

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

Ιανουάριος 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	1
2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑ	1
2.1 Ορισμοί.....	1
2.2 Σύμβολα.....	3
3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	6
4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ.....	7
4.1 Φάσματα σχεδιασμού.....	7
4.2 Σεισμικές χρονοϊστορίες	7
5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	9
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.....	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 χρονοϊστορίας	22
5.7 Επίδραση κατακόρυφης συνιστώσας	23
6. ΕΛΕΓΧΟΙ.....	23
6.1 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων σχεδιασμού.....	23
6.2 Σύστημα σεισμικής μόνωσης.....	23
6.3 Υποδομή και ανωδομή	24
7. ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΩΣΗΣ	26
7.1 Ικανότητα οριζόντιας επαναφοράς.....	26
7.2 Περιορισμοί οριζόντιας μετακίνησης στην διεπιφάνεια μόνωσης.....	27
7.3 Επιθεώρηση και συντήρηση.....	28
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	29
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ	
A.1 Αντικείμενο και πεδίο εφαρμογής.....	29
A.2 Δοκιμές Προτύπων.....	29
A.3 Λοιπές Δοκιμές.....	33
A.4. Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων.....	33

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

(1) Οι παρούσες οδηγίες αφορούν την μελέτη γεφυρών με ειδικό σύστημα σεισμικής μόνωσης, με το οποίο επιτυγχάνεται μείωση 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
- 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: στο κείμενο αυτό σημαίνει την αντίσταση ανά μονάδα μετακίνησης στην διεύθυνση παραμόρφωσης του μονωτήρα (π.χ. δυστημσία για διατμητική παραμόρφωση ή δυστένεια για αξονική παραμόρφωση).

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_{dc}) κατά την εξεταζόμενη διεύθυνση.

Αυξημένη μετακίνηση σχεδιασμού ($d_{bi,a}$) ενός μονωτήρα i είναι η μετακίνηση σχεδιασμού του μονωτήρα ($d_{db,i}$) πολλαπλασιασμένη επί τον συντελεστή μεγέθυνσης γ_{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 συνολικό σύστημα κατά την διάρκεια ανακυκλιζόμενης φόρτισης-στην μετακίνηση σχεδιασμού, όσον και από την υπόλοιπη κατασκευή.

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 ενεργός επιφάνεια ελαστομεταλικού 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 βάρου 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
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 εγκάρσια διεύθυνση x
K_{yi}	σύνθετη ενεργός δυσκαμψία του βάθρου i και των μονωτήρων που βρίσκονται στην κεφαλή του, στην εγκάρσια 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 βάρους i ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας
y_i	τετμημένη του βάρους i του ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας
α	εκθέτης της ταχύτητας που καθορίζει την αντίδραση υδραυλικού αποσβεστήρα
α_g	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ανηγμένη ως προς g
γ_i	συντελεστής σπουδαιότητας της γέφυρας
ΔF_{Ed}	επιπρόσθετο κατακόρυφο φορτίο λόγω ροπών ανατροπής
ΔF_m	αύξηση της δύναμης από μετακίνηση ίση με $d_m/2$ μέχρι μετακίνηση d_m
μ_d	συντελεστής δυναμικής τριβής
ξ	ιξώδης απόσβεση
ξ_b	συμβολή των αποσβεστήρων στην δρώσα απόσβεση ξ_{eff}
ξ_{eff}	ενεργός απόσβεση του συνολικού συστήματος
$\Sigma E_{D,bi}$	άθροισμα των αποσβενομένων ενεργειών όλων των μονωτήρων I
ψ_{fi}	συντελεστές συνδυασμού

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 E39/99).
- (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 5.2.2β(2) και τα εφέδρανα ολίσθησης σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2δ(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 την ακόλουθη τροποποίηση στην περιοχή $T > T_D$ όπου $T_C = T_2$ και $T_D = 2.50 \text{ sec}$.

$$\Phi_e(T) = A\gamma_1\eta\beta_0 \frac{T_C T_D}{T^2} \quad (4.1)$$

(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 προβλέπετο από το 4.1(2)), τότε 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 της 4.1, και θα εφαρμόζεται η διαδικασία που προβλέπεται στις παραγράφους (2) έως (6) παρακάτω.

