

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ



*Δυναμική απόκριση σεισμικά μονωμένης  
κοιλαδογέφυρας πολλαπλών ανοιγμάτων και  
διερεύνηση του φαινομένου της αλληλεπίδρασης  
εδάφους κατασκευής*

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα στο  
**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

**Ευάγγελος Γ. Ζιώγος**

**Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσόπελας - Αναπληρωτής Καθηγητής**

Βόλος - Ιούνιος 2011

*Δυναμική απόκριση σεισμικά μονωμένης  
κοιλαδογέφυρας πολλαπλών ανοιγμάτων και  
διερεύνηση του φαινομένου της αλληλεπίδρασης  
εδάφους κατασκευής*

Διπλωματική εργασία υποβληθείσα στο  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

**Ευάγγελος Γ. Ζιώγος**

τριμελής επιτροπή αξιολόγησης

**1. Παναγιώτης Τσόπελας - Αναπληρωτής Καθηγητής**

**2. Φίλιππος Περδικάρης – Καθηγητής**

**3. Παναγιώτης Ντακούλας – Αναπληρωτής Καθηγητής**

Βόλος - Ιούνιος 2011

*Στους γονείς  
και την αδερφή μου*

## Abstract

The Thesis investigates the soil structure interaction effects on the seismic isolated multispan Bridge in Megalorema (Egnatia Motorway). The bridge was constructed with the incremental launching technique and the structural design was made by TTA.

A 3d finite element model is developed in Sap Nonlinear, with all the seismic isolation devices (low damping bearings and energy dissipators) added. A series of 6 strong ground motions and a series of 5 artificial earthquakes excite the structure independently in longitudinal and in transverse direction.

Two different time history analysis groups have been performed. The first regards the Bridge as fixed base ignoring the SSI effects. The second one SSI is regarded by with flexible pier supports by providing the appropriate dynamic impedances of the pile groups.

The results of totally 44 non linear time history analysis cases have been computed regarding to Pier Shear forces, displacements and accelerations at the top of them and the isolation drifts of the structural bearings.

Finally some simple ratios compare the results of fixed base bridge with those of the bridge supported on flexible dynamic foundations.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον **κ. Παναγιώτη Τσόπελα**, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τον σχεδιασμό και την καθοδήγηση της Διπλωματικής εργασίας. Κεντρικός άξονας ανάπτυξης της αποτέλεσε αντίστοιχη ερευνητική εργασία που έκανε ο ίδιος στο παρελθόν στο Catholic University των ΗΠΑ.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον **Δρ. Τηλέμαχο Τσικνιά**, μελετητή μερικών από των σπουδαιότερων τεχνικών έργων της Ελλάδας και καθηγητή μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, στο μάθημα των ολόσωμων γεφυρών, για την παροχή πολύτιμων γνώσεων πάνω σε θέματα μελέτης και κατασκευής και φυσικά για την παραχώρηση των σχεδίων των δίδυμων γεφυρών στο Μεγαλόρεμα.

Στον **κ. Φίλιππο Περδικάρη**, καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας οφείλω τις γνώσεις μου σε έναν από τα πιο ενδιαφέροντες και απαραίτητους για τη γεφυροποιία τομείς – αυτόν της προέντασης.

Τέλος οι μηχανικοί της κοινοπραξίας Thales EC & OMEK AE **Christian Brun** και **Donald Munro** με υποστήριξαν επιστημονικά στα πλαίσια της πρακτικής μου άσκησης.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Διαγράμματα – σχήματα – πίνακες.....	7
<b>Κεφάλαιο</b>	
1. Περίληψη – Εισαγωγή.....	10
2. Η μέθοδος της τμηματικής προώθησης (incremental launching technique) .....	12
3. Τεχνική περιγραφή του έργου.....	15
3.1 Γεωμετρία και χαρακτηριστικά στοιχεία της γέφυρας .....	16
3.2 Στάδια και αλληλουχία εργασιών.....	20
3.3 Πληροφορίες από τη στατική μελέτη εφαρμογής .....	23
3.4 Σχέδια οριστικής μελέτης & φωτογραφίες του έργου.....	28
4. Δυναμική απόκριση των στοιχείων θεμελίωσης.....	44
4.1 Υπολογισμός δυναμικών χαρακτηριστικών των πασσαλομάδων.....	45
5. Προσομοίωση του φορέα στο πρόγραμμα SAP Nonlinear v.10 .....	50
5.1 Γενικά .....	51
5.2 Υλικά και διατομές .....	53
5.3 Εφέδρανα .....	55
5.4 Αποσβεστήρες .....	59
5.5 Μάζες.....	60
5.6 Δυναμικές δυσκαμψίες πασσαλομάδων.....	62
6. Επιταχυνσιογραφήματα & αναλύσεις.....	63
6.1 Φυσικά επιταχυνσιογραφήματα .....	64
6.2 Τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα .....	72
6.3 Παράδειγμα εισαγωγής στο SAP Nonlinear v.10.....	86
6.4 Πραγματοποιούμενες αναλύσεις χρονοϊστορίας .....	87
7. Αναλύσεις χωρίς αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής.....	88
7.1 Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης.....	89
7.2 Απόκριση μεσοβάθρων.....	91
7.3 (παρ.ΗΘ) Μετακινήσεις εφεδράνων.....	127
8. Αναλύσεις με αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής.....	139
8.1 Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης.....	140
8.2 Απόκριση μεσοβάθρων .....	142
8.3 (παρ.ΗΘ) Μετακινήσεις εφεδράνων.....	178
9. Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	190
9.1 Οι δείκτες PSR – DTοPR –ATοPR - IDR (ορισμός).....	191
9.2 Μεσόβαθρα.....	192
9.3 Εφέδρανα.....	198
10. Συμπεράσματα.....	200
Αναφορές-βιβλιογραφία.....	204

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ - ΣΧΗΜΑΤΑ - ΠΙΝΑΚΕΣ

### Κεφάλαιο\_2

Σχήμα 2.1 Τμηματική προώθηση.....	13
-----------------------------------	----

### Κεφάλαιο\_3

Σχήμα 3.1.1 απόσπασμα από τη χάραξη της ΕΟ στον δυτικό τομέα.....	16
Σχήμα 3.1.2 αεροφωτογραφία κατά τη φάση κατασκευής του αριστερού κλάδου.....	16
Σχήμα 3.1.3 Ύψη μεσοβάθρων.....	17
Πίνακας 3.1 Πίνακας εφεδράνων.....	18
Σχήμα 3.4.1 Οριζοντιογραφία και κατά μήκος τομή της γέφυρας.....	29
Σχήμα 3.4.2 Τυπική διατομή φορέων στις θέσεις των ιστών φωτισμού.....	30
Σχήμα 3.4.3 τυπική διατομή ανοίγματος.....	31
Σχήμα 3.4.5 διατομή στα ακρόβαθρα.....	32
Σχήμα 3.4.6 διατομή στα μεσόβαθρα (εμφάνιση διαφράγματος).....	33
Σχήμα 3.4.7 Τυπική διάταξη σιδηρού οπλισμού και θέσεις τενόντων κεντρικής προέντασης.....	34
Σχήμα 3.4.8 Διάταξη των τενόντων της κεντρικής προέντασης (άνω και κάτω πλάκα) και της παραβολικής χάραξης (κορμοί).....	35
Σχήμα 3.4.9 Φρέατα θεμελίωσης των M1, M2 και M3.....	36
Σχήμα 3.4.10 Θεμελιώσεις των M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10 σε ομάδες πασσάλων.....	37
Φωτογραφία 3.4.1 Διάταξη μεσοβάθρων.....	38
Φωτογραφία 3.4.2 Ακρόβαθρο ΑΟ.....	38
Φωτογραφία 3.4.3 Κλίνη σκυροδέτησης.....	39
Φωτογραφία 3.4.4 Μεταλλικό ρύγχος.....	39
Φωτογραφία 3.4.5 Πρώτο προωθούμενο τμήμα.....	40
Φωτογραφία 3.4.6 Προωθητήρας τριβής και γρύλλος ανύψωσης.....	40
Φωτογραφία 3.4.7 Τυπική διατομή της γέφυρας.....	41
Φωτογραφία 3.4.8 Μεταλλικό ρύγχος.....	41
Φωτογραφία 3.4.9 Συνεχόμενη διαδικασία προώθησης ανεξάρτητα καιρού.....	42
Φωτογραφία 3.4.10 Αποψη από το ακρόβαθρο ΑΟ.....	42
Φωτογραφία 3.4.11 Η γέφυρα όπως φαίνεται από την ΕΟ Ιωαννίνων Μετσόβου.....	43
Φωτογραφία 3.4.12 Πάνω από το ανατολικό στόμιο της σήραγγας Βοτονοοσίου.....	43

### Κεφάλαιο\_4

Σχήμα 4.1.1 Κατακόρυφη δυναμική δυσκαμψία πασσαλομάδας.....	47
Σχήμα 4.1.2 Οριζόντια (90) δυναμική δυσκαμψία πασσαλομάδας.....	48
Σχήμα 4.1.3 Οριζόντια (0) δυναμική δυσκαμψία πασσαλομάδας.....	48
Σχήμα 4.1.4 Κατακόρυφη δυναμική απόσβεση πασσαλομάδας.....	48
Σχήμα 4.1.5 Οριζόντια (90) δυναμική απόσβεση πασσαλομάδας.....	49
Σχήμα 4.1.6 Οριζόντια (0) δυναμική απόσβεση πασσαλομάδας.....	49

### Κεφάλαιο\_5

Σχήμα 5.1.1 Στηρίξεις φορέα στα ακρόβαθρα και στα μεσόβαθρα.....	51
Σχήμα 5.1.2 Χωρικό μοντέλο της γέφυρας.....	52
Σχήμα 5.2.1 Προσδιορισμός των υλικών.....	53
Σχήμα 5.2.2 Εισαγωγή διατομής μεσοβάθρου.....	54
Σχήμα 5.2.3 Τυπική διατομή του φορέα ανωδομής.....	54
Σχήμα 5.2.4 Άκαμπτα μέλη.....	55
Πίνακας 5.3.1 Λίστα εφεδράνων.....	55
Πίνακας 5.3.2 Χαρακτηριστικά εφεδράνων.....	56
Σχήμα 5.3.3 Εφέδρανα του M1.....	58
Σχήμα 5.3.4 Εφέδρανα του M4.....	58
Σχήμα 5.4.1 Διάγραμμα δύναμης μετακίνησης αποσβεστήρα MAURER 750.....	69
Σχήμα 5.4.2 Εισαγωγή ιδιοτήτων αποσβεστήρα MAURER 750 στο SAP Nonlinear.....	60
Σχήμα 5.5.1 Συνεχώς κατανεμημένο φορτίο για τον υπολογισμό των μαζών.....	61
Σχήμα 5.5.2 και 5.5.3 Εισαγωγή μαζών στο Sap Nonlinear.....	61
Σχήμα 5.6 Δυναμικές δυσκαμψίες πασσαλομάδων.....	62

## Κεφάλαιο\_6

Σχήμα 6.1.1 Imperial Valley.....	65
Σχήμα 6.1.2 Duzce.....	66
Σχήμα 6.1.3 Chi Chi.....	67
Σχήμα 6.1.4 Friuli.....	68
Σχήμα 6.1.5 Kobe.....	69
Σχήμα 6.1.6 Tabas.....	70
Σχήμα 6.1.7 Ελαστικά φάσματα απόκρισης για τις φυσικές καταγραφές (σύγκριση με τα φάσματα σχεδιασμού ΕΑΚ) .....	71
Σχήμα 6.2.1 ΕΑΚ Χ ελαστικό φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5%.....	72
Σχήμα 6.2.2 ΕΑΚ Υ ελαστικό φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5%.....	73
Σχήμα 6.2.3 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E1x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	74
Σχήμα 6.2.4 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E2x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	75
Σχήμα 6.2.5 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E3x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	76
Σχήμα 6.2.6 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E4x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	77
Σχήμα 6.2.7 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E5x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	78
Σχήμα 6.2.8 Μέσος όρος ελαστικών φασμάτων απόκρισης για τα 5 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα κατά xx (σύγκριση με φάσμα σχεδιασμού) .....	79
Σχήμα 6.2.9 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E1y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	80
Σχήμα 6.2.10 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E2y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	81
Σχήμα 6.2.11 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E3y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	82
Σχήμα 6.2.12 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E4y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	83
Σχήμα 6.2.13 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E5y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.....	84
Σχήμα 6.2.14 Μέσος όρος ελαστικών φασμάτων απόκρισης για τα 5 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα κατά yy (σύγκριση με φάσμα σχεδιασμού) .....	85
Σχήμα 6.3.1 Εισαγωγή χρονοϊστορίας επιτάχυνσης στο Sap Nonlinear.....	86
Σχήμα 6.3.2 Το πρώτο εκ των πέντε τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων.....	86
Πίνακας 6.4 Πραγματοποιούμενες αναλύσεις χρονοϊστορίας.....	87

## Κεφάλαιο\_7

Πίνακας 7.1 Πίνακας ιδιομορφών.....	89
<b>Διαγράμματα 7.2.1</b> Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	93
<b>Διαγράμματα 7.2.2</b> Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	96
<b>Διαγράμματα 7.2.3</b> Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	99
<b>Διαγράμματα 7.2.4</b> Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	102
<b>Διαγράμματα 7.2.5</b> Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	105
<b>Διαγράμματα 7.2.6</b> Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	108
<b>Διαγράμματα 7.2.7</b> Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	111
<b>Διαγράμματα 7.2.8</b> Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	114
<b>Διαγράμματα 7.2.9</b> Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	117
<b>Διαγράμματα 7.2.10</b> Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	120
<b>Διαγράμματα 7.2.11</b> Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	123
<b>Διαγράμματα 7.2.12</b> Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	126
<b>Διαγράμματα 7.2.13</b> Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	129
<b>Διαγράμματα 7.2.14</b> Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	132
<b>Διαγράμματα 7.2.15</b> Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	135



<b>Διαγράμματα 7.2.16</b>	
Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	138

## Κεφάλαιο\_8

<b>Πίνακας 8.1</b> Πίνακας ιδιομορφών.....	140
<b>Διαγράμματα 8.2.1</b>	
Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	144
<b>Διαγράμματα 8.2.2</b>	
Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	147
<b>Διαγράμματα 8.2.3</b>	
Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	150
<b>Διαγράμματα 8.2.4</b>	
Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	153
<b>Διαγράμματα 8.2.5</b>	
Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	156
<b>Διαγράμματα 8.2.6</b>	
Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	159
<b>Διαγράμματα 8.2.7</b>	
Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	162
<b>Διαγράμματα 8.2.8</b>	
Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	165
<b>Διαγράμματα 8.2.9</b>	
Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	168
<b>Διαγράμματα 8.2.10</b>	
Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	171
<b>Διαγράμματα 8.2.11</b>	
Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	174
<b>Διαγράμματα 8.2.12</b>	
Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	177
<b>Διαγράμματα 8.2.13</b>	
Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	180
<b>Διαγράμματα 8.2.14</b>	
Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	183
<b>Διαγράμματα 8.2.15</b>	
Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα.....	186
<b>Διαγράμματα 8.2.16</b>	
Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.....	189

## Κεφάλαιο\_9

<b>Διάγραμμα 9.2.1</b> PSR_X.....	192
<b>Διάγραμμα 9.2.2</b> PSR_Y.....	193
<b>Διάγραμμα 9.2.3</b> DTοPR_X.....	194
<b>Διάγραμμα 9.2.4</b> DTοPR_Y.....	195
<b>Διάγραμμα 9.2.5</b> ATοPR_X.....	196
<b>Διάγραμμα 9.2.6</b> ATοPR_Y.....	197
<b>Διάγραμμα 9.3.1</b> IDR_X.....	198
<b>Διάγραμμα 9.3.2</b> IDR_Y.....	199

# **Κεφάλαιο 1**

## **Περίληψη - Εισαγωγή**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η επιρροή των φαινομένων αλληλεπίδρασης του εδάφους με την κατασκευή, στην περίπτωση της σεισμικά μονωμένης **κοιλαδογέφυρας Μεγαλορέματος** της Εγνατίας Οδού (δεξιός κλάδος).

Η γέφυρα σχεδιάστηκε από συμπράττοντα γραφεία μελετών με κύριο μελετητή την εταιρεία **Τηλέμαχος Τσικνιάς και Συνεργάτες ΑΕΜΤΕ** και κατασκευάστηκε από την τεχνική εταιρεία **Μοχλός ΑΕ**. Ανήκει στη λίστα με τις μεγαλύτερες και σημαντικότερες γέφυρες της Εγνατίας Οδού και από τις ελάχιστες στην Ελλάδα που κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της τμηματικής προώθησης (**incremental launching technique**).

Σύμφωνα με τα σχέδια της οριστικής μελέτης, πραγματοποιείται μια λεπτομερής προσομοίωση του φορέα της γέφυρας με ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία στο χώρο, λαμβάνοντας υπόψη με κατάλληλα στοιχεία και τη συμπεριφορά όλων των επιμέρους διατάξεων σεισμικής μόνωσης της κατασκευής, όπως τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης που εγκαθίστανται μεταξύ του φορέα ανωδομής και των στηρίξεών του, καθώς και τους υδραυλικούς αποσβεστήρες ενέργειας που τοποθετούνται στα ακρόβαθρα.

Η προσομοίωση έγινε στο λογισμικό **Sap Nonlinear v.10**.

Διερευνάται η απόκριση της γέφυρας για **2 ξεχωριστές σειρές αναλύσεων**. Στην πρώτη σειρά οι στηρίξεις των μεσοβάθρων και των ακροβάθρων θεωρούνται ακλόνητες (πλήρεις πακτώσεις) οπότε και ΔΕΝ λαμβάνονται υπόψη τα **φαινόμενα αλληλεπίδρασης** εδάφους κατασκευής, ενώ στην δεύτερη σειρά των αναλύσεων τοποθετούνται στις στηρίξεις κατάλληλα ελατήρια και στοιχεία απόσβεσης που λαμβάνουν υπόψη σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης της γέφυρας με το έδαφος.

Πραγματοποιούνται **συνολικά 44 ανελαστικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας** με επιταχυνσιογραφήματα από φυσικές καταγραφές σεισμών, αλλά και με τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα τα οποία προσαρμόζονται στο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού της γέφυρας και παρήχθησαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας με το **λογισμικό Simqke**.

Διερευνάται η σεισμική **συμπεριφορά της γέφυρας** τόσο στην **εφαπτομενική** (διαμήκη) διεύθυνση, όσο και στην **ακτινική** (εγκάρσια) για τις περιπτώσεις όπου λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής όσο και για τις περιπτώσεις όπου αυτά αγνοούνται.

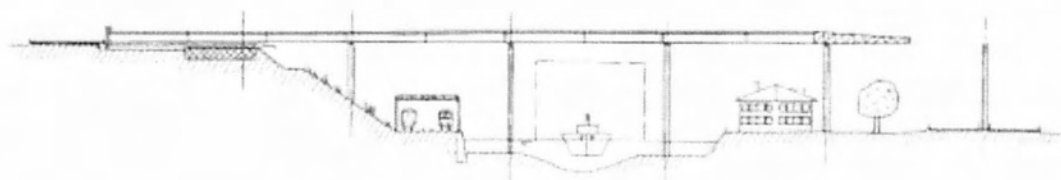
Τέλος παράγονται κάποιοι **δείκτες συσχέτισμού** των δύο ξεχωριστών σειρών αναλύσεων που καταδεικνύουν την επιρροή της αλληλεπίδρασης σε ορισμένες χρήσιμες παραμέτρους σχεδιασμού, για την περίπτωση γεφυρών που φέρουν διατάξεις σεισμικής μόνωσης.

## **Κεφάλαιο 2**

**Η μέθοδος της τμηματικής προώθησης  
(incremental launching technique)**

## Γενικά

Η μέθοδος της τμηματικής κατασκευής και προώθησης (incremental launching technique) αποτελεί μία από τις πιο σύγχρονες πλήρως βιομηχανοποιημένες μεθόδους κατασκευής οδικών και σιδηροδρομικών γεφυρών. Βασική αρχή της μεθόδου είναι η κατασκευή του φορέα της ανωδομής (κατάστρωμα) σε αλληλουχία τμημάτων πίσω από το ακρόβαθρο της γέφυρας και η σταδιακή προώθησή τους έως την τελική θέση παρακάμπτοντας τα φυσικά και τεχνητά κωλύματα της γεφύρωσης.



Σχήμα 2.1 Τμηματική προώθηση

Η εν λόγω τεχνική χρησιμοποιήθηκε αρκετά στο παρελθόν για την κατασκευή μεταλλικών γεφυρών Belley. Στον τομέα όμως των ολόσωμων γεφυρών από σκυρόδεμα η προώθηση εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1962 από τους μηχανικούς Leonhardt und Andrä οι οποίοι κατασκεύασαν στη Βενεζουέλα μια γέφυρα πολλαπλών ανοιγμάτων με μέγιστο κεντρικό άνοιγμα 96 μ, ενώ η εξελιγμένη της μορφή όπως εφαρμόζεται και στις μέρες μας πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1965 στη γέφυρα Inn Kufstein στην Αυστρία και αυτή από τον Dr Leonhardt.

Μετά από πολυάριθμες εφαρμογές της μεθόδου παγκοσμίως συγκαταλέγεται ως ιδανική για την κατασκευή γεφυρών πολλαπλών και μεσαίου μεγέθους ανοιγμάτων-δηλαδή ανοίγματα από 30 έως 60 μέτρα.

## Προϋποθέσεις εφαρμογής

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε γέφυρες με ευθύγραμμο άξονα σε οριζοντιογραφία και κατά μήκος τομή ή σε γέφυρες που βρίσκονται σε κυκλικό τόξο σταθερής όμως ακτίνας καμπυλότητας.

Η λυγρότητα του καταστρώματος είναι μεταξύ 12 και 15 ~ 17, ενώ τα ακραία ανοίγματα της γέφυρας είναι ~ 75% των κεντρικών.

Η καταλληλότερη διατομή για το φορέα ανωδομής είναι το μονοκύπελο κιβώτιο ή 2Τ.

### Πλεονεκτήματα

Μπορεί να πραγματοποιηθεί γεφύρωση οποιουδήποτε κωλύματος (ποτάμια, αυτοκινητόδρομοι, σιδηρόδρομοι κλπ) και σε οποιοδήποτε ύψος από το έδαφος, χωρίς τη χρήση ξυλοτύπων για την προσωρινή στήριξη του φορέα.

Περιορίζεται σημαντικά ο εργοταξιακός χώρος πίσω από τα ακρόβαθρα γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη οικονομία στο σύνολο του έργου.

Ο συνήθης κύκλος εργασιών επιτρέπει την ολοκλήρωση και προώθηση τμήματος μήκους μισού ανοίγματος μέσα σε μία εβδομάδα και οδηγεί στην ταχύτατη και επαναλαμβανόμενη εξέλιξη του έργου.

Αποφεύγονται οι αρμοί στο κατάστρωμα αφού κάθε τμήμα σκυροδετείται σε επαφή με το προηγούμενο και συρράφεται με τους τένοντες της κεντρικής προέντασης.

## **Κεφάλαιο 3**

### **Τεχνική περιγραφή του έργου**

### 3.1 Γεωμετρία και χαρακτηριστικά στοιχεία της γέφυρας

Οι **δίδυμες κοιλαδογέφυρες Μεγαλορέματος** βρίσκονται μεταξύ δύο διαδοχικών σηράγγων: της σηράγγας Βοτονοσίου και της σηράγγας Δύο Κορυφών στο τμήμα Ανθοχώρι - Ανήλιο (Τμήμα 3.2) του Δυτικού τομέα της Εγνατίας Οδού. Η περιοχή του έργου είναι ορεινή με πολύ έντονο φυσικό ανάγλυφο γεγονός που οδήγησε στην παράλληλη κατασκευή μιας σειράς σημαντικών τεχνικών έργων κατά μήκος του άξονα όπως σηράγγων, χαραδρογεφυρών, ψηλών επιχωμάτων και αντιστηρίξεων. **Ο δεξιός κλάδος, ο οποίος προσομοιώνεται στην παρούσα εργασία εξυπηρετεί την κυκλοφορία από τα Ιωάννινα προς το Μέτσοβο.**



θέση έργου



Σχήμα 3.1.1 απόσπασμα από τη χάραξη της ΕΟ στον δυτικό τομέα  
Σχήμα 3.1.2 αεροφωτογραφία κατά τη φάση κατασκευής του αριστερού κλάδου

Η γέφυρα εκτείνεται από την Χ.Θ. 6+972.33 έως την Χ.Θ. 7+453.021 και έχει **συνολικό μήκος  $L = 483.45\text{m}$**  μεταξύ των αρμών των ακροβάθρων. Ως μέθοδος κατασκευής επιλέχθηκε η **τμηματική προώθηση (incremental launching technique) «ανηφορικά»** στην κατά μήκος κλίση. Επιγραμματικά αναφέρονται ως βασικότεροι λόγοι για την επιλογή την εν λόγω τεχνικής:

- 1) τα πολλαπλά και μεσαίου μεγέθους ανοίγματα της γέφυρας,
- 2) η ιδανική γεωμετρία της χάραξης
- 3) ο εξαιρετικά περιορισμένος χώρος ανάπτυξης του εργοταξίου ειδικά λόγω της ύπαρξης των 2 σηράγγων
- 4) η απαίτηση για ταχύτητα και μηχανοποίηση της κατασκευής

Οριζοντιογραφικά ο άξονας οδοποιίας βρίσκεται σε κυκλικό τόξο ακτίνας  **$R = 1175\text{m}$** .

Σε μηκοτομή η ερυθρά ακολουθεί ευθυγραμμία με κατά μήκος **κλίση 4.89%** πλην των τελευταίων 25m που προσαρμόζονται σε καμπύλη ακτίνας 190000m, ανοδική κατά την φορά της χιλιομέτρησης (από Ιωάννινα προς Μέτσοβο).



Η διατομή της οδού πάνω στην γέφυρα έχει σταθερή **επίκλιση 4.5%** και περιλαμβάνει δύο λωρίδες κυκλοφορίας, λωρίδα έκτακτης ανάγκης (ΛΕΑ) και πεζοδρόμιο στις εξωτερικές οριογραμμές. **Το συνολικό εύρος του κλάδου είναι 13.50m.**

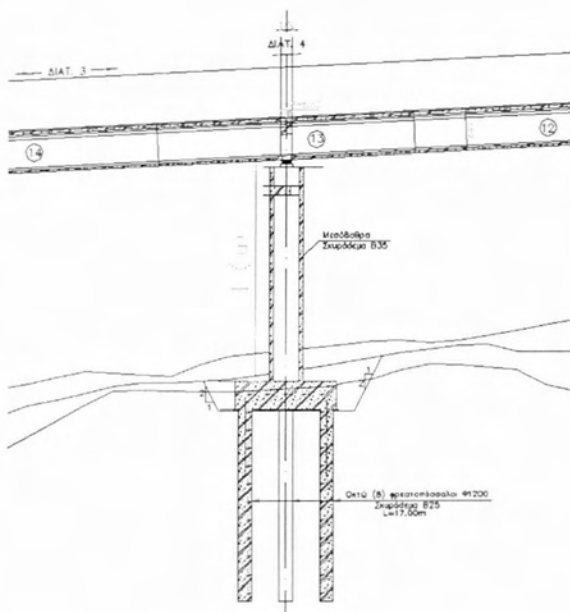
Η μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ της ερυθράς και του φυσικού εδάφους είναι ~38m ενώ η ελάχιστη ~9m.

Η γέφυρα διαμορφώνεται ως συνεχής προεντεταμένος φορέας έντεκα ανοιγμάτων. Η διάταξη τους μετρούμενη στον άξονα της γέφυρας από άξονα σε άξονα βάθρων έχει ως εξής: **36.70m + 9 x 45.50m + 35.0m.**

Αρμοί συστολοδιαστολής τοποθετούνται μόνο στα ακρόβαθρα και επιτρέπουν οριζόντιες μετακινήσεις κατά την εφαπτομενική και ακτινική διεύθυνση. *Ως εφαπτομενική ή αλλιώς διαμήκης ορίζεται η διεύθυνση κάθετα στην ακτίνα του κύκλου στο μέσο του φορέα. Η δε ακτινική θα αναφέρεται στην πορεία και ως εγκάρσια.*

Η αρίθμηση των βάθρων γίνεται από δυτικά προς τα ανατολικά κατά την φορά της χιλιόμετρησης. Έτσι έχουμε **A0, M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, A11.** Με Α συμβολίζονται τα ακρόβαθρα και με Μ τα μεσόβαθρα.

α/α	ελεύθερο ύψος (μ)
<b>M1</b>	22.50
<b>M2</b>	27.80
<b>M3</b>	25.20
<b>M4</b>	24.70
<b>M5</b>	18.90
<b>M6</b>	20.90
<b>M7</b>	20.90
<b>M8</b>	24.10
<b>M9</b>	23.80
<b>M10</b>	12.10



**Σχήμα 3.1.3 Υψη μεσοβάθρων**

Η διατομή του φορέα ανωδομής μορφώνεται ως μονοκύψελο κιβώτιο σταθερού ύψους 3.60m και σταθερού πλάτους 13.0m. Το μήκος των προβόλων της άνω πλάκας του κιβωτίου είναι 2.90m ενώ οι κορμοί έχουν σταθερό πάχος 40 εκ. και κλίση  $υ/β = 1:3,15$ . Η κάτω πλάκα του κιβωτίου έχει πλάτος 5.55m.

Το κιβώτιο προεντίνεται στη διαμήκη διεύθυνση με τένοντες που τοποθετούνται στους κορμούς (**παραβολική προένταση**) καθώς και με τένοντες στην άνω και κάτω πλάκα (**κεντρική προένταση**). Επίσης προεντίνεται και στην εγκάρσια διεύθυνση με τένοντες μόνο στην άνω πλάκα.

Τα μεσόβαθρα είναι ορθογωνικής κιβωτιοειδούς διατομής 3.00x5.80m σταθερού πάχους (40 και 50 εκατοστά) καθ' ύψος. Τα ακρόβαθρα της γέφυρας είναι γενικώς τοιχοειδούς μορφής.

Ο φορέας της ανωδομής είναι πλήρως επισκέψιμος στο εσωτερικό του για επιθεώρηση, μέσω ανοιγμάτων 4.17x1.70m<sup>2</sup> στα διαφράγματα στις θέσεις των ακροβάθρων και 1.50x1.80m<sup>2</sup> στα διαφράγματα στις θέσεις των μεσοβάθρων. Το εσωτερικό των μεσοβάθρων της γέφυρας είναι πλήρως επισκέψιμο μέσα από το κιβώτιο του φορέα της ανωδομής με ανθρωποθυρίδα στη κάτω πλάκα του κιβωτίου διαστάσεων 0.80x0.80m<sup>2</sup> και οπή στην κορυφή κάθε βάθρου διαστάσεων 0.80x0.80 m<sup>2</sup>. Στο εσωτερικό τοίχωμα των μεσοβάθρων αγκυρώνεται μεταλλική σκάλα. Η επιθεώρηση των εφεδράνων και των αρμών συστολοδιαστολής στις θέσεις των ακροβάθρων γίνεται από την εξωτερική όψη των ακροβάθρων με φορητή σκάλα.

Ο κιβωτιοειδής φορέας εδράζεται σε κάθε μεσόβαθρο μέσω ζεύγους ελαστομεταλλικών εφεδράνων από φυσικό ελαστικό (natural rubber) τα οποία περιμετρικά προστατεύονται με επικάλυψη από πολυχλωροπρένιο (noergren).

Ειδικότερα στα μεσόβαθρα M1, M2, M9, M10 τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα φέρουν επικάλυψη PTFE και πλευρικούς οδηγούς ώστε να παρέχεται ελευθερία ολίσθησης μόνο στην εφαπτομενική διεύθυνση ως προς τον άξονα της γέφυρας και να λειτουργούν ως ελαστομεταλλικά στην ακτινική διεύθυνση. Τα εφεδράνα των ακροβάθρων φέρουν επικάλυψη PTFE και έχουν δυνατότητα ολίσθησης και στις δύο διευθύνσεις.

#### ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΦΕΔΡΑΝΑ

##### ΒΑΘΡΑ ΔΕΞΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ

ΒΑΘΡΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ b * d * Η <sub>ελ</sub>	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ:
A0	700 x 700 x 128		<p>α: Διαστάσεις εφεδράνων b*d*H<sub>ελ</sub> b,d διαστάσεις κόπρας σε mm H<sub>ελ</sub> συνολικό ύψος ελαστικού</p> <p>β: Συμβολισμός εφεδράνων</p> <p> : Ελαστομεταλλικό εφεδράνο με επικάλυψη PTFE και οδηγούς το οποίο παρέχει ελευθερία ολίσθησης μόνο στην εφαπτομενική διεύθυνση ως προς τον άξονα της γέφυρας και λειτουργεί ως ελαστομεταλλικό στην ακτινική διεύθυνση οντιστόχως.</p> <p> : Ελαστομεταλλικό εφεδράνο με επικάλυψη PTFE με δυνατότητα ολίσθησης και στις δύο διευθύνσεις.</p>
M1	850 x 850 x 144		
M2	850 x 850 x 144		
M3	850 x 850 x 128		
M4	850 x 850 x 128		
M5	850 x 850 x 112		
M6	850 x 850 x 112		
M7	850 x 850 x 128		
M8	850 x 850 x 128		
M9	850 x 850 x 144		
M10	850 x 850 x 176		
A11	700 x 700 x 128		

Πίνακας 3.1 Πίνακας εφεδράνων

## Υλικά κατασκευής

Προβλέπονται τα εξής υλικά:

- Σκυρόδεμα φορέων ανωδομής ..... B45 (C40/50)
- Σκυρόδεμα κορμών μεσοβάθρων ..... B35 (C30/37)
- Σκυρόδεμα ακροβάθρων ..... B25 (C20/25)
- Σκυρόδεμα θεμελιώσεων (κεφαλόδεσμοι, φρεατοπάσσαλοι, φρεάτια θεμελίωσης) ..... B25 (C20/25)
- Σκυρόδεμα πλακών πρόσβασης ..... B25 (C20/25)
- Σκυρόδεμα πεζοδρομίων ..... B25 (C20/25)
- Χάλυβας Ο/Σ ..... B 500c
- Χάλυβας προέντασης ..... 1570/1770 Μρα

Σε κάθε ακρόβαθρο τοποθετούνται **2 υδραυλικοί αποσβεστήρες MAURER MHD-750** κατά την εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση του άξονα της γέφυρας και **2 αποσβεστήρες MAURER MHD-450** κατά την ακτινική (εγκάρσια) διεύθυνση. Οι αποσβεστήρες έχουν τις εξής ιδιότητες:

(α) Για χαμηλές ταχύτητες κίνησης του εμβόλου  $v < 0.1 \text{ mm/sec}$  η αντίδραση που αναπτύσσονται είναι πολύ μικρή. Ως εκ τούτου οι μετακινήσεις από θερμοκρασιακές μεταβολές, συστολή ξήρανσης και ερπυσμό δεν οδηγούν σε σημαντικές αντιδράσεις. Συγκεκριμένα, οι αποσβεστήρες στις χαμηλές αυτές ταχύτητες αναπτύσσουν δύναμη η οποία δεν υπερβαίνει τα 60 KN.

(β) Για ταχύτητες κίνησης του εμβόλου από 0.1mm/sec έως 0.7mm/sec ή δύναμη αυξάνεται σταδιακά.

(γ) Για ταχύτητες κίνησης του εμβόλου από 2mm/sec και άνω, η δύναμη παραμένει πρακτικώς σταθερή, δηλαδή ανεξάρτητη της ταχύτητας. Το σημαντικό πλεονέκτημα της ιδιότητας αυτής είναι ότι υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για όλο το φάσμα των ταχυτήτων που αναμένονται σε περίπτωση σεισμού.

Η περιοχή που βρίσκεται η γέφυρα, καλύπτεται από σχηματισμούς που ανήκουν στην ενότητα του Πινδικού φλύσχη. Τα φλυσχικά υλικά, αποτελούνται από τρεις κύριους λιθοστρωματικούς ορίζοντες, που με σειρά από τους παλαιότερους - υποκείμενους, προς τους νεότερους - υπερκείμενους, είναι :

- 1) Ερυθροπηλίτες (sl)
- 2) Εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων (fl)
- 3) Παχυστρωματώδεις ψαμμίτες (st)

Το πλήθος των βάθρων της γέφυρας εδράζεται σε βαθιές θεμελιώσεις αποτελούμενες από ομάδες πασσάλων 3x3 και διαμέτρου 1.20 μ ενωμένους με άκαμπτο κεφαλόδεσμο διαστάσεων 9x9 και πάχους 2.50. Εξαιρέση αποτελούν τα M1, M2 και M3 που θεμελιώνονται σε κυκλικά φρέατα διαμέτρου 7μ και βάθους 7 έως 10μ. Ορθογωνικό φρέαρ υπάρχει μόνο στο ακρόβαθρο A0, ενώ και το A11 θεμελιώνεται σε ομάδες πασσάλων.

### **3.2 Στάδια και αλληλουχία εργασιών**

#### **Εκσκαφές – θεμελιώσεις βάθρων**

Για την κατασκευή των θεμελιώσεων προβλέπονται τα εξής στάδια:

- Εργασίες γενικών εκσκαφών θεμελίων μέχρι την καθορισμένη από την μελέτη στάθμη.
- Εκσκαφές των φρεάτων θεμελίωσης και αντιστήριξη των προσωρινών παρειών με αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Κατασκευή (διάτρηση – τοποθέτηση σιδηρού οπλισμού – σκυροδέτηση) των πασσάλων.
- Τοποθέτηση ξυλοτύπου, ράβδων οπλισμού, τοίχων ακροβάθρων και κορμών μεσοβάθρων και σκυροδέτηση κεφαλόδεσμων και φρεάτων.

#### **Ακρόβαθρα**

Το εργοτάξιο της προώθησης οργανώνεται πίσω από το δυτικό ακρόβαθρο A0 οπότε αυτό προηγείται σε χρόνο κατασκευής. Για κάθε ακρόβαθρο ακολουθείται επιγραμματικά η εξής διαδικασία: Τοποθέτηση ξυλότυπου και ράβδων οπλισμού. Σκυροδέτηση μέχρι την στάθμη έδρασης του φορέα της ανωδομής. Ειδικά πίσω από το δυτικό ακρόβαθρο της γέφυρας κατασκευάζεται ειδικός φορέας-εξέδρα από οπλισμένο σκυρόδεμα ως δάπεδο εργασίας επί του οποίου θα τοποθετηθεί ο ξυλότυπος των προωθούμενων τμημάτων. Η κατασκευή των θωρακίων, φορέων και πλακών πρόσβασης, τοίχων εγκιβωτισμού και μεταβατικών επιχωμάτων πίσω από τα ακρόβαθρα γίνεται μετά το πέρας κατασκευής του φορέα της ανωδομής.

#### **Μεσόβαθρα**

Τα μεσόβαθρα κατασκευάζονται τμηματικά με χρήση αναρριχόμενου ξυλότυπου και γερανού σε τμήματα των 2.50 μ καθ ύψος. Έκαστο τμήμα κατασκευάζεται με την εξής διαδικασία: Τοποθέτηση ράβδων οπλισμού. Τοποθέτηση ξυλότυπου (καθαρισμός, λείανση επιφανειών) έλεγχοι κατακορυφότητας. Σκυροδέτηση. Επανάληψη της διαδικασίας μέχρι την

ολοκλήρωση. Στο τελευταίο τμήμα ύψους 2.5m κατασκευάζεται το προσκεφάλαιο των μεσοβάθρων.

### Κλίση σκυροδέτησης

Ολόκληρη η κατασκευή του καλουπιού εδράζεται σε δύο παράλληλες δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα μήκους 23.25 m η κάθε μία και διαστάσεων 80x80 η δεξιά και 60x60 η αριστερή. Κάθε δοκός στηρίζεται σε (5) γρύλους ανυψωτικής ικανότητας 100 tn ο καθένας. Πάνω στις δοκούς τοποθετούνται παράλληλα (14) 12μετρα HEB 500 ανά 1.75 m. Πάνω στα HEB 500 διαμορφώνεται το εξωτερικό καλούπι στη γεωμετρία που ορίζει η διατομή του φορέα. Οι γρύλοι που ρυθμίζουν το καλούπι εδράζονται σε μια πλάκα διαστάσεων 24,75x8,50x0,45 m.

### Κατασκευή και τοποθέτηση του μεταλλικού ρύγχους

Το ρύγχος μελετήθηκε και κατασκευάστηκε αποκλειστικά για τη γέφυρα Μεγαλορέματος. Έχει μήκος 30 m και τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του είναι αυτά που προδιαγράφει η μελέτη της γέφυρας. Το βάρος του ανέρχεται στους 75 τόνους. Για την άρση του βέλους κάμψης της άκρης του ρύγχους, όταν αυτό κατά την προώθηση συναντά το βάθρο, χρησιμοποιήθηκαν (2) γρύλοι των 50 tn έκαστος. Οι γρύλοι αυτοί εγκαταστάθηκαν σε κατάλληλες υποδοχές στην άκρη του ρύγχους. Γενικά, τα βέλη κάμψης που παρατηρήθηκαν ήταν κοντά στα 12 cm. Επειδή τόσο η μεταφορά ενός τέτοιου μεγέθους εξαρτήματος, όσο και το γεγονός ότι ο χώρος που ήταν διαθέσιμος στο δυτικό μέτωπο της σήραγγας δύο Κορυφών ήταν εξαιρετικά μικρός, το ρύγχος σχεδιάστηκε να αποτελείται από τρία τεμάχια των 12,00 - 11,00 και 7,00 μ, αντίστοιχα. Η συρραφή του ρύγχους με το φορέα γίνεται με 36 ντιζες διαμέτρου Φ36 mm και εφαρμοζόμενης δύναμης 665 KN σε κάθε μία. Το μήκος αγκύρωσης των ντιζών στο φορέα ήταν 2,50 μ.

### Τμηματική προώθηση του φορέα ανωδομής

Η τμηματική κατασκευή και προώθηση της γέφυρας γίνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ανηφορικά στην κατά μήκος κλίση. Το σύστημα προώθησης αποτελείται από ένα ζεύγος προωθητήρων τριβής (**friction launchers**). Κάθε προωθητήρας τριβής αποτελείται από ένα κατακόρυφο γρύλο ανύψωσης και τρεις οριζόντιους γρύλους προώθησης. Η μέγιστη δύναμη ανύψωσης ενός κατακόρυφου γρύλου είναι 1100 τόνοι, ενώ η δύναμη των τριών οριζόντιων γρύλων είναι 456 τόνοι. Συνολικά λοιπόν, η ολική δύναμη ανύψωσης του ζεύγους είναι 2200 τόνοι, ενώ η ολική δύναμη προώθησης ανέρχεται σε 920 τόνους. Η μεταφορά της αντίδρασης της δύναμης προώθησης στο ακρόβαθρο γίνεται μέσω των πλίνθων αντίδρασης,

οι οποίες είναι μονολιθικά συνδεδεμένες με το ακρόβαθρο. Στο επάνω μέρος τους φέρουν διάταξη με ανάγλυφες πλάκες τριβής, ώστε κατά τη στήριξη του φορέα να επιτυγχάνεται η πέδησή του με τριβή. Γενικά, η διαδικασία κάθε βήματος προώθησης είναι η ακόλουθη: Οι κατακόρυφοι γρύλοι ανυψώνουν το φορέα της γέφυρας κατά 5-8mm. Στη συνέχεια οι οριζόντιοι γρύλοι ασκούν την απαιτούμενη δύναμη προώθησης στους κατακόρυφους γρύλους και μέσω των πλακών τριβής που φέρουν οι τελευταίοι, αναπτύσσεται τριβή μεταξύ των γρύλων και του φορέα και η γέφυρα προωθείται κατά 25 cm κάθε φορά, όσο είναι και το μέγιστο μήκος εμβόλου των γρύλων προώθησης. Όταν ολοκληρώνεται το μέγιστο μήκος εμβόλου των γρύλων προώθησης, οι γρύλοι ανύψωσης κατεβαίνουν, ο φορέας στηρίζεται στις πλίνθους πέδησης όπου αναπτύσσεται η απαιτούμενη τριβή για την πέδηση του φορέα και οι γρύλοι προώθησης επιστρέφουν στην αρχική τους θέση ώστε να αρχίσει το επόμενο βήμα. Όλη η διαδικασία ελέγχεται μέσω ενός συστήματος χειριστηρίων, μανομέτρων και υδραυλικής αντλίας.

Το συνολικό βάρος του φορέα στην ολοκληρωμένη φάση της προώθησης είναι περίπου **10200 τόνοι**. Η διαστασιολόγηση των προωθητήρων τριβής λαμβάνει υπόψη συντελεστή τριβής 4% (ZTV K-88 παρ. 12.2.4, Αυστριακός Κανονισμός RVS 15.113) μεταξύ του φορέα και των προσωρινών εφεδράνων των βάθρων για την περίπτωση ώθησης (pushing) και 0% για την περίπτωση συγκράτησης (hold-back). Λαμβανομένης υπόψη της κατά μήκος κλίσης, οι οριζόντιες δυνάμεις προώθησης για τη διαστασιολόγηση των προωθητήρων είναι περίπου **920 τόνοι**.

Για να προωθηθεί ο φορέας μόνο με τριβή θα απαιτούνταν μια κατακόρυφη δύναμη στο ακρόβαθρο ίση με :  $9200/0,60 = 15330$  kN όπου 0,60 ο συντελεστής τριβής των πλακών τριβής με το σκυρόδεμα. Επειδή τέτοια κατακόρυφη δύναμη δεν αναπτύσσεται στο ακρόβαθρο, ακολουθείται η λύση της προώθησης του φορέα με τριβή και ταυτόχρονη έλξη. Έτσι μορφώνονται στο φορέα οπές στην άνω και κάτω πλάκα του κιβωτίου του, από τις οποίες διέρχονται δύο κατακόρυφες μεταλλικές δοκοί 40x60, οι οποίες προεξέχουν της κάτω πλάκας κατά ένα τμήμα. Κάτω από την κάτω πλάκα και πίσω από τις παραπάνω δοκούς τοποθετήθηκε μια οριζόντια δοκός 6,20x1,00x0,26. Σε κατάλληλες θέσεις στην οριζόντια δοκό διαμορφώθηκαν οπές, ώστε να διέλθουν οι 8 ντίζες έλξης διαμέτρου Φ36mm. Οι παραπάνω ντίζες, διέρχονται και από κατάλληλες προεξοχές των γρύλων προώθησης. Μέσω, λοιπόν, των ντιζών και της οριζόντιας δοκού η δύναμη έλξης μεταφέρεται στις κατακόρυφες δοκούς και από εκεί στο φορέα. Από τον σχεδιασμό της προώθησης προέκυπτε ότι οπές θα έπρεπε να διαμορφωθούν από το 12ο σπόνδυλο όπως και έγινε. Στην πράξη όμως έλξη απαιτήθηκε από τον 15ο σπόνδυλο και μετέπειτα.

Συνολικά προβλέπονται **είκοσι τρία (23) τμήματα με τυπικό μήκος 22.75 μ** για την ολοκλήρωση του φορέα. Ο κατασκευαστικός κύκλος ενός τμήματος, που περιλαμβάνει την τοποθέτηση μεταλλότυπων, σιδηρού οπλισμού, σκυροδέτηση, κεντρική προένταση και

προώθηση, ολοκληρώνεται μέσα σε χρονικό διάστημα επτά (7) ημερών. Το πρώτο προωθούμενο τμήμα διαμορφώνεται ειδικά έτσι ώστε να συνδέεται με το μεταλλικό ρύγχος μέσω ράβδων προέντασης.

Η σκυροδέτηση της διατομής του κιβωτίου του φορέα του ανωδομής γίνεται σε δύο φάσεις: α) σκυροδέτηση κάτω πλάκας και κορμών κιβωτίου β) σκυροδέτηση άνω πλάκας.

Ο φορέας προεντείνεται για όλες τις φάσεις της προώθησης με ευθύγραμμους τένοντες. Στο τυπικό προωθούμενο τμήμα το οποίο έχει μήκος 22.75m (σε οριζόντια προβολή) αγκυρώνεται το 50% των ευθυγράμμων τενόντων και το υπόλοιπο 50% αγκυρώνεται στο επόμενο προωθούμενο τμήμα. Μετά το τέλος της προώθησης κατασκευάζονται τα εσωτερικά διαφράγματα στις θέσεις στηρίξεων του τελικού φορέα επί των βάθρων. Στην συνέχεια προεντείνονται οι τένοντες με παραβολική χάραξη οι οποίοι διατάσσονται στους κορμούς της διατομής. Η προένταση τους γίνεται αμφίπλευρα από κεφαλές αγκύρωσης που διατάσσονται εσωτερικά της κιβωτιοειδούς διατομής στους κορμούς. Μετά το πέρας της προώθησης αντικαθίστώνται τα προσωρινά εφέδρανα ολίσθησης με τα μόνιμα εφέδρανα.

Η γέφυρα κατά την διαδικασία της προώθησης, εδράζεται στα μεσόβαθρα μέσω προσωρινών εφεδράνων neo-flop πάνω σε πλίνθους ολίσθησης. Η αποφυγή εκτροπής του φορέα κατά την εγκάρσια (ακτινική) διεύθυνση, επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση, στην κεφαλή των μεσοβάθρων, πλευρικών οδηγών συγκράτησης. Μετά την ολοκλήρωση των φάσεων προώθησης κατασκευάζονται τα διαφράγματα στις θέσεις στήριξης του φορέα επί των μεσοβάθρων. Ακολουθεί η αφαίρεση των προσωρινών εφεδράνων, η διαμόρφωση των τελικών στηρίξεων και η τοποθέτηση των τελικών εφεδράνων.

### **3.3 Πληροφορίες από τη στατική μελέτη εφαρμογής**

Όλες οι φορτίσεις και οι συνδυασμοί φορτίσεων καθορίζονται σύμφωνα με το DIN 1072 πλην εκείνων που περιέχουν σεισμικές δράσεις οι οποίες καθορίζονται σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 και την Εγκύκλιο Ε39/99. Σε θέματα που δεν καλύπτονται από την εγκύκλιο όπως είναι ο υπολογισμός σεισμικά μονωμένων γεφυρών εφαρμόζεται το EC8-Part 2 και σε θέματα που δεν καλύπτονται από τον EC8 όπως διατάξεις απορρόφησης ενέργειας (energy dissipation devices) εφαρμόζεται ο AASHTO.

#### **Κύριες φορτίσεις**

##### **Μόνιμα – φάση λειτουργίας - DIN 1072 §3.1**

- Ίδιο βάρος σκυροδέματος :  $\gamma_{σκ} = 25\text{KN/m}^3$
- Ασφαλτικές επιστρώσεις :  $\gamma_{ασφ} = 23\text{KN/m}^3 \Rightarrow \rho_a = 0.10 \times 23 = 2.3 \text{ KN/m}^2$   
(Πλάτος επιρροής φορτίου 11.45m)

- Πεζοδρόμια :  $\gamma_{σκ} = 25\text{KN/m}^3 \Rightarrow \rho_{\pi} = 0.55 \times 25$   
= 13.75 KN/m ανά πεζοδρόμιο
- Στηθαία :  $\gamma_{σκ} = 25\text{KN/m}^3 \Rightarrow \rho_{\Sigma} = 0.41 \times 25$   
= 10.25 KN/m ανά στηθαίο

### Κινητά σε φάση λειτουργίας - DIN 1072 §3.3

- Κλάση γέφυρας SLW <60/30>
- Συντελεστής ταλάντωσης  $\varphi = 1.4 - 0.008 l_{\varphi} \geq 1.0$  ( $l_{\varphi} = 45.50$ )  $\Rightarrow \varphi = 1.036$
- Κατανεμημένο φορτίο Κύριας Λωρίδας  $p_1 = 5\varphi \times 3 = 15.54\text{KN/m}$
- Κατανεμημένο φορτίο στο υπόλοιπο κατάστρωμα  $p_2 = 3 \times (12.2 - 3) = 27.60\text{KN/m}$
- Όχημα SLW60 :  $P_1 = 600\varphi = 621.60\text{KN}$
- Όχημα SLW30 :  $P_2 = 300\text{KN}$
- Τα δυσμενή εντατικά μεγέθη από τα κινητά φορτία προκύπτουν από γραμμές επιρροής.

### Κινητά φορτία (συνδυασμός με σεισμό) - E39/93 §2.6.β

Κατά μήκος της γέφυρας λαμβάνεται ομοιόμορφο κινητό φορτίο:

$$p = \frac{p_1 * L_{\Gamma} * 3 + p_2 * L_{\Gamma} * (B_{\Gamma} - 3) + SLW 60 + SLW 30}{L_{\Gamma}}$$

όπου:

$$L_{\Gamma} = 483.45\text{m}$$

$$B_{\Gamma} = 12.2\text{m} \text{ (Πλάτος επιρροής κινητού φορτίου)}$$

$$SLW60 = 600 - 3 \times 6 \times 5 = 510\text{KN}$$

$$SLW30 = 300 - 3 \times 6 \times 3 = 246\text{KN}$$

$$p_1 = 5\text{KN/m}^2$$

$$p_2 = 3\text{KN/m}^2$$

$$p = 44.16\text{KN/m}$$

### Προένταση - DIN 1072 §3.2

Οι τένοντες της **διαμήκου προέντασης** (ευθύγραμμοι και καμπύλοι) είναι τύπου DYWIDAG 6812 κατηγορίας 1570/1770Μρα και έχουν διατομή 16.80cm<sup>2</sup>, με τα εξής χαρακτηριστικά :

- Οριακό φορτίο 2976 KN
- Ολίσθηση κώνου στην ενεργή αγκύρωση 4 mm
- Συντελεστής  $\mu$  (friction) 0.19



- Συντελεστής β (wobble) 0.30°/m
- Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα προέντασης 195000 Mpa
- Ελάχιστη ακτίνα καμπύλωσης .....4.80 m
- Εσωτερική /εξωτερική διάμετρος σωλήνα (mm) 80/88

Οι τένοντες της **εγκάρσιας προέντασης** είναι τύπου DYWIDAG 6803 κατηγορίας 1570/1770 και έχουν διατομή 4.20cm<sup>2</sup> με τα εξής χαρακτηριστικά

- Οριακό φορτίο 744 KN
- Ολίσθηση κώνου στην ενεργή αγκύρωση 2mm
- Συντελεστής μ (friction) 0.21
- Συντελεστής β (wobble) 0.40°/m
- Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα προέντασης 195000 Mpa
- Ελάχιστη ακτίνα καμπύλωσης .....4.80m
- Εσωτερική /εξωτερική διάμετρος σωλήνα (mm) 40/46

#### **Πιθανές καθιζήσεις - DIN 1072 §3.5**

Πιθανές καθιζήσεις σε φάση κατασκευής 5mm.

#### **Αθέλητες εκκεντρότητες - DIN 1045 §17.4.6**

Κατά τους ελέγχους σε λυγισμό των βάθρων της γέφυρας ελήφθησαν υπόψη αθέλητες εκκεντρότητες και προς τις δύο διευθύνσεις ίσες με:

$$SK / 300 \quad (SK = \text{ιδεατό μήκος λυγισμού βάθρου})$$

#### **Πρόσθετες φορτίσεις**

#### **Θερμοκρασιακές μεταβολές - DIN 1072 § 4.1**

Στη μελέτη εφαρμογής ελήφθησαν υπόψη θερμοκρασιακές μεταβολές για τον έλεγχο του φορέα όπως περιγράφονται στο DIN 1072 § 4.1 Table 3 :

- Ομοιόμορφη αύξηση θερμοκρασίας :  $\Delta T = +20^{\circ}\text{C}$
- Ομοιόμορφη μείωση θερμοκρασίας :  $\Delta T = -30^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασιακή διακύμανση άνω και κάτω πέλματος :  $\Delta t = -7^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασιακή διακύμανση κάτω και άνω πέλματος :  $\Delta t = +3.5^{\circ}\text{C}$

Για τον έλεγχο εφεδράνων και αρμών ελήφθησαν υπόψη οι υποθετικές απόλυτες τιμές θερμοκρασίας όπως περιγράφονται στο DIN 1072 § 6.1 Table 6 :

- Υποθετική μέγιστη τιμή θερμοκρασίας :  $T = +50^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T = 50 - 10 = 40^{\circ}\text{C}$ )
- Υποθετική ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας :  $T = -40^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta T = -40 - 10 = -50^{\circ}\text{C}$ )

#### Άνεμος - DIN 1072 § 4.2

Βασική τιμή πίεσης ανέμου:  $W = 2.1\text{KN/m}^2$

(DIN 1072 § 4.2, Table 4-20<H<50, γέφυρα αφόρτιστη)

#### Τροχοπέδηση - Επιτάχυνση - DIN 1072 § 4.4

$$\max \left\{ \begin{array}{l} 0.25 \times (L_T \times 5 \times 3 + 510) = \frac{\text{Αριστερός Κλάδος } 1901.06 \text{ KN}}{\text{Δεξιός Κλάδος } 1940.44 \text{ KN}} \\ 1/3 \times (600 + 300) = 300 \text{ KN} \end{array} \right\} (\leq 900) = 900 \text{ KN}$$

#### Σεισμική δράση – ΕΑΚ 2000, Ε39/93/ΥΠΕΧΩΔΕ

Σύμφωνα με την παραγ. 1.3.1 της Εγκυκλίου Ε39/99 του ΥΠΕΧΩΔΕ, η σεισμική δράση σχεδιασμού καθορίζεται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ). Σύμφωνα με την παραγρ. 3.4.3. Σε περίπτωση ελαστικής συμπεριφοράς δηλ.  $q=1.00$ , η σεισμική δράση σχεδιασμού καθορίζεται από το ελαστικό φάσμα οριζόντιας επιτάχυνσης  $Re(T)$  που δίδεται στο Παράρτημα Α1 του ΕΑΚ :

$$0 \leq T < T_1 \quad R_e \leq A \gamma_1 \left[ 1 + \beta_0 - 1 \frac{T}{T_1} \right]$$

$$T_1 \leq T < T_2 \quad Re(T) = A \gamma_1 \eta \beta_0$$

$$T_2 < T \quad Re(T) = A \gamma_1 \eta \beta_0 \frac{T_2}{T}$$

Όπου :

- $Re(T)$  είναι η οριζόντια φασματική επιτάχυνση
- $T$  είναι η περίοδος (sec)
- $T_1, T_2$  είναι οι χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος.  
Για έδαφος κατηγορίας Β είναι  $T_1=0.15\text{sec}$ ,  $T_2=0.60\text{sec}$ .

- A είναι η σεισμική επιτάχυνση εδάφους στην περιοχή του έργου που καθορίζεται από τους πίνακες 2.1 και 2.2 του ΕΑΚ και είναι :  
 $A = 0.16g$  (ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας : I).
- $\gamma_I$  είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας της γέφυρας,  $\gamma_I = 1.30$
- $\eta$  είναι μειωτικός συντελεστής του φάσματος που εξαρτάται από το ποσοστό της ιξώδους απόσβεσης.

Η ίδια ακριβώς φασματική καμπύλη προδιαγράφεται και από τον EC8-Part2 (7.2.1) .

Το ελαστικό φάσμα της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού σχεδιασμού προκύπτει από το οριζόντιο πολλαπλασιάζοντας της τεταγμένες με 0.70 (παραγρ. Α.1(2) του ΕΑΚ).

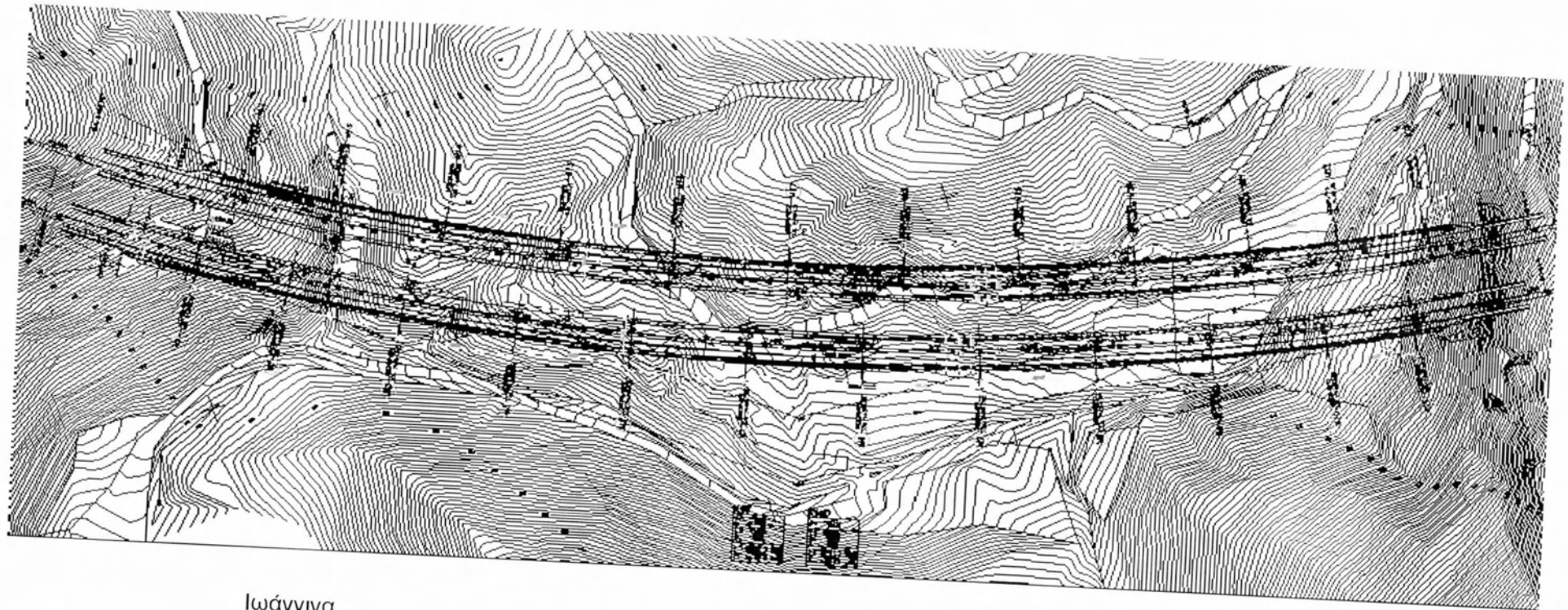
Κατά τον ΕΑΚ (παραγρ.2.3.1(2)) οι τιμές του συντελεστή  $\eta$  για μικρά ποσοστά ιξώδους απόσβεσης  $\xi$  δίδεται από την σχέση :

$$n = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}}$$

Επειδή η παραπάνω σχέση δεν είναι σωστή για μεγάλα ποσοστά κρίσιμης απόσβεσης που αναμένονται στην περίπτωση σεισμικά μονωμένης γέφυρας γι' αυτό χρησιμοποιείται η σχέση που δίνεται στην παραγρ. 7.3.4(2) του EC8 και αφορά σεισμικά μονωμένες γέφυρες :

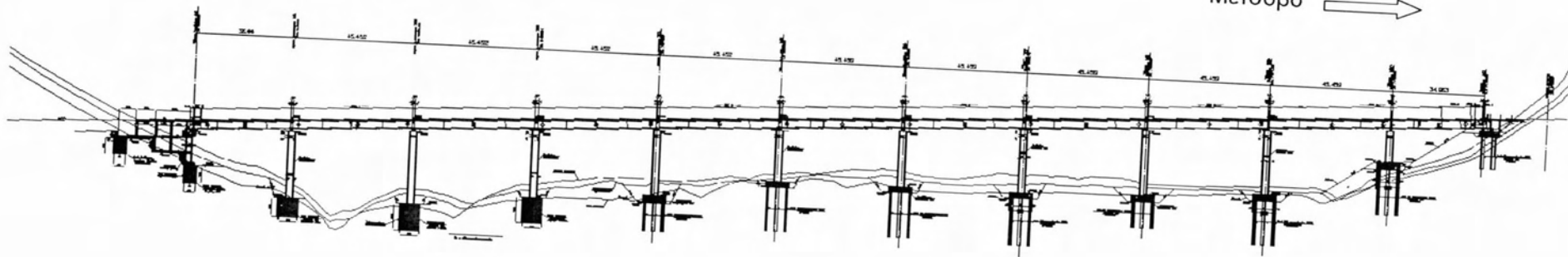
$$n = \left( \frac{7}{2 + \xi} \right)^{0.35}$$

### **3.4 Σχέδια οριστικής μελέτης & φωτογραφίες του έργου**



Ιωάννινα ←

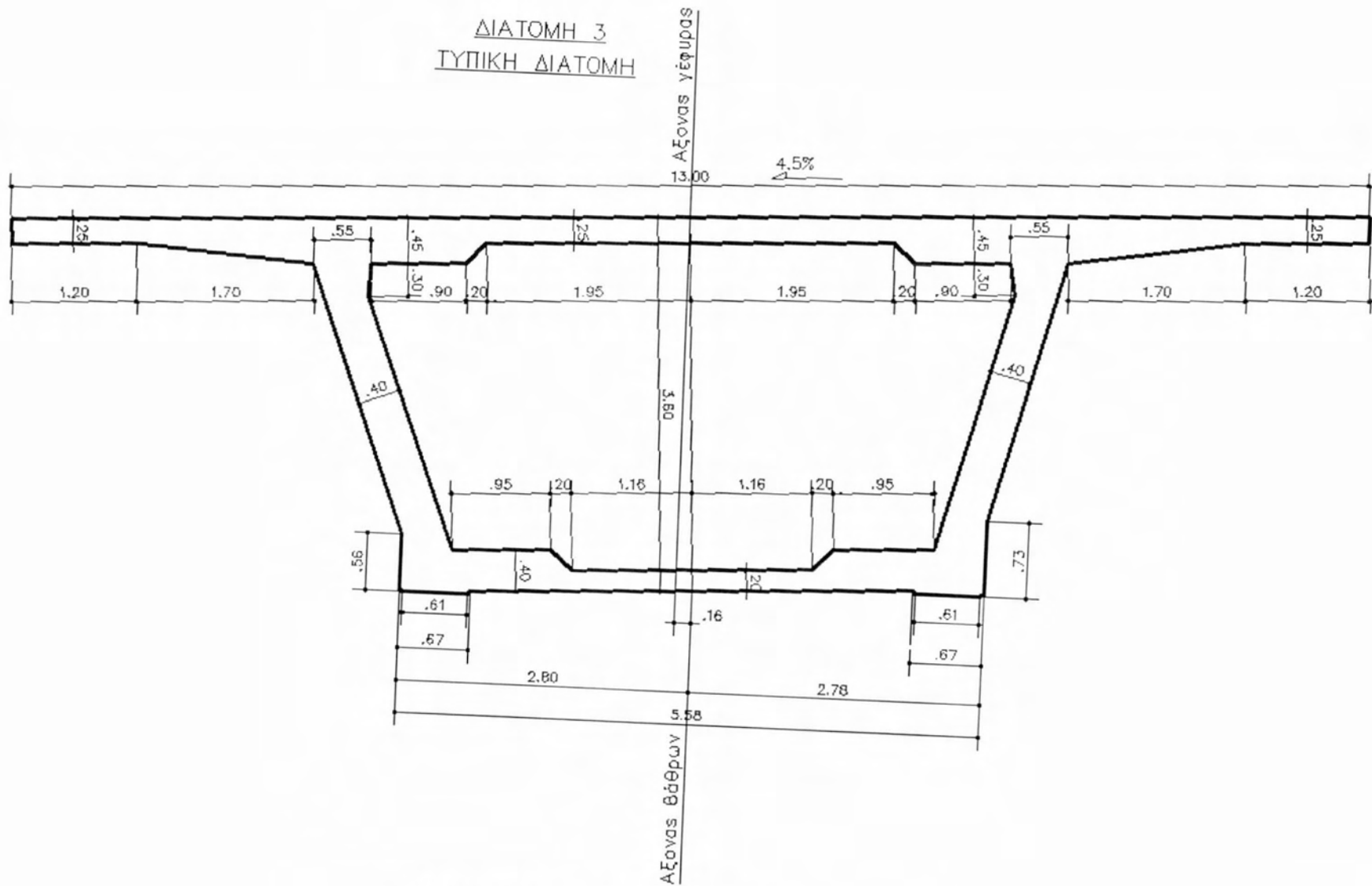
→ Μέτσοβο



Σχήμα 3.4 .1 Οριζοντιογραφία και κατά μήκος τομή της γέφυρας



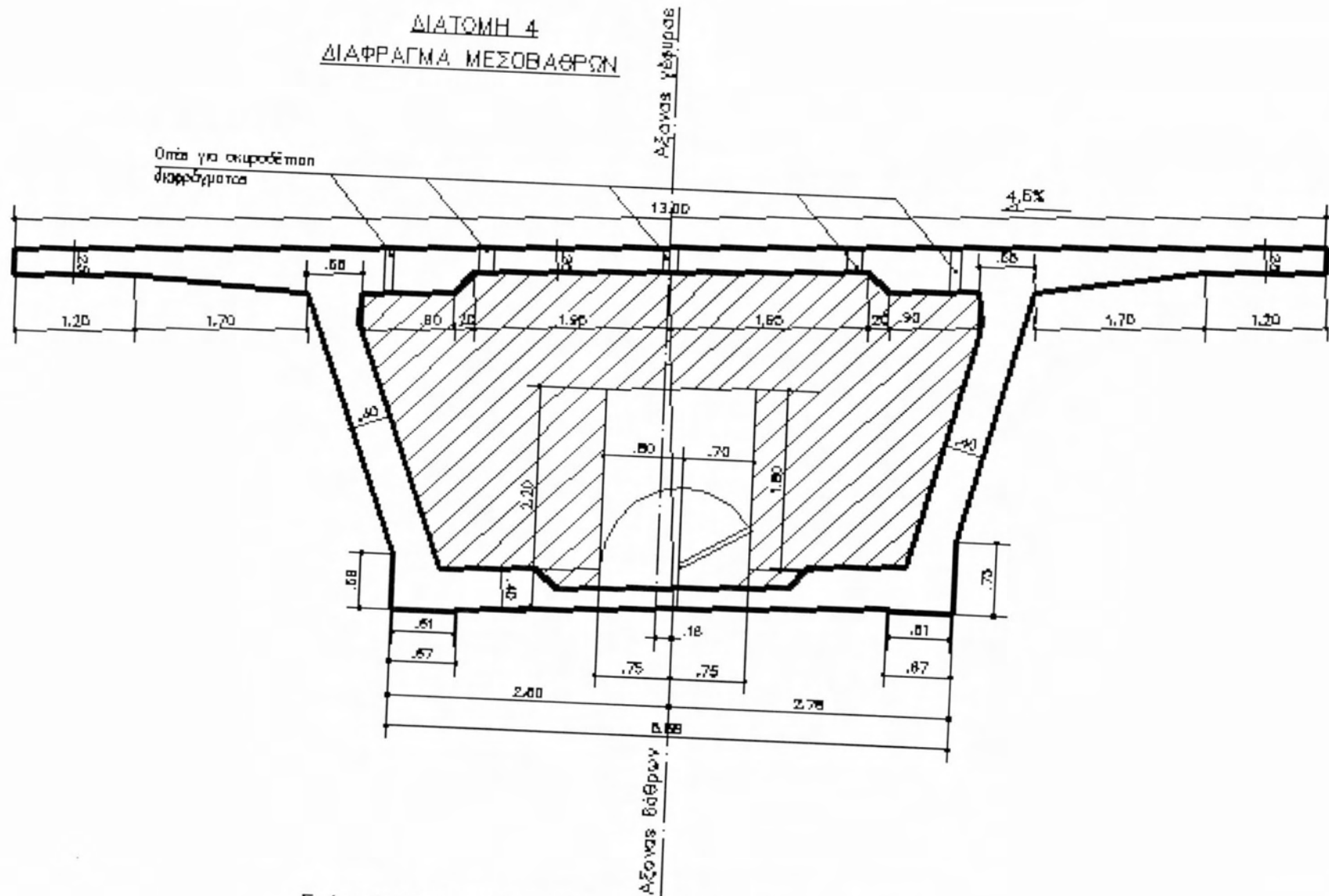
ΔΙΑΤΟΜΗ 3  
 ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ



Σχήμα 3.4.3 τυπική διατομή ανοίγματος





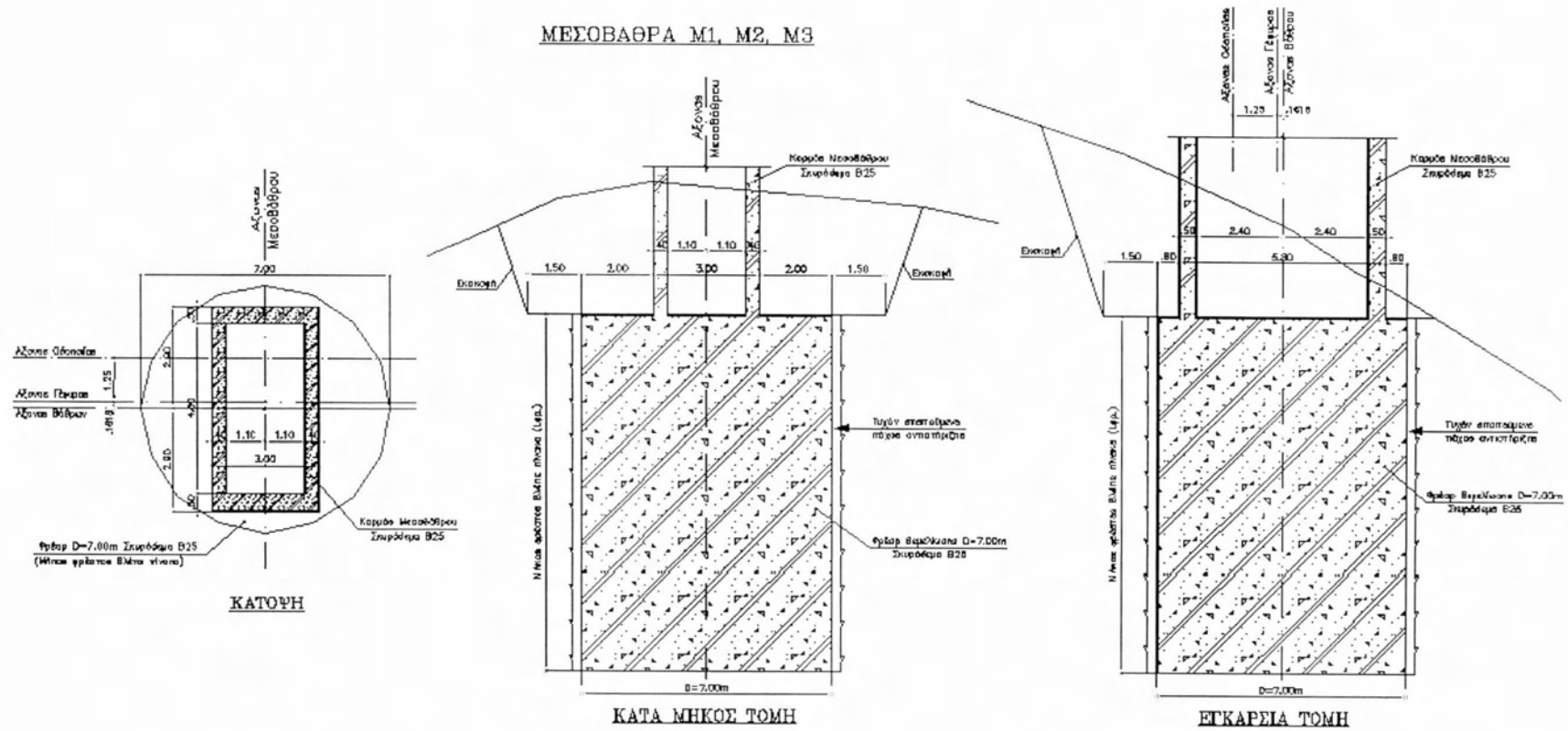


Σχήμα 3.4.6 διατομή στα μεσόβαθρα (εμφάνιση διαφράγματος)

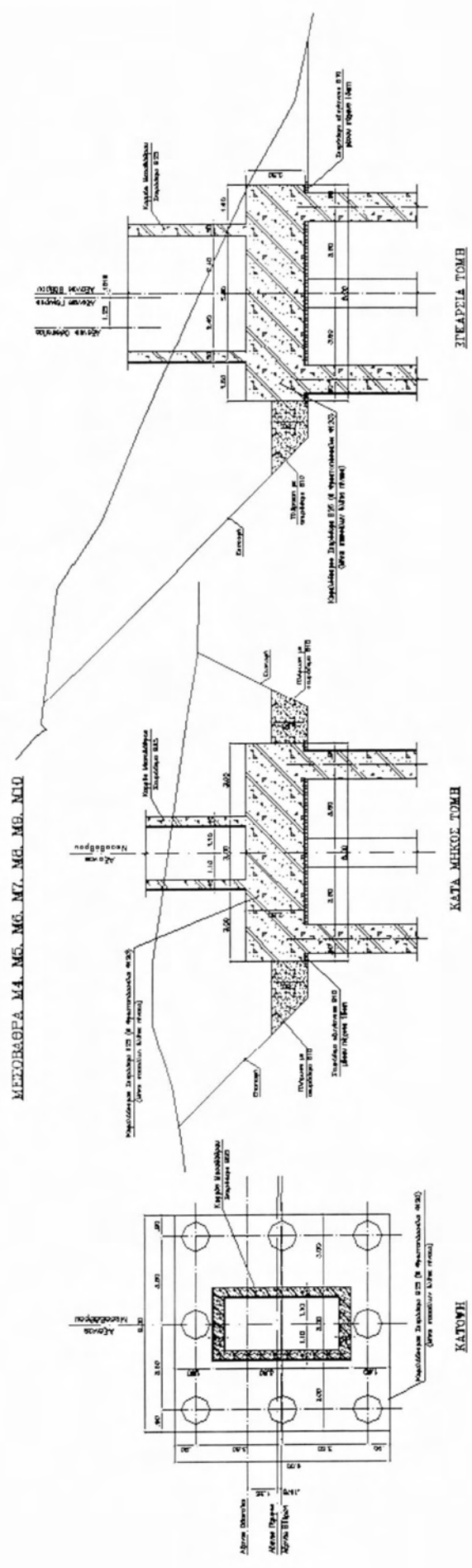




ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ Μ1, Μ2, Μ3



Σχήμα 3.4.9 Φρέατα θεμελίωσης των Μ1, Μ2 και Μ3



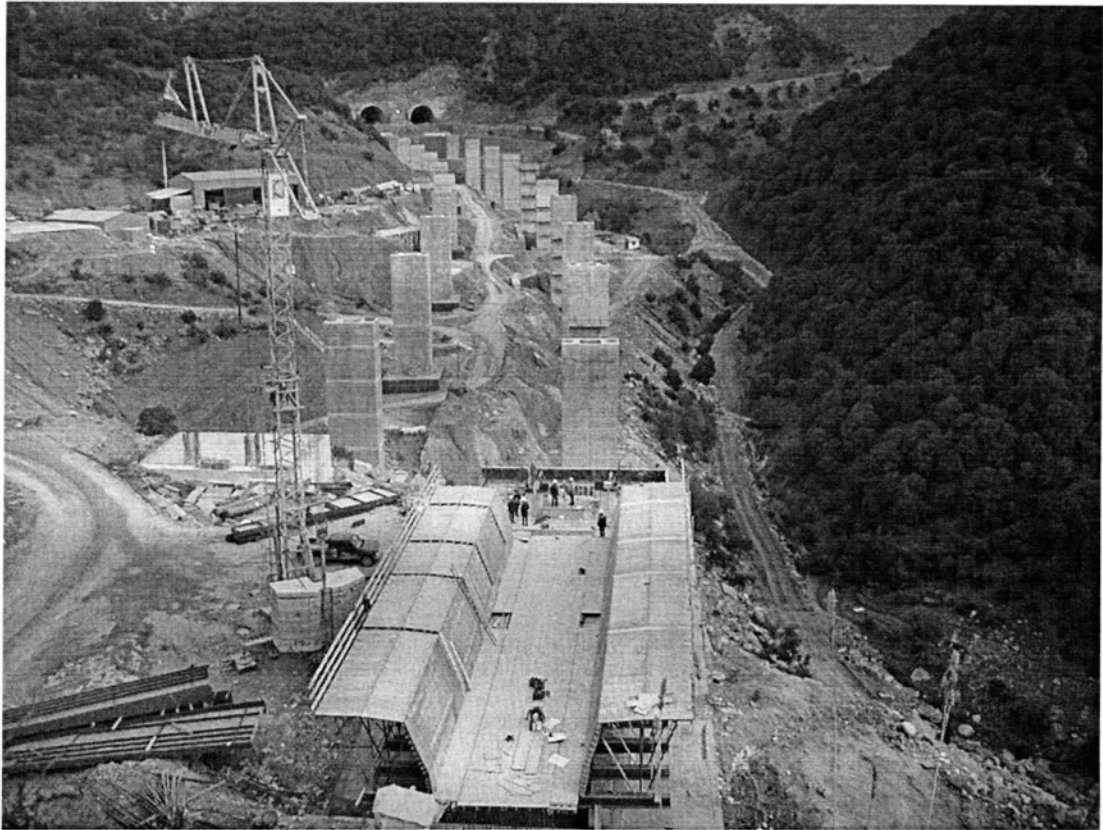
Σχήμα 3.4.10 Θεμελιώσεις των Μ4, Μ5, Μ6, Μ7, Μ8, Μ9, Μ10 σε ομάδες πασσάλων



