

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ
ΜΕ ΤΙΤΛΟ

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

ΤΕΥΧΟΣ Δ'
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: 1^η, 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

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

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

ΤΕΥΧΟΣ Δ΄

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
ΠΡΟΣΧΕΔΙΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	7
1.1 Παραδείγματα εφαρμογής Προσχεδίων Οδηγιών	7
1.2 Μέθοδοι ανάλυσης.....	7
1.3 Εφαρμογή της μεθόδου Μη Γραμμικής Ιδιομορφικής Ανάλυσης (Fast Non Linear Analysis ή FNA)	8
1.4 Συμπεράσματα από την σύγκριση των αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	9
1.5 Σχόλια σχετικά με την διαμόρφωση - σύνθεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης	13
2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1 - ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ (LRBS).....	15
2.1 Περιγραφή του κτιρίου	18
2.2 Περιγραφή και ονομαστικές τιμές ιδιοτήτων σεισμικών μονωτήρων	19
2.3 Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων	19
2.4 Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	21
2.5 Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας.....	36
2.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	44
2.7 Έλεγχοι επάρκειας εφεδράνων	48
2.8 Έλεγχος ικανότητας επαναφοράς	50
3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ (LRBS).....	53

3.1	Περιγραφή του κτιρίου	57
3.2	Περιγραφή και ονομαστικές τιμές ιδιοτήτων σεισμικών μονωτήρων	58
3.3	Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων	58
3.4	Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	60
3.5	Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας.....	74
3.6	Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	83
3.7	Έλεγχοι επάρκειας εφεδράνων	86
3.8	Έλεγχος ικανότητας επαναφοράς	90
4.	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3 - ΓΕΦΥΡΑ 5 ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΗ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΚΑΙ ΙΞΩΔΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ	93
4.1	Περιγραφή της Γέφυρας	97
4.2	Περιγραφή και ονομαστικές τιμές ιδιοτήτων σεισμικών μονωτήρων	98
4.2.1	<i>Συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης.....</i>	<i>98</i>
4.2.2	<i>Ελαστομεταλλικά εφέδρανα ολίσθησης.....</i>	<i>99</i>
4.2.3	<i>Υδραυλικοί αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς</i>	<i>99</i>
4.3	Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων	99
4.4	Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	100
4.5	Μη-γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας	110
4.6	Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	119
4.7	Έλεγχοι Επάρκειας Εφεδράνων	121
4.8	Έλεγχος Ικανότητας Επαναφοράς.....	123
5.	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4 - ΓΕΦΥΡΑ 3 ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΗ ΜΕ ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (ΕΦΕΔΡΑΝΑ FPS)	125
5.1	Περιγραφή της γέφυρας και του συστήματος σεισμικής μόνωσης.....	128

5.2	Περιγραφή των σεισμικών μονωτήρων	129
5.3	Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων	130
5.4	Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	131
5.5	Μη-γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας	141
5.6	Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.....	149
5.7	Επιλεγόμενη Ικανότητα Μετακίνησης Εφεδράνων.....	151
5.8	Έλεγχος Ικανότητας Επαναφοράς.....	151
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ		155
A.1	Γενικά	155
A.2	Φάσματα Σχεδιασμού	155
A.3	Πραγματικές Καταγραφές Χρονοϊστοριών Εδαφικής Επιτάχυνσης.....	156
A.4	Παραγωγή τροποποιημένων φυσικών χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης	157
A.5	Έλεγχος Συμβατότητας Χρονοϊστοριών Εδαφικής Επιτάχυνσης προς το Φάσμα Σχεδιασμού	182

-

-

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1.1 Παραδείγματα εφαρμογής Προσχεδίων Οδηγιών

Στο παρόν τεύχος περιλαμβάνονται τέσσερα παραδείγματα εφαρμογής του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» και του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» για την μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης κτιρίων και γεφυρών. Εκτός από τα παραπάνω προσχέδια εφαρμόζονται και οι σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού 2000, αναθεώρηση 2003 (ΕΑΚ 2000) και της Ε39/99 «Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών».

Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η εφαρμογή των παραπάνω προσχεδίων και κανονισμών για την μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης δύο σεισμικά μονωμένων κτιρίων και δύο σεισμικά μονωμένων γεφυρών:

- Τετραώροφο κανονικό κτίριο σεισμικά μονωμένο με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRBs).
- Τετραώροφο μη κανονικό κτίριο σεισμικά μονωμένο με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRBs).
- Γέφυρα 5 ανοιγμάτων με προκατασκευασμένες δοκούς σεισμικά μονωμένη με ελαστομεταλλικά εφέδρανα και υδραυλικούς αποσβεστήρες.
- Γέφυρα 3 ανοιγμάτων σεισμικά μονωμένη με σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (FPS).

Τα εξεταζόμενα παραδείγματα αποτελούν τυπικές εφαρμογές σεισμικής μόνωσης σε κτίρια και γέφυρες. Η επιλογή των παραπάνω παραδειγμάτων έγινε με στόχο την ανάδειξη της επίδρασης συγκεκριμένων παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την σεισμική απόκριση του συστήματος όπως η κανονικότητα της ανωδομής του κτιρίου, η επίδραση των μη γραμμικών υδραυλικών αποσβεστήρων και η επίδραση της ευκαμψίας του καταστρώματος της γέφυρας.

1.2 Μέθοδοι ανάλυσης

Η ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης πραγματοποιείται με την μέθοδο της Μη-γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.

Για τις περιπτώσεις όπου επιτρέπεται η εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για την ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο παραπάνω μεθόδων όσον αφορά τα μεγέθη σχεδιασμού των σεισμικών μονωτήρων (μετακινήσεις και αξονικά φορτία) και τα μεγέθη σχεδιασμού της ανωδομής (τέμνουσα βάση και τέμνουσες ορόφων). Για τις περιπτώσεις όπου δεν επιτρέπεται η εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας όσον αφορά την μετακίνηση σχεδιασμού και την τέμνουσα βάση του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

Για την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκαν 7 τριάδες τροποποιημένων φυσικών επιταχυνσιογραφημάτων.

Για κάθε μέθοδο ανάλυσης πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις. Στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων του συστήματος σεισμικής μόνωσης και της ανωδομής. Στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή.

Χρησιμοποιήθηκε το εξής λογισμικό:

- Για την ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος χρησιμοποιήθηκαν ειδικά λογιστικά φύλλα τα οποία έχουν αναπτυχθεί από την Denco Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε.
- Για την ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης σύμφωνα με την μέθοδο Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SAP2000NL.
- Για την παραγωγή των τροποποιημένων φυσικών χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό το οποίο έχει αναπτυχθεί από την Denco Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε. (βλέπε Παράρτημα Α).

1.3 Εφαρμογή της μεθόδου Μη Γραμμικής Ιδιομορφικής Ανάλυσης (Fast Non Linear Analysis ή FNA)

Η Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της μη-γραμμικής ιδιομορφικής ανάλυσης (Fast Non-Linear Analysis ή FNA). Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα γρήγορη και αποδοτική για την περίπτωση κατασκευών το μεγαλύτερο μέρος των οποίων συμπεριφέρεται γραμμικά ελαστικά και η μη γραμμική συμπεριφορά εντοπίζεται σε περιορισμένο αριθμό μη γραμμικών στοιχείων. Η μέθοδος χρησιμοποιεί τις ιδιομορφές του συστήματος που προκύπτει από την άθροιση του μητρώου δυσκαμψίας του ελαστικού μέρους της κατασκευής και του μητρώου ενεργού δυσκαμψίας του μη γραμμικού μέρους της κατασκευής. Η εξίσωση δυναμικής ισορροπίας της κατασκευής αναλύεται με βάση τις ιδιομορφές του παραπάνω συστήματος. Τα ιδιομορφικά φορτία που προκύπτουν εξαρτώνται από της δυνάμεις στους μη γραμμικούς βαθμούς ελευθερίας που εν γένει εξαρτώνται από τις μετακινήσεις και κατά συνέπεια οι παραπάνω ιδιομορφές προκύπτουν συζευγμένες και η διαδικασία είναι επαναληπτική. Σημαντική προϋπόθεση για την ορθή εφαρμογή της μεθόδου είναι το ότι οι δυνάμεις στους μη γραμμικούς βαθμούς ελευθερίας θα πρέπει να μπορούν να αναλύονται πλήρως στην βάση των επιλεγμένων ιδιομορφών. Για τον λόγο αυτό η μέθοδος εφαρμόζεται ως εξής:

- Χρησιμοποιείται επαρκές πλήθος ιδιοδιανυσμάτων Ritz, τα οποία προκύπτουν με χρήση ως αρχικών φορτίσεων τα φορτία επιτάχυνσης στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και τις φορτίσεις μετακίνησης όλων των ανεξάρτητων μη γραμμικών βαθμών ελευθερίας.
- Το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης όλων των ιδιομορφών λαμβάνεται ως 0.05 εκτός από τις ιδιομορφές που επηρεάζονται σημαντικά από το σύστημα σεισμικής μόνωσης για τις οποίες λαμβάνεται απόσβεση 0. Αυτό γίνεται

γιατί για αυτές τις ιδιομορφές το σημαντικότερο μέρος της ενέργειας παραμόρφωσης εντοπίζεται στο σύστημα σεισμικής μόνωσης του οποίου η αποσβενόμενη ενέργεια λαμβάνεται υπόψη έμμεσα μέσω του μη γραμμικού νόμου δύναμης-μετακίνησης.

- Η ενεργός δυσκαμψία των μη γραμμικών στοιχείων ορίζεται ως η ενεργός δυσκαμψία του αντίστοιχου μονωτήρα στην μετακίνηση σχεδιασμού. Ο παραπάνω ορισμός της ενεργού δυσκαμψίας βρέθηκε αναγκαίος για την σωστή εκτίμηση των δυνάμεων στην ανωδομή.

1.4 Συμπεράσματα από την σύγκριση των αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών που παρουσιάζονται για κάθε παράδειγμα ξεχωριστά στα ακόλουθα κεφάλαια πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος και της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας όσον αφορά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος σεισμικής μόνωσης και της ανωδομής. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής είναι χρήσιμα για την ανάδειξη της επίδρασης παραγόντων που προκαλούν διαφοροποίηση της απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης σε σχέση με το προσομοίωμα ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος. Επιπλέον η σύγκριση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιβεβαίωση του πεδίου εφαρμογής της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.

Στους Πίνακες 1.1 έως 1.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης για την περίπτωση των Παραδειγμάτων 1 έως 4. Εξετάζονται χαρακτηριστικά εντατικά και μετακινησιακά μεγέθη που αφορούν το σύστημα σεισμικής μόνωσης, την ανωδομή, και την υποδομή.

Μέγεθος		Διεύθυνση Χ			Διεύθυνση Υ		
		Αποτέ- λεσμα ΑΧ	Αποτέ- λεσμα ΜΙΜΣ	Λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ	Αποτέ- λεσμα ΑΧ	Αποτέ- λεσμα ΜΙΜΣ	Λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ
Μετακίνηση σχεδιασμού συστήματος σεισμικής μόνωσης	d_{cd} (m)	0.104	0.101	1.03	0.100	0.101	0.99
Μετακίνηση γωνιακού μονωτήρα (Μονωτήρας Νο. 4)	$d_{bd,i}$ (m)	0.117	0.121	0.97	0.106	0.110	0.96
Τέμνουσα βάσης συστήματος σεισμικής μόνωσης	V_d (KN)	3411	3408	1.00	3423	3408	1.00
Τέμνουσα ανώτερης στάθμης (Στάθμη 4)	V (KN)	656.5	868.7	0.76	661.6	1046.8	0.63
Ροπή κάμψης γωνιακού υποστυλώματος στην βάση του κτιρίου (Υποστύλωμα Νο. 4)	M_{sd} (KNm)	255.9	241.9	1.06	245.6	258.3	0.95
Ροπή κάμψης γωνιακού υποστυλώματος στην κορυφή του κτιρίου (Υποστύλωμα Νο. 4)	M_{sd} (KNm)	47.3	44.8	1.06	41.7	48.0	0.87
Μέγεθος		Διεύθυνση Ζ					
		Αποτέλεσμα		Λόγος			
		ΑΧ		ΜΙΜΣ	ΑΧ/ΜΙΜΣ		
Μέγιστο αξονικό φορτίο κεντρικού μονωτήρα (Μονωτήρας Νο. 10)	$N_{sd,max}$ (KN)	2576		2415	1.07		
Μέγιστο αξονικό φορτίο γωνιακού μονωτήρα (Μονωτήρας Νο. 4)	$N_{sd,max}$ (KN)	1043		1015	1.03		

όπου ΑΧ = Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας, ΜΙΜΣ = Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Πίνακας 1.1. Σύγκριση χαρακτηριστικών εντατικών και μετακινησιακών μεγεθών από την ανάλυση σύμφωνα με τις μεθόδους Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος (Παράδειγμα 1 – Κανονικό κτίριο σεισμικά μονωμένο με ελαστομεταλλικά εφένδρα με πυρήνα μολύβδου).

Μέγεθος		Διεύθυνση Χ			Διεύθυνση Υ		
		Αποτέ- λεσμα ΑΧ	Αποτέ- λεσμα ΜΙΜΣ	Λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ	Αποτέ- λεσμα ΑΧ	Αποτέ- λεσμα ΜΙΜΣ	Λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ
Μετακίνηση σχεδιασμού συστήματος σεισμικής μόνωσης	d_{cd} (m)	0.064	0.072	0.89	0.051	0.068	0.75
Τέμνουσα βάσης συστήματος σεισμικής μόνωσης	V_d (KN)	10430.4	11035.7	0.95	10306.7	11571.9	0.89
Μετακίνηση ακραίου μονωτήρα (Μονωτήρας Α1_3)	$d_{bd,i}$ (m)	0.064	0.072	0.89	0.076	0.068	1.12
Μετακίνηση κεντρικού μονωτήρα (Μονωτήρας Μ2_5)	$d_{bd,i}$ (m)	0.056	0.066	0.85	0.051	0.067	0.76

όπου ΑΧ = Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας, ΜΙΜΣ = Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Πίνακας 1.2. Σύγκριση χαρακτηριστικών εντατικών και μετακινησιακών μεγεθών από την ανάλυση σύμφωνα με τις μεθόδους Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος (Παράδειγμα 2 – Μη κανονικό κτίριο σεισμικά μονωμένο με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου).

Μέγεθος		Διεύθυνση Χ			Διεύθυνση Υ		
		Αποτέ- λεσμα ΑΧ	Αποτέ- λεσμα ΜΙΜΣ	Λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ	Αποτέ- λεσμα ΑΧ	Αποτέ- λεσμα ΜΙΜΣ	Λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ
Μετακίνηση σχεδιασμού συστήματος σεισμικής μόνωσης	d_{cd} (m)	0.064	0.072	0.89	0.051	0.068	0.75
Μετακίνηση ακραίου μονωτήρα (Μονωτήρας Α1_3)	$d_{bd,i}$ (m)	0.064	0.072	0.89	0.076	0.068	1.12
Μετακίνηση κεντρικού μονωτήρα (Μονωτήρας Μ2_5)	$d_{bd,i}$ (m)	0.056	0.066	0.85	0.051	0.067	0.76

όπου ΑΧ = Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας, ΜΙΜΣ = Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Πίνακας 1.3. Σύγκριση χαρακτηριστικών εντατικών και μετακινησιακών μεγεθών από την ανάλυση σύμφωνα με τις μεθόδους Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος (Παράδειγμα 3 – Γέφυρα 5 ανοιγμάτων με προκατασκευασμένες δοκούς σεισμικά μονωμένα με ελαστομεταλλικά εφέδρανα και ιξώδεις αποσβεστήρες).

Μέγεθος		Διεύθυνση Χ			Διεύθυνση Υ		
		Αποτε- λεσμα ΑΧ	Αποτε- λεσμα ΜΙΜΣ	λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ	Αποτε- λεσμα ΑΧ	Αποτε- λεσμα ΜΙΜΣ	λόγος ΑΧ/ΜΙΜΣ
Μετακίνηση σχεδιασμού συστήματος σεισμικής μόνωσης	d_{cd} (m)	0.089	0.097	0.92	0.084	0.096	0.88
Μετακίνηση ακράιου μονωτήρα (Μονωτήρας FPS_A0_1)	$d_{bd,i}$ (m)	0.089	0.097	0.92	0.084	0.096	0.88
Τέμνουσα βάσης συστήματος σεισμικής μόνωσης	V_d (KN)	7375.5	6266.7	1.18	7768.7	6420.4	1.21
Τέμνουσα στην βάση υψηλού μεσοβάθρου (Μεσόβαθρο M1)	V (KN)	3337.9	2869.7	1.16	3405.9	2895.1	1.18
Τέμνουσα στην βάση κοντού μεσοβάθρου (Μεσόβαθρο M2)	V (KN)	2729.3	2686.3	1.02	2826.9	2685.7	1.05

όπου ΑΧ = Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας, ΜΙΜΣ = Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Πίνακας 1.4. Σύγκριση χαρακτηριστικών εντατικών και μετακινησιακών μεγεθών από την ανάλυση σύμφωνα με τις μεθόδους Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος (Παράδειγμα 4 - Γέφυρα 3 ανοιγμάτων σεισμικά μονωμένη με σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης).

Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα (το πρόσημο + δηλώνει μεγαλύτερα μεγέθη από την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος σε σχέση με τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας):

Α) Σεισμικά Μονωμένα Κτίρια

- Εμφανίζεται πολύ μικρή απόκλιση στα αποτελέσματα που αφορούν τα μεγέθη σχεδιασμού στο κέντρο δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης (μετακίνηση σχεδιασμού d_{cd} , τέμνουσα βάσης V_d). Η απόκλιση αυτή είναι από +1% έως -1% για το κανονικό κτίριο (Παράδειγμα 1) και από +5% έως -3% για το μη κανονικό κτίριο (Παράδειγμα 2).
- Η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος γενικά υπερεκτιμάει την αύξηση της μετακίνησης των μονωτήρων λόγω της επίδρασης της εκκεντρότητας μεταξύ κέντρου μάζας της ανωδομής και κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Η υπερεκτίμηση αυτή φτάνει μέχρι +5% για το κανονικό κτίριο (Παράδειγμα 1) και μέχρι +39% για το μη κανονικό κτίριο (Παράδειγμα 2). Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συνέπεια σε σχέση με τις σχετικές διατάξεις της παραγράφου 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» και της παραγράφου 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» που δεν επιτρέπουν την ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωση με την Μέθοδο του Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για την περίπτωση μη κανονικών κτιρίων.
- Παρά το γεγονός ότι η τριγωνική κατανομή δεν είναι συμβατή με την υπόθεση δύσκαμπτης ανωδομής η οποία αποτελεί την βασική υπόθεση της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος τα αποτελέσματα των αξονικών φορτίων των εφεδράνων σύμφωνα με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν αποκλίνουν σημαντικά σε σχέση με τα

αποτελέσματα της Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (απόκλιση έως και -7% για το κανονικό κτίριο του Παραδείγματος 1). Όμως όπως είναι φυσικό παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις στις τέμνουσες των ανώτερων ορόφων (έως και +37%) πράγμα που θεωρείται επί το συντηρητικότερο αποδεκτό.

Β) Σεισμικά Μονωμένες Γέφυρες

- Εμφανίζεται πολύ μικρή απόκλιση στα αποτελέσματα που αφορούν τα μεγέθη σχεδιασμού στο κέντρο δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης (μετακίνηση σχεδιασμού d_{cd}). Η απόκλιση αυτή είναι +11% για την γέφυρα με ελαστομεταλλικά εφέδρανα και αποσβεστήρες (Παράδειγμα 3) και από +12% έως +8% για την γέφυρα με σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (Παράδειγμα 4).
- Η απόκλιση της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος σε σχέση με την ανάλυση χρονοϊστορίας μπορεί να είναι σημαντική για τις περιπτώσεις όπου το σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν μπορεί να προσομοιωθεί έστω και χονδρικά με μονοβάθμιο σύστημα. Τέτοια περίπτωση αποτελεί γέφυρα με σημαντική ευκαμψία του καταστώματος περί κατακόρυφο άξονα όπως η γέφυρα με προκατασκευασμένες δοκούς του Παραδείγματος 3. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λόγω της κάμψης του καταστώματος περί κατακόρυφο άξονα η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δίνει μετακινήσεις στην εγκάρσια διεύθυνση μεγαλύτερες κατά +25% στο κέντρο του καταστώματος και μικρότερες κατά -12% στα άκρα του καταστώματος, σε σχέση με την Ανάλυση Χρονοϊστορίας.
- Τα συστήματα σεισμικής μόνωσης που αποτελούνται από σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης (εφέδρανα FPS) παρουσιάζουν πολύ μικρή εκκεντρότητα μεταξύ του κέντρου μάζας της ανωδομής και του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Αυτό ισχύει επειδή για τα εφέδρανα αυτά η ενεργός δυσκαμψία είναι πάντοτε ανάλογη του κατακόρυφου φορτίου. Κατά συνέπεια τα συστήματα σεισμικής μόνωσης που αποτελούνται από σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης εμφανίζουν πολύ μικρή επαύξηση των μετακινήσεων των μονωτήρων λόγω στρεπτικής κίνησης της ανωδομής. Το συμπέρασμα αυτό ισχύει και για τα κτίρια.

1.5 Σχόλια σχετικά με την διαμόρφωση - σύνθεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης

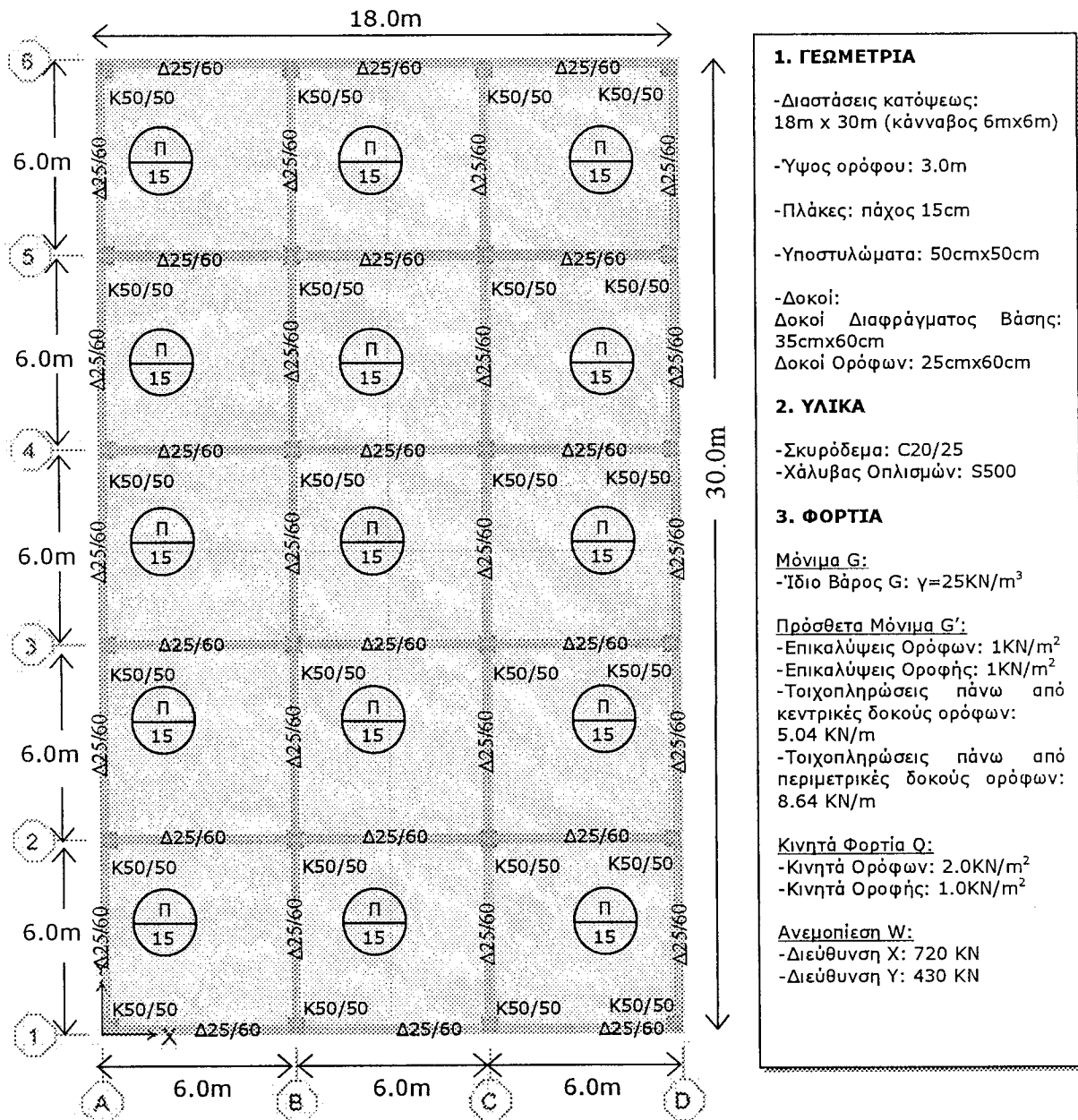
Με βάση τα παραδείγματα μελέτης του συστήματος σεισμικής μόνωσης κτιρίων και γεφυρών που παρουσιάζονται στις ακόλουθες παραγράφους προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα σχετικά με την διαμόρφωση του συστήματος σεισμικής μόνωσης:

1. Για την περίπτωση σεισμικά μονωμένων κτιρίων με ελαστομεταλλικά εφέδρανα, όπου εμφανίζονται μικρά αξονικά φορτία στους μονωτήρες, συνήθως είναι κρίσιμος ο έλεγχος ευστάθειας των εφεδράνων πράγμα που μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Σε μια τέτοια περίπτωση ο έλεγχος ευστάθειας των εφεδράνων για μικρά αξονικά φορτία απαιτεί σημαντική επιφάνεια σε κάτοψη του εφεδράνου και κατά συνέπεια σημαντική δυσκαμψία σε οριζόντια μετακίνηση. Η δυσκαμψία αυτή είναι μεγάλη σε σχέση με την μικρή μάζα του κτιρίου το οποίο οδηγεί σε περιόδους του συστήματος σεισμικής μόνωσης αρκετά μικρότερες από την περιοχή περιόδων όπου το σύστημα μόνωσης είναι

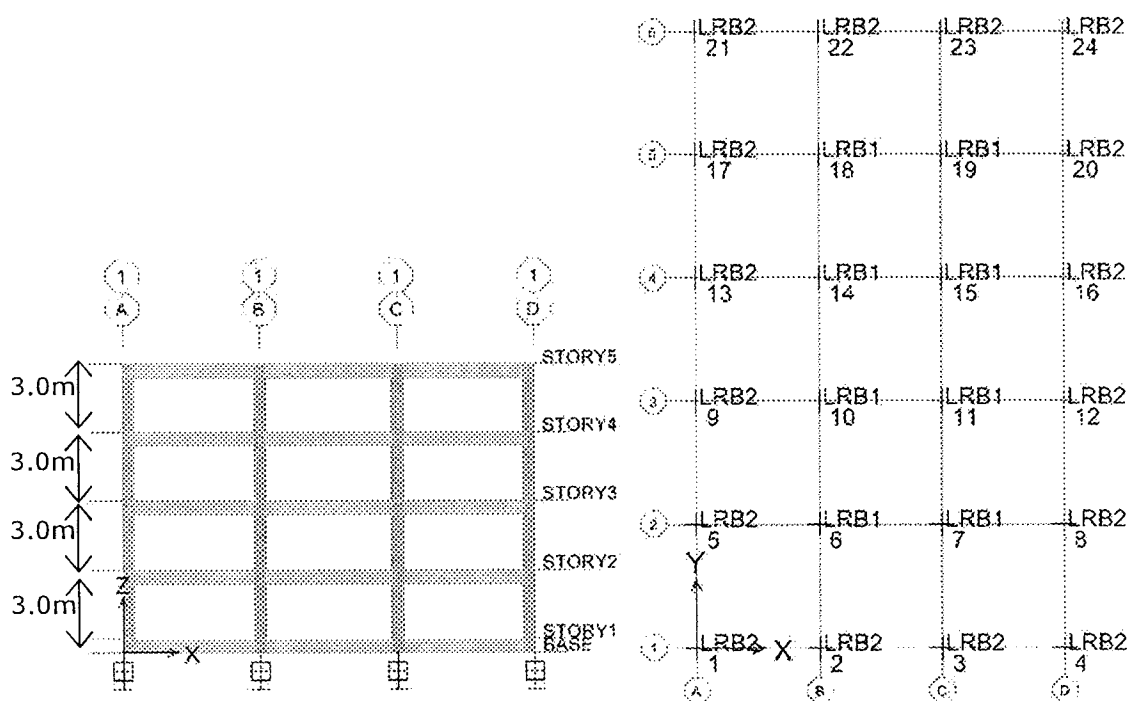
αποδοτικό ($T_{eff} \approx 2\text{sec}$). Σημειώνεται ότι στην περίπτωση του Παραδείγματος 2 η περίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι $T_{eff} = 1.86\text{sec}$ και δεν μπορεί να αυξηθεί περισσότερο για τον παραπάνω λόγο. Μια λύση για το παραπάνω πρόβλημα είναι η αντικατάσταση ορισμένων ελαστομεταλλικών εφεδράνων με εφέδρανα ολίσθησης. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης και αυξάνει η περίοδος του, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά ο έλεγχος ευστάθειας των εφεδράνων. Μια άλλη λύση, αν η διαμόρφωση του φέροντος οργανισμού πάνω από την διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης το επιτρέπει, είναι η αφαίρεση ορισμένου αριθμού εφεδράνων έτσι ώστε να αυξηθεί το κατακόρυφο φορτίο ανά εφέδρανο. Με τον τρόπο αυτό παρόλο που οι διαστάσεις των εφεδράνων αυξάνουν μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερες περίοδοι.

2. Το ίδιο πρόβλημα όπως στο προηγούμενο σχόλιο μπορεί να εμφανιστεί και σε γέφυρες στις οποίες ο φορέας εδράζεται σε μεγάλο πλήθος ελαστομεταλλικών εφεδράνων, όπως η γέφυρα του Παραδείγματος 3. Για να επιτευχθεί περίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης η οποία βρίσκεται στο αποδοτικό εύρος περιόδων έγινε βελτιστοποίηση της διάταξης των σεισμικών μονωτήρων σύμφωνα με όσες αναφέρονται στο προηγούμενο σχόλιο. Συγκεκριμένα τρεις από τις πέντε δοκούς εδράζονται σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης ενώ οι υπόλοιπες δύο εδράζονται σε ελαστομεταλλικά εφέδρανα ολίσθησης τα οποία δεν συνεισφέρουν στην ενεργό δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1 - ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ (LRBs)



Σχήμα 2.1. Κάτοψη τυπικού ορόφου και στοιχεία γεωμετρίας κτιρίου, υλικών και φορτίσεων.



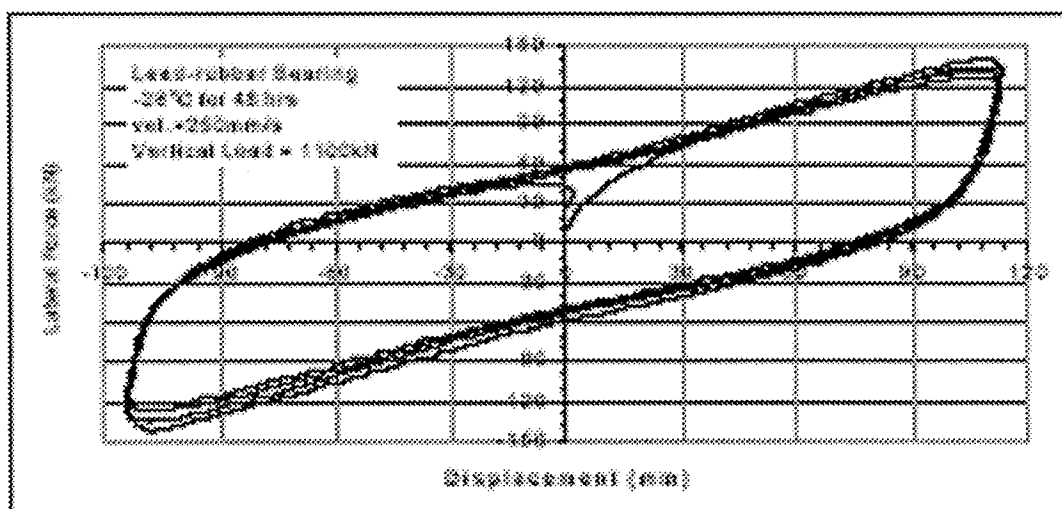
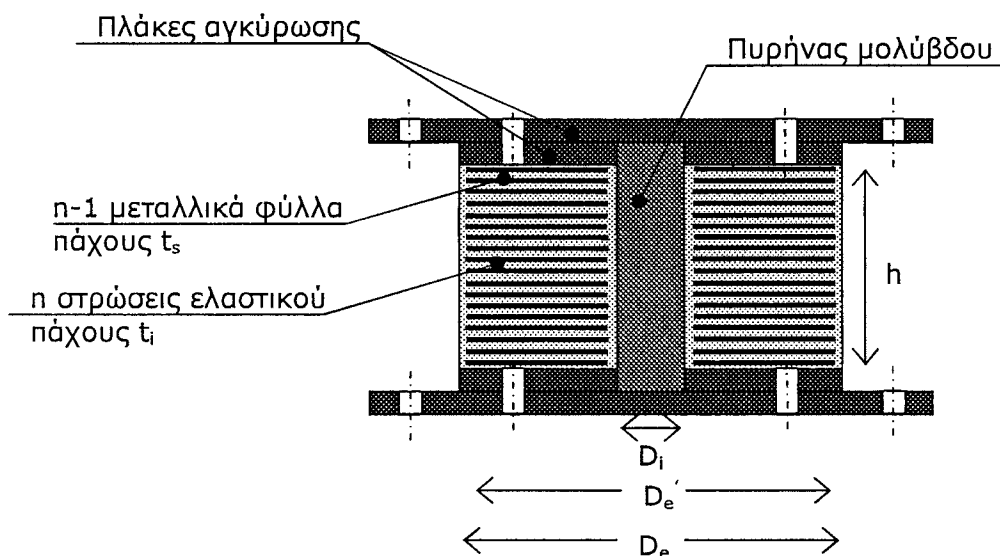
Σχήμα 1.2. Πλάγια όψη και διάταξη ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου.

Εφέδρανο	LRB1	LRB2
Γεωμετρία και ιδιότητες υλικών		
Εξωτερική διάμετρος D_e	550mm	500mm
Εξωτερική διάμετρος ελαστικού συγκολλημένου στα μεταλλικά φύλλα D_e'	530mm	480mm
Διάμετρος πυρήνα μολύβδου D_i	75mm	75mm
Πάχος στρώσεων ελαστομερούς t_i	24 στρώσεις x 7mm = 168mm	24 στρώσεις x 7mm = 168mm
Πάχος μεταλλικών φύλλων t_s	23 φύλλα x 3 mm = 69mm	23 φύλλα x 3 mm = 69mm
Συνολικό Πάχος	237mm	237mm
Ελαστομεταλλικού Τμήματος h		
Μέτρο διάτμησης ελαστικού G *	0.7 MPa	0.7 MPa
Τάση διαρροής πυρήνα μολύβδου f_{yL} **	10.0 MPa	10.0 MPa
Ιδιότητες διγραμμικού μοντέλου		
	Ονομαστικές Τιμές DP_{nom} min DP_{nom} max DP_{nom}	Ονομαστικές Τιμές DP_{nom} min DP_{nom} max DP_{nom}
Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0 (KN)	44.18 39.76 48.60 39.76 58.44	44.18 39.76 48.60 39.76 58.44
Μεταελαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p (KN/m)	971.5 874.4 1069 874.4 1243	799.7 719.7 879.7 719.7 1024
Μετακίνηση διαρροής d_y (mm)	18.2	18.2

* Αναφέρεται στην διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού

** Αναφέρεται σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας

Πίνακας 2.1. Ιδιότητες ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου.



Σχήμα 2.3. Τυπική τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου και σχέση δύναμης – μετακίνησης υπό ανακυκλική φόρτιση.

Κανονισμοί Αντισεισμικής Μελέτης	
1. ΕΑΚ 2000 - Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (αναθεώρηση 2003)	
2. Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση	
Παράμετροι φάσματος σχεδιασμού	
Ζώνη σεισμικής Επικινδυνότητας:	I ($A=0.16g$)
Κατηγορία Σπουδαιότητας:	Σ4 ($\gamma_1=1.30$)
Κατηγορία Εδάφους:	B ($T_1=0.15\text{sec}$, $T_2=T_c=0.60\text{sec}$)
Παράμετροι αντισεισμικής μελέτης	
Συντελεστής συμπεριφοράς ανωδομής q	1.00

Πίνακας 2.2. Κανονισμοί και παράμετροι αντισεισμικής μελέτης.

2.1 Περιγραφή του κτιρίου

Το παράδειγμα αφορά τετραώροφο κανονικό κτίριο σεισμικά μονωμένο με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (Σχήμα 2.1, Σχήμα 2.2). Το κτίριο είναι κανονικό τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος. Η κάτοψη του κτιρίου είναι ορθογωνική διαστάσεων 18.0m x 30.0m, και το συνολικό ύψος του κτιρίου πάνω από το διάφραγμα της βάσης είναι 12.0m (ύψος τυπικού ορόφου 3.0m). Τα υποστυλώματα είναι τετραγωνικής διατομής διαστάσεων 50cm x 50cm. Οι δοκοί του τυπικού ορόφου είναι ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 25cm x 60cm. Οι δοκοί του διαφράγματος βάσης ακριβώς πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι ενισχυμένες σε σχέση με τις δοκούς του τυπικού ορόφου (διατομή διαστάσεων 35cm x 60cm) για τον περιορισμό των στrophών των εφεδράνων. Το πάχος των πλακών είναι 15cm. Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της μη μονωμένης ανωδομής λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της ρηγμάτωσης είναι 0.64sec.

Η διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης βρίσκεται ακριβώς κάτω από το διάφραγμα της βάσης και αποτελείται από 24 ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) τα οποία τοποθετούνται κάτω από κάθε υποσύλωμα του κτιρίου.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου χωρίζονται σε δύο τύπους:

1. Τύπος LRB1, 8 τεμάχια, κάτω από τα κεντρικά υποστυλώματα του κτιρίου.
2. Τύπος LRB2, 16 τεμάχια, κάτω από τα περιμετρικά υποστυλώματα του κτιρίου.

Τα χαρακτηριστικά των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.1 και το Σχήμα 2.3.

Η μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης του κτιρίου πραγματοποιείται με βάση τις διατάξεις του ΕΑΚ2000 (αναθεώρηση 2003) και του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Οι παράμετροι της αντισεισμικής μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Η ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης πραγματοποιείται με την μέθοδο της Μη-γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Η ανάλυση του συγκεκριμένου σεισμικά μονωμένου κτιρίου επιτρέπεται να γίνει και με τις δυο παραπάνω μεθόδους. Τα αποτελέσματα των δύο αναλύσεων θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης όσον αφορά τα μεγέθη σχεδιασμού των σεισμικών μονωτήρων (μετακινήσεις, αξονικά φορτία και στrophές) και τα μεγέθη σχεδιασμού της ανωδομής (τέμνουσα βάση και τέμνουσες σταθμών).

Για κάθε μέθοδο ανάλυσης πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις. Στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης και ανωδομής. Στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή.

2.2 Περιγραφή και ονομαστικές τιμές ιδιοτήτων σεισμικών μονωτήρων

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου (Lead Rubber Bearing ή LRB) αποτελούνται από στρώσεις ελαστικού οπλισμένες με πλήρως εγκιβωτισμένα και συγκολλημένα χαλυβδόφυλλα που διαθέτουν κυλινδρικό μολύβδινο πυρήνα. Η διαρροή του μολύβδινου πυρήνα προσφέρει στα εφεδράνα αυτά υστερητική συμπεριφορά που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης ξ της τάξης του 0.20.

Οι μέσες ονομαστικές ιδιότητες των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου εκτιμούνται, εν απουσία αποτελεσμάτων κατάλληλων δοκιμών, με βάση τις σχέσεις της θεωρίας ελαστικότητας για την περίπτωση στοιχείων υπό καθαρή διάτμηση: $K_p = GA_r / \Sigma t_i$, $F_0 = A_L f_{yL}$, $d_y = f_{yL} h / G_L$ όπου G το μέτρο διάτμησης του ελαστικού υπό την διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού, A_r η πλήρης επιφάνεια σε κάτοψη του ελαστικού, Σt_i το συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού, A_L η επιφάνεια σε κάτοψη του πυρήνα μολύβδου, f_{yL} η τάση διαρροής του πυρήνα μολύβδου υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας, h το συνολικό ύψος του ελαστομεταλλικού τμήματος του εφεδράνου, G_L το φαινόμενο μέτρο διάτμησης του μολύβδου το οποίο λαμβάνεται ίσο με 130MPa. Οι παραπάνω υπολογισμοί χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μέσων ονομαστικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού DP_{nom} . Οι ελάχιστες ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού $minDP_{nom}$ και οι μέγιστες ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού $maxDP_{nom}$, θεωρούνται κατά 10% μικρότερες και κατά 10% μεγαλύτερες από τις μέσες ονομαστικές παραμέτρους σχεδιασμού αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

Σημειώνεται ότι για μια ολοκληρωμένη μελέτη συστήματος σεισμικής μόνωσης που αποτελείται από ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου θα πρέπει, σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.2(9)-Σημείωση 2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση», οι ιδιότητες των μονωτήρων να προσδιορίζονται ή να επιβεβαιώνονται από τις Δοκιμές Προτύπων που αναφέρονται στο Παράρτημα Α του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση».

2.3 Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων

Για την μεταβλητότητα τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων λαμβάνονται υπόψη οι τιμές των συντελεστών λ , οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 2.3. Οι τιμές αυτές είναι σύμφωνες με τις διατάξεις της παραγράφου Α.4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» για την περίπτωση ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου εν απουσία αποτελεσμάτων καταλλήλων δοκιμών.

Γίνεται θεώρηση κατασκευής από σκυρόδεμα ($\Delta T_r = 7.5^\circ\text{C}$) και ελάχιστης θερμοκρασίας υπό σκιά στην περιοχή του έργου με ετήσια πιθανότητα αρνητικής υπέρβασης 0.02 ίση με $T_{min} = -5^\circ\text{C}$. Η ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού σεισμικών μονωτήρων στην περιοχή του κτιρίου $T_{min,b}$ προκύπτει σύμφωνα με την παράγραφο Α.3.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» ίση με $T_{min,b} = \psi_2 T_{min} + \Delta T_r = 5.0^\circ\text{C}$, όπου $\psi_2 = 0.5$ ο συντελεστής συνδυασμού θερμικών δράσεων υπό σεισμικές συνθήκες.

Συντελεστές λ	Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0		Μετελαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p	
	$\lambda_{\max,fi}$	$\lambda_{\min,fi}$	$\lambda_{\max,fi}$	$\lambda_{\min,fi}$
f1: γήρανση	1.0	1.0	1.1	1.0
f2: θερμοκρασία	1.225	1.0	1.075	1.0
f3: ρύπανση	1.0	1.0	1.0	1.0
f4: Συνολική διαδρομή	1.0	1.0	1.0	1.0

Πίνακας 2.3. Συντελεστές μεταβλητότητας παραμέτρων σχεδιασμού λ.

Η εκτίμηση της Ανώτερης και Κατώτερης Τιμής Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ) που θα χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο Α.4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Οι συντελεστές συνδυασμού ψ_{fi} , οι οποίοι εκφράζουν την μειωμένη πιθανότητα ταυτόχρονης παρουσίας των δυσμενών επιδράσεων όλων των συντελεστών λαμβάνονται ίσοι με 0.90 για κτίριο με σπουδαιότητα μεγαλύτερη της μέσης.

Οι υπολογισμοί για την εκτίμηση της ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ της δύναμης σε μηδενική μετακίνηση F_0 και της μετελαστικής δυσκαμψίας K_p φαίνονται παρακάτω:

Α) Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0

- Υπολογισμός Συντελεστών $\lambda_{U,fi}$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{U,f1} &= (1 + \lambda_{\max,f1} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000 \\
 \lambda_{U,f2} &= (1 + \lambda_{\max,f2} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1.225 - 1) \cdot 0.9 = 1.2025 \\
 \lambda_{U,f3} &= (1 + \lambda_{\max,f3} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000 \\
 \lambda_{U,f4} &= (1 + \lambda_{\max,f4} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000
 \end{aligned}$$

- Υπολογισμός ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \lambda_{U,f3} \lambda_{U,f4}$$

$$\Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \cdot 1 \cdot 1.2025 \cdot 1 \cdot 1 \Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \cdot 1.2025$$

$$\lambda_{\min,fi} = 1$$

$$\Rightarrow ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$$

Β) Μετελαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p

- Υπολογισμός Συντελεστών $\lambda_{U,fi}$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{U,f1} &= (1 + \lambda_{\max,f1} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1.09 - 1) \cdot 0.9 = 1.0900 \\
 \lambda_{U,f2} &= (1 + \lambda_{\max,f2} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1.0675 - 1) \cdot 0.9 = 1.0675 \\
 \lambda_{U,f3} &= (1 + \lambda_{\max,f3} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000
 \end{aligned}$$

$$\lambda_{U,f4} = (1 + \lambda_{\max,f4} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000$$

- Υπολογισμός ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \lambda_{U,f3} \lambda_{U,f4}$$

$$\Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \cdot 1.09 \cdot 1.0675 \cdot 1 \cdot 1 \Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \cdot 1.163575$$

$$\lambda_{\min,fi} = 1$$

$$\Rightarrow ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$$

Οι υπολογιζόμενες ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2.1, για τους εξεταζόμενους τύπους μονωτήρων.

2.4 Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Η ανάλυση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 5.4 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις, στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) ενώ στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ).

Το εξεταζόμενο σεισμικά μονωμένο κτίριο πληροί τις προϋποθέσεις οι οποίες αναφέρονται στην παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» σχετικά με το πεδίο εφαρμογής της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για αναλύσεις με τις ΚΤΠΣ. Οπότε για την περίπτωση των ΚΤΠΣ τα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας. Από την άλλη οι παραπάνω προϋποθέσεις δεν πληρούνται για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ, επειδή η ενεργός περίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης δεν είναι τουλάχιστον τριπλάσια από την περίοδο της μη μονωμένης κατασκευής. Κατά συνέπεια η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ. Για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας.

Η ενεργός δυσκαμψία $K_{eff,i}$ και η αποσβενόμενη ενέργεια ανά κύκλο ED_i των μονωτήρων εξαρτώνται από την μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης d_{cd} στην εξεταζόμενη διεύθυνση. Κατά συνέπεια η διαδικασία ανάλυσης σύμφωνα με την μέθοδο του Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος είναι εν γένει επαναληπτική ως εξής:

1. Γίνεται υπόθεση κάποιας τιμής της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} .
2. Υπολογίζονται συναρτήσει της d_{cd} οι ποσότητες $K_{eff,i}$ και ED_i όλων των μονωτήρων.
3. Υπολογίζονται η ενεργός περίοδος T_{eff} και η ενεργός απόσβεση ξ_{eff} του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.

4. Υπολογίζεται διορθωμένη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} με βάση το φάσμα σχεδιασμού και τις τιμές των T_{eff} και ξ_{eff} .
5. Εάν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια υπολογισμού της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} τότε η διαδικασία τερματίζεται, αλλιώς επιστροφή στο βήμα 2.

Η διαδικασία συγκλίνει ταχύτατα και συνήθως απαιτείται μικρός αριθμός επαναλήψεων για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

Μετά την σύγκλιση των επαναλήψεων για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης γίνεται η εκτίμηση της επιρροής των εκκεντροτήτων μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση του κάθε μονωτήρα.

Στις ακόλουθες σελίδες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις όπου γίνεται υπολογισμός των μετατοπίσεων των μονωτήρων και των σεισμικών φορτίων στις στάθμες του κτιρίου.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.1 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση

A) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	26768.9	KN	$a_g =$	0.208	g	$q =$	1.00
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_C =$	0.6	sec		
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec		

B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

- Ιδιότητες κάθε τύπου μονωτήρα

Τύπος Μονωτήρα	Τίτλος	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά	
		F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	C (KN*(s/m) ^α)	α
1	LRB1	39.760	874.40	0.0182	0	0	0	0
2	LRB2	39.760	719.70	0.0182	0	0	0	0

- Συντεταγμένες στο καθολικό σύστημα αξόνων και αξονική δύναμη που μεταφέρεται από κάθε μονωτήρα

Θέση i	X_i (m) *	Y_i (m) *	N_{sd} (KN)
1	0	0	609.64
2	6	0	967.87
3	12	0	967.87
4	18	0	609.64
5	0	6	968.06
6	6	6	1627.24
7	12	6	1627.24
8	18	6	968.06
9	0	12	949.54
10	6	12	1569.87
11	12	12	1569.87
12	18	12	949.54
13	0	18	949.54
14	6	18	1569.87
15	12	18	1569.87
16	18	18	949.54
17	0	24	968.06
18	6	24	1627.24

19	12	24	1627.24
20	18	24	968.06
21	0	30	609.64
22	6	30	967.87
23	12	30	967.87
24	18	30	609.64
Σύνολα			26768.88

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επανάληψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	28052.8	312.23	1.960	0.1771	0.6635
2	0.1008	27976.4	315.31	1.962	0.1765	0.6644
3	0.1011	27950.5	316.36	1.963	0.1763	0.6647
4	0.1012	27941.7	316.72	1.964	0.1762	0.6649
5	0.1012	27938.7	316.85	1.964	0.1762	0.6649

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.0%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{id,x}$ (m)	$d_{id,y}$ (m)
1	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	-15.000	1.167	0.100	0.118	0.010
2	2	0.101	1112.5	13.2	-3.000	-15.000	1.167	0.033	0.118	0.003
3	2	0.101	1112.5	13.2	3.000	-15.000	1.167	0.033	0.118	0.003
4	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	-15.000	1.167	0.100	0.118	0.010
5	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	-9.000	1.100	0.100	0.111	0.010
6	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	-9.000	1.100	0.033	0.111	0.003
7	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	-9.000	1.100	0.033	0.111	0.003
8	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	-9.000	1.100	0.100	0.111	0.010
9	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	-3.000	1.033	0.100	0.105	0.010
10	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	-3.000	1.033	0.033	0.105	0.003
11	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	-3.000	1.033	0.033	0.105	0.003
12	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	-3.000	1.033	0.100	0.105	0.010
13	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	3.000	1.033	0.100	0.105	0.010
14	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	3.000	1.033	0.033	0.105	0.003
15	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	3.000	1.033	0.033	0.105	0.003
16	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	3.000	1.033	0.100	0.105	0.010
17	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	9.000	1.100	0.100	0.111	0.010
18	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	9.000	1.100	0.033	0.111	0.003
19	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	9.000	1.100	0.033	0.111	0.003
20	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	9.000	1.100	0.100	0.111	0.010
21	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	15.000	1.167	0.100	0.118	0.010
22	2	0.101	1112.5	13.2	-3.000	15.000	1.167	0.033	0.118	0.003
23	2	0.101	1112.5	13.2	3.000	15.000	1.167	0.033	0.118	0.003
24	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	15.000	1.167	0.100	0.118	0.010
Σύνολα			27937.1	316.9						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	954.24	KN
$F_y=$	1291.13	KN
$K_p=$	18510.4	KN/m
$K_{eff}=$	27937.1	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	316.9	KNm
$T_{eff}=$	1.96	sec
$\xi_{eff}=$	0.176	
$\eta_{eff}=$	0.665	
$d_{cd}=$	0.101	m
$S_e/g=$	0.106	
$V_d=V_f=$	2828.0	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{cr}=$	9.000	m
$Y_{cr}=$	15.000	m
$X_{cm}=$	9.000	m
$Y_{cm}=$	15.000	m
$e_y=$	0.000	m
$e_{acc,y}=$	1.500	m
$e_{tot,y}=$	1.500	m
$r_y=$	12.073	m
$r=$	11.137	m

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y

-Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επαναλήψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	28052.8	312.23	1.960	0.1771	0.6635
2	0.1008	27976.4	315.31	1.962	0.1765	0.6644
3	0.1011	27950.5	316.36	1.963	0.1763	0.6647
4	0.1012	27941.7	316.72	1.964	0.1762	0.6649
5	0.1012	27938.7	316.85	1.964	0.1762	0.6649

Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών

0.0%

-Προσδιορισμός επιμέρους ιδιοτήτων μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρέψης

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m)	y_i (m)	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{id,y}$ (m)	$d_{id,x}$ (m)
1	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	-15.000	1.060	0.100	0.107	0.010
2	2	0.101	1112.5	13.2	-3.000	-15.000	1.020	0.100	0.103	0.010
3	2	0.101	1112.5	13.2	3.000	-15.000	1.020	0.100	0.103	0.010
4	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	-15.000	1.060	0.100	0.107	0.010
5	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	-9.000	1.060	0.060	0.107	0.006
6	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	-9.000	1.020	0.060	0.103	0.006
7	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	-9.000	1.020	0.060	0.103	0.006
8	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	-9.000	1.060	0.060	0.107	0.006
9	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	-3.000	1.060	0.020	0.107	0.002
10	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	-3.000	1.020	0.020	0.103	0.002
11	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	-3.000	1.020	0.020	0.103	0.002
12	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	-3.000	1.060	0.020	0.107	0.002
13	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	3.000	1.060	0.020	0.107	0.002
14	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	3.000	1.020	0.020	0.103	0.002
15	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	3.000	1.020	0.020	0.103	0.002
16	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	3.000	1.060	0.020	0.107	0.002
17	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	9.000	1.060	0.060	0.107	0.006
18	1	0.101	1267.2	13.2	-3.000	9.000	1.020	0.060	0.103	0.006

19	1	0.101	1267.2	13.2	3.000	9.000	1.020	0.060	0.103	0.006
20	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	9.000	1.060	0.060	0.107	0.006
21	2	0.101	1112.5	13.2	-9.000	15.000	1.060	0.100	0.107	0.010
22	2	0.101	1112.5	13.2	-3.000	15.000	1.020	0.100	0.103	0.010
23	2	0.101	1112.5	13.2	3.000	15.000	1.020	0.100	0.103	0.010
24	2	0.101	1112.5	13.2	9.000	15.000	1.060	0.100	0.107	0.010
Σύνολο			27937.1	316.9						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (c_r)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	954.24	KN
$F_y=$	1291.13	KN
$K_p=$	18510.4	KN/m
$K_{eff}=$	27937.1	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	316.9	KNm
$T_{eff}=$	1.96	sec
$\xi_{eff}=$	0.176	
$\eta_{eff}=$	0.665	
$d_{cd}=$	0.101	m
$S_e/g=$	0.106	
$V_d=V_f=$	2828.0	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r), κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{cr}=$	9.000	m
$Y_{cr}=$	15.000	m
$X_{cm}=$	9.000	m
$Y_{cm}=$	15.000	m
$e_x=$	0.000	m
$e_{acc,x}=$	0.900	m
$e_{tot,x}=$	0.900	m
$r_x=$	12.073	m
$r=$	11.137	m

Ε) ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Θέση i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
1	0.121	0.042	0.128	0.046	0.110	0.119	0.121	0.110	0.128
2	0.121	0.034	0.126	0.046	0.104	0.114	0.121	0.104	0.126
3	0.121	0.034	0.126	0.046	0.104	0.114	0.121	0.104	0.126
4	0.121	0.042	0.128	0.046	0.110	0.119	0.121	0.110	0.128
5	0.113	0.042	0.121	0.040	0.110	0.117	0.113	0.110	0.121
6	0.113	0.034	0.118	0.040	0.104	0.112	0.113	0.104	0.118
7	0.113	0.034	0.118	0.040	0.104	0.112	0.113	0.104	0.118
8	0.113	0.042	0.121	0.040	0.110	0.117	0.113	0.110	0.121
9	0.105	0.042	0.113	0.033	0.110	0.115	0.105	0.110	0.115
10	0.105	0.034	0.111	0.033	0.104	0.109	0.105	0.104	0.111
11	0.105	0.034	0.111	0.033	0.104	0.109	0.105	0.104	0.111
12	0.105	0.042	0.113	0.033	0.110	0.115	0.105	0.110	0.115
13	0.105	0.042	0.113	0.033	0.110	0.115	0.105	0.110	0.115
14	0.105	0.034	0.111	0.033	0.104	0.109	0.105	0.104	0.111
15	0.105	0.034	0.111	0.033	0.104	0.109	0.105	0.104	0.111
16	0.105	0.042	0.113	0.033	0.110	0.115	0.105	0.110	0.115
17	0.113	0.042	0.121	0.040	0.110	0.117	0.113	0.110	0.121
18	0.113	0.034	0.118	0.040	0.104	0.112	0.113	0.104	0.118
19	0.113	0.034	0.118	0.040	0.104	0.112	0.113	0.104	0.118
20	0.113	0.042	0.121	0.040	0.110	0.117	0.113	0.110	0.121
21	0.121	0.042	0.128	0.046	0.110	0.119	0.121	0.110	0.128
22	0.121	0.034	0.126	0.046	0.104	0.114	0.121	0.104	0.126

23	0.121	0.034	0.126	0.046	0.104	0.114	0.121	0.104	0.126
24	0.121	0.042	0.128	0.046	0.110	0.119	0.121	0.110	0.128
Μέγιστα	0.121	0.042	0.128	0.046	0.110	0.119	0.121	0.110	0.128

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Ζ) ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ - ΥΠΟΔΟΜΗΣ

- Έλεγχος ορίων τέμνουσας βάσης σχεδιασμού

$$V_d = \max(V_f, 1.5F_y, V_{d,wind})$$

όπου: V_f η τέμνουσα βάσης από την ανάλυση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

F_y η οριζόντια δύναμη για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος μόνωσης

$V_{d,wind}$ η τέμνουσα βάσης η οποία αντιστοιχεί στην δράση ανέμου σχεδιασμού του κτιρίου

	V_f (KN)	$1.5F_y$ (KN)	$V_{d,wind}$ (KN)	Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού V_d (KN)
Διεύθυνση Χ	2828.0	1936.7	720.0	2828.0
Διεύθυνση Υ	2828.0	1936.7	430.0	2828.0

- Υπολογισμός Τέμνουσας βάσης σχεδιασμού ανωδομής και υποδομής

	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού υποδομής V_d (KN)=	2828.0	2828.0
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού ανωδομής V_d/q (KN)=	2828.0	2828.0

- Καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων σχεδιασμού ανωδομής

Στάθμη i	Μάζα m_i (tn)	Ύψος h_i (m)	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
			F_i (KN)	ΣF_i (KN)*	F_i (KN)	ΣF_i (KN)*
4	380.94	12.0	868.7	868.7	868.7	868.7
3	572.82	9.0	979.7	1848.3	979.7	1848.3
2	572.82	6.0	653.1	2501.4	653.1	2501.4
1	572.82	3.0	326.6	2828.0	326.6	2828.0
Βάση	586.44	0.0	0.0	2828.0	0.0	2828.0
Σύνολα	2685.84		2828.0		2828.0	

* Αντιστοιχεί στην σεισμική τέμνουσα της στάθμης δηλαδή στο άθροισμα των σεισμικών φορτίων των σταθμών από πάνω προς τα κάτω

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.1 - Ανάλυση με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση

A) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	26768.9	KN	$a_g =$	0.208	g	$q =$	1.00
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_c =$	0.6	sec		
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec		

B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

- Ιδιότητες κάθε τύπου μονωτήρα

Τύπος Μονωτήρα	Τίτλος	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά	
		F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	C (KN*(s/m) ^α)	α
1	LRB1	58.440	1243.48	0.0182	0	0	0	0
2	LRB2	58.440	1023.58	0.0182	0	0	0	0

- Συντεταγμένες στο καθολικό σύστημα αξόνων και αξονική δύναμη που μεταφέρεται από κάθε μονωτήρα

Θέση i	X_i (m) *	Y_i (m) *	N_{Sd} (KN)
1	0	0	609.64
2	6	0	967.87
3	12	0	967.87
4	18	0	609.64
5	0	6	968.06
6	6	6	1627.24
7	12	6	1627.24
8	18	6	968.06
9	0	12	949.54
10	6	12	1569.87
11	12	12	1569.87
12	18	12	949.54
13	0	18	949.54
14	6	18	1569.87
15	12	18	1569.87
16	18	18	949.54
17	0	24	968.06
18	6	24	1627.24

19	12	24	1627.24
20	18	24	968.06
21	0	30	609.64
22	6	30	967.87
23	12	30	967.87
24	18	30	609.64
Σύνολο			26768.88

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	40350.7	458.92	1.634	0.1810	0.6579
2	0.0833	43153.4	365.48	1.580	0.1940	0.6401
3	0.0784	44212.3	337.80	1.561	0.1978	0.6353
4	0.0769	44568.3	329.22	1.555	0.1989	0.6339
5	0.0764	44683.0	326.52	1.553	0.1992	0.6334

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.6%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{id,x}$ (m)	$d_{id,y}$ (m)
1	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	-15.000	1.167	0.100	0.089	0.008
2	2	0.076	1790.7	13.6	-3.000	-15.000	1.167	0.033	0.089	0.003
3	2	0.076	1790.7	13.6	3.000	-15.000	1.167	0.033	0.089	0.003
4	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	-15.000	1.167	0.100	0.089	0.008
5	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	-9.000	1.100	0.100	0.084	0.008
6	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	-9.000	1.100	0.033	0.084	0.003
7	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	-9.000	1.100	0.033	0.084	0.003
8	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	-9.000	1.100	0.100	0.084	0.008
9	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	-3.000	1.033	0.100	0.079	0.008
10	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	-3.000	1.033	0.033	0.079	0.003
11	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	-3.000	1.033	0.033	0.079	0.003
12	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	-3.000	1.033	0.100	0.079	0.008
13	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	3.000	1.033	0.100	0.079	0.008
14	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	3.000	1.033	0.033	0.079	0.003
15	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	3.000	1.033	0.033	0.079	0.003
16	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	3.000	1.033	0.100	0.079	0.008
17	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	9.000	1.100	0.100	0.084	0.008
18	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	9.000	1.100	0.033	0.084	0.003
19	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	9.000	1.100	0.033	0.084	0.003
20	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	9.000	1.100	0.100	0.084	0.008
21	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	15.000	1.167	0.100	0.089	0.008
22	2	0.076	1790.7	13.6	-3.000	15.000	1.167	0.033	0.089	0.003
23	2	0.076	1790.7	13.6	3.000	15.000	1.167	0.033	0.089	0.003
24	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	15.000	1.167	0.100	0.089	0.008
Σύνολο			44736.2	325.3						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	1402.56	KN
$F_y=$	1881.68	KN
$K_p=$	26325.12	KN/m
$K_{eff}=$	44736.2	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	325.3	KNm
$T_{eff}=$	1.55	sec
$\xi_{eff}=$	0.199	
$\eta_{eff}=$	0.633	
$d_{cd}=$	0.076	m
$S_e/g=$	0.127	
$V_d=V_f=$	3408.0	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r), κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{c_r}=$	9.000	m
$Y_{c_r}=$	15.000	m
$X_{c_m}=$	9.000	m
$Y_{c_m}=$	15.000	m
$e_y=$	0.000	m
$e_{acc,y}=$	1.500	m
$e_{tot,y}=$	1.500	m
$r_y=$	12.092	m
$r=$	11.137	m

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ

-Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανάληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	40350.7	458.92	1.634	0.1810	0.6579
2	0.0833	43153.4	365.48	1.580	0.1940	0.6401
3	0.0784	44212.3	337.80	1.561	0.1978	0.6353
4	0.0769	44568.3	329.22	1.555	0.1989	0.6339
5	0.0764	44683.0	326.52	1.553	0.1992	0.6334

Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών

0.6%

-Προσδιορισμός επιμέρους ιδιοτήτων μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρέψης

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m)	y_i (m)	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{id,y}$ (m)	$d_{id,x}$ (m)
1	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	-15.000	1.060	0.100	0.081	0.008
2	2	0.076	1790.7	13.6	-3.000	-15.000	1.020	0.100	0.078	0.008
3	2	0.076	1790.7	13.6	3.000	-15.000	1.020	0.100	0.078	0.008
4	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	-15.000	1.060	0.100	0.081	0.008
5	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	-9.000	1.060	0.060	0.081	0.005
6	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	-9.000	1.020	0.060	0.078	0.005
7	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	-9.000	1.020	0.060	0.078	0.005
8	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	-9.000	1.060	0.060	0.081	0.005
9	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	-3.000	1.060	0.020	0.081	0.002
10	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	-3.000	1.020	0.020	0.078	0.002
11	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	-3.000	1.020	0.020	0.078	0.002
12	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	-3.000	1.060	0.020	0.081	0.002
13	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	3.000	1.060	0.020	0.081	0.002
14	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	3.000	1.020	0.020	0.078	0.002
15	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	3.000	1.020	0.020	0.078	0.002
16	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	3.000	1.060	0.020	0.081	0.002
17	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	9.000	1.060	0.060	0.081	0.005
18	1	0.076	2010.6	13.6	-3.000	9.000	1.020	0.060	0.078	0.005

19	1	0.076	2010.6	13.6	3.000	9.000	1.020	0.060	0.078	0.005
20	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	9.000	1.060	0.060	0.081	0.005
21	2	0.076	1790.7	13.6	-9.000	15.000	1.060	0.100	0.081	0.008
22	2	0.076	1790.7	13.6	-3.000	15.000	1.020	0.100	0.078	0.008
23	2	0.076	1790.7	13.6	3.000	15.000	1.020	0.100	0.078	0.008
24	2	0.076	1790.7	13.6	9.000	15.000	1.060	0.100	0.081	0.008
Σύνολο			44736.2	325.3						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (c_r)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	1402.56	KN
$F_y=$	1881.68	KN
$K_p=$	26325.12	KN/m
$K_{eff}=$	44736.2	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	325.3	KNm
$T_{eff}=$	1.55	sec
$\xi_{eff}=$	0.199	
$\eta_{eff}=$	0.633	
$d_{cd}=$	0.076	m
$S_a/g=$	0.127	
$V_d=V_f=$	3408.0	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r),
κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων
μεταξύ τους

$X_{cr}=$	9.000	m
$Y_{cr}=$	15.000	m
$X_{cm}=$	9.000	m
$Y_{cm}=$	15.000	m
$e_x=$	0.000	m
$e_{acc,x}=$	0.900	m
$e_{tot,x}=$	0.900	m
$r_x=$	12.092	m
$r=$	11.137	m

Ε) ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Θέση i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
1	0.091	0.032	0.097	0.034	0.083	0.090	0.091	0.083	0.097
2	0.091	0.026	0.095	0.034	0.078	0.086	0.091	0.078	0.095
3	0.091	0.026	0.095	0.034	0.078	0.086	0.091	0.078	0.095
4	0.091	0.032	0.097	0.034	0.083	0.090	0.091	0.083	0.097
5	0.085	0.032	0.091	0.030	0.083	0.088	0.085	0.083	0.091
6	0.085	0.026	0.089	0.030	0.078	0.084	0.085	0.078	0.089
7	0.085	0.026	0.089	0.030	0.078	0.084	0.085	0.078	0.089
8	0.085	0.032	0.091	0.030	0.083	0.088	0.085	0.083	0.091
9	0.079	0.032	0.085	0.025	0.083	0.087	0.079	0.083	0.087
10	0.079	0.026	0.083	0.025	0.078	0.082	0.079	0.078	0.083
11	0.079	0.026	0.083	0.025	0.078	0.082	0.079	0.078	0.083
12	0.079	0.032	0.085	0.025	0.083	0.087	0.079	0.083	0.087
13	0.079	0.032	0.085	0.025	0.083	0.087	0.079	0.083	0.087
14	0.079	0.026	0.083	0.025	0.078	0.082	0.079	0.078	0.083
15	0.079	0.026	0.083	0.025	0.078	0.082	0.079	0.078	0.083
16	0.079	0.032	0.085	0.025	0.083	0.087	0.079	0.083	0.087
17	0.085	0.032	0.091	0.030	0.083	0.088	0.085	0.083	0.091
18	0.085	0.026	0.089	0.030	0.078	0.084	0.085	0.078	0.089
19	0.085	0.026	0.089	0.030	0.078	0.084	0.085	0.078	0.089
20	0.085	0.032	0.091	0.030	0.083	0.088	0.085	0.083	0.091
21	0.091	0.032	0.097	0.034	0.083	0.090	0.091	0.083	0.097
22	0.091	0.026	0.095	0.034	0.078	0.086	0.091	0.078	0.095

23	0.091	0.026	0.095	0.034	0.078	0.086	0.091	0.078	0.095
24	0.091	0.032	0.097	0.034	0.083	0.090	0.091	0.083	0.097
Μέγιστα	0.091	0.032	0.097	0.034	0.083	0.090	0.091	0.083	0.097

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Z) ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ - ΥΠΟΔΟΜΗΣ

- Έλεγχος ορίων τέμνουσας βάσης σχεδιασμού

$$V_d = \max(V_f, 1.5F_y, V_{d,wind})$$

όπου: V_f η τέμνουσα βάσης από την ανάλυση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

F_y η οριζόντια δύναμη για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος μόνωσης

$V_{d,wind}$ η τέμνουσα βάσης η οποία αντιστοιχεί στην δράση ανέμου σχεδιασμού του κτιρίου

	V_f (KN)	$1.5F_y$ (KN)	$V_{d,wind}$ (KN)	Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού V_d (KN)
Διεύθυνση Χ	3408.0	2822.5	720.0	3408.0
Διεύθυνση Υ	3408.0	2822.5	430.0	3408.0

- Υπολογισμός Τέμνουσας βάσης σχεδιασμού ανωδομής και υποδομής

	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού υποδομής V_d (KN)=	3408.0	3408.0
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού ανωδομής V_d/q (KN)=	3408.0	3408.0

- Καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων σχεδιασμού ανωδομής

Στάθμη i	Μάζα m_i (tn)	Ύψος h_i (m)	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
			F_i (KN)	ΣF_i (KN)*	F_i (KN)	ΣF_i (KN)*
4	380.94	12.0	1046.8	1046.8	1046.8	1046.8
3	572.82	9.0	1180.6	2227.4	1180.6	2227.4
2	572.82	6.0	787.1	3014.5	787.1	3014.5
1	572.82	3.0	393.5	3408.0	393.5	3408.0
Βάση	586.44	0.0	0.0	3408.0	0.0	3408.0
Σύνολο	2685.84		3408.0		3408.0	

* Αντιστοιχεί στην σεισμική τέμνουσα της στάθμης δηλαδή στο άθροισμα των σεισμικών φορτίων των σταθμών από πάνω προς τα κάτω

Η εκτίμηση της επίδρασης της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού και των ροπών ανατροπής των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού στις αξονικές δυνάμεις των εφεδράνων γίνεται με βάση κατάλληλου χωρικού προσομοιώματος της ανωδομής και των σεισμικών μονωτήρων (βλέπε Σχήμα 2.4).