(2) Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμος ο ελάχιστος 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 $0,2T_{eff}$ 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.

(4) Όταν το φάσμα TRAT 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 TRAT 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), καταναλογίαν 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_{dc}) του συστήματος μόνωσης.
- Η ικανότητα απόσβεσης του συστήματος μόνωσης θα εκφράζεται σε όρους ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης και θα χαρακτηρίζεται ως ενεργός απόσβεση (ξ_{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 5.2.2β(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.

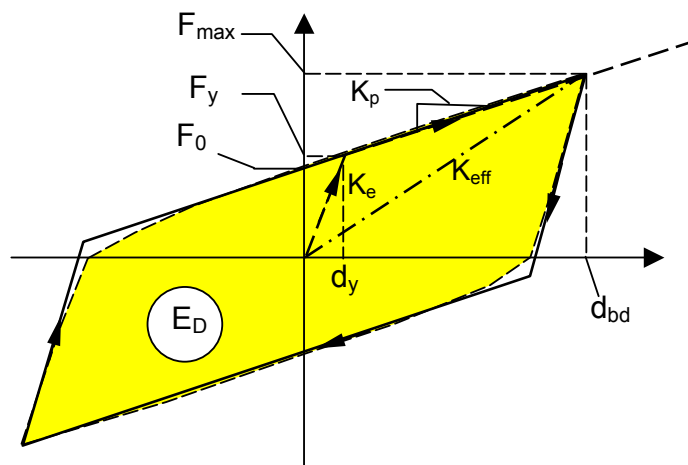
(2) Αυτή η απαίτηση θεωρείται ότι ικανοποιείται, όταν η οριζόντια μετακίνηση του κέντρου της μάζας της ανωδομής, που οφείλεται στην ευκαμψία των μονωτήρων στην κατακόρυφη διεύθυνση, είναι μικρότερη από το 5% της μετακίνησης σχεδιασμού d_{dc} .

(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 λεππούς 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 ξ μικρότερο του 0,06. Η ανακυκλική συμπεριφορά τέτοιων εφεδράνων είναι παρόμοια με την υστερητική με λεππούς 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_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 EN1337-3-2003.

(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 .

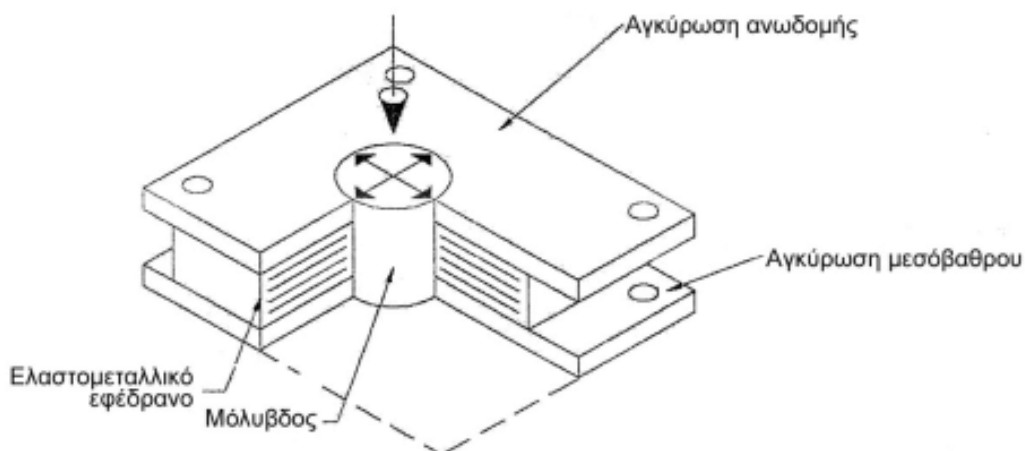
Σημείωση: Προπαραμόρφωση ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε ένα ή περισσότερους κύκλους υψηλής διατμητικής παραμόρφωσης, πριν από την δοκιμή διάτμησης, επιφέρει σημαντική μείωση της διατμητικής δυσκαμψίας σε επόμενους κύκλους παραμόρφωσης. Τα εφέδρανα όμως επανακτούν την αρχική (παρθενική) δυσκαμψία τους 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:

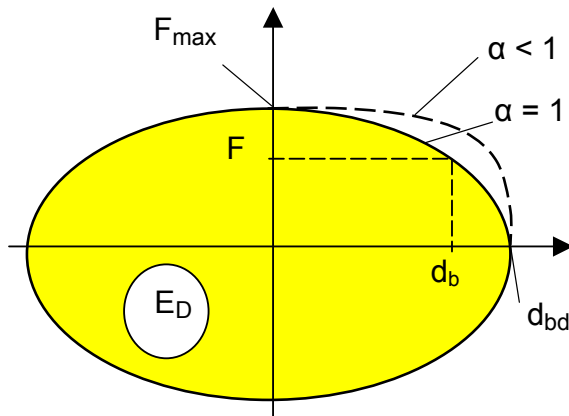
1. Όταν είναι $K_R \ll K_L$, τότε: $K_e \approx K_L$ και $F_y \approx F_{Ly}$
2. Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου υπόκεινται στις Δοκιμές Προτύπων του Παραρτήματος Α, από τις οποίες προκύπτουν ή επιβεβαιώνονται οι τιμές των χαρακτηριστικών τους (K_e , K_p , F_y ή/και E_D)



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^α , 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 α 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 α , 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 αποσβενόμενη ενέργεια ανά 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:

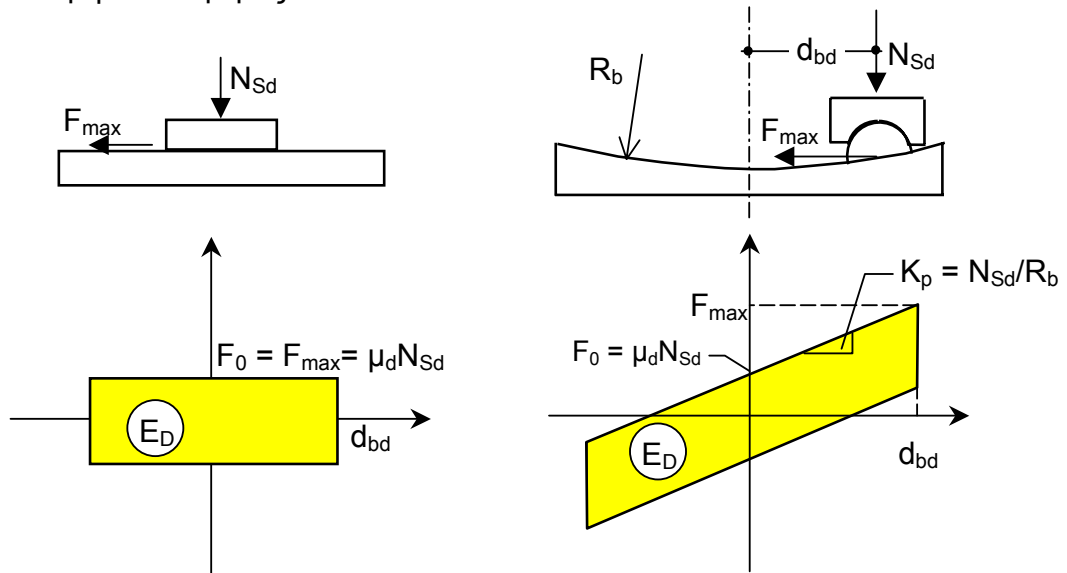
μ_d είναι ο συντελεστής δυναμικής τριβής

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 ($E_d \cong 0$).

(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 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	$G_b = 1,1 G_g$
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 EN1337-3-2003.