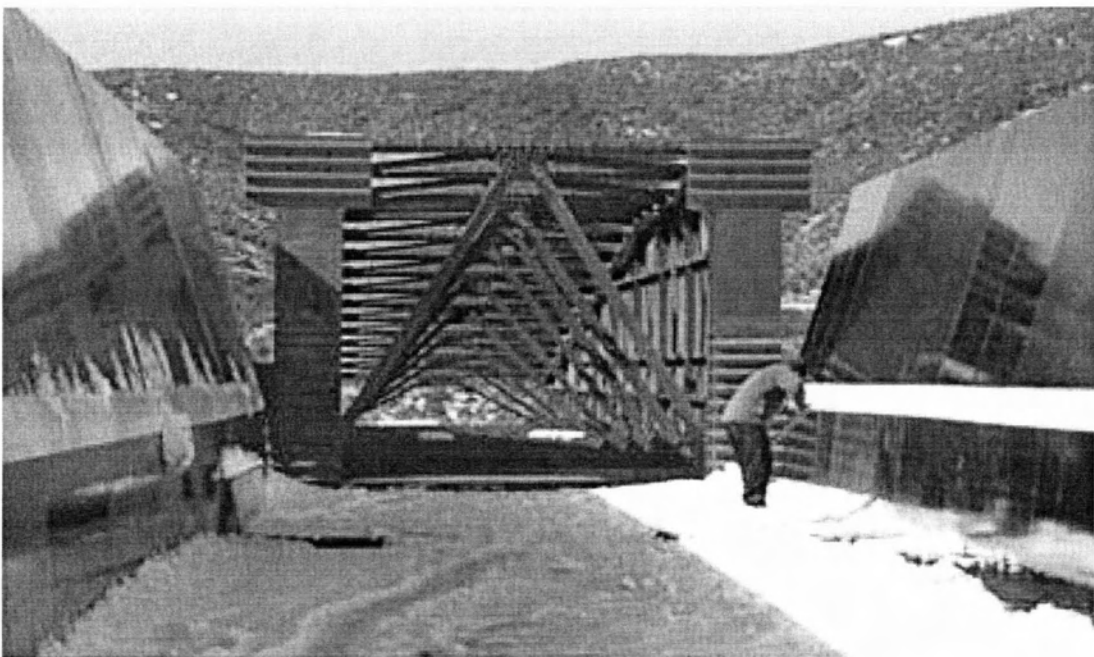
Φωτογραφία 3.4.1 Διάταξη μεσοβάθρων



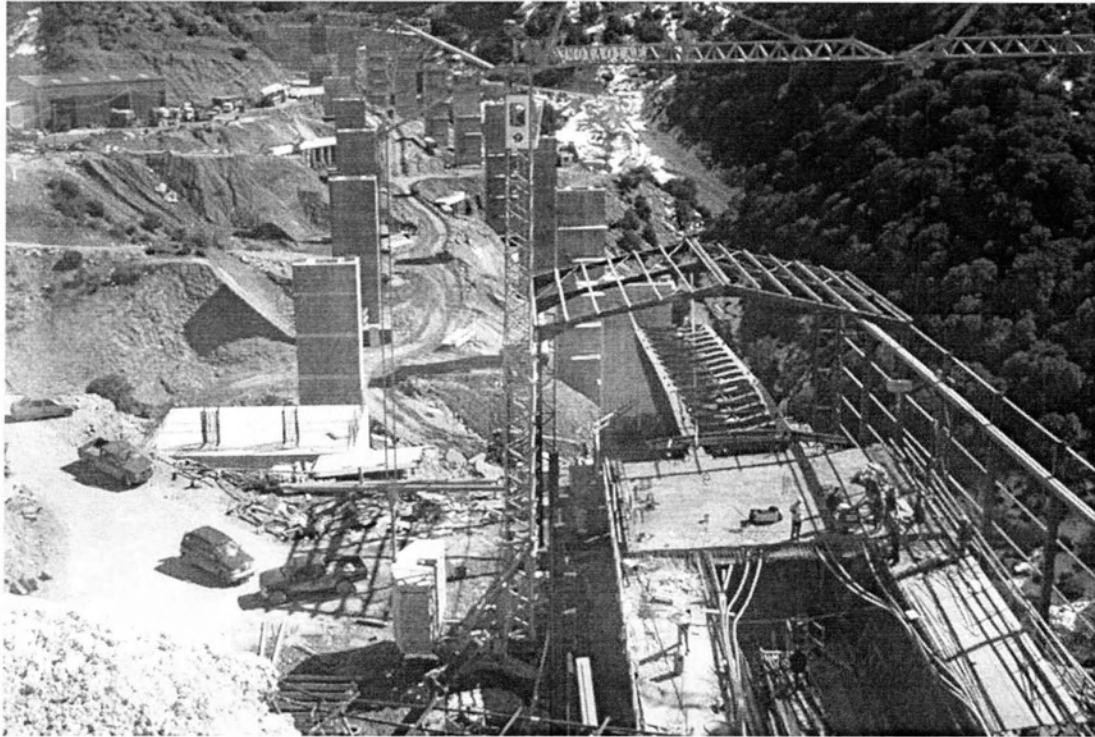
Φωτογραφία 3.4.2 Ακρόβαθρο ΑΟ



Φωτογραφία 3.4.3 Κλίνη σκυροδέτησης



Φωτογραφία 3.4.4 Μεταλλικό ρύγχος

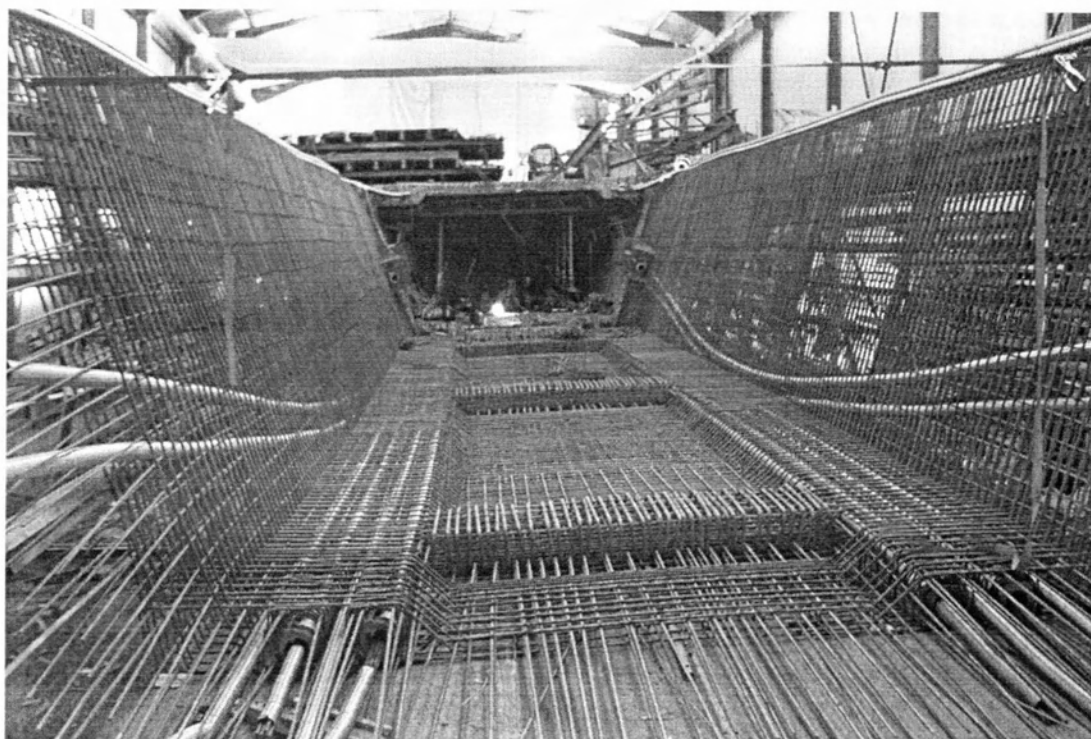


Φωτογραφία 3.4.5 Πρώτο προωθούμενο τμήμα



Φωτογραφία 3.4.6 Προωθητήρας τριβής και γρύλλος ανύψωσης

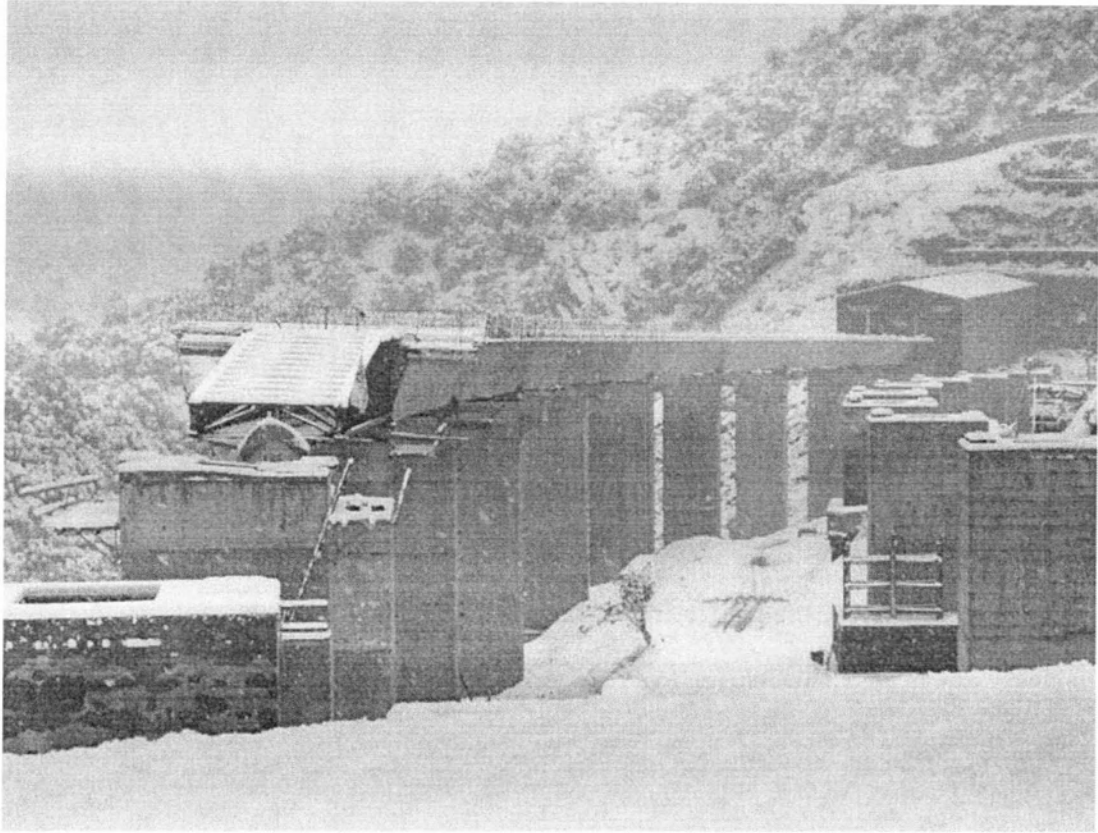




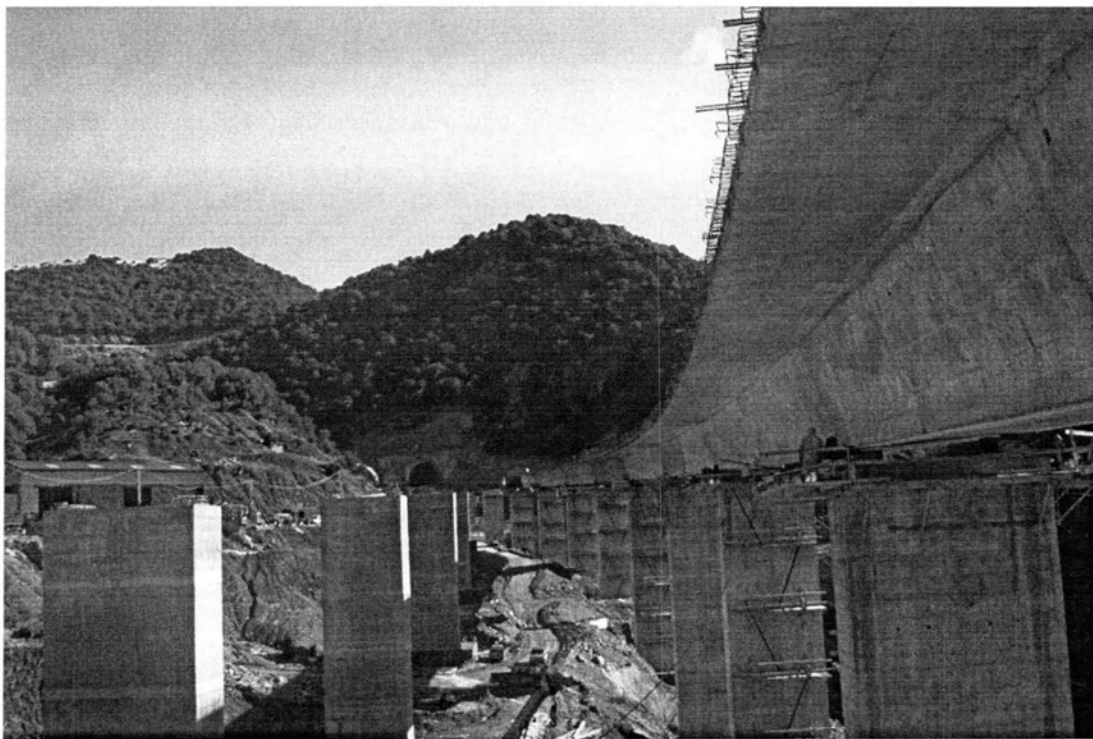
Φωτογραφία 3.4.7 Τυπική διατομή της γέφυρας



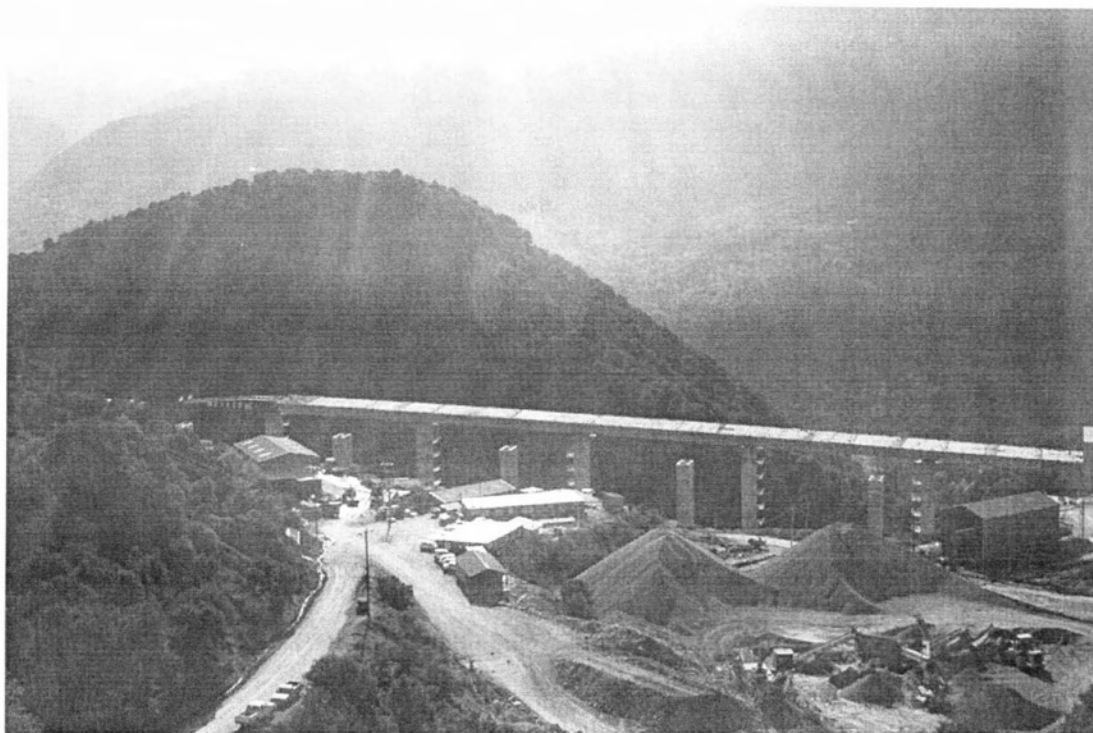
Φωτογραφία 3.4.8 Μεταλλικό ρύγχος



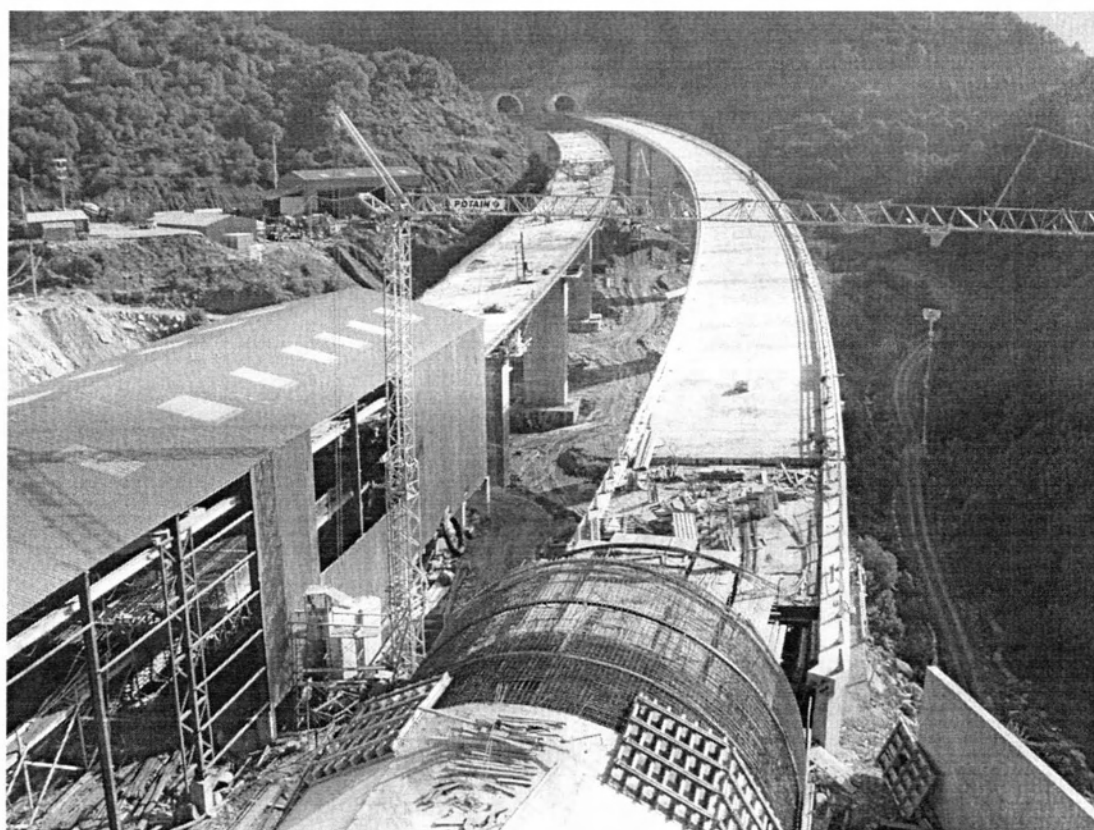
Φωτογραφία 3.4.9 Συνεχόμενη διαδικασία προώθησης ανεξάρτητα καιρού



Φωτογραφία 3.4.10 Άποψη από το ακρόβαθρο ΑΟ



Φωτογραφία 3.4.11 Η γέφυρα όπως φαίνεται από την ΕΟ Ιωαννίνων Μετσόβου

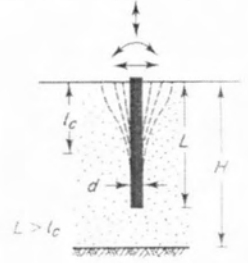
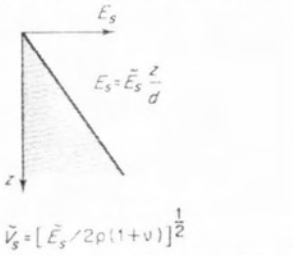
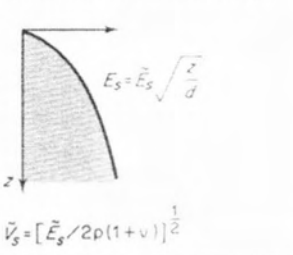
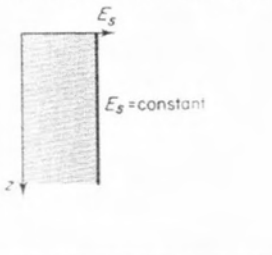


Φωτογραφία 3.4.12 Πάνω από το ανατολικό στόμιο της σήραγγας Βοτονοσίου

## **Κεφάλαιο 4**

### **Δυναμική απόκριση των στοιχείων θεμελίωσης**

TABLE 15.6 DYNAMIC STIFFNESSES AND DAMPING COEFFICIENTS FOR FLEXIBLE PILES ( $L > l_c$ ).

	<p>Linear Increase of Soil Modulus with Depth*</p> 	<p>Parabolic Increase of Soil Modulus with Depth*</p> 	<p>Constant Soil Modulus at All Depths</p> 
<p>"Active length"</p>	$l_c \approx 2d(E_p/\bar{E}_s)^{0.20}$	$l_c \approx 2d(E_p/\bar{E}_s)^{0.22}$	$l_c \approx 2d(E_p/E_s)^{0.25}$
<p>Natural shear frequency of deposit</p>	$f_s = 0.19V_{sH}/H$ where $V_{sH}$ = the S-wave velocity at depth $z = H$ (bottom of stratum)	$f_s = 0.223V_{sH}/H$ where $V_{sH}$ = the S-wave velocity at depth $z = H$ (bottom of stratum)	$f_s = 0.25V_s/H$
<p>Static lateral (swaying) stiffness                      Lateral (swaying) stiffness coefficient                      Lateral (swaying) coefficient:  <math>C_{HH} = 2K_{HH}D_{HH}/\omega</math></p>	$K_{HH} = 0.6d\bar{E}_s(E_p/\bar{E}_s)^{0.35}$ $k_{HH} \approx 1$ $\begin{cases} D_{HH} \approx 0.60\beta + 1.80fd\bar{V}_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{HH} \approx 0.60\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$	$K_{HH} = 0.8d\bar{E}_s(E_p/\bar{E}_s)^{0.28}$ $k_{HH} \approx 1$ $\begin{cases} D_{HH} \approx 0.70\beta + 1.20fd(E_p/\bar{E}_s)^{0.08}\bar{V}_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{HH} \approx 0.70\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$	$K_{HH} = dE_s(E_p/E_s)^{0.21}$ $k_{HH} \approx 1$ $\begin{cases} D_{HH} \approx 0.80\beta + 1.10fd(E_p/E_s)^{0.17}V_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{HH} \approx 0.80\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$
<p>Static rocking stiffness                      Rocking stiffness coefficient                      Rocking dashpot coefficient:  <math>C_{MM} = 2K_{MM}D_{MM}/\omega</math></p>	$K_{MM} = 0.15d^3\bar{E}_s(E_p/\bar{E}_s)^{0.80}$ $k_{MM} \approx 1$ $\begin{cases} D_{MM} \approx 0.20\beta + 0.40fd\bar{V}_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{MM} \approx 0.20\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$	$K_{MM} = 0.15d^3\bar{E}_s(E_p/\bar{E}_s)^{0.77}$ $k_{MM} \approx 1$ $\begin{cases} D_{MM} \approx 0.22\beta + 0.35fd(E_p/\bar{E}_s)^{0.10}\bar{V}_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{MM} \approx 0.22\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$	$K_{MM} = 0.15d^3E_s(E_p/E_s)^{0.75}$ $k_{MM} \approx 1$ $\begin{cases} D_{MM} \approx 0.35\beta + 0.35fd(E_p/E_s)^{0.20}V_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{MM} \approx 0.25\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$
<p>Static swaying-rocking cross-stiffness                      Swaying-rocking cross-stiffness coefficient                      Swaying-rocking dashpot coefficient:  <math>C_{HM} = 2K_{HM}D_{HM}/\omega</math></p>	$K_{HM} = K_{MH} = -0.17d^2\bar{E}_s(E_p/\bar{E}_s)^{0.60}$ $k_{HM} = k_{MH} \approx 1$ $\begin{cases} D_{HM} \approx 0.30\beta + fd\bar{V}_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{HM} \approx 0.30\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$	$K_{HM} = K_{MH} = -0.24d^2\bar{E}_s(E_p/\bar{E}_s)^{0.53}$ $k_{HM} = k_{MH} \approx 1$ $\begin{cases} D_{HM} \approx 0.60\beta + 0.70fd(E_p/\bar{E}_s)^{0.05}\bar{V}_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{HM} \approx 0.35\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$	$K_{HM} = K_{MH} = -0.22d^2E_s(E_p/E_s)^{0.50}$ $k_{HM} = k_{MH} \approx 1$ $\begin{cases} D_{HM} \approx 0.80\beta + 0.85fd(E_p/E_s)^{0.18}V_s^{-1}, & \text{for } f > f_s \\ D_{HM} \approx 0.50\beta, & \text{for } f \leq f_s \end{cases}$

Static axial stiffness	The axial stiffness of a pile depends not only on its relative compressibility ( $E_p/E_s$ ) but also on the slenderness ratio $L/d$ and the tip support conditions (end-bearing versus floating). See the pertinent geotechnical literature for a proper estimation of the static stiffness. The expressions given herein are <i>only</i> for estimates of the axial stiffness of floating piles in a homogeneous stratum of total thickness $H \approx 2L$ .		
	$K_z \approx 1.8 E_{st} d \left(\frac{L}{d}\right)^{0.55} \left(\frac{E_p}{E_{st}}\right)^{-(L/d)(E_p/E_{st})}$ $E_{st} = \bar{E}_s \cdot (L/d)$	$K_z \approx 1.9 E_{st} d \left(\frac{L}{d}\right)^{0.6} \left(\frac{E_p}{E_{st}}\right)^{-(L/d)(E_p/E_{st})}$ $E_{st} = \bar{E}_s \cdot \sqrt{(L/d)}$	$K_z \approx 1.9 E_s d \left(\frac{L}{d}\right)^{2/3} \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{-(L/d)(E_p/E_s)}$
Axial dynamic stiffness coefficient	$k_z \approx 1$ (for $a_0 = \omega d/V_{st} < 0.5$ , where $V_{st}$ is the S-wave velocity at depth $L$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>L/d &lt; 20</math>: <math>k_z \approx 1</math></li> <li><math>L/d \geq 50</math>: <math>k_z \approx 1 + \frac{1}{3} \sqrt{a_0}</math></li> </ul> interpolate in between (for $a_0 = \omega d/V_{st} < 0.5$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>L/d &lt; 15</math>: <math>k_z \approx 1</math></li> <li><math>L/d \geq 50</math>: <math>k_z \approx 1 + \sqrt{a_0}</math></li> </ul> interpolate in between (for $a_0 = \omega d/V_s < 1$ )
	In all cases, $k_z$ shows a narrow valley at the resonant frequency $f_r$ of the soil stratum; as a first approximation, $f_r \approx f_c \approx \bar{V}_{L,0}/4H$ and $k_z(f_r) \approx 0.8$ for material soil damping $\beta = 0.05$ . $\bar{V}_{L,0}$ is the average $V_{L,0}$ over the whole stratum depth.		
Axial radiation dashpot coefficient	$C_z \approx \frac{2}{3} a_0^{1/3} \rho V_{st} \pi d L r_d$ for $f > 1.5f_r$ where: $r_d \approx 1 - e^{-2(E_p/E_{st})(L/d)^2}$ $C_z \approx 0$ for $f \leq f_r$ linearly interpolate for $f_r < f < 1.5f_r$	$C_z \approx \frac{2}{3} a_0^{-1/4} \rho V_{st} \pi d L r_d$ for $f > 1.5f_r$ where: $r_d \approx 1 - e^{-1.5(E_p/E_{st})(L/d)^2}$ $C_z \approx 0$ for $f \leq f_r$ linearly interpolate for $f_r < f < 1.5f_r$	$C_z \approx a_0^{-1/5} \rho V_s \pi d L r_d$ for $f > 1.5f_r$ where: $r_d \approx 1 - e^{-(E_p/E_s)(L/d)^2}$ $C_z \approx 0$ for $f \leq f_r$ linearly interpolate for $f_r < f < 1.5f_r$
<i>Pile-to-Pile Interaction Factors for Assessing the Response of Floating Pile Groups</i>			
Interaction factor $\alpha_z$ for axial in-phase oscillations of the two piles	$\alpha_z \approx \sqrt{2} \left(\frac{S}{d}\right)^{-3/4} \cdot e^{-0.5\beta\omega S/V_{st}} \cdot e^{-i\omega\sqrt{2}S/V_{st}}$	$\alpha_z \approx \sqrt{2} \left(\frac{S}{d}\right)^{-2/3} \cdot e^{-(2/3)\beta\omega S/V_{st}} \cdot e^{-i\omega\sqrt{2}S/V_{st}}$	$\alpha_z \approx \sqrt{2} \left(\frac{S}{d}\right)^{1/2} \cdot e^{-\beta\omega S/V_s} \cdot e^{-i\omega S/V_s}$
$V_{st}$ = the S-wave velocity at depth $z = L$ ; $\bar{V}_s = V_s$ at pile mid-length; $S$ = axis-to-axis pile separation; $\beta$ = soil hysteretic damping. Note: although $\alpha_z$ are complex numbers their use is identical to the familiar use of static interaction factors introduced by Poulos.			
Interaction factor $\alpha_{HH}$ for lateral in-phase oscillation	Very little information presently available	Very little information presently available	$\alpha_{HH}(90^\circ) \approx (3/4) \alpha_z$ $\alpha_{HH}(0^\circ) \approx 0.5 \left(\frac{S}{d}\right)^{-1/2} \cdot e^{-\beta\omega S/V_{L,0}} \cdot e^{-i\omega S/V_{L,0}}$ $\alpha_{HH}(\theta^\circ) \approx \alpha_{HH}(0^\circ) \cos^2 \theta + \alpha_{HH}(90^\circ) \sin^2 \theta$ $\alpha_{MM} \approx \alpha_{MH} \approx 0$
Interaction factors: $\alpha_{MM}$ for in-phase rocking, and $\alpha_{HM}$ for swaying-rocking	$\alpha_{MM} \approx \alpha_{MH} \approx 0$	$\alpha_{MM} \approx \alpha_{MH} \approx 0$	$\alpha_{MM} \approx \alpha_{MH} \approx 0$

\*  $\bar{E}_s$  and  $\bar{V}_s$  (for the two inhomogeneous deposits) denote Young's modulus and S-wave velocity, respectively, at depth.

Από το τεύχος της Γεωτεχνικής αξιολόγησης της γέφυρας Μεγαλορέματος λαμβάνουμε τις παρακάτω τιμές σχετικά με τα χαρακτηριστικά του φλύσχη:

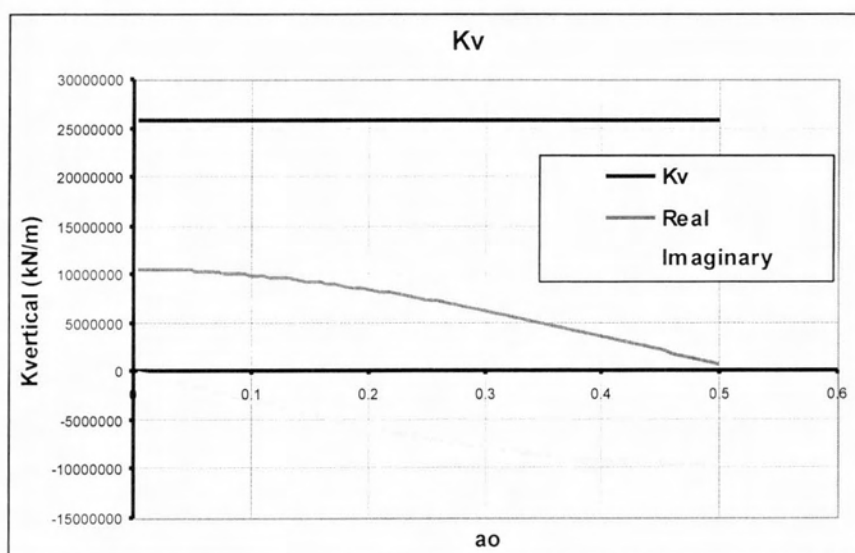
Πυκνότητα  $\rho_s = 2.5 \text{ tn/m}^3$

Μέτρο ελαστικότητας  $E_s \sim 3 \text{ GPa}$  και

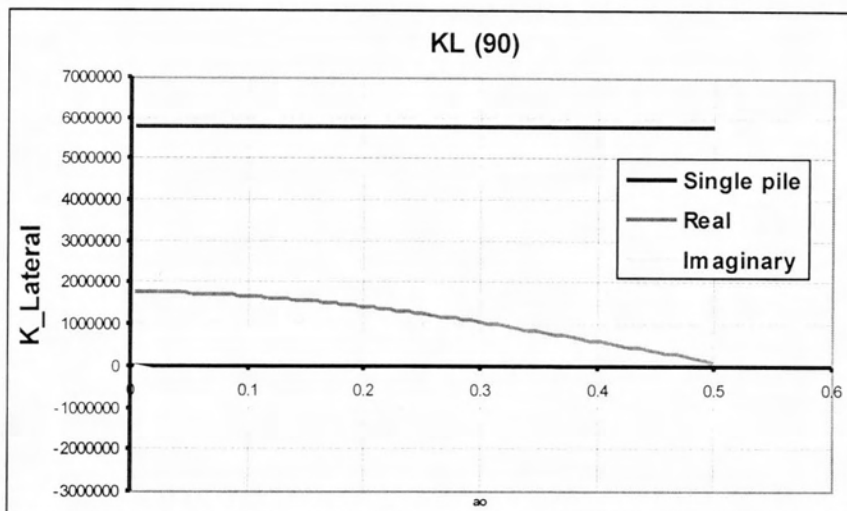
Ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων  $V_s \sim 1500 \text{ m/s}$

D	1.20	
L	15.00	
Es	3	GPa
Ep	29	GPa
Ep/Es	9.67	
$\beta$	0.05	
Gs	2.10	GPa
$\rho$	2.50	tn/m <sup>3</sup>
Vs	1500	m/s
H	30	m
$\nu$	0.40	
$\omega_s$	78.54	
VLa	2705.63	m/s
rd	-0.00099	
s	3.6	
s/D	3	

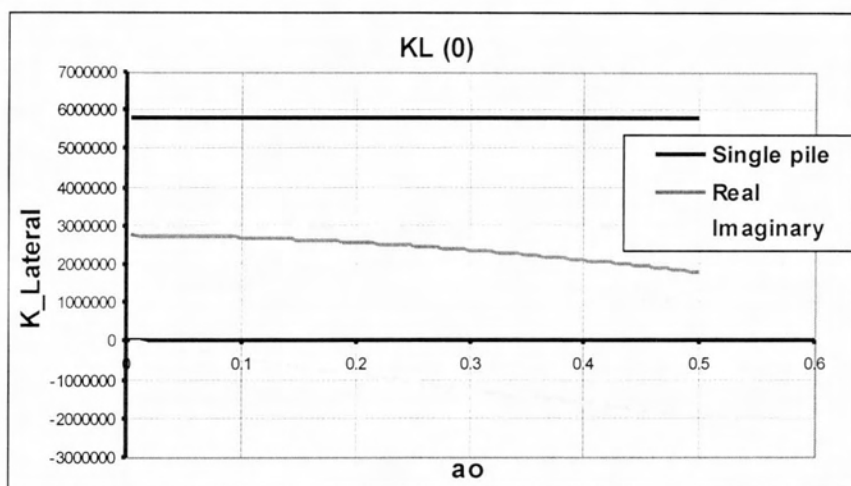
Με βάση τις παραπάνω τιμές και τη βοήθεια των προηγούμενων πινάκων υπολογίζονται οι δυναμικές δυσκαμψίες μιας τυπικής ομάδας πασσάλων της γέφυρας και σχηματίζονται τα διαγράμματα.



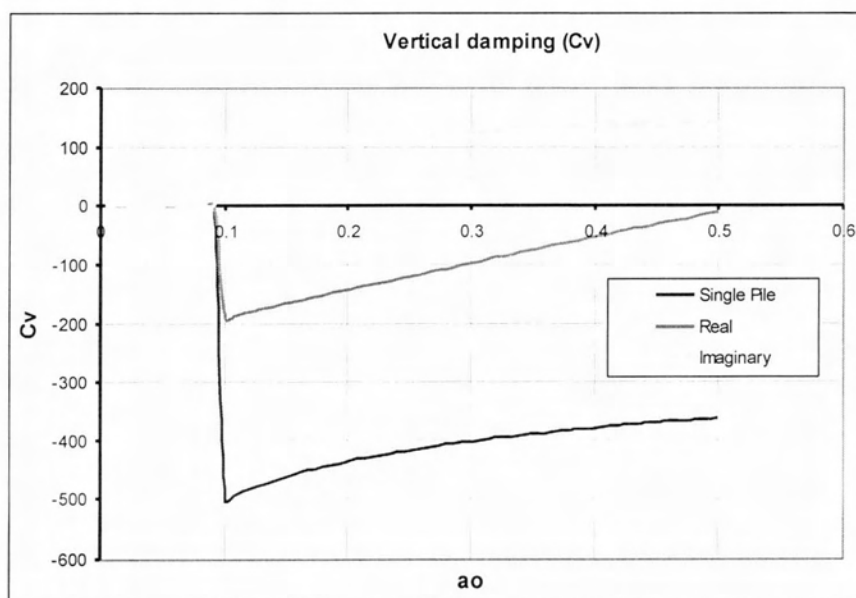
Σχήμα 4.1.1 Κατακόρυφη δυναμική δυσκαμψία πασσαλομάδας



Σχήμα 4.1.2 Οριζόντια (90) δυναμική δυσκαμψία πασσαλομάδας

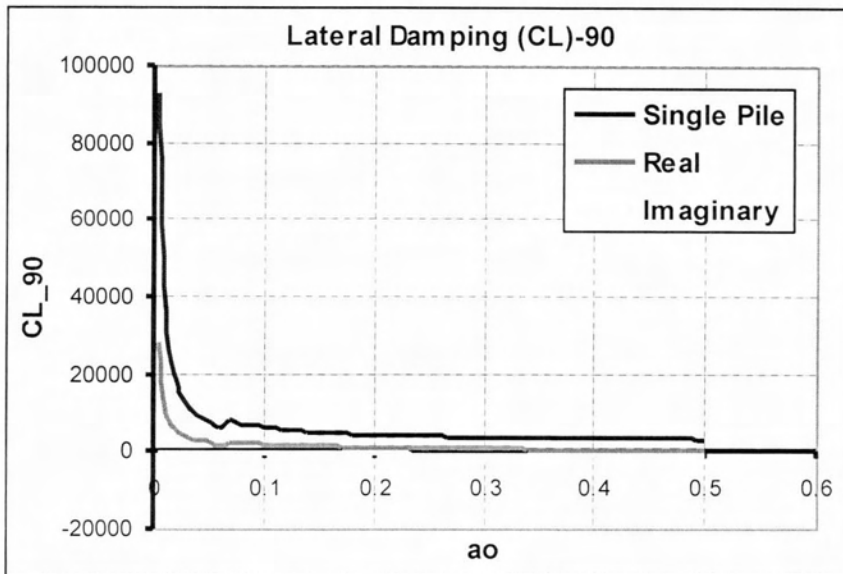


Σχήμα 4.1.3 Οριζόντια (0) δυναμική δυσκαμψία πασσαλομάδας

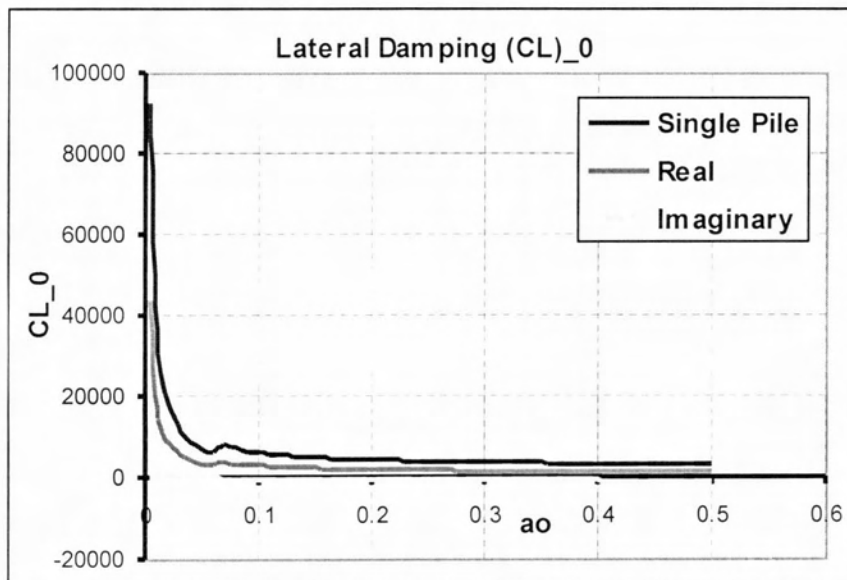


Σχήμα 4.1.4 Κατακόρυφη δυναμική απόσβεση πασσαλομάδας





Σχήμα 4.1.5 Οριζόντια (90) δυναμική απόσβεση πασσαλομάδας



Σχήμα 4.1.6 Οριζόντια (0) δυναμική απόσβεση πασσαλομάδας

**Κεφάλαιο 5**  
**Προσομοίωση του φορέα στο πρόγραμμα**  
**SAP Nonlinear v.10.07**

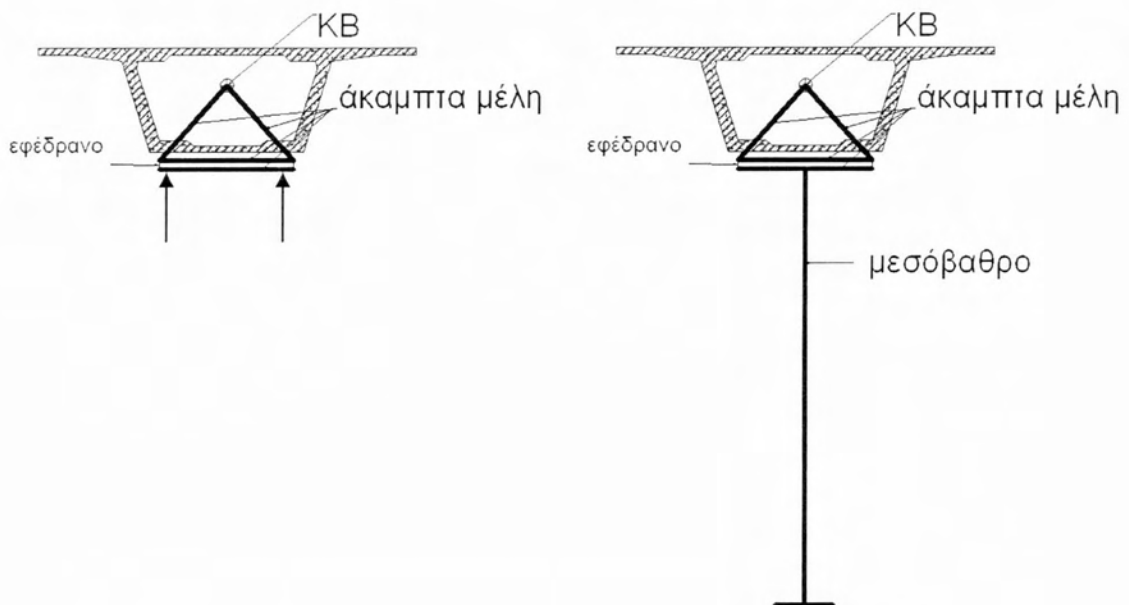
## 5.1 Γενικά

Στο σύνολό τους τα μέλη της γέφυρας προσομοιώνονται με ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία στο χώρο. Ο άξονας της ανωδομής καθώς και οι άξονες των βάθρων λαμβάνονται σε κάθε περίπτωση ως οι κεντροβαρικοί κάθε διατομής.

Κάθε ένα από τα πολλαπλά καμπύλα ανοίγματα της γέφυρας χωρίζεται σε 10 επιμέρους μικρότερα ευθύγραμμα τμήματα έτσι ώστε να προσδιοριστεί καλύτερα η γεωμετρία του κυκλικού τόξου.

Η στήριξη του φορέα σε κάθε μεσόβαθρο και στα δύο ακρόβαθρα γίνεται μέσω ζεύγους ελαστομεταλλικών εφεδράνων χαμηλής απόσβεσης (**low damping bearings**). Η επιπλέον ικανότητα απόσβεσης ενέργειας του συστήματος για το σεισμό σχεδιασμού, επιτυγχάνεται με την προσθήκη αποσβεστήρων στα ακρόβαθρα οι οποίοι λειτουργούν τόσο στην διαμήκη (εφαπτομενική) όσο και στην εγκάρσια (ακτινική) διεύθυνση.

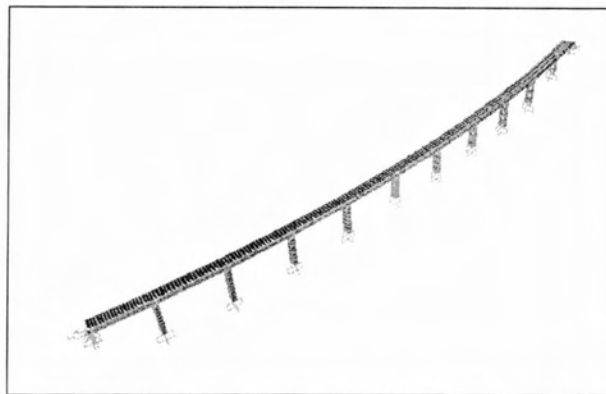
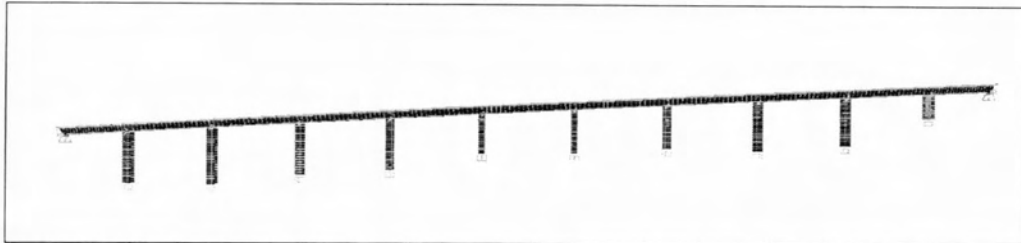
Λόγω της απόκλισης του κεντροβαρικού άξονα του φορέα της ανωδομής από τους άξονες των μεσοβάθρων, τοποθετούνται ραβδωτά πεπερασμένα στοιχεία με πολύ μεγάλες τιμές αδρανειακών χαρακτηριστικών (**rigid elements**) και μηδενικές τιμές μάζας και απόσβεσης, τα οποία ενώνουν τους κόμβους του κεντροβαρικού άξονα της γέφυρας με τους πάνω κόμβους των εφεδράνων καθώς και την κεφαλή κάθε μεσοβάθρου με τους κάτω κόμβους των εφεδράνων όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Αντίστοιχα μέλη τοποθετούνται και στα 2 ακρόβαθρα.



Σχήμα 5.1.1 Στηρίξεις φορέα στα ακρόβαθρα και στα μεσόβαθρα

Στις αναλύσεις λαμβάνονται δυσκαμψίες μη ρηγματωμένων διατομών (στάδιο I) τόσο για το προεντεταμένο κατάστρωμα της γέφυρας όσο και για τα μεσόβαθρα, τα οποία λόγω της εγκατάστασης διατάξεων σεισμικής μόνωσης, προβλέπεται να συμπεριφερθούν ελαστικά (Δείκτης μετελαστικής συμπεριφοράς  $q=1$ ).

Τα εφέδρανα προσομοιώνονται με το στοιχείο **NLINK (rubber element)** και οι αποσβεστήρες ενέργειας με το στοιχείο **NLINK (Damper)** που παρέχονται από το πρόγραμμα SAP Nonlinear.



Σχήμα 5.1.2 Χωρικό μοντέλο της γέφυρας

Τα στοιχεία θεμελίωσης, δηλαδή οι ομάδες πασσάλων, οι κεφαλόδεσμοι τους και τα φρέατα δεν λαμβάνονται υπόψη ως μέλη στην προσομοίωση. Έτσι για την πρώτη ομάδα των αναλύσεων, οι στηρίξεις της γέφυρας θεωρούνται ακλόνητες (πακτώσεις), αγνοώντας οποιαδήποτε αλληλεπίδραση του εδάφους και της κατασκευής. Στην δεύτερη ομάδα όμως των αναλύσεων θεωρούνται ακλόνητες μόνο οι στηρίξεις στα μεσόβαθρα M1, M2 και M3 που θεμελιώνονται με φρέατα, ενώ η δυναμική συμπεριφορά των πασσαλομάδων και η αλληλεπίδρασή τους με το έδαφος των υπολοίπων μεσοβάθρων, προσομοιώνεται με κατάλληλα ελατήρια και αποσβεστήρες σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.

Για να ληφθεί υπόψη η εγκάρσια κλίση 4.5 % (επίκλιση) του καταστρώματος οι τοπικοί άξονες κάθε μέλους του, στρέφονται γύρω από τους διαμήκους άξονες κατά γωνία

2.58 μίρες. Στροφή κατά τους κατακόρυφους άξονες γίνεται επίσης και στα μεσόβαθρα έτσι ώστε αυτά να ακολουθούν τη γεωμετρία της γέφυρας.

Για να εξαχθούν ακριβή αποτελέσματα τεμνουσών δυνάμεων στις βάσεις των μεσοβάθρων κατά την ακτινική διεύθυνση, οι τοπικοί άξονες των κόμβων θεμελίωσης έστριψαν και αυτοί έτσι ώστε σε κάθε περίπτωση να προσανατολίζονται οριζοντιογραφικά προς το κέντρο του κύκλου.

Τέλος η διακριτοποίηση όλων των μελών της γέφυρας έγινε αυτόματα έτσι ώστε κανένα στοιχείο να μην έχει μήκος μεγαλύτερο από 1 μ.

## 5.2 Υλικά και διατομές

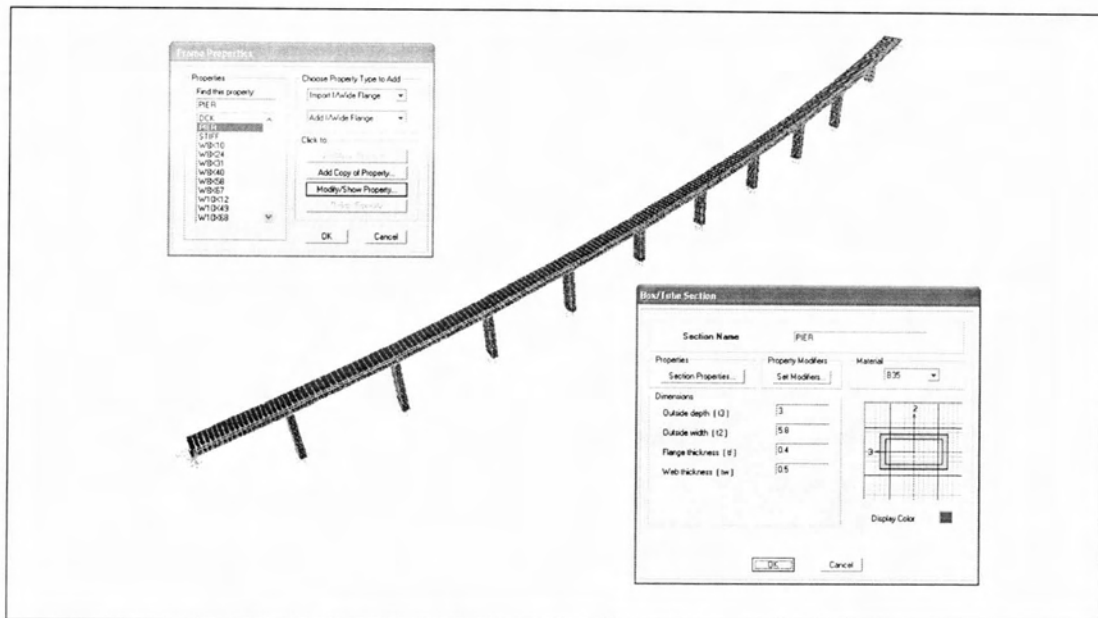
Ο προεντεταμένος φορέας του καταστρώματος της γέφυρας κατασκευάζεται από σκυρόδεμα **B45 (C40/50)** ενώ τα μεσόβαθρα από σκυρόδεμα **B35 (C30/37)**.

Στο πρόγραμμα η εισαγωγή και επεξεργασία των υλικών γίνεται μέσω της εντολής **Define\_Materials** όπου ακολουθεί το παρακάτω πλαίσιο.



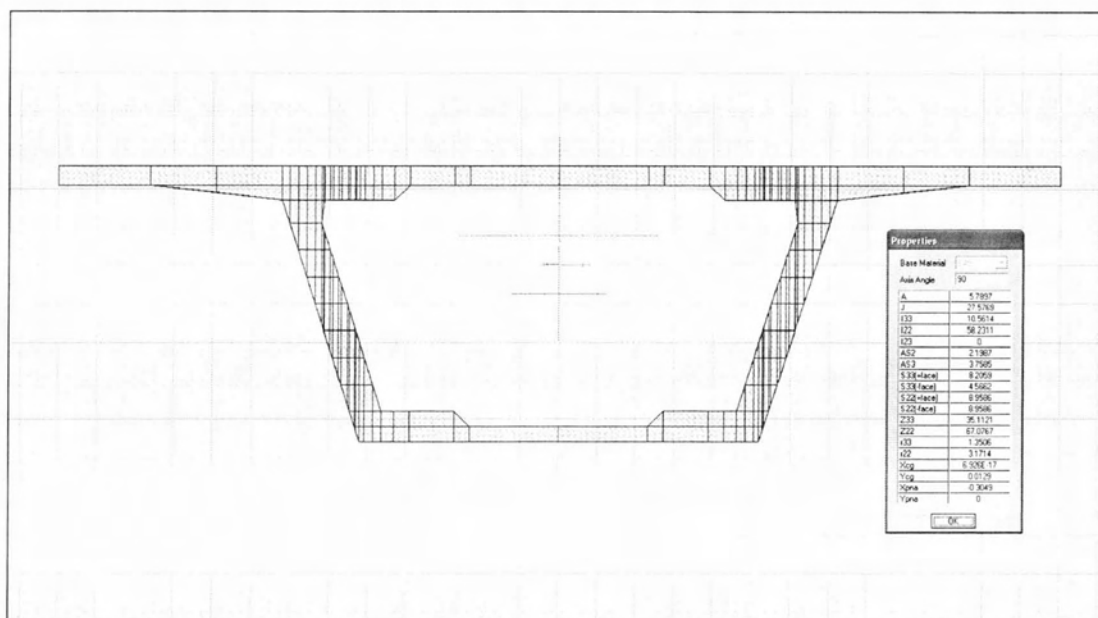
Σχήμα 5.2.1 Προσδιορισμός των υλικών

Αναφορικά με τις διατομές αυτές εισάγονται μέσω της εντολής **Define\_Frame Sections**.



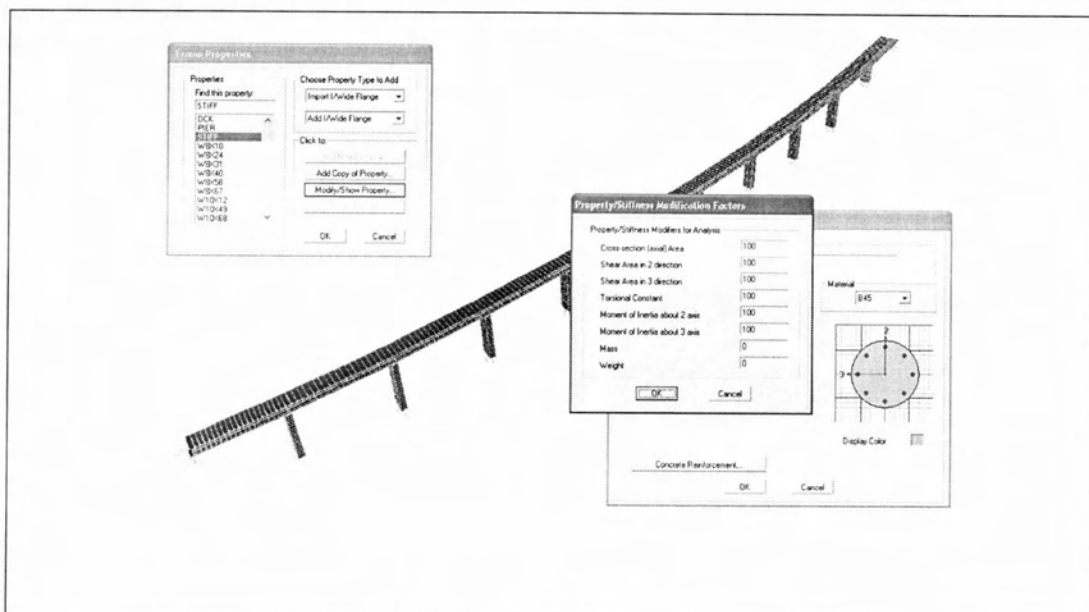
Σχήμα 5.2.2 Εισαγωγή διατομής μεσοβάθρου

Η διατομή του καταστρώματος σχεδιάστηκε στην εφαρμογή **Section Designer** του SAP



Σχήμα 5.2.3 Τυπική διατομή του φορέα ανωδομής

Στα άκαμπτα μέλη δόθηκε αρχικά κυκλική διατομή της οποίας τα αδρανειακά χαρακτηριστικά τροποποιήθηκαν όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.2.4 Άκαμπτα μέλη

### 5.3 Εφέδρανα

Στην γέφυρα τοποθετούνται τα παρακάτω ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης.

ΒΑΘΡΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ $b * d * H_{ελ}$	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ
A0	700 x 700 x 128	
M1	850 x 850 x 144	
M2	850 x 850 x 144	
M3	850 x 850 x 128	
M4	850 x 850 x 128	
M5	850 x 850 x 112	
M6	850 x 850 x 112	
M7	850 x 850 x 128	
M8	850 x 850 x 128	
M9	850 x 850 x 144	
M10	850 x 850 x 176	
A11	700 x 700 x 128	

**ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ:**

α: Διαστάσεις εφεδράνων  $b*d*H_{ελ}$   
 $b, d$  διαστάσεις κάτοψης σε mm  
 $H_{ελ}$  συνολικό ύψος ελαστικού

β: Συμβολισμός εφεδράνων

- : Ελαστομεταλλικό εφέδρανο
- : Ελαστομεταλλικό εφέδρανο με επικάλυψη PTFE και οδηγούς το οποίο παρέχει ελευθερία ολισθήσεως μόνο στην ερασιτομενική διεύθυνση ως προς τον άξονα της γέφυρας και λειτουργεί ως ελαστομεταλλικό στην ακτινική διεύθυνση οντιστοίχως.
- : Ελαστομεταλλικό εφέδρανο με επικάλυψη PTFE με δυνατότητα ολισθήσεως και στις δύο διεύθυνσεις.

Πίνακας 5.3.1 Λίστα εφεδράνων

Η **δυστημσία** ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου δίνεται από τη σχέση:

$$K_h = \frac{GA}{t_r}$$

Η **δυστένεια** του εφεδράνου δίνεται από τη σχέση:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r}$$

Όπου:

- Το μέτρο διάτμησης του ελαστομερούς λαμβάνεται  $G=1.20$  MPa
- $A = bxd$  είναι το πλήρες εμβαδό της διατομής του ελαστομερούς
- $t_r$  είναι το συνολικό πάχος του ελαστομερούς.
- $E_c$  το μέτρο ελαστικότητας του εφεδράνου για συγκεκριμένο επίπεδο φόρτισης.  
Για **τετραγωνικής κάτοψης** εφέδρανα αυτό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_c = 6.73GS^2$$

- $S$  ο συντελεστής σχήματος (shape factor).

$$S = \frac{a}{4t_r}$$

Η **δυσκαμψία** ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου τετραγωνικής κάτοψης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_{bx} = K_{by} = 0.329 \frac{E_c I}{L}$$

Όπου:

- $I$  η ροπή αδράνειας της διατομής του εφεδράνου

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{b d^3}{12}$$

- $L$  το συνολικό ύψος του εφεδράνου.

Η **δυστρεψία** του εφεδράνου περί κατακόρυφο άξονα θεωρείται απεριόριστα μεγάλη οπότε η στροφική ικανότητα αγνοείται.



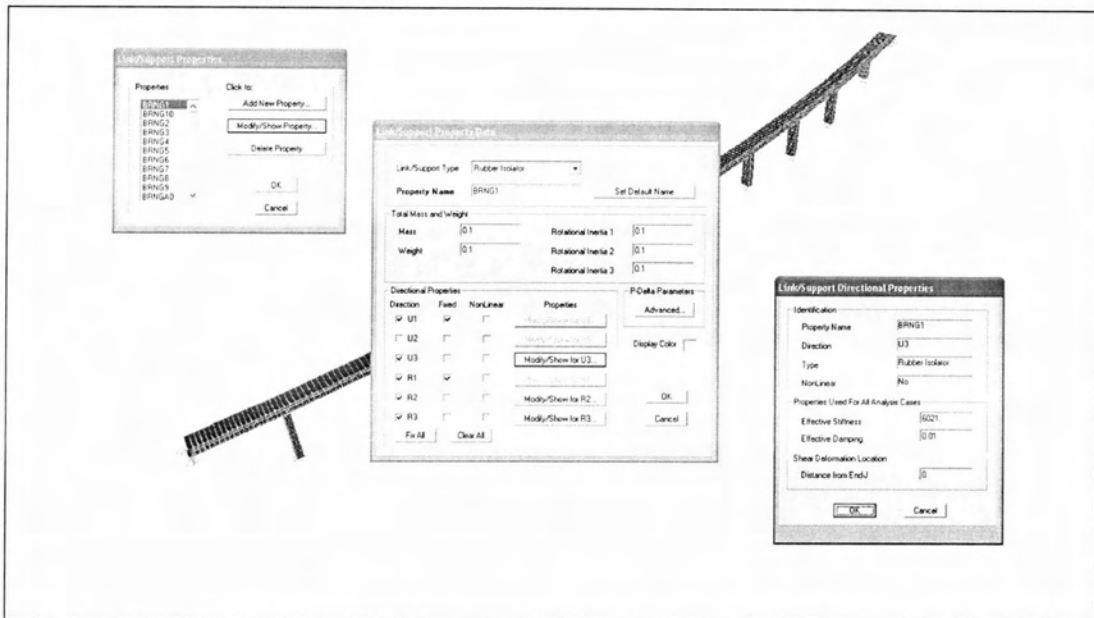
Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίζονται στον ακόλουθο πίνακα οι δυστένεια-η δυσστησία και δυσκαμψία κάθε ενός εφεδράνου ξεχωριστά που τοποθετείται στη γέφυρα.

θέση	b (mm)	d (mm)	n	t (mm)	Hel (mm)	S	Ec (Mpa)	Ix=Iy (m4)	Kh (kN/m)	Kv (kN/m)	Kbx=Kby (kN/m)
A0	700	700	8	16	128	1.37	15.10	0.020008333	4594	57788	776
M1	850	850	9	16	144	1.48	17.59	0.043500521	6021	88240	1748
M2	850	850	9	16	144	1.48	17.59	0.043500521	6021	88240	1748
M3	850	850	8	16	128	1.66	22.26	0.043500521	6773	125638	2489
M4	850	850	8	16	128	1.66	22.26	0.043500521	6773	125638	2489
M5	850	850	7	16	112	1.90	29.07	0.043500521	7741	187542	3715
M6	850	850	7	16	112	1.90	29.07	0.043500521	7741	187542	3715
M7	850	850	8	16	128	1.66	22.26	0.043500521	6773	125638	2489
M8	850	850	8	16	128	1.66	22.26	0.043500521	6773	125638	2489
M9	850	850	9	16	144	1.48	17.59	0.043500521	6021	88240	1748
M10	850	850	11	16	176	1.21	11.77	0.043500521	4926	48330	957
A11	700	700	8	16	128	1.37	15.10	0.020008333	4594	57788	776

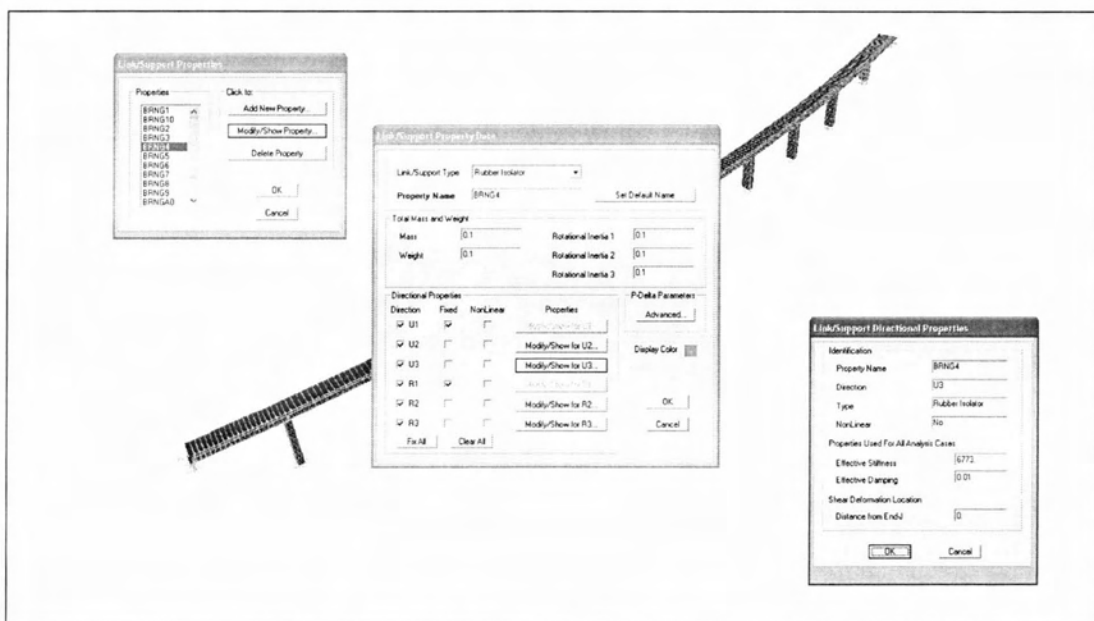
Πίνακας 5.3.2 Χαρακτηριστικά εφεδράνων

Για την προσομοίωση των εφεδράνων στο SAP χρησιμοποιείται το στοιχείο NLINK (Rubber) και σχηματίζονται 12 ξεχωριστά link elements. Οι τοπικοί τους άξονες στρίβουν και αυτοί ξεχωριστά για κάθε εφεδράνο, ώστε να προσανατολίζονται στην εφαπτομενική και την ακτινική διεύθυνση της γέφυρας. Επειδή οι τιμές της δυστένειας Kv των εφεδράνων είναι αρκετά μεγάλες, αυτά θεωρούνται απαραμόρφωτα στο κατακόρυφο επίπεδο οπότε και ο βαθμός ελευθερίας U1 (βλέπε σχήμα 5.3.1) αγνοείται. Το ίδιο γίνεται και για τον βαθμό ελευθερίας R1 που αντιπροσωπεύει την δυστρεψία του εφεδράνου. Σε ότι αφορά τις δυσστησίες Kh αυτές ενεργοποιούνται στους βαθμούς ελευθερίας U2 και U3 για τα εφεδράνα των M3, M4, M5, M6, M7, M8. Για τα M1, M2, M9 και M10 ενεργοποιείται μόνο ο βαθμός ελευθερίας U2 που αναπαριστά την ακτινική λειτουργία του εφεδράνου ως ελαστομεταλλικού και απενεργοποιείται ο βαθμός U2 εξασφαλίζοντας έτσι την δυνατότητα ολίσθησης στην διαμήκη διεύθυνση. Στα ακρόβαθρα A0 και A11 δεν ενεργοποιείται ούτε ο U2 ούτε ο U3 βαθμός ελευθερίας εξασφαλίζοντας την ολίσθηση τόσο στην ακτινική όσο και στην διαμήκη (εφαπτομενική) διεύθυνση της γέφυρας.

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η εισαγωγή και επεξεργασία των ιδιοτήτων των εφεδράνων στο μεσόβαθρο M1 σχήμα 5.3.1 αλλά και των εφεδράνων στο μεσόβαθρο M4 σχήμα 5.3.2.



Σχήμα 5.3.3 Εφεδράνα του M1



Σχήμα 5.3.4 Εφεδράνα του M4

#### 5.4 Αποσβεστήρες

Σε κάθε ακρόβαθρο της γέφυρας τοποθετούνται 2 ιξώδεις υδραυλικοί αποσβεστήρες ενέργειας MAURER MHD-750 στην επαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση και 2 MAURER MHD-450 στην εγκάρσια (ακτινική).

Οι αποσβεστήρες έχουν τις εξής ιδιότητες:

(α) Για χαμηλές ταχύτητες κίνησης του εμβόλου  $v < 0.1 \text{ mm/sec}$  η αντίδραση που αναπτύσσονται είναι πολύ μικρή. Ως εκ τούτου οι μετακινήσεις από θερμοκρασιακές μεταβολές, συστολή ξήρανσης και ερπυσμό δεν οδηγούν σε σημαντικές αντιδράσεις. Συγκεκριμένα, οι αποσβεστήρες στις χαμηλές αυτές ταχύτητες αναπτύσσονται δύναμη η οποία δεν υπερβαίνει τα 60 KN.

(β) Για ταχύτητες κίνησης του εμβόλου από  $0.1 \text{ mm/sec}$  έως  $0.7 \text{ mm/sec}$  η δύναμη αυξάνεται σταδιακά.

(γ) Για ταχύτητες κίνησης του εμβόλου από  $2 \text{ mm/sec}$  και άνω, η δύναμη παραμένει πρακτικώς σταθερή, δηλαδή ανεξάρτητη της ταχύτητας. Το σημαντικό πλεονέκτημα της ιδιότητας αυτής είναι ότι υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για όλο το φάσμα των ταχυτήτων που αναμένονται σε περίπτωση σεισμού.

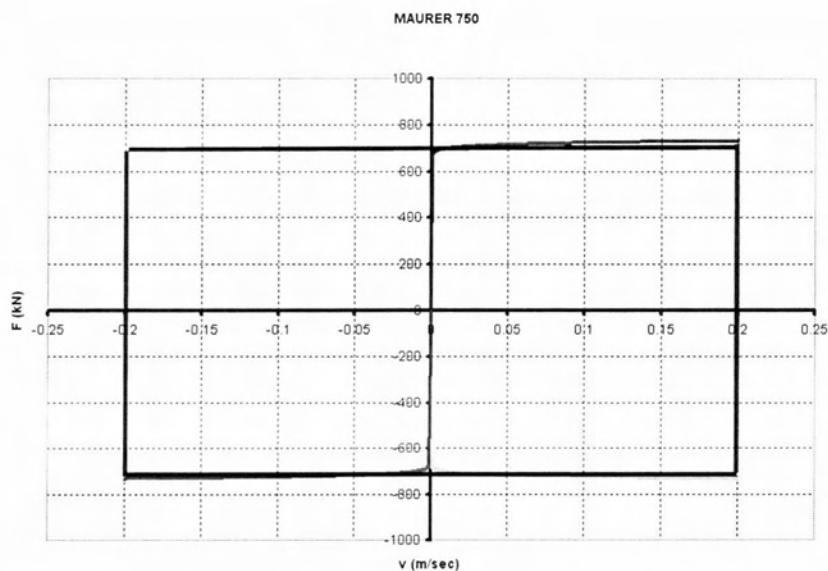
Η δύναμη που αναπτύσσονται δίνεται από τη σχέση:

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

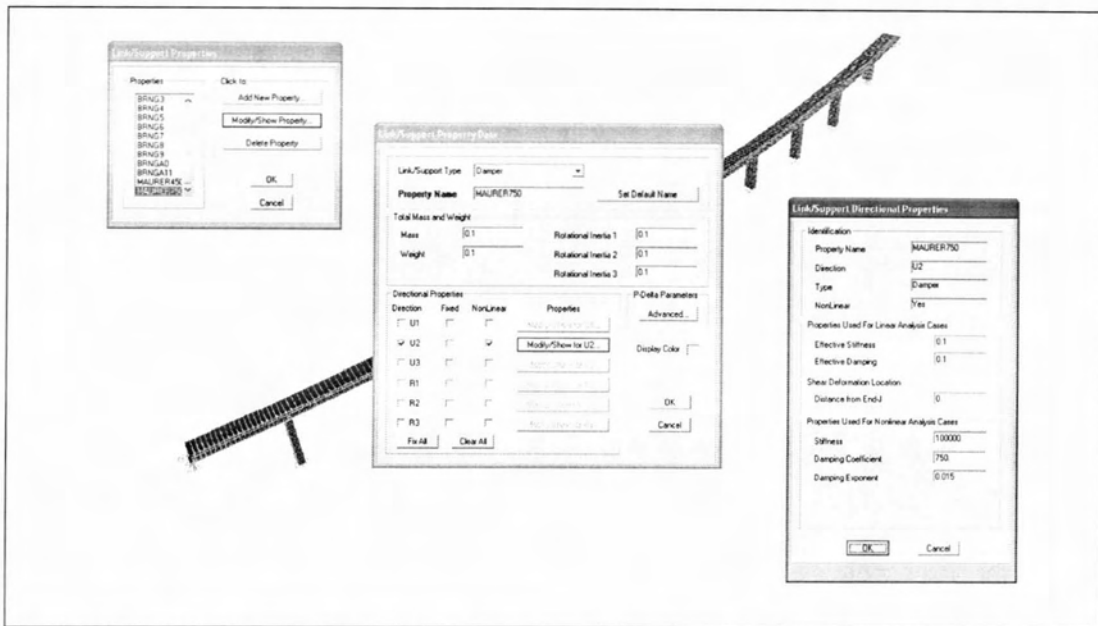
Όπου C η σταθερά του αποσβεστήρα 750 για τους διαμήκεις και 45 για τους εγκάρσιους

v η ταχύτητα

$a=0.015$  εκθέτης της ταχύτητας.



Σχήμα 5.4.1 Διάγραμμα δύναμης μετακίνησης αποσβεστήρα MAURER 750



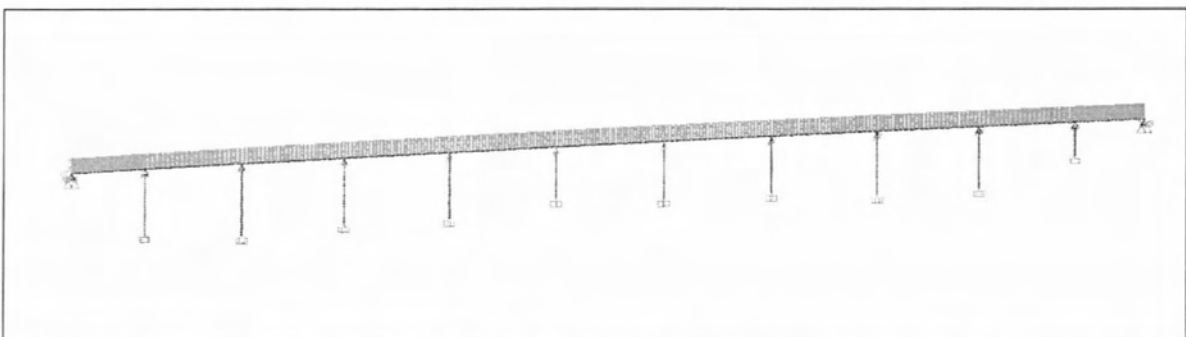
Σχήμα 5.4.2 Εισαγωγή ιδιοτήτων αποσβεστήρα MAURER 750 στο SAP Nonlinear

## 5.5 Μάζες

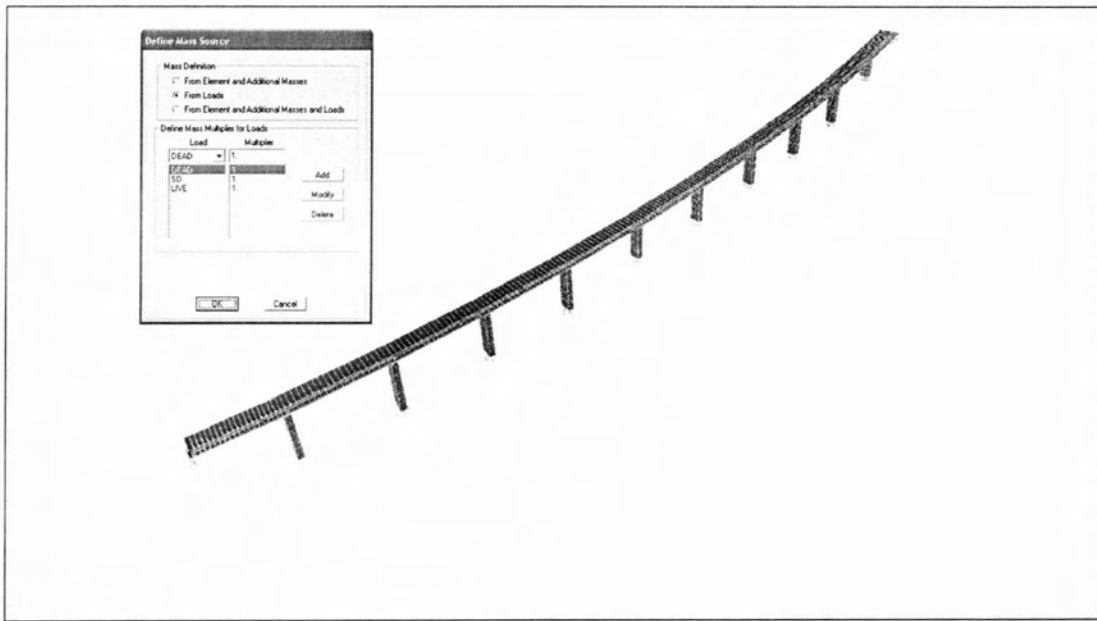
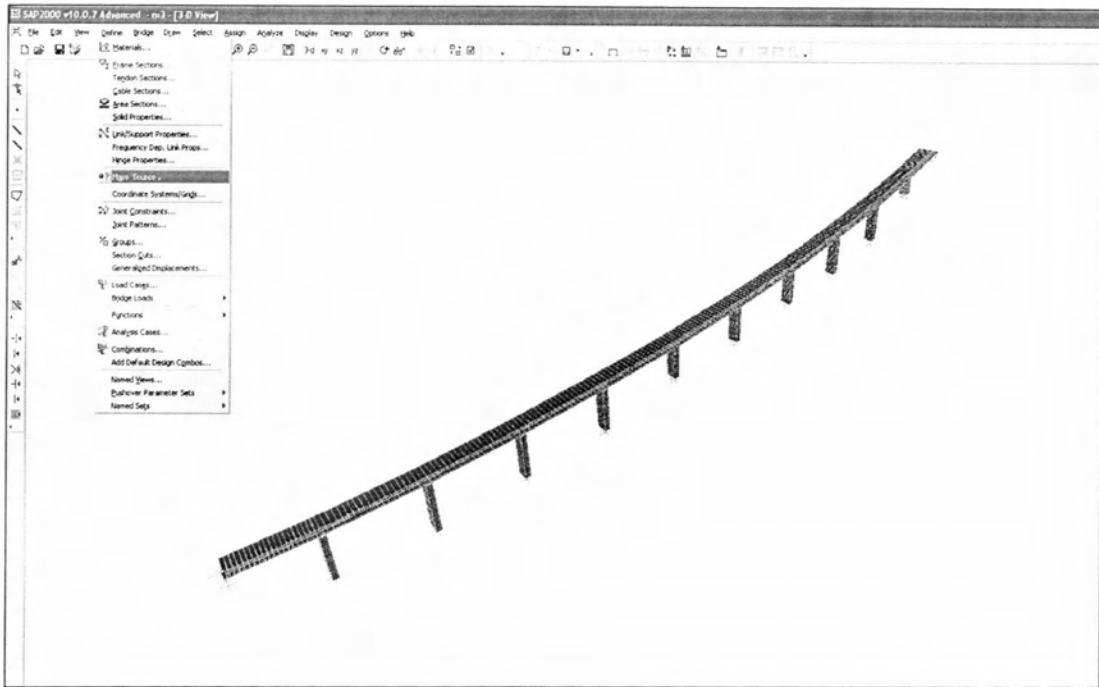
Οι μάζες που ελήφθησαν υπόψη για τις αναλύσεις χρονοϊστορίας αλλά και για την αναγνώριση των ιδιομορφών της γέφυρας προέρχονται από τα **ίδια βάρη της κατασκευής**, τα **πρόσθετα βάρη** από τα πεζοδρόμια, τις ασφαλικές στρώσεις και τα στηθαία καθώς επίσης και από τα **φορτία κυκλοφορίας** σε περίπτωση σεισμού.

Στο Sap τα ίδια βάρη υπολογίζονται αυτόματα.

Τα πρόσθετα φορτία λαμβάνουν τιμή **74.34 kN/m** ενώ τα κινητά σε περίπτωση σεισμού **44.16 kN/m** και εφαρμόζονται ως συνεχώς κατανεμημένα στο κατάστρωμα.



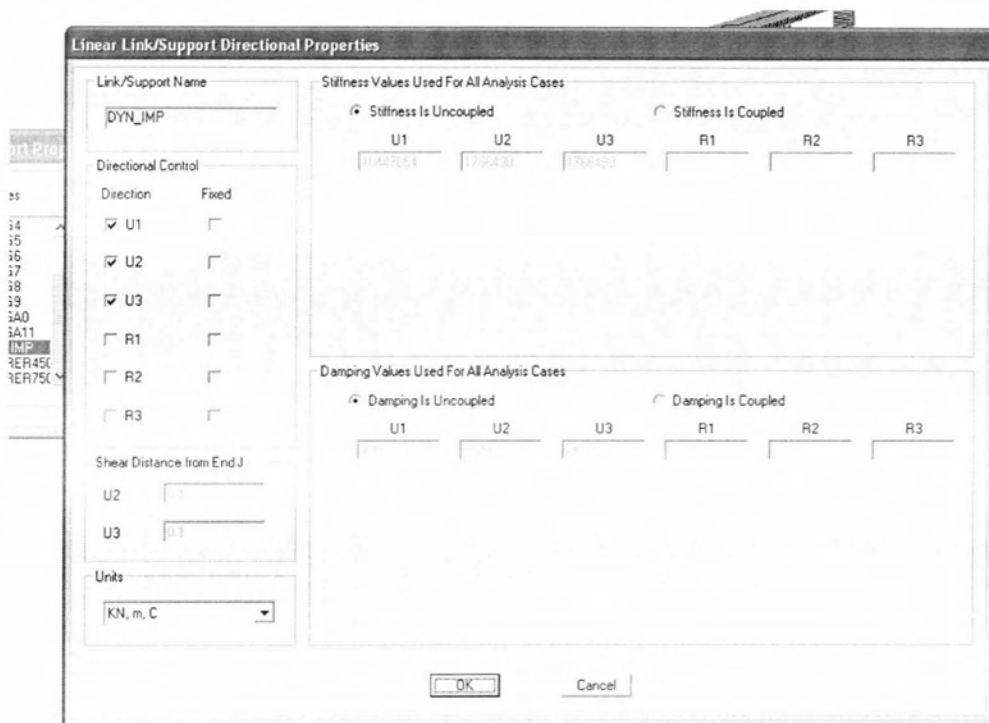
Σχήμα 5.5.1 Συνεχώς κατανεμημένο φορτίο για τον υπολογισμό των μαζών



Σχήμα 5.5.2 και 5.5.3 Εισαγωγή μαζών στο Sap Nonlinear

## 5.6 Δυναμικές δυσκαμψίες πασσαλομάδων

Οι δυναμικές δυσκαμψίες των πασσαλομάδων εισάγονται στο Sap μέσω link elements με τις εξής ιδιότητες:



Σχήμα 5.6. Δυναμικές δυσκαμψίες πασσαλομάδων

## **Κεφάλαιο 6**

### **Επιταχυνσιογραφήματα & αναλύσεις**

### 6.1 Φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

Τα φυσικά επιταχυνσιογραφήματα που χρησιμοποιούνται στις ανελαστικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων **Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)** και είναι με τη σειρά τα ακόλουθα:

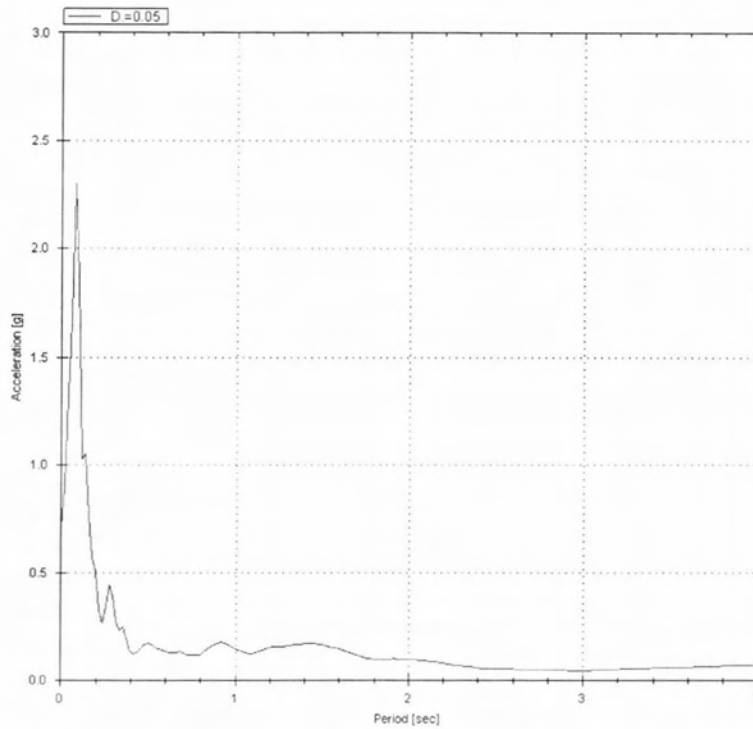
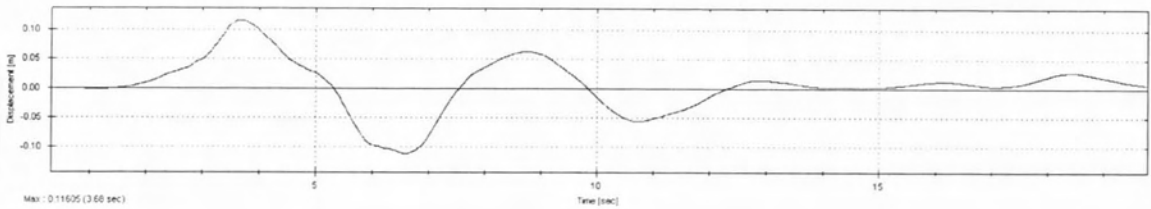
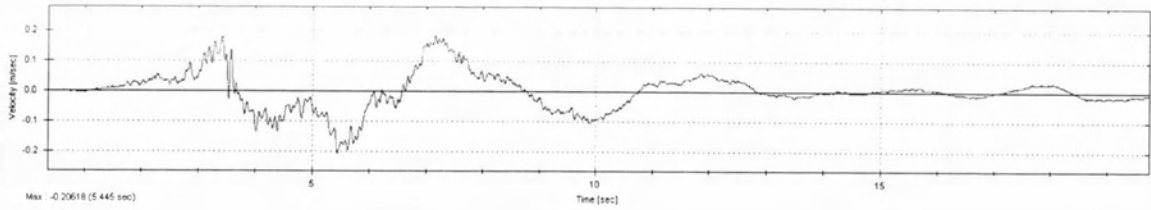
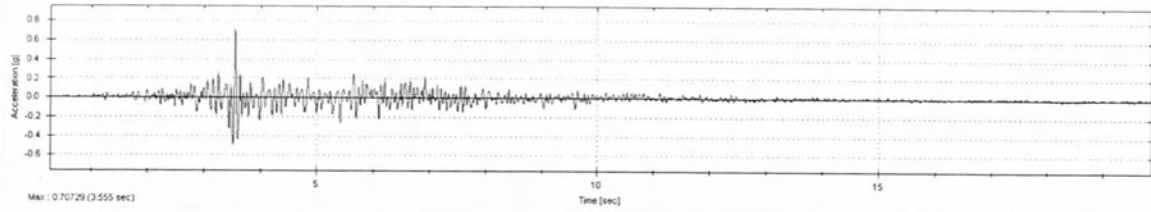
1. IMPERIAL VALLEY	10 / 15 / 79	<b>M<sub>w</sub> = 6.5</b>
2. DUZCE	11 / 12 / 99	<b>M<sub>w</sub> = 7.2</b>
3. CHI-CHI	09 / 20 / 99	<b>M<sub>w</sub> = 7.3</b>
4. FRIULI, ITALY	05 / 06 / 76	<b>M<sub>w</sub> = 6.4</b>
5. KOBE	01 / 16 / 95	<b>M<sub>w</sub> = 6.9</b>
6. TABAS, IRAN	09 / 16 / 78	<b>M<sub>w</sub> = 7.8</b>

Αντιπροσωπεύουν **6** πολύ δυνατούς και ξεχωριστούς σεισμούς και επιλέχθηκαν από μια λίστα καταγραφών με βασικότερα κριτήρια να αντιπροσωπεύουν σεισμικά γεγονότα μεγέθους **M<sub>w</sub> = 6-8 Richter**.

Τα παραπάνω φυσικά επιταχυνσιογραφήματα εισάγονται στο πρόγραμμα Sap nonlinear ατόφια **χωρίς να γίνει καμία αλλαγή στις τιμές τους (scaling)**. Όπως και τα τεχνητά, έτσι και αυτά εφαρμόζονται στην κατασκευή καθένα για κάθε μία από τις δύο κύριες διευθύνσεις της γέφυρας (εφαπτομενική και ακτινική) ξεχωριστά.

