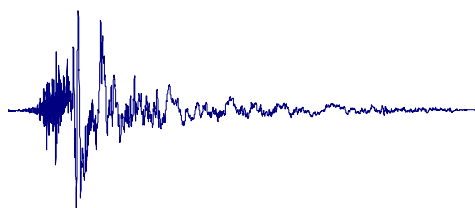
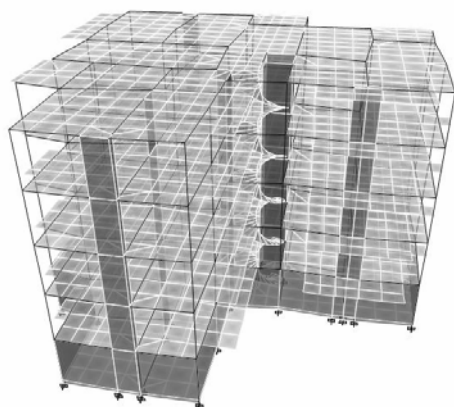




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**  
**Τομέας Μηχανικής και Τεχνολογίας Υλικών &**  
**Κατασκευών**



**ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ**  
**ΜΟΝΩΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΓΙΑ ΙΣΧΥΡΕΣ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

Ιωάννης Γρ. Ξηρογιάννης

Πολιτικός Μηχανικός

Εξεταστική Επιτροπή

Προβιδάκης Κων/νος, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Καθηγητής

Τσομπανάκης Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά, Οκτώβριος 2004

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα διατριβή υλοποιείται μια παραμετρική μελέτη στη συμπεριφορά επιλεγμένων συστημάτων μόνωσης βάσης κτιριακών κατασκευών, που διεγείρονται από διάφορους τύπους σεισμικών καταγραφών. Η έρευνα επιστημόνων από όλο τον κόσμο στο συγκεκριμένο θέμα προβάλλει ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες διαπιστώσεις, η επιβεβαίωση των οποίων, οδήγησε στη σύνταξη της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ τους καθηγητές :

- Αγιουτάντη Ζαχαρία, Καθηγητή στο Πολυτεχνείο Κρήτης,
- Τσομπανάκη Ιωάννη, Επίκουρο Καθηγητή στο Πολυτεχνείο Κρήτης,

για την υποστήριξη και τις χρήσιμες συμβουλές που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου.

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου,

Προβιδάκη Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Πολυτεχνείο Κρήτης,

για τη διαρκή καθοδήγηση του στην εκπόνηση και συγγραφή της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, Σταυρουλάκη Μαρία, για την πολύτιμη βοήθεια της.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η αναφορά μου στον Οργανισμό Εργατικής Κατοικίας, τον οποίο υπηρετώ ως Πολιτικός Μηχανικός από το έτος 1994, όπου με τη χορήγηση της αιτούμενης εκπαιδευτικής άδειας, συνέβαλε σημαντικά στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκτελούμενη παραμετρική μελέτη εξετάζει τη συμπεριφορά δύο τύπων συστημάτων μόνωσης που εφαρμόζονται σε επιλεγμένα δομικά συστήματα, τα οποία υποβάλλονται σε συγκεκριμένες ισχυρές σεισμικές καταγραφές, με μορφές που καθορίζονται από την απόσταση του σεισμικού ρήγματος προέλευσης. Τα συστήματα μόνωσης που ερευνήθηκαν είναι αυτά που απαρτίζονται από ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου και τα συστήματα εκκρεμούς – ολίσθησης.

Επιπρόσθετα, μελετάται και συγκρίνεται η συμπεριφορά των μονωμένων δομικών συστημάτων με ή χωρίς την επιβολή μηχανισμών επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, υπό την διέγερση επιλεγμένων σεισμικών καταγραφών. Τα εξεταζόμενα δομικά συστήματα είναι πραγματικές κατασκευές, υλοποιούμενες με τον συμβατικό τρόπο έδρασης στο έδαφος (πάκτωση). Η προσομοίωση τους γίνεται με το λογισμικό ETABS 2000 ver. 8.3.0, το οποίο αφενός χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, αφετέρου δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής μη γραμμικών μελών με ιδιότητες υστερητικής ή ιξώδους συμπεριφοράς.

Ο σχολιασμός των παραγόμενων αποτελεσμάτων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μια που όπως φαίνεται, ο τύπος σεισμικής διέγερσης επηρεάζει τόσο την αποτελεσματικότητα των συστημάτων μόνωσης όσο και τη παραγόμενη συμπεριφορά του δομικού συστήματος. Μάλιστα, η εν λόγω διαπίστωση μεγιστοποιείται κατά την επιβολή, στο κάθε σύστημα μόνωσης, μηχανισμών επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	6
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
<b>ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</b>	
<b>ΜΟΝΩΣΗΣ ΒΑΣΗΣ</b> .....	11
<b>1.1 Εισαγωγή</b> .....	11
<b>1.2 Ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μολύβδου (Lead Rubber Bearings – LRB)</b> .....	12
1.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εφεδράνων τύπου LRB .....	14
1.2.2 Συμπεριφορά εφεδράνων τύπου LRB .....	16
1.2.2.1 Συντελεστής σχήματος S .....	18
1.2.2.2 Συμπεριφορά σε κατακόρυφη συμπίεση .....	19
1.2.2.3 Συμπεριφορά σε εφελκυσμό .....	22
1.2.2.4 Συμπεριφορά σε κάμψη .....	23
1.2.2.5 Λυγισμός σε απαραμόρφωτη θέση .....	24
1.2.2.6 Λυγισμός σε παραμορφωμένη θέση .....	25
1.2.2.7 Συμπεριφορά σε οριζόντια διάτμηση .....	26
1.2.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου .....	27
<b>1.3 Εφεδράνα Εκκρεμούς – Ολίσθησης (Friction Pendulum System – FPS)</b> .....	31
<b>1.4 Αποσβεστήρες Ιξώδους Απόσβεσης (Viscous Dampers)</b> .....	35
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ</b> .....	38
<b>2.1 Εισαγωγή</b> .....	38
<b>2.2 Το δομικό σύστημα</b> .....	39
<b>2.3 Η σεισμική διέγερση</b> .....	44
<b>2.4 Δυναμική ανάλυση των δομικών συστημάτων</b> .....	50
<b>2.5 Απόκριση των πακτωμένων στο έδαφος δομικών συστημάτων</b> .....	53

<b>2.6 Εφαρμογή συστημάτων μόνωσης βάσης</b> .....	55
2.6.1 Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου (LRB) .....	56
2.6.2 Σύστημα εκκρεμούς – ολίσθησης (FPS) .....	62
2.6.3 Επιπρόσθετη ιξώδης απόσβεση .....	65

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

#### **ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ**

<b>ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	71
----------------------	----

<b>3.1 Εισαγωγή</b> .....	71
<b>3.2 Σεισμική απόκριση των μονωμένων δομικών συστημάτων σε σχέση με τα αντίστοιχα πακτωμένα</b> .....	72
<b>3.3 Προκύπτουσες συνέπειες στη σεισμική απόκριση των δομικών συστημάτων από την επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στα εφαρμοζόμενα συστήματα μόνωσης</b> .....	83
<b>3.4 Αποτελεσματικότητα των συστημάτων μόνωσης LRB &amp; FPS στη συμπεριφορά των επιλεγμένων δομικών συστημάτων</b> .....	96
<b>3.5 Γενικά συμπεράσματα</b> .....	98

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	101
---------------------------	-----

#### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

##### **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΠΑΚΤΩΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ**

<b>ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</b> .....	104
---------------------------------	-----

#### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

##### **ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ**

<b>ΜΕ LRB ΓΙΑ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α</b> .....	113
---	-----

#### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**

##### **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Α**

##### **ΜΕ LRB ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗΣ**

<b>ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ</b> .....	129
--------------------------------	-----

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**

### **ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ**

**ΜΕ LRB ΓΙΑ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ..... 136**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε**

### **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Β**

#### **ΜΕ LRB ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗΣ**

**ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ..... 152**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ**

### **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

#### **Α & Β ΜΕ FPS ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗΣ**

**ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ..... 159**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Θέμα μείζονος σημασίας για το δομοστατικό μηχανικό αποτελεί ο πρέπων σχεδιασμός των κτιριακών κατασκευών, ώστε αυτές να επιβιώνουν στις συνέπειες ενός σεισμικού γεγονότος. Οι συνηθισμένα χρησιμοποιούμενες τεχνικές προσέγγισης του εν λόγω προβληματισμού, στοχεύουν στην αύξηση της αντοχής του κτιρίου είτε μεγαλώνοντας το όριο ελαστικής συμπεριφοράς του, ή παρέχοντας κατάλληλους μηχανισμούς πλαστιμότητας, για την απορρόφηση – κατανάλωση της παραγόμενης σεισμικής ενέργειας.

Είναι γνωστό ότι η επίτευξη υψηλού ορίου ελαστικής συμπεριφοράς, ως τεχνική σχεδιασμού αντιμετώπισης ενός σεισμού, αφενός μεγαλώνει το κόστος κατασκευής, αφετέρου παράγει υψηλές επιταχύνσεις στους ορόφους, προκύπτοντας έτσι το ενδεχόμενο της δημιουργίας ζημιών στα περιεχόμενα του κτιρίου. Από την άλλη η επίτευξη υψηλού επιπέδου πλαστιμότητας απαιτεί λεπτομερή σχεδιασμό και προσεκτική εφαρμογή, βασίζεται δε στην ελεγχόμενη αστοχία δομικών στοιχείων, όπου σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι επισκευάσιμη.

Αντίθετα με την συμβατική φιλοσοφία σχεδιασμού μια σχετικά νέα μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί, η οποία επικεντρώνεται στη μείωση της επίδρασης του σεισμού στην κατασκευή. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως «σεισμική μόνωση βάσης» (base or seismic isolation) [1, 2, 3, 4].

Η αρχή της τεχνικής μόνωσης βάσης, είναι ο διαχωρισμός της κατασκευής από το έδαφος έτσι ώστε να αποφευχθούν οι συνέπειες του σεισμικού γεγονότος. Είναι γνωστό ότι ο σεισμός είναι μη ελεγχόμενο φαινόμενο. Όμως, είναι εφικτή η τροποποίηση της επίδρασης του στη κατασκευή εμποδίζοντας τις μεταδιδόμενες κινήσεις από το έδαφος θεμελίωσης στην ανωδομή. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, σημαντική ποσότητα σεισμικής ενέργειας καταναλώνεται ενώ παράλληλα παρέχεται η απαραίτητη δυσκαμψία από το σύστημα μόνωσης, έτσι ώστε να διατηρηθεί η δομική ακεραιότητα της κατασκευής [2, 3, 4].

Ο κύριος στόχος ενός συστήματος μόνωσης βάσης είναι η ευεργετική διαχείριση των σεισμικών κινήσεων που εισάγονται στη κατασκευή. Λόγω του παθητικού χαρακτήρα της ενέργειας αυτής, γίνεται φανερό ότι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένα σύστημα μόνωσης βάσης, εξαρτάται από τις εισαγόμενες στην ανωδομή σεισμικές κινήσεις. Πρόσφατες μελέτες που αφορούν σεισμικά απομονωμένες κατασκευές σε περιοχές κοντά σε σεισμικά ρήγματα, αποδεικνύουν ότι οι διεγέρσεις που προκαλούν οι καταγραφές επιτάχυνσης με τη παρουσία παλμών μακράς διάρκειας (από 1 έως 3 sec), οδηγούν σε σημαντικές αποκρίσεις των δομικών συστημάτων. Επίσης, στις περιοχές αυτές, η σεισμική συμπεριφορά ενός συστήματος μόνωσης βάσης προκύπτει λιγότερο αποτελεσματική από την αντίστοιχη, περιοχών μακριά από σεισμικά ρήγματα [5]. Σε πλήθος των περιπτώσεων όμως, η απόκριση της ανωδομής, όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις και τις σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατου ορόφου, είναι αρκετά αποτελεσματική, συγκρίνοντας την με την αντίστοιχη, κατασκευών πακτωμένων στο έδαφος [3, 4].

Ο κύριος προβληματισμός κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος μόνωσης βάσης σε περιοχές κοντά σε σεισμικό ρήγμα, είναι η παρουσία μεγάλων μετακινήσεων στη στάθμη μόνωσης σε σχέση με το έδαφος, λόγω των παλμών μακράς περιόδου που χαρακτηρίζουν τη κίνηση στα εν λόγω πεδία [6].

Ο τρόπος με τον οποίο οι μελετητές αντιμετωπίζουν το θέμα αυτό είναι η εφαρμογή συστημάτων με μονωτήρες μεγάλων διαστάσεων, σε συνδυασμό με



επιπρόσθετους μηχανισμούς απόσβεσης ενέργειας (π.χ. αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης). Έτσι, αφενός παρέχεται μεγάλη ποσότητα δυσκαμψίας όπου, μαζί με τις συμπληρωματικές δυνάμεις απόσβεσης, να εμποδίζεται η ανάπτυξη των εκτεταμένων μετακινήσεων, αφετέρου δημιουργείται επιπρόσθετη ικανότητα απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας [4].

Η απόκριση του περιγραφόμενου συστήματος μόνωσης καθώς επίσης η συμπεριφορά του κτιρίου στο οποίο εφαρμόζεται, προκύπτουν αποτελεσματικά. Όμως ένα δομικό σύστημα με τόσο σύνθετο σύστημα μόνωσης βάσης, παρουσιάζει μη επιθυμητά αποτελέσματα όταν διεγείρεται από σεισμό μέσης έντασης [6, 7, 8].

Είναι φανερό ότι η σημαντική αύξηση στη δυσκαμψία του συστήματος μόνωσης, αν και ελέγχει τις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις, διεγείρει τις υψηλότερες ιδιομορφές του δυναμικού μοντέλου, ανατρέποντας έτσι το κύριο χαρακτηριστικό της χρήσης του συστήματος μόνωσης, σύμφωνα με το οποίο οι υψηλές ιδιομορφές διατηρούνται με πολύ χαμηλούς συντελεστές συμμετοχής [10]. Επιπρόσθετα, η συμπληρωματική απόσβεση συνεισφέρει στον έλεγχο των μετακινήσεων, αλλά εισάγει στο σύστημα δυνάμεις οι οποίες συνδυάζονται με τις παραγόμενες από τους μονωτήρες, παρόλο που από θεωρητική άποψη, οι εξαρτώμενες από την ταχύτητα δυνάμεις ιξώδους απόσβεσης είναι εκτός φάσης με τις εξαρτώμενες από τη μετατόπιση δυνάμεις δυσκαμψίας και υστερητικές δυνάμεις απόσβεσης [3, 9].

Επομένως, κατά το σχεδιασμό συστημάτων μόνωσης βάσης, σημαντική προσοχή θα πρέπει να δίδεται στον καθορισμό της βάσης σχεδιασμού, όσον αφορά τον τύπο της σεισμικής διέγερσης, σύμφωνα βέβαια με τις υποδείξεις των σχετικών κανονισμών [3, 4].