(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 $T_{min,b} \geq 0$ °C:
 $G_{b,max} = 1.5 G_b$
 - όταν $T_{min,b} < 0$ °C:
η τιμή του $G_{b,max}$ που ορίστηκε παραπάνω πρέπει να διορθωθεί μέσω των τιμών λ_{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 σεισμογόνου 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 ξ_{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:

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

όπου,

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

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

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

ενεργός ιδιοπερίοδος $T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{W_d}{gK_{\text{eff}}}}$ (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}
$T_C \leq T_{\text{eff}} < T_D$	$2,5 \frac{T_C}{T_{\text{eff}}} \eta_{\text{eff}} \alpha_g$	$\frac{T_{\text{eff}}}{T_C} d_C$
$T_D \leq T_{\text{eff}}$	$2,5 \frac{T_C T_D}{T_{\text{eff}}^2} \eta_{\text{eff}} \alpha_g$	$\frac{T_D}{T_C} d_C$

Όπου:

$$\alpha_g = \frac{A_g}{g} = \frac{\gamma_1 A_{g,475}}{g} \quad (5.7)$$

Η τιμή του η_{eff} μπορεί να ληφθεί από την σχέση

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

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

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

και όπου,

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

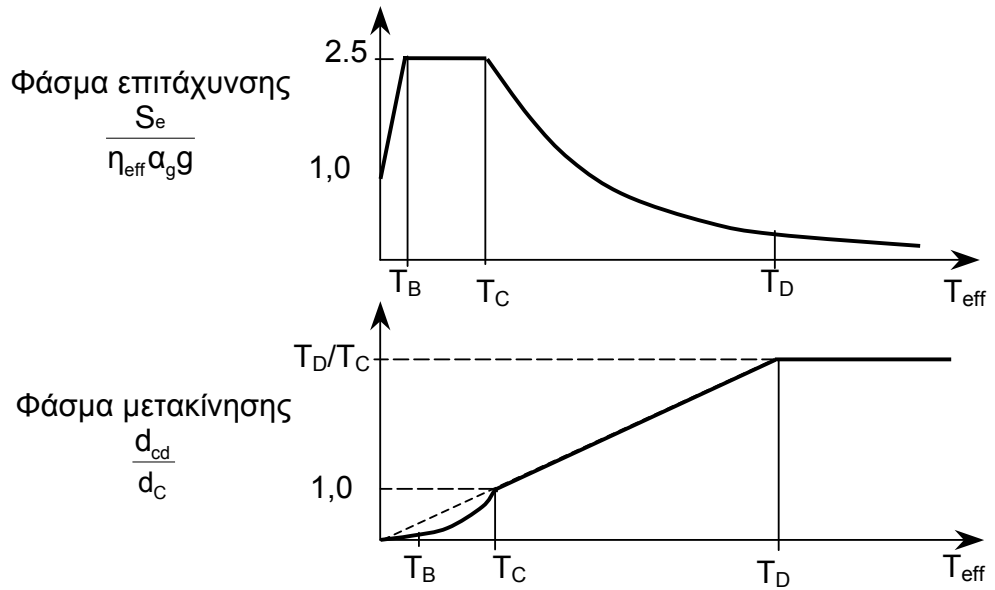
T_D σύμφωνα με την 4.1,

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

γ_1 είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας της γέφυρας.

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

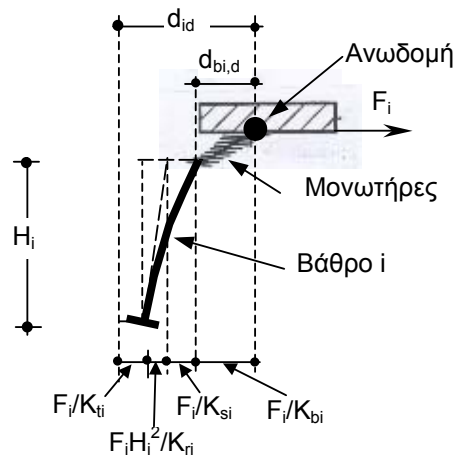
Το Σχ. 5 δείχνει την συσχέτιση των φασμάτων επιτάχυνσης και μετακίνησης όπως προκύπτει από τον Πίνακα 1