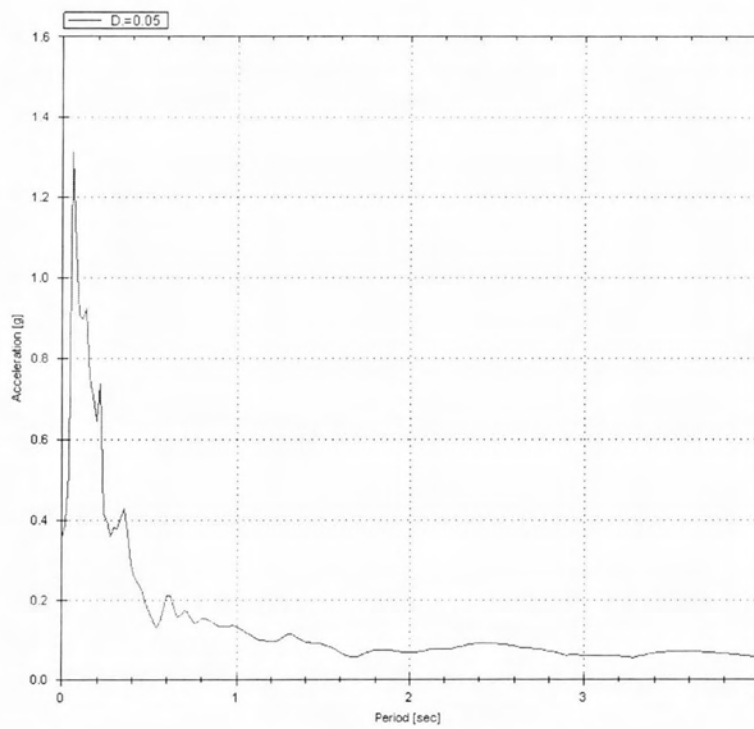
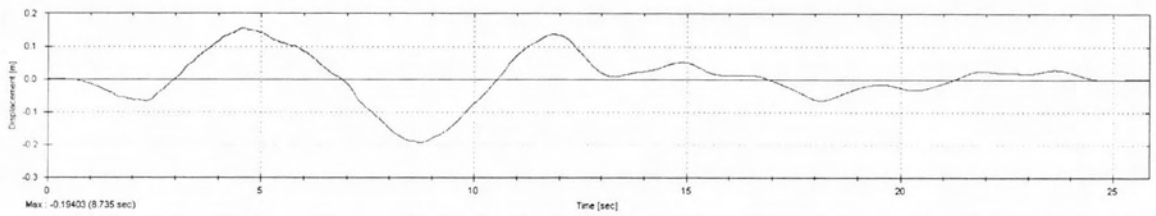
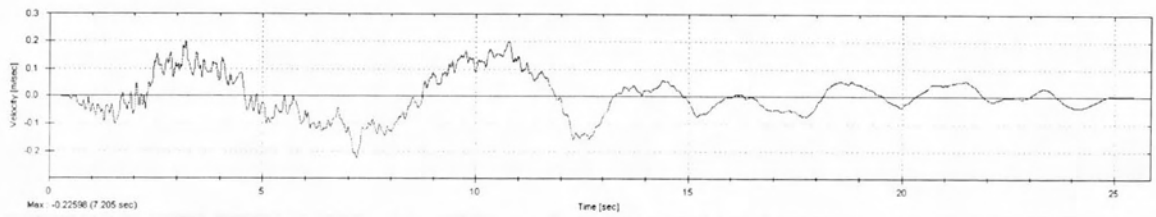
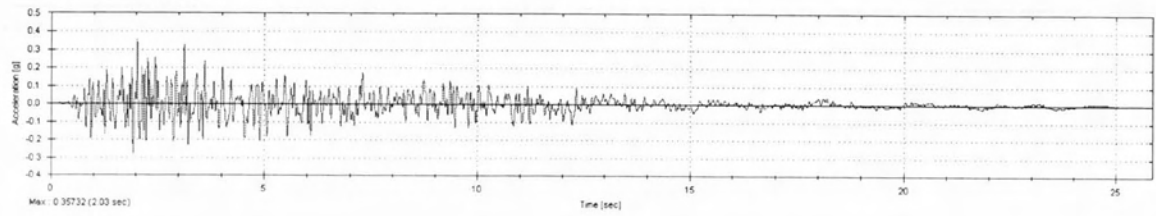
Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα όπου φαίνονται στοιχεία από τις καταγραφές καθώς και τα ελαστικά φάσματα απόκρισης των επιταχύνσεων για ποσοστό 5% της κρίσιμης απόσβεσης.





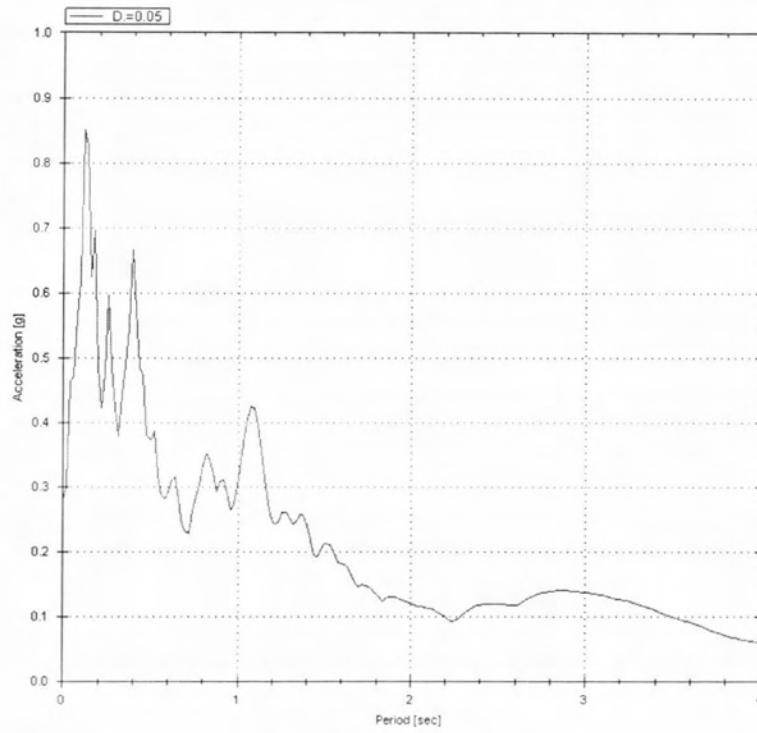
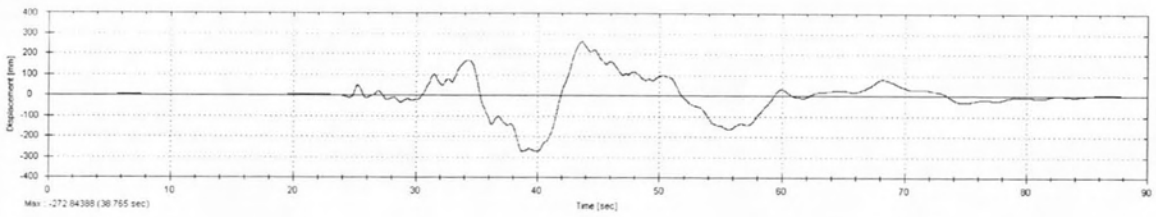
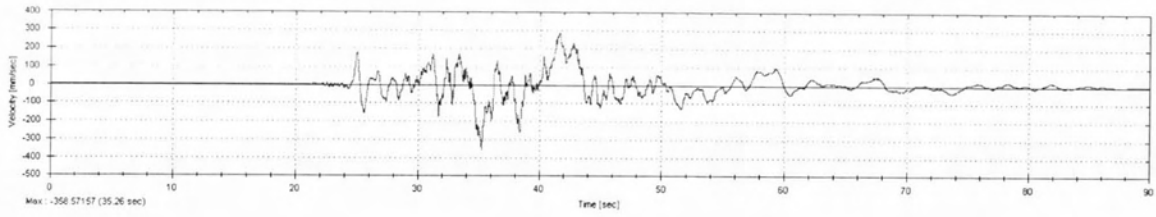
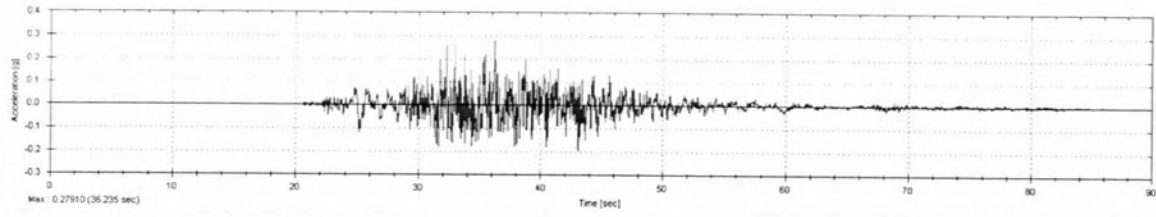
**Σχήμα 6.1.1 Imperial Valley**

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.  
IMPERIAL VALLEY 10/15/79 2316, EL CENTRO DIFF ARRAY, UP (USGS STATION 5165)



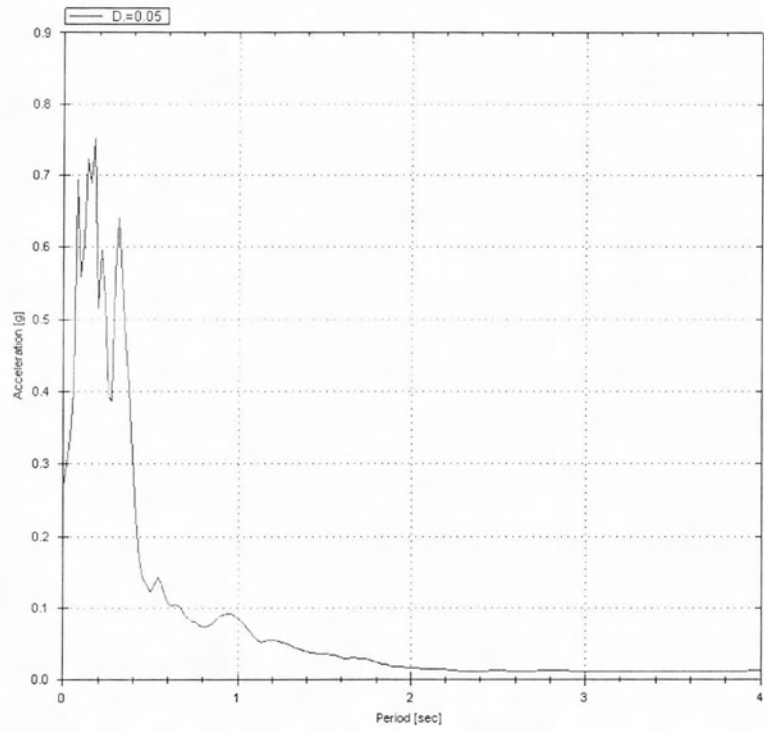
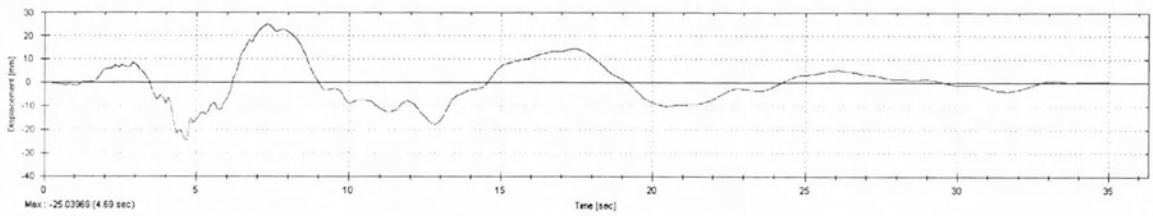
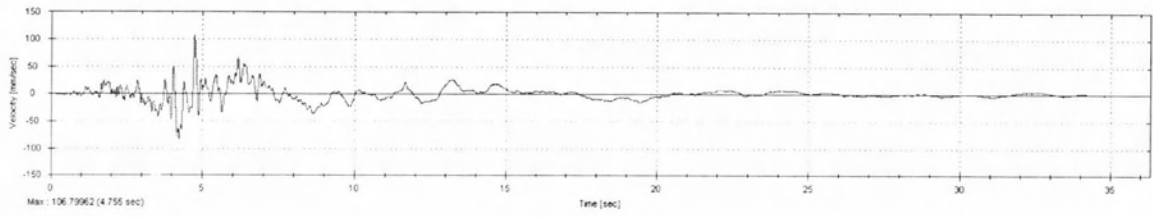
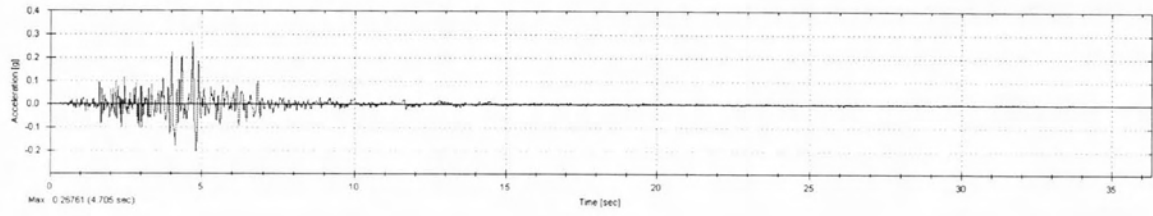
**Σχήμα 6.1.2 Duzce**

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.  
DUZCE 11/12/99, DUZCE, UP (ERD)



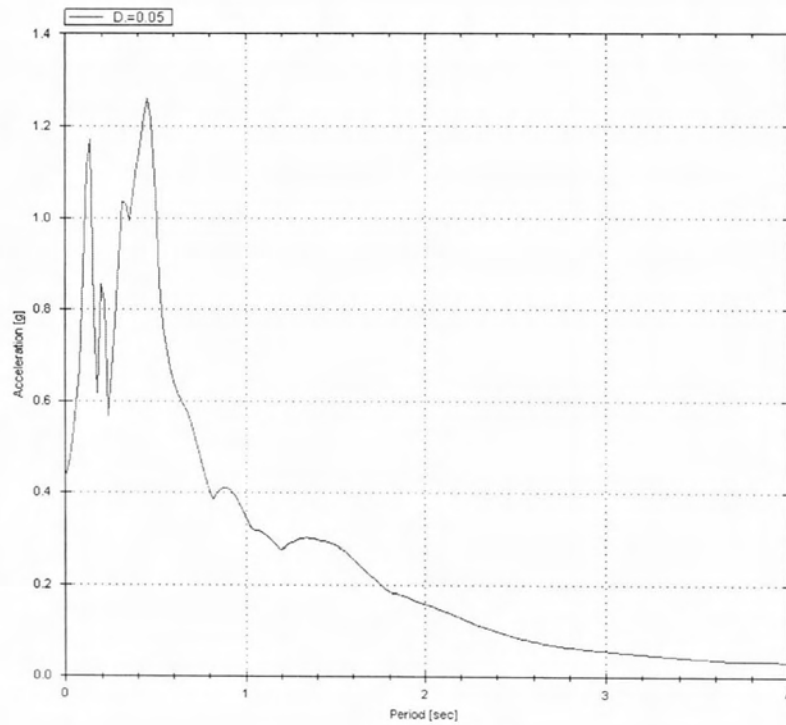
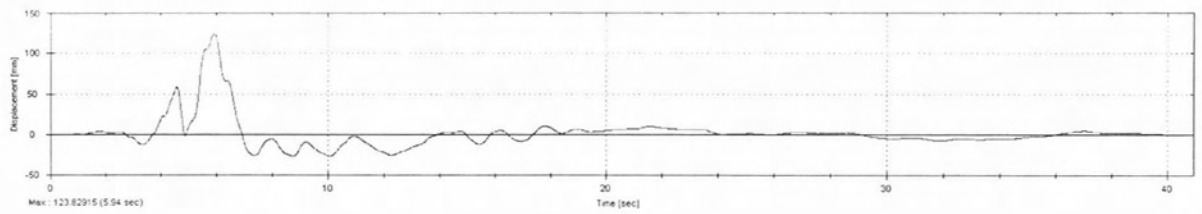
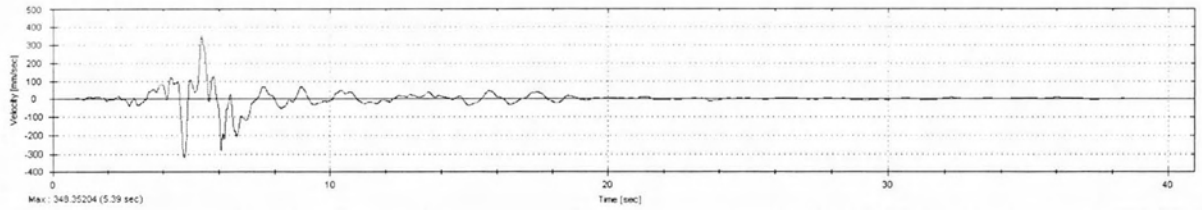
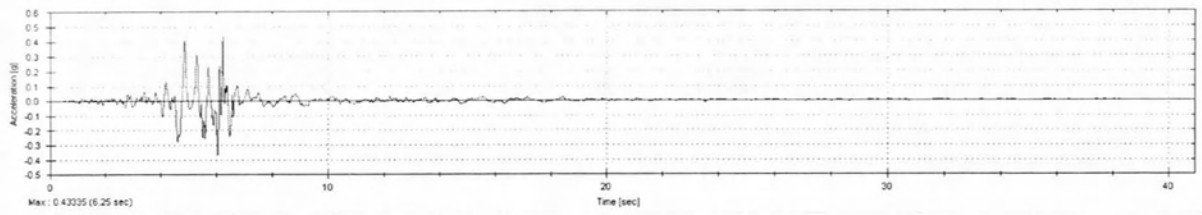
**Σχήμα 6.1.3 Chi Chi**

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.  
 CHI-CHI 09/20/99, TCU072, V (CWB)



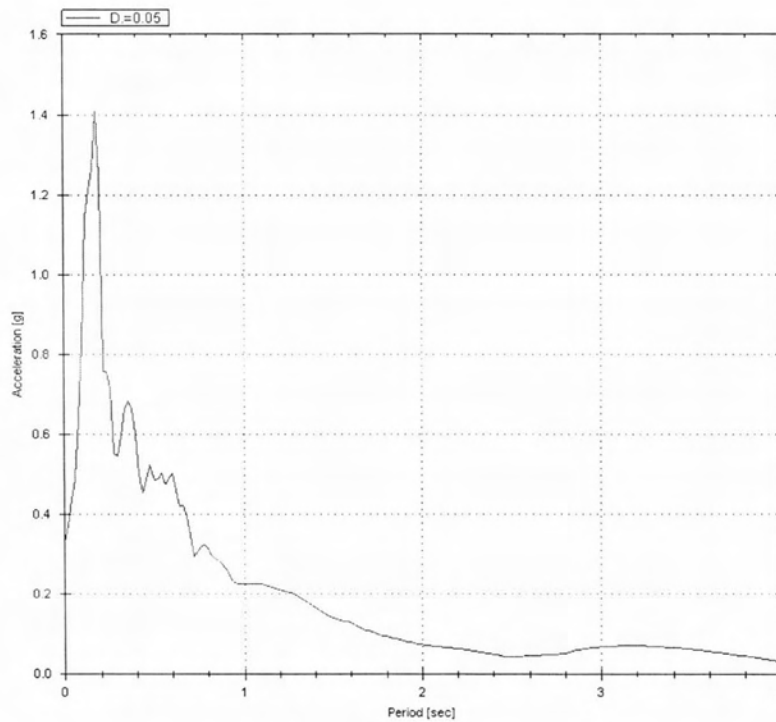
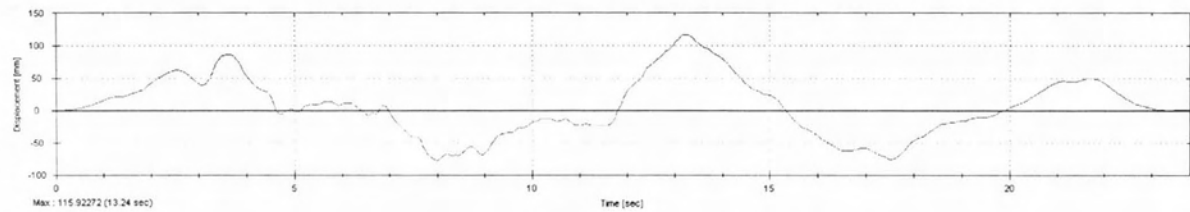
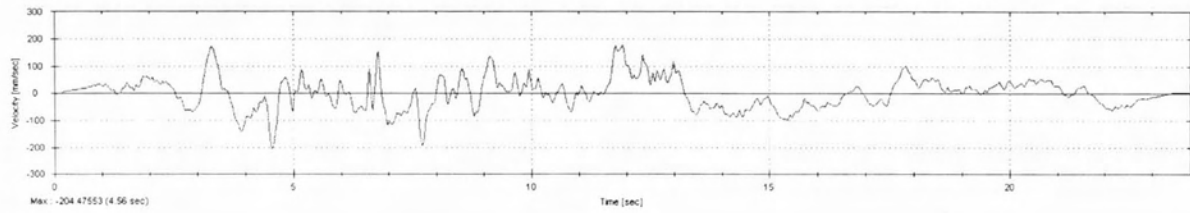
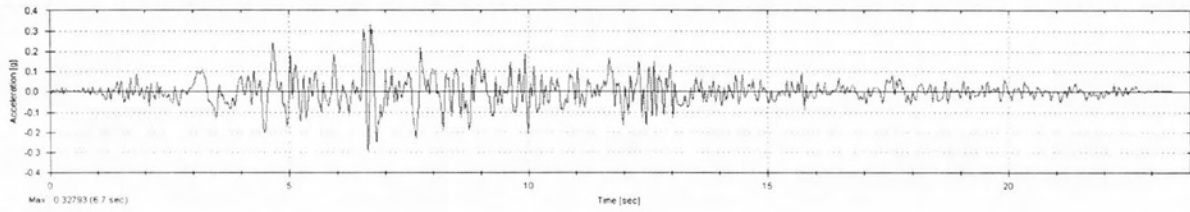
**Σχήμα 6.1.4 Friuli**

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.  
 FRIULI, ITALY 05/06/76 2000. TOLMEZZO, UP



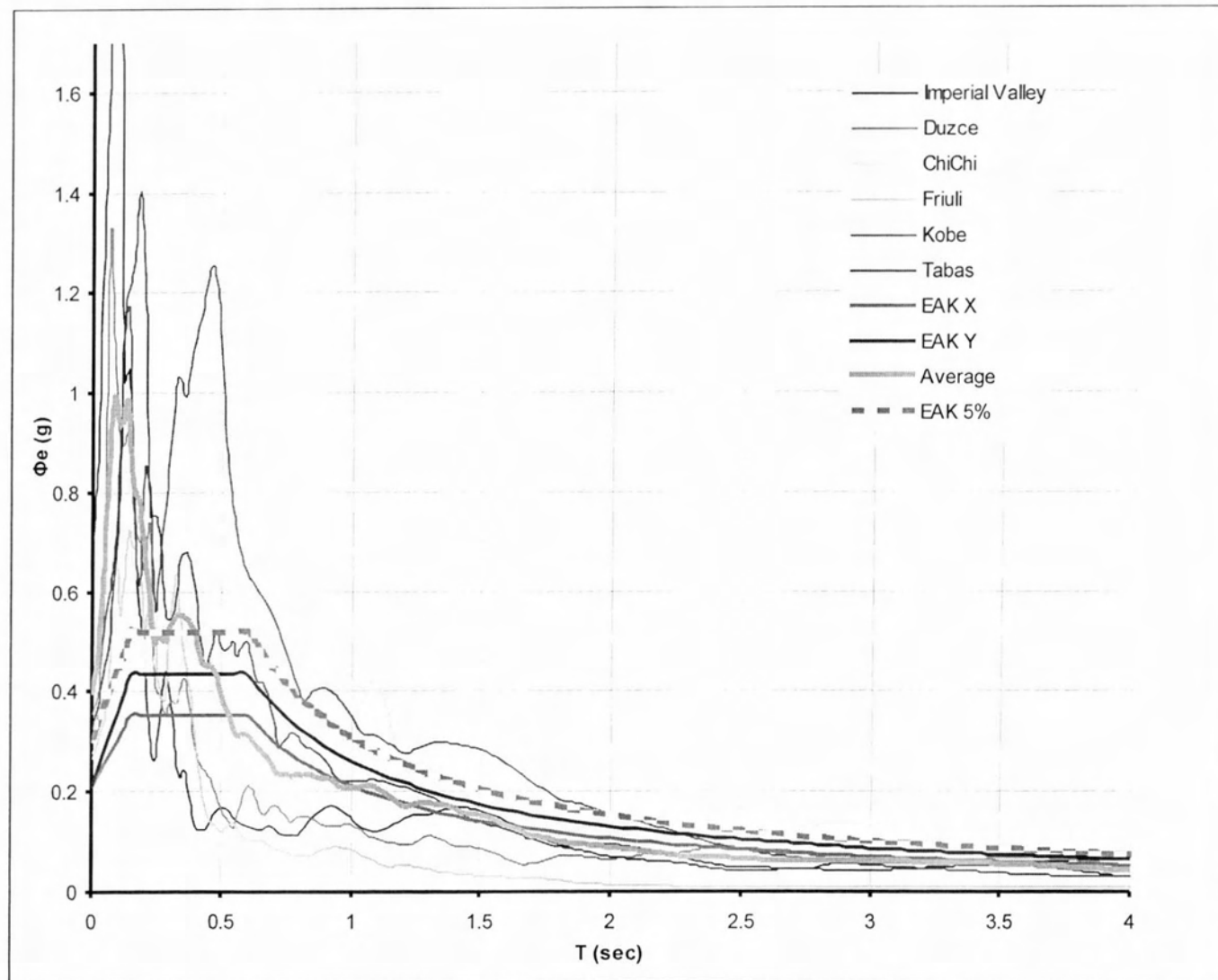
**Σχήμα 6.1.5 Kobe**

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.  
 KOBE 01/16/95 2046, TAKARAZU, UP (CUE)



**Σχήμα 6.1.6 Tabas**

PEER STRONG MOTION DATABASE RECORD. PROCESSING BY PACIFIC ENGINEERING.  
 TABAS, IRAN 09/16/78 : , DAYHOOK, LN



Σχήμα 6.1.7 Ελαστικά φάσματα απόκρισης για τις φυσικές καταγραφές (σύγκριση με τα φάσματα σχεδιασμού ΕΑΚ)

## 6.2 Τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

Τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα παρήχθησαν έτσι ώστε να ακολουθούν το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού της γέφυρας που προδιαγράφεται από τον ΕΑΚ. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για το αυτό το σκοπό είναι το **Simqke**.

Το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού της γέφυρας είναι διαφορετικό για την ακτινική και διαφορετικό για την εγκάρσια διεύθυνση αφού λόγω της ύπαρξης των αποσβεστήρων αλλάζει ο διορθωτικός συντελεστής  $\eta$  στις παρακάτω εξισώσεις υπολογισμού.

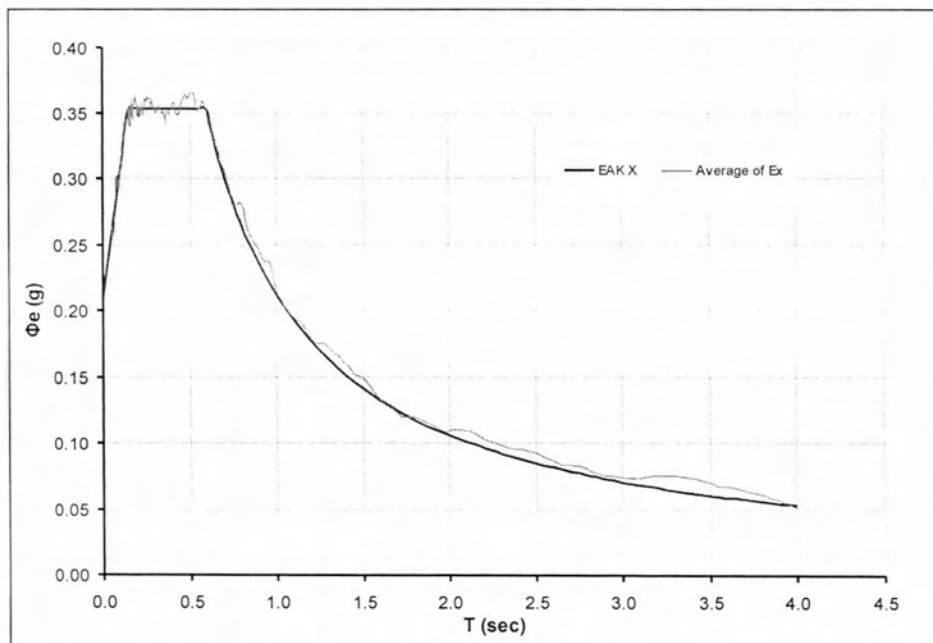
$$0 \leq T < T_1 \quad \Phi_e(T) = A\gamma_1 \left[ 1 + (\eta\beta_0 - 1) \frac{T}{T_1} \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 \quad \Phi_e(T) = A\gamma_1\eta\beta_0$$

$$T_2 < T \quad \Phi_e(T) = A\gamma_1\eta\beta_0 \frac{T_2}{T}$$

Για την διαμήκη (εφαπτομενική) διεύθυνση έχουμε

$\alpha$	0.16
$\gamma$	1.3
$\eta$	0.68
$\beta_0$	2.50
$T_1$	0.15
$T_2$	0.6
$q$	1.00
$g$	9.81

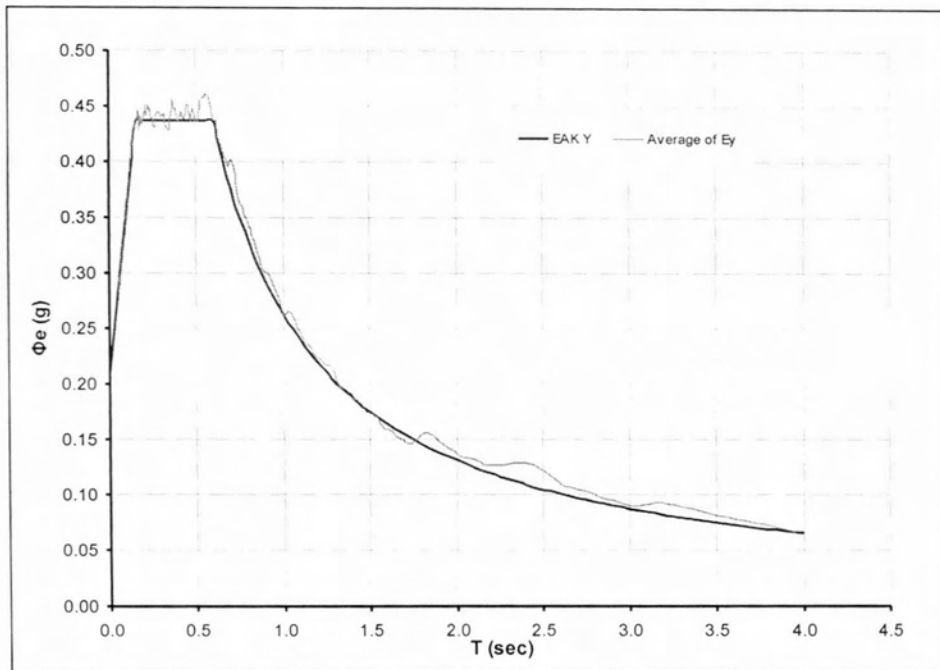


Σχήμα 6.2.1 ΕΑΚ Χ ελαστικό φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5%

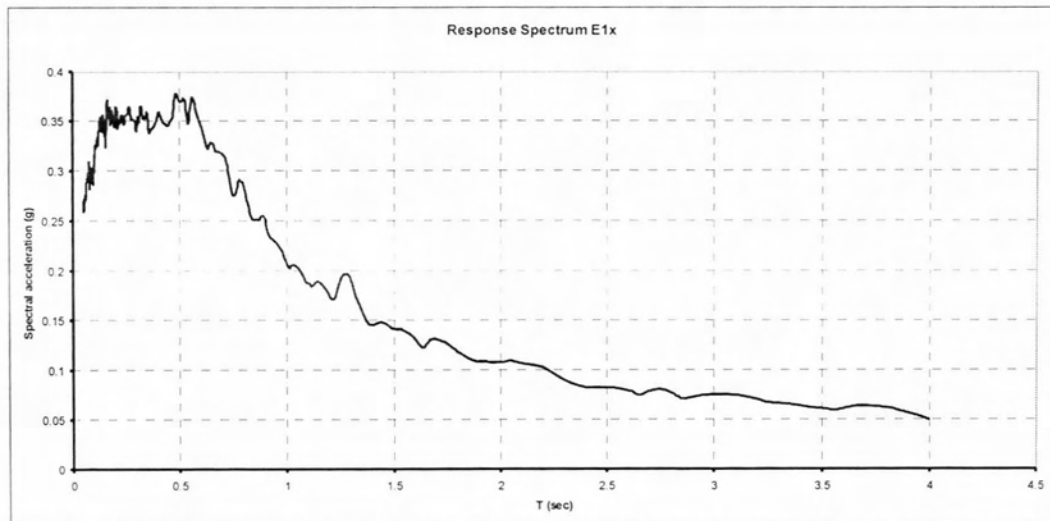
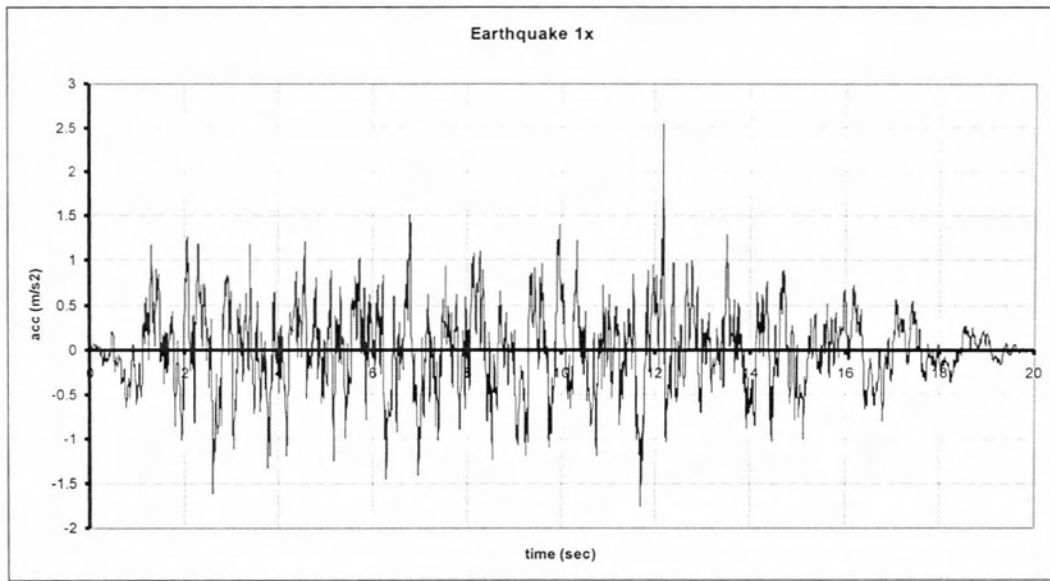


Για την διαμήκη (εφαπτομενική) διεύθυνση έχουμε

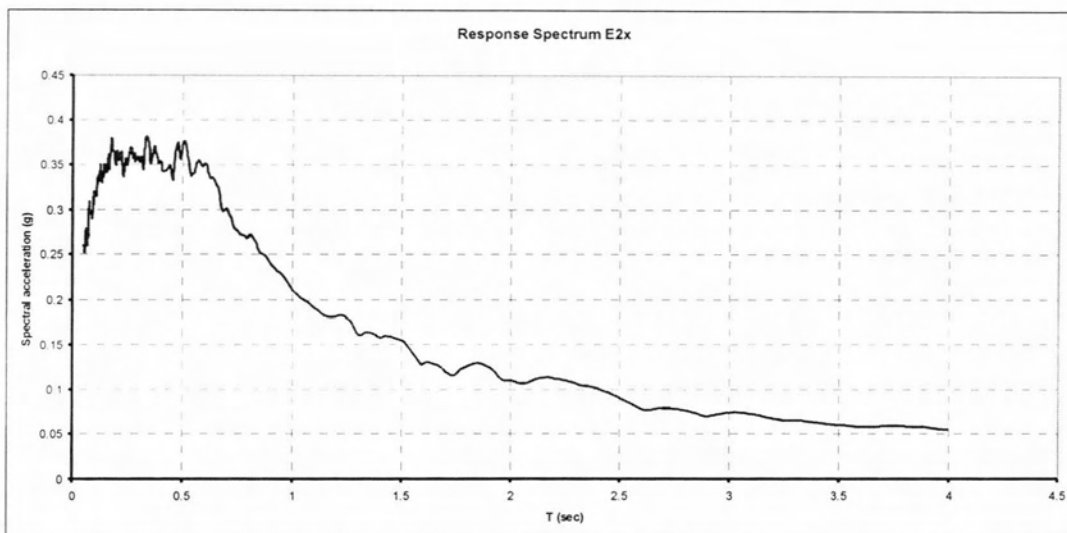
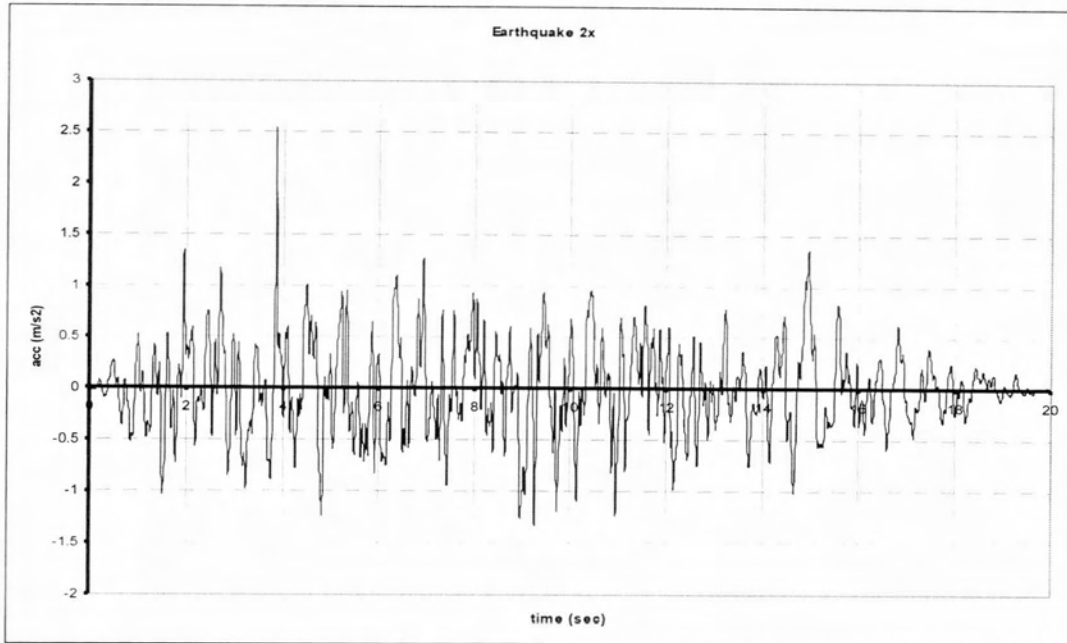
$\alpha$	0.16
$\gamma$	1.3
$\eta$	0.84
$\beta_0$	2.50
$T_1$	0.15
$T_2$	0.6
$q$	1.00
$g$	9.81



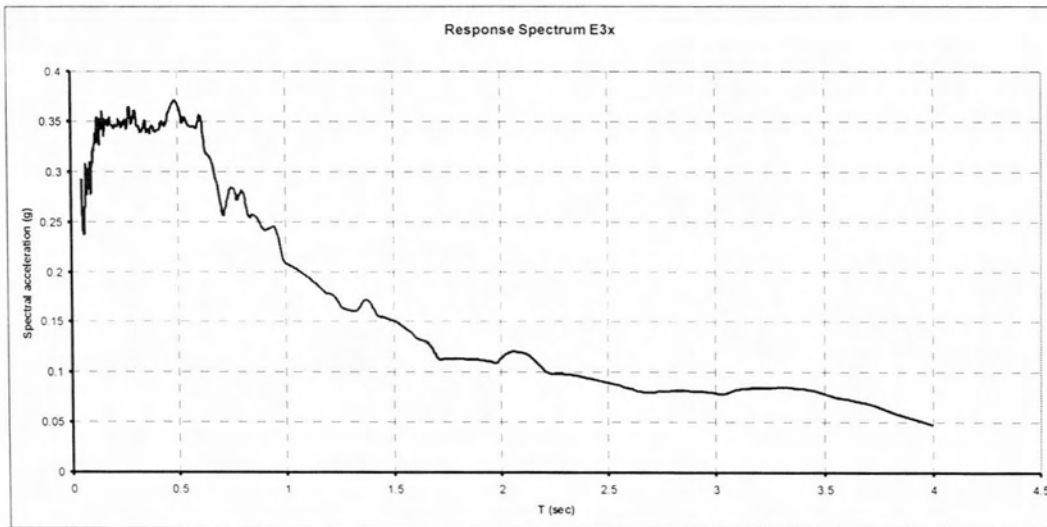
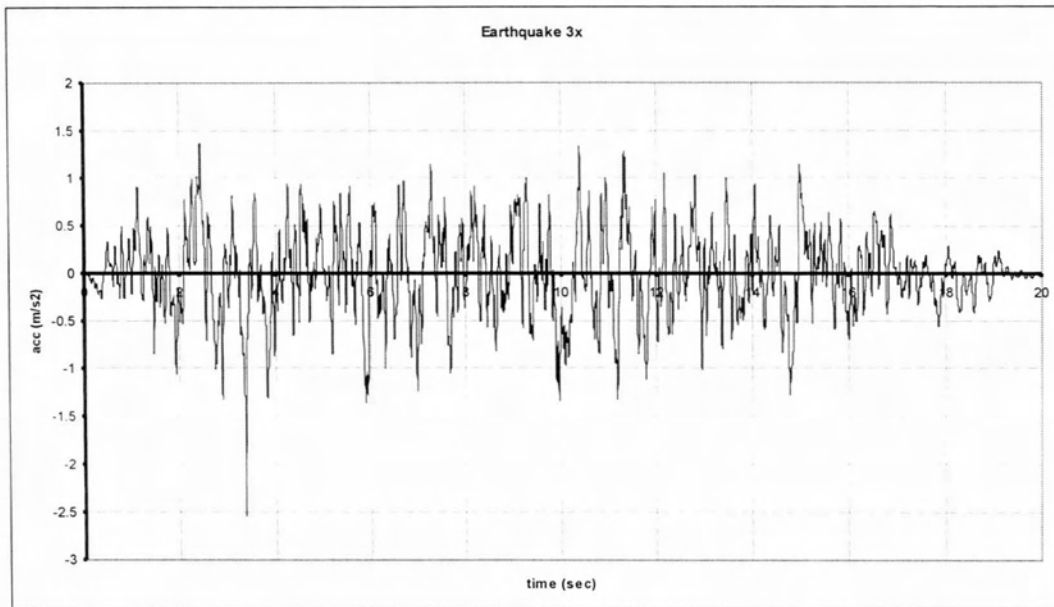
Σχήμα 6.2.2 ΕΑΚ Y ελαστικό φάσμα απόκρισης για απόσβεση 5%



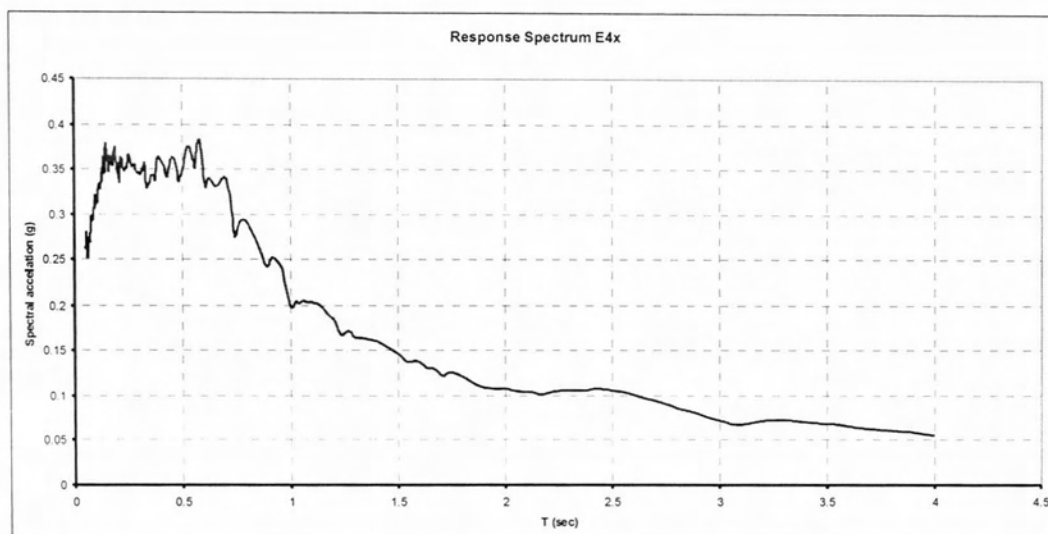
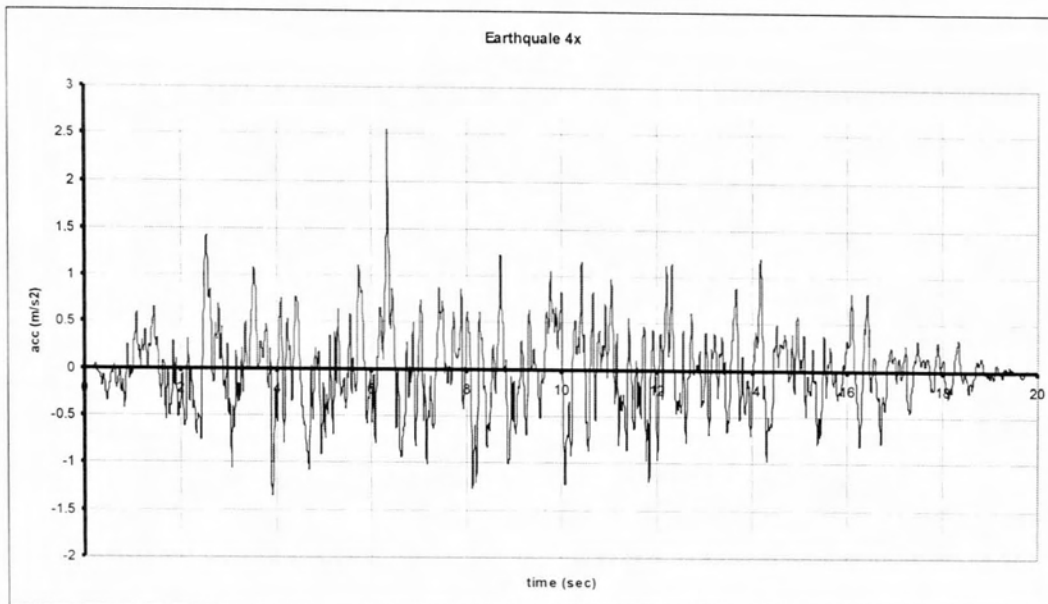
Σχήμα 6.2.3 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E1x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



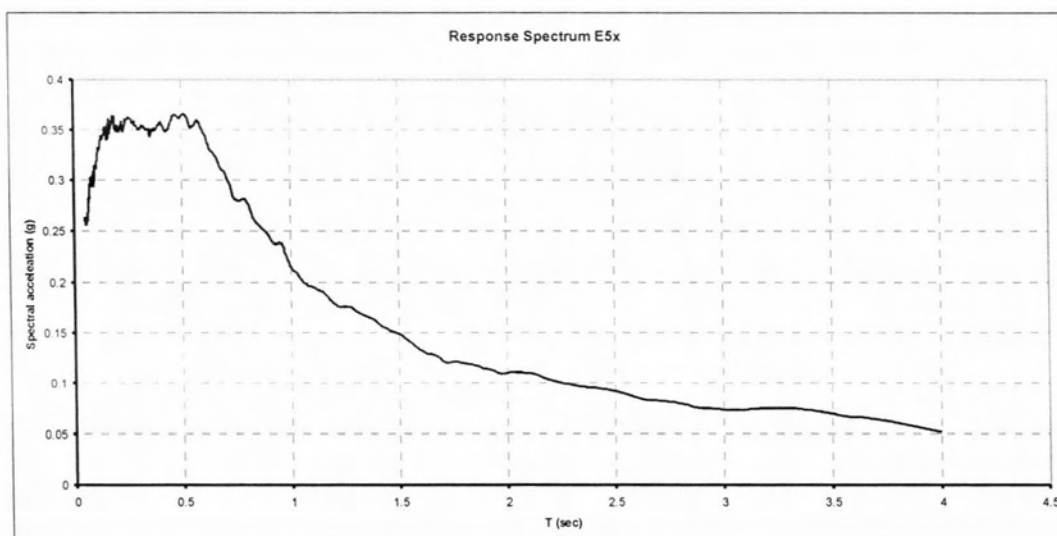
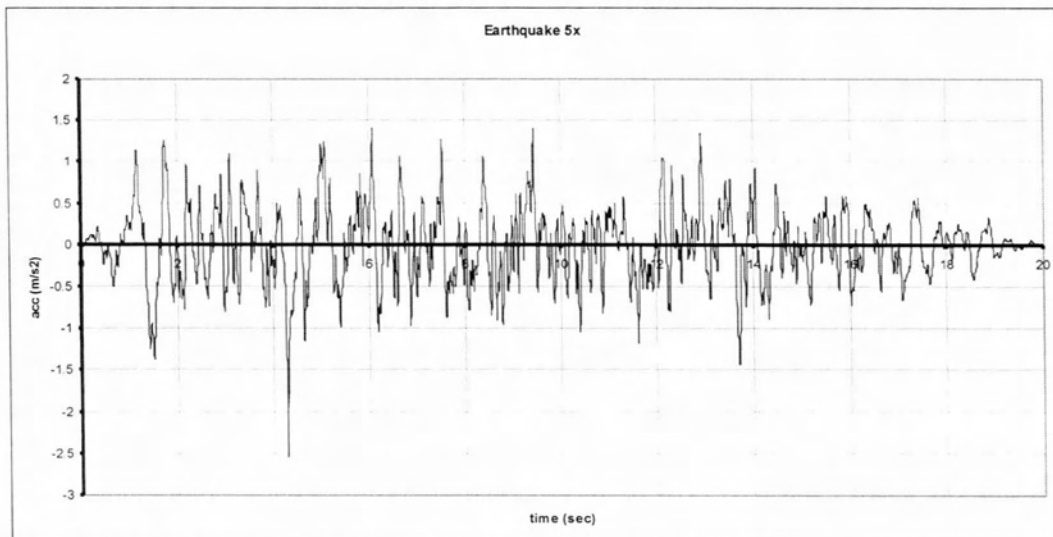
Σχήμα 6.2.4 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E2x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



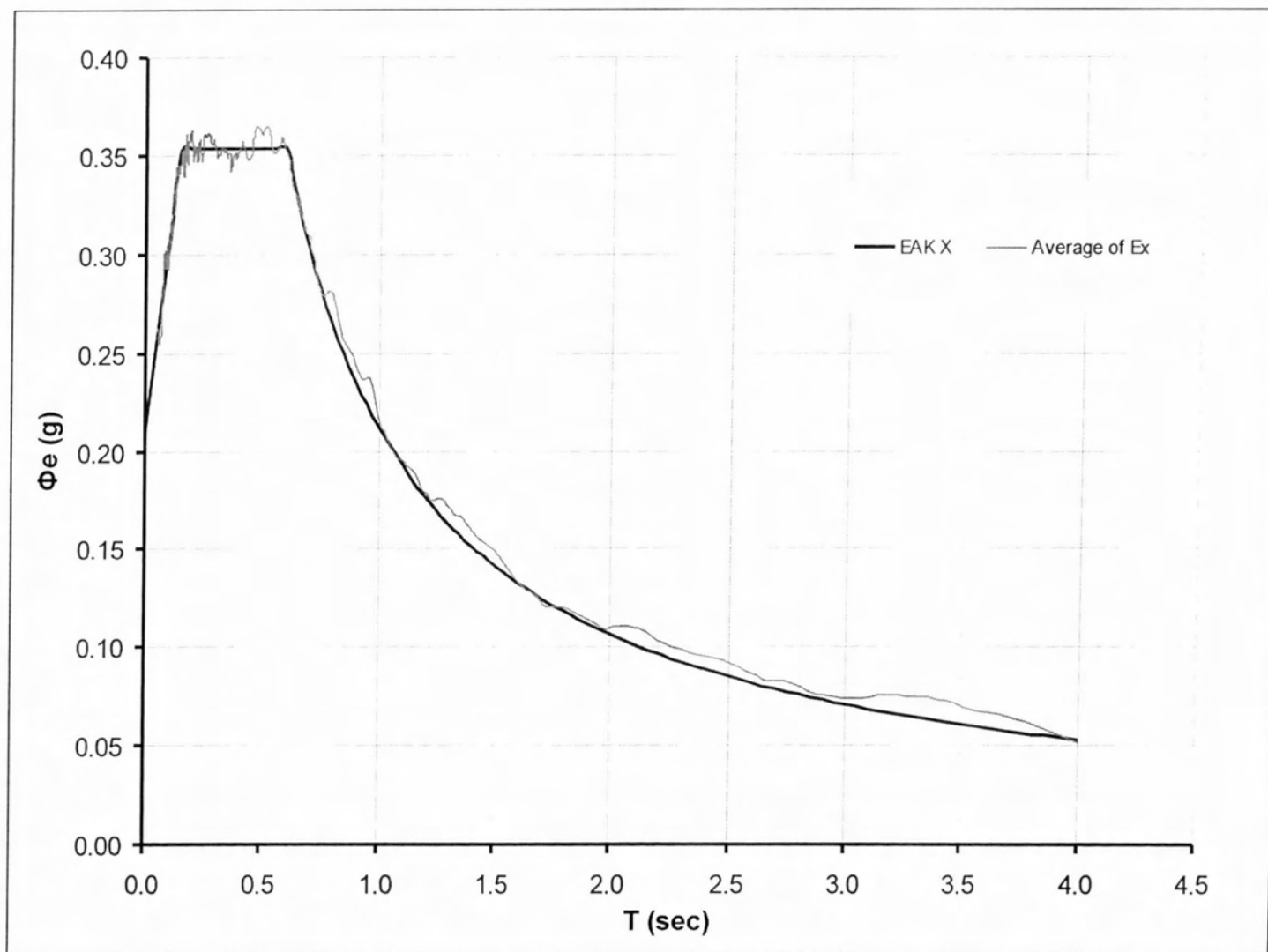
Σχήμα 6.2.5 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E3x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



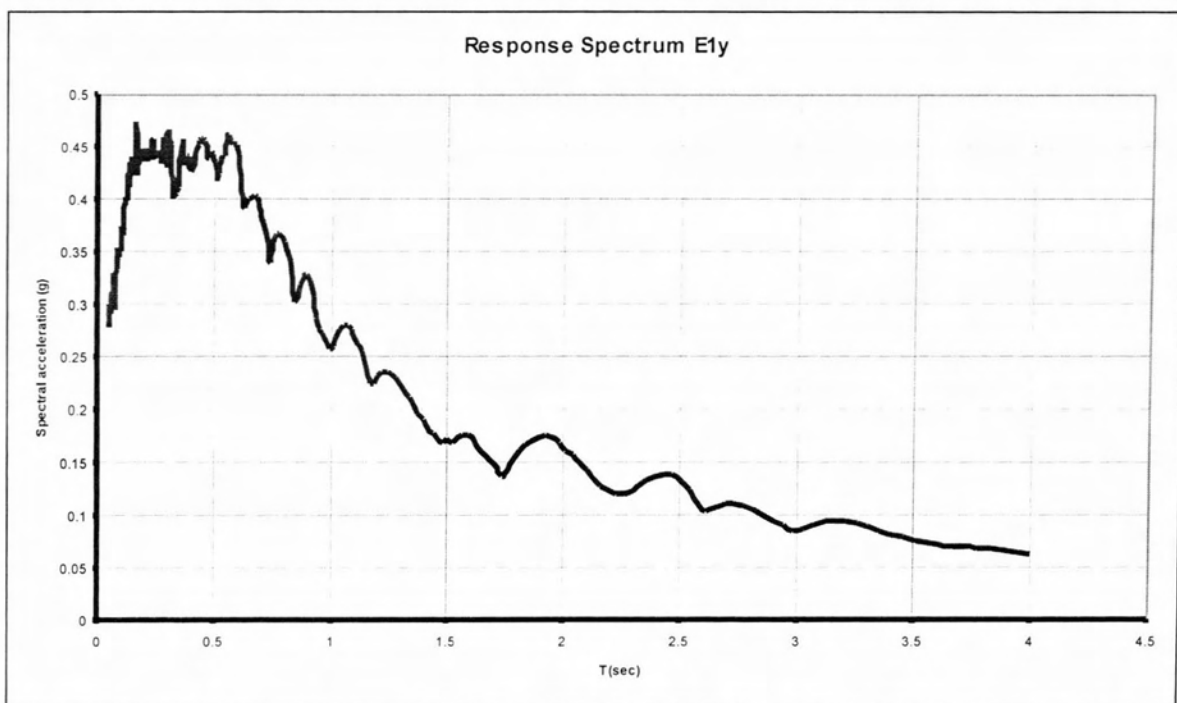
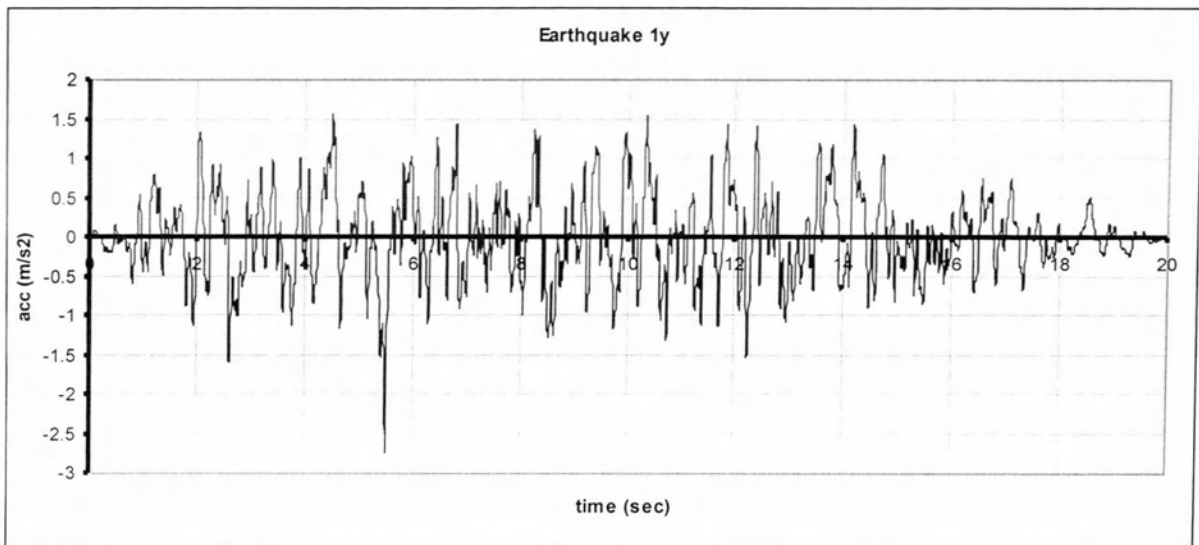
Σχήμα 6.2.6 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E4x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



Σχήμα 6.2.7 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E5x και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%

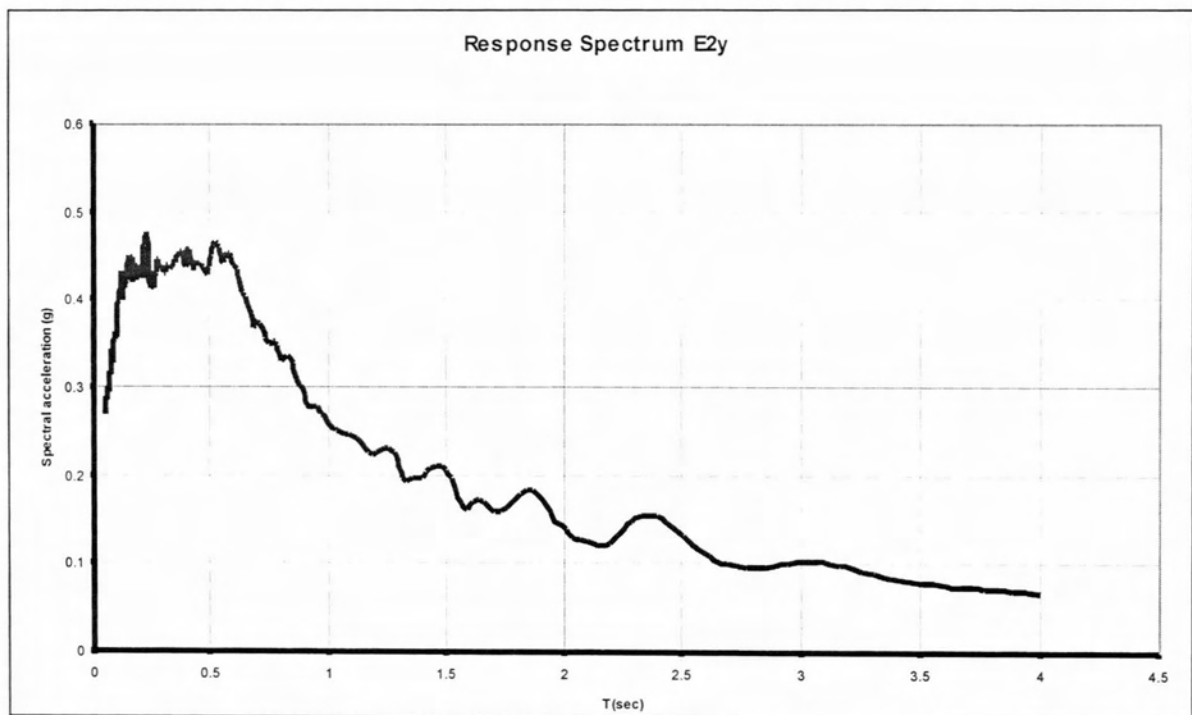
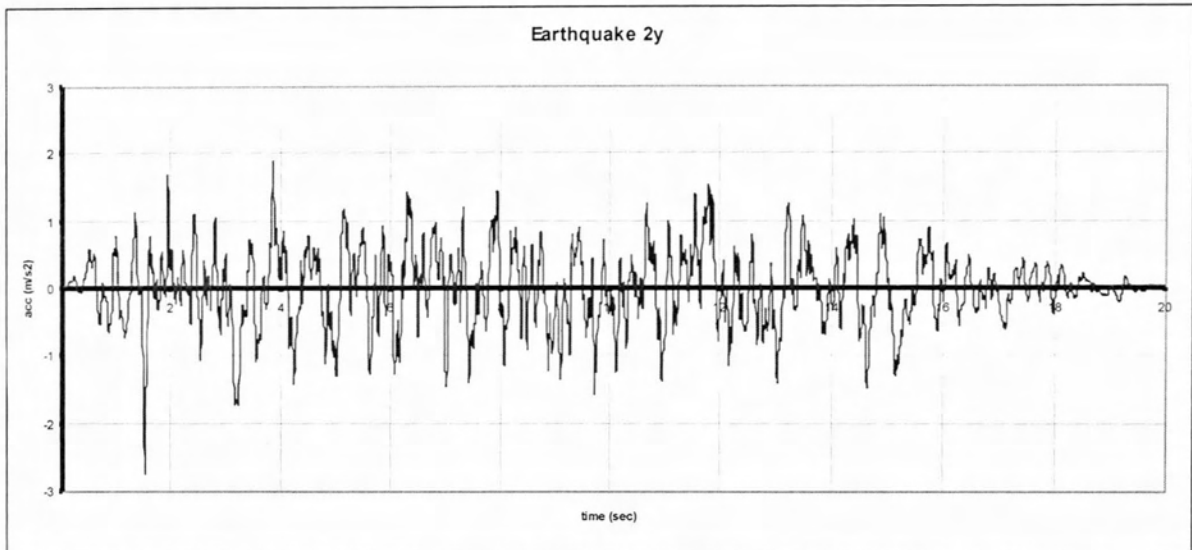


Σχήμα 6.2.8 Μέσος όρος ελαστικών φασμάτων απόκρισης για τα 5 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα κατά xx (σύγκριση με φάσμα σχεδιασμού)

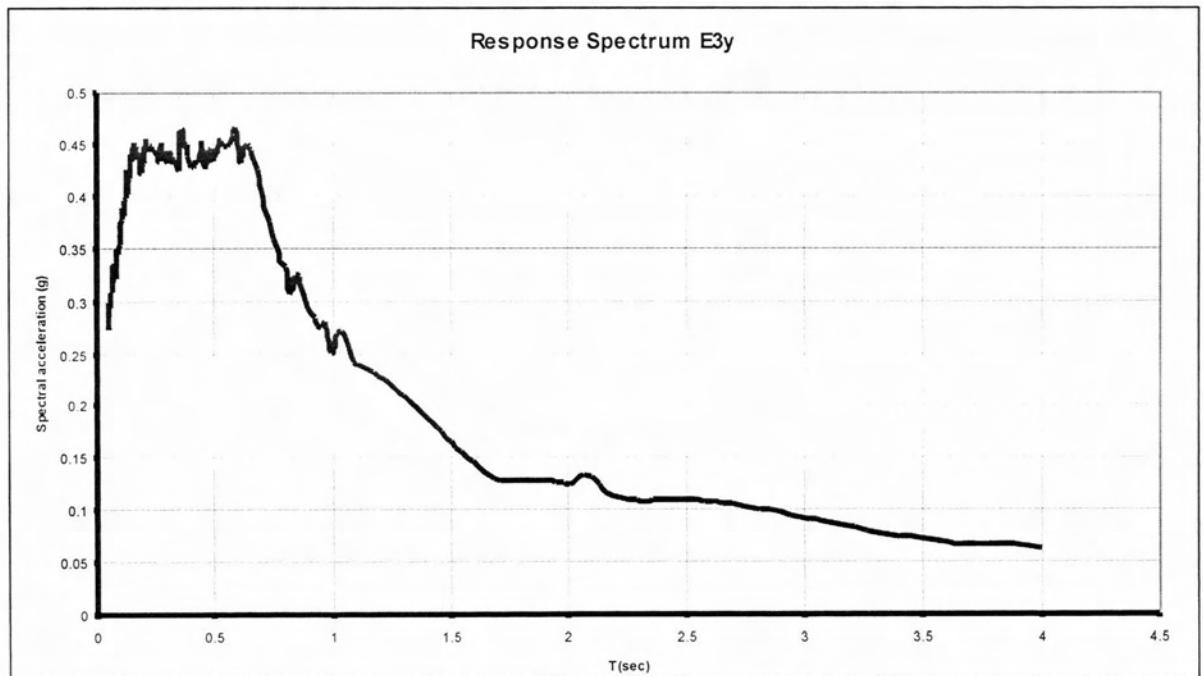
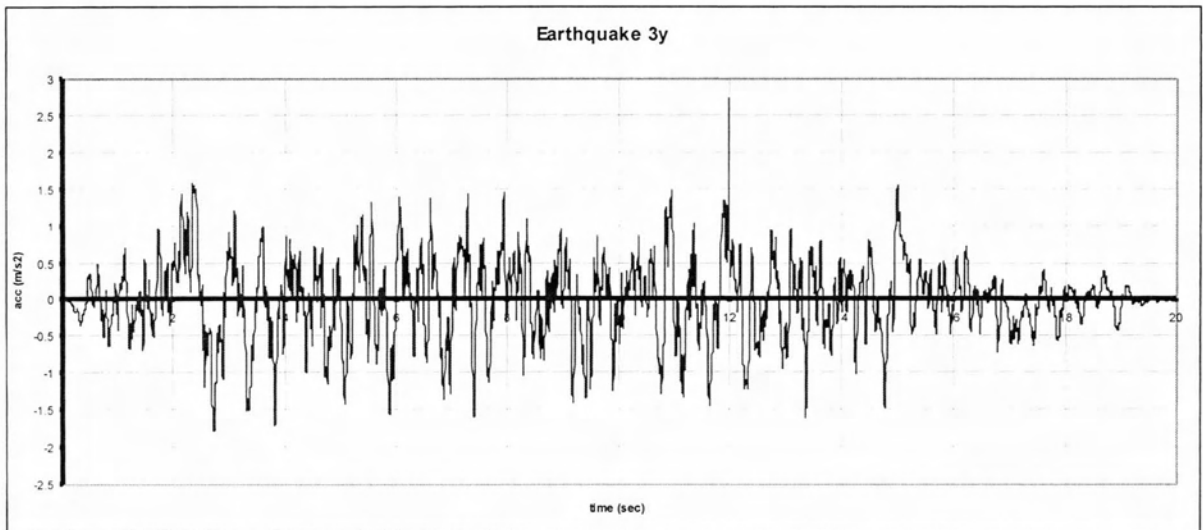


Σχήμα 6.2.9 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E1y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%

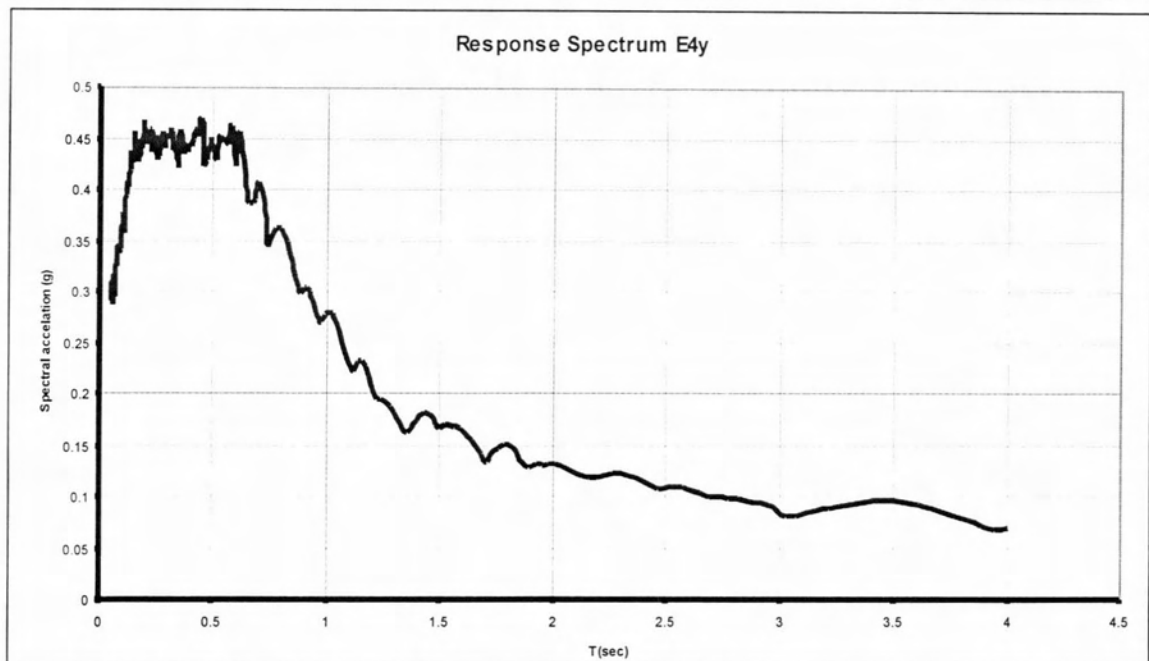
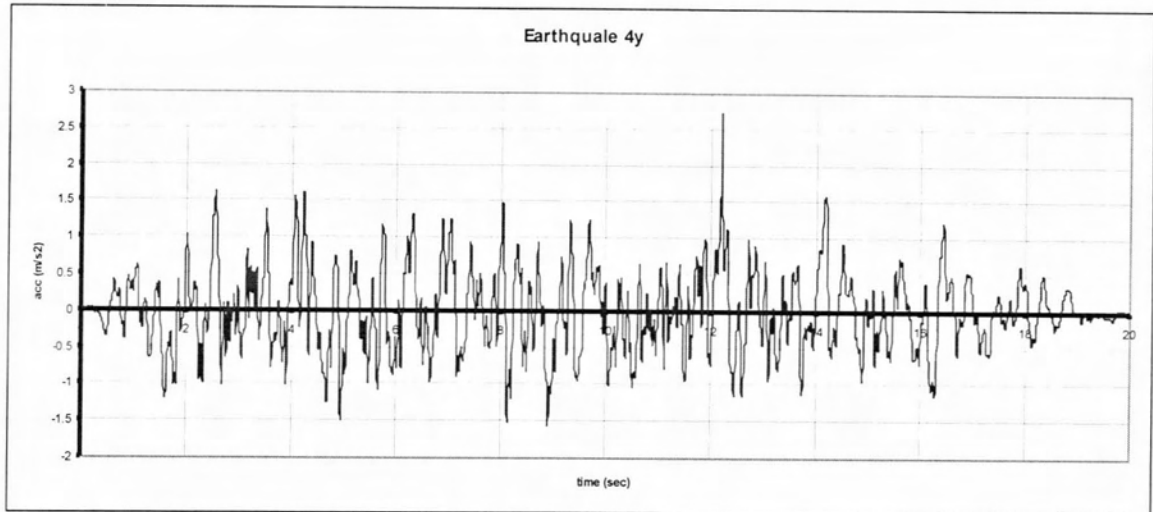




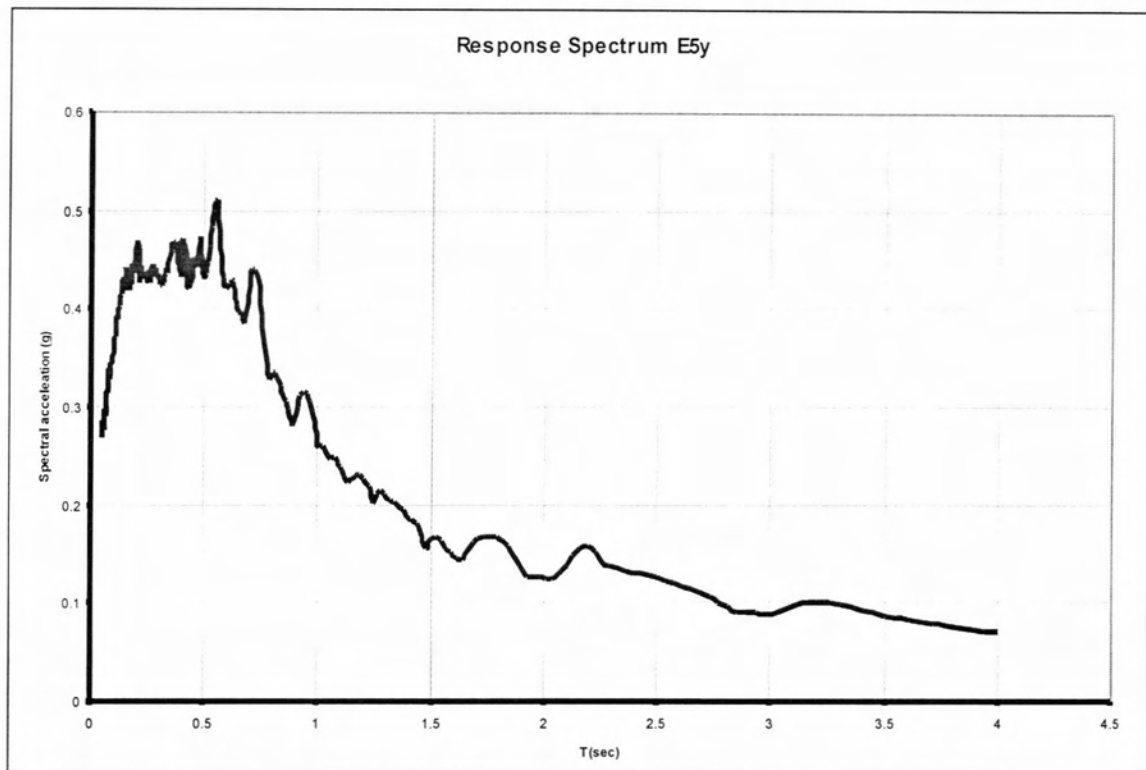
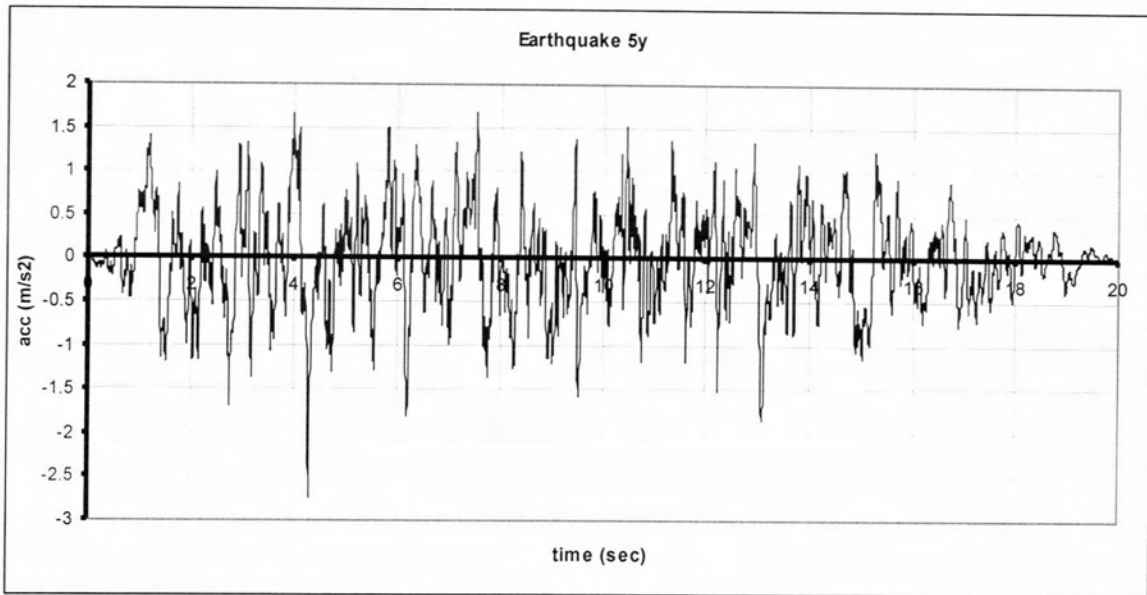
Σχήμα 6.2.10 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E2y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



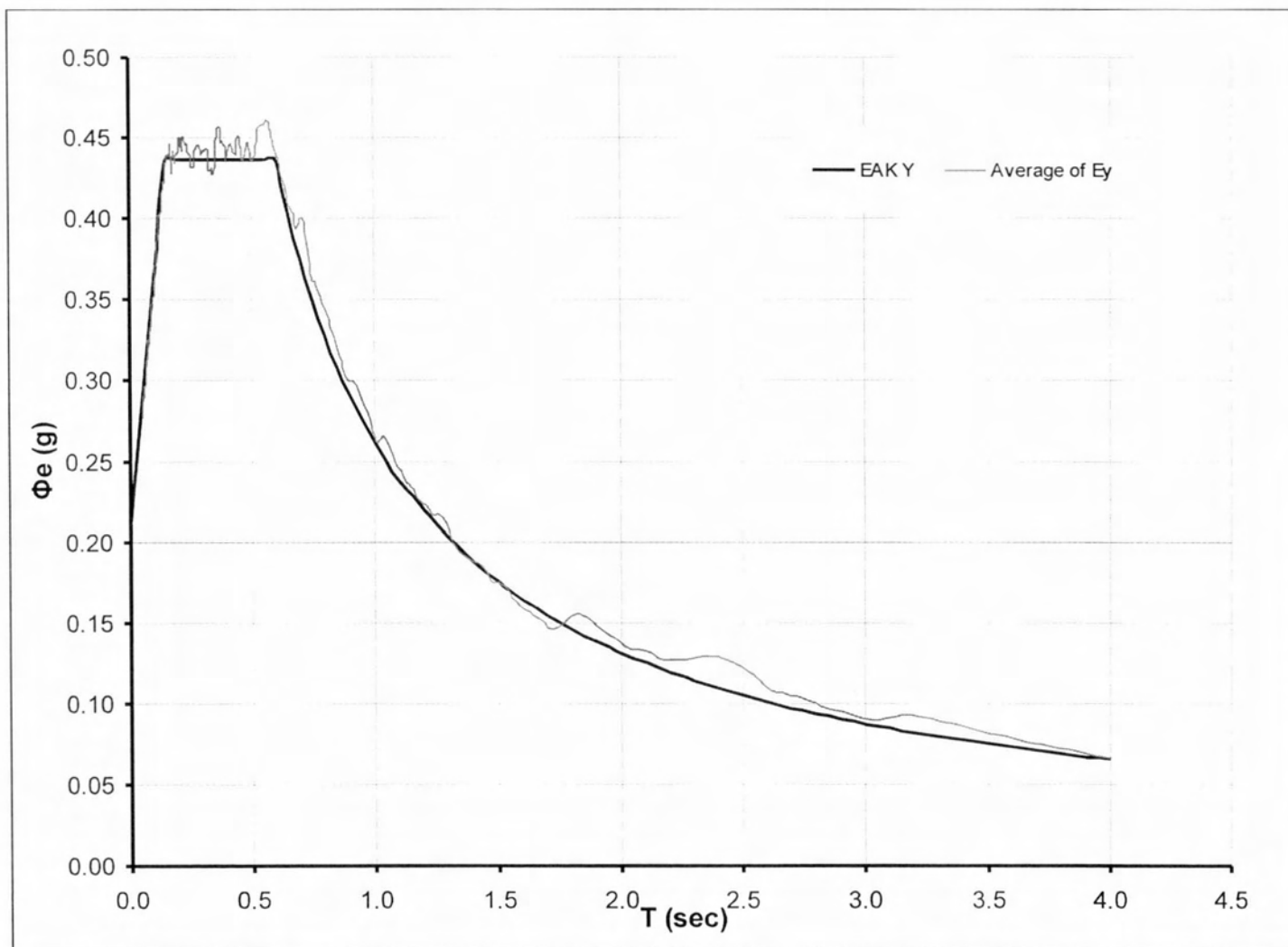
Σχήμα 6.2.11 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E3y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



Σχήμα 6.2.12 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E4y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



Σχήμα 6.2.13 Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα E5y και ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%



Σχήμα 6.2.14 Μέσος όρος ελαστικών φασμάτων απόκρισης για τα 5 τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα κατά γγ (σύγκριση με φάσμα σχεδιασμού)



#### 6.4 Πραγματοποιούμενες αναλύσεις χρονοϊστορίας

Πραγματοποιούνται συνολικά 44 ανελαστικές δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστορίας. Σε κάθε μία γίνεται απευθείας ολοκλήρωση της εξίσωσης κίνησης με την αριθμητική μέθοδο **Newmark** και παραμέτρους **Gamma = 0.50** και **Beta = 0.25**.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι αναλύσεις που γίνονται για την περίπτωση όπου αγνοούνται τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής. Ακριβώς οι ίδιες γίνονται και για την περίπτωση που αυτά λαμβάνονται υπόψη.

<b>α/α</b>	<b>Ανάλυση</b>	<b>Περιγραφή</b>
a	<b>Modal</b>	Ιδιομορφική
b	<b>Dead</b>	Ίδιο βάρος
c	<b>SD</b>	Πρόσθετα μόνιμα
d	<b>Live</b>	Φορτία κυκλοφ.
1	<b>AEx_1</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
2	<b>AEx_2</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
3	<b>AEx_3</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
4	<b>AEx_4</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
5	<b>AEx_5</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
6	<b>AEy_1</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
7	<b>AEy_2</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
8	<b>AEy_3</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
9	<b>AEy_4</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
10	<b>AEy_5</b>	Τεχνητό επιταχυσ.
11	<b>ImpValley_x</b>	Φυσική καταγραφή
12	<b>Ducze_x</b>	Φυσική καταγραφή
13	<b>ChiChi_x</b>	Φυσική καταγραφή
14	<b>Friuli_x</b>	Φυσική καταγραφή
15	<b>Kobe_x</b>	Φυσική καταγραφή
16	<b>Tabas_x</b>	Φυσική καταγραφή
17	<b>ImpValley_y</b>	Φυσική καταγραφή
18	<b>Ducze_y</b>	Φυσική καταγραφή
19	<b>ChiChi_y</b>	Φυσική καταγραφή
20	<b>Friuli_y</b>	Φυσική καταγραφή
21	<b>Kobe_y</b>	Φυσική καταγραφή
22	<b>Tabas_y</b>	Φυσική καταγραφή

Πίνακας 6.4 Πραγματοποιούμενες αναλύσεις χρονοϊστορίας

**Κεφάλαιο 7**  
**Αναλύσεις χωρίς**  
**αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής**

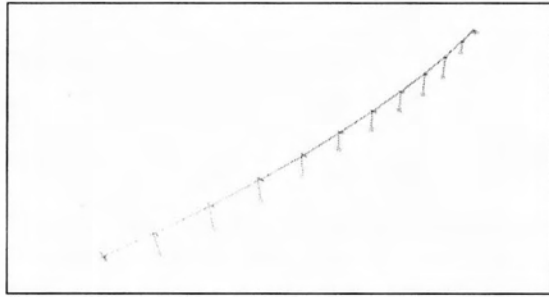


## 7.1 Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

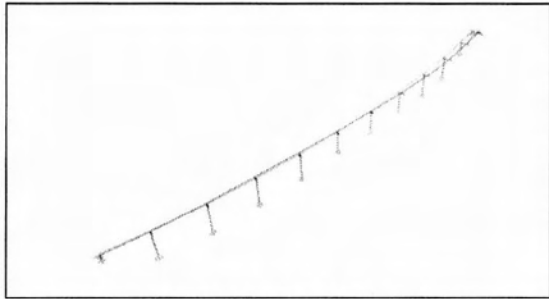
Για την αναγνώριση των δυναμικών χαρακτηριστικών της γέφυρας πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση όπου προέκυψαν οι ακόλουθες ιδιομορφές.