Επίσης, ο καθορισμός της απόσβεσης στο υπολογιστικό μοντέλο αποτελεί σημαντικό θέμα. Γενικά, στη γραμμική δυναμική ανάλυση, ο καθορισμός της απόσβεσης γίνεται έμμεσα, με την εισαγωγή της ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης η οποία είναι ποσοστό επί της τιμής κρίσιμης απόσβεσης και υπολογίζεται πειραματικά. Οι τιμές αυτές συνθέτουν τη διαγώνιο του μητρώου απόσβεσης, το οποίο έχει τους εκτός διαγωνίου όρους σύζευξης, μηδενικούς. Από την άλλη, το πλήρες μητρώο απόσβεσης απαιτείται στη μη γραμμική δυναμική ανάλυση, οπότε υλοποιείται καλύτερη περιγραφή των δυνάμεων απόσβεσης [11, 12]. Επομένως, η επιλογή του

είδους ανάλυσης είναι σημαντική απόφαση, ειδικά στις περιπτώσεις όπου υφίσταται μηχανισμός συμπληρωματικής ιξώδους απόσβεσης στο σύστημα μόνωσης βάσης.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα προαναφερόμενα, η παραμετρική μελέτη που πραγματοποιήθηκε μελετά την απόδοση δύο διαφορετικών συστημάτων μόνωσης βάσης, τα οποία εγκαθίστανται σε δύο διαφορετικά δομικά συστήματα που διεγείρονται με επιταχυνσιογραφήματα χαρακτηριστικών καταγραφών μακριά από, αλλά και κοντά σε σεισμικό ρήγμα. Επιπρόσθετα, υλοποιήθηκε η αποτίμηση της συμπεριφοράς κάθε δομικού συστήματος, όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στους ορόφους και τις σχετικές μετακινήσεις κέντρου μάζας βάσης – ανώτατου ορόφου, παρουσιάζοντας έτσι τις τάσεις απόκρισης, κατά την εφαρμογή επιπρόσθετων μηχανισμών ιξώδους απόσβεσης.

Η παρούσα εργασία αναπτύσσεται σε τρία κεφάλαια και έξι παραρτήματα. Το πρώτο κεφάλαιο εκθέτει τη θεωρητική βάση για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό των εφαρμοζόμενων συστημάτων μόνωσης, όπως αυτή αντλήθηκε από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται με λεπτομέρεια η υλοποιούμενη παραμετρική μελέτη ενώ στο τρίτο κεφάλαιο σχολιάζονται τα αποτελέσματα της, οδηγώντας έτσι στη σύνθεση των ανάλογων συμπερασμάτων. Η απαραίτητη παρουσία των παραρτημάτων εκθέτει ομαδοποιημένα τόσο τα δεδομένα όσο και τα αποτελέσματα της παραμετρικής μελέτης και δίδει στον αναγνώστη τη δυνατότητα άμεσης διασταύρωσης και επικύρωσης των σχολιασμών που λαμβάνουν χώρα στο τρίτο κεφάλαιο.

Η έκθεση των γνώσεων που απαιτούνται για τη περιγραφή βασικών εννοιών της δυναμικής των κατασκευών και την κατανόηση του σεισμικού φαινομένου, δεν αποτελεί προβληματισμό της εργασίας, μια που αφενός αυτή θεωρείται δεδομένη και αφετέρου εκτίθεται πλούσια και με λεπτομέρεια σε πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών.

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής επιτεύχθηκαν οι ακόλουθοι στόχοι:

- Ομαδοποίηση του πλήθους των γνώσεων που συνθέτουν την εναλλακτική προσέγγιση αντισεισμικού σχεδιασμού : «σεισμική μόνωση βάσης».

- Κατανόηση της λειτουργίας των εφαρμοζόμενων στη μελέτη, συστημάτων μόνωσης και άντληση των βασικών γνώσεων που απαιτούνται για το σχεδιασμό τους, σε μελετητικό επίπεδο.
- Επιβεβαίωση των προβληματισμών που παγκοσμίως έχουν προκύψει, για την αποτελεσματικότητα των συστημάτων μόνωσης βάσης, κατά τη λειτουργία τους σε συγκεκριμένους τύπους σεισμικής διέγερσης.

Τέλος, είναι απαραίτητο να επισημανθεί ότι η έλλειψη της πρακτικής επιβεβαίωσης των περιγραφόμενων, αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα στην ουσιαστική γνώση του θέματος. Παράλληλα όμως, αποτελεί κίνητρο για την μελλοντική υλοποίηση της, στοχεύοντας στην επικύρωση της σπουδής στο χώρο αυτό.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ ΒΑΣΗΣ**

---

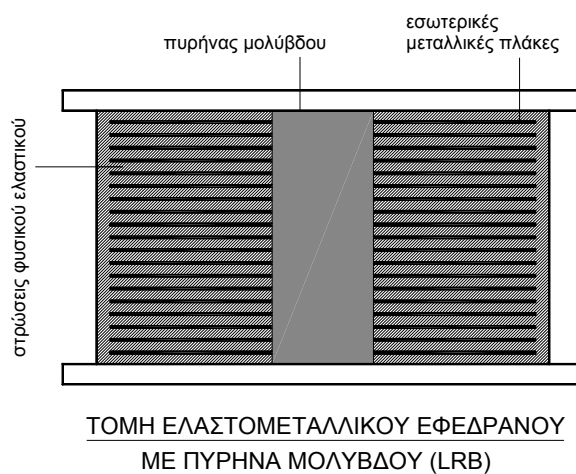
### **1.1 Εισαγωγή**

Η μελέτη κτιριακών κατασκευών μέσω της στρατηγικής σχεδιασμού «σεισμική μόνωση βάσης» καλύπτεται από πλούσια διεθνή βιβλιογραφία. Η ομαδοποιημένη αναφορά σε βασικά θέματα που αφορούν τη στρατηγική αυτή, δεν κρίνεται σκόπιμη, μια που με λεπτομέρεια παρατίθεται στις προτεινόμενες βιβλιογραφικές αναφορές. Από την άλλη, η έκθεση της βασικής τυπολογίας μέσω της οποίας εκτελείται ο προκαταρκτικός σχεδιασμός των σεισμικών εφεδράνων, κρίνεται ουσιώδης και χρήσιμη για την κατανόηση του τρόπου σύνταξης της πραγματοποιούμενης παραμετρικής μελέτης.

Έτσι, στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η τυπολογία σύμφωνα με την οποία συντάσσεται ο προκαταρκτικός σχεδιασμός των επιλεγμένων εφεδράνων, στα εφαρμοζόμενα συστήματα μόνωσης.

## 1.2 Ελαστομεταλλικά Εφέδρανα με Πυρήνα Μολύβδου

Τα εφέδρανα αυτά, αποτελούνται από ένα κεντρικό πυρήνα μολύβδου ο οποίος προσαρμόζεται με πίεση στην ήδη ανοιγμένη οπή ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου, συνήθως κυκλικής διατομής (Σχήμα 1.1). Η περιβαλλοντική προστασία του εφεδράνου επιτυγχάνεται μέσω της επικάλυψης του από ελαστικό πάχους 5–10mm. Η σύνδεση του τόσο με την ανωδομή όσο και με τη θεμελίωση γίνεται μέσω μεταλλικών πλακών (πάχους 2–5cm) που εφαρμόζονται στην άνω και κάτω επιφάνεια του, κατανέμοντας ομοιόμορφα τις κατακόρυφες παραμορφώσεις [2, 3, 4, 13].



*Σχήμα 1.1: Τομή ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου*

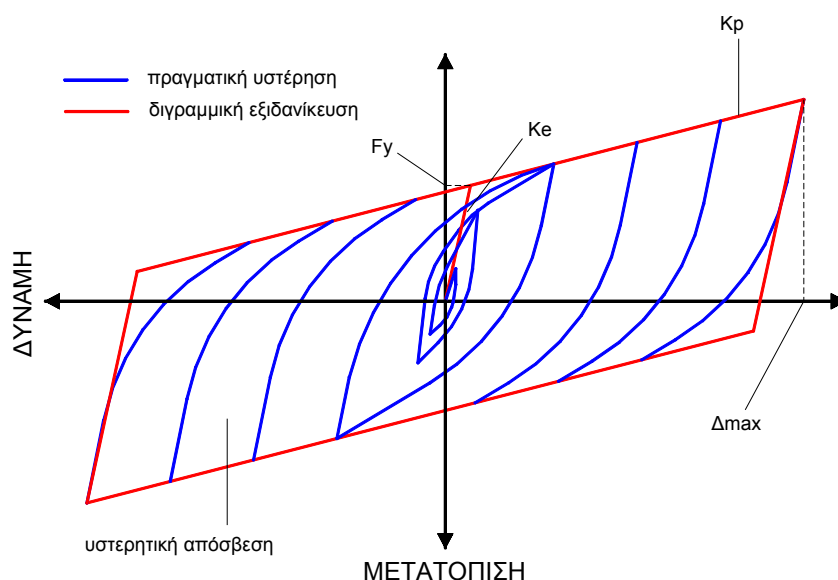
*Πίνακας 1.1: Σκληρότητα και σταθερές φυσικού ελαστικού με χαμηλό βαθμό απόσβεσης<sup>1</sup>.*

**Σκληρότητα και ελαστικές σταθερές φυσικού ελαστικού με χαμηλό βαθμό απόσβεσης**

Σκληρότητα (IRHD ±2)	Μέτρο Ελαστικότητας $E_0$ (kN/mm <sup>2</sup> )	Μέτρο Διάτμησης $G$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$k$	Μέτρο Διόγκωσης $K$ (kN/mm <sup>2</sup> )	Ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραύση του ελαστικού (%)
30	0,00092	0,00030	0,93	2,000	
35	0,00118	0,00037	0,89	2,000	650
40	0,00150	0,00045	0,85	2,000	600
45	0,00180	0,00054	0,80	2,000	600
50	0,00220	0,00064	0,73	2,060	500
55	0,00325	0,00081	0,64	2,180	500
60	0,00445	0,00106	0,57	2,300	400
65	0,00585	0,00137	0,54	2,420	
70	0,00735	0,00173	0,53	2,540	
75	0,00940	0,00222	0,52	2,660	

<sup>1</sup> Διευκρινίζεται ο χαμηλός βαθμός απόσβεσης του φυσικού ελαστικού που συνθέτει τα LRB, για τη διαφοροποίηση τους από τα εφέδρανα τύπου HDRB (High Damping Rubber Bearings), τα οποία κατασκευάζονται από διάφορα μίγματα συνθετικού ή φυσικού ελαστικού που εμφανίζουν υψηλό βαθμό απόσβεσης [2, 3, 4].

Ο συνδυασμός της σχεδόν γραμμικής – ελαστικής συμπεριφοράς του ελαστομεταλλικού μέρους του εφεδράνου με την σχεδόν ελαστική και πλήρως πλαστική συμπεριφορά του πυρήνα μολύβδου, έχει ως αποτέλεσμα, το εφεδράνο να εμφανίζει υστερητική συμπεριφορά η οποία εξιδανικεύεται σε μια διγραμμική σχέση δύναμης – μετατόπισης (Σχήμα 1.2). Έτσι, κατά την υποβολή του εφεδράνου σε οριζόντιες ανακυκλούμενες σεισμικές μετατοπίσεις, ο πυρήνας μολύβδου παραμορφώνεται διατμητικά από τις μεταλλικές πλάκες του ελαστομεταλλικού μέρους και διαρρέει σε χαμηλά επίπεδα (της τάξης των 8-10MPa), οριοθετώντας τη μετάβαση της γραμμικής σχέσης από την ελαστική στην πλαστική συμπεριφορά. Μέσω της λειτουργίας αυτής, ο ισοδύναμος βαθμός ιξώδους απόσβεσης που επιτυγχάνεται, είναι αρκετά υψηλός (10%–25%) [2, 13].



**Σχήμα 1.2:** Εξιδανίκευση υστερητικής συμπεριφοράς εφεδράνων LRB

Το διγραμμικό προσομοίωμα της συμπεριφοράς των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου, λαμβάνεται υπ' όψη κατά τη μη γραμμική ανάλυση των μελών του συστήματος σεισμικής μόνωσης. Οι ιδιότητες που το συνθέτουν σχετίζονται με τη γεωμετρία του επιλεγμένου εφεδράνου αλλά και με τη μέγιστη μετακίνηση σχεδιασμού  $\Delta_{max}$ .

Η εύρεση των ιδιοτήτων του διγραμμικού μοντέλου, δεδομένης της γεωμετρίας του εφεδράνου και της μέγιστης μετακίνησης σχεδιασμού, πραγματοποιείται στη φάση του «προκαταρκτικού σχεδιασμού» του συστήματος μόνωσης με LRB [3, 4]. Στη

φάση αυτή, με γνωστά το ασκούμενο κατακόρυφο φορτίο και τη μέγιστη επιθυμητή μετατόπιση του εφεδράνου, μέσω ισοδύναμης στατικής γραμμικής μεθόδου, ελέγχεται η ικανότητα του επιλεγμένου εφεδράνου σε καμπτική και διατμητική παραμόρφωση, λυγισμό, κατακόρυφη συμπίεση και εφελκυσμό. Έτσι, για την επιλεγμένη γεωμετρία και μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού, συντίθεται η πρώτη εικόνα της συμπεριφοράς του εφεδράνου και παράγονται οι τιμές εκείνες που καθορίζουν τη εξιδανικευμένη διγραμμική σχέση δύναμης – μετατόπισης που θα ληφθούν υπ' όψη στη μη γραμμική ανάλυση των μελών του συστήματος μόνωσης [3].

Η επαλήθευση των τιμών μέγιστης μετατόπισης, κατά την εκτέλεση της μη γραμμικής ανάλυσης στο κατάλληλο λογισμικό, για δεδομένη σεισμική φόρτιση, καθορίζει τη συνέχεια της διαδικασίας επανασχεδιασμού. Έτσι, με διαδοχικές επαναλήψεις, επιτυγχάνεται η σύγκλιση μεταξύ των μέγιστων μετατοπίσεων του προκαταρκτικού σχεδιασμού και αυτών που προκύπτουν από τη μη γραμμική ανάλυση των μελών του συστήματος μόνωσης. Με τον τρόπο αυτό, οριστικοποιείται η γεωμετρία και οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της διγραμμικής εξιδανίκευσης, του επιλεγμένου εφεδράνου.

Για την εκτέλεση της παραμετρικής μελέτης, η περιγραφόμενη επαναληπτική υπολογιστική διαδικασία εκτελείται μέσω του λογιστικού φύλλου Excel της Microsoft και του λογισμικού ανάλυσης κτιριακών κατασκευών, ETABS 2000 ver. 8.3.0 [11, 12].

### **1.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εφεδράνων τύπου LRB**

Τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα τύπου LRB, ορίζονται από τις διαστάσεις κάτοψης τους και από τη διαμόρφωση των στρώσεων ελαστικού που τα συνθέτουν. Ο καθορισμός τους επίσης εξαρτάται από τις προδιαγραφές συμπεριφοράς του έργου.

Οι ελάχιστες διαστάσεις κάτοψης των ελαστομεταλλικών εφεδράνων είναι αυτές που απαιτούνται για την ανάληψη των μέγιστων φορτίων βαρύτητας. Στην επαλήθευση της απαίτησης αυτής εισάγονται συντελεστές ασφαλείας του μεγέθους τουλάχιστον 3, για μηδενικές μετατοπίσεις, τόσο για τα όρια παραμόρφωσης όσο και για αυτά του λυγισμού [3]. Η επίτευξη της απαίτησης αυτής είναι μια αρχή για τον καθορισμό των διαστάσεων κάτοψης του μονωτήρα.