Συγκεκριμένα η επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού στις αξονικές δυνάμεις των εφεδράνων εκτιμάται μέσω φασματικής. Για το συγκεκριμένο κτίριο η ιδιομορφή στην οποία δεσπόζουν οι κατακόρυφες μετακινήσεις έχει ιδιοπερίοδο $T_v=0.108\text{sec}$. Η προηγούμενη τιμή λαμβάνει υπόψη την ευκαμψία των εφεδράνων στην κατακόρυφη διεύθυνση K_v η οποία υπολογίζεται από την σχέση $K_v=E_c'A_b/\Sigma t_i$, με $E_c'=(1/(5G_bS^2)+1/E_b)^{-1}$ όπου A_b η επιφάνεια του εφεδράνου, Σt_i το συνολικό πάχος των στρώσεων ελαστικού, G_b το μέτρο διάτμησης του εφεδράνου, S ο συντελεστής σχήματος του εφεδράνου ίσος με $S=D/(4t_i)$ για κυκλικά εφέδρανα διαμέτρου D και πάχους στρώσεων ελαστικού t_i , και $E_b=2000\text{MPa}$ η τιμή του μέτρου διόγκωσης του ελαστομερούς.

Η επίδραση των ροπών ανατροπής των οριζοντίων συνιστωσών του σεισμού στις αξονικές δυνάμεις των εφεδράνων εκτιμάται με βάση τα αποτελέσματα στατικής ανάλυσης του παραπάνω προσομοιώματος της ανωδομής και των μονωτήρων για τα σεισμικά φορτία στις στάθμες της ανωδομής όπως αυτά προκύπτουν από την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για τις ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ. Η χωρική επαλληλία των συνιστωσών του σεισμού γίνεται με βάση την παράγραφο 3.4.4[4] του ΕΑΚ 2000.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης για το αξονικό φορτίο N_{sd} και το μέγεθος του διανύσματος της στροφής a_{Ed} των εφεδράνων παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.4 και 2.5 για τις ΚΤΠΣ και τις ΑΤΠΣ αντίστοιχα.

Μονω- τήρας I	G+G'+0.3Q		Σεισμός X		Σεισμός Y		Σεισμός Z		Χωρικός Συνδυασμός Συνιστωσών		
	N (kN)	α (rad)	N (kN)	α (rad)	N (kN)	α (rad)	N (kN)	α (rad)	$N_{sd,min}$ (kN)	$N_{sd,max}$ (kN)	a_{Ed}
1	609.5	0.00177	177.8	0.00111	173.6	0.00102	300.0	0.00093	204.1	1014.9	0.00346
2	967.8	0.00144	17.9	0.00090	289.1	0.00041	587.0	0.00090	288.7	1647.0	0.00274
3	967.8	0.00144	17.9	0.00090	289.1	0.00041	587.1	0.00090	288.6	1647.1	0.00274
4	609.5	0.00177	177.8	0.00111	173.6	0.00102	299.9	0.00079	204.2	1014.9	0.00342
5	968.0	0.00144	313.1	0.00043	26.9	0.00082	640.8	0.00094	225.3	1710.8	0.00276
6	1627.4	0.00012	10.2	0.00053	15.6	0.00050	1145.3	0.00020	474.4	2780.5	0.00086
7	1627.4	0.00012	10.2	0.00053	15.6	0.00050	1145.3	0.00012	474.4	2780.5	0.00084
8	968.0	0.00144	313.1	0.00043	26.9	0.00082	640.7	0.00086	225.4	1710.7	0.00268
9	949.5	0.00142	295.8	0.00040	7.4	0.00083	630.7	0.00092	227.8	1671.1	0.00271
10	1570.0	0.00009	9.6	0.00050	5.5	0.00048	840.7	0.00017	724.7	2415.2	0.00079
11	1570.0	0.00009	9.6	0.00050	5.5	0.00048	840.8	0.00011	724.6	2415.3	0.00077
12	949.5	0.00142	295.8	0.00040	7.4	0.00083	630.6	0.00059	227.9	1671.0	0.00255
13	949.5	0.00142	295.8	0.00040	7.4	0.00083	630.7	0.00092	227.8	1671.1	0.00271
14	1570.0	0.00009	9.6	0.00050	5.5	0.00048	840.7	0.00017	724.7	2415.2	0.00079
15	1570.0	0.00009	9.6	0.00050	5.5	0.00048	840.7	0.00011	724.7	2415.2	0.00077
16	949.5	0.00142	295.8	0.00040	7.4	0.00083	630.6	0.00059	227.9	1671.0	0.00255
17	968.0	0.00144	313.1	0.00043	26.9	0.00082	640.6	0.00094	225.4	1710.7	0.00276
18	1627.4	0.00012	10.2	0.00053	15.6	0.00050	1145.3	0.00020	474.3	2780.5	0.00086
19	1627.4	0.00012	10.2	0.00053	15.6	0.00050	1145.3	0.00012	474.4	2780.4	0.00084
20	968.0	0.00144	313.1	0.00043	26.9	0.00082	640.6	0.00086	225.4	1710.7	0.00268
21	609.5	0.00177	177.8	0.00111	173.6	0.00102	300.0	0.00093	204.2	1014.9	0.00346
22	967.8	0.00144	17.9	0.00090	289.1	0.00041	587.1	0.00090	288.6	1647.0	0.00274
23	967.8	0.00144	17.9	0.00090	289.1	0.00041	587.1	0.00090	288.6	1647.0	0.00274
24	609.5	0.00177	177.8	0.00111	173.6	0.00102	299.9	0.00079	204.2	1014.9	0.00342

Σημειώσεις:

- (1) Οι θετικές τιμές των αξονικών φορτίων των μονωτήρων αντιστοιχούν σε θλιπτικά φορτία
 (2) Η στροφή a_{Ed} αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της στροφής του μονωτήρα

Πίνακας 2.4. Αξονικά φορτία N_{sd} και στροφές a_{Ed} εφεδράνων σύμφωνα με την Μέθοδο Ισοδύναμου μονοβάθμιου Συστήματος για τις ΚΤΠΣ.

Μονω- τήρας I	G+G'+0.3Q		Σεισμός Χ		Σεισμός Υ		Σεισμός Ζ		Χωρικός Συνδυασμός Συνιστωσών		
	N (KN)	α (rad)	N (KN)	α (rad)	N (KN)	α (rad)	N (KN)	α (rad)	$N_{sd, min}$ (KN)	$N_{sd, max}$ (KN)	a_{Ed}
1	609.5	0.00177	214.2	0.00135	209.2	0.00124	300.0	0.00093	182.5	1036.6	0.00376
2	967.8	0.00144	21.6	0.00108	348.4	0.00049	587.0	0.00090	269.8	1665.9	0.00294
3	967.8	0.00144	21.6	0.00108	348.4	0.00049	587.1	0.00090	269.7	1666.0	0.00294
4	609.5	0.00177	214.2	0.00135	209.2	0.00124	299.9	0.00079	182.6	1036.5	0.00372
5	968.0	0.00144	377.3	0.00052	32.4	0.00099	640.8	0.00094	204.4	1731.7	0.00287
6	1627.4	0.00012	12.3	0.00064	18.8	0.00060	1145.3	0.00020	472.8	2782.0	0.00100
7	1627.4	0.00012	12.3	0.00064	18.8	0.00060	1145.3	0.00012	472.8	2782.1	0.00098
8	968.0	0.00144	377.3	0.00052	32.4	0.00099	640.7	0.00086	204.5	1731.6	0.00285
9	949.5	0.00142	356.5	0.00048	8.9	0.00101	630.7	0.00092	209.1	1689.8	0.00285
10	1570.0	0.00009	11.6	0.00060	6.7	0.00058	840.7	0.00017	723.8	2416.1	0.00092
11	1570.0	0.00009	11.6	0.00060	6.7	0.00058	840.8	0.00011	723.7	2416.2	0.00090
12	949.5	0.00142	356.5	0.00048	8.9	0.00101	630.6	0.00059	209.2	1689.7	0.00275
13	949.5	0.00142	356.5	0.00048	8.9	0.00101	630.7	0.00092	209.2	1689.7	0.00285
14	1570.0	0.00009	11.6	0.00060	6.7	0.00058	840.7	0.00017	723.8	2416.1	0.00092
15	1570.0	0.00009	11.6	0.00060	6.7	0.00058	840.7	0.00011	723.8	2416.1	0.00090
16	949.5	0.00142	356.5	0.00048	8.9	0.00101	630.6	0.00059	209.2	1689.7	0.00275
17	968.0	0.00144	377.3	0.00052	32.4	0.00099	640.6	0.00094	204.5	1731.6	0.00287
18	1627.4	0.00012	12.3	0.00064	18.8	0.00060	1145.3	0.00020	472.7	2782.1	0.00100
19	1627.4	0.00012	12.3	0.00064	18.8	0.00060	1145.3	0.00012	472.8	2782.0	0.00098
20	968.0	0.00144	377.3	0.00052	32.4	0.00099	640.6	0.00086	204.5	1731.6	0.00285
21	609.5	0.00177	214.2	0.00135	209.2	0.00124	300.0	0.00093	182.6	1036.5	0.00376
22	967.8	0.00144	21.6	0.00108	348.4	0.00049	587.1	0.00090	269.8	1665.9	0.00294
23	967.8	0.00144	21.6	0.00108	348.4	0.00049	587.1	0.00090	269.8	1665.9	0.00294
24	609.5	0.00177	214.2	0.00135	209.2	0.00124	299.9	0.00079	182.6	1036.5	0.00372

Σημειώσεις:

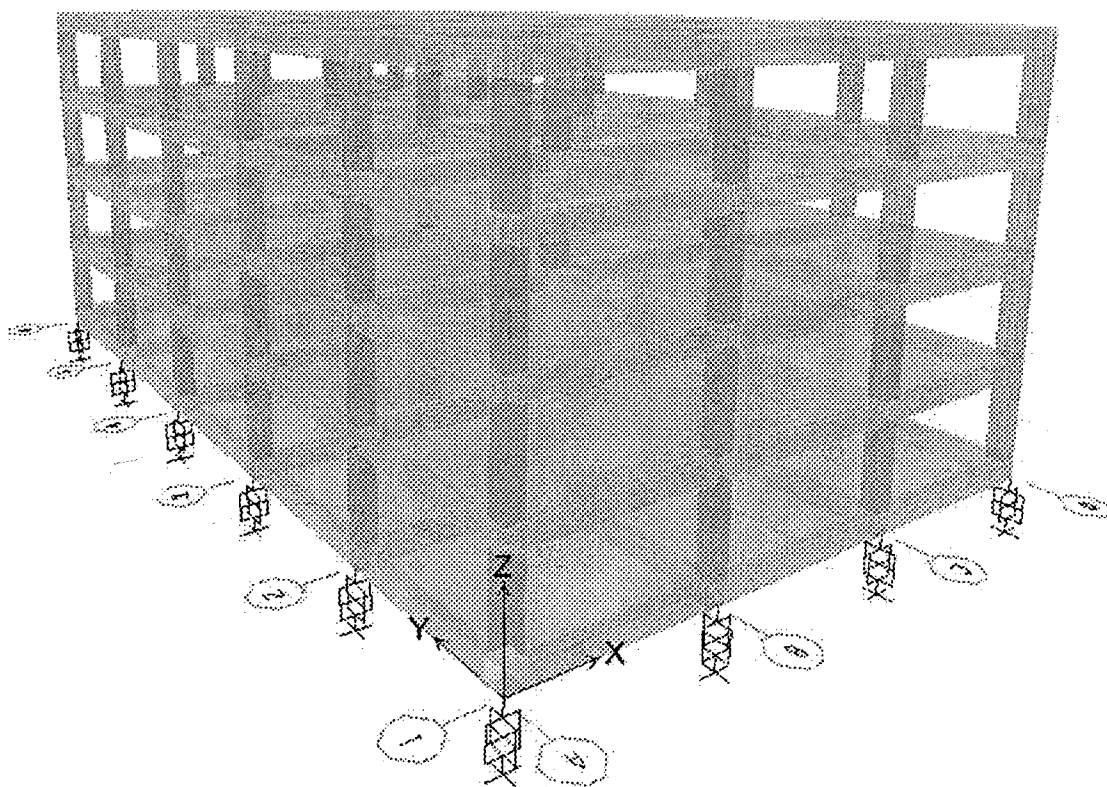
- (1) Οι θετικές τιμές των αξονικών φορτίων των μονωτήρων αντιστοιχούν σε θλιπτικά φορτία
- (2) Η στροφή a_{Ed} αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της στροφής του μονωτήρα

Πίνακας 2.5. Αξονικά φορτία N_{sd} και στροφές a_{Ed} εφεδράνων σύμφωνα με την Μέθοδο Ισοδύναμου μονοβάθμιου Συστήματος για τις ΑΤΠΣ.

2.5 Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Για την μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκαν 7 τριάδες τροποποιημένων φυσικών επιταχυνσιογραφημάτων. Τα χρησιμοποιούμενα επιταχυνσιογραφήματα καθώς και ο έλεγχος συμβατότητας τους με το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α του παρόντος τεύχους.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιείται με απ'ευθείας εν χρόνω ολοκλήρωση της μη-γραμμικής εξίσωσης κίνησης. Λαμβάνεται υπόψη η μη-γραμμική συμπεριφορά των σεισμικών μονωτήρων μέσω κατάλληλου διγραμμικού υστερητικού μοντέλου (μοντέλο Bouc-Wen) με ομαλή μετάβαση από τον ελαστικό στον μετελαστικό κλάδο. Το υστερητικό μοντέλο προσομοίωσης των μονωτήρων λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο οριζόντιων διευθύνσεων. Η υποδομή θεωρείται απαραμόρφωτη και δεν λαμβάνεται υπόψη στην προσομοίωση. Η ανωδομή θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ελαστικά και προσομοιώνεται μέσω γραμμικών ελαστικών ραβδωτών στοιχείων λαμβάνοντας υπόψη την αρηγμάτωση δυσκαμψία των αντίστοιχων μελών της κατασκευής (δυσκαμψία σταδίου Ι).



Σχήμα 2.4. Προσομοίωμα κατασκευής για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SAP200NL μέσω κατάλληλου προσομοιώματος της ανωδομής και του συστήματος σεισμικής μόνωσης (Σχήμα 2.4). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μη-γραμμικής ιδιομορφικής ανάλυσης (Fast Non-Linear Analysis ή FNA) κατά την οποία το γραμμικό μέρος της κατασκευής (ανωδομή) προσομοιώνεται μέσω ικανού αριθμού ιδιομορφών ενώ λαμβάνεται υπόψη ο μη-γραμμικός νόμος του μη-γραμμικού μέρους της κατασκευής (μονωτήρες). Περισσότερα στοιχεία για αυτή τη μέθοδο ανάλυσης δίνονται στην Παράγραφο 1.3 του παρόντος τεύχους.

Για το κάθε εξεταζόμενο μέγεθος (εντατικό μέγεθος ή μετακινησιακό μέγεθος) η τιμή σχεδιασμού προκύπτει ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων μεγίστων μεγεθών των 7 σεισμών.

Πραγματοποιούνται δύο ομάδες αναλύσεων, η πρώτη ομάδα γίνεται με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση κάτω ορίου) ενώ η δεύτερη ομάδα γίνεται με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση άνω ορίου). Κάθε ομάδα αναλύσεων αποτελείται από 4 αναλύσεις, η κάθε μία εκ των οποίων εξετάζει μια περίπτωση της τυχηματικής εκκεντρότητας των μαζών των σταθμών της κατασκευής όπως ορίζεται στην παράγραφο 3.3.1 του ΕΑΚ 2000 (εκκεντρότητα κατά +x, -x, +y, -y αντίστοιχα). Λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη θέση της τυχηματικής εκκεντρότητας για το κάθε εξεταζόμενο μέγεθος.

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.6(4) του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» εφαρμόζονται για τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας τα κάτω όρια που προκύπτουν από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Συγκεκριμένα εξετάζονται οι λόγοι της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} και της τέμνουσας βάσης V_d όπως προκύπτουν από την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη d_{cf} και V_f όπως προκύπτουν από την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.

A) Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση X:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.104\text{m} / 0.101\text{m} = 1.03 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 2866\text{KN} / 2828\text{KN} = 1.01 \geq 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Y:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.100\text{m} / 0.101\text{m} = 0.99 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 2791\text{KN} / 2828\text{KN} = 0.99 \geq 0.80\end{aligned}$$

B) Ανάλυση για τις ΑΤΠΣ

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση X:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.078\text{m} / 0.076\text{m} = 1.03 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 3411\text{KN} / 3408\text{KN} = 1.00 \geq 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Y:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.079\text{m} / 0.076\text{m} = 1.03 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 3423\text{KN} / 3408\text{KN} = 1.00 \geq 0.80\end{aligned}$$

Κατά συνέπεια δεν απαιτείται επαύξηση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής. Επιπλέον παρατηρείται πολύ μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος και της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας, η οποία είναι της τάξης του 3% για τις μετακινήσεις

σχεδιασμού και 1% για τις τέμνουσες σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρονοϊστορίας για τα μετακινησιακά και τα εντατικά μεγέθη των σεισμικών μονωτήρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6 για την ανάλυση με τις ΚΤΠΣ και στον Πίνακα 2.7 για την ανάλυση με τις ΑΤΠΣ. Επιπλέον στον Πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι τέμνουσες βάσης και οι τέμνουσες ορόφων για την ανάλυση με τις ΚΤΠΣ και την ανάλυση με τις ΑΤΠΣ. Στα Σχήματα 2.5 έως 2.8 παρουσιάζονται ενδεικτικές χρονοϊστορίες για δύο μονωτήρες του κτιρίου. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται διαγράμματα Δύναμης-Μετακίνησης των μονωτήρων στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, από τα οποία είναι φανερό η αλληλεπίδραση των δύο διευθύνσεων, καθώς και χρονοϊστορίες μετακίνησης των μονωτήρων.

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΚΤΠΣ)								
(μέσος όρος 7 σεισμών, δυσμενέστερη θέση τυχηματικής εκκεντρότητας)								
Μονω- τήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ d_{ed} $ (rad)	$N_{ed,min}$ (KN)	$N_{ed,max}$ (KN)	$ V_{ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
1	0.117	0.106	0.128	0.003265	152.5	1066.8	126.4	0.004
2	0.117	0.101	0.129	0.002699	267.6	1668.1	128.1	0.003
3	0.117	0.101	0.132	0.002712	259.2	1676.6	129.7	0.003
4	0.117	0.106	0.134	0.003345	175.5	1043.7	130.9	0.004
5	0.109	0.106	0.126	0.002740	116.4	1819.7	122.6	0.003
6	0.109	0.101	0.125	0.000721	324.6	2929.9	142.3	0.002
7	0.109	0.101	0.127	0.000724	318.4	2936.1	143.9	0.002
8	0.109	0.106	0.130	0.002775	142.3	1793.8	126.6	0.003
9	0.104	0.106	0.125	0.002679	115.1	1784.0	122.0	0.002
10	0.105	0.101	0.124	0.000675	564.2	2575.6	139.6	0.001
11	0.105	0.101	0.123	0.000677	556.5	2583.3	139.0	0.001
12	0.105	0.106	0.126	0.002712	137.2	1761.8	122.6	0.002
13	0.104	0.106	0.126	0.002675	118.2	1780.9	122.7	0.002
14	0.104	0.101	0.123	0.000677	564.8	2574.9	139.0	0.001
15	0.104	0.101	0.124	0.000676	557.4	2582.3	139.7	0.001
16	0.105	0.106	0.125	0.002708	140.2	1758.8	122.0	0.002
17	0.109	0.106	0.130	0.002740	128.3	1807.8	126.6	0.003
18	0.109	0.101	0.127	0.000730	333.0	2921.4	143.9	0.002
19	0.109	0.101	0.125	0.000723	326.9	2927.6	142.3	0.002
20	0.109	0.106	0.126	0.002775	145.0	1791.2	122.6	0.003
21	0.116	0.105	0.134	0.003312	153.2	1066.0	130.8	0.004
22	0.117	0.101	0.132	0.002666	220.5	1715.2	129.6	0.003
23	0.117	0.101	0.129	0.002643	216.6	1719.1	127.9	0.003
24	0.117	0.106	0.128	0.003236	141.9	1077.4	126.5	0.004

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

Πίνακας 2.6. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (ανάλυση για τις ΚΤΠΣ).

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΑΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών, δυσμενέστερη θέση τυχαματικής εκκεντρότητας)								
Μονω- τήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ a_{Ed} $ (rad)	$N_{Ed,min}$ (KN)	$N_{Ed,max}$ (KN)	$ V_{Ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
1	0.092	0.080	0.101	0.003447	125.9	1093.3	155.0	0.004
2	0.092	0.079	0.102	0.002845	223.7	1712.0	155.3	0.003
3	0.092	0.079	0.104	0.002868	211.9	1723.8	156.6	0.003
4	0.092	0.080	0.105	0.003560	154.7	1064.6	157.9	0.004
5	0.085	0.080	0.096	0.002855	114.6	1821.5	151.0	0.003
6	0.085	0.079	0.097	0.000806	326.1	2928.4	171.3	0.002
7	0.085	0.079	0.099	0.000828	319.9	2934.6	172.2	0.002
8	0.085	0.080	0.100	0.002871	132.4	1803.7	153.2	0.003
9	0.078	0.080	0.095	0.002774	118.5	1780.6	148.6	0.002
10	0.078	0.079	0.094	0.000764	563.9	2575.8	167.2	0.001
11	0.078	0.079	0.094	0.000767	556.6	2583.1	167.1	0.001
12	0.078	0.080	0.095	0.002809	133.2	1765.9	148.5	0.002
13	0.078	0.080	0.095	0.002771	124.2	1774.9	148.5	0.002
14	0.078	0.079	0.094	0.000769	563.8	2576.0	167.2	0.001
15	0.078	0.079	0.094	0.000762	557.4	2582.4	167.1	0.001
16	0.078	0.080	0.094	0.002808	136.8	1762.3	148.5	0.002
17	0.085	0.080	0.100	0.002851	132.0	1804.1	153.1	0.003
18	0.085	0.079	0.099	0.000832	334.8	2919.7	172.5	0.002
19	0.085	0.079	0.097	0.000805	328.7	2925.8	171.4	0.002
20	0.085	0.080	0.096	0.002898	133.3	1802.9	151.1	0.003
21	0.092	0.080	0.105	0.003538	144.2	1075.1	157.7	0.004
22	0.092	0.079	0.104	0.002850	180.4	1755.3	156.6	0.003
23	0.092	0.079	0.102	0.002831	178.4	1757.3	155.1	0.003
24	0.092	0.080	0.101	0.003420	120.3	1099.0	155.2	0.004

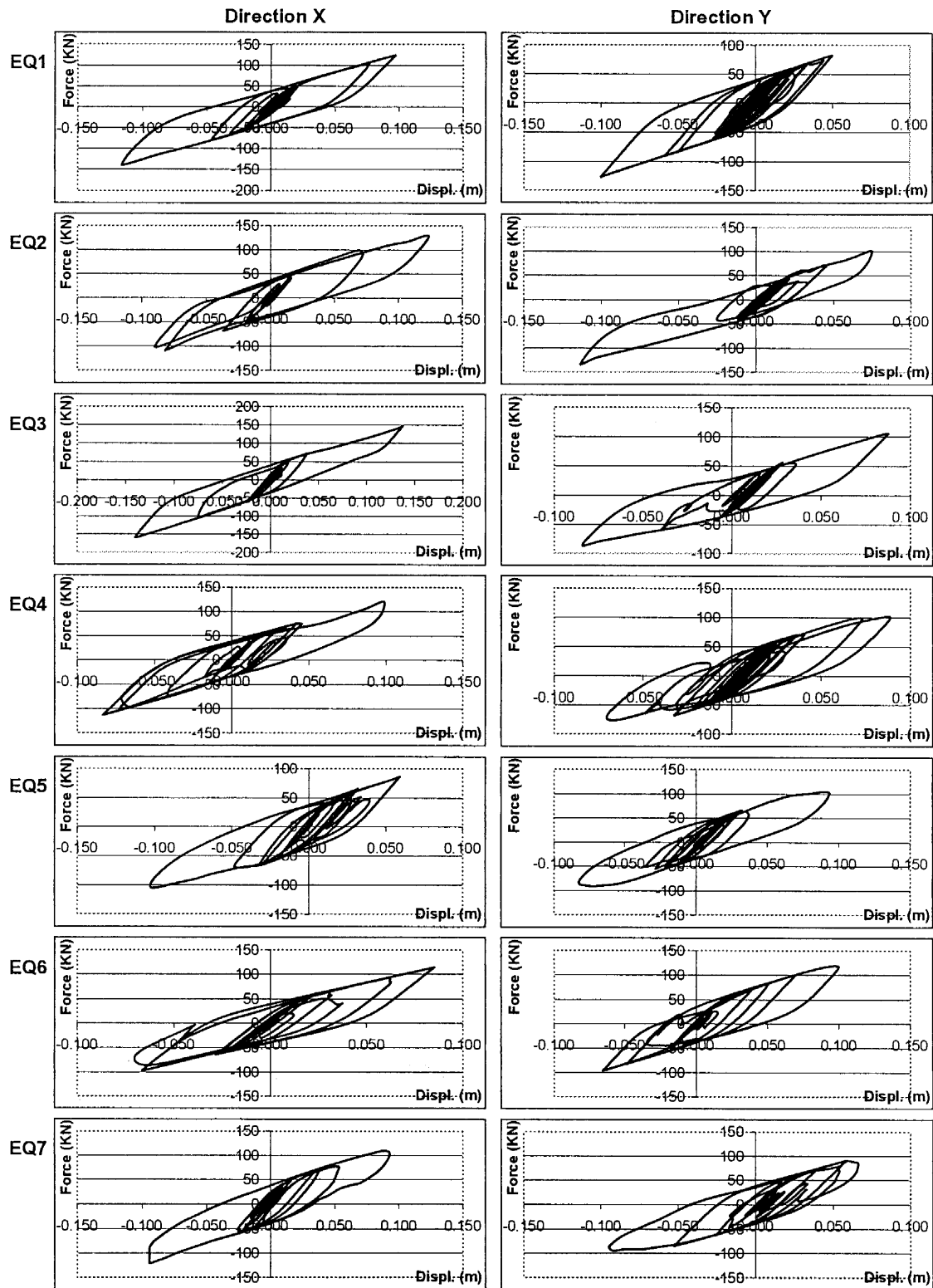
* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

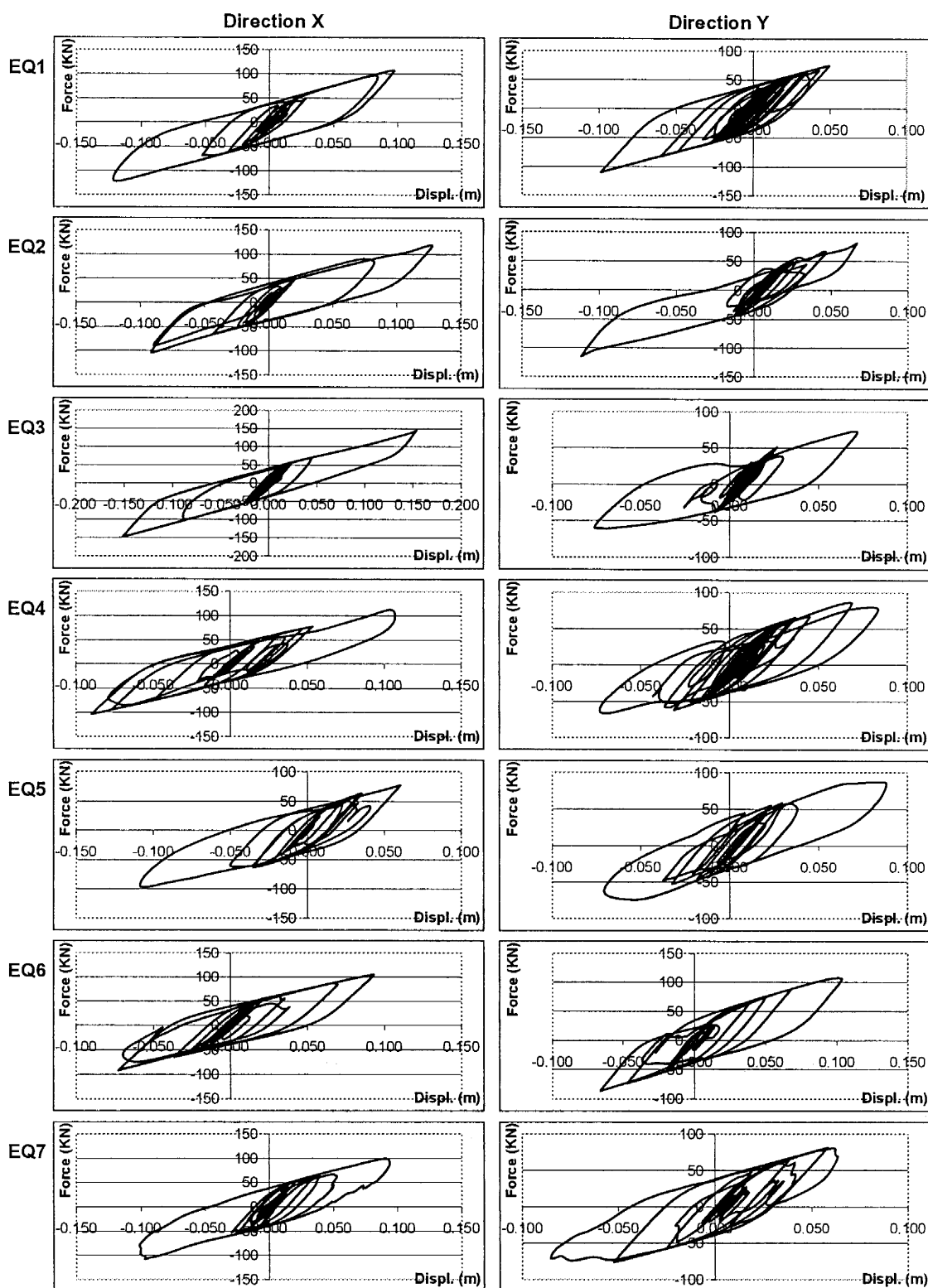
Πίνακας 2.7. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (ανάλυση για τις ΑΤΠΣ).

Στάθμη i	Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ				Ανάλυση για τις ΑΤΠΣ			
	Μετακινήσεις κέντρου μάζας σταθμών		Τέμνουσες σταθμών		Μετακινήσεις κέντρου μάζας σταθμών		Τέμνουσες σταθμών	
	d_x (m)	d_y (m)	V_x (KN)	V_y (KN)	d_x (m)	d_y (m)	V_x (KN)	V_y (KN)
Στάθμη 4	0.112	0.108	502	485	0.087	0.087	656	662
Στάθμη 3	0.111	0.107	1111	1078	0.086	0.086	1481	1452
Στάθμη 2	0.110	0.106	1645	1619	0.084	0.084	2166	2092
Στάθμη 1	0.107	0.103	2161	2113	0.081	0.081	2730	2643
Βάση	0.104	0.100	2866	2791	0.078	0.078	3411	3423

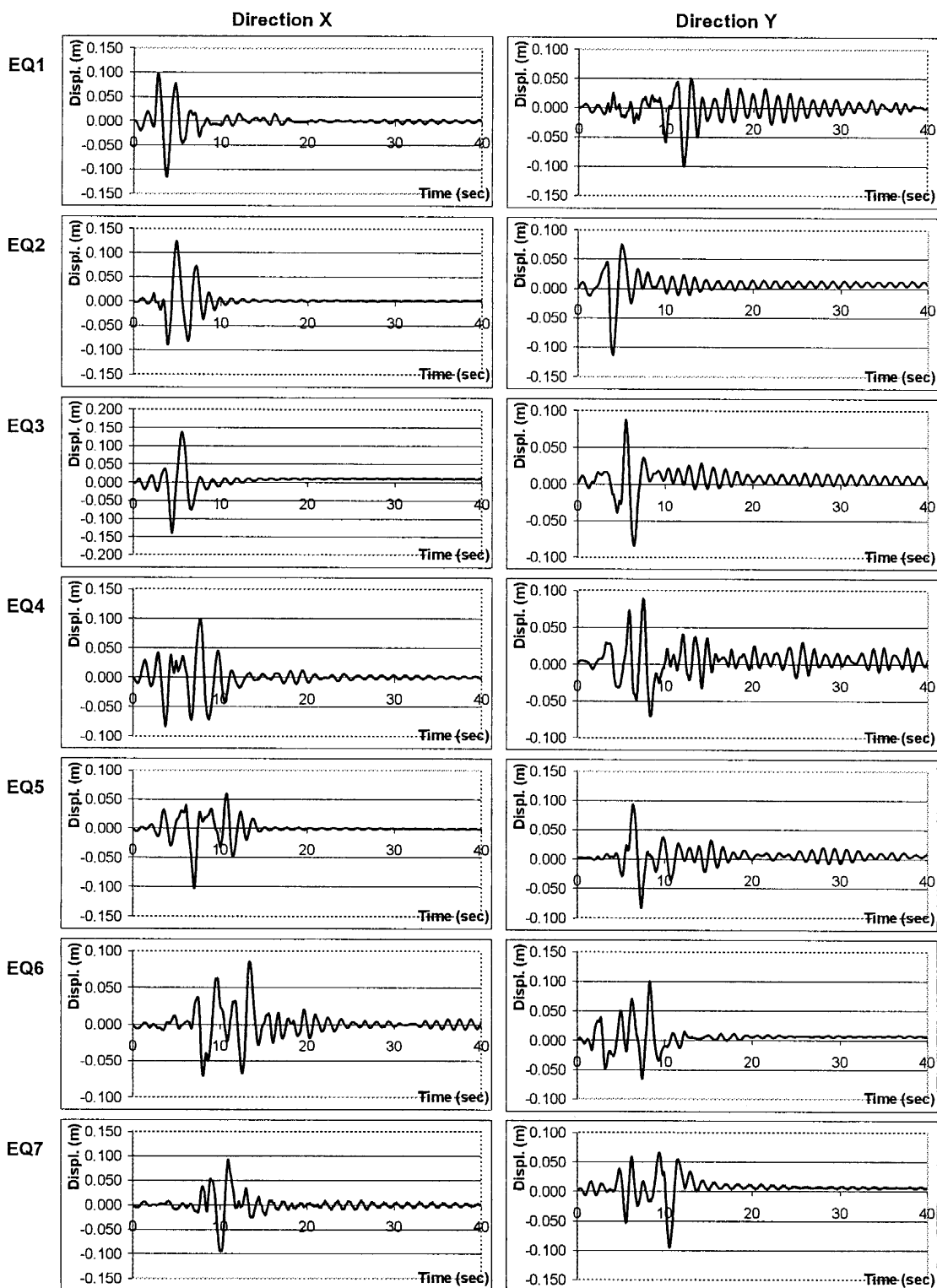
Πίνακας 2.8. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τις μετακινήσεις στο κέντρο μάζας των σταθμών και τις τέμνουσες σταθμών.



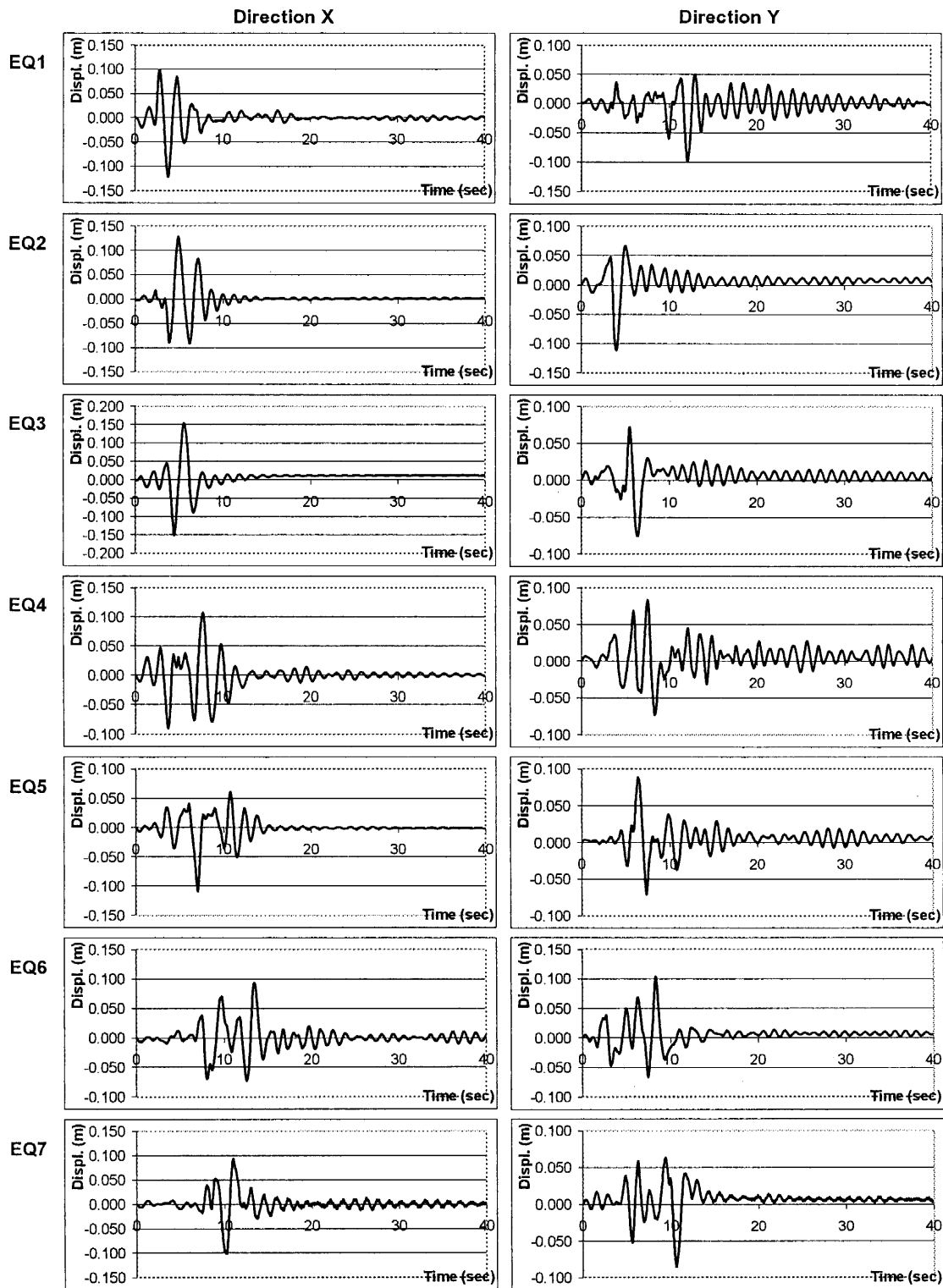
Σχήμα 2.5. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης του μονωτήρα 19 από την δυναμική ανάλυση ιστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά $\pm y$.



Σχήμα 2.6. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης του μονωτήρα 24 από την δυναμική ανάλυση ιστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχαμική εκκεντρότητα κατά +γ.



Σχήμα 2.7. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα 19 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά $\pm\gamma$.



Σχήμα 2.8. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα 24 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά +γ.

2.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Για το εξεταζόμενο κτίριο η μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τις δύο μεθόδους ανάλυσης που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους (δηλαδή την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος και την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης όσον αφορά τα μεγέθη σχεδιασμού των σεισμικών μονωτήρων (μετακινήσεις, αξονικά φορτία και στροφές) και τα μεγέθη σχεδιασμού της ανωδομής (τέμνουσα βάση και τέμνουσες σταθμών).

Στον Πίνακα 2.9 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης και των αποτελεσμάτων της μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων. Στον Πίνακα 2.10 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων για τις τέμνουσες των σταθμών. Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα (το πρόσημο + στις αποκλίσεις σημαίνει ότι η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δίνει μεγαλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας):

- Η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων είναι μικρή για τις μετακινήσεις των μονωτήρων σε κάθε μια από τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις d_x και d_y (της τάξης του +5%).
- Η απόκλιση είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση του μεγέθους του διανύσματος της μετακίνησης d μετά την επαλληλία των δύο οριζόντιων διευθύνσεων (της τάξης του -12%). Η μεγαλύτερη απόκλιση οφείλεται στον προσεγγιστικό τρόπο επαλληλίας των δύο οριζόντιων διευθύνσεων που εφαρμόζεται στην μέθοδο του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.
- Εμφανίζεται μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων για το μέγιστο αξονικό φορτίο των μονωτήρων $N_{sd,max}$ από +1% έως +7%.
- Εμφανίζεται μεγαλύτερη απόκλιση των αποτελεσμάτων για το ελάχιστο αξονικό φορτίο των μονωτήρων $N_{sd,min}$ (από +7% έως +49%) και την στροφή των μονωτήρων α (από -7% έως +19%). Η απόκλιση αυτή οφείλεται εν μέρη στην πολύ μικρή απόλυτη τιμή των μεγεθών αυτών.
- Παρά το γεγονός ότι η τριγωνική κατανομή δεν είναι συμβατή με την υπόθεση δύσκαμπτης ανωδομής η οποία αποτελεί την βασική υπόθεση της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος τα αποτελέσματα των αξονικών φορτίων των εφεδράνων σύμφωνα με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν αποκλίνουν σημαντικά σε σχέση με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (απόκλιση έως και -7%) Όμως όπως είναι φυσικό παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις στις τέμνουσες των ανώτερων ορόφων (έως και +37%) πράγμα που θεωρείται επί το συντηρητικότερο αποδεκτό.
- Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται το προφίλ μέγιστων μετακινήσεων του κέντρου μάζας των σταθμών σύμφωνα με την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας. Η μετακίνηση της ανώτερης στάθμης είναι κατά 12% αυξημένη σε σχέση με την μετακίνηση της βάσης. Το γεγονός αυτό

επιβεβαιώνει την συμμετοχή της ευκαμψίας της ανωδομής στην σεισμική απόκριση του συνολικού συστήματος.

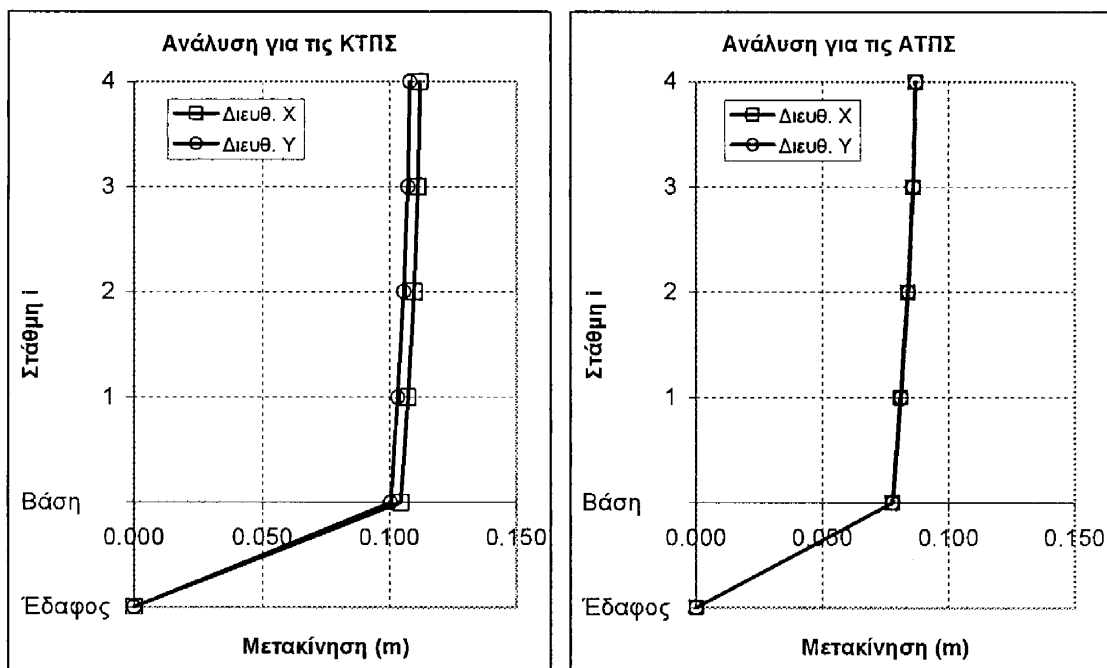
Μονω- τήρας	Αναλύσεις για τις ΚΤΠΣ						Αναλύσεις για τις ΑΤΠΣ					
	λόγος d_x	λόγος d_y	λόγος d^*	λόγος α	λόγος $N_{sd,min}$	λόγος $N_{sd,max}$	λόγος d_x	λόγος d_y	λόγος d^*	λόγος α	λόγος $N_{sd,min}$	λόγος $N_{sd,max}$
1	0.96	0.96	1.00	0.94	0.75	1.05	1.01	0.96	1.05	0.92	0.69	1.05
2	0.96	0.97	1.03	0.99	0.93	1.01	1.01	1.00	1.08	0.97	0.83	1.03
3	0.96	0.97	1.05	0.99	0.90	1.02	1.01	1.00	1.09	0.98	0.79	1.03
4	0.96	0.96	1.05	0.98	0.86	1.03	1.01	0.96	1.09	0.96	0.85	1.03
5	0.96	0.96	1.04	0.99	0.52	1.06	1.00	0.96	1.06	0.99	0.56	1.05
6	0.96	0.97	1.05	0.84	0.68	1.05	1.00	1.00	1.09	0.81	0.69	1.05
7	0.96	0.97	1.07	0.87	0.67	1.06	1.00	1.00	1.11	0.85	0.68	1.05
8	0.96	0.96	1.08	1.04	0.63	1.05	0.99	0.96	1.10	1.01	0.65	1.04
9	0.99	0.96	1.08	0.99	0.51	1.07	0.98	0.96	1.09	0.97	0.57	1.05
10	0.99	0.97	1.12	0.86	0.78	1.07	0.98	1.00	1.12	0.83	0.78	1.07
11	0.99	0.97	1.11	0.88	0.77	1.07	0.98	1.00	1.12	0.85	0.77	1.07
12	0.99	0.96	1.09	1.07	0.60	1.05	0.98	0.96	1.10	1.02	0.64	1.05
13	0.99	0.96	1.09	0.99	0.52	1.07	0.98	0.96	1.10	0.97	0.59	1.05
14	0.99	0.97	1.11	0.86	0.78	1.07	0.98	1.00	1.12	0.84	0.78	1.07
15	0.99	0.97	1.12	0.88	0.77	1.07	0.98	1.00	1.12	0.85	0.77	1.07
16	0.99	0.96	1.08	1.06	0.62	1.05	0.98	0.96	1.09	1.02	0.65	1.04
17	0.96	0.96	1.08	0.99	0.57	1.06	1.00	0.96	1.10	0.99	0.65	1.04
18	0.96	0.97	1.07	0.85	0.70	1.05	1.00	1.00	1.11	0.83	0.71	1.05
19	0.96	0.97	1.06	0.86	0.69	1.05	1.00	1.00	1.09	0.82	0.70	1.05
20	0.96	0.96	1.04	1.04	0.64	1.05	0.99	0.96	1.06	1.02	0.65	1.04
21	0.96	0.96	1.05	0.96	0.75	1.05	1.01	0.96	1.09	0.94	0.79	1.04
22	0.96	0.97	1.05	0.97	0.76	1.04	1.01	1.00	1.09	0.97	0.67	1.05
23	0.96	0.97	1.03	0.97	0.75	1.04	1.01	1.00	1.08	0.96	0.66	1.05
24	0.96	0.96	1.00	0.95	0.69	1.06	1.01	0.96	1.05	0.92	0.66	1.06
max	0.99	0.97	1.12	1.07	0.93	1.07	1.01	1.00	1.12	1.02	0.85	1.07
min	0.96	0.96	1.00	0.84	0.51	1.01	0.98	0.96	1.05	0.81	0.56	1.03

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

Πίνακας 2.9. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας ως προς τα αποτελέσματα της μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων.

Στάθμη	Αναλύσεις για τις ΚΤΠΣ		Αναλύσεις για τις ΑΤΠΣ	
	λόγος V_x	λόγος V_y	λόγος V_x	λόγος V_y
Στάθμη 4	0.58	0.56	0.63	0.63
Στάθμη 3	0.60	0.58	0.66	0.65
Στάθμη 2	0.66	0.65	0.72	0.69
Στάθμη 1	0.76	0.75	0.80	0.78
Βάση	1.01	0.99	1.00	1.00
max	1.01	0.99	1.00	1.00
min	0.58	0.56	0.63	0.63

Πίνακας 2.10. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις τέμνουσες των σταθμών.



Σχήμα 2.9. Προφίλ μέγιστων μετακινήσεων του κέντρου μάζας των σταθμών σύμφωνα με την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση ιστορίας.

2.7 Έλεγχοι επάρκειας εφεδράνων

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου ελέγχονται με βάση τις σχέσεις που παρέχονται στην παράγραφο 6.2.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου αντιμετωπίζονται ως απλά κυκλικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα επειδή α) η διάσταση του πυρήνα μολύβδου αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της επιφάνειας της κάτοψης (μικρότερο από 2% στην συγκεκριμένη περίπτωση), και β) ο πυρήνας μολύβδου παρέχει σχεδόν πλήρη εγκιβωτισμό στις στρώσεις ελαστομερούς λόγω της πολύ μεγαλύτερης δυσκαμψίας του σε σχέση με την δυσκαμψία του ελαστικού (μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο κατά 200 φορές). Ως εξωτερική διάμετρος του εφεδράνου για τους ελέγχους επάρκειας λαμβάνεται υπόψη η διάμετρος του συγκολλημένου ελαστικού στα μεταλλικά φύλλα D_e' (βλέπε Σχήμα 2.3).

Οι έλεγχοι επάρκειας των εφεδράνων πραγματοποιούνται για τα αποτελέσματα των αναλύσεων ιστορίας με τις ΚΤΠΣ, καθώς για τις τιμές αυτές προκύπτουν οι μεγαλύτερες μετακινήσεις οι οποίες και δίνουν τα πιο δυσμενή αποτελέσματα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω έλεγχοι αφορούν τις σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού. Σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» για τις μη σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού έχει εφαρμογή το EN 1337-3.

ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.1 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Α) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$\varepsilon_{u,k} = 7.0$ $\gamma_{is} = 1.5$
 $\gamma_m = 1.15$
 $E_b = 2000 \text{ MPa}$

Β) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

Τύπος Μονωτήρα	Τίτλος	D_e' (mm)	t_i (mm)	Σt_i (mm)	G_b (MPa)
1	LRB1	530	7	168	0.7
2	LRB2	480	7	168	0.7

Γ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	α (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	V_{Ed} (KN)	$d_{o,i}$ (m)	$d_{bi,a}$ (m)	d_{Ed} (m)
1	2	0.128	0.0033	152	1067	126.4	0.004	0.192	0.196
2	2	0.129	0.0027	268	1668	128.1	0.003	0.194	0.197
3	2	0.132	0.0027	259	1677	129.7	0.003	0.198	0.201
4	2	0.134	0.0033	176	1044	130.9	0.004	0.202	0.205
5	2	0.126	0.0027	116	1820	122.6	0.003	0.189	0.192
6	1	0.125	0.0007	325	2930	142.3	0.002	0.187	0.189
7	1	0.127	0.0007	318	2936	143.9	0.002	0.190	0.192
8	2	0.130	0.0028	142	1794	126.6	0.003	0.195	0.198
9	2	0.125	0.0027	115	1784	122.0	0.002	0.188	0.190
10	1	0.124	0.0007	564	2576	139.6	0.001	0.186	0.186
11	1	0.123	0.0007	556	2583	139.0	0.001	0.185	0.185
12	2	0.126	0.0027	137	1762	122.6	0.002	0.189	0.191
13	2	0.126	0.0027	118	1781	122.7	0.002	0.189	0.191
14	1	0.123	0.0007	565	2575	139.0	0.001	0.184	0.185
15	1	0.124	0.0007	557	2582	139.7	0.001	0.186	0.187
16	2	0.125	0.0027	140	1759	122.0	0.002	0.187	0.190
17	2	0.130	0.0027	128	1808	126.6	0.003	0.195	0.198
18	1	0.127	0.0007	333	2921	143.9	0.002	0.191	0.192
19	1	0.125	0.0007	327	2928	142.3	0.002	0.187	0.189
20	2	0.126	0.0028	145	1791	122.6	0.003	0.189	0.191
21	2	0.134	0.0033	153	1066	130.8	0.004	0.202	0.205
22	2	0.132	0.0027	221	1715	129.6	0.003	0.198	0.201
23	2	0.129	0.0026	217	1719	127.9	0.003	0.194	0.197
24	2	0.128	0.0032	142	1077	126.5	0.004	0.192	0.195
Ακρόατα		0.134	0.0033	115	2936	143.9	0.004	0.202	0.205

Δ) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	S	A_b (m ²)	δ	A_r (m ²)	σ_e (MPa)	ϵ_{sd}	$\epsilon_{c,d}$	$\epsilon_{a,d}$	$\epsilon_{b,d}$
1	2	17.1	0.181	2.30	0.090	11.89	1.16	1.49	0.320	2.97
2	2	17.1	0.181	2.30	0.089	18.73	1.17	2.34	0.264	3.78
3	2	17.1	0.181	2.28	0.087	19.17	1.20	2.40	0.266	3.86
4	2	17.1	0.181	2.26	0.086	12.21	1.22	1.53	0.328	3.08
5	2	17.1	0.181	2.32	0.091	19.89	1.14	2.49	0.268	3.90
6	1	18.9	0.221	2.41	0.123	23.86	1.12	2.70	0.086	3.91
7	1	18.9	0.221	2.40	0.121	24.24	1.14	2.74	0.086	3.97
8	2	17.1	0.181	2.29	0.089	20.23	1.18	2.53	0.272	3.98
9	2	17.1	0.181	2.33	0.092	19.32	1.13	2.41	0.262	3.81
10	1	18.9	0.221	2.42	0.124	20.78	1.11	2.35	0.081	3.54
11	1	18.9	0.221	2.43	0.124	20.76	1.10	2.35	0.081	3.53
12	2	17.1	0.181	2.32	0.092	19.19	1.14	2.40	0.266	3.80
13	2	17.1	0.181	2.32	0.092	19.40	1.14	2.43	0.262	3.82
14	1	18.9	0.221	2.43	0.125	20.68	1.10	2.34	0.081	3.52
15	1	18.9	0.221	2.42	0.124	20.86	1.11	2.36	0.081	3.55

16	2	17.1	0.181	2.33	0.092	19.04	1.13	2.38	0.265	3.77
17	2	17.1	0.181	2.29	0.089	20.39	1.18	2.55	0.268	4.00
18	1	18.9	0.221	2.40	0.121	24.13	1.14	2.73	0.087	3.96
19	1	18.9	0.221	2.41	0.123	23.87	1.12	2.70	0.086	3.91
20	2	17.1	0.181	2.32	0.092	19.55	1.14	2.44	0.272	3.85
21	2	17.1	0.181	2.26	0.086	12.46	1.22	1.56	0.324	3.10
22	2	17.1	0.181	2.28	0.087	19.61	1.20	2.45	0.261	3.91
23	2	17.1	0.181	2.30	0.089	19.30	1.17	2.41	0.259	3.84
24	2	17.1	0.181	2.30	0.090	11.99	1.16	1.50	0.317	2.98

Ε) ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	Ανηγγεμένη Διατμητική Παραμόρφωση Λόγω Μετακίνησης			Μέγιστη Ισοδύναμη Διατμητική Παραμόρφωση			Έλεγχος Ευστάθειας					Έλεγχος Εφελκυσμού Εφεδράνου	
		Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	Ποσό-τητα	Όριο	Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	$N_{sd,min}$ (KN)	Έλεγχος
		ε_{sd}	≤ 2.0		$\varepsilon_{b,d}$	$\leq \varepsilon_{u,k}/\gamma_m$		D (mm)	$\geq 4\Sigma_t$	σ_e (MPa)	$\leq 2DG_b S/(3\Sigma_t)$ (MPa)		≥ 0.0	
1	2	1.16	2	Εντάξει	2.97	6.09	Εντάξει	480	672	11.9	22.9	Εντάξει	152.5	Εντάξει
2	2	1.17	2	Εντάξει	3.78	6.09	Εντάξει	480	672	18.7	22.9	Εντάξει	267.6	Εντάξει
3	2	1.20	2	Εντάξει	3.86	6.09	Εντάξει	480	672	19.2	22.9	Εντάξει	259.2	Εντάξει
4	2	1.22	2	Εντάξει	3.08	6.09	Εντάξει	480	672	12.2	22.9	Εντάξει	175.5	Εντάξει
5	2	1.14	2	Εντάξει	3.90	6.09	Εντάξει	480	672	19.9	22.9	Εντάξει	116.4	Εντάξει
6	1	1.12	2	Εντάξει	3.91	6.09	Εντάξει	530	672	23.9	27.9	Εντάξει	324.6	Εντάξει
7	1	1.14	2	Εντάξει	3.97	6.09	Εντάξει	530	672	24.2	27.9	Εντάξει	318.4	Εντάξει
8	2	1.18	2	Εντάξει	3.98	6.09	Εντάξει	480	672	20.2	22.9	Εντάξει	142.3	Εντάξει
9	2	1.13	2	Εντάξει	3.81	6.09	Εντάξει	480	672	19.3	22.9	Εντάξει	115.1	Εντάξει
10	1	1.11	2	Εντάξει	3.54	6.09	Εντάξει	530	672	20.8	27.9	Εντάξει	564.2	Εντάξει
11	1	1.10	2	Εντάξει	3.53	6.09	Εντάξει	530	672	20.8	27.9	Εντάξει	556.5	Εντάξει
12	2	1.14	2	Εντάξει	3.80	6.09	Εντάξει	480	672	19.2	22.9	Εντάξει	137.2	Εντάξει
13	2	1.14	2	Εντάξει	3.82	6.09	Εντάξει	480	672	19.4	22.9	Εντάξει	118.2	Εντάξει
14	1	1.10	2	Εντάξει	3.52	6.09	Εντάξει	530	672	20.7	27.9	Εντάξει	564.8	Εντάξει
15	1	1.11	2	Εντάξει	3.55	6.09	Εντάξει	530	672	20.9	27.9	Εντάξει	557.4	Εντάξει
16	2	1.13	2	Εντάξει	3.77	6.09	Εντάξει	480	672	19.0	22.9	Εντάξει	140.2	Εντάξει
17	2	1.18	2	Εντάξει	4.00	6.09	Εντάξει	480	672	20.4	22.9	Εντάξει	128.3	Εντάξει
18	1	1.14	2	Εντάξει	3.96	6.09	Εντάξει	530	672	24.1	27.9	Εντάξει	333.0	Εντάξει
19	1	1.12	2	Εντάξει	3.91	6.09	Εντάξει	530	672	23.9	27.9	Εντάξει	326.9	Εντάξει
20	2	1.14	2	Εντάξει	3.85	6.09	Εντάξει	480	672	19.6	22.9	Εντάξει	145.0	Εντάξει
21	2	1.22	2	Εντάξει	3.10	6.09	Εντάξει	480	672	12.5	22.9	Εντάξει	153.2	Εντάξει
22	2	1.20	2	Εντάξει	3.91	6.09	Εντάξει	480	672	19.6	22.9	Εντάξει	220.5	Εντάξει
23	2	1.17	2	Εντάξει	3.84	6.09	Εντάξει	480	672	19.3	22.9	Εντάξει	216.6	Εντάξει
24	2	1.16	2	Εντάξει	2.98	6.09	Εντάξει	480	672	12.0	22.9	Εντάξει	141.9	Εντάξει

2.8 Έλεγχος ικανότητας επαναφοράς

Ο έλεγχος ικανότητας οριζόντιας επαναφοράς πραγματοποιείται για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις σύμφωνα με την παράγραφο 7.2 του Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Οι ιδιότητες του συστήματος σεισμικής μόνωσης F_0 , K_p , d_y αναφέρονται συνολικά για το σύστημα στην εξεταζόμενη κύρια διεύθυνση.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.1

Α) ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d = 26768.9$ KN $\gamma_{is} = 1.5$

	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
F_0 (KN)	954.2	1402.6	954.2	1402.6
K_p (KN/m)	18510.4	26325.1	18510.4	26325.1
d_y (m)	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182
d_m (m)	0.206	0.206	0.206	0.206
$d_{bd,i,max}$ (m)	0.116	0.091	0.105	0.078

Β) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
d_r (m)	0.052	0.053	0.052	0.053
d_{rm} (m)	0.052	0.053	0.052	0.053
ΔF_m (KN)	1906.6	2711.5	1906.6	2711.5
$d_{a,max}$ (m)	0.174	0.137	0.158	0.117

Γ) ΕΛΕΓΧΟΙ

Διεύθυνση Χ:

ΚΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 1906.571 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 100.484 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.052 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.119 -> Εντάξει

ΑΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 2711.487 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 103.850 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.053 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.138 -> Εντάξει

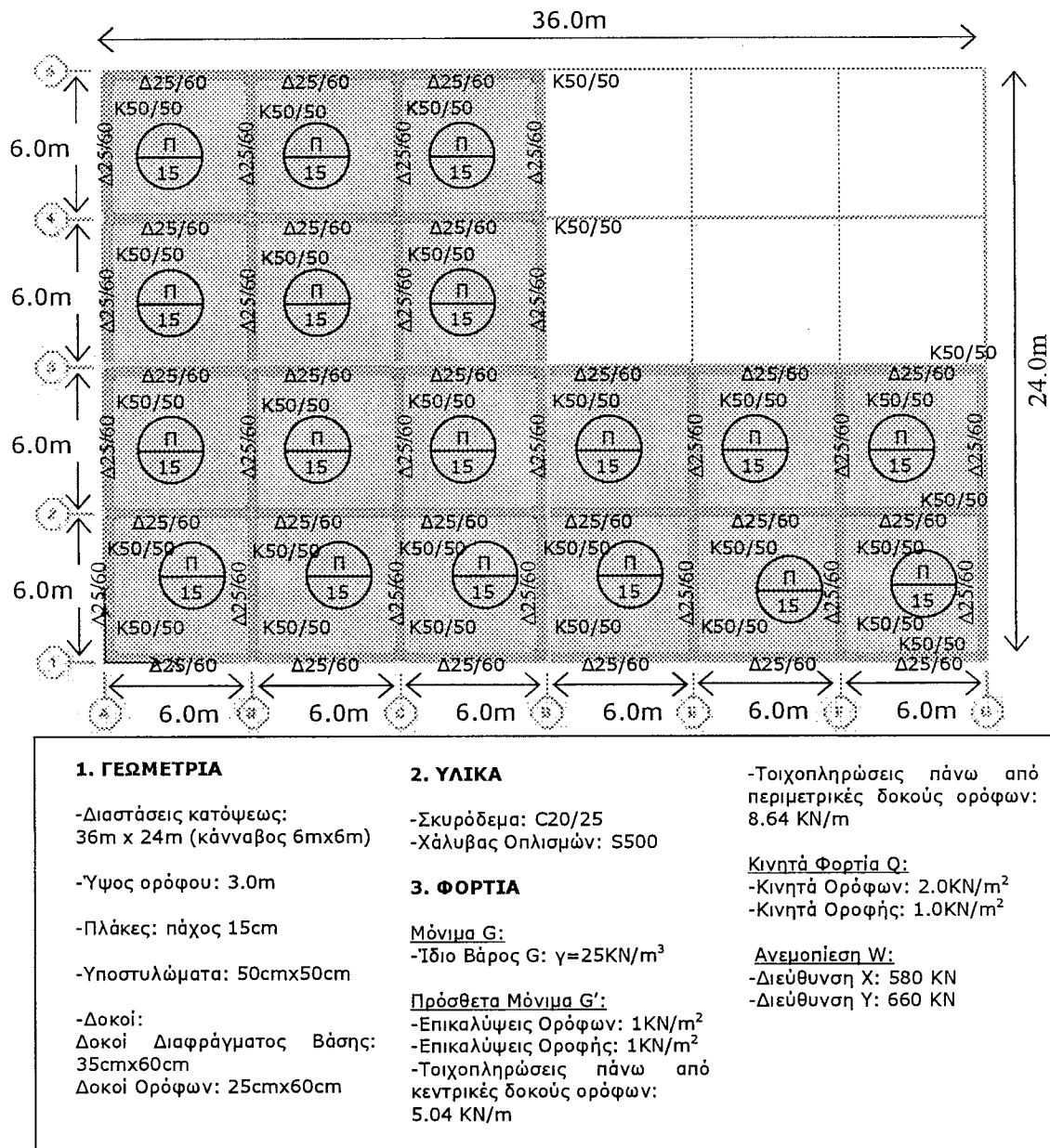
Διεύθυνση Υ:

ΚΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 1906.571 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 100.484 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.052 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.127 -> Εντάξει

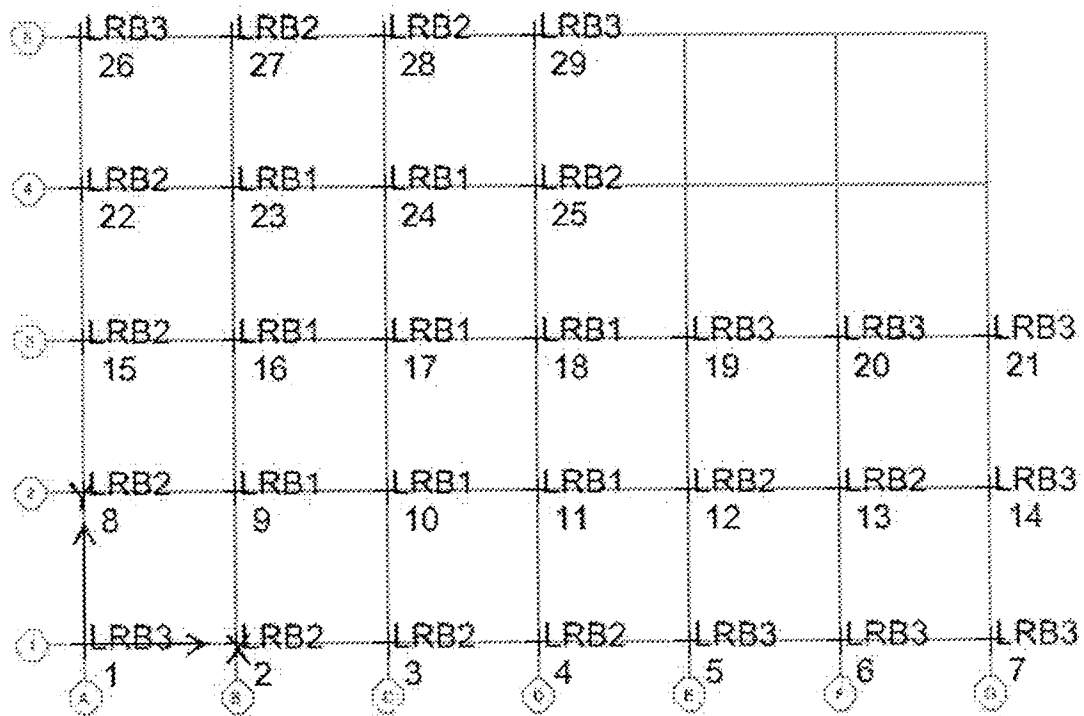
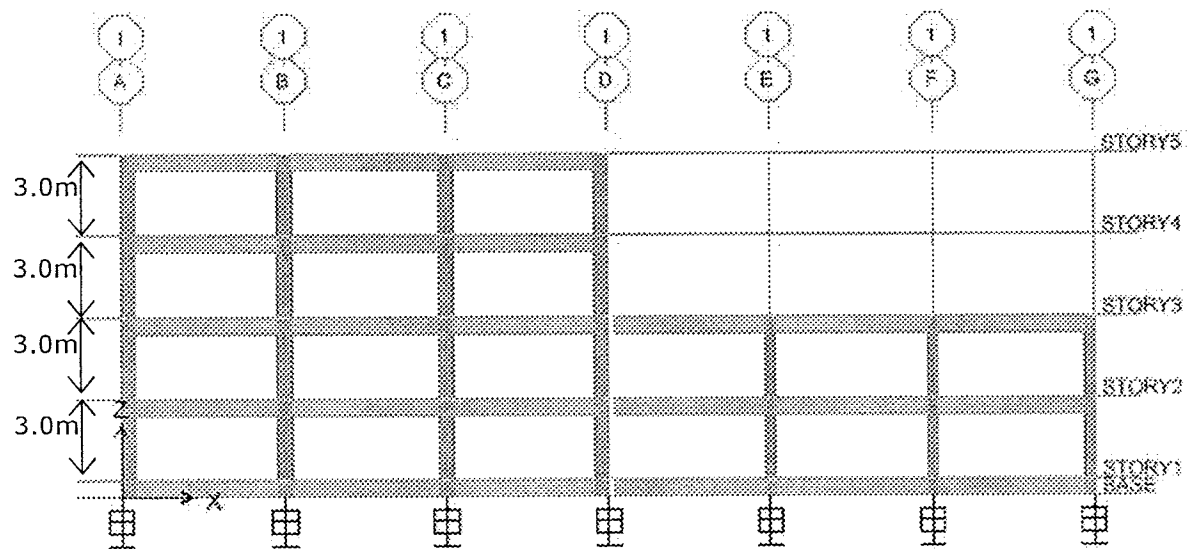
ΑΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 2711.487 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 103.850 -> Εντάξει

$$d_m (m) = 0.053 < d_m - 0.5d_{a,max} (m) = 0.148 \rightarrow \text{Εντάξει}$$

3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ (LRBs)



Σχήμα 3.1. Κάτοψη τυπικού ορόφου και στοιχεία γεωμετρίας κτιρίου, υλικών και φορτίσεων.



Σχήμα 3.2. Πλάγια όψη και διάταξη ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου.

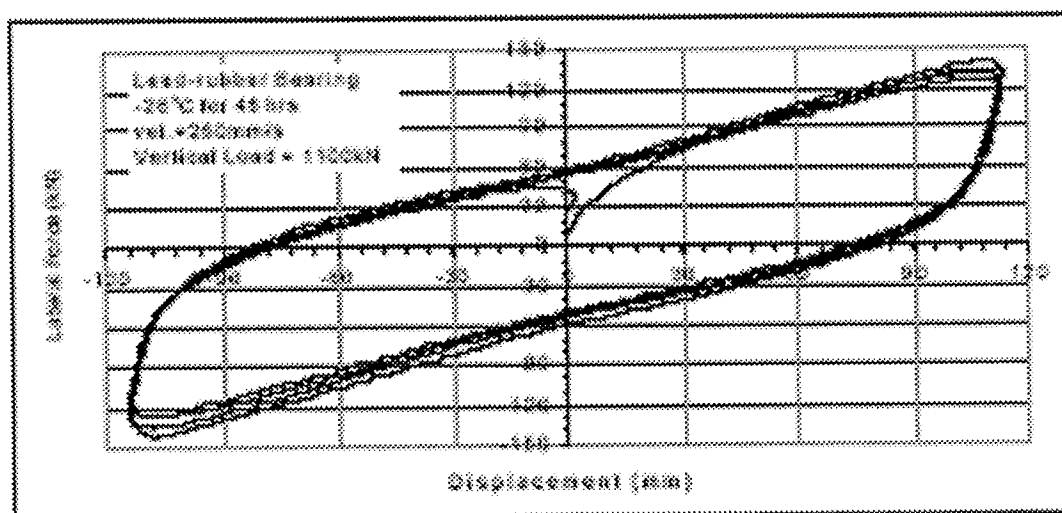
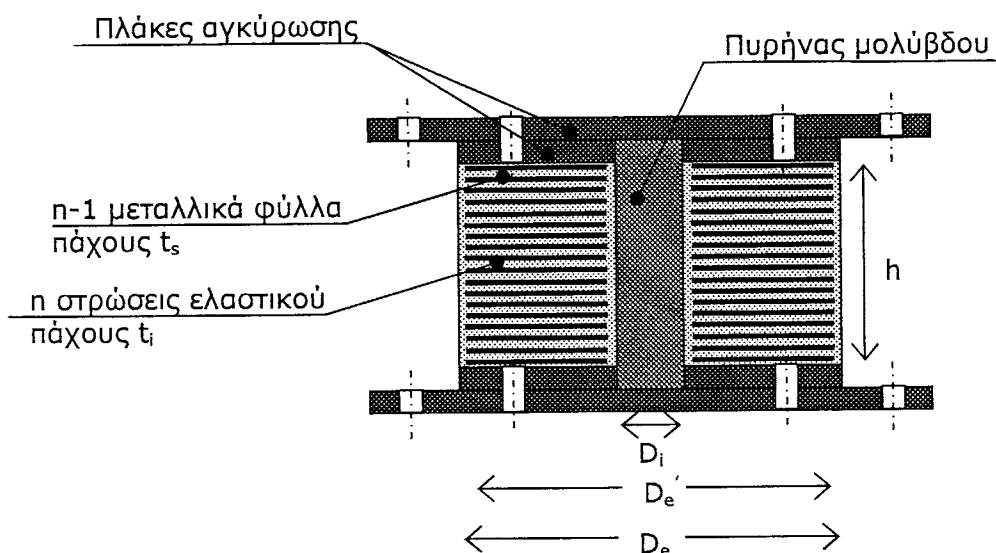
Εφέδρανο	LRB1	LRB2								
Γεωμετρία και ιδιότητες υλικών										
Εξωτερική διάμετρος D_e	550mm	500mm								
Εξωτερική διάμετρος ελαστικού συγκολλημένου στα μεταλλικά φύλλα D_e'	530mm	480mm								
Διάμετρος πυρήνα μολύβδου D_i	70mm	70mm								
Πάχος στρώσεων ελαστομερούς t_i	24 στρώσεις x 7mm = 168mm	24 στρώσεις x 7mm = 168mm								
Πάχος μεταλλικών φύλλων t_s	23 φύλλα x 3 mm = 69mm	23 φύλλα x 3 mm = 69mm								
Συνολικό Πάχος Ελαστομεταλλικού Τμήματος h	237mm	237mm								
Μέτρο διάτμησης ελαστικού $G *$	0.7 MPa	0.7 MPa								
Τάση διαρροής πυρήνα μολύβδου $f_{YL} **$	10.0 MPa	10.0 MPa								
Ιδιότητες διγαμμικού μοντέλου										
	Ονομαστικές Τιμές		Μεταβλητότητα		Ονομαστικές Τιμές		Μεταβλητότητα			
	DP_{nom}	$\min DP_{nom}$	$\max DP_{nom}$	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	DP_{nom}	$\min DP_{nom}$	$\max DP_{nom}$	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0 (KN)	38.48	34.64	42.33	34.64	50.91	38.48	34.64	42.33	34.64	50.91
Μετελαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p (KN/m)	973.9	876.5	1071	876.5	1247	802.1	721.9	882.3	721.9	1027
Μετακίνηση διαρροής d_y (mm)	18.2					18.2				

Εφέδρανο	LRB3				
Γεωμετρία και ιδιότητες υλικών					
Εξωτερική διάμετρος D_e	450mm				
Εξωτερική διάμετρος ελαστικού συγκολλημένου στα μεταλλικά φύλλα D_e'	430mm				
Διάμετρος πυρήνα μολύβδου D_i	70mm				
Πάχος στρώσεων ελαστομερούς t_i	24 στρώσεις x 7mm = 168mm				
Πάχος μεταλλικών φύλλων t_s	23 φύλλα x 3 mm = 69mm				
Συνολικό Πάχος Ελαστομεταλλικού Τμήματος h	237mm				
Μέτρο διάτμησης ελαστικού $G *$	0.7 MPa				
Τάση διαρροής πυρήνα μολύβδου $f_{yl} **$	10.0 MPa				
Ιδιότητες διγαμμικού μοντέλου					
	Ονομαστικές Τιμές		Μεταβλητότητα		
	DP_{nom}	min DP_{nom}	max DP_{nom}	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0 (KN)	38.48	34.64	42.33	34.64	50.91
Μεταελαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p (KN/m)	646.6	582.0	711.3	582.0	827.7
Μετακίνηση διαρροής d_y (mm)	18.2				

* Αναφέρεται στην διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού

** Αναφέρεται σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας

Πίνακας 3.1. Ιδιότητες ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου.



Σχήμα 3.3. Τυπική τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου και σχέση δύναμης – μετακίνησης υπό ανακυκλική φόρτιση.

Κανονισμοί Αντισεισμικής Μελέτης	
1. ΕΑΚ 2000 - Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (αναθεώρηση 2003)	
2. Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση	
Παράμετροι φάσματος σχεδιασμού	
Ζώνη σεισμικής Επικινδυνότητας:	I ($A=0.16g$)
Κατηγορία Σπουδαιότητας:	Σ4 ($\gamma_1=1.30$)
Κατηγορία Εδάφους:	B ($T_1=0.15\text{sec}$, $T_2=T_c=0.60\text{sec}$)
Παράμετροι αντισεισμικής μελέτης	
Συντελεστής συμπεριφοράς ανωδομής q	1.00

Πίνακας 3.2. Κανονισμοί και παράμετροι αντισεισμικής μελέτης.

3.1 Περιγραφή του κτιρίου

Το παράδειγμα αφορά τετραώροφο μη κανονικό κτίριο σεισμικά μονωμένο με ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (Σχήμα 3.1, Σχήμα 3.2). Το κτίριο είναι μη-κανονικό τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος. Η κάτοψη του κτιρίου είναι μορφής Γάμμα διαστάσεων 36.0m x 24.0m, και το συνολικό ύψος του κτιρίου πάνω από το διάφραγμα της βάσης είναι 12.0m (ύψος τυπικού ορόφου 3.0m).

Το κτίριο είναι κανονικό τόσο σε κάτοψη όσο και καθ' ύψος. Η κάτοψη του κτιρίου είναι ορθογωνική διαστάσεων 18.0m x 30.0m, και το συνολικό ύψος του κτιρίου πάνω από το διάφραγμα της βάσης είναι 12.0m (ύψος τυπικού ορόφου 3.0m). Τα υποστυλώματα είναι τετραγωνικής διατομής διαστάσεων 50cm x 50cm. Οι δοκοί του τυπικού ορόφου είναι ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 25cm x 60cm. Οι δοκοί του διαφράγματος βάσης ακριβώς πάνω από το σύστημα σεισμικής μόνωσης είναι ενισχυμένες σε σχέση με τις δοκούς του τυπικού ορόφου (διατομή διαστάσεων 35cm x 60cm) για τον περιορισμό των στροφών των εφεδράνων. Το πάχος των πλακών είναι 15cm. Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της μη μονωμένης ανωδομής λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της ρηγμάτωσης είναι 0.67sec.

Η διεπιφάνεια σεισμικής μόνωσης βρίσκεται ακριβώς κάτω από το διάφραγμα της βάσης, και αποτελείται από 29 ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) τα οποία τοποθετούνται κάτω από κάθε υποστυλώμα του κτιρίου.

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου χωρίζονται σε τρεις τύπους:

3. Τύπος LRB1, 8 τεμάχια, κάτω από τα κεντρικά υποστυλώματα τετραώροφου μέρους του κτιρίου.
4. Τύπος LRB2, 11 τεμάχια, κάτω από τα περιμετρικά υποστυλώματα του τετραώροφου μέρους του κτιρίου, και κάτω από τα κεντρικά υποστυλώματα του διώροφου μέρους του κτιρίου.
5. Τύπος LRB3, 10 τεμάχια, κάτω από τα γωνιακά υποστυλώματα του τετραώροφου μέρους του κτιρίου, και κάτω από τα περιμετρικά και γωνιακά υποστυλώματα του διώροφου μέρους του κτιρίου.

Τα χαρακτηριστικά των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.1 και το Σχήμα 3.3.

Η μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης του κτιρίου πραγματοποιείται με βάση τις διατάξεις του ΕΑΚ2000 (αναθεώρηση 2003) και του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Οι παράμετροι της αντισεισμικής μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Η ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης πραγματοποιείται με την μέθοδο της Μη-γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Η ανάλυση του συγκεκριμένου σεισμικά μονωμένου κτιρίου δεν επιτρέπεται να γίνει μόνο με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος λόγω της μη κανονικότητας της ανωδομής. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής ορίζουν κάτω όρια στις τιμές της μετακίνησης σχεδιασμού και της τέμνουσας βάσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία θα πρέπει να πληρούν τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας.

Για κάθε μέθοδο ανάλυσης πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις. Στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης και ανωδομής. Στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή.

3.2 Περιγραφή και ονομαστικές τιμές ιδιοτήτων σεισμικών μονωτήρων

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου (Lead Rubber Bearing ή LRB) αποτελούνται από στρώσεις ελαστικού οπλισμένες με πλήρως εγκιβωτισμένα και συγκολλημένα χαλυβδόφυλλα που διαθέτουν κυλινδρικό μολύβδινο πυρήνα. Η διαρροή του μολύβδινου πυρήνα προσφέρει στα εφεδράνα αυτά υστερητική συμπεριφορά που αντιστοιχεί σε ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης ξ της τάξης του 0.20.

Οι μέσες ονομαστικές ιδιότητες των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου εκτιμούνται, εν απουσία αποτελεσμάτων κατάλληλων δοκιμών, με βάση τις σχέσεις της θεωρίας ελαστικότητας για την περίπτωση στοιχείων υπό καθαρή διάτμηση: $K_p = GA_r / \Sigma t_i$, $F_0 = A_L f_{yL}$, $d_y = f_{yL} h / G_L$ όπου G το μέτρο διάτμησης του ελαστικού υπό την διατμητική παραμόρφωση σχεδιασμού, A_r η πλήρης επιφάνεια σε κάτοψη του ελαστικού, Σt_i το συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού, A_L η επιφάνεια σε κάτοψη του πυρήνα μολύβδου, f_{yL} η τάση διαρροής του πυρήνα μολύβδου υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας, h το συνολικό ύψος του ελαστομεταλλικού τμήματος του εφεδράνου, G_L το φαινόμενο μέτρο διάτμησης του μολύβδου το οποίο λαμβάνεται ίσο με 130MPa. Οι παραπάνω υπολογισμοί χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μέσων ονομαστικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού DP_{nom} . Οι ελάχιστες ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού $minDP_{nom}$ και οι μέγιστες ονομαστικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού $maxDP_{nom}$, θεωρούνται κατά 10% μικρότερες και κατά 10% μεγαλύτερες από τις μέσες ονομαστικές παραμέτρους σχεδιασμού αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στον Πίνακα 3.1.

Σημειώνεται ότι για μια ολοκληρωμένη μελέτη συστήματος σεισμικής μόνωσης που αποτελείται από ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου θα πρέπει, σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.2(9)-Σημείωση 2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση», οι ιδιότητες των μονωτήρων να προσδιορίζονται ή να επιβεβαιώνονται από τις Δοκιμές Προτύπων που αναφέρονται στο Παράρτημα Α του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση».

3.3 Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων

Για την μεταβλητότητα τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των μονωτήρων λαμβάνονται υπόψη οι τιμές των συντελεστών λ , οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 3.3. Οι τιμές αυτές είναι σύμφωνες με τις διατάξεις της παραγράφου Α.4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» για την περίπτωση ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου εν απουσία αποτελεσμάτων καταλλήλων δοκιμών.

Γίνεται θεώρηση κατασκευής από σκυρόδεμα ($\Delta T_r=7.5^\circ\text{C}$) και ελάχιστης θερμοκρασίας υπό σκιά στην περιοχή του έργου με ετήσια πιθανότητα αρνητικής υπέρβασης 0.02 ίση με $T_{\min}=-5^\circ\text{C}$. Η ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού σεισμικών μονωτήρων στην περιοχή του κτιρίου $T_{\min,b}$ προκύπτει σύμφωνα με την παράγραφο Α.3.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» ίση με $T_{\min,b}=\psi_2 T_{\min}+\Delta T_r=5.0^\circ\text{C}$, όπου $\psi_2=0.5$ ο συντελεστής συνδυασμού θερμικών δράσεων υπό σεισμικές συνθήκες.

Συντελεστές λ	Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0		Μεταλαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p	
	$\lambda_{\max,fi}$	$\lambda_{\min,fi}$	$\lambda_{\max,fi}$	$\lambda_{\min,fi}$
f1: γήρανση	1.0	1.0	1.1	1.0
f2: θερμοκρασία	1.225	1.0	1.075	1.0
f3: ρύπανση	1.0	1.0	1.0	1.0
f4: Συνολική διαδρομή	1.0	1.0	1.0	1.0

Πίνακας 3.3. Συντελεστές μεταβλητότητας παραμέτρων σχεδιασμού λ .

Η εκτίμηση της Ανώτερης και Κατώτερης Τιμής Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ) που θα χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο Α.4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Οι συντελεστές συνδυασμού ψ_{fi} , οι οποίοι εκφράζουν την μειωμένη πιθανότητα ταυτόχρονης παρουσίας των δυσμενών επιδράσεων όλων των συντελεστών λαμβάνονται ίσοι με 0.90 για κτίριο με σπουδαιότητα μεγαλύτερη της μέσης.

Οι υπολογισμοί για την εκτίμηση της ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ της δύναμης σε μηδενική μετακίνηση F_0 και της μεταλαστικής δυσκαμψίας K_p φαίνονται παρακάτω:

Α) Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0

- Υπολογισμός Συντελεστών $\lambda_{U,fi}$

$$\begin{aligned}\lambda_{U,f1} &= (1+\lambda_{\max,f1}-1)\psi_{fi} = 1+(1-1)*0.9 = 1.0000 \\ \lambda_{U,f2} &= (1+\lambda_{\max,f2}-1)\psi_{fi} = 1+(1.225-1)*0.9 = 1.2025 \\ \lambda_{U,f3} &= (1+\lambda_{\max,f3}-1)\psi_{fi} = 1+(1-1)*0.9 = 1.0000 \\ \lambda_{U,f4} &= (1+\lambda_{\max,f4}-1)\psi_{fi} = 1+(1-1)*0.9 = 1.0000\end{aligned}$$

- Υπολογισμός ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \lambda_{U,f3} \lambda_{U,f4}$$

$$\Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} * 1 * 1.2025 * 1 * 1 \Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} * 1.2025$$

$$\lambda_{\min,fi} = 1$$

$$\Rightarrow ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$$

B) Μετελαστική δυσκαμψία μετά την διαρροή K_p

- Υπολογισμός Συντελεστών $\lambda_{U,fi}$

$$\begin{aligned}\lambda_{U,f1} &= (1 + \lambda_{\max,f1} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1.09 - 1) \cdot 0.9 = 1.0900 \\ \lambda_{U,f2} &= (1 + \lambda_{\max,f2} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1.0675 - 1) \cdot 0.9 = 1.0675 \\ \lambda_{U,f3} &= (1 + \lambda_{\max,f3} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000 \\ \lambda_{U,f4} &= (1 + \lambda_{\max,f4} - 1) \psi_{fi} = 1 + (1 - 1) \cdot 0.9 = 1.0000\end{aligned}$$

- Υπολογισμός ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \lambda_{U,f3} \lambda_{U,f4}$$

$$\Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \cdot 1.09 \cdot 1.0675 \cdot 1 \cdot 1 \Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \cdot 1.163575$$

$$\lambda_{\min,fi} = 1$$

$$\Rightarrow ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$$

Οι υπολογιζόμενες ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3.1, για τους εξεταζόμενους τύπους μονωτήρων.

3.4 Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Το εξεταζόμενο σεισμικά μονωμένο κτίριο δεν πληροί τις προϋποθέσεις οι οποίες αναφέρονται στην παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» σχετικά με το πεδίο εφαρμογής της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, κυρίως λόγω της μη κανονικότητας του. Κατά συνέπεια η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής όμως ορίζουν κάτω όρια για την μετακίνηση σχεδιασμού και την τέμνουσα βάσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία θα πρέπει να πληρούν τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας. Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται οι υπολογισμοί της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος που αφορούν τον έλεγχο των παραπάνω ορίων. Επιπλέον γίνεται εκτίμηση της επίδρασης της εκκεντρότητας μεταξύ κέντρου μάζας της ανωδομής και κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην αύξηση της μετακίνησης των μονωτήρων για λόγους σύγκρισης με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας για την περίπτωση μη κανονικών κτιρίων.

Η ανάλυση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 5.4 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις, στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) ενώ στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ).

Η ενεργός δυσκαμψία $K_{eff,i}$ και η αποσβενόμενη ενέργεια ανά κύκλο ED_i των μονωτήρων εξαρτώνται από την μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης d_{cd} στην εξεταζόμενη διεύθυνση. Κατά συνέπεια η διαδικασία ανάλυσης σύμφωνα με την μέθοδο του Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος είναι εν γένει επαναληπτική ως εξής:

1. Γίνεται υπόθεση κάποιας τιμής της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} .
2. Υπολογίζονται συναρτήσει της d_{cd} οι ποσότητες $K_{eff,i}$ και ED_i όλων των μονωτήρων.
3. Υπολογίζονται η ενεργός περίοδος T_{eff} και η ενεργός απόσβεση ξ_{eff} του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.
4. Υπολογίζεται διορθωμένη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} με βάση το φάσμα σχεδιασμού και τις τιμές των T_{eff} και ξ_{eff} .
5. Εάν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια υπολογισμού της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} τότε η διαδικασία τερματίζεται, αλλιώς επιστροφή στο βήμα 2.

Η διαδικασία συγκλίνει ταχύτατα και συνήθως απαιτείται μικρός αριθμός επαναλήψεων για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

Μετά την σύγκλιση των επαναλήψεων για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης γίνεται η εκτίμηση της επιρροής των εκκεντροτήτων μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση του κάθε μονωτήρα.

Στις ακόλουθες σελίδες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις όπου γίνεται υπολογισμός των μετατοπίσεων των μονωτήρων και των σεισμικών φορτίων στις στάθμες του κτιρίου.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.2 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση

A) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	27270.9	KN	$a_g =$	0.208	g	$q =$	1.00
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_c =$	0.6	sec		
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec		

B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

- Ιδιότητες κάθε τύπου μονωτήρα

Τύπος Μονω- τήρα	Τίτλος	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά	
		F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	C (KN*(s/m) ^α)	α
1	LRB1	34.640	876.50	0.0182	0	0	0	0
2	LRB2	34.640	721.88	0.0182	0	0	0	0
3	LRB3	34.640	581.98	0.0182	0	0	0	0

- Συντεταγμένες στο καθολικό σύστημα αξόνων και αξονική δύναμη που μεταφέρεται από κάθε μονωτήρα

Θέση i	X_i (m) *	Y_i (m) *	N_{sd} (KN)
1	0	0	629.58
2	6	0	1011.73
3	12	0	1006.9
4	18	0	852.95
5	24	0	545.93
6	30	0	553.46
7	36	0	332.53
8	0	6	991.2
9	6	6	1543.38
10	12	6	1524.05
11	18	6	1375.08
12	24	6	872.77
13	30	6	877.91
14	36	6	547.68
15	0	12	1026.47
16	6	12	1520.15
17	12	12	1511.12

18	18	12	1234.79
19	24	12	512.15
20	30	12	505.4
21	36	12	317.24
22	0	18	965.54
23	6	18	1515.31
24	12	18	1511.59
25	18	18	938.99
26	0	24	609.7
27	6	24	927.59
28	12	24	925.08
29	18	24	584.58
Σύνολα			27270.85

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	30818.1	328.69	1.887	0.1697	0.6746
2	0.0987	30951.0	323.45	1.883	0.1708	0.6731
3	0.0983	30996.1	321.69	1.882	0.1711	0.6725
4	0.0981	31011.4	321.11	1.881	0.1712	0.6724
5	0.0981	31016.5	320.91	1.881	0.1712	0.6723

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών

0.1%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{id,x}$ (m)	$d_{id,y}$ (m)
1	3	0.098	935.3	11.1	-14.992	-10.234	1.092	0.135	0.107	0.013
2	2	0.098	1075.2	11.1	-8.992	-10.234	1.092	0.081	0.107	0.008
3	2	0.098	1075.2	11.1	-2.992	-10.234	1.092	0.027	0.107	0.003
4	2	0.098	1075.2	11.1	3.008	-10.234	1.092	0.027	0.107	0.003
5	3	0.098	935.3	11.1	9.008	-10.234	1.092	0.081	0.107	0.008
6	3	0.098	935.3	11.1	15.008	-10.234	1.092	0.136	0.107	0.013
7	3	0.098	935.3	11.1	21.008	-10.234	1.092	0.190	0.107	0.019
8	2	0.098	1075.2	11.1	-14.992	-4.234	1.038	0.135	0.102	0.013
9	1	0.098	1229.8	11.1	-8.992	-4.234	1.038	0.081	0.102	0.008
10	1	0.098	1229.8	11.1	-2.992	-4.234	1.038	0.027	0.102	0.003
11	1	0.098	1229.8	11.1	3.008	-4.234	1.038	0.027	0.102	0.003
12	2	0.098	1075.2	11.1	9.008	-4.234	1.038	0.081	0.102	0.008
13	2	0.098	1075.2	11.1	15.008	-4.234	1.038	0.136	0.102	0.013
14	3	0.098	935.3	11.1	21.008	-4.234	1.038	0.190	0.102	0.019
15	2	0.098	1075.2	11.1	-14.992	1.766	1.016	0.135	0.100	0.013
16	1	0.098	1229.8	11.1	-8.992	1.766	1.016	0.081	0.100	0.008
17	1	0.098	1229.8	11.1	-2.992	1.766	1.016	0.027	0.100	0.003
18	1	0.098	1229.8	11.1	3.008	1.766	1.016	0.027	0.100	0.003
19	3	0.098	935.3	11.1	9.008	1.766	1.016	0.081	0.100	0.008
20	3	0.098	935.3	11.1	15.008	1.766	1.016	0.136	0.100	0.013

21	3	0.098	935.3	11.1	21.008	1.766	1.016	0.190	0.100	0.019
22	2	0.098	1075.2	11.1	-14.992	7.766	1.070	0.135	0.105	0.013
23	1	0.098	1229.8	11.1	-8.992	7.766	1.070	0.081	0.105	0.008
24	1	0.098	1229.8	11.1	-2.992	7.766	1.070	0.027	0.105	0.003
25	2	0.098	1075.2	11.1	3.008	7.766	1.070	0.027	0.105	0.003
26	3	0.098	935.3	11.1	-14.992	13.766	1.124	0.135	0.110	0.013
27	2	0.098	1075.2	11.1	-8.992	13.766	1.124	0.081	0.110	0.008
28	2	0.098	1075.2	11.1	-2.992	13.766	1.124	0.027	0.110	0.003
29	3	0.098	935.3	11.1	3.008	13.766	1.124	0.027	0.110	0.003
Σύνολα			31019.1	320.8						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (c_r)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

F_0	=	1004.56	KN
F_y	=	1382.62	KN
K_p	=	20772.52	KN/m
K_{eff}	=	31019.1	KN/m
$\Sigma E_{D,i}$	=	320.8	KNm
T_{eff}	=	1.88	sec
ξ_{eff}	=	0.171	
η_{eff}	=	0.672	
d_{cd}	=	0.098	m
S_e/g	=	0.112	
$V_d=V_f$	=	3041.1	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r),
κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων
μεταξύ τους

X_{c_r}	=	14.992	m
Y_{c_r}	=	10.234	m
X_{c_m}	=	12.987	m
Y_{c_m}	=	10.554	m
e_y	=	0.320	m
$e_{acc,y}$	=	1.200	m
$e_{tot,y}$	=	1.520	m
r_y	=	13.668	m
r	=	12.320	m

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y

-Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	30818.1	328.69	1.887	0.1697	0.6746
2	0.0987	30951.0	323.45	1.883	0.1708	0.6731
3	0.0983	30996.1	321.69	1.882	0.1711	0.6725
4	0.0981	31011.4	321.11	1.881	0.1712	0.6724
5	0.0981	31016.5	320.91	1.881	0.1712	0.6723

Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.1%

-Προσδιορισμός επιμέρους ιδιοτήτων μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρέψης

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m)	y_i (m)	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{id,y}$ (m)	$d_{id,x}$ (m)
1	3	0.098	935.3	11.1	-14.992	-10.234	1.339	0.231	0.131	0.023
2	2	0.098	1075.2	11.1	-8.992	-10.234	1.203	0.231	0.118	0.023
3	2	0.098	1075.2	11.1	-2.992	-10.234	1.068	0.231	0.105	0.023
4	2	0.098	1075.2	11.1	3.008	-10.234	1.068	0.231	0.105	0.023
5	3	0.098	935.3	11.1	9.008	-10.234	1.204	0.231	0.118	0.023
6	3	0.098	935.3	11.1	15.008	-10.234	1.339	0.231	0.131	0.023

7	3	0.098	935.3	11.1	21.008	-10.234	1.475	0.231	0.145	0.023
8	2	0.098	1075.2	11.1	-14.992	-4.234	1.339	0.096	0.131	0.009
9	1	0.098	1229.8	11.1	-8.992	-4.234	1.203	0.096	0.118	0.009
10	1	0.098	1229.8	11.1	-2.992	-4.234	1.068	0.096	0.105	0.009
11	1	0.098	1229.8	11.1	3.008	-4.234	1.068	0.096	0.105	0.009
12	2	0.098	1075.2	11.1	9.008	-4.234	1.204	0.096	0.118	0.009
13	2	0.098	1075.2	11.1	15.008	-4.234	1.339	0.096	0.131	0.009
14	3	0.098	935.3	11.1	21.008	-4.234	1.475	0.096	0.145	0.009
15	2	0.098	1075.2	11.1	-14.992	1.766	1.339	0.040	0.131	0.004
16	1	0.098	1229.8	11.1	-8.992	1.766	1.203	0.040	0.118	0.004
17	1	0.098	1229.8	11.1	-2.992	1.766	1.068	0.040	0.105	0.004
18	1	0.098	1229.8	11.1	3.008	1.766	1.068	0.040	0.105	0.004
19	3	0.098	935.3	11.1	9.008	1.766	1.204	0.040	0.118	0.004
20	3	0.098	935.3	11.1	15.008	1.766	1.339	0.040	0.131	0.004
21	3	0.098	935.3	11.1	21.008	1.766	1.475	0.040	0.145	0.004
22	2	0.098	1075.2	11.1	-14.992	7.766	1.339	0.175	0.131	0.017
23	1	0.098	1229.8	11.1	-8.992	7.766	1.203	0.175	0.118	0.017
24	1	0.098	1229.8	11.1	-2.992	7.766	1.068	0.175	0.105	0.017
25	2	0.098	1075.2	11.1	3.008	7.766	1.068	0.175	0.105	0.017
26	3	0.098	935.3	11.1	-14.992	13.766	1.339	0.311	0.131	0.030
27	2	0.098	1075.2	11.1	-8.992	13.766	1.203	0.311	0.118	0.030
28	2	0.098	1075.2	11.1	-2.992	13.766	1.068	0.311	0.105	0.030
29	3	0.098	935.3	11.1	3.008	13.766	1.068	0.311	0.105	0.030
Σύνολο			31019.1	320.8						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (c_r)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	1004.56	KN
$F_y=$	1382.62	KN
$K_p=$	20772.52	KN/m
$K_{eff}=$	31019.1	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	320.8	KNm
$T_{eff}=$	1.88	sec
$\xi_{eff}=$	0.171	
$\eta_{eff}=$	0.672	
$d_{cd}=$	0.098	m
$S_e/g=$	0.112	
$V_d=V_f=$	3041.1	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r), κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{cr}=$	14.992	m
$Y_{cr}=$	10.234	m
$X_{cm}=$	12.987	m
$Y_{cm}=$	10.554	m
$e_x=$	2.005	m
$e_{acc,x}=$	1.800	m
$e_{tot,x}=$	3.805	m
$r_x=$	13.668	m
$r=$	12.320	m

Ε) ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Θέση i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
1	0.114	0.053	0.125	0.055	0.135	0.146	0.114	0.135	0.146
2	0.114	0.043	0.122	0.055	0.120	0.132	0.114	0.120	0.132
3	0.114	0.034	0.119	0.055	0.105	0.119	0.114	0.105	0.119
4	0.114	0.034	0.119	0.055	0.106	0.119	0.114	0.106	0.119
5	0.114	0.043	0.122	0.055	0.120	0.132	0.114	0.120	0.132

6	0.114	0.053	0.125	0.055	0.135	0.146	0.114	0.135	0.146
7	0.114	0.062	0.130	0.055	0.150	0.160	0.114	0.150	0.160
8	0.105	0.053	0.117	0.040	0.135	0.141	0.105	0.135	0.141
9	0.105	0.043	0.113	0.040	0.120	0.127	0.105	0.120	0.127
10	0.105	0.034	0.110	0.040	0.105	0.113	0.105	0.105	0.113
11	0.105	0.034	0.110	0.040	0.106	0.113	0.105	0.106	0.113
12	0.105	0.043	0.113	0.040	0.120	0.127	0.105	0.120	0.127
13	0.105	0.053	0.117	0.040	0.135	0.141	0.105	0.135	0.141
14	0.105	0.062	0.122	0.040	0.150	0.155	0.105	0.150	0.155
15	0.101	0.053	0.114	0.034	0.135	0.139	0.101	0.135	0.139
16	0.101	0.043	0.110	0.034	0.120	0.125	0.101	0.120	0.125
17	0.101	0.034	0.106	0.034	0.105	0.111	0.101	0.105	0.111
18	0.101	0.034	0.106	0.034	0.106	0.111	0.101	0.106	0.111
19	0.101	0.043	0.110	0.034	0.120	0.125	0.101	0.120	0.125
20	0.101	0.053	0.114	0.034	0.135	0.139	0.101	0.135	0.139
21	0.101	0.062	0.118	0.034	0.150	0.154	0.101	0.150	0.154
22	0.110	0.053	0.122	0.049	0.135	0.144	0.110	0.135	0.144
23	0.110	0.043	0.118	0.049	0.120	0.130	0.110	0.120	0.130
24	0.110	0.034	0.115	0.049	0.105	0.116	0.110	0.105	0.116
25	0.110	0.034	0.115	0.049	0.106	0.116	0.110	0.106	0.116
26	0.119	0.053	0.130	0.064	0.135	0.149	0.119	0.135	0.149
27	0.119	0.043	0.127	0.064	0.120	0.136	0.119	0.120	0.136
28	0.119	0.034	0.124	0.064	0.105	0.123	0.119	0.105	0.124
29	0.119	0.034	0.124	0.064	0.106	0.123	0.119	0.106	0.124
Μέγιστα	0.119	0.062	0.130	0.064	0.150	0.160	0.119	0.150	0.160

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Ζ) ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ - ΥΠΟΔΟΜΗΣ

- Έλεγχος ορίων τέμνουσας βάσης σχεδιασμού

$$V_d = \max(V_f, 1.5F_y, V_{d,wind})$$

όπου: V_f η τέμνουσα βάσης από την ανάλυση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

F_y η οριζόντια δύναμη για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος μόνωσης

$V_{d,wind}$ η τέμνουσα βάσης η οποία αντιστοιχεί στην δράση ανέμου σχεδιασμού του κτιρίου

	V_f (KN)	$1.5F_y$ (KN)	$V_{d,wind}$ (KN)	Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού V_d (KN)
Διεύθυνση Χ	3041.1	2073.9	580.0	3041.1
Διεύθυνση Υ	3041.1	2073.9	660.0	3041.1

- Υπολογισμός Τέμνουσας βάσης σχεδιασμού ανωδομής και υποδομής

	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού υποδομής V_d (KN)=	3041.1	3041.1
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού ανωδομής V_d/q (KN)=	3041.1	3041.1

- Καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων σχεδιασμού ανωδομής

Στάθμη	Μάζα m_i	Ύψος h_i	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
--------	------------	------------	-------------	-------------

i	(tn)	(m)	F_i (KN)	ΣF_i (KN)*	F_i (KN)	ΣF_i (KN)*
4	306.78	12.0	831.7	831.7	831.7	831.7
3	458.94	9.0	933.2	1764.9	933.2	1764.9
2	606.70	6.0	822.4	2587.3	822.4	2587.3
1	669.51	3.0	453.8	3041.1	453.8	3041.1
Βάση	695.13	0.0	0.0	3041.1	0.0	3041.1
Σύνολο	2737.06		3041.1		3041.1	

* Αντιστοιχεί στην σεισμική τέμνουσα της στάθμης δηλαδή στο άθροισμα των σεισμικών φορτίων των σταθμών από πάνω προς τα κάτω

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.2 - Ανάλυση με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση

A) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	27270.9	KN	$a_g =$	0.208	g	$q =$	1.00
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_c =$	0.6	sec		
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec		

B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

- Ιδιότητες κάθε τύπου μονωτήρα

Τύπος Μονωτήρα	Τίτλος	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά	
		F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	C (KN*(s/m) ^α)	α
1	LRB1	50.905	1246.52	0.0182	0	0	0	0
2	LRB2	50.905	1026.62	0.0182	0	0	0	0
3	LRB3	50.905	827.66	0.0182	0	0	0	0

- Συντεταγμένες στο καθολικό σύστημα αξόνων και αξονική δύναμη που μεταφέρεται από κάθε μονωτήρα

Θέση i	X_i (m) *	Y_i (m) *	N_{sd} (KN)
1	0	0	629.58
2	6	0	1011.73
3	12	0	1006.9
4	18	0	852.95
5	24	0	545.93
6	30	0	553.46
7	36	0	332.53
8	0	6	991.2
9	6	6	1543.38
10	12	6	1524.05
11	18	6	1375.08
12	24	6	872.77
13	30	6	877.91
14	36	6	547.68
15	0	12	1026.47
16	6	12	1520.15
17	12	12	1511.12

18	18	12	1234.79
19	24	12	512.15
20	30	12	505.4
21	36	12	317.24
22	0	18	965.54
23	6	18	1515.31
24	12	18	1511.59
25	18	18	938.99
26	0	24	609.7
27	6	24	927.59
28	12	24	925.08
29	18	24	584.58
Σύνολα			27270.85

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0800	47994.8	364.93	1.512	0.1891	0.6467
2	0.0758	49012.0	340.25	1.496	0.1922	0.6426
3	0.0745	49344.9	332.72	1.491	0.1931	0.6413
4	0.0742	49449.6	330.41	1.490	0.1934	0.6410
5	0.0740	49482.2	329.69	1.489	0.1935	0.6409

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.2%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{id,x}$ (m)	$d_{id,y}$ (m)
1	3	0.074	1515.8	11.4	-15.049	-10.223	1.093	0.136	0.081	0.010
2	2	0.074	1714.7	11.4	-9.049	-10.223	1.093	0.082	0.081	0.006
3	2	0.074	1714.7	11.4	-3.049	-10.223	1.093	0.028	0.081	0.002
4	2	0.074	1714.7	11.4	2.951	-10.223	1.093	0.027	0.081	0.002
5	3	0.074	1515.8	11.4	8.951	-10.223	1.093	0.081	0.081	0.006
6	3	0.074	1515.8	11.4	14.951	-10.223	1.093	0.135	0.081	0.010
7	3	0.074	1515.8	11.4	20.951	-10.223	1.093	0.190	0.081	0.014
8	2	0.074	1714.7	11.4	-15.049	-4.223	1.038	0.136	0.077	0.010
9	1	0.074	1934.6	11.4	-9.049	-4.223	1.038	0.082	0.077	0.006
10	1	0.074	1934.6	11.4	-3.049	-4.223	1.038	0.028	0.077	0.002
11	1	0.074	1934.6	11.4	2.951	-4.223	1.038	0.027	0.077	0.002
12	2	0.074	1714.7	11.4	8.951	-4.223	1.038	0.081	0.077	0.006
13	2	0.074	1714.7	11.4	14.951	-4.223	1.038	0.135	0.077	0.010
14	3	0.074	1515.8	11.4	20.951	-4.223	1.038	0.190	0.077	0.014
15	2	0.074	1714.7	11.4	-15.049	1.777	1.016	0.136	0.075	0.010
16	1	0.074	1934.6	11.4	-9.049	1.777	1.016	0.082	0.075	0.006
17	1	0.074	1934.6	11.4	-3.049	1.777	1.016	0.028	0.075	0.002
18	1	0.074	1934.6	11.4	2.951	1.777	1.016	0.027	0.075	0.002
19	3	0.074	1515.8	11.4	8.951	1.777	1.016	0.081	0.075	0.006
20	3	0.074	1515.8	11.4	14.951	1.777	1.016	0.135	0.075	0.010

21	3	0.074	1515.8	11.4	20.951	1.777	1.016	0.190	0.075	0.014
22	2	0.074	1714.7	11.4	-15.049	7.777	1.070	0.136	0.079	0.010
23	1	0.074	1934.6	11.4	-9.049	7.777	1.070	0.082	0.079	0.006
24	1	0.074	1934.6	11.4	-3.049	7.777	1.070	0.028	0.079	0.002
25	2	0.074	1714.7	11.4	2.951	7.777	1.070	0.027	0.079	0.002
26	3	0.074	1515.8	11.4	-15.049	13.777	1.125	0.136	0.083	0.010
27	2	0.074	1714.7	11.4	-9.049	13.777	1.125	0.082	0.083	0.006
28	2	0.074	1714.7	11.4	-3.049	13.777	1.125	0.028	0.083	0.002
29	3	0.074	1515.8	11.4	2.951	13.777	1.125	0.027	0.083	0.002
Σύνολο			49496.8	329.4						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	1476.256	KN
$F_y=$	2013.91	KN
$K_p=$	29541.56	KN/m
$K_{eff}=$	49496.8	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	329.4	KNm
$T_{eff}=$	1.49	sec
$\xi_{eff}=$	0.194	
$\eta_{eff}=$	0.641	
$d_{cd}=$	0.074	m
$S_e/g=$	0.134	
$V_d=V_f=$	3661.7	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{cr}=$	15.049	m
$Y_{cr}=$	10.223	m
$X_{cm}=$	12.987	m
$Y_{cm}=$	10.554	m
$e_y=$	0.331	m
$e_{acc,y}=$	1.200	m
$e_{tot,y}=$	1.531	m
$r_y=$	13.712	m
$r=$	12.320	m

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y

-Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανάληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0800	47994.8	364.93	1.512	0.1891	0.6467
2	0.0758	49012.0	340.25	1.496	0.1922	0.6426
3	0.0745	49344.9	332.72	1.491	0.1931	0.6413
4	0.0742	49449.6	330.41	1.490	0.1934	0.6410
5	0.0740	49482.2	329.69	1.489	0.1935	0.6409

Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.2%

-Προσδιορισμός επιμέρους ιδιοτήτων μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρέψης

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m)	y_i (m)	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{id,y}$ (m)	$d_{id,x}$ (m)
1	3	0.074	1515.8	11.4	-15.049	-10.223	1.344	0.234	0.099	0.017
2	2	0.074	1714.7	11.4	-9.049	-10.223	1.207	0.234	0.089	0.017
3	2	0.074	1714.7	11.4	-3.049	-10.223	1.070	0.234	0.079	0.017
4	2	0.074	1714.7	11.4	2.951	-10.223	1.067	0.234	0.079	0.017
5	3	0.074	1515.8	11.4	8.951	-10.223	1.205	0.234	0.089	0.017
6	3	0.074	1515.8	11.4	14.951	-10.223	1.342	0.234	0.099	0.017

7	3	0.074	1515.8	11.4	20.951	-10.223	1.479	0.234	0.109	0.017
8	2	0.074	1714.7	11.4	-15.049	-4.223	1.344	0.097	0.099	0.007
9	1	0.074	1934.6	11.4	-9.049	-4.223	1.207	0.097	0.089	0.007
10	1	0.074	1934.6	11.4	-3.049	-4.223	1.070	0.097	0.079	0.007
11	1	0.074	1934.6	11.4	2.951	-4.223	1.067	0.097	0.079	0.007
12	2	0.074	1714.7	11.4	8.951	-4.223	1.205	0.097	0.089	0.007
13	2	0.074	1714.7	11.4	14.951	-4.223	1.342	0.097	0.099	0.007
14	3	0.074	1515.8	11.4	20.951	-4.223	1.479	0.097	0.109	0.007
15	2	0.074	1714.7	11.4	-15.049	1.777	1.344	0.041	0.099	0.003
16	1	0.074	1934.6	11.4	-9.049	1.777	1.207	0.041	0.089	0.003
17	1	0.074	1934.6	11.4	-3.049	1.777	1.070	0.041	0.079	0.003
18	1	0.074	1934.6	11.4	2.951	1.777	1.067	0.041	0.079	0.003
19	3	0.074	1515.8	11.4	8.951	1.777	1.205	0.041	0.089	0.003
20	3	0.074	1515.8	11.4	14.951	1.777	1.342	0.041	0.099	0.003
21	3	0.074	1515.8	11.4	20.951	1.777	1.479	0.041	0.109	0.003
22	2	0.074	1714.7	11.4	-15.049	7.777	1.344	0.178	0.099	0.013
23	1	0.074	1934.6	11.4	-9.049	7.777	1.207	0.178	0.089	0.013
24	1	0.074	1934.6	11.4	-3.049	7.777	1.070	0.178	0.079	0.013
25	2	0.074	1714.7	11.4	2.951	7.777	1.067	0.178	0.079	0.013
26	3	0.074	1515.8	11.4	-15.049	13.777	1.344	0.315	0.099	0.023
27	2	0.074	1714.7	11.4	-9.049	13.777	1.207	0.315	0.089	0.023
28	2	0.074	1714.7	11.4	-3.049	13.777	1.070	0.315	0.079	0.023
29	3	0.074	1515.8	11.4	2.951	13.777	1.067	0.315	0.079	0.023
Σύνολο			49496.8	329.4						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

F_0	1476.256	KN
F_y	2013.91	KN
K_p	29541.56	KN/m
K_{eff}	49496.8	KN/m
$\Sigma E_{D,i}$	329.4	KNm
T_{eff}	1.49	sec
ξ_{eff}	0.194	
η_{eff}	0.641	
d_{cd}	0.074	m
S_e/g	0.134	
$V_d=V_f$	3661.7	KN

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

X_{cr}	15.049	m
Y_{cr}	10.223	m
X_{cm}	12.987	m
Y_{cm}	10.554	m
e_x	2.062	m
$e_{acc,x}$	1.800	m
$e_{tot,x}$	3.862	m
r_x	13.712	m
r	12.320	m

Ε) ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Θέση i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
1	0.086	0.040	0.095	0.042	0.102	0.111	0.086	0.102	0.111
2	0.086	0.033	0.092	0.042	0.091	0.100	0.086	0.091	0.100
3	0.086	0.026	0.090	0.042	0.080	0.090	0.086	0.080	0.090
4	0.086	0.026	0.090	0.042	0.080	0.090	0.086	0.080	0.090
5	0.086	0.033	0.092	0.042	0.091	0.100	0.086	0.091	0.100

6	0.086	0.040	0.095	0.042	0.102	0.110	0.086	0.102	0.110
7	0.086	0.047	0.098	0.042	0.114	0.121	0.086	0.114	0.121
8	0.079	0.040	0.088	0.030	0.102	0.107	0.079	0.102	0.107
9	0.079	0.033	0.086	0.030	0.091	0.096	0.079	0.091	0.096
10	0.079	0.026	0.083	0.030	0.080	0.085	0.079	0.080	0.085
11	0.079	0.026	0.083	0.030	0.080	0.085	0.079	0.080	0.085
12	0.079	0.033	0.085	0.030	0.091	0.096	0.079	0.091	0.096
13	0.079	0.040	0.088	0.030	0.102	0.107	0.079	0.102	0.107
14	0.079	0.047	0.092	0.030	0.114	0.118	0.079	0.114	0.118
15	0.076	0.040	0.086	0.026	0.102	0.106	0.076	0.102	0.106
16	0.076	0.033	0.083	0.026	0.091	0.095	0.076	0.091	0.095
17	0.076	0.026	0.080	0.026	0.080	0.084	0.076	0.080	0.084
18	0.076	0.026	0.080	0.026	0.080	0.084	0.076	0.080	0.084
19	0.076	0.033	0.083	0.026	0.091	0.094	0.076	0.091	0.094
20	0.076	0.040	0.086	0.026	0.102	0.105	0.076	0.102	0.105
21	0.076	0.047	0.089	0.026	0.114	0.116	0.076	0.114	0.116
22	0.083	0.040	0.092	0.037	0.102	0.109	0.083	0.102	0.109
23	0.083	0.033	0.089	0.037	0.091	0.098	0.083	0.091	0.098
24	0.083	0.026	0.087	0.037	0.080	0.088	0.083	0.080	0.088
25	0.083	0.026	0.087	0.037	0.080	0.088	0.083	0.080	0.088
26	0.090	0.040	0.099	0.048	0.102	0.113	0.090	0.102	0.113
27	0.090	0.033	0.096	0.048	0.091	0.103	0.090	0.091	0.103
28	0.090	0.026	0.094	0.048	0.080	0.093	0.090	0.080	0.094
29	0.090	0.026	0.094	0.048	0.080	0.093	0.090	0.080	0.094
Μέγιστα	0.090	0.047	0.099	0.048	0.114	0.121	0.090	0.114	0.121

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Z) ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΩΔΟΜΗΣ - ΥΠΟΔΟΜΗΣ

- Έλεγχος ορίων τέμνουσας βάσης σχεδιασμού

$$V_d = \max(V_f, 1.5F_y, V_{d,wind})$$

όπου: V_f η τέμνουσα βάσης από την ανάλυση του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

F_y η οριζόντια δύναμη για την πλήρη ενεργοποίηση του συστήματος μόνωσης

$V_{d,wind}$ η τέμνουσα βάσης η οποία αντιστοιχεί στην δράση ανέμου σχεδιασμού του κτιρίου

	V_f (KN)	$1.5F_y$ (KN)	$V_{d,wind}$ (KN)	Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού V_d (KN)
Διεύθυνση Χ	3661.7	3020.9	580.0	3661.7
Διεύθυνση Υ	3661.7	3020.9	660.0	3661.7

- Υπολογισμός Τέμνουσας βάσης σχεδιασμού ανωδομής και υποδομής

	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού υποδομής V_d (KN)=	3661.7	3661.7
Τέμνουσα βάσης σχεδιασμού ανωδομής V_d/q (KN)=	3661.7	3661.7

- Καθ' ύψος κατανομή σεισμικών φορτίων σχεδιασμού ανωδομής

Στάθμη	Μάζα m_i	Ύψος h_i	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
--------	------------	------------	-------------	-------------

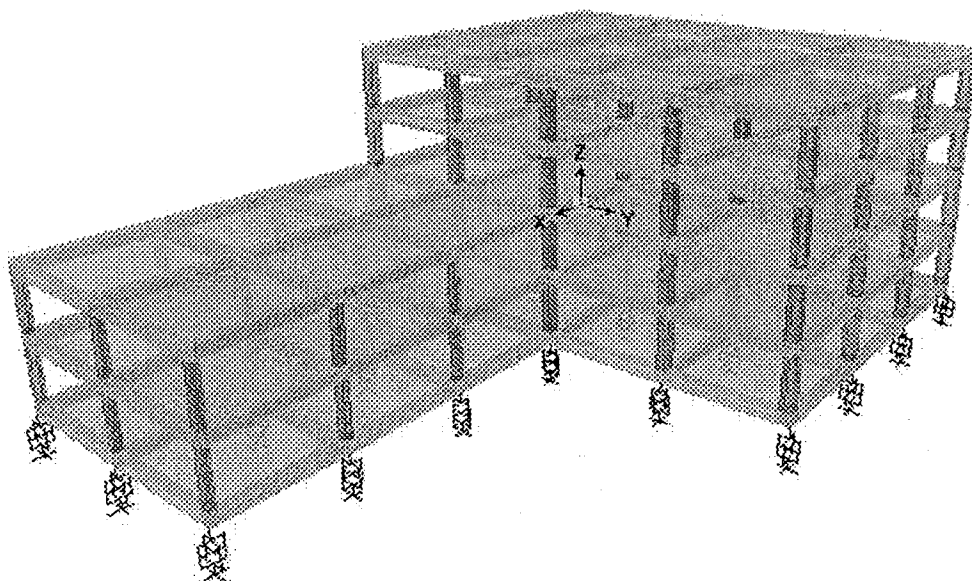
i	(tn)	(m)	F_i (KN)	ΣF_i (KN)*	F_i (KN)	ΣF_i (KN)*
4	306.78	12.0	1001.4	1001.4	1001.4	1001.4
3	458.94	9.0	1123.6	2125.1	1123.6	2125.1
2	606.70	6.0	990.3	3115.3	990.3	3115.3
1	669.51	3.0	546.4	3661.7	546.4	3661.7
Βάση	695.13	0.0	0.0	3661.7	0.0	3661.7
Σύνολο	2737.06		3661.7		3661.7	

* Αντιστοιχεί στην σεισμική τέμνουσα της στάθμης δηλαδή στο άθροισμα των σεισμικών φορτίων των σταθμών από πάνω προς τα κάτω

3.5 Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Για την μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκαν 7 τριάδες τροποποιημένων φυσικών επιταχυνσιογραφημάτων. Τα χρησιμοποιούμενα επιταχυνσιογραφήματα καθώς και ο έλεγχος συμβατότητας τους με το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α του παρόντος τεύχους.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιείται με απ'ευθείας εν χρόνω ολοκλήρωση της μη-γραμμικής εξίσωσης κίνησης. Λαμβάνεται υπόψη η μη-γραμμική συμπεριφορά των σεισμικών μονωτήρων μέσω κατάλληλου διγραμμικού υστερητικού μοντέλου (μοντέλο Bouc-Wen) με ομαλή μετάβαση από τον ελαστικό στον μετελαστικό κλάδο. Το υστερητικό μοντέλο προσομοίωσης των μονωτήρων λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο οριζόντιων διευθύνσεων. Η υποδομή θεωρείται απαραμόρφωτη και δεν λαμβάνεται υπόψη στην προσομοίωση. Η ανωδομή θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ελαστικά και προσομοιώνεται μέσω γραμμικών ελαστικών ραβδωτών στοιχείων λαμβάνοντας υπόψη την αρηγμάτωση δυσκαμψία των αντίστοιχων μελών της κατασκευής (δυσκαμψία σταδίου Ι).



Σχήμα 2.4. Προσομοίωμα κατασκευής για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SAP200NL μέσω κατάλληλου προσομοιώματος της ανωδομής και του συστήματος σεισμικής μόνωσης (Σχήμα 3.4). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μη-γραμμικής ιδιομορφικής ανάλυσης (Fast Non-Linear Analysis ή FNA) κατά την

οποία το γραμμικό μέρος της κατασκευής (ανωδομή) προσομοιώνεται μέσω ικανού αριθμού ιδιομορφών ενώ λαμβάνεται υπόψη ο μη-γραμμικός νόμος του μη-γραμμικού μέρους της κατασκευής (μονωτήρες). Περισσότερα στοιχεία για αυτή τη μέθοδο ανάλυσης δίνονται στην Παράγραφο 1.3 του παρόντος τεύχους.

Για το κάθε εξεταζόμενο μέγεθος (εντατικό μέγεθος ή μετακινησιακό μέγεθος) η τιμή σχεδιασμού προκύπτει ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων μεγίστων μεγεθών των 7 σεισμών.

Πραγματοποιούνται δύο ομάδες αναλύσεων, η πρώτη ομάδα γίνεται με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση κάτω ορίου) ενώ η δεύτερη ομάδα γίνεται με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση άνω ορίου). Κάθε ομάδα αναλύσεων αποτελείται από 4 αναλύσεις, η κάθε μία εκ των οποίων εξετάζει μια περίπτωση της τυχηματικής εκκεντρότητας των μαζών των σταθμών της κατασκευής όπως ορίζεται στην παράγραφο 3.3.1 του ΕΑΚ 2000 (εκκεντρότητα κατά +x, -x, +y, -y αντίστοιχα). Λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη θέση της τυχηματικής εκκεντρότητας για το κάθε εξεταζόμενο μέγεθος.

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.6(4) του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» εφαρμόζονται για τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας τα κάτω όρια που προκύπτουν από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Συγκεκριμένα εξετάζονται οι λόγοι της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} και της τέμνουσας βάσης V_d όπως προκύπτουν από την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη d_{cf} και V_f όπως προκύπτουν από την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.

A) Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση X:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.101\text{m} / 0.098\text{m} = 1.03 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 3085.1\text{KN} / 3041.1\text{KN} = 1.01 \geq 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Y:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.093\text{m} / 0.098\text{m} = 0.95 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 2916.9\text{KN} / 3041.1\text{KN} = 0.96 \geq 0.80\end{aligned}$$

B) Ανάλυση για τις ΑΤΠΣ

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση X:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.075\text{m} / 0.074\text{m} = 1.01 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 3627.9\text{KN} / 3661.7\text{KN} = 0.99 \geq 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Y:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.072\text{m} / 0.074\text{m} = 0.97 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 3575.9\text{KN} / 3661.7\text{KN} = 0.98 \geq 0.80\end{aligned}$$

Κατά συνέπεια δεν απαιτείται επαύξηση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής. Επιπλέον παρατηρείται πολύ μικρή απόκλιση των αποτελεσμάτων της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος και της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας, η οποία είναι της τάξης του 5% για τις μετακινήσεις σχεδιασμού και 4% για τις τέμνουσες σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρονοϊστορίας για τα μετακινησιακά και τα εντατικά μεγέθη των σεισμικών μονωτήρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7 για την ανάλυση με τις ΚΤΠΣ και στον Πίνακα 3.8 για την ανάλυση με τις ΑΤΠΣ. Επιπλέον στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι τέμνουσες βάσης και οι τέμνουσες ορόφων για την ανάλυση με τις ΚΤΠΣ και την ανάλυση με τις ΑΤΠΣ. Στα Σχήματα 3.5 έως 3.8 παρουσιάζονται ενδεικτικές χρονοϊστορίες για δύο μονωτήρες του κτιρίου. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται διαγράμματα Δύναμης-Μετακίνησης των μονωτήρων στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, από τα οποία είναι φανερό η αλληλεπίδραση των δύο διευθύνσεων, καθώς και χρονοϊστορίες μετακίνησης των μονωτήρων.

Στάθμη i	Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ				Ανάλυση για τις ΑΤΠΣ			
	Μετακινήσεις κέντρου μάζας σταθμών		Τέμνουσες σταθμών		Μετακινήσεις κέντρου μάζας σταθμών		Τέμνουσες σταθμών	
	d_x (m)	d_y (m)	V_x (KN)	V_y (KN)	d_x (m)	d_y (m)	V_x (KN)	V_y (KN)
Στάθμη 4	0.112	0.109	439	467	0.085	0.087	598	554
Στάθμη 3	0.110	0.108	1061	1023	0.084	0.086	1349	1254
Στάθμη 2	0.108	0.101	1633	1590	0.082	0.080	2067	1935
Στάθμη 1	0.105	0.097	2199	2142	0.079	0.076	2728	2563
Βάση	0.101	0.093	3085	2917	0.075	0.072	3628	3576

Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τις μετακινήσεις στο κέντρο μάζας των σταθμών και τις τέμνουσες σταθμών.

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΚΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών, δυσμενέστερη θέση τυχαμιατικής εκκεντρότητας)								
Μονω- τήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ a_{Ed} $ (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	$ V_{Ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
1	0.102	0.116	0.129	0.003981	118.8	1140.4	101.8	0.004
2	0.102	0.104	0.123	0.003387	419.7	1603.8	116.4	0.003
3	0.102	0.097	0.122	0.003826	145.8	1868.0	116.0	0.002
4	0.102	0.095	0.121	0.004570	81.6	1624.3	115.0	0.002
5	0.101	0.094	0.120	0.004545	281.2	810.6	98.3	0.003
6	0.101	0.094	0.120	0.004207	425.9	681.0	98.2	0.003
7	0.100	0.091	0.118	0.005063	225.8	439.2	96.9	0.004
8	0.102	0.116	0.129	0.003826	31.7	1950.7	120.0	0.003
9	0.103	0.104	0.123	0.001535	139.6	2947.2	135.1	0.002
10	0.103	0.097	0.123	0.001489	180.9	2867.2	134.8	0.001
11	0.103	0.096	0.122	0.001582	251.4	2498.7	134.5	0.001
12	0.102	0.094	0.121	0.002489	586.1	1159.5	115.2	0.002
13	0.102	0.094	0.121	0.002489	815.0	940.8	114.9	0.003
14	0.102	0.092	0.120	0.004260	438.6	656.7	98.2	0.004
15	0.102	0.117	0.131	0.002008	191.2	1861.7	122.0	0.002
16	0.102	0.104	0.123	0.001471	125.6	2914.7	134.7	0.001
17	0.102	0.097	0.122	0.001496	272.8	2749.4	134.3	0.001
18	0.102	0.096	0.122	0.001568	725.6	1743.9	133.9	0.001
19	0.102	0.094	0.121	0.002810	392.0	632.3	98.5	0.002
20	0.102	0.094	0.120	0.002758	414.5	596.3	98.4	0.002
21	0.101	0.093	0.120	0.003643	186.7	447.8	98.0	0.004
22	0.102	0.116	0.133	0.003872	108.0	1823.0	124.0	0.003
23	0.102	0.104	0.124	0.001518	221.2	2809.4	137.9	0.002
24	0.102	0.097	0.122	0.001511	723.4	2299.8	133.9	0.001
25	0.102	0.095	0.121	0.003029	583.6	1294.4	114.7	0.002
26	0.105	0.117	0.138	0.002572	291.2	928.2	108.9	0.003
27	0.106	0.104	0.128	0.001960	508.7	1346.5	122.3	0.003
28	0.106	0.097	0.122	0.001834	664.3	1185.8	117.3	0.002
29	0.105	0.096	0.121	0.002336	316.6	852.5	98.3	0.002

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

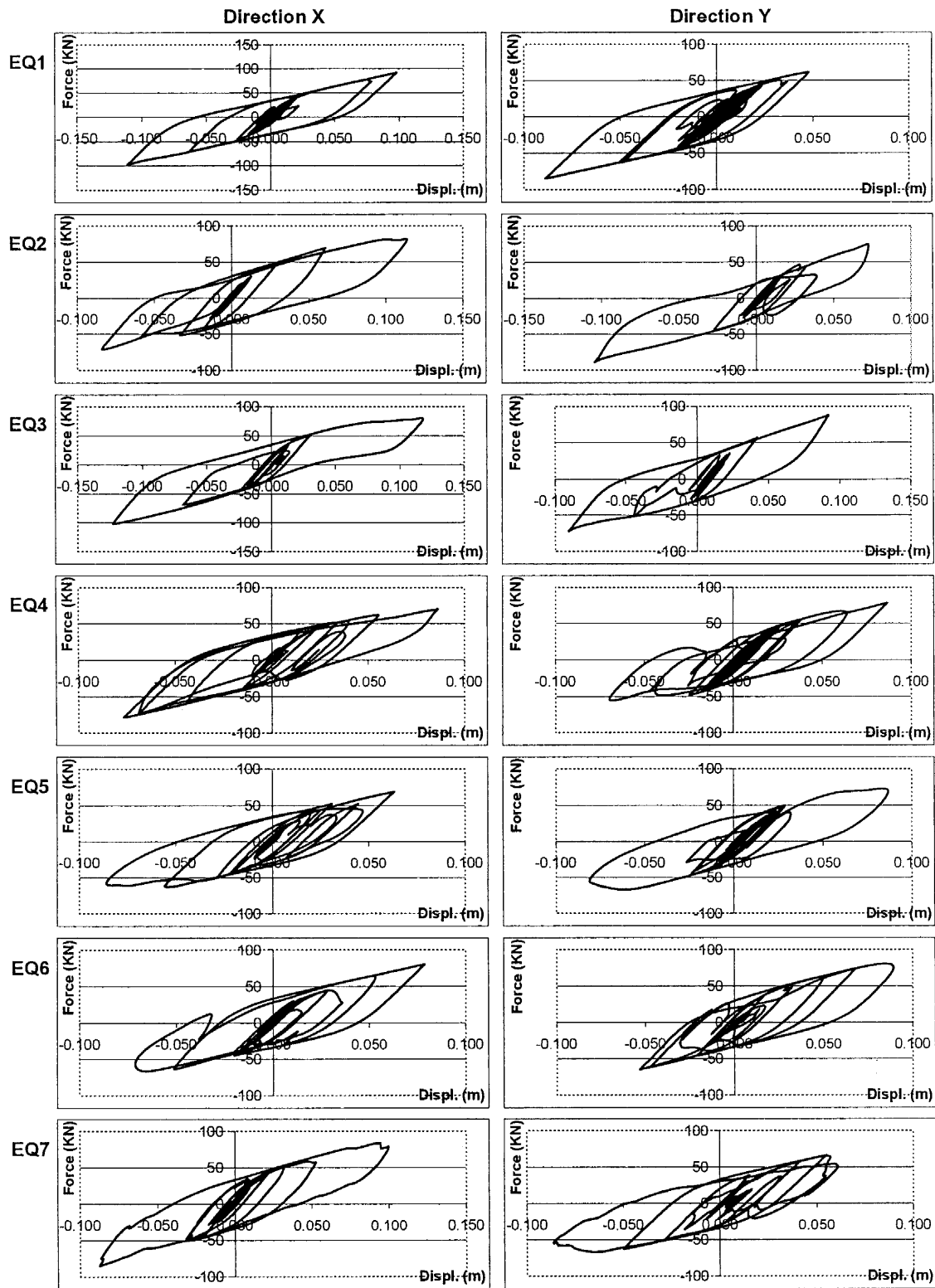
Πίνακας 3.7. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (ανάλυση για τις ΚΤΠΣ).