Modal Participating Mass Ratios													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	2.08	0.00072	0.56479	3.1E-09	0.00072	0.56479	3.1E-09	0.00096	9.84E-07	0.2502	0.00096	9.84E-07	0.2502
2	1.93	0.03713	0.17978	1.69E-06	0.03785	0.74457	1.7E-06	0.00263	6.96E-05	0.42066	0.00359	7.05E-05	0.67086
3	1.64	0.00055	0.03904	4.22E-06	0.0384	0.78361	5.91E-06	0.00038	7.77E-09	0.05356	0.00397	7.06E-05	0.72442
4	1.28	0.005	0.01462	9.54E-06	0.0434	0.79823	1.55E-05	0.00026	4.18E-06	0.02923	0.00423	7.47E-05	0.75365
5	0.96	0.02998	0.00093	3.97E-06	0.07338	0.79917	1.94E-05	8.83E-06	3.24E-06	0.00036	0.00424	7.8E-05	0.75401
6	0.69	0.04049	0.00159	1.33E-06	0.11386	0.80076	2.08E-05	2.37E-05	8.72E-07	0.00035	0.00426	7.88E-05	0.75436
7	0.53	0.141	0.00162	1.11E-05	0.25487	0.80239	3.19E-05	5.01E-05	3.27E-05	0.01245	0.00431	0.00011	0.76682
8	0.44	0.35615	0.00407	0.00013	0.61102	0.80646	0.00016	0.0003	0.00012	0.03189	0.00461	0.00023	0.79871
9	0.39	4.11E-05	3.53E-07	2.53E-05	0.61106	0.80646	0.00018	2.7E-05	3.5E-05	3.89E-06	0.00464	0.00026	0.79872
10	0.38	0.03938	0.00039	2.91E-05	0.65044	0.80685	0.00021	4.33E-05	5.6E-05	0.00448	0.00468	0.00032	0.80319
11	0.36	0.05012	0.00053	3.69E-05	0.70057	0.80738	0.00025	5.73E-05	4.41E-07	0.00507	0.00474	0.00032	0.80826
12	0.35	0.01552	0.0003	3.43E-09	0.71609	0.80769	0.00025	3.02E-07	4.14E-06	0.00374	0.00474	0.00033	0.81201
13	0.34	0.00067	2.16E-05	0.00029	0.71676	0.80771	0.00054	0.00031	0.0004	2.73E-05	0.00505	0.00072	0.81203
14	0.31	0.0041	2.14E-05	6.99E-06	0.72086	0.80773	0.00054	7.48E-06	0.00019	0.00049	0.00505	0.00091	0.81252
15	0.30	0.01483	0.00035	1.16E-06	0.73569	0.80808	0.00055	3.74E-06	1.54E-05	0.00086	0.00506	0.00093	0.81338
16	0.30	0.01406	0.00044	1.06E-10	0.74975	0.80851	0.00055	8.22E-07	5.68E-06	0.00362	0.00506	0.00093	0.817
17	0.28	4.5E-05	2.94E-05	0.00077	0.74979	0.80854	0.00131	0.00079	0.00141	0.00011	0.00585	0.00234	0.81711
18	0.26	0.01327	0.00026	6.19E-09	0.76306	0.80881	0.00131	1.07E-06	1.11E-05	0.00083	0.00585	0.00235	0.81794
19	0.26	0.01221	0.00018	3.61E-05	0.77527	0.80898	0.00135	4.43E-05	7.68E-05	0.00313	0.00589	0.00243	0.82107
20	0.26	0.00256	0.00011	7.81E-07	0.77784	0.80909	0.00135	3.87E-06	0.00145	0.00012	0.0059	0.00388	0.82119
21	0.25	0.00351	0.00025	0.00013	0.78135	0.80934	0.00148	0.00017	1.17E-05	0.00165	0.00607	0.00389	0.82285
22	0.25	0.00677	0.00021	0.00021	0.78812	0.80955	0.00169	0.00032	0.00011	0.00017	0.00639	0.004	0.82302
23	0.24	2.19E-07	5.49E-05	0.00208	0.78812	0.8096	0.00377	0.00197	0.0041	0.00016	0.00836	0.0081	0.82318
24	0.24	0.00883	6.12E-05	0.00058	0.79695	0.80967	0.00436	0.00055	0.00055	0.0009	0.00892	0.00865	0.82408
25	0.22	0.00025	0.00021	0.03449	0.7972	0.80988	0.03885	0.0395	0.01039	0.00103	0.04841	0.01904	0.8251
26	0.22	0.00069	4.43E-05	0.00041	0.79789	0.80992	0.03926	0.00081	0.01036	1.41E-05	0.04922	0.0294	0.82512
27	0.21	0.00032	1.92E-06	0.44907	0.7982	0.80992	0.48833	0.42518	0.42088	2.43E-06	0.47441	0.45028	0.82512
28	0.20	1.51E-05	3.36E-05	0.0315	0.79822	0.80996	0.51983	0.03282	0.00815	2.47E-06	0.50722	0.45843	0.82512
29	0.19	0.00027	0.0002	0.00059	0.79848	0.81016	0.52042	0.00064	0.0384	0.00046	0.50786	0.49682	0.82559
30	0.19	0.00905	2.96E-05	0.0006	0.80753	0.81019	0.52102	0.00066	0.00068	0.00107	0.50851	0.49751	0.82666
31	0.19	0.00826	7.25E-06	0.00036	0.81579	0.8102	0.52138	0.00039	2.95E-05	0.00113	0.5089	0.49754	0.82779
32	0.18	0.00032	0.02521	0.00137	0.81611	0.83541	0.52275	0.00115	0.00269	0.00549	0.51005	0.50023	0.83328
33	0.17	0.00031	0.00044	0.07767	0.81642	0.83585	0.60042	0.08684	0.08624	7.99E-05	0.5969	0.58648	0.83336
34	0.17	2.77E-05	0.00059	0.0425	0.81645	0.83643	0.64292	0.04767	0.05245	0.00069	0.64456	0.63893	0.83405
35	0.16	0.00777	4.41E-06	1.34E-05	0.82422	0.83644	0.64294	1.36E-05	1.4E-08	0.00134	0.64457	0.63893	0.83539
36	0.15	6.49E-05	0.01313	6.63E-05	0.82428	0.84957	0.643	7.13E-05	2.74E-05	0.00646	0.64465	0.63896	0.84185
37	0.15	0.00061	0.01374	2.84E-05	0.82489	0.86332	0.64303	0.0001	6.28E-08	0.00172	0.64475	0.63896	0.84357
38	0.15	0.00374	0.00024	0.00017	0.82863	0.86355	0.6432	0.00024	0.00145	0.00066	0.64499	0.64041	0.84423
39	0.14	6.78E-05	0.00578	1.31E-05	0.8287	0.86934	0.64321	3.07E-06	1.02E-07	0.00467	0.64499	0.64041	0.84889
40	0.14	0.00049	0.0255	9.89E-05	0.82919	0.89484	0.64331	4.55E-06	0.0002	0.03856	0.64499	0.64061	0.88745
41	0.13	0.04653	0.00061	1.27E-06	0.87572	0.89545	0.64331	2.83E-06	0.00482	0.00389	0.645	0.64543	0.89135
42	0.13	0.00099	0.00031	7.44E-07	0.8767	0.89576	0.64331	9.01E-07	9.4E-05	0.00197	0.645	0.64553	0.89331
43	0.12	0.00619	0.00015	3.55E-07	0.88289	0.89591	0.64331	2.44E-06	0.00046	0.00047	0.645	0.64598	0.89378
44	0.11	0.00048	3.4E-05	0.0004	0.88337	0.89595	0.64372	0.00047	0.00059	5.18E-06	0.64547	0.64657	0.89379
45	0.11	1.26E-05	0.02129	1.94E-05	0.88338	0.91724	0.64374	1.72E-07	1.73E-05	0.01948	0.64547	0.64659	0.91327
46	0.11	5.48E-06	4.16E-06	5.22E-07	0.88339	0.91724	0.64374	2E-08	0.00173	9.53E-06	0.64547	0.64832	0.91328
47	0.10	2.1E-07	9.88E-07	0.00037	0.88339	0.91724	0.6441	0.00018	0.00036	1.15E-05	0.64565	0.64868	0.91329
48	0.10	1.38E-05	4.39E-05	0.00199	0.8834	0.91729	0.6461	0.0025	0.00223	0.00029	0.64815	0.6509	0.91357
49	0.10	5.15E-07	0.00028	0.00052	0.8834	0.91757	0.64662	0.00064	0.00071	0.00014	0.64879	0.65162	0.91372
50	0.10	2.72E-05	2.93E-05	0.00135	0.88343	0.9176	0.64797	0.00157	0.00053	0.00011	0.65036	0.65215	0.91383
51	0.10	8.25E-05	3.64E-05	0.0002	0.88351	0.91764	0.64817	0.00037	0.00025	1.78E-05	0.65073	0.6524	0.91385
52	0.10	1.72E-05	4.84E-06	8.77E-05	0.88353	0.91764	0.64825	0.00012	0.00022	4.17E-06	0.65084	0.65262	0.91385
53	0.10	1.99E-05	4.76E-05	0.00047	0.88355	0.91769	0.64872	0.00059	0.00035	0.00014	0.65143	0.65297	0.91399
54	0.10	5.41E-06	2.12E-06	9.31E-06	0.88355	0.91769	0.64873	2.8E-05	2.39E-05	1.8E-06	0.65146	0.65299	0.91399
55	0.09	2.64E-07	1.24E-05	0.00014	0.88355	0.9177	0.64887	0.00019	0.00017	2.24E-05	0.65165	0.65316	0.91401
56	0.09	6.1E-07	4.24E-05	1.26E-05	0.88355	0.91775	0.64888	3.05E-05	3.57E-05	4.4E-05	0.65168	0.6532	0.91406
57	0.09	5.18E-07	4.53E-05	4.05E-05	0.88355	0.91779	0.64892	3.95E-05	3.49E-05	2.39E-05	0.65172	0.65323	0.91408
58	0.09	2.35E-06	0.00624	5.54E-07	0.88356	0.92403	0.64892	3.01E-07	4.94E-07	0.00392	0.65172	0.65323	0.918
59	0.09	0.00086	8.02E-06	1.67E-05	0.88442	0.92404	0.64894	2.72E-05	0.00014	5.48E-05	0.65175	0.65338	0.91805
60	0.08	0.01356	0.00017	0.00022	0.89798	0.92421	0.64915	0.00019	0.00032	0.00124	0.65194	0.65369	0.91929
61	0.08	0.00033	1.82E-06	5.01E-06	0.89831	0.92422	0.64916	4.94E-06	3.36E-07	4.61E-05	0.65194	0.65369	0.91934
62	0.07	0.00116	4.18E-05	0.00311	0.89947	0.92426	0.65227	0.00335	0.00181	3.43E-05	0.65529	0.6555	0.91937
63	0.07	0.007	0.00022	2.18E-10	0.90647	0.92447	0.65227	1.69E-06	1.17E-05	0.00029	0.65529	0.65551	0.91967
64	0.07	2.67E-06	2.14E-07	4.01E-05	0.90647	0.92447	0.65231	3.88E-05	3.76E-07	1.6E-06	0.65533	0.65551	0.91967
65	0.07	0.00099	1.92E-05	0.00023	0.90746	0.92449	0.65253	0.00021	1.72E-06	0.00041	0.65554	0.65551	0.92007
66	0.07	2.82E-05	4.66E-07	8.3E-07	0.90749	0.92449	0.65253	8.82E-07	8.45E-05	4.37E-06	0.65554	0.6556	0.92008
67	0.06	0.00507	9.98E-05	3.5E-10	0.91256	0.92459	0.65253	1.4E-06	1.44E-05	0.00122	0.65554	0.65561	0.9213
68	0.06	8.5E-05	3.93E-05	0.00087	0.91264	0.92463	0.65341	0.0008	0.00014	0.00017	0.65634	0.65575	0.92147
69	0.06	2.84E-05	1.46E-06	0.04769	0.91267	0.92463	0.7011	0.04679	0.02424	7.92E-07	0.70313	0.68	0.92148
70	0.06	6.82E-05	4.33E-06	0.03315	0.91274	0.92464	0.73425	0.03381	0.00918	6.77E-08	0.73695	0.68918	0.92148

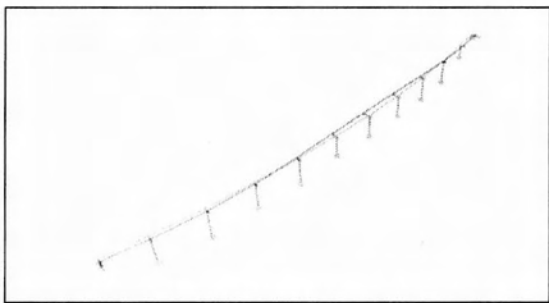
Πίνακας 7.1 Πίνακας ιδιομορφών



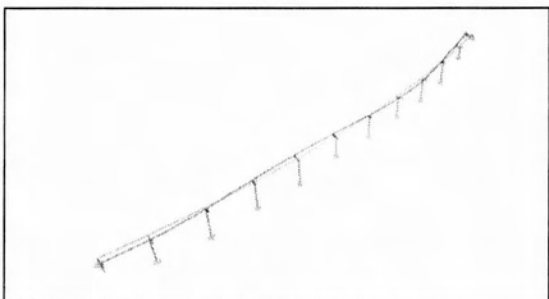
Mode 1  $T=2.08$  sec



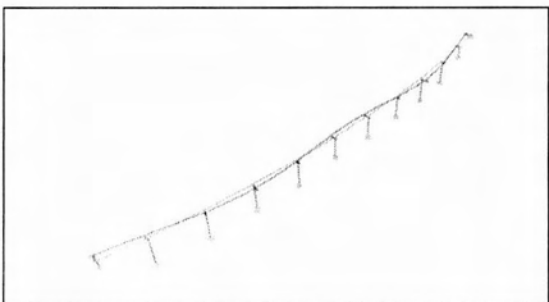
Mode 2  $T=1.93$  sec



Mode 3  $T=1.64$  sec



Mode 4  $T=1.28$  sec



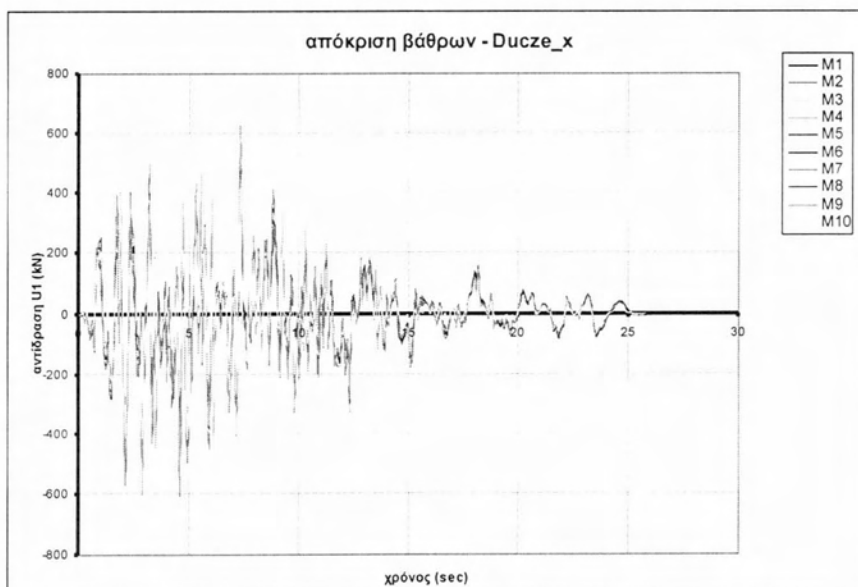
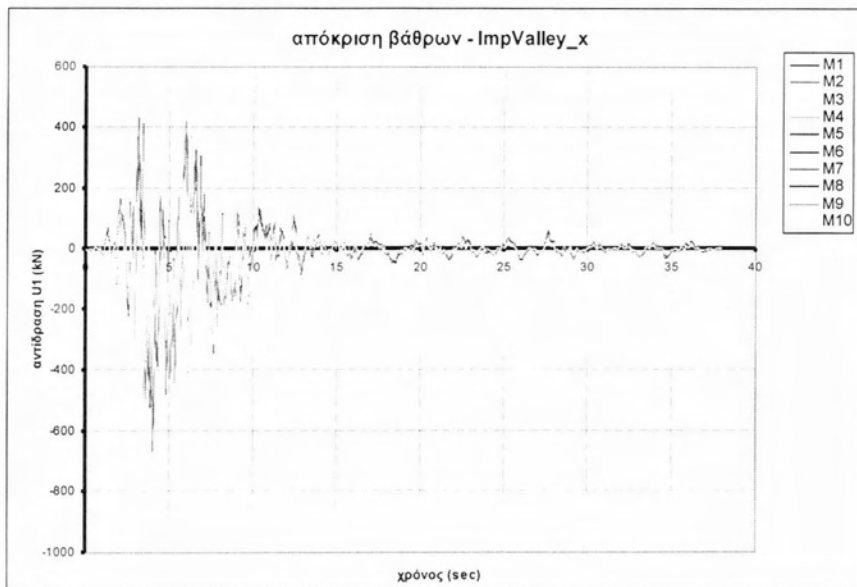
Mode 5  $T=0.96$  sec

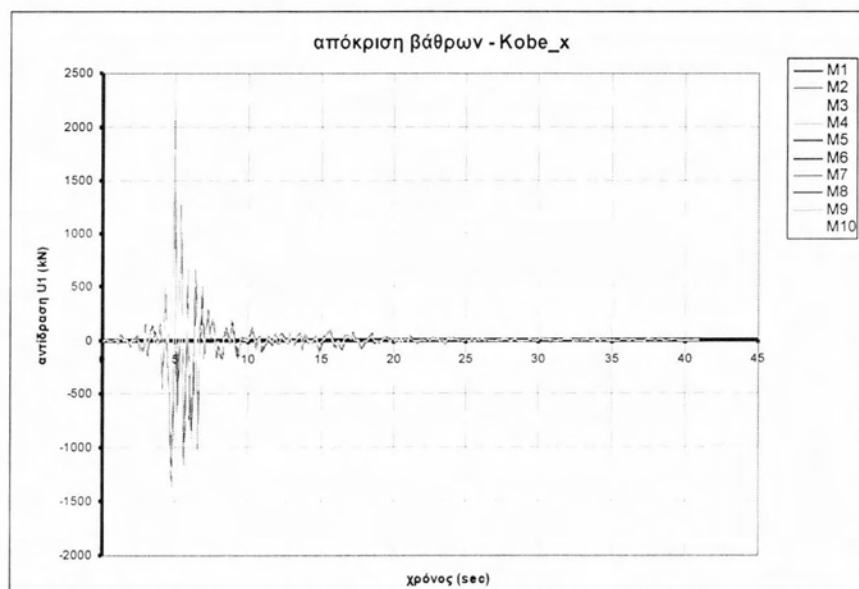
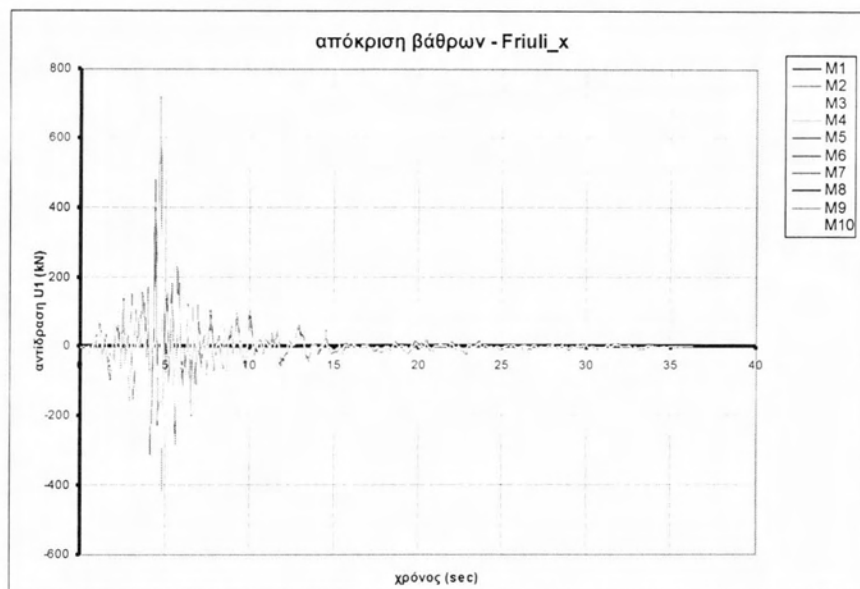
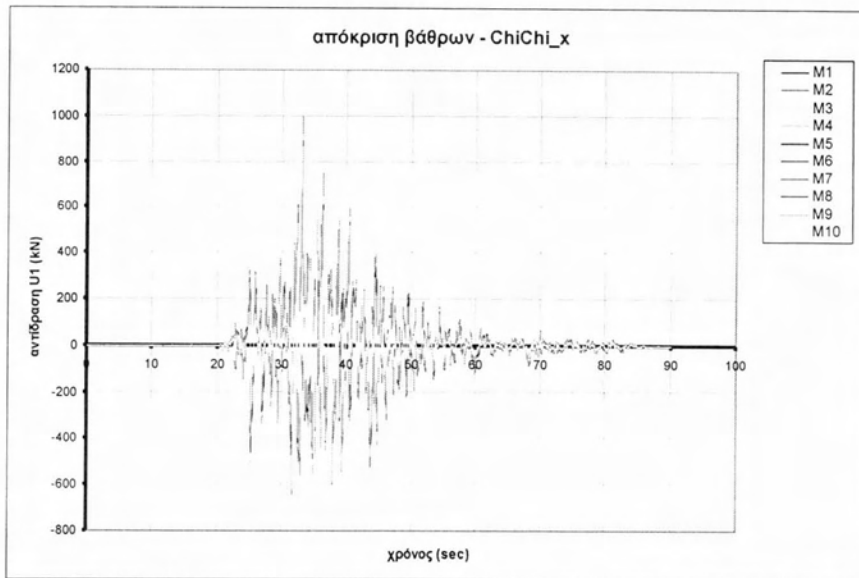
## 7.2 Απόκριση μεσοβάθρων

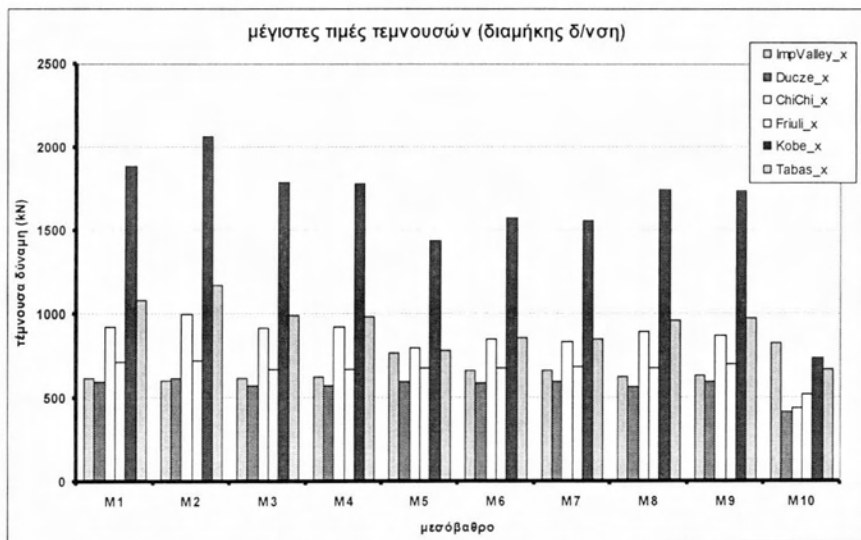
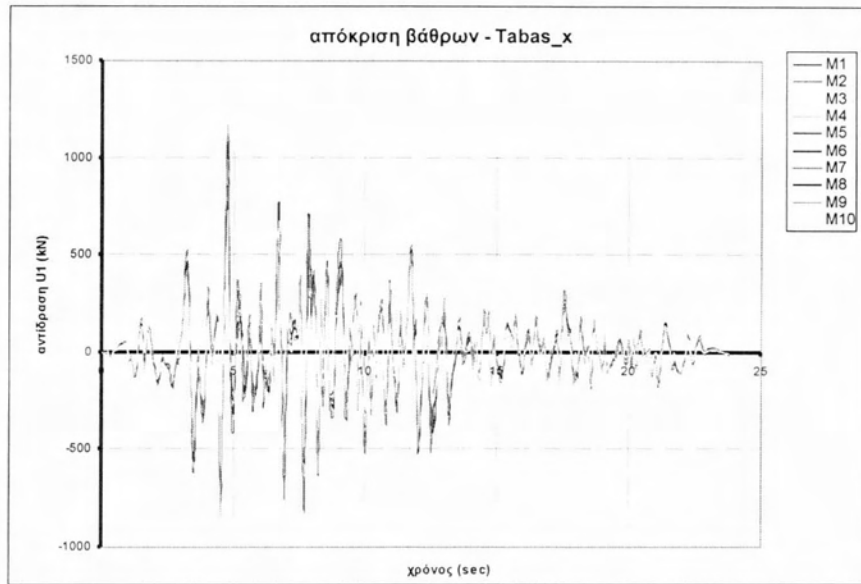
### (ΑΒ) Τέμνουσες δυνάμεις στη βάση των μεσοβάθρων

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της τέμνουσας δύναμης που αναπτύσσεται σε κάθε μεσόβαθρο ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Α.1) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

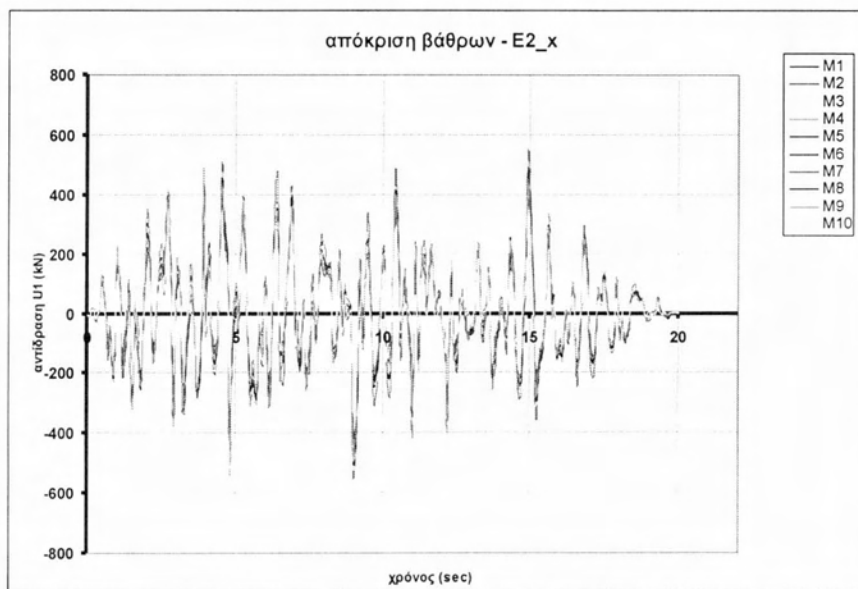
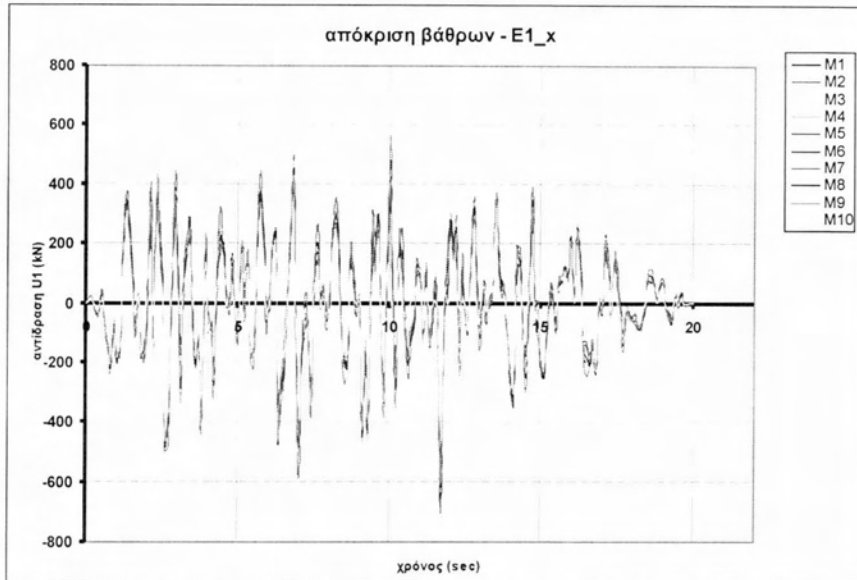


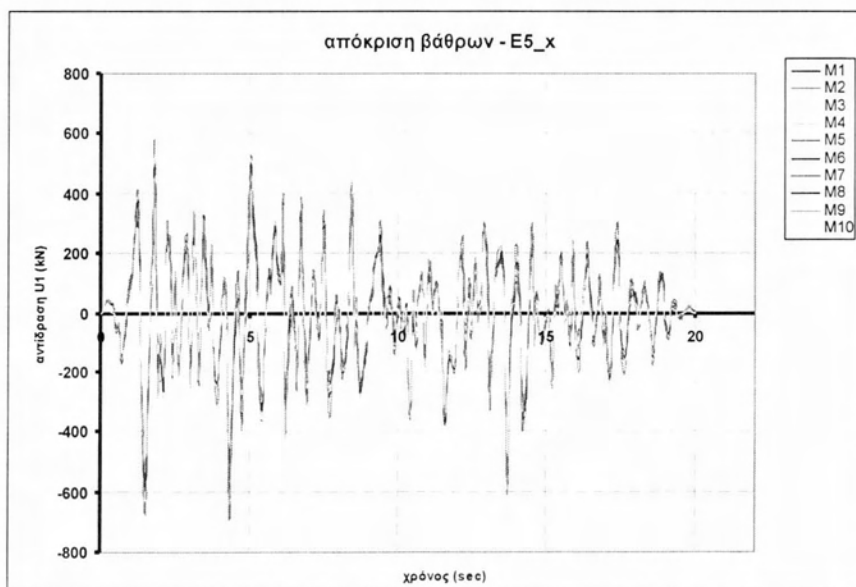
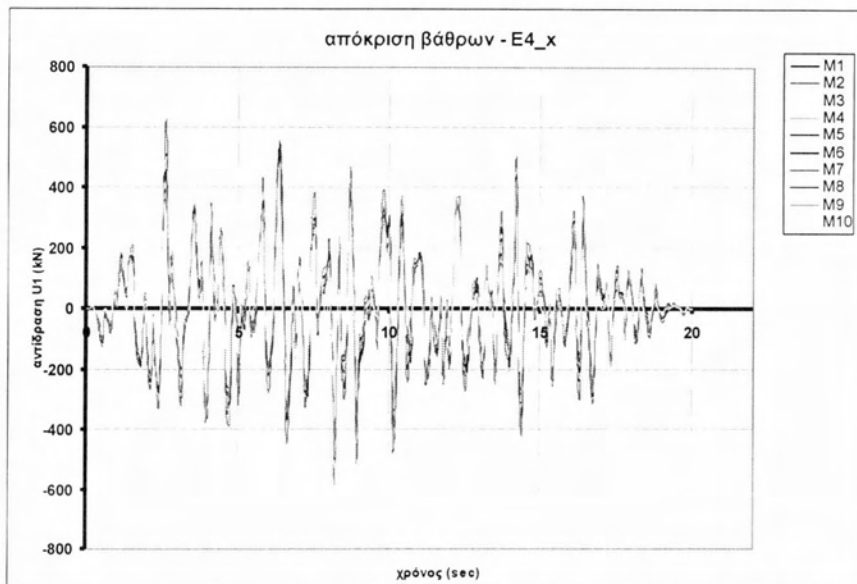
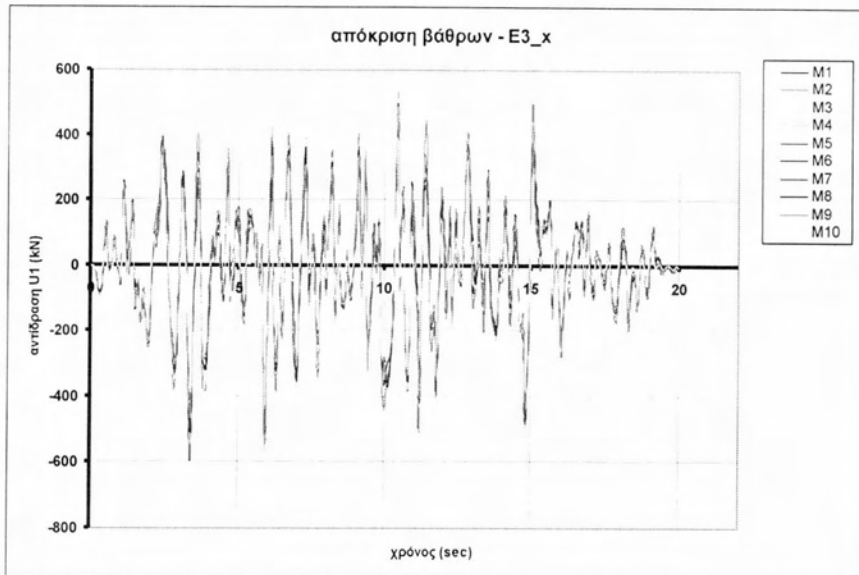


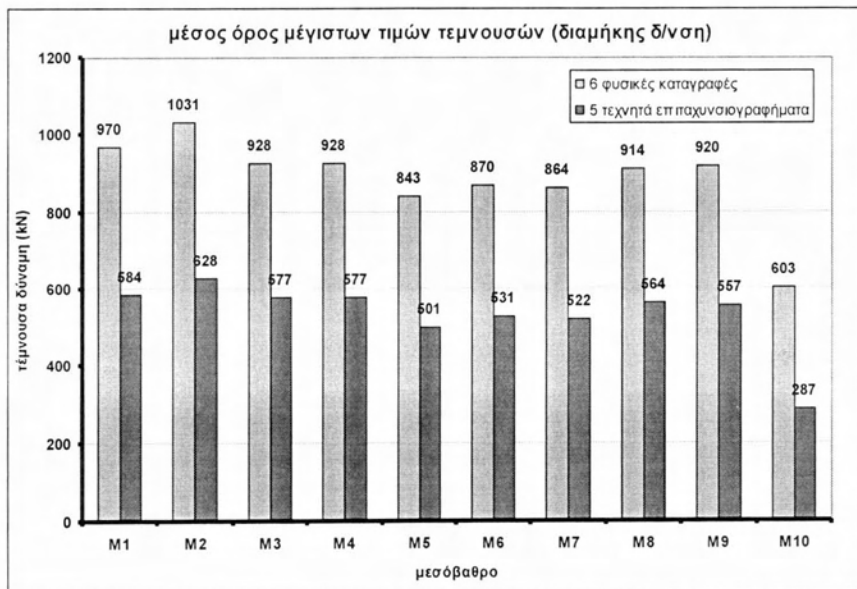
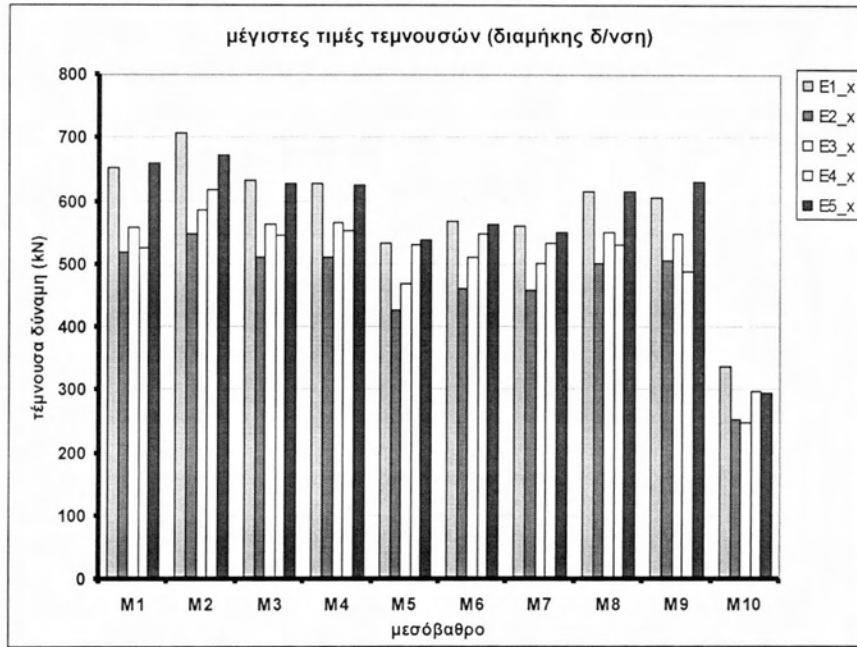


Διαγράμματα 7.2.1 Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(A.2) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**



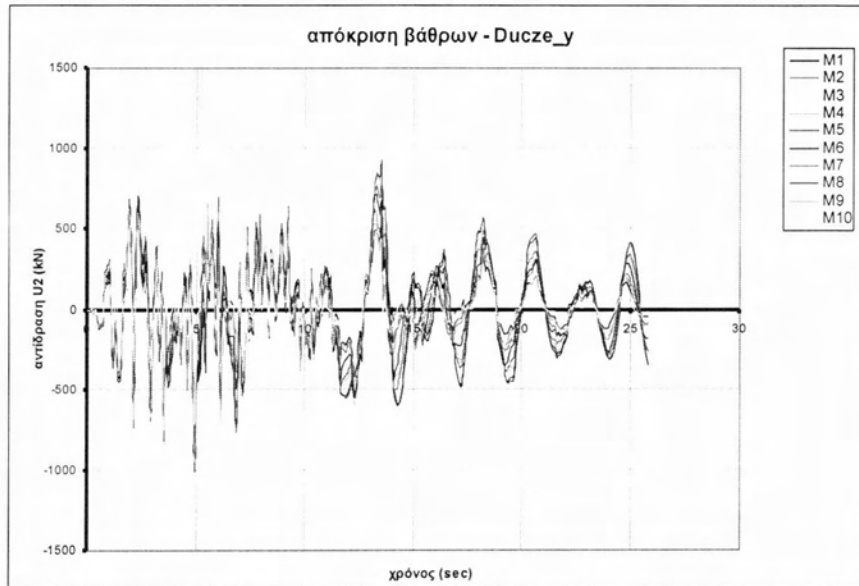
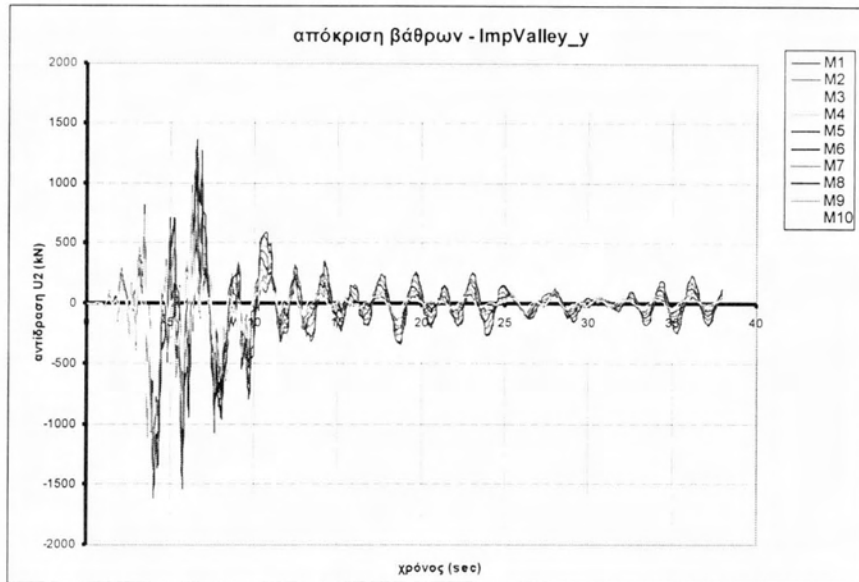


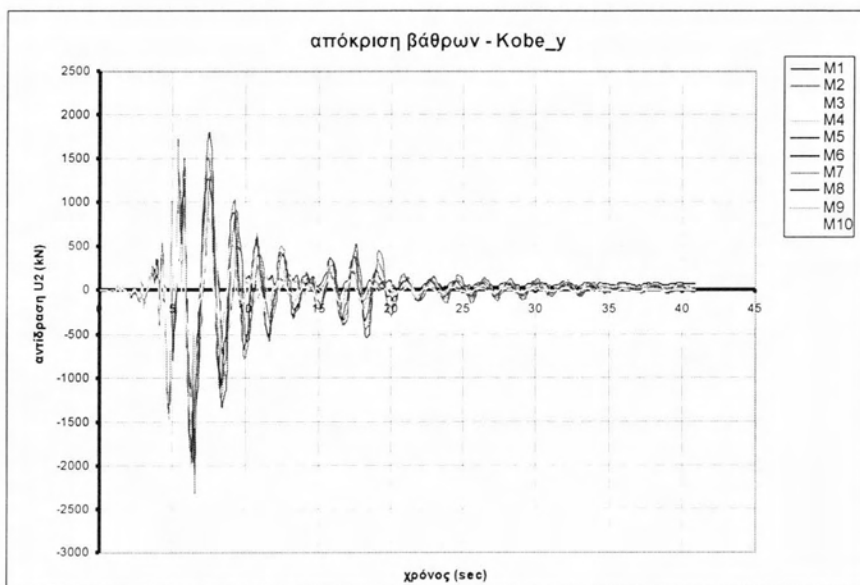
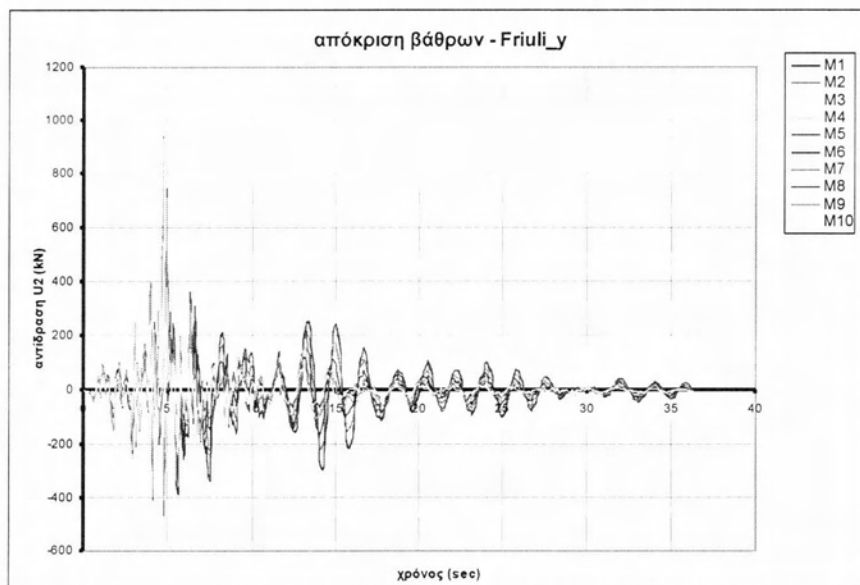
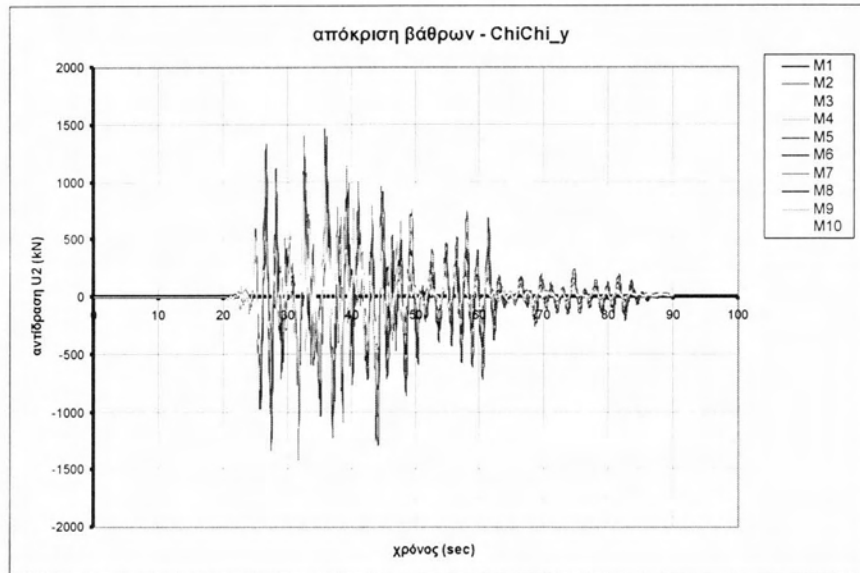


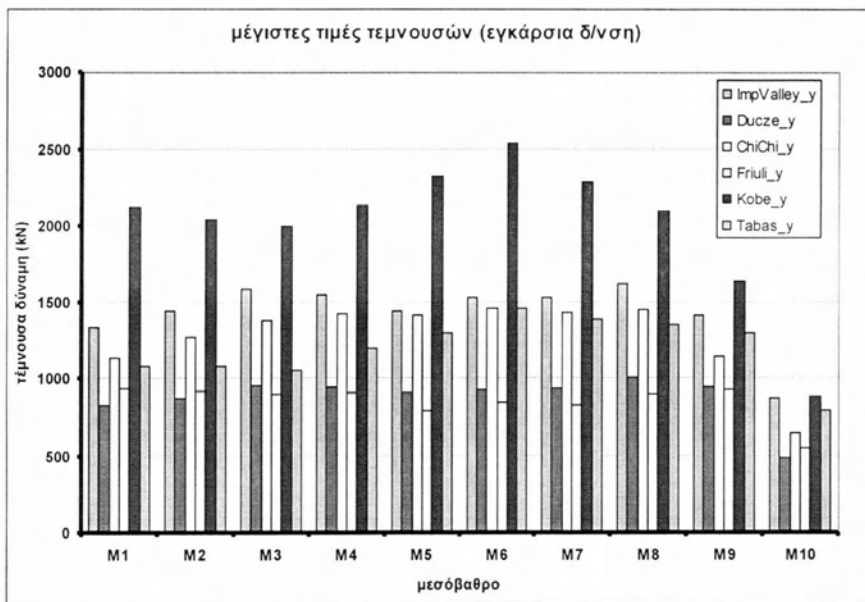
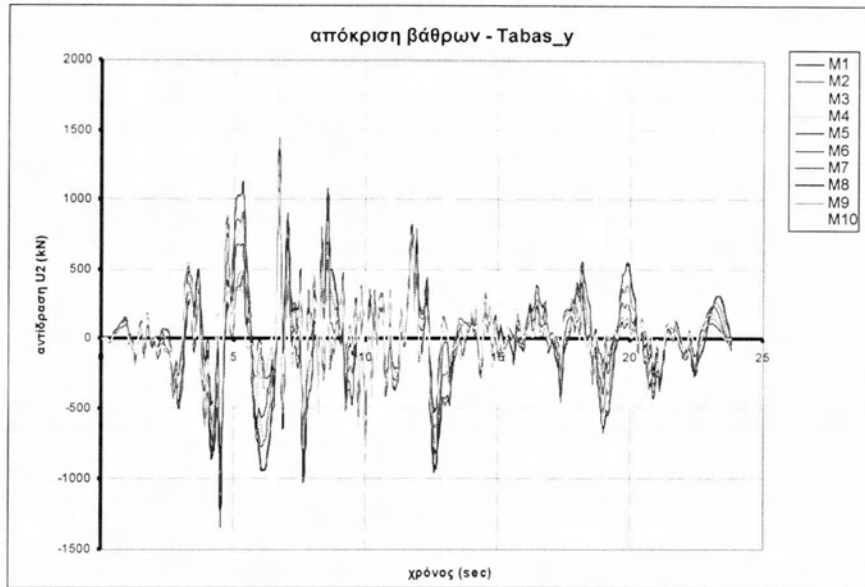
Διαγράμματα 7.2.2 Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα



**(B.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**

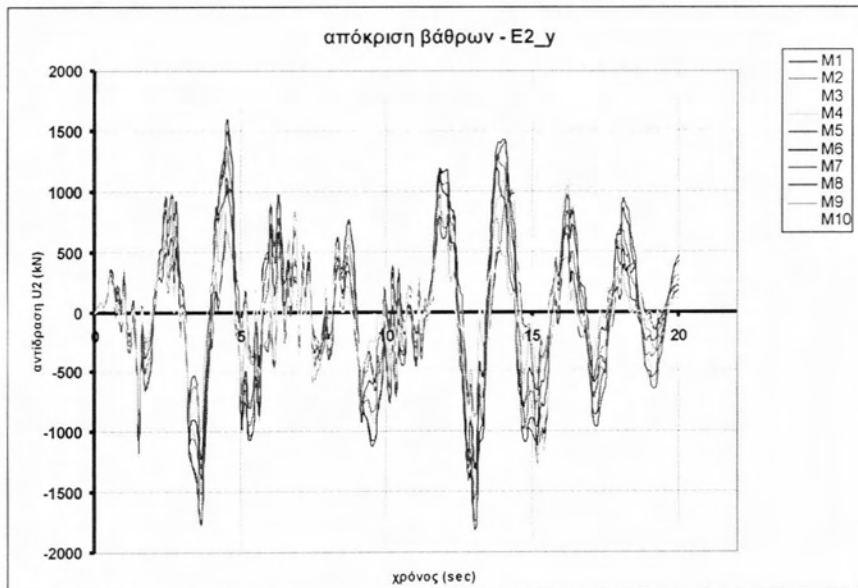
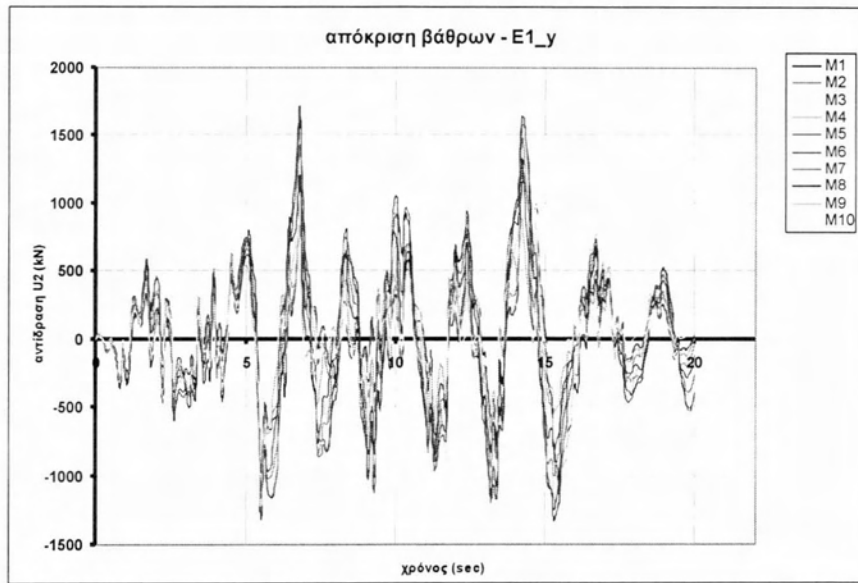


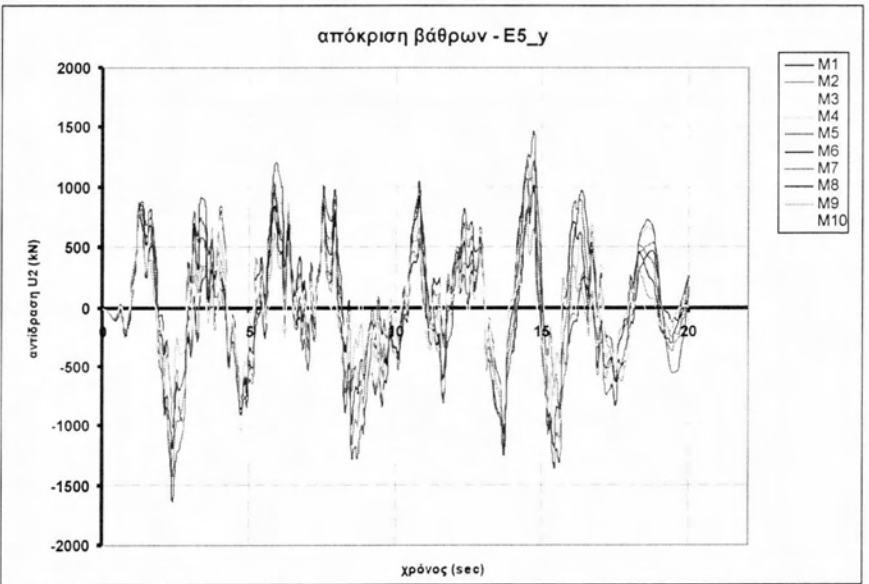
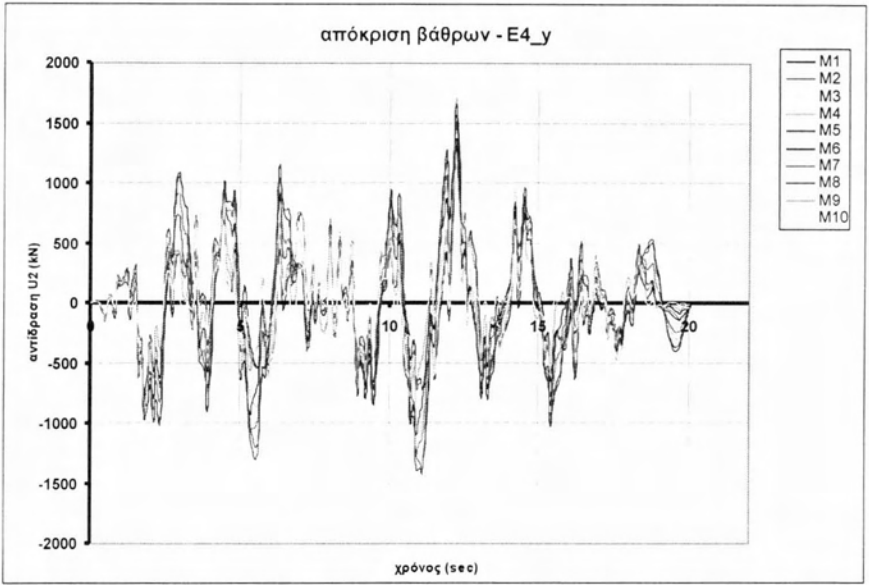
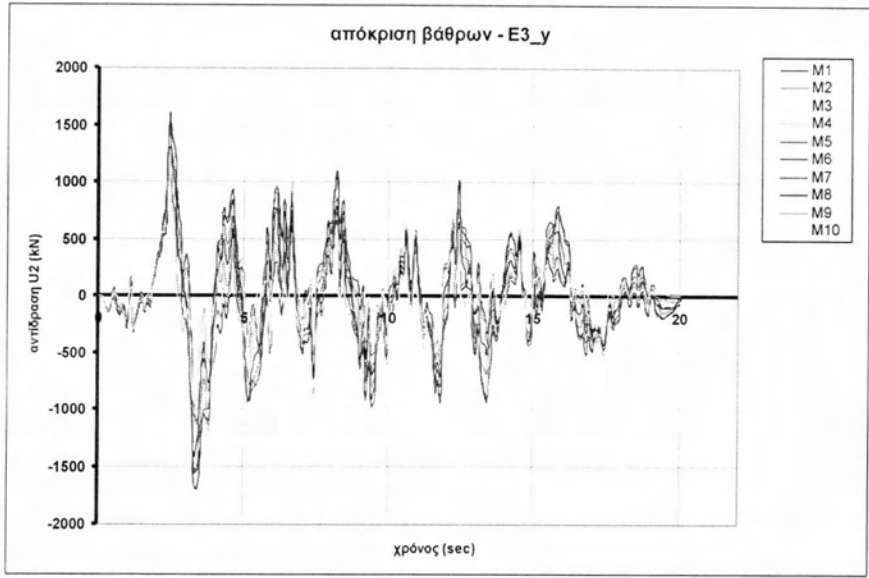


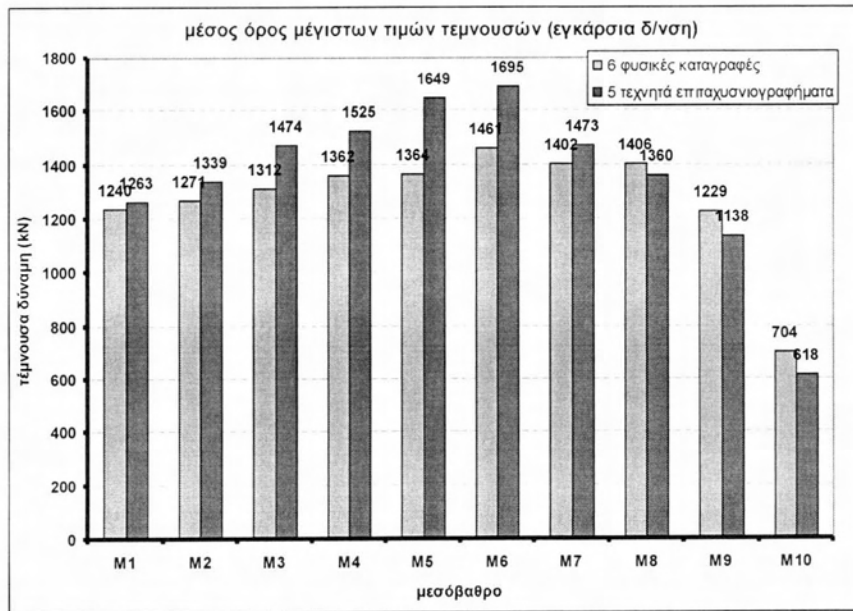
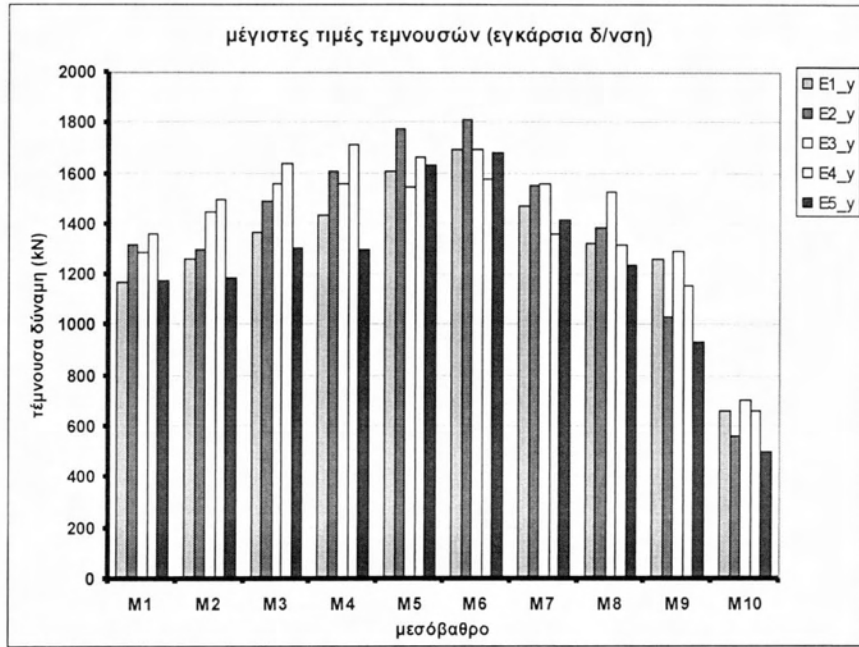


Διαγράμματα 7.2.3 Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(B.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**





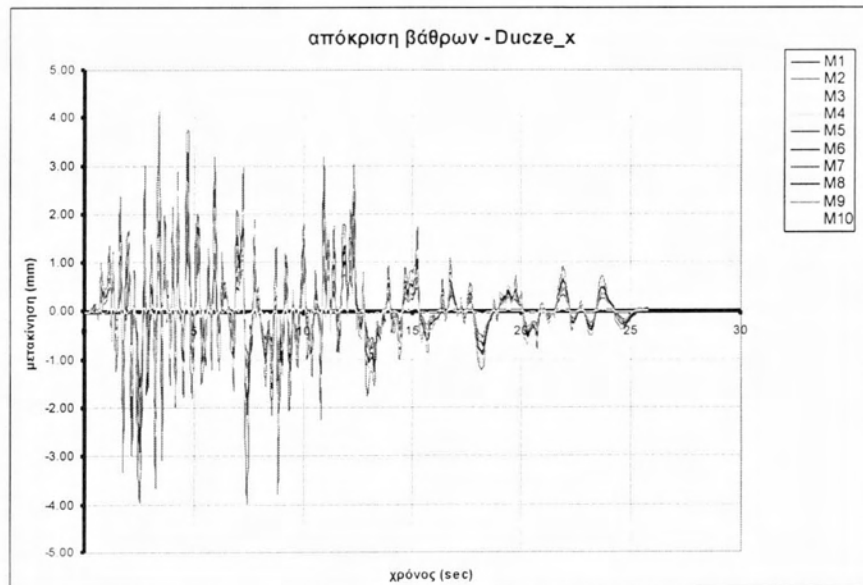
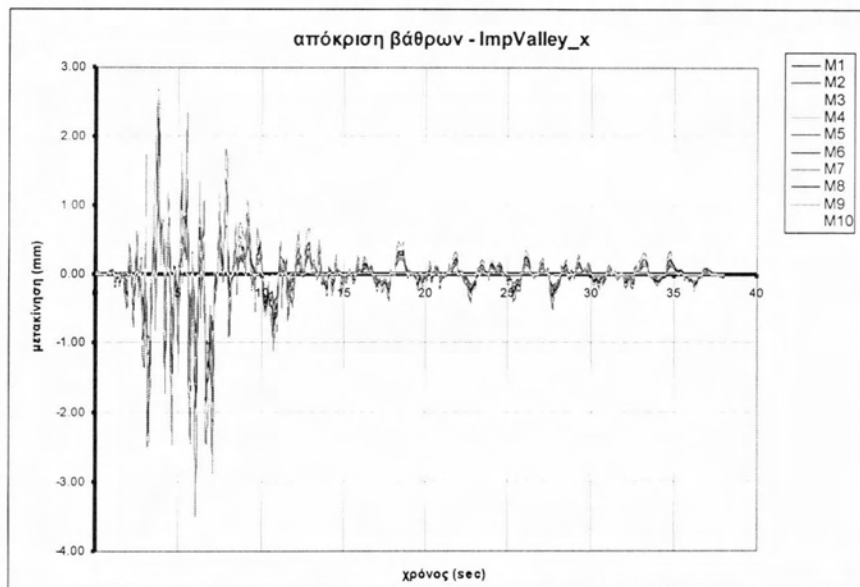


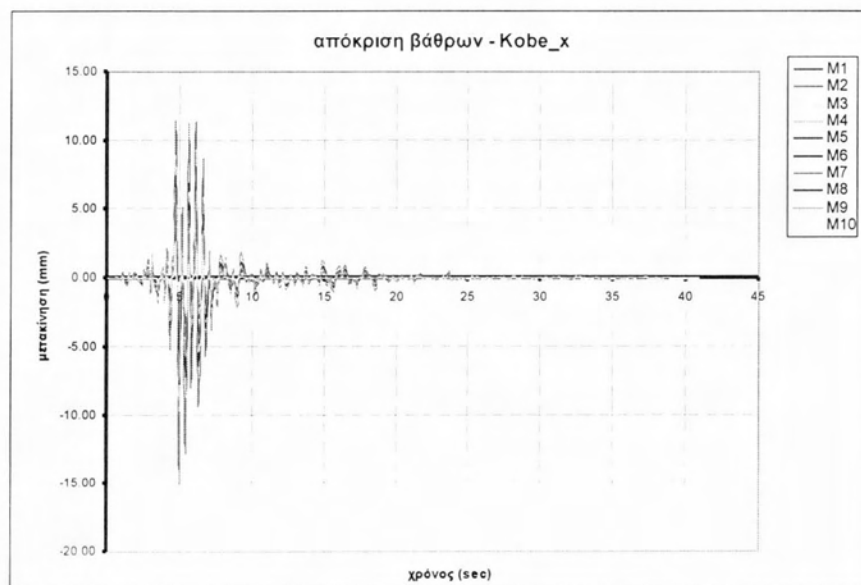
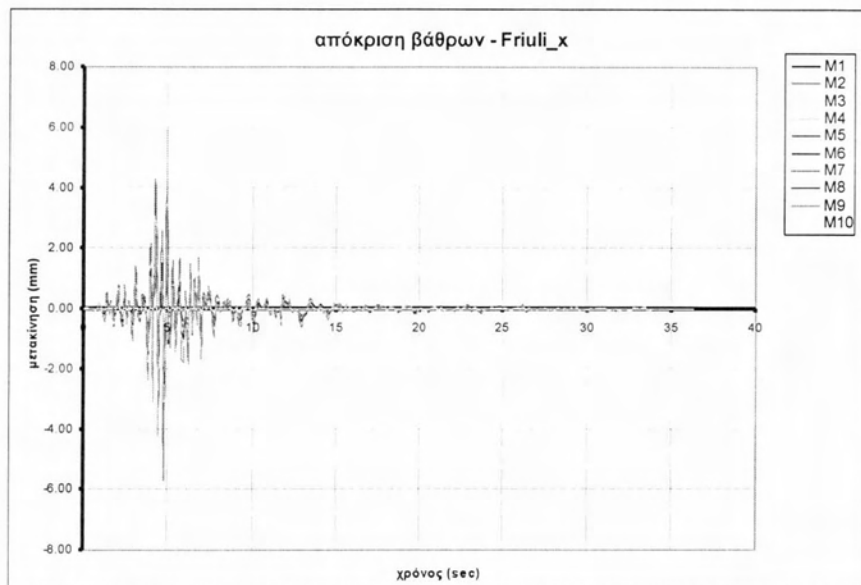
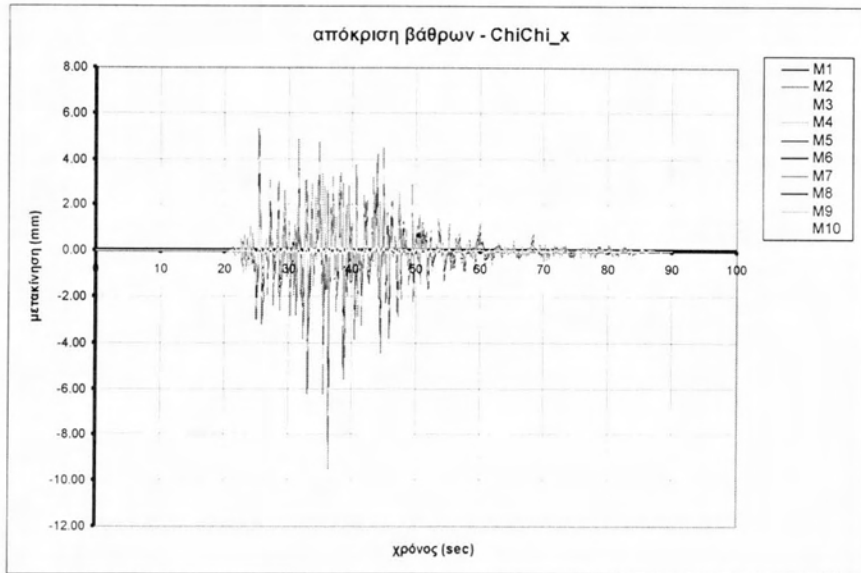
Διαγράμματα 7.2.4 Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

### (ΓΔ) Μετακινήσεις στην κεφαλή κάθε βάθρου

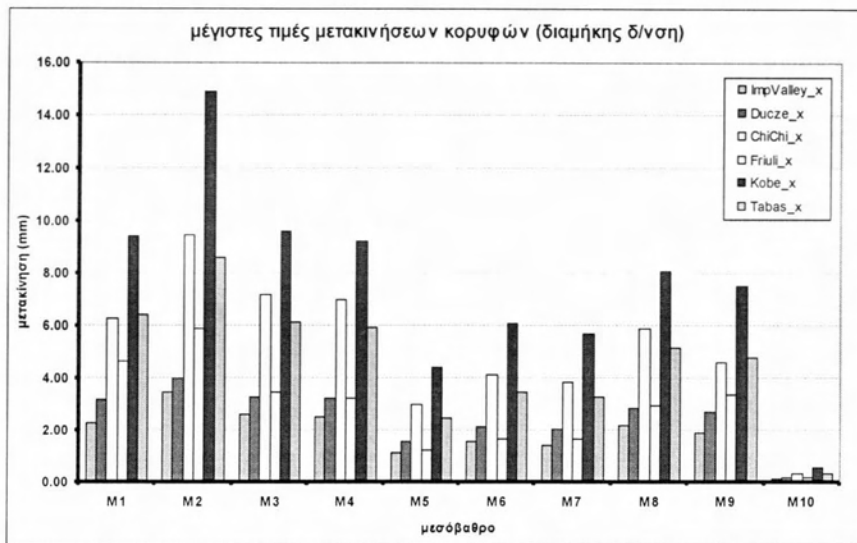
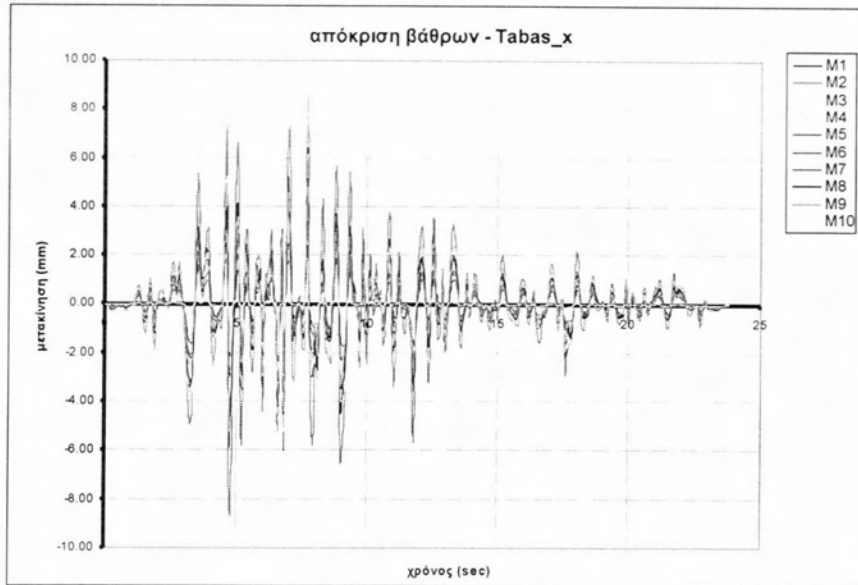
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η ιστορία της μετακίνησης στην κεφαλή κάθε μεσόβαθρου ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Γ.1) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα



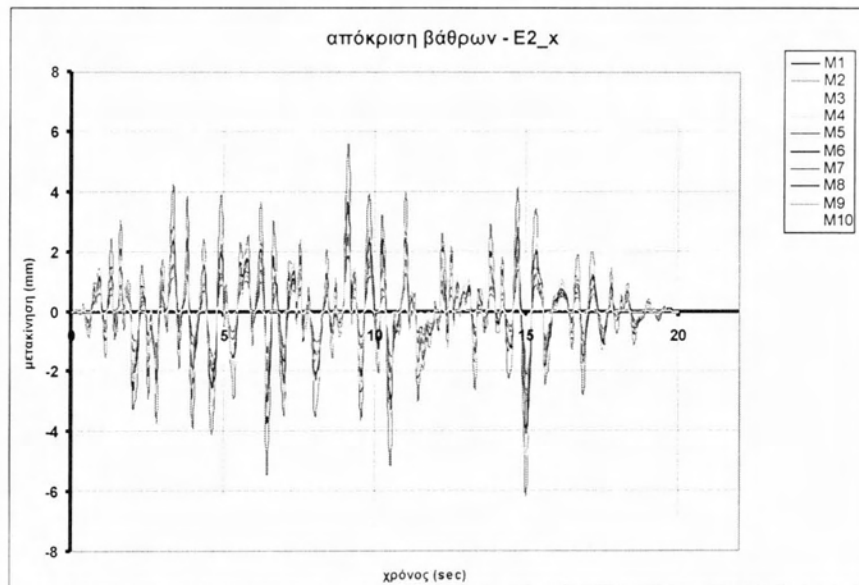
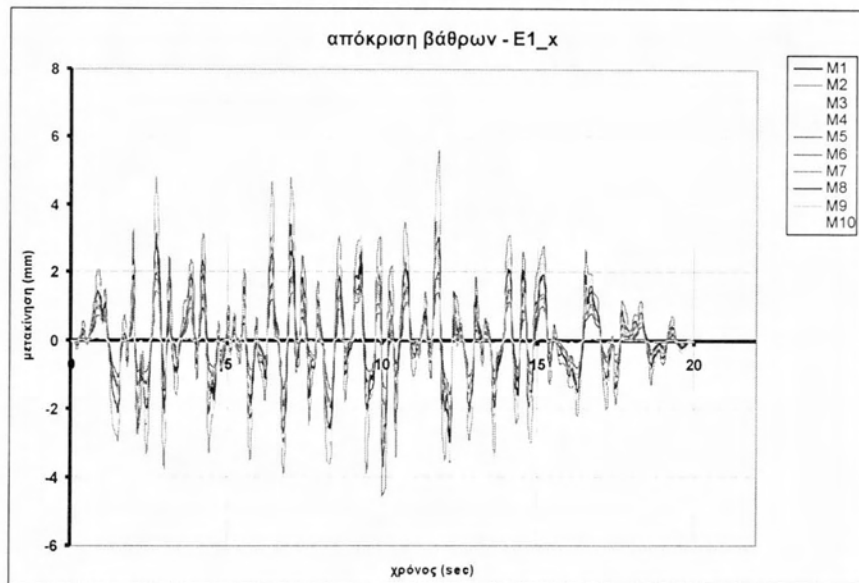


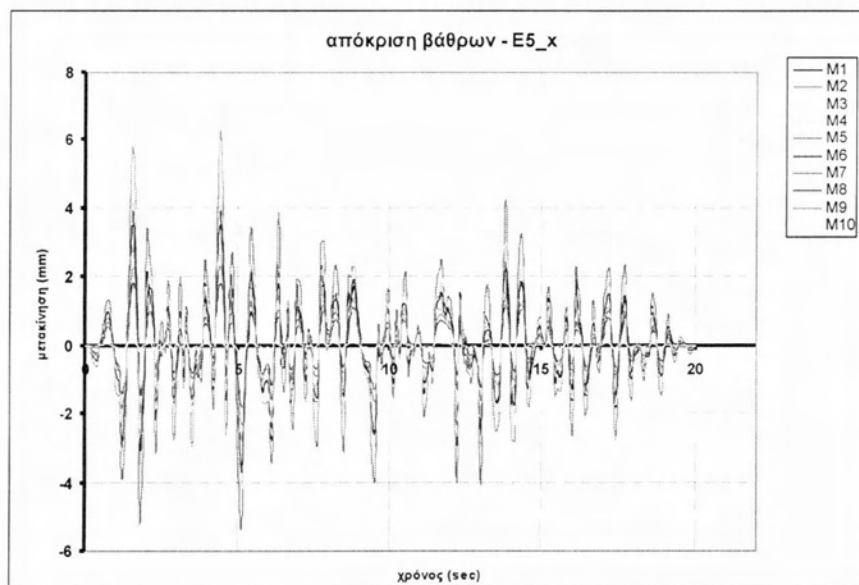
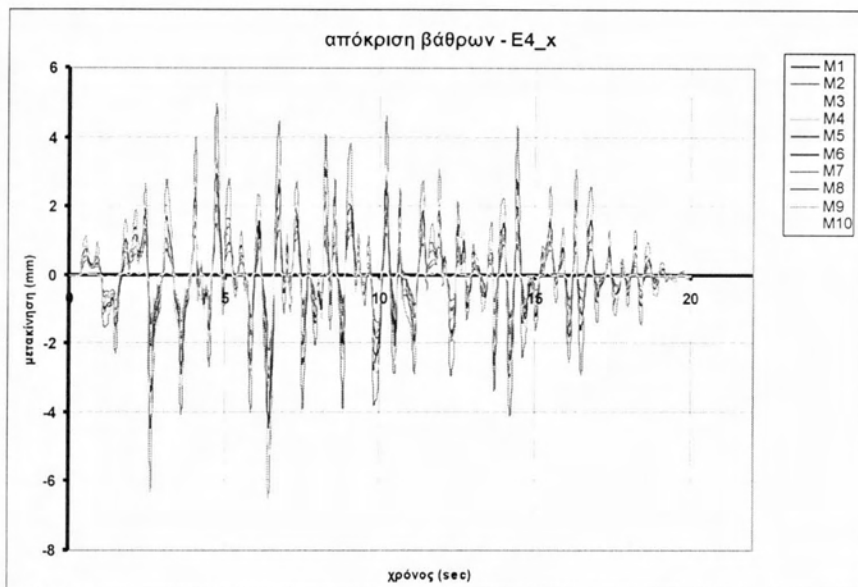
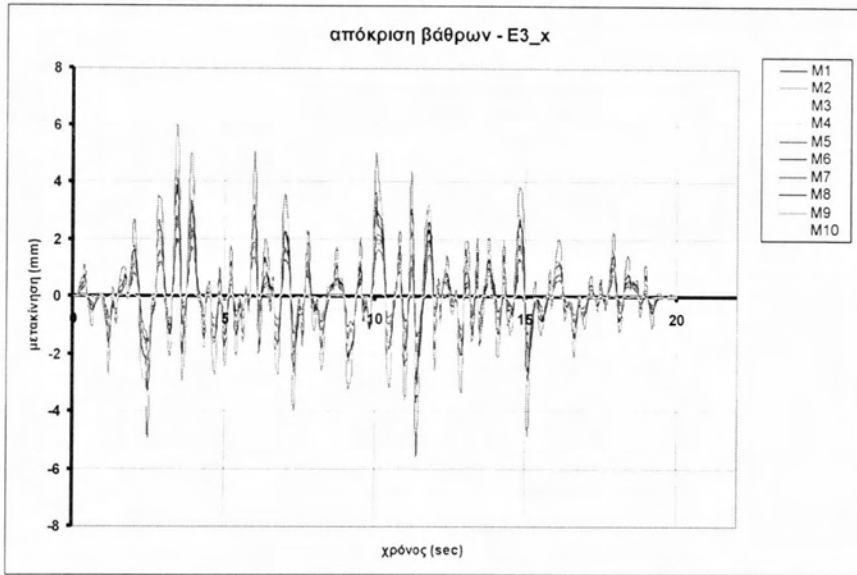


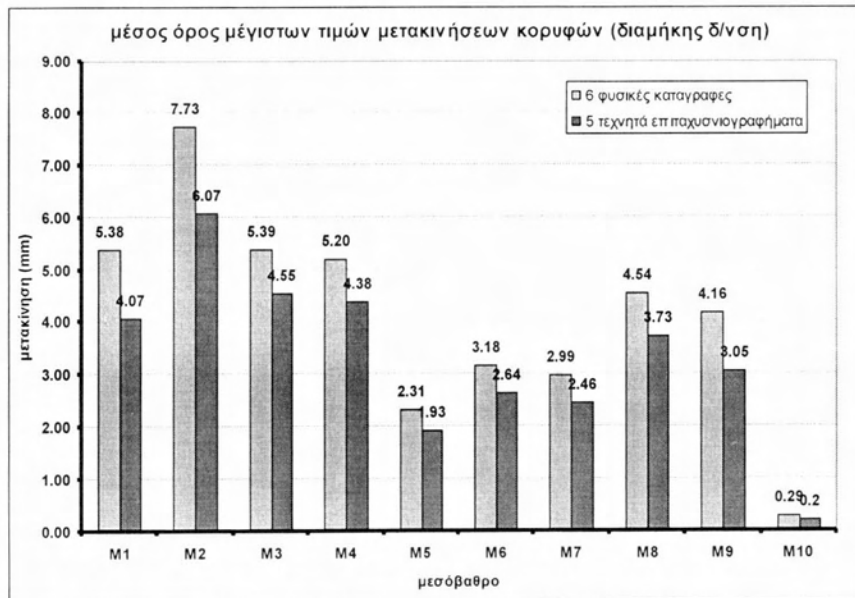
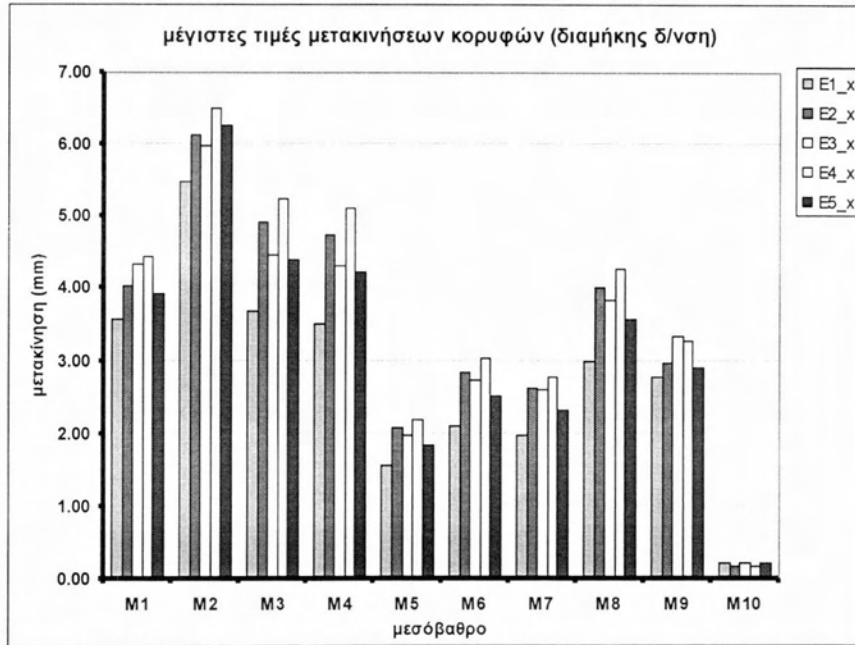


Διαγράμματα 7.2.5 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Γ.2) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**

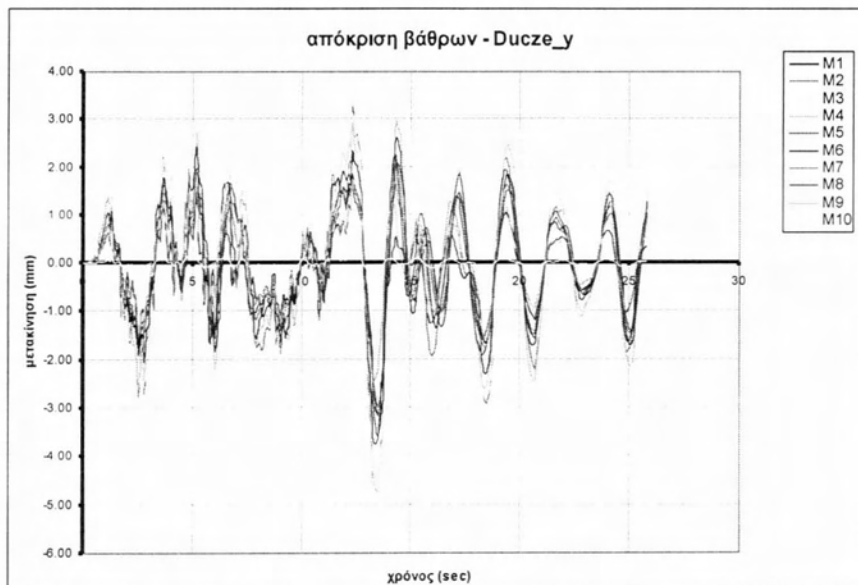
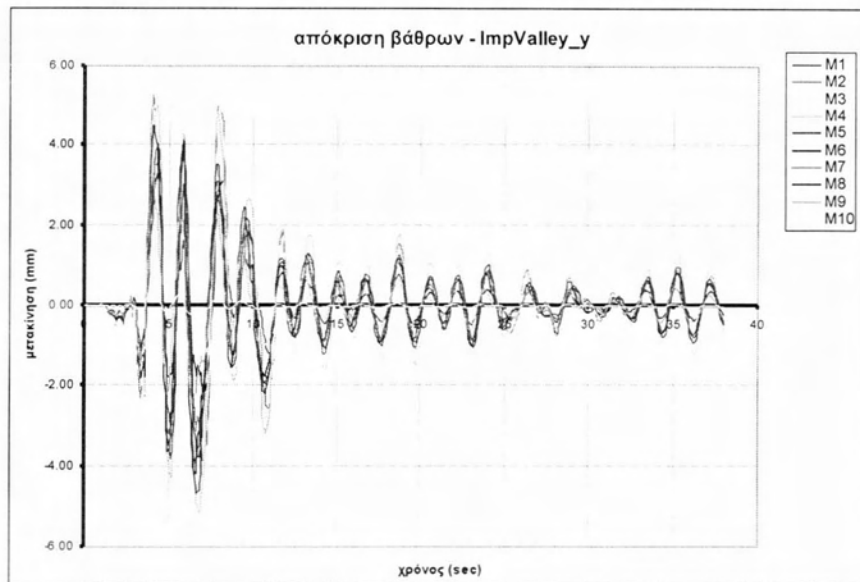


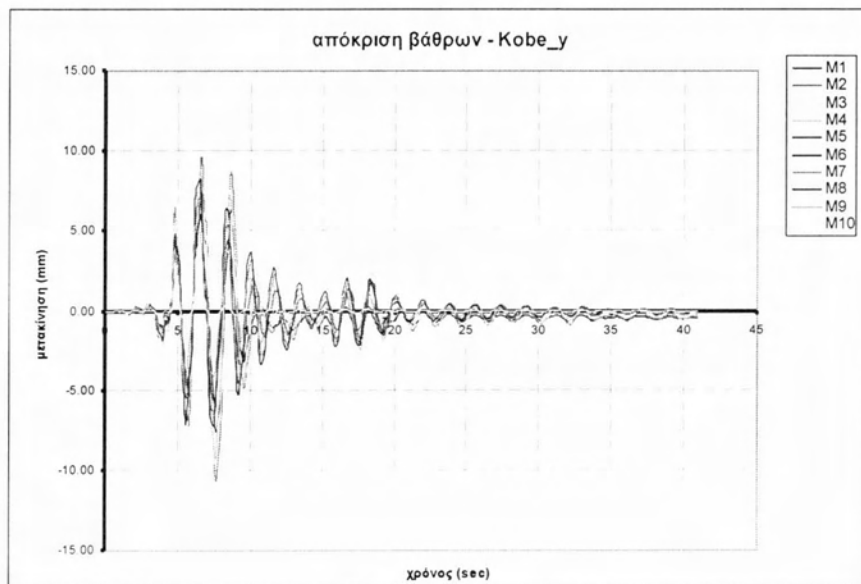
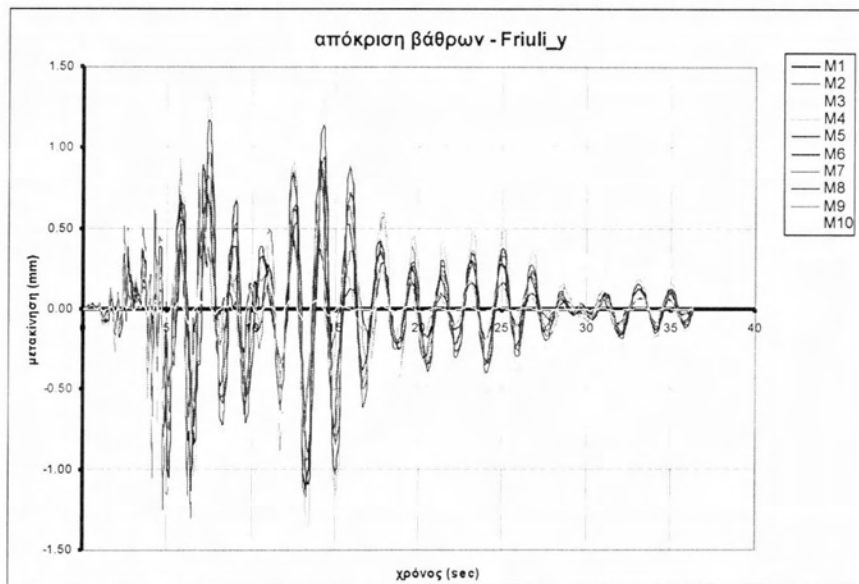
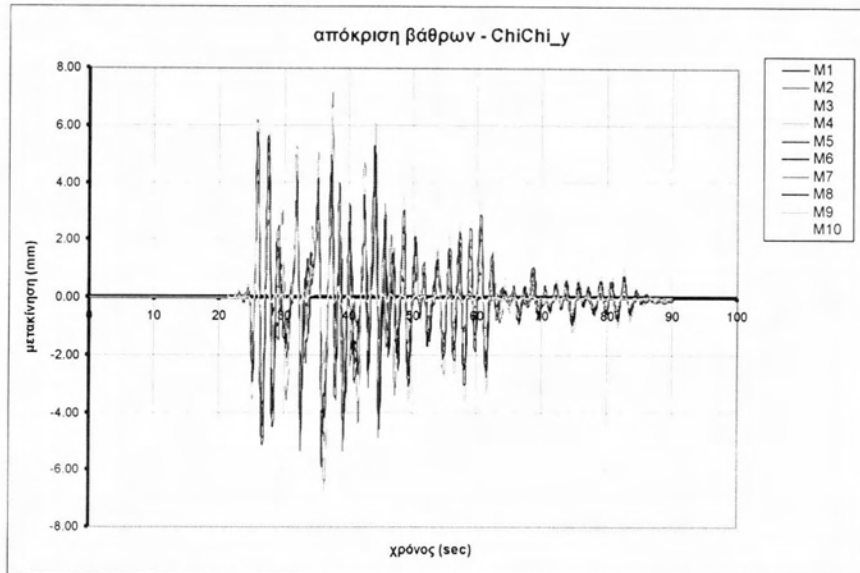