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 :

$$d_{bi,d} = d_{id} \frac{K_{eff,i}}{K_{bi}} \quad (5.12a)$$

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 ξ_{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 της γέφυρας μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση της τελευταίας στην θέση του βάθρου i , d_{id} , θα λαμβάνεται με πολλαπλασιασμό της d_{cd} επί συντελεστή δ_i ως ακολούθως:

$$d_{id} = \delta_i d_{cd} \quad (5.13)$$

όπου
$$\delta_i = 1 + \frac{e_x}{r_x} x_i \quad (5.14)$$

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

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

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

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

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 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:

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

ή

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

(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

(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) Μονωτήρες που αποτελούνται από συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα θα ελέγχονται με τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων, σύμφωνα με τους κανόνες που δίνονται στις παραγρ. (6) έως και (11) του άρθρου 2.7.3 της Ε39/99.

(6) Εφέδρανα ολίσθησης σύμφωνα με την παράγραφο 5.5.2.δ (5), θα ελέγχονται με τα αποτελέσματα των προηγούμενων παραγράφων (1) έως (5), σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις (DIN4141 ή EN1337).

(7) Δεν επιτρέπεται ανασήκωμα μονωτήρων (ανάπτυξη δύναμης εφελκυσμού) οι οποίοι μεταφέρουν κατακόρυφα φορτία, υπό τον σεισμικό συνδυασμό σχεδιασμού με σεισμική δράση ίση με την οριζόμενη στο άρθρο 4.

(8) Ο έλεγχος εφεδράνων ολίσθησης που συμμετέχουν στο σύστημα σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την 5.2.24(5) θα γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN1337-2-2002 για σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού σύμφωνα με την (1) παραπάνω.

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 βάρων 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:

$$v_{\max} = 2\pi d_{bd}/T_{\text{eff}} \quad (6.3)$$

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:

$$F_{\max} = (f_1 + 2\xi_b f_2) \frac{S_e}{g} W_d \quad (6.4)$$

όπου $\frac{S_e}{g}$ όπως προκύπτει από την σχέση (5.7) με k_{eff} σύμφωνα με την σχέση (5.4)

(χωρίς συμβολή των αποσβεστήρων στην δυσκαμψία) και με:

$$f_1 = \cos[\arctan(2\xi_b)] \quad (6.5)$$

$$f_2 = \sin[\arctan(2\xi_b)] \quad (6.6)$$

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

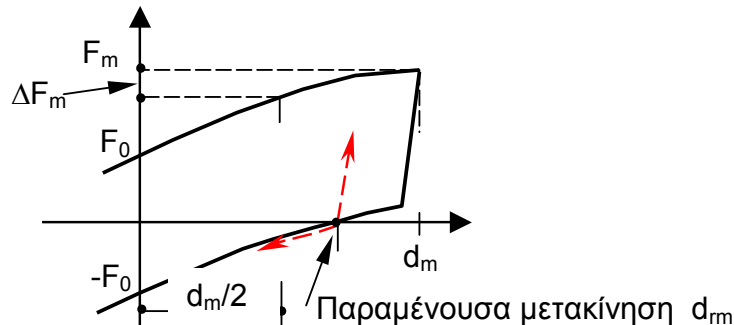
(8) Σε σύστημα σεισμικής μόνωσης αποτελούμενο από συνδυασμό υδραυλικών αποσβεστήρων και ελαστομεταλλικών εφεδράνων χωρίς στοιχεία ολίσθησης και σε βάθρα που φέρουν εφεδράνα και αποσβεστήρες, όπως στην (7) παραπάνω, η δύναμη σχεδιασμού υπό μη-σεισμικές δράσεις επιβεβλημένης παραμόρφωσης (μεταβολή θερμοκρασίας 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 d_{rm} , 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 πληρούται η ακόλουθη συνθήκη:

$$\Delta F_m \geq 0.025 W_d d_{rm}/d_m \quad (7.1)$$

όπου

ΔF_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

(3) Ο υπολογισμός των μεγεθών d_{rm} και ΔF_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 (7.1), 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

7.2 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 γίνουν 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 συνολική σεισμική μετακίνηση σχεδιασμού.