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΑΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών, δυσμενέστερη θέση τυχαμικής εκκεντρότητας)								
Μονω- τήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ \alpha_{Ei} $ (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	$ V_{Ei} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
1	0.076	0.091	0.102	0.003534	85.5	1173.7	130.4	0.004
2	0.077	0.082	0.093	0.003050	415.4	1608.1	139.8	0.003
3	0.076	0.075	0.089	0.003469	159.0	1854.8	137.8	0.002
4	0.077	0.073	0.089	0.004211	68.3	1637.6	137.4	0.002
5	0.076	0.073	0.089	0.003320	277.3	814.6	120.4	0.003
6	0.076	0.073	0.089	0.003054	434.8	672.1	120.6	0.003
7	0.076	0.071	0.088	0.003626	220.1	444.9	120.5	0.004
8	0.075	0.091	0.101	0.003360	204.4	1778.0	148.9	0.003
9	0.075	0.082	0.093	0.001145	151.2	2935.6	160.1	0.002
10	0.075	0.075	0.089	0.001117	104.2	2943.9	157.6	0.001
11	0.075	0.074	0.089	0.001251	252.6	2497.5	157.6	0.001
12	0.075	0.073	0.089	0.001350	579.8	1165.8	138.1	0.002
13	0.075	0.073	0.089	0.001360	814.0	941.8	138.1	0.003
14	0.075	0.072	0.089	0.003028	447.7	647.7	120.7	0.004
15	0.075	0.092	0.101	0.001548	191.8	1861.1	150.2	0.002
16	0.075	0.082	0.095	0.001084	55.3	2985.0	161.8	0.001
17	0.075	0.075	0.090	0.001121	295.1	2727.2	157.4	0.001
18	0.075	0.074	0.089	0.001212	715.5	1754.1	157.4	0.001
19	0.075	0.073	0.089	0.001541	390.6	633.7	120.7	0.002
20	0.075	0.072	0.089	0.001553	408.8	602.0	120.8	0.002
21	0.075	0.072	0.089	0.002192	191.5	443.0	120.6	0.004
22	0.075	0.091	0.103	0.003310	99.1	1831.9	151.9	0.003
23	0.075	0.082	0.096	0.001112	132.5	2898.1	164.7	0.002
24	0.075	0.075	0.092	0.001140	721.4	2301.8	158.9	0.001
25	0.075	0.073	0.088	0.002571	558.1	1319.9	137.8	0.002
26	0.081	0.091	0.108	0.001966	264.2	955.2	135.1	0.003
27	0.081	0.082	0.100	0.001442	496.5	1358.7	147.5	0.003
28	0.081	0.075	0.095	0.001415	639.3	1210.8	142.1	0.002
29	0.081	0.074	0.091	0.001847	287.6	881.5	121.6	0.002

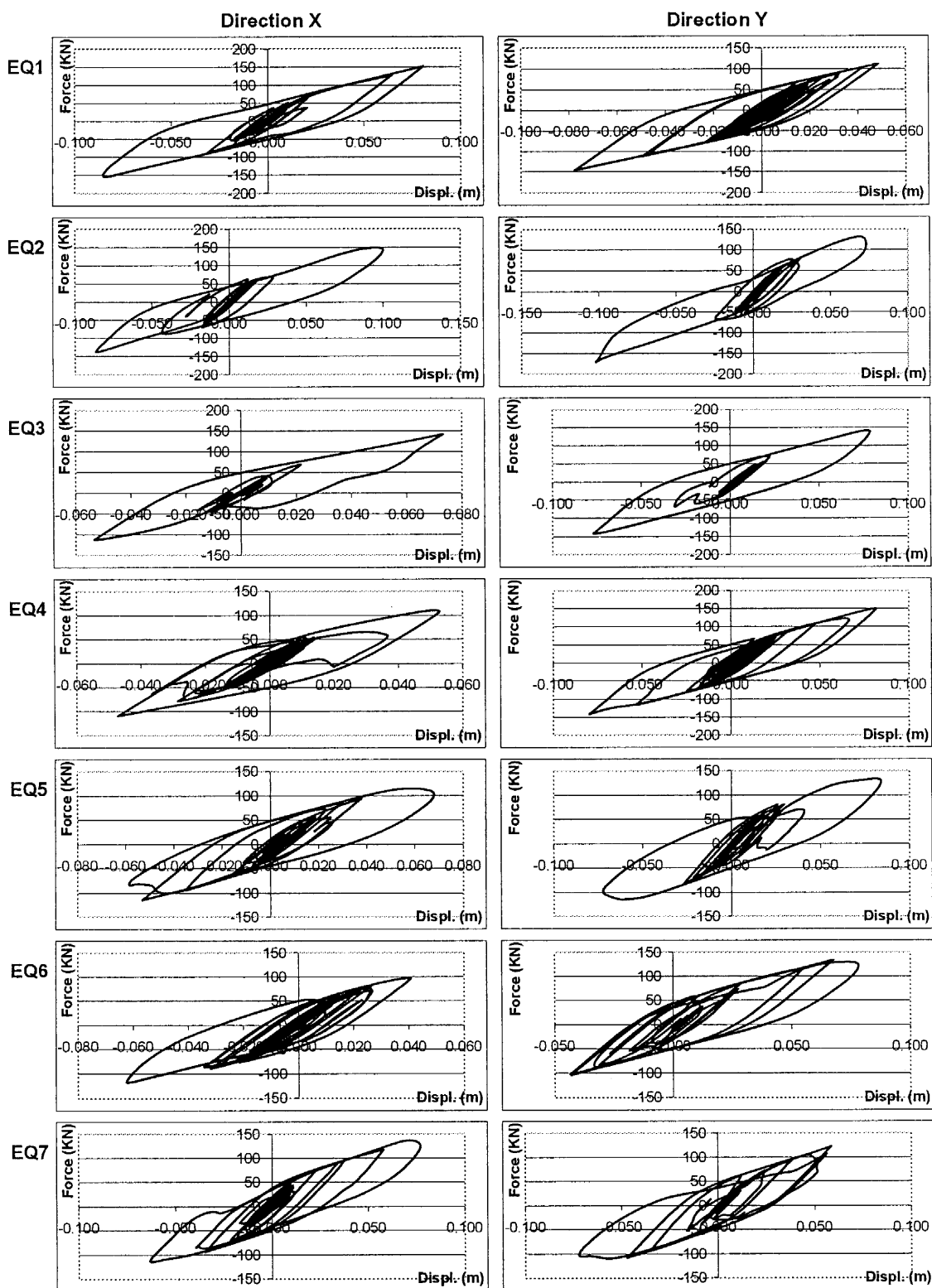
* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

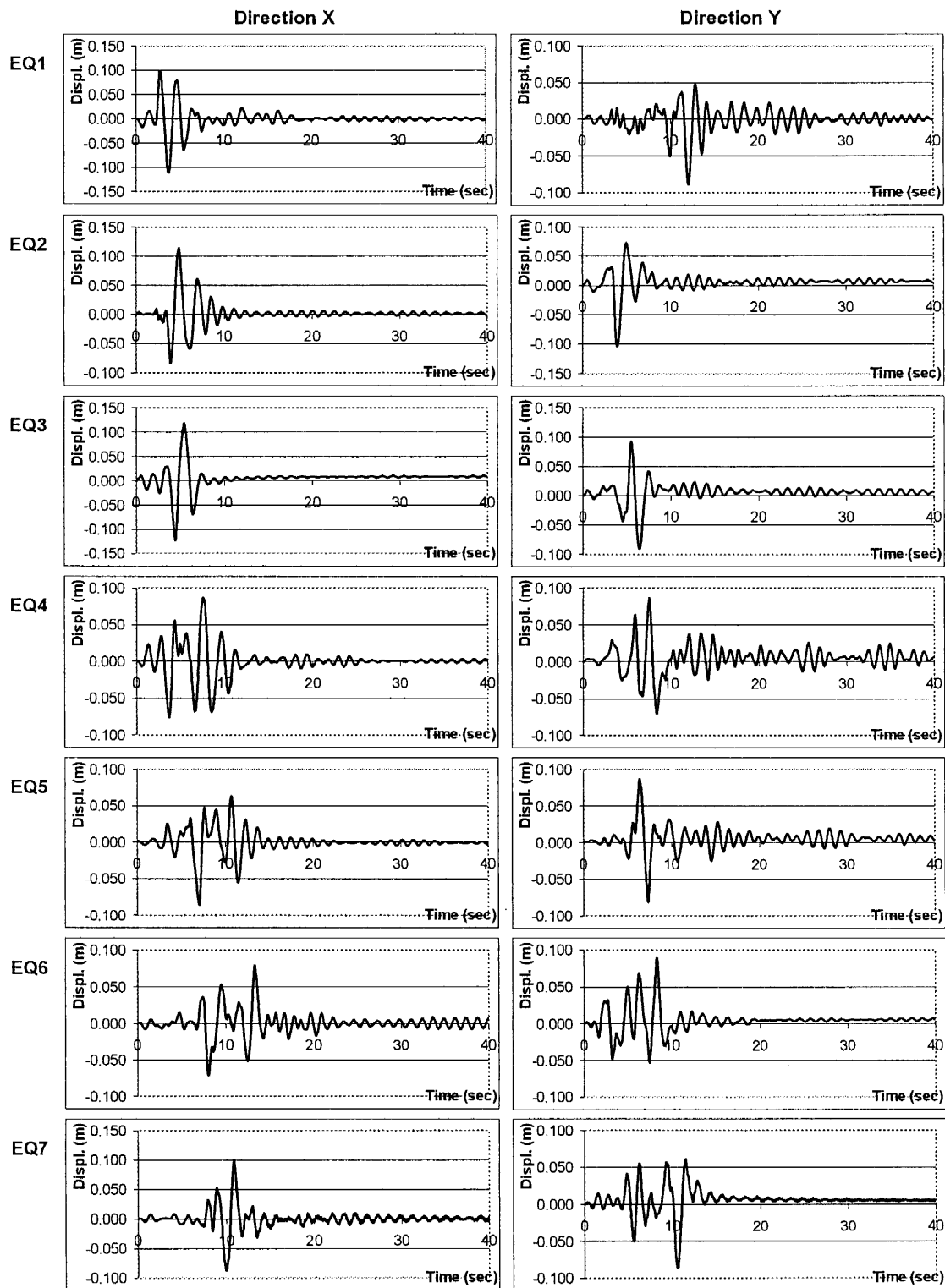
Πίνακας 3.8. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (ανάλυση για τις ΑΤΠΣ).



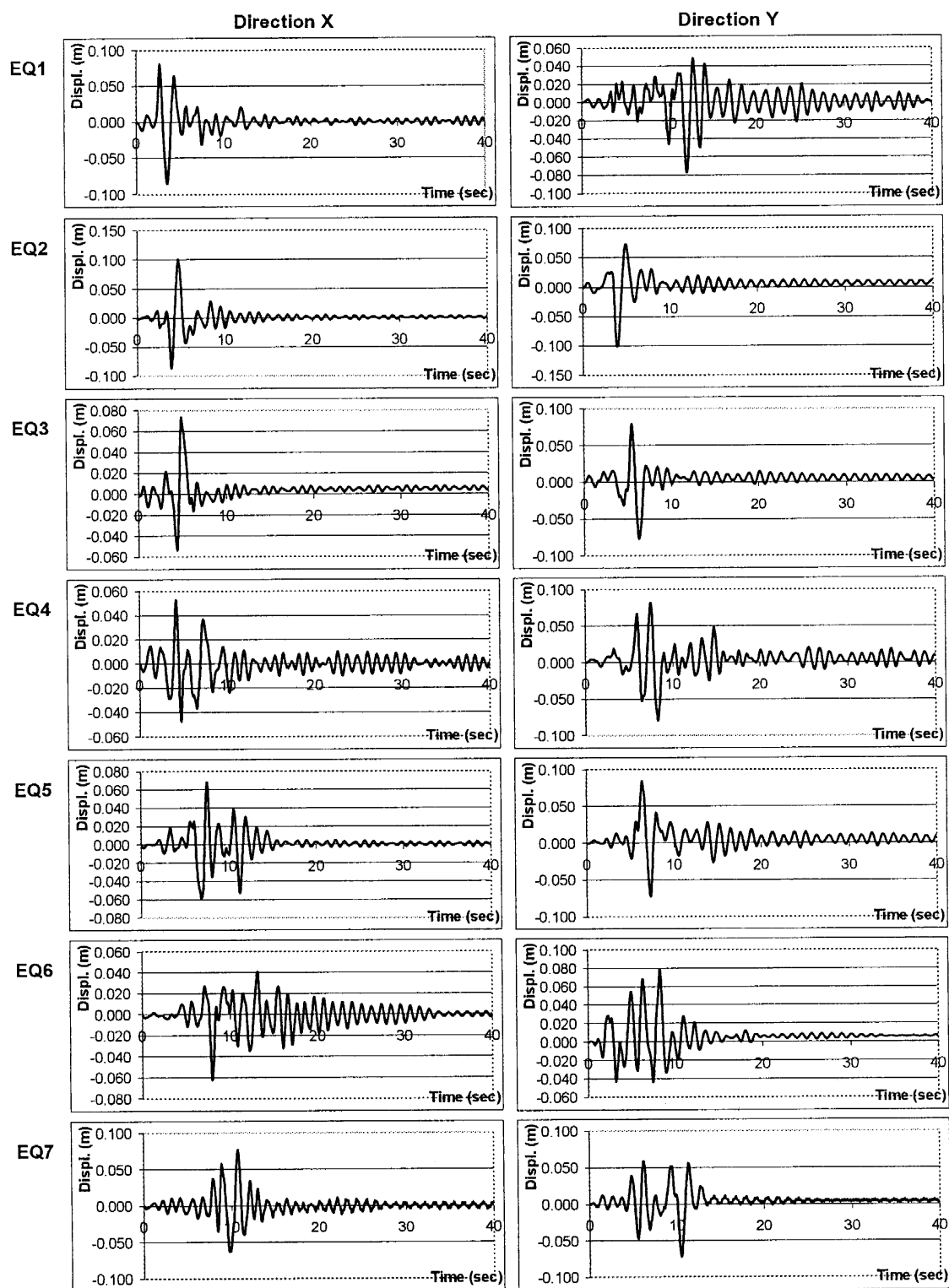
Σχήμα 3.5. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης του μονωτήρα 7 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά +x.



Σχήμα 3.6. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης του μονωτήρα 9 από την δυναμική ανάλυση ιστορίας για τις ΑΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά -x.



Σχήμα 3.7. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα 7 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά +x.



Σχήμα 3.8. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα 9 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΑΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά -x.

3.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Για το εξεταζόμενο κτίριο η ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, σύμφωνα με την παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική Μόνωση», κυρίως λόγω της μη κανονικότητας του κτιρίου. Τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης όσον αφορά τις μετακινήσεις των μονωτήρων. Με την σύγκριση αυτή θα ελεγχθεί η ακρίβεια της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος στην εκτίμηση των μετακινήσεων των μονωτήρων μη κανονικών κτιρίων. Συγκεκριμένα θα εξεταστεί η επίδραση της εκκεντρότητας μεταξύ κέντρου μάζας ανωδομής και κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην αύξηση της μετακίνησης των μονωτήρων.

Στον Πίνακα 3.9 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης και των αποτελεσμάτων της μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων για τις αναλύσεις με τις ΚΤΠΣ. Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ. Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα (όπου το πρόσημο + στις αποκλίσεις δηλώνει ότι τα αποτελέσματα της Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος προκύπτουν μεγαλύτερα σε σχέση με την Μη Γραμμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας):

- Η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων, όπως φαίνεται και από την προηγούμενη παράγραφο, είναι μικρή για την μετακίνηση σχεδιασμού στο κέντρο δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης και για την τέμνουσα βάσης (της τάξης του 5%).
- Από την άλλη η απόκλιση είναι μεγαλύτερη για τις μετακινήσεις των μεμονωμένων μονωτήρων, όπως φαίνεται από τους Πίνακες 3.9 και 3.10, έως +13% για τις μετακινήσεις στην διεύθυνση x και έως +40% για τις μετακινήσεις στην διεύθυνση y . Επιπλέον οι αποκλίσεις αυτές αυξάνουν καθώς αυξάνει η απόσταση του μονωτήρα από το κέντρο δυσκαμψίας. Κατά συνέπεια συμπεραίνεται ότι η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος υπερεκτιμάει σημαντικά την επίδραση της εκκεντρότητας μεταξύ του κέντρου μάζας της ανωδομής και του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην αύξηση των μετακινήσεων των μονωτήρων λόγω στρεπτικής κίνησης της ανωδομής για την περίπτωση μη κανονικών κτιρίων σε κάτοψη όπου η εκκεντρότητα αυτή μπορεί να είναι σημαντική. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την σχετική διάταξη της παράγραφου 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική Μόνωση» σχετικά με το πεδίο εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για την μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης μη κανονικών κτιρίων.

Μονω- τήρας	d _x (m)			d _y (m)			d (m) *		
	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)
1	0.102	0.114	0.90	0.116	0.135	0.85	0.129	0.146	0.89
2	0.102	0.114	0.90	0.104	0.120	0.86	0.123	0.132	0.93
3	0.102	0.114	0.90	0.097	0.105	0.92	0.122	0.119	1.03
4	0.102	0.114	0.89	0.095	0.106	0.90	0.121	0.119	1.02
5	0.101	0.114	0.88	0.094	0.120	0.78	0.120	0.132	0.91
6	0.101	0.114	0.88	0.094	0.135	0.69	0.120	0.146	0.82
7	0.100	0.114	0.88	0.091	0.150	0.60	0.118	0.160	0.74
8	0.102	0.105	0.98	0.116	0.135	0.86	0.129	0.141	0.92
9	0.103	0.105	0.98	0.104	0.120	0.86	0.123	0.127	0.97
10	0.103	0.105	0.98	0.097	0.105	0.92	0.123	0.113	1.09
11	0.103	0.105	0.98	0.096	0.106	0.91	0.122	0.113	1.09
12	0.102	0.105	0.98	0.094	0.120	0.78	0.121	0.127	0.96
13	0.102	0.105	0.98	0.094	0.135	0.69	0.121	0.141	0.86
14	0.102	0.105	0.97	0.092	0.150	0.61	0.120	0.155	0.77
15	0.102	0.101	1.01	0.117	0.135	0.87	0.131	0.139	0.94
16	0.102	0.101	1.01	0.104	0.120	0.87	0.123	0.125	0.98
17	0.102	0.101	1.01	0.097	0.105	0.92	0.122	0.111	1.11
18	0.102	0.101	1.01	0.096	0.106	0.91	0.122	0.111	1.10
19	0.102	0.101	1.01	0.094	0.120	0.78	0.121	0.125	0.97
20	0.102	0.101	1.01	0.094	0.135	0.69	0.120	0.139	0.86
21	0.101	0.101	1.00	0.093	0.150	0.62	0.120	0.154	0.78
22	0.102	0.110	0.92	0.116	0.135	0.86	0.133	0.144	0.93
23	0.102	0.110	0.92	0.104	0.120	0.87	0.124	0.130	0.96
24	0.102	0.110	0.92	0.097	0.105	0.92	0.122	0.116	1.05
25	0.102	0.110	0.92	0.095	0.106	0.90	0.121	0.116	1.04
26	0.105	0.119	0.88	0.117	0.135	0.86	0.138	0.149	0.92
27	0.106	0.119	0.89	0.104	0.120	0.86	0.128	0.136	0.94
28	0.106	0.119	0.89	0.097	0.105	0.92	0.122	0.124	0.98
29	0.105	0.119	0.88	0.096	0.106	0.91	0.121	0.124	0.97
max	0.106	0.119	1.014	0.117	0.150	0.918	0.138	0.160	1.106
min	0.100	0.101	0.877	0.091	0.105	0.604	0.118	0.111	0.737

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

Πίνακας 3.9. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΚΤΠΣ).

Μονω- τήρας	$ d_x $ (m)			$ d_y $ (m)			d (m) *		
	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)
1	0.076	0.086	0.89	0.091	0.102	0.89	0.102	0.111	0.92
2	0.077	0.086	0.89	0.082	0.091	0.90	0.093	0.100	0.93
3	0.076	0.086	0.89	0.075	0.080	0.94	0.089	0.090	0.99
4	0.077	0.086	0.89	0.073	0.080	0.92	0.089	0.090	0.99
5	0.076	0.086	0.88	0.073	0.091	0.80	0.089	0.100	0.89
6	0.076	0.086	0.88	0.073	0.102	0.71	0.089	0.110	0.81
7	0.076	0.086	0.88	0.071	0.114	0.63	0.088	0.121	0.73
8	0.075	0.079	0.95	0.091	0.102	0.89	0.101	0.107	0.94
9	0.075	0.079	0.95	0.082	0.091	0.90	0.093	0.096	0.97
10	0.075	0.079	0.95	0.075	0.080	0.94	0.089	0.085	1.05
11	0.075	0.079	0.95	0.074	0.080	0.93	0.089	0.085	1.05
12	0.075	0.079	0.95	0.073	0.091	0.80	0.089	0.096	0.93
13	0.075	0.079	0.95	0.073	0.102	0.71	0.089	0.107	0.84
14	0.075	0.079	0.95	0.072	0.114	0.63	0.089	0.118	0.76
15	0.075	0.076	0.98	0.092	0.102	0.89	0.101	0.106	0.96
16	0.075	0.076	0.99	0.082	0.091	0.90	0.095	0.095	1.00
17	0.075	0.076	0.99	0.075	0.080	0.94	0.090	0.084	1.07
18	0.075	0.076	0.99	0.074	0.080	0.93	0.089	0.084	1.07
19	0.075	0.076	0.99	0.073	0.091	0.80	0.089	0.094	0.94
20	0.075	0.076	0.99	0.072	0.102	0.71	0.089	0.105	0.84
21	0.075	0.076	0.98	0.072	0.114	0.63	0.089	0.116	0.76
22	0.075	0.083	0.90	0.091	0.102	0.89	0.103	0.109	0.95
23	0.075	0.083	0.90	0.082	0.091	0.90	0.096	0.098	0.98
24	0.075	0.083	0.90	0.075	0.080	0.94	0.092	0.088	1.05
25	0.075	0.083	0.90	0.073	0.080	0.92	0.088	0.088	1.01
26	0.081	0.090	0.90	0.091	0.102	0.89	0.108	0.113	0.95
27	0.081	0.090	0.90	0.082	0.091	0.90	0.100	0.103	0.97
28	0.081	0.090	0.90	0.075	0.080	0.93	0.095	0.094	1.01
29	0.081	0.090	0.90	0.074	0.080	0.92	0.091	0.094	0.97
max	0.081	0.090	0.987	0.092	0.114	0.938	0.108	0.121	1.074
min	0.075	0.076	0.882	0.071	0.080	0.628	0.088	0.084	0.731

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

Πίνακας 3.10. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΑΤΠΣ).

3.7 Έλεγχοι επάρκειας εφεδράνων

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου ελέγχονται με βάση τις σχέσεις που παρέχονται στην παράγραφο 6.2.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου αντιμετωπίζονται ως απλά κυκλικά ελαστομεταλλικά εφέδρανα επειδή α) η διάσταση του πυρήνα μολύβδου αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της επιφάνειας της κάτοψης (μικρότερο από 2% στην συγκεκριμένη περίπτωση), και β) ο πυρήνας μολύβδου παρέχει σχεδόν πλήρη εγκιβωτισμό στις στρώσεις ελαστομερούς λόγω της πολύ μεγαλύτερης δυσκαμψίας του σε σχέση με την δυσκαμψία του ελαστικού (μέτρο διάτμησης μεγαλύτερο κατά 200 φορές). Ως εξωτερική διάμετρος του εφεδράνου για τους ελέγχους επάρκειας λαμβάνεται υπόψη η διάμετρος του συγκολλημένου ελαστικού στα μεταλλικά φύλλα D_e (βλέπε Σχήμα 3.3).

Οι έλεγχοι επάρκειας των εφεδράνων πραγματοποιούνται για τα αποτελέσματα των αναλύσεων ιστορίας με τις ΚΤΠΣ, καθώς για τις τιμές αυτές προκύπτουν οι μεγαλύτερες μετακινήσεις οι οποίες και δίνουν τα πιο δυσμενή αποτελέσματα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω έλεγχοι αφορούν τις σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού. Σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» για τις μη σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού έχει εφαρμογή το EN 1337-3.

ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.2 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Α) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$\varepsilon_{u,k} = 7.0$ $\gamma_{is} = 1.5$
 $\gamma_m = 1.15$
 $E_b = 2000 \text{ MPa}$

Β) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

Τύπος Μονωτήρα	Τίτλος	D_e' (mm)	t_i (mm)	Σt_i (mm)	G_b (MPa)
1	LRB1	530	7	168	0.7
2	LRB2	480	7	168	0.7
3	LRB3	430	7	168	0.7

Γ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	α (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	V_{Ed} (KN)	$d_{o,i}$ (m)	$d_{bi,a}$ (m)	d_{Ed} (m)
1	3	0.129	0.0040	119	1140	101.8	0.004	0.194	0.198
2	2	0.123	0.0034	420	1604	116.4	0.003	0.184	0.187
3	2	0.122	0.0038	146	1868	116.0	0.002	0.184	0.186
4	2	0.121	0.0046	82	1624	115.0	0.002	0.181	0.184
5	3	0.120	0.0045	281	811	98.3	0.003	0.181	0.183
6	3	0.120	0.0042	426	681	98.2	0.003	0.180	0.184
7	3	0.118	0.0051	226	439	96.9	0.004	0.177	0.181
8	2	0.129	0.0038	32	1951	120.0	0.003	0.194	0.197
9	1	0.123	0.0015	140	2947	135.1	0.002	0.185	0.187
10	1	0.123	0.0015	181	2867	134.8	0.001	0.184	0.185
11	1	0.122	0.0016	251	2499	134.5	0.001	0.184	0.185
12	2	0.121	0.0025	586	1159	115.2	0.002	0.182	0.184
13	2	0.121	0.0025	815	941	114.9	0.003	0.181	0.184
14	3	0.120	0.0043	439	657	98.2	0.004	0.180	0.184
15	2	0.131	0.0020	191	1862	122.0	0.002	0.197	0.199
16	1	0.123	0.0015	126	2915	134.7	0.001	0.184	0.186
17	1	0.122	0.0015	273	2749	134.3	0.001	0.184	0.184
18	1	0.122	0.0016	726	1744	133.9	0.001	0.183	0.184
19	3	0.121	0.0028	392	632	98.5	0.002	0.181	0.183
20	3	0.120	0.0028	414	596	98.4	0.002	0.181	0.183
21	3	0.120	0.0036	187	448	98.0	0.004	0.179	0.183
22	2	0.133	0.0039	108	1823	124.0	0.003	0.200	0.203
23	1	0.124	0.0015	221	2809	137.9	0.002	0.186	0.188
24	1	0.122	0.0015	723	2300	133.9	0.001	0.183	0.185
25	2	0.121	0.0030	584	1294	114.7	0.002	0.182	0.184
26	3	0.138	0.0026	291	928	108.9	0.003	0.207	0.210
27	2	0.128	0.0020	509	1347	122.3	0.003	0.192	0.195
28	2	0.122	0.0018	664	1186	117.3	0.002	0.182	0.185
29	3	0.121	0.0023	317	853	98.3	0.002	0.181	0.184
Ακρότατα		0.138	0.0051	32	2947	137.9	0.004	0.207	0.210

Δ) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	S	A_b (m ²)	δ	A_r (m ²)	σ_e (MPa)	ϵ_{sd}	$\epsilon_{c,d}$	$\epsilon_{a,d}$	$\epsilon_{b,d}$
1	3	15.4	0.145	2.19	0.063	18.02	1.18	2.51	0.313	4.00
2	2	17.1	0.181	2.34	0.094	17.14	1.11	2.14	0.332	3.59
3	2	17.1	0.181	2.35	0.094	19.85	1.11	2.48	0.375	3.96
4	2	17.1	0.181	2.36	0.095	17.10	1.09	2.14	0.448	3.68
5	3	15.4	0.145	2.26	0.069	11.77	1.09	1.64	0.357	3.09
6	3	15.4	0.145	2.26	0.069	9.90	1.09	1.38	0.331	2.81
7	3	15.4	0.145	2.27	0.070	6.30	1.08	0.88	0.398	2.35
8	2	17.1	0.181	2.30	0.089	21.88	1.17	2.74	0.375	4.28

9	1	18.9	0.221	2.42	0.124	23.80	1.11	2.69	0.183	3.99
10	1	18.9	0.221	2.43	0.125	23.02	1.10	2.61	0.178	3.89
11	1	18.9	0.221	2.43	0.125	20.02	1.10	2.27	0.189	3.55
12	2	17.1	0.181	2.36	0.095	12.20	1.09	1.53	0.244	2.86
13	2	17.1	0.181	2.36	0.095	9.91	1.09	1.24	0.244	2.58
14	3	15.4	0.145	2.26	0.069	9.55	1.09	1.33	0.335	2.76
15	2	17.1	0.181	2.29	0.088	21.09	1.18	2.64	0.197	4.02
16	1	18.9	0.221	2.42	0.124	23.48	1.11	2.66	0.176	3.94
17	1	18.9	0.221	2.43	0.125	22.01	1.10	2.49	0.179	3.77
18	1	18.9	0.221	2.43	0.125	13.92	1.09	1.58	0.187	2.86
19	3	15.4	0.145	2.26	0.069	9.16	1.09	1.28	0.221	2.59
20	3	15.4	0.145	2.26	0.069	8.65	1.09	1.21	0.217	2.51
21	3	15.4	0.145	2.26	0.069	6.49	1.09	0.91	0.286	2.28
22	2	17.1	0.181	2.27	0.087	21.06	1.21	2.63	0.379	4.22
23	1	18.9	0.221	2.42	0.123	22.84	1.12	2.59	0.181	3.89
24	1	18.9	0.221	2.43	0.125	18.42	1.10	2.09	0.180	3.36
25	2	17.1	0.181	2.357	0.095	13.62	1.09	1.70	0.297	3.09
26	3	15.4	0.145	2.119	0.059	15.86	1.25	2.21	0.202	3.67
27	2	17.1	0.181	2.307	0.090	14.93	1.16	1.87	0.192	3.22
28	2	17.1	0.181	2.351	0.094	12.55	1.10	1.57	0.180	2.85
29	3	15.4	0.145	2.258	0.069	12.42	1.09	1.73	0.184	3.01

Ε) ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	Ανηγγεμένη Διατμητική Παραμόρφωση Λόγω Μετακίνησης			Μέγιστη Ισοδύναμη Διατμητική Παραμόρφωση			Έλεγχος Ευστάθειας					Έλεγχος Εφελκυσμού Εφεδράνου	
		Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	Ποσό-τητα	Όριο	Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	N _{sd,min} (KN) ≥ 0.0	Έλεγχος
		ε _{sd}	≤ 2.0		ε _{b,d}	≤ ε _{u,N} /γ _m		D (mm)	≥ 4Σt	σ _e (MPa)	≤ 2DG _b S/ (3Σt) (MPa)			
1	3	1.18	2	Εντάξει	4.00	6.09	Εντάξει	430	672	18.0	18.3	Εντάξει	118.8	Εντάξει
2	2	1.11	2	Εντάξει	3.59	6.09	Εντάξει	480	672	17.1	22.9	Εντάξει	419.7	Εντάξει
3	2	1.11	2	Εντάξει	3.96	6.09	Εντάξει	480	672	19.9	22.9	Εντάξει	145.8	Εντάξει
4	2	1.09	2	Εντάξει	3.68	6.09	Εντάξει	480	672	17.1	22.9	Εντάξει	81.6	Εντάξει
5	3	1.09	2	Εντάξει	3.09	6.09	Εντάξει	430	672	11.8	18.3	Εντάξει	281.2	Εντάξει
6	3	1.09	2	Εντάξει	2.81	6.09	Εντάξει	430	672	9.9	18.3	Εντάξει	425.9	Εντάξει
7	3	1.08	2	Εντάξει	2.35	6.09	Εντάξει	430	672	6.3	18.3	Εντάξει	225.8	Εντάξει
8	2	1.17	2	Εντάξει	4.28	6.09	Εντάξει	480	672	21.9	22.9	Εντάξει	31.7	Εντάξει
9	1	1.11	2	Εντάξει	3.99	6.09	Εντάξει	530	672	23.8	27.9	Εντάξει	139.6	Εντάξει
10	1	1.10	2	Εντάξει	3.89	6.09	Εντάξει	530	672	23.0	27.9	Εντάξει	180.9	Εντάξει
11	1	1.10	2	Εντάξει	3.55	6.09	Εντάξει	530	672	20.0	27.9	Εντάξει	251.4	Εντάξει
12	2	1.09	2	Εντάξει	2.86	6.09	Εντάξει	480	672	12.2	22.9	Εντάξει	586.1	Εντάξει
13	2	1.09	2	Εντάξει	2.58	6.09	Εντάξει	480	672	9.9	22.9	Εντάξει	815.0	Εντάξει
14	3	1.09	2	Εντάξει	2.76	6.09	Εντάξει	430	672	9.6	18.3	Εντάξει	438.6	Εντάξει
15	2	1.18	2	Εντάξει	4.02	6.09	Εντάξει	480	672	21.1	22.9	Εντάξει	191.2	Εντάξει
16	1	1.11	2	Εντάξει	3.94	6.09	Εντάξει	530	672	23.5	27.9	Εντάξει	125.6	Εντάξει
17	1	1.10	2	Εντάξει	3.77	6.09	Εντάξει	530	672	22.0	27.9	Εντάξει	272.8	Εντάξει
18	1	1.09	2	Εντάξει	2.86	6.09	Εντάξει	530	672	13.9	27.9	Εντάξει	725.6	Εντάξει

19	3	1.09	2	Εντάξει	2.59	6.09	Εντάξει	430	672	9.2	18.3	Εντάξει	392.0	Εντάξει
20	3	1.09	2	Εντάξει	2.51	6.09	Εντάξει	430	672	8.6	18.3	Εντάξει	414.5	Εντάξει
21	3	1.09	2	Εντάξει	2.28	6.09	Εντάξει	430	672	6.5	18.3	Εντάξει	186.7	Εντάξει
22	2	1.21	2	Εντάξει	4.22	6.09	Εντάξει	480	672	21.1	22.9	Εντάξει	108.0	Εντάξει
23	1	1.12	2	Εντάξει	3.89	6.09	Εντάξει	530	672	22.8	27.9	Εντάξει	221.2	Εντάξει
24	1	1.10	2	Εντάξει	3.36	6.09	Εντάξει	530	672	18.4	27.9	Εντάξει	723.4	Εντάξει
25	2	1.09	2	Εντάξει	3.09	6.09	Εντάξει	480	672	13.62	22.86	Εντάξει	583.6	Εντάξει
26	3	1.25	2	Εντάξει	3.67	6.09	Εντάξει	430	672	15.86	18.34	Εντάξει	291.2	Εντάξει
27	2	1.16	2	Εντάξει	3.22	6.09	Εντάξει	480	672	14.93	22.86	Εντάξει	508.7	Εντάξει
28	2	1.10	2	Εντάξει	2.85	6.09	Εντάξει	480	672	12.55	22.86	Εντάξει	664.3	Εντάξει
29	3	1.09	2	Εντάξει	3.01	6.09	Εντάξει	430	672	12.42	18.34	Εντάξει	316.6	Εντάξει

3.8 Έλεγχος ικανότητας επαναφοράς

Ο έλεγχος ικανότητας οριζόντιας επαναφοράς πραγματοποιείται για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις σύμφωνα με την παράγραφο 7.2 του Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση». Οι ιδιότητες του συστήματος σεισμικής μόνωσης F_0 , K_p , d_y αναφέρονται συνολικά για το σύστημα στην εξεταζόμενη κύρια διεύθυνση.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο οδηγιών για τον σχεδιασμό κτιρίων με σεισμική μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.2

A) ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d = 27270.9$ KN $\gamma_{is} = 1.5$

	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
F_0 (KN)	1004.6	1476.3	1004.6	1476.3
K_p (KN/m)	20772.5	29541.6	20772.5	29541.6
d_y (m)	0.0182	0.0182	0.0182	0.0182
d_m (m)	0.210	0.210	0.210	0.210
d_{Ed} (m)	0.106	0.081	0.120	0.092

B) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
d_r (m)	0.048	0.050	0.048	0.050
d_{rm} (m)	0.048	0.050	0.048	0.050
ΔF_m (KN)	2181.1	3101.9	2181.1	3101.9
$d_{a,max}$ (m)	0.159	0.122	0.180	0.138

Γ) ΕΛΕΓΧΟΙ

Διεύθυνση Χ:

ΚΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 2181.114 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 94.201 -> Εντάξει
 d_m (m) = 0.048 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.131 -> Εντάξει

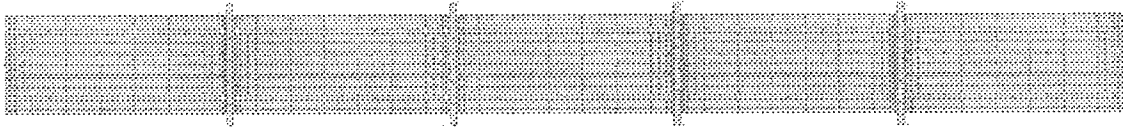
ΑΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 3101.864 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 97.342 -> Εντάξει
 d_m (m) = 0.050 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.149 -> Εντάξει

Διεύθυνση Υ:

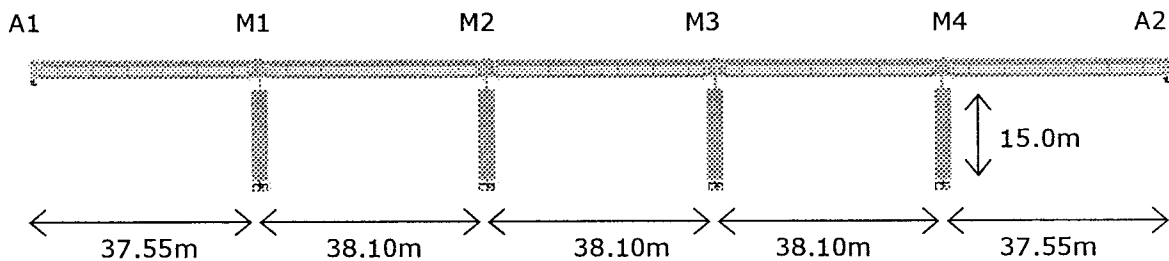
ΚΤΠΣ:	ΔF_m (KN)	=	2181.114	>	$0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN)	=	94.201	->	Εντάξει
	d_m (m)	=	0.048	<	$d_m - 0.5d_{a,max}$ (m)	=	0.120	->	Εντάξει
ΑΤΠΣ:	ΔF_m (KN)	=	3101.864	>	$0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN)	=	97.342	->	Εντάξει
	d_m (m)	=	0.050	<	$d_m - 0.5d_{a,max}$ (m)	=	0.141	->	Εντάξει

4. **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3 - ΓΕΦΥΡΑ 5 ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΗ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΚΑΙ ΞΩΔΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ**

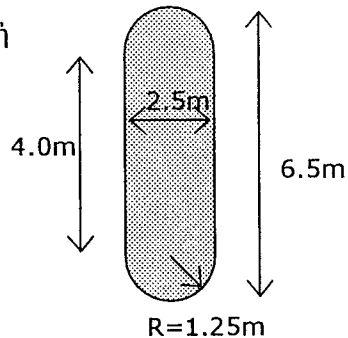
Α) Κάτοψη



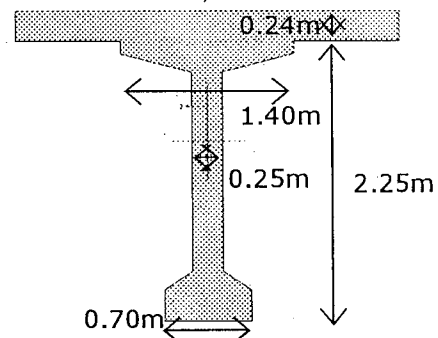
Β) Όψη



Γ) Διατομή κορμού βάθρου



Δ) Διατομή προκατασκευασμένης δοκού



1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

- Ανοίγματα: Πέντε
37.55m+3x38.10m+37.55m
- Συνολικό μήκος: 189.4m
- Ύψος βάθρων: 17.0m
(15m κορμός + 2m κεφαλή)
- Αριθμός προκατασκευασμένων δοκών: 5 δοκοί ανά άνοιγμα
- Απόσταση μεταξύ δοκών: 3.1m
- Πλάκα καταστρώματος: πάχος 24cm

2. ΥΛΙΚΑ

- Προεντεταμένο σκυρόδεμα φορέα καταστρώματος: B45 (DIN 1045)
- Οπλισμένο σκυρόδεμα βάθρων: B35 (DIN 1045)
- Χάλυβας Προέντασης: 1570/1770
- Χάλυβας Οπλισμών: S500

3. ΦΟΡΤΙΑ

Μόνιμα G:

- Ίδιο Βάρος G: $\gamma=25\text{KN/m}^3$

Πρόσθετα Μόνιμα G':

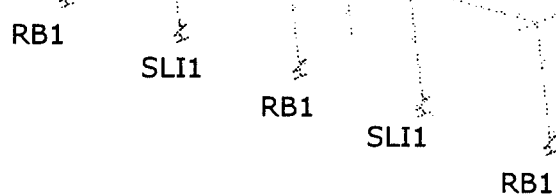
- Πεζοδρόμια: 28.0KN/m
- Ασφαλτικά: 35.0KN/m
- Στηθαία: 1.4KN/m
- Ηχοπετάσματα: 5.0KN/m

Κινητά Φορτία Q:

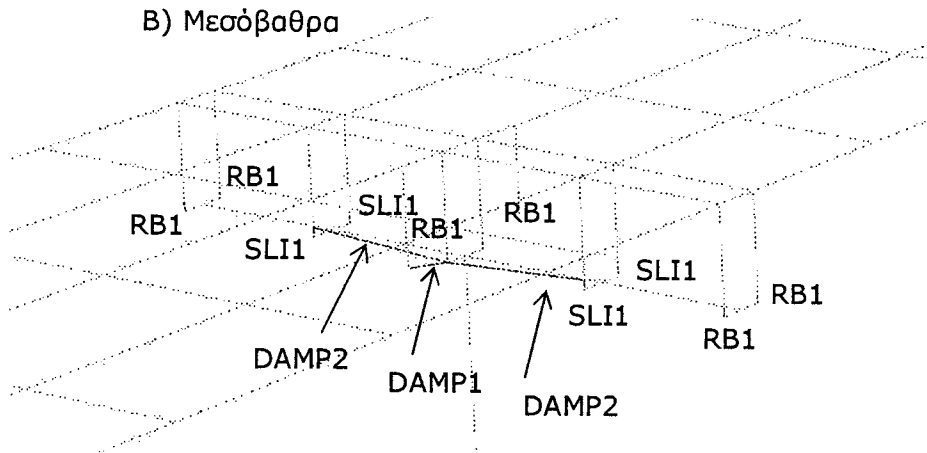
- Κλάση γέφυρας SLW 60/30 (DIN1072)
- Ομοιόμορφα κατανεμημένα κινητά: 45.01KN/m

Σχήμα 4.1 Κάτοψη και όψη γέφυρας - Στοιχεία γεωμετρίας, υλικών και φορτίσεων.

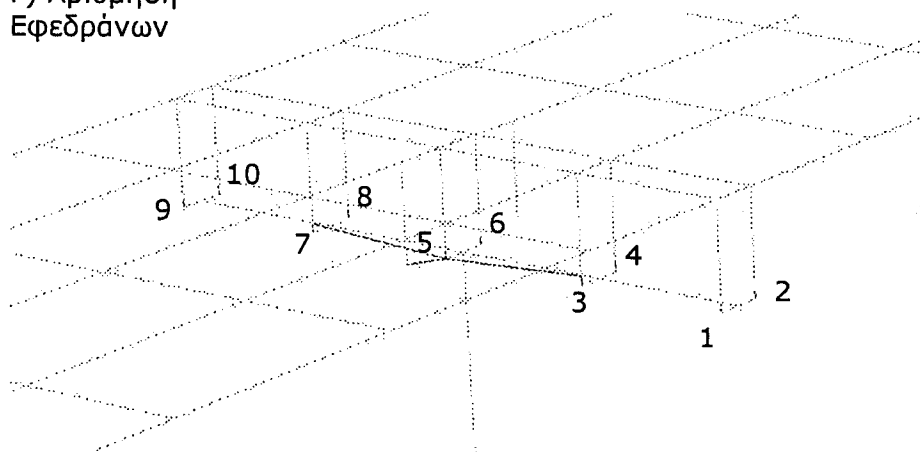
Α) Ακρόβαθρα



Β) Μεσόβαθρα



Γ) Αρίθμηση Εφεδράνων



Σχήμα 4.2. Τυπική διάταξη σεισμικών μονωτήρων στις θέσεις των ακροβάθρων και μεσοβάθρων.

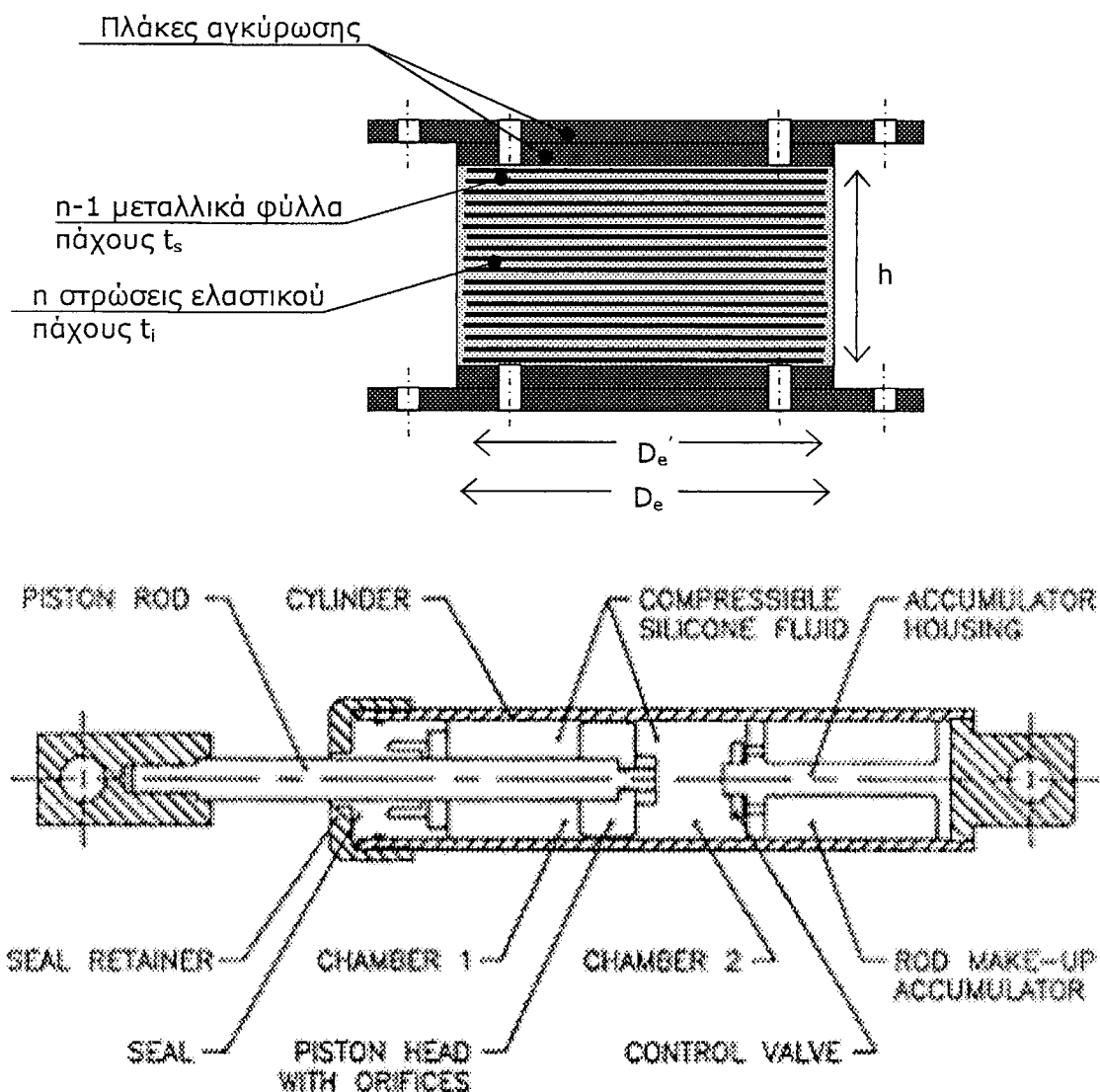
Εφέδρανο	RB1	SLI1				
Γεωμετρία και ιδιότητες υλικών						
Είδος	Ελαστομεταλλικό Εφέδρανο	Ελαστομεταλλικό εφέδρανο ολίσθησης				
Εξωτερική διάμετρος D_e	450mm	450mm				
Εξωτερική διάμετρος ελαστικού συγκολλημένου στα μεταλλικά φύλλα D_e'	430mm	430mm				
Πάχος στρώσεων ελαστομερούς t_i	10 στρώσεις x 11mm = 110mm	10 στρώσεις x 11mm = 110mm				
Φαινόμενο συμβατικό μέτρο διάτμησης G_a *	0.9 MPa	0.9 MPa				
Μέτρο διάτμησης G_b **	$G_b=1.40G_a=1.26MPa$	$G_b=1.40G_a=1.26MPa$				
Ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση ξ_{eff} **	0.05	0 (αγνοείται η απόσβεση ενέργειας)				
Ιδιότητες προσομοιώματος						
	Ονομαστικές Τιμές	Μεταβλητότητα Τιμών	Ονομαστικές Τιμές	Μεταβλητότητα Τιμών		
	DP_{nom}	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	DP_{nom}	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0 (KN)	0	0	0	0	0	0
Ελαστική δυσκαμψία K_p (KN/m)	1822	1822	2733	0	0	0
Μετακίνηση διαρροής d_v (mm)	-			-		

Αποσβεστήρας	DAMP1		DAMP2							
Γεωμετρία και ιδιότητες υλικών										
Είδος	Μη-γραμμικός ιξώδης αποσβεστήρας		Μη-γραμμικός ιξώδης αποσβεστήρας							
Καταστατικός Νόμος	F=CV ^a C=σταθερά απόσβεσης (KN/(m/s) ^a) a=εκθέτης απόσβεσης		F=CV ^a C=σταθερά απόσβεσης (KN/(m/s) ^a) a=εκθέτης απόσβεσης							
Ιδιότητες προσομοιώματος										
	Ονομαστικές Τιμές			Μεταβλητότητα Τιμών	Ονομαστικές Τιμές		Μεταβλητότητα Τιμών			
	DP _{nom}	min DP _{nom}	max DP _{nom}	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	DP _{nom}	min DP _{nom}	max DP _{nom}	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
Σταθερά απόσβεσης C (KN/(m/s) ^a)	1250	1063	1438	1063	1438	625	531	719	531	719
Εκθέτης απόσβεσης a	0.15					0.15				

* Σύμφωνα με την παράγραφο 4.3.1.1 του EN1337-3:2005

** Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.3 (5) του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με σεισμική μόνωση»

Πίνακας 4.1. Ιδιότητες σεισμικών μονωτήρων.



Σχήμα 4.3. Τυπική τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου και υδραυλικού αποσβεστήρα.

Κανονισμοί Αντισεισμικής Μελέτης	
1. Ε39/99 Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών	
2. Προσχέδιο Οδηγίων για μελέτη γεφυρών με σεισμική μόνωση	
Παράμετροι φάσματος σχεδιασμού	
Ζώνη σεισμικής Επικινδυνότητας:	I ($A=0.16g$)
Κατηγορία Σπουδαιότητας:	Σ4 ($\gamma_1=1.30$)
Κατηγορία Εδάφους:	B ($T_1=0.15\text{sec}$, $T_2=T_c=0.60\text{sec}$)
Παράμετροι αντισεισμικής μελέτης	
Συντελεστής συμπεριφοράς ανωδομής q	1.00

Πίνακας 4.2. Κανονισμοί και παράμετροι αντισεισμικής μελέτης.

4.1 Περιγραφή της Γέφυρας

Το παράδειγμα αφορά ευθύγραμμη οδική γέφυρα 5 ανοιγμάτων (37.55m+3x38.10m+37.55) συνολικού μήκους 189.40m και πλάτους 14.45m η οποία είναι σεισμικά μονωμένη με ελαστομεταλλικά εφεδράνα και υδραυλικούς αποσβεστήρες (Σχήμα 4.1, Σχήμα 4.2).

Ο φορέας αποτελείται από πέντε (5) προκατασκευασμένες – προεντεταμένες δοκούς I ύψους 2.25m σε απόσταση 3.10m μεταξύ τους μετρούμενες στον άξονα των εφεδράνων. Το μήκος των δοκών είναι 37.80m. Οι δοκοί κατασκευάζονται από προεντεταμένο σκυρόδεμα B45. Η ανωδομή συμπληρώνεται με πρόπλακες και επί τόπου πλάκα καταστρώματος από έγχυτο σκυρόδεμα B45 συνολικού πάχους 0.24m. Στα άκρα των δοκών (στις θέσεις έδρασης) προβλέπεται κατασκευάζονται εγκάρσιες διαδοκίδες διατομής 0.60m x 1.70m, από χυτό επί τόπου σκυρόδεμα B45. Για την προένταση των προκατασκευασμένων δοκών χρησιμοποιούνται 3 τένοντες ο ένας τύπου 19Φ0.6" και οι άλλοι δύο τύπου 15Φ0.6" ανά δοκό, δηλαδή συνολικά 49 καλώδια διατομής 150mm². Η ποιότητα του χάλυβα προέντασης είναι 1570/1770.

Τα μεσόβαθρα μορφώνονται ολόσωμα από σκυρόδεμα B35 και αποτελούνται από ορθογωνικού σχήματος κορμό με ημικυλινδρικά άκρα, ο οποίος φέρει αμφιπροέχουσα δοκό κεφαλής. Οι κορμοί όλων των μεσοβάθρων είναι συμπαγείς διατομές με μήκος πλευρών 6.50x2.50 όπου οι μεγάλες πλευρές ορίζονται από κύκλο ακτίνας R=1.25m. Η δοκός κεφαλής των βάθρων έχει πλάτος 3.40m και το πάχος της μεταβάλλεται από 1.00m στο άκρο σε 2.00m στη παρειά του βάθρου.

Η διάταξη σεισμικής μόνωσης βασίζεται στη χρήση υδραυλικών αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς, ελαστομεταλλικών εφεδράνων και ελαστομεταλλικών εφεδράνων ολίσθησης. Με τον κατάλληλο συνδυασμό ελαστομεταλλικών εφεδράνων και ελαστομεταλλικών εφεδράνων ολίσθησης επιτυγχάνεται αύξηση της ιδιοπεριόδου του συστήματος ($T_{eff} \sim 2.0 \text{ sec}$) ενώ η χρήση υδραυλικών αποσβεστήρων ιξώδους συμπεριφοράς αυξάνει την απόσβεση του συστήματος ($\xi_{eff} \sim 0.40$). Έτσι επιτυγχάνεται και μείωση της σεισμικής έντασης στη γέφυρα (μετακίνηση σε υψηλότερες τιμές των περιόδων του φάσματος) και περιορισμός των μετακινήσεων (αύξηση της απόσβεσης του συστήματος).

Πιο συγκεκριμένα σε κάθε άνοιγμα της γέφυρας 2 από τις 5 προκατασκευασμένες δοκούς εδράζονται σε ελαστομεταλλικά εφεδράνα με δυνατότητα ολίσθησης (εφεδράνα τύπου SLI1, βλέπε Σχήμα 4.2) και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις και οι υπόλοιπες 3 δοκοί σε ελαστομεταλλικά εφεδράνα (εφεδράνα τύπου RB1, βλέπε Σχήμα 4.2) τα οποία έχουν δυνατότητα παραμόρφωσης και προς τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Σε κάθε άνοιγμα υπάρχουν τρεις υδραυλικοί αποσβεστήρες ένας που ενεργοποιείται κατά τη διαμήκη διεύθυνση της γέφυρας (αποσβεστήρας τύπου DAMP1, βλέπε Σχήμα 4.2) και δύο κατά την εγκάρσια (αποσβεστήρες τύπου DAMP2, βλέπε Σχήμα 4.2). Τα χαρακτηριστικά των σεισμικών μονωτήρων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.1 και το Σχήμα 4.3.

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα ολίσθησης διαθέτουν μπλοκ οπλισμένου ελαστομερούς πανομοιότυπο με εκείνο των ελαστομεταλλικών εφεδράνων έτσι ώστε και οι δύο τύποι εφεδράνων να εμφανίζουν την ίδια κατακόρυφη

δυσκαμψία. Έτσι αποφεύχθηκε διαφοροποίηση στη κατακόρυφη δυσκαμψία στην ίδια γραμμή στήριξης.

Η μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης της γέφυρας πραγματοποιείται με βάση τις διατάξεις της Ε39/99 «Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών» και του «Προσχεδίου Οδηγιών για την Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Οι παράμετροι της αντισεισμικής μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Η ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης πραγματοποιείται με την μέθοδο της Μη-γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Η ανάλυση της συγκεκριμένης σεισμικά μονωμένης γέφυρας δεν επιτρέπεται να γίνει μόνο με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος λόγω της μεγάλης ενεργού απόσβεσης (μεγαλύτερης από 0.30). Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής ορίζουν κάτω όρια στις τιμές της μετακίνησης σχεδιασμού και της τέμνουσας βάσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία θα πρέπει να πληρούν τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας.

Για κάθε μέθοδο ανάλυσης πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις. Στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης και της ανωδομής. Στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή.

4.2 Περιγραφή και ονομαστικές τιμές ιδιοτήτων σεισμικών μονωτήρων

4.2.1 Συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης

Τα προτεινόμενα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης αποτελούνται από στρώσεις ελαστικού οπλισμένες με πλήρως εγκιβωτισμένα και συγκολλημένα χαλυβδόφυλλα. Τα εφέδρανα αυτά είναι σύμφωνα με το EN1337-3:2005 (συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα).

Τα συνήθη ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης έχουν υστερητική συμπεριφορά με λεπτούς βρόχους υστέρησης, και ισοδύναμο λόγο ιξώδους απόσβεσης ξ μικρότερο του 0.06 για εύρος παραμορφώσεων από 0 έως 2.0 (κατά το σχεδιασμό θεωρήθηκε $\xi_{\text{eff}} = 0.05$ σύμφωνα με τη παράγραφο 5.2.3(5) του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Η συμπεριφορά τους μπορεί να προσεγγιστεί σαν συμπεριφορά γραμμικών ελαστικών στοιχείων με ισοδύναμη οριζόντια ελαστική δυσκαμψία $G_b A_b / t_e$, όπου G_b είναι το μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς, A_b είναι η συνολική επιφάνεια του εφεδράνου, και t_e είναι το συνολικό πάχος των στρώσεων ελαστομερούς.

Σύμφωνα με τη παράγραφο 5.2.3(5) του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» το μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς G_b ισούται με $1.4 \times G_g$ όπου G_g είναι η τιμή του φαινομένου συμβατικού μέτρου διάτμησης και η οποία λαμβάνεται ίση με 0.9MPa σύμφωνα με το EN1337-3:2005. Έτσι προκύπτει $G_b = 1.26 \text{MPa}$.

4.2.2 Ελαστομεταλλικά εφέδρανα ολίσθησης

Για τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα ολίσθησης η τριβή η οποία αναπτύσσεται μεταξύ εφεδράνου και πλάκας ολίσθησης (στρώση PTFE ενσωματωμένη στο ελαστομεταλλικό εφέδρανο η οποία ολισθαίνει σε πλάκα ανοξείδωτου χάλυβα) αγνοείται ως μέσο απορρόφησης ενέργειας κατά τη σεισμική διέγερση σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2(5) του «Προσχεδίου Οδηγιών για την Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Για το λόγο αυτό λήφθηκε συντελεστής τριβής ίσος με μηδέν στις δυναμικές μη-γραμμικές αναλύσεις.

4.2.3 Υδραυλικοί αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς

Οι υδραυλικοί αποσβεστήρες ιξώδους συμπεριφοράς είναι ειδικά χαλύβδινα έμβολα, τα οποία μέσω υδραυλικής λειτουργίας μπορούν να αποδίδουν μέρος της ενέργειας, η οποία παράγεται κατά την κίνηση του καταστρώματος. Ο καταστατικός νόμος λειτουργίας των υδραυλικών αποσβεστήρων είναι εκθετικός, της μορφής:

$$F_D = C \cdot v^a$$

όπου C σταθερά απόσβεσης της μονάδος, v η ταχύτητα, και a κατάλληλος εκθέτης μεταξύ 0.03 και 0.40 για τους συνήθεις αποσβεστήρες της Ευρωπαϊκής Βιομηχανίας παραγωγής. Η αντίδραση είναι μηδενική στη μέγιστη σχετική μετακίνηση του μονωτήρα d_{bd} , και συνεπώς ο αποσβεστήρας δεν συνεισφέρει στην ενεργό δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης.

Για την σταθερά απόσβεσης C των υδραυλικών αποσβεστήρων λαμβάνεται υπόψη διακύμανση $\pm 15\%$ της ελάχιστης ονομαστικής τιμής $\min DP_{nom}$ και της μέγιστης ονομαστικής τιμής $\max DP_{nom}$ σε σχέση με την αντίστοιχη μέση ονομαστική τιμή DP_{nom} αντίστοιχα.

4.3 Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων

Για την εκτίμηση της μεταβλητότητας των τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης λαμβάνονται υπόψη οι διατάξεις της παραγράφου 5.2.3(6) του «Προσχεδίου Οδηγιών για την Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση».

Γίνεται θεώρηση κατασκευής από σκυρόδεμα ($\Delta T_r = 7.5^\circ\text{C}$) και ελάχιστης θερμοκρασίας υπό σκιά στην περιοχή του έργου με ετήσια πιθανότητα αρνητικής υπέρβασης 0.02 ίση με $T_{min} = -5^\circ\text{C}$. Η ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού σεισμικών μονωτήρων στην περιοχή του κτιρίου $T_{min,b}$ προκύπτει σύμφωνα με την παράγραφο A.3.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» ίση με $T_{min,b} = \psi_2 T_{min} + \Delta T_r = 5.0^\circ\text{C}$, όπου $\psi_2 = 0.5$ ο συντελεστής συνδυασμού θερμικών δράσεων υπό σεισμικές συνθήκες.

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.3(6) του «Προσχεδίου Οδηγιών για την Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» η μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού

συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων μπορεί να περιοριστεί στην τιμή του G_b ως ακολούθως:

- Κατώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ): $G_{b,min} = G_b = 1.26 \text{ MPa}$
- Ανώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) (όταν $T_{min,b} \geq 0$):

$$G_{b,max} = 1.5 G_b = 1.89 \text{ MPa}$$

Η εκτίμηση των ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ της ελαστικής δυσκαμψίας K_r των συνήθων ελαστομεταλλικών εφεδράνων πραγματοποιείται με βάση τις παραπάνω τιμές του μέτρου διάτμησης G_b .

Σύμφωνα με την παράγραφο Α.4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για την Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» για την περίπτωση υδραυλικών αποσβεστήρων εν απουσία καταλλήλων δοκιμών μπορεί να θεωρηθεί ότι $ΑΤΠΣ = \max DP_{nom}$ και $ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$.

Οι ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 4.1, για τους εξεταζόμενους τύπους μονωτήρων.

4.4 Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Η εξεταζόμενη σεισμικά μονωμένη γέφυρα δεν πληροί τις προϋποθέσεις οι οποίες αναφέρονται στην παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» σχετικά με το πεδίο εφαρμογής της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, κυρίως λόγω της μεγάλης ενεργού απόσβεσης (μεγαλύτερη από 0.30). Κατά συνέπεια η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής όμως ορίζουν κάτω όρια για την μετακίνηση σχεδιασμού και την τέμνουσα βάσης του συστήματος σεισμικής μόνωσης τα οποία θα πρέπει να πληρούν τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας. Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται οι υπολογισμοί της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος που αφορούν τον έλεγχο των παραπάνω ορίων. Επιπλέον γίνεται εκτίμηση της επίδρασης της ευκαμψίας του καταστρώματος στην σεισμική απόκριση της γέφυρας

Η ανάλυση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 5.4 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις, στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) ενώ στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ).

Η ενεργός δυσκαμψία $K_{eff,i}$ και η αποσβενόμενη ενέργεια ανά κύκλο ED_i των μονωτήρων εξαρτώνται από την μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης d_{cd} στην εξεταζόμενη διεύθυνση. Κατά συνέπεια η διαδικασία ανάλυσης σύμφωνα με την μέθοδο του Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος είναι εν γένει επαναληπτική ως εξής:

1. Γίνεται υπόθεση κάποιας τιμής της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} .
2. Υπολογίζονται συναρτήσει της d_{cd} οι ποσότητες $K_{eff,i}$ και ED_i όλων των μονωτήρων.
3. Υπολογίζονται η ενεργός περίοδος T_{eff} και η ενεργός απόσβεση ξ_{eff} του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.
4. Υπολογίζεται διορθωμένη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} με βάση το φάσμα σχεδιασμού και τις τιμές των T_{eff} και ξ_{eff} .
5. Εάν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια υπολογισμού της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} τότε η διαδικασία τερματίζεται, αλλιώς επιστροφή στο βήμα 2.

Η διαδικασία συγκλίνει ταχύτατα και συνήθως απαιτείται μικρός αριθμός επαναλήψεων για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

Μετά την σύγκλιση των επαναλήψεων για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης γίνεται η εκτίμηση της επιρροής των εκκεντροτήτων μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση του κάθε μονωτήρα.