**Πίνακας 1.2:** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εφεδράνων LRB κυκλικής διατομής και ιδιότητες του φυσικού ελαστικού που τα συνθέτουν.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΨΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	665
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	126
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	347.323
	A <sub>r</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	334.854
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	12.469
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	334.854
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	137.246
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.802
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	39
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	351
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40
S		συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,81
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διόγκωσης	2
	E <sup>ν</sup>	μέτρο συμπίεστότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,02761
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32362
	E <sup>π</sup>	μέτρο συμπίεστότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,91523
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62789
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου σε Kn/mm <sup>2</sup> (σταθερό)	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	99,752
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυση του ελαστικού	600%
Δ		ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	330

Με την επιλογή κατάλληλου πάχους στρώσης θα πρέπει να επιτυγχάνεται ικανοποιητικός εγκλεισμός του πυρήνα μολύβδου, σε συνδυασμό με τη διασφάλιση ικανοποιητικής φορτιστικής ικανότητας.

Το πάχος των 10mm για μονωτήρες LRB είναι γενικά καλή επιλογή (δεν ορίζεται πάχος κάτω από 6mm γενικά και πάχος πάνω από 10mm για τα LRB) [3, 4].

Ο αριθμός των στρώσεων προσδιορίζει την ευλγισία του εφεδράνου. Ο αριθμός αυτός καθορίζεται έτσι ώστε η περίοδος του μονωμένου συστήματος να προκύπτει εντός του απαιτούμενου εύρους περιόδων, αποφεύγοντας την επίτευξη υπερβολικών



διατμητικών παραμορφώσεων. Η επιλογή του αριθμού στρώσεων γίνεται με την επαναληπτική διαδικασία «δοκιμής – σφάλματος».

Το μέγεθος του πυρήνα μολύβδου προσδιορίζει την ικανότητα απόσβεσης του εφεδράνου. Ο λόγος  $Q_D/W$  χρησιμοποιείται για καθοδήγηση. Οι τιμές που αντιστοιχούν στο λόγο αυτό κυμαίνονται από 3% σε ζώνες χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας, μέχρι 10% (ή παραπάνω) σε ζώνες υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας. Επίσης, για δεδομένη σεισμική ζώνη όσο πιο μαλακό είναι το έδαφος τόσο υψηλότερο επιλέγεται το επίπεδο διαρροής του μολύβδου [3]. Η επιλογή των διαστάσεων του πυρήνα μολύβδου γίνεται με την επαναληπτική διαδικασία «δοκιμής – σφάλματος».

Η χρήση των κυκλικών διατομών προτιμάται μια που θεωρούνται κατάλληλα για φόρτιση από οποιαδήποτε οριζόντια διεύθυνση [2].

**Πίνακας 1.3:** Έλεγχος της επιλεγμένης γεωμετρίας εφεδράνων LRB κυκλικής διατομής (665/126/351 – Πίνακας 1.2), με λόγο  $Q/W=10\%$ .

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
$A_{red}/A$	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,395	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	126	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου ( $Q_d / W_i$ σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
$Q / W$	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

### 1.2.2 Συμπεριφορά εφεδράνων τύπου LRB

Η συμπεριφορά των εφεδράνων τύπου LRB προκύπτει από τον έλεγχο των τιμών, χαρακτηριστικών ιδιοτήτων, καθοριζόμενων σε επίπεδα επιτελεστικότητας (για παράδειγμα αυτό του σεισμού σχεδιασμού και αυτό του μέγιστου σεισμικού φαινομένου που μπορεί να πλήξει το σύστημα), μετά την επιλογή της απαιτούμενης μετατόπισης στόχου από τον μελετητή [3, 4, 13]. Στη συνέχεια παρατίθενται προτεινόμενες τιμές ελέγχου της συμπεριφοράς των εφεδράνων LRB, όπως αυτές καθορίζονται στις προδιαγραφές σχεδιασμού συστημάτων μόνωσης βάσης με LRB της εταιρείας Holmes Consulting Group Ltd [3].

Ο συντελεστής ασφαλείας των φορτίων βαρύτητας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 3 και για τη παραμόρφωση και για το λυγισμό. Σε ζώνες υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας προτείνεται να είναι τουλάχιστον ίσος με 6.

Ο συντελεστής ασφαλείας για τη στάθμη επιτελεστικότητας που αφορά το *σεισμό σχεδιασμού* (με καθορισμένη επιλογή της απαιτούμενης μετατόπισης στόχου από τον μελετητή) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον **1,5** (προτεινόμενη τιμή **2**) και για τη *παραμόρφωση* και για το *λγισμό*.

Από την άλλη, ο συντελεστής ασφαλείας για τη στάθμη επιτελεστικότητας του *μέγιστου σεισμικού φαινομένου* (με καθορισμένη επιλογή της απαιτούμενης μετατόπισης στόχου από τον μελετητή) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον **1,25** (προτεινόμενη τιμή **1,5**) και για τη *παραμόρφωση* και για το *λγισμό*.

Ο λόγος της *απομειωμένης επιφάνειας κάτοψης* προς την *ολική επιφάνεια* διατομής του εφεδράνου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον **25%** (προτεινόμενη τιμή : τουλάχιστον **30%**).

Η μέγιστη *διατμητική παραμόρφωση* δεν πρέπει να υπερβαίνει τα **250%** και κατά προτίμηση να είναι κάτω από **200%**. Τα όρια αυτά επαληθεύονται με τη ρύθμιση των διαστάσεων κάτοψης των μονωτήρων συγχρόνως με τον αριθμό στρώσεων του ελαστικού που τον συνθέτουν.

Επιπρόσθετα επισημαίνεται ότι οι δείκτες της συμπεριφοράς της μονωμένης κατασκευής, από το σύνολο των μονωτήρων που χρησιμοποιούνται (προκύπτουν μετά την επίλυση του συστήματος στο κατάλληλο λογισμικό), μπορεί να είναι οι ακόλουθοι και για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας:

- Η περίοδος του μονωμένου συστήματος. Το εύρος της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου μονωμένων συστημάτων κυμαίνεται από 1,50 σε 2,50 sec με τις υψηλότερες περιόδους να χρησιμοποιούνται σε υψηλές ζώνες επικινδυνότητας. Η επίτευξη υψηλών περιόδων στο σύστημα δεν μπορεί να είναι εφικτή όταν αυτό φορτίζεται ελαφρά.
- Η μετατόπιση και η ολική μετατόπιση. Η μετατόπιση είναι η υπολογιζόμενη τιμή στο κέντρο μάζας του συστήματος μόνωσης ενώ η ολική μετατόπιση είναι η μέγιστη τιμή μετατόπισης σε κάποιο από τους μονωτήρες, η οποία περιλαμβάνει τη στροφική συμπεριφορά του συστήματος.
- Ο λόγος  $V_b / W$  που δηλώνει τη μέγιστη τέμνουσα βάση η οποία θα εισαχθεί μέσω του συστήματος μόνωσης στην ανωδομή. Η  $V_b$  είναι η τέμνουσα βάση για ελαστική συμπεριφορά αλλά για το δείκτη συμπεριφοράς της μονωμένης

κατασκευής χρησιμοποιείται η τέμνουσα βάσης σχεδιασμού, η οποία ορίζεται από τις προδιαγραφές του UBC ως η μέγιστη τιμή από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

1.  $V_s = V_b / R_I$  όπου  $R_I$  ένας συντελεστής για τη μονωμένη απόκριση.
  2.  $1,5 \times$  Δύναμη διαρροής του μονωμένου συστήματος.
  3. Η τέμνουσα βάσης που αντιστοιχεί στη φόρτιση από άνεμο.
  4. Η τέμνουσα βάσης που απαιτείται σε μια πακτωμένη κατασκευή με περίοδο ίση με αυτή της μονωμένης κατασκευής.
- Η ισοδύναμη ιξώδης απόσβεση του συστήματος  $\beta$ , η οποία δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 10% με προτεινόμενη τιμή το 15%.

#### **1.2.2.1 Συντελεστής σχήματος $S$**

Η συμπεριφορά του εφεδράνου LRB σε συμπίεση και κάμψη εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στρώσεων του ελαστικού που τον συνθέτουν. Ο καθορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των στρώσεων του ελαστικού που φορτίζονται γίνεται μέσω του συντελεστή σχήματος  $S$  (Πίνακας 1.1).

Πρόκειται για το λόγο της φορτιζόμενης επιφάνειας της στρώσης σε κάτοψη ( $A_{loaded}$ ) προς την παράπλευρη, ελεύθερη από φόρτιση επιφάνεια αυτής ( $A_{free}$ ).

$$S = \frac{A_{loaded}}{A_{free}} \quad (1.1)$$

Ο αδιάστατος αυτός λόγος, εκφράζει τη σχέση των διαστάσεων της κάτοψης του ελαστικού που φορτίζεται με το πάχος της στρώσης του και εισάγεται στη τυπολογία που περιγράφει τη συμπεριφορά του εφεδράνου σε συμπίεση και κάμψη σύμφωνα με τη γραμμική ελαστική θεωρία [2].

Έτσι, όσο πιο λεπτή είναι η στρώση του ελαστικού, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής σχήματος που συνεπάγεται αύξηση της κατακόρυφης και καμπτικής δυσκαμψίας.

Ο συντελεστής σχήματος  $S$  για κυκλικές στρώσεις ελαστικού διαμέτρου  $d$  και πάχους στρώσης  $t$ , καθορίζεται ως:

$$S = \frac{A_{\text{loaded}}}{A_{\text{free}}} = \frac{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}{\pi \cdot d \cdot t} = \frac{d}{4 \cdot t} \Rightarrow S = \frac{d}{4 \cdot t} \quad (1.2)$$

Ο συντελεστής σχήματος  $S$  για κυκλικές στρώσεις ελαστικού διαμέτρου  $d$  και πάχους στρώσης  $t$ , με κεντρική κυκλική οπή διαμέτρου  $d_{\text{in}}$ , είναι:

$$S = \frac{A_{\text{loaded}}}{A_{\text{free}}} = \frac{A - A_{\text{pb}}}{\pi \cdot d \cdot t} \quad (1.3)$$

Σύμφωνα με τις κανονιστικές διατάξεις σεισμικής μόνωσης προδιαγραφών των Η.Π.Α. (FEMA 356) τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα σχεδιάζονται γενικά με μεγάλους συντελεστές σχήματος, συνήθως από 12 έως 20 [14, 15].

#### 1.2.2.2 Συμπεριφορά σε κατακόρυφη συμπίεση

Γενικά, η συμπεριφορά ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου σε κατακόρυφη συμπίεση περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση κατακόρυφης δυσκαμψίας, αντίστοιχου γραμμικού στοιχείου:

$$K_{v,0} = \frac{E_c \cdot A_r}{t_r} \quad (1.4)$$

όπου:

$E_c$  το μέτρο συμπιεστότητας των στρώσεων του ελαστικού

$A_r$  η επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης

$t_r$  το συνολικό πάχος στρώσεων του ελαστικού

Η συνήθης τυπολογία για την εκτίμηση του μέτρου συμπιεστότητας  $E_c$  παρουσιάζεται στη συνέχεια [2].

- Με τη παραδοχή ασυμπίεστου υλικού, σύμφωνα με τους Gent & Lindley [17], το μέτρο συμπιεστότητας  $E_c^\infty$ , για κυκλικές στρώσεις, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_c^\infty = E_0 \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S^2) \quad (1.5)$$

Λαμβανομένης υπ' όψιν της επίδρασης της συμπιεστότητας του υλικού, το μέτρο συμπιεστότητας  $E_c$ , για κυκλικές στρώσεις, προκύπτει από την ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_c^\infty} + \frac{1}{K} \quad (1.6)$$

όπου:

$E_0$  το μέτρο ελαστικότητας του υλικού

$k$  διορθωτική σταθερά προκύπτουσα από πειραματικά δεδομένα

$K$  το μέτρο διόγκωσης του υλικού

- Με τη παραδοχή ασυμπίεστου υλικού, σύμφωνα με τους Chaloub & Kelly [17], το μέτρο συμπιεστότητας  $E_c^\infty$ , για κυκλικές στρώσεις, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_c^\infty = 6.G.S^2 \quad (1.7)$$

Λαμβανομένης υπ' όψιν της επίδρασης της συμπιεστότητας του υλικού, το μέτρο συμπιεστότητας  $E_c$ , για κυκλικές στρώσεις, προκύπτει από την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση:

$$E_c = E_c^\infty \cdot \left( 1 - \frac{4.E_c^\infty}{3.K} \right) \quad (1.8)$$

όπου:

$G$  το μέτρο διάτμησης του υλικού

$K$  το μέτρο διόγκωσης του υλικού

Από τα παραπάνω παρατηρείται η σχέση της κατακόρυφης δυσκαμψίας του μονωτήρα  $K_v$  η οποία προκύπτει ανάλογη με το τετράγωνο του συντελεστή σχήματος της στρώσης ελαστικού  $S$  και στις δύο προσεγγίσεις εκτίμησης του μέτρου συμπιεστότητας αυτού.

Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην εξίσωση που περιγράφει την κατακόρυφη δυσκαμψία του εφεδράνου ( $K_{v,\Delta}$ ), κατά την οριζόντια διατμητική μετατόπιση  $\Delta$ , η επιφάνεια που προτείνεται από τις προδιαγραφές Η.Π.Α. του AASHTO Standard Specifications, είναι η απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού η οποία για εφέδρανα κυκλικής διατομής προκύπτει από τη σχέση [2]:

$$A_{\text{red}} = A_r \cdot \frac{\theta - \sin \theta}{\pi} \quad \text{όπου} \quad \theta = 2 \cdot \cos^{-1} \left( \frac{\Delta}{d} \right) \quad (1.9)$$

όπου  $A_r$  η επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού,  $\Delta$  η οριζόντια διατμητική μετατόπιση του εφεδράνου και  $d$  η διάμετρος του.

Η ικανότητα συμπίεσης του εφεδράνου εκτιμάται από το σύνολο των διατμητικών παραμορφώσεων που παρουσιάζονται σε αυτό, από τις επιβεβλημένες κατακόρυφες, οριζόντιες φορτίσεις και τις επιβεβλημένες στροφές. Έτσι, το μέγιστο κατακόρυφο φορτίο  $P_\gamma$  που μπορεί να παραλάβει το εφέδρανο, σε δεδομένη μετατόπιση  $\Delta$  του άκρου του, υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο.

Η διατμητική παραμόρφωση ( $\varepsilon_{sc}$ ) λόγω συμπίεσης από το κατακόρυφο φορτίο  $P_\gamma$ , δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{sc} = 6.S.\varepsilon_c \quad (1.10)$$

όπου:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta_c}{t_r} = \frac{P}{K_{v,0} \cdot t_r} \quad (1.11)$$

και  $\Delta_c$  η στιγμιαία μετακίνηση συμπίεσης η οποία ορίζεται από το λόγο του κατακόρυφου φορτίου  $P$  προς την κατακόρυφη δυσκαμψία  $K_{v,0}$ .

Έτσι, προκύπτει:

$$P = \varepsilon_c \cdot K_{v,0} \cdot t_r = \frac{\varepsilon_{sc} \cdot K_{v,0} \cdot t_r}{6.S} \quad (1.12)$$

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των Η.Π.Α. του AASHTO Standard Specifications [2], το επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο σε ένα ελαστομεταλλικό εφέδρανο ορίζεται έμμεσα από περιορισμούς στη ισοδύναμη διατμητική παραμόρφωση του ελαστικού λόγω των διαφόρων συνδυασμών φορτίσεως και από τις απαιτήσεις ευστάθειας. Η επιτρεπτή διατμητική παραμόρφωση στο ελαστικό εκφράζεται ως  $f$  φορές την ελάχιστη οριζόμενη επιμήκυνση κατά τη θραύση ( $\varepsilon_u$ ).

Για τα φορτία λειτουργικότητας (μόνιμα, κινητά φορτία), πρέπει να ικανοποιείται η σχέση :

$$0,33.\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} (f = 0,33 - \text{συντελεστής ασφαλείας } 3) \quad (1.13)$$

Για τα τελικά φορτία, στα οποία περιλαμβάνονται και οι σεισμικές μετακινήσεις, πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$0,75.\varepsilon_u \geq \varepsilon_{sc} + \varepsilon_{sh} + \varepsilon_{sr} \quad (f = 0,75 - \text{συντελεστής ασφαλείας } 1,33) \quad (1.14)$$

Η διατμητική παραμόρφωση ( $\varepsilon_{sh}$ ) λόγω των επιβεβλημένων οριζόντιων μετακινήσεων, δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta_s}{t_r} \quad (1.15)$$

Η διατμητική παραμόρφωση ( $\varepsilon_{sr}$ ) λόγω επιβεβλημένης στροφής  $\theta$ , δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{sr} = \frac{\Phi^2 \cdot \theta}{2 \cdot t \cdot t_r} \quad (1.16)$$

Συνεπώς, η σχέση που καθορίζει τελικά το μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο σε ένα ελαστομεταλλικό εφέδρανο, είναι η ακόλουθη:

$$P_\gamma = \frac{(f \cdot \varepsilon_u - \varepsilon_{sh} - \varepsilon_{sr}) \cdot K_{v,\Delta} \cdot t_r}{6 \cdot S} \quad (1.17)$$

### 1.2.2.3 Συμπεριφορά σε εφελκυσμό

Η συμπεριφορά ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου σε εφελκυσμό είναι παρεμφερής με αυτή σε συμπίεση, οπότε η αντίστοιχη τυπολογία χρησιμοποιείται για τη περιγραφή της. Όμως, στη περίπτωση που οι εφελκυστικές τάσεις υπερβούν τα  $3 \cdot G$  (όπου  $G$  το μέτρο διάτμησης του ελαστικού), παρατηρείται δημιουργία κοιλοτήτων στο ελαστικό (cavitation) γεγονός που μειώνει δραστικά την δυσκαμψία και οδηγεί στη θραύση του ελαστικού. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να διασφαλίζεται ο σχεδιασμός των εφεδράνων έτσι ώστε οι τάσεις να μην υπερβαίνουν τα  $3G$ , σε οποιαδήποτε φόρτιση [3].

**Πίνακας 1.4:** Ομαδοποίηση αναπτυσσομένων φορτίσεων σε επιλεγμένο σύστημα μόνωσης.

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
$W = DL + 0,3LL$	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
$W_i = \max(DL + 0,3LL)$	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
$\max(1,2DL + LL)$	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
$\max(1,2DL + LL + EQ)$	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
$\min(0,8DL - EQ)$	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλήν του σεισμού	0
$\theta$	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου (Kn)	620

*Πίνακας 1.5: Έλεγχος συμπεριφοράς σε κατακόρυφη συμπίεση και εφελκυσμό, εφεδράνου διαστάσεων 665/126/351 (Πίνακας 1.2) και λόγου  $Q/W=10\%$ .*

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
$K_{v,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου ( $E_c$ σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	320,23	
$K_{v,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου ( $E_c$ σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	126,54	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,38	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,94	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στροφής	0	
$f_{\epsilon_u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότ. - θέση 0	1,38	ο.κ.
$f_{\epsilon_u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,32	ο.κ.
$P_v$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.480	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

#### 1.2.2.4 Συμπεριφορά σε κάμψη

Η συμπεριφορά ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου σε καθαρή κάμψη περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση δυσκαμψίας σε καμπτική στροφή των άκρων του, αντίστοιχου γραμμικού στοιχείου:

$$K_b = \frac{(E.I)_{\text{eff}}}{t_r} \quad (1.18)$$

όπου:

$(E.I)_{\text{eff}}$  η καμπτική δυσκαμψία της μιας στρώσης ελαστικού.

$I$ , η ροπή αδράνειας της επιφάνειας κάθε στρώσης σε κάτοψη, όπου για κυκλική στρώση ελαστικού διαμέτρου  $\Phi$ , ορίζεται ως:

$$I = \frac{\pi \cdot \Phi^4}{64} \quad (1.19)$$



$t_r$  το συνολικό πάχος στρώσεων του ελαστικού.

Σύμφωνα με προαναφερόμενη θεώρηση για τον υπολογισμό του μέτρου συμπιεστότητας (που υιοθετούν οι προδιαγραφές των Η.Π.Α., FEMA 356) [15], η καμπτική δυσκαμψία των κυκλικών στρώσεων ελαστικού, διαμέτρου  $\Phi$ , με τη παραδοχή ασυμπίεστου υλικού ορίζεται ως:

$$(E.I)_{\text{eff}}^{\infty} = E_c^{\infty} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot I\right) \quad (1.20)$$

όπου:

$(E.I)_{\text{eff}}^{\infty}$ , το μέτρο συμπιεστότητας του ελαστικού με τη παραδοχή ασυμπίεστου υλικού.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συμπιεστότητα του ελαστικού προκύπτουν οι ακόλουθες προσεγγιστικές εκφράσεις για τη περιγραφή της καμπτικής δυσκαμψίας κυκλικών στρώσεων ελαστικού:

$$(E.I)_{\text{eff}} = (E.I)_{\text{eff}}^{\infty} \cdot \left(1 - \frac{E_c^{\infty}}{2 \cdot K}\right) \quad (1.21)$$

όπου :

$K$ , το μέτρο διόγκωσης του ελαστικού.

**Πίνακας 1.6:** Έλεγχος συμπεριφοράς σε κάμψη, εφεδράνου διαστάσεων 665/126/351 (Πίνακας 1.2) και λόγου  $Q/W=10\%$ .

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
$K_b$	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	6.961.479
$(E.I)_{\text{eff}}^{\infty}$	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.288.231.918
$(E.I)_{\text{eff}}$	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.443.479.070

#### 1.2.2.5 Ανυγισμός σε απαραμόρφωτη θέση

Η ανάλυση ευστάθειας του εφεδράνου βασίζεται στη θεώρηση του ως αμφίπακτου υποστυλώματος ύψους  $h$ , με επιφάνεια διατομής την επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού  $A_r$ . Το υποστύλωμα, υπό τη δράση αξονικών θλιπτικών δυνάμεων, χάνει την ευστάθεια του, λόγω της μικρής δυσκαμψίας του και μετατοπίζεται οριζόντια, χωρίς την ανάπτυξη στροφής στο άνω και κάτω μέρος του λόγω των συνθηκών στήριξης σε αυτά (πακτώσεις) [2].

Με το λυγισμό λόγω των θλιπτικών αξονικών δυνάμεων το υποστύλωμα παραμορφώνεται. Εξακολουθεί όμως να ισορροπεί, ακόμα και στη παραμορφωμένη θέση του, μέχρι το κρίσιμο κατακόρυφο φορτίο λυγισμού  $P_{crit}$ , το οποίο προκύπτει από τη διαφορική εξίσωση που περιγράφει την ισορροπία του υποστυλώματος και ορίζεται από την ακόλουθη απλοποιημένη σχέση:

$$P_{crit} = \sqrt{G \cdot A_r \cdot \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I)_{eff}}{t_r^2}} \quad (1.22)$$

Η τιμή που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση, θα πρέπει να εξασφαλίζει έναν ικανοποιητικό συντελεστή ασφαλείας (π.χ.  $> 2,5$ ), για την απαραμόρφωτη θέση, σε σχέση με την εφαρμοζόμενη κατακόρυφη θλιπτική δύναμη στο ελαστομεταλλικό εφέδρανο [3]. Ο συντελεστής αυτός προκύπτει από τη σχέση:

$$SF_b = \frac{P_{crit}}{P} \quad (1.23)$$

#### **1.2.2.6 Λυγισμός σε παραμορφωμένη θέση**

Κατά την οριζόντια μετατόπιση  $\Delta$  του εφεδράνου, η αστάθεια μπορεί να επέλθει κάτω από την επίδραση μικρότερου κρίσιμου φορτίου από αυτό της απαραμόρφωτης θέσης. Ο υπολογισμός του φορτίου αυτού αποτελεί σύνθετο μη γραμμικό πρόβλημα. Η αρκετά συντηρητική προσεγγιστική σχέση που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κρίσιμου φορτίου λυγισμού στη παραμορφωμένη θέση λόγω της οριζόντιας μετατόπισης  $\Delta$ , είναι η ακόλουθη:

$$P_{crit}^{\Delta} = P_{crit}^0 \cdot \sqrt{\frac{A_{red}}{A_r}} \quad (1.24)$$

Οι προαναφερόμενες σχέσεις αφορούν τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα φυσικού ελαστικού με μικρό βαθμό απόσβεσης. Ο προσδιορισμός των αντίστοιχων ιδιοτήτων των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου, γίνεται με την εφαρμογή των ίδιων σχέσεων, θεωρώντας ελαστομεταλλικό και το μέρος που καταλαμβάνεται από τον πυρήνα μολύβδου. Η διαδικασία αυτή αποτελεί συνήθη πρακτική για τον έλεγχο της συμπεριφοράς των ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου και η αξιοπιστία της επιβεβαιώνετε μέσω της σύγκρισης της συμπεριφοράς τους σε πειραματικό επίπεδο [3, 13].

**Πίνακας 1.7:** Έλεγχος ευστάθειας σε απαραμόρφωτη και παραμορφωμένη θέση εφεδράνου διαστάσεων 665/126/351 (Πίνακας 1.2) και λόγου  $Q/W=10\%$ .

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	6.059	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 ( $>2,5$ )	4,2	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση $\Delta$	3.809	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση $\Delta$ ( $>1,5$ )	1,7	ο.κ.

#### 1.2.2.7 Συμπεριφορά σε οριζόντια διάτμηση

Η δυσκαμψία σε οριζόντια διάτμηση ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου δίδεται από τη σχέση:

$$K_h = \frac{G \cdot A_r}{t_r} \quad (1.25)$$

όπου:

$G$ , το μέτρο διάτμησης του ελαστικού

$A_r$ , η επιφάνεια του συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες

$t_r$ , το συνολικό πάχος ελαστικού, αποτελούμενο από  $N$  στρώσεις ελαστικού πάχους  $t$  η κάθε μία.

Οι στρώσεις των μεταλλικών πλακών δεν συμμετέχουν στη διατμητική παραμόρφωση, εμποδίζουν όμως την πλευρική διόγκωση του ελαστικού, λόγω του κατακόρυφου φορτίου, επιτυγχάνοντας έτσι την αύξηση της δυσκαμψίας σε κατακόρυφη συμπίεση αλλά και την αύξηση της καμπτικής δυσκαμψίας του εφεδράνου [2].

**Πίνακας 1.8:** Έλεγχος συμπεριφοράς σε οριζόντια διάτμηση εφεδράνου διαστάσεων 665/126/351 (Πίνακας 1.2) και λόγου  $Q/W=10\%$ .

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
$K_e$	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	5,715	
$K_p$	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,614	
$K_p/K_e$	λόγος στιβαροτήτων	10,8%	ο.κ.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	19,558	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	111,770	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	302,535	
$K_{eff}$	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	0,917	
$ED$	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	123.869	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	19,7%	ο.κ.

### 1.2.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου (LRB)

Όπως ήδη προαναφέρθηκε, το βασικό χαρακτηριστικό ενός ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα μολύβδου (LRB) είναι η σχεδόν γραμμική ελαστική συμπεριφορά του ελαστομεταλλικού μέρους του και η σχεδόν ελαστική και πλήρως πλαστική συμπεριφορά του μολύβδου. Έτσι, η προσομοίωση τους μέσω ενός διγραμμικού υστερητικού μοντέλου (Σχήμα 1.3) προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική τους συμπεριφορά [4, 13, 14, 15].

Ο υπολογισμός των ιδιοτήτων εκείνων που συνθέτουν το διγραμμικό υστερητικό μοντέλο, βασίζεται στην ακόλουθη τυπολογία [2, 3, 4, 13, 14, 15].

Η ελαστική δυσκαμψία του εφεδράνου  $K_e$ , προκύπτει από την ελαστική συμπεριφορά του πυρήνα μολύβδου κατά κύριο λόγο, αλλά και από την ελαστική συμπεριφορά του ελαστομεταλλικού μέρους του εφεδράνου, κατά το διάστημα της λειτουργίας αυτής. Ορίζεται με τη κλίση της ευθείας που προκύπτει από το σημείο αρχής των αξόνων έως το σημείο της δύναμης και μετατόπισης διαρροής.

$$K_e = \frac{F_y}{D_y} \quad (1.26)$$

όπου,

$F_y$ , η δύναμη διαρροής του εφεδράνου και

$D_y$ , η μετατόπιση διαρροής του εφεδράνου



$A_{pb}$ , η επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου

$\sigma_{ypb}$ , η τάση διαρροής του μολύβδου, η θεωρητική τιμή της οποίας είναι τα 10,5 MPa, ενώ οι τιμές που προκύπτουν από πειραματικούς ελέγχους κυμαίνονται από 7 έως 8,5 MPa, εξαρτώμενα από το μέγεθος της κατακόρυφης φόρτισης και τη περίσφιξη του πυρήνα από το ελαστομεταλλικό μέρος του εφεδράνου [3].

Η ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$  ορίζεται με τη κλίση της ευθείας που προκύπτει από τα σημεία των μέγιστων τιμών δύναμης – μετατόπισης που είναι επίσης κορυφές του βρόγχου υστέρησης.

$$K_{eff} = \frac{F_m}{\Delta} \quad (1.29)$$

όπου,

$F_m$ , η μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη στη μέγιστη μετατόπιση  $\Delta$

$\Delta$ , η μέγιστη μετατόπιση, που καθορίζει και το εύρος της ανακυκλούμενης διαδικασίας.

Ένας άλλος τρόπος έκφρασης της ενεργούς δυσκαμψίας προκύπτουσα από το διγραμμικό υστερητικό μοντέλο για  $\Delta > D_y$ , είναι η ακόλουθη:

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{\Delta} \quad (1.30)$$

(σημειώνεται ότι για  $\Delta < D_y$  η ενεργός δυσκαμψία ισούται με την ελαστική ακαμψία  $K_e$ ).

Επίσης, η μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη  $F_m$  και η δύναμη διαρροής  $F_y$ , μπορεί να αποδοθούν σε σχέση με τη χαρακτηριστική αντοχή  $Q$  και τη δυσκαμψία μετά τη διαρροή, ως:

$$F_y = Q + K_p \cdot D_y \quad (1.31)$$

$$F_m = Q + K_p \cdot \Delta \quad (1.32)$$

Η επιφάνεια του βρόγχου υστέρησης του διγραμμικού μοντέλου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ED = 4 \cdot Q \cdot (\Delta - D_y) \quad (1.33)$$

και αντιπροσωπεύει την ενέργεια που καταναλώνεται σε κάθε κύκλο φόρτισης και από την οποία προκύπτει και ο ισοδύναμος βαθμός ιξώδους απόσβεσης  $\beta_{\text{eff}}$ , για χρήση του στην γραμμική ελαστική ανάλυση του εφεδράνου.

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{ED}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{eff}} \cdot \Delta^2} \quad (1.34)$$

Ο ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης  $\beta$  ορίζεται ως ο βαθμός απόσβεσης ενός ιξώδους ελαστικού στοιχείου το οποίο κάτω από ανακυκλική μετατόπιση εύρους  $D$  καταναλώνει ίδια ποσότητα ενέργειας με αυτή που καταναλώνεται από τον υστερητικό βρόγχο.

Η ιδιοπερίοδος του απλοποιημένου μονοβάθμιου μοντέλου της μονωμένης κατασκευής δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{\sum K_{\text{eff}}}} \quad (1.35)$$

όπου,

$m$ , η συνολική μάζα της μονωμένης κατασκευής,

$\sum K_{\text{eff}}$ , η ενεργός δυσκαμψία του συστήματος σεισμικής μόνωσης (το άθροισμα των ενεργών δυσκαμψιών των εφεδράνων).

Μελετώντας το διγραμμικό διάγραμμα παρατηρείται ότι ο ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης  $\beta_{\text{eff}}$ , εξαρτάται έντονα τόσο από τη μέγιστη μετατόπιση  $\Delta$  όσο και από το λόγο των δυσκαμψιών  $K_e/K_p$ .

Οι παραπάνω υπολογισμοί ομαδοποιούνται στο λογιστικό φύλλο Excel, όπου με επαναληπτικές διαδικασίες προσδιορίζεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

**Πίνακας 1.9:** Έλεγχος της απόδοσης του επιλεγμένου συστήματος μόνωσης μέσω της ισοδύναμης στατικής μεθόδου για δεδομένη μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού.

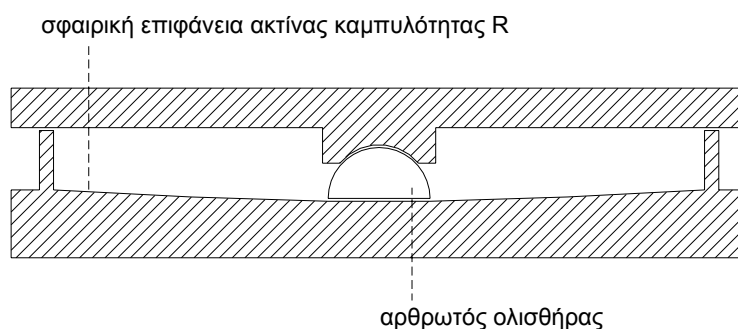
ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	4,2	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,6	ο.κ.
	λυγισμός	1,7	ο.κ.

**Πίνακας 1.10:** Προκύπτουσες τιμές από τους υπολογισμούς στο λογιστικό φύλλο, για τις ιδιότητες των μη γραμμικών μελών του δομικού συστήματος (εφέδρανα LRB), για τη σύνθεση της διγραμμικής προσομοίωσης στο λογισμικό μη γραμμικής ανάλυσης (ETABS 2000 - μονάδες μέτρησης:  $kN-m$ ).

spring effective stiffness	917	ETABS
initial spring stiffness	5.715	
yield force	111,77	
post yield stiffness ratio	0,108	
spring vertical effective stiffness	126.541	

### 1.3 Εφέδρανα Εκκρεμούς – Ολίσθησης

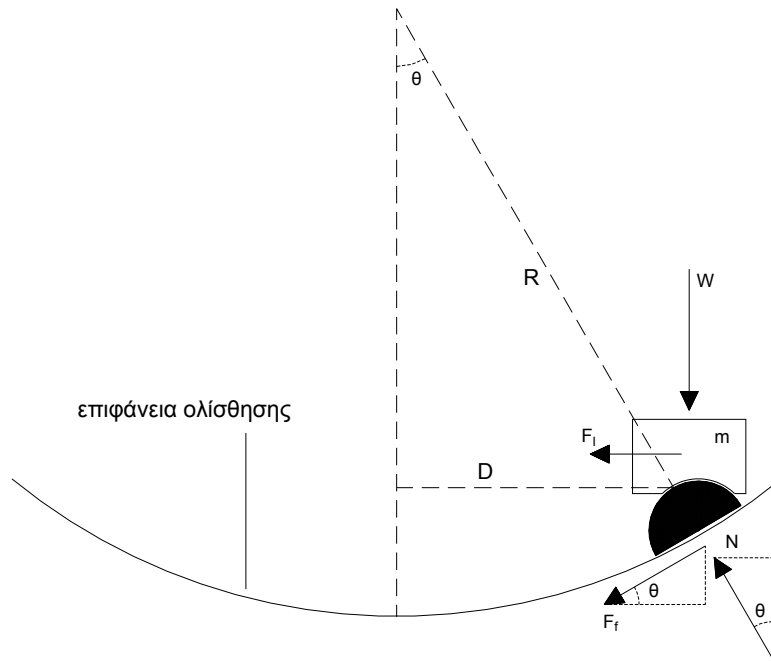
Στα εφέδρανα εκκρεμούς – τριβής (FPS), συνδυάζεται η ολίσθηση σε επιφάνεια τριβής με μια δύναμη επαναφοράς, η οποία προκύπτει από τη γεωμετρία της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.4, ο μονωτήρας FPS αποτελείται από ένα αρθρωτό ολισθήρα ο οποίος ολισθαίνει πάνω σε σφαιρική επιφάνεια από ανοξείδωτο χάλυβα, με ακτίνα καμπυλότητας  $R$  [18]. Η επιφάνεια του ολισθήρα έχει επικάλυψη από συνθετικό υλικό, συνήθως Teflon. Από την άλλη, η σφαιρική επιφάνεια ολίσθησης συντίθεται από στιλβωμένο ανοξείδωτο χάλυβα<sup>2</sup> [15].



**Σχήμα 1.4:** Τομή εφεδράνου συστήματος εκκρεμούς – ολίσθησης (FPS).

<sup>2</sup> Το σύστημα FPS παράγεται κατά αποκλειστικότητα από την Αμερικανική εταιρία EPS Inc.





**Σχήμα 1.5:** Διάγραμμα ελεύθερου σώματος του συστήματος εκκρεμούς – ολίσθησης (FPS) [16].

Κατά την ολίσθηση στη σφαιρική επιφάνεια η υποστηριζόμενη μάζα της ανωδομής ανυψώνεται παράγοντας έτσι δύναμη επαναφοράς η οποία τείνει να επαναφέρει το εφέδρανο στη θέση ισορροπίας. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη της μετατόπιση του μονωτήρα και αντιστρόφως ανάλογη της ακτίνας καμπυλότητας [17, 18].

$$F = F_I = \frac{W}{R} \cdot D + F_f \quad (1.36)$$

όπου,

$W$ , το κατακόρυφο φορτίο στο εφέδρανο,

$D$ , η οριζόντια μετατόπιση,

$F_f$ , η δύναμη ολίσθησης που αναπτύσσεται στην επιφάνεια τριβής,

$R$ , η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας ολίσθησης.

Η δύναμη επαναφοράς λόγω της ανύψωσης της μάζας καθορίζεται από τον πρώτο όρο της εξίσωσης (1.36). Έτσι, η οριζόντια δυσκαμψία του συστήματος προκύπτει:

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (1.37)$$

Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης αντιπροσωπεύει την δύναμη ολίσθησης που αναπτύσσεται στην επιφάνεια τριβής και εκφράζεται σύμφωνα με το ακόλουθο μοντέλο βισκοπλαστικότητας:

$$F_f = \mu \cdot W \cdot Z \quad (1.38)$$

όπου,

$\mu$ , ο συντελεστής τριβής της επιφάνειας ολίσθησης.

$W$ , το κατακόρυφο φορτίο στο εφέδρανο,

$Z$ , αδιάστατη βισκοπλαστική συνάρτηση μέσω της οποίας περιγράφεται η υστερητική συμπεριφορά της δύναμης ολίσθησης.

Έτσι, η συμπεριφορά του συστήματος FPS μπορεί να προσομοιωθεί μέσω ενός διγραμμικού μοντέλου με μηδενική μετατόπιση διαρροής (Σχήμα 1.6). Η ενεργός δυσκαμψία του συστήματος  $K_{eff}$ , ορίζεται από την κλίση της ευθείας μεταξύ των κορυφών του βρόγχου υστέρησης για τις ακραίες μετατοπίσεις και δίδεται από τη σχέση:

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu \cdot W}{D} \quad (1.39)$$

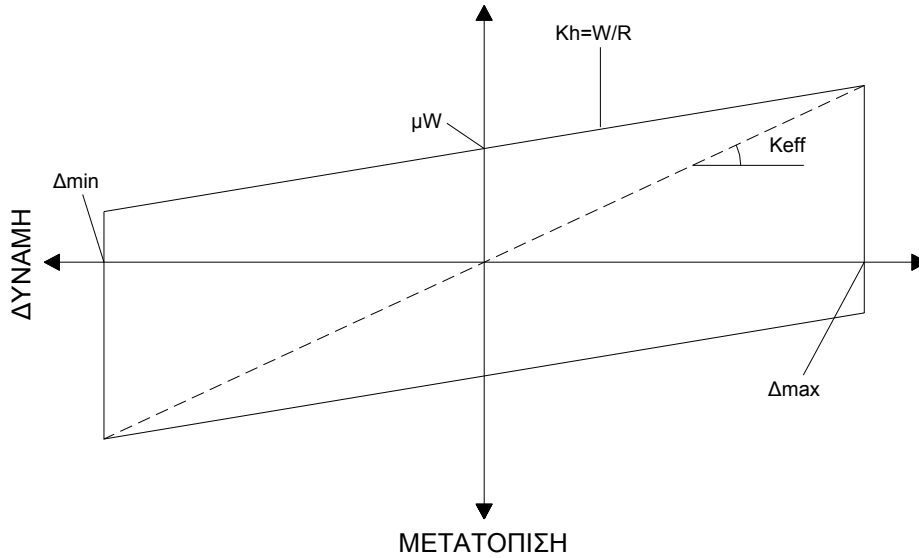
Η ιδιοπερίοδος του απλοποιημένου μονοβάθμιου μοντέλου της μονωμένης κατασκευής δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{\sum K_{eff}}} \quad (1.40)$$

Αντικαθιστώντας την ενεργό δυσκαμψία προκύπτει ότι η ιδιοπερίοδος είναι ανεξάρτητη της υποστηριζόμενης μάζας, στη περίπτωση του απλοποιημένου μονοβάθμιου μοντέλου.

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R \cdot D}{g \cdot D + \mu \cdot g \cdot R}} \quad (1.41)$$

Έτσι, η συμπεριφορά ενός συστήματος FPS ελέγχεται ουσιαστικά από μία παράμετρο, την ακτίνα καμπυλότητας  $R$  της κοίλης επιφάνειας ολίσθησης κάτι το οποίο κάνει τη προσομοίωση της συμπεριφοράς του αρκετά απλή [2, 3, 17].



**Σχήμα 1.6:** Προσομοίωση υστερητικής συμπεριφοράς εφεδράνων FPS μέσω διγραμμικού υστερητικού μοντέλου.

Στο εν λόγω σύστημα ο μηχανισμός απόσβεσης παράγεται μέσω της τριβής του αρθρωτού ολισθήρα και της σφαιρικής επιφάνειας ολίσθησης.

Η επιφάνεια υστέρησης του διγραμμικού μοντέλου αντιπροσωπεύει την καταναλισκόμενη ενέργεια ED, σε κάθε κύκλο φόρτισης.

$$ED = 4 \cdot \mu \cdot W \cdot D \quad (1.42)$$

Όπως και στη περίπτωση των εφεδράνων τύπου LRB, ο ισοδύναμος βαθμός ιξώδους απόσβεσης που αντιπροσωπεύει την υστερητική κατανάλωση ενέργειας, προκαλούμενη από τα εφέδρανα τύπου FPS, δίδεται από τη γνωστή σχέση:

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{ED}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{eff}} \cdot D^2} \quad (1.43)$$

Ο συντελεστής τριβής  $\mu$  εξαρτάται από την ταχύτητα ολίσθησης αλλά και από την ασκούμενη πίεση. Για διεπιφάνειες οι οποίες συντίθεται από στιλβωμένο ανοξείδωτο χάλυβα σε επαφή με συνθετικά υλικά βασιζόμενα στο Teflon και για σταθερή πίεση, ο συντελεστής τριβής μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη σχέση που προτάθηκε από τον Constantinou (1990) [2, 15]:

$$\mu = f_{\text{max}} - (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) \cdot e^{-\alpha \cdot |\dot{U}|} \quad (1.44)$$

όπου,

οι παράμετροι  $f_{\min}$  και  $f_{\max}$ , περιγράφουν τον συντελεστή τριβής υπό σταθερή πίεση σε μικρές και μεγάλες ταχύτητες ολίσθησης αντίστοιχα,  
ο συντελεστής  $\alpha$  ελέγχει τη μεταβολή του συντελεστή τριβής με την ταχύτητα  $|\dot{U}|$ .

Οι παράμετροι  $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$ ,  $\alpha$  εξαρτώνται από την ασκούμενη πίεση στο εφέδρανο. Την πιο σημαντική εξάρτηση εμφανίζει ο συντελεστής  $f_{\max}$ . Για την επίδραση αυτή προτάθηκε από τον Constantinou (1990) [2, 15] η ακόλουθη σχέση:

$$f_{\max} = f_{\max,0} - (f_{\max,0} - f_{\max,p}) \cdot \tanh(\varepsilon \cdot p) \quad (1.45)$$

όπου,

$p$  είναι η πίεση,

$f_{\max,p}$  είναι ο μέγιστος συντελεστής τριβής για υψηλές πιέσεις,

$f_{\max,0}$  είναι ο μέγιστος συντελεστής τριβής για μηδενική πίεση,

$\varepsilon$ , συντελεστής ο οποίος ελέγχει τη μετάβαση του  $f_{\max}$  μεταξύ των πολύ χαμηλών και των πολύ υψηλών πιέσεων.

Πειραματικά μετρημένες τιμές των παραπάνω παραμέτρων για τη περίπτωση ενός εφεδράνου FPS είναι οι ακόλουθες [2]:

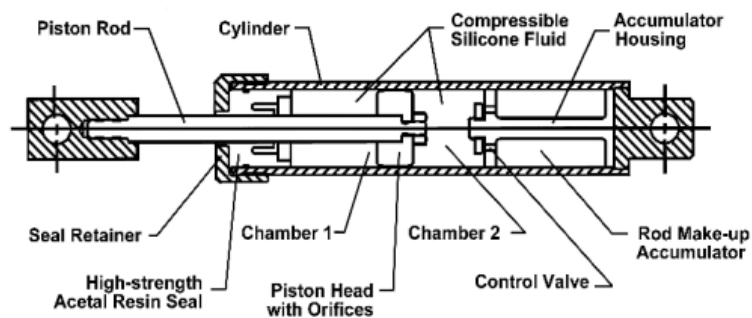
$$f_{\max,0} = 0,12, \quad f_{\max,p} = 0,05, \quad f_{\min} = 0,04, \quad \varepsilon = 0,012 \text{MPa}^{-1}, \quad \alpha = 0,0429 \text{sec/mm}.$$

Οι παραπάνω τιμές χρησιμοποιήθηκαν στη σύνταξη της παραμετρικής μελέτης.

## 1.4 Αποσβεστήρες Ιξώδους Απόσβεσης

Οι αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης, που έχουν χρήση σε κτιριακές κατασκευές, μοιάζουν εξωτερικά με τα «αμορτισέρ» των αυτοκινήτων, έχοντας βέβαια σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος. Είναι κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο ατσάλι και άλλα υλικά που αντέχουν κατά πολύ στο χρόνο (μελετώνται για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 40 ετών). Το υγρό του αποσβεστήρα βρίσκεται εντός ενός κυλίνδρου και είναι ένα σιλικονούχο λάδι, αδρανές, μη καύσιμο, μη τοξικό και σταθερό για μεγάλες περιόδους. Η λειτουργία της απόσβεσης γίνεται μέσω της ροής του υγρού διαμέσου μιας κεφαλής (πιστόνι). Το πιστόνι είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε μεταξύ του εσωτερικού τοιχώματος του κυλίνδρου και του εξωτερικού τοιχώματος της κεφαλής

να δημιουργείται ένα δακτυλιοειδές άνοιγμα, για τη ροή του υγρού το οποίο αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα κατά την κίνηση της κεφαλής στην απότομη διέγερση της. Η μορφή της κεφαλής είναι αυτή όπου καθορίζει τα χαρακτηριστικά της απόσβεσης στους αποσβεστήρες ιξώδους. Η σχέση μεταξύ της αναπτυσσόμενης δύναμης στη κεφαλή και της ταχύτητας που αυτή αποκτά με την εφαρμογή της, χαρακτηρίζεται από τη σχέση  $F = C \cdot V^n$  όπου  $F$  η αναπτυσσόμενη δύναμη,  $V$  η σχετική ταχύτητα της κεφαλής δια μέσου του κυλίνδρου,  $C$  μια σταθερά η οποία κυρίως καθορίζεται από τη διάμετρο του αποσβεστήρα και από την επιφάνεια του δακτυλιοειδούς ανοίγματος και  $n$  ένας αντιπροσωπευτικός εκθέτης ο οποίος καθορίζεται από το σχήμα της κεφαλής και οι τιμές του κυμαίνονται από 0,20 έως 2,00. Επιπρόσθετα αναφέρεται ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη ροή του υγρού από το δακτυλιοειδές άνοιγμα, επηρεάζουν αρκετά την απόσβεση. Η σωστή επιλογή υλικών κυλίνδρου και κεφαλής με ανάλογες θερμοκρασιακές ιδιότητες, έχει ως αποτέλεσμα μικρές διακυμάνσεις στην απόσβεση [19].

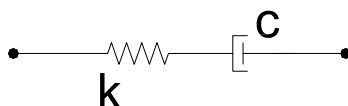


*Σχήμα 1.7: Τομή αποσβεστήρα ιξώδους [19, 20].*

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.7, οι αποσβεστήρες ιξώδους συνήθως αποτελούνται από ένα τμήμα συσσώρευσης ρευστού, εντός του κυλίνδρου όπου κινείται η κεφαλή – πιστόνι (accumulator housing). Ο μηχανισμός συσσώρευσης υγρού έχει ως στόχο τη καλύτερη λειτουργία του αποσβεστήρα σε συνθήκες θλίψης ή εφελκυσμού. Το χαρακτηριστικό αυτό λαμβάνεται υπ' όψη κατά τη τοποθέτηση τους στη κατασκευή και συνήθως τέτοιοι αποσβεστήρες τοποθετούνται ως ζεύγη, συμμετρικά σε κάθε πλαίσιο. Η συμπεριφορά ενός αποσβεστήρα χωρίς το τμήμα του συσσωρευτή είναι ανάλογη τόσο στη θλίψη όσο και στον εφελκυσμό. Επιπλέον, οι αποσβεστήρες ιξώδους χωρίς το τμήμα του συσσωρευτή θεωρούνται ικανότεροι να

λειτουργήσουν σε μεγάλη ακτίνα συχνοτήτων χωρίς να επηρεάζεται η απόδοσή τους [20].

Οι ιδιότητες που απαιτούνται για τη μη γραμμική ανάλυση των μελών εκείνων που προσομοιάζουν τους αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης, βασίζονται στο μοντέλο βισκοελαστικότητας του Maxwell [11], σύμφωνα με το οποίο ένας μη γραμμικός αποσβεστήρας τοποθετείται σε σειρά με ελατήριο.



**Σχήμα 1.8:** Προσομοίωση μη γραμμικού αποσβεστήρα σύμφωνα με το μοντέλο βισκοελαστικότητας του Maxwell [11, 21].

Η μη γραμμική σχέση δύναμης – μετατόπισης δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f = k \cdot d_k = c \cdot \dot{d}_c^{c_{\exp}} \quad (1.46)$$

όπου,

$k$ , είναι η σταθερά ελατηρίου,

$c$ , ο συντελεστής ιξώδους απόσβεσης,

$c_{\exp}$ , ο αντιπροσωπευτικός εκθέτης απόσβεσης, ο οποίος πρακτικά λαμβάνει τιμές από 0,2 έως 2,0 (θεωρήθηκε ίσος με 1,0 στη παραμετρική μελέτη),

$d_k$ , η αναπτυσσόμενη μετατόπιση κατά μήκος του ελατηρίου,

$\dot{d}_c$ , η αναπτυσσόμενη ταχύτητα κατά μήκος του αποσβεστήρα

Το άθροισμα των αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων στο ελατήριο ( $d_k$ ) και στον αποσβεστήρα ( $d_c$ ) δίδουν σε κάθε χρονικό βήμα, τη συνολική μετατόπιση του μη γραμμικού μέλους. Στη περίπτωση που η ανάλυση απαιτεί πλήρη συμπεριφορά απόσβεσης τότε η επίδραση του ελατηρίου θα πρέπει να προκύπτει αμελητέα, κάνοντας το ελατήριο αρκετά δύσκαμπτο. Η ικανοποιητικά καθοριζόμενη δυσκαμψία του ελατηρίου στη περίπτωση αυτή, εξαρτάται από τον «χαρακτηριστικό χρονικό βήμα» του συστήματος ελατηρίου – αποσβεστήρα, το οποίο δίδεται από τη σχέση  $\tau = c/k$  (στην περίπτωση όπου το  $c_{\exp} = 1$ ) και πρέπει να είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερο του βήματος φόρτισης (βήμα χρονοϊστορίας) [11].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

---

#### 2.1 Εισαγωγή

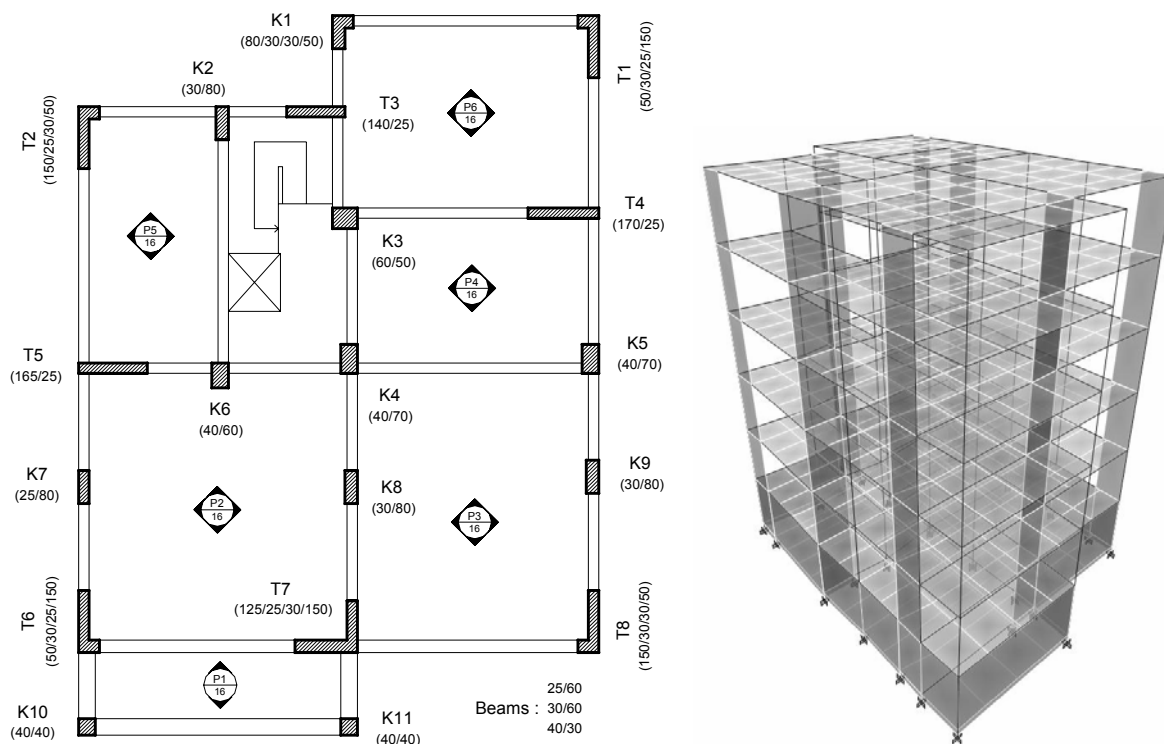
Στο κεφάλαιο αυτό εκτίθεται :

- η περιγραφή των επιλεγμένων δομικών συστημάτων προς ανάλυση,
- η περιγραφή των επιλεγμένων σεισμικών διεγέρσεων,
- συνοπτική αναφορά της γραμμικής και μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης χρονοϊστοριών επιτάχυνσης, όπως αυτή εφαρμόζεται από το χρησιμοποιούμενο λογισμικό (ETABS 2000 ver. 8.3.0),
- η απόκριση των δομικών συστημάτων που πακτωμένα εδράζονται στο έδαφος, κατά την επιβολή των περιγραφόμενων σεισμικών διεγέρσεων,
- η περιγραφή των επιλεγμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων που περιγράφουν τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου, τα εφέδρανα εκκρεμούς – ολίσθησης και τους αποσβεστήρες ιζώδους,
- η παρουσίαση των εφαρμοζόμενων συστημάτων μόνωσης βάσης και των παραμέτρων εκείνων που λαμβάνονται υπ' όψη στη σύνθεση του κάθε συστήματος.

## 2.2 Το δομικό σύστημα

Στη παρούσα εργασία μελετώνται δύο ρεαλιστικά δομικά συστήματα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το δομικό σύστημα Α, είναι ένα τριώροφο κτίριο διαμερισμάτων με «Pilotis» και υπόγειο, η μελέτη του οποίου προβλέπει προσθήκη μελλοντικού τυπικού ορόφου. Πρόκειται για ένα μικτό σύστημα τοιχίων – υποστυλωμάτων διαμορφωμένο έτσι ώστε να καλύπτει τις αρχιτεκτονικές και δομοστατικές απαιτήσεις. Η ως επί το πλείστον ορθογωνική κάτοψη του, επαναλαμβανόμενη ως τυπικός όροφος σε όλες τις στάθμες, προσδίδει στο δόμημα υψηλό βαθμό κανονικότητας<sup>3</sup>.



**Σχήμα 2.1:** *Ευλότυπος τυπικού ορόφου δομικού συστήματος Α & τρισδιάστατη απεικόνιση του υπολογιστικού μοντέλου.*

<sup>3</sup> Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 [22] ένα κτίριο θεωρείται κανονικό, όταν ικανοποιεί τις εξής συνθήκες :

- οι πλάκες λειτουργούν ως απαραμόρφωτα διαφράγματα μέσα στο επίπεδο τους,
- η αύξομείωση της δυσκαμψίας ενός ορόφου σε κάθε οριζόντια διεύθυνση δε υπερβαίνει συγκεκριμένες τιμές,
- η αύξομείωση της μάζας ενός ορόφου δεν υπερβαίνει συγκεκριμένες τιμές.

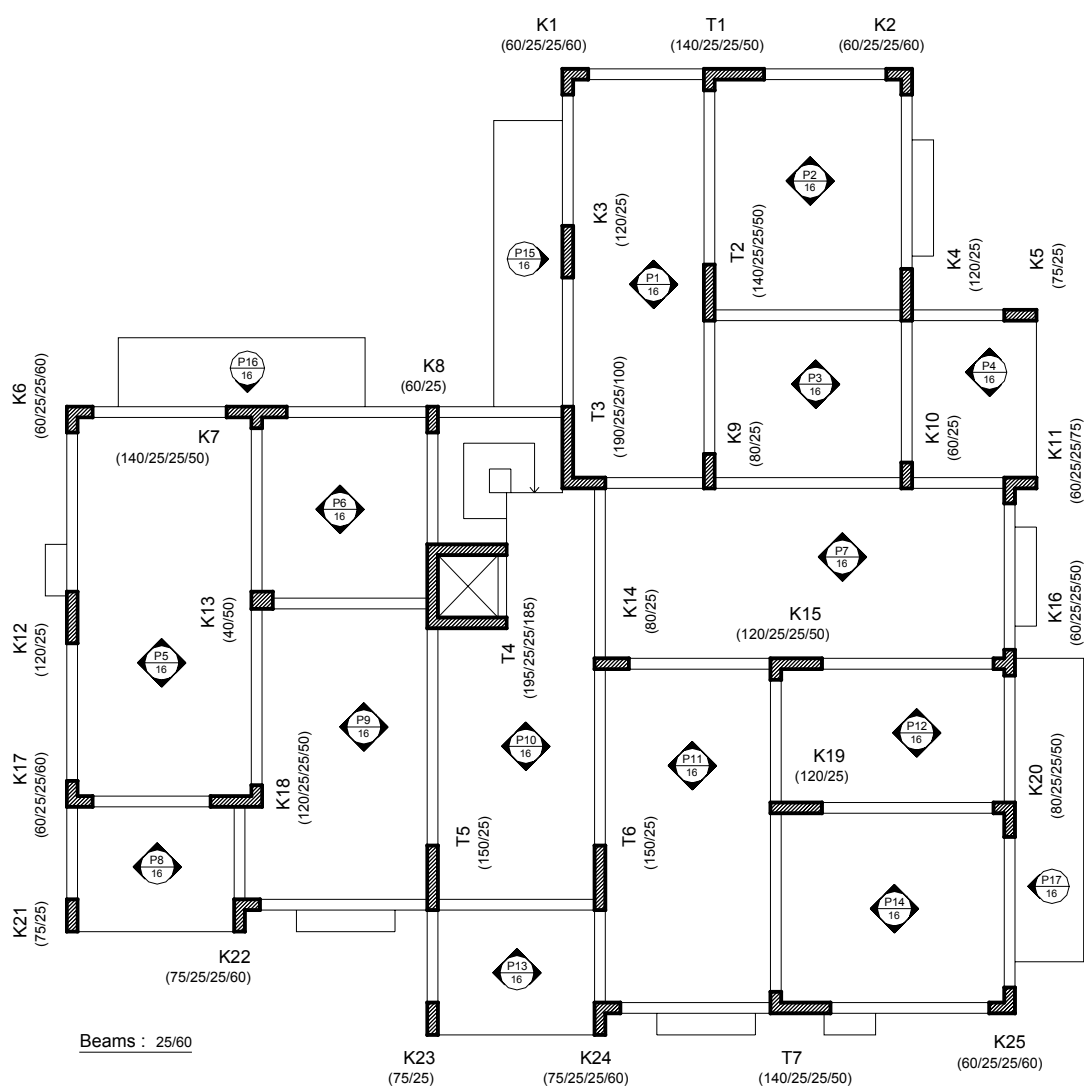
Στον εν λόγω Κανονισμό η κανονικότητα των κτιρίων χρησιμοποιείται μόνο για την επιλογή της μεθόδου υπολογισμού (απλοποιημένη φασματική ή δυναμική φασματική μέθοδος) μια που η επιβολή και άλλων συνθηκών κανονικότητας (π.χ. γεωμετρικών, στρεπτικής ευαισθησίας κτιρίου) καλύπτεται αξιόπιστα και από τις δύο μεθόδους γραμμικού υπολογισμού.

Η χρήση του όρου κανονικότητα στη παρούσα μελέτη, επικεντρώνεται στη γεωμετρική διάταξη της κάτοψης των επιλεγμένων δομικών συστημάτων, μια που αφενός οι συνθήκες των απαραμόρφωτων διαφραγμάτων και της ελεγχόμενης αύξομείωσης δυσκαμψίας και μάζας του ορόφου, ικανοποιούνται, αφετέρου η μέθοδος ανάλυσης των δομικών συστημάτων διαφέρει από αυτές που ορίζονται στον ΕΑΚ 2000.



Η παρουσία τοιχίων σχετικά μικρού μεγέθους σε συνδυασμό με τις αναλογίες των διαστάσεων κάτοψης και το συνολικό ύψος του κτιρίου, δημιουργούν μια εύκαμπτη κατασκευή με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο 0,68 sec. Η μελέτη του δομήματος παραχωρήθηκε από τεχνικό γραφείο μελετών ιδιωτικών έργων.

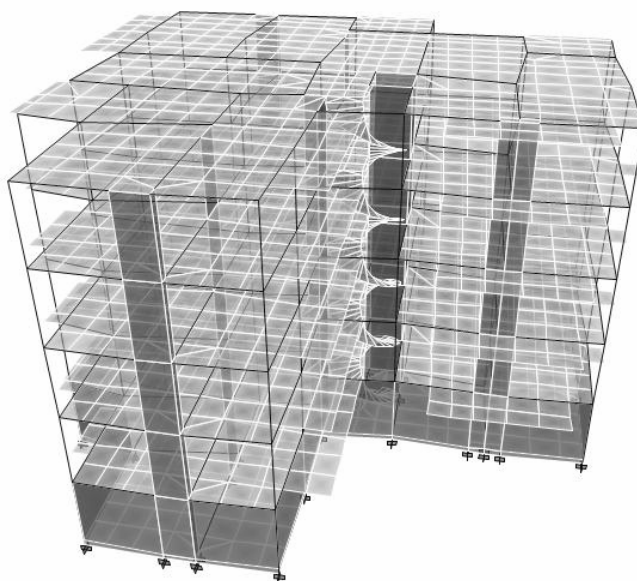
Το δομικό σύστημα Β, είναι ένα τετραώροφο κτίριο διαμερισμάτων με υπόγειο. Πρόκειται για ένα μικτό σύστημα τοιχίων – υποστυλωμάτων, με σύνθετη μορφολογία κάτοψης, επαναλαμβανόμενη ως τυπικός όροφος σε όλες τις στάθμες, προσδίδοντας στο σύστημα μέτριο βαθμό κανονικότητας.



*Σχήμα 2.2: Ευλότυπος τυπικού ορόφου δομικού συστήματος Β.*

Αν και οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων των δύο δομικών συστημάτων είναι αντίστοιχες, η μεγαλύτερη επιφάνεια κάτοψης και το μικρότερο συνολικό ύψος του δομήματος Β συγκριτικά με το δόμημα Α, δημιουργούν μια κατασκευή μέτριας

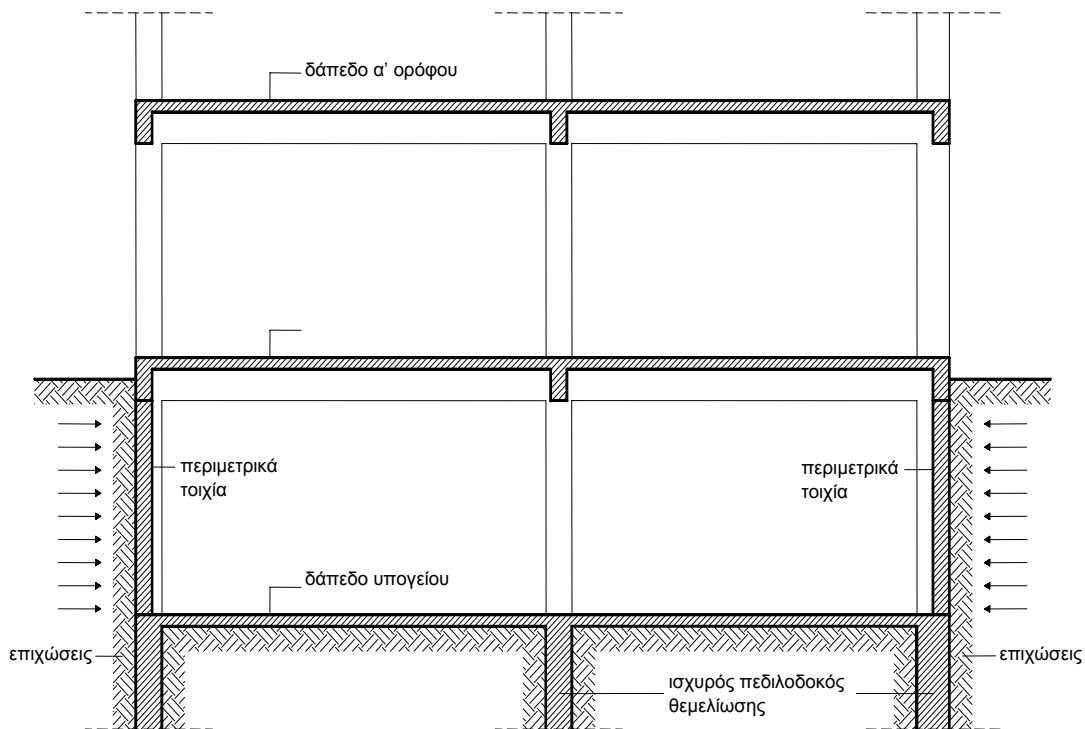
δυσκαμψίας με θεμελιώδη ιδιοπερίοδο 0,37 sec. Η μελέτη του κτιρίου παραχωρήθηκε από τη Διεύθυνση Μελετών του Οργανισμού Εργατικής Κατοικίας.



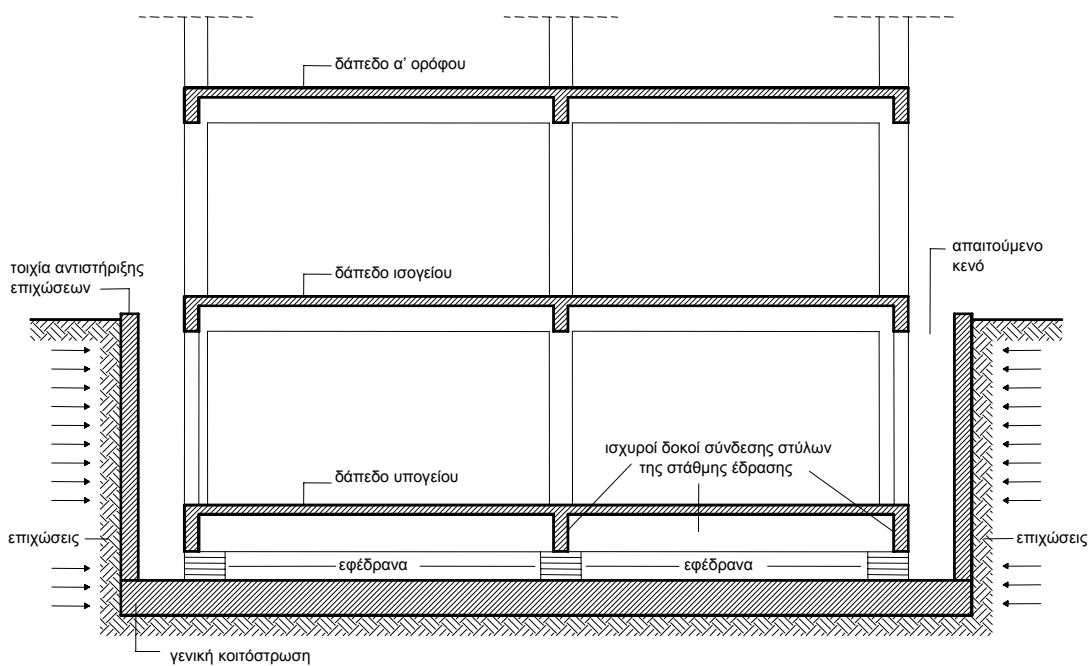
**Σχήμα 2.3:** Τρισδιάστατη απεικόνιση του υπολογιστικού μοντέλου του δομικού συστήματος Β.

Στις παρεχόμενες μελέτες η στάθμη του υπογείου και των δύο δομικών συστημάτων, απαρτίζεται από ισχυρά περιμετρικά τοιχία πλήρωσης. Η λύση αυτή κυριαρχεί στα κτίρια με υπόγειους ορόφους, συνδυάζοντας την καλύτερη έδραση - πάκτωση της κατασκευής με την ικανή αντιστήριξη των επιχώσεων. Όμως, οι δύο αυτές παράμετροι παρουσιάζουν μηδενικό ενδιαφέρον κατά την εφαρμογή της μόνωσης βάσης. Έτσι, η ρεαλιστική εφαρμογή της μόνωσης στα εν λόγω δομικά συστήματα, παραβλέπει την ύπαρξη των περιμετρικών τοιχίων πλήρωσης στις στάθμες υπογείου, οι οποίες μοντελοποιούνται όπως οι στάθμες ανωδομής.

Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι οι προαναφερόμενες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου είναι αυτές που προκύπτουν από τη θεώρηση ύπαρξης περιμετρικών τοιχίων υπογείου και στα δύο δομικά συστήματα τα οποία εδράζονται πακτωμένα στο έδαφος.



*Σχήμα 2.4: Κτίριο πακτωμένο στο έδαφος.*



*Σχήμα 2.5: Εφαρμογή της μόνωσης βάσης*

Το υπολογιστικό μοντέλο των δομικών συστημάτων απαρτίζεται από γραμμικά στοιχεία τα οποία απεικονίζουν τα υποστυλώματα και τις δοκούς και από επιφανειακά στοιχεία που απεικονίζουν τις πλάκες και τα τοιχία. Κάθε πλάκα –

όροφος προσομοιώνεται ως σημείο συγκεντρωμένης μάζας, τοποθετημένο στο κέντρο μάζας της επιφάνειας του, έχοντας τρεις βαθμούς ελευθερίας, δύο μεταφορικές και μια στροφική ως προς τον κάθετο στη επιφάνεια άξονα.

Η μορφολογία των δομικών συστημάτων επιτρέπει την προσομοίωση με απαραμόρφωτα διαφράγματα πλακών με την οποία επιτυγχάνεται η αναπαραγωγή των σημαντικότερων δυνάμεων αδράνειας με το μικρότερο αριθμό ελευθεριών κίνησης. Έτσι, η επιλεγόμενη διακριτοποίηση των πλακών στοχεύει στην αντιπροσωπευτικότερη κατανομή των μόνιμων και κινητών φορτίων στο φορέα και όχι στην εισαγωγή ικανού αριθμού ελευθεριών κίνησης για την απόδοση της παραμόρφωσης τους, μια που θεωρούνται απαραμόρφωτα διαφράγματα.

Αντιπροσωπευτικά μόνιμα ( $G$ ) και μεταβλητά ( $Q$ ) φορτία, ομοιόμορφα κατανεμημένα, εισάγονται σε κάθε επιφανειακό στοιχείο. Οι τελικές μάζες των δομικών συστημάτων προκύπτουν από τα κατακόρυφα φορτία  $G_{IB} + G + 0,3Q$ , όπου  $G_{IB}$  το ίδιο βάρος του δομήματος. Έτσι, για το δομικό σύστημα Α σε όλες τις στάθμες ελήφθησαν μόνιμα φορτία  $G$ , ίσα με  $4\text{kN/m}^2$  και μεταβλητά φορτία  $Q$ , ίσα με  $3\text{kN/m}^2$ , παράγοντας συνολική μάζα  $2.800\text{kN}\cdot\text{sec}^2/\text{m}$ . Τα αντίστοιχα φορτία για το δομικό σύστημα Β ελήφθησαν ίσα με  $5\text{kN/m}^2$  και  $3\text{kN/m}^2$ , σχηματίζοντας συνολική μάζα  $4.600\text{kN}\cdot\text{sec}^2/\text{m}$ .

Στα περιγραφόμενα δομικά συστήματα εφαρμόζονται διάφορες συνθήκες έδρασης. Αρχικά, τα κτίρια θεωρούνται πακτωμένα στο έδαφος. Εναλλακτικό σχεδιασμό αποτελεί η εισαγωγή συστημάτων μόνωσης βάσης, όπου για τη παρούσα μελέτη υλοποιούνται τα ακόλουθα:

- ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου,
- συστήματα εκκρεμούς – τριβής,
- ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου σε συνδυασμό με αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης,
- συστήματα εκκρεμούς – τριβής σε συνδυασμό με αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης.

Τα αναφερόμενα εφέδρανα – αποσβεστήρες, εφαρμόζονται στη βάση των υποστυλωμάτων – τοιχίων, συνδέοντας έτσι τα σημεία εκείνα που ανήκουν στο

απαραμόρφωτο διάφραγμα της κατώτερης στάθμης των κτιρίων με τις αντίστοιχες θέσεις στην αποκομμένη στάθμη έδρασης.

Έτσι, για το δομικό σύστημα Α προκύπτουν 28 θέσεις εγκατάστασης εφεδράνων – αποσβεστήρων και οι αντίστοιχες για το δομικό σύστημα Β είναι 42.

Ομαδοποιώντας λοιπόν τα περιγραφόμενα χαρακτηριστικά σύνθεσης των επιλεγμένων δομικών συστημάτων προκύπτει ο Πίνακας 2.1.