T4 Δεκαπέντε πλήρως ανακυκλιζόμενες φορτίσεις στην μετακίνηση σχεδιασμού. Οι δεκαπέντε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις μπορούν να διεξαχθούν σε τρεις ομάδες των πέντε ανακυκλιζόμενων φορτίσεων η κάθε μια. Ενδιάμεσα στις ομάδες των πέντε ανακυκλιζόμενων 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

ΔF_{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 τον ρυθμό (ταχύτητα) φόρτισης. 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 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

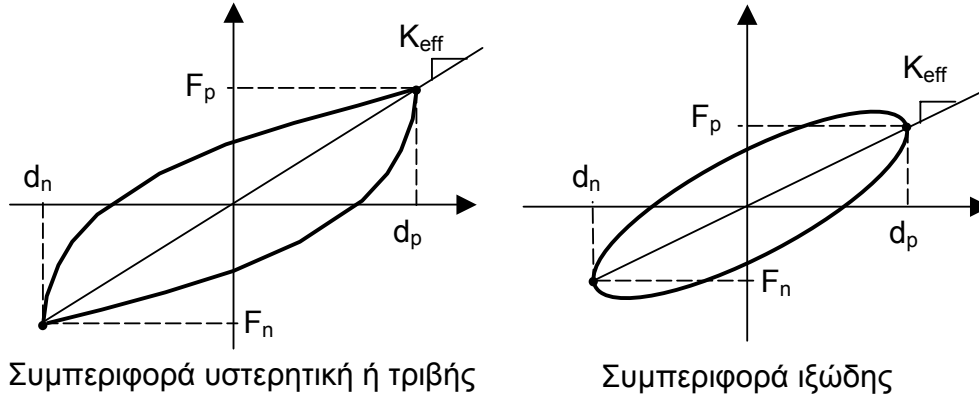
A.2.3.1 Χαρακτηριστικά Δύναμης – Μετατόπισης

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

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

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

ΔT_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
ΔT_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 οξειδωσης)
- 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

$$\lambda_{U,f1} = 1 + (\lambda_{\max,fi} - 1) \psi_{fi} \quad (A.5)$$

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

Πίνακας Α.1: Συντελεστές Συνδυασμού ψ_{fi}	
Σπουδαιότητα Γέφυρας	ψ_{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:

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

και κατά συνέπεια

$$\text{ΚΤΠΣ} = \min \text{DP}_{\text{nom}} \quad (\text{A.7})$$

A.4.2 Τιμές λ_{\max} για ελαστομεταλλικά εφέδρανα.

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

Πίνακας A.2 f1: Γήρανση		
Τύπος ελαστομεταλλικών εφεδράνων	$\lambda_{\max,f1}$ για	
	K_p	F_o
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 A.3 f2: Θερμοκρασία						
Θερμοκρασία Σχεδιασμού $T_{\min,b}$ (° C)	$\lambda_{\max,f2}$					
	K_p			F_o		
	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 A.4 f3: Ρύπανση	
$\lambda_{\max,f3} = 1,0$	

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

A.4.3 Τιμές λ_{\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 λ_{\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).

Πίνακας A.6 f1: Γήρανση						
Στοιχείο	$\lambda_{\max, f1}$					
	PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο		PTFE 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

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

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

Πίνακας A.9 f4: Συνολική διαδρομή			
	$\lambda_{\max,f4}$		
Συνολική διαδρομή (km)	PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο	PTFE με λιπαντικό μέσο	Διμεταλλική Διεπιφάνεια
≤ 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 A.6

- Γίνεται παραδοχή ότι οι πλάκες ολίσθησης είναι από ανοξειδωτο 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 ανοξειδωτού χάλυβα και μπρούντζου

- Πίνακας A.8

- Θεωρείται ότι η προστατευτική σφράγιση των μονωτήρων προσφέρει προστασία από τη ρύπανση υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας.