση ίση με  $E_E$ .

(4) Ο έλεγχος σε διάτμηση των στοιχείων της ανωδομής θα γίνεται με τον ίδιο συνδυασμό αλλά με συμβολή της σεισμικής δράσης ίση με  $qE_E$ .

(5) Οι σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού στοιχείων της υποδομής που φέρουν μόνον εφέδρανα ολίσθησης σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.4(5) θα υπολογίζονται με τις μέγιστες τιμές του συντελεστή τριβής που προκύπτει από τη διάταξη του EN1337-2-2002.

### 6.3.2 Σχετική Μεταθετότητα Ορόφων

Σε κτίρια με οργανισμό πλήρωσης από τοιχοποιία θα ελέγχεται ότι η γωνιακή παραμόρφωση, σε όλους τους περιμετρικούς τοίχους, λαμβανομένης υπόψη και της σχετικής στροφής των διαδοχικών πλακών περί κατακόρυφο άξονα, δεν υπερβαίνει την τιμή 0.005 (βλ. ΕΑΚ 2000 Άρθρο 4.2.2, 'Περιορισμός βλαβών'). Όταν ο οργανισμός πλήρωσης είναι λιγότερο ευαίσθητος σε διατμητική παραμόρφωση (χωρίσματα με μεταλλικό σκελετό, υαλοστάσια κλπ.) η γωνιακή παραμόρφωση δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0.007.

Ο έλεγχος θα γίνεται με τιμές μετακινήσεων που προκύπτουν από την ελαστική σεισμική ανάλυση σύμφωνα με το άρθρο 5 και 6 λόγω σεισμικής δράσης που λαμβάνεται ίση με  $qE_E$ .

### 6.3.3 Όρια Τέμνουσας Βάσης

Η τέμνουσα βάσης η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με το Άρθρο 5.4, εξίσ. 5.10 δεν επιτρέπεται να λάβει τιμή μικρότερη των ακόλουθων ορίων:

1. Τέμνουσα βάσης η οποία αντιστοιχεί στην δράση ανέμου σχεδιασμού του κτιρίου.

2. Για συστήματα μόνωσης που μπορούν να προσομοιωθούν με διγραμμική προσέγγιση (βλ. Σχήμα 1) και για συστήματα ολίσθησης, η οριζόντια δύναμη η οποία απαιτείται για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος μόνωσης, κλιμακούμενη με τον συντελεστή 1.50. Η οριζόντια αυτή δύναμη είναι, για συστήματα μόνωσης που μπορούν να προσομοιωθούν με διγραμμική

προσέγγιση, ίση με την δύναμη διαρροής  $F_y$ , και για συστήματα ολίσθησης, ίση με την χαρακτηριστική αντοχή  $F_0$  (βλ. Σχήμα 1).

#### 6.3.4 Προσαρτήματα

Βλ. ΕΑΚ 2000, Άρθρο 3.7

### 7 ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

#### 7.1 Συστάσεις για την διαμόρφωση του φορέα κοντά στην διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης

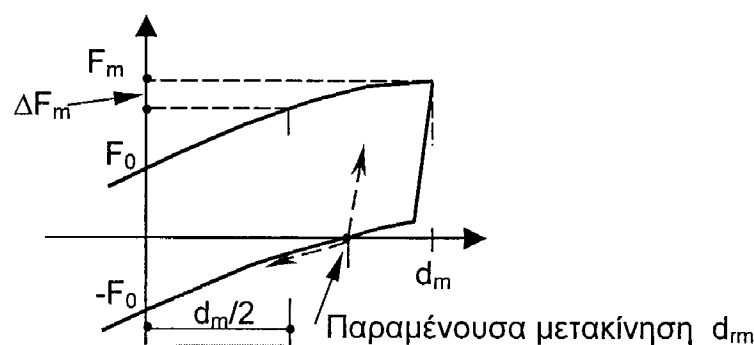
(1) Κατά κανόνα σε κτίρια η υποδομή αποτελείται από υπόγειους ορόφους ή την θεμελίωση και διαθέτει κατά συνέπεια πολύ μεγάλη συνολική μεταφορική δυσκαμψία σε σχέση με εκείνη του συστήματος μόνωσης. Είναι ακόμα σκόπιμο η ίδια συνθήκη να εξασφαλίζεται και κάτω από κάθε επιμέρους μονωτήρα.

(2) Είναι σκόπιμο η διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης να προβλέπεται αμέσως κάτω από το πρώτο διάφραγμα της ανωδομής.

#### 7.2 Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς

(1) Το σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να διαθέτει ικανότητα αυτοδύναμης οριζόντιας επαναφοράς σε όλες τις οριζόντιες διευθύνσεις. Η ικανότητα αυτή διατίθεται όταν το σύστημα έχει μία από τις ακόλουθες ιδιότητες και στις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις (βλ. και Σχήμα 7).

- πολύ μικρή παραμένουσα μετακίνηση, σε σχέση με την ικανότητα μετακίνησης  $d_m$
- σε εκκίνηση από την θέση παραμένουσας μετακίνησης το σύστημα παρουσιάζει σημαντικά μικρότερη δυσκαμψία σε μετακίνηση με διεύθυνση προς το κέντρο απ' ό,τι στην αντίθετη διεύθυνση.



**Σχήμα 7: Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς**



(2) Η παραπάνω απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

$$\Delta F_m \geq 0.015 W_d d_{rm} / d_m \quad (7.1\alpha)$$

$$d_{rm} \leq d_m - 0,5 d_{a,max} \quad (7.1\beta)$$

όπου

$\Delta F_m$  είναι η αύξηση της δύναμης από μετακίνηση ίση με  $d_m/2$  μέχρι μετακίνηση  $d_m$ ,  
 $W_d$  είναι το βάρος της μάζας της ανωδομής,

$d_m$  είναι η ικανότητα μετακίνησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην εξεταζόμενη διεύθυνση, και

$d_{rm}$  είναι η παραμένουσα μετακίνηση του συστήματος σεισμικής μόνωσης, που αντιστοιχεί στην  $d_m$ , δηλαδή η παραμένουσα μετακίνηση μετά την αφαίρεση της δύναμης  $F_m$  που απαιτείται για την πρόκληση μετακίνησης  $d_m$

$d_{a,max}$  είναι η μέγιστη τιμή της σεισμικής μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης, αυξημένης σύμφωνα με την 6.2 (1).

(3) Ο υπολογισμός των μεγεθών  $d_{rm}$  και  $\Delta F_m$  επιτρέπεται να γίνει συντηρητικά με βάση τις ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων υπό δυναμικές συνθήκες.

**Σημείωση 1:** Συστήματα σεισμικής μόνωσης που ικανοποιούν τις συνθήκες (7.1α) και (7.1β), εμφανίζουν στην θέση παραμένουσας μετακίνησης επαρκώς μικρότερη δυσκαμψία σε μετακίνηση προς το κέντρο απ' ότι σε απομάκρυνση από το κέντρο. Κατά συνέπεια τέτοια συστήματα έχουν τάση επαναφοράς προς το κέντρο σε κάθε διαταραχή της ισορροπίας δυνάμεων. Για τον ίδιο λόγο η παραμένουσα μετακίνηση δεν χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη στον έλεγχο επάρκειας μετακίνησης μετά από ένα σεισμικό γεγονός.

**Σημείωση 2:** Σε σύστημα με διγραμμική υστερητική συμπεριφορά (βλ. 5.2.2.10) η παραμένουσα μετακίνηση  $d_{rm}$  μπορεί να υπολογιστεί από την  $d_r = F_0 / K_p = F_y / K_p - d_y$ , σε συνάρτηση προς την  $d_m$ , όπως δείχνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Περιοχή $d_m$	$d_{rm}$
$d_r + 2d_y \leq d_m$	$d_r$
$d_y < d_m < d_r + 2d_y$	$d_r(d_m - d_y) / (d_r + d_y)$
$d_m \leq d_y$	0

### 7.3 Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης

(1) Το συνολικό σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή περιορισμό μετακινήσεων στην οριζόντια διεύθυνση στην διεπιφάνεια μόνωσης προκειμένου να ικανοποιούνται όλες οι σχετικές απαιτήσεις των κριτηρίων λειτουργικότητας που αφορούν σε περιορισμό των μετακινήσεων.

(2) Αν, για την κάλυψη απαιτήσεων περιορισμού της σχετικής μετακίνησης μεταξύ ανωδομής και υποδομής υπό συνθήκες λειτουργίας, χρησιμοποιούνται σε κάποια στήριξη ή στηρίξεις θυσιαζόμενοι σύνδεσμοι (λειτουργία διακόπτου ασφαλείας) ενσωματωμένοι στο τελικό σύστημα του κτιρίου, τότε η ικανότητα διαρροής τους δεν πρέπει να υπερβαίνει το 40% της σεισμικής δύναμης που μεταφέρεται μέσω της διεπιφάνειας σεισμικής μόνωσης στην υπό εξέταση στήριξη και διεύθυνση. Αν δεν ικανοποιείται η απαίτηση αυτή, πρέπει να ελέγχεται η ικανοποίηση όλων των απαιτήσεων (εκτός των σχετικών με κόπωση) των ισχυόντων μη σεισμικών κανονισμών (EN1992-1, EN1993-1 ή EN1994-1) για τα στοιχεία του κτιρίου που επηρεάζονται από την φόρτιση για την οποία διατάσσεται και διαστασιολογείται ο θυσιαζόμενος σύνδεσμος. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να εκτελείται με την φόρτιση αυτή αυξημένη ώστε η σχετική αντίδραση να φθάσει την διαρροή του συνδέσμου.

(3) Όταν η κάλυψη του περιορισμού μετακίνησης υπό συνθήκες λειτουργίας γίνεται μέσω συσκευής δυναμικής εμπλοκής (shock transmission unit) με λειτουργία άνω ορίου αντίδρασης, η λειτουργία της συσκευής πρέπει να συμπεριληφθεί στο σεισμικό προσομοίωμα και η συσκευή θα υπόκειται στους ελέγχους και τις δοκιμές των στοιχείων του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

#### 7.4 Άλλες Απαιτήσεις

(1) Πρέπει να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα των αγωγών δικτύων που διέρχονται μέσα από την διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης.

(2) Η προαναφερόμενη απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν:

- Αγωγοί μεταφοράς επικίνδυνων ουσιών (π.χ. αγωγοί υγραερίου ή άλλων καυσίμων κλπ.) παραμένουν στην ελαστική περιοχή υπό την επίδραση της συνολικής μεγίστης μετακίνησης σχεδιασμού της 6.2.1 (2).
- Οι λοιποί αγωγοί ελέγχονται σε κατάσταση αστοχίας υπό την προαναφερθείσα συνολική μέγιστη μετακίνηση, ενώ παραμένουν στην ελαστική περιοχή υπό την επίδραση του αθροίσματος  $d_{bi,d}$  και των μετακινήσεων λόγω μόνιμων δράσεων σύμφωνα με την 6.2.1 (1) και (2).

#### 7.5 Επιθεώρηση και Συντήρηση

(2) Για όλους τους μονωτήρες πρέπει να προβλέπεται η δυνατότητα πρόσβασης για επιθεώρηση, συντήρηση και πιθανή αντικατάσταση.

(3) Πρόγραμμα περιοδικής επιθεώρησης και συντήρησης του συστήματος σεισμικής μόνωσης και όλων των στοιχείων που διαπερνούν τη διεπιφάνεια μόνωσης θα εκπονείται και θα εφαρμόζεται με μέριμνα του Κυρίου του έργου.

(4) Επισκευή, αντικατάσταση ή ενίσχυση οποιουδήποτε μονωτήρα ή στοιχείου που διαπερνά την διεπιφάνεια μόνωσης πρέπει να ικανοποιεί τις διατάξεις του παρόντος, να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του υπεύθυνου Μηχανικού και να καταγράφεται λεπτομερώς σε σχετική τεχνική έκθεση.

## **7.6 Πυροπροστασία**

(1) Η ικανότητα αντίστασης των μονωτήρων σε φωτιά πρέπει να είναι ίδιας κατηγορίας με εκείνη που απαιτείται για τα κατακόρυφα στοιχεία του φέροντα οργανισμού του κτιρίου (τοιχίο ή υποστύλωμα).

(2) Η ικανότητα αντίστασης των μονωτήρων σε φωτιά μπορεί να διασφαλίζεται με την χρήση κατάλληλων διατάξεων πυροπροστασίας. Οι διατάξεις αυτές θα πρέπει να μην εμποδίζουν την λειτουργία του συστήματος μόνωσης και να παραμένουν λειτουργικές κατά την αυξημένη μετακίνηση του συστήματος μόνωσης.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

#### A.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής

(1) Η αποδεκτή περιοχή τιμών για τα χαρακτηριστικά της σχέσης δύναμης-παραμόρφωσης και τις τιμές απόσβεσης των μονωτήρων που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση των κτιρίων με σεισμική μόνωση πρέπει να επιβεβαιώνονται με τις δοκιμές που δίνονται στο παρόν Παράρτημα.

(2) Οι Δοκιμές Προτύπων που καθορίζονται στην παράγραφο A.2 στοχεύουν στον καθορισμό ή επιβεβαίωση της αποδεκτής περιοχής των ονομαστικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων (βλ. A.2.3.3 R4). Οι δοκιμές αυτές αφορούν εν γένει ένα συγκεκριμένο έργο. Ωστόσο, υφιστάμενα αποτελέσματα δοκιμών που έγιναν σε δοκίμια παρόμοιου τύπου και μεγέθους και με παρόμοιες τιμές για τις παραμέτρους σχεδιασμού, είναι αποδεκτά. Οι δοκιμές αυτές δεν στοχεύουν σε διασφάλιση ποιοτικού ελέγχου των μονωτήρων.