Στις ακόλουθες σελίδες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.3 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Α) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	60947.8	KN	$a_g =$	0.208	g
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_C =$	0.6	sec
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec

Β) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΘΡΩΝ

Βάθρο i	X_i (m)	Y_i (m)	$N_{sd,i}$ (KN)	H_i (m)	Διαμήκης Διεύθυνση X			Εγκάρσια Διεύθυνση Y		
					K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)	K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)
A1	0.5	0	5596.4	0.0	-	-	-	-	-	-
M1	38.05	0	12720.1	17.0	132000	-	-	769000	-	-
M2	76.15	0	12162.0	17.0	132000	-	-	769000	-	-
M3	114.25	0	12162.1	17.0	132000	-	-	769000	-	-
M4	152.35	0	12714.4	17.0	132000	-	-	769000	-	-
A2	189.9	0	5592.7	0.0	-	-	-	-	-	-
Σύνολο			60947.8							

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΒΑΘΡΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ)

- Ιδιότητες μονωτήρων (αναφέρονται συγκεντρωτικά για κάθε βάθρο)

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X							
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά C	
	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	(KN*(s/m) ^α)	α
A1	0.000	5466.00	0.0000	0	0	0	0
M1	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
M2	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
M3	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
M4	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
A2	0.000	5466.00	0.0000	0	0	0	0

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y			
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά	Συμπεριφορά	Ιξώδης

	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	Τριβής		Συμπεριφορά	
				μ_d	R_b (m)	C (KN*(s/m) ^α)	α
A1	0.000	5466.00	0.0000	0	0	0	0
M1	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
M2	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
M3	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
M4	0.000	10932.00	0.0000	0	0	1063	0.15
A2	0.000	5466.00	0.0000	0	0	0	0

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΜΗΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0800	51315.5	1058.31	2.186	0.5129	0.4215
2	0.0714	51315.5	836.71	2.186	0.5084	0.4232
3	0.0717	51315.5	840.53	2.186	0.5067	0.4238
4	0.0718	51315.5	842.02	2.186	0.5060	0.4241
5	0.0719	51315.5	842.59	2.186	0.5058	0.4242

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.1%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{bi,d,x}$ (m)	$d_{bi,d,y}$ (m)
A1	0.072	5466.0	5466.0	0.0	-94.700	0.000	1.000	0.000	0.072	0.000
M1	0.066	10932.0	10095.9	210.7	-57.150	0.000	1.000	0.000	0.066	0.000
M2	0.066	10932.0	10095.9	210.7	-19.050	0.000	1.000	0.000	0.066	0.000
M3	0.066	10932.0	10095.9	210.7	19.050	0.000	1.000	0.000	0.066	0.000
M4	0.066	10932.0	10095.9	210.7	57.150	0.000	1.000	0.000	0.066	0.000
A2	0.072	5466.0	5466.0	0.0	94.700	0.000	1.000	0.000	0.072	0.000
Σύνολο			51315.5	843.0						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

F_0	0	KN
F_y	0.00	KN
K_p	54660.0	KN/m
K_{eff}	51315.5	KN/m
$\Sigma E_{D,i}$	843.0	KNm
T_{eff}	2.19	sec
ξ_{eff}	0.506	
η_{eff}	0.424	
d_{cd}	0.072	m
S_e/g	0.061	

3689.9 KN Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

X_{cr}	95.20	m
Y_{cr}	0.000	m
X_{cm}	95.18	m
Y_{cm}	0.000	m
e_y	0.000	m
r_y	58.60	m
r	56.16	m

$$V_d = \max \left\{ \begin{array}{l} 3316.6 \text{ KN} \\ 5247.8 \text{ KN} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας} \\ \text{Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας} \end{array} \Rightarrow V_d = 5247.8$$

Ε) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανάληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0800	54660.0	1058.31	2.118	0.4815	0.4338
2	0.0712	54660.0	905.40	2.118	0.5132	0.4214
3	0.0692	54660.0	869.62	2.118	0.5288	0.4157
4	0.0683	54660.0	856.12	2.118	0.5349	0.4135
5	0.0679	54660.0	850.94	2.118	0.5373	0.4126

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.5%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{b,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{b,i,d,y}$ (m)	$d_{b,i,d,x}$ (m)
A1	0.068	5466.0	5466.0	0.0	-94.700	0.000	1.000	0.000	0.068	0.000
M1	0.067	10932.0	10778.8	211.9	-57.150	0.000	1.000	0.000	0.067	0.000
M2	0.067	10932.0	10778.8	211.9	-19.050	0.000	1.000	0.000	0.067	0.000
M3	0.067	10932.0	10778.8	211.9	19.050	0.000	1.000	0.000	0.067	0.000
M4	0.067	10932.0	10778.8	211.9	57.150	0.000	1.000	0.000	0.067	0.000
A2	0.068	5466.0	5466.0	0.0	94.700	0.000	1.000	0.000	0.068	0.000
Σύνολο			54660.0	847.7						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$$F_0 = 0 \text{ KN}$$

$$F_y = 0.00 \text{ KN}$$

$$K_p = 54660.0 \text{ KN/m}$$

$$K_{eff} = 54660.0 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma E_{D,i} = 847.7 \text{ KNm}$$

$$T_{eff} = 2.12 \text{ sec}$$

$$\xi_{eff} = 0.539 \quad \xi_b = 0.541$$

$$\eta_{eff} = 0.412 \quad f_1 = 0.678$$

$$d_{cd} = 0.068 \text{ m} \quad f_2 = 0.735$$

$$S_0/g = 0.061$$

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$$X_{cr} = 95.20 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = 0.000 \text{ m}$$

$$X_{cm} = 95.18 \text{ m}$$

$$Y_{cm} = 0.000 \text{ m}$$

$$e_x = 0.011 \text{ m}$$

$$r_x = 56.78 \text{ m}$$

$$r = 56.16 \text{ m}$$

$$V_d = \max \left\{ \begin{array}{l} 3699.3 \text{ KN} \\ 3334.9 \text{ KN} \\ 5452.6 \text{ KN} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης} \\ \text{Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας} \\ \text{Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας} \end{array} \Rightarrow V_d = 5452.6$$

Ζ) ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ - ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Βάθρο i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$	Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$	Δυσμενέστερος Συνδυασμός
---------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------

	$d_{bd,ix}$ (m)	$d_{bd,iy}$ (m)	$d_{bd,i}^*$ (m)	$d_{bd,ix}$ (m)	$d_{bd,iy}$ (m)	$d_{bd,i}^*$ (m)	$d_{bd,ix}$ (m)	$d_{bd,iy}$ (m)	$d_{bd,i}^*$ (m)
A1	0.072	0.020	0.075	0.022	0.068	0.071	0.072	0.068	0.075
M1	0.066	0.020	0.069	0.020	0.067	0.070	0.066	0.067	0.070
M2	0.066	0.020	0.069	0.020	0.067	0.070	0.066	0.067	0.070
M3	0.066	0.020	0.069	0.020	0.067	0.070	0.066	0.067	0.070
M4	0.066	0.020	0.069	0.020	0.067	0.070	0.066	0.067	0.070
A2	0.072	0.020	0.075	0.022	0.068	0.071	0.072	0.068	0.075
Μέγιστο	0.072	0.020	0.075	0.022	0.068	0.071	0.072	0.068	0.075

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Η) ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΒΑΘΡΩΝ

-Λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη από τις εξής καταστάσεις:

- i) Κατάσταση μέγιστης μετακίνησης
- ii) Κατάσταση μέγιστης ταχύτητας αποσβεστήρων
- iii) Κατάσταση μέγιστης αδρανειακής δύναμης ανωδομής

Βάθρο i	V_x (KN)	V_y (KN)
A1	393.0	370.0
M1	1298.3	1291.1
M2	1298.3	1291.0
M3	1298.3	1291.0
M4	1298.3	1291.1
A2	393.0	370.0
Μέγιστο	1298.3	1291.1

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.3 - Ανάλυση με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

A) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	60947.8	KN	$a_g =$	0.208	g
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_c =$	0.6	sec
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec

B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΘΡΩΝ

Βάθρο i	X_i (m)	Y_i (m)	$N_{sd,i}$ (KN)	H_i (m)	Διαμήκης Διεύθυνση X			Εγκάρσια Διεύθυνση Y		
					K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)	K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)
A1	0.5	0	5596.4	0.0	-	-	-	-	-	-
M1	38.05	0	12720.1	17.0	132000	-	-	769000	-	-
M2	76.15	0	12162.0	17.0	132000	-	-	769000	-	-
M3	114.25	0	12162.1	17.0	132000	-	-	769000	-	-
M4	152.35	0	12714.4	17.0	132000	-	-	769000	-	-
A2	189.9	0	5592.7	0.0	-	-	-	-	-	-
Σύνολο			60947.8							

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΒΑΘΡΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ)

- Ιδιότητες μονωτήρων (αναφέρονται συγκεντρωτικά για κάθε βάθρο)

Βάθρο i	ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X						
	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά C	
	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	$(KN \cdot (s/m)^{\alpha})$	α
A1	0.000	8199.00	0.0000	0	0	0	0
M1	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
M2	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
M3	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
M4	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
A2	0.000	8199.00	0.0000	0	0	0	0

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y			
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά	Συμπεριφορά	Ιξώδης

	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	Τριβής		Συμπεριφορά	
				μ_d	R_b (m)	C (KN*(s/m) ^α)	α
A1	0.000	8199.00	0.0000	0	0	0	0
M1	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
M2	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
M3	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
M4	0.000	16398.00	0.0000	0	0	1438	0.15
A2	0.000	8199.00	0.0000	0	0	0	0

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΜΗΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0800	74742.1	1431.65	1.812	0.4763	0.4359
2	0.0612	74742.1	933.59	1.812	0.5305	0.4151
3	0.0583	74742.1	882.49	1.812	0.5530	0.4072
4	0.0572	74742.1	863.37	1.812	0.5620	0.4042
5	0.0568	74742.1	856.02	1.812	0.5656	0.4030

(Επανάληψη σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.7%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{b,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{b,i,d,x}$ (m)	$d_{b,i,d,y}$ (m)
A1	0.057	8199.0	8199.0	0.0	-94.700	0.000	1.000	0.000	0.057	0.000
M1	0.050	16398.0	14586.0	212.8	-57.150	0.000	1.000	0.000	0.050	0.000
M2	0.050	16398.0	14586.0	212.8	-19.050	0.000	1.000	0.000	0.050	0.000
M3	0.050	16398.0	14586.0	212.8	19.050	0.000	1.000	0.000	0.050	0.000
M4	0.050	16398.0	14586.0	212.8	57.150	0.000	1.000	0.000	0.050	0.000
A2	0.057	8199.0	8199.0	0.0	94.700	0.000	1.000	0.000	0.057	0.000
Σύνολο			74742.1	851.4						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

F_0 =	0	KN
F_y =	0.00	KN
K_p =	81990.0	KN/m
K_{eff} =	74742.1	KN/m
$\Sigma E_{D,i}$ =	851.4	KNm
T_{eff} =	1.81	sec
ξ_{eff} =	0.568	
η_{eff} =	0.402	
d_{cd} =	0.057	m
S_e/g =	0.069	

ξ_b =	0.568
f_1 =	0.661
f_2 =	0.751

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

X_{cr} =	95.200	m
Y_{cr} =	0.000	m
X_{cm} =	95.189	m
Y_{cm} =	0.000	m
e_y =	0.000	m
r_y =	59.386	m
r =	56.163	m

V_d =	max	{	4223.0	KN	Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης	
			4426.1	KN	Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας	$\Rightarrow V_d = 6390.5$
			6390.5	KN	Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας	

Ε) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανάληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0800	81990.0	1431.65	1.730	0.4342	0.4544
2	0.0609	81990.0	1029.16	1.730	0.5452	0.4099
3	0.0550	81990.0	921.04	1.730	0.5918	0.4000
4	0.0536	81990.0	895.53	1.730	0.6042	0.4000
5	0.0536	81990.0	895.53	1.730	0.6042	0.4000

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.0%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{bi,d,y}$ (m)	$d_{bi,d,x}$ (m)
A1	0.054	8199.0	8199.0	0.0	-94.700	0.000	1.000	0.000	0.054	0.000
M1	0.053	16398.0	16055.6	223.9	-57.150	0.000	1.000	0.000	0.053	0.000
M2	0.053	16398.0	16055.6	223.9	-19.050	0.000	1.000	0.000	0.053	0.000
M3	0.053	16398.0	16055.6	223.9	19.050	0.000	1.000	0.000	0.053	0.000
M4	0.053	16398.0	16055.6	223.9	57.150	0.000	1.000	0.000	0.053	0.000
A2	0.054	8199.0	8199.0	0.0	94.700	0.000	1.000	0.000	0.054	0.000
Σύνολο			81990.0	895.5						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$$F_0 = 0 \text{ KN}$$

$$F_y = 0.00 \text{ KN}$$

$$K_p = 81990.0 \text{ KN/m}$$

$$K_{eff} = 81990.0 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma E_{D,i} = 895.5 \text{ KNm}$$

$$T_{eff} = 1.73 \text{ sec}$$

$$\xi_{eff} = 0.604 \quad \xi_b = 0.608$$

$$\eta_{eff} = 0.400 \quad f_1 = 0.635$$

$$d_{cd} = 0.054 \text{ m} \quad f_2 = 0.773$$

$$S_e/g = 0.072$$

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$$X_{cr} = 95.200 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = 0.000 \text{ m}$$

$$X_{cm} = 95.189 \text{ m}$$

$$Y_{cm} = 0.000 \text{ m}$$

$$e_x = 0.011 \text{ m}$$

$$r_x = 56.700 \text{ m}$$

$$r = 56.163 \text{ m}$$

$$V_d = \max \left\{ \begin{array}{ll} 4397.7 \text{ KN} & \text{Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης} \\ 4486.5 \text{ KN} & \text{Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας} \\ 6926.7 \text{ KN} & \text{Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας} \end{array} \right. \Rightarrow V_d = 6926.7$$

Ζ) ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ - ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Βάθρο i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
A1	0.057	0.016	0.059	0.017	0.054	0.056	0.057	0.054	0.059
M1	0.050	0.016	0.053	0.015	0.053	0.055	0.050	0.053	0.055
M2	0.050	0.016	0.053	0.015	0.053	0.055	0.050	0.053	0.055

M3	0.050	0.016	0.053	0.015	0.053	0.055	0.050	0.053	0.055
M4	0.050	0.016	0.053	0.015	0.053	0.055	0.050	0.053	0.055
A2	0.057	0.016	0.059	0.017	0.054	0.056	0.057	0.054	0.059
Μέγιστα	0.057	0.016	0.059	0.017	0.054	0.056	0.057	0.054	0.059

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Η) ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΒΑΘΡΩΝ

-Λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη από τις εξής καταστάσεις:

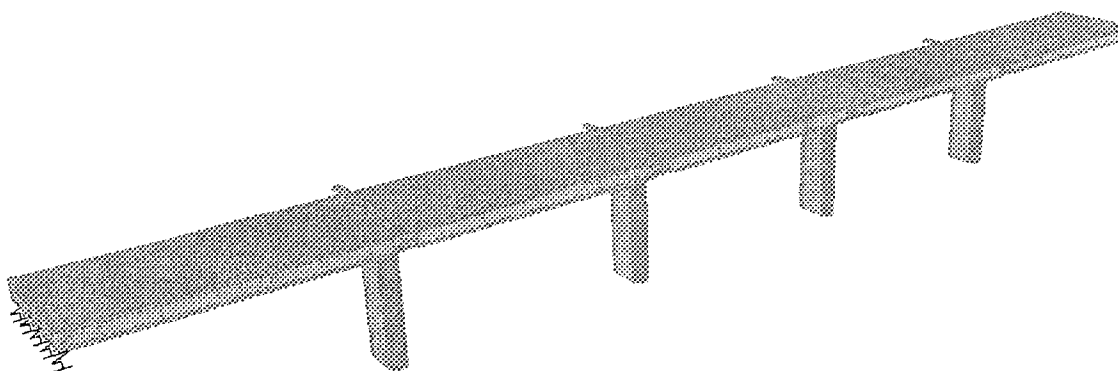
- i) Κατάσταση μέγιστης μετακίνησης
- ii) Κατάσταση μέγιστης ταχύτητας αποσβεστήρων
- iii) Κατάσταση μέγιστης αδρανειακής δύναμης ανωδομής

Βάθρο i	V _x (KN)	V _y (KN)
A1	463.2	439.9
M1	1604.5	1625.9
M2	1604.5	1625.8
M3	1604.5	1625.8
M4	1604.5	1625.9
A2	463.2	439.9
Μέγιστα	1604.5	1625.9

4.5 Μη-γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Για την μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκαν 7 τριάδες τροποποιημένων φυσικών επιταχυνσιογραφημάτων. Τα χρησιμοποιούμενα επιταχυνσιογραφήματα καθώς και ο έλεγχος συμβατότητας τους με το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α του παρόντος τεύχους .

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιείται με απ'ευθείας εν χρόνω ολοκλήρωση της μη-γραμμικής εξίσωσης κίνησης. Λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά των σεισμικών μονωτήρων μέσω κατάλληλου μοντέλου (γραμμικό ελαστικό μοντέλο για τα ελαστομεταλλικά εφεδρανα χαμηλής απόσβεσης και μη-γραμμικό ιξώδες μοντέλο σε σειρά με γραμμικό ελατήριο για τους υδραυλικούς αποσβεστήρες. Η υποδομή θεωρείται απαραμόρφωτη και δεν λαμβάνεται υπόψη στην προσομοίωση. Η ανωδομή θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ελαστικά και προσομοιώνεται μέσω γραμμικών ελαστικών ραβδωτών στοιχείων λαμβάνοντας υπόψη την αρηγμάτωση δυσκαμψία των αντίστοιχων μελών της κατασκευής (δυσκαμψία σταδίου Ι).



Σχήμα 4.4. Προσομοίωμα κατασκευής για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SAP200NL μέσω κατάλληλου προσομοιώματος της ανωδομής και του συστήματος σεισμικής μόνωσης (Σχήμα 4.4). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μη-γραμμικής ιδιομορφικής ανάλυσης (Fast Non-Linear Analysis ή FNA) κατά την οποία το γραμμικό μέρος της κατασκευής (ανωδομή) προσομοιώνεται μέσω ικανού αριθμού ιδιομορφών ενώ λαμβάνεται υπόψη ο μη-γραμμικός νόμος του μη-γραμμικού μέρους της κατασκευής (μονωτήρες). Περισσότερα στοιχεία για αυτή την μέθοδο ανάλυσης δίνονται στην Παράγραφο 1.3 του παρόντος τεύχους.

Για το κάθε εξεταζόμενο μέγεθος (εντατικό μέγεθος ή μετακινησιακό μέγεθος) η τιμή σχεδιασμού προκύπτει ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων μεγίστων μεγεθών των 7 σεισμών.

Πραγματοποιούνται αναλύσεις, η πρώτη γίνεται με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση κάτω ορίου) ενώ η δεύτερη γίνεται με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση άνω ορίου).

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.6(3) του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» εφαρμόζονται για τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας τα κάτω όρια που προκύπτουν από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Συγκεκριμένα εξετάζονται οι λόγοι της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} και της τέμνουσας βάσης V_d όπως προκύπτουν από την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη d_{cf} και V_f όπως προκύπτουν από την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Σημειώνεται ότι για την περίπτωση της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος στην τέμνουσα βάσης που προκύπτει από την ανάλυση αθροίζεται η συμμετοχή της αδρανειακής δύναμης των βάθρων η οποία εκτιμάται ως η μάζα του βάθρου πολλαπλασιασμένη με την μέγιστη επιτάχυνση εδάφους του φάσματος σχεδιασμού και προκύπτει ίση με 1161.3KN για κάθε ένα από τα μεσόβαθρα M1 έως M4.

8954.345 9110.024

10430.35 10306.68

A) Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ

Διεύθυνση X: $\rho_d = d_{cd}/d_{cf} = 0.064\text{m} / 0.072\text{m} = 0.89 \geq 0.80$
 $\rho_v = V_d/V_f = 8954.3\text{KN} / 9893.0\text{KN} = 0.91 \geq 0.80$

Διεύθυνση Y: $\rho_d = d_{cd}/d_{cf} = 0.051\text{m} / 0.068\text{m} = 0.75 < 0.80$
 $\rho_v = V_d/V_f = 9110.0\text{KN} / 10097.8\text{KN} = 0.91 \geq 0.80$

B) Ανάλυση για τις ΑΤΠΣ

Διεύθυνση X: $\rho_d = d_{cd}/d_{cf} = 0.059\text{m} / 0.057\text{m} = 1.04 \geq 0.80$
 $\rho_v = V_d/V_f = 10430.4\text{KN} / 11035.7\text{KN} = 0.95 \geq 0.80$

Διεύθυνση Y: $\rho_d = d_{cd}/d_{cf} = 0.038\text{m} / 0.054\text{m} = 0.72 < 0.80$
 $\rho_v = V_d/V_f = 10306.7\text{KN} / 11571.9\text{KN} = 0.89 \geq 0.80$

Παρατηρούμε ότι για την Διεύθυνση X τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας δεν βρίσκονται κάτω από τα κάτω όρια που ορίζονται από τα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Σε αυτή την διεύθυνση η απόκλιση της τάξης του 10% των δύο μεθόδων ανάλυσης οφείλεται στην μεγάλη τιμή της ενεργούς απόσβεσης του συστήματος, της τάξης του 0.50 η οποία προέρχεται και από μη γραμμικό ιξώδη νόμο δύναμης-ταχύτητας. Αντίθετα στην διεύθυνση Y εμφανίζεται μεγάλη απόκλιση της τάξης του 30% και τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας βρίσκονται κάτω από τα κάτω όρια που ορίζονται από τα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν απαιτείται προσαύξηση των μετακινήσεων των μονωτήρων σύμφωνα με την παράγραφο 5.6(8) του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» γιατί η γέφυρα δεν μπορεί να προσομοιωθεί στην διεύθυνση αυτή με μονοβάθμιο σύστημα λόγω της σημαντικής

συνεισφοράς της ευκαμψίας του καταστρώματος όπως δείχνεται και στην επόμενη παράγραφο.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρονοϊστορίας για τα μετακινησιακά και τα εντατικά μεγέθη των σεισμικών μονωτήρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7 για την ανάλυση με τις ΚΤΠΣ και στον Πίνακα 4.8 για την ανάλυση με τις ΑΤΠΣ. Στα Σχήματα 4.5 έως 4.7 παρουσιάζονται ενδεικτικές χρονοϊστορίες για δύο μονωτήρες της γέφυρας, ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου χαμηλής απόσβεσης και ενός μη-γραμμικού ιξώδους αποσβεστήρα. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται διαγράμματα Δύναμης-Μετακίνησης των μονωτήρων στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις καθώς και χρονοϊστορίες μετακίνησης των μονωτήρων.

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΚΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών)								
Μονω- τήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ \theta_{Ed} $ (rad)	$N_{Ed,min}$ (KN)	$N_{Ed,max}$ (KN)	$ V_{Ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
A1_1	0.064	0.076	0.087	0.003417	935.8	1511.0	104.21	0.034
A1_2	0.064	0.076	0.087	0.003249	916.1	1436.9	104.64	0.035
A1_3	0.064	0.076	0.087	0.003186	835.1	1453.3	183.71	0.036
A1_4	0.063	0.076	0.087	0.003232	817.0	1365.2	178.85	0.037
A1_5	0.064	0.076	0.087	0.003287	688.3	1239.1	179.10	0.037
M1_1	0.056	0.059	0.070	0.003026	800.4	1781.0	128.17	0.027
M1_2	0.056	0.058	0.070	0.002651	831.3	1626.9	0.00	0.019
M1_3	0.056	0.059	0.071	0.002972	990.1	1824.0	0.00	0.027
M1_4	0.056	0.058	0.070	0.002511	951.5	1725.4	129.34	0.020
M1_5	0.056	0.059	0.071	0.002969	1102.1	1962.0	118.72	0.027
M1_6	0.056	0.058	0.070	0.002484	1004.4	1911.3	118.24	0.020
M1_7	0.056	0.059	0.071	0.003066	895.9	1705.5	0.00	0.028
M1_8	0.056	0.058	0.070	0.002475	780.8	1664.7	0.00	0.020
M1_9	0.056	0.059	0.071	0.003069	594.5	1428.9	118.20	0.028
M1_10	0.056	0.058	0.070	0.002475	531.4	1326.1	128.36	0.021
M2_1	0.056	0.051	0.065	0.002723	710.2	1615.7	118.42	0.012
M2_2	0.056	0.051	0.065	0.002783	821.1	1675.8	0.00	0.009
M2_3	0.056	0.051	0.065	0.002612	846.5	1695.7	0.00	0.012
M2_4	0.056	0.051	0.065	0.002579	905.6	1802.1	117.86	0.008
M2_5	0.056	0.051	0.065	0.002582	963.0	1812.8	117.32	0.013
M2_6	0.056	0.051	0.065	0.002519	1004.1	1939.6	117.45	0.008
M2_7	0.056	0.051	0.065	0.002720	748.3	1583.7	0.00	0.013
M2_8	0.056	0.051	0.065	0.002592	809.2	1685.1	0.00	0.008
M2_9	0.056	0.051	0.065	0.002766	424.7	1349.2	117.51	0.013
M2_10	0.056	0.051	0.065	0.002682	549.0	1376.4	118.34	0.008
M3_1	0.056	0.050	0.064	0.002710	719.0	1620.3	117.25	0.006
M3_2	0.056	0.050	0.064	0.002755	791.3	1692.6	0.00	0.008
M3_3	0.056	0.050	0.064	0.002566	864.2	1690.1	0.00	0.006
M3_4	0.056	0.050	0.064	0.002579	885.1	1810.7	117.50	0.008
M3_5	0.056	0.050	0.064	0.002617	998.9	1788.7	127.67	0.006
M3_6	0.056	0.050	0.064	0.002445	1023.5	1908.7	128.13	0.008
M3_7	0.056	0.050	0.065	0.002718	760.0	1582.4	0.00	0.006
M3_8	0.056	0.050	0.065	0.002515	822.4	1661.7	0.00	0.009
M3_9	0.056	0.050	0.064	0.002789	418.5	1364.4	127.42	0.005
M3_10	0.056	0.050	0.065	0.002570	551.7	1364.7	118.08	0.008
M4_1	0.056	0.057	0.070	0.002579	718.7	1568.8	127.59	0.015
M4_2	0.056	0.058	0.070	0.003005	933.8	1820.2	0.00	0.023
M4_3	0.056	0.057	0.070	0.002493	860.4	1648.3	0.00	0.016
M4_4	0.056	0.058	0.070	0.002907	1045.0	1936.1	126.89	0.023
M4_5	0.056	0.057	0.070	0.002524	974.2	1768.8	128.36	0.016
M4_6	0.056	0.058	0.070	0.002856	1203.8	2031.1	118.34	0.023
M4_7	0.056	0.057	0.070	0.002629	731.6	1544.7	118.08	0.016
M4_8	0.056	0.058	0.070	0.002931	993.6	1774.8	127.20	0.024
M4_9	0.056	0.057	0.070	0.002681	402.7	1293.8	126.89	0.016
M4_10	0.056	0.058	0.070	0.002910	698.8	1480.0	127.20	0.024
A2_1	0.063	0.072	0.084	0.003292	563.0	1369.5	128.32	0.033

A2_2	0.063	0.072	0.084	0.003269	632.1	1545.5	127.70	0.032
A2_3	0.063	0.072	0.084	0.003257	764.5	1589.1	0.00	0.031
A2_4	0.063	0.072	0.084	0.003225	659.7	1626.6	0.00	0.031
A2_5	0.064	0.072	0.085	0.003435	778.0	1666.0	128.66	0.030
DM1_L	0.055	0.059	0.071	0.003037	-911.7	911.7	0.00	0.028
DM1_T1	0.059	0.056	0.071	0.001171	-440.0	440.0	0.00	0.002
DM1_T2	0.059	0.056	0.071	0.001093	-440.2	440.2	0.00	0.001
DM2_L	0.055	0.051	0.065	0.002636	-910.2	910.2	0.00	0.013
DM2_T1	0.051	0.056	0.065	0.001198	-431.6	431.6	0.00	0.003
DM2_T2	0.051	0.056	0.065	0.001166	-431.3	431.3	0.00	0.003
DM3_L	0.055	0.050	0.064	0.002503	-909.9	909.9	0.00	0.009
DM3_T1	0.050	0.056	0.064	0.001225	-432.5	432.5	0.00	0.003
DM3_T2	0.050	0.056	0.065	0.001023	-432.5	432.5	0.00	0.004
DM4_L	0.055	0.058	0.070	0.002922	-911.6	911.6	0.00	0.024
DM4_T1	0.058	0.056	0.070	0.001176	-442.0	442.0	0.00	0.001
DM4_T2	0.058	0.056	0.070	0.001018	-441.9	441.9	0.00	0.002

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

Πίνακας 4.7. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (ανάλυση για τις ΚΤΠΣ).

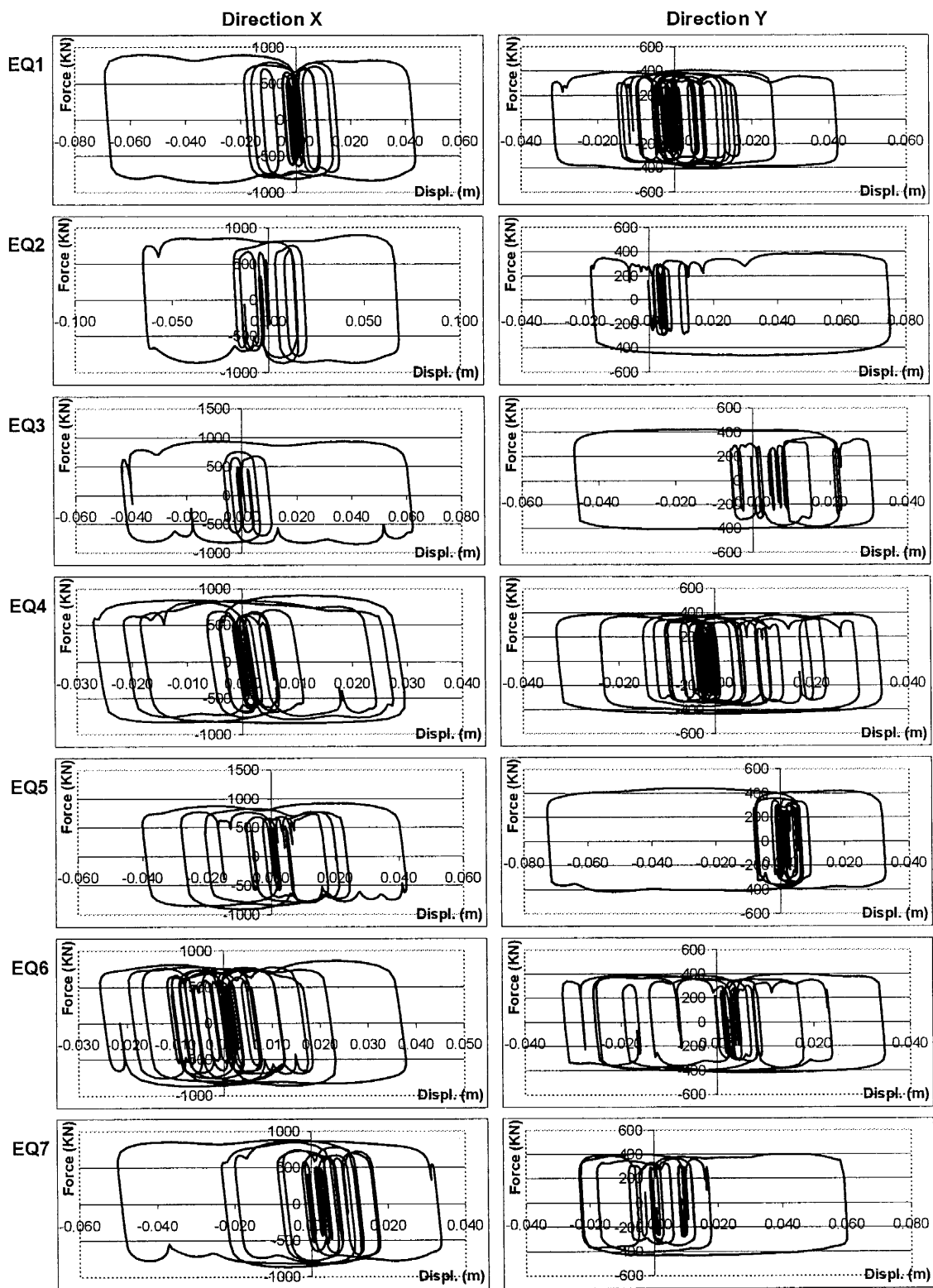
Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΑΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών)								
Μονωτήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ \alpha_{Ed} $ (rad)	$N_{Ed,min}$ (KN)	$N_{Ed,max}$ (KN)	$ V_{Ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
A1_1	0.058	0.069	0.078	0.003450	919.2	1527.5	139.54	0.034
A1_2	0.058	0.069	0.078	0.003262	914.6	1438.3	140.79	0.035
A1_3	0.058	0.069	0.078	0.003190	811.4	1477.0	246.27	0.036
A1_4	0.059	0.069	0.079	0.003242	816.0	1366.2	238.31	0.037
A1_5	0.059	0.069	0.079	0.003330	675.8	1251.6	239.06	0.037
M1_1	0.048	0.048	0.058	0.003184	745.9	1835.6	157.73	0.027
M1_2	0.048	0.047	0.057	0.002812	782.9	1675.4	0.00	0.019
M1_3	0.048	0.048	0.058	0.003101	920.6	1893.5	0.00	0.027
M1_4	0.048	0.047	0.058	0.002701	861.9	1815.1	160.59	0.020
M1_5	0.048	0.048	0.058	0.003051	1030.3	2033.7	144.82	0.027
M1_6	0.048	0.047	0.058	0.002680	929.2	1986.5	145.76	0.020
M1_7	0.048	0.048	0.058	0.003203	852.4	1749.0	0.00	0.028
M1_8	0.048	0.047	0.058	0.002687	727.0	1718.5	0.00	0.020
M1_9	0.049	0.048	0.059	0.003215	551.8	1471.6	145.40	0.028
M1_10	0.048	0.047	0.058	0.002725	455.1	1402.4	158.70	0.021
M2_1	0.048	0.038	0.053	0.002893	670.7	1655.2	146.22	0.012
M2_2	0.048	0.038	0.053	0.002973	752.8	1744.1	0.00	0.009
M2_3	0.048	0.038	0.053	0.002744	786.6	1755.7	0.00	0.012
M2_4	0.048	0.038	0.053	0.002771	798.2	1909.5	146.36	0.008
M2_5	0.048	0.038	0.053	0.002665	884.5	1891.3	145.39	0.013
M2_6	0.048	0.038	0.054	0.002713	918.5	2025.2	146.11	0.008
M2_7	0.048	0.038	0.053	0.002884	703.2	1628.9	0.00	0.013
M2_8	0.048	0.038	0.054	0.002783	751.0	1743.2	0.00	0.008
M2_9	0.049	0.038	0.054	0.003003	372.9	1400.9	145.64	0.013

M2_10	0.048	0.038	0.053	0.002897	467.1	1458.3	146.00	0.008
M3_1	0.048	0.038	0.053	0.002894	679.2	1660.1	145.32	0.006
M3_2	0.048	0.038	0.053	0.002961	713.7	1770.2	0.00	0.008
M3_3	0.048	0.038	0.053	0.002765	806.7	1747.6	0.00	0.006
M3_4	0.048	0.038	0.053	0.002756	796.3	1899.5	145.34	0.008
M3_5	0.048	0.038	0.053	0.002784	930.8	1856.8	159.59	0.006
M3_6	0.048	0.038	0.053	0.002608	958.1	1974.0	161.32	0.008
M3_7	0.048	0.038	0.053	0.002891	704.3	1638.1	0.00	0.006
M3_8	0.048	0.038	0.053	0.002723	771.1	1713.0	0.00	0.009
M3_9	0.048	0.038	0.053	0.003007	350.6	1432.3	159.38	0.005
M3_10	0.048	0.038	0.053	0.002822	480.6	1435.8	145.17	0.008
M4_1	0.049	0.046	0.058	0.002764	665.5	1622.1	160.13	0.015
M4_2	0.049	0.047	0.059	0.003203	854.5	1899.5	0.00	0.023
M4_3	0.049	0.046	0.058	0.002681	803.9	1704.7	0.00	0.016
M4_4	0.049	0.047	0.059	0.003091	963.7	2017.3	159.00	0.023
M4_5	0.049	0.046	0.058	0.002744	897.9	1845.1	158.70	0.016
M4_6	0.048	0.047	0.059	0.002990	1121.8	2113.0	146.00	0.023
M4_7	0.048	0.046	0.058	0.002817	660.6	1615.8	145.17	0.016
M4_8	0.048	0.047	0.059	0.003084	938.5	1829.9	160.00	0.024
M4_9	0.048	0.046	0.058	0.002839	321.5	1375.1	159.00	0.016
M4_10	0.048	0.047	0.059	0.003062	643.7	1535.1	160.00	0.024
A2_1	0.059	0.066	0.077	0.003323	505.7	1426.7	157.63	0.033
A2_2	0.059	0.066	0.077	0.003279	564.8	1612.8	156.82	0.032
A2_3	0.059	0.066	0.077	0.003293	730.3	1623.2	0.00	0.031
A2_4	0.059	0.066	0.077	0.003239	615.2	1671.0	0.00	0.031
A2_5	0.059	0.066	0.077	0.003501	743.7	1700.3	158.69	0.030
DM1_L	0.047	0.048	0.058	0.003118	-1232.3	1232.3	0.00	0.028
DM1_T1	0.047	0.048	0.058	0.001307	-586.1	586.1	0.00	0.002
DM1_T2	0.047	0.048	0.058	0.001237	-586.6	586.6	0.00	0.001
DM2_L	0.048	0.038	0.053	0.002720	-1233.5	1233.5	0.00	0.013
DM2_T1	0.038	0.048	0.053	0.001334	-575.4	575.4	0.00	0.003
DM2_T2	0.038	0.048	0.053	0.001336	-575.4	575.4	0.00	0.003
DM3_L	0.048	0.038	0.053	0.002666	-1232.2	1232.2	0.00	0.009
DM3_T1	0.038	0.048	0.053	0.001407	-575.3	575.3	0.00	0.003
DM3_T2	0.038	0.048	0.053	0.001236	-575.2	575.2	0.00	0.004
DM4_L	0.048	0.047	0.059	0.003057	-1231.9	1231.9	0.00	0.024
DM4_T1	0.047	0.049	0.059	0.001365	-592.6	592.6	0.00	0.001
DM4_T2	0.047	0.049	0.059	0.001178	-592.2	592.2	0.00	0.002

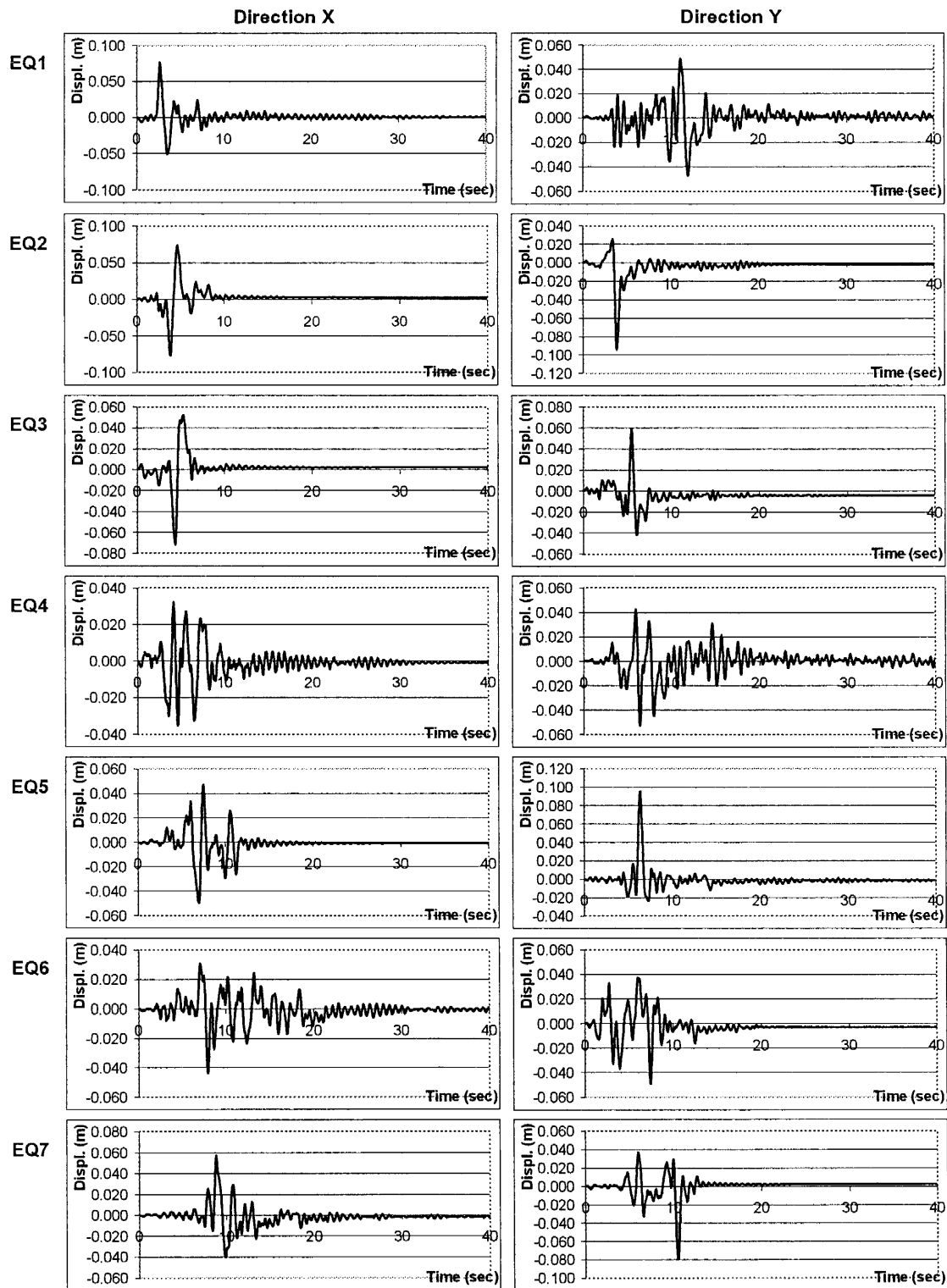
* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

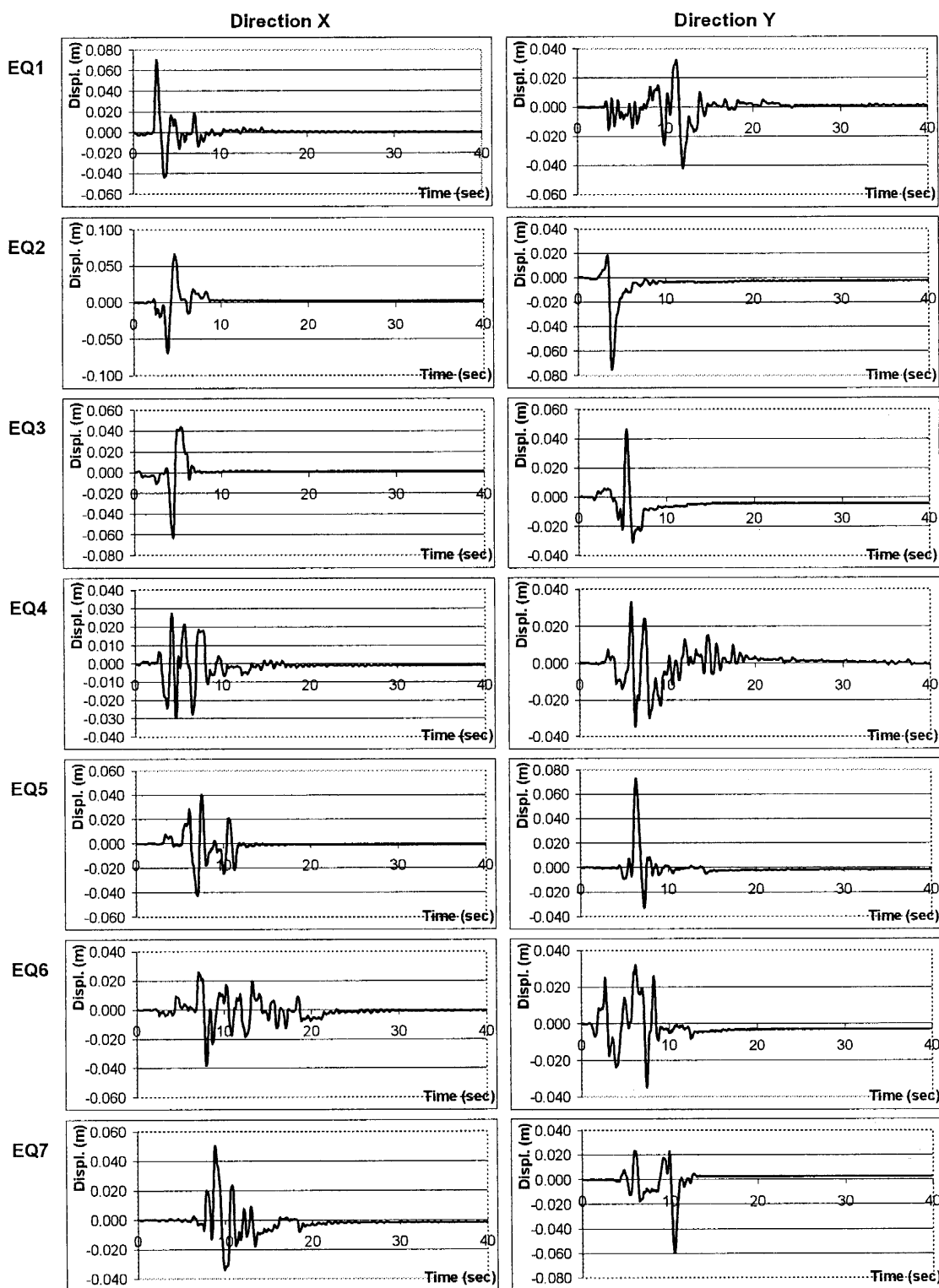
Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης ιστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (ανάλυση για τις ΑΤΠΣ).



Σχήμα 4.5. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης των αποσβεστήρων του μεσοβάθρου M1 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ (η διεύθυνση X αντιστοιχεί στον διαμήκη αποσβεστήρα και η διεύθυνση Y σε ένα από τους εγκάρσιους αποσβεστήρες).



Σχήμα 4.6. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα A1_3 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ.



Σχήμα 4.7. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα M1_5 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ.

4.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Για την εξεταζόμενη γέφυρα η ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, σύμφωνα με την παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με σεισμική Μόνωση», κυρίως λόγω της μεγάλης ιξώδους απόσβεσης (μεγαλύτερης από 0.30). Τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης όσον αφορά τις μετακινήσεις των μονωτήρων. Με την σύγκριση αυτή θα ελεγχθεί η ακρίβεια της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για την περίπτωση όπου η ευκαμψία του καταστώματος της γέφυρας έχει σημαντική επίδραση στην σεισμική απόκριση της γέφυρας.

Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης και των αποτελεσμάτων της μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων για τις αναλύσεις με τις ΚΤΠΣ. Στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ. Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα (το πρόσημο + στις παρακάτω αποκλίσεις αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα αποτελέσματα από την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας σε σχέση με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος):

- Η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων, όπως φαίνεται και από την προηγούμενη παράγραφο, είναι μικρή (της τάξης του -10%) για την διεύθυνση Χ. Η απόκλιση αυτή οφείλεται στην μεγάλη ενεργό απόσβεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης (της τάξης του 0.50).
- Από την άλλη η απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη κατά την διεύθυνση Υ (της τάξης του -30%). Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.10 οι εκτιμούμενες μετακινήσεις σύμφωνα με την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας είναι σημαντικά μικρότερες στο κεντρικό τμήμα της γέφυρας σε σχέση με τα άκρα της. Αυτό δεν οφείλεται στην συμμετοχή της ευκαμψίας των βάθρων, αφού τα βάθρα είναι πολύ δύσκαμπτα στην διεύθυνση αυτή, ούτε στην επίδραση της εκκεντρότητας μεταξύ κέντρου μάζας και κέντρου δυσκαμψίας αφού η εκκεντρότητα αυτή είναι πολύ μικρή. Από την άλλη οφείλεται στην συμμετοχή της ευκαμψίας του καταστώματος. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί και από την παραμορφωμένη εικόνα της κάτοψης του καταστώματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8. Για τον λόγο αυτό η συμπεριφορά της σεισμικά μονωμένης γέφυρας δεν μπορεί να προσομοιωθεί με μονοβάθμιο σύστημα σε αυτή την διεύθυνση.

Βάθρο i	d _x (m)			d _y (m)			d (m) *		
	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)
A1	0.064	0.072	0.89	0.076	0.068	1.12	0.087	0.075	1.17
M1	0.056	0.066	0.85	0.059	0.067	0.88	0.071	0.070	1.02
M2	0.056	0.066	0.85	0.051	0.067	0.76	0.065	0.070	0.94
M3	0.056	0.066	0.85	0.050	0.067	0.75	0.065	0.070	0.93
M4	0.056	0.066	0.85	0.058	0.067	0.86	0.070	0.070	1.01
A2	0.064	0.072	0.89	0.072	0.068	1.06	0.085	0.075	1.13
max	0.064	0.072	0.89	0.076	0.068	1.12	0.087	0.075	1.17
min	0.056	0.066	0.85	0.050	0.067	0.75	0.065	0.070	0.93

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

Πίνακας 4.9. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΚΤΠΣ).

Βάθρο i	d _x (m)			d _y (m)			d (m) *		
	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ϊστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)
A1	0.059	0.057	1.04	0.069	0.054	1.29	0.079	0.059	1.34
M1	0.049	0.050	0.97	0.048	0.053	0.91	0.059	0.055	1.08
M2	0.049	0.050	0.97	0.038	0.053	0.72	0.054	0.055	0.98
M3	0.048	0.050	0.96	0.038	0.053	0.72	0.053	0.055	0.98
M4	0.049	0.050	0.97	0.047	0.053	0.89	0.059	0.055	1.08
A2	0.059	0.057	1.05	0.066	0.054	1.24	0.077	0.059	1.31
max	0.059	0.057	1.04	0.069	0.054	1.29	0.079	0.059	1.34
min	0.048	0.050	0.96	0.038	0.053	0.72	0.053	0.055	0.98

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

Πίνακας 4.10. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΑΤΠΣ).



Σχήμα 4.8. Παραμορφωμένη εικόνα της κάτοψης του καταστρώματος την χρονική στιγμή όπου εμφανίζονται οι μέγιστες μετακινήσεις στους μονωτήρες του ακροβάθρου Α1 κατά την Διεύθυνση Υ στον σεισμό EQ1 (Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ).

4.7 Έλεγχοι Επάρκειας Εφεδράνων

Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα ελέγχονται με βάση τις σχέσεις που παρέχονται στην παράγραφο 6.2.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Ως εξωτερική διάμετρος του εφεδράνου για τους ελέγχους επάρκειας λαμβάνεται υπόψη η διάμετρος του συγκολλημένου ελαστικού στα μεταλλικά φύλλα D_e' (βλέπε Σχήμα 3.3).

Οι έλεγχοι επάρκειας των εφεδράνων πραγματοποιούνται για τα αποτελέσματα των αναλύσεων ιστορίας με τις ΚΤΠΣ, καθώς για τις τιμές αυτές προκύπτουν οι μεγαλύτερες μετακινήσεις οι οποίες και δίνουν τα πιο δυσμενή αποτελέσματα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παρακάτω έλεγχοι αφορούν τις σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού. Σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» για τις μη σεισμικές καταστάσεις σχεδιασμού έχει εφαρμογή το EN 1337-3.

ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.3 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Α) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$\varepsilon_{u,k} = 7.0$ $\gamma_{is} = 1.5$
 $\gamma_m = 1.15$
 $E_b = 2000 \text{ MPa}$

Β) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ

Τύπος Μονωτήρα	Τίτλος	D_e' (mm)	t_i (mm)	Σt_i (mm)	G_b (MPa)
1	RB1	430	11	110	1.26

Γ) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	$d_{bd,i}$ (m)	α (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	V_{Ed} (KN)	$d_{0,i}$ (m)	$d_{bi,a}$ (m)	d_{Ed} (m)
A1	1	0.087	0.0034	688	1511	183.7	0.037	0.131	0.169
M1	1	0.071	0.0031	531	1962	129.3	0.028	0.106	0.134
M2	1	0.065	0.0028	425	1940	118.4	0.013	0.098	0.110
M3	1	0.065	0.0028	419	1909	128.1	0.009	0.097	0.106
M4	1	0.070	0.0030	403	2031	128.4	0.024	0.105	0.129
A2	1	0.085	0.0034	563	1666	128.7	0.033	0.127	0.159
Ακρότητα		0.087	0.0034	403	2031	183.7	0.037	0.131	0.169

Δ) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	S	A_b (m ²)	δ	A_r (m ²)	σ_a (MPa)	ϵ_{sd}	$\epsilon_{c,d}$	$\epsilon_{a,d}$	$\epsilon_{b,d}$
A1	1	9.8	0.145	2.34	0.075	20.24	1.53	2.47	0.261	4.26
M1	1	9.8	0.145	2.51	0.088	22.19	1.22	2.70	0.234	4.16
M2	1	9.8	0.145	2.62	0.098	19.73	1.00	2.40	0.213	3.62
M3	1	9.8	0.145	2.64	0.100	19.05	0.96	2.32	0.213	3.49
M4	1	9.8	0.145	2.53	0.091	22.44	1.17	2.73	0.230	4.14
A2	1	9.8	0.145	2.38	0.078	21.29	1.45	2.59	0.262	4.30

Ε) ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Θέση i	Τύπος Μονωτήρα	Ανηγμένη Διατμητική Παραμόρφωση Λόγω Μετακίνησης			Μέγιστη Ισοδύναμη Διατμητική Παραμόρφωση			Έλεγχος Ευστάθειας					Έλεγχος Εφελκυσμού Εφεδράνου	
		Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	Ποσό-τητα	Όριο	Έλεγχος	N _{sd,min} (KN) ≥ 0.0	Έλεγχος		
		ε _{sd}	≤ 2.0		ε _{b,d}	≤ ε _{u,k} /γ _m		D (mm)	≥ 4Σt _i				σ _a (MPa)	≤ 2DG _b S/(3Σ t _i) (MPa)
A1	1	1.53	2	Εντάξει	4.26	6.09	Εντάξει	430	440	20.2	32.1	Εντάξει	688.3	Εντάξει
M1	1	1.22	2	Εντάξει	4.16	6.09	Εντάξει	430	440	22.2	32.1	Εντάξει	531.4	Εντάξει
M2	1	1.00	2	Εντάξει	3.62	6.09	Εντάξει	430	440	19.7	32.1	Εντάξει	424.7	Εντάξει
M3	1	0.96	2	Εντάξει	3.49	6.09	Εντάξει	430	440	19.0	32.1	Εντάξει	418.5	Εντάξει

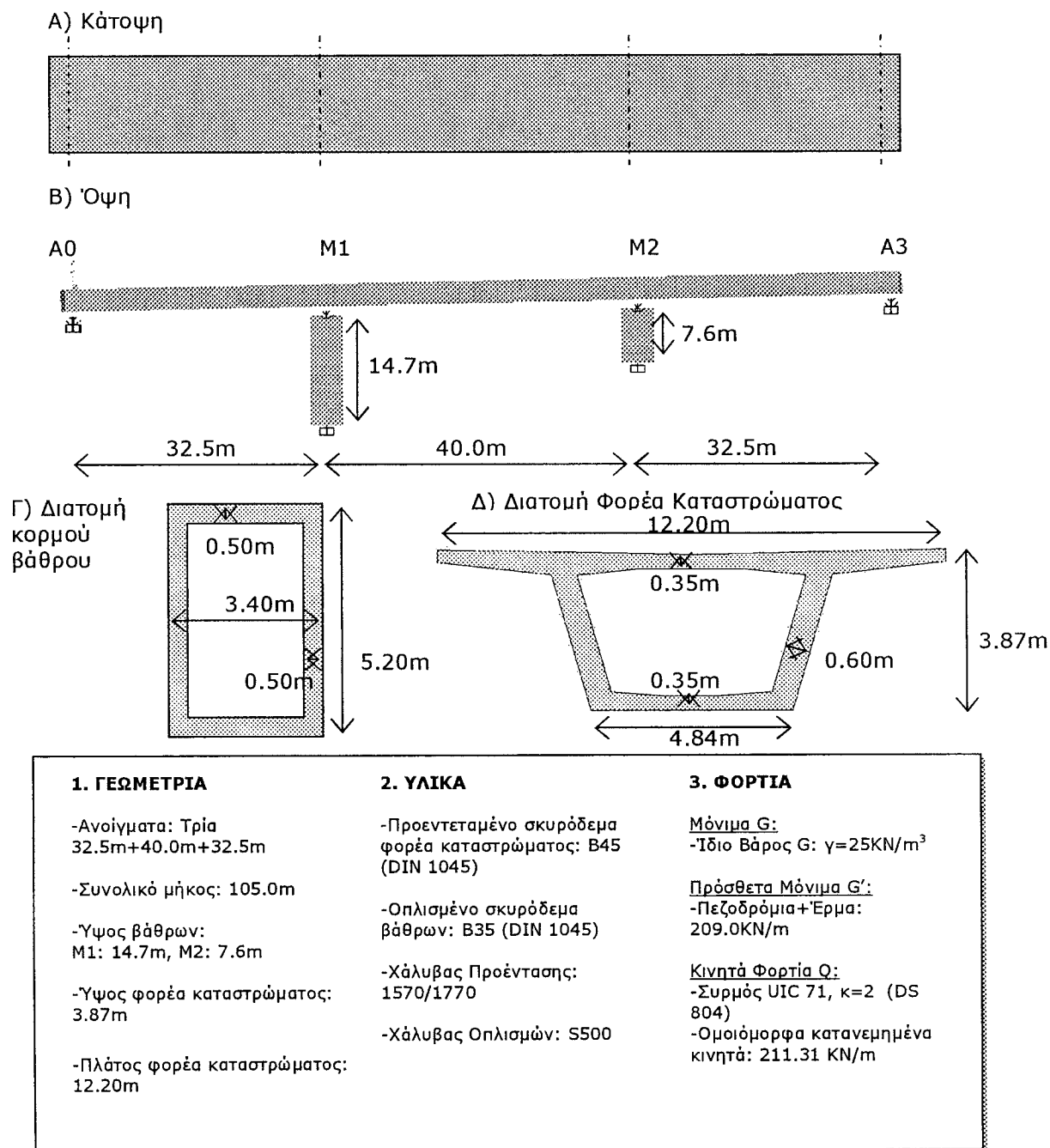
M4	1	1.17	2	Εντάξει	4.14	6.09	Εντάξει	430	440	22.4	32.1	Εντάξει	402.7	Εντάξει
A2	1	1.45	2	Εντάξει	4.30	6.09	Εντάξει	430	440	21.3	32.1	Εντάξει	563.0	Εντάξει

4.8 Έλεγχος Ικανότητας Επαναφοράς

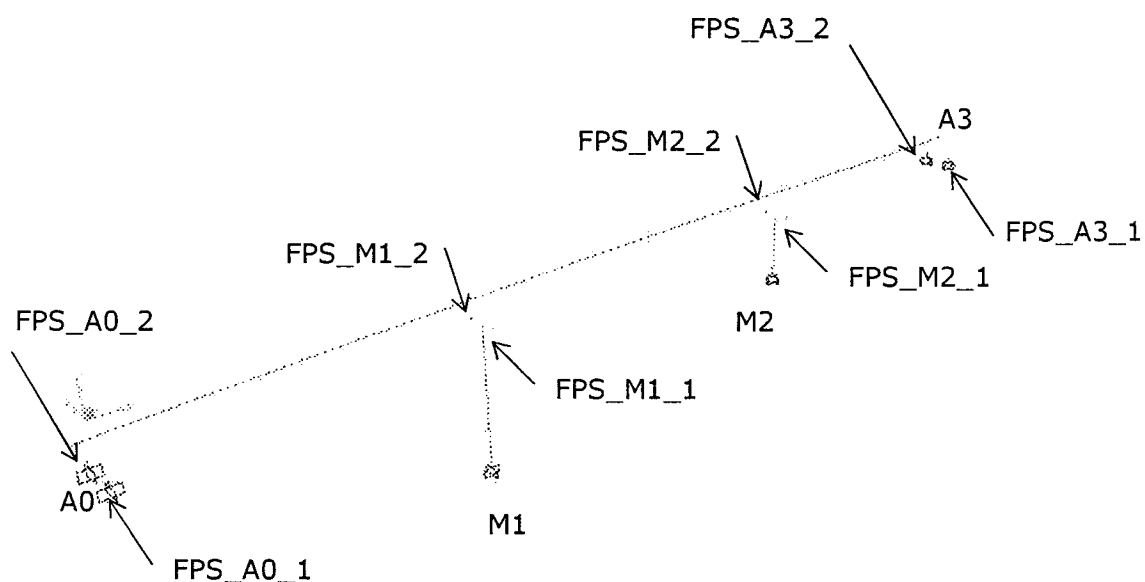
Το σύστημα σεισμικής μόνωσης δεν διαθέτει υστερητική συμπεριφορά ή συμπεριφορά τριβής ($F_0=0$) κατά συνέπεια έχει τέλεια επαναφορά και ο έλεγχος ικανότητας οριζόνητας επαναφοράς πληρείται.

124

5. **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4 - ΓΕΦΥΡΑ 3 ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΗ ΜΕ ΣΦΑΙΡΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (ΕΦΕΔΡΑΝΑ FPS)**



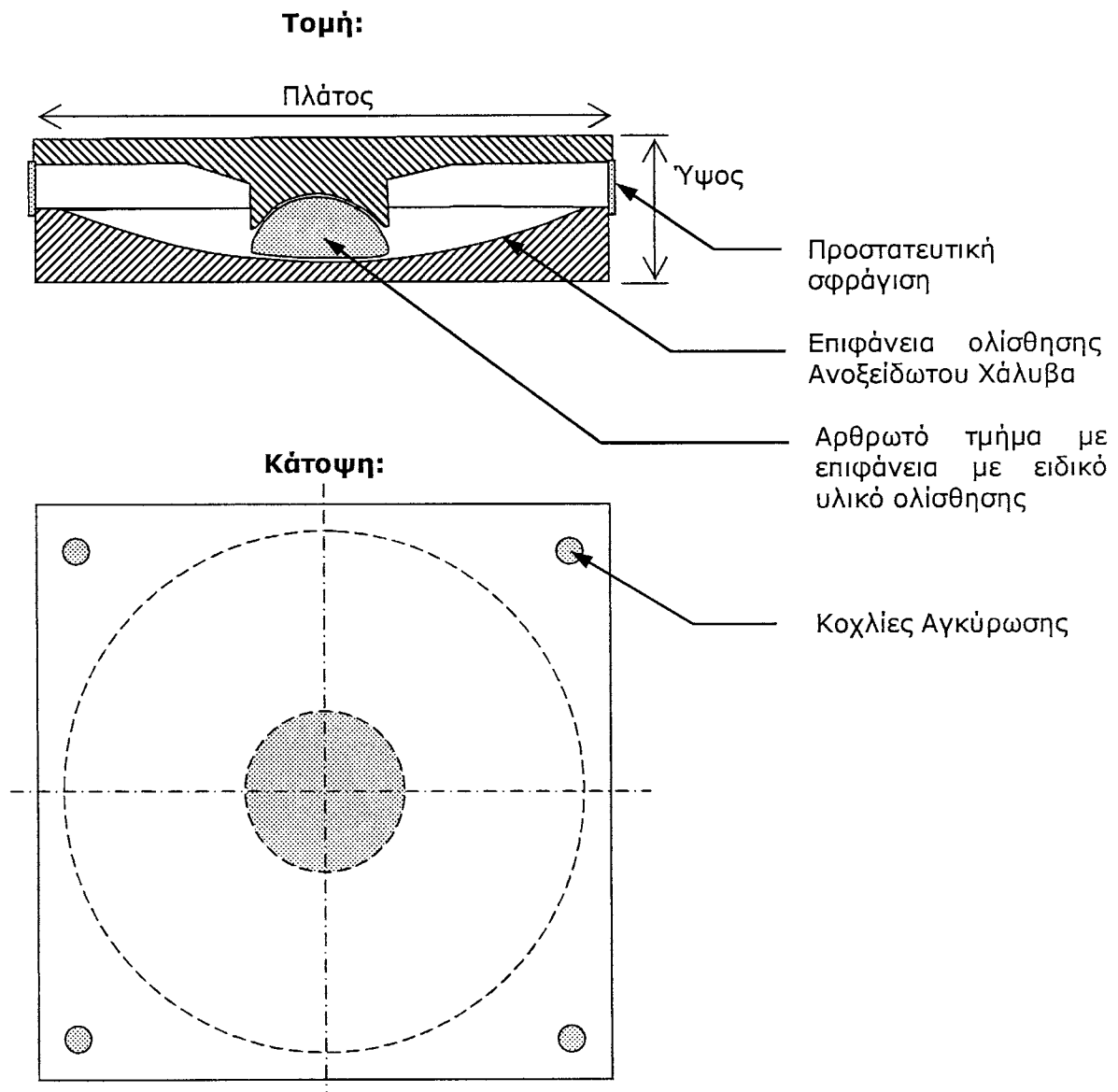
Σχήμα 5.1. Κάτοψη και όψη γέφυρας - Στοιχεία γεωμετρίας, υλικών και φορτίσεων.



Σχήμα 5.2. Διάταξη σεισμικών μονωτήρων στις θέσεις των ακροβάθρων και μεσοβάθρων.

Εφέδρανο	FPS				
Γεωμετρία και ιδιότητες υλικών					
Είδος	Σφαιρικό Εφέδρανο Ολίσθησης (εφέδρανο FPS)				
Διεπιφάνεια ολίσθησης	Τεφλόν (PTFE) χωρίς λίπανση σε επαφή με ανοξείδωτο χάλυβα (stainless steel)				
Ικανότητα μετακίνησης d_m	$\pm 200\text{mm}$				
Μέση ονομαστική τιμή δυναμικού συντελεστή τριβής μ_d	0.045				
Μέση τιμή πίεσης στην διεπιφάνεια ολίσθησης	40 MPa				
Ιδιότητες προσομοιώματος					
	Ονομαστικές Τιμές			Μεταβλητότητα Τιμών	
	DP_{nom}	min DP_{nom}	max DP_{nom}	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
Δυναμικός συντελεστής τριβής μ_d	0.045	0.034	0.056	0.034	0.084
Ακτίνα καμπυλότητας σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης R_b (m)	2.2m				

Πίνακας 5.1. Ιδιότητες σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης.



Σχήμα 5.3. Τυπική τομή σφαιρικού εφεδράνου ολίσθησης.

Κανονισμοί Αντισεισμικής Μελέτης	
1. Ε39/99 Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών	
3. Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση	
Παράμετροι φάσματος σχεδιασμού	
Ζώνη σεισμικής Επικινδυνότητας:	I ($A=0.16g$)
Κατηγορία Σπουδαιότητας:	Σ4 ($\gamma_1=1.30$)
Κατηγορία Εδάφους:	B ($T_1=0.15sec, T_2=T_c=0.60sec$)
Παράμετροι αντισεισμικής μελέτης	
Συντελεστής συμπεριφοράς ανωδομής q	1.00

Πίνακας 5.2. Κανονισμοί και παράμετροι αντισεισμικής μελέτης.

5.1 Περιγραφή της γέφυρας και του συστήματος σεισμικής μόνωσης

Το παράδειγμα αφορά ευθύγραμμη σιδηροδρομική γέφυρα 3 ανοιγμάτων (32.50m+40.00m+32.50m) συνολικού μήκους 105.0m και πλάτους 12.20m η οποία είναι σεισμικά μονωμένη με σφαιρικά εφεδράνα ολίσθησης (Σχήμα 5.1, Σχήμα 5.2).

Ο φορέας του καταστρώματος αποτελείται από μονοκύψελο κιβώτιο ύψους 3.87m και πλάτους 12.2m, κατασκευασμένο από προεντεταμένο σκυρόδεμα B45. Οι κορμοί όλων των μεσοβάθρων είναι κιβωτιοειδούς διατομής διαστάσεων 5.20m x 3.40m με πάχος τοιχωμάτων 0.50m. Στην κορυφή των βάθρων διαμορφώνεται συμπαγής κεφαλή πάνω στην οποία εδράζεται ο φορέας μέσω των σεισμικών μονωτήρων. Τα μεσόβαθρα κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα B35.

Η διάταξη σεισμικής μόνωσης βασίζεται στη χρήση σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης (εφεδράνα εκκρεμούς τριβής ή FPS). Πιο συγκεκριμένα σε κάθε θέση στήριξης του φορέα στα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα προβλέπεται έδραση του φορέα σε δύο σφαιρικά εφεδράνα ολίσθησης με δυνατότητα μετακίνησης και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Με την χρήση των σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης επιτυγχάνεται αύξηση της ιδιοπεριόδου του συστήματος ($T_{eff} \sim 2.0 \text{ sec}$) και επιπλέον αύξηση της απόσβεσης του συστήματος ($\xi_{eff} \sim 0.30$). Έτσι επιτυγχάνεται μείωση της σεισμικής έντασης στη γέφυρα (μετακίνηση σε υψηλότερες τιμές των περιόδων του φάσματος) και περιορισμός των μετακινήσεων (αύξηση της απόσβεσης του συστήματος).

Η μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης της γέφυρας πραγματοποιείται με βάση τις διατάξεις της Ε39/99 «Οδηγίες για την Αντισεισμική Μελέτη Γεφυρών» και του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Οι παράμετροι της αντισεισμικής μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Η ανάλυση της σεισμικής απόκρισης του συστήματος σεισμικής μόνωσης πραγματοποιείται με την μέθοδο της Μη-γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Για κάθε μέθοδο ανάλυσης πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις. Στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων μετακινήσεων του συστήματος μόνωσης και ανωδομής. Στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) για τον υπολογισμό των μέγιστων δυνάμεων στην υποδομή και την ανωδομή.

Η ανάλυση της συγκεκριμένης σεισμικά μονωμένης γέφυρας επιτρέπεται να γίνει και με τις δυο παραπάνω μεθόδους για τις αναλύσεις με τις ΚΤΠΣ (όπου η ενεργός απόσβεση είναι μικρότερη από 0.30) ενώ δεν επιτρέπεται να γίνει με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ (όπου η ενεργός απόσβεση είναι μεγαλύτερη από 0.30). Τα αποτελέσματα των δύο αναλύσεων θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης όσον αφορά τα μεγέθη σχεδιασμού των σεισμικών μονωτήρων (μετακινήσεις, αξονικά φορτία) και τα μεγέθη σχεδιασμού της ανωδομής και της υποδομής (τέμνουσα βάση και τέμνουσες βάθρων).

5.2 Περιγραφή των σεισμικών μονωτήρων

Τα σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης είναι συσκευές ολίσθησης αποτελούμενες από αρθρωτό τμήμα με σφαιρική επιφάνεια καλυμμένη με ειδικό υλικό ολίσθησης το οποίο ολισθαίνει σε σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης από ανοξείδωτο χάλυβα (Σχήμα 5.3). Η διεπιφάνεια ολίσθησης αποτελείται από αρθρωτό τμήμα με ειδικό υλικό ολίσθησης χωρίς λιπαντικό μέσο σε επαφή με σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης από ανοξείδωτο χάλυβα. Ο συντελεστής δυναμικής τριβής μ_d εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα ολίσθησης, την πίεση και την θερμοκρασία. Επιπλέον ο συντελεστής δυναμικής τριβής αυξάνει με την γήρανση, την ρύπανση και την συνολική διαδρομή ολίσθησης.

Τα σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης εξασφαλίζουν δύναμη επαναφοράς μέσω της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης. Η σχέση δύναμης-μετακίνησης είναι:

$$F = \frac{N_{sd}}{R_b} d_b + \mu_d N_{sd} \text{sign}(\dot{d}_b)$$

Η ενέργεια που αποσβένεται ανά κύκλο στην μετακίνηση d_b είναι ίση προς:

$$E_D = 4\mu_d N_{sd} d_b$$

Όπου

μ_d	είναι ο συντελεστής δυναμικής τριβής
R_b	είναι η ακτίνα καμπυλότητας της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης
N_{sd}	είναι η αξονική δύναμη που μεταφέρεται από την συσκευή
$\text{sign}(\dot{d}_b)$	είναι το πρόσημο του ανύσματος της ταχύτητας
d_b	είναι η σχετική μετακίνηση των δύο επιφανειών ολίσθησης

Η μέση ονομαστική τιμή του συντελεστή τριβής επιλέγεται 0.045. Η τιμή αυτή του συντελεστή τριβής μπορεί να επιτευχθεί στην διεπιφάνεια υλικού ολίσθησης – ανοξείδωτου χάλυβα χωρίς την χρήση λιπαντικής ουσίας και με μέση πίεση στην διεπιφάνεια της τάξης των 40 MPa.

Το περιθώριο διακύμανσης της ονομαστικής τιμής του συντελεστή τριβής ορίζεται ως +/- 25% της μέσης τιμής δηλαδή από 0.03375 έως 0.05625. Η διακύμανση αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τις αβεβαιότητες που επηρεάζουν τον συντελεστή τριβής κατά τις δοκιμές προτύπων.

Η ακτίνα καμπυλότητας της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης R λαμβάνεται 2.2m η οποία αντιστοιχεί σε περίοδο 3.0sec του κλάδου μετά την έναρξη της ολίσθησης και εξασφαλίζει επαρκή δύναμη επαναφοράς.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα δίνονται στον Πίνακα 5.1 οι μέγιστες ονομαστικές τιμές $\max DP_{nom}$ και οι ελάχιστες ονομαστικές τιμές $\min DP_{nom}$ των ιδιοτήτων των σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης.

Σημειώνεται ότι για μια ολοκληρωμένη μελέτη συστήματος σεισμικής μόνωσης που αποτελείται από σφαιρικά εφέδρανα ολίσθησης θα πρέπει, σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.2.4(4) του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση», οι ιδιότητες των μονωτήρων να προσδιορίζονται ή να

επιβεβαιώνονται από τις Δοκιμές Προτύπων που αναφέρονται στο Παράρτημα Α του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση».

5.3 Μεταβλητότητα των ιδιοτήτων των μονωτήρων

Η μέγιστη δύναμη σε μηδενική μετατόπιση επηρεάζεται από τον συντελεστή δυναμικής τριβής μ_d . Σύμφωνα με την παράγραφο Α.4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» η Ανώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) και η Κατώτερη Τιμή Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) ορίζονται ως:

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \lambda_{U,f3} \lambda_{U,f4}$$

$$ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$$

$$\text{με } \lambda_{U,fi} = 1 + (\lambda_{\max,fi} - 1) \psi_{fi}$$

Όπου:

ψ_{fi} είναι συντελεστές συνδυασμού οι οποίοι είναι ίσοι με $\psi_{fi}=0.90$ για γέφυρα σπουδαιότητας μεγαλύτερης της μέσης.

Για την μεταβλητότητα των παραμέτρων σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη οι τιμές των συντελεστών λ , οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 5.3. Οι τιμές αυτές είναι σύμφωνες με την παράγραφο Α.4.3 των «Οδηγιών για την Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» για την περίπτωση μονωτήρων ολίσθησης εν απουσία αποτελεσμάτων καταλλήλων δοκιμών. Με θεώρηση κατασκευής από σκυρόδεμα ($\Delta T_r=7.5^\circ\text{C}$) και ελάχιστης θερμοκρασίας υπό σκιά στην περιοχή του έργου με ετήσια πιθανότητα αρνητικής υπέρβασης 0.02 ίση με $T_{\min}=-5^\circ\text{C}$ προκύπτει ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού σεισμικών μονωτήρων στην περιοχή του κτιρίου ίση με $T_{\min,b}=\psi_2 T_{\min} + \Delta T_r = 5.0^\circ\text{C}$, όπου $\psi_2=0.5$ ο συντελεστής συνδυασμού θερμικών δράσεων υπό σεισμικές συνθήκες. Τα λοιπά χαρακτηριστικά των σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης λαμβάνονται ως εξής:

- PTFE χωρίς λιπαντικό μέσο
- Μονωτήρας με προστατευτική σφράγιση
- Επιφάνεια ανοξείδωτου χάλυβα προς τα πάνω
- Κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες
- Ελάχιστη θερμοκρασία για τον σεισμικό σχεδιασμό των μονωτήρων $T_{\min,b}=5.0^\circ\text{C}$
- Συνολική διαδρομή μεταξύ 1.0 και 2.0 km
- Σπουδαιότητα γέφυρας μεγαλύτερη της μέσης ($\psi_{fi}=0.90$)

Συντε- λεστές λ	f1: γήρανση	f2: θερμοκρασία	f3: ρύπανση	f4: Συνολική διαδρομή
Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0 (kN)				
$\lambda_{\max,fi}$	1.1	1.075	1.1	1.2

$\lambda_{\min,fi}$	1.0	1.0	1.0	1.0
---------------------	-----	-----	-----	-----

Πίνακας 5.3. Συντελεστές μεταβλητότητας παραμέτρων σχεδιασμού λ .

Η εκτίμηση της ενεργού Ανώτερης και Κατώτερης Τιμής Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ) που θα χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο Α.4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται παρακάτω.

Α) Δύναμη σε μηδενική μετακίνηση F_0

- Υπολογισμός Συντελεστών $\lambda_{U,fi}$

$$\begin{aligned}\lambda_{U,f1} &= (1+\lambda_{\max,f1}-1)\psi_{fi} = 1+(1.1-1)*0.9 = 1.0900 \\ \lambda_{U,f2} &= (1+\lambda_{\max,f2}-1)\psi_{fi} = 1+(1.075-1)*0.9 = 1.0675 \\ \lambda_{U,f3} &= (1+\lambda_{\max,f3}-1)\psi_{fi} = 1+(1.1-1)*0.9 = 1.0900 \\ \lambda_{U,f4} &= (1+\lambda_{\max,f4}-1)\psi_{fi} = 1+(1.2-1)*0.9 = 1.1800\end{aligned}$$

- Υπολογισμός ΑΤΠΣ και ΚΤΠΣ

$$ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} \lambda_{U,f1} \lambda_{U,f2} \lambda_{U,f3} \lambda_{U,f4}$$

$$\Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} * 1.09 * 1.0675 * 1.09 * 1.18 \Rightarrow ΑΤΠΣ = \max DP_{nom} * 1.496590165$$

$$\lambda_{\min,fi} = 1$$

$$\Rightarrow ΚΤΠΣ = \min DP_{nom}$$

Οι ΚΤΠΣ και ΑΤΠΣ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5.1, για τους εξεταζόμενους τύπους μονωτήρων.

5.4 Ανάλυση Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Η ανάλυση ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο 5.4 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Πραγματοποιούνται δύο αναλύσεις, στην πρώτη χρησιμοποιούνται οι Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) ενώ στην δεύτερη χρησιμοποιούνται οι Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ).

Η εξεταζόμενη σεισμικά μονωμένη γέφυρα πληροί τις προϋποθέσεις οι οποίες αναφέρονται στην παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» σχετικά με το πεδίο εφαρμογής της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για αναλύσεις με τις ΚΤΠΣ. Οπότε για την περίπτωση των ΚΤΠΣ τα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος μπορούν να συγκριθούν άμεσα με τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας. Από την άλλη οι παραπάνω προϋποθέσεις δεν πληρούνται για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ, επειδή η ισοδύναμη απόσβεση του συστήματος σεισμικής μόνωσης είναι μεγαλύτερη από 0.30. Κατά συνέπεια η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος δεν μπορεί να εφαρμοστεί για την μελέτη του συστήματος σεισμικής μόνωσης για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ. Για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ η Μέθοδος Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας.

Η ενεργός δυσκαμψία $K_{eff,i}$ και η αποσβενόμενη ενέργεια ανά κύκλο ED_i των μονωτήρων εξαρτώνται από την μετακίνηση σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης d_{cd} στην εξεταζόμενη διεύθυνση. Κατά συνέπεια η διαδικασία ανάλυσης σύμφωνα με την μέθοδο του Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος είναι εν γένει επαναληπτική ως εξής:

1. Γίνεται υπόθεση κάποιας τιμής της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} .
2. Υπολογίζονται συναρτήσει της d_{cd} οι ποσότητες $K_{eff,i}$ και ED_i όλων των μονωτήρων.
3. Υπολογίζονται η ενεργός περίοδος T_{eff} και η ενεργός απόσβεση ξ_{eff} του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.
4. Υπολογίζεται διορθωμένη τιμή της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} με βάση το φάσμα σχεδιασμού και τις τιμές των T_{eff} και ξ_{eff} .
5. Εάν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια υπολογισμού της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} τότε η διαδικασία τερματίζεται, αλλιώς επιστροφή στο βήμα 2.

Η διαδικασία συγκλίνει ταχύτατα και συνήθως απαιτείται μικρός αριθμός επαναλήψεων για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια.

Μετά την σύγκλιση των επαναλήψεων για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού του συστήματος σεισμικής μόνωσης γίνεται η εκτίμηση της επιρροής των εκκεντροτήτων μεταξύ του κέντρου δυσκαμψίας και του κέντρου μάζας της ανωδομής στην μετακίνηση του κάθε μονωτήρα.

Στις ακόλουθες σελίδες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.4 - Ανάλυση με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

A) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	60462.8	KN	$a_g =$	0.208	g
$\gamma_{ls} =$	1.5		$T_c =$	0.6	sec
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec

B) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΘΡΩΝ

Βάθρο i	X_i (m)	Y_i (m)	$N_{sd,i}$ (KN)	H_i (m)	Διαμήκης Διεύθυνση X			Εγκάρσια Διεύθυνση Y		
					K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)	K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)
A0	0	0	7714.8	0.0	-	-	-	-	-	-
M1	32.5	0.678	22476.5	14.7	367376.9	-	-	726744	-	-
M2	72.5	0.533	22619.8	7.6	2232143	-	-	4273504	-	-
A3	105	0	7651.7	0.0	-	-	-	-	-	-
Σύνολο			60462.8							

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΒΑΘΡΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ)

- Ιδιότητες μονωτήρων (αναφέρονται συγκεντρωτικά για κάθε βάθρο)

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X							
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά C	
	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	(KN*(s/m) ^α)	α
A0	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
M1	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
M2	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
A3	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y							
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά C	
	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	(KN*(s/m) ^α)	α
A0	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
M1	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
M2	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
A3	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0

A0	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
M1	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
M2	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0
A3	0.000	0.00	0.0000	0.034	2.2	0	0

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΜΗΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανάληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	47069.0	822.29	2.274	0.2780	0.5521
2	0.0973	48025.5	783.92	2.251	0.2743	0.5553
3	0.0969	48122.7	780.26	2.249	0.2748	0.5549
4	0.0967	48160.4	778.84	2.248	0.2750	0.5547
5	0.0967	48177.4	778.21	2.247	0.2752	0.5546

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.1%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{b,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{b,i,d,x}$ (m)	$d_{b,i,d,y}$ (m)
A0	0.097	6222.3	6222.3	101.3	-52.661	-0.440	1.000	0.001	0.097	0.000
M1	0.092	18527.2	17637.7	281.1	-20.161	0.238	1.000	0.000	0.092	0.000
M2	0.096	18309.1	18160.1	294.7	19.839	0.093	1.000	0.000	0.096	0.000
A3	0.097	6171.4	6171.4	100.5	52.339	-0.440	1.000	0.001	0.097	0.000
Σύνολο			48191.4	777.7						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (c_r)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0 =$	2055.734	KN
$F_y =$	2055.73	KN
$K_p =$	27483.1	KN/m
$K_{eff} =$	48191.4	KN/m
$\Sigma E_{D,i} =$	777.7	KNm
$T_{eff} =$	2.25	sec
$\xi_{eff} =$	0.275	
$\eta_{eff} =$	0.554	
$d_{cd} =$	0.097	m
$S_e/g =$	0.077	

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r), κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{cr} =$	52.661	m
$Y_{cr} =$	0.440	m
$X_{cm} =$	52.493	m
$Y_{cm} =$	0.451	m
$e_y =$	0.012	m
$r_y =$	31.827	m
$r =$	31.606	m

$V_d =$	max	{	4654.9	KN	Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης	
			0.0	KN	Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας	$\Rightarrow V_d = 4654.9$
			4654.9	KN	Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας	

Ε) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανάληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.1000	48040.4	822.29	2.251	0.2724	0.5569

2	0.0972	48868.2	790.56	2.231	0.2727	0.5567
3	0.0963	49063.4	783.41	2.227	0.2740	0.5556
4	0.0959	49150.9	780.24	2.225	0.2746	0.5550
5	0.0957	49190.8	778.81	2.224	0.2749	0.5548

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.2%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{bi,d,y}$ (m)	$d_{bi,d,x}$ (m)
A0	0.096	6250.6	6250.6	100.3	-52.661	-0.440	1.009	0.000	0.096	0.000
M1	0.093	18413.1	17958.1	285.0	-20.161	0.238	1.003	0.000	0.094	0.000
M2	0.095	18361.2	18282.7	292.8	19.839	0.093	1.003	0.000	0.096	0.000
A3	0.096	6199.4	6199.4	99.5	52.339	-0.440	1.009	0.000	0.096	0.000
Σύνολο			49224.3	777.6						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0=$	2055.734	KN
$F_y=$	2055.73	KN
$K_p=$	27483.1	KN/m
$K_{eff}=$	49224.3	KN/m
$\Sigma E_{D,i}=$	777.6	KNm
$T_{eff}=$	2.22	sec
$\xi_{eff}=$	0.275	
$\eta_{eff}=$	0.555	
$d_{cd}=$	0.096	m
$S_e/g=$	0.078	

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr), κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$X_{cr}=$	52.661	m
$Y_{cr}=$	0.440	m
$X_{cm}=$	52.493	m
$Y_{cm}=$	0.451	m
$e_x=$	0.169	m
$r_x=$	31.491	m
$r=$	31.606	m

$V_d=$	max	{	4705.7	KN	Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης	
			0.0	KN	Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας	$\Rightarrow V_d= 4705.7$
			4705.7	KN	Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας	

Z) ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ - ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Βάθρο i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
A0	0.097	0.029	0.101	0.029	0.096	0.101	0.097	0.096	0.101
M1	0.092	0.028	0.096	0.028	0.094	0.098	0.092	0.094	0.098
M2	0.096	0.029	0.100	0.029	0.096	0.100	0.096	0.096	0.100
A3	0.097	0.029	0.101	0.029	0.096	0.101	0.097	0.096	0.101
Μέγιστα	0.097	0.029	0.101	0.029	0.096	0.101	0.097	0.096	0.101

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

H) ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΒΑΘΡΩΝ

-Λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη από τις εξής καταστάσεις:

- Κατάσταση μέγιστης μετακίνησης
- Κατάσταση μέγιστης ταχύτητας αποσβεστήρων
- Κατάσταση μέγιστης αδρανειακής δύναμης ανωδομής

Βάθος i	V_x (KN)	V_y (KN)
A0	601.0	600.5
M1	1703.7	1720.0
M2	1754.1	1751.1
A3	596.1	595.6
Μέγιστο	1754.1	1751.1

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.4 - Ανάλυση με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ)

Σημείωση: Τα σύμβολα που δεν ορίζονται παρακάτω είναι ταυτόσημα με τα αντίστοιχα σύμβολα που ορίζονται στο Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Α) ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d =$	60462.8	KN	$a_g =$	0.208	g
$\gamma_{is} =$	1.5		$T_c =$	0.6	sec
$g =$	9.81	m/sec ²	$T_D =$	2.5	sec

Β) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΘΡΩΝ

Βάθρο i	X_i (m)	Y_i (m)	$N_{sd,i}$ (KN)	H_i (m)	Διαμήκης Διεύθυνση X			Εγκάρσια Διεύθυνση Y		
					K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)	K_{si} (KN/m)	K_{ti} (KN/m)	K_{ri} (KN/m)
A0	0	0	7714.8	0.0	-	-	-	-	-	-
M1	32.5	0.678	22476.5	14.7	367376.9	-	-	726744	-	-
M2	72.5	0.533	22619.8	7.6	2232143	-	-	4273504	-	-
A3	105	0	7651.7	0.0	-	-	-	-	-	-
Σύνολο			60462.8							

* Οι συντεταγμένες X_i , Y_i , αναφέρονται στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Γ) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΒΑΘΡΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ)

- Ιδιότητες μονωτήρων (αναφέρονται συγκεντρωτικά για κάθε βάθρο)

ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ X							
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά C	
	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	$(KN \cdot s / m)^\alpha$	α
A0	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0
M1	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0
M2	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0
A3	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y							
Βάθρο i	Υστερητική Συμπεριφορά			Συμπεριφορά Τριβής		Ιξώδης Συμπεριφορά C	
	F_0 (KN)	K_p (KN/m)	d_y (m)	μ_d	R_b (m)	$(KN \cdot s / m)^\alpha$	α
A0	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0

M1	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0
M2	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0
A3	0.000	0.00	0.0000	0.084	2.2	0	0

Δ) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΜΗΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
1	0.0500	122496.5	1015.77	1.409	0.5279	0.4160
2	0.0455	137008.3	873.14	1.333	0.4909	0.4300
3	0.0444	140065.4	848.26	1.318	0.4884	0.4310
4	0.0440	141118.8	840.01	1.313	0.4885	0.4309
5	0.0439	141565.5	836.56	1.311	0.4887	0.4309

(Εππαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.4%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{b,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$d_{b,i,d,x}$ (m)	$d_{b,i,d,y}$ (m)
A0	0.044	18326.9	18326.9	113.3	-52.661	-0.421	1.000	0.002	0.044	0.000
M1	0.038	60505.3	51949.4	283.5	-20.161	0.257	1.000	0.001	0.038	0.000
M2	0.043	54801.4	53488.2	324.4	19.839	0.112	1.000	0.001	0.043	0.000
A3	0.044	18177.0	18177.0	112.4	52.339	-0.421	1.000	0.002	0.044	0.000
Σύνολα			141941.5	833.7						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (cr)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$F_0 =$	5078.873	KN
$F_y =$	5078.87	KN
$K_p =$	27483.1	KN/m
$K_{eff} =$	141941.5	KN/m
$\Sigma E_{D,i} =$	833.7	KNm
$T_{eff} =$	1.31	sec
$\xi_{eff} =$	0.489	
$\eta_{eff} =$	0.431	
$d_{cd} =$	0.044	m
$S_e/g =$	0.103	

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (cr),
κέντρου μάζας (cm), και εκκεντροτήτων
μεταξύ τους

$X_{cr} =$	52.661	m
$Y_{cr} =$	0.421	m
$X_{cm} =$	52.493	m
$Y_{cm} =$	0.451	m
$e_y =$	0.031	m
$r_y =$	32.154	m
$r =$	31.606	m

$V_d =$	max	{	6206.7	KN	Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης	
			0.0	KN	Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας	$\Rightarrow V_d = 6206.7$
			6206.7	KN	Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας	

Ε) ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ

- Επαναλήψεις για τον προσδιορισμό της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd}

Αριθμός Επανά- ληψης	d_{cd} (m)	K_{eff} (KN/m)	$\Sigma E_{D,i}$ (KNm)	T_{eff} (sec)	ξ_{eff}	η_{eff}
----------------------------	--------------	---------------------	---------------------------	--------------------	-------------	--------------

1	0.0500	129060.5	1015.77	1.373	0.5011	0.4260
2	0.0453	142962.4	894.31	1.305	0.4841	0.4327
3	0.0438	147435.4	861.10	1.285	0.4853	0.4322
4	0.0430	149505.0	846.53	1.276	0.4863	0.4318
5	0.0427	150502.8	839.68	1.272	0.4868	0.4316

(Επαλήθευση σύγκλισης, διαφορά μετακίνησης δύο τελευταίων δοκιμών 0.8%)

- Προσδιορισμός ιδιοτήτων επιμέρους μονωτήρων και προσδιορισμός επίδρασης στρεπτικής κίνησης ανωδομής

Βάθρο i	$d_{bd,i}$ (m)	$K_{b,i}$ (KN/m)	$K_{eff,i}$ (KN/m)	$E_{D,i}$ (KNm)	x_i (m) *	y_i (m) *	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,x}$	$d_{bi,d,y}$ (m)	$d_{bi,d,x}$ (m)
A0	0.042	18791.2	18791.2	109.9	-52.661	-0.421	1.009	0.000	0.043	0.000
M1	0.039	58320.4	53987.9	296.4	-20.161	0.257	1.003	0.000	0.039	0.000
M2	0.042	55679.8	54963.7	318.1	19.839	0.112	1.003	0.000	0.042	0.000
A3	0.042	18637.5	18637.5	109.0	52.339	-0.421	1.009	0.000	0.043	0.000
Σύνολο			151428.9	833.4						

* Οι συντεταγμένες x_i , y_i , αναφέρονται ως προς το ενεργό κέντρο δυσκαμψίας (c_r)

- Ιδιότητες Ισοδύναμου μοναβάθμιου συστήματος

$$F_0 = 5078.873 \text{ KN}$$

$$F_y = 5078.87 \text{ KN}$$

$$K_p = 27483.1 \text{ KN/m}$$

$$K_{eff} = 151428.9 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma E_{D,i} = 833.4 \text{ KNm}$$

$$T_{eff} = 1.27 \text{ sec}$$

$$\xi_{eff} = 0.487 \quad \xi_b = 0.000$$

$$\eta_{eff} = 0.431 \quad f_1 = 1.000$$

$$d_{cd} = 0.042 \text{ m} \quad f_2 = 0.000$$

$$S_e/g = 0.106$$

- Θέση κέντρου ενεργού δυσκαμψίας (c_r), κέντρου μάζας (c_m), και εκκεντροτήτων μεταξύ τους

$$X_{cr} = 52.661 \text{ m}$$

$$Y_{cr} = 0.421 \text{ m}$$

$$X_{cm} = 52.493 \text{ m}$$

$$Y_{cm} = 0.451 \text{ m}$$

$$e_x = 0.169 \text{ m}$$

$$r_x = 31.131 \text{ m}$$

$$r = 31.606 \text{ m}$$

$$V_d = \max \left\{ \begin{array}{l} 6420.4 \text{ KN} \text{ Κατάσταση Μέγιστης Μετακίνησης} \\ 0.0 \text{ KN} \text{ Κατάσταση Μέγιστης Ταχύτητας} \\ 6420.4 \text{ KN} \text{ Κατάσταση Μέγιστης Αδράνειας} \end{array} \right. \Rightarrow V_d = 6420.4$$

Ζ) ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ - ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ

Βάθρο i	Συνδυασμός $\pm 1.0X \pm 0.3Y$			Συνδυασμός $\pm 0.3X \pm 1.0Y$			Δυσμενέστερος Συνδυασμός		
	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *	$d_{bd,i,x}$ (m)	$d_{bd,i,y}$ (m)	$d_{bd,i}$ (m) *
A0	0.044	0.013	0.046	0.013	0.043	0.045	0.044	0.043	0.046
M1	0.038	0.012	0.039	0.011	0.039	0.041	0.038	0.039	0.041
M2	0.043	0.013	0.045	0.013	0.042	0.044	0.043	0.042	0.045
A3	0.044	0.013	0.046	0.013	0.043	0.045	0.044	0.043	0.046
Μέγιστ α	0.044	0.013	0.046	0.013	0.043	0.045	0.044	0.043	0.046

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της μετακίνησης

Η) ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΒΑΘΡΩΝ

-Λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη από τις εξής καταστάσεις:

i) Κατάσταση μέγιστης μετακίνησης

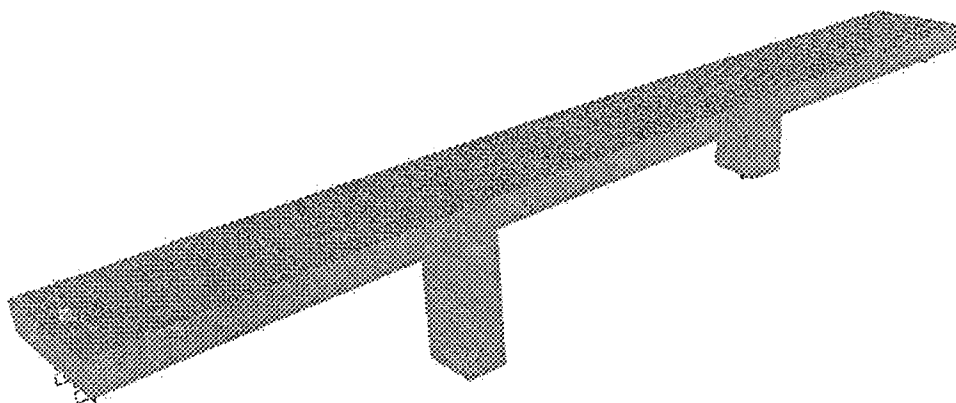
- ii) Κατάσταση μέγιστης ταχύτητας αποσβεστήρων
 iii) Κατάσταση μέγιστης αδρανειακής δύναμης ανωδομής

Βάθρο i	V_x (KN)	V_y (KN)
A0	801.4	798.1
M1	2271.6	2290.4
M2	2338.9	2331.9
A3	794.8	791.5
Μέγιστ α	2338.9	2331.9

5.5 Μη-γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Για την μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιήθηκαν 7 τριάδες τροποποιημένων φυσικών επιταχυνσιογραφήμάτων. Τα χρησιμοποιούμενα επιταχυνσιογραφήματα καθώς και ο έλεγχος συμβατότητας τους με το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α του παρόντος τεύχους.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιείται με απ'ευθείας εν χρόνω ολοκλήρωση της μη-γραμμικής εξίσωσης κίνησης. Λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά των σεισμικών μονωτήρων μέσω κατάλληλου μοντέλου (γραμμικό ελαστικό μοντέλο για τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης και μη-γραμμικό ιξώδες μοντέλο σε σειρά με γραμμικό ελατήριο για τους υδραυλικούς αποσβεστήρες. Η υποδομή θεωρείται απαραμόρφωτη και δεν λαμβάνεται υπόψη στην προσομοίωση. Η ανωδομή θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ελαστικά και προσομοιώνεται μέσω γραμμικών ελαστικών ραβδωτών στοιχείων λαμβάνοντας υπόψη την αρηγμάτωση δυσκαμψία των αντίστοιχων μελών της κατασκευής (δυσκαμψία σταδίου Ι).



Σχήμα 5.4. Προσομοίωμα κατασκευής για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας.

Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μη-γραμμικής ιδιομορφικής ανάλυσης (Fast Non-Linear Analysis ή FNA) κατά την οποία το γραμμικό μέρος της κατασκευής (ανωδομή) προσομοιώνεται μέσω ικανού αριθμού ιδιομορφών ενώ λαμβάνεται υπόψη ο μη-γραμμικός νόμος του μη-γραμμικού μέρους της κατασκευής (μονωτήρες). Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SAP200NL μέσω κατάλληλου προσομοιώματος της ανωδομής και του συστήματος σεισμικής μόνωσης (Σχήμα 5.4).

Για το κάθε εξεταζόμενο μέγεθος (εντατικό μέγεθος ή μετακινησιακό μέγεθος) η τιμή σχεδιασμού προκύπτει ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων μεγίστων μεγεθών των 7 σεισμών.

Πραγματοποιούνται αναλύσεις, η πρώτη γίνεται με τις Κατώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΚΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση κάτω ορίου) ενώ η δεύτερη γίνεται με τις Ανώτερες Τιμές Παραμέτρου Σχεδιασμού (ΑΤΠΣ) των μονωτήρων (ανάλυση άνω ορίου).

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.6(3) του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» εφαρμόζονται για τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας τα κάτω όρια που προκύπτουν από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Συγκεκριμένα εξετάζονται οι λόγοι της μετακίνησης σχεδιασμού d_{cd} και της τέμνουσας βάσης V_d όπως προκύπτουν από την Μη Γραμμική Δυναμική Ανάλυση Χρονοϊστορίας σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη d_{cf} και V_f όπως προκύπτουν από την Μέθοδο Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Σημειώνεται ότι για την περίπτωση της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος στην τέμνουσα βάσης που προκύπτει από την ανάλυση αθροίζεται η συμμετοχή της αδρανειακής δύναμης των βάθρων η οποία εκτιμάται ως η μάζα του βάθρου πολλαπλασιασμένη με την μέγιστη επιτάχυνση εδάφους του φάσματος σχεδιασμού και προκύπτει ίση με 598.1kN για το M1 και 347.4kN για το M2.

Α) Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Χ:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.089\text{m} / 0.097\text{m} = 0.92 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 4651.6\text{kN} / 5600.4\text{kN} = 0.83 \geq 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Υ:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.084\text{m} / 0.096\text{m} = 0.88 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 4540.0\text{kN} / 5650.7\text{kN} = 0.80 \geq 0.80\end{aligned}$$

Β) Ανάλυση για τις ΑΤΠΣ

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Χ:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.048\text{m} / 0.044\text{m} = 1.09 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 7375.5\text{kN} / 7152.2\text{kN} = 1.03 \geq 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Διεύθυνση Υ:} \quad \rho_d &= d_{cd}/d_{cf} = 0.051\text{m} / 0.042\text{m} = 1.21 \geq 0.80 \\ \rho_v &= V_d/V_f = 7768.7\text{kN} / 7365.9\text{kN} = 1.05 \geq 0.80\end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι σε καμία περίπτωση τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας δεν βρίσκονται κάτω από τα κάτω όρια που ορίζονται από τα αποτελέσματα της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος. Κατά συνέπεια δεν απαιτείται επαύξηση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρονοϊστορίας για τα μετακινησιακά και τα εντατικά μεγέθη των σεισμικών μονωτήρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 για την ανάλυση με τις ΚΤΠΣ και στον Πίνακα 5.5 για την ανάλυση με τις ΑΤΠΣ. Στα Σχήματα 5.5 έως 5.7 παρουσιάζονται ενδεικτικές χρονοϊστορίες για δύο σφαιρικά εφάσματα ολίσθησης. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα διαγράμματα Δύναμης-Μετακίνησης των μονωτήρων FPS_A0_1 και FPS_M2_2 στις δύο οριζόντιες

διευθύνσεις, από τα οποία είναι φανερή η επίδραση του κατακόρυφου φορτίου και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο οριζοντίων διευθύνσεων, καθώς και οι χρονοϊστορίες μετακίνησης των μονωτήρων.

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΚΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών)								
Μονωτήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ a_{Ed} $ (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	$ V_{Ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
FPS_A0_1	0.089	0.084	0.100	0.000883	2040.2	5481.8	337.68	0.027
FPS_A0_2	0.089	0.084	0.100	0.000883	2160.8	6014.8	377.69	0.027
FPS_M1_1	0.086	0.083	0.098	0.000259	6336.7	15562.6	975.04	0.009
FPS_M1_2	0.086	0.083	0.098	0.000259	6355.4	15652.1	996.62	0.009
FPS_M2_1	0.087	0.084	0.099	0.000113	6286.6	15687.4	1013.40	0.009
FPS_M2_2	0.087	0.084	0.099	0.000113	6408.0	16325.0	1055.46	0.009
FPS_A3_1	0.086	0.084	0.099	0.000871	2007.4	5534.8	345.80	0.026
FPS_A3_2	0.086	0.084	0.099	0.000871	2057.7	5885.2	373.12	0.026

* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

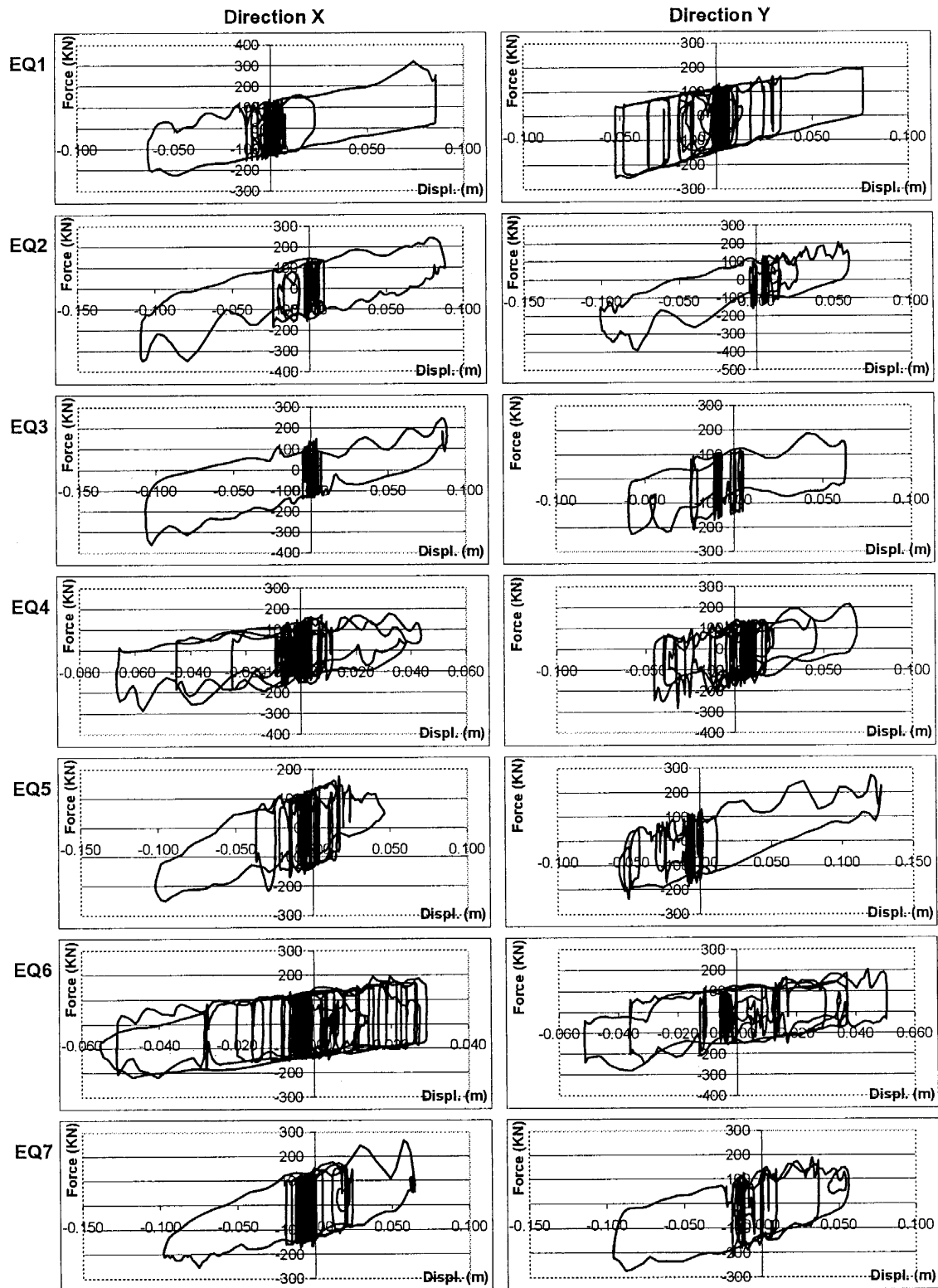
Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΚΤΠΣ).

Αποτελέσματα Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Ανάλυση με τις ΑΤΠΣ) (μέσος όρος 7 σεισμών)								
Μονωτήρας	$ d_{x,i} $ (m)	$ d_{y,i} $ (m)	d_i (m) *	$ a_{Ed} $ (rad)	$N_{sd,min}$ (KN)	$N_{sd,max}$ (KN)	$ V_{Ed} $ (KN)	$d_{0,i}$ (m) **
FPS_A0_1	0.049	0.055	0.068	0.000875	1773.3	6265.8	599.78	0.027
FPS_A0_2	0.049	0.055	0.068	0.000875	2071.1	6652.9	633.73	0.027
FPS_M1_1	0.046	0.051	0.064	0.000398	6338.3	15462.4	1559.53	0.009
FPS_M1_2	0.046	0.051	0.064	0.000398	6509.7	15667.0	1580.98	0.009
FPS_M2_1	0.048	0.050	0.064	0.000137	6024.8	16499.2	1597.46	0.009
FPS_M2_2	0.048	0.050	0.064	0.000137	6579.5	16956.8	1678.80	0.009
FPS_A3_1	0.048	0.048	0.063	0.000872	1800.7	6022.9	573.92	0.026
FPS_A3_2	0.048	0.048	0.063	0.000872	2045.3	6234.6	597.69	0.026

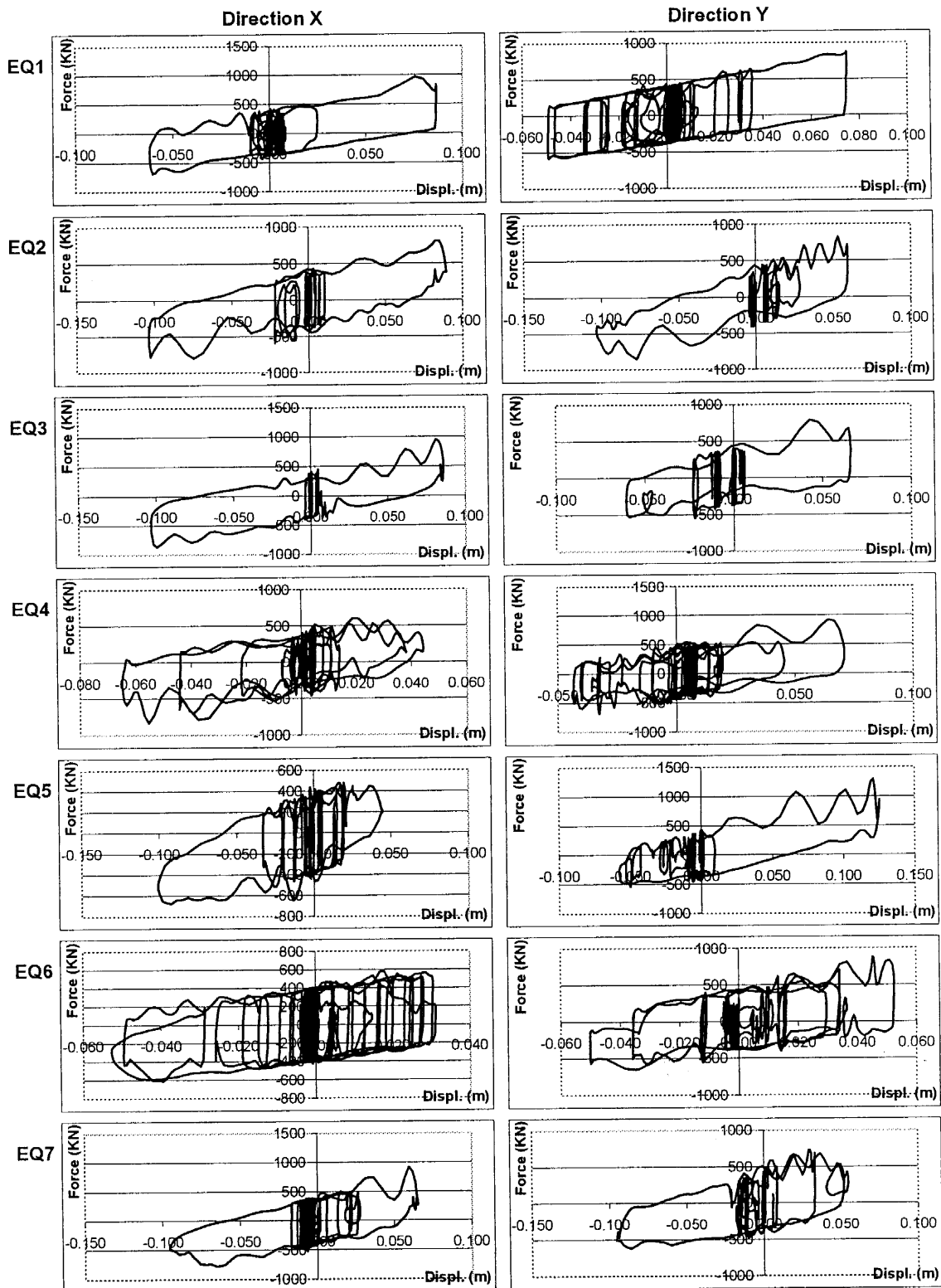
* Αντιστοιχεί στο μέγεθος του διανύσματος της σεισμικής μετακίνησης

** Αντιστοιχεί στην μετακίνηση λόγω μονίμων δράσεων και το 50% της θερμικής δράσης

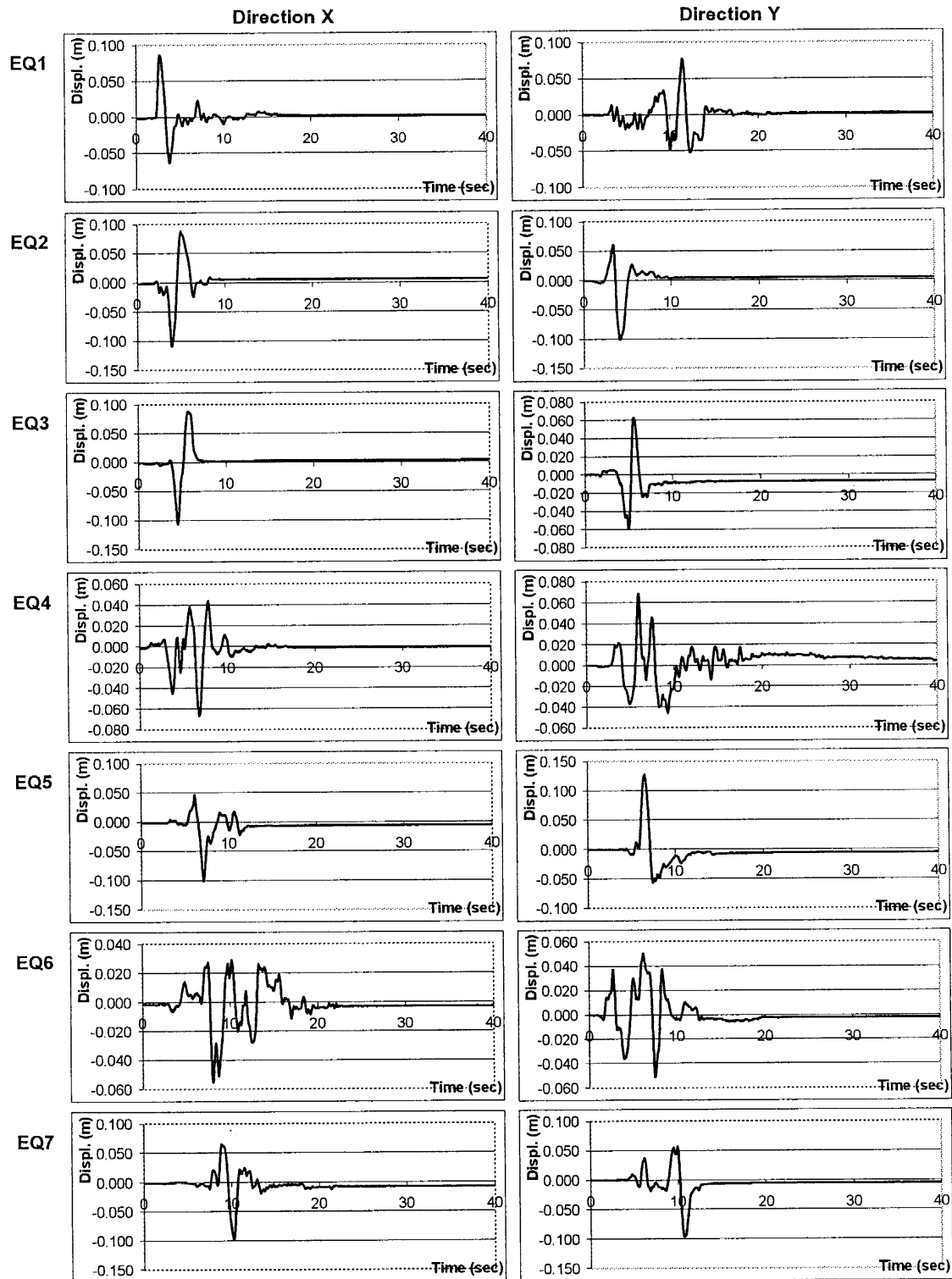
Πίνακας 5.5. Αποτελέσματα μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας για τα μεγέθη σχεδιασμού των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΑΤΠΣ).



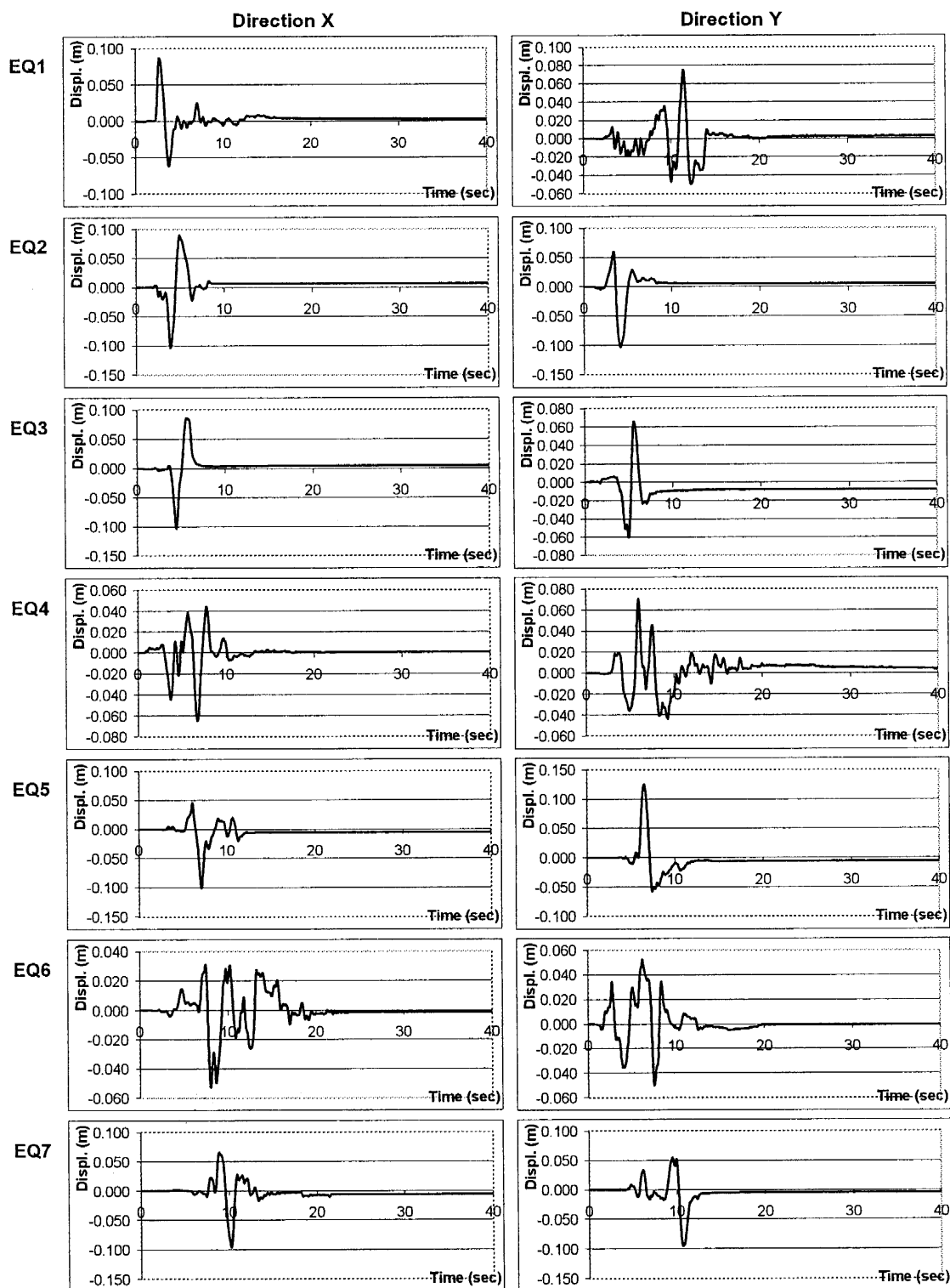
Σχήμα 5.5. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης του μονωτήρα FPS_A0_1 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ και τυχηματική εκκεντρότητα κατά +x.



Σχήμα 5.6. Διαγράμματα δύναμης-μετακίνησης του μονωτήρα FPS_M2_2 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ.



Σχήμα 5.7. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα FPS_A0_1 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ.



Σχήμα 5.8. Χρονοϊστορίες μετακίνησης του μονωτήρα FPS_M1_2 από την δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τις ΚΤΠΣ.

5.6 Σύγκριση αποτελεσμάτων Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας και Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος

Σύμφωνα με την παράγραφο 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» η ανάλυση του συστήματος σεισμικής μόνωσης της εξεταζόμενης γέφυρας μπορεί να πραγματοποιηθεί με εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος στην διαμήκη διεύθυνση Χ (όπου η ενεργός απόσβεση είναι μικρότερη από 0.30), ενώ δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στην εγκάρσια διεύθυνση Υ (όπου η ενεργός απόσβεση είναι μεγαλύτερη από 0.30). Τα αποτελέσματα της Μη Γραμμικής Δυναμικής Ανάλυσης Χρονοϊστορίας θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων ανάλυσης όσον αφορά τις μετακινήσεις των μονωτήρων και τις τέμνουσες στην βάση των μεσοβάθρων.

Στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης και των αποτελεσμάτων της μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων για τις αναλύσεις με τις ΚΤΠΣ. Στον Πίνακα 5.7 παρουσιάζεται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις αναλύσεις με τις ΑΤΠΣ. Επιπλέον στον Πίνακα 5.8 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων όσον αφορά τις τέμνουσες στην βάση των βάθρων.

Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα (το πρόσημο + στις παρακάτω αποκλίσεις αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα μεγέθη από την μέθοδο ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος):

- Η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων είναι μικρή για την μετακίνηση σχεδιασμού στο κέντρο δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης για την περίπτωση της ανάλυσης με τις ΚΤΠΣ (από +13% έως -1%). Για την ανάλυση αυτή επιτρέπεται εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος.
- Αντίθετα η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων είναι σημαντικά μεγαλύτερη για την μετακίνηση σχεδιασμού στο κέντρο δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης για την περίπτωση της ανάλυσης με τις ΑΤΠΣ (από -12% έως -57%). Για την ανάλυση αυτή δεν επιτρέπεται εφαρμογή της Μεθόδου Ισοδύναμου Μονοβάθμιου Συστήματος, λόγω της μεγάλης ενεργού απόσβεσης της συστήματος σεισμικής μόνωσης, της τάξης του 0.50 η οποία είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το όριο του 0.30. Οι μεγάλες αποκλίσεις των δύο μεθόδων επιβεβαιώνουν την σχετική διάταξη της παραγράφου 5.3 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση» σχετικά με το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος.
- Σε όλες τις περιπτώσεις η επίδραση της εκκεντρότητας μεταξύ του κέντρου μάζας της ανωδομής και του κέντρου δυσκαμψίας του συστήματος σεισμικής μόνωσης στην αύξηση των μετακινήσεων των μονωτήρων είναι πολύ μικρή. Αυτό φαίνεται από τις μετακινήσεις των μονωτήρων οι οποίες δεν αυξάνουν σημαντικά προς τα άκρα της γέφυρας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μικρή εκκεντρότητα μεταξύ κέντρου μάζας και κέντρου δυσκαμψίας κάτι το οποίο είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα των σφαιρικών εφεδράνων τριβής όπου η δύναμη και η ενεργός δυσκαμψία των μονωτήρων είναι πάντα ανάλογες του κατακόρυφου φορτίου.

Σύγκριση αποτελεσμάτων αναλύσεως χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (ανάλυση για τις ΚΤΠΣ)									
Βάθρο i	d _{Ed,x} (m)			d _{Ed,y} (m)			d _{Ed} (m)		
	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)
A0	0.089	0.097	0.92	0.084	0.096	0.87	0.100	0.101	0.99
M1	0.086	0.092	0.94	0.083	0.094	0.89	0.098	0.098	1.01
M2	0.087	0.096	0.91	0.084	0.096	0.88	0.099	0.100	0.99
A3	0.086	0.097	0.89	0.084	0.096	0.87	0.099	0.101	0.98
max	0.089	0.097	0.94	0.084	0.096	0.89	0.100	0.101	1.01
min	0.086	0.092	0.91	0.083	0.094	0.87	0.098	0.098	0.99

Πίνακας 5.6. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΚΤΠΣ).

Σύγκριση αποτελεσμάτων αναλύσεως χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος (ανάλυση για τις ΑΤΠΣ)									
Βάθρο i	d _{Ed,x} (m)			d _{Ed,y} (m)			d _{Ed} (m)		
	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ. Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύ- ναμου Μονο- βάθμιου Συστή- ματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)
A0	0.049	0.044	1.12	0.055	0.043	1.27	0.068	0.046	1.49
M1	0.046	0.038	1.23	0.051	0.039	1.30	0.064	0.041	1.57
M2	0.048	0.043	1.12	0.050	0.042	1.19	0.064	0.045	1.44
A3	0.048	0.044	1.10	0.048	0.043	1.12	0.063	0.046	1.38
max	0.049	0.044	1.23	0.055	0.043	1.30	0.068	0.046	1.57
min	0.046	0.038	1.12	0.050	0.039	1.19	0.064	0.041	1.44

Πίνακας 5.7. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις μετακινήσεις των μονωτήρων (αναλύσεις για τις ΑΤΠΣ).

Σύγκριση αποτελεσμάτων αναλύσεως χρονοϊστορίας
και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος

	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- Ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύναμου Μονο- βάθμιου Συστήματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Δυναμική Ανάλυση Χρονο- Ιστορίας (Α.Χ.)	Μέθοδος Ισοδύναμου Μονο- βάθμιου Συστήματος (Μ.Ι.Μ.Σ.)	Λόγος (Α.Χ.) / (Μ.Ι.Μ.Σ.)
Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ						
	Τέμνουσα Βάσης Βάθρου V_x (KN)			Τέμνουσα Βάσης Βάθρου V_y (KN)		
M1	2139.48	2899.91	0.74	2186.17	2320.74	0.94
M2	1452.16	2448.93	0.59	1475.58	2101.05	0.70
Ανάλυση για τις ΚΤΠΣ						
	Τέμνουσα Βάσης Βάθρου V_x (KN)			Τέμνουσα Βάσης Βάθρου V_y (KN)		
M1	3544.41	2869.73	1.24	3654.98	2895.05	1.26
M2	2400.23	2686.29	0.89	2463.62	2685.72	0.92
max	3544.41	2899.91	1.24	3654.98	2895.05	1.26
min	1452.16	2448.93	0.59	1475.58	2101.05	0.70

Πίνακας 5.7. Σύγκριση αποτελεσμάτων μη-γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας και μεθόδου ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος για τις τέμνουσες στην βάση των μεσοβάθρων M1 και M2.

5.7 Επιλεγόμενη Ικανότητα Μετακίνησης Εφεδράνων

Η ικανότητα μετακίνησης των σεισμικών μονωτήρων ορίζεται με βάση τις διατάξεις της παραγράφου 6.2.1 των «Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Μονωτήρας	(α) Σεισμική Μετακίνηση από Ανάλυση $d_{bl,a}$ (mm)	(β)=1.5·(α) Προσαυξημένη Σεισμική Μετακίνηση $d_{bl,s}$ (mm)	(γ) Μετακίνηση από Μόνιμες Δράσεις και 50% της Θερμικής Δράσης (mm)	(δ)=(β)+(γ) Συνολική Μέγιστη Μετακίνηση (mm)	(ε) > (δ) Επιλεγόμενη Ικανότητα Μετακίνησης ± (mm)
FPS_A0_1	99.9	149.8	26.5	176.3	250
FPS_A0_2	99.9	149.8	26.5	176.3	250
FPS_M1_1	98.3	147.4	8.8	156.2	250
FPS_M1_2	98.3	147.5	8.8	156.3	250
FPS_M2_1	99.1	148.7	8.7	157.4	250
FPS_M2_2	99.1	148.7	8.7	157.4	250
FPS_A3_1	99.2	148.8	26.4	175.2	250
FPS_A3_2	99.2	148.9	26.4	175.3	250

* Η ικανότητα μετακίνησης των σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης είναι ίδια και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις.

Πίνακας 5.9. Απαιτούμενη ικανότητα μετακίνησης σφαιρικών εφεδράνων ολίσθησης.

5.8 Έλεγχος Ικανότητας Επαναφοράς

Ο έλεγχος ικανότητας οριζόντιας επαναφοράς πραγματοποιείται για τις δύο κύριες οριζόντιες διευθύνσεις σύμφωνα με την παράγραφο 7.1 των «Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Οι ιδιότητες του συστήματος σεισμικής μόνωσης F_0 , K_p , d_y αναφέρονται συνολικά για το σύστημα στην εξεταζόμενη κύρια διεύθυνση.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Σύμφωνα με: Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση

Έργο: Παράδειγμα Νο.4

Α) ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$W_d = 60462.8$ KN

$\gamma_{is} = 1.5$

	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
F_0 (KN)	2055.7	5078.9	2055.7	5078.9
K_p (KN/m)	27483.1	27483.1	27483.1	27483.1
d_y (m)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
d_m (m)	0.250	0.250	0.250	0.250
$d_{bd,i,max}$ (m)	0.089	0.049	0.084	0.055

Β) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

	Διεύθυνση Χ		Διεύθυνση Υ	
	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ	ΚΤΠΣ	ΑΤΠΣ
d_r (m)	0.075	0.185	0.075	0.185
d_{rm} (m)	0.075	0.185	0.075	0.185
ΔF_m (KN)	3435.4	3435.4	3435.4	3435.4
$d_{a,max}$ (m)	0.134	0.074	0.126	0.083

Γ) ΕΛΕΓΧΟΙ

Διεύθυνση Χ:

ΚΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 3435.385 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 271.357 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.075 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.183 -> Εντάξει

ΑΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 3435.385 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 670.411 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.185 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.213 -> Εντάξει

Διεύθυνση Υ:

ΚΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 3435.388 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 271.352 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.075 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.187 -> Εντάξει

ΑΤΠΣ: ΔF_m (KN) = 3435.385 > $0.015W_d d_{rm}/d_m$ (KN) = 670.411 -> Εντάξει
 d_{rm} (m) = 0.185 < $d_m - 0.5d_{a,max}$ (m) = 0.209 -> Εντάξει

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

A.1 Γενικά

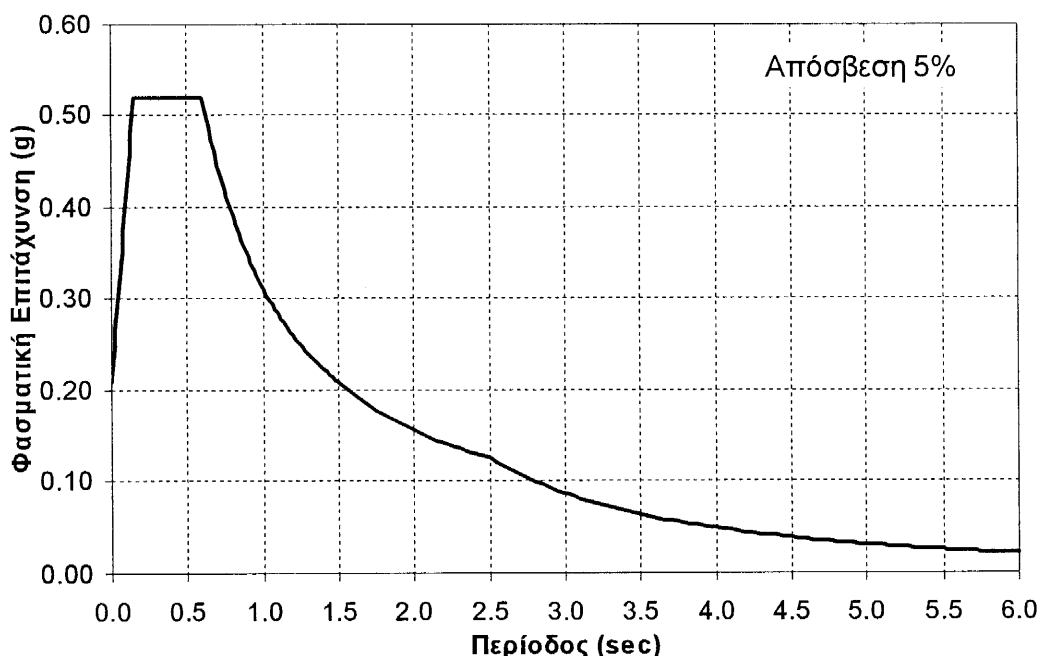
Ο καθορισμός της σεισμικής δράσης σχεδιασμού για την μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας βασίζεται στις απαιτήσεις του ΕΑΚ 2000 (αναθεώρηση 2003), στο «Προσχέδιο Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση», και στο «Προσχέδιο Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση».

A.2 Φάσματα Σχεδιασμού

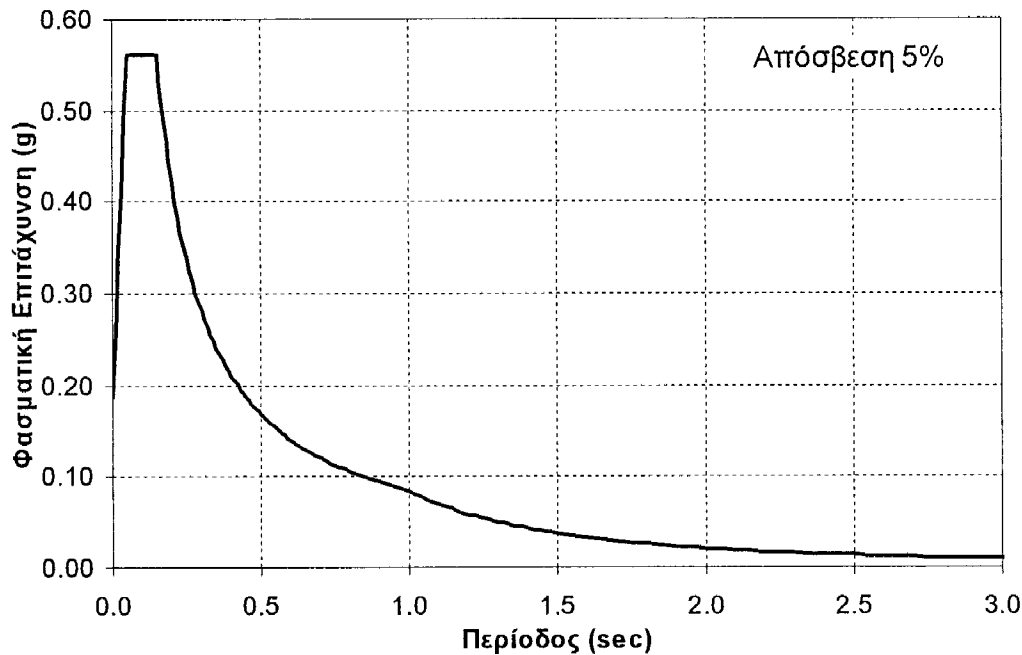
Τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού στις οριζόντιες διευθύνσεις και στην κατακόρυφη διεύθυνση ορίζονται στην παράγραφο 4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» και στην παράγραφο 4.1 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση». Οι τιμές των παραμέτρων του φάσματος σχεδιασμού είναι οι ακόλουθες:

- Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας: I ($A=0.16g$)
- Συντελεστής Σπουδαιότητας: $\gamma_1=1.30$
- Κατηγορία Εδάφους: B ($T_1=0.15\text{sec}$, $T_2=0.6\text{sec}$)

Το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού παρουσιάζεται στο Σχήμα Α.1 για τις οριζόντιες διευθύνσεις και στο Σχήμα Α.2 για την κατακόρυφη διεύθυνση για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%.



Σχήμα Α.1. Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για τις οριζόντιες διευθύνσεις (απόσβεση 5%).



Σχήμα Α.2. Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού για την κατακόρυφη διεύθυνση (απόσβεση 5%).

Α.3 Πραγματικές Καταγραφές Χρονοϊστοριών Εδαφικής Επιτάχυνσης

Για την μη-γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας χρησιμοποιούνται 7 ζεύγη τροποποιημένων φυσικών χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης για τις οριζόντιες συνιστώσες και 7 τροποποιημένες φυσικές χρονοϊστορίες εδαφικής επιτάχυνσης για τις κατακόρυφες συνιστώσες, οι οποίες είναι συμβατές με το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού. Οι τροποποιημένες φυσικές χρονοϊστορίες προκύπτουν με τροποποίηση πραγματικών καταγραφών (τροποποιημένες πραγματικές χρονοϊστορίες) οι οποίες προέρχονται από σεισμούς με μέγεθος, αποστάσεις πηγής, μηχανισμό γένεσης και εδαφικές συνθήκες όσο το δυνατό πιο συμβατές με την σεισμική κίνηση σχεδιασμού.

Τα χαρακτηριστικά των πραγματικών καταγραφών πριν από την τροποποίηση παρουσιάζονται στον Πίνακα Α.1 για τις οριζόντιες συνιστώσες και στον και Πίνακα Α.2 την κατακόρυφη συνιστώσα αντίστοιχα.

Όνομα	Σεισμός	Μέγε- θος M _s	Καταγραφή	Απόσταση από Ρήγμα (km)	Εδαφικές Συνθήκες (USGS)	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (g)
ACC01	Loma Prieta, USA 17/10/1989	7.1	Corralitos 000	5.1	B	0.64
ACC02	Λευκάδα 14/09/2003	6.3	Leukada 2003 Trans			0.43
ACC03	Καλαμάτα 10/10/1986	5.2	Kalamata N-S			0.24
ACC04	Λευκάδα 04/11/1973		Leukada 1973			0.53
ACC05	Πάρνηθα 07/09/1999	5.9	Monastiraki Trans			0.51
ACC06	Morgan Hill, USA 24/04/1984	6.1	Anderson Dam 250	2.6	B	0.42
ACC07	Morgan Hill, USA 24/04/1984	6.1	Anderson Dam 340	2.6	B	0.29
ACC08	Λευκάδα 14/09/2003	6.3	Leukada 2003 Long			0.35
ACC09	Gazli, USSR 17/05/1976	7.3	Karakyr 000	3.0	A	0.61
ACC10	Loma Prieta, USA 17/10/1989	7.1	Saratoga - Aloha Ave 000	13.0	B	0.51
ACC11	Kobe, Japan 16/01/1995	6.9	KJMA 090	0.6	B	0.60
ACC12	Kocaeli, Turkey 17/08/1999	7.8	Sakarya 090	3.1	B	0.38
ACC13	Kobe, Japan 16/01/1995	6.9	KJMA 000	0.6	B	0.82
ACC14	Gazli, USSR 17/05/1976	7.3	Karakyr 090	3.0	A	0.72

Πίνακας Α.1. Χαρακτηριστικά πραγματικών καταγραφών – Οριζόντιες συνιστώσες.

Όνομα	Σεισμός	Μέγε- θος M _s	Καταγραφή	Απόσταση από Ρήγμα (km)	Εδαφικές Συνθήκες (USGS)	Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση (g)
ACV01	Loma Prieta, USA 17/10/1989	7.1	Corralitos UP	5.1	B	0.46
ACV02	Morgan Hill, USA 24/04/1984	6.1	Anderson Dam UP	2.6	B	0.20
ACV03	Πύργος 23/04/1993	5.8	Pyrgos UP			0.13
ACV04	Kocaeli, Turkey 17/08/1999	8.8	Izmit UP	4.8	A	0.15
ACV05	Loma Prieta, USA 17/10/1989	7.1	Saratoga - Aloha Ave UP	13.0	B	0.39
ACV06	Kocaeli, Turkey 17/08/1999	7.8	Sakarya UP	3.1	B	0.26
ACV07	Gazli, USSR 17/05/1976	7.3	Karakyr UP	3	A	1.26

Πίνακας Α.2. Χαρακτηριστικά πραγματικών καταγραφών – Κατακόρυφη συνιστώσα.

Α.4 Παραγωγή τροποποιημένων φυσικών χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης

Οι τροποποιημένες φυσικές χρονοϊστορίες εδαφικής επιτάχυνσης προκύπτουν με τροποποίηση των πραγματικών καταγραφών η οποία πραγματοποιείται με εφαρμογή της μεθόδου παλμικής διέγερσης (single impulse method). Η μέθοδος δημιουργεί τροποποιημένες χρονοϊστορίες, τα φάσματα των οποίων πλησιάζουν το φάσμα σχεδιασμού για πολλαπλές τιμές της απόσβεσης.

Η συμβατότητα των παραγόμενων χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης με το φάσμα σχεδιασμού εξασφαλίζεται για απόσβεση 5% για τις οριζόντιες συνιστώσες και για τις κατακόρυφες συνιστώσες.

Η μέθοδος εφαρμόζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο αλγόριθμο:

1. Υπολογισμός φάσματος για διάφορες περιόδους και βαθμούς απόσβεσης.
2. Έλεγχος κριτηρίων αποδοχής. Αν το φάσμα είναι αποδεκτό τερματισμός αλγορίθμου.
3. Εύρεση περιόδου και απόσβεσης όπου υπάρχει η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ του φάσματος της χρονοϊστορίας και του φάσματος σχεδιασμού.
4. Διόρθωση της χρονοϊστορίας με πρόσθεση κατάλληλης συνάρτησης παλμικής διέγερσης έτσι ώστε η απόκλιση μεταξύ του φάσματος της νέας χρονοϊστορίας και του φάσματος σχεδιασμού να είναι σχεδόν μηδενική για την συγκεκριμένη περίοδο και την συγκεκριμένη απόσβεση που βρέθηκε στο Βήμα 3.
5. Επιστροφή στο Βήμα 2.

Η συνάρτηση παλμικής διέγερσης ορίζεται ως εξής

$$f(t) = -a_0 \cdot \frac{1}{\omega_0} \exp[-\xi_0 \omega_0 (t_0 - t)] \sin[\omega_0 (t_0 - t)] \quad 0 \leq t \leq t_m$$

Όπου

- a_0 συντελεστής ο οποίος υπολογίζεται έτσι ώστε να πληρείται η συνθήκη του Βήματος 4 του αλγορίθμου
- ξ_0 ο βαθμός απόσβεσης όπου εμφανίζεται η μέγιστη απόκλιση από το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με το Βήμα 3 του αλγορίθμου
- t_m η χρονική στιγμή όπου εμφανίζεται η μέγιστη απόκριση για την περίπτωση όπου εμφανίζεται η μέγιστη απόκλιση από το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με το Βήμα 3 του αλγορίθμου
- ω_0 κυκλική συχνότητα έτσι ώστε το φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων της παλμικής διέγερσης να παρουσιάζει μέγιστο για την κυκλική συχνότητα όπου εμφανίζεται η μέγιστη απόκλιση από το φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με το Βήμα 3 του αλγορίθμου
- t_0 χρονική παράμετρος έτσι ώστε η απόκριση για την παλμική διέγερση να εμφανίζει μέγιστο την χρονική στιγμή t_m

Στην συνέχεια γίνεται διόρθωση βάσης των τροποποιημένων χρονοϊστοριών (Base Line Correction) έτσι ώστε να αφαιρεθούν τάσεις της βάσης του τροποποιημένου φυσικού επιταχυνσιογραφήματος οι οποίες οδηγούν σε διαρκώς αυξανόμενες μετατοπίσεις που αποκλίνουν σημαντικά από το μηδέν. Η διόρθωση βάσης γίνεται με (i) εύρεση με ανάλυση παλινδρόμησης σύμφωνα με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων της συνάρτησης δευτέρου βαθμού η οποία προσομοιώνει καλύτερα την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης και (ii) αφαίρεση από την χρονοϊστορία της επιτάχυνσης των αντίστοιχων τιμών της συνάρτησης δευτέρου βαθμού.

Η μη-γραμμική δυναμική ανάλυση πραγματοποιείται για 7 σεισμούς (EQ1 έως EQ7). Σε κάθε σεισμό εφαρμόζεται ταυτόχρονη δράση δυο οριζόντιων συνιστωσών και μίας κατακόρυφης συνιστώσας. Το κριτήριο για την επιλογή των

τριάδων τροποποιημένων χρονοϊστοριών για τον κάθε σεισμό ήταν οι μέγιστες επιταχύνσεις να εμφανίζονται σε παραπλήσιες χρονικές στιγμές. Οι τριάδες συνιστωσών του κάθε σεισμού φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σεισμός	Διαμήκης Διεύθυνση	Εγκάρσια Διεύθυνση	Κατακόρυφη Διεύθυνση
EQ1	ACC01	ACC02	ACV01
EQ2	ACC03	ACC04	ACV02
EQ3	ACC05	ACC06	ACV03
EQ4	ACC07	ACC08	ACV04
EQ5	ACC09	ACC10	ACV05
EQ6	ACC11	ACC12	ACV06
EQ7	ACC13	ACC14	ACV07

Πίνακας Α.3. Συνδυασμοί χρονοϊστοριών.

Στις σελίδες που ακολουθούν παρουσιάζονται όλες οι χρονοϊστορίες εδαφικής επιτάχυνσης που χρησιμοποιήθηκαν για την μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας καθώς και τα φάσματα απόκρισης ψευδοεπιταχύνσεων και μετακινήσεων για απόσβεση 5%. Για κάθε τροποποιημένη χρονοϊστορία εδαφικής επιτάχυνσης αναφέρονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη της χρονοϊστορίας επιτάχυνσης τα οποία ορίζονται στο Σχήμα Α.3.

Επιπλέον παρουσιάζεται σύγκριση των αρχικών καταγραφών και των τροποποιημένων χρονοϊστοριών από την οποία προκύπτει ότι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος παραγωγής τροποποιημένων φυσικών χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης δεν τροποποιεί σημαντικά την κυματομορφή των φυσικών καταγραφών.

Ground Motion Parameters:

- **Peak ground values of acceleration (PGA), velocity (PGV) and displacement (PGD)**

$$PGA = \max|a(t)|, \quad PGV = \max|v(t)|, \quad PGD = \max|d(t)|$$

- **Peak velocity and acceleration ratio (vmax/amax)**

$$v_{\max}/a_{\max} = \frac{\max|v(t)|}{\max|a(t)|}$$

- **Root-mean-square (RMS) of acceleration, velocity and displacement**

$$a_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} [a(t)]^2 dt}, \quad v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} [v(t)]^2 dt}, \quad d_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} [d(t)]^2 dt}$$

- **Arias Intensity (Ia)**

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt$$

- **Characteristic Intensity (Ic)**

$$I_c = (a_{\text{rms}})^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{t_r}$$

- **Specific Energy Density (SED)**

$$SED = \int_0^{t_r} [v(t)]^2 dt$$

- **Cumulative Absolute Velocity (CAV)**

$$CAV = \int_0^{t_r} |a(t)| dt$$

- **Acceleration (ASI) and Velocity (VSI) Spectrum Intensity [Von Thun et al., 1988]**

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a(\xi = 0.05, T) dT, \quad VSI = \int_{0.1}^{2.5} S_v(\xi = 0.05, T) dT$$

- **Sustained maximum acceleration (SMA) and velocity (SMV)**

Introduced by Nuttli [1979], this parameter gives the sustained maximum acceleration/velocity during three cycles, and is defined as the third highest absolute value of acceleration in the time history.