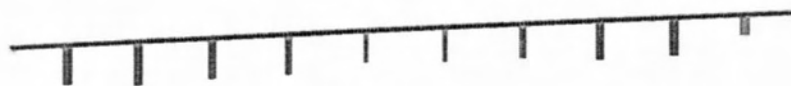
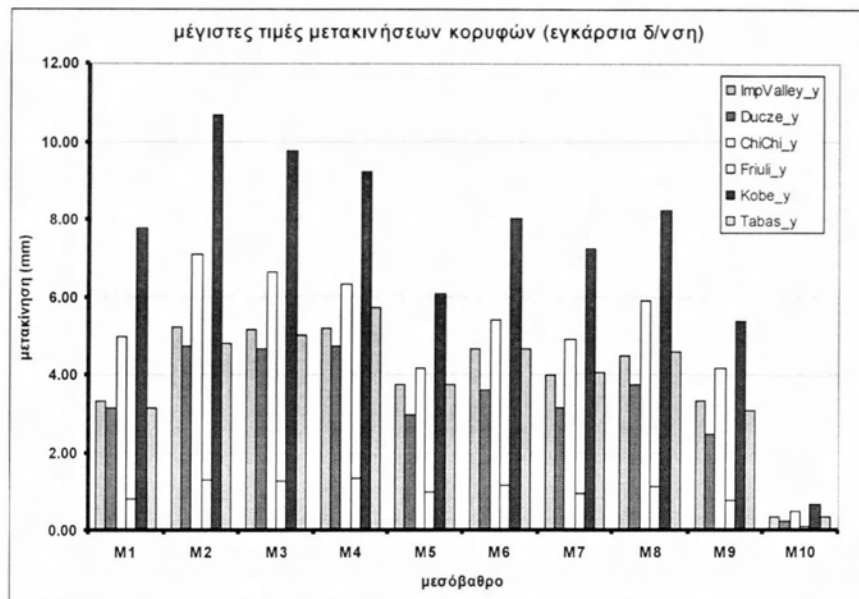
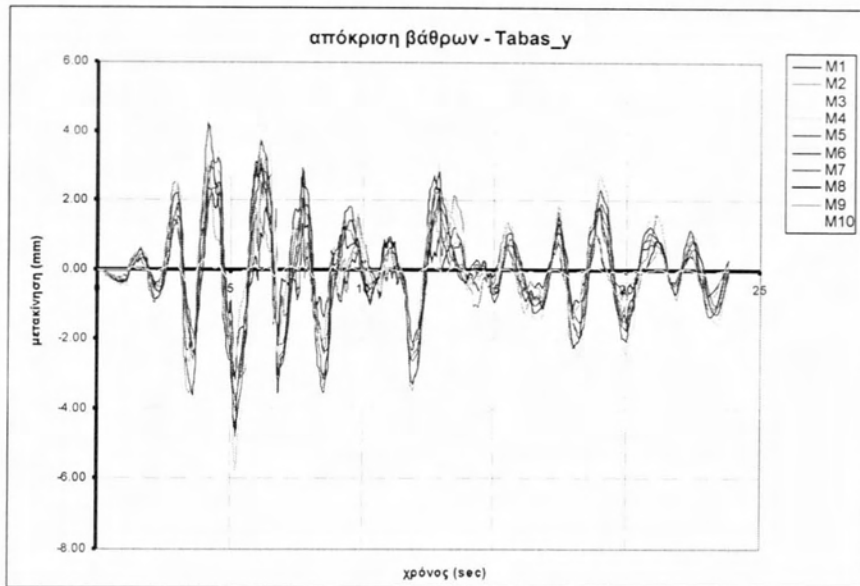


Διαγράμματα 7.2.6 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

**(Δ.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**

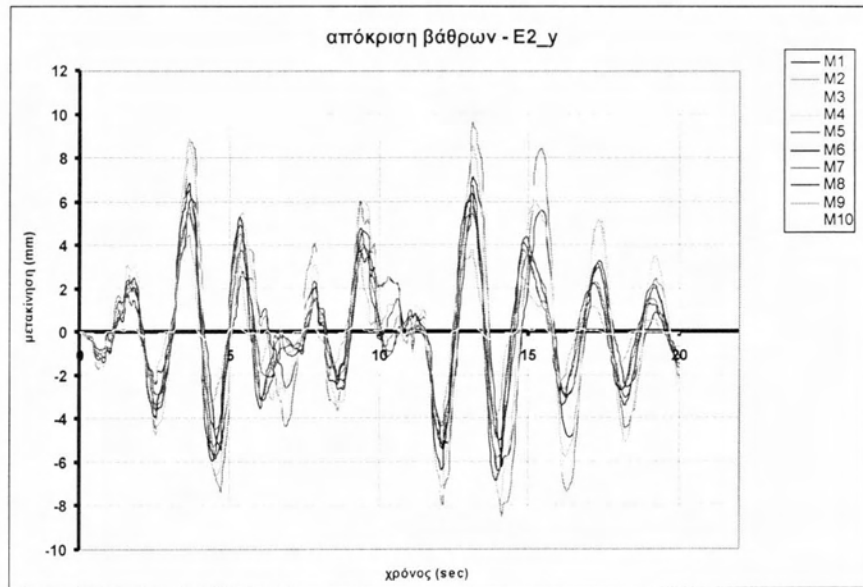
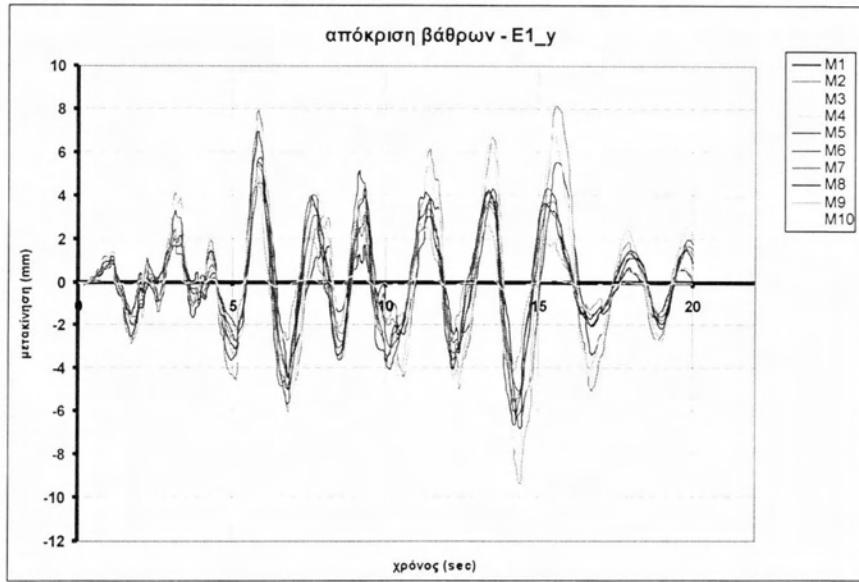




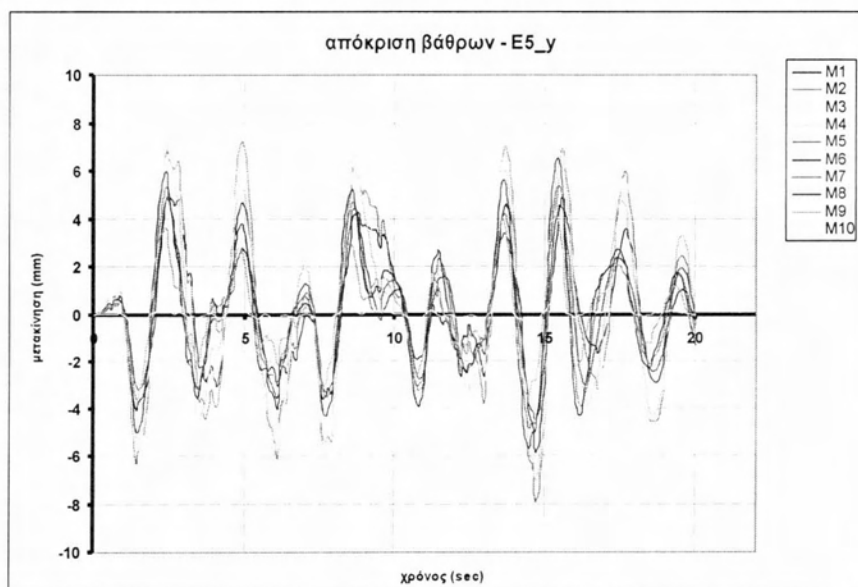
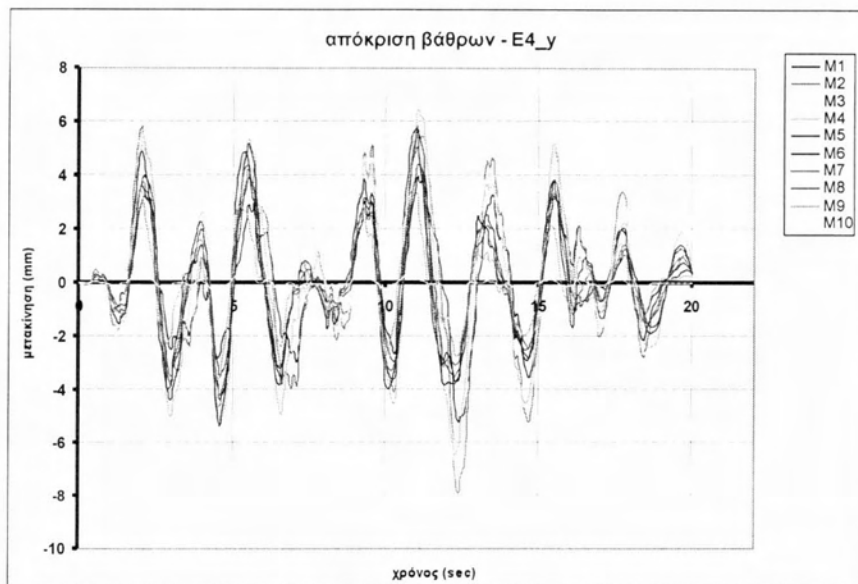
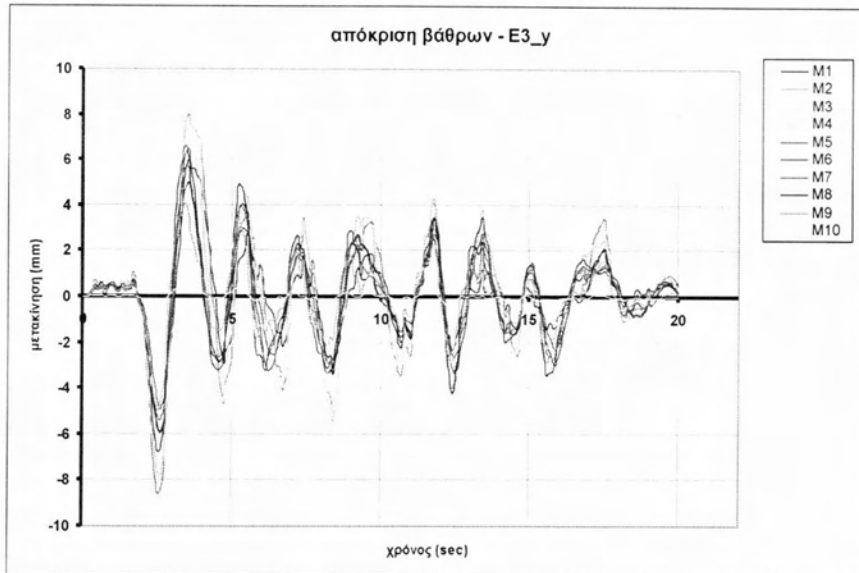


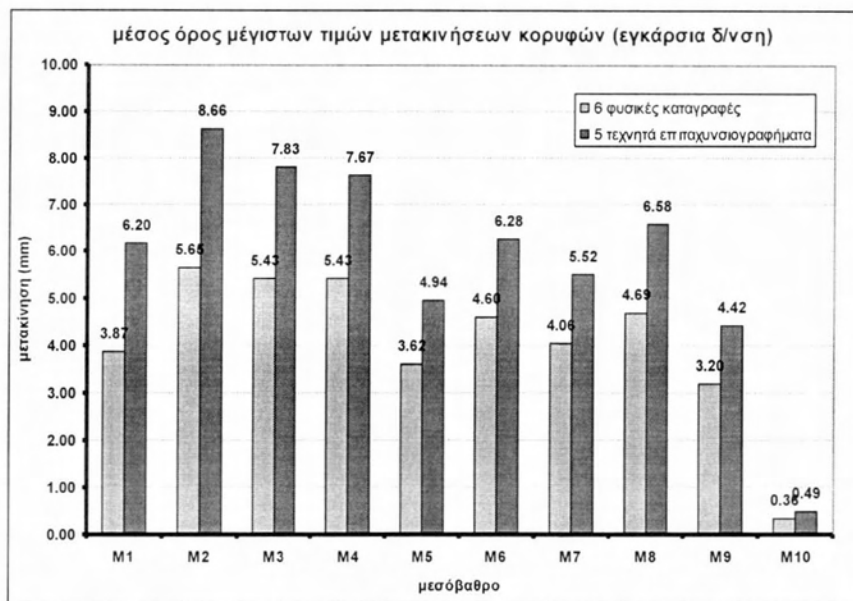
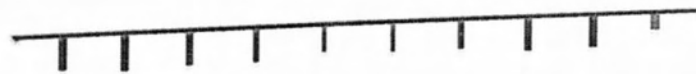
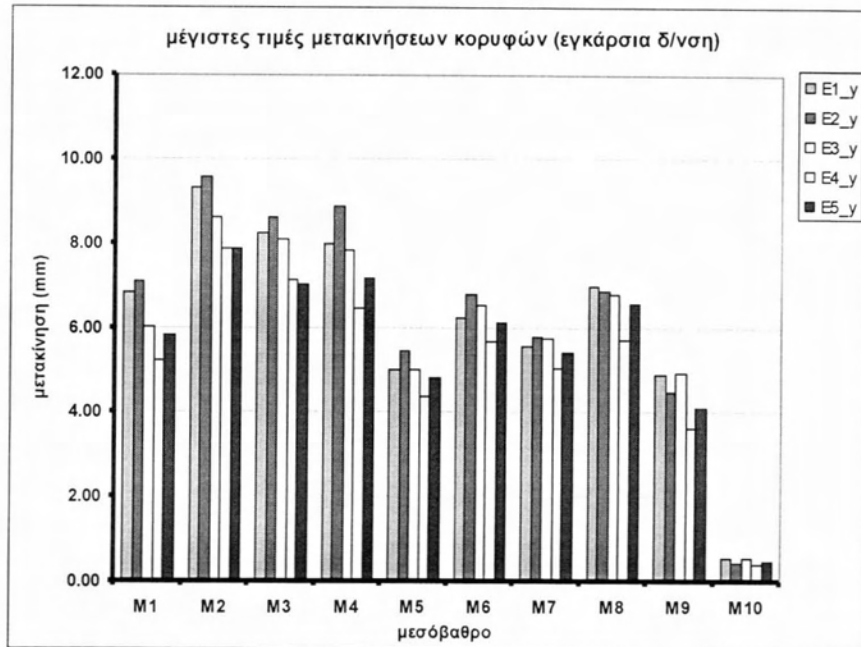
Διαγράμματα 7.2.7 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες  
σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Δ.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**







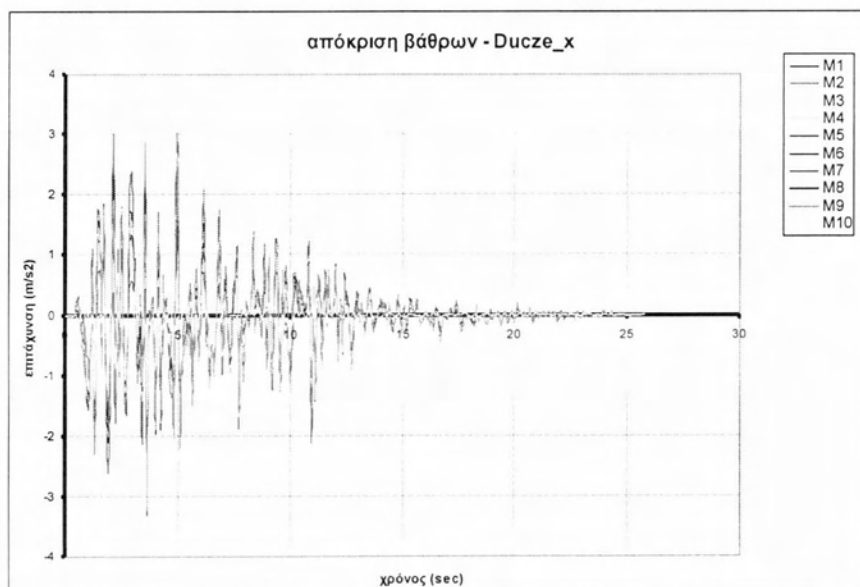
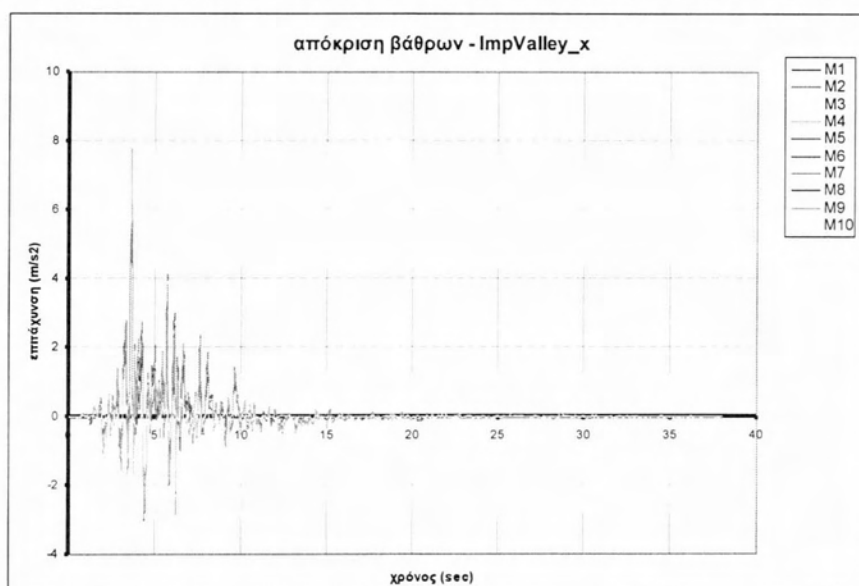


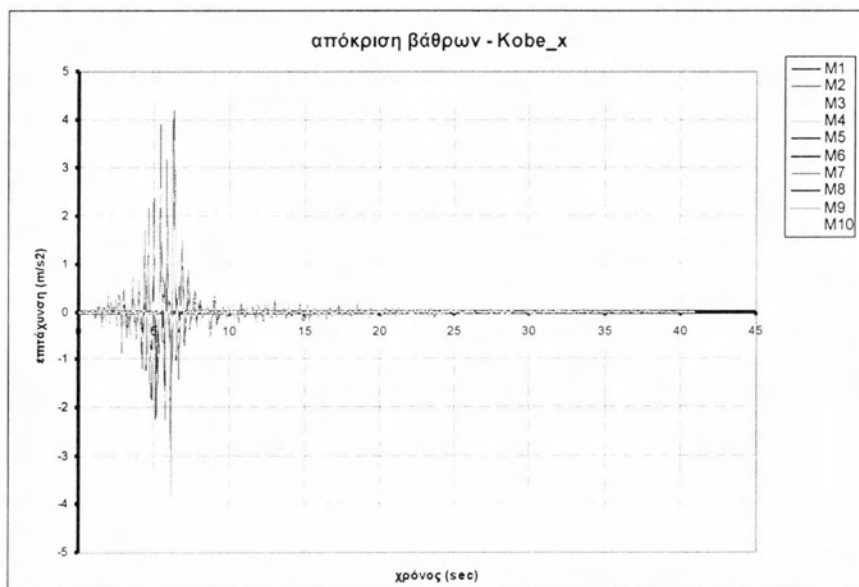
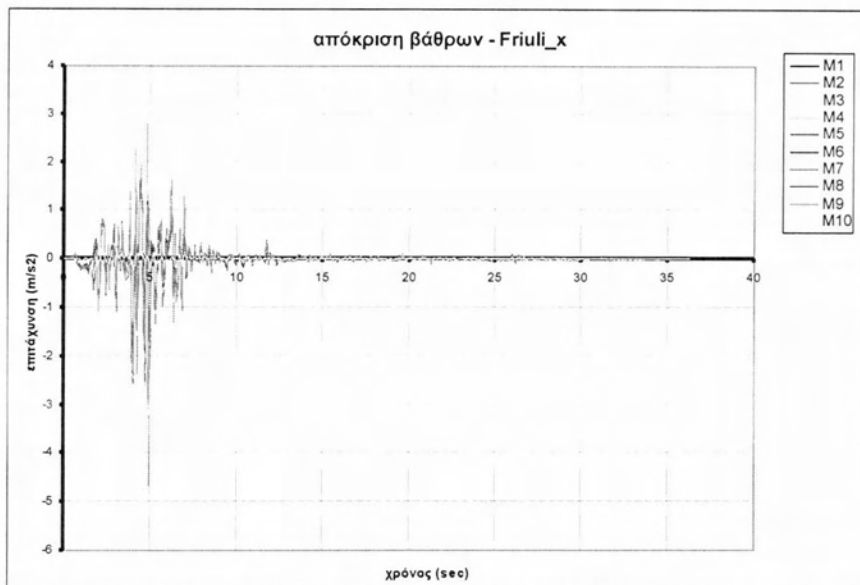
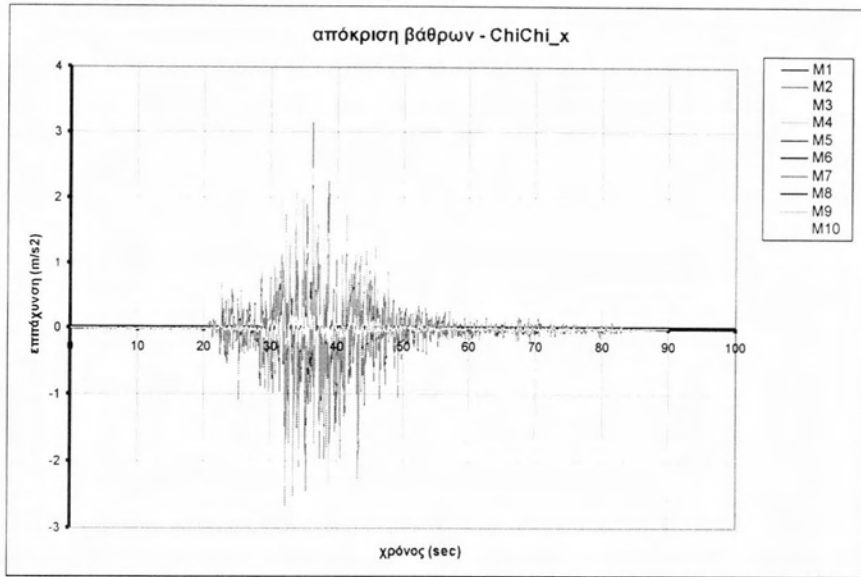
Διαγράμματα 7.2.8 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

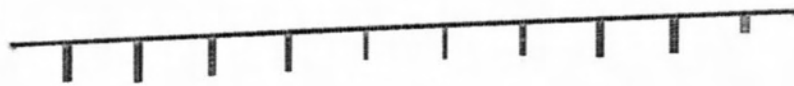
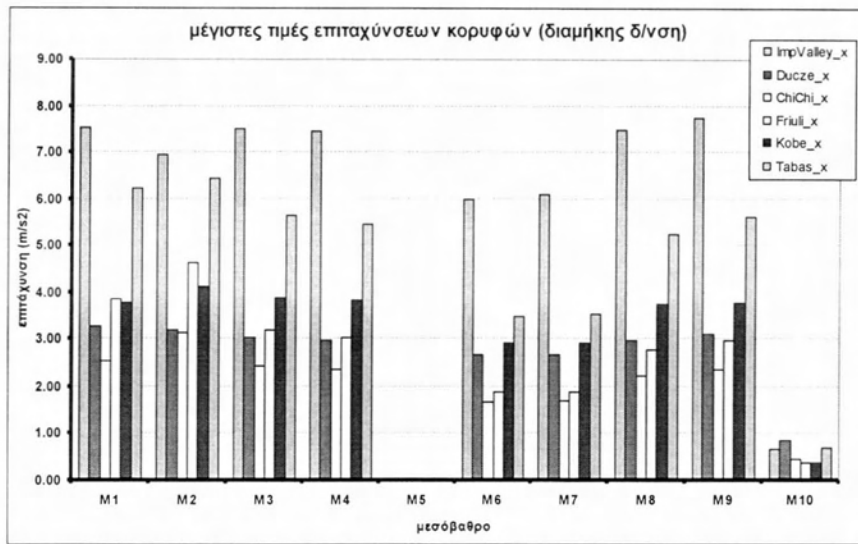
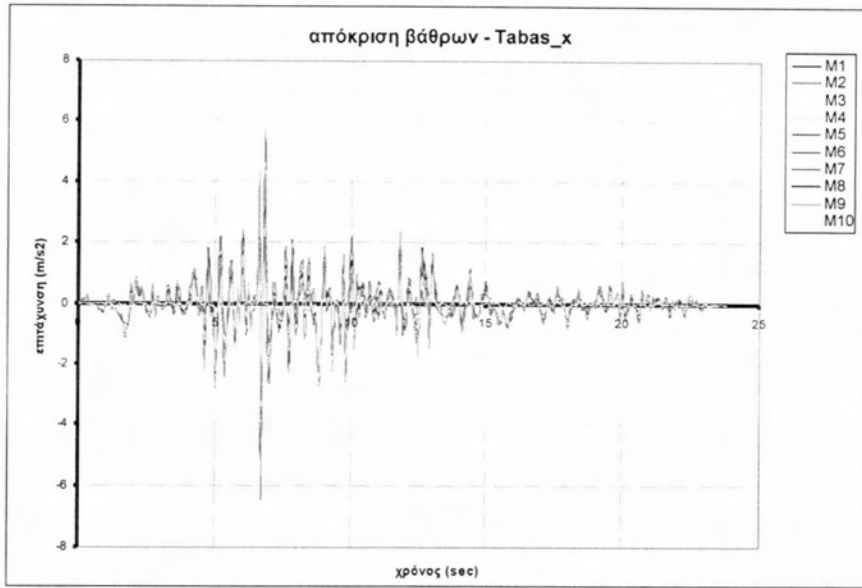
## (EZ) Επιταχύνσεις στην κεφαλή κάθε βάρου

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης που αναπτύσσεται στην κεφαλή κάθε μεσοβάθρου ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

### (E.1) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

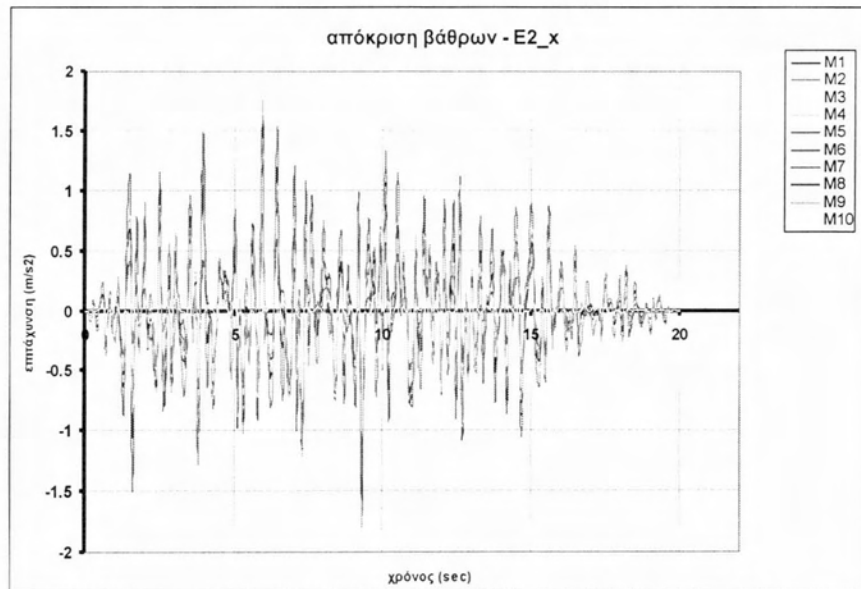
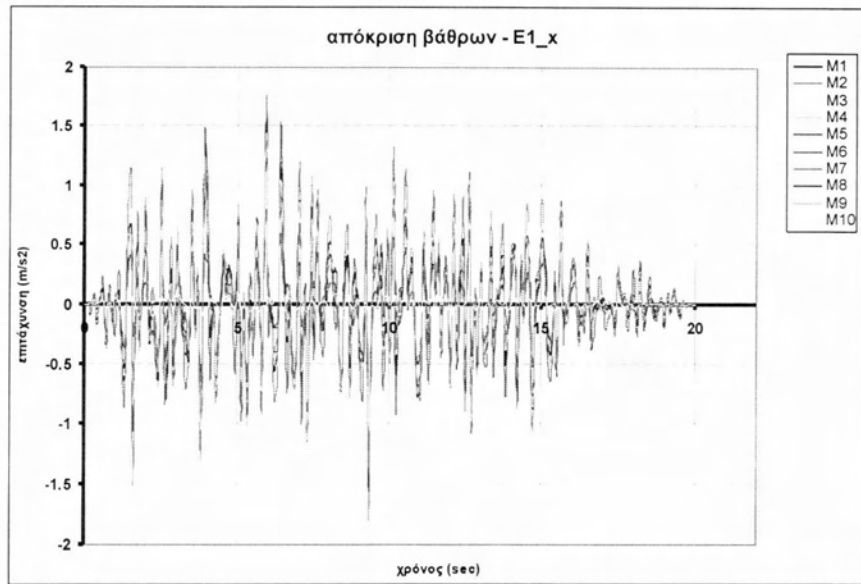


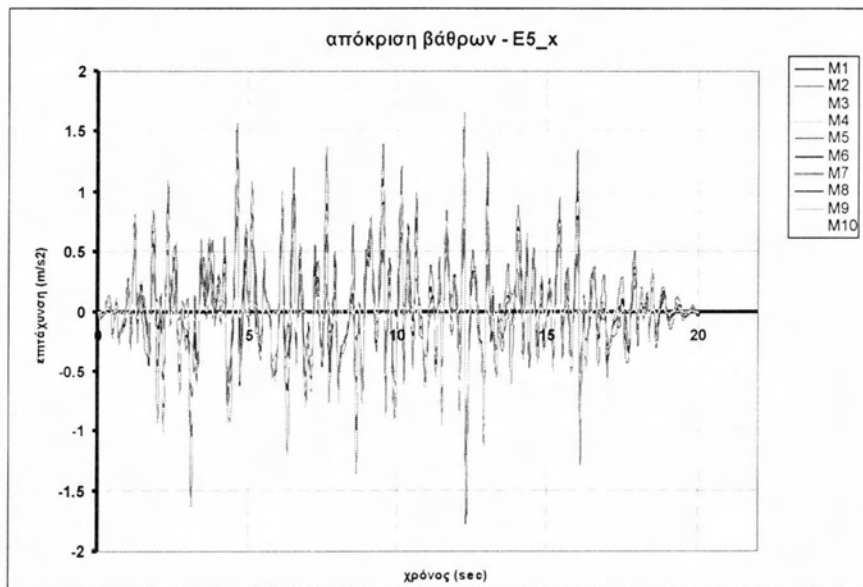
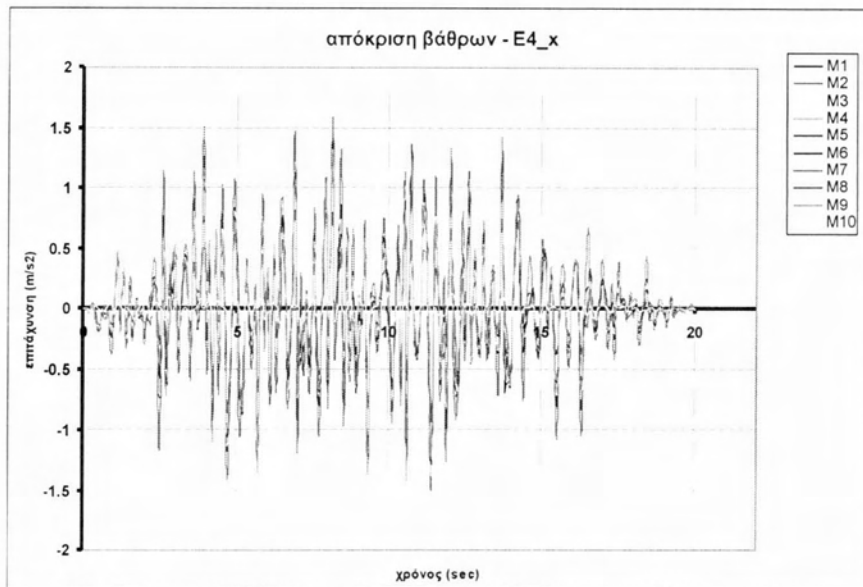
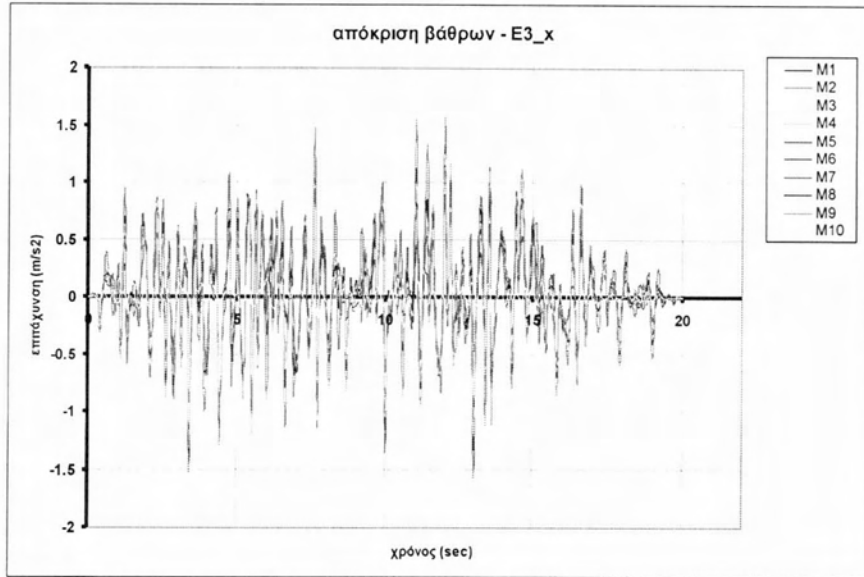


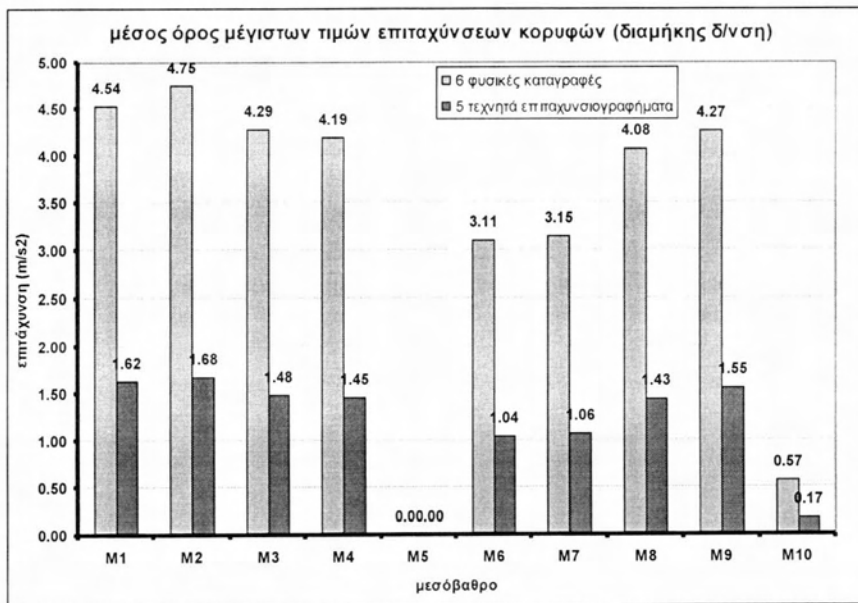
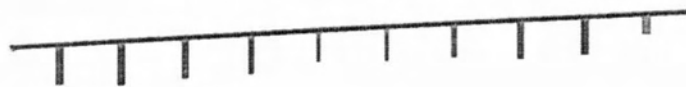
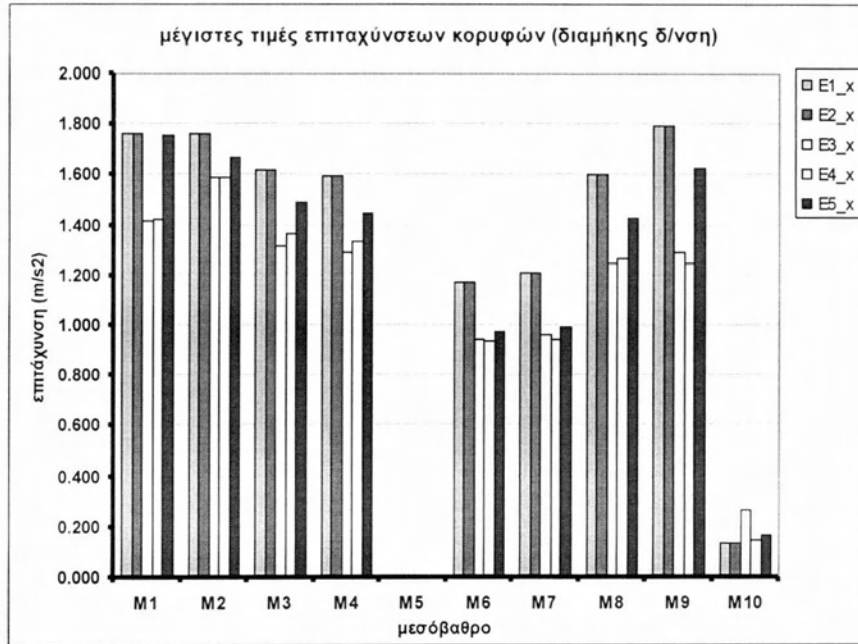


Διαγράμματα 7.2.9 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Ε.2) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**



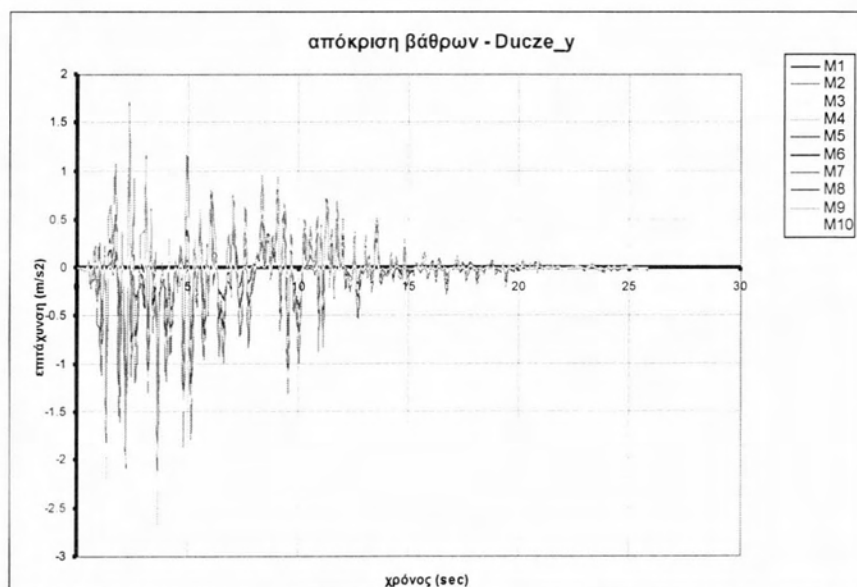
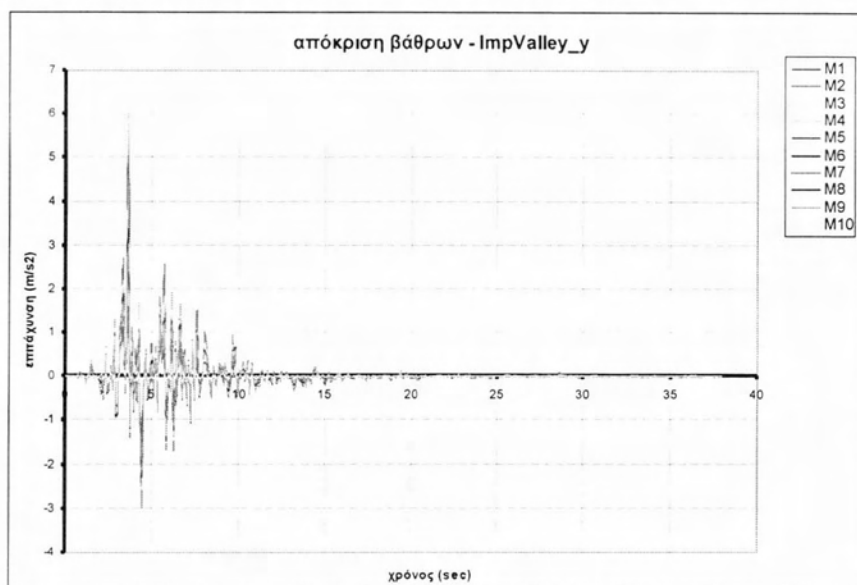


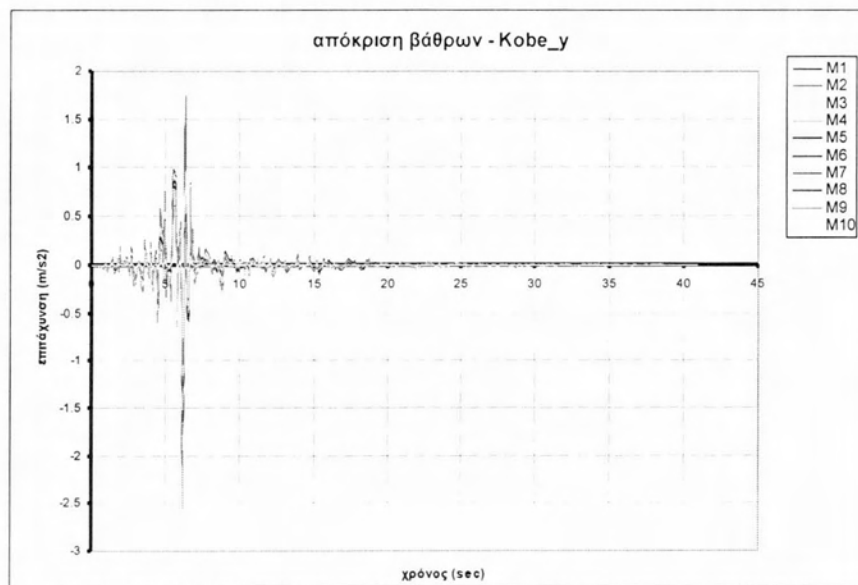
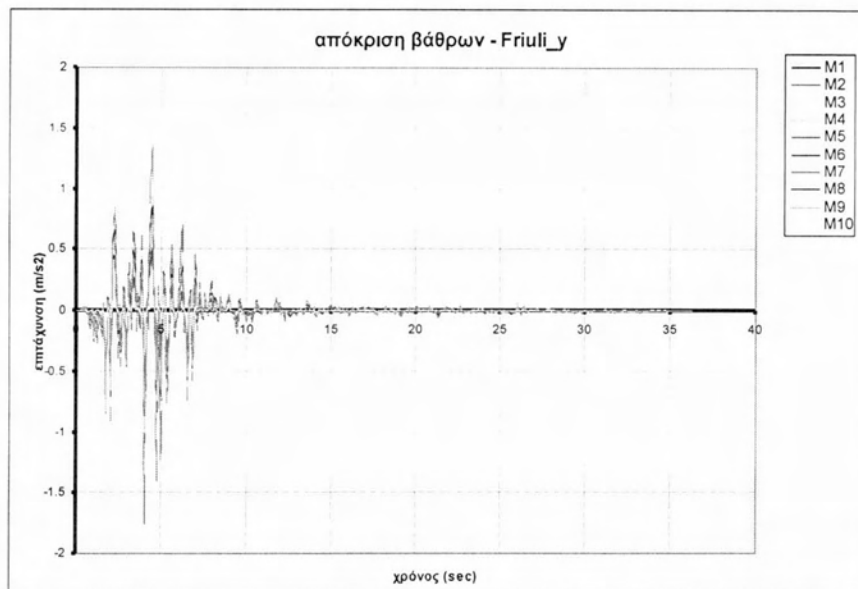
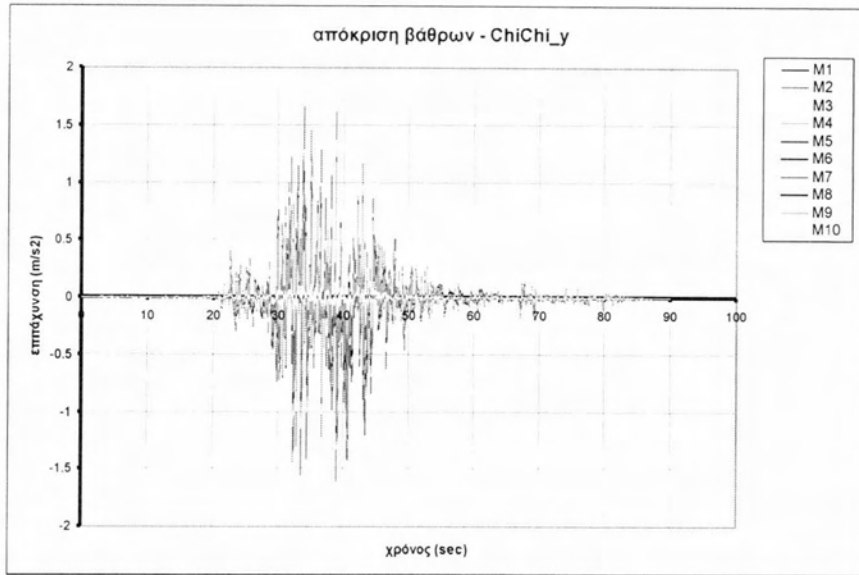


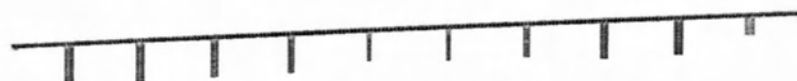
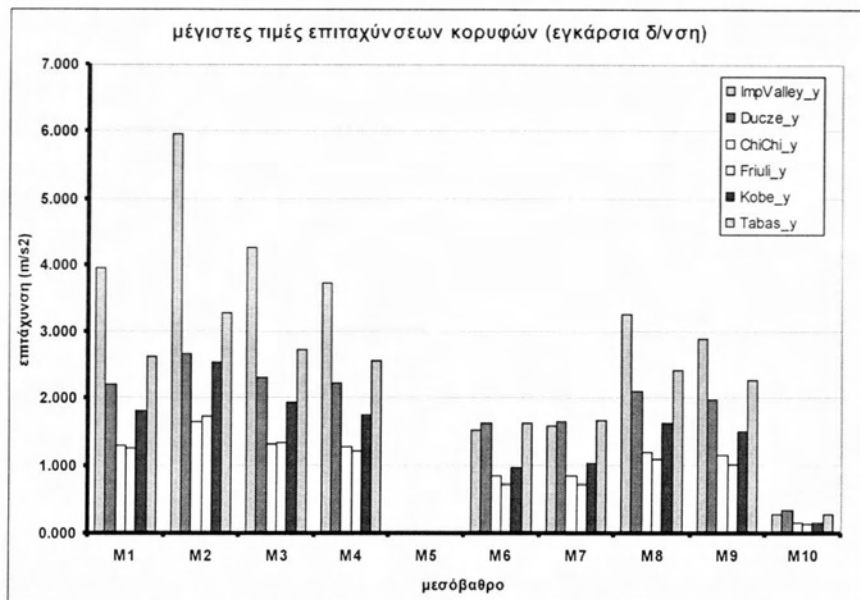
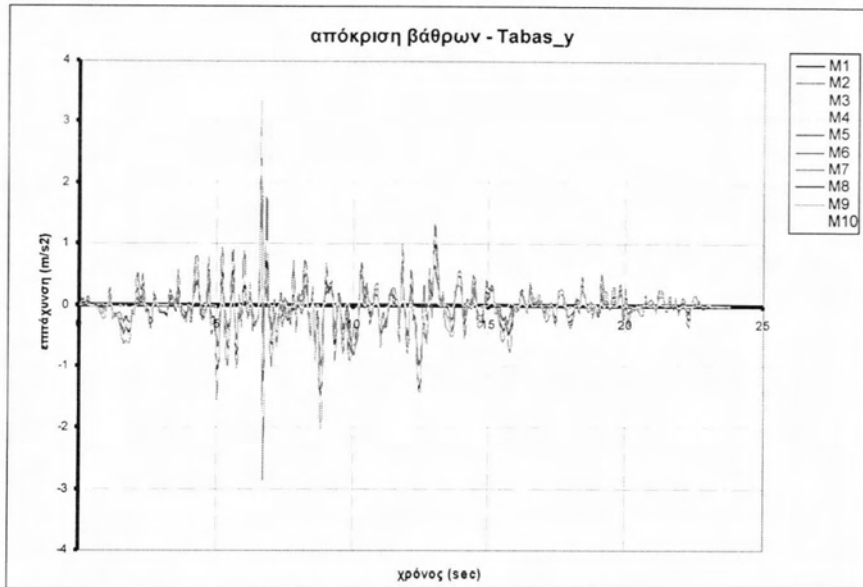
Διαγράμματα 7.2.10 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα



**(Z.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**

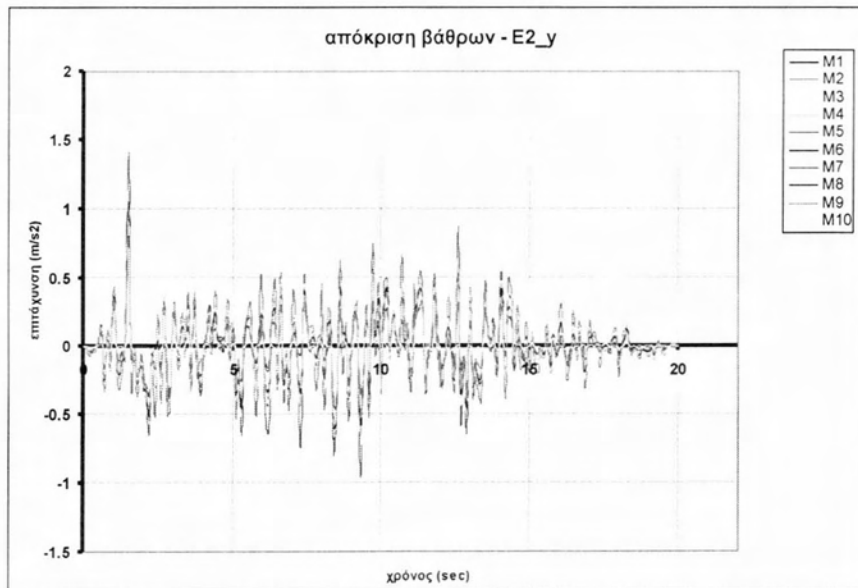
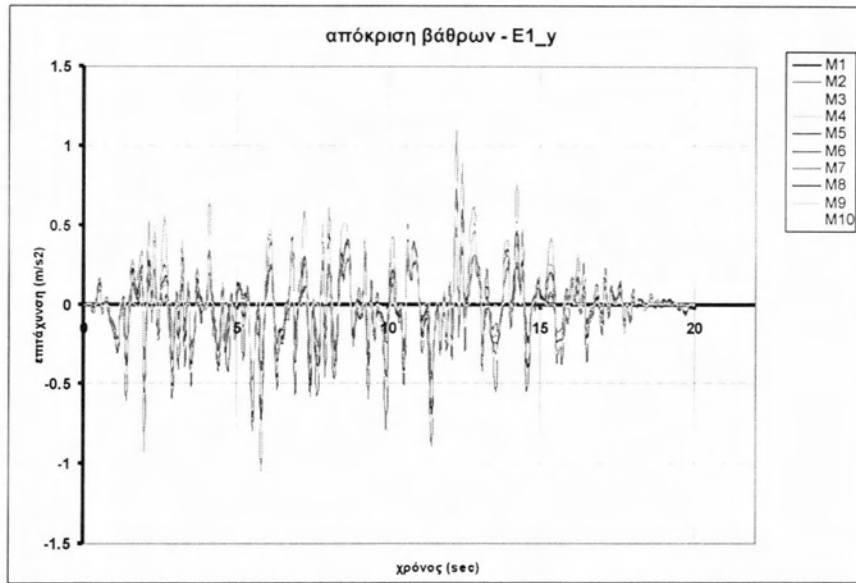


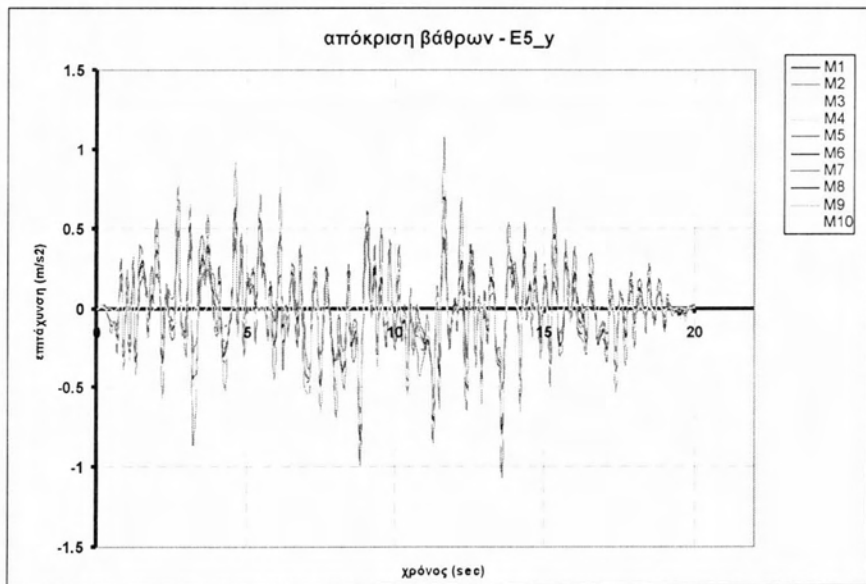
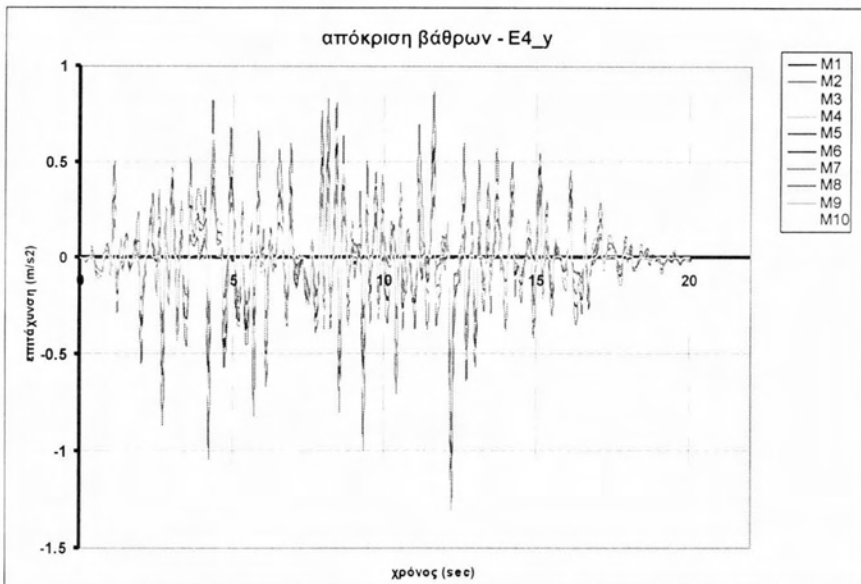
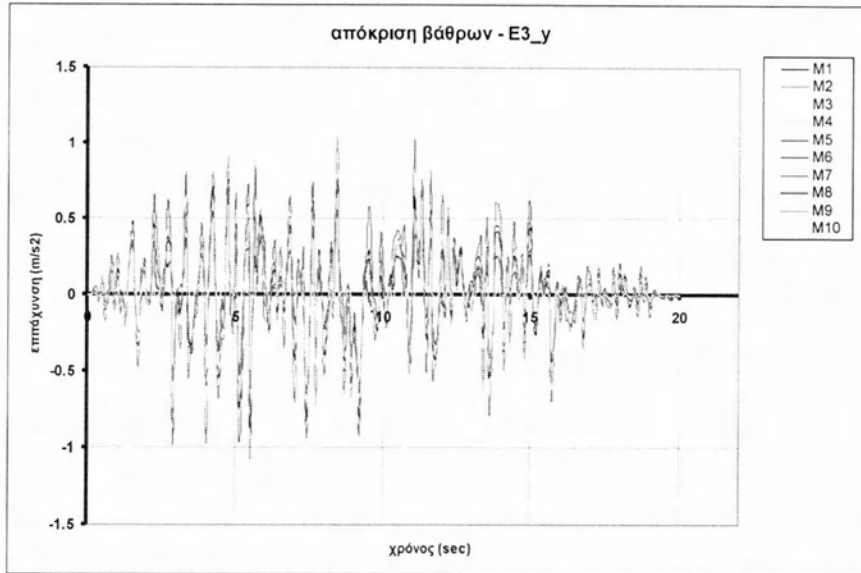


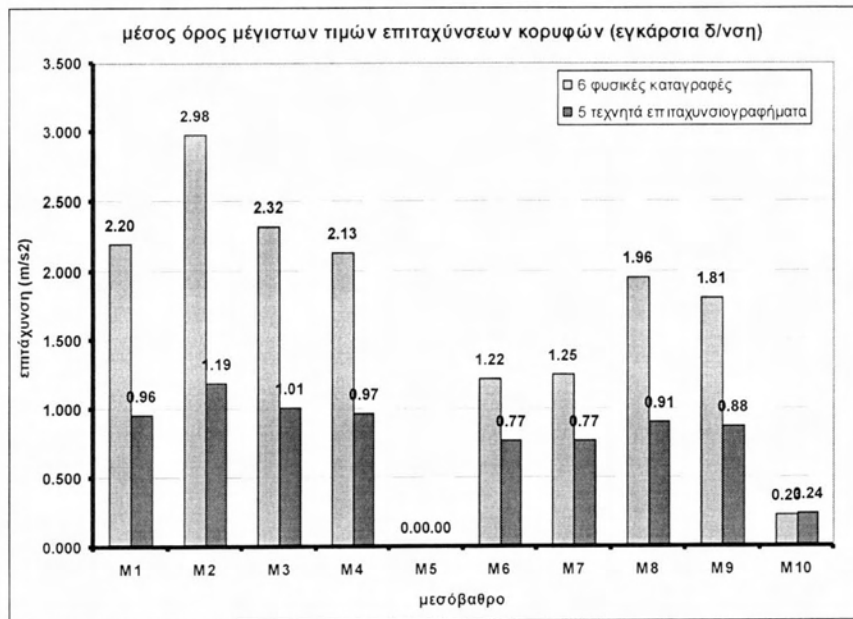
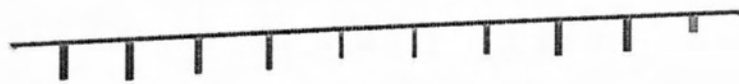
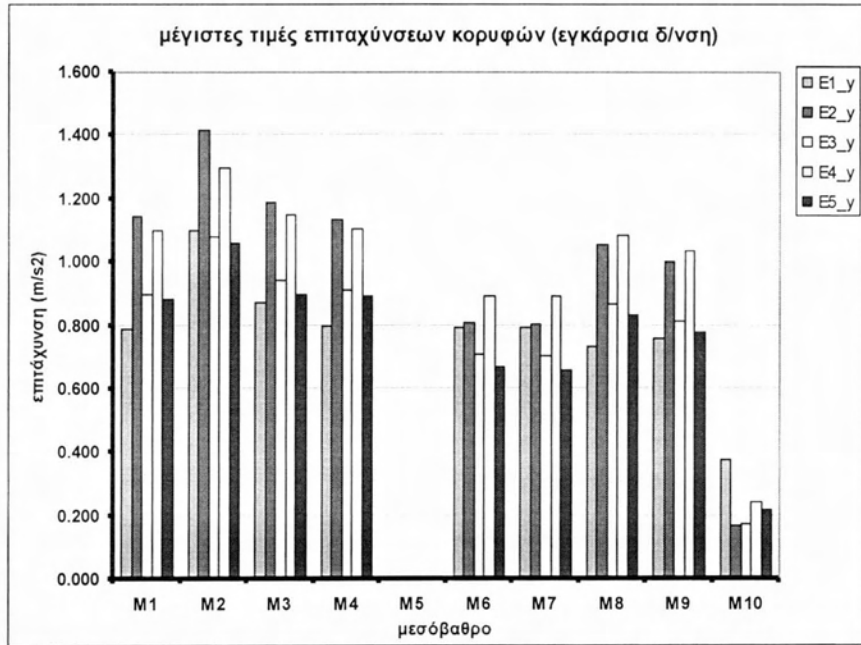


Διαγράμματα 7.2.11 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες  
σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Z.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**





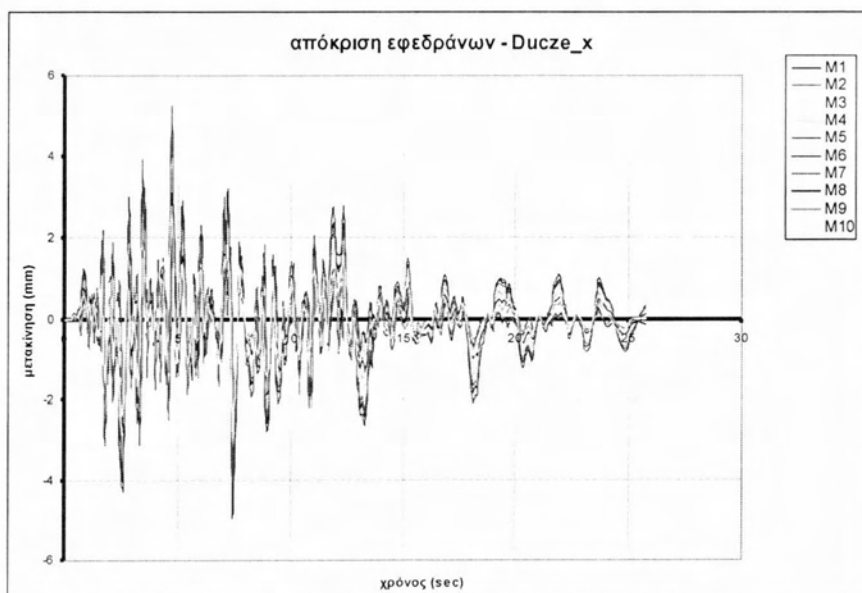
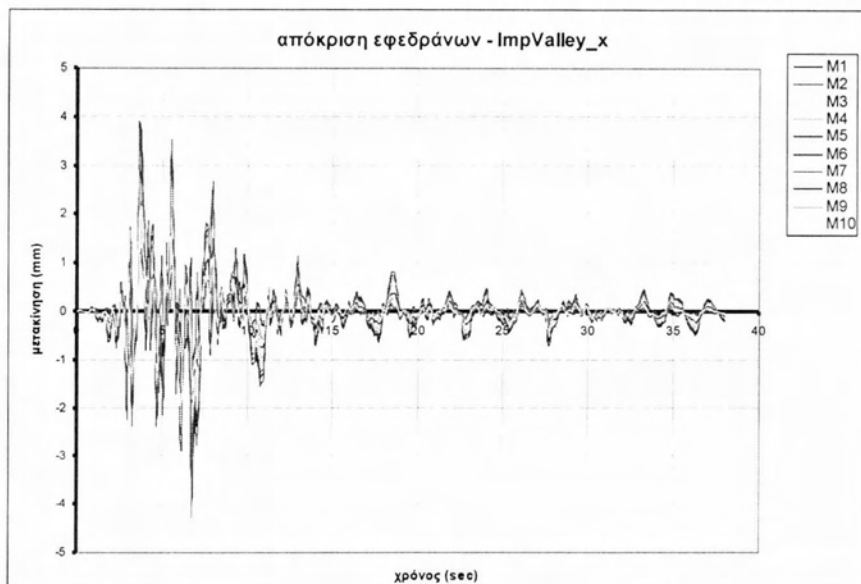


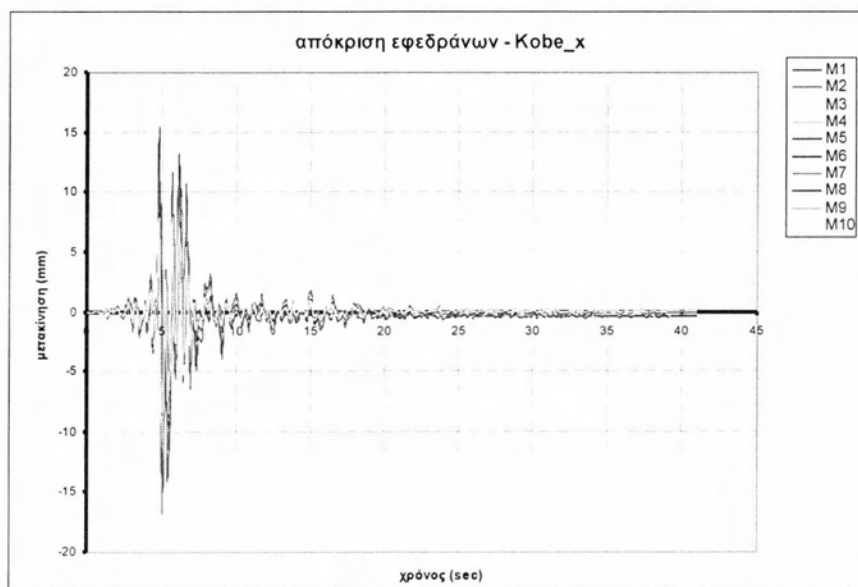
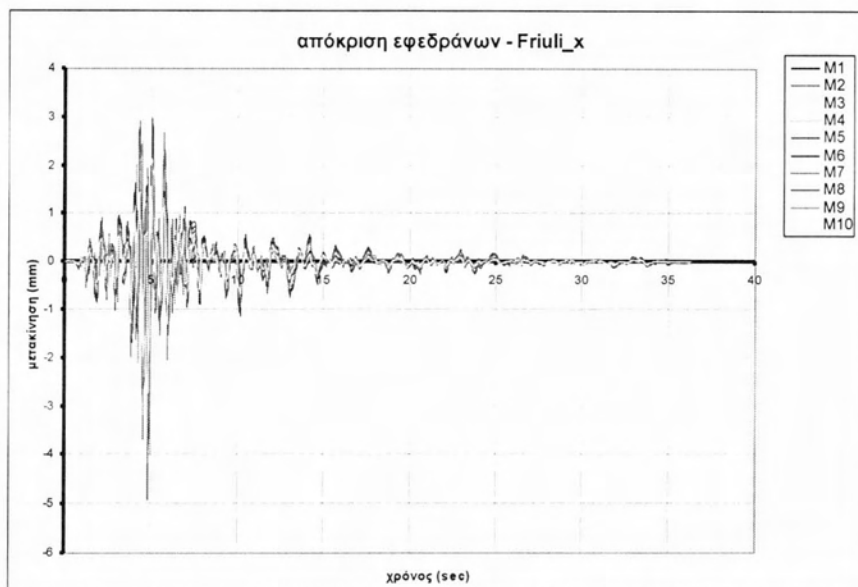
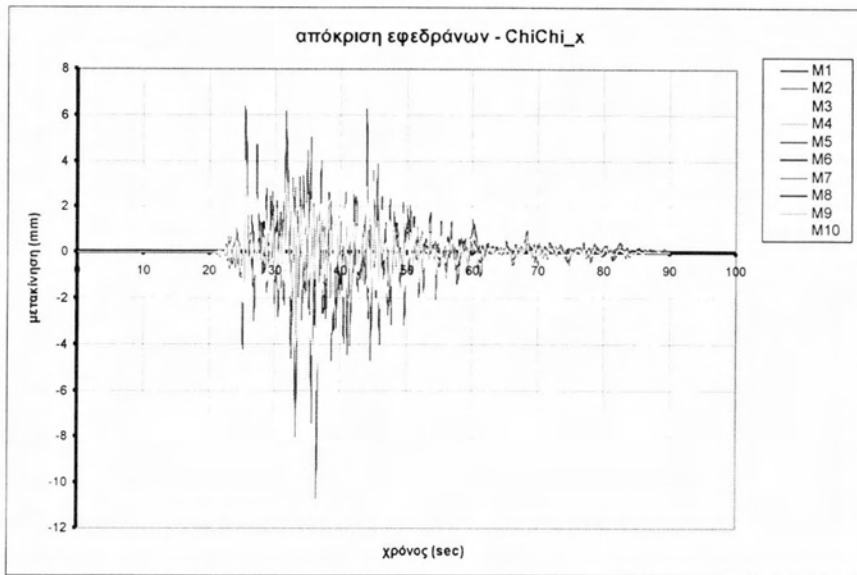
Διαγράμματα 7.2.12 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

### 7.3 (παρ.ΗΘ) Μετακινήσεις εφεδράνων

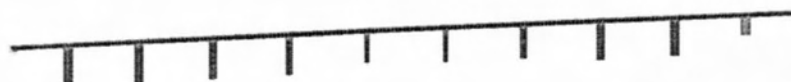
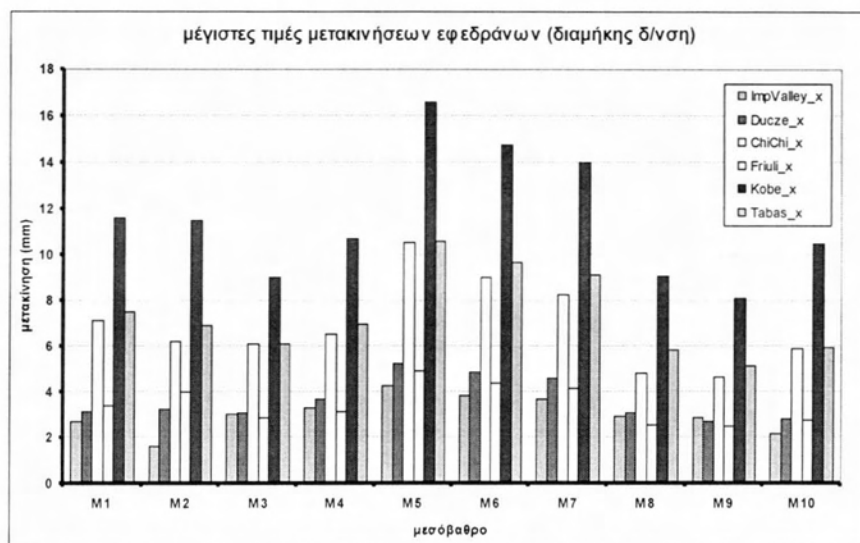
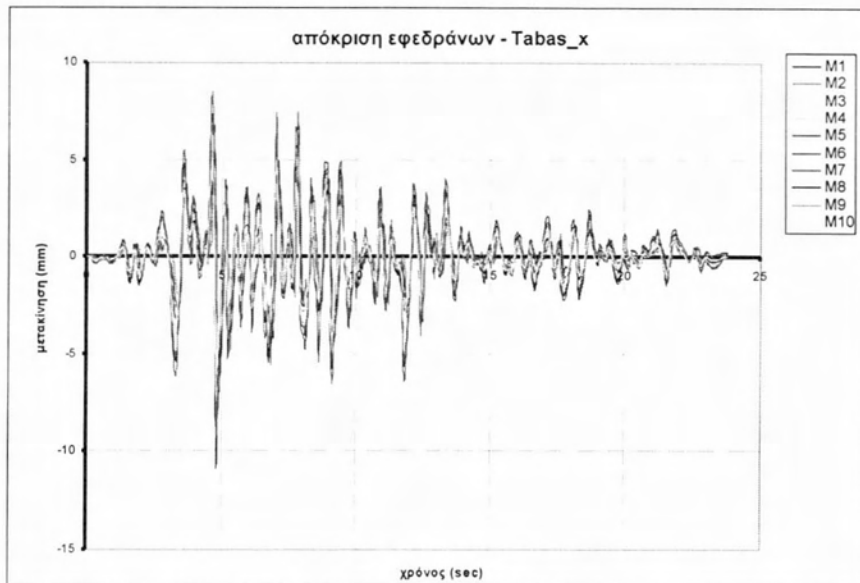
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της σχετικής μετακίνησης των εφεδράνων της δεξιάς οριογραμμής της γέφυρας ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαιπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Η.1) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα



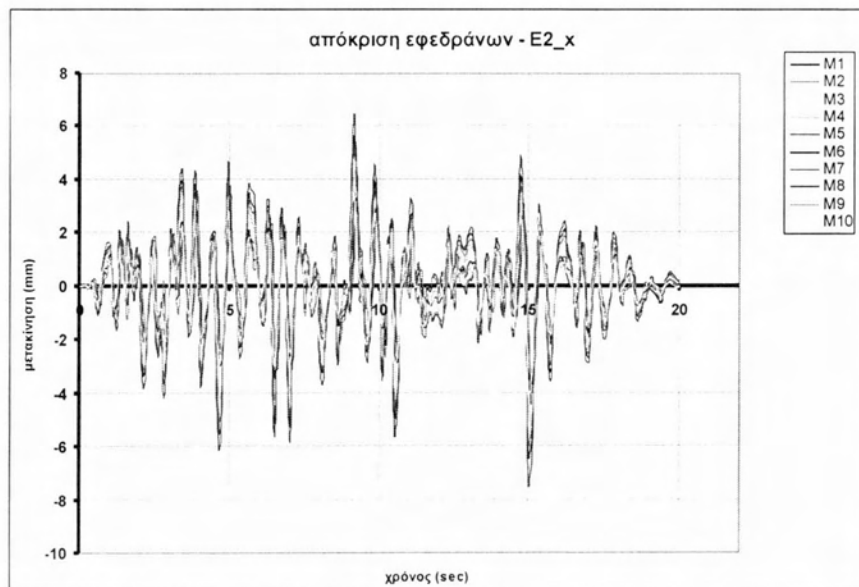
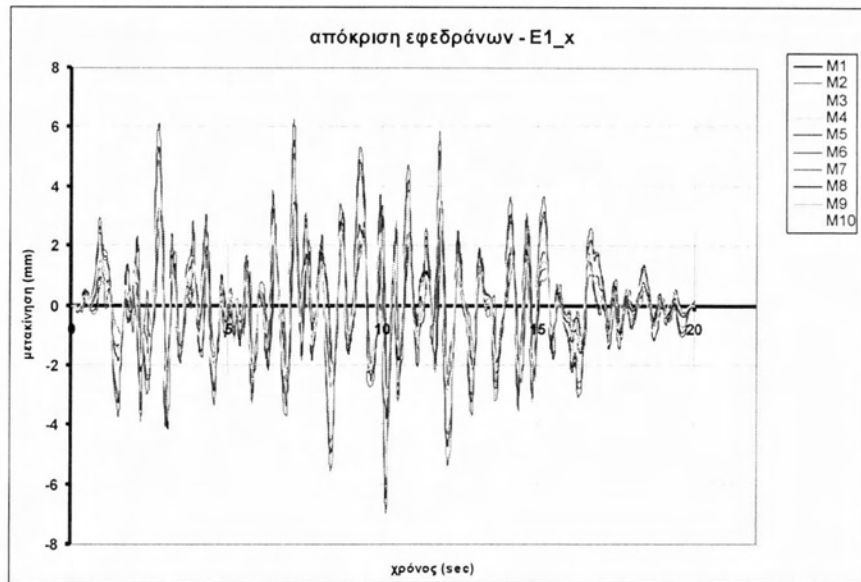


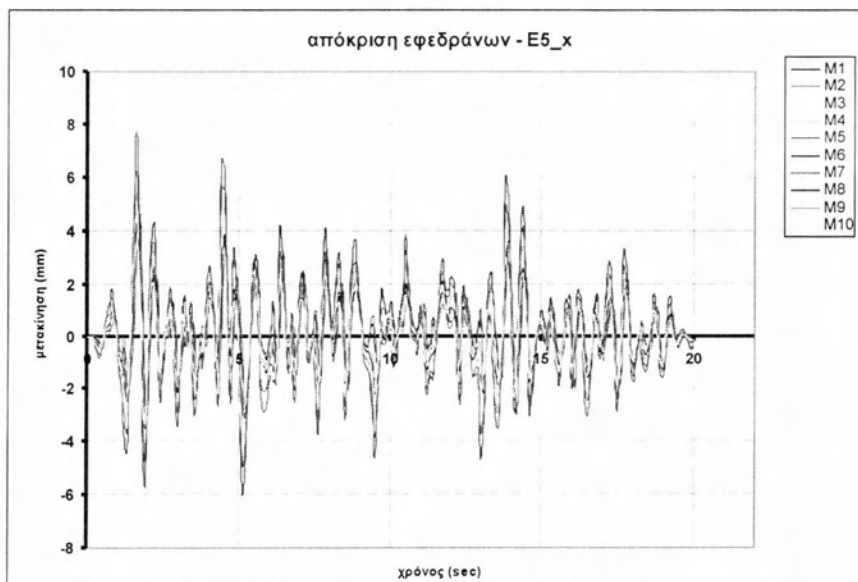
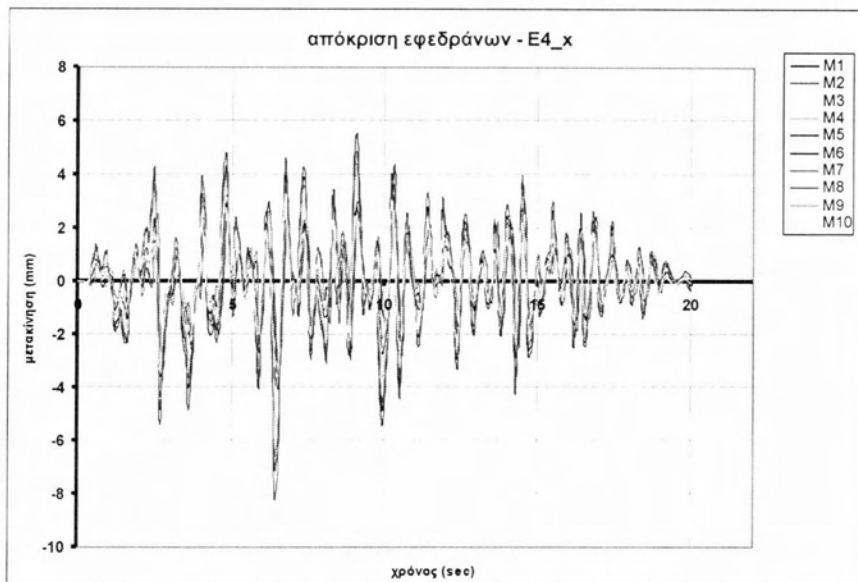
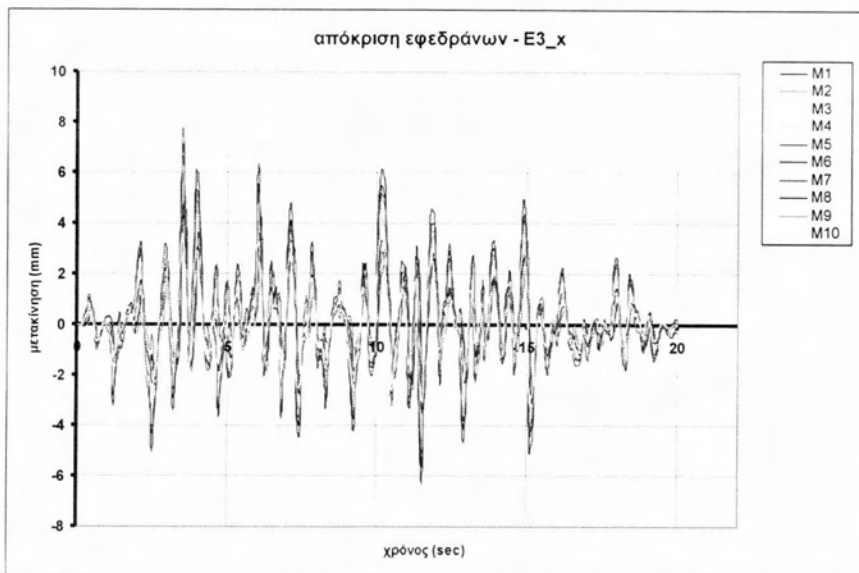


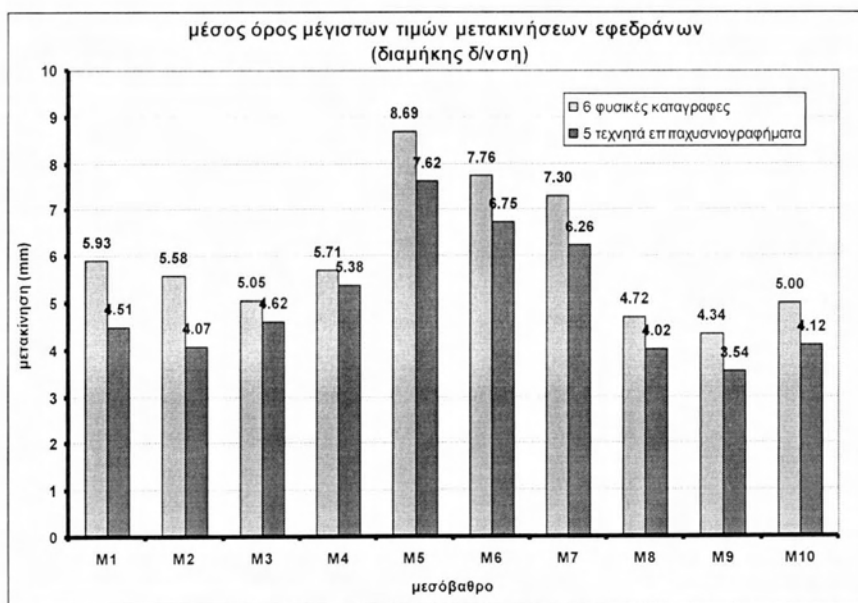
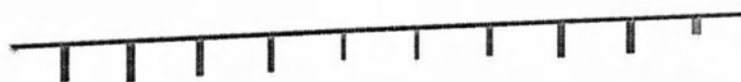
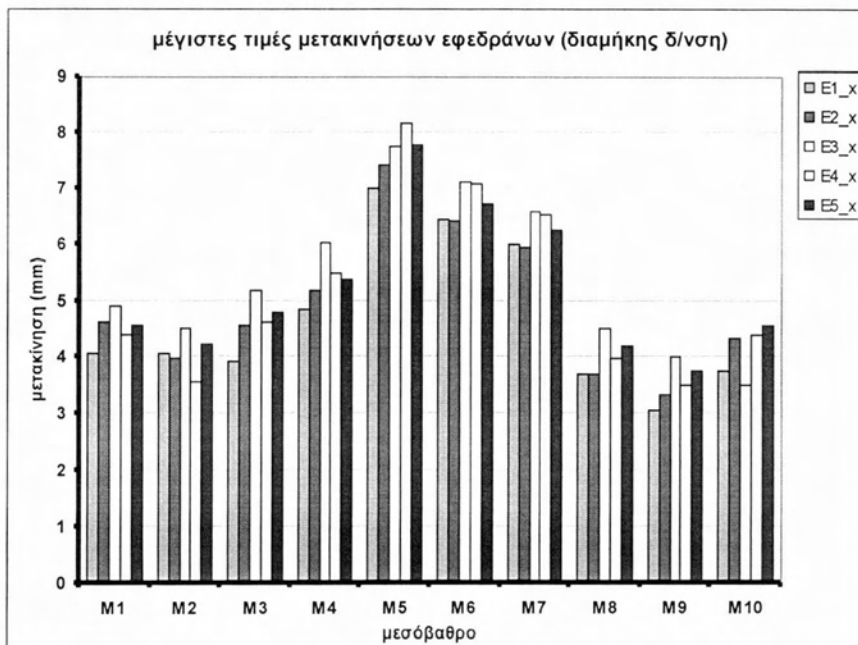


Διαγράμματα 7.2.13 Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις  
σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