(3) Σκοπός των δοκιμών της παραγράφου A.3 είναι να τεκμηριωθούν οι ιδιότητες των μονωτήρων που συνήθως δεν αφορούν ειδικά κάποιο συγκεκριμένο έργο.

(4) Πέραν από την επιβεβαίωση των ονομαστικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων, η οποία επιτυγχάνεται με την διεξαγωγή των Δοκιμών Προτύπων, η μεταβλητότητα των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων, λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων και παραγόντων που εξαρτώνται από τον χρόνο (ρύπανση, φθορά) θα πρέπει να προσδιορίζεται με τη διεξαγωγή ειδικών δοκιμών. Αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, η μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων μπορεί να υπολογίζεται βάσει των διατάξεων του άρθρου A.4.

#### A.2 Δοκιμές Προτύπων

##### A.2.1 Γενικά

(1) Οι δοκιμές για κάθε τύπο και μέγεθος μονωτήρα θα γίνονται τουλάχιστον σε δύο δοκίμια. Τα δοκίμια δεν θα πρέπει να έχουν υποστεί καμία οριζόντια ή κατακόρυφη φόρτιση πριν την διεξαγωγή των δοκιμών προτύπων.

(2) Γενικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δοκίμια σε φυσικό μέγεθος (κλίμακα 1:1). Επιτρέπεται χρήση δοκιμίων υπό κλίμακα, κατόπιν έγκρισης της αρμόδιας αρχής, μόνο σε περίπτωση που οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις για την διεξαγωγή

των δοκιμών δεν διαθέτουν την ικανότητα για δοκιμές επί δοκιμών φυσικού μεγέθους.

(3) Όταν χρησιμοποιούνται δοκίμια υπό κλίμακα, τα δοκίμια πρέπει να είναι του ιδίου υλικού και τύπου και, γεωμετρικά όμοια με τα δοκίμια φυσικού μεγέθους ενώ θα πρέπει να κατασκευάζονται ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και βάσει του ιδίου ελέγχου διασφάλισης ποιότητας.

(4) Τα δοκίμια επιτρέπεται να ενσωματωθούν στο έργο εφόσον έχουν υποστεί επιτυχώς της δοκιμές προτύπων.

### **A.2.2. Αλληλουχία δοκιμών**

(1) Σε όλους τους μονωτήρες ιδίου τύπου και μεγέθους, πρέπει να διεξαχθεί η ακόλουθη αλληλουχία δοκιμών για έναν καθορισμένο αριθμό κύκλων, με κατακόρυφο φορτίο που θα ισούται με τη μέση τιμή του φορτίου λόγω του σεισμικού συνδυασμού δράσεων (βλ. ΕΑΚ 2000 άρθρο 4.1.2.1).

T1 Τρεις πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στη μέγιστη θερμική μετακίνηση (με θετικό και αρνητικό πρόσημο), και με ταχύτητα δοκιμής όχι μικρότερη των 0,10 χιλιοστών / λεπτό.

T2 Είκοσι πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στη μέγιστη μη σεισμική δράση σχεδιασμού, με μέση συχνότητα δοκιμής 0,5Hz. Κατόπιν των κύκλων δοκιμών, η συνολική φόρτιση του δοκιμίου θα πρέπει να διατηρηθεί σταθερή για 1 λεπτό.

T3 Πέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στην αυξημένη σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού σύμφωνα με την (6.1). Σε μονωτήρες των οποίων η συμπεριφορά εξαρτάται από την ταχύτητα φόρτισης (βλ. (2) παρακάτω) οι τρεις πρώτες από τις 5 φορτίσεις θα εκτελούνται με ταχύτητες 1, 1/4, 1/2, 3/4 της ταχύτητας που ορίζεται με βάση τη συχνότητα στην (2).

T4 Δεκαπέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στην μετακίνηση σχεδιασμού με εκκίνηση από την εκκεντρότητα που αντιστοιχεί στις μη σεισμικές δράσεις της σεισμικής κατάστασης σχεδιασμού σύμφωνα με την (2) της 6.2. Οι δεκαπέντε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις μπορούν να διεξαχθούν σε τρεις ομάδες των πέντε ανακυκλιζομένων φορτίσεων η κάθε μια. Ενδιάμεσα στις ομάδες των πέντε ανακυκλιζομένων φορτίσεων θα παρεμβάλλεται χρονικό διάστημα ικανό ώστε τα δοκίμια να ανακτήσουν την αρχική θερμοκρασία τους.

T5 Επανάληψη της δοκιμής T2 μειώνοντας τον αριθμό κύκλων σε 3.

T6 Εάν ο μονωτήρας είναι στοιχείο που παραλαμβάνει κατακόρυφο φορτίο, τότε πρέπει να γίνουν επίσης δοκιμές για μια πλήρως ανακυκλιζόμενη φόρτιση στη συνολική σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού υπό τα ακόλουθα κατακόρυφα φορτία:

$$\begin{aligned} 1.2 Q_G + \psi_2 Q_k + \Delta F_{Ed} \\ 0.8 Q_G - \Delta F_{Ed} \end{aligned}$$

όπου:

$Q_G$  το μόνιμο κατακόρυφο φορτίο

$\psi_2$  η τιμή του συντελεστή συνδυασμού για μακροχρόνιες (“οιονεί μόνιμες”) μεταβλητές δράσεις (βλ. ΕΑΚ 2000 άρθρο 4.1.2.1)

$Q_k$  η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης και

$\Delta F_{Ed}$  το επιπρόσθετο κατακόρυφο φορτίο λόγω ροπών ανατροπής που οφείλονται στη σεισμική καταπόνηση, κατά την μέγιστη απόκριση της κατασκευής κατά τον σεισμό σχεδιασμού.

(2) Οι δοκιμές T3, T4, και T6 θα πρέπει να διεξάγονται με συχνότητα ίση με το αντίστροφο της ενεργού περιόδου του συστήματος μόνωσης. Εξαίρεση στον κανόνα αυτό επιτρέπεται να γίνει για μονωτήρες των οποίων η συμπεριφορά δεν εξαρτάται από την ταχύτητα φόρτισης. Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης ενός μονωτήρα θεωρούνται ότι δεν εξαρτώνται από την ταχύτητα φόρτισης όταν υπάρχει διαφορά μικρότερη του 15% στις τιμές  $F_0$  και  $K_p$  που καθορίζουν το βρόχο υστέρησης (βλέπε Σχήμα 1) όπως προκύπτουν από τρεις πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις κατά την μετατόπιση σχεδιασμού που διεξάγονται με συχνότητα που κυμαίνεται από 0,2 μέχρι 2,0 φορές της αντιστρόφου τιμής της ενεργού περιόδου του συστήματος μόνωσης.

### A.2.3 Καθορισμός των παραμέτρων σχεδιασμού

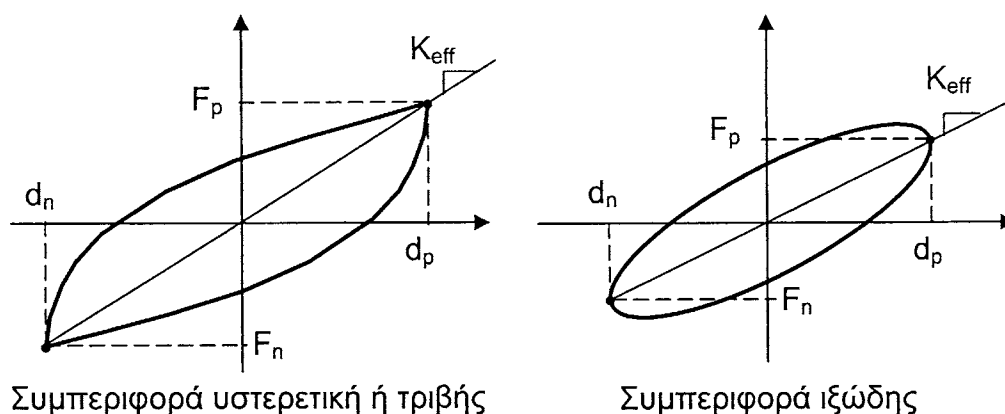
#### A.2.3.1 Χαρακτηριστικά Δύναμης – Μετατόπισης

(1) Η ενεργός δυσκαμψία ενός μονωτήρα θα υπολογίζεται για κάθε πλήρως ανακυκλιζόμενη φόρτιση, ως ακολούθως:

$$K_{eff} = (F_p - F_n) / (d_p - d_n) \quad (A.1)$$

όπου:

$d_p$  και  $d_n$  η μέγιστη θετική και αρνητική μετακίνηση της δοκιμής αντίστοιχα και  $F_p$  και  $F_n$  οι μέγιστες θετικές και αρνητικές δυνάμεις αντίστοιχα για μονωτήρες που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά και συμπεριφορά τριβής ή οι θετικές και αρνητικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στα  $d_p$  και  $d_n$  αντίστοιχα για μονωτήρες που παρουσιάζουν ιξώδη-ελαστική συμπεριφορά (βλ. Σχήμα 1).



Σχήμα Α1

### A.2.3.2 Χαρακτηριστικά Απόσβεσης

(1) Η ενέργεια  $E_{Di}$  που αποδίδεται ανά κύκλο φόρτισης ενός μονωτήρα  $i$  καθορίζεται ως η επιφάνεια του αντίστοιχου βρόχου υστέρησης κάθε μίας από τις πέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, της δοκιμής T3 της παραγράφου A.2.2

### A.2.3.3 Επάρκεια συστήματος

(1) Η απόκριση των δοκιμών θεωρείται ως επαρκής εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις:

- R1** Τα διαγράμματα δύναμης–μετατόπισης όλων των δοκιμών που καθορίζονται στην παράγραφο A.2.2 θα πρέπει να έχουν αύξουσα αντίδραση.
- R2** Στην δοκιμή T1 της παραγράφου A.2.2, η μέγιστη μετρούμενη δύναμη δε θα πρέπει να ξεπερνά τη τιμή σχεδιασμού κατά περισσότερο από 5%.
- R3** Στις δοκιμές T2 και T5 της παραγράφου A.2.2 η μέγιστη μετρούμενη μετατόπιση δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 95% της τιμής σχεδιασμού.
- R4** Στην δοκιμή T3 της παραγράφου A.2.2, η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της ενεργού δυσκαμψίας  $k_{eff}$  (και των αντίστοιχων χαρακτηριστικών του διαγράμματος δύναμης–μετακίνησης) καθώς και της ενέργειας που αποσβένεται ανά κύκλο  $E_d$  θα προσδιορίζονται από την μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα, των μέσων όρων των τεσσάρων ζευγών διαδοχικών κύκλων της δοκιμής. Οι τιμές αυτές καθορίζουν τα μετρούμενα όρια των ονομαστικών τιμών των αντίστοιχων παραμέτρων. Τα όρια αυτά πρέπει να βρίσκονται μέσα στην αποδεκτή από την μελέτη περιοχή τιμών.
- R5** Ο λόγος ελάχιστη / μέγιστη ενεργός δυσκαμψία που μετρήθηκε στις δεκαπέντε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις κατά τη δοκιμή T4 δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,7.

- R7** Όλοι οι μονωτήρες που παραλαμβάνουν κατακόρυφο φορτίο πρέπει να παραμένουν ευσταθείς (δηλαδή να παρουσιάζουν αύξουσα δυσκαμψία) κατά την δοκιμή T6 της παραγράφου A.2.2
- R8** Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών, όλα τα δοκίμια θα πρέπει να ελεγχθούν για ενδείξεις σημαντικής φθοράς που μπορεί να στοιχειοθετήσει απόρριψη, όπως (όπου είναι σχετικό):

- Ελαττωματική συνάφεια του ελαστομερούς υλικού και των χαλυβδοφύλλων
- Ελαττωματική κατασκευή των επάλληλων στρώσεων ελαστομερούς υλικού και χαλυβδοφύλλων
- Ρωγμές στην επιφάνεια ελαστομερούς υλικού που έχουν πλάτος ή βάθος μεγαλύτερο από το 70% του πάχους του στρώματος επικάλυψης από ελαστομερές υλικό.
- Αποφλοίωση υλικού σε έκταση επιφάνειας μεγαλύτερης του 5% της επιφάνειας του εφεδράνου
- Ελαττωματική συνάφεια του PTFE και της ανοξειδωτής μεταλλικής σε έκταση επιφάνειας μεγαλύτερης του 5% της επιφάνειας συνάφειας του PTFE και ανοξειδωτής μεταλλικής επιφάνειας
- Εμφάνιση σε πλάκα από ανοξειδωτο χάλυβα αυλακώσεων με βάθος ή πλάτος μεγαλύτερο των 0,5 mm και μήκους μεγαλύτερου των 20 mm .
- Μόνιμη παραμόρφωση
- Διαρροή

### A.3 Λοιπές Δοκιμές

#### A.3.1 Δοκιμές Φθοράς και Κόπωσης

Δεν απαιτούνται σε κτίρια με σεισμική μόνωση.

#### A.3.2 Δοκιμές χαμηλής θερμοκρασίας

(1) Εάν οι μονωτήρες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, με τιμή «ελαχίστης θερμοκρασίας σεισμικού σχεδιασμού μονωτήρων»  $T_{min,b} < 0^\circ$ , τότε πρέπει να γίνει δοκιμή στη θερμοκρασία αυτή, που θα περιλαμβάνει 5 πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στη μετατόπιση σχεδιασμού, ενώ οι λοιπές συνθήκες θα παραμείνουν όπως ορίζονται στη δοκιμή T3 της παραγράφου A.2.2. Το δοκίμιο θα κρατείται κάτω από την θερμοκρασία ψύξης για τουλάχιστον 2 ημέρες πριν από την δοκιμή.