- **Effective Design Acceleration (EDA)**

This parameter corresponds to the peak acceleration value found after lowpass filtering the input time history with a cut-off frequency of 9 Hz [Benjamin and Associates, 1988].

- **A95 parameter [Sarma and Yang, 1987]**

The acceleration level below which 95% of the total Arias intensity is contained. In other words, if the entire accelerogram yields a value of I_a equal to 100, the A95 parameter is the threshold of acceleration such that integrating all the values of the accelerogram below it, one gets an $I_a=95$.

- **Predominant Period (Tp)**

The predominant period (T_p) is the period at which the maximum spectral acceleration occurs in an acceleration response spectrum calculated at 5% damping.

- **Mean Period (Tm)**

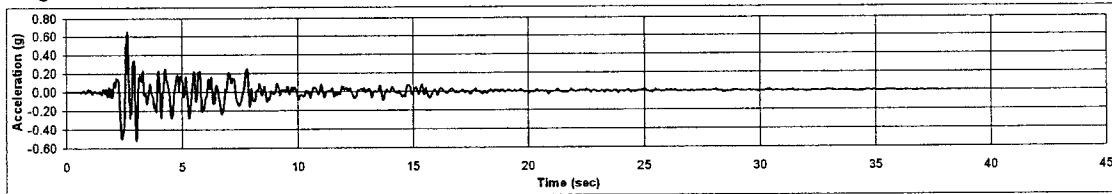
According to Rathje et al. [1998] the mean period (T_m) is the best simplified frequency content characterisation parameter, being estimated with the following equation, where C_i are the Fourier amplitudes, and f_i represent the discrete Fourier transform frequencies between 0.25 and 20 Hz.

$$T_m = \frac{\sum C_i^2 / f_i}{\sum C_i^2}$$

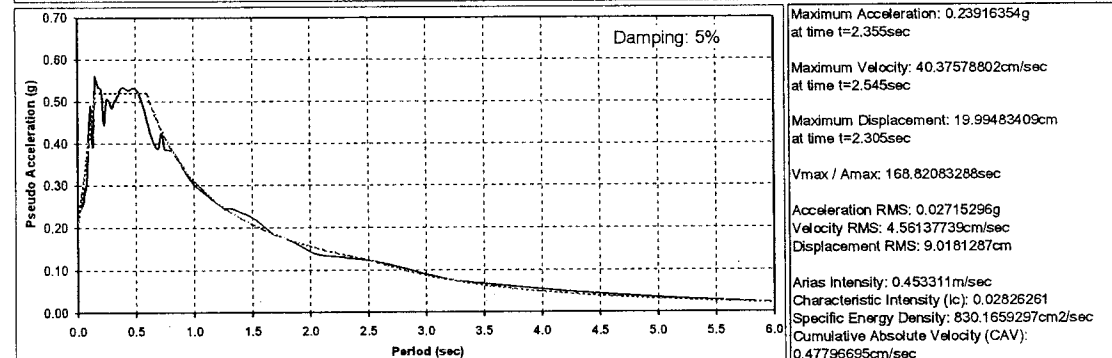
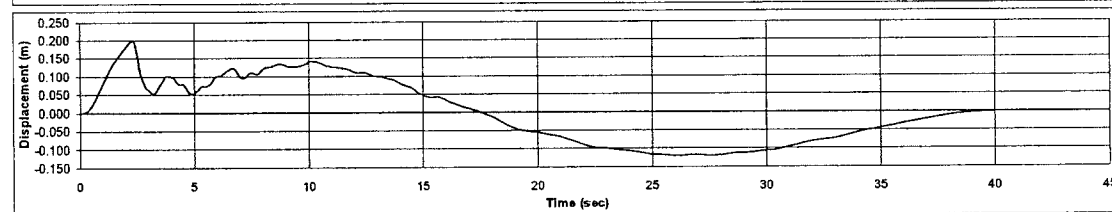
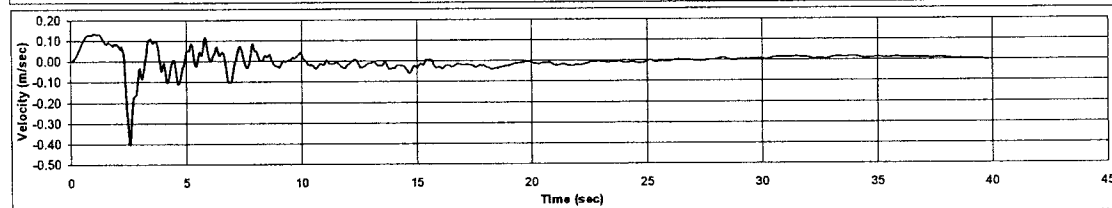
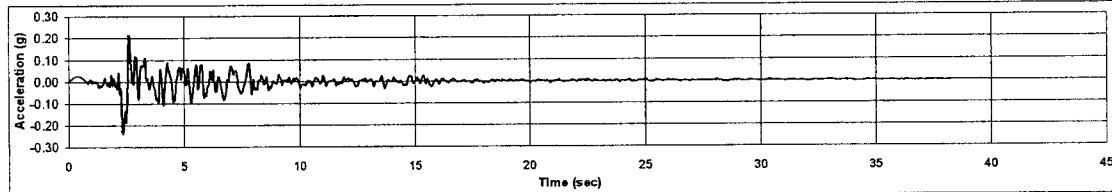
Σχήμα Α.3. Ορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών χρονόιστορίας επιτάχυνσης.

**Combination EQ1 – Long Direction:
ACC01 Loma Prieta, USA 17/10/1989, Corralitos 000**

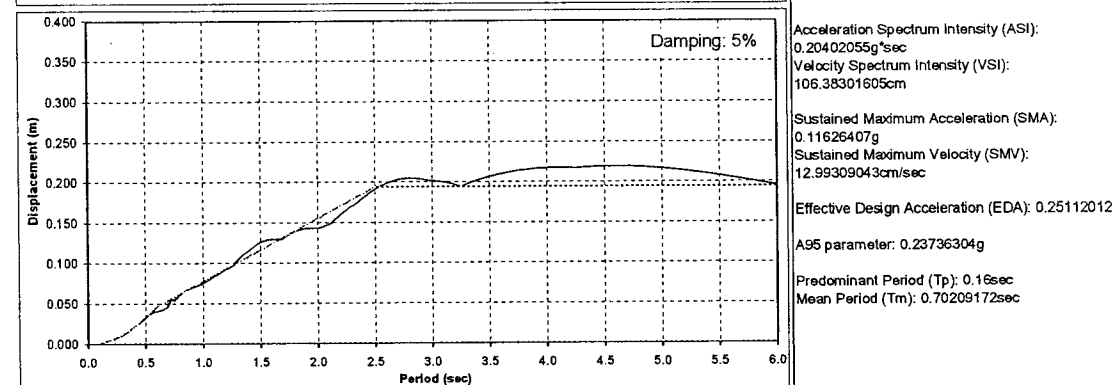
Original Record:



Modified Record:



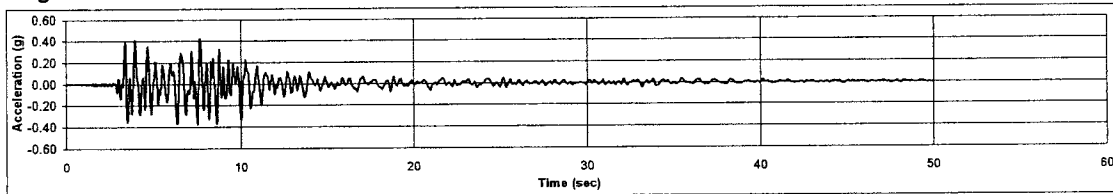
Maximum Acceleration: 0.23916354g
at time t=2.355sec
Maximum Velocity: 40.37578802cm/sec
at time t=2.545sec
Maximum Displacement: 19.99483409cm
at time t=2.305sec
Vmax / Amax: 168.82083288sec
Acceleration RMS: 0.02715296g
Velocity RMS: 4.56137739cm/sec
Displacement RMS: 9.0181287cm
Arias Intensity: 0.453311m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.02826261
Specific Energy Density: 830.1659297cm²/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.47796695cm/sec



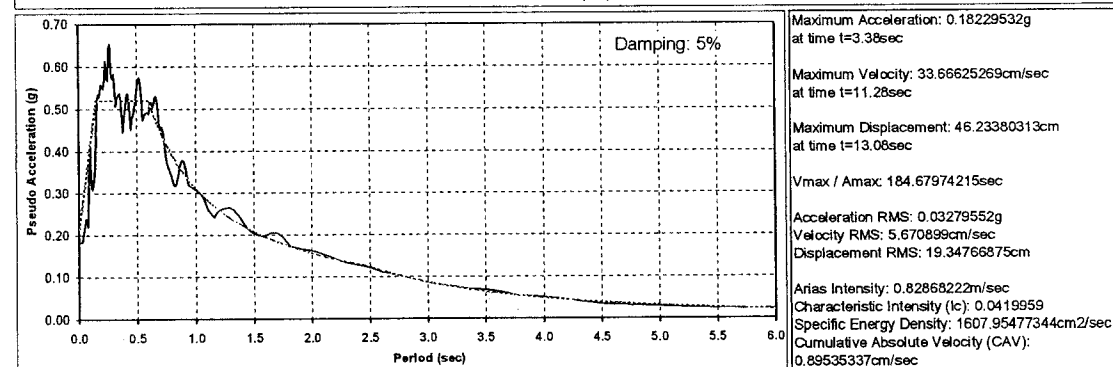
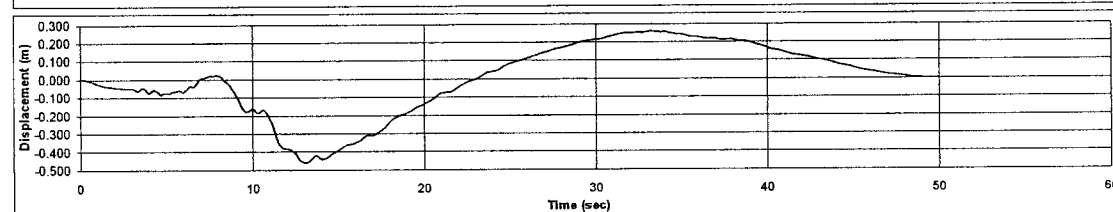
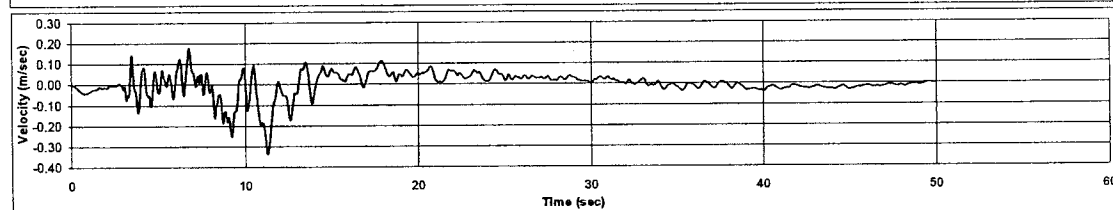
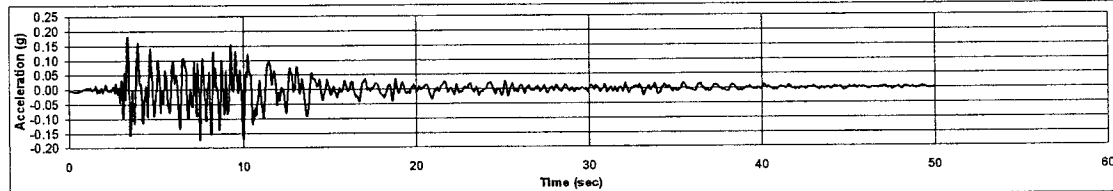
Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.20402055g²sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI):
106.38301605cm
Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.11626407g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
12.99309043cm/sec
Effective Design Acceleration (EDA): 0.25112012g
A95 parameter: 0.23736304g
Predominant Period (Tp): 0.16sec
Mean Period (Tm): 0.70209172sec

**Combination EQ1 – Trans Direction:
ACC02 Λευκάδα 14/09/2003, Leukada 2003 Trans**

Original Record:



Modified Record:



Maximum Acceleration: 0.18229532g
at time t=3.38sec

Maximum Velocity: 33.66625269cm/sec
at time t=11.28sec

Maximum Displacement: 46.23380313cm
at time t=13.08sec

Vmax / Amax: 184.67974215sec

Acceleration RMS: 0.03279552g
Velocity RMS: 5.670899cm/sec
Displacement RMS: 19.34766875cm

Arias Intensity: 0.82868222m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.0419959
Specific Energy Density: 1607.95477344cm²/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.89535337cm/sec

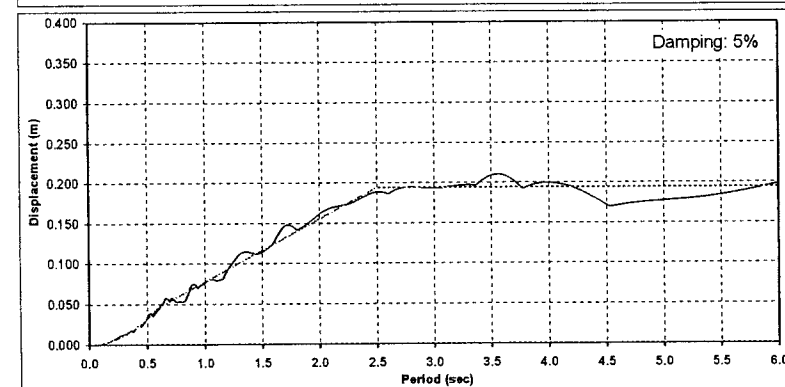
Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.20549504g*sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI):
113.00851805cm

Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.17211171g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
19.8408014cm/sec

Effective Design Acceleration (EDA): 0.18609419g

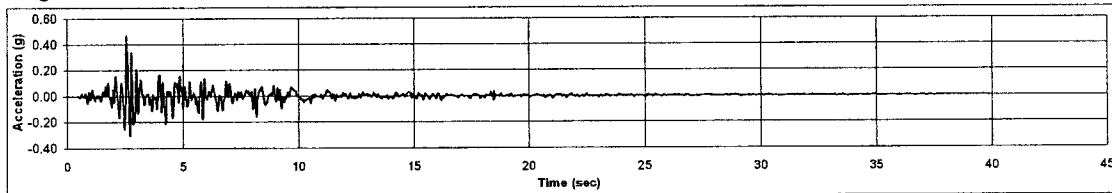
A95 parameter: 0.17907674g

Predominant Period (Tp): 0.26sec
Mean Period (Tm): 0.61405237sec

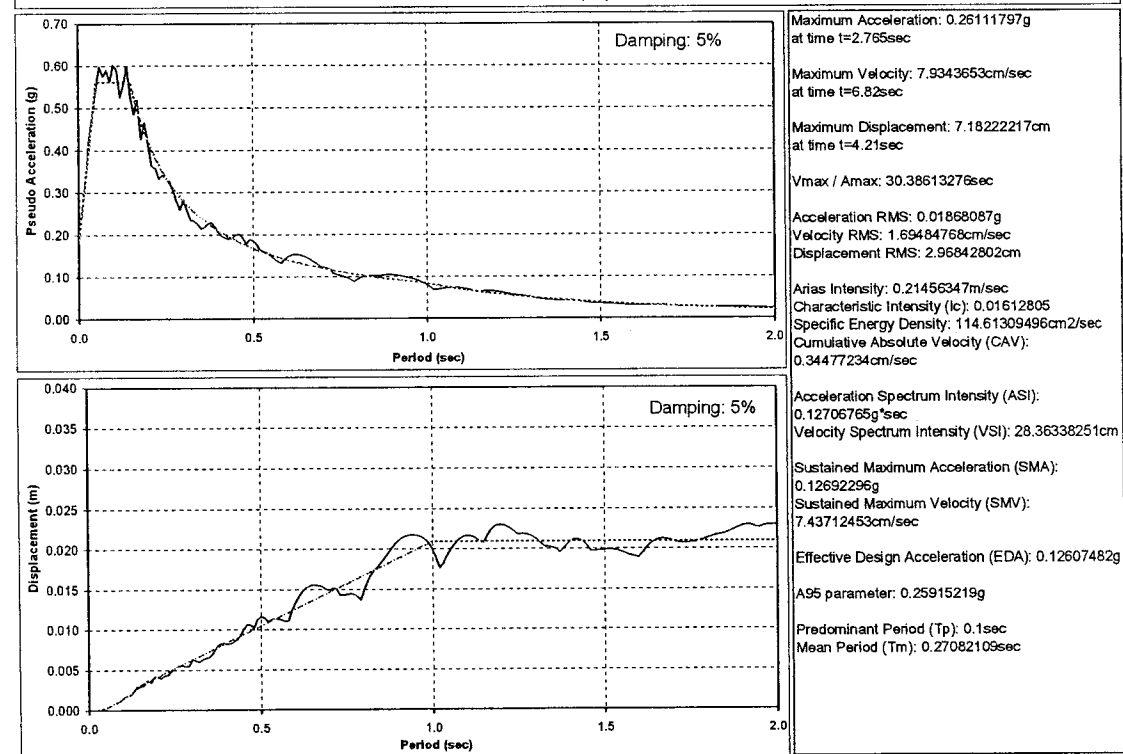
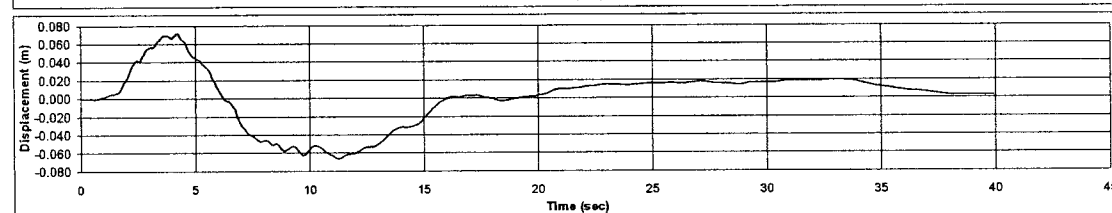
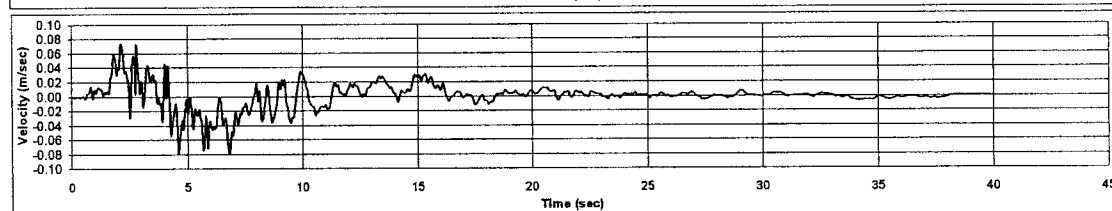
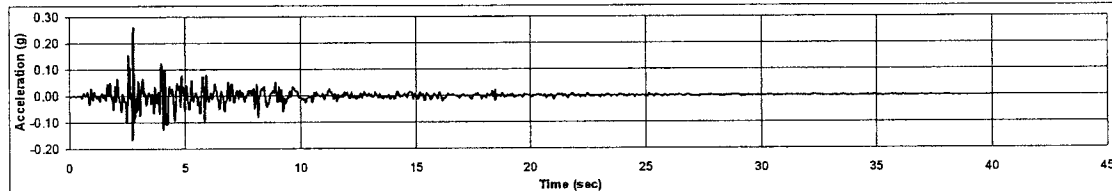


**Combination EQ1 – Vertical Direction:
ACV01 Loma Prieta, USA 17/10/1989, Corralitos UP**

Original Record:

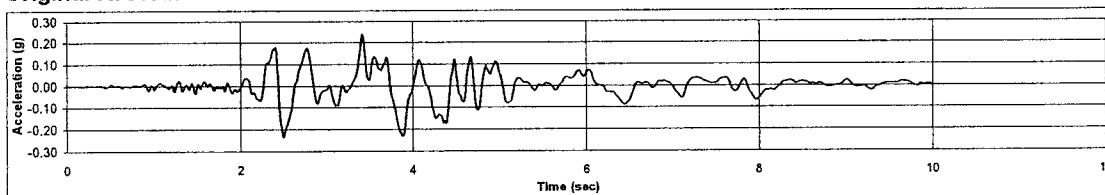


Modified Record:

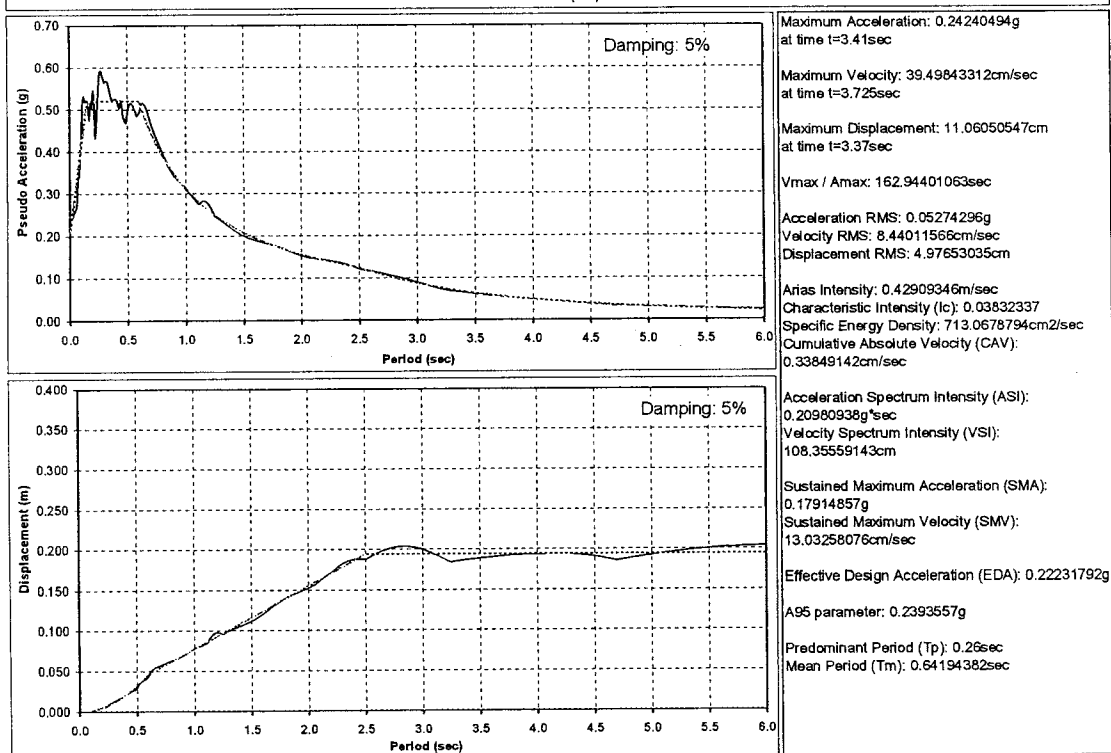
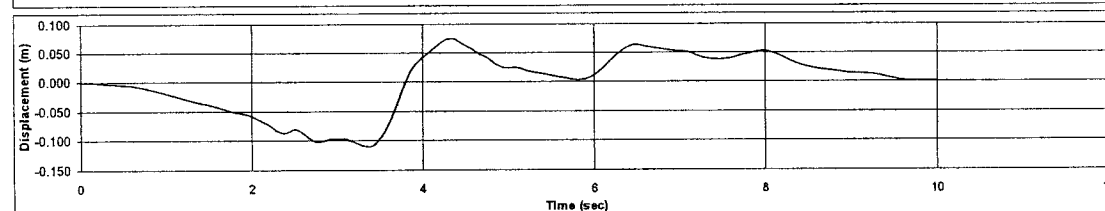
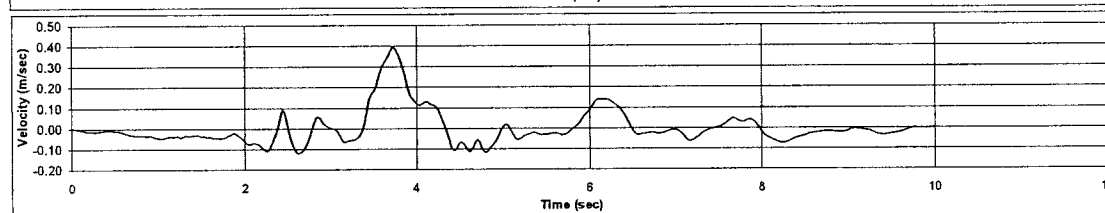
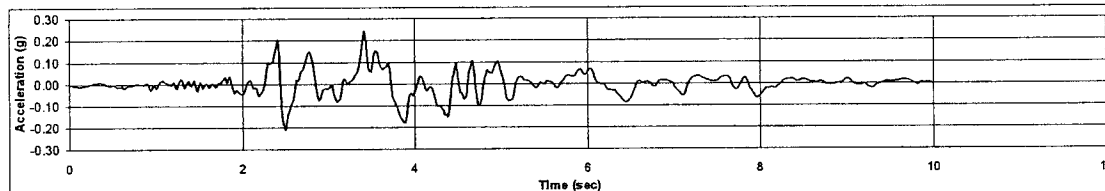


**Combination EQ2 – Long Direction:
ACC03 Καλαμάτα 10/10/1986, Kalamata N-S**

Original Record:



Modified Record:

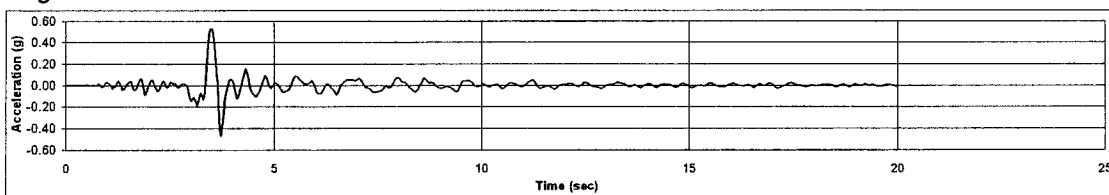


ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ – ΣΕΙΣΜΟΜΟΝΩΣΗ Α.Ε.

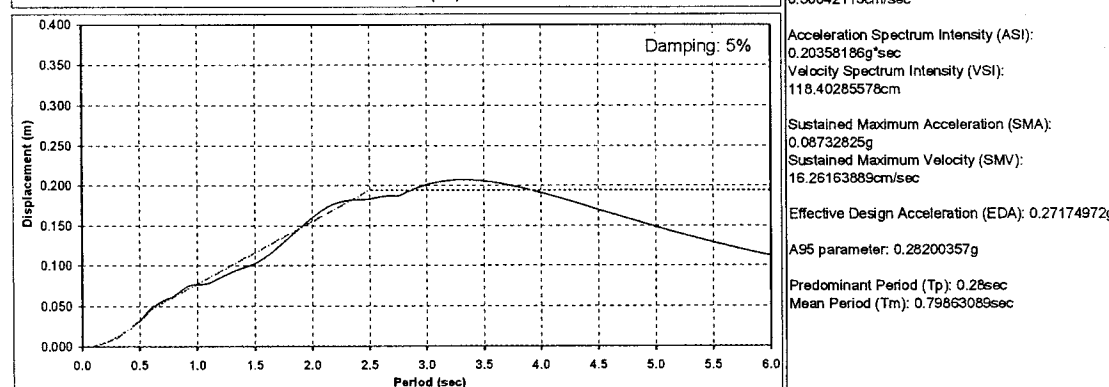
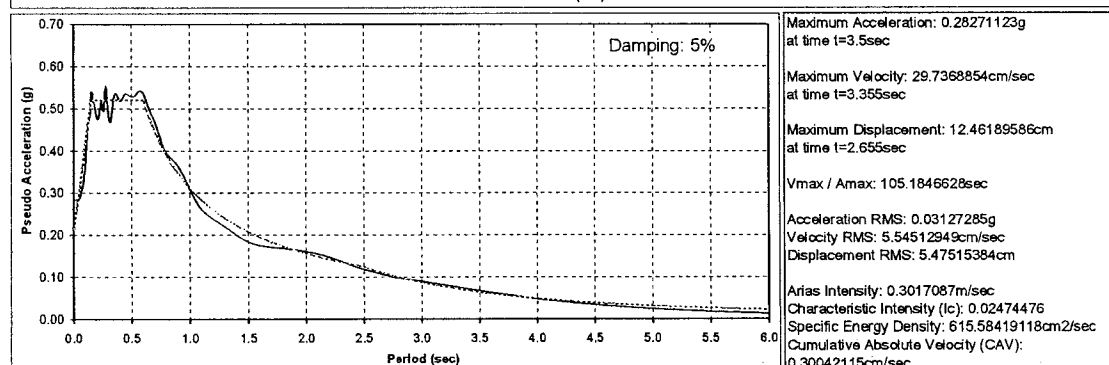
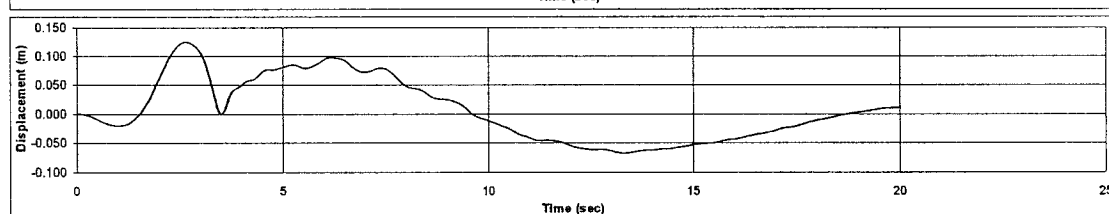
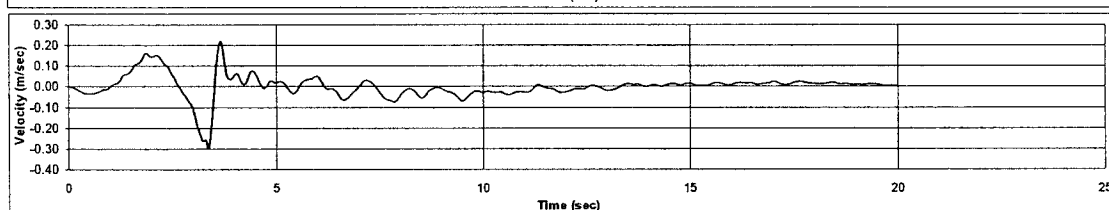
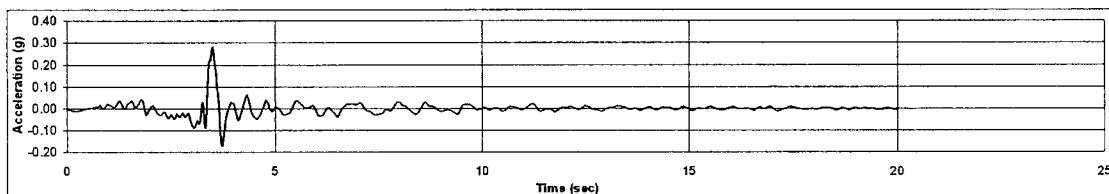
ΤΕΥΧΟΣ Δ': ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

**Combination EQ2 – Trans Direction:
ACC04 Λευκάδα 04/11/1973, Leukada 1973**

Original Record:

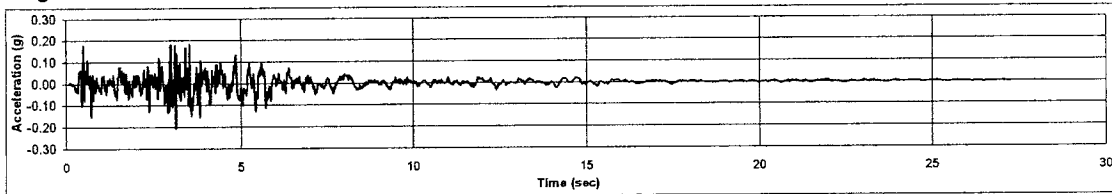


Modified Record:

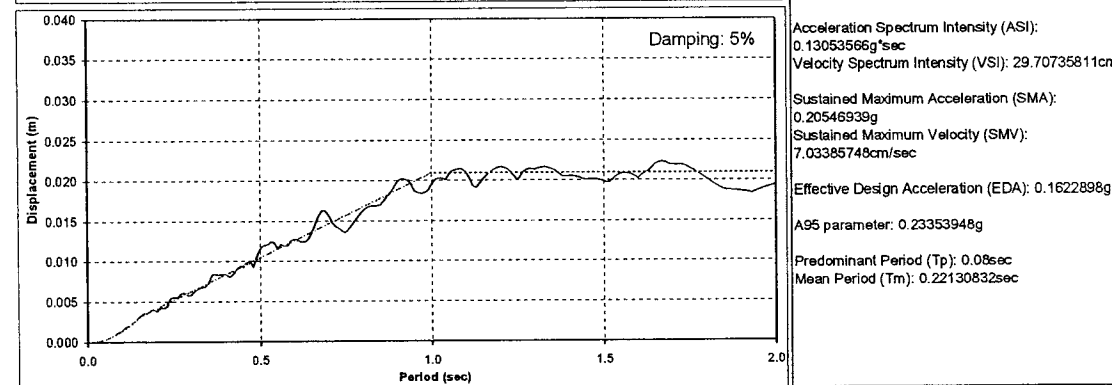
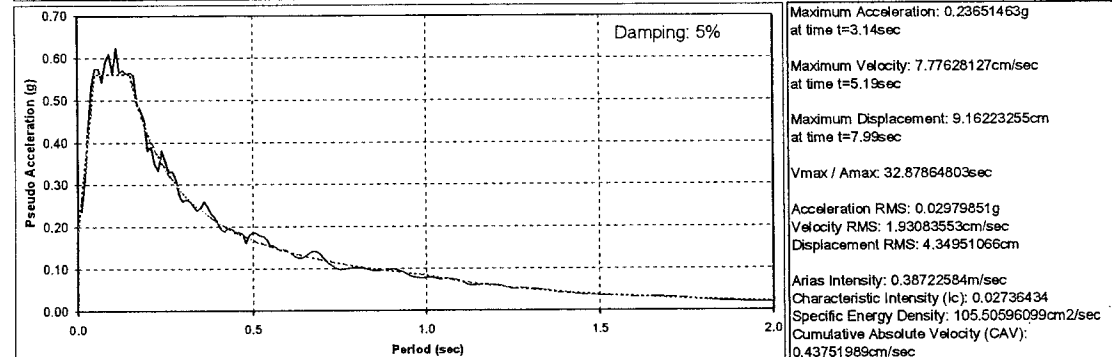
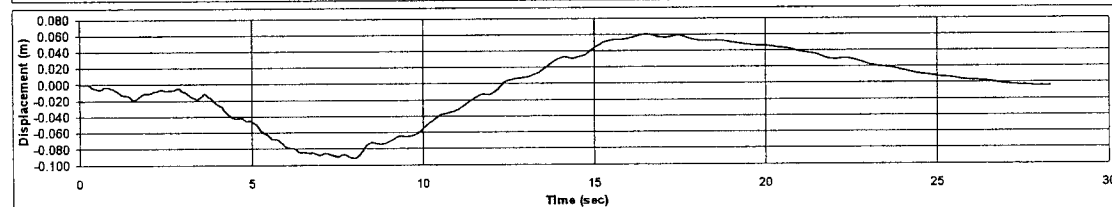
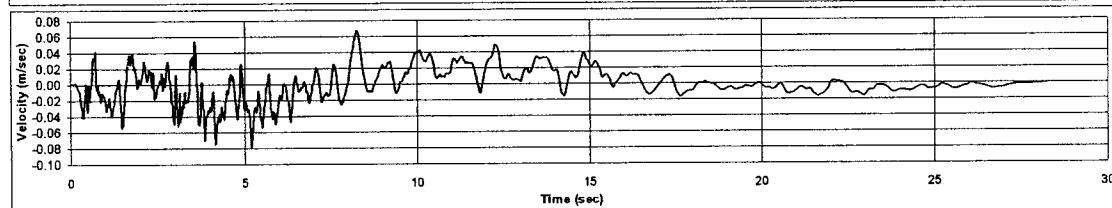
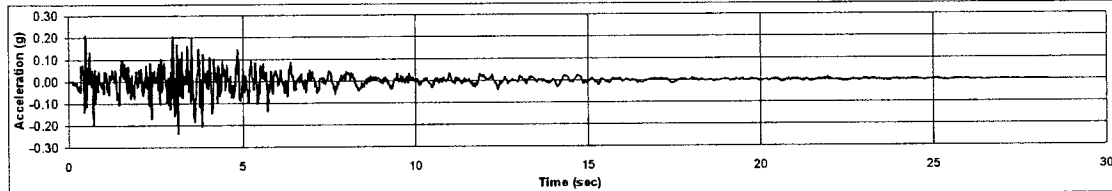


**Combination EQ2 – Vertical Direction:
ACV02 Morgan Hill, USA 24/04/1984, Anderson Dam UP**

Original Record:



Modified Record:



Maximum Acceleration: 0.23651463g
at time t=3.14sec

Maximum Velocity: 7.77628127cm/sec
at time t=5.19sec

Maximum Displacement: 9.16223255cm
at time t=7.99sec

Vmax / Amax: 32.87864803sec

Acceleration RMS: 0.02979851g
Velocity RMS: 1.93083553cm/sec
Displacement RMS: 4.34951066cm

Arias Intensity: 0.38722584m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.02736434
Specific Energy Density: 105.50596099cm²/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.43751989cm/sec

Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.13053566g*sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI): 29.70735811cm

Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.20546939g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
7.03385748cm/sec

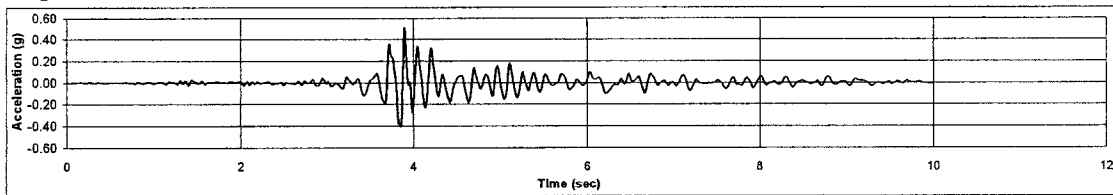
Effective Design Acceleration (EDA): 0.1622898g

A95 parameter: 0.23353948g

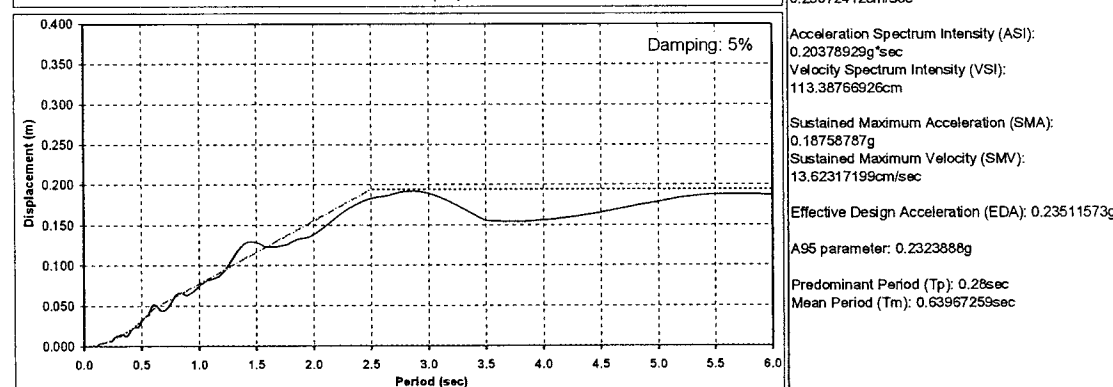
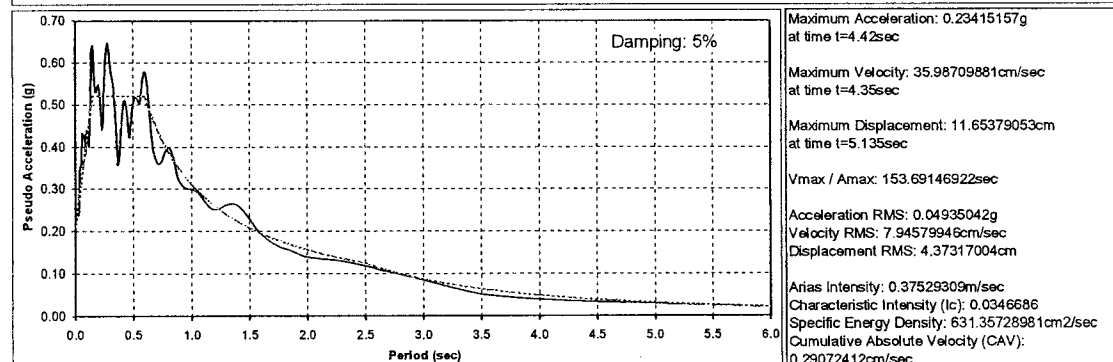
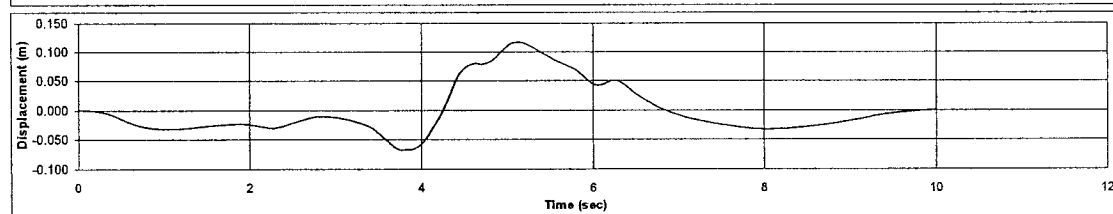
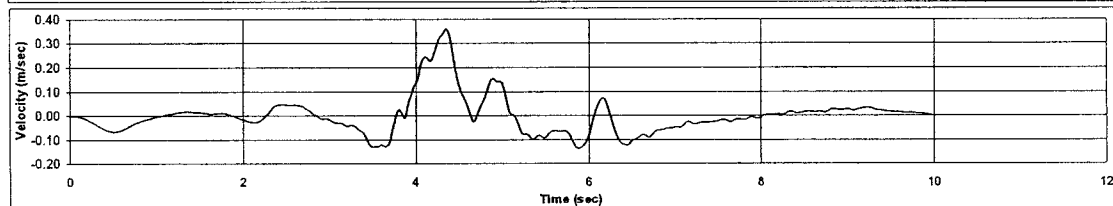
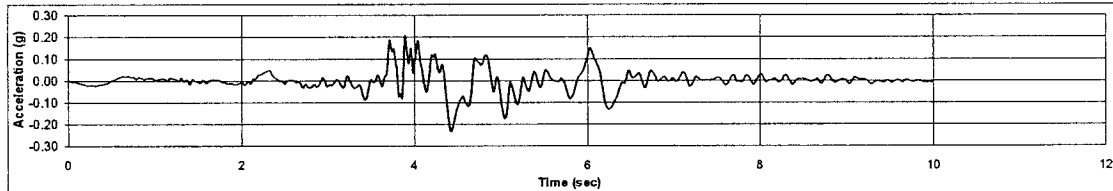
Predominant Period (Tp): 0.08sec
Mean Period (Tm): 0.22130832sec

**Combination EQ3 – Long Direction:
ACC05 Πάρνηθα 07/09/1999, Monastiraki Trans**

Original Record:

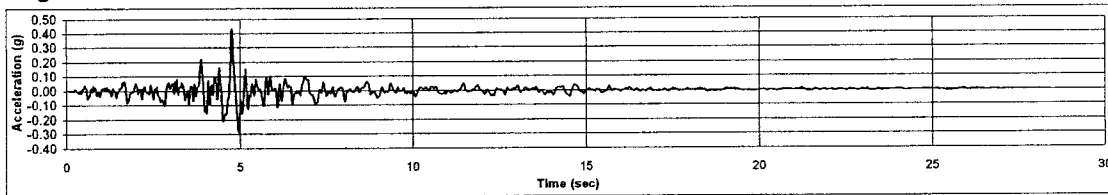


Modified Record:

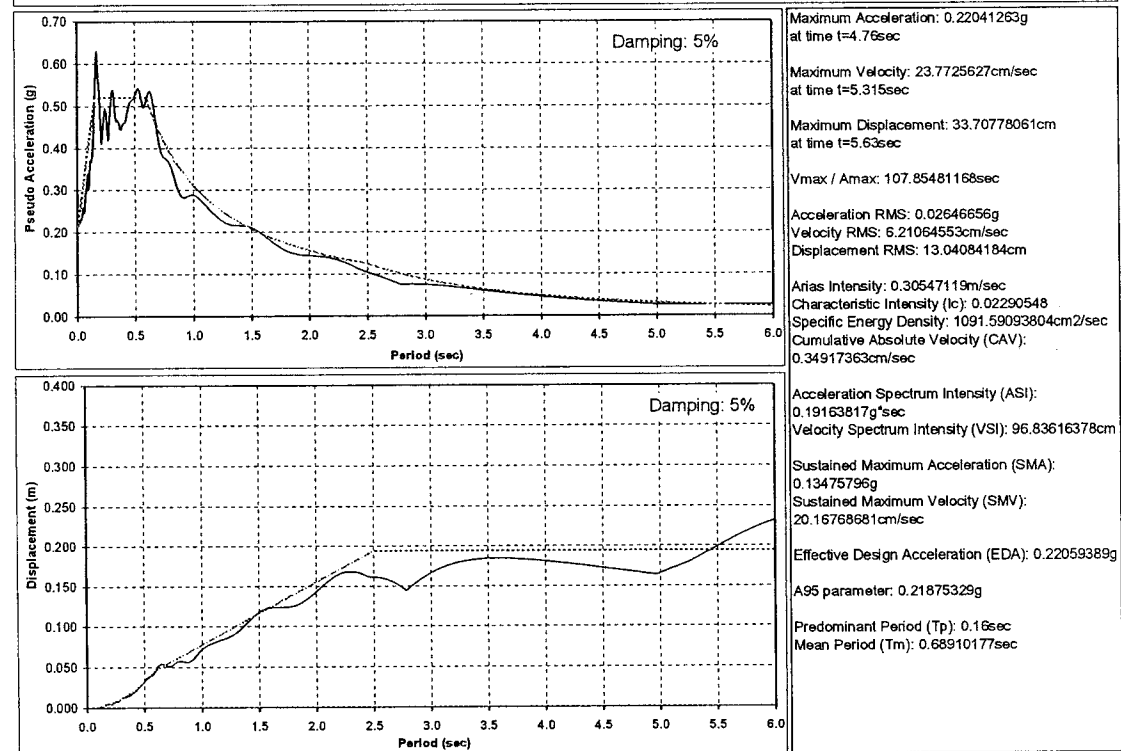
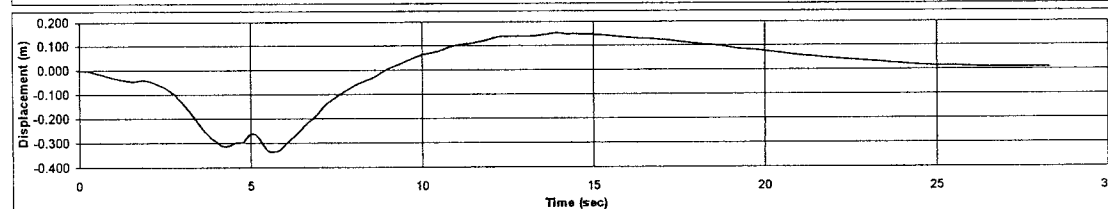
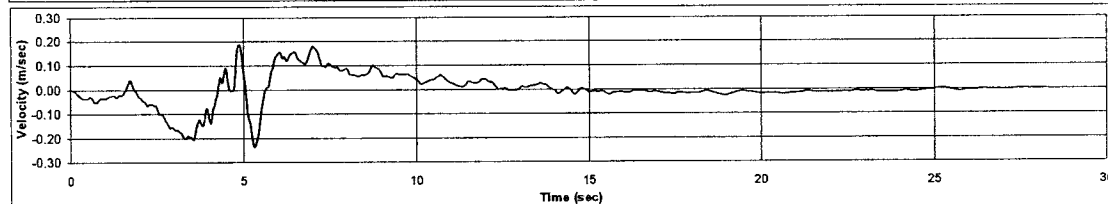
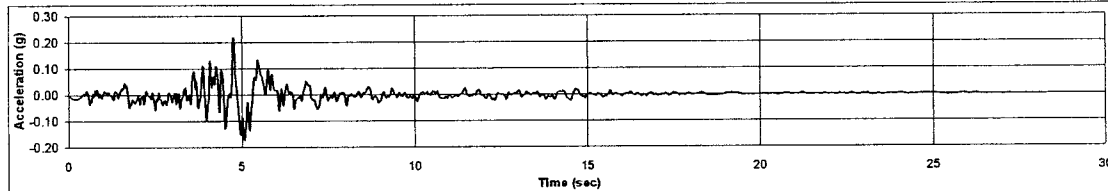


**Combination EQ3 – Trans Direction:
ACC06 Morgan Hill, USA 24/04/1984, Anderson Dam 250**

Original Record:

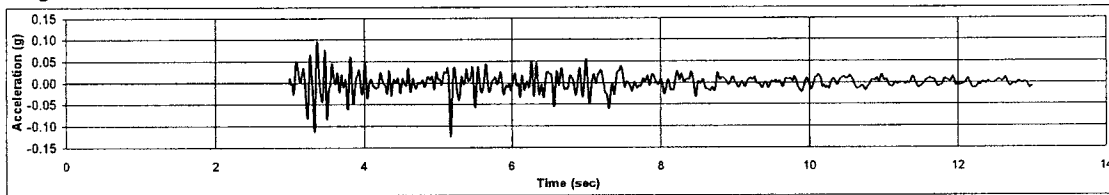


Modified Record:

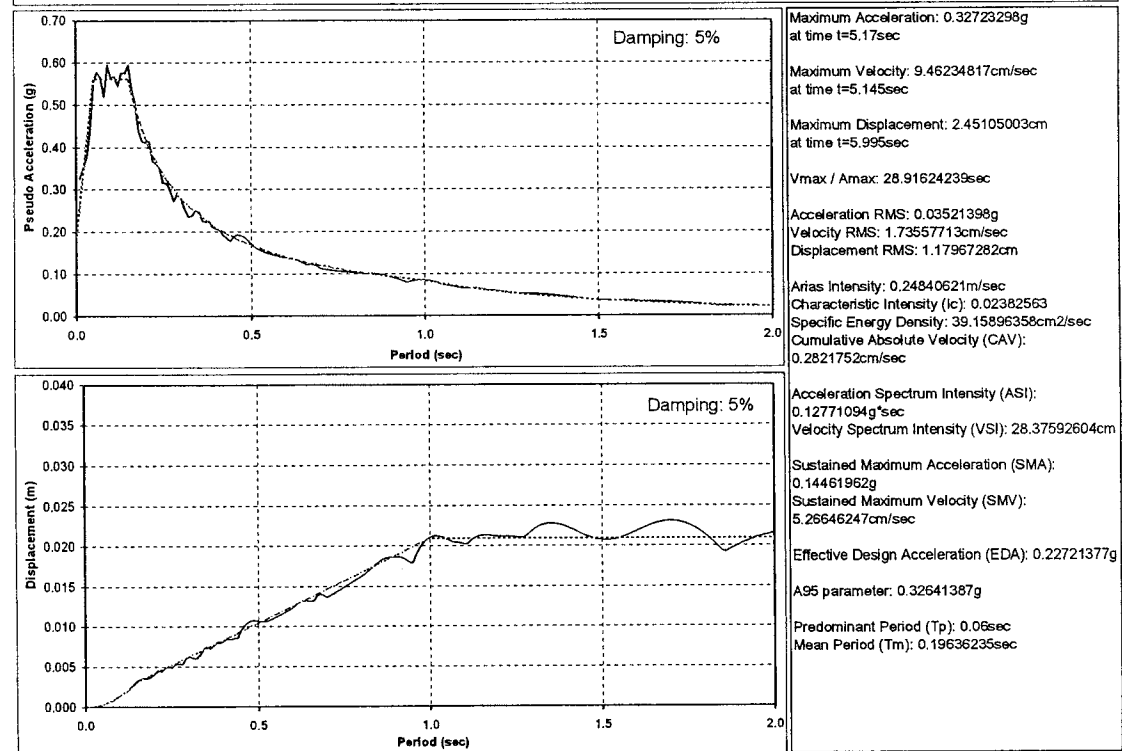
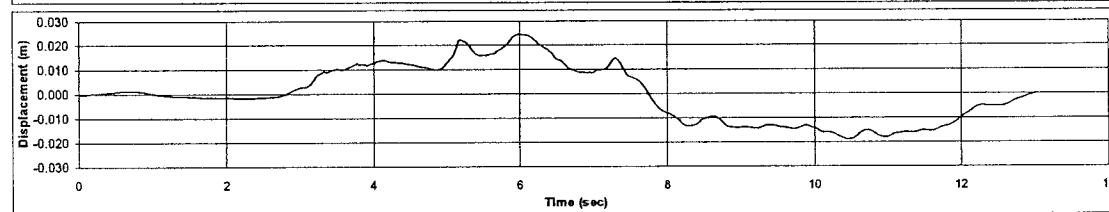
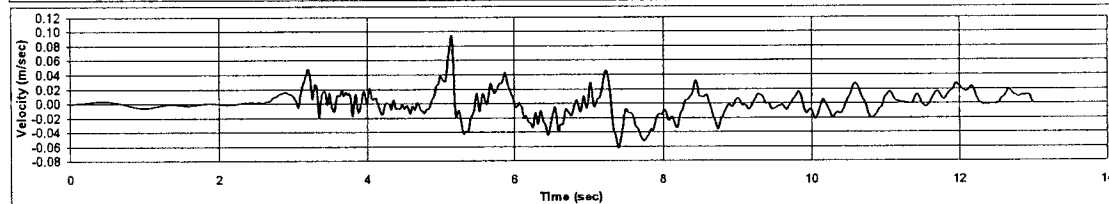
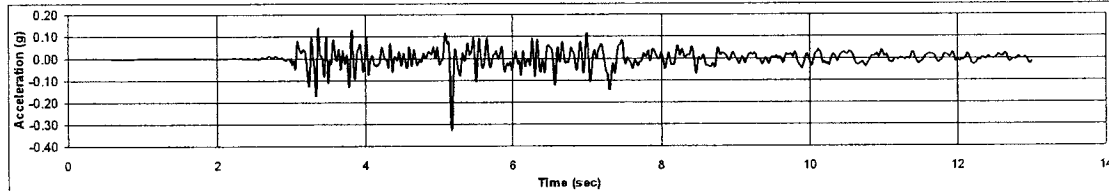


**Combination EQ3 – Vertical Direction:
ACV03 Πύργος 23/04/1993, Pyrgos UP**

Original Record:

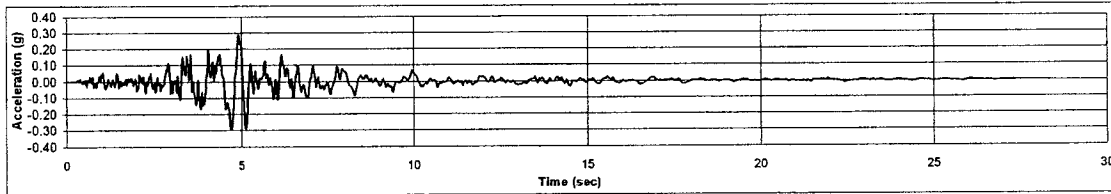


Modified Record:

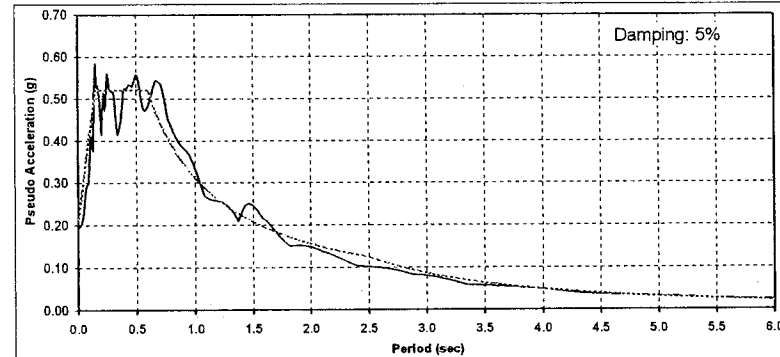
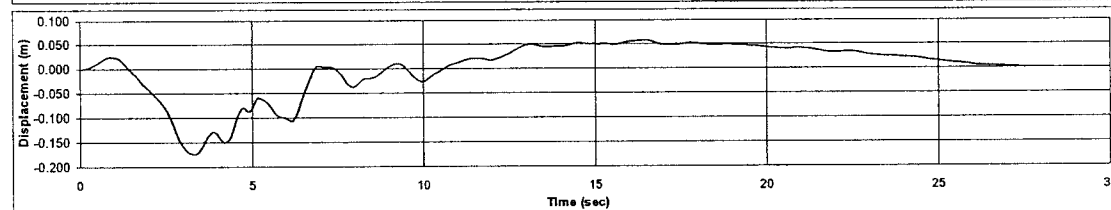
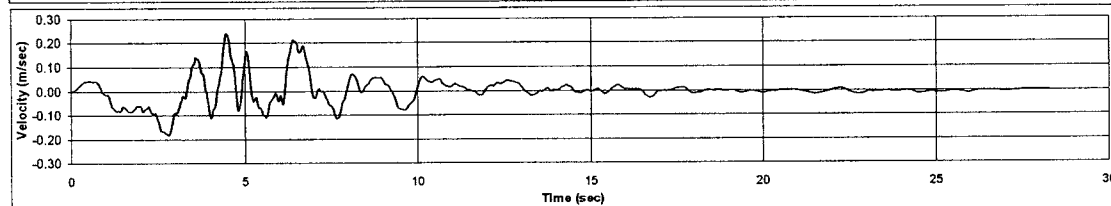
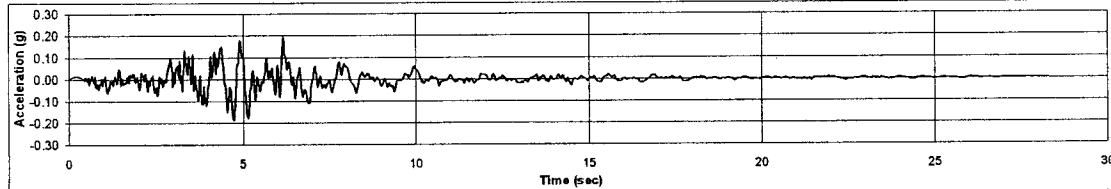


**Combination EQ4 – Long Direction:
ACC07 Morgan Hill, USA 24/04/1984, Anderson Dam 340**

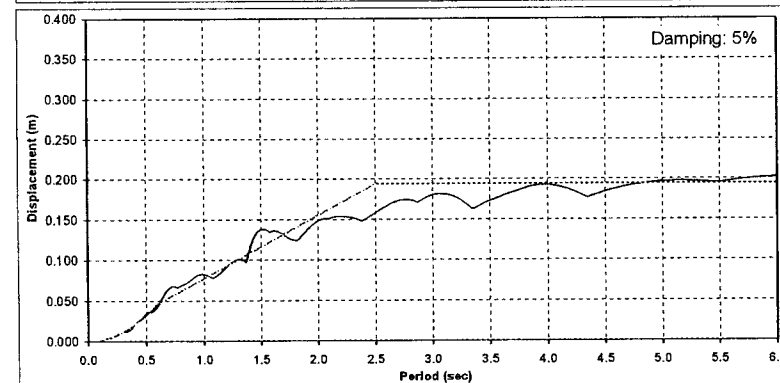
Original Record:



Modified Record:



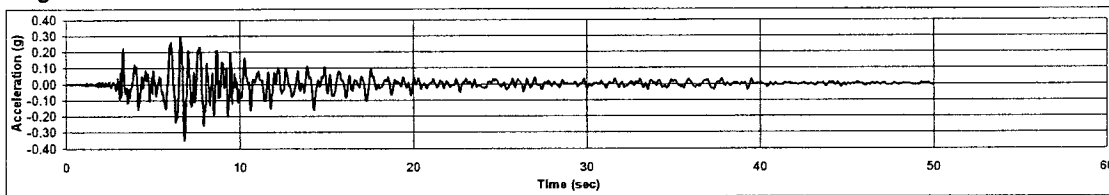
Maximum Acceleration: 0.19500764g
at time t=6.16sec
Maximum Velocity: 24.00805889cm/sec
at time t=4.45sec
Maximum Displacement: 17.49290465cm
at time t=3.31sec
Vmax / Amax: 123.11342718sec
Acceleration RMS: 0.03334569g
Velocity RMS: 5.30337343cm/sec
Displacement RMS: 5.47817588cm
Arias Intensity: 0.48490291m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.03239312
Specific Energy Density: 795.95928289cm²/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.4878585cm/sec



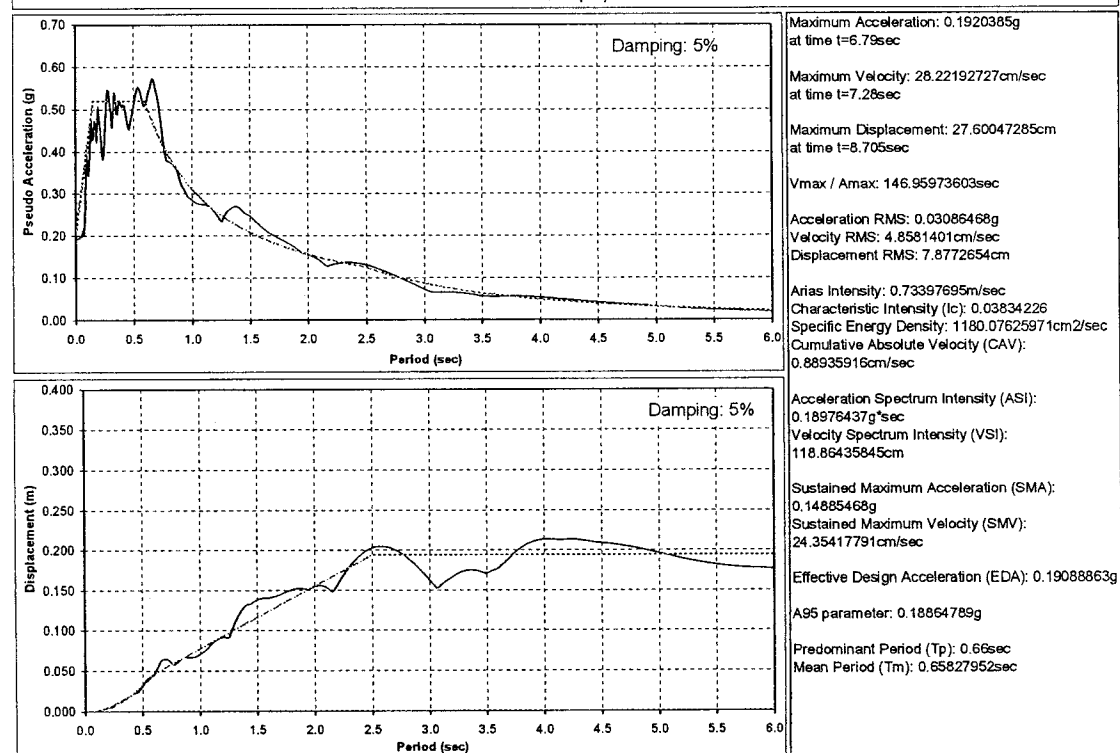
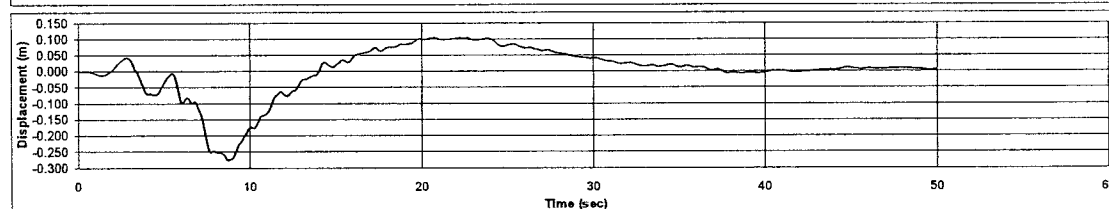
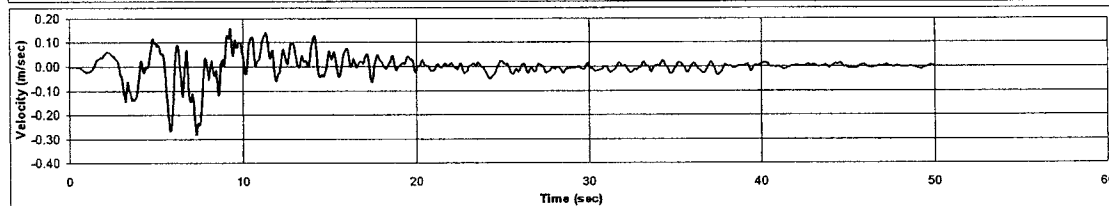
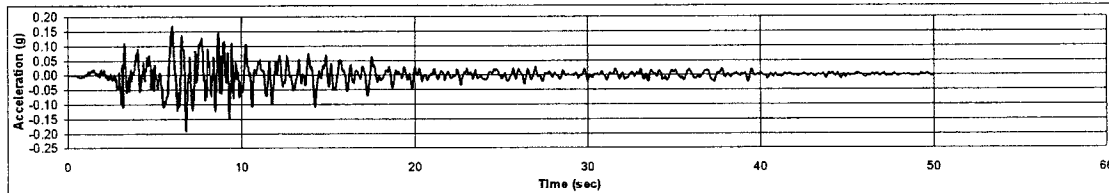
Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.19873258g*sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI):
112.86392829cm
Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.17907172g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
18.77423544cm/sec
Effective Design Acceleration (EDA): 0.19217233g
A95 parameter: 0.19255462g
Predominant Period (Tp): 0.5sec
Mean Period (Tm): 0.68722101sec

**Combination EQ4 – Trans Direction:
ACC08 Λευκάδα 14/09/2003, Leukada 2003 Long**

Original Record:

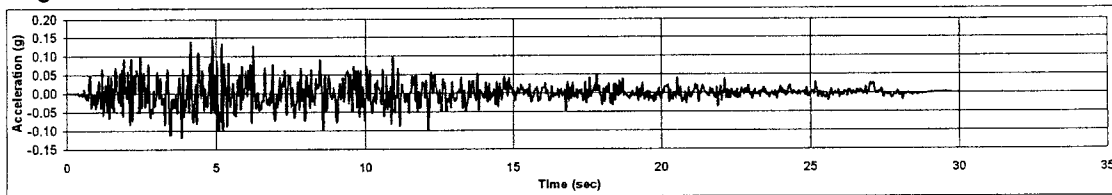


Modified Record:

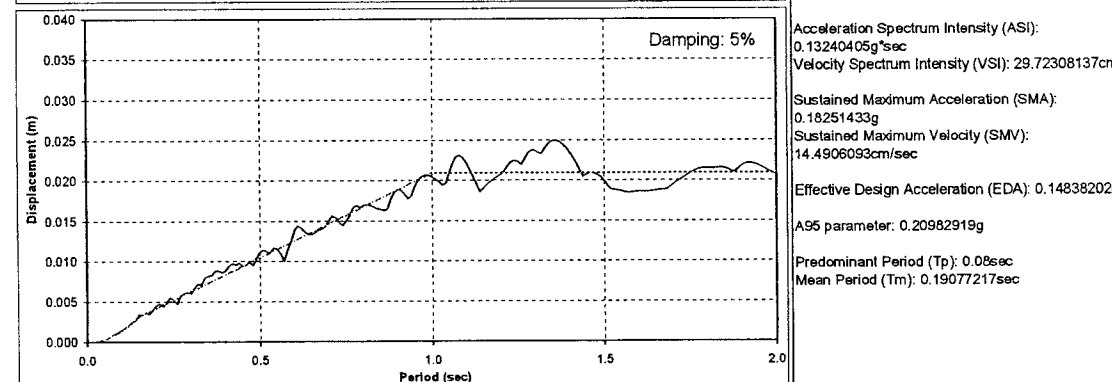
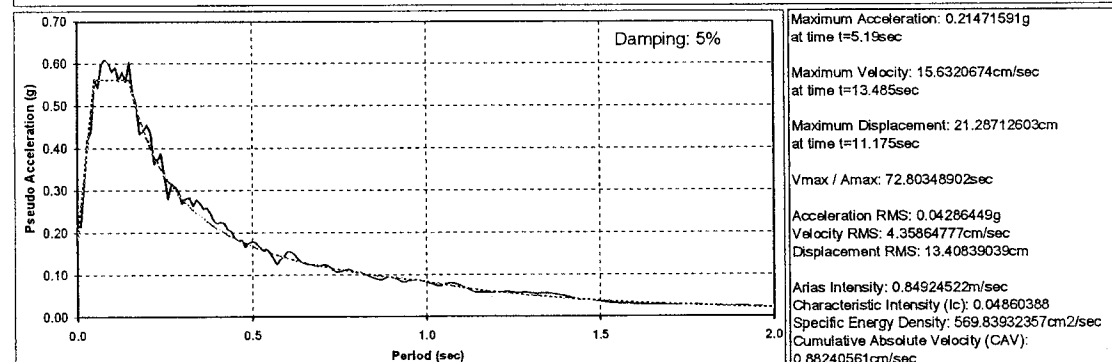
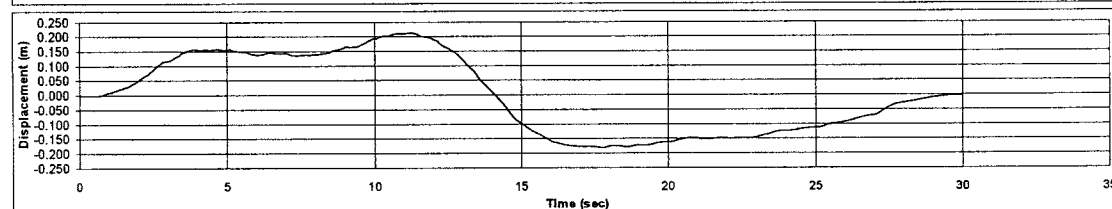
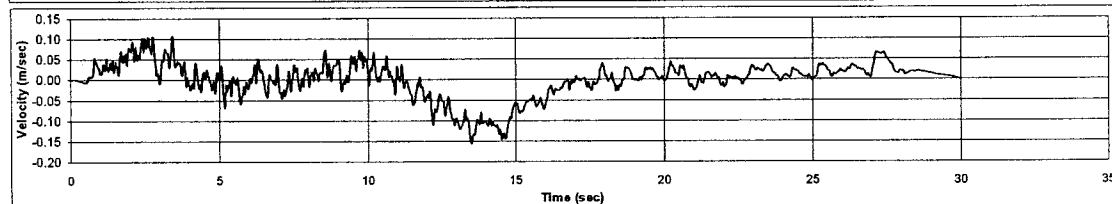
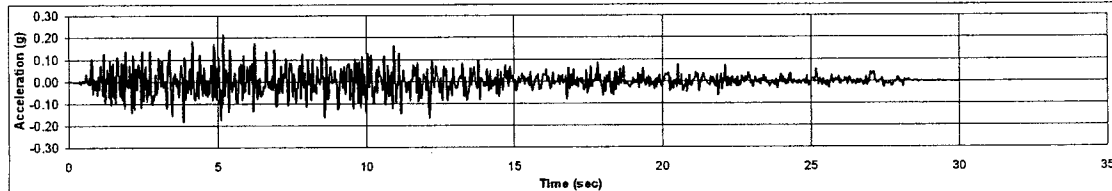


**Combination EQ4 – Vertical Direction:
ACV04 Kocaeli, Turkey 17/08/1999, Izmit UP**

Original Record:

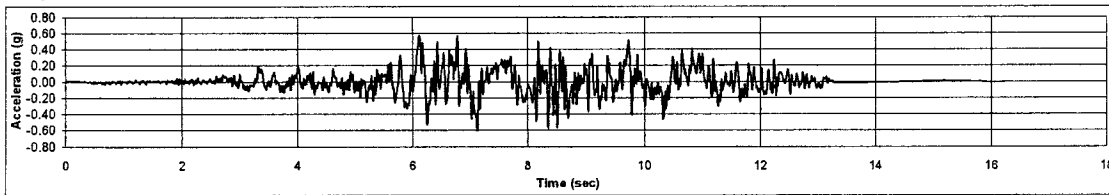


Modified Record:

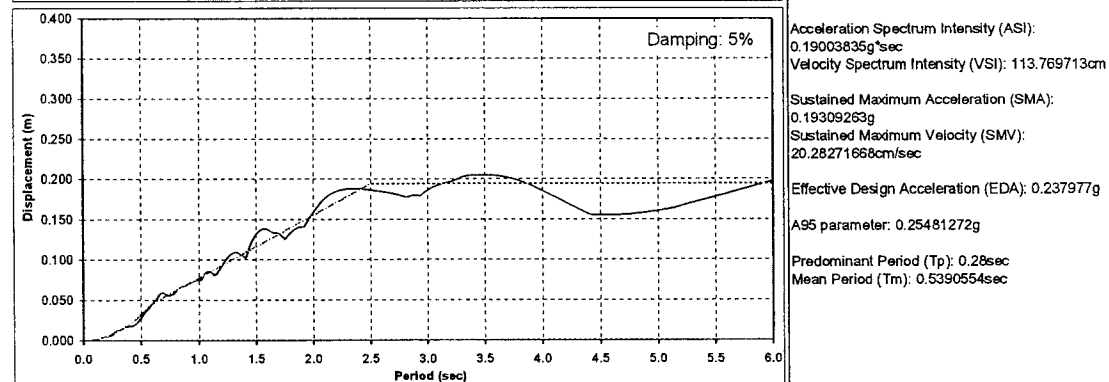
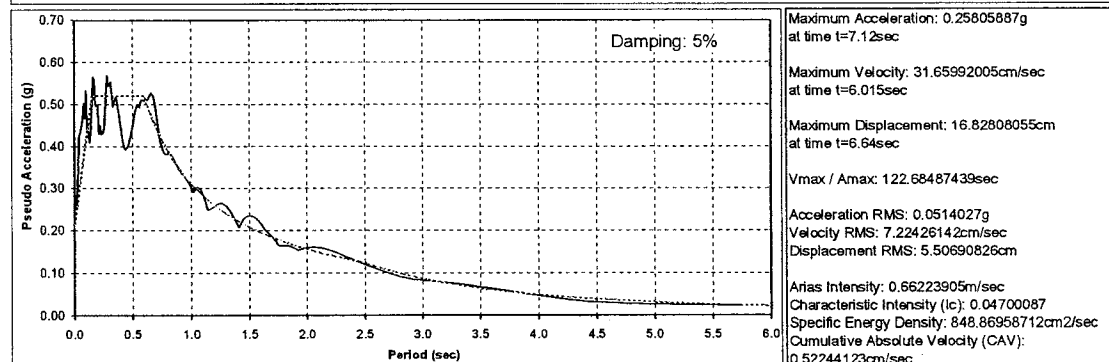
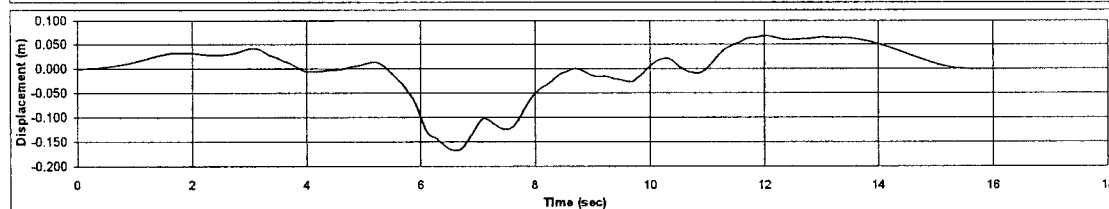
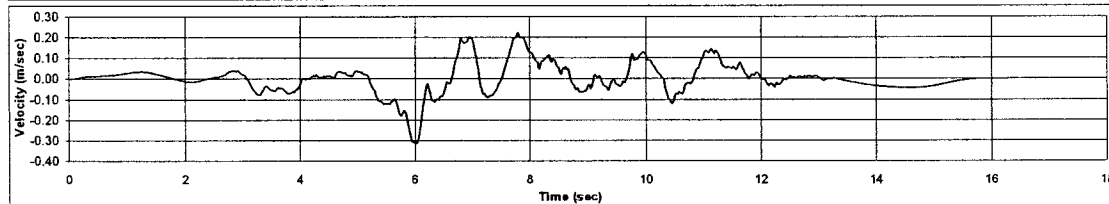
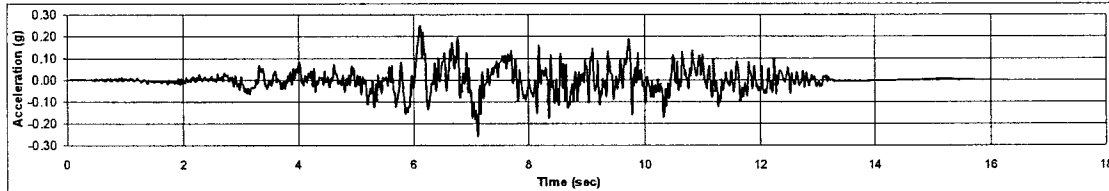


**Combination EQ5 – Long Direction:
ACC09 Gazli, USSR 17/05/1976, Karakyr 000**

Original Record:

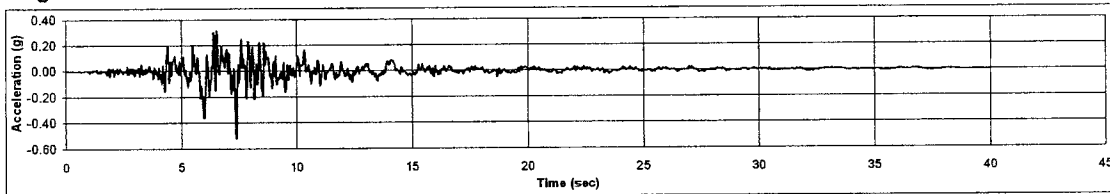


Modified Record:

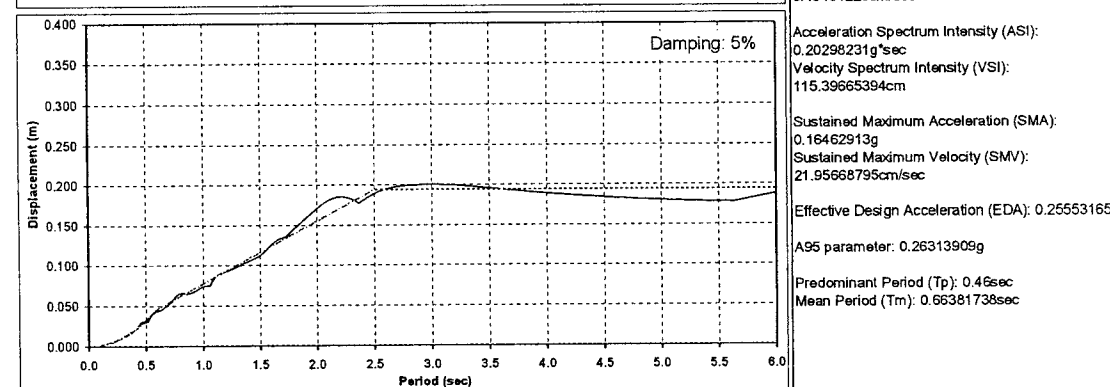
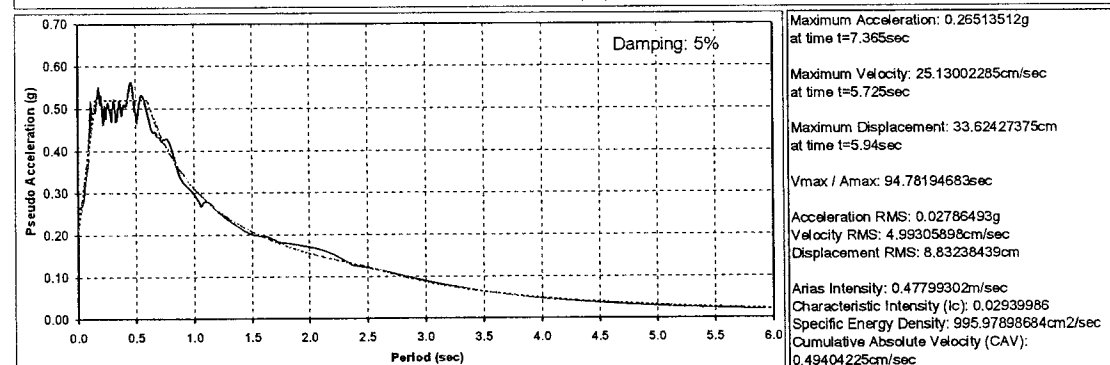
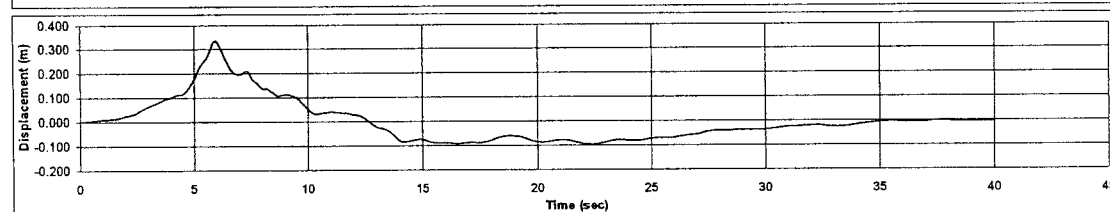
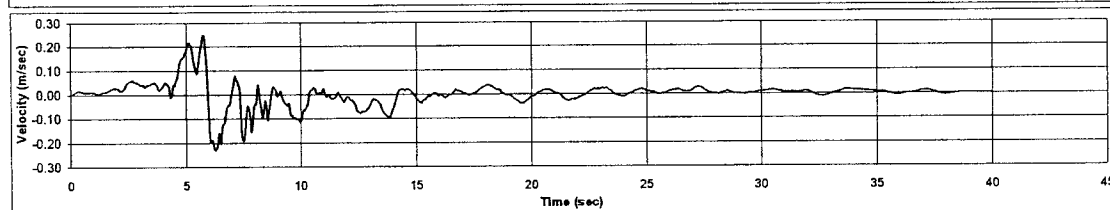
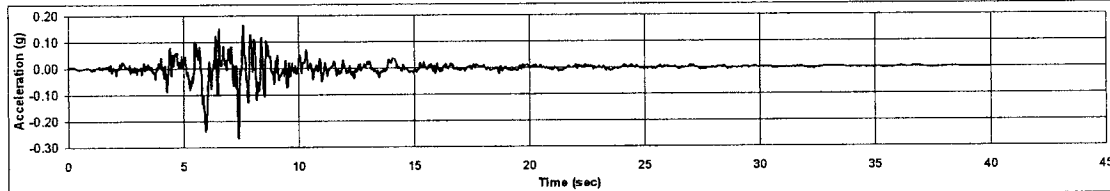


**Combination EQ5 – Trans Direction:
ACC10 Loma Prieta, USA 17/10/1989, Saratoga – Aloha Ave 000**

Original Record:

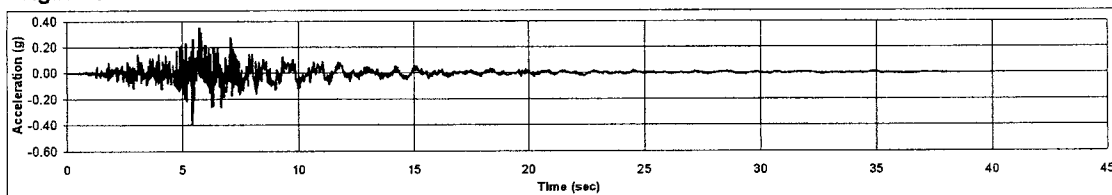


Modified Record:

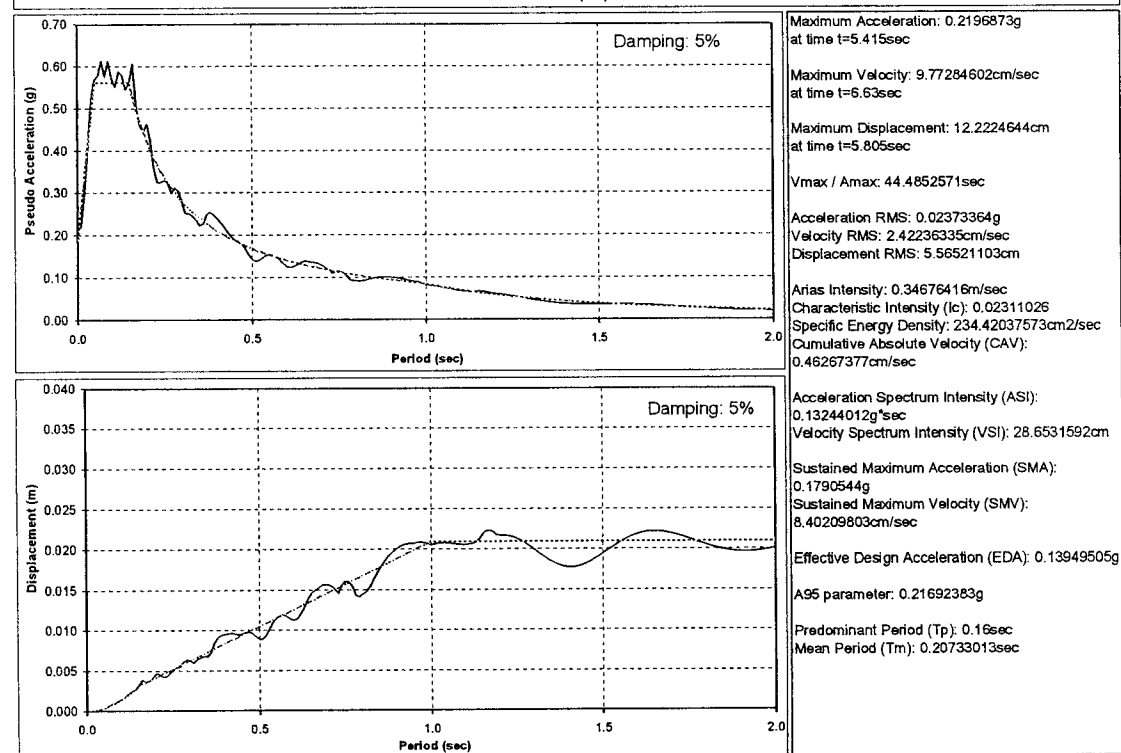
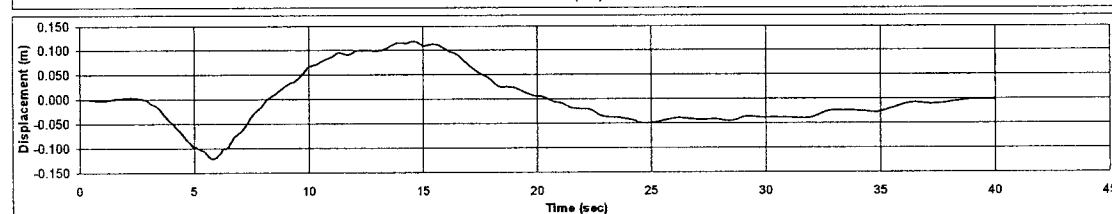
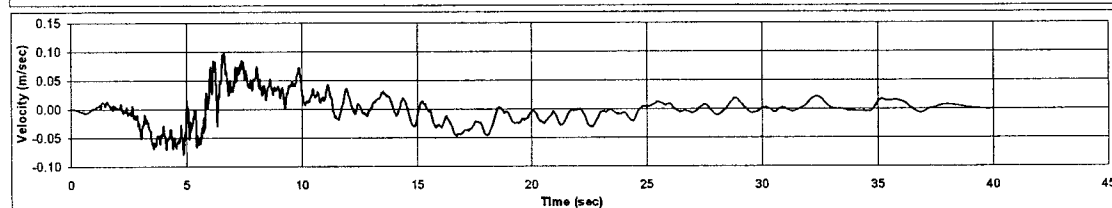
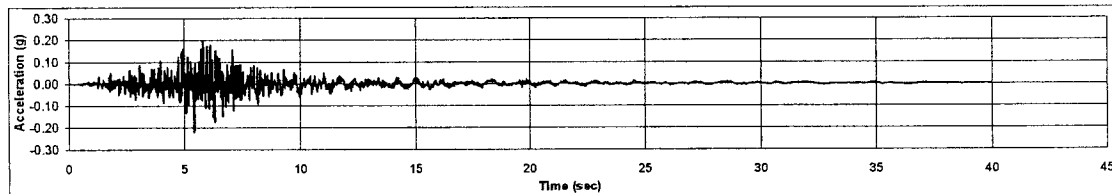


**Combination EQ5 – Vertical Direction:
ACV05 Loma Prieta, USA 17/10/1989, Saratoga – Aloha Ave UP**

Original Record:

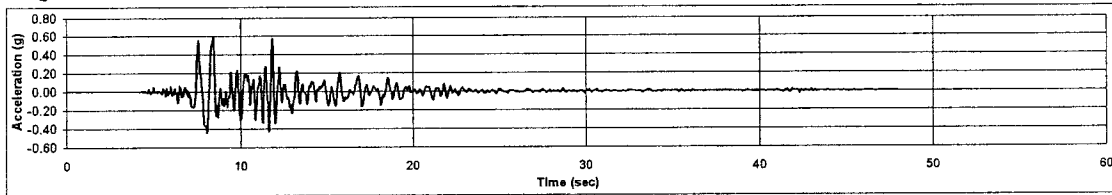


Modified Record:

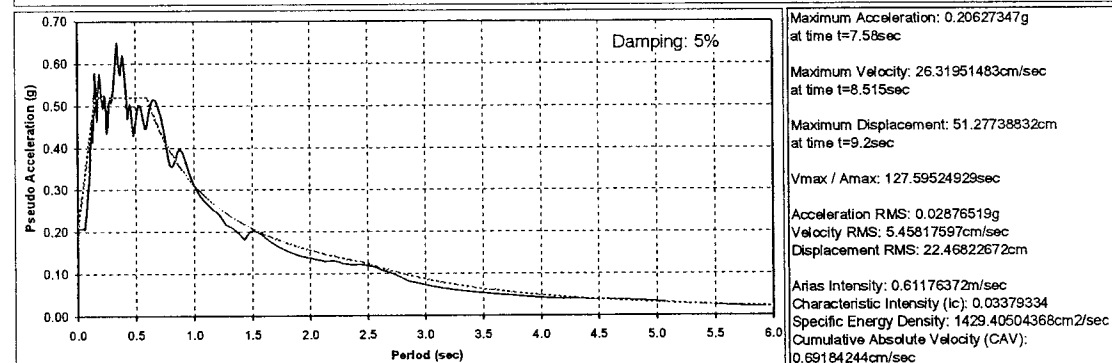
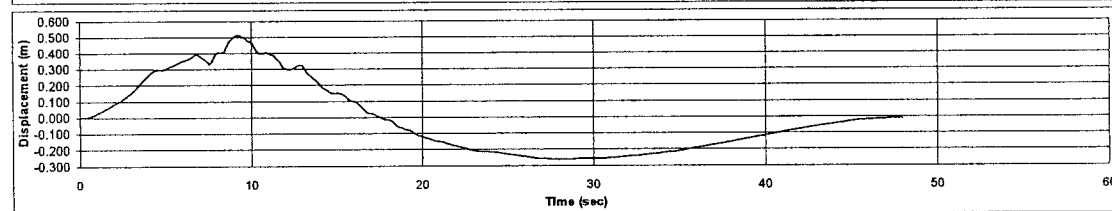
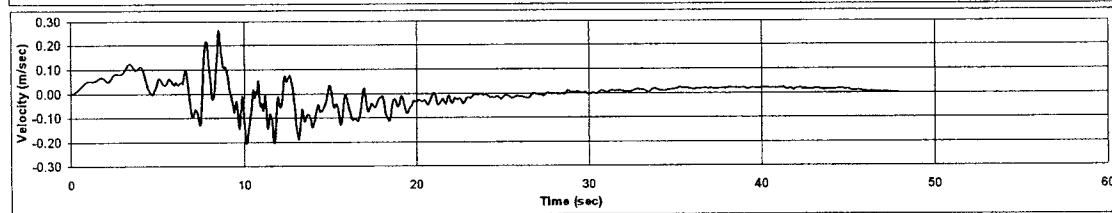
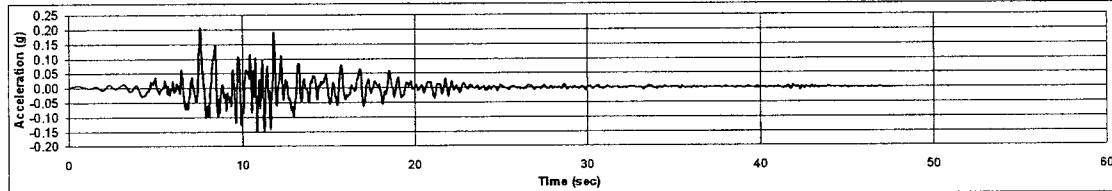


**Combination EQ6 – Long Direction:
ACC11 Kobe, Japan 16/01/1995, KJMA 090**

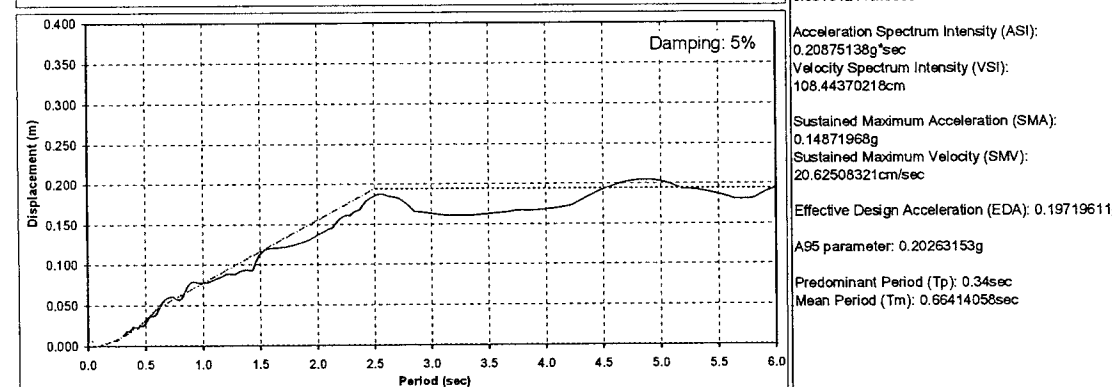
Original Record:



Modified Record:



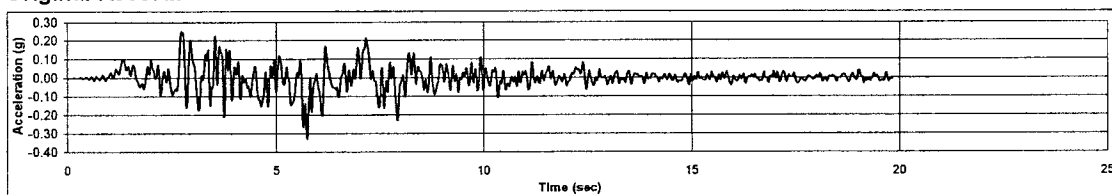
Maximum Acceleration: 0.20627347g
at time t=7.58sec
Maximum Velocity: 26.31951483cm/sec
at time t=8.515sec
Maximum Displacement: 51.27738832cm
at time t=9.2sec
Vmax / Amax: 127.59524929sec
Acceleration RMS: 0.02876519g
Velocity RMS: 5.45817597cm/sec
Displacement RMS: 22.46822672cm
Arias Intensity: 0.61176372m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.03379334
Specific Energy Density: 1429.40504368cm²/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.69184244cm/sec



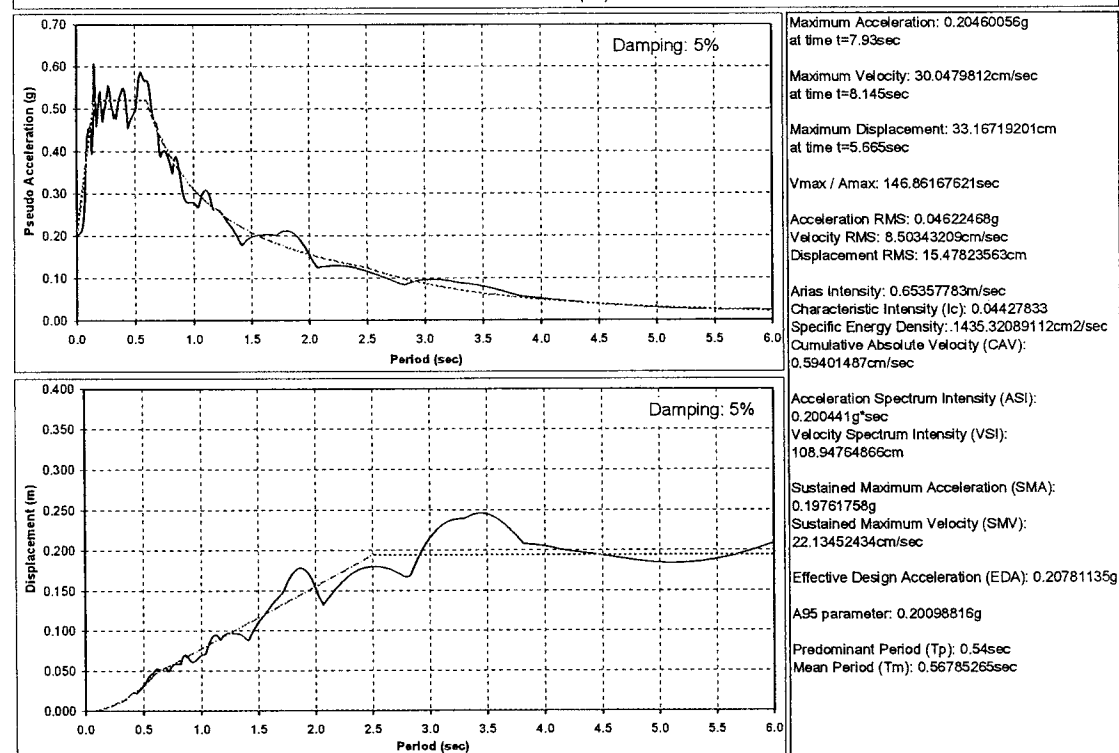
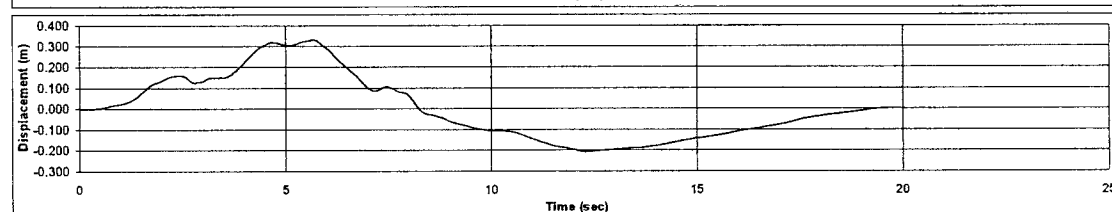
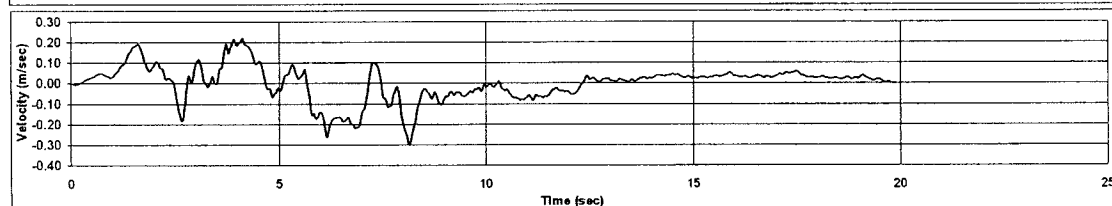
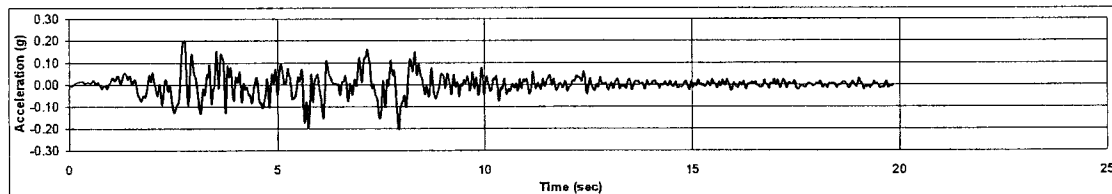
Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.20875138g*sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI):
108.44370218cm
Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.14871968g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
20.62508321cm/sec
Effective Design Acceleration (EDA): 0.19719611g
A95 parameter: 0.20263153g
Predominant Period (Tp): 0.34sec
Mean Period (Tm): 0.66414058sec

**Combination EQ6 – Trans Direction:
ACC12 Kocaeli, Turkey 17/08/1999, Sakarya 090**

Original Record:



Modified Record:

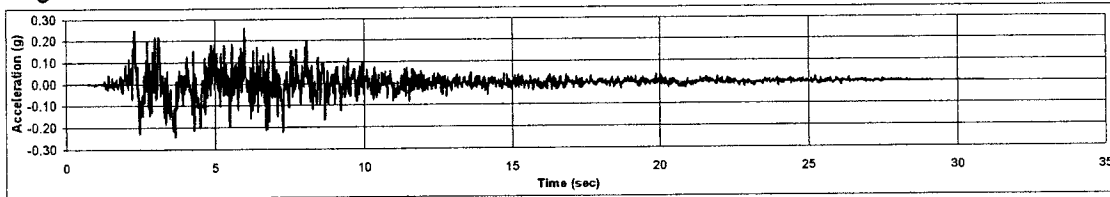


ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΑΣΠ – ΣΕΙΣΜΟΜΟΝΩΣΗ Α.Ε.

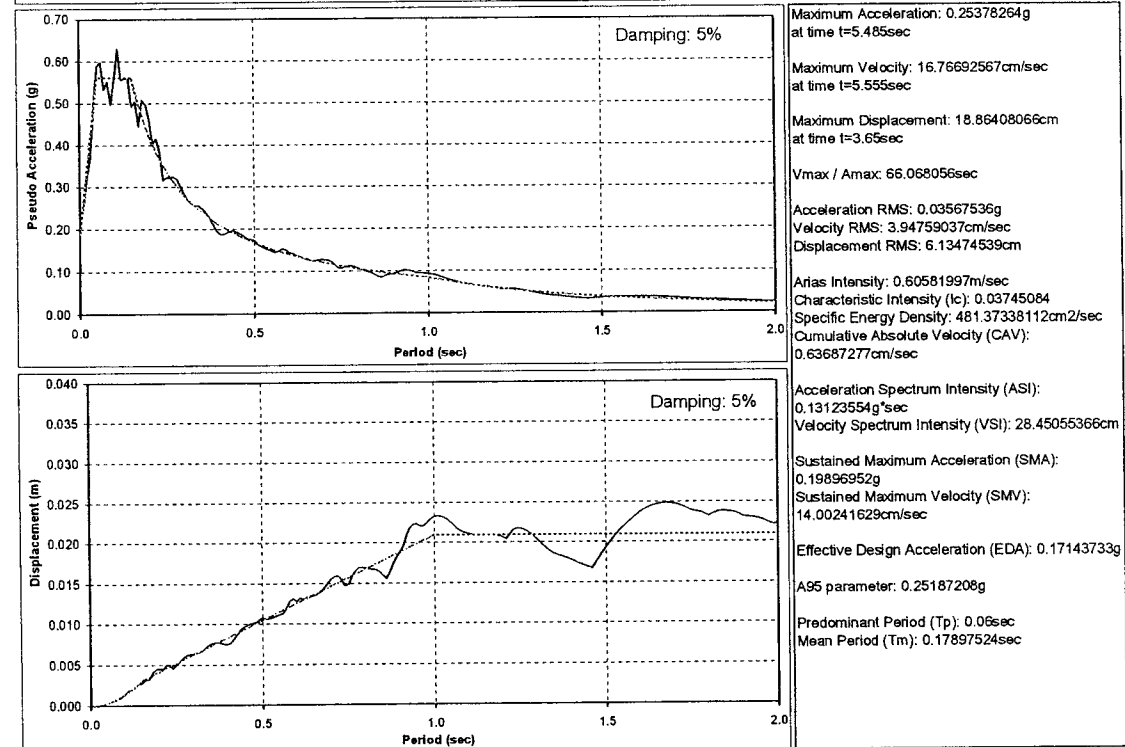
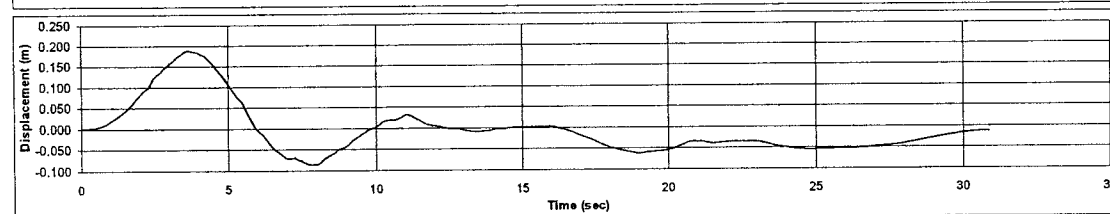
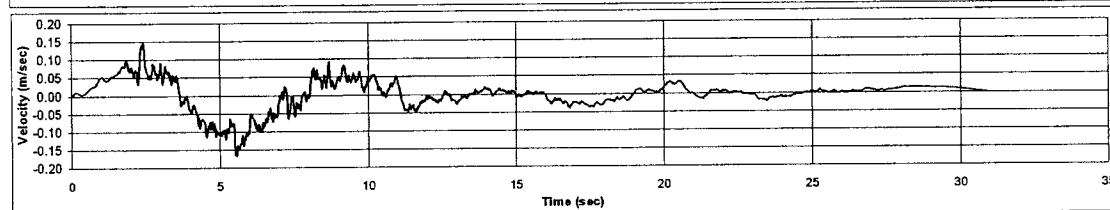
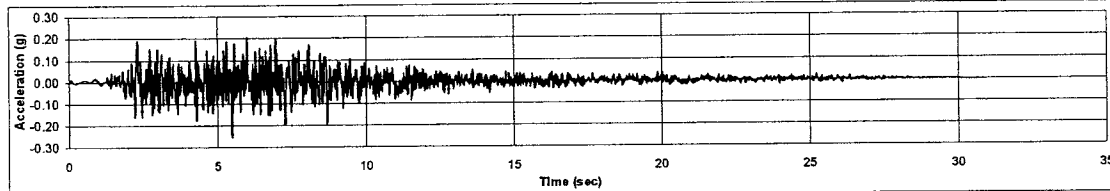
ΤΕΥΧΟΣ Δ': ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΟΔΗΓΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

**Combination EQ6 – Vertical Direction:
ACV06 Kocaeli, Turkey 17/08/1999, Sakarya UP**

Original Record:

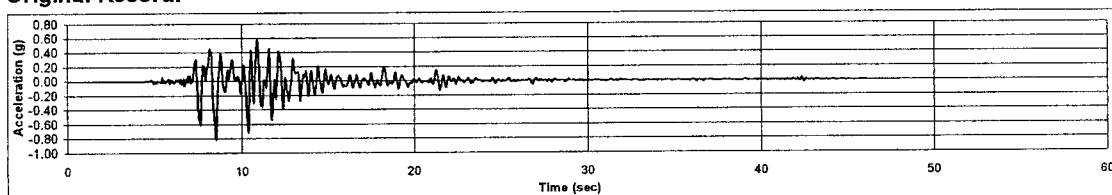


Modified Record:

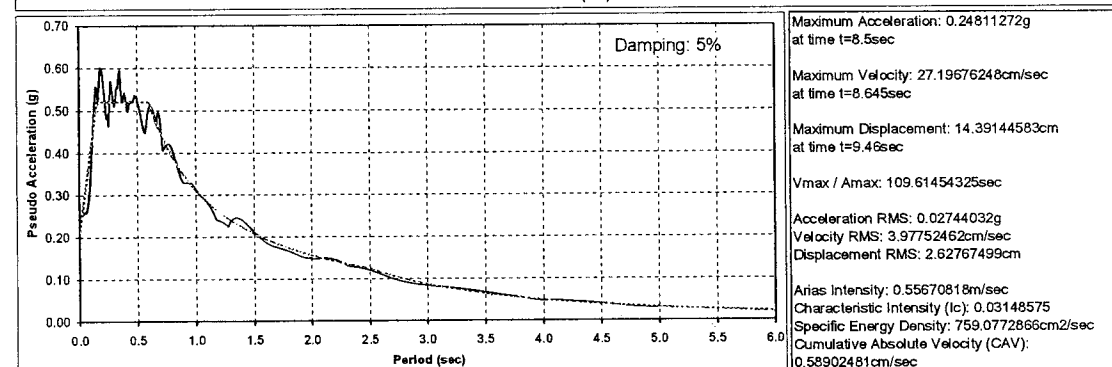
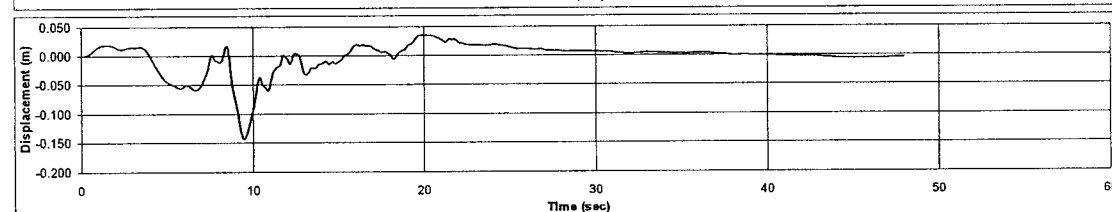
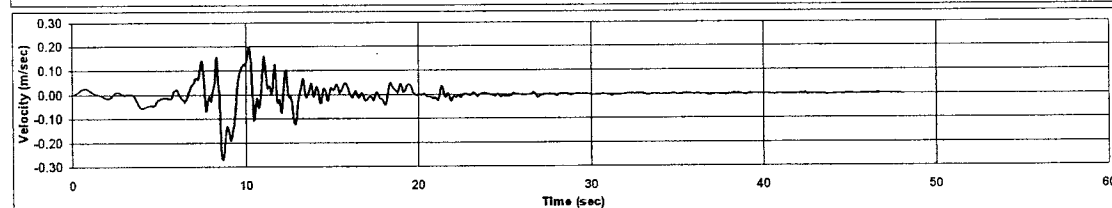
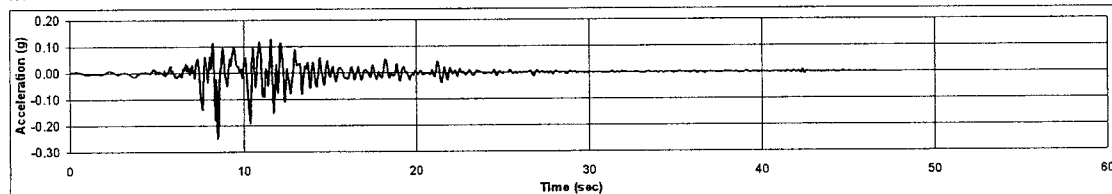


Combination EQ7 – Long Direction: ACC13 Kobe, Japan 16/01/1995, KJMA 000

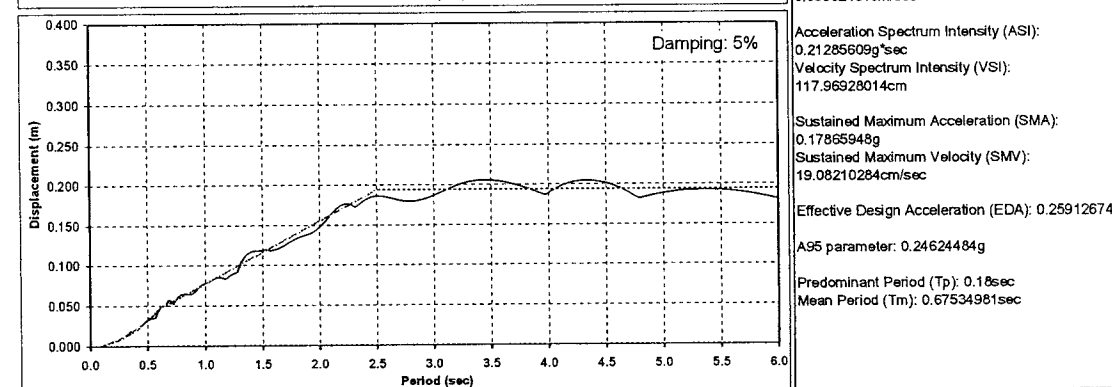
Original Record:



Modified Record:



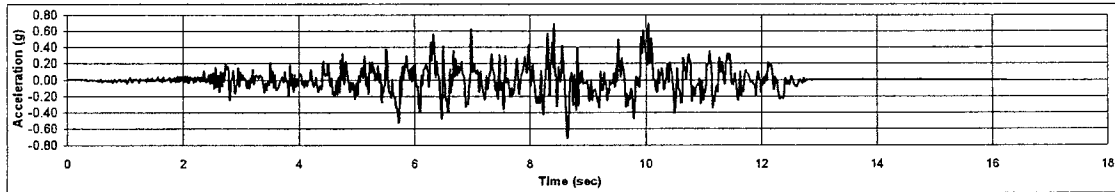
Maximum Acceleration: 0.24811272g
at time t=8.5sec
Maximum Velocity: 27.19676248cm/sec
at time t=8.645sec
Maximum Displacement: 14.39144583cm
at time t=9.46sec
Vmax / Amax: 109.61454325sec
Acceleration RMS: 0.02744032g
Velocity RMS: 3.97752462cm/sec
Displacement RMS: 2.62767499cm
Arias Intensity: 0.55670818m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.03148575
Specific Energy Density: 759.0772866cm2/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.58902481cm/sec



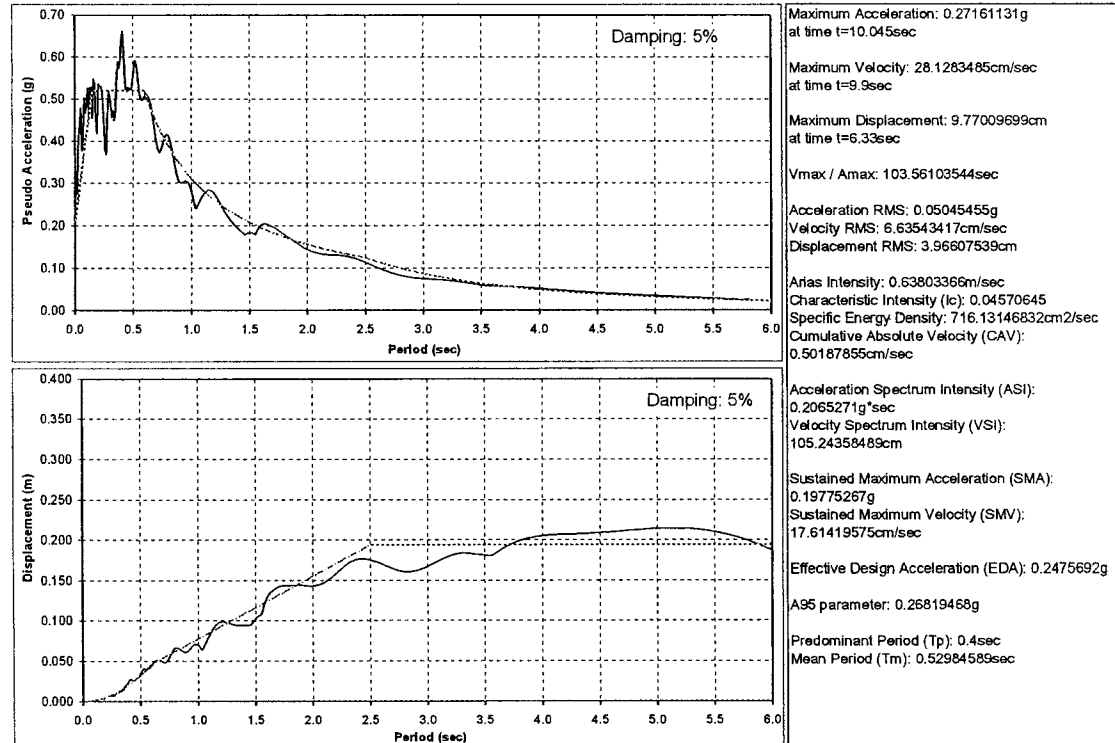
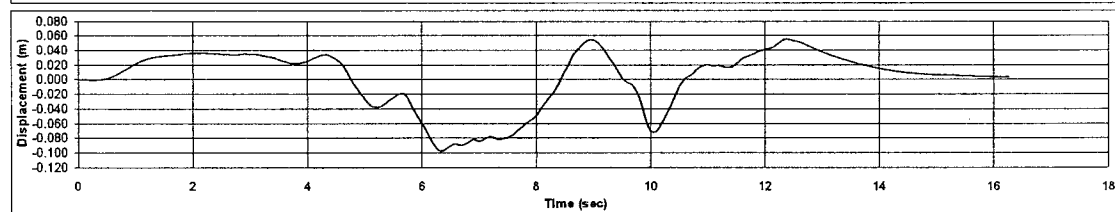
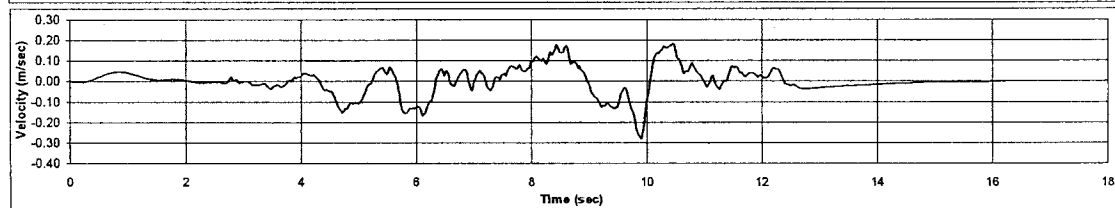
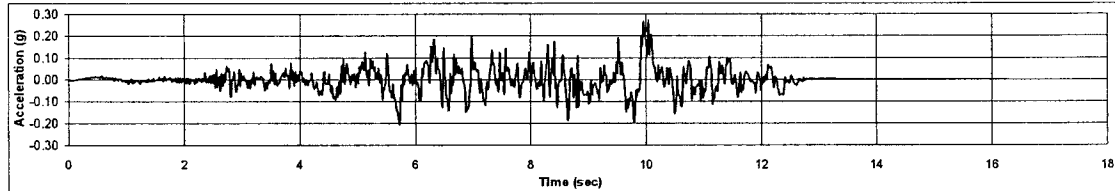
Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.21285609g*sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI):
117.96928014cm
Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.17865948g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
19.08210284cm/sec
Effective Design Acceleration (EDA): 0.25912674g
A95 parameter: 0.24624484g
Predominant Period (Tp): 0.18sec
Mean Period (Tm): 0.67534981sec

**Combination EQ7 – Trans Direction:
ACC14 Gazli, USSR 17/05/1976, Karakyr 090**

Original Record:

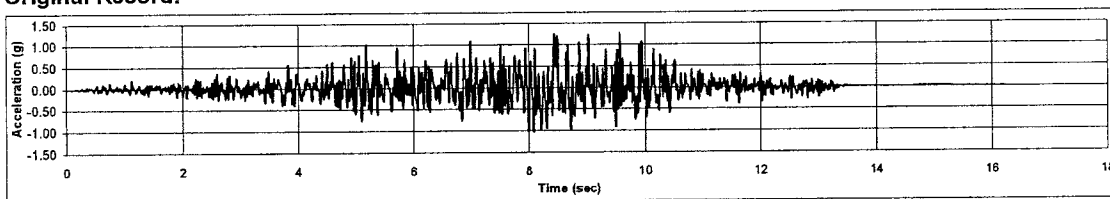


Modified Record:

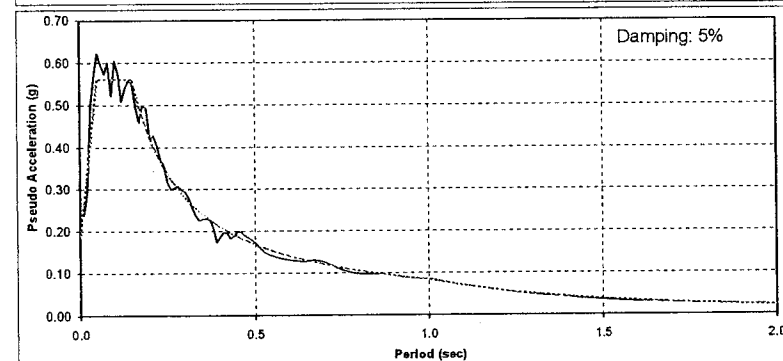
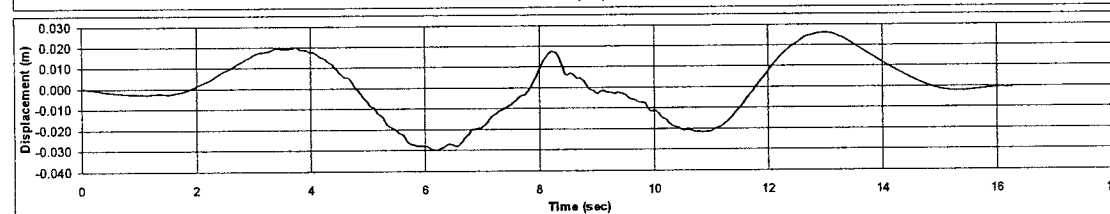
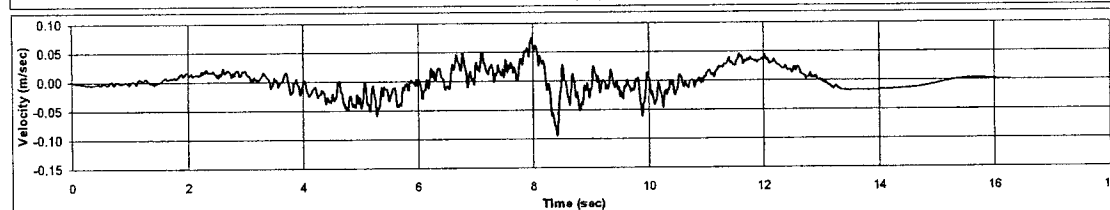
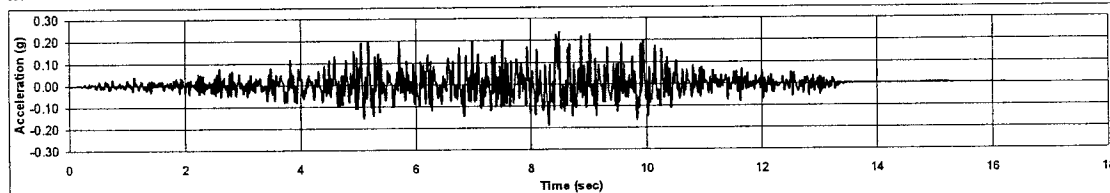


**Combination EQ7 – Vertical Direction:
ACV07 Gazli, USSR 17/05/1976, Karakyr UP**

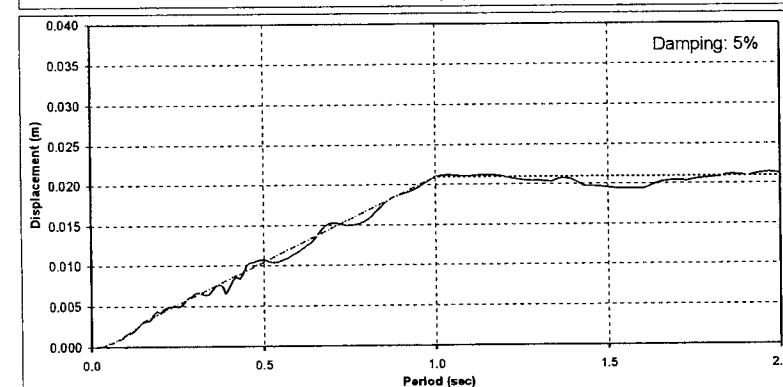
Original Record:



Modified Record:



Maximum Acceleration: 0.23815829g
at time t=8.48sec
Maximum Velocity: 9.43528505cm/sec
at time t=8.405sec
Maximum Displacement: 3.00156745cm
at time t=6.2sec
Vmax / Amax: 39.61770573sec
Acceleration RMS: 0.04856117g
Velocity RMS: 2.10302839cm/sec
Displacement RMS: 1.42727343cm
Arias Intensity: 0.59104586m/sec
Characteristic Intensity (Ic): 0.04315794
Specific Energy Density: 71.93567728cm²/sec
Cumulative Absolute Velocity (CAV):
0.50504132cm/sec



Acceleration Spectrum Intensity (ASI):
0.12883424g*sec
Velocity Spectrum Intensity (VSI): 32.6770021cm
Sustained Maximum Acceleration (SMA):
0.21771616g
Sustained Maximum Velocity (SMV):
6.20939388cm/sec
Effective Design Acceleration (EDA): 0.15485493g
A95 parameter: 0.2339534g
Predominant Period (Tp): 0.1sec
Mean Period (Tm): 0.14821718sec

A.5 Έλεγχος Συμβατότητας Χρονοϊστοριών Εδαφικής Επιτάχυνσης προς το Φάσμα Σχεδιασμού

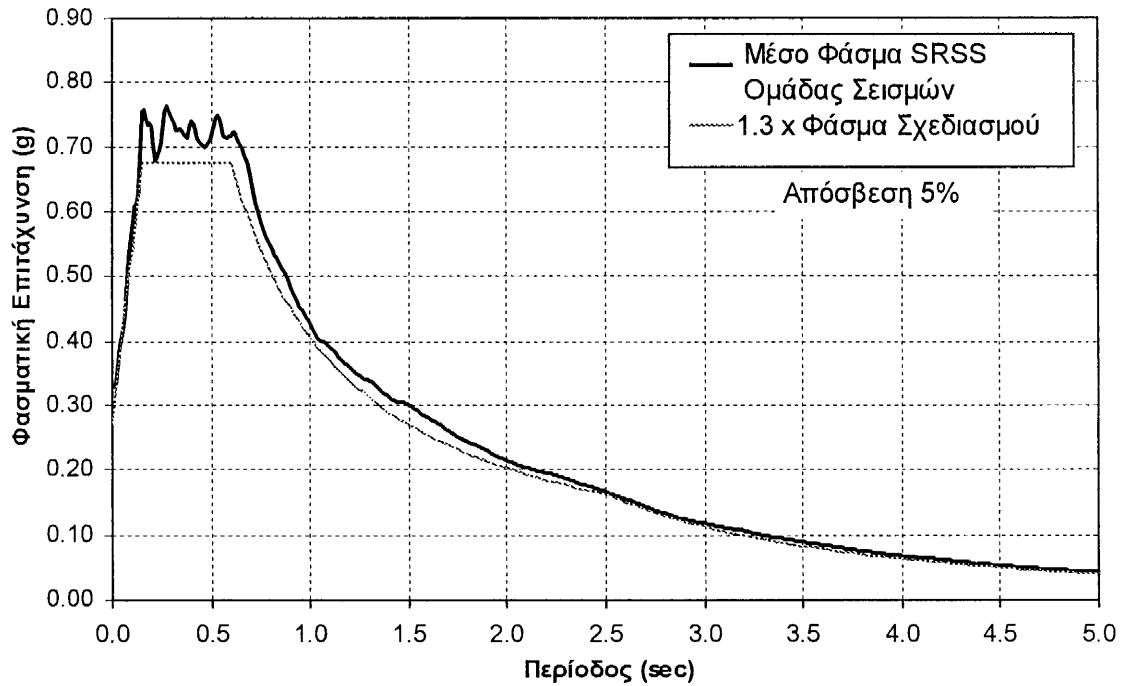
Ο έλεγχος συμβατότητας των τροποποιημένων χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης προς το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού πραγματοποιείται με βάση την παράγραφο 4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για τον Σχεδιασμό Κτιρίων με Σεισμική Μόνωση» και την παράγραφο 4.2 του «Προσχεδίου Οδηγιών για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση».

Για τις οριζόντιες συνιστώσες η συμβατότητα με το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού ελέγχεται ως εξής:

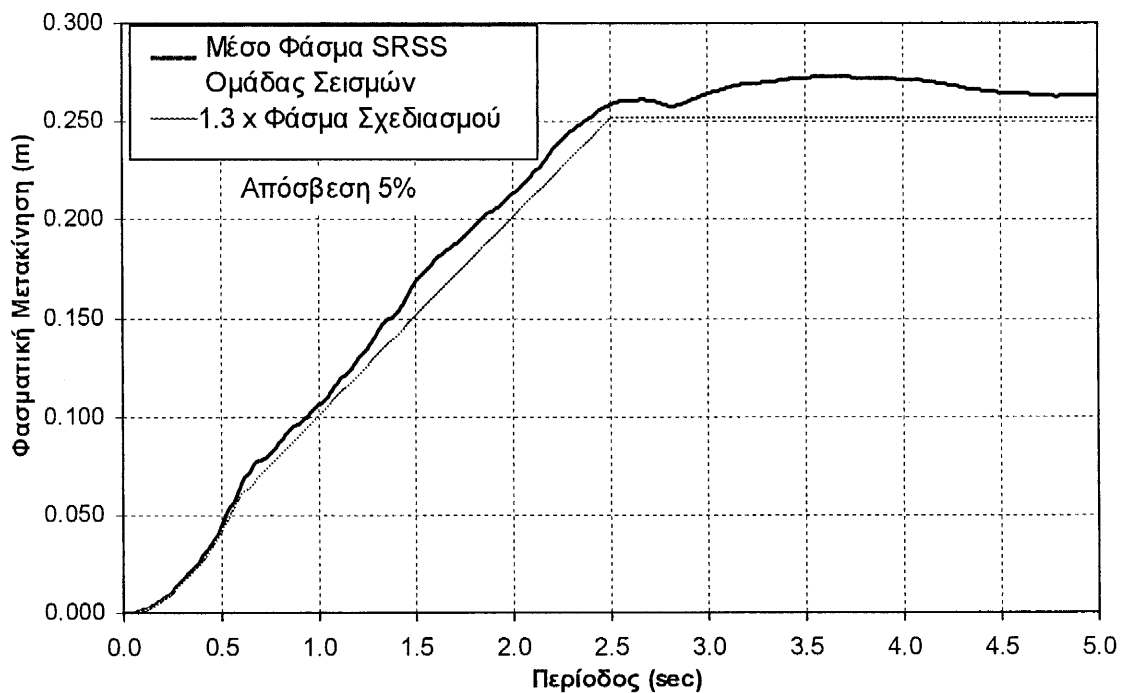
- Για κάθε σεισμό ο οποίος αποτελείται από ένα ζεύγος οριζόντιων χρονοϊστοριών της εδαφικής διέγερσης (επιταχυνσιογραφήματων), υπολογίζεται το φάσμα SRSS ως τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των φασμάτων κάθε συνιστώσας, με ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%.
- Υπολογίζεται το συνολικό φάσμα της ομάδας των σεισμών ως ο μέσος όρος των φασμάτων SRSS των επιμέρους σεισμών (Σχήματα A.4 και A.5) και ελέγχεται το ότι δεν είναι χαμηλότερο από 1.3 φορές το φάσμα σχεδιασμού με ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5% στην περιοχή περιόδων μεταξύ $0.5T_{eff}$ και $1.5T_{eff}$, όπου T_{eff} η ενεργός ιδιοπερίοδος του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Στην προκειμένη περίπτωση ο έλεγχος συμβατότητας εξασφαλίζεται για περιόδους από 0.0sec έως 5.0sec, δηλαδή για όλα τα συστήματα σεισμικής μόνωσης με $T_{eff} < 3.33sec$.

Για τις κατακόρυφες συνιστώσες η συμβατότητα με το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού ελέγχεται ως εξής:

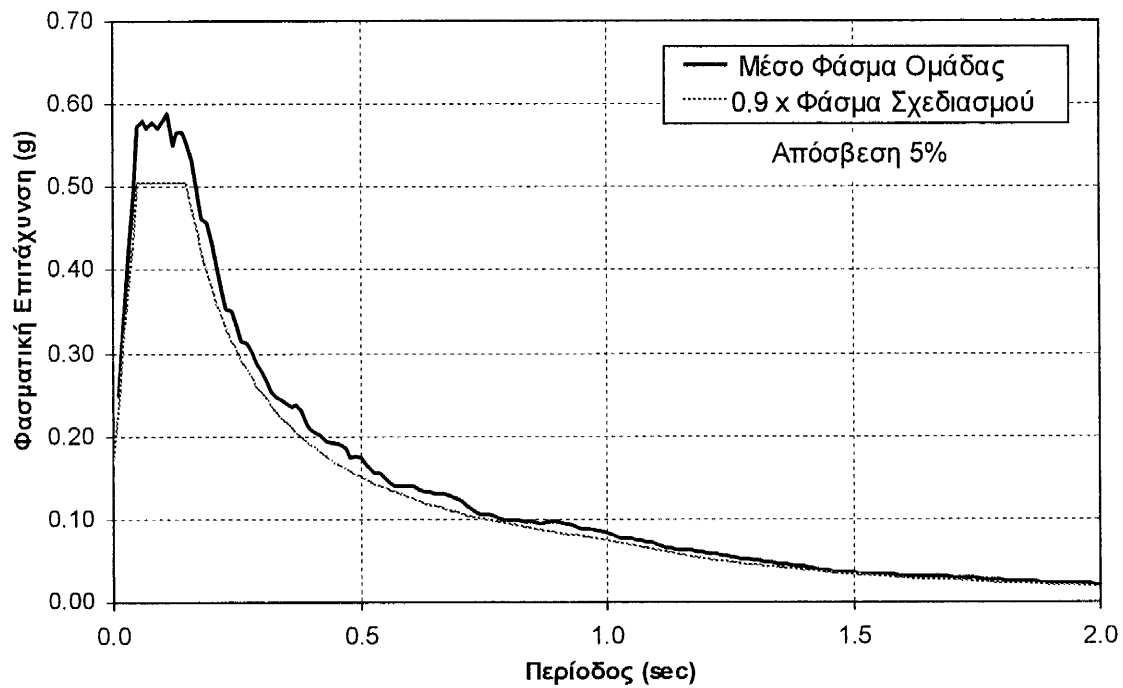
- Για κάθε σεισμό στον οποίο αντιστοιχεί μία κατακόρυφη χρονοϊστορία της εδαφικής διέγερσης (επιταχυνσιογράφημα), υπολογίζεται το φάσμα με ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5%.
- Υπολογίζεται το συνολικό φάσμα της ομάδας των σεισμών ως ο μέσος όρος των φασμάτων των επιμέρους σεισμών (Σχήματα A.6 και A.7) και ελέγχεται το ότι δεν είναι χαμηλότερο από 0.9 φορές το φάσμα σχεδιασμού με ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης 5% στην περιοχή περιόδων $0.2T_v$ έως $1.5T_v$, όπου T_v είναι η περίοδος της πρώτης ιδιομορφής στην οποία δεσπόζουν οι κατακόρυφες μετακινήσεις. Στην προκειμένη περίπτωση ο έλεγχος συμβατότητας εξασφαλίζεται για περιόδους από 0.0sec έως 2.0sec, δηλαδή για όλες τις κατασκευές με $T_v < 1.33sec$.



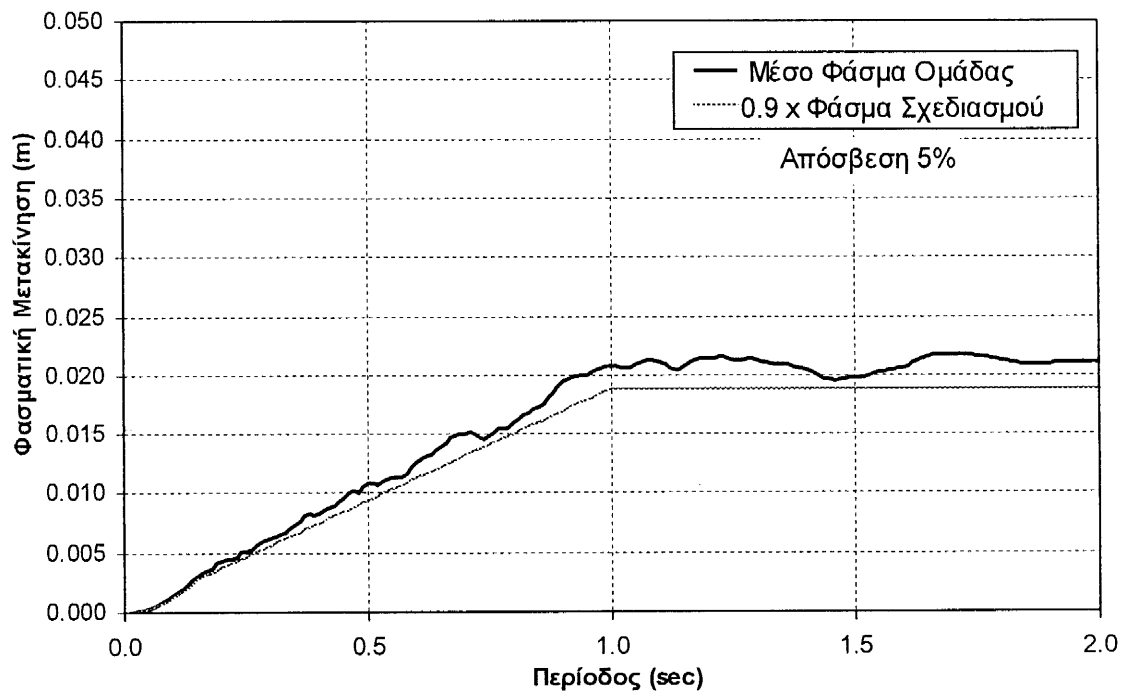
Σχήμα Α.4. Έλεγχος συμβατότητας χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης προς το φάσμα σχεδιασμού – Οριζόντιες συνιστώσες, φασματική επιτάχυνση.



Σχήμα Α.5. Έλεγχος συμβατότητας χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης προς το φάσμα σχεδιασμού – Οριζόντιες συνιστώσες, φασματική μετακίνηση.



Σχήμα Α.6. Έλεγχος συμβατότητας χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης προς το φάσμα σχεδιασμού – Κατακόρυφες συνιστώσες, φασματική επιτάχυνση.



Σχήμα Α.7. Έλεγχος συμβατότητας χρονοϊστοριών εδαφικής επιτάχυνσης προς το φάσμα σχεδιασμού – Κατακόρυφες συνιστώσες, φασματική μετακίνηση.