## (H.2) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

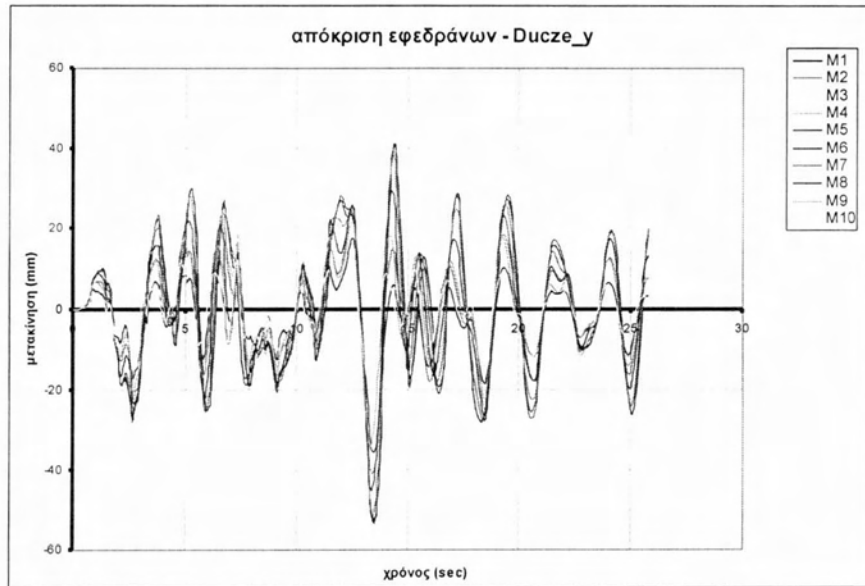
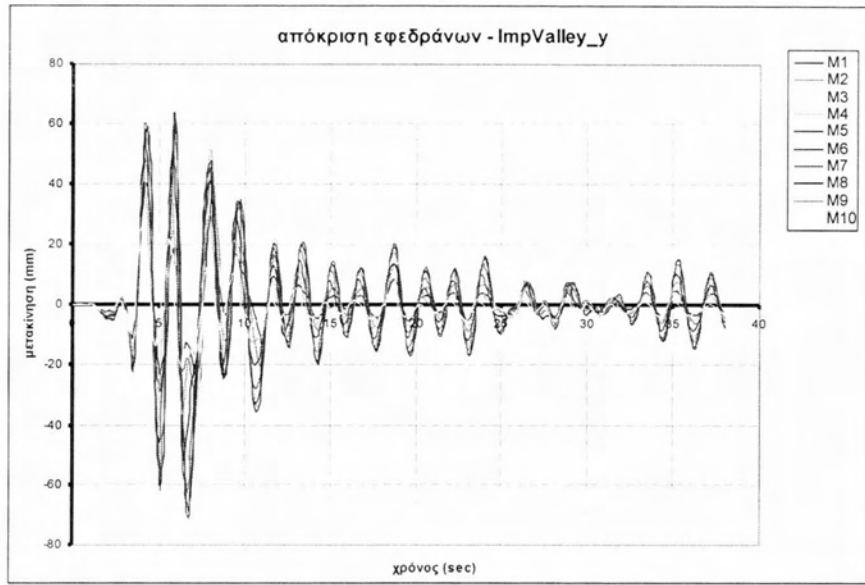


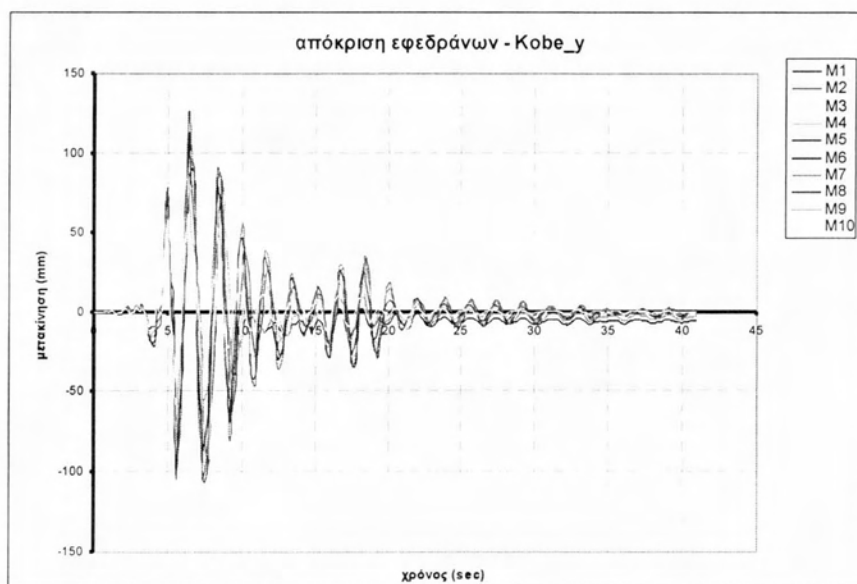
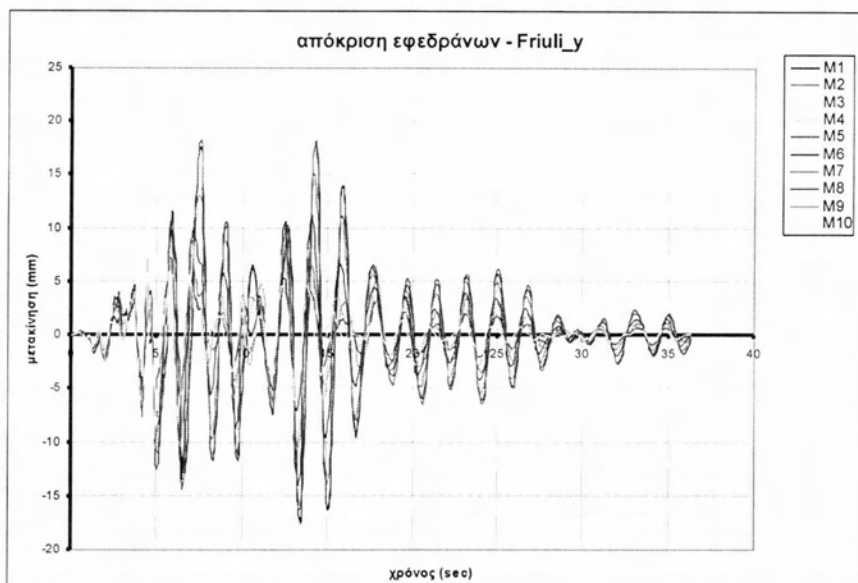
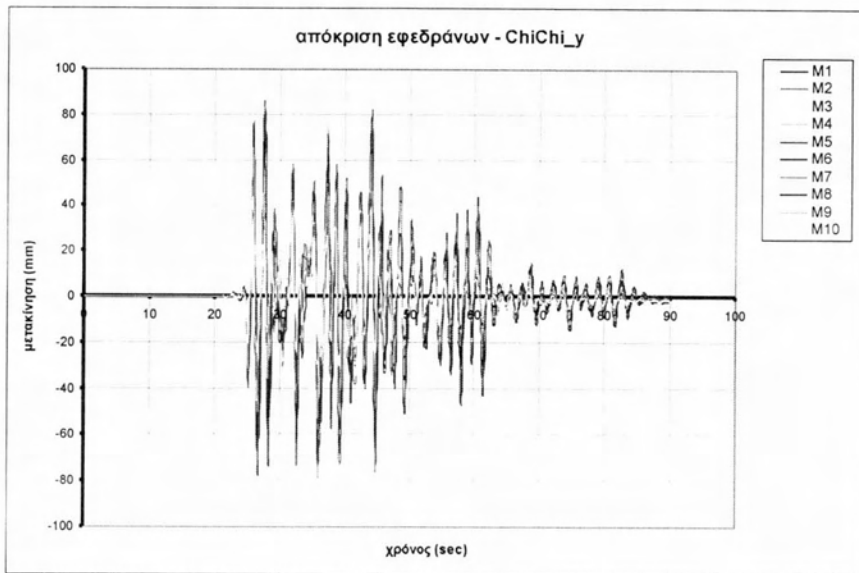


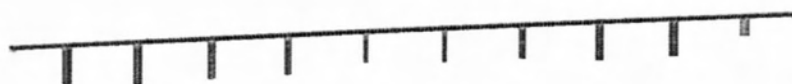
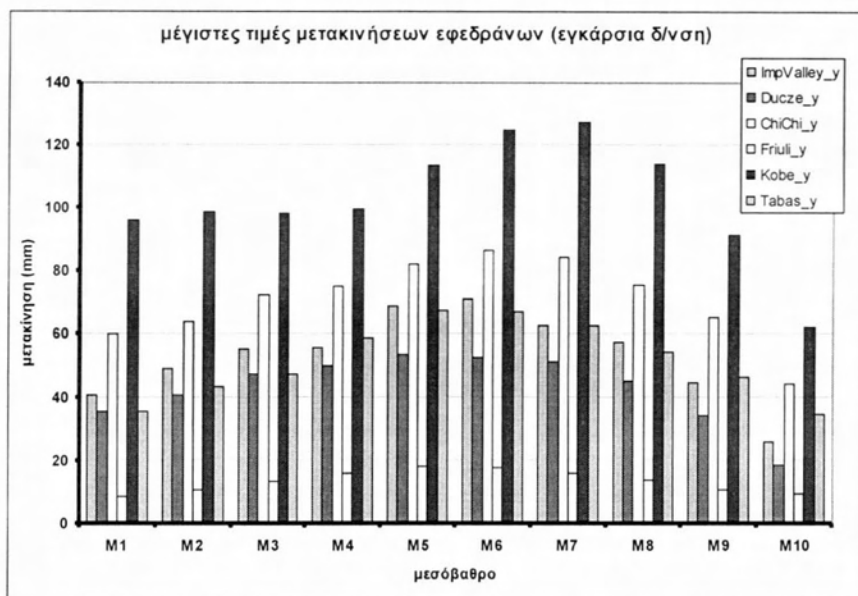
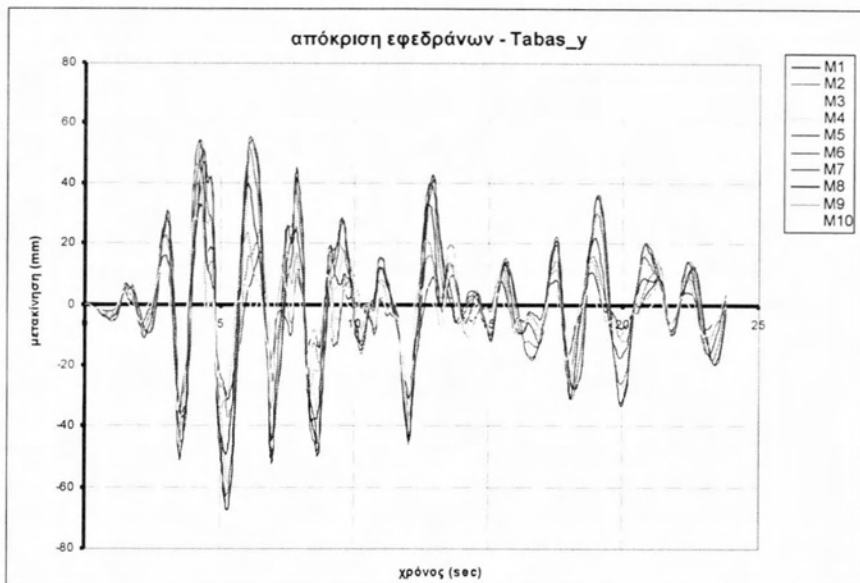


Διαγράμματα 7.2.14 Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

**(Θ.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**

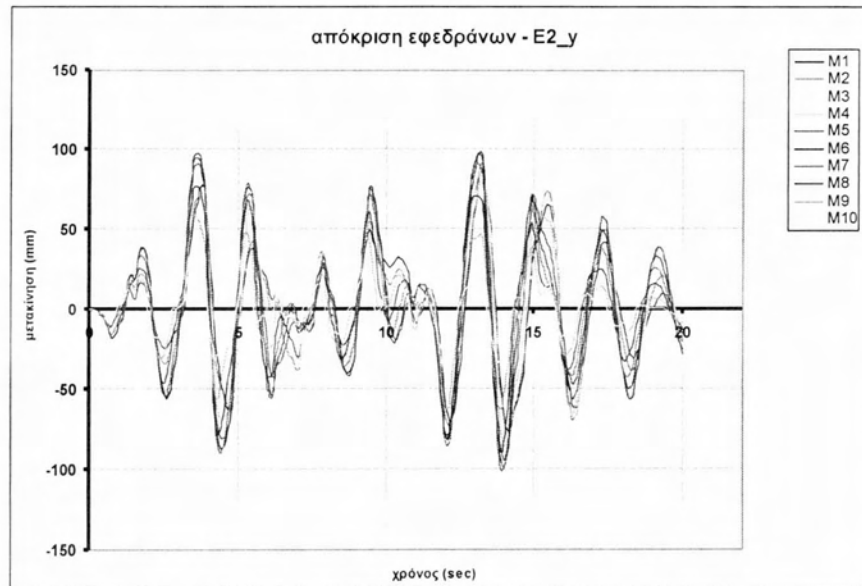
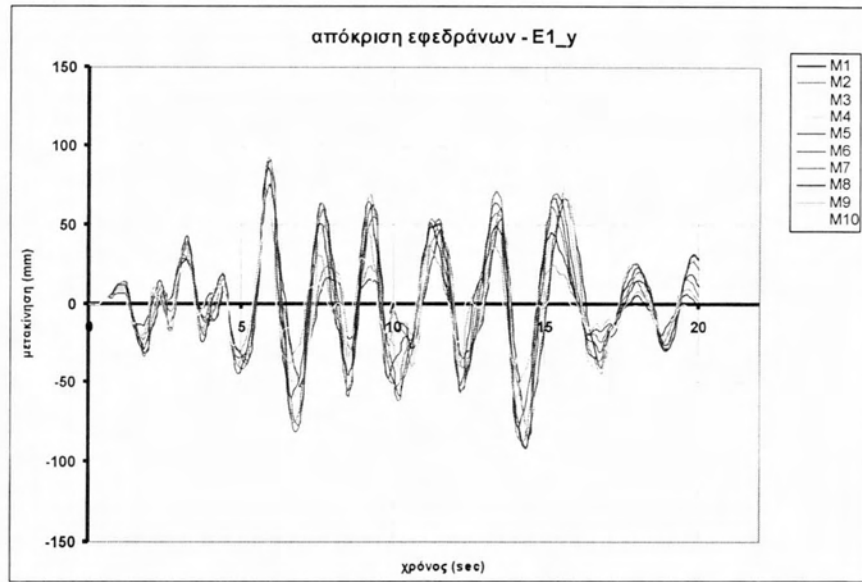




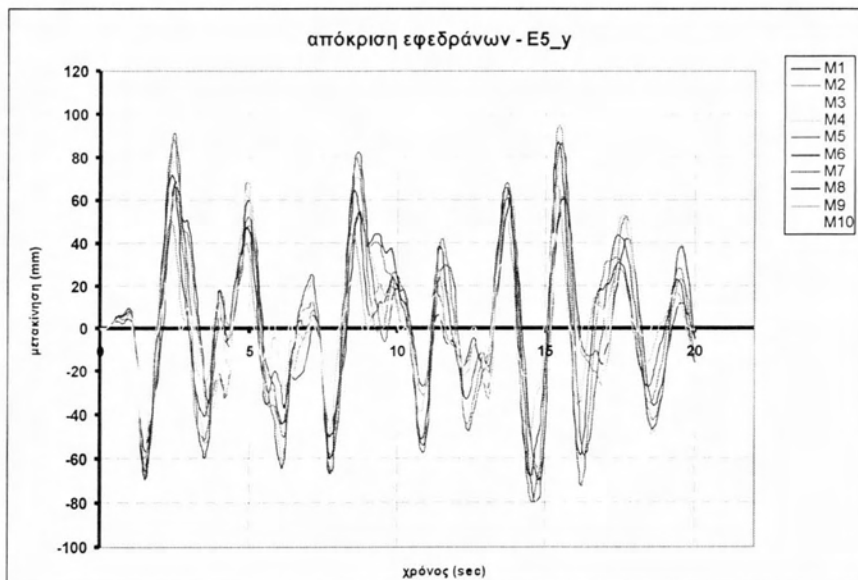
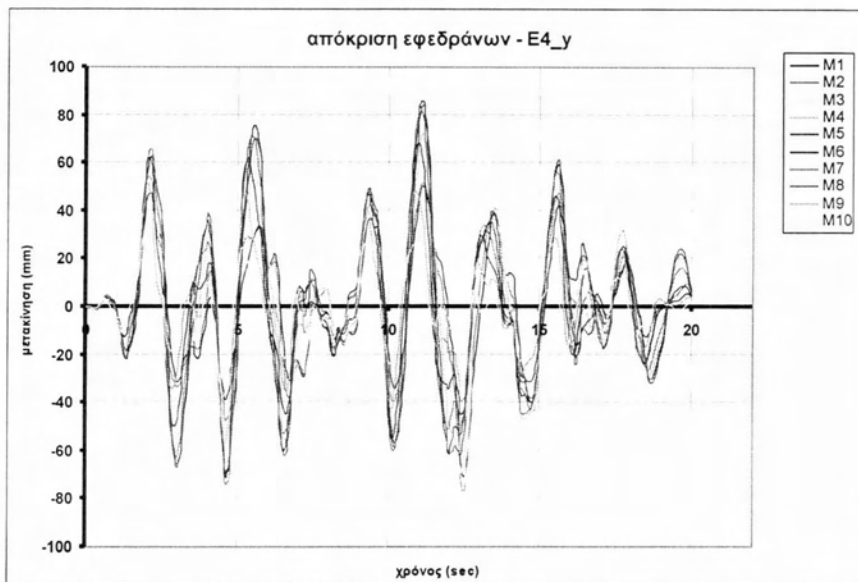
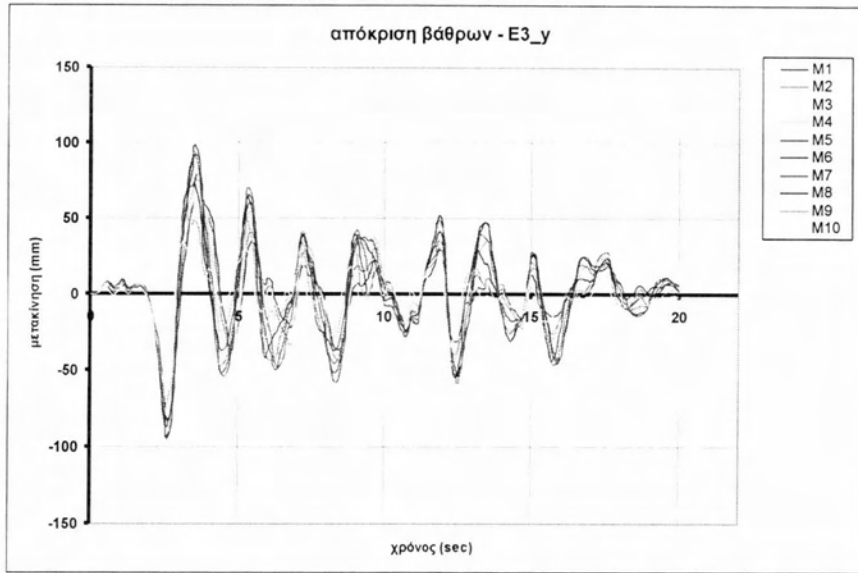


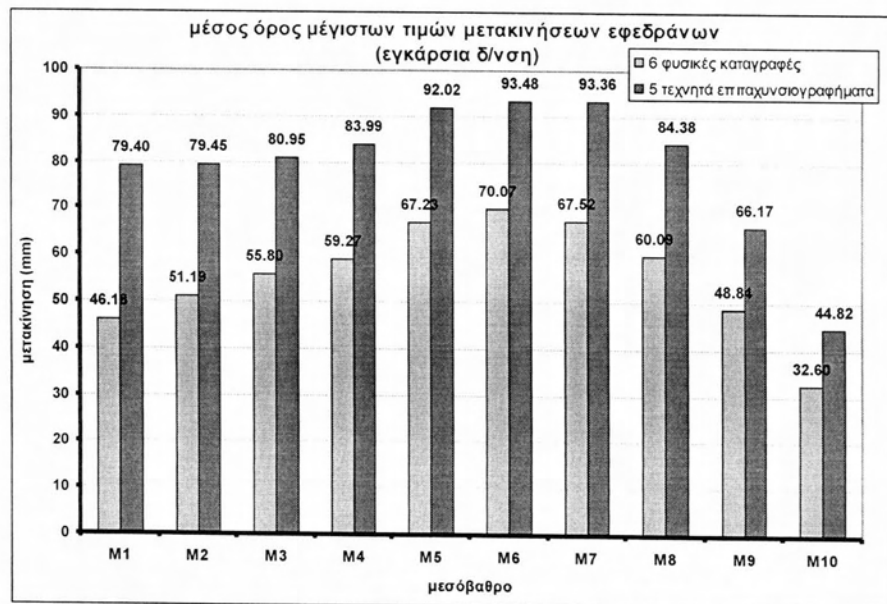
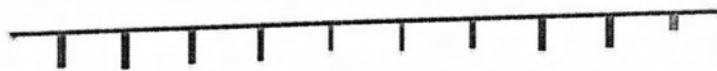
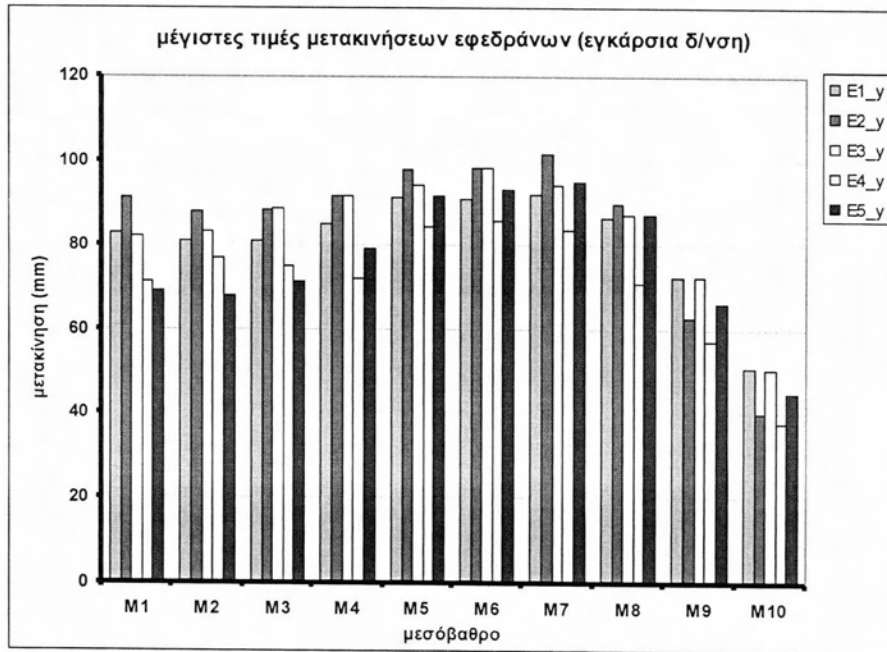
Διαγράμματα 7.2.15 Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες  
σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Θ.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**









Διαγράμματα 7.2.16 Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

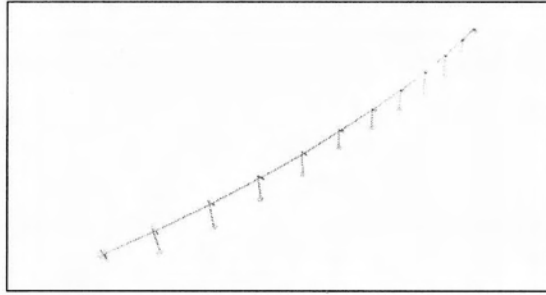
**Κεφάλαιο 8**  
**Αναλύσεις με**  
**αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής**

## 8.1 Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης

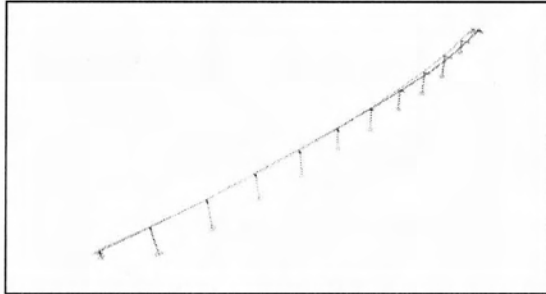
Για την αναγνώριση των δυναμικών χαρακτηριστικών της γέφυρας πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση όπου προέκυψαν οι ακόλουθες ιδιομορφές.

Modal Participating Mass Ratios													
Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	2.081194	0.00072	0.56619	5.86E-09	0.00072	0.56619	5.86E-09	0.00096	1.03E-06	0.25187	0.00096	1.03E-06	0.25187
2	1.936265	0.03704	0.17884	1.79E-06	0.03776	0.74504	1.8E-06	0.00262	7.02E-05	0.41925	0.00358	7.12E-05	0.67112
3	1.647302	0.00057	0.03771	4.46E-06	0.03833	0.78274	6.26E-06	0.00037	1.33E-10	0.05226	0.00395	7.12E-05	0.72338
4	1.280595	0.00498	0.01452	1.02E-05	0.04331	0.79727	1.64E-05	0.00025	4.85E-06	0.02911	0.0042	7.61E-05	0.75249
5	0.956447	0.02997	0.00094	4.28E-06	0.07327	0.79821	2.07E-05	8.13E-06	2.75E-06	0.00036	0.00421	7.88E-05	0.75285
6	0.6936	0.04052	0.00158	1.46E-06	0.11379	0.79979	2.22E-05	2.31E-05	6.03E-07	0.00036	0.00424	7.94E-05	0.75321
7	0.525327	0.14111	0.00163	1.06E-05	0.2549	0.80142	3.28E-05	4.85E-05	2.97E-05	0.01244	0.00428	0.00011	0.76565
8	0.436675	0.35605	0.00408	0.00013	0.61095	0.80549	0.00016	0.0003	0.00012	0.03187	0.00458	0.00023	0.79752
9	0.389433	5.29E-05	4.57E-07	2.57E-05	0.611	0.80549	0.00019	2.82E-05	4.05E-05	4.96E-06	0.00461	0.00027	0.79753
10	0.376791	0.03705	0.00037	3.21E-05	0.64805	0.80586	0.00022	4.65E-05	6.6E-05	0.00422	0.00466	0.00033	0.80175
11	0.364088	0.05165	0.00055	3.88E-05	0.6997	0.8064	0.00026	5.74E-05	1.32E-06	0.00524	0.00472	0.00033	0.80699
12	0.351427	0.01547	0.0003	4.44E-09	0.71516	0.8067	0.00026	2.91E-07	4.16E-06	0.00373	0.00472	0.00034	0.81072
13	0.342854	0.00069	2.06E-05	0.00048	0.71586	0.80672	0.00074	0.00051	0.00063	3.12E-05	0.00523	0.00097	0.81075
14	0.3106	0.00522	3.65E-05	9.23E-06	0.72108	0.80676	0.00075	7.58E-06	0.00025	0.00057	0.00524	0.00122	0.81133
15	0.299436	0.01327	0.00033	9.63E-06	0.73435	0.80709	0.00076	1.43E-05	2.28E-07	0.00073	0.00525	0.00122	0.81206
16	0.296822	0.01402	0.00044	8.11E-11	0.74836	0.80752	0.00076	8.23E-07	5.65E-06	0.0036	0.00525	0.00123	0.81566
17	0.28758	6.97E-05	2.05E-05	0.00092	0.74843	0.80754	0.00168	0.00098	0.00188	0.0001	0.00623	0.00311	0.81576
18	0.268972	0.01445	0.00028	9.61E-09	0.76289	0.80783	0.00168	1.08E-06	1.04E-05	0.0009	0.00623	0.00312	0.81667
19	0.260776	0.01226	1.29E-06	0.00066	0.77515	0.80783	0.00234	0.00069	0.00386	0.00186	0.00692	0.00698	0.81852
20	0.258304	0.00323	0.00027	0.00017	0.77839	0.8081	0.0025	0.0002	0.0003	0.00142	0.00712	0.00728	0.81994
21	0.257645	0.007	0.00013	0.0001	0.78539	0.80823	0.0026	0.00012	0.0002	0.00194	0.00724	0.00748	0.82188
22	0.251195	0.00522	0.00038	3.14E-06	0.79061	0.80862	0.00261	2E-05	0.00107	1.13E-05	0.00726	0.00855	0.82189
23	0.247625	0.00699	2.19E-05	0.00011	0.79759	0.80864	0.00272	9.2E-05	0.00031	0.00087	0.00735	0.00886	0.82276
24	0.242604	0.00058	3.77E-07	0.00316	0.79817	0.80864	0.00587	0.0034	0.00559	0.00017	0.01075	0.01445	0.82293
25	0.226756	0.00051	0.00014	0.00648	0.79868	0.80878	0.01235	0.00835	0.02562	3.77E-05	0.0191	0.04007	0.82296
26	0.226577	0.00088	0.00014	2.06E-05	0.79956	0.80892	0.01237	0.00042	0.00705	0.00113	0.01952	0.04711	0.8241
27	0.215711	0.00011	1.3E-05	0.53488	0.79967	0.80893	0.54725	0.51254	0.48604	3.27E-05	0.53206	0.53315	0.82413
28	0.200186	6.83E-06	4.29E-05	0.0247	0.79967	0.80897	0.57195	0.02605	0.00404	7.44E-06	0.55811	0.53719	0.82414
29	0.198488	0.01062	2.33E-05	0.00052	0.8103	0.809	0.57248	0.00057	0.00126	0.00134	0.55868	0.53846	0.82548
30	0.196825	0.00936	2.38E-06	4.78E-05	0.81966	0.809	0.57252	6.14E-05	0.00615	0.00161	0.55874	0.5446	0.82708
31	0.195007	0.00032	7.39E-05	0.00066	0.81997	0.80907	0.57318	0.00059	0.03434	1.17E-06	0.55933	0.57894	0.82708
32	0.176529	0.0003	0.00259	0.01142	0.82027	0.83447	0.58461	0.01173	0.01373	0.00654	0.57106	0.59267	0.83363
33	0.175092	0.00021	0.00277	0.07717	0.82048	0.83724	0.66178	0.08758	0.07597	2.73E-05	0.65864	0.66864	0.83365
34	0.168651	0.00886	2.91E-05	0.00052	0.82935	0.83727	0.66229	0.00059	0.00087	0.00183	0.65923	0.66951	0.83548
35	0.167274	0.00078	0.00022	0.02618	0.83012	0.83749	0.68847	0.02959	0.03054	7.7E-05	0.68882	0.70006	0.83556
36	0.162349	7.08E-05	0.01875	9.37E-06	0.83019	0.85624	0.68848	1.94E-05	4.11E-08	0.00935	0.68884	0.70006	0.84491
37	0.158659	0.00041	0.03497	0.00012	0.8306	0.89121	0.68861	1.69E-05	0.0002	0.05056	0.68885	0.70025	0.89547
38	0.152109	0.00013	0.00058	1.9E-05	0.83074	0.89179	0.68863	5.39E-06	5.47E-05	0.00207	0.68886	0.70031	0.89754
39	0.147801	0.00047	0.00802	1.5E-05	0.8312	0.89981	0.68864	7.06E-05	3E-08	0.00056	0.68893	0.70031	0.8981
40	0.145312	0.0024	0.00137	9.48E-06	0.8336	0.90118	0.68865	1.6E-05	0.00047	5.17E-05	0.68895	0.70078	0.89815
41	0.144637	0.00168	0.00261	9.31E-05	0.83528	0.90379	0.68874	0.00014	0.00072	0.00165	0.68909	0.70151	0.8998
42	0.132942	0.04712	0.00115	2.99E-05	0.8824	0.90494	0.68877	7.73E-06	0.00418	0.00318	0.6891	0.70568	0.90298
43	0.13181	0.00036	0.02743	2.58E-05	0.88276	0.93237	0.6888	4.58E-06	9.57E-05	0.02733	0.6891	0.70578	0.93031
44	0.127996	6.56E-06	0.00022	3.57E-08	0.88276	0.93258	0.6888	1.04E-06	1.57E-06	4.31E-05	0.6891	0.70578	0.93035
45	0.124148	0.00605	0.00035	1.74E-07	0.88882	0.93293	0.6888	1.76E-06	0.00044	0.00027	0.68911	0.70622	0.93062
46	0.115132	5.2E-07	0.00943	7.4E-06	0.88882	0.94236	0.68881	5.54E-06	7.09E-06	0.00602	0.68911	0.70623	0.93664
47	0.110053	0.00044	3.44E-05	0.00047	0.88926	0.94239	0.68928	0.00055	0.00066	1.7E-06	0.68966	0.70688	0.93664
48	0.106781	6.79E-07	7.66E-09	9.85E-07	0.88926	0.94239	0.68928	1.4E-06	0.00121	3.07E-08	0.68967	0.7081	0.93664
49	0.10646	3.5E-06	2.48E-06	4.61E-05	0.88926	0.9424	0.68933	0.00011	0.00022	9.11E-06	0.68978	0.70831	0.93665
50	0.10622	2.76E-05	8.41E-06	0.00058	0.88929	0.94241	0.6899	0.00054	0.00107	3.59E-05	0.69032	0.70939	0.93668
51	0.105963	2.29E-05	2.99E-06	0.00019	0.88931	0.94241	0.69009	6.31E-05	0.00098	2.57E-07	0.69038	0.71037	0.93669
52	0.104861	9.58E-06	1.8E-05	0.00028	0.88932	0.94243	0.69038	0.00032	0.00023	2.52E-05	0.69071	0.7106	0.93671
53	0.104044	6.63E-05	6.94E-06	0.0006	0.88939	0.94243	0.69098	0.00051	0.00019	6.06E-05	0.69121	0.7108	0.93677
54	0.103767	4.29E-05	5.24E-09	0.00022	0.88943	0.94243	0.6912	0.00017	4.76E-05	6.73E-06	0.69138	0.71084	0.93678
55	0.102377	9.13E-07	0.00021	0.00217	0.88943	0.94264	0.69337	0.00274	0.00233	0.00043	0.69412	0.71317	0.93721
56	0.10041	1.01E-05	5.2E-05	0.00113	0.88944	0.94269	0.6945	0.00151	0.00063	6.74E-05	0.69563	0.7138	0.93728
57	0.096545	1.06E-05	1.66E-05	0.00024	0.88945	0.94271	0.69475	0.00034	0.00021	7.15E-05	0.69597	0.71401	0.93735
58	0.096064	2.38E-06	2.24E-06	0.00043	0.88945	0.94271	0.69517	0.00044	0.00036	1.34E-05	0.69641	0.71438	0.93736
59	0.09402	0.00956	0.0003	4.4E-11	0.89901	0.94301	0.69517	1.96E-06	1.34E-05	0.0004	0.69641	0.71439	0.93776
60	0.086816	0.00095	3.94E-05	2.38E-05	0.89997	0.94305	0.6952	3.6E-05	0.00019	2.51E-05	0.69644	0.71458	0.93779
61	0.083245	0.01263	0.00013	5.77E-05	0.9126	0.94318	0.69526	4.7E-05	0.0007	0.00125	0.69649	0.71528	0.93904
62	0.078149	0.0003	3.81E-05	3.84E-06	0.9129	0.94321	0.69526	2.5E-06	6.39E-07	7.53E-08	0.69649	0.71528	0.93904
63	0.077045	0.00035	0.00964	3.69E-10	0.91326	0.95285	0.69526	6.05E-05	1.18E-06	0.01947	0.69655	0.71528	0.9585
64	0.073713	0.00036	1.54E-05	0.00668	0.91361	0.95287	0.70194	0.00703	0.00618	6.14E-06	0.70358	0.72146	0.95851
65	0.071169	0.00014	1.32E-08	0.00024	0.91376	0.95287	0.70218	0.00024	0.00117	2.65E-05	0.70382	0.72263	0.95854
66	0.070672	0.00654	1.87E-05	2.45E-06	0.9203	0.95289	0.70218	1.44E-06	2.62E-05	0.00126	0.70383	0.72266	0.9598
67	0.069803	0.00047	4.18E-06	0.10631	0.92077	0.95289	0.80849	0.10238	0.14878	4.7E-05	0.80621	0.87143	0.95985
68	0.068914	0.00132	2.12E-06	0.02182	0.92209	0.95289	0.83031	0.02031	0.01798	0.00021	0.82652	0.88941	0.96005
69	0.068895	0.00685	7.21E-05	0.00022	0.92893	0.95297	0.83052	0.00019	0.00016	0.0006	0.82672	0.88957	0.96065
70	0.06832	0.00629	0.00012	1.77E-08	0.93522	0.95309	0.83052	1.4E-07	8.52E-07	0.00039	0.82672	0.88957	0.96105

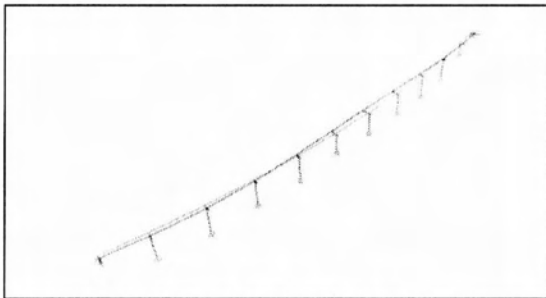
Πίνακας 8.1 Πίνακας ιδιομορφών



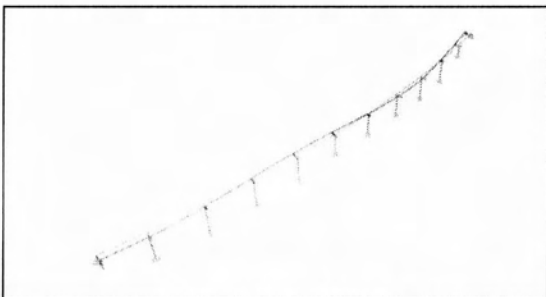
Mode 1  $T=2.08$  sec



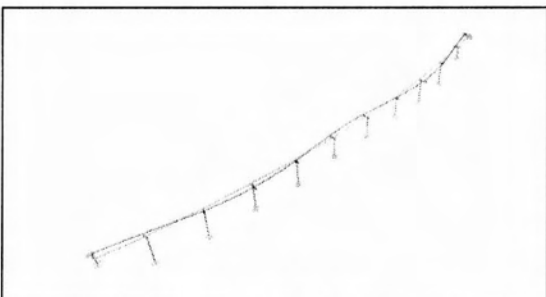
Mode 2  $T=1.93$  sec



Mode 3  $T=1.64$  sec



Mode 4  $T=1.28$  sec



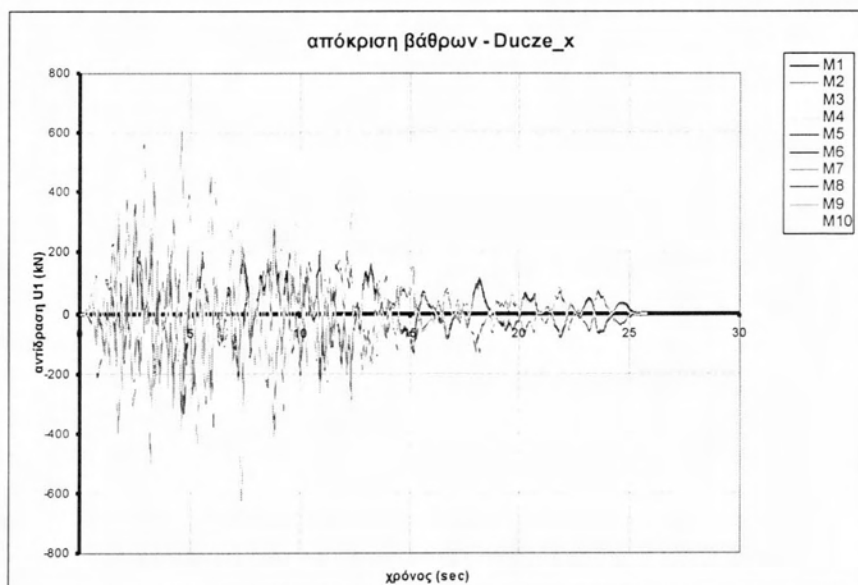
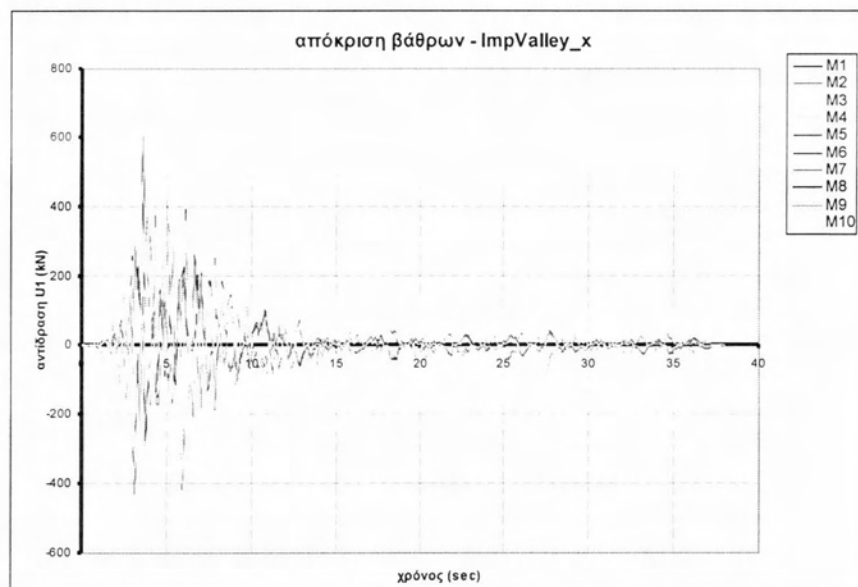
Mode 5  $T=0.96$  sec

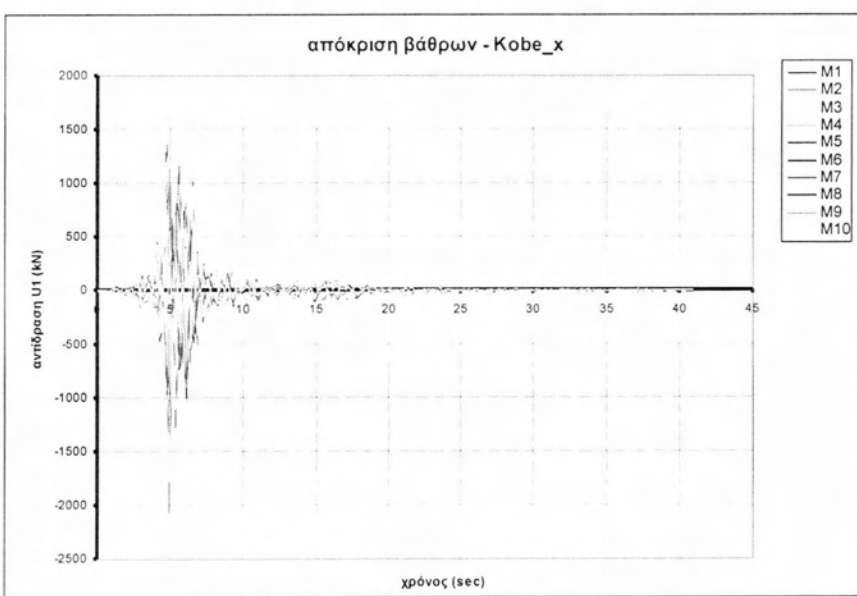
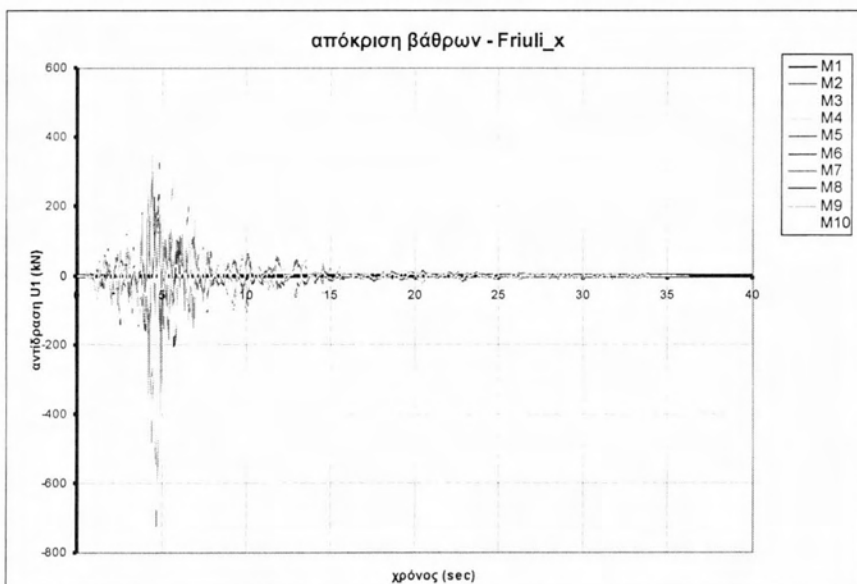
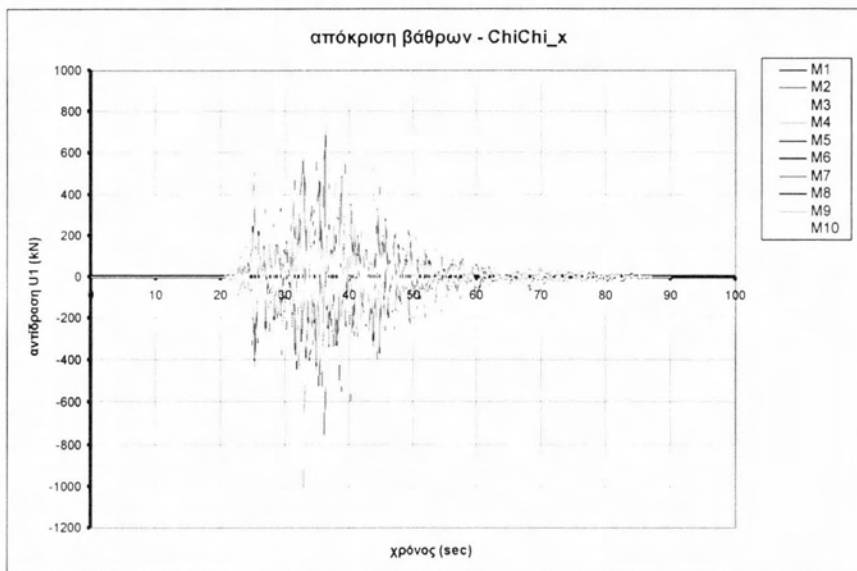
## 8.2 Απόκριση μεσοβάθρων

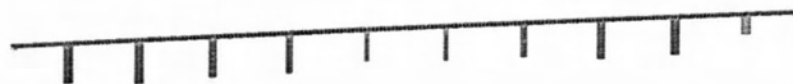
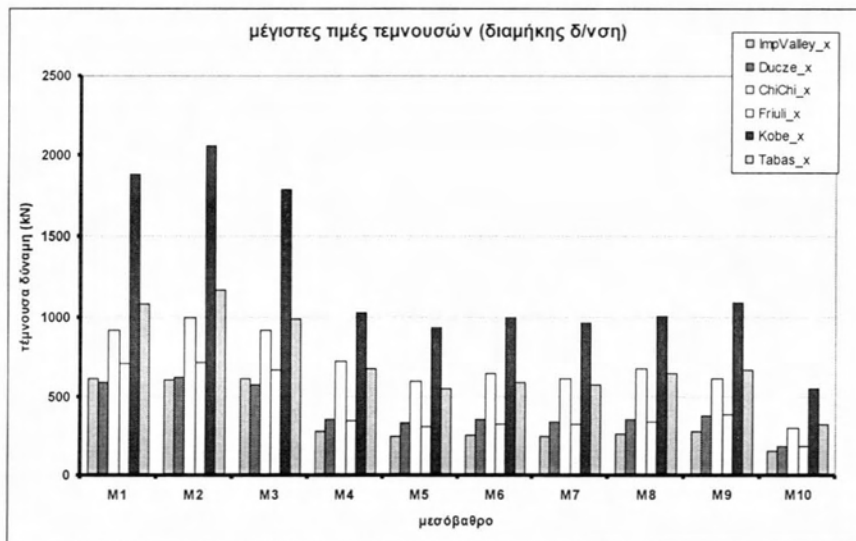
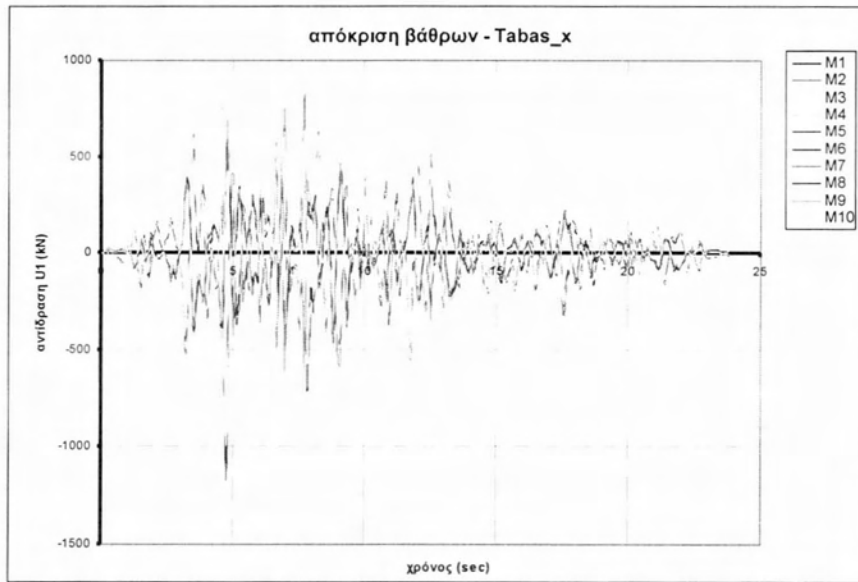
### (ΑΒ) Τέμνουσες δυνάμεις στη βάση των μεσοβάθρων

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της τέμνουσας δύναμης που αναπτύσσεται σε κάθε μεσόβαθρο ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Α.1) Διαμήκειες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα



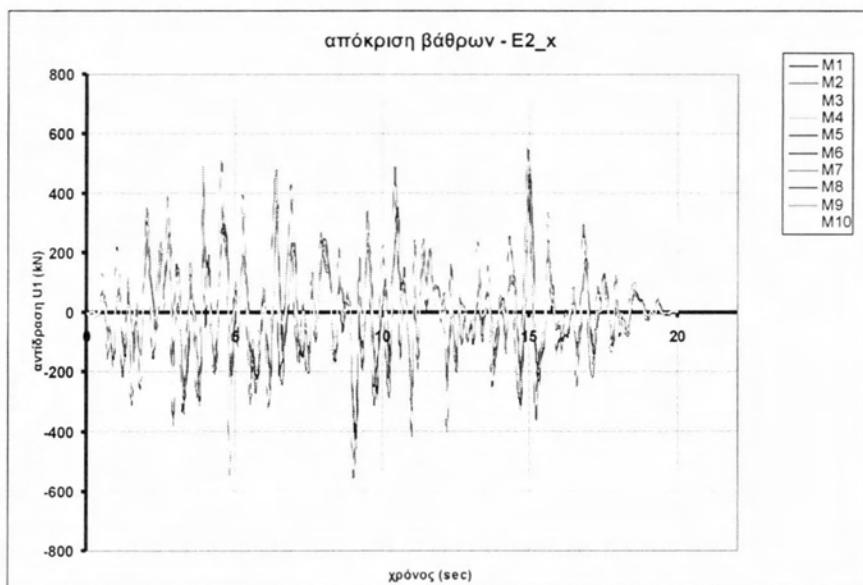
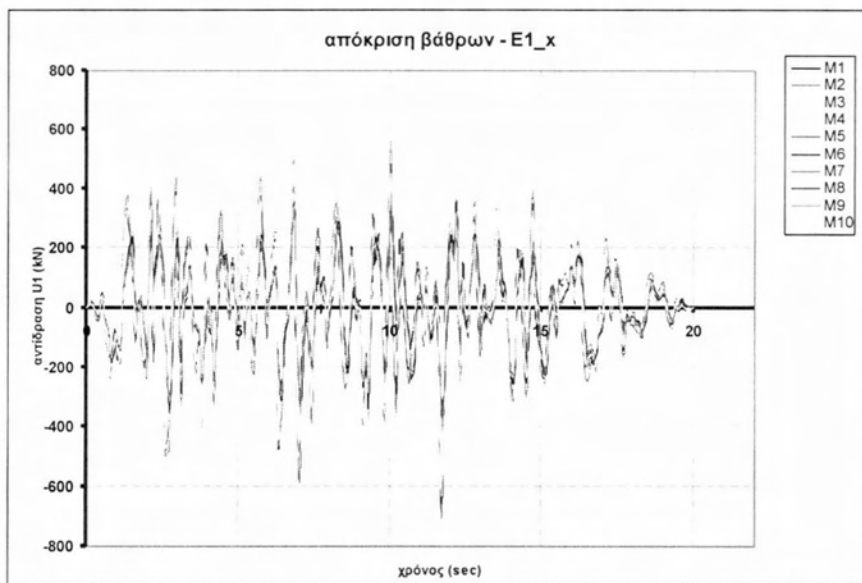


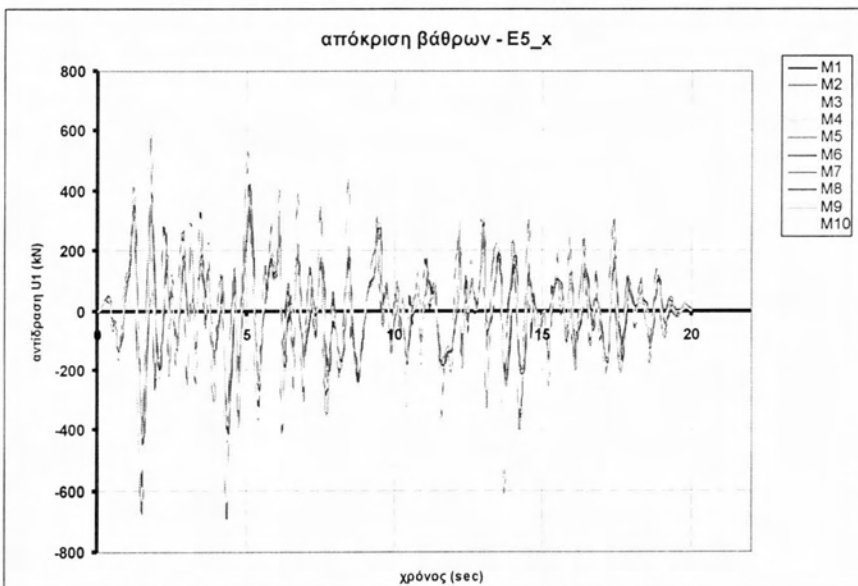
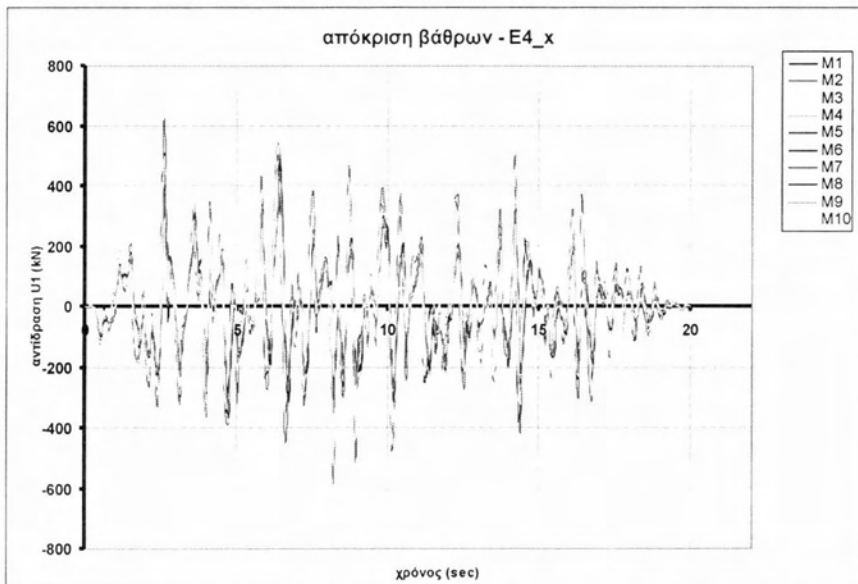
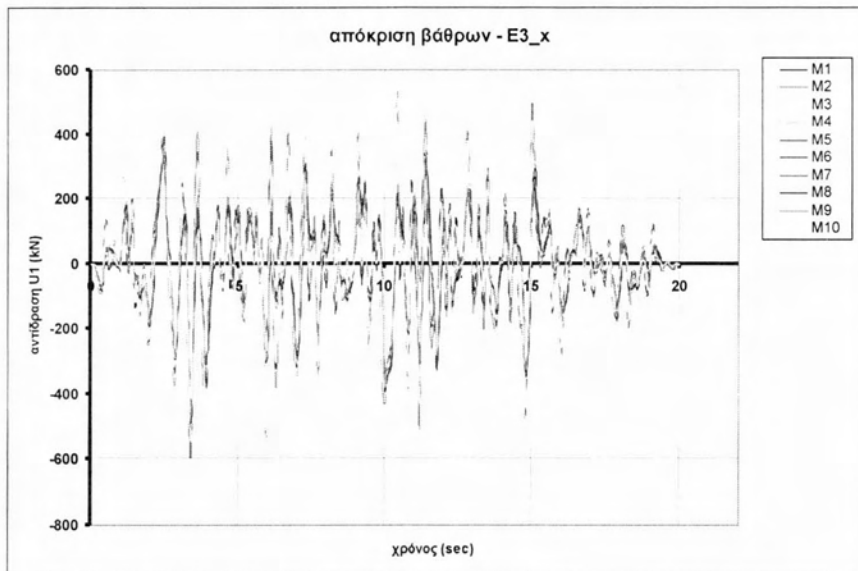


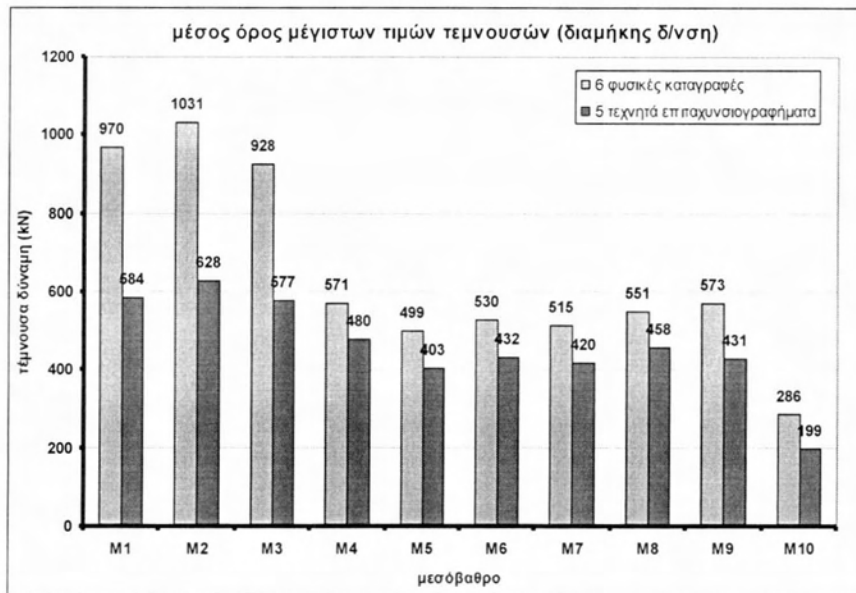
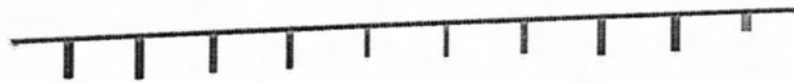
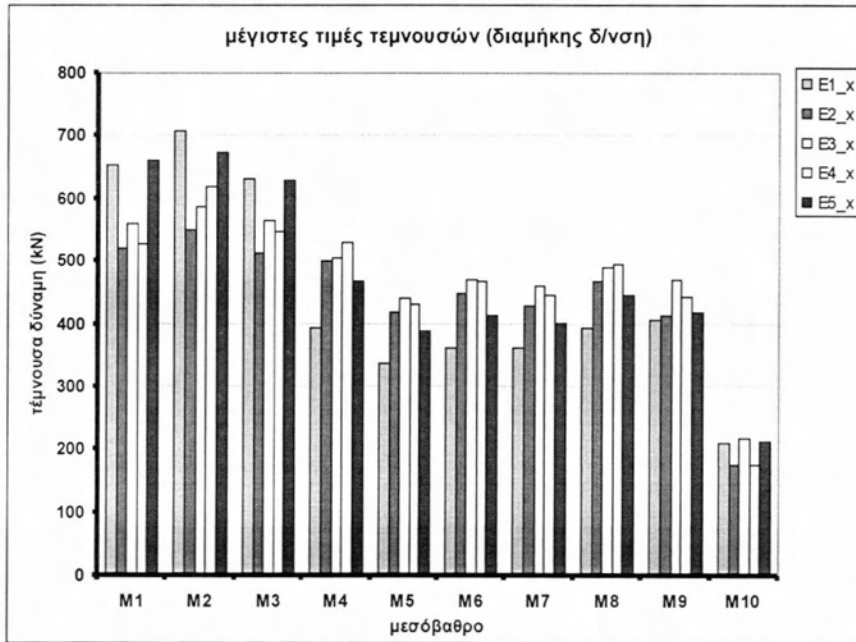
Διαγράμματα 8.2.1 Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα



**(A.2) Διαμήκειες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**

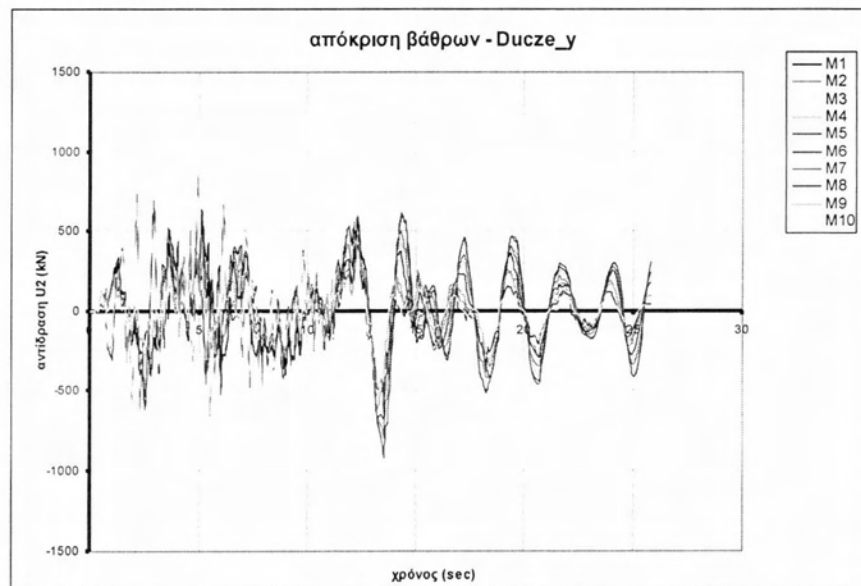
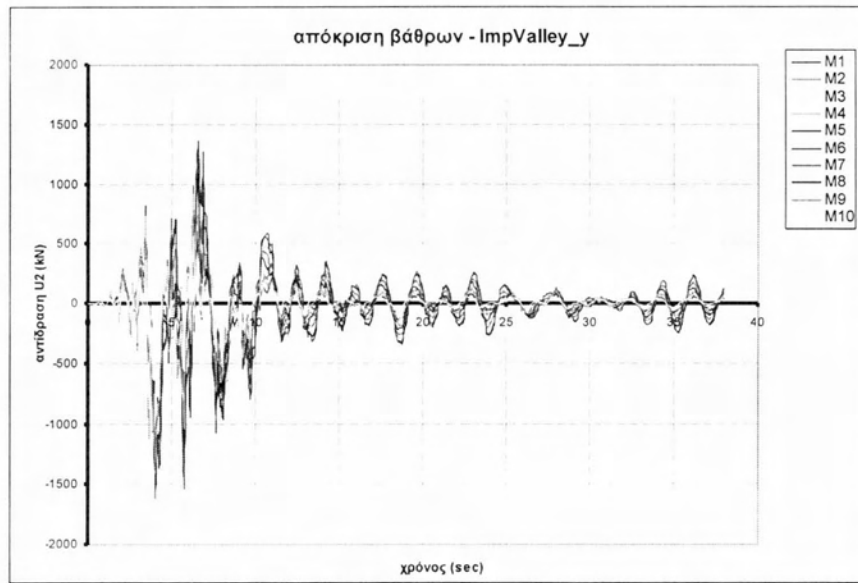


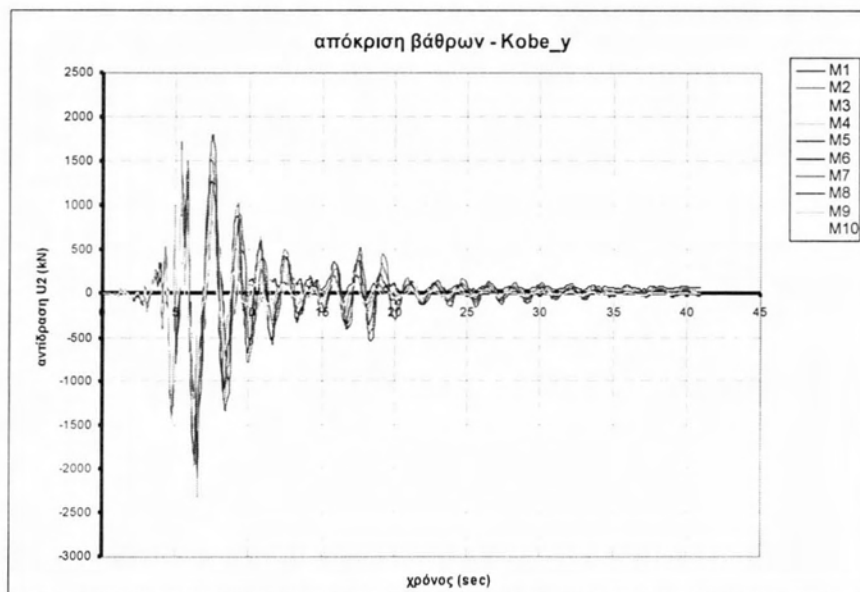
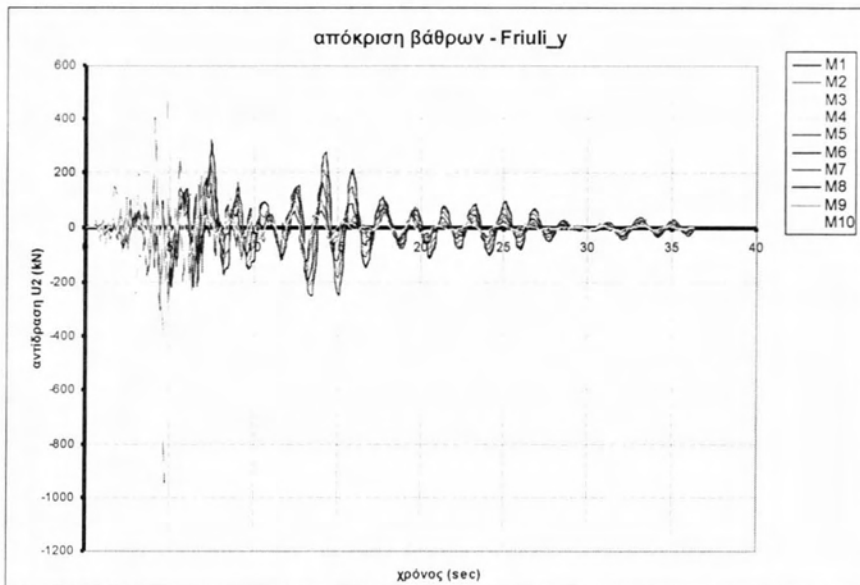
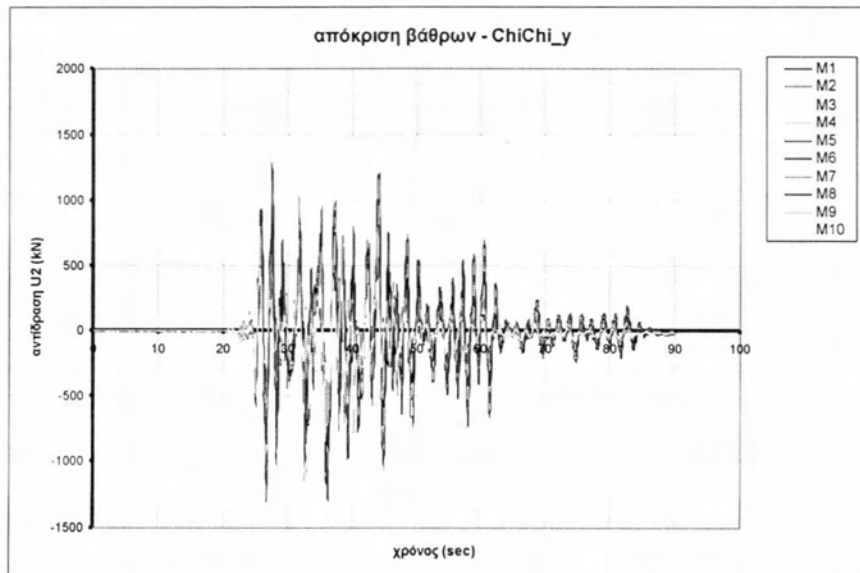


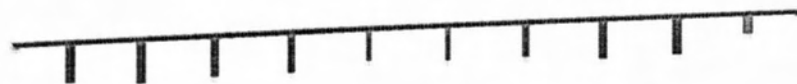
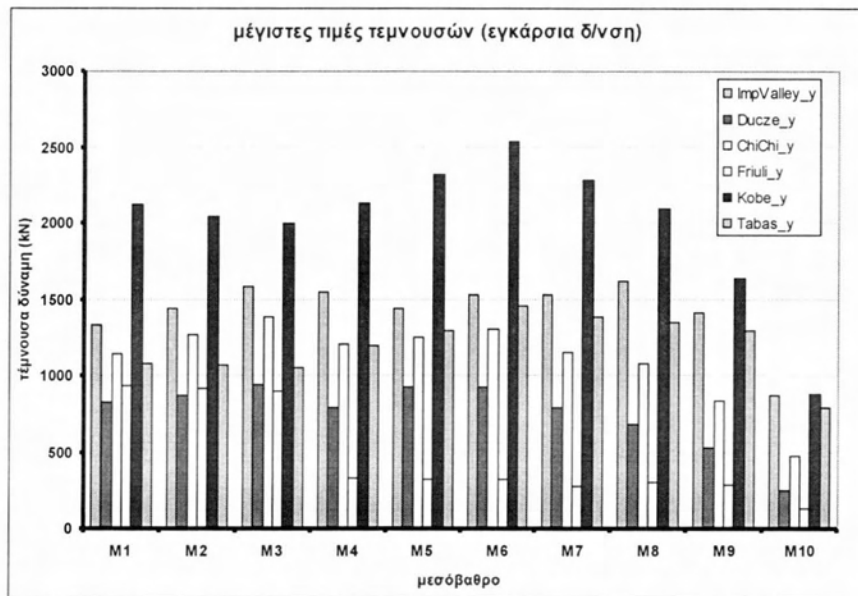
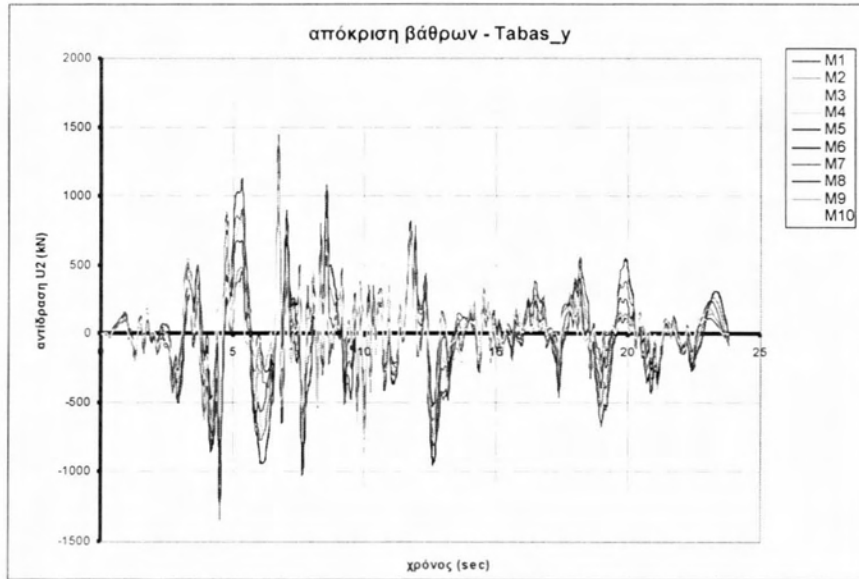


Διαγράμματα 8.2.2 Τέμνουσες για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

**(B.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**

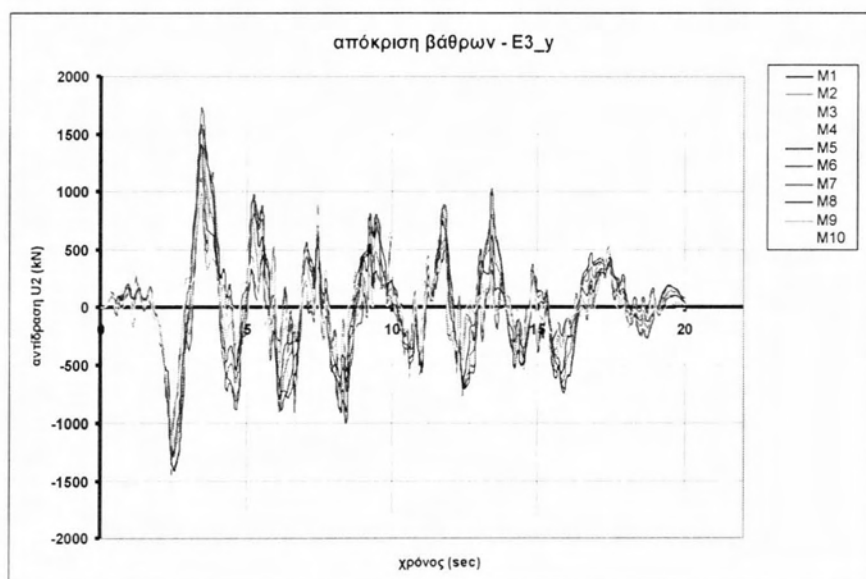
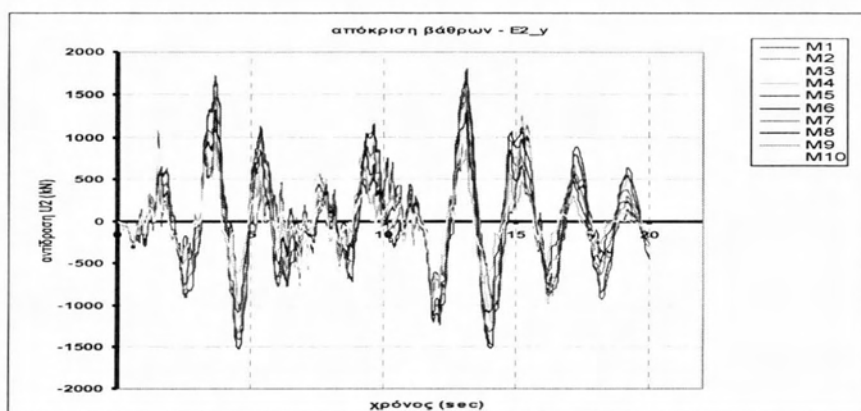
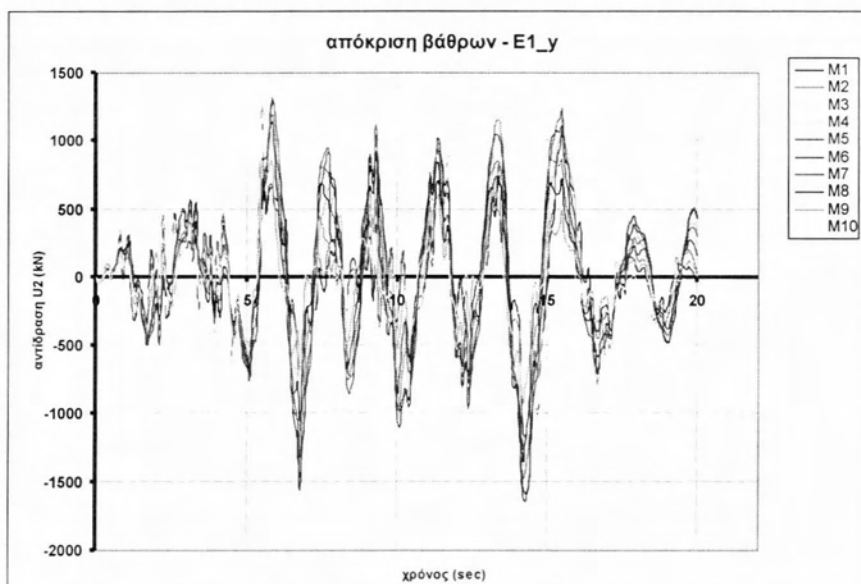


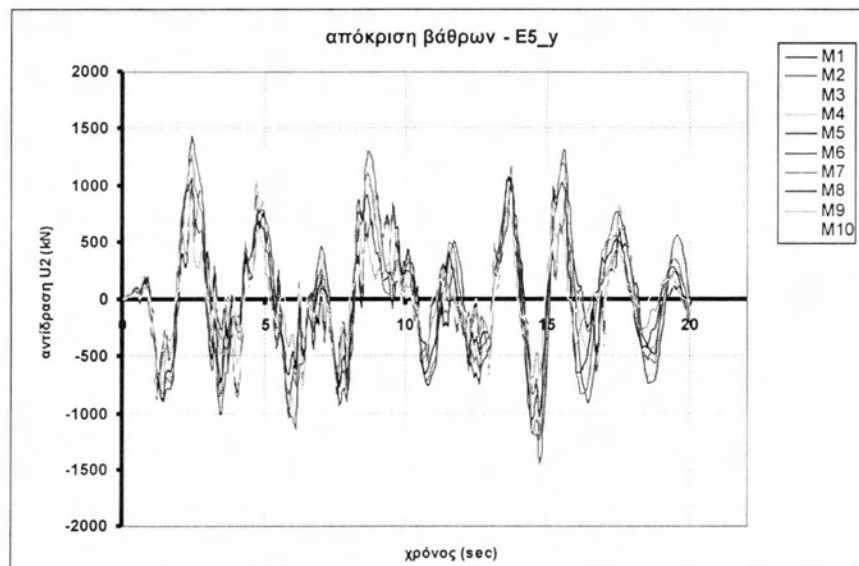
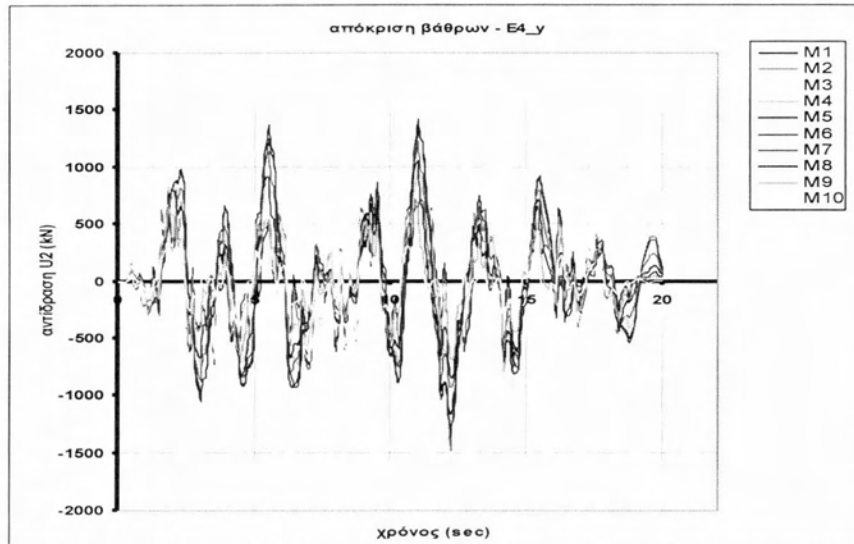




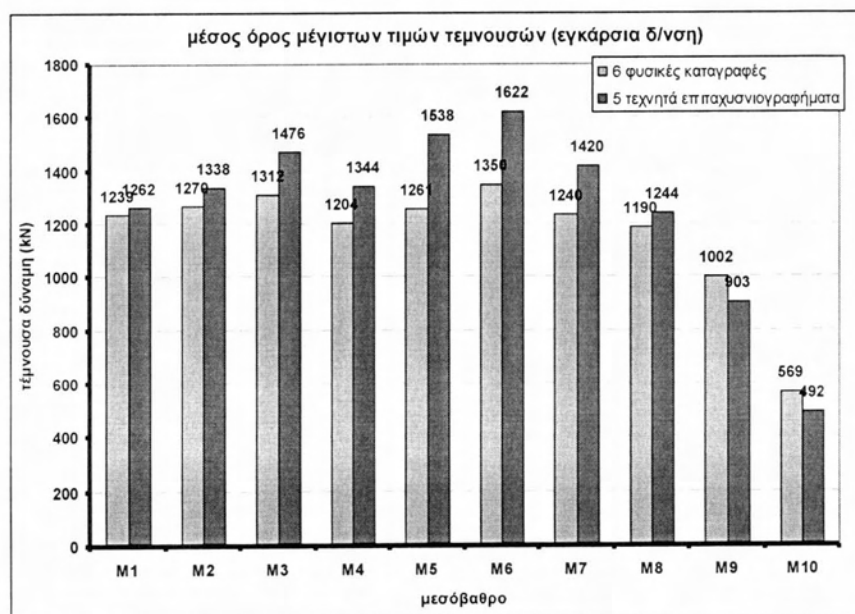
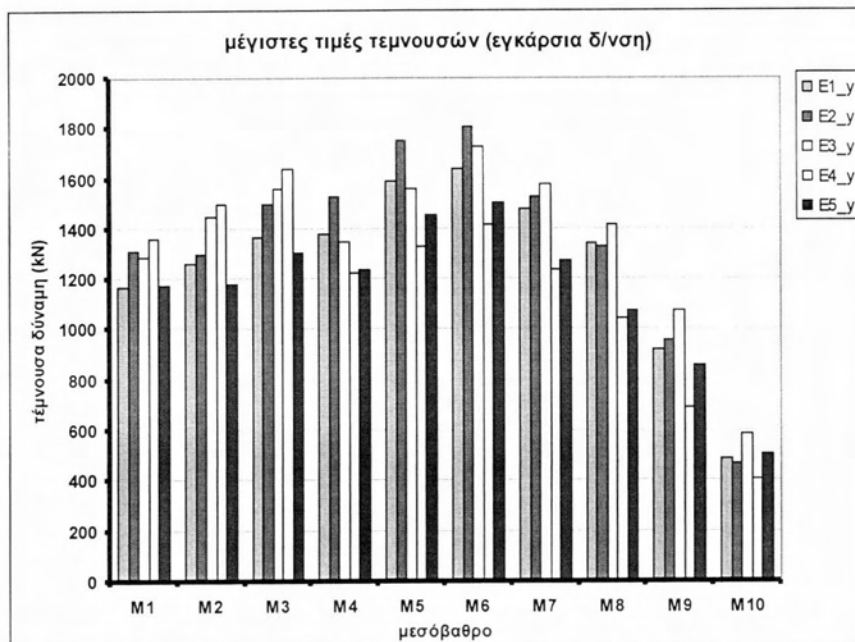
Διαγράμματα 8.2.3 Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(B.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**







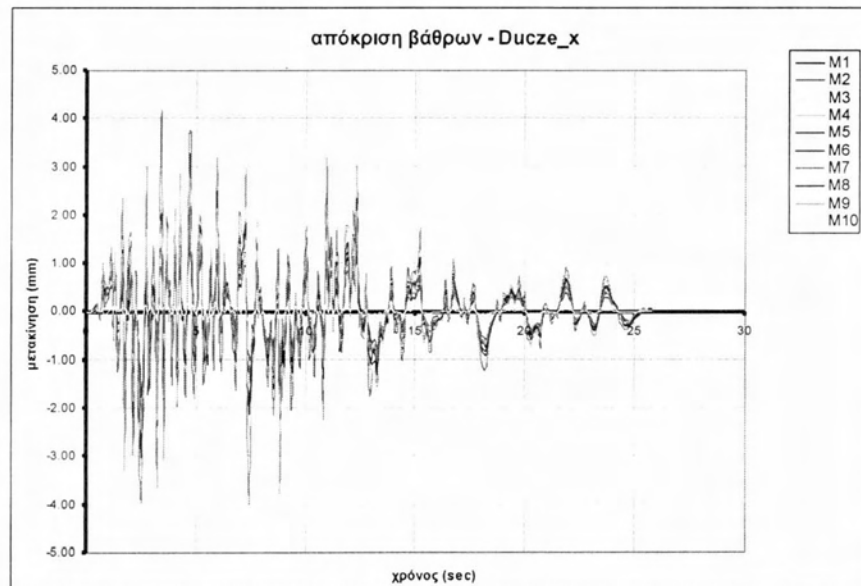
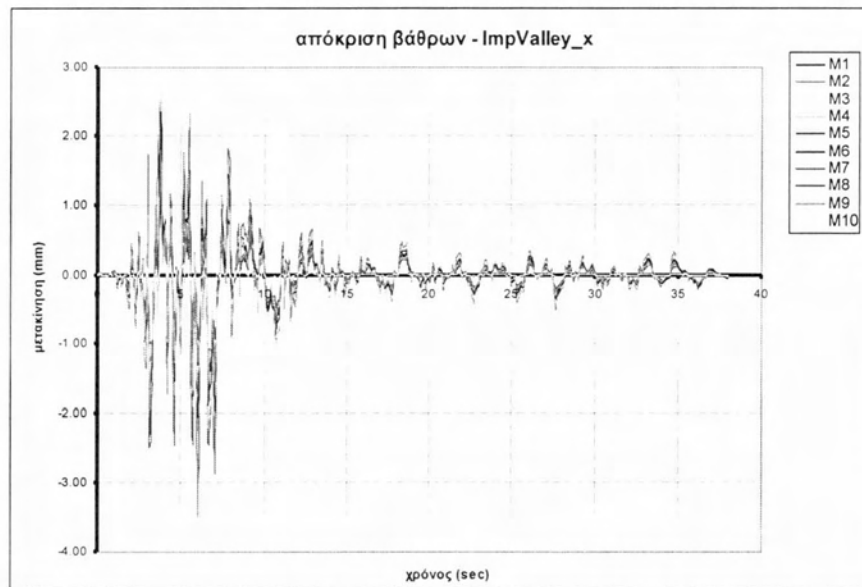


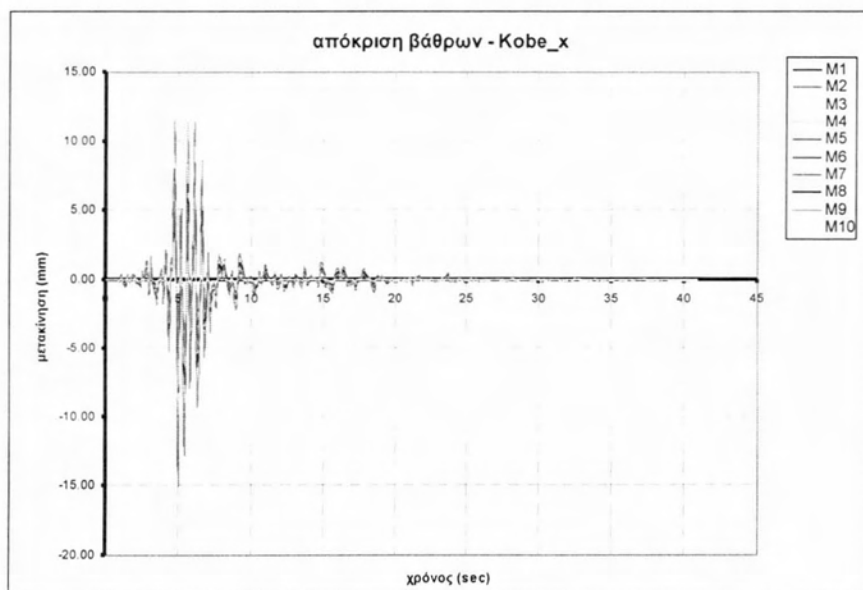
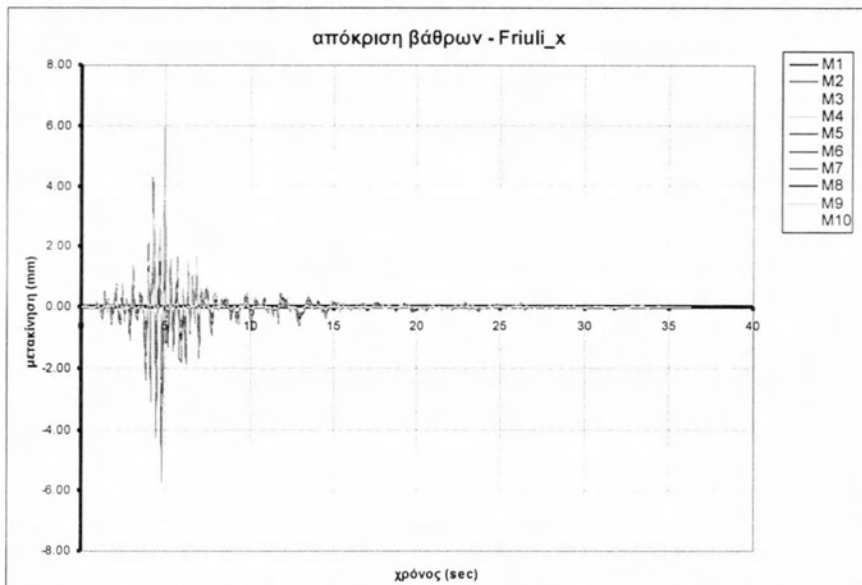
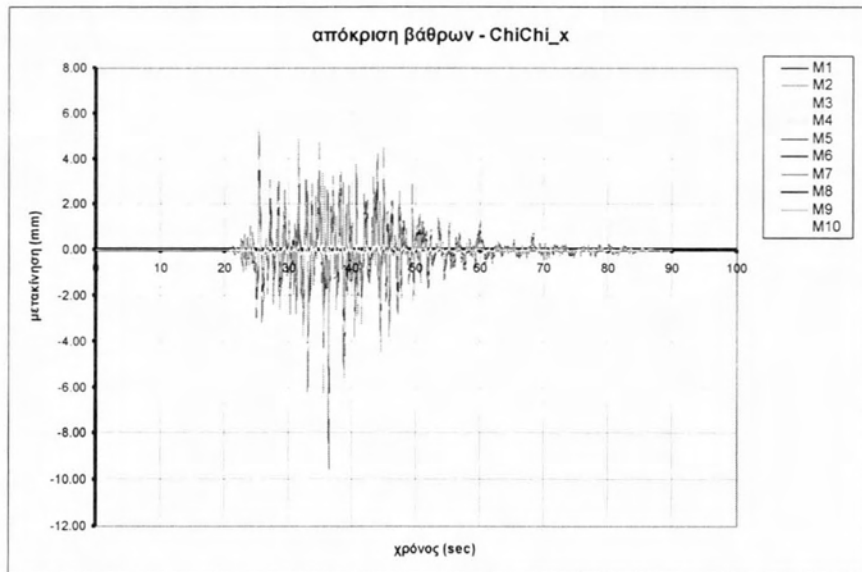
Διαγράμματα 8.2.4 Τέμνουσες για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

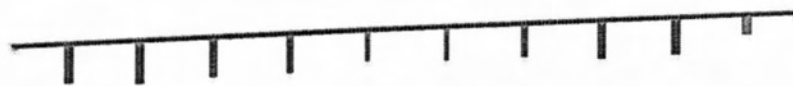
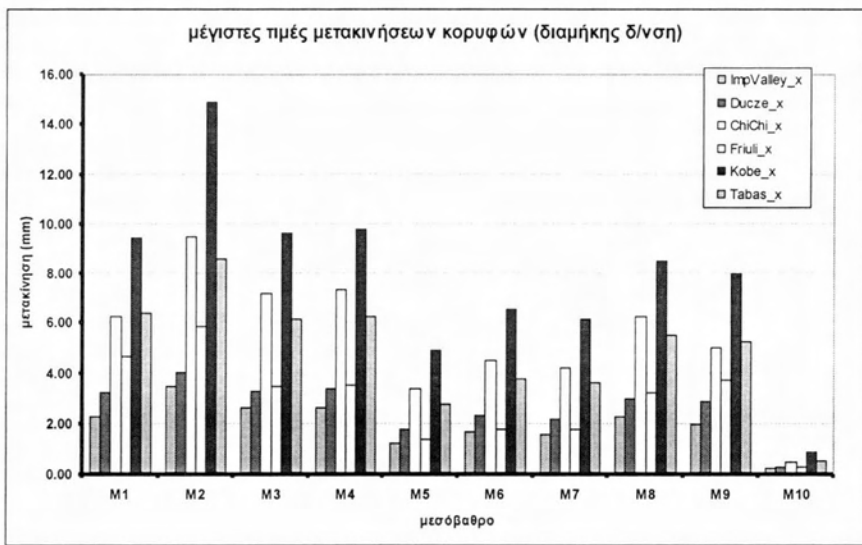
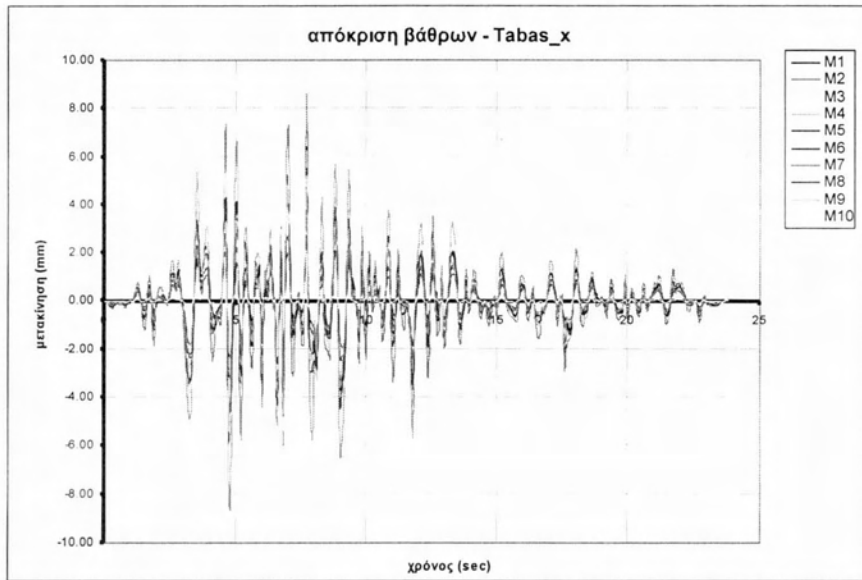
### (ΓΔ) Μετακινήσεις στην κεφαλή κάθε βάρου

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της μετακίνησης στην κεφαλή κάθε μεσόβαθρου ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Γ.1) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

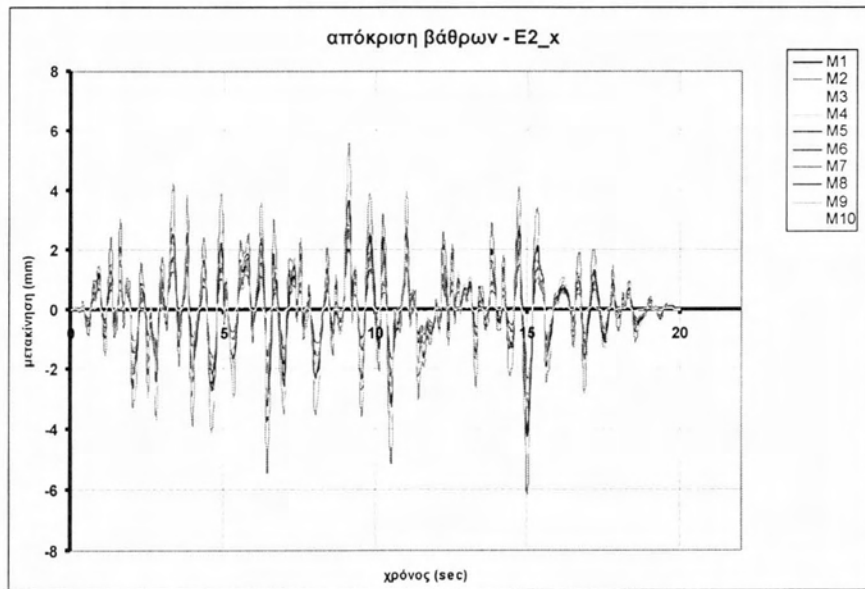
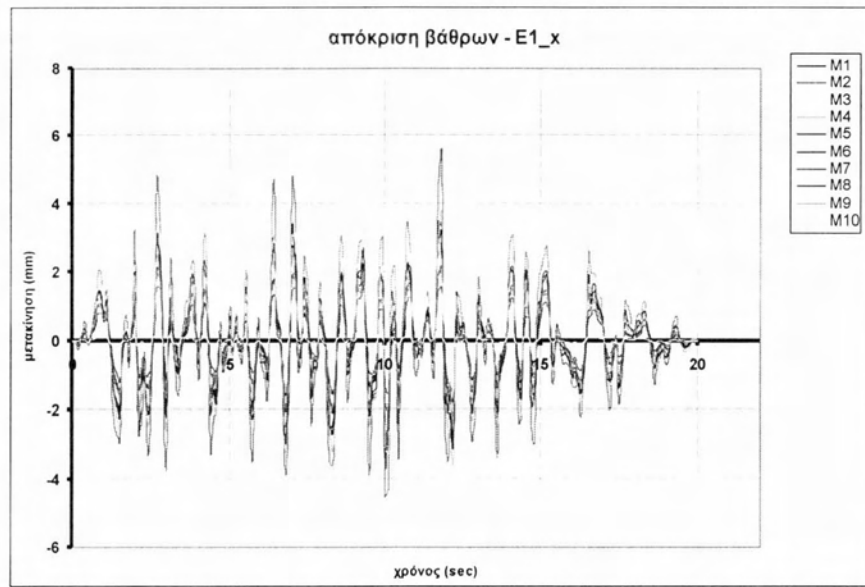


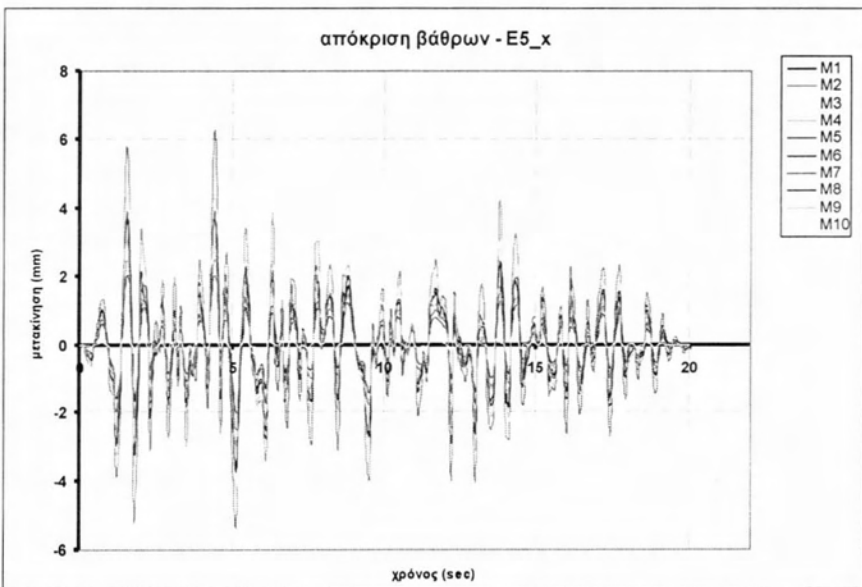
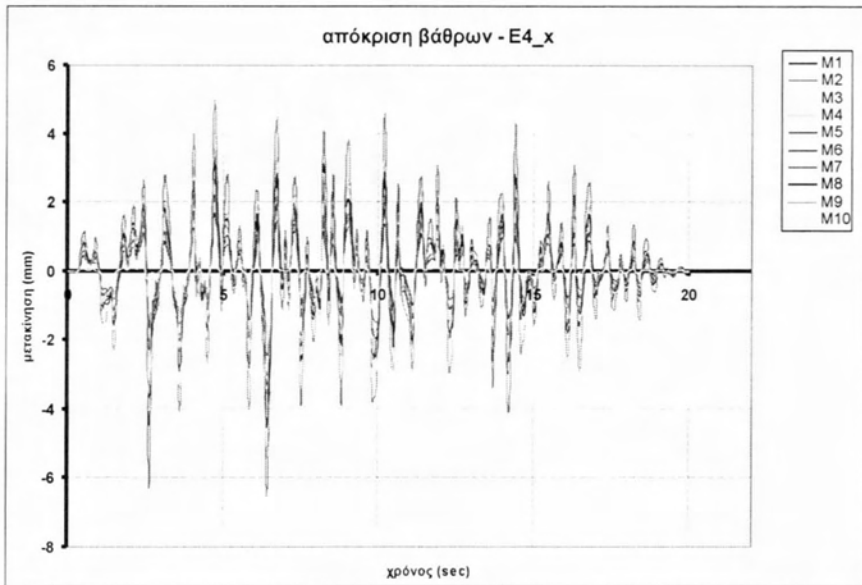
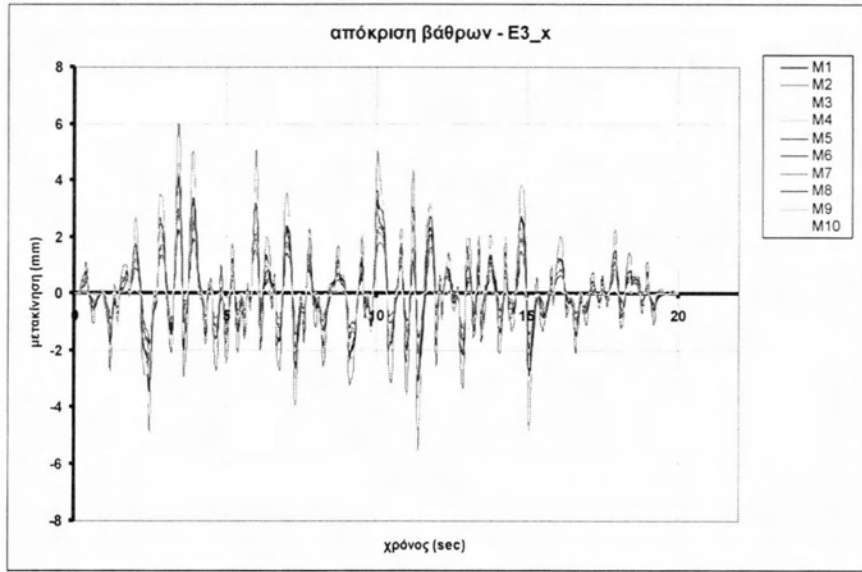


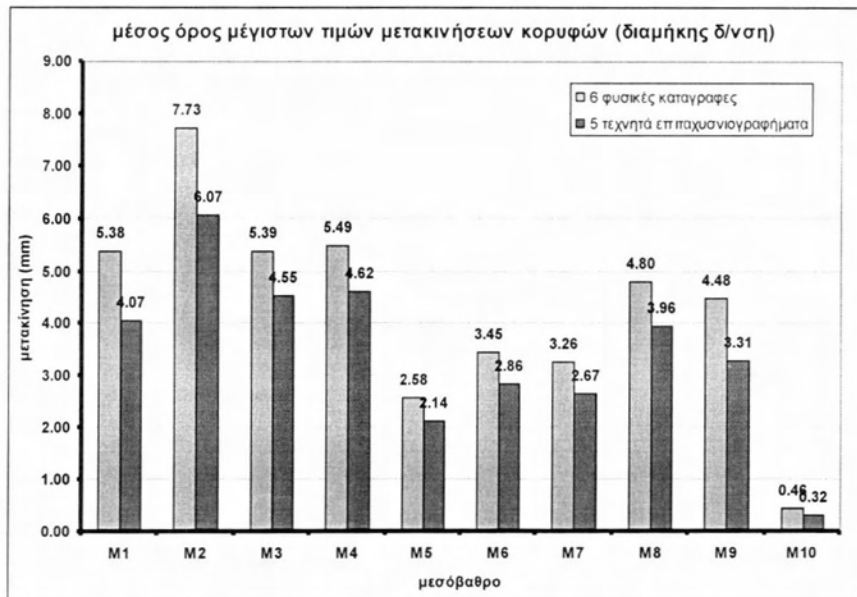
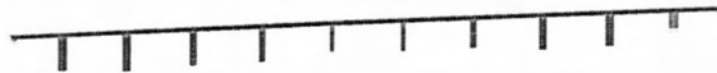
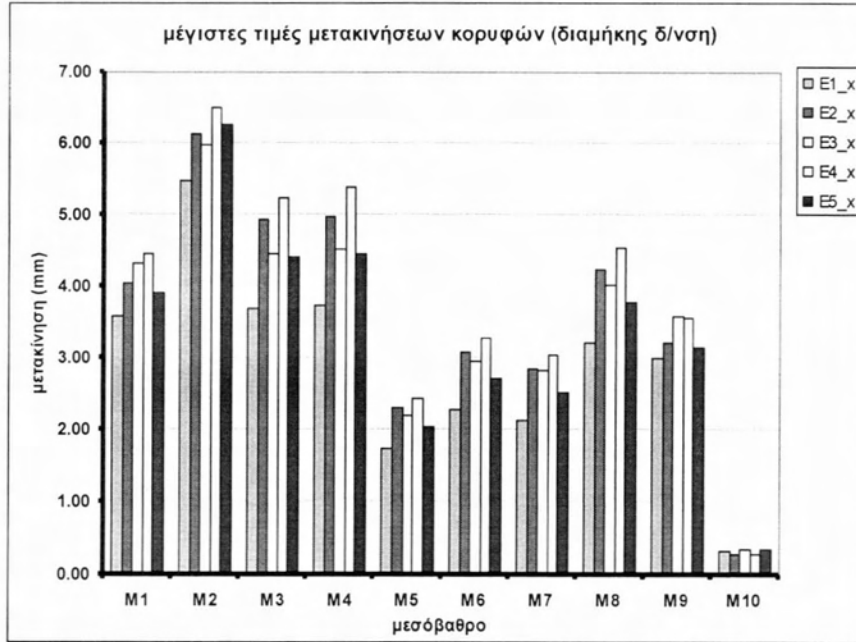


Διαγράμματα 8.2.5 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Γ.2) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**

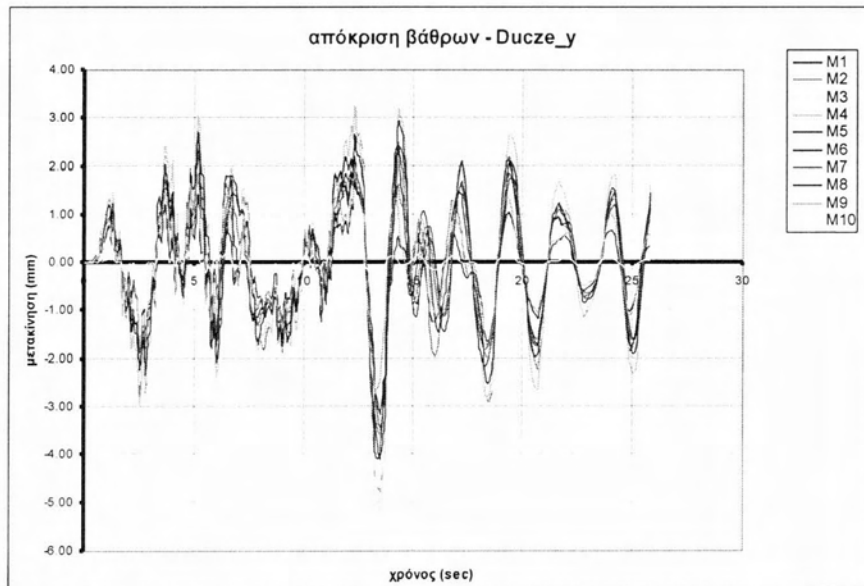
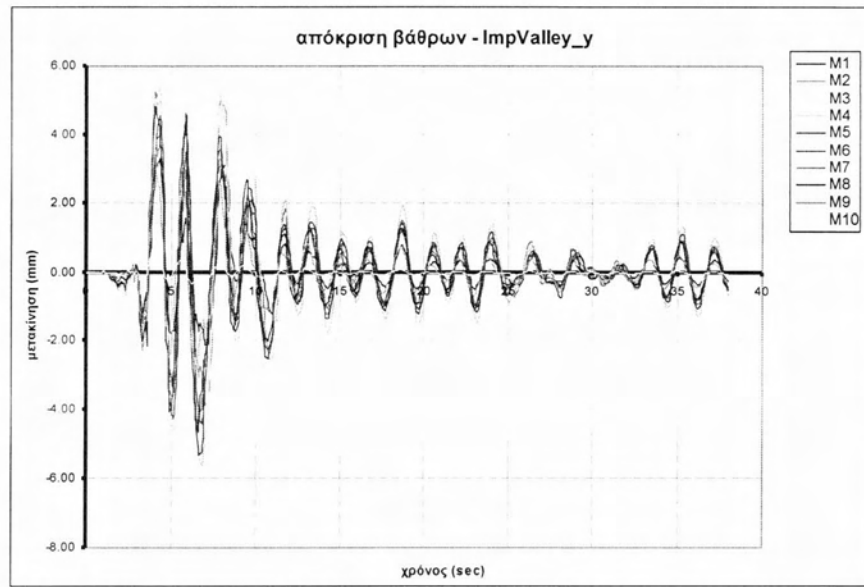




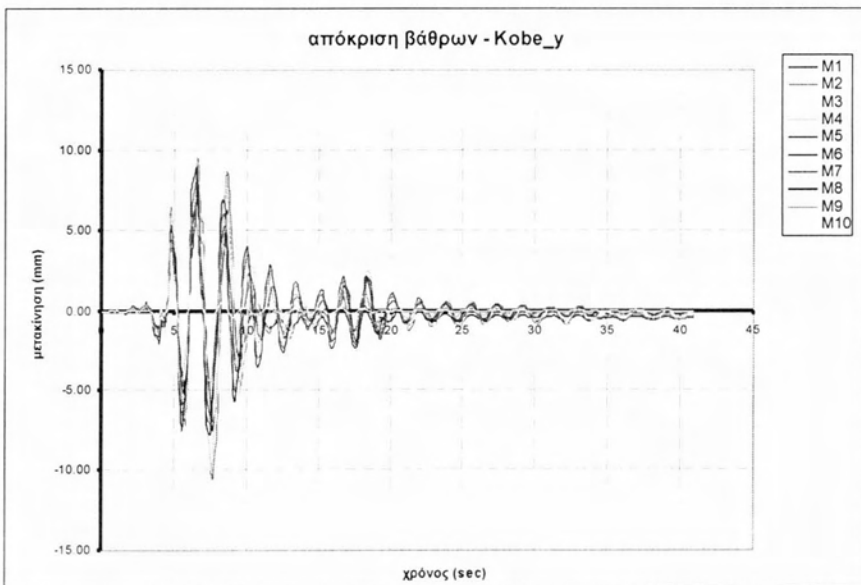
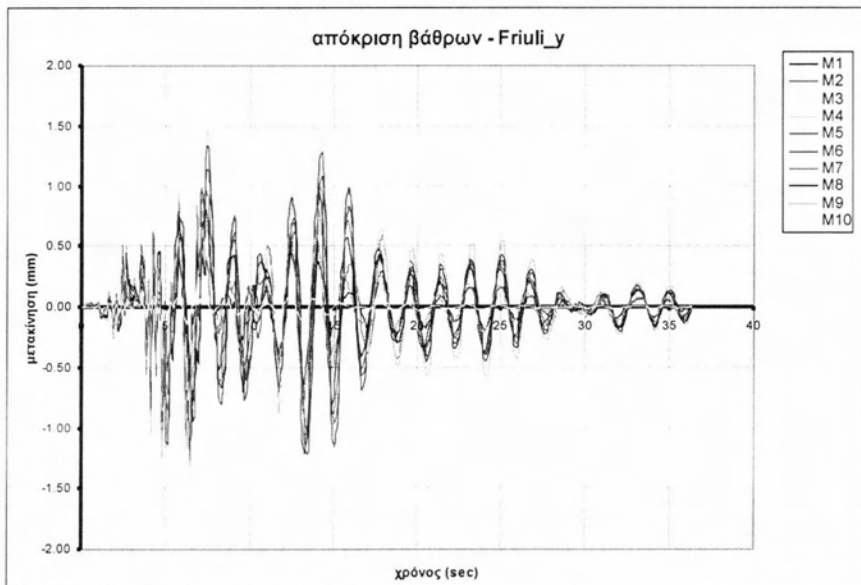
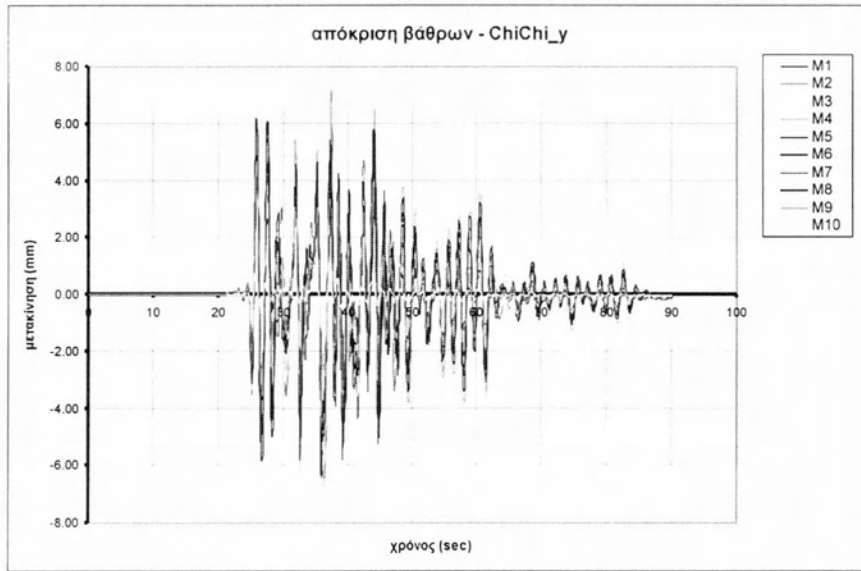


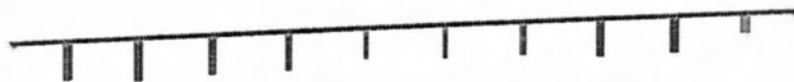
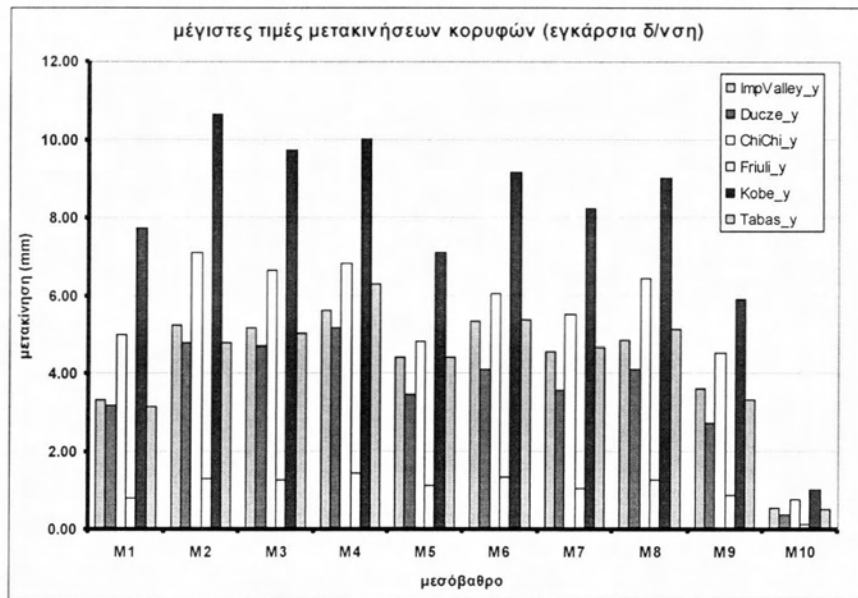
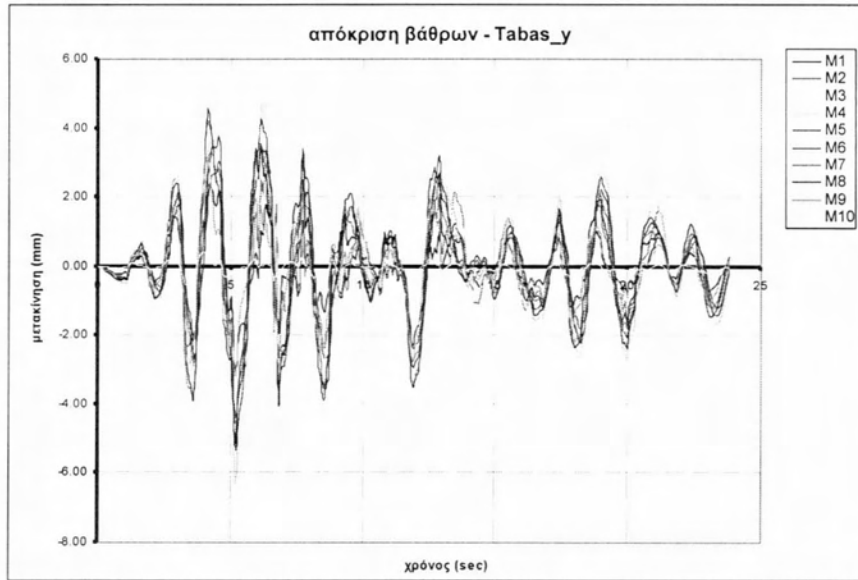
Διαγράμματα 8.2.6 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

**(Δ.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**



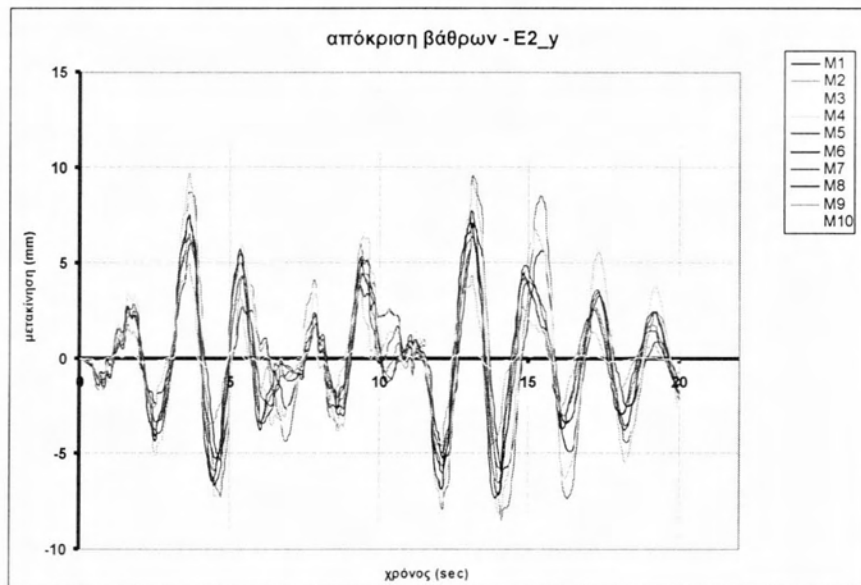
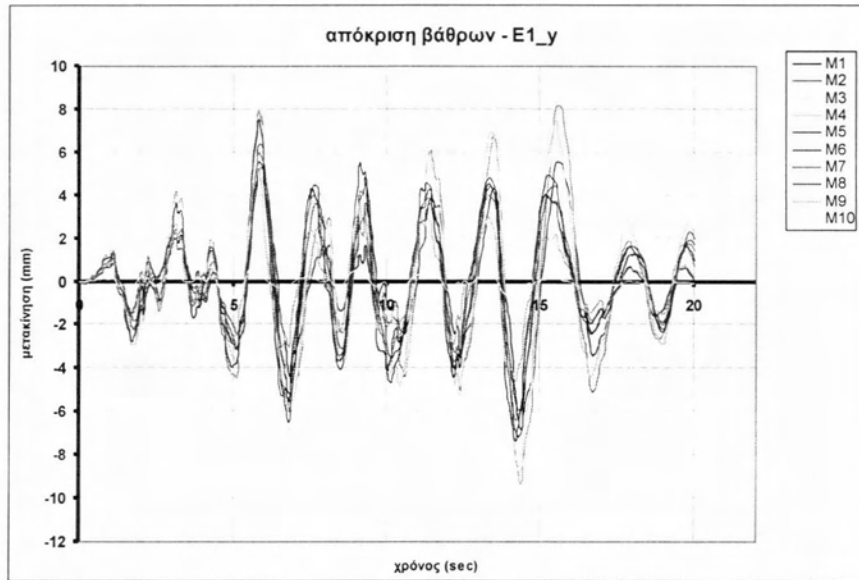


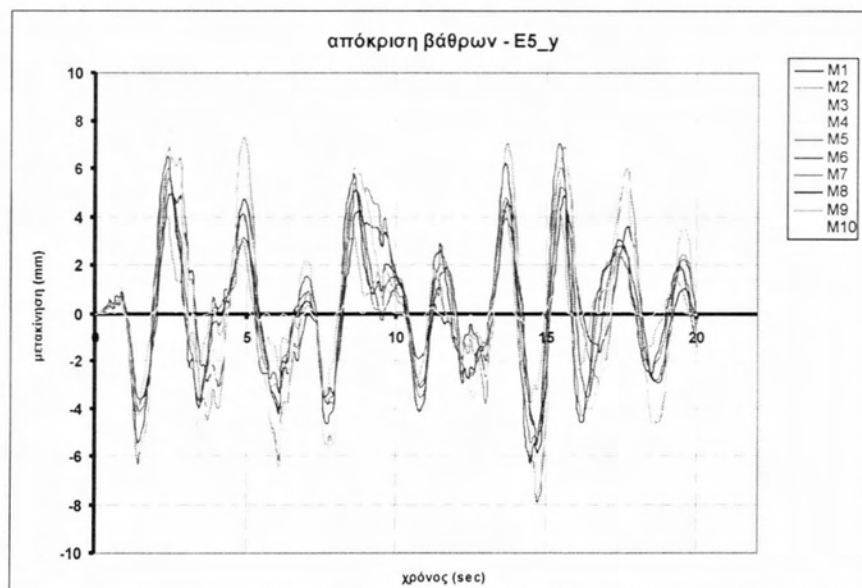
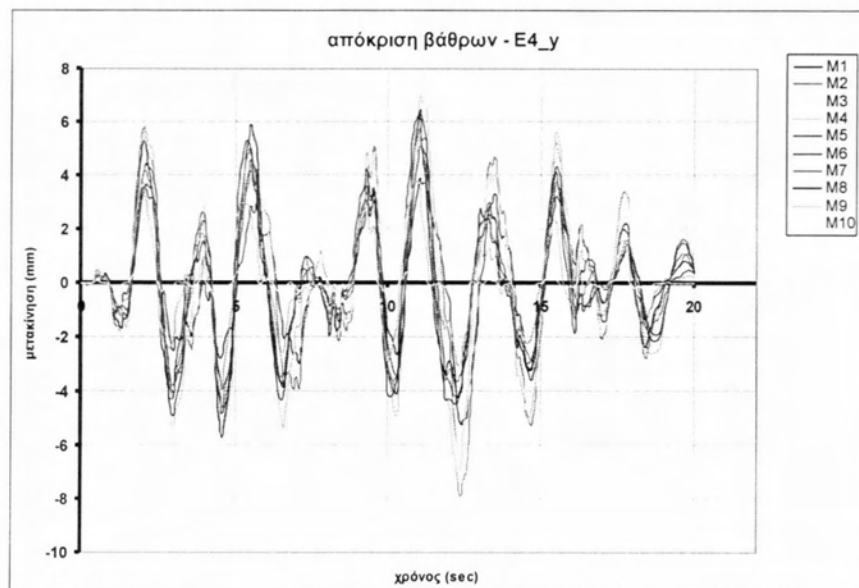
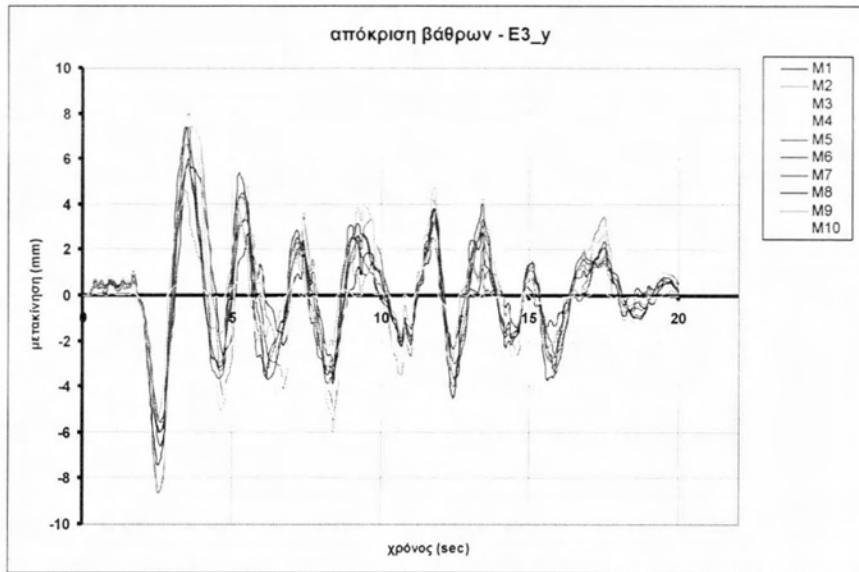


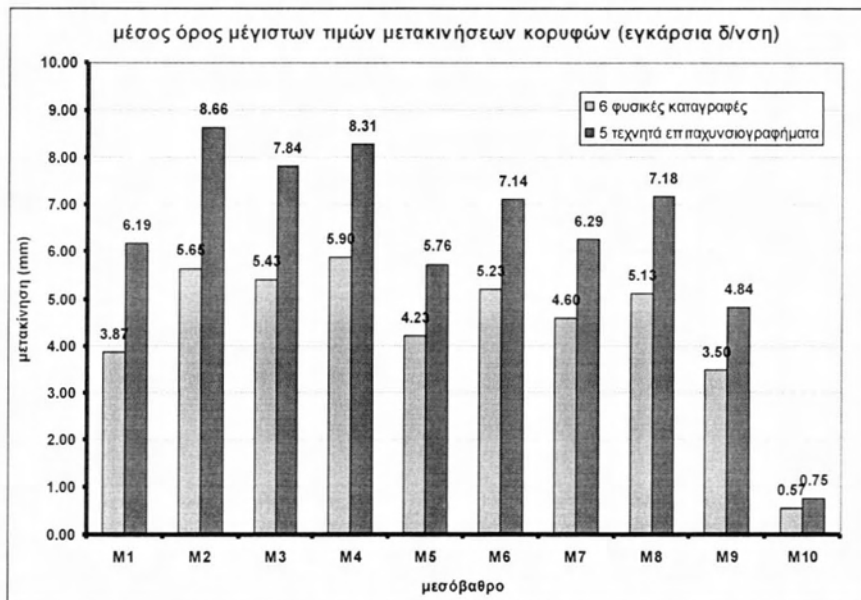
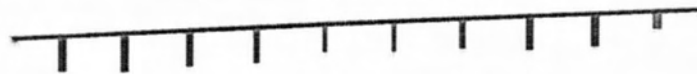
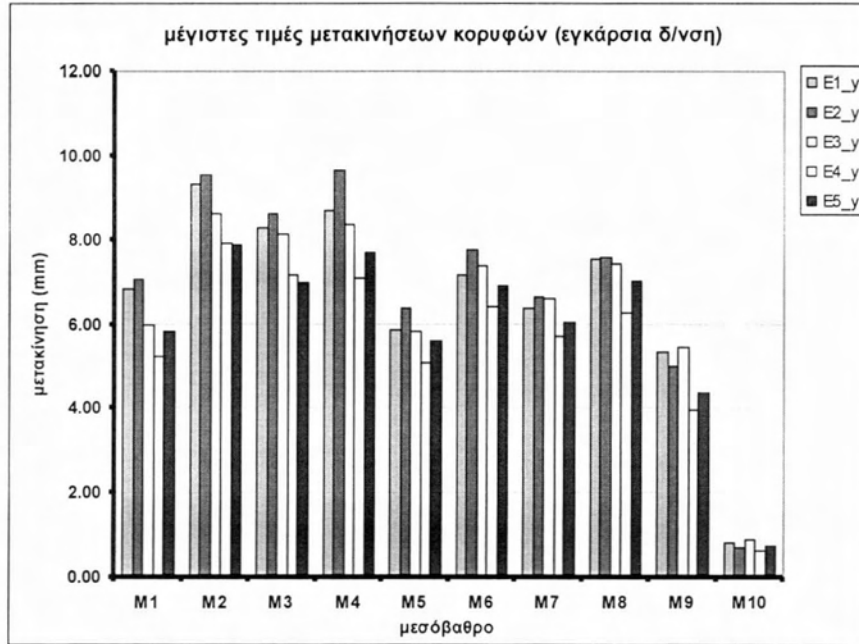


Διαγράμματα 8.2.7 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Δ.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**





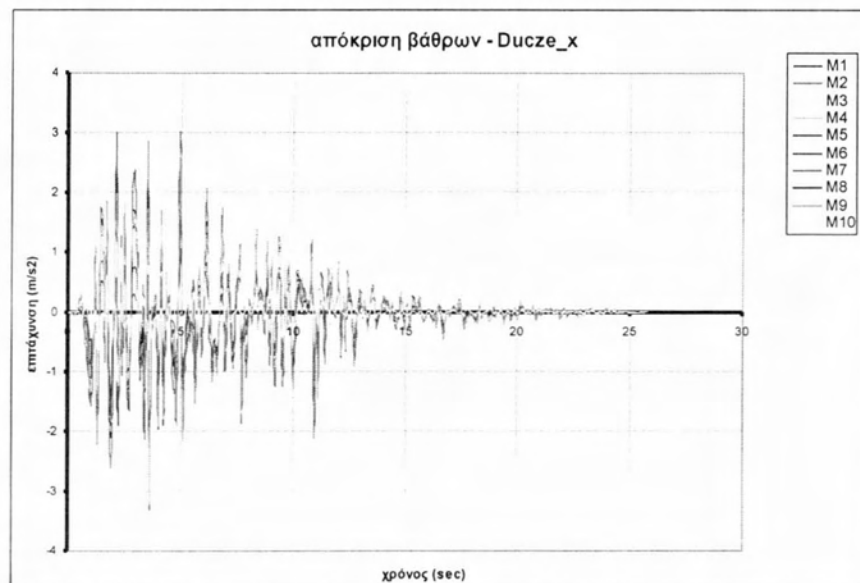
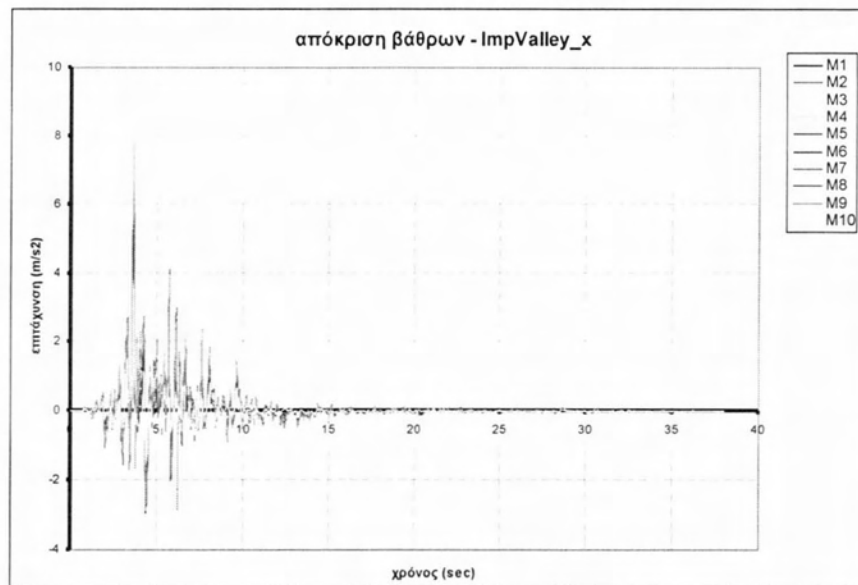


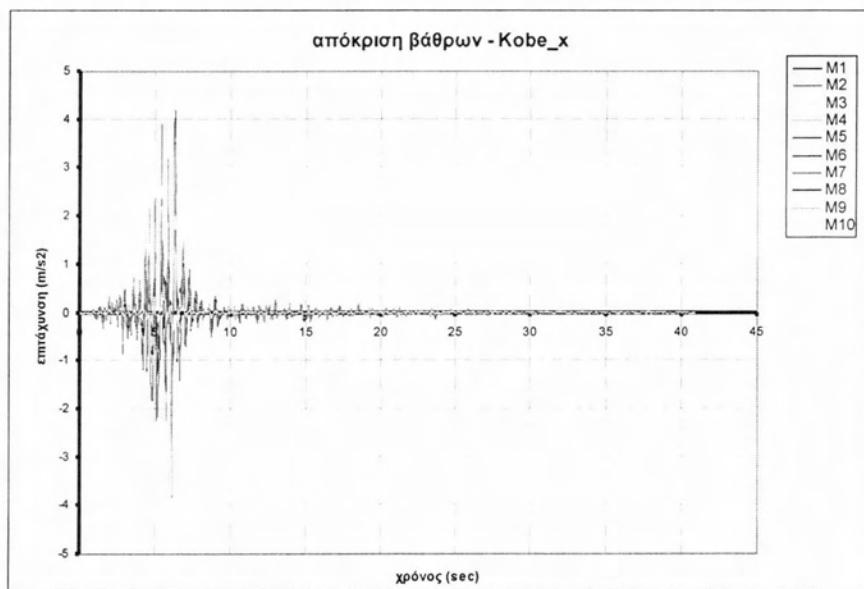
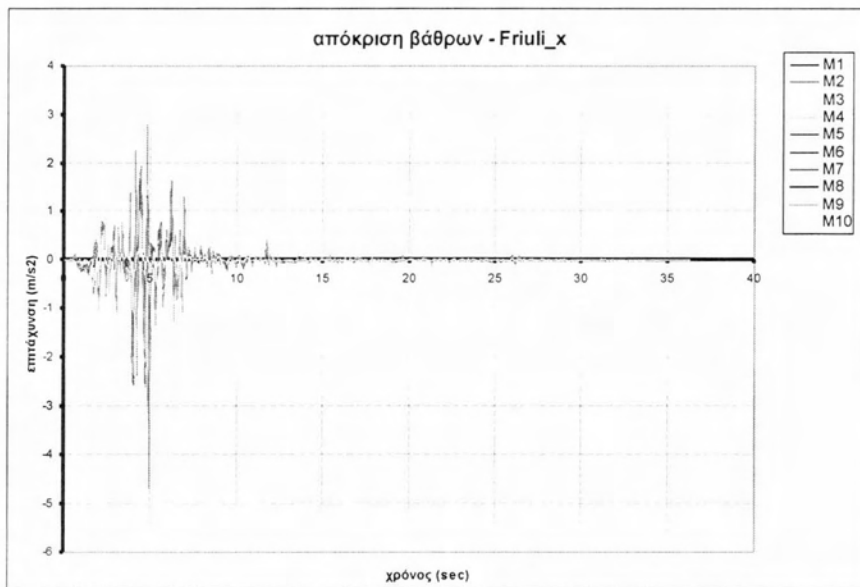
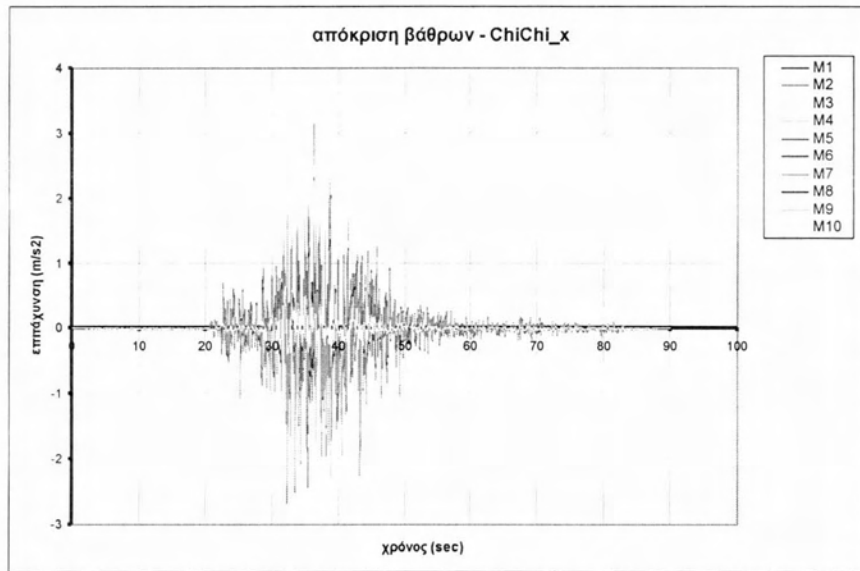
Διαγράμματα 8.2.8 Μετακινήσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες  
σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

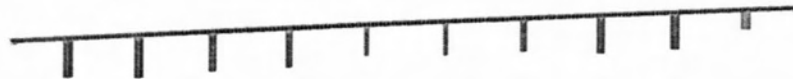
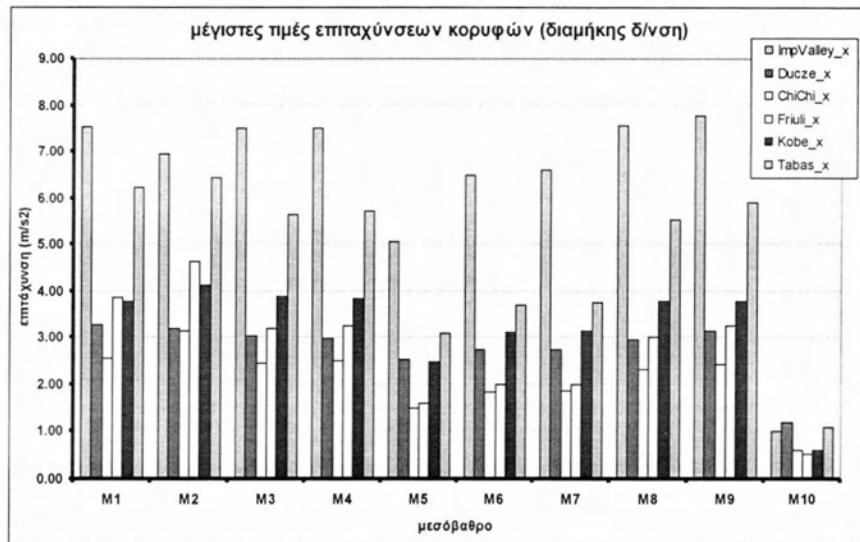
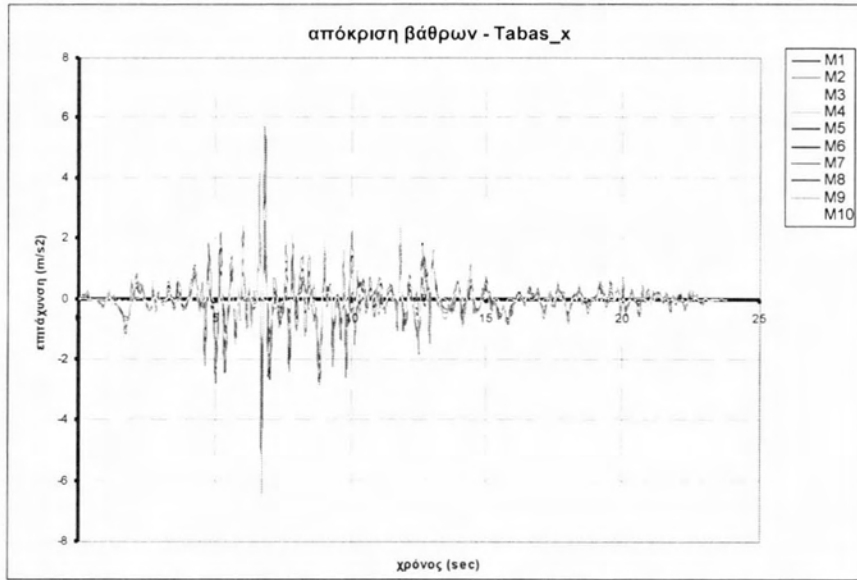
### (ΕΖ) Επιταχύνσεις στην κεφαλή κάθε βάρου

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης που αναπτύσσεται στην κεφαλή κάθε μεσοβάθρου ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Ε.1) Διαμήκειες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα



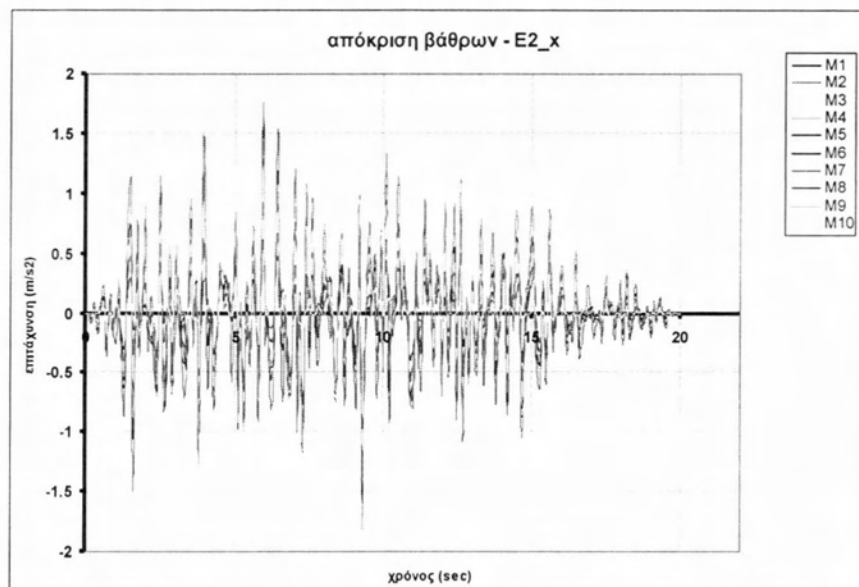
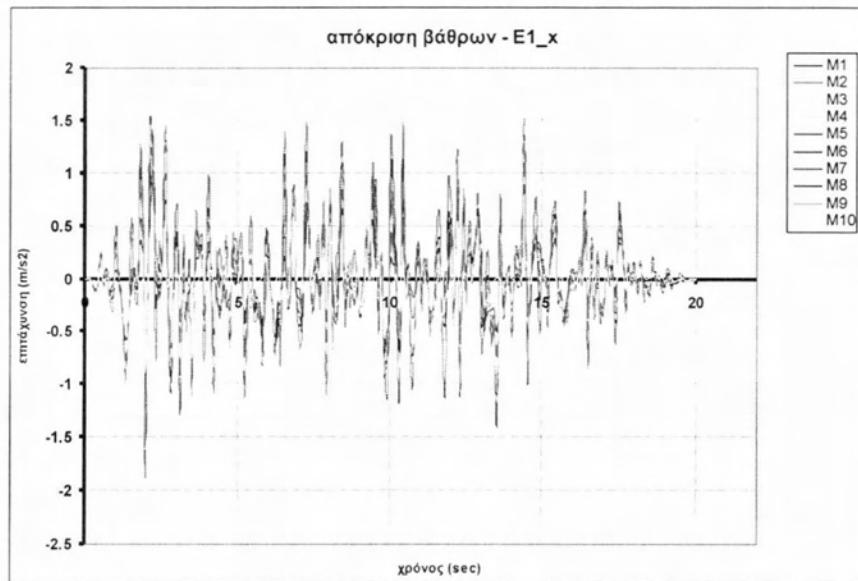


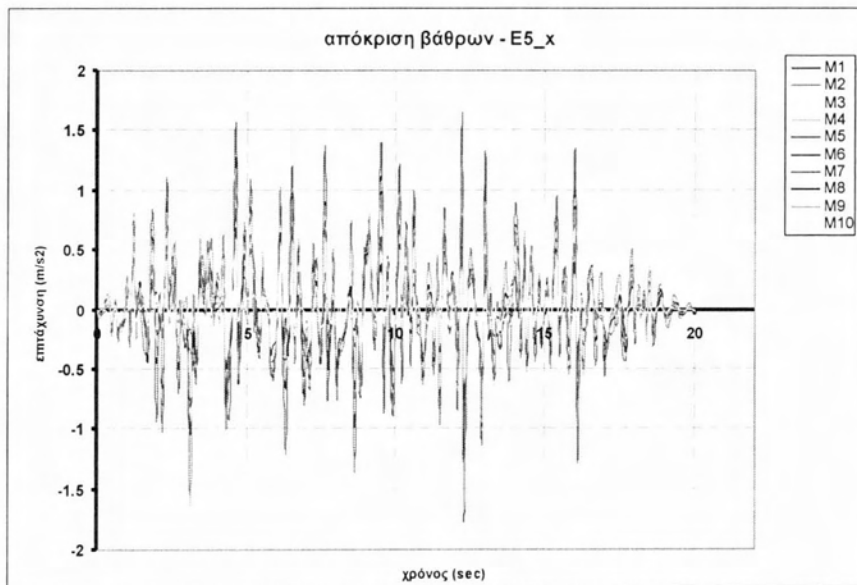
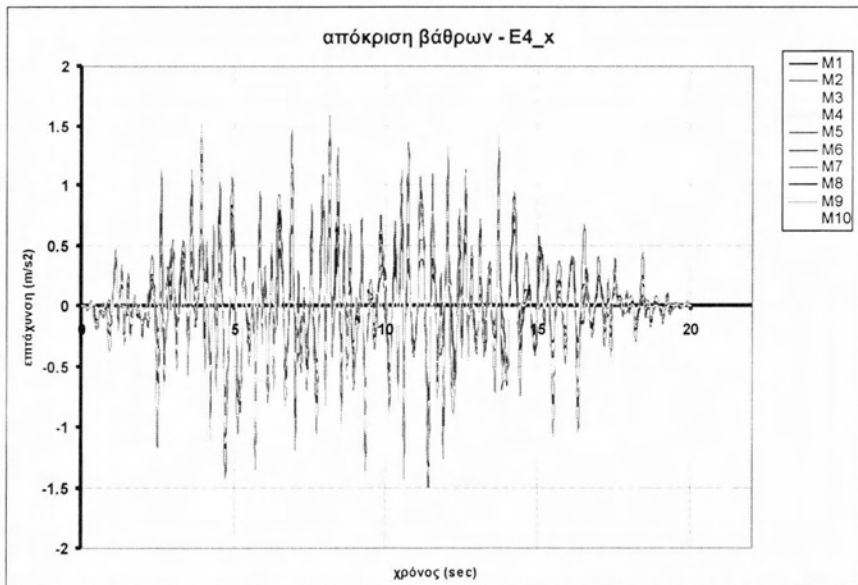
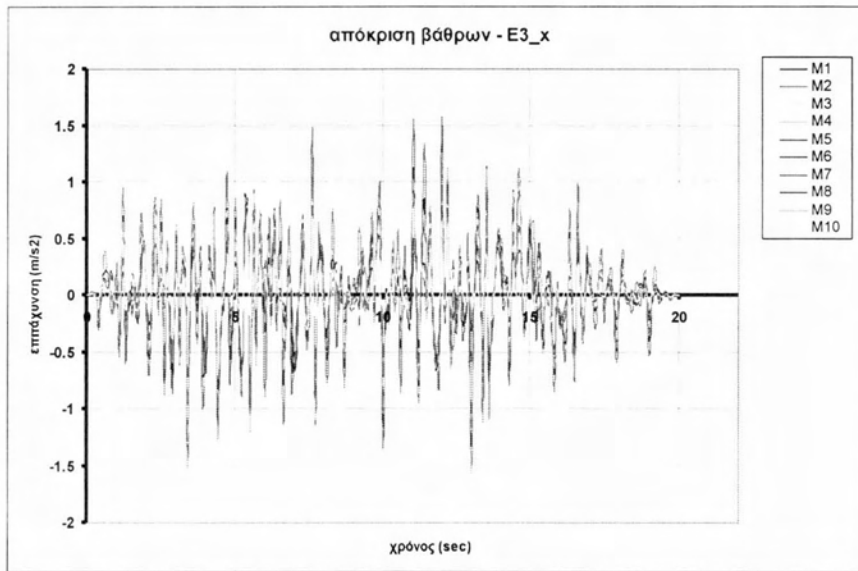


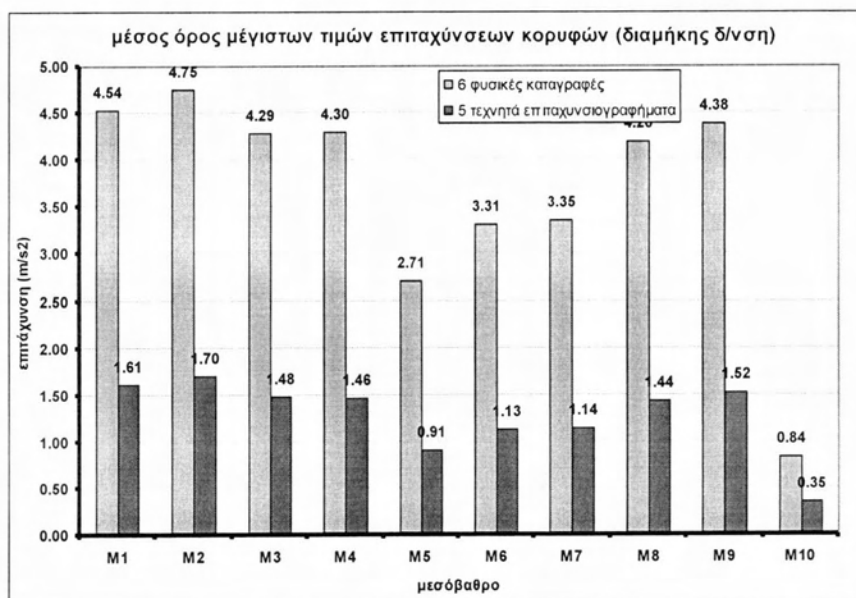
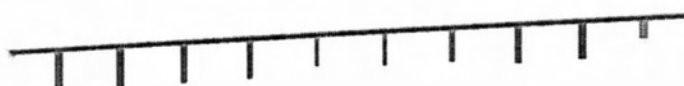
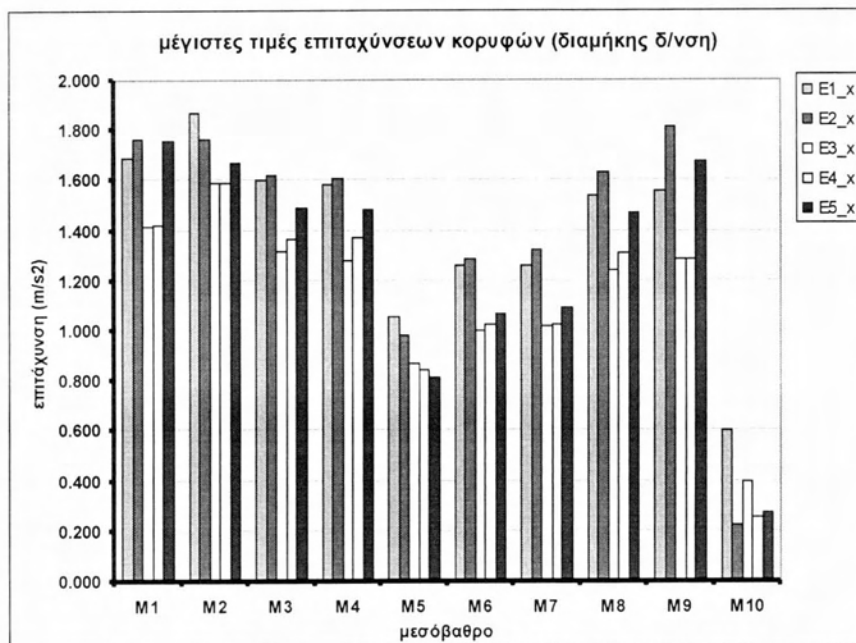
Διαγράμματα 8.2.9 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για διαμήκεις  
σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογράφηματα



**(Ε.2) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**

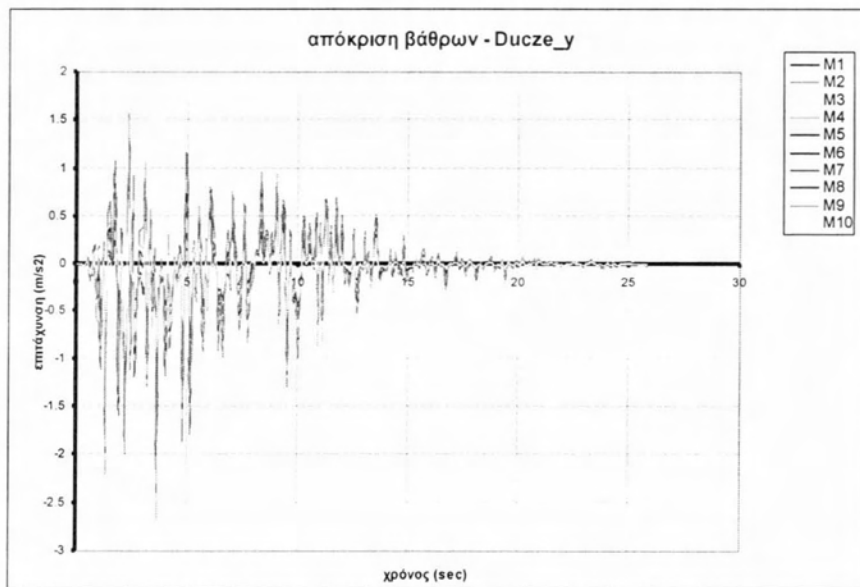
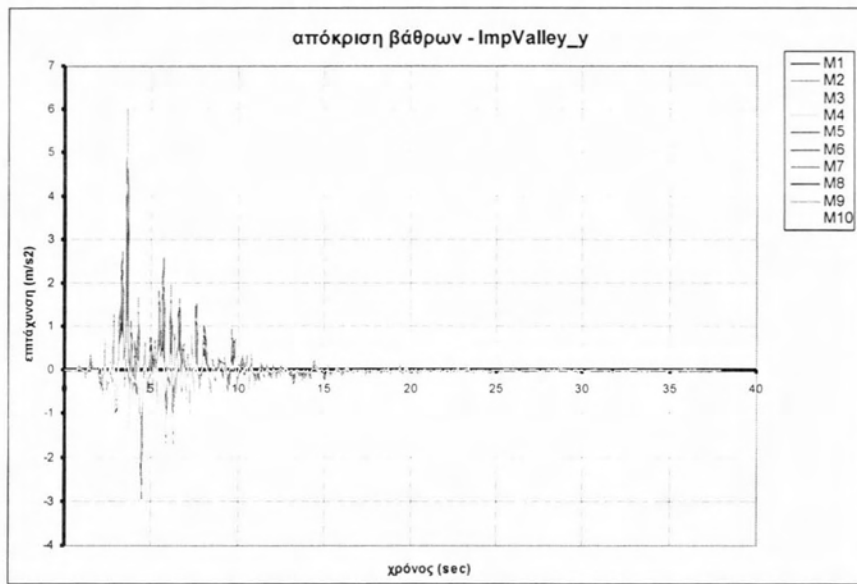


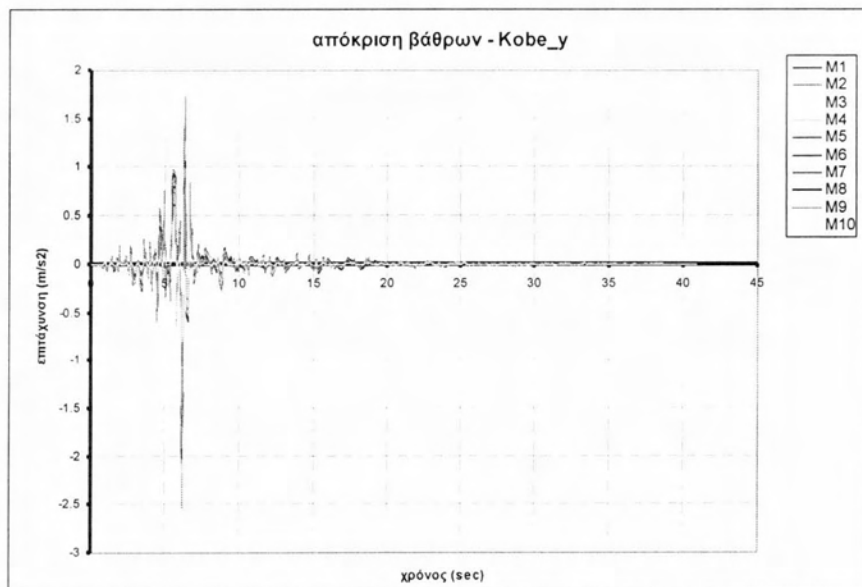
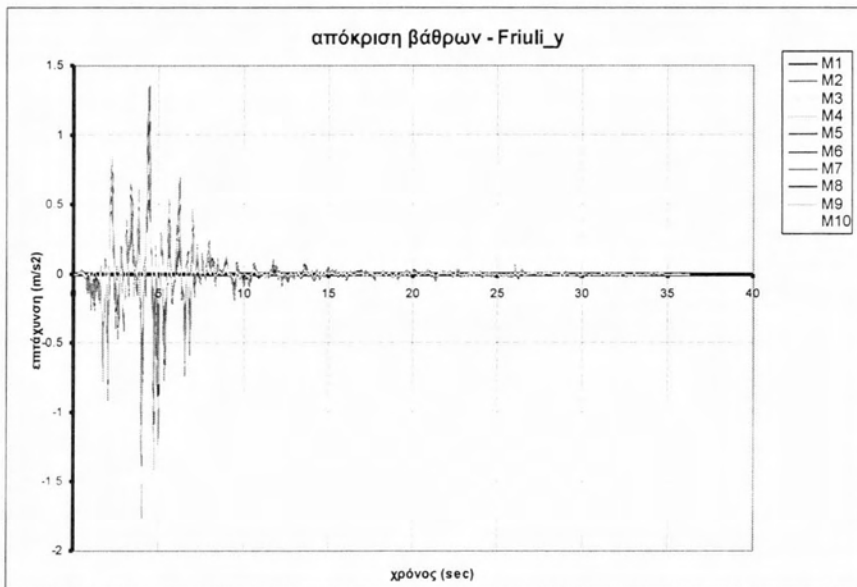
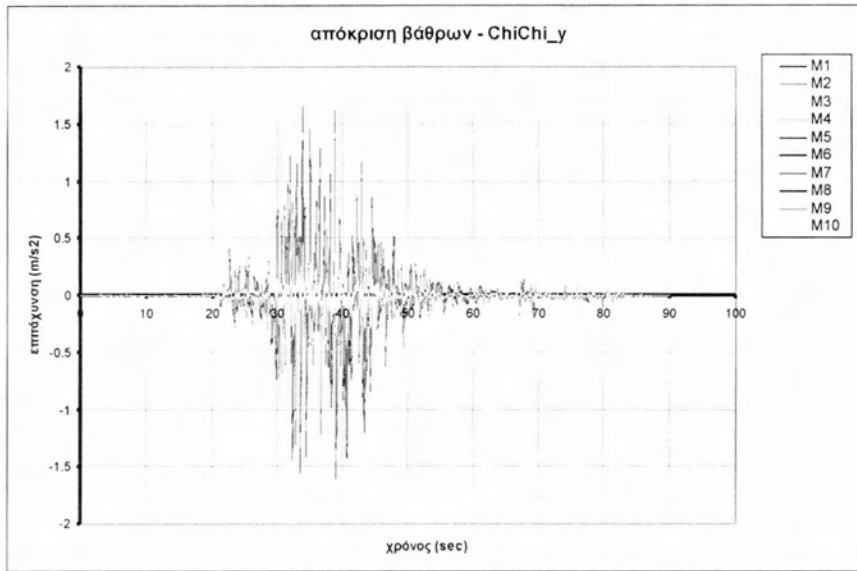


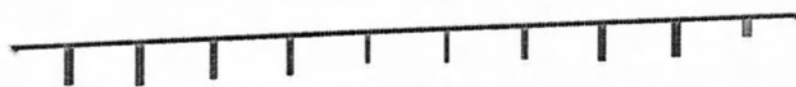
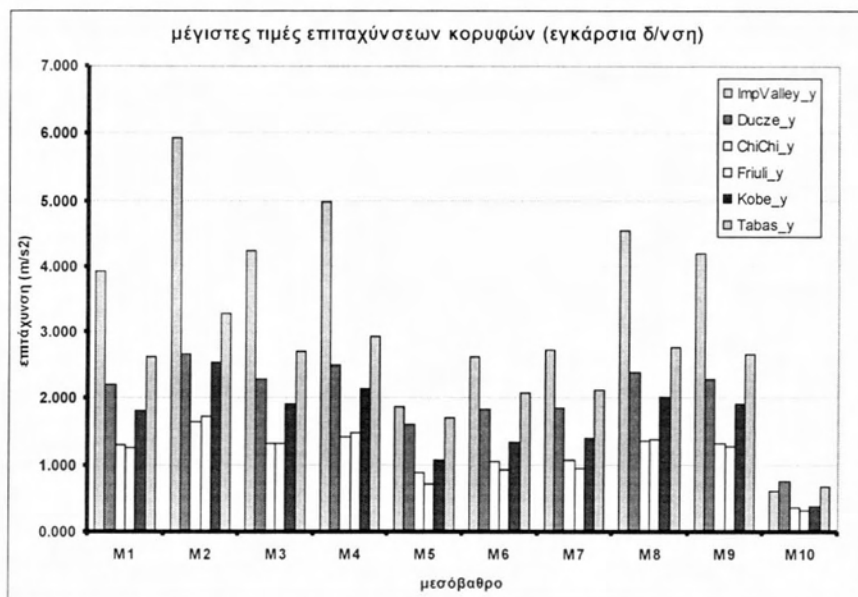
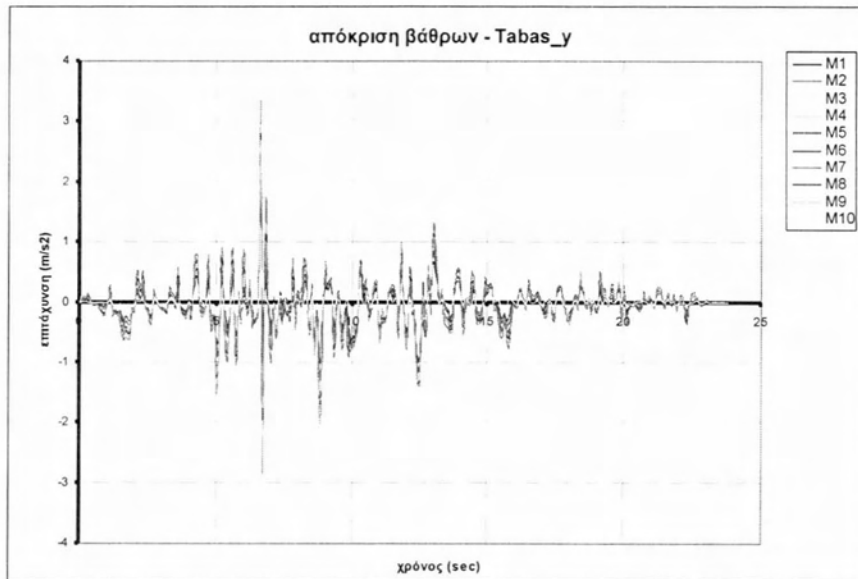


Διαγράμματα 8.2.10 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάρων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

**(Z.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**

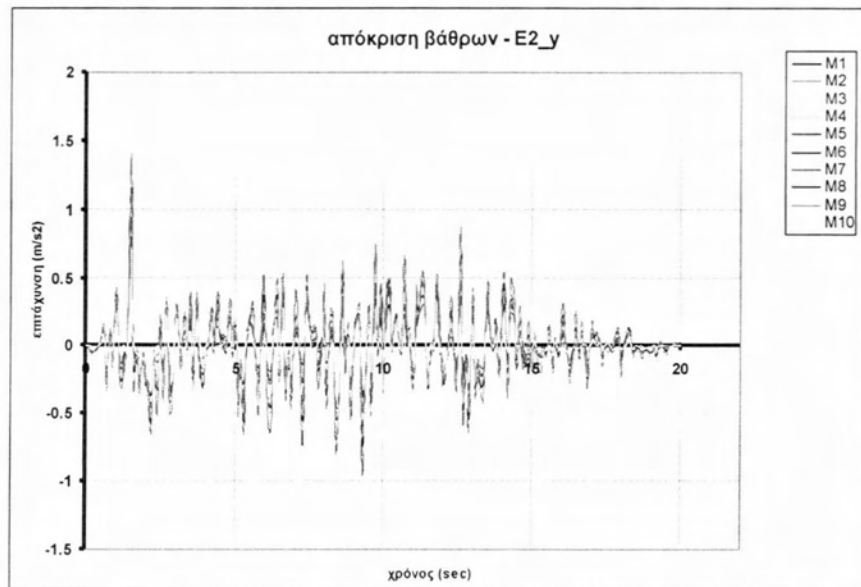
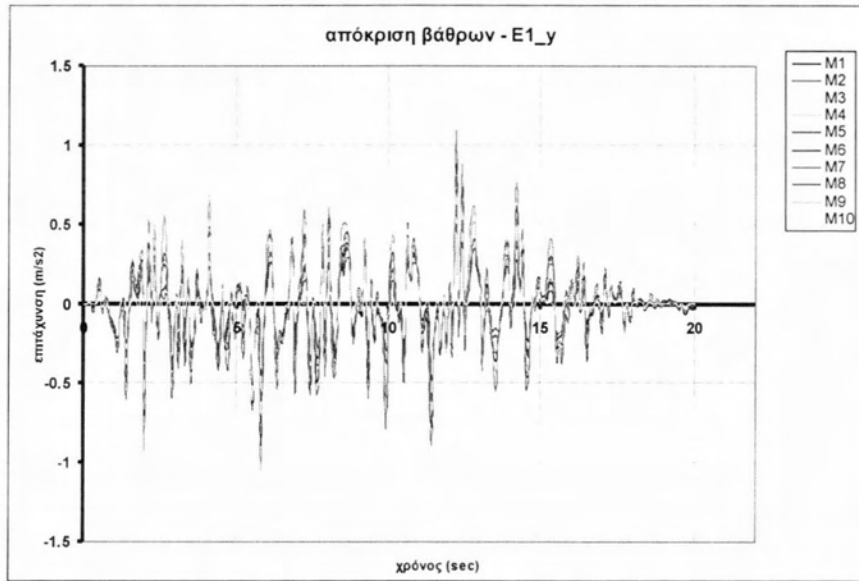


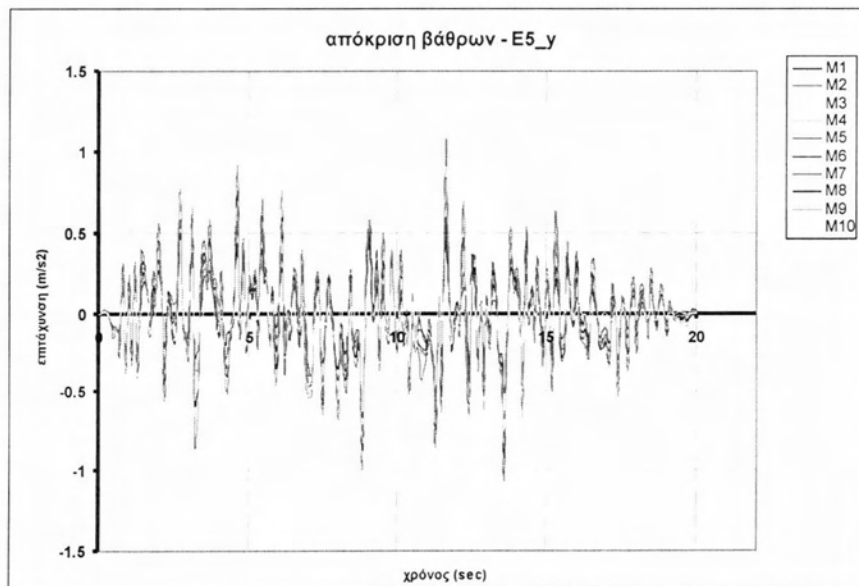
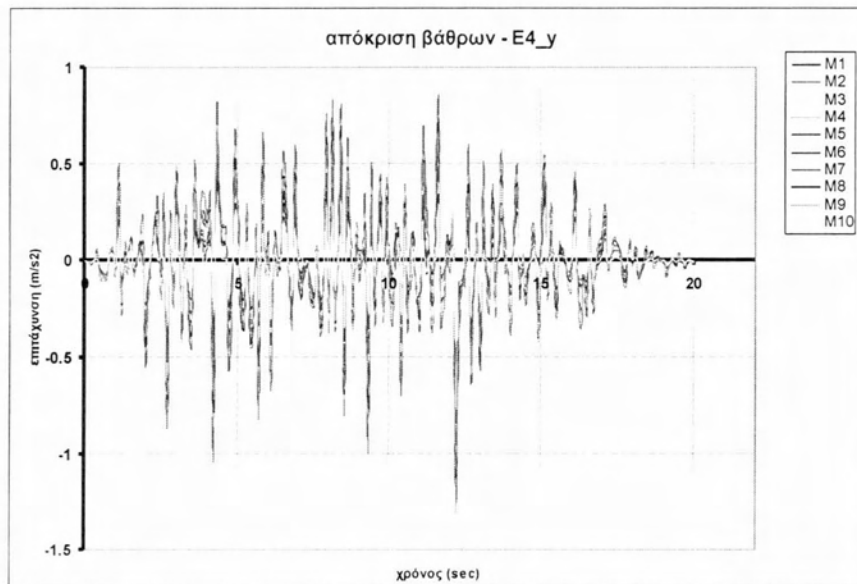
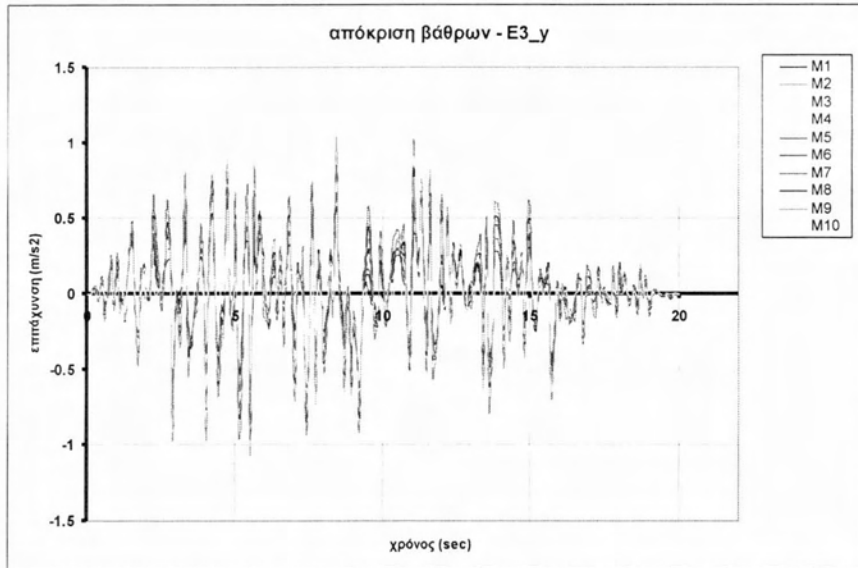