**Σημείωση:** Όταν η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας σεισμικού σχεδιασμού μονωτήρων  $T_{min,b}$  δεν ορίζεται από τις Προδιαγραφές του έργου, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση :

$$T_{min,b} = \psi_2 T_{min} + \Delta T_r$$

όπου



$T_{min}$  είναι η τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα υπό σκιά στην περιοχή του έργου, με ετήσια πιθανότητα αρνητικής υπέρβασης 0,02 (σύμφωνα με το EN1991-1-5),

$\psi_2 = 0,50$  είναι ο συντελεστής συνδυασμού θερμικών δράσεων υπό σεισμικές συνθήκες, σύμφωνα με το EN1990 – Annex A2, και το

$\Delta T_r$  σύμφωνα με το Σχ. 6.1 του EN1991-1-5, έχει τις παρακάτω τιμές ανάλογα με το είδος του φορέα:

Φορέας	Από σκυρόδεμα	Σύμμικτος	Χαλύβδινος
$\Delta T_r$ (°C)	7,5	5,0	-2,5

(2) Στην δοκιμή της παραγράφου A.3.1, 10 % της συνολικής μετακίνησης πρέπει να επιβάλλεται σε θερμοκρασία  $T_{min,b}$ .

#### A.4. Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων

##### A.4.1 Γενικά

(1) Οι ακόλουθες παράγραφοι παρέχουν οδηγίες για την εκτίμηση της μεταβλητότητας των παραμέτρων σχεδιασμού μονωτήρων με σκοπό την εκτίμηση της Ανώτερης και Κατώτερης Τιμής Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ) που απαιτείται για το σχεδιασμό του συστήματος μόνωσης, σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.3.

(2) Γενικά οι ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ θα πρέπει να καθορίζονται βάσει κατάλληλων δοκιμών, στις οποίες εκτιμάται η επίδραση των ακόλουθων παραγόντων σε κάθε παράμετρο:

- f1: γήρανση (συμπεριλαμβανομένης της οξείδωσης)
- f2: θερμοκρασία
- f3: ρύπανση

Γενικά οι παράμετροι σχεδιασμού της κυκλικής απόκρισης που επηρεάζονται από τους ανωτέρω παράγοντες είναι οι ακόλουθες (Βλέπε Σχ. 1 και Σχ. 3).

- Η μετελαστική ακαμψία  $K_p$
- Η δύναμη σε μηδενική μετατόπιση  $F_0$

(3) Η επίδραση καθενός από τους ανωτέρω παράγοντες  $f_i$  ( $i = 1$  έως 4) σε κάθε μια από τις παραμέτρους σχεδιασμού, θα πρέπει να εκτιμηθεί κατόπιν σύγκρισης των μέγιστων και ελάχιστων τιμών της παραμέτρου σχεδιασμού ( $\max DP_{fi}$  και  $\min DP_{fi}$ ) που προκύπτει από την επίδραση των συντελεστών  $f_i$ , στην μέγιστη και στην ελάχιστη ονομαστική τιμή της ίδιας παραμέτρου ( $\max DP_{nom}$  και  $\min DP_{nom}$ ) αντίστοιχα, όπως μετρήθηκε με τις δοκιμές προτύπων της παραγράφου A.2. Οι

ακόλουθοι λόγοι θα πρέπει να καθορίζονται για την επίδραση κάθε συντελεστή  $f_i$  στην υπό εξέταση παράμετρο σχεδιασμού.

$$\lambda_{\max,fi} = \max DP_{fi} / \max DP_{nom} \quad (A.2)$$

$$\lambda_{\min,fi} = \min DP_{fi} / \min DP_{nom} \quad (A.3)$$

(4) Η ενεργός ΑΤΠΣ που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό θα πρέπει να υπολογίζεται όπως φαίνεται στην συνέχεια

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \dots \lambda_{U,f4} \quad (A.4)$$

με

$$\lambda_{U,fi} = 1 + (\lambda_{\max,fi} - 1) \psi_{fi} \quad (A.5)$$

όπου οι συντελεστές συνδυασμού  $\psi_{fi}$  εκφράζουν την μειωμένη πιθανότητα ταυτόχρονης παρουσίας των μέγιστων δυσμενών επιδράσεων όλων των συντελεστών, με τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα Α.1:

Πίνακας Α.1: Συντελεστές Συνδυασμού $\psi_{fi}$	
Σπουδαιότητα κτιρίου	$\psi_{fi}$
Μεγαλύτερη της μέσης	0.90
Μέση	0.70
Μικρότερη της μέσης	0.60

(5) Για την ενεργό ΚΤΠΣ (και τους σχετικούς συντελεστές μεταβλητότητας  $\lambda_{L,fi}$ ) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σχέσεις παρόμοιες προς τις σχέσεις (Α.4) και (Α.5) σε συνδυασμό με τους  $\lambda_{\min,fi}$ . Ωστόσο, για τα κοινά ελαστομεταλλικά εφέδρανα και τους μονωτήρες ολίσθησης, γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι:

$$\lambda_{\min,fi} = 1 \quad (A.6)$$

και κατά συνέπεια

$$ΚΤΠΣ = \min DP_{nom} \quad (A.7)$$

(6) Για υδραυλικούς αποσβεστήρες και απουσία ειδικών δοκιμών, μπορεί να υποτεθεί ότι:

$$\begin{aligned} ΑΤΠΣ &= \max DP_{nom} \\ ΚΤΠΣ &= \min DP_{nom} \end{aligned}$$

#### A.4.2 Τιμές $\lambda_{\max}$ για ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

(1) Εν απουσία αποτελεσμάτων κατάλληλων δοκιμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ΑΤΠΣ, οι τιμές  $\lambda_{\max}$  που δίνονται στους παρακάτω πίνακες Α.2 μέχρι Α.5

Πίνακας Α.2 f1: Γήρανση		
Τύπος ελαστομεταλλικών εφεδράνων	$\lambda_{\max,f1}$ για	
	$F_0$	$K_p$
LDRB	1.1	1.1
HDRB1	1.2	1.2
HDRB2	1.3	1.3
Πυρήνας μολύβδου	1.0	-

Με τον ακόλουθο συμβολισμό για τους τύπους ελαστομεταλλικών εφεδράνων:

LDRB: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης με μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο από 0,5 MPa

HDRB1: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης με  $\xi_{\text{eff}} \leq 0.15$  και με μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο από 0,5 MPa

HDRB2: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα υψηλής απόσβεσης με  $\xi_{\text{eff}} \geq 0.15$  ή με μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο από 0,5 MPa

Πυρήνας μολύβδου: Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου

Πίνακας Α.3 f2: Θερμοκρασία						
Θερμοκρασία Σχεδιασμού $T_{\min,b}$ (° C)	$\lambda_{\max,f2}$					
	$F_0$			$K_p$		
	LDRB	HDRB1	HDRB2	LDRB	HDRB1	HDRB2
20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2
-10	1.4	1.4	1.4	1.1	1.2	1.4
-30	1.5	2.0	2.5	1.3	1.4	2.0

Πίνακας Α.4 f3: Ρύπανση	
$\lambda_{\max,f3} = 1,0$	

Πίνακας Α.5 f4: Συνολική διαδρομή	
Ελαστομερές	$\lambda_{\max,f4} = 1,0$
Μόλυβδος	Απαιτούνται δοκιμές

#### A.4.3 Τιμές $\lambda_{\max}$ για μονωτήρες ολίσθησης

(1) Εν απουσία αποτελεσμάτων καταλλήλων δοκιμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της μέγιστης δύναμης σε μηδενική

μετατόπιση  $F_0$  που αντιστοιχεί σε ΑΤΠΣ, οι τιμές  $\lambda_{\max}$  που δίνονται στους ακόλουθους πίνακες Α.6 έως Α.9. Οι τιμές που δίνονται για ΡΤΦΕ χωρίς λιπαντικό μέσο καλύπτουν επίσης τους Σφαιρικούς Μονωτήρες Ολίσθησης (Εφέδρανα FPS).

<b>Πίνακας Α.6</b> <b>f1: Γήρανση</b>						
	$\lambda_{\max, f1}$					
Στοιχείο	ΡΤΦΕ χωρίς λιπαντικό μέσο		ΡΤΦΕ με λιπαντικό μέσο		Διμεταλλική Διεπιφάνεια	
Περιβαλλοντικές Συνθήκες	Προστατευτική σφράγιση μονωτήρα:		Προστατευτική σφράγιση μονωτήρα:		Προστατευτική σφράγιση μονωτήρα:	
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Κανονικές	1,1	1,2	1,3	1,4	2,0	2,2
Ακραίες	1,2	1,5	1,4	1,8	2,2	2,5

<b>Πίνακας Α.7</b> <b>f2: Θερμοκρασία</b>			
Θερμοκρασία Σχεδιασμού	$\lambda_{\max, f2}$		
$T_{\min, b}$	ΡΤΦΕ χωρίς λιπαντικό μέσο	ΡΤΦΕ με λιπαντικό μέσο	Διμεταλλική Διεπιφάνεια
20	1,0	1,0	Απαιτούνται δοκιμές
0	1,1	1,3	
-10	1,2	2,5	
-30	1,5	3,0	

<b>Πίνακας Α.8</b> <b>f3: Ρύπανση</b>			
	$\lambda_{\max, f3}$		
Τρόπος εγκατάστασης	ΡΤΦΕ χωρίς λιπαντικό μέσο	ΡΤΦΕ με λιπαντικό μέσο	Διμεταλλική Διεπιφάνεια
Μονωτήρας με προστατευτική σφράγιση, επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα κάτω	1.0	1.0	1.0
Μονωτήρας με προστατευτική σφράγιση, επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα επάνω	1.1	1.1	1.1
Μονωτήρας χωρίς προστατευτική σφράγιση, επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα κάτω	1,2	3.0	1.1

(2) Τα παραπάνω στοιχεία ισχύουν με τις ακόλουθες παραδοχές:

- Πίνακας Α.6
  - Γίνεται παραδοχή ότι οι πλάκες ολίσθησης είναι από ανοξείδωτο χάλυβα
  - Όταν δεν προβλέπεται προστατευτική σφράγιση των μονωτήρων θεωρούνται εκτεθειμένοι σε νερό και αλάτι
  - Ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες περιλαμβάνουν συνθήκες θαλάσσιου και βιομηχανικού περιβάλλοντος
  - Οι τιμές για διμεταλλική διεπιφάνεια αφορούν διεπιφάνεια μεταξύ ανοξείδωτου χάλυβα και μπρούντζου
- Πίνακας Α.8
  - Θεωρείται ότι η προστατευτική σφράγιση των μονωτήρων προσφέρει προστασία από τη ρύπανση υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΙΩΝ

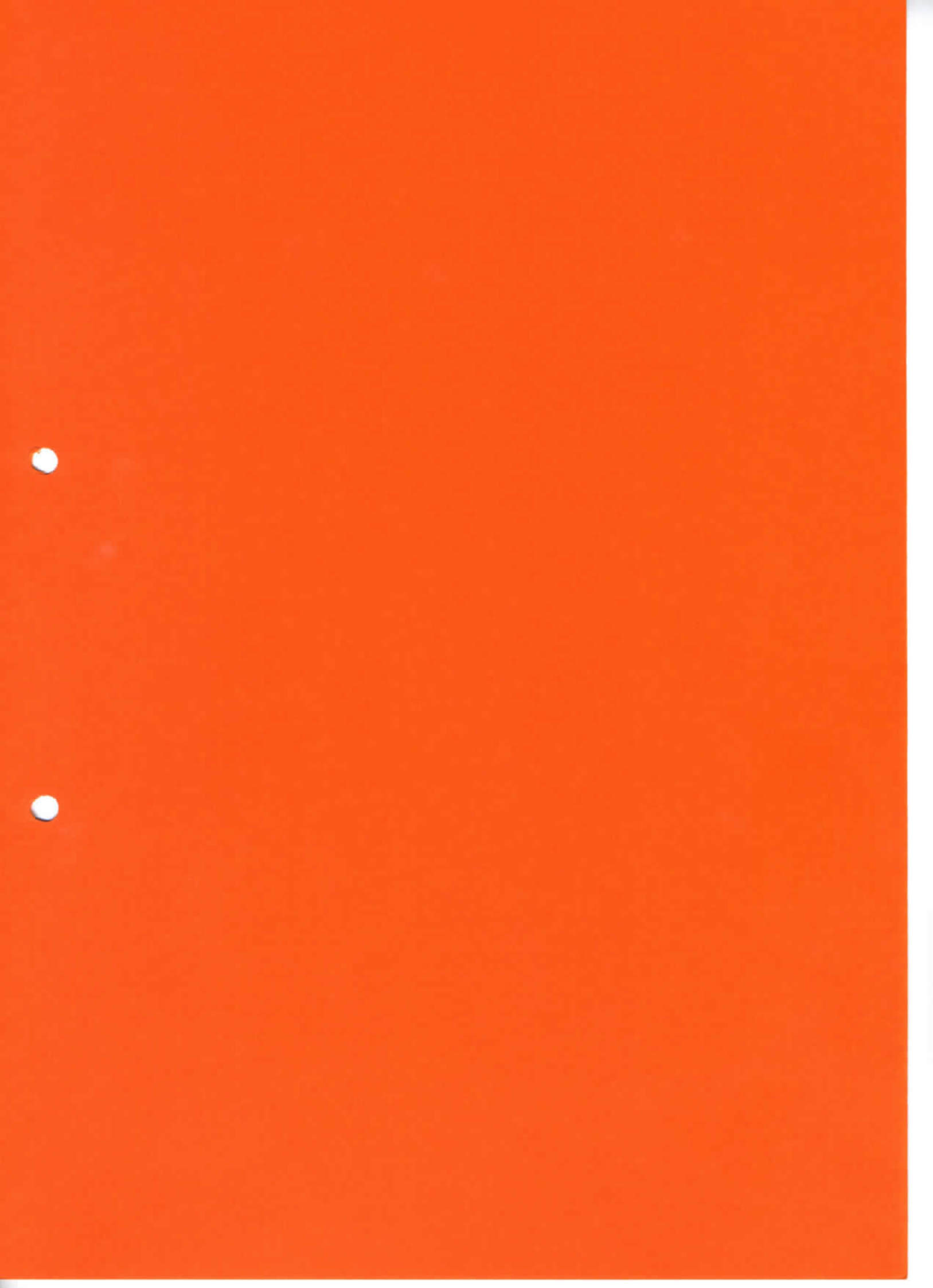
#### **B.1 Έλεγχος της μελέτης και των δοκιμών του συστήματος μόνωσης**

(1) Ο έλεγχος του συστήματος μόνωσης και των προγραμμάτων δοκιμών των σεισμικών μονωτήρων θα πρέπει να εκτελείται από Ελεγκτή ο οποίος είναι ανεξάρτητος του Μελετητή και του Κατασκευαστή του έργου και διαθέτει επαρκή εμπειρία σε μεθόδους αντισεισμικής ανάλυσης καθώς και εξειδίκευση στη θεωρία και εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης.