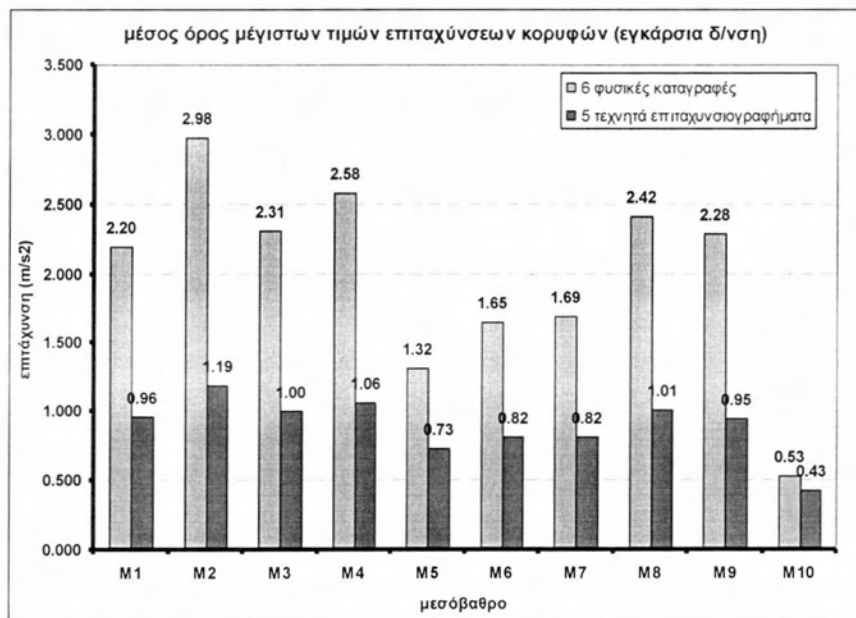
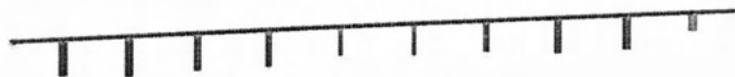
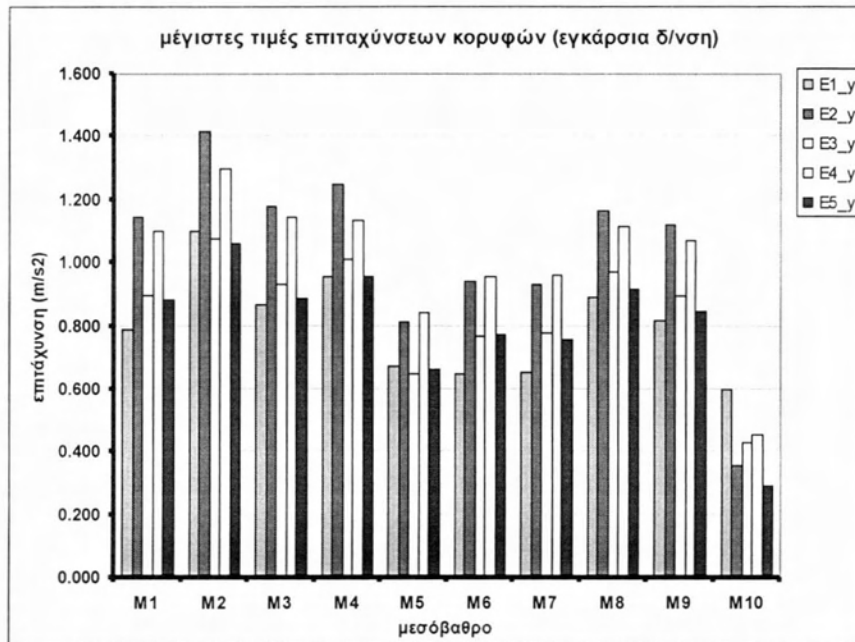
Διαγράμματα 8.2.11 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Z.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**







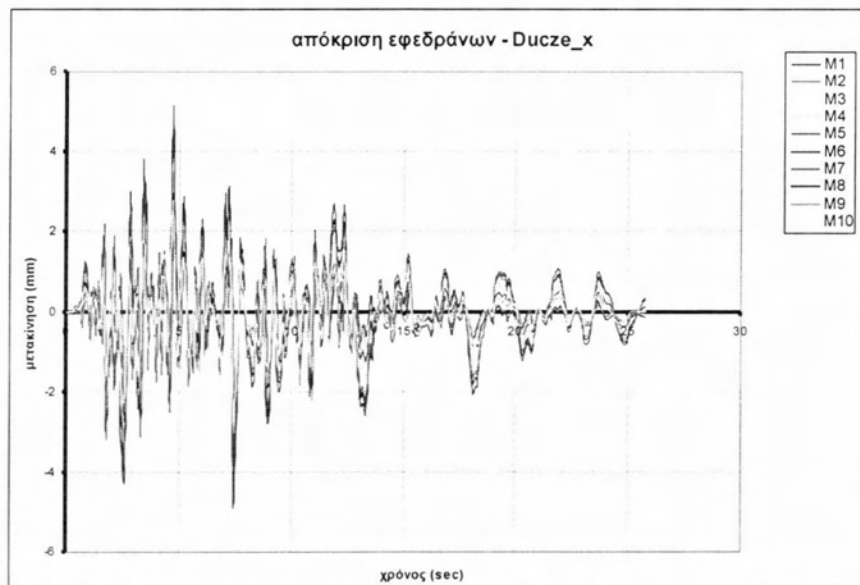
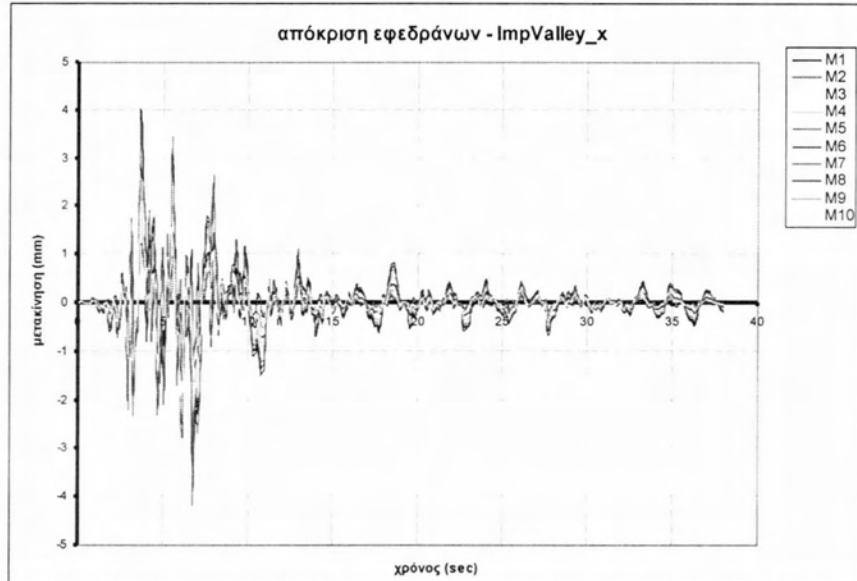


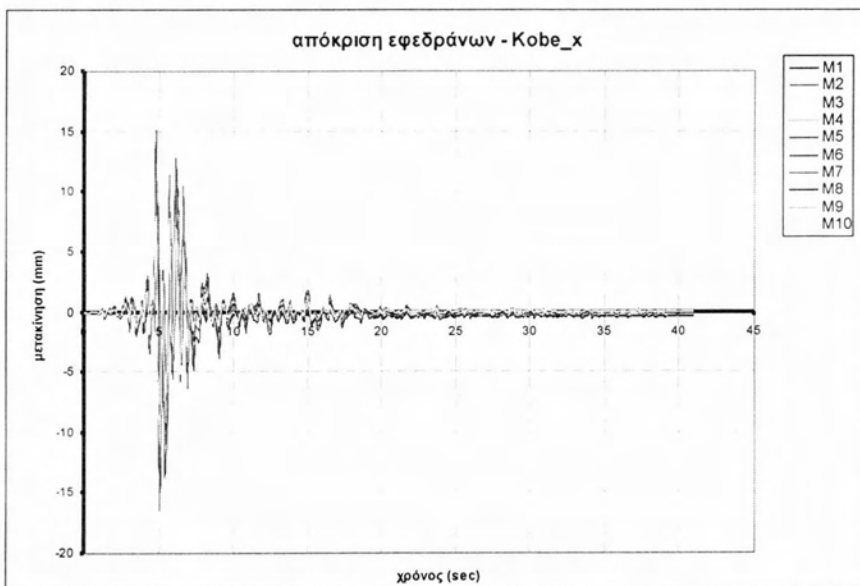
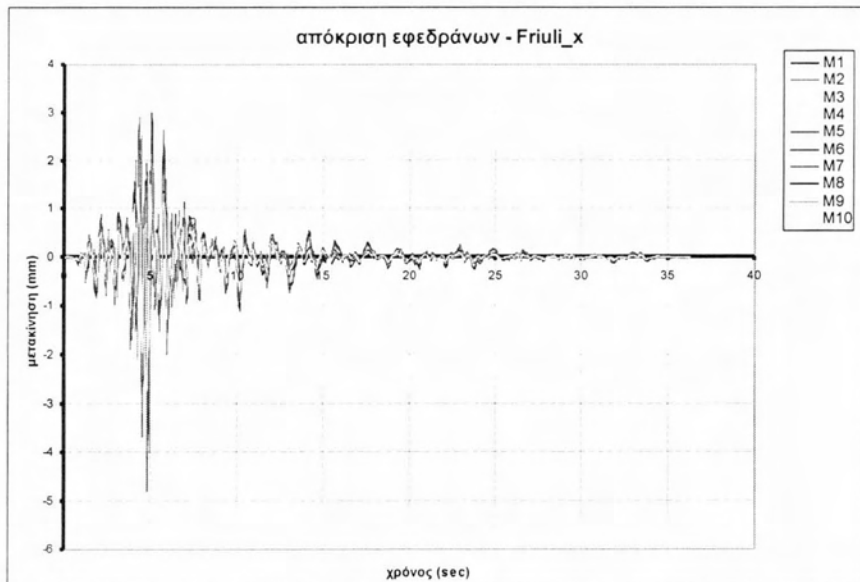
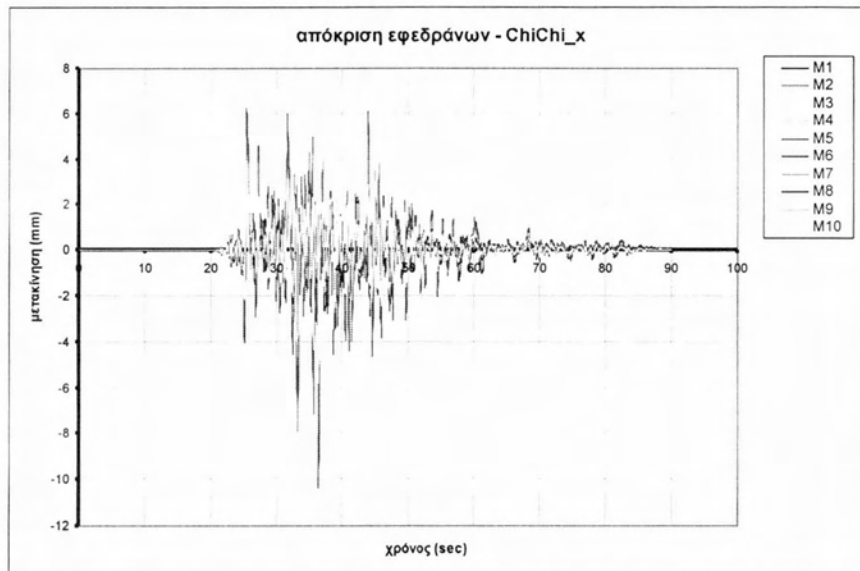
Διαγράμματα 8.2.12 Επιταχύνσεις στις κεφαλές των βάθρων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

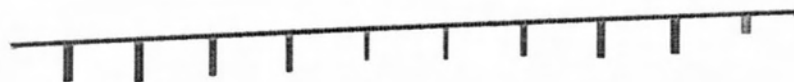
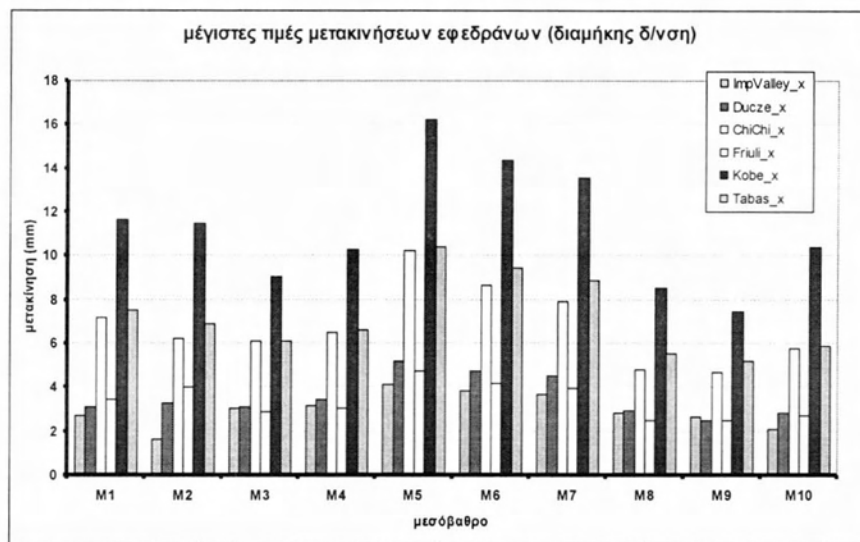
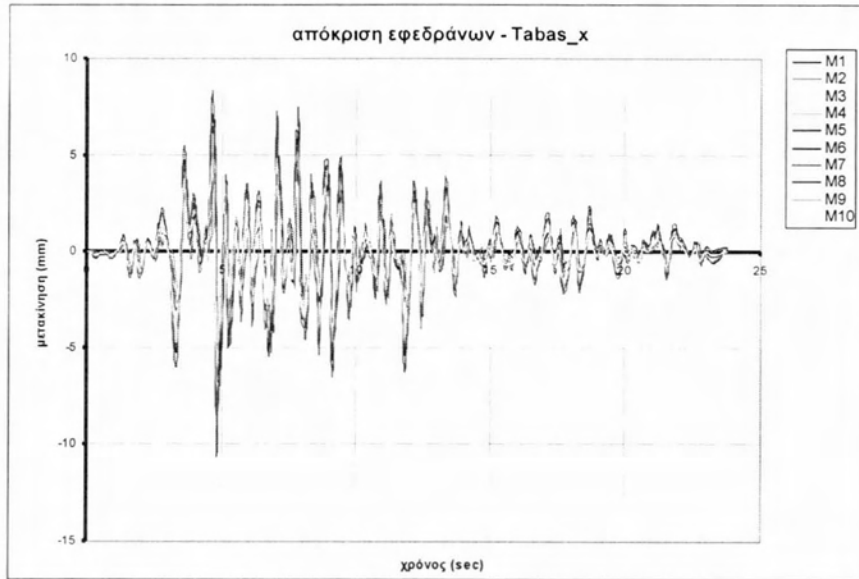
### 8.3 (παρ.ΗΘ) Μετακινήσεις εφεδράνων

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χρονοϊστορία της σχετικής μετακίνησης των εφεδράνων της δεξιάς οριογραμμής της γέφυρας ξεχωριστά για τις αναλύσεις στη εγκάρσια (ακτινική) και εφαπτομενική (διαμήκη) διεύθυνση τόσο για τα φυσικά όσο και για τα τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα.

#### (Η.1) Διαμήκεις σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

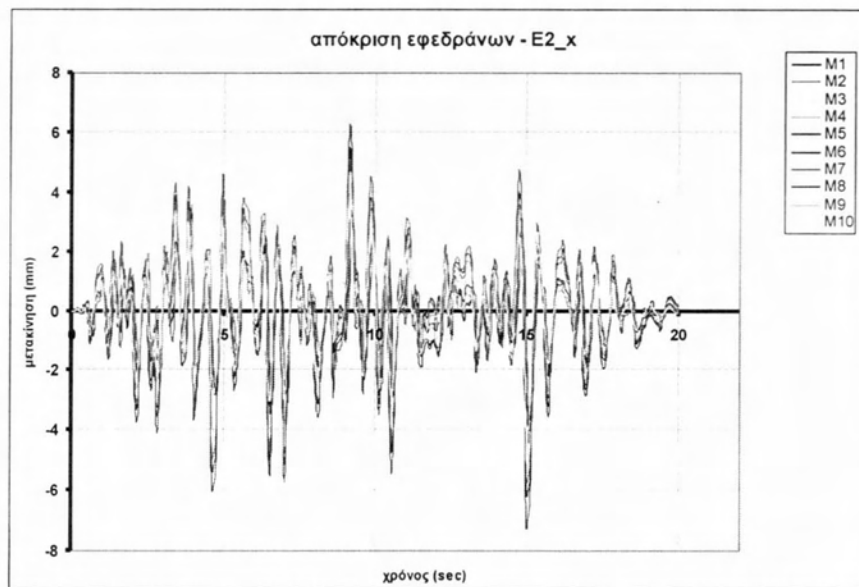
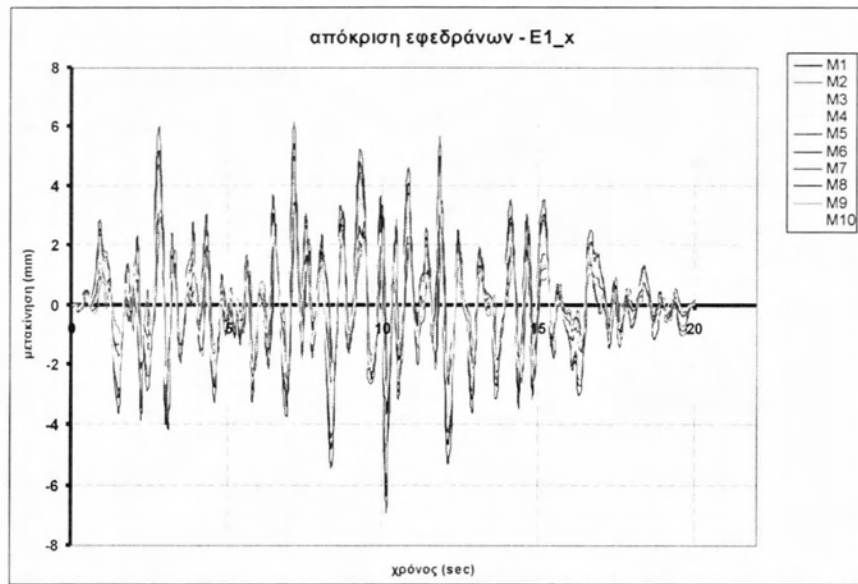


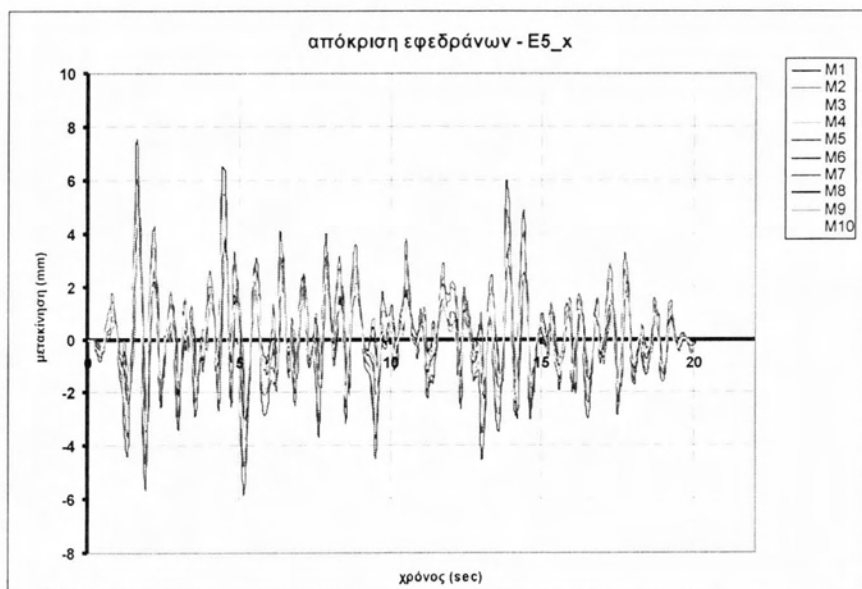
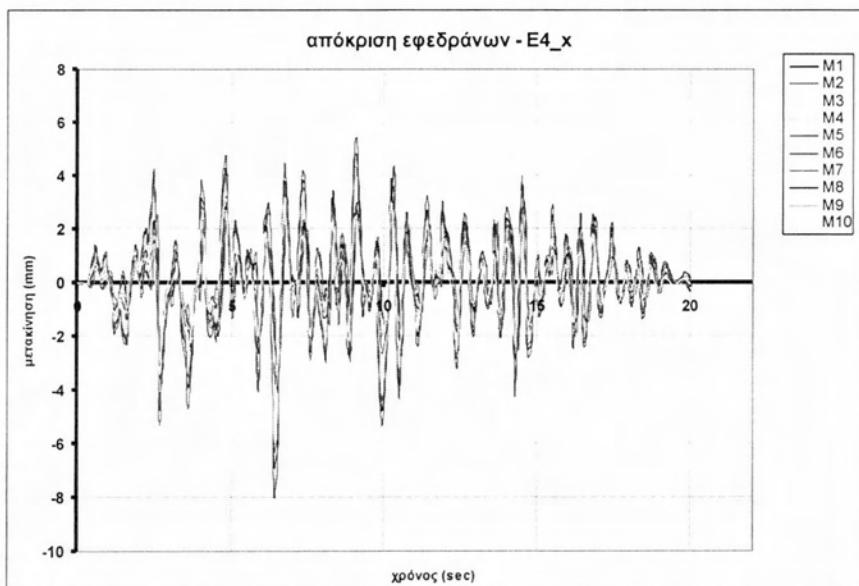
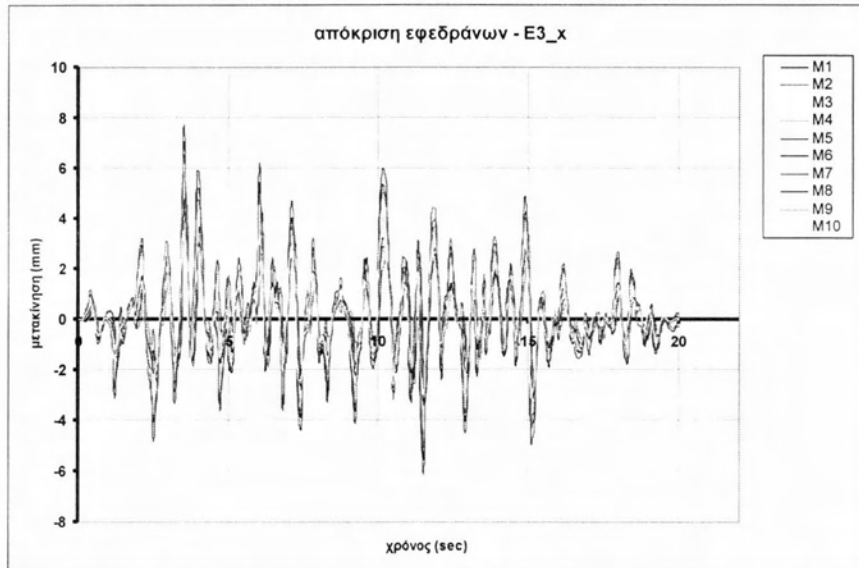


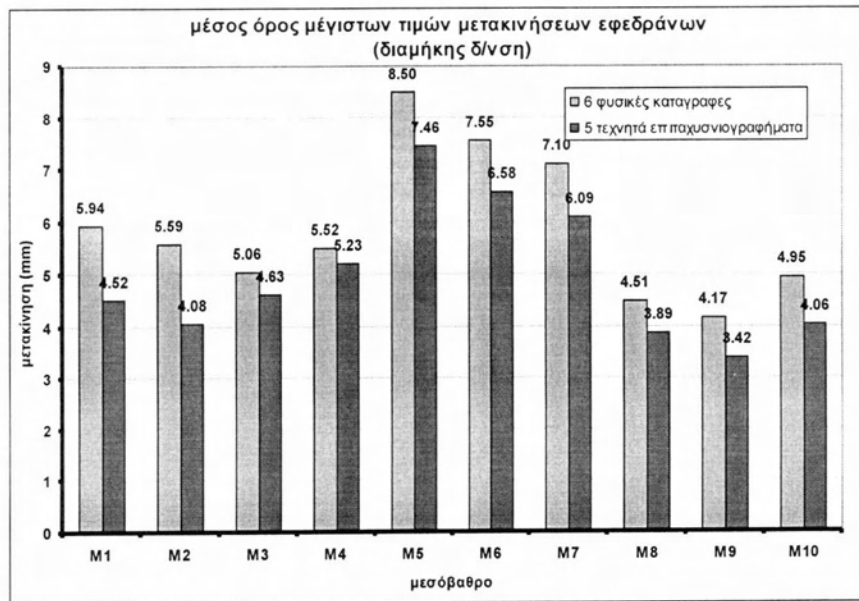
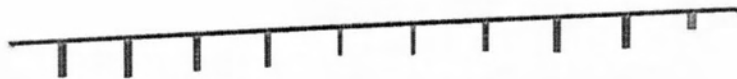
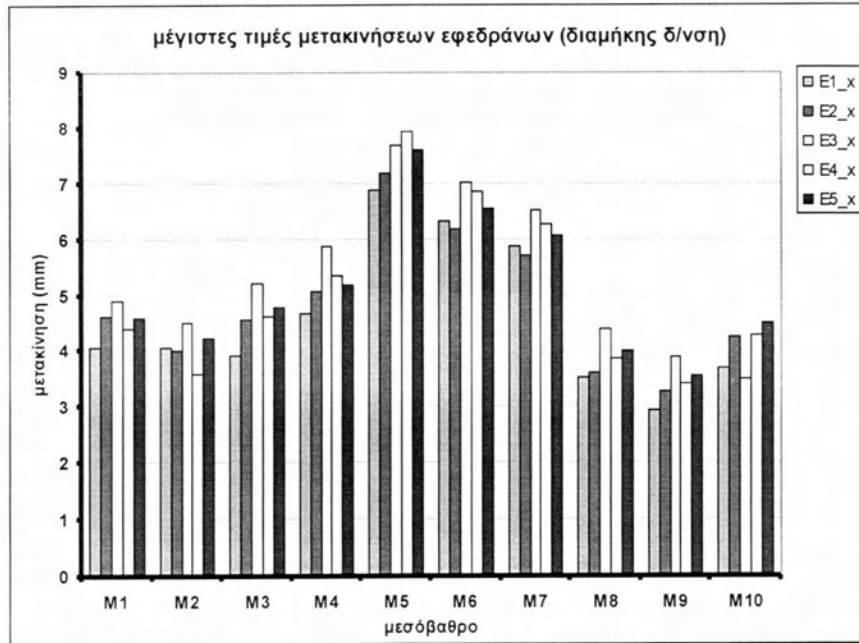


Διαγράμματα 8.2.13 Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις  
σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

## (Η.2) Διαμήκειες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

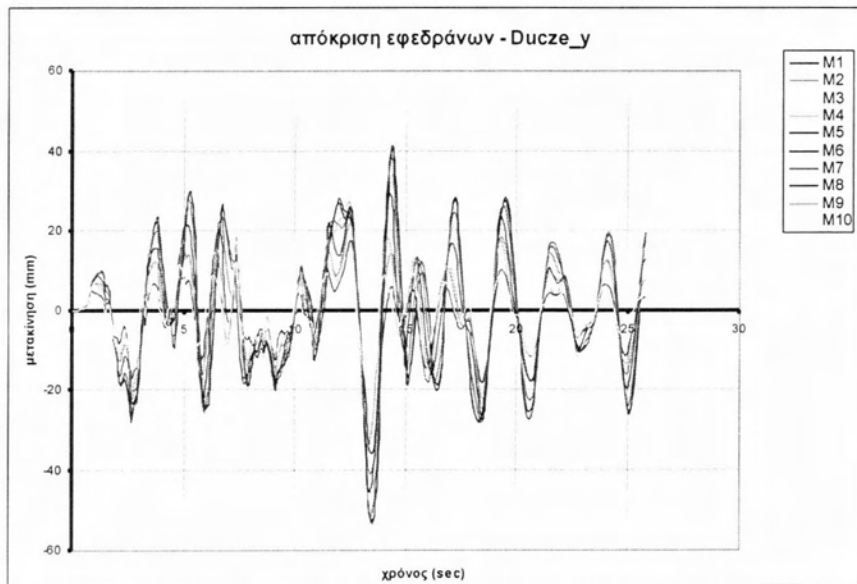
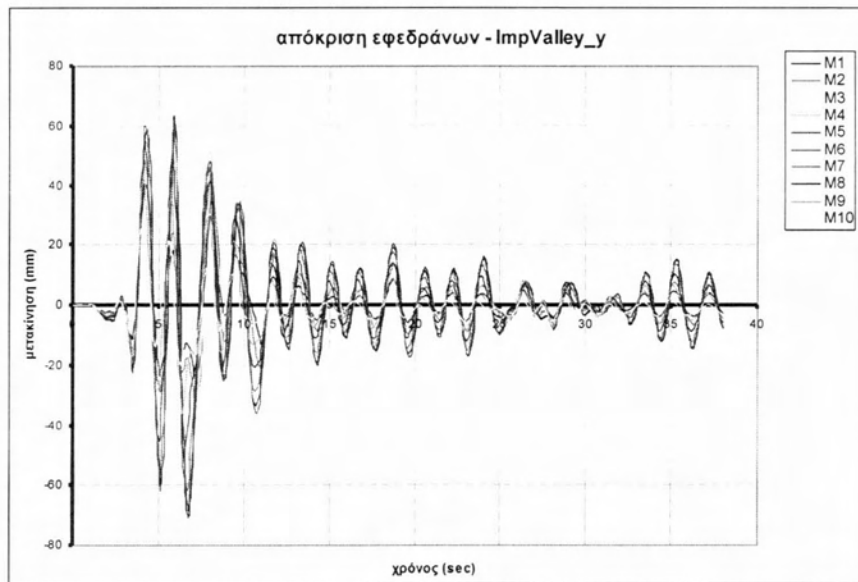




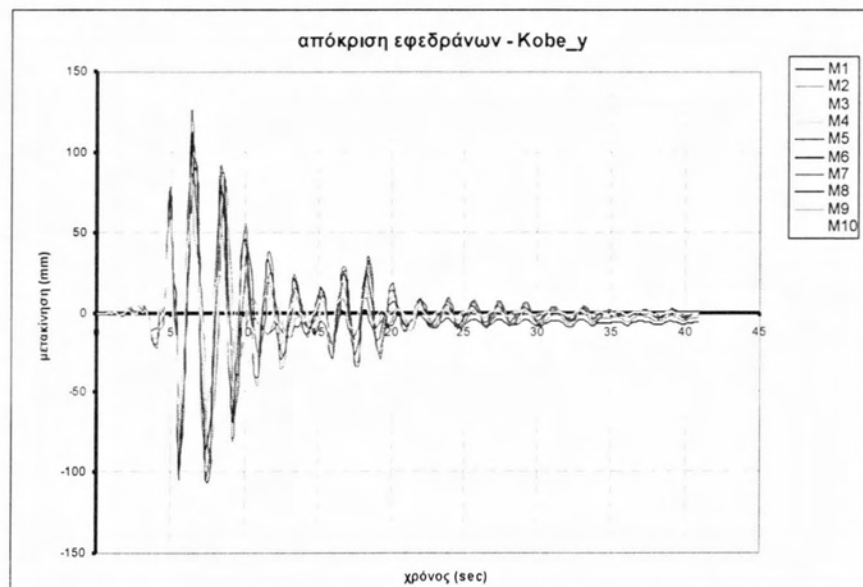
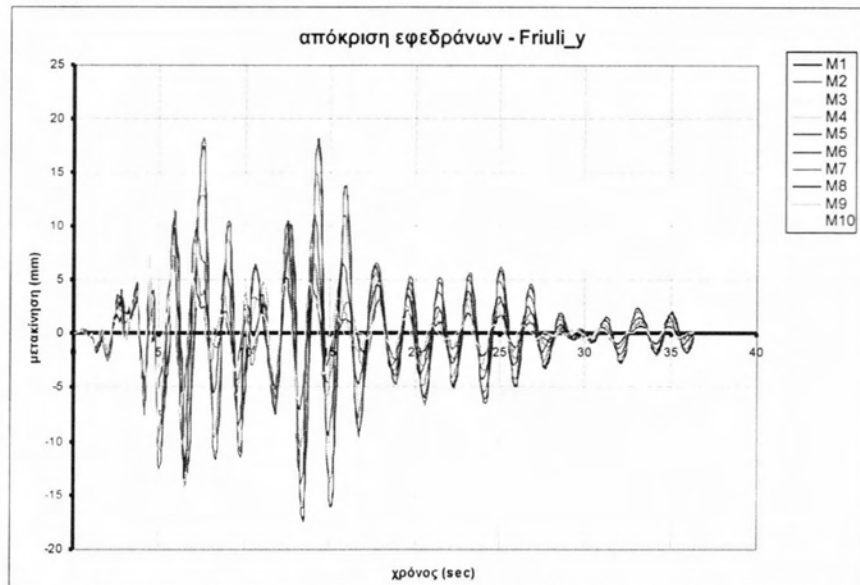
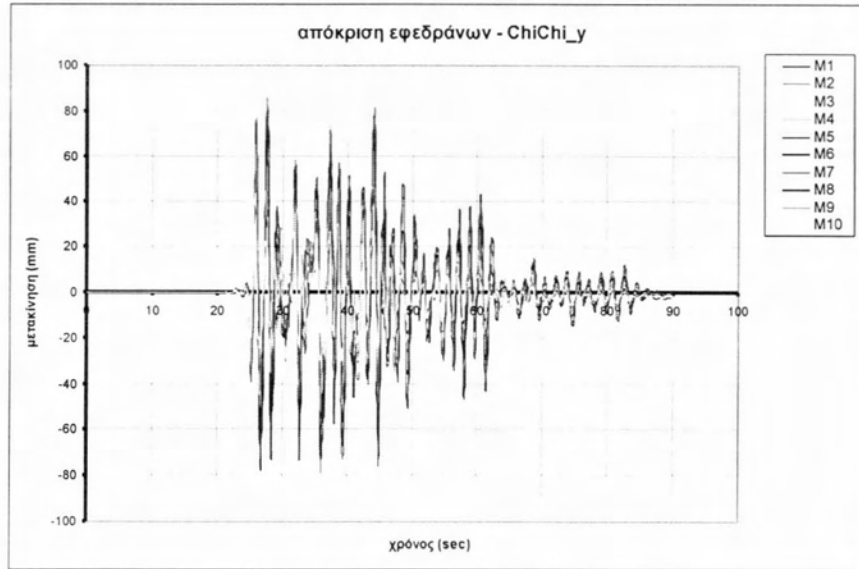


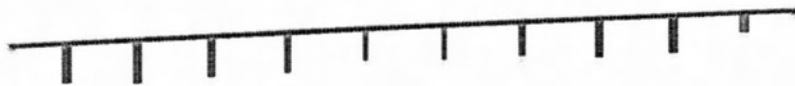
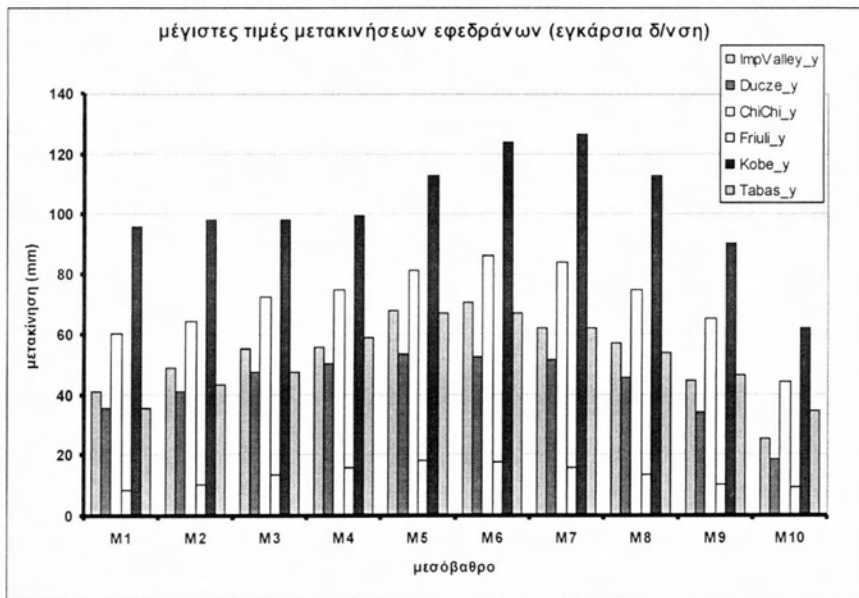
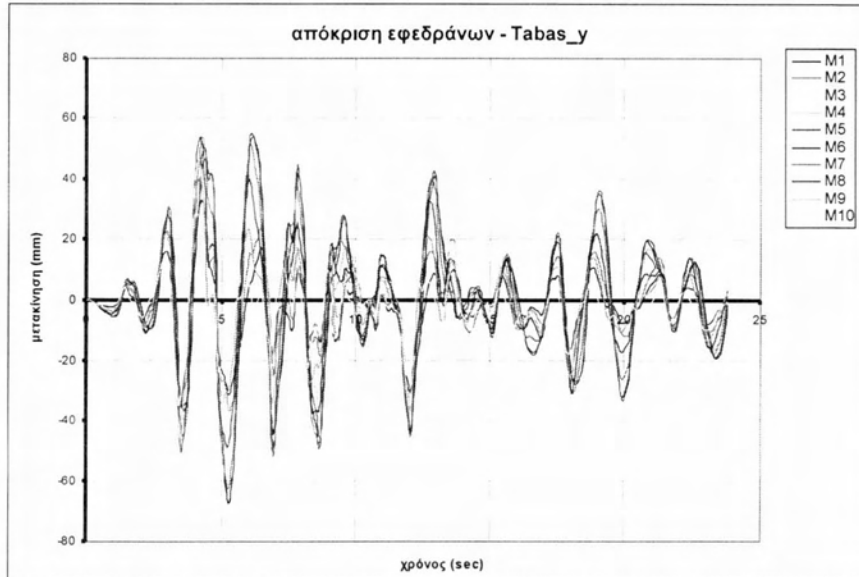
Διαγράμματα 8.2.14 Μετακινήσεις εφεδράνων για διαμήκεις σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

**(Θ.1) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα**



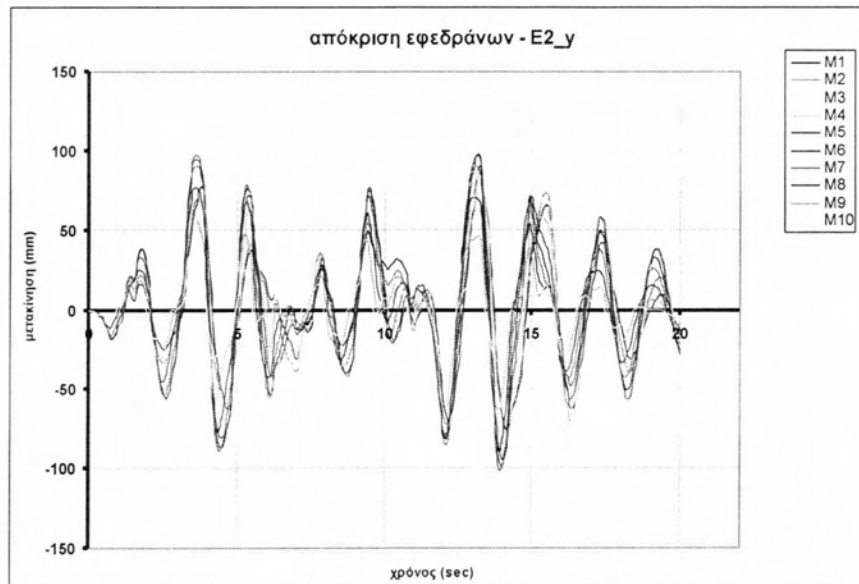
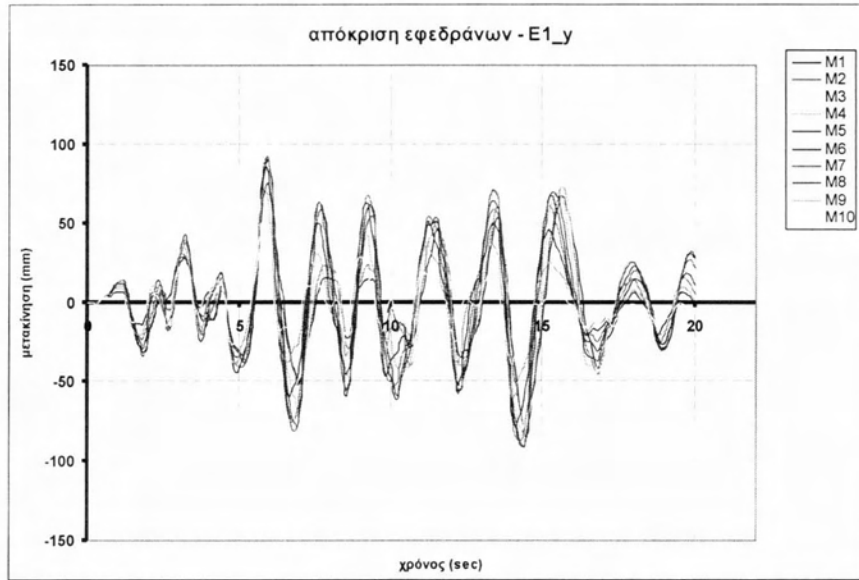


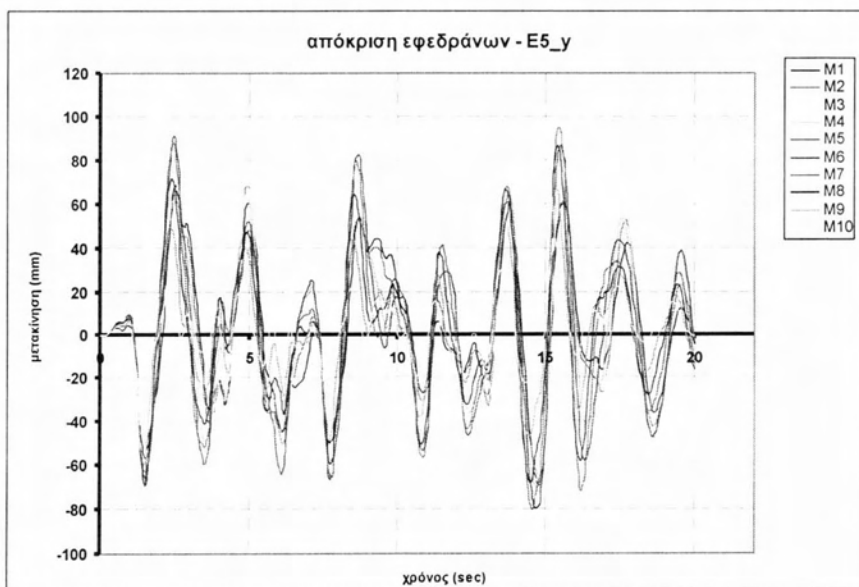
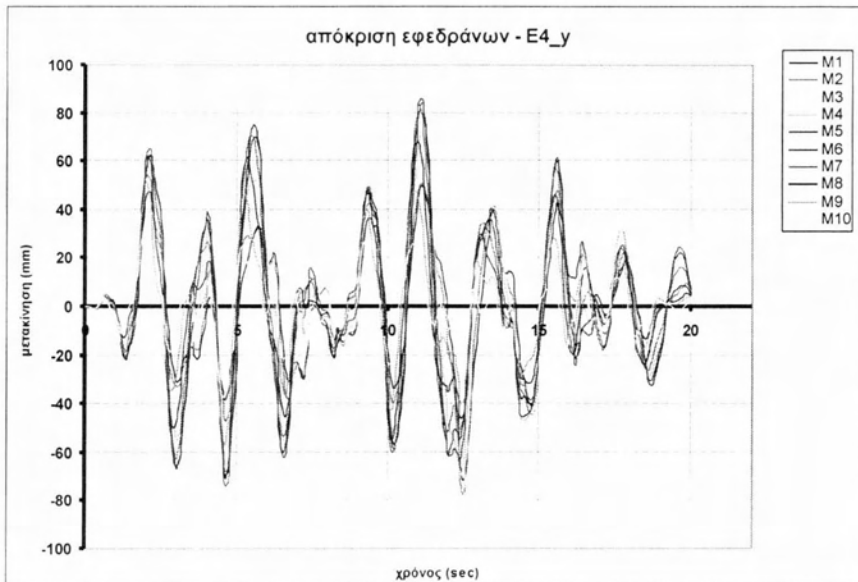
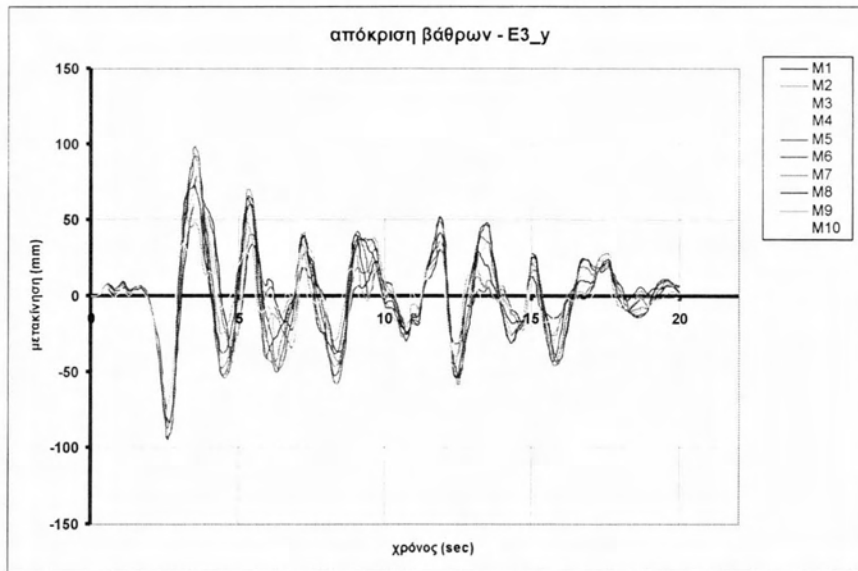


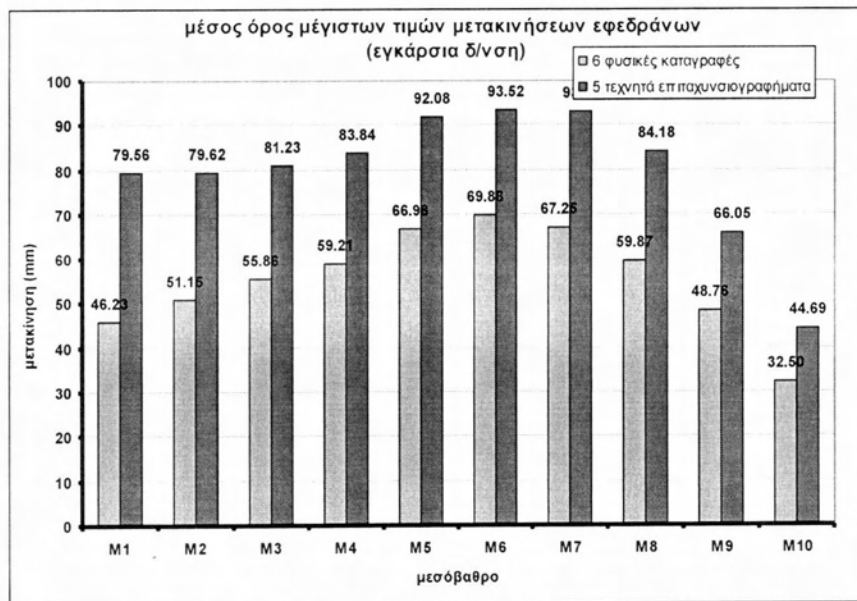
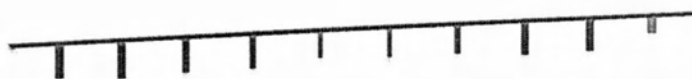
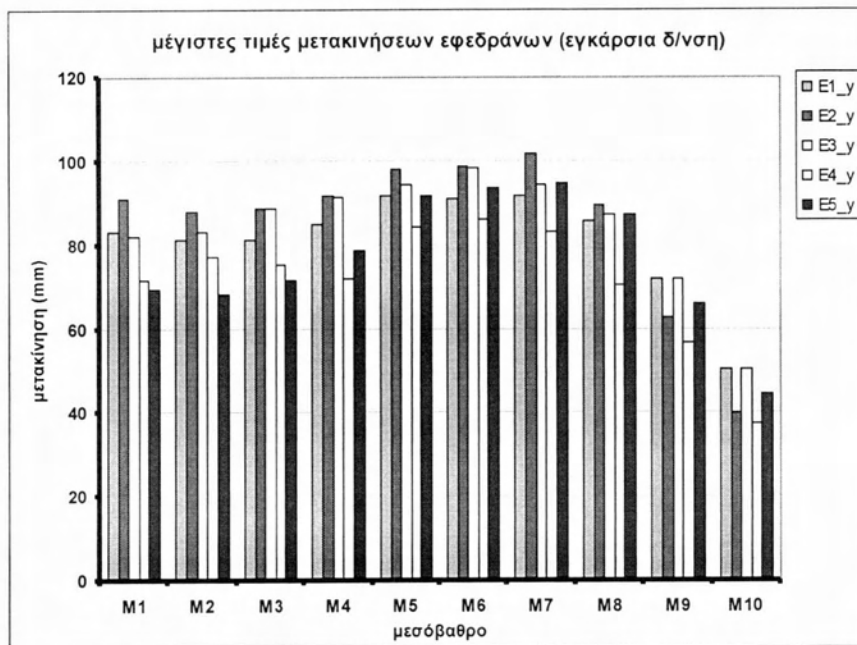


Διαγράμματα 8.2.15 Μετακινήσεις εφεδρών για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – φυσικά επιταχυνσιογραφήματα

**(Θ.2) Εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα**







Διαγράμματα 8.2.16 Μετακινήσεις εφεδράνων για εγκάρσιες σεισμικές δράσεις – τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα

## **Κεφάλαιο 9**

### **Σύγκριση αποτελεσμάτων**

## 9. Σύγκριση αποτελεσμάτων

### 9.1 Οι δείκτες PSR – DToP – AToP – IDR (ορισμός)

Στο κεφάλαιο 8 παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα χρονοϊστορίας σε ότι αφορά την απόκριση των μεσοβάθρων και των εφεδράνων της γέφυρας για σεισμούς που προέρχονται από φυσικές καταγραφές αλλά και για τεχνητά επιταχυνσιογραφήματα. Βασική παραδοχή για τις αναλύσεις του κεφαλαίου 8 είναι η θεώρηση πακτωμένης στη βάση κατασκευής χωρίς καμία αλληλεπίδραση του εδάφους με αυτή.

Στο κεφάλαιο 9 παρουσιάστηκαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα υπό μορφή διαγραμμάτων που υπολογίστηκαν θεωρώντας πως η γέφυρα αλληλεπιδρά με το έδαφος.

Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των 2 σειρών αναλύσεων ορίζονται οι παρακάτω δείκτες:

$$PSR = \frac{Pier\_Shear\_ (SSI)}{Pier\_shear\_ (fixed\_base)}$$

$$DToP = \frac{Displacement\_at\_the\_top\_of\_pier\_ (SSI)}{Displacement\_at\_the\_top\_of\_pier\_ (fixed\_base)}$$

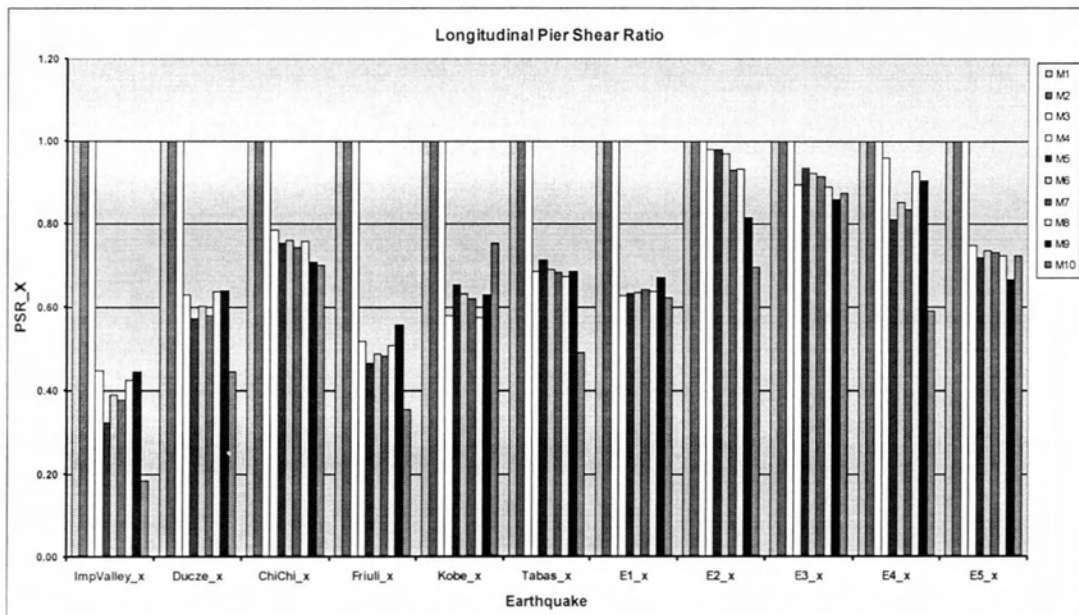
$$AToP = \frac{Accelerat\grave{o}n\_at\_the\_top\_of\_pier\_ (SSI)}{Accelerat\grave{o}n\_at\_the\_top\_of\_pier\_ (fixed\_base)}$$

$$IDR = \frac{Isolation\_Drift\_ (SSI)}{Isolation\_Drift\_ (fixed\_base)}$$

Για κάθε μία από τις κύριες διευθύνσεις (διαμήκης και εγκάρσια) της γέφυρας ξεχωριστά.

## 9.2 Μεσόβαθρα

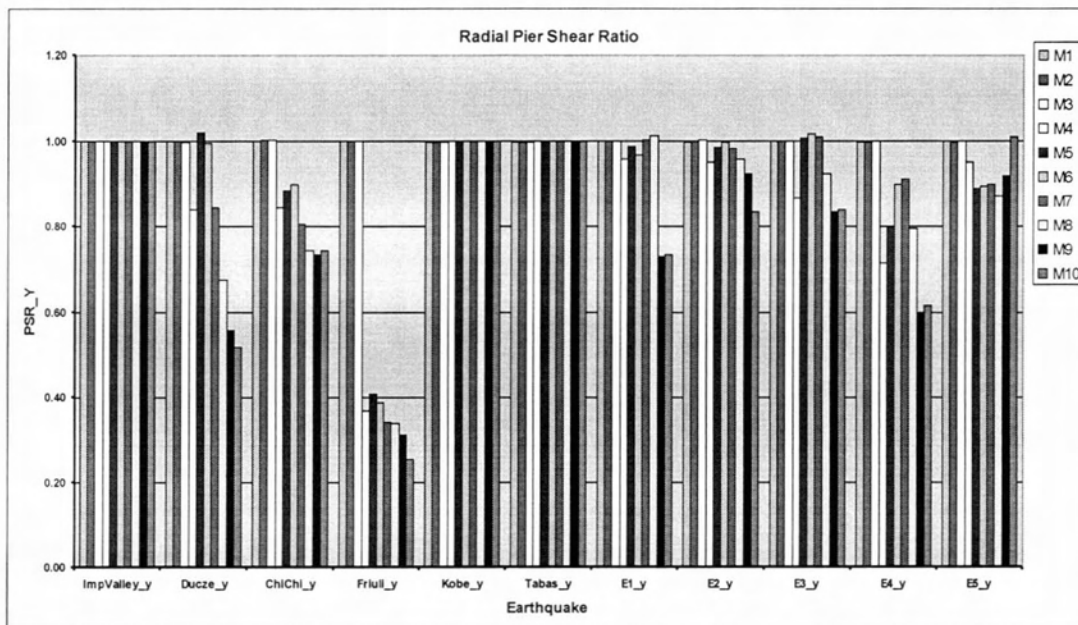
<b>PSR_X</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_x	1.00	1.00	1.00	0.45	0.32	0.39	0.38	0.43	0.44	0.18
Ducze_x	1.00	1.00	1.00	0.63	0.57	0.60	0.58	0.64	0.64	0.45
ChiChi_x	1.00	1.00	1.00	0.78	0.75	0.76	0.74	0.76	0.71	0.70
Friuli_x	1.00	1.00	1.00	0.52	0.46	0.49	0.48	0.51	0.56	0.35
Kobe_x	1.00	1.00	1.00	0.58	0.65	0.63	0.62	0.58	0.63	0.75
Tabas_x	1.00	1.00	1.00	0.69	0.71	0.69	0.68	0.67	0.68	0.49
E1_x	1.00	1.00	1.00	0.63	0.63	0.63	0.64	0.64	0.67	0.62
E2_x	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.97	0.93	0.93	0.81	0.70
E3_x	1.00	1.00	1.00	0.89	0.94	0.92	0.92	0.89	0.86	0.87
E4_x	1.00	1.00	1.00	0.96	0.81	0.85	0.83	0.93	0.91	0.59
E5_x	1.00	1.00	1.00	0.75	0.72	0.73	0.73	0.72	0.67	0.72



Διάγραμμα 9.2.1 PSR\_X



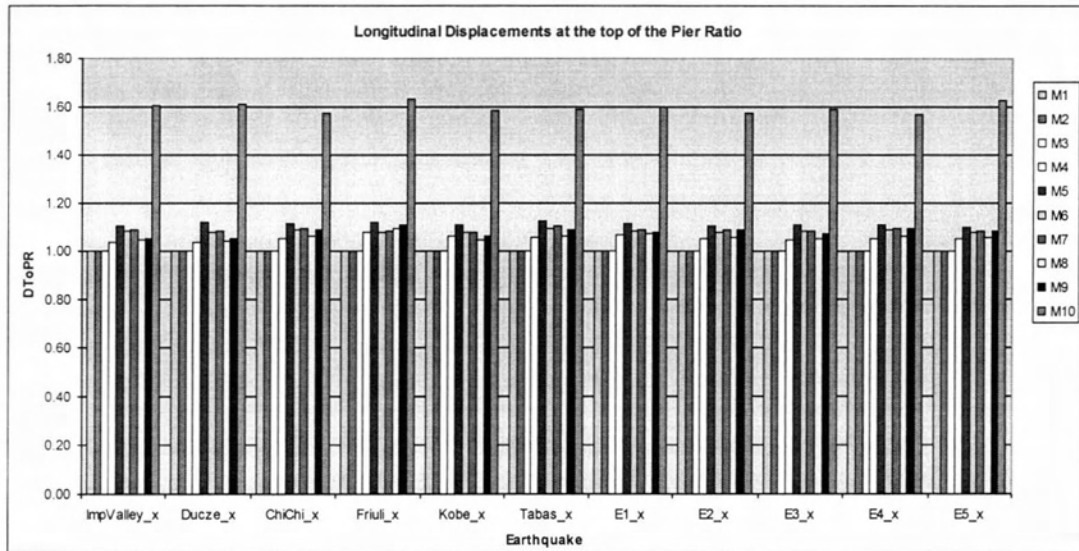
PSR_Y										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ducze_y	1.00	1.00	1.00	0.84	1.02	1.00	0.84	0.68	0.56	0.52
ChiChi_y	1.00	1.00	1.00	0.84	0.88	0.90	0.80	0.74	0.73	0.74
Friuli_y	1.00	1.00	1.00	0.37	0.41	0.39	0.34	0.34	0.31	0.25
Kobe_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Tabas_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E1_y	1.00	1.00	1.00	0.96	0.99	0.97	1.00	1.01	0.73	0.73
E2_y	1.00	1.00	1.00	0.95	0.98	1.00	0.98	0.96	0.93	0.84
E3_y	1.00	1.00	1.00	0.87	1.01	1.02	1.01	0.92	0.83	0.84
E4_y	1.00	1.00	1.00	0.71	0.80	0.90	0.91	0.80	0.60	0.62
E5_y	1.00	1.00	1.00	0.95	0.89	0.89	0.90	0.87	0.92	1.01



Διάγραμμα 9.2.2 PSR\_Y

## DToPR\_X

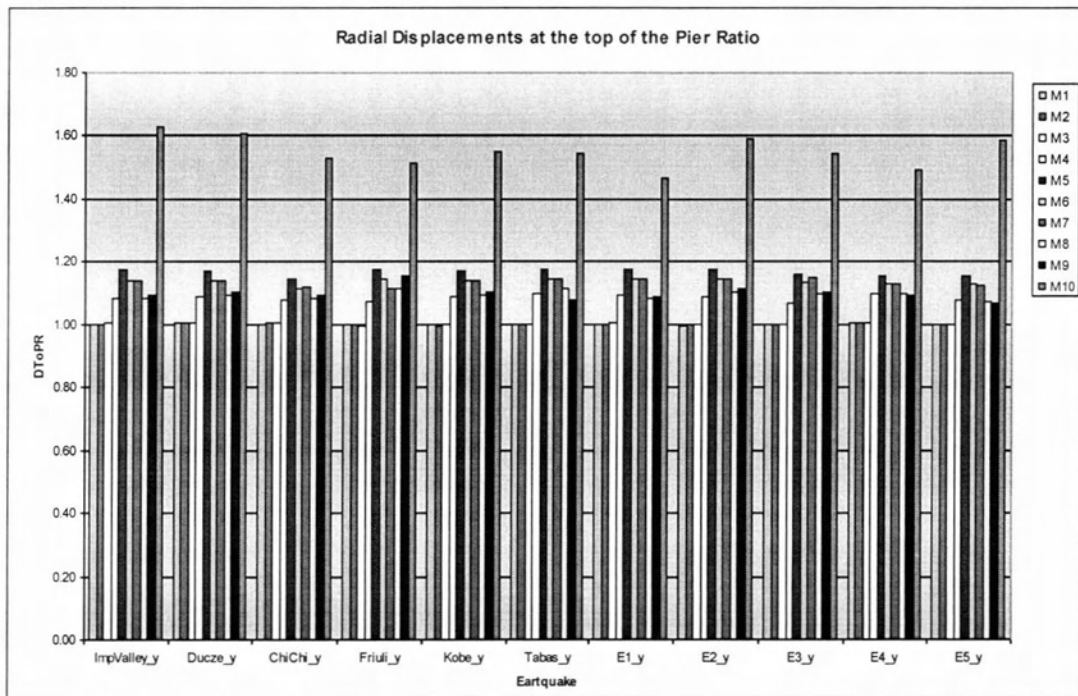
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_x	1.00	1.00	1.00	1.04	1.10	1.09	1.09	1.05	1.05	1.61
Ducze_x	1.00	1.00	1.00	1.04	1.12	1.08	1.08	1.04	1.05	1.61
ChiChi_x	1.00	1.00	1.00	1.05	1.12	1.09	1.10	1.06	1.09	1.57
Friuli_x	1.00	1.00	1.00	1.08	1.12	1.08	1.08	1.09	1.11	1.63
Kobe_x	1.00	1.00	1.00	1.06	1.11	1.08	1.08	1.05	1.06	1.58
Tabas_x	1.00	1.00	1.00	1.06	1.13	1.10	1.10	1.07	1.09	1.59
E1_x	1.00	1.00	1.00	1.07	1.12	1.08	1.09	1.07	1.08	1.60
E2_x	1.00	1.00	1.00	1.05	1.11	1.08	1.09	1.06	1.09	1.57
E3_x	1.00	1.00	1.00	1.05	1.11	1.08	1.09	1.05	1.08	1.59
E4_x	1.00	1.00	1.00	1.05	1.11	1.09	1.09	1.06	1.09	1.57
E5_x	1.00	1.00	1.00	1.05	1.10	1.08	1.09	1.06	1.09	1.63



Διάγραμμα 9.2.3 DToPR\_X

## DToPR\_Y

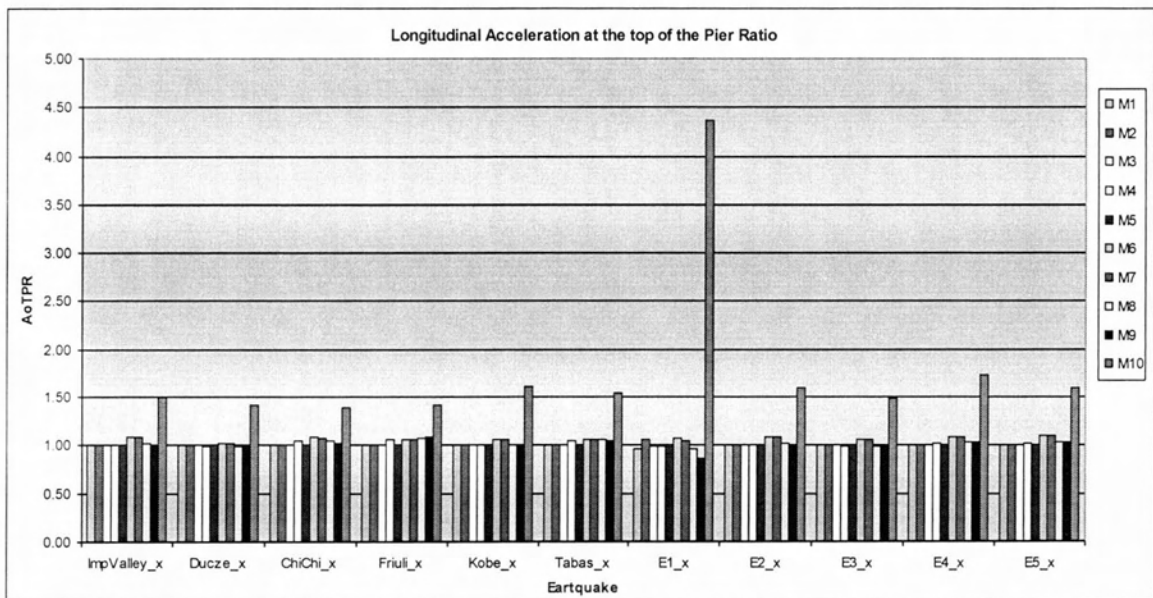
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_y	1.00	1.00	1.00	1.08	1.17	1.14	1.14	1.08	1.09	1.63
Ducze_y	1.00	1.00	1.00	1.09	1.17	1.14	1.14	1.09	1.10	1.61
ChiChi_y	1.00	1.00	1.00	1.08	1.14	1.11	1.12	1.08	1.09	1.53
Friuli_y	1.00	1.00	0.99	1.07	1.18	1.15	1.11	1.12	1.15	1.51
Kobe_y	1.00	1.00	1.00	1.08	1.17	1.14	1.14	1.09	1.10	1.55
Tabas_y	1.00	1.00	1.00	1.10	1.18	1.15	1.15	1.11	1.08	1.54
E1_y	1.00	1.00	1.00	1.09	1.18	1.15	1.15	1.08	1.09	1.47
E2_y	1.00	1.00	1.00	1.09	1.17	1.15	1.15	1.10	1.11	1.59
E3_y	1.00	1.00	1.00	1.07	1.16	1.13	1.15	1.10	1.11	1.55
E4_y	1.00	1.00	1.01	1.10	1.16	1.13	1.13	1.10	1.09	1.49
E5_y	1.00	1.00	1.00	1.08	1.16	1.13	1.12	1.07	1.07	1.58



Διάγραμμα 9.2.4 DToPR\_Y

## AoTPR\_X

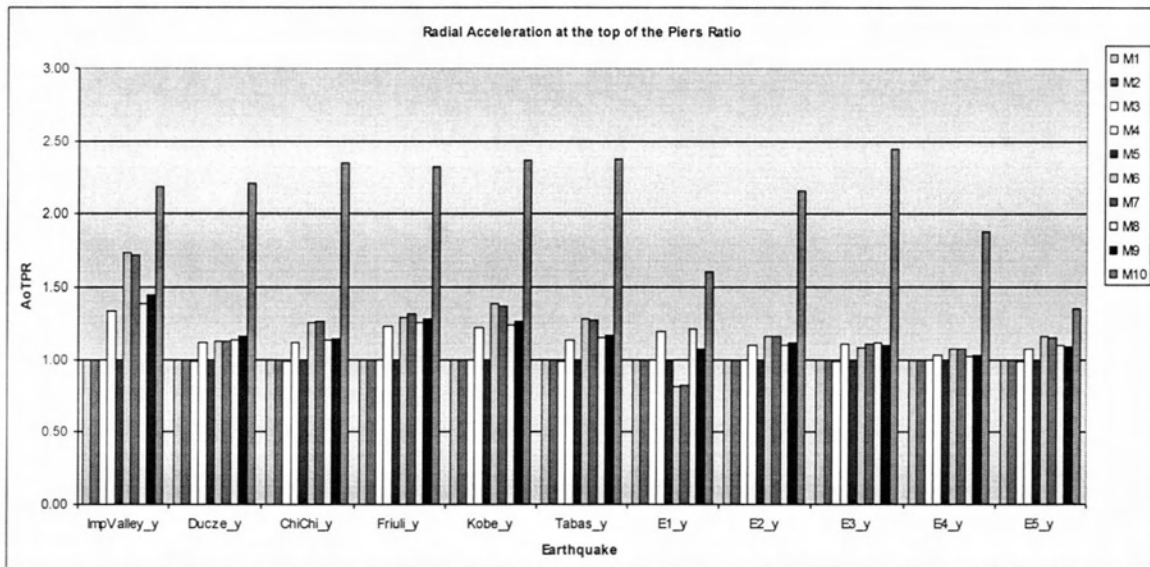
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_x	1.000	1.000	1.000	1.007	1.000	1.086	1.084	1.013	1.004	1.505
Ducze_x	1.000	1.000	1.000	0.993	1.000	1.021	1.021	0.998	1.002	1.421
ChiChi_x	1.000	1.000	1.000	1.052	1.000	1.087	1.081	1.041	1.024	1.395
Friuli_x	1.000	1.000	1.000	1.064	1.000	1.060	1.059	1.076	1.088	1.416
Kobe_x	1.000	1.000	1.000	1.003	1.000	1.066	1.066	1.009	1.000	1.616
Tabas_x	1.000	1.000	1.000	1.046	1.000	1.065	1.063	1.057	1.052	1.549
E1_x	0.958	1.059	0.990	0.993	1.000	1.074	1.042	0.960	0.869	4.360
E2_x	1.000	1.000	1.000	1.010	1.000	1.095	1.094	1.019	1.010	1.597
E3_x	1.000	1.000	1.000	0.991	1.000	1.062	1.061	0.994	0.996	1.488
E4_x	1.000	1.000	1.000	1.026	1.000	1.092	1.082	1.032	1.028	1.734
E5_x	1.000	1.000	1.000	1.025	1.000	1.095	1.096	1.035	1.032	1.592



Διάγραμμα 9.2.5 AToPR\_X

## AoTPR\_Y

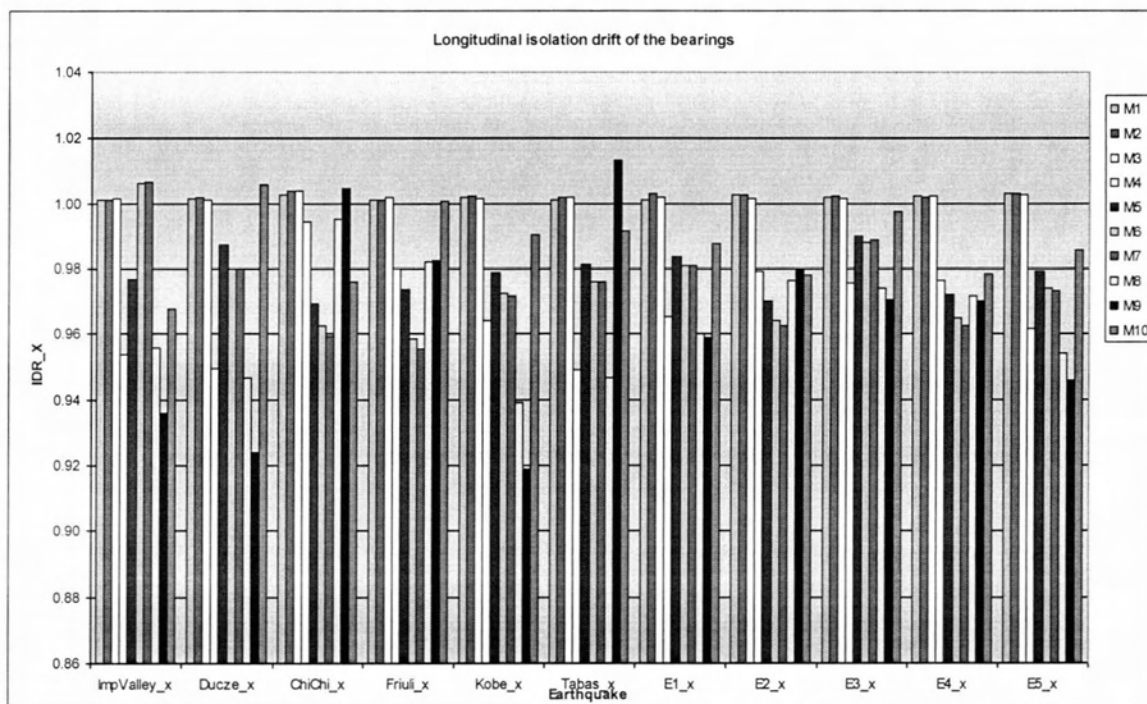
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_y	1.000	0.999	0.995	1.336	1.000	1.732	1.717	1.391	1.445	2.181
Ducze_y	1.000	0.998	0.986	1.122	1.000	1.126	1.126	1.135	1.161	2.215
ChiChi_y	1.000	0.998	0.989	1.123	1.000	1.258	1.263	1.138	1.142	2.348
Friuli_y	1.000	0.999	0.995	1.229	1.000	1.293	1.319	1.256	1.285	2.326
Kobe_y	1.000	0.999	0.995	1.223	1.000	1.384	1.368	1.240	1.266	2.364
Tabas_y	1.000	0.999	0.991	1.139	1.000	1.281	1.272	1.150	1.172	2.374
E1_y	0.999	0.999	0.996	1.198	1.000	0.818	0.822	1.216	1.078	1.601
E2_y	1.000	0.999	0.994	1.100	1.000	1.163	1.162	1.104	1.116	2.159
E3_y	0.999	0.998	0.989	1.110	1.000	1.081	1.109	1.119	1.105	2.448
E4_y	1.000	1.000	0.993	1.028	1.000	1.072	1.072	1.027	1.035	1.882
E5_y	1.000	0.998	0.988	1.073	1.000	1.159	1.154	1.101	1.091	1.351



Διάγραμμα 9.2.6 ΑΤοΡΥ

### 9.3 Εφέδρανα

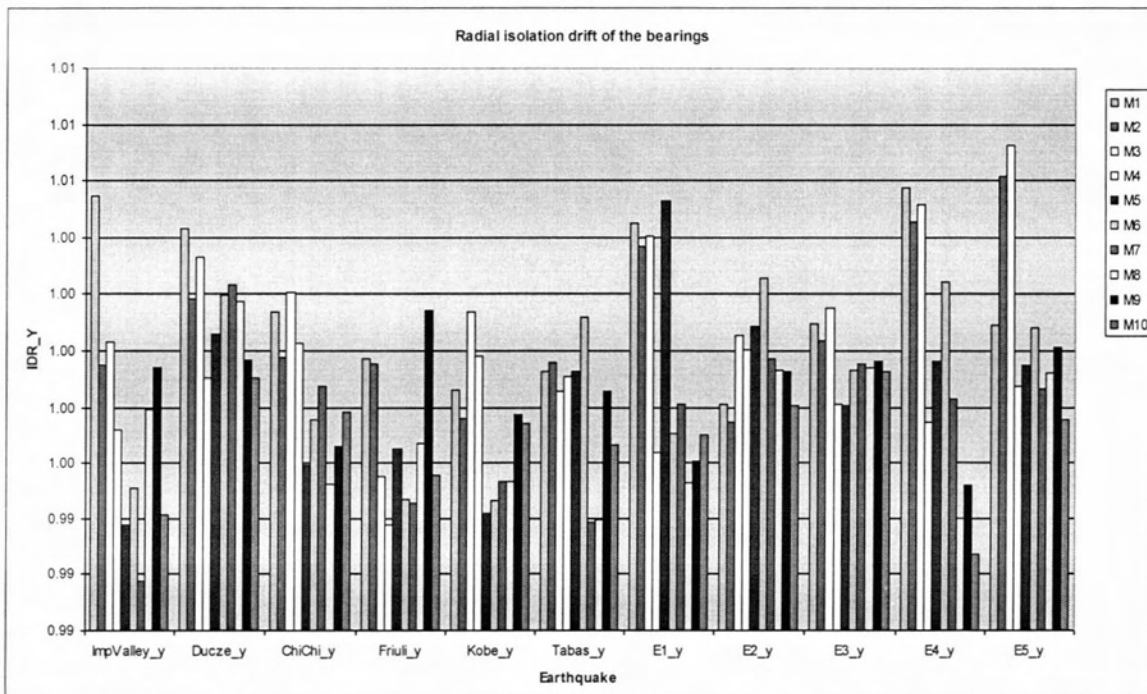
<b>IDR_X</b>										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_x	1.00	1.00	1.00	0.95	0.98	1.01	1.01	0.96	0.94	0.97
Ducze_x	1.00	1.00	1.00	0.95	0.99	0.98	0.98	0.95	0.92	1.01
ChiChi_x	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.96	0.96	1.00	1.00	0.98
Friuli_x	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.96	0.98	0.98	1.00
Kobe_x	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98	0.97	0.97	0.94	0.92	0.99
Tabas_x	1.00	1.00	1.00	0.95	0.98	0.98	0.98	0.95	1.01	0.99
E1_x	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.98	0.96	0.96	0.99
E2_x	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.96	0.98	0.98	0.98
E3_x	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	1.00
E4_x	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.96	0.97	0.97	0.98
E5_x	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98	0.97	0.97	0.95	0.95	0.99



Διάγραμμα 9.3.1 IDR\_X

## IDR\_Y

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ImpValley_y	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99
Ducze_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ChiChi_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Friuli_y	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
Kobe_y	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
Tabas_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
E1_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E3_y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E4_y	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
E5_y	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



Διάγραμμα 9.3.2 IDR\_Y

# **Κεφάλαιο 10**

## **Συμπεράσματα**



### Pier Shears

- Μέσω ανελαστικών δυναμικών αναλύσεων χρονοϊστορίας διερευνήθηκε η επιρροή των φαινομένων αλληλεπίδρασης εδάφους κατασκευής στην απόκριση της μέγιστης αναπτυσσόμενης τέμνουσας βάσης (pier shear) στα μεσόβαθρα, των μετακινήσεων και επιταχύνσεων (displacements – accelerations) στις κορυφές τους, καθώς και των παραμορφώσεων (isolation drifts) των ελαστομεταλλικών εφεδράνων.
- Σε ότι αφορά τις τέμνουσες στις βάσεις των μεσοβάθρων στην εφαπτομενική διεύθυνση της γέφυρας κατά κανόνα η αλληλεπίδραση οδηγεί σε ευνοϊκά αποτελέσματα – μείωσή τους δηλαδή κατά μέσο όρο ~22%. Σε ελάχιστες περιπτώσεις παρατηρήθηκε αύξηση τους που δεν ξεπέρασε το 1%.
- Αντίστοιχα στην ακτινική διεύθυνση οι μειώσεις της τέμνουσας δύναμης λόγω της αλληλεπίδρασης είναι κατά μέσο όρο της τάξης του 10 %. Η δε αύξηση δεν υπερβαίνει το 2%.

### Pier head Displacements

- Οι μετακινήσεις στις κορυφές των μεσοβάθρων στην εφαπτομενική διεύθυνση της γέφυρας κατά κανόνα παρουσιάζουν αύξηση κατά μέσο όρο ~11%. Σημαντική αύξηση των μετακινήσεων 63 % παρατηρήθηκε στο χαμηλότερο από όλα τα μεσόβαθρα της γέφυρας το M10..
- Αντίστοιχα στην ακτινική διεύθυνση η αύξηση των μετακινήσεων λόγω της αλληλεπίδρασης είναι κατά μέσο όρο της τάξης του 13 %. Και εδώ οι μετακινήσεις του M10 αυξάνονται κατά ~60%.

### Pier head Accelerations

- Οι επιταχύνσεις στις κορυφές των μεσοβάθρων στην εφαπτομενική διεύθυνση της γέφυρας αυξάνονται κατά μέσο όρο ~10%. Μεμονωμένα για μία καταγραφή σημειώνεται μείωση ~13% και αφορά το M9 για E1\_x

- Αντίστοιχα στην ακτινική διεύθυνση η αύξηση των επιταχύνσεων λόγω της αλληλεπίδρασης είναι κατά μέσο όρο της τάξης του 18 %. Και εδώ οι επιταχύνσεις του M10 παρουσιάζουν σημαντική κατά μ.ο. ~113%.

### Isolation Drifts & Modes

- Οι μετακινήσεις των εφεδράνων στην εφαπτομενική διεύθυνση της γέφυρας μειώνονται κατά κανόνα κατά μέσο όρο ~5%.
- Αντίστοιχα στην ακτινική διεύθυνση οι μετακινήσεις των εφεδράνων δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από την αλληλεπίδραση του εδάφους με τη γέφυρα
- Πολύ μικρή επιρροή έχει επίσης η αλληλεπίδραση στα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά του φορέα.

### Γενικές παρατηρήσεις

- Λόγω της πολύ μεγάλης δυσκαμψίας του βράχου, των πρακτικά άκαμπτων και όχι ιδιαίτερα μεγάλου ύψους μεσοβάθρων και της πολύ μεγάλης αντοχής των στοιχείων της θεμελίωσης τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης δεν δείχνουν να έχουν δυσμενή επιρροή στην απόκριση της γέφυρας.
- Σημαντικό λόγω επίσης για αυτό το αποτέλεσμα έχει και ο τρόπος στήριξης του καταστρώματος στη γέφυρα μέσω των ελαστομεταλλικών εφεδράνων (**floating deck on rigid piers**)
- Τέλος σημαντική είναι και η συμβολή των αποσβεστήρων (dampers) οι οποίοι παρουσιάζουν την ιδιότητα να αποσβένουν ίδια ποσά ενέργειας για ίδιες μετακινήσεις ανεξάρτητα του συχνοτικού περιεχομένου της διέγερσης και ανεξάρτητα της δυσκαμψίας της γέφυρας.

### Eurocode 8 Chapter 6 SOIL-STRUCTURE INTERACTION

(I) The effects of dynamic soil-structure interaction shall be taken into account in:

- a) structures where P-δ (2nd order) effects play a significant role;

b) structures with massive or deep-seated foundations, such as bridge piers, offshore caissons, and silos;

c) slender tall structures, such as towers and chimneys, covered in EN 1998-6:2004;

d) structures supported on very soft soils, with average shear wave velocity  $v_{s,max}$  (as defined in Table 4.1) less than 100 m/s, such as those soils in ground type S1.

#### **Eurocode 8 Annex D**

D.2 For the majority of common structures, the effects of SSI tend to be beneficial, since they reduce the bending moments and shear forces in the various members of the superstructure.

## Αναφορές - Βιβλιογραφία

- [1] Eurocode 8 – Part 5 Foundations – Retaining Structures – Geotechnical Aspects
- [2] CSI Analysis Reference Manual for Sap NL v.10
- [3] Simqke\_gr v.2.6 April 2011 by Prof. Piero Gelfi University of Brescia
- [4] Οδηγίες για Μελέτη Γεφυρών με Σεισμική Μόνωση, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2007
- [5] Οδηγίες για την αντισεισμική Μελέτη γεφυρών σε συνδυασμό με DIN-FB 102, 103, 104, (ΟΑΜΓ-FB)
- [6] Megalorema Bridge Technical Report (Edition B)- JULY 2001 by T. Tsiknias (TTA)
- [7] Chopra, A.K. [1995], "Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ
- [8] Effect of Soil — Structure Interaction on Seismic Isolated Bridges by Alper Ucak and Panos Tsopeles, A.M.ASCE Vol. 134, No. 7, July 2008, pp. 1154-1164
- [9] Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M. [1996], Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley, New York
- [10] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Seismic Response Analysis of Highway Overcrossings Including Soil-Structure Interaction by Jian Zhang and Nicos Makris Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Berkeley March 2001
- [11] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Guidelines for Nonlinear Analysis of Bridge Structures in California by Ady Aviram, Kevin R. Mackie, Božidar Stojadinović
- [12] Makris, N. and Chang, S. (1998), "Effect of Damping Mechanisms on the Response of Seismically Isolated Structures ", PEER Report 1998/06, University of California, Berkeley.  
Simple formulas for the dynamic stiffness of pile groups Reza Taherzadeh, Didier Clouteau, Regis Cottureau EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS 2002

[13] Mylonakis G, Nikolaou A, Gazetas G. Soil-Pile-Bridge seismic interaction: kinematic and inertial effects. Part I: soft soil. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 1997; 26(3):337–359

[14] Dobry R, Gazetas G. Simple method for dynamic stiffness and damping of floating pile groups. *Geotechnique* 1988; 38(4):557–574

[15] A simplified model for lateral response of large diameter caisson foundations – Linear elastic formulation by Varun, Dominic Assimaki, George Gazetas – Elsevier *Soil dynamics and Earthquake Engineering* 29 (2009) 268-291

[16] Masato Saitoh and Hiroyuki Watanabe Effects of flexibility on rocking impedance of deeply embedded foundation *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE* Vol.130 No.4pp.438-445 2004. 4

[17] Seismic behaviour of isolated bridges: A-state-of-the-art review M.C. Kunde M.Tech. Student, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 3 (2003)

[18] Seismic behaviour of pile supported bridges by WANCHALEARM KORNKASEM DOUGLAS A. FOUTCH JAMES H. LONG University of Illinois at Urbana-Champaign, 2001 Kelly, James. M. 1997. *Earthquake - Resistant Design with Rubber*. 2nd ed. Berlin and New York: Springer-Verlag

[19] *Prestressed concrete Design* M.K. Hurst second edition E& FN SPON

[20] *Incrementally Launched Bridges Design and Construction* – Bernard Goehler & Brian Pearson Ernst und Sohn

[21] *Prestressed concrete bridges* – Marco Rosignoli ASCE PRESS

[22] MAURER *Seismic Protection*

[23] VSL *The incremental launching method in prestressed concrete bridge construction*

[24] DYWIDAG *Bonded Post-Tensioning Systems*

**[25]** Structural bearings by Helmut Eggert und Wolfgang Kauschke Ernst & Sohn

**[26]** SEISMIC BEHAVIOUR OF PILE-SUPPORTED BRIDGES BY WANHALEARN  
KORNKASEM DOUGLAS A. FOUTCH JAMES H. LONG University of Illinois at Urbana-  
Champaign, 2001

**[27]** DIN – Fachbericht 101,102



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000106364