(2) Ο έλεγχος θα καλύπτει:

- την μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης, στην οποία συμπεριλαμβάνεται ο καθορισμός της σεισμικής δράσης σχεδιασμού
- τα σχετικά σχέδια κατασκευής
- την έγκριση υπαρχουσών δοκιμών προτύπων των μονωτήρων ή/και προγράμματος διεξαγωγής νέων τέτοιων δοκιμών καθώς και την έγκριση δοκιμών ελέγχου ποιότητας

(3) Συνιστάται να προηγείται έλεγχος της προμελέτης του συστήματος σεισμικής μόνωσης.



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ  
ΜΕ ΤΙΤΛΟ

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

**ΤΕΥΧΟΣ Γ΄**  
ΣΧΟΛΙΑ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΙΩΝ  
ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

**ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:** 1<sup>η</sup>, ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

**ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:** ΘΕΟΔΟΣΗΣ 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. Παρίση 40  
Νέο Ψυχικό  
15451 Αθήνα  
Τηλ.: 210 67 77 115  
210 67 28 657  
Fax: 210 67 28 658

ΑΘΗΝΑ  
ΙΟΥΛΙΟΣ 2007



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

<b>Σ.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....</b>	<b>1</b>
<b>Σ.2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ .....</b>	<b>1</b>
Σ.2.1 Ορισμοί.....	1
Σ.2.2 Σύμβολα .....	1
<b>Σ.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ .....</b>	<b>1</b>
<b>Σ.4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ .....</b>	<b>2</b>
Σ.4.1 Φάσματα σχεδιασμού .....	2
Σ.4.2 Σεισμικές χρονοϊστορίες.....	2
<b>Σ.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>3</b>
Σ.5.1 Γενικά .....	3
Σ.5.2 Ιδιότητες του συστήματος μόνωσης .....	4
Σ.5.2.1 Δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση.....	4
Σ.5.2.2 Ιδιότητες σε οριζόντιες διευθύνσεις.....	4
Σ.5.2.3 Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων.....	4
Σ.5.3 Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης.....	7
Σ.5.4 Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος .....	8
Σ.5.5 Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης .....	10
Σ.5.6 Ανάλυση Χρονοϊστορίας.....	11
Σ.5.7 Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας.....	12
<b>Σ.6. ΕΛΕΓΧΟΙ .....</b>	<b>12</b>
Σ.6.1 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού .....	12
Σ.6.2 Σύστημα σεισμικής μόνωσης.....	12
Σ.6.3 Υποδομές και ανωδομές.....	12
Σ.6.3.1 Γενικά.....	12
Σ.6.3.2 Σχετική Μεταθετότητα Ορόφων .....	12
Σ.6.3.3 Όρια Τέμνουσας Βάσης.....	12
Σ.6.4 Προσαρτήματα .....	12
<b>Σ.7. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....</b>	<b>13</b>
Σ.7.1 Ανασκήκωση σεισμικών μονωτήρων .....	13
Σ.7.2 Οριζόντια δύναμη επαναφοράς.....	13
Σ.7.3 Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης.....	13
Σ.7.4 Επιθεώρηση και συντήρηση .....	14
Σ.7.5 Πυροπροστασία .....	14
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....</b>	<b>15</b>
ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	
ΣΑ.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής .....	15
ΣΑ.2 Δοκιμές Προτύπων.....	16
ΣΑ.3 Λοιπές Δοκιμές .....	18
ΣΑ.4 Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων .....	18
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .....</b>	<b>19</b>
ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΙΩΝ	
ΣΒ.1 Κριτική εξέταση σχεδιασμού και δοκιμών του συστήματος μόνωσης.....	19

### **Σ.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

Το παρόν Προσχέδιο Οδηγιών έχει συνταχθεί ως συμπληρωματικό του ΕΑΚ 2000 και της Ε39/99 και περιλαμβάνει γενικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό κατασκευών -κτηρίων και γεφυρών- με σεισμική μόνωση. Τα κριτήρια και οι κανόνες σχεδιασμού του Προσχεδίου Οδηγιών αφορούν τον σχεδιασμό δομημάτων με πλήρη ή μερική σεισμική μόνωση στο οριζόντιο επίπεδο. Το Προσχέδιο Οδηγιών δεν αναφέρεται στην σεισμική μόνωση δομημάτων στην κατακόρυφο διεύθυνση.

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, όπως και την σεισμική μόνωση μηχανημάτων ή τεχνουργημάτων κλπ.

Οι απαιτήσεις και τα κριτήρια του Προσχεδίου Οδηγιών προορίζονται να μπορούν να εφαρμοσθούν για τον σχεδιασμό των περισσότερων τύπων συστημάτων μόνωσης που ήδη χρησιμοποιούνται και ισχύουν ανεξάρτητα από το είδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Κανένα σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν κρίνεται αποδεκτό ή μη αποδεκτό. Ωστόσο, οποιοδήποτε σύστημα σεισμικής μόνωσης πρέπει να ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις του Προσχεδίου.

Παρόλα αυτά, οι απαιτήσεις αυτές μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμες σε μη τυπικά συστήματα μόνωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις συστήνεται η εκπόνηση μίας πλήρους και λεπτομερούς μη-γραμμικής ανάλυσης, όπως επίσης η ανάλυση και ο σχεδιασμός να είναι αντικείμενο επισκόπησης από ομάδα μηχανικών η οποία είναι ανεξάρτητη του μελετητή και του κατασκευαστή του έργου, σύμφωνα με το Παράρτημα Β του Προσχεδίου Οδηγιών.

### **Σ.2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

### **Σ.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ**

Η θεμελιώδης φιλοσοφία που οδήγησε στην δημιουργία των απαιτήσεων σχεδιασμού του Προσχεδίου Οδηγιών για κατασκευές με σεισμική μόνωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως συνδυασμός των θεμελιωδών απαιτήσεων σεισμικής συμπεριφοράς για συμβατικές κατασκευές (δηλαδή μη-σεισμικά μονωμένες κατασκευές) σύμφωνα με τον ΕΑΚ, που είναι η αποφυγή κατάρρευσης του έργου σε έναν ισχυρό σεισμό μεγαλύτερης έντασης από τον σεισμό σχεδιασμού, και τον επιπλέον στόχο που είναι η ουσιαστικά ελαστική σεισμική απόκριση της ανωδομής και της υποδομής του έργου, δηλαδή η προστασία έναντι βλαβών, δυνατότητα την οποία προσφέρει η τεχνολογία της σεισμικής μόνωσης.

Κατασκευές με σεισμική μόνωση μελετώνται ώστε να παρουσιάσουν ουσιαστικά ελαστική απόκριση (αποφυγή βλαβών) υπό το σεισμό σχεδιασμού δομήματος, και το σύστημα μόνωσης να παραμένει πλήρως λειτουργικό για αυξημένη οριζόντια μετακίνηση σε σχέση με τον σεισμό σχεδιασμού του δομήματος.

## **Σ.4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ**

### **Σ.4.1 Φάσματα σχεδιασμού**

Τοπικά φάσματα απόκρισης στα οποία έχουν ληφθεί υπόψη οι ιδιαιτερότητες της σεισμικής διέγερσης κοντά σε σειсмоγόνο πηγή, πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν η θέση του έργου βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 10 χιλιομέτρων από γνωστή σειсмоγόνο πηγή, η οποία μπορεί να προκαλέσει σεισμό Μεγέθους Σεισμικής Ροπής μεγαλύτερο από 6,5 ή από διάρρηξη σε καταβυθιζόμενη τεκτονική πλάκα. Η απαίτηση σχετικά με τοπικά φάσματα απόκρισης πηγάζει από τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις τυπικές μορφές φασμάτων που διατυπώνονται στον ΕΑΚ. Οι συνιστώσες τοπικών φασμάτων απόκρισης για τον σεισμό σχεδιασμού ανωδομής και υποδομής του δομήματος δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερες των συνιστωσών του τυπικού φάσματος σχεδιασμού ώστε να αποφεύγεται η χρήση ακατάλληλα παραγόμενων τοπικών φασμάτων απόκρισης. Παρόμοιο όριο επιβάλλεται στις συνιστώσες τοπικών φασμάτων απόκρισης για τον σεισμό σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης.

### **Σ.4.2 Σεισμικές χρονοϊστορίες**

Στο Προσχέδιο Οδηγιών παρέχονται κανόνες σχετικά με την κλιμάκωση των χρονοϊστοριών εδαφικών κινήσεων για την ανάλυση κατασκευών με σεισμική μόνωση. Η χρήση καταγεγραμμένων ζευγών συνιστωσών εδαφικών κινήσεων ενθαρρύνεται με σκοπό να διατηρηθεί η φάση μεταξύ των δύο συνιστωσών.

Πρέπει να αποφεύγεται η αυθαίρετη κλιμάκωση των χρονοϊστοριών της εδαφικής κίνησης σχετικά με το εύρος ή τη συχνότητα με σκοπό να επιτευχθούν οι καθορισμένες φασματικές συνιστώσες. Τα ζεύγη αυτά θα πρέπει να προέρχονται από καταγραφές σεισμών με μέγεθος, αποστάσεις πηγής και μηχανισμό γένεσης συμβατά με εκείνα που ορίζουν την σεισμική κίνηση σχεδιασμού του Άρθρου 4.1 του Προσχεδίου Οδηγιών. Για την ανάλυση και τον σχεδιασμό θα χρησιμοποιηθούν ζεύγη χρονοϊστοριών εδαφικών κινήσεων τα οποία είναι σύμφωνα σε ένταση και χαρακτηριστικά με τον σεισμό σχεδιασμού της ανωδομής και της υποδομής ή τον σεισμό σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης. Η συμβατότητα των επιταχυνσογραφημάτων προς το φάσμα σχεδιασμού επιτυγχάνεται με κλιμάκωση του εύρους τους σύμφωνα με το Άρθρο 4.2 του Προσχεδίου Οδηγιών.

## **Σ.5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

### **Σ.5.1 Γενικά**

Πολλές μέθοδοι προσομοίωσης έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση και σχεδιασμό κατασκευών με σεισμική μόνωση. Αυτές οι μέθοδοι ίσως να μην συνεκτιμούν σε ικανοποιητικό βαθμό τις δευτερεύουσες δυνάμεις που αναπτύσσονται ως συνάρτηση της οριζόντιας μετακίνησης των μονωτήρων (η οποία είναι συχνά μεγάλη). Ένα βασικό παράδειγμα είναι η ροπή, που ισούται με το γινόμενο του φορτίου του μονωτήρα και της μετακίνησής του (γνωστή και ως ροπή P-Δέλτα), στην οποία πρέπει να αντισταθεί ο μονωτήρας, οι συνδέσεις των μονωτήρων με τον φέροντα οργανισμό επάνω ή/και κάτω από τον μονωτήρα, και ο φέρον οργανισμός επάνω ή/και κάτω από τον μονωτήρα.

Τρισδιάστατα ελαστικά μοντέλα μονωμένων κατασκευών χρησιμοποιούνται συνήθως για την Μέθοδο Φασματικής Απόκρισης. Το μοντέλο της ανωδομής πρέπει να περιέχει όλα τα σημαντικότερα κατασκευαστικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού και να περιγράφει με ακρίβεια την δυσκαμψία και την μάζα τους και για την στατική και για την φασματική ανάλυση. Οι μονωτήρες προσομοιώνονται ως γραμμικά ελατήρια με δυσκαμψία ίση με την ενεργό δυσκαμψία, για τον υπολογισμό της οποίας απαιτείται μια προκαταρκτική εκτίμηση της μετακίνησης των μονωτήρων.

Μια άλλη συνήθης μέθοδος που εφαρμόζεται για το σχεδιασμό κατασκευών με μόνωση είναι η Ανάλυση Χρονοϊστορίας, κατά την οποία γίνεται παραδοχή ότι οι μονωτήρες παρουσιάζουν μη-γραμμική συμπεριφορά ενώ η ανωδομή και η υποδομή παρουσιάζει γραμμική-ελαστική συμπεριφορά. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για κατασκευές των οποίων η σεισμική απόκριση είναι ουσιαστικά ελαστική έως ελάχιστα ανελαστική. Η πρόσφατη ανάπτυξη λογισμικών ανάλυσης, τα οποία διαθέτουν δυνατότητα τρισδιάστατης ελαστικής προσομοίωσης της ανωδομής και της υποδομής και τρισδιάστατης μη-γραμμικής προσομοίωσης των στοιχείων του συστήματος μόνωσης, έχει κάνει την ανάλυση τέτοιων κατασκευών απλούστερη και πιο αποδοτική.

Μια άλλη μέθοδος περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πλήρους τρισδιάστατου μη-γραμμικού προσομοιώματος της κατασκευής. Το επίπεδο φόρτου εργασίας αυτής της μεθόδου είναι πολύ υψηλό και σπάνια δικαιολογείται. Η μέθοδος αυτή θα πρέπει πιθανότατα να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μονωμένες κατασκευές στις οποίες η ανωδομή ή η υποδομή είναι πιθανό να παρουσιάσει σημαντική ανελαστική απόκριση, μια υπόθεση η οποία είναι σε αντίθεση με την αναμενόμενη στάθμη σεισμικής συμπεριφοράς κατασκευών με σεισμική μόνωση.

Για τον σχεδιασμό κατασκευών με σεισμική μόνωση, οι θεμελιώδεις προϋποθέσεις οι οποίες επιτρέπουν την εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος και της Μεθόδου Φασματικής Απόκρισης είναι δύο:

- A) Η απόσβεση ενέργειας του συστήματος μόνωσης μπορεί να εκφραστεί σε όρους ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης,
- B) Η δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης μπορεί να εκφραστεί ως ισοδύναμη ελαστική δυσκαμψία.

Η σχέση δύναμης-μετακίνησης μονωτήρων που παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά μπορεί για την ανάλυση να προσεγγιστεί από δι-γραμμική σχέση, σύμφωνα με το Σχήμα Σ.6.

### **Σ.5.2 Ιδιότητες του συστήματος μόνωσης**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο

#### **Σ.5.2.1 Δυσκαμψία στην κατακόρυφη διεύθυνση**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο

#### **Σ.5.2.2 Ιδιότητες σε οριζόντιες διευθύνσεις**

Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετακίνησης του συστήματος μόνωσης καθορίζουν την μετακίνηση σχεδιασμού και τις μέγιστες δυνάμεις που μεταβιβάζονται στην μονωμένη κατασκευή. Τα χαρακτηριστικά μετακίνησης αντιπροσωπεύονται από την ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης στη μετακίνηση σχεδιασμού. Αναγνωρίζοντας ότι η υστέρηση δύναμης-μετατόπισης ενός συστήματος μόνωσης μπορεί να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, η μέγιστη ενεργός δυσκαμψία χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η μέγιστη δύναμη που μεταβιβάζεται από τους μονωτήρες στην κατασκευή, και η ελάχιστη ενεργός δυσκαμψία χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η ιδιοπερίοδος της μονωμένης κατασκευής (παράγοντας πιθανότατα συντηρητική εκτίμηση για την μετακίνηση σχεδιασμού).

#### **Σ.5.2.3 Μεταβλητότητα παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων**

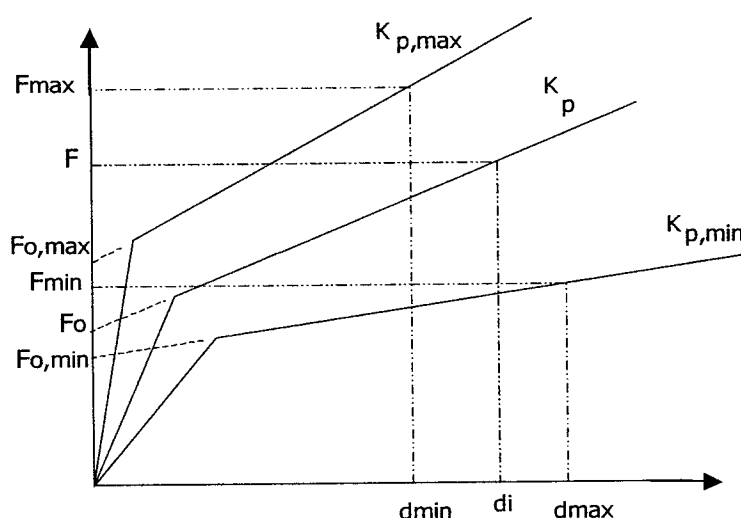
Η σχέση δύναμης-μετακίνησης μονωτήρων οι οποίοι παρουσιάζουν υστερητική συμπεριφορά μπορεί για την ανάλυση να προσεγγιστεί από μια δι-γραμμική σχέση, όπως φαίνεται στο Σχήμα Σ.6. Η δι-γραμμική αυτή προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός μονωτήρα έχει δύο βασικές μεταβλητές, οι οποίες είναι δυνατό να επηρεαστούν από την θερμοκρασία, την γήρανση, την προπαραμόρφωση, την ταχύτητα φόρτισης, την ρύπανση και την συσσωρευόμενη διαδρομή. Οι δύο αυτές βασικές μεταβλητές είναι οι παράμετροι σχεδιασμού του μονωτήρα και είναι η  $F_0$ , δηλαδή η δύναμη του μονωτήρα σε μηδενική μετακίνηση υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση (ή άλλως η χαρακτηριστική αντοχή του μονωτήρα) και η μετελαστική δυσκαμψία του μονωτήρα  $K_p$ , δηλαδή η κλίση του δεύτερου κλάδου της δι-γραμμικής προσομοίωσης.

Από τις παραμέτρους σχεδιασμού των μονωτήρων καθορίζονται οι δύο σημαντικές μεταβλητές σχεδιασμού ενός συστήματος μόνωσης, οι οποίες είναι η ισοδύναμη ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$  και η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση  $\xi_{eff}$ . Το εμβαδόν του βρόγχου υστέρησης,  $E_D$ , και επομένως η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση  $\xi_{eff}$ , επηρεάζεται πρωταρχικά από την  $F_0$ . Η ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$  επηρεάζεται από την  $F_0$  και την  $K_p$ . Με την σειρά τους, η ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$  και η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση  $\xi_{eff}$  επηρεάζουν την περίοδο της κατασκευής, τη μετακίνηση σχεδιασμού και την τέμνουσα βάση (Εξίσωση 5.6, Εξίσωση 5.11 και Εξίσωση 5.10 του Προσχεδίου Οδηγιών αντίστοιχα). Εφόσον οι μεταβλητές  $K_{eff}$  και  $\xi_{eff}$  επηρεάζονται διαφορετικά από τις  $F_0$  και  $K_p$ , θα πρέπει να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις της διαφοροποίησης των  $F_0$  και  $K_p$  στις μεταβλητές  $K_{eff}$  και  $\xi_{eff}$  αντίστοιχα (Σχήμα Σ.7).

Για τις παραμέτρους σχεδιασμού των μονωτήρων  $F_0$  και  $K_p$ , καθορίζονται τρία σύνολα τιμών: οι Ονομαστικές Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΟΤΠΣ), οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ), και οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ). Οι Ονομαστικές Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΟΤΠΣ) επιβεβαιώνονται με τις Δοκιμές Προτύπων. Οι Ανώτερες και οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ) πρέπει να καθορισθούν με βάση είτε ειδικές δοκιμές είτε τις σχετικές διατάξεις του Παραρτήματος Α του Προσχεδίου Οδηγιών.

Οι δυνάμεις σχεδιασμού που ασκούνται στην υποδομή και στην ανωδομή γενικά θα λάβουν την μέγιστη τιμή τους όταν τόσο η  $K_p$  όσο και η  $F_0$  έχουν τις μέγιστες τιμές τους. Επομένως, για τον καθορισμό των μέγιστων δυνάμεων που ασκούνται στην υποδομή και στην ανωδομή, απαιτείται ανάλυση με χρήση των ΑΤΠΣ,  $F_{0,max}$  και  $K_{p,max}$ .

Οι μετακινήσεις σχεδιασμού θα λάβουν την μέγιστη τιμή τους όταν τόσο η  $F_0$  όσο και η  $K_p$  έχουν τις ελάχιστες τιμές τους. Επομένως, για τον καθορισμό των μέγιστων μετακινήσεων των μονωτήρων, απαιτείται ανάλυση με τη χρήση των ΚΤΠΣ,  $F_{0,min}$  και  $K_{p,min}$ .



**Σχήμα Σ.7: Μεταβλητότητα Παραμέτρων Σχεδιασμού του μονωτήρα i**

Στο Παράρτημα Α του Προσχεδίου Οδηγιών δίδεται μέθοδος καθορισμού των τιμών  $\lambda_{\min}$  και  $\lambda_{\max}$  τόσο για την μεταλαστική δυσκαμψία  $K_p$  όσο και για την χαρακτηριστική αντοχή  $F_0$ .

Χρησιμοποιώντας τις ΟΤΠΣ των μονωτήρων  $F_0$  και  $K_p$  (Σχήμα Σ.7), οι δυνάμεις σχεδιασμού  $F_i$  και οι μετακινήσεις σχεδιασμού  $d_i$  υπολογίζονται αρχικά από τις εξισώσεις του Άρθρου 5.4 του Προσχεδίου. Στη συνέχεια οι ΟΤΠΣ πολλαπλασιάζονται με  $\lambda_{\max,Kp}$ ,  $\lambda_{\max,F_0}$ ,  $\lambda_{\min,Kp}$  και  $\lambda_{\min,F_0}$ , όπως καθορίζεται στο Παράρτημα Α του Προσχεδίου Οδηγιών, ώστε να προκύψουν οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των  $K_p$  και  $F_0$  (ΑΤΠΣ, ΚΤΠΣ). Ακολουθώντας, οι αναλύσεις επαναλαμβάνονται με χρήση των ΑΤΠΣ  $K_{p,\max}$  και  $F_{0,\max}$  για τον καθορισμό της  $F_{\max}$  καθώς και με χρήση των ΚΤΠΣ  $K_{p,\min}$  και  $F_{0,\min}$  για τον καθορισμό της μέγιστης μετακίνησης  $d_{\max}$ .

Με την χρήση των ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ λαμβάνονται υπόψη όλες οι αναμενόμενες μεταβολές των παραμέτρων σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης, οι οποίες μπορεί να προκύψουν λόγω γήρανσης, θερμοκρασίας, ρύπανσης και φθοράς ή συνολικής μετακίνησης. Κατ' εξαίρεση είναι αποδεκτή πολυβάθμια φασματική ανάλυση, ή δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας με την χρήση μόνον των ΟΤΠΣ, εφόσον οι μετακινήσεις σχεδιασμού  $d_{dc}$ , οι οποίες υπολογίζονται από ανάλυση με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, σύμφωνα με την παράγραφο 5.4, με χρήση των ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ δεν διαφέρουν περισσότερο από  $\pm 15\%$  από τις μετακινήσεις σχεδιασμού οι οποίες υπολογίζονται με την ίδια μέθοδο με χρήση των ΟΤΠΣ.

Οι τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας  $\lambda_{\max}$  και  $\lambda_{\min}$  είτε πρέπει να καθορίζονται με ειδικές δοκιμές είτε να λαμβάνονται σύμφωνα με τις προκαθορισμένες τιμές που δίνονται στο Παράρτημα Α.

Με σκοπό την παροχή κατευθυντηρίων οδηγιών σχετικά με ορισμένα από τα διαθέσιμα συστήματα μόνωσης, οι πιθανές διαφοροποιήσεις των ΟΤΠΣ, έχουν ως εξής:

- Ελαστομεταλλικός Μονωτήρας με πυρήνα μολύβδου. Η τιμή της  $F_0$  επηρεάζεται κυρίως από τον πυρήνα μολύβδου. Κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες, το φυσικό ελαστομερές προκαλεί την πιο σημαντική αύξηση στην  $F_0$ . Η τιμή της  $K_p$  εξαρτάται από τις ιδιότητες του ελαστομερούς υλικού. Οι ιδιότητες του ελαστομερούς υλικού επηρεάζονται από τη γήρανση, τη συχνότητα των δοκιμών, την παραμόρφωση και τη θερμοκρασία.
- Ελαστομεταλλικός Μονωτήρας Υψηλής Απόσβεσης. Η τιμή της  $F_0$  καθώς και η τιμή της  $K_p$  αποτελούν συνάρτηση των προσμίκτων του ελαστομερούς υλικού. Οι ιδιότητες του ελαστομεταλλικών μονωτήρων υψηλής απόσβεσης επηρεάζονται από τη γήρανση, τη συχνότητα των δοκιμών, την παραμόρφωση, τη θερμοκρασία και την προφόρτιση.

- Σφαιρικός Μονωτήρας Ολίσθησης. (FPS) – Η τιμή της  $F_0$  αποτελεί συνάρτηση κυρίως του δυναμικού συντελεστή ολίσθησης. Η τιμή της  $K_F$  αποτελεί συνάρτηση της καμπυλότητας της επιφάνειας ολίσθησης. Ο δυναμικός συντελεστής τριβής επηρεάζεται από τη γήρανση, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα φότρισης, την ρύπανση και το μήκος διαδρομής ή τη φθορά.

- Συσκευές Ιξώδους Απόσβεσης - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό είτε με ελαστομεταλλικά εφεδράνα είτε με εφεδράνα ολίσθησης. Η τιμή της  $F_0$  αποτελεί συνάρτηση τόσο της συσκευής ιξώδους απόσβεσης όσο και των εφεδράνων. Η τιμή της  $K_F$  αποτελεί κυρίως συνάρτηση των εφεδράνων.

### Σ.5.3 Πεδίο εφαρμογής των μεθόδων ανάλυσης

Τρεις μέθοδοι αναφέρονται στο Προσχέδιο Οδηγιών: Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης και Ανάλυση Χρονοϊστοριών. Η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος χρησιμοποιείται γενικά στην αρχή της διαδικασίας σχεδιασμού με σκοπό τον υπολογισμό τιμών αναφοράς για βασικές παραμέτρους της απόκρισης (μετακίνηση και τέμνουσα βάση), οι οποίες στην συνέχεια αποτιμούνται είτε με την Μέθοδο Φασματικής Απόκρισης είτε της Ανάλυσης με Χρονοϊστορίες.

Η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος είναι άμεση. Η σωστή χρήση της μεθόδου, γενικά θα εξάγει εύλογες εκτιμήσεις των δυνάμεων και μετακινήσεων. Η μέθοδος βασίζεται σε μορφή φάσματος του οποίου ο φθίνον κλάδος είναι ανάλογος του λόγου  $1/T$ . Οι συνθήκες οι οποίες πρέπει να συνυπάρχουν ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δίδονται στο Άρθρο 5.3 του Προσχεδίου. Η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν οι φασματικές απαιτήσεις δεν είναι δυνατόν να χαρακτηριστούν επαρκώς με την χρήση κανονικοποιημένης μορφής φασμάτων, δηλαδή:

1. Για μονωμένες κατασκευές κοντά σε σεισμογόνο πηγή
2. Για μονωμένες κατασκευές επί μαλακού εδάφους θεμελίωσης
3. Για κατασκευές με μεγάλη ιδιοπερίοδο (πέρα από την περιοχή σταθερής ταχύτητας)
4. Για μη-κανονικές ανωδομές ή για συστήματα μόνωσης τα οποία παρουσιάζουν έντονη μη-γραμμική συμπεριφορά.

Η Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης επιτρέπεται για τον σχεδιασμό όλων των μονωμένων κατασκευών εκτός από αυτά που βρίσκονται σε πολύ μαλακά εδάφη (για τα οποία πρέπει να προσδιοριστούν τοπικά φάσματα απόκρισης), κατασκευές που εδράζονται σε συστήματα μόνωσης που παρουσιάζουν έντονη μη-γραμμική συμπεριφορά, για τα οποία οι παραδοχές που συνεπάγονται στους ορισμούς της ενεργής δυσκαμψίας και απόσβεσης δεν ισχύουν, ή για κατασκευές που γειτνιάζουν με ενεργά σεισμογόνα ρήγματα όπου με την φασματική ανάλυση



δεν μπορούν να εκτιμηθούν επαρκώς τα σχετικά φαινόμενα εγγύτητας στην σεισμογόνο πηγή.

Η Ανάλυση με Χρονοϊστορίες είναι η βασική μέθοδος ανάλυσης. Πρέπει να χρησιμοποιείται όταν οι περιορισμοί που επιβάλλονται στη Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος και την Μέθοδο Φασματικής Απόκρισης δεν ικανοποιούνται. Η Ανάλυση με Χρονοϊστορίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για τη ανάλυση οποιασδήποτε μονωμένης κατασκευής. Τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Χρονοϊστορίας, η οποία είναι η πιο λεπτομερής μέθοδος ανάλυσης, πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά προς αποφυγή σοβαρών σφαλμάτων σχεδιασμού ή υπερδιστασιολόγησης.

#### Σ.5.4 Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

##### Μετακίνηση σχεδιασμού.

Η εξίσωση 5.11 του Προσχεδίου Οδηγιών καθορίζει την μετακίνηση σχεδιασμού,  $d_{dc}$ , στο κέντρο μάζας της μονωμένης κατασκευής. Αυτή η εξίσωση βασίζεται στις θεωρήσεις ότι ο φέρων οργανισμός επάνω από το σύστημα μόνωσης είναι ουσιαστικά άκαμπτος και τα κέντρα μάζας και δυσκαμψίας της μονωμένης κατασκευής συμπίπτουν. Ο φθίνοντας κλάδος του φάσματος είναι αντιστρόφως ανάλογος της περιόδου σύμφωνα με τα ελαστικά φάσματα απόκρισης που ορίζονται στο Παράρτημα Α.1 του ΕΑΚ 2000. Η φασματική επιτάχυνση για απόσβεση 5% υπολογίζεται στην ενεργό περίοδο  $T_{eff}$  δευτερολέπτων ως  $S_e = S_e(T_{eff})$  θεωρώντας ότι το 100% της μάζας της ανωδομής συμμετέχει στην πρώτη ιδιομορφή. Για λόγο ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης  $\xi_{eff}$  διάφορο του 5%, η φασματική επιτάχυνση πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή απόσβεσης  $\eta_{eff}$ , με σκοπό να συνεκτιμηθεί η ενεργός απόσβεση,  $\xi_{eff}$ , του συστήματος μόνωσης. Η τέμνουσα βάσης λαμβάνεται από την σχέση :

$$V_d = W_d \frac{S_e}{g} \quad \text{Εξισ. 5.10 του Προσχεδίου Οδηγιών}$$

Όπου  $W_d$  είναι το βάρος της ανωδομής και  $g$  η επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/sec<sup>2</sup>).

Η τέμνουσα βάσης που δίδεται από την εξίσωση 5.10 μετατρέπεται σε μετακίνηση σχεδιασμού,  $d_{dc}$ , μέσω της απλής σχέσης μεταξύ ψευδοεπιτάχυνσης (εκφραζόμενη εδώ ως τέμνουσα βάσης διαιρεμένη με την δρῶσα μάζα) και φασματικής μετακίνησης (η οποία σε αυτή την περίπτωση ισούται με την μετακίνηση σχεδιασμού):

$$d_{dc} = S_e \frac{T_{eff}^2}{2\pi} = 0.625 \frac{g}{\pi^2} \eta_{eff} \alpha_g T_2 T_{eff} \quad \text{Εξισ. 5.11 του Προσχεδίου Οδηγιών}$$

Ο συντελεστής εδάφους, ο συντελεστής ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας, και ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης συμπεριλαμβάνονται στην Εξισ. 5.11.

### Λόγος Ισοδύναμης Ιξώδους Απόσβεσης

Ο συντελεστής  $\eta_{eff}$  είναι συνάρτηση της απόσβεσης που παρέχεται από το σύστημα μόνωσης, εκφραζόμενη σε όρους ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης ως ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης,  $\xi_{eff}$ . Οι τιμές του συντελεστή απόσβεσης  $\eta_{eff}$  βασίζονται στον μέσο όρο των συντελεστών φασματικής ενίσχυσης στη περιοχή ταχύτητας, όπως αναφέρεται στο Earthquake Spectra and Design [Newark and Hall, 1982]. Αν το σύστημα μόνωσης παρουσιάζει πραγματική ιξώδη απόσβεση, τιμές του  $\xi_{eff}$  που υπερβαίνουν το 20% της κρίσιμης απόσβεσης, πρέπει να χρησιμοποιηθούν με προσοχή. Σε αυτή τη περίπτωση, οι δυνάμεις της ιξώδους απόσβεσης πρέπει να υπολογιστούν και να προστεθούν κατάλληλα στις δυνάμεις της υστερητικής συμπεριφοράς του συστήματος μόνωσης.

### Περίοδος Μονωμένης κατασκευής.

Η ενεργός περίοδος  $T_{eff}$  της μονωμένης κατασκευής ορίζεται από την Εξισ. 5.6 σε σχέση με την ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης  $k_{eff}$  ως ακολούθως :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_d}{K_{eff} g}} \quad \text{Εξισ. 5.6 του Προσχεδίου Οδηγιών}$$

Όπου  $W_d$  είναι το βάρος της ανωδομής και  $g$  η επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/sec<sup>2</sup>).

### Ολική μετατόπιση σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός κατασκευών με σεισμική μόνωση πρέπει να λάβει υπόψη επιπρόσθετες την μετακινήσεις λόγω πραγματικών και τυχηματικών εκκεντροτήτων, παρόμοια με τις επιπρόσθετες φορτίσεις που καθορίζονται για τις μη-σεισμικά μονωμένες κατασκευές.

Οι εξισώσεις 5.13 έως 5.15 παρέχουν μια απλουστευμένη διαδικασία για τον συνδυασμό μεταφορικής και στρεπτικής την μετακίνησης σε σχέση με τις διαστάσεις κάτοψης της ανωδομής, την απόσταση του κέντρου μάζας της ανωδομής από το σημείο που ενδιαφέρει (ηχ διάσταση  $y$ ) και την πραγματική και την τυχηματική εκκεντρότητα, ως ακολούθως:

$$d_{Tdi} = \delta_{yi} d_{dc} \quad \text{Εξισ. 5.13}$$

$$\delta_{yi} = 1 + \frac{e_{tot,x}}{r_{rx}} x_i \quad \text{Εξισ. 5.14}$$

$$r_x^2 = \sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi}) / \sum K_{yi} \quad \text{Εξισ. 5.15}$$

Όπου  $e_{tot,x}$  ισούται με το άθροισμα της πραγματικής και της τυχηματικής εκκεντρότητας.

Με την εξίσωση 5.15 κλιμακώνεται η μετακίνηση σχεδιασμού  $d_{dc}$  για να ληφθούν υπόψη επιπρόσθετες μετακινήσεις στις γωνίες ή άκρες της κατασκευής λόγω στρέψης, θεωρώντας ότι η δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης κατανέμεται στην κάτοψη ανάλογα με τη κατανομή του βάρους της κατασκευής. Για περαιτέρω πληροφορίες ο αναγνώστης παραπέμπεται στον Kelly [1993].

### **Κατανομή Σεισμικών Δυνάμεων καθ' ύψος (αφορά μόνο κτίρια)**

Η κατανομή της σεισμικής τέμνουσας βάσης καθ' ύψος της κατασκευής είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για συμβατικά κτίρια (μη-σεισμικά μονωμένα κτίρια), δηλαδή, μια κατανομή που προσεγγίζει την πρώτη ιδιομορφή του συμβατικού κτιρίου. Αυτή η κατανομή είναι μια συντηρητική προσέγγιση της κατανομής των αδρανειακών δυνάμεων όπως υπολογίζονται από αναλύσεις με χρονοιστορίες.

#### **Σ.5.5 Μέθοδος Φασματικής Απόκρισης**

Οι περιορισμοί που θέτονται στη χρήση της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος στο Άρθρο 5.3 του Προσχεδίου Οδηγιών ουσιαστικά απαιτούν την εκπόνηση δυναμικής ανάλυσης για τον σχεδιασμό των περισσότερων κατασκευών με σεισμική μόνωση. Παρόλα αυτά, κατώτερα όρια των μετακινήσεων και δυνάμεων σχεδιασμού καθορίζονται στο Άρθρο 5.5. παρ. (6) και (7) του Προσχεδίου Οδηγιών ως ένα ποσοστό των τιμών που υπολογίζονται σύμφωνα με την Μέθοδο του Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Τα κατώτατα αυτά όρια των βασικών παραμέτρων της απόκρισης κατασκευών με σεισμική μόνωση εξασφαλίζουν συνέπεια στον σχεδιασμό και λειτουργούν σαν όριο ασφαλείας κατά χονδροειδών σφαλμάτων υποδιαστασιολόγησης. Η μονωμένη κατασκευή πρέπει να προσομοιωθεί ως τρισδιάστατο, γραμμικό ελαστικό στατικό μοντέλο. Οι μονωτήρες πρέπει να προσομοιωθούν με γραμμικά ελατήρια με δυσκαμψία  $k_{eff}$ . Ο υπολογισμός της  $k_{eff}$  ίσως χρειαστεί πολλαπλές επαναλήψεις για σύγκλιση, αφού το  $k_{eff}$  είναι συνάρτηση της μετακίνησης που αναζητείται. Το ποσοστό απόσβεσης της πρώτης ιδιομορφής πρέπει να τεθεί ίσο με την ενεργό απόσβεση  $\xi_{eff}$  του συστήματος μόνωσης.

Οι κατευθυντήριες οδηγίες που δίνονται στο Άρθρο 5.4 του Προσχεδίου Οδηγιών είναι κατάλληλες για την ανάλυση ενός σεισμικώς μονωμένου έργου με την Μέθοδο Φασματικής Απόκρισης, με τις ακόλουθες τροποποιήσεις:

(α) Τα στοιχεία του συστήματος μόνωσης προσομοιώνονται με χρήση της ενεργού δυσκαμψίας η οποία υπολογίζεται κατά την μετακίνηση σχεδιασμού  $d_i$ .

(β) Το φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων τροποποιείται ώστε να συνεκτιμηθεί η ενεργός απόσβεση της σεισμικά μονωμένης κατασκευής. Το φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων

που απαιτείται για την ανάλυση θα πρέπει να τροποποιείται ώστε να συνεκτιμάται η ικανότητα απόσβεσης του συστήματος μόνωσης. Το τροποποιημένο αυτό τμήμα του φάσματος απόκρισης θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για τις ιδιομορφές του έργου που αφορούν τη σεισμική μόνωση.

### **Σ.5.6 Ανάλυση Χρονοϊστορίας**

Όταν απαιτείται ανάλυση με χρονοϊστορίες, οι χρονοϊστορίες των συνιστωσών των εδαφικών κινήσεων μπορούν να κλιμακώνονται με βάση τη συχνότητα, έτσι ώστε να πλησιάζουν τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων για τη συγκεκριμένη θέση.

Η ανάλυση με χρονοϊστορίες πρέπει να εκπονείται με τουλάχιστον 3 ζεύγη οριζοντίων συνιστωσών χρονοϊστοριών της εδαφικής κίνησης, τα οποία έχουν καταλλήλως κλιμακωθεί, όπως ορίζεται στο Προσχέδιο Οδηγιών. Οι παράμετροι απόκρισης της κατασκευής που ενδιαφέρουν θα πρέπει να υπολογιστούν για κάθε ζεύγος χρονοϊστορίας. Οι παράμετροι που ενδιαφέρουν θα πρέπει να περιλαμβάνουν δυνάμεις μελών, δυνάμεις συνδέσεων, σχετική μετατόπιση ορόφων, μετακίνηση μονωτήρων και δυνάμεις ανατροπής. Κάθε ζεύγος καταγεγραμμένης οριζόντιας εδαφικής κίνησης πρέπει να εφαρμοστεί ταυτόχρονα στο μαθηματικό προσομοίωμα, λαμβάνοντας υπόψη την δυσμενέστερη θέση εκκεντρότητας της μάζας, για τον υπολογισμό της μέγιστης μετακίνησης στο σύστημα μόνωσης. Όπου δυνάμεις στην εγκάρσια διεύθυνση εφαρμόζονται ταυτόχρονα, όπως στην περίπτωση ανάλυσης με χρονοϊστορίες, η απαιτούμενη μετατόπιση κατά 5% του κέντρου μάζας θα πρέπει να εφαρμοστεί σε μια μόνο διεύθυνση για κάθε ανάλυση. Ανάλυση κατά την οποία η μετατόπιση κατά 5% εφαρμόζεται και για στις δυο ορθογωνικές διευθύνσεις ταυτόχρονα θα είχε ως αποτέλεσμα την διπλή εφαρμογή του φαινομένου στρέψης λόγω τυχηματικής εκκεντρότητας και δεν θα ήταν σύμφωνη με την αρχικό σκοπό χρήσης της τυχηματικής εκκεντρότητας.

Η Πρακτική σχεδιασμού με Ανάλυση με Χρονοϊστορίες περιλαμβάνει τα εξής στάδια: 1) οι ορθογωνικές συνιστώσες της σεισμικής δράσης εφαρμόζονται παράλληλα στην διεύθυνση κάθε κύριου άξονα της κατασκευής ξεχωριστά, και 2) το βήμα 1) επαναλαμβάνεται έπειτα από αλλαγή του πρόσημου των συνιστωσών της εδαφικής κίνησης (ξεχωριστά). Κατά συνέπεια θα πρέπει να εκπονηθεί ένα σύνολο οκτώ αναλύσεων ανά κάθε ζεύγος χρονοϊστοριών, ανά εκκεντρότητα μάζας. Για να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος, μπορεί με μια προκαταρκτική ανάλυση να προσδιορισθούν: 1) η δυσμενέστερη θέση της εκκεντρότητας της μάζας, 2) το κρίσιμο ζεύγος χρονοϊστοριών εδαφικής κίνησης, και 3) ο κρίσιμος προσανατολισμός τού ζεύγους χρονοϊστοριών που προσδιορίστηκε στο βήμα 2). Η περισσότερη εργασία ανάλυσης και σχεδιασμού μπορεί να ολοκληρωθεί με αυτό το ουσιαστικά μειωμένο σύνολο παραμέτρων. Όταν η ανάλυση και ο σχεδιασμός έχουν σχεδόν ολοκληρωθεί, κατά την εκπόνηση της οριστικής μελέτης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και τα υπόλοιπα σύνολα των παραμέτρων, εφόσον αυτό κριθεί σκόπιμο.

**Σ5.7 Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

**Σ.6. ΕΛΕΓΧΟΙ**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

**Σ.6.1 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

**Σ.6.2 Σύστημα σεισμικής μόνωσης**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

**Σ.6.3 Υποδομές και ανωδομές****Σ.6.3.1 Γενικά**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

**Σ.6.3.2 Σχετική Μεταθετότητα Ορόφων**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

**Σ.6.3.3 Όρια Τέμνουσας Βάσης**

Δύο κατώτατα όρια θέτονται ως ελάχιστη σεισμική τέμνουσα που θα χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό του φέροντος οργανισμού. Το πρώτο όριο διασφαλίζει ότι τα στοιχεία του συστήματος μόνωσης παραμένουν ελαστικά για την ανεμοπίεση σχεδιασμού. Το δεύτερο όριο έχει σκοπό την αποφυγή ανελαστικής παραμόρφωσης των στοιχείων του φέροντος οργανισμού της κατασκευής πριν την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος μόνωσης.

**Σ.6.4 Προσαρτήματα (αφορά κυρίως κτίρια)**

Ο ΕΑΚ 2000 παρέχει μια άμεση και συνήθως συντηρητική μέθοδο σχεδιασμού μη-δομικών στοιχείων και περιοριστικών μέτρων για αυτά τα στοιχεία. Παρόλα αυτά, για να αξιοποιηθούν πλήρως τα οφέλη της σεισμικής μόνωσης, είναι απαραίτητο ο σχεδιασμός αυτών των στοιχείων και της αγκύρωσής τους στον φέροντα οργανισμό να βασιστεί στην δυναμική απόκριση της μονωμένης κατασκευής, για παράδειγμα μέσω της δημιουργίας φασμάτων απόκρισης των ορόφων του κτιρίου. Για κρίσιμες κατασκευές οι οποίες σχεδιάζονται για να μείνουν εν λειτουργία μετά από ένα ισχυρό σεισμό, αυτή η προσέγγιση σχεδιασμού μη-δομικών στοιχείων και προσαρτημάτων μπορεί να είναι απαραίτητη.

## **Σ7. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

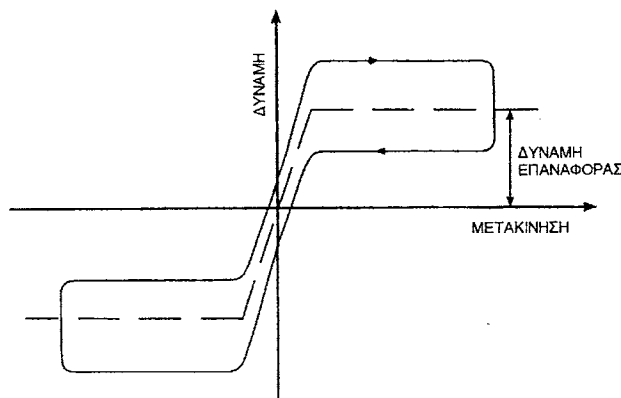
### **Σ7.1 Ανασκήκωμα σεισμικών μονωτήρων**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

### **Σ7.2 Οριζόντια δύναμη επαναφοράς**

Σκοπός της απαίτησης για οριζόντια δύναμη επαναφοράς είναι να αποφευχθούν αθροιστικές μετακινήσεις και να αντιμετωπισθούν σφάλματα κατά την τοποθέτηση των μονωτήρων, όπως για παράδειγμα τοποθέτηση υπό κλίση.

Οι απαιτήσεις οι σχετικές με την οριζόντια δύναμη επαναφοράς εφαρμόζονται σε συστήματα με δύναμη επαναφοράς που εξαρτάται από τις μετακινήσεις όπως π.χ η δύναμη επαναφοράς ελατηρίου. Ωστόσο, είναι δυνατή η εξασφάλιση σταθερής δύναμης επαναφοράς ανεξάρτητης της μετακίνησης. Υπάρχουν δύο γνωστοί τρόποι για την εξασφάλιση σταθερής δύναμης επαναφοράς: (α) η χρήση ελατηρίων συμπιεστού ρευστού με προφόρτιση και (β) η χρήση εφεδράνων ολίσθησης με κωνική επιφάνεια. Το Σχήμα Σ.8 απεικονίζει τυπική σχέση δύναμης-μετακίνησης των συστημάτων αυτών. Η απαίτηση για οριζόντια δύναμη επαναφοράς στις περιπτώσεις αυτές συνίσταται στο γεγονός ότι η σταθερή οριζόντια δύναμη επαναφοράς του συστήματος μόνωσης πρέπει να είναι τουλάχιστον με 1,05 της χαρακτηριστικής αντοχής του συστήματος μόνωσης υπό συνθήκες λειτουργίας. Για παράδειγμα, όταν τα συστήματα σταθερής δύναμης επαναφοράς συνδυάζονται με στοιχεία τριβής (π.χ. εφέδρανα ολίσθησης), τότε η δύναμη επαναφοράς θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.05 της δύναμης στατικής τριβής. Η απαίτηση αυτή εξασφαλίζει ότι η δύναμη επαναφοράς επαρκεί ώστε να ξεπερνά την χαρακτηριστική αντοχή, προσδίδοντας στο σύστημα κατ' αυτόν τον τρόπο επαρκή ικανότητα επαναφοράς.



**Σχήμα Σ.8: Σχέση Δύναμης-Μετατόπισης Συστημάτων Μόνωσης με Σταθερή Δύναμη Επαναφοράς**

### **Σ7.3 Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης**

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

#### **Σ7.4 Επιθεώρηση και συντήρηση**

Οι προδιαγραφές για περιοδική επιθεώρηση και συντήρηση θα πρέπει να περιλαμβάνουν και προδιαγραφές σχετικά με την διασφάλιση της δυνατότητας μετακίνησης του σεισμικώς μονωμένου τμήματος της κατασκευής, σύμφωνα με τον σχεδιασμό. Οι απαιτήσεις συντήρησης θα πρέπει να γνωστοποιούνται κατά την υποβολή της διαδικασίας σχεδιασμού στο μηχανικό, ώστε ο μηχανικός να έχει τη δυνατότητα να εκτιμήσει την επίπτωσή τους στην αξιοπιστία και στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος μόνωσης.

#### **Σ7.5 Πυροπροστασία**

Είναι αναμενόμενο ότι, γενικά, η αντοχή των μονωτήρων σε φωτιά (ειδικά των μονωτήρων που μεταφέρουν κατακόρυφα φορτία βαρύτητας) να ισούται με την αντοχή των στοιχείων στα οποία συνδέονται. Δηλαδή, ένας μονωτήρας σε υποστύλωμα ή που εδράζει υποστύλωμα θα πρέπει να έχει την ίδια αντοχή σε φωτιά με αυτή που απαιτείται για το υποστύλωμα. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, οι μονωτήρες εσωκλείονται σε περιοχές που προστατεύονται επαρκώς από διατάξεις πυροπροστασίας, με μικρή ή μηδενική πιθανότητα ανάφλεξης ή εξάπλωσης φωτιάς εντός της περιοχής που βρίσκονται οι μονωτήρες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι υπηρεσίες που έχουν δικαιοδοσία είναι γνωστό ότι απαλλάσσουν από την απαίτηση για αντοχή σε φωτιά τους μονωτήρες ή τα τμήματα του συστήματος μόνωσης.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

### **Γενικά**

#### **Απαιτούμενες Δοκιμές για Συστήματα Μόνωσης**

Οι απαιτήσεις του Προσχεδίου Οδηγιών απορρέουν από το γεγονός ότι ο σχεδιασμός του συστήματος μόνωσης στηρίζεται σε παραμέτρους που ελέγχονται μέσω δοκιμών. Το Παράρτημα Α παραθέτονται συνοπτικά ένα σύνολο δοκιμών προτύπων για την επιβεβαίωση των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων. Για συστήματα για τα οποία έχουν γίνει οι συγκεκριμένες δοκιμές στο παρελθόν με χρήση μονωτήρων παρόμοιου τύπου και μεγέθους, αυτές δεν χρειάζεται να επαναληφθούν. Οι τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού θα πρέπει συνεπώς να βασίζονται σε προεγκεκριμένα ή πιστοποιημένα στοιχεία δοκιμών από τις κατασκευάστριες εταιρείες των εφεδράνων. Επίσης επιτρέπεται ο καθορισμός των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων ο οποίος γίνεται μέσω (γραμμικής) παρεμβολής σε αποτελέσματα δοκιμών μονωτήρων παρόμοιου τύπου και μεγέθους.

Οι μονωτήρες που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμές χαρακτηρισμού του συστήματος (εκτός από δοκιμές σε σεισμική τράπεζα), τις δοκιμές προτύπων και τις δοκιμές διασφάλισης ποιότητας θα πρέπει να κατασκευάζονται από τον ίδιο κατασκευαστή και με τα ίδια υλικά.

#### **Δοκιμές Χαρακτηρισμού**

Οι δοκιμές αυτές συνήθως δεν αφορούν ένα συγκεκριμένο έργο. Διεξάγονται για να τεκμηριώσουν τις θεμελιώδεις παραμέτρους κάθε μεμονωμένου μονωτήρα όπως επίσης και τη συμπεριφορά ενός συστήματος μόνωσης. Κατά κανόνα, διεξάγονται όταν παρουσιάζεται ένα νέο σύστημα μόνωσης ή ένας νέος τύπος μονωτήρα ή όταν αξιολογείται μια ουσιαστικά διαφορετική έκδοση ενός υπάρχοντος συστήματος μόνωσης ή ενός μονωτήρα.

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες οδηγίες για τις δοκιμές χαρακτηρισμού. Οι Οδηγίες του Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων και Τεχνολογίας των ΗΠΑ (NIST) αναπτύσσονται με περισσότερες λεπτομέρειες στο *Πρότυπο Ελέγχου των Συστημάτων, Μονάδων και Τμημάτων Σεισμικής Μόνωσης (ASCE)*. Έχουν επίσης αναπτυχθεί οδηγίες δοκιμών για την αξιολόγηση από πλευράς HITEC των συστημάτων σεισμικής μόνωσης και απόσβεσης ενέργειας.

#### **Σ.Α.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής**

##### **Δοκιμές Όμοιων Μονάδων Μόνωσης**

Δοκιμές πρωτοτύπων δεν απαιτούνται αν οι μονάδες μόνωσης οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στο έργο είναι παρόμοιων διαστάσεων, ίδιου τύπου και υλικού, και έχουν κατασκευασθεί χρησιμοποιώντας τις ίδιες διαδικασίες παραγωγής όπως η μονάδα μόνωσης η



οποία έχει προηγουμένως υποστεί τις δοκιμές προτύπων με την συγκεκριμένη αλληλουχία δοκιμών. Η ανεξάρτητη ομάδα μηχανικών θα πρέπει να καθορίσει κατά πόσο τα αποτελέσματα από προηγούμενες δοκιμές είναι κατάλληλα, επαρκή και αποδεκτά.

### **Δοκιμές Ποιοτικού Ελέγχου**

Η εφαρμογή ενός αυστηρού προγράμματος ελέγχου ποιότητας (κάπως παρόμοιο με την πιστοποίηση κατά ISO) είναι βασικό για την παραγωγή μονωτήρων με ομοιόμορφη ποιότητα και μηχανικές ιδιότητες. Αυτό το πρόγραμμα ελέγχου ποιότητας θα πρέπει να υλοποιηθεί και για τους μονωτήρες που θα χρησιμοποιηθούν στις δοκιμές προτύπων αλλά και για τους μονωτήρες παραγωγής. Αν τα αποτελέσματα των δοκιμών ποιοτικού ελέγχου πρέπει να βασιστούν σε αποτελέσματα των δοκιμών προτύπων, το πρόγραμμα δοκιμών ποιοτικού ελέγχου θα πρέπει να ολοκληρωθεί σε κάθε μονωτήρα που θα χρησιμοποιηθεί στις δοκιμές προτύπων, πριν την διεξαγωγή των δοκιμών προτύπων. Σημαντικό στοιχείο ενός ικανοποιητικού προγράμματος ελέγχου ποιότητας αποτελεί μια πιστοποιημένη και ανεξάρτητη επιθεώρηση / παρακολούθηση του προγράμματος δοκιμών προτύπων και ελέγχου ποιότητας των μονωτήρων.

Δοκιμές ποιοτικού ελέγχου των μονωτήρων δεν αποτελούν αντικείμενο και σκοπό του Παραρτήματος Α του Προσχεδίου Οδηγιών.

### **Σ.Α.2 Δοκιμές Προτύπων**

Στόχος των δοκιμών προτύπων είναι να επαληθευθεί ότι το σύστημα μόνωσης, όπως κατασκευάστηκε, ικανοποιεί τις προδιαγραφές σχεδιασμού, για το συγκεκριμένο μέγεθος και σύνθεση που χρησιμοποιείται στο έργο.

Οι Δοκιμές Προτύπων του Άρθρου Α.2 του Προσχεδίου Οδηγιών είναι απαραίτητες για την επιβεβαίωση των Ονομαστικών Τιμών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΟΤΠΣ) του συστήματος μόνωσης. Οι δοκιμές προτύπων δεν περιλαμβάνουν κανέναν από τους συντελεστές μεταβλητότητας των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης, επειδή οι συντελεστές αυτοί εισέρχονται στην διαδικασία σχεδιασμού κατά τον υπολογισμό των ανώτατων και κατώτατων τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού του συστήματος (ΑΤΠΣ, ΚΤΠΣ).

Πέρα από την επιβεβαίωση των ονομαστικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων, η οποία επιτυγχάνεται με την διεξαγωγή των Δοκιμών Προτύπων, η μεταβλητότητα των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων, λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων και παραγόντων που εξαρτώνται από τον χρόνο (ρύπανση, φθορά, κλπ) θα πρέπει να προσδιορίζεται με τη διεξαγωγή ειδικών δοκιμών. Αν κάτι τέτοιο

δεν είναι εφικτό, η μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων μπορεί να υπολογίζεται βάσει των διατάξεων του Άρθρου Α.4 του Προσχεδίου Οδηγιών.

Για κάθε κύκλο φόρτισης των δοκιμών προτύπων η σχέση δύναμης-μετακίνησης των μονωτήρων πρέπει να καταγράφεται έτσι ώστε τα στοιχεία αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί κατά πόσο οι ιδιότητες του συστήματος μόνωσης είναι σύμφωνες τόσο με τις απαιτήσεις της μελέτης όσο και με τις Προδιαγραφές του συστήματος. Ο Μηχανικός ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον σχεδιασμό της σεισμικής μόνωσης του έργου και η ανεξάρτητη Ομάδα Επισκόπησης (προδιαγραφές Άρθρου 7.6) πρέπει να αξιολογήσουν όλα τα στοιχεία που προέρχονται από τις δοκιμές προτύπων.

### **Ευστάθεια σε κατακόρυφα φορτία**

Στο Προσχέδιο Οδηγιών προδιαγράφεται η επιβεβαίωση της ευστάθειας των μονωτήρων στην μέγιστη μετακίνηση για τον σεισμό σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης. Απαιτείται ανάλυση για τον προσδιορισμό των μέγιστων και ελάχιστων κατακόρυφων φορτίων στους μονωτήρες, και δοκιμές προτύπων απαιτούνται για την επαλήθευση της ευστάθειας των μονωτήρων για τα υπολογισμένα φορτία στην μέγιστη μετακίνηση.

Το κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στον έλεγχο ευστάθειας οποιουδήποτε μονωτήρα θα υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τα μέγιστα μόνιμα και μεταβλητά φορτία και το μέγιστο αξονικό φορτίο που προέρχεται από τον Σεισμό Σχεδιασμού του Συστήματος Μόνωσης (ΣΣΣΜ) στον συγκεκριμένο τύπο μονωτήρα.

### **Μονάδες μόνωσης εξαρτώμενες από τις συνθήκες φόρτισης**

Αν τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετακίνησης ενός μονωτήρα εξαρτώνται από τις συνθήκες φόρτισης, πρέπει οι δοκιμές προτύπων να διεξαχθούν υπό δυναμικές συνθήκες όπως προδιαγράφεται στο Παράρτημα Α, Άρθρο Α.2.2, παράγραφο (2) του Προσχεδίου Οδηγιών με σκοπό να προσδιορισθεί αυτή η εξάρτηση. Η συμπεριφορά των περισσότερων συστημάτων μόνωσης με μονωτήρες ολίσθησης εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης (την ταχύτητα φόρτισης), όπως επίσης συστήματα μόνωσης τα οποία αποτελούνται από επιλεγμένα ελαστομεταλλικά εφέδρανα έχουν συμπεριφορά η οποία εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης (εξάρτηση από την ανηγμένη παραμόρφωση). Δοκίμια μονωτήρων υπό κλίμακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να καταγραφούν οι επιπτώσεις στην δυσκαμψία και ικανότητα απόσβεσης υπό τον όρο ότι τα δοκίμια αυτά είναι κατασκευασμένα με τις ίδιες διαδικασίες και έχουν περάσει τον ίδιο ποιοτικό έλεγχο όπως οι φυσικής κλίμακας μονωτήρες. Οι συσχετίσεις αναφορικά με την διαστασιολόγηση μεταξύ των δοκιμών φυσικής κλίμακας και των δοκιμών υπό μειωμένη κλίμακα πρέπει να αποδειχθούν και να επιβεβαιωθούν πριν την ολοκλήρωση του προγράμματος δοκιμών προτύπων.

Τα χαρακτηριστικά δύναμης-μετατόπισης ενός μονωτήρα θεωρούνται ότι δεν εξαρτώνται από την ταχύτητα φόρτισης όταν υπάρχει διαφορά μικρότερη του 15% στην τιμή  $F_0$  και  $K_p$  που καθορίζουν το βρόχο υστέρησης (βλέπε Σχήμα Σ.6) όπως προκύπτουν από τρεις πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις κατά την μετατόπιση σχεδιασμού που διεξάγονται με συχνότητα που κυμαίνεται από 0,2 μέχρι 2,0 φορές της αντιστρόφου τιμής της ενεργού περιόδου του συστήματος μόνωσης.

### Μέγιστο και Ελάχιστο Κατακόρυφο Φορτίο

Η δοκιμή στατικού κατακόρυφου φορτίου χρησιμοποιείται για να επιβεβαιώσει την ευστάθεια του μονωτήρα στην μέγιστη μετακίνηση κάτω από το μέγιστο και ελάχιστο κατακόρυφο φορτίο. Ως μέγιστο κατακόρυφο φορτίο λαμβάνεται  $1.2 \cdot DL + 1.0 \cdot LL$  συν το μέγιστο κατακόρυφο σεισμικό φορτίο -προς τα κάτω-, το οποίο προέρχεται από τις επιδράσεις των ροπών ανατροπής στον σεισμό σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης. Ως ελάχιστο κατακόρυφο φορτίο λαμβάνεται  $0.8 \cdot DL$  συν το μέγιστο κατακόρυφο σεισμικό φορτίο -προς τα επάνω-, το οποίο προέρχεται από τις επιδράσεις των ροπών ανατροπής στο σεισμό σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης. Αυτή είναι μία δοκιμή ευστάθειας υπό στατικές συνθήκες, και δεν απαιτείται καμία επανάληψη.

### Προσδιορισμός Χαρακτηριστικών της Δύναμης-Μετακίνησης

Τα χαρακτηριστικά της σχέσης δύναμη-μετακίνηση ενός συστήματος μόνωσης πρέπει να βασίζονται στα αποτελέσματα μίας αλληλουχίας δοκιμών ενός επιλεγμένου δείγματος μονωτήρων. Η ενεργός δυσκαμψία του μονωτήρα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε κύκλο φόρτισης από μετακίνηση  $d_p$  έως  $d_n$  (όπου  $|d_p| = |d_n| = d_{dc}$ ) χρησιμοποιώντας την Σχέση Α.1.

$$k_{eff} = \frac{F_p - F_n}{d_p - d_n} \quad \text{Σχέση Α.1 (Παράτημα Α του Προσχεδίου Οδηγιών)}$$

όπου το  $F_p$  είναι η οριζόντια δύναμη στην  $d_p$  και το  $F_n$  είναι η οριζόντια δύναμη στην μετακίνηση  $d_n$ , θεωρώντας ότι η μέγιστη δύναμη παρουσιάζεται στην μέγιστη μετατόπιση.

Η ενεργός απόσβεση ( $\xi_{eff}$ ) που δίνεται από την Σχέση Σ.2 χρησιμοποιείται για να χαρακτηριστεί η ικανότητα απόσβεσης ενέργειας του συστήματος μόνωσης.

### Σ.Α.3 Λοιπές Δοκιμές

Δεν παρέχεται κάποιο σχόλιο.

### Σ.Α.4 Μεταβλητότητα των Ιδιοτήτων των Μονωτήρων

Βλ. Σ.5.2.3

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

### **ΣΒ1 Κριτική εξέταση σχεδιασμού και δοκιμών του συστήματος μόνωσης**

Η Επισκόπηση Σχεδιασμού και Κατασκευής του Συστήματος Μόνωσης και του προγράμματος ελέγχου ποιότητας των μονωτήρων, είναι υποχρεωτικός από αυτό το κείμενο Προδιαγραφών για τρεις κύριους λόγους:

1. Η ανάλυση και ο σχεδιασμός ενός συστήματος μόνωσης συχνά περιλαμβάνει τη χρήση πολύπλοκων μεθόδων, πχ μη-γραμμική ανάλυση με χρονοϊστορίες, οι οποίες μπορεί να είναι πολύ ευαίσθητες σε παραδοχές και εξιδανικεύσεις που έγιναν κατά την ανάλυση και το σχεδιασμό. Ο επανέλεγχος του σχεδιασμού στοχεύει στο να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα μη καταλλήλων παραδοχών και μεθόδων στη διαδικασία ανάλυσης και σχεδιασμού.

2. Η αστοχία των μονωτήρων μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Για αυτό το λόγο επιβάλλεται λεπτομερής επισκόπηση της ανάλυσης και σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης.

3. Ο σχεδιασμός, οι μέθοδοι ελέγχου και η τεχνολογία των μονωτήρων εξελίσσονται ραγδαία, πιθανώς με την χρήση τεχνολογιών οι οποίες άγνωστες σε πολλούς μηχανικούς.

Το Άρθρο 7.6 του Προσχεδίου Οδηγιών απαιτεί ότι ένας τέτοιος επανέλεγχος θα πρέπει να διεξαχθεί 1) από ομάδα μελετητών ανεξάρτητη της ομάδας σχεδιασμού και του αναδόχου του έργου και 2) από ομάδα ανασκόπησης που αποτελείται από άτομα με ειδικές γνώσεις σε ένα ή περισσότερους τομείς του σχεδιασμού και της εφαρμογής συστημάτων σεισμικής μόνωσης. Η ομάδα επανελέγχου θα πρέπει να σχηματιστεί πριν από την ανάπτυξη των κριτηρίων σχετικά τις εδαφικές κινήσεις και επιλογές σχεδιασμού μονωτήρων. Επιπλέον, η ομάδα επανελέγχου θα πρέπει να έχει πλήρη πρόσβαση σε όλες τις σχετικές πληροφορίες ώστε να μπορεί να εργαστεί στενά με όλες τους συμβούλους και όλες τις ρυθμιστικές αρχές που λαμβάνουν μέρος στο έργο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο απαιτούμενος επανέλεγχος του σχεδιασμού δεν είναι, και ούτε θα πρέπει να θεωρείται ως, ένα υποκατάστατο ενός πλήρους και κατάλληλου σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης εκτελούμενου από κατάλληλα πιστοποιημένους επαγγελματίες μηχανικούς με εμπειρία στην ανάλυση και σχεδιασμό σεισμικά μονωμένων κατασκευών.

Στόχος της απαίτησης υποβολής τεχνικής έκθεσης συμμόρφωσης της μελέτης του έργου με τις απαιτήσεις της ανεξάρτητης ομάδας επισκόπησης σχεδιασμού και κατασκευής του συστήματος μόνωσης είναι η αύξηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας επισκόπησης σχεδιασμού και κατασκευής του συστήματος μόνωσης από τα αρχικά στάδια της διαδικασίας υλοποίησης του έργου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η επισκόπηση σχεδιασμού του συστήματος μόνωσης αποτελεί ένα ουσιαστικό και πολύτιμο εργαλείο για τους συμμετέχοντες στην μελέτη του έργου και τις ελέγχουσες αρχές.