**Πίνακας 2.1:** Χαρακτηριστικά επιλεγμένων δομικών συστημάτων.

	<u><b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α</b></u>	<u><b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β</b></u>
στάθμες	6	5
max διαστάσεις κάτοψης	12,3 x 16,9 m	22,60 x 22,45 m
συνολικό ύψος	18 m	15 m
συνολική μάζα <sup>4</sup>	2.800 KN.sec <sup>2</sup> /m	4.600 KN.sec <sup>2</sup> /m
θεμελιώδης ιδιοπερίοδος <sup>5</sup>	0,68 sec	0,37 sec
έδραση	πάκτωση	Πάκτωση
	LRB (28)	LRB (42)
	FPS (28)	FPS (42)
	LRB + viscous damper	LRB + viscous damper
	FPS + viscous damper	FPS + viscous damper

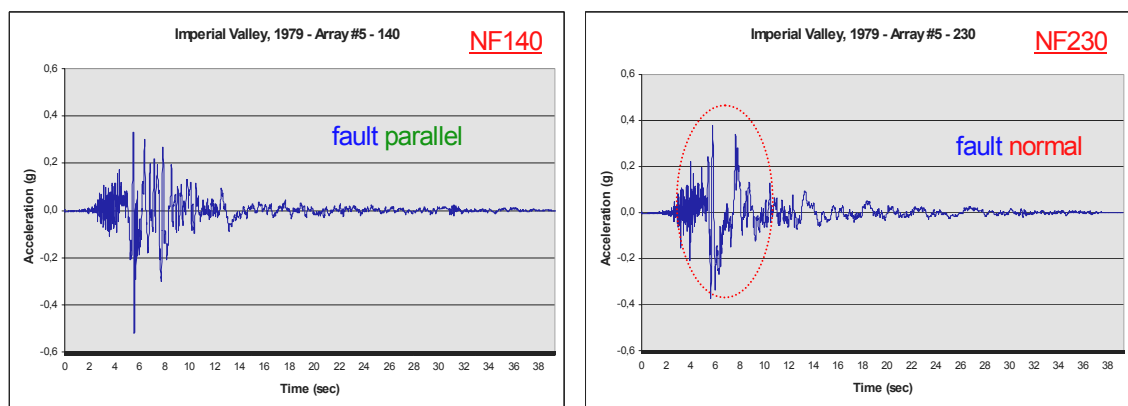
## 2.3 Η σεισμική διέγερση

Τα περιγραφόμενα δομικά συστήματα υποβάλλονται σε δισδιάστατη διέγερση σεισμικών καταγραφών, ισχυρών εδαφικών κινήσεων. Οι εν λόγω καταγραφές είναι ενδεικτικές για τις εδαφικές κινήσεις που προκύπτουν τόσο σε κοντινή (Near Fault - NF) όσο σε μακρινή απόσταση (Far Fault - FF) από το σεισμικό ρήγμα. Πιο συγκεκριμένα ελήφθησαν οι οριζόντιες καταγραφές των σταθμών 1979 Imperial Valley, Array #5 και 1994 Northridge, Old Ridge Route<sup>6</sup>.

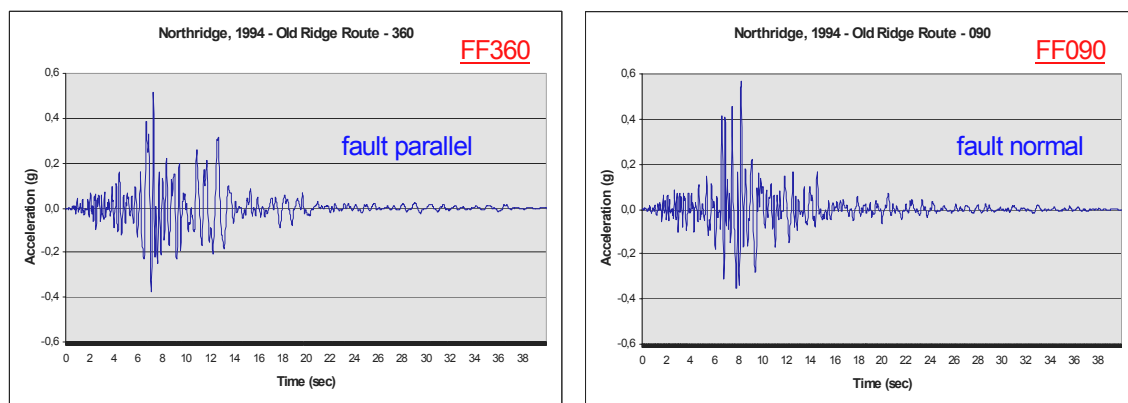
<sup>4</sup> Δεν συμπεριλαμβάνονται τα περιμετρικά τοιχία του υπογείου.

<sup>5</sup> Πρόκειται για τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο των δομικών συστημάτων που εδράζονται πακτωμένα στο έδαφος με τη θεώρηση ύπαρξης περιμετρικών τοιχίων στη στάθμη του υπογείου.

<sup>6</sup> Οι εν λόγω καταγραφές ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων Peer Strong Motion, με διεύθυνση στο διαδίκτυο <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>. Λόγω της συχνής αναφοράς στις επιλεγόμενες σεισμικές καταγραφές κρίνεται σκόπιμη η σύντμηση τους. Έτσι, η κοντινή στο σεισμικό ρήγμα καταγραφή θα αναγράφεται ως NF ακολουθούμενη από τις τιμές (°) που χαρακτηρίζουν τη διεύθυνση σε σχέση με το ρήγμα (NF140: καταγραφή



**Σχήμα 2.6:** Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης του σταθμού καταγραφής 1979, Imperial Valley, Array #5, κατά την παράλληλη (NF140) και κάθετη (NF230) διεύθυνση του σεισμικού γεγονότος, σε σχέση με την επιφανειακή ανάπτυξη του ρήγματος (<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>).

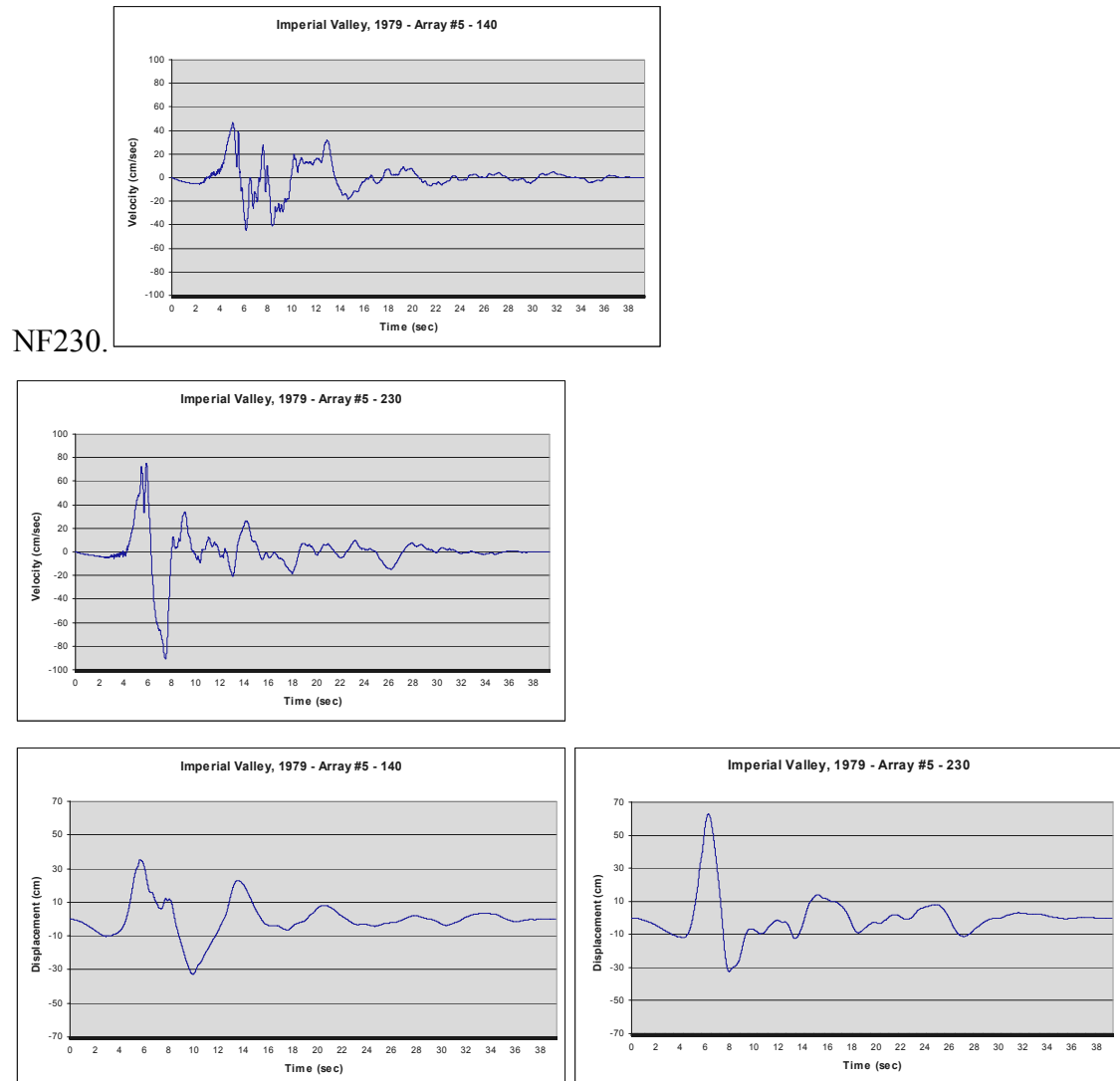


**Σχήμα 2.7:** Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης του σταθμού καταγραφής 1994, Northridge, Old Ridge Route, κατά την παράλληλη (FF360) και κάθετη (FF090) διεύθυνση του σεισμικού γεγονότος, σε σχέση με την επιφανειακή ανάπτυξη του ρήγματος (<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>).

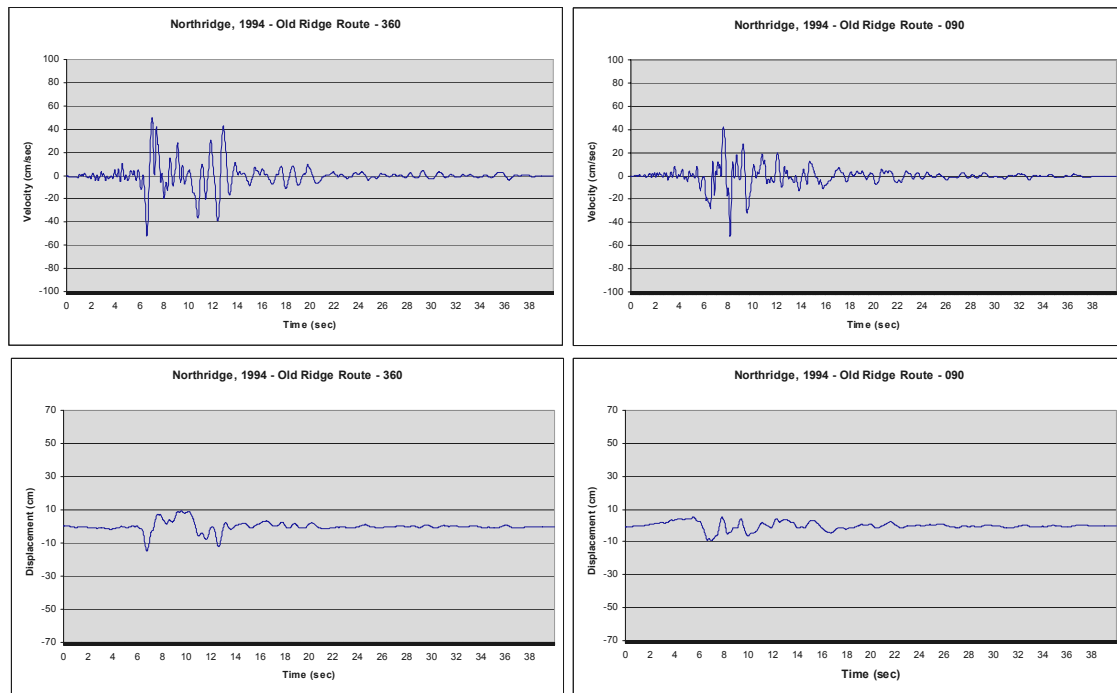
Όπως παρατηρείται στις χρονοϊστορίες επιτάχυνσης των επιλεγμένων σεισμικών καταγραφών, πρόκειται για ισχυρές εδαφικές κινήσεις με μέγιστες τιμές της τάξης των 0,5g. Μικρότερης κλίμακας επιταχύνσεις σχηματίζονται στην NF230 καταγραφή, στην οποία όμως διακρίνεται παλμός διάρκειας 3 δευτερολέπτων περίπου, διαμορφώνοντας μια χαρακτηριστική εικόνα της χρονοϊστορίας επιτάχυνσης αυτού του τύπου εδαφικών κινήσεων, που διαφοροποιείται συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες.

σχεδόν κάθετη στο ρήγμα & NF230: καταγραφή σχεδόν παράλληλη στο ρήγμα). Από την άλλη, η μακρινή σε σχέση με το σεισμικό ρήγμα καταγραφή θα αναγράφεται ως FF, επίσης ακολουθούμενη από τις τιμές που χαρακτηρίζουν τη διεύθυνση (FF360: καταγραφή παράλληλη στο ρήγμα & FF90: καταγραφή κάθετη στο ρήγμα).

Η αιτία για τη συγκεκριμένη διάταξη της εν λόγω καταγραφής αποδίδεται στις μεγάλες εδαφικές μετακινήσεις που προκαλούνται σε κάθετες ως προς το ρήγμα διευθύνσεις, κοντά σε αυτό. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα της χρονοϊστορίας μετακινήσεων και αναπτυσσόμενων ταχυτήτων της NF230 καταγραφής στην οποία εμφανίζονται μέγιστες τιμές μετακίνησης της τάξης των 63cm με μέγιστες τιμές ταχύτητας 90,5cm/sec. Από την άλλη παρατηρώντας τις αντίστοιχες τιμές των άλλων καταγραφών διακρίνουμε το μέγεθος της διαφοράς τους σε σχέση με την



**Σχήμα 2.8:** Χρονοϊστορίες μετατόπισης και αναπτυσσόμενης ταχύτητας του σταθμού καταγραφής 1979, Imperial Valley, Array #5, κατά τις διευθύνσεις (NF140) και (NF230) (<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>).



**Σχήμα 2.9:** Χρονοϊστορίες μετατόπισης και αναπτυσσόμενης ταχύτητας του σταθμού καταγραφής 1994, Northridge, Old Ridge Route, κατά τις διευθύνσεις (FF360) και (FF090) (<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>).

**Πίνακας 2.2:** Μέγιστες τιμές εδαφικών κινήσεων των επιλεγμένων καταγραφών.

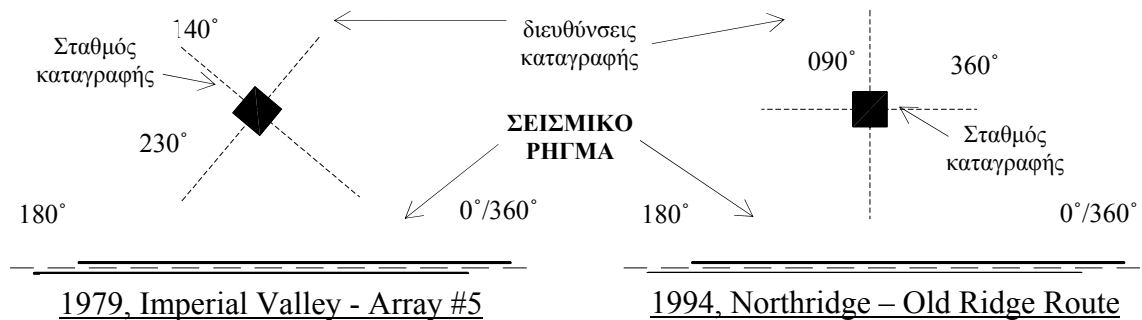
Imperial Valley, 1979 - Array #5				Northridge, 1994 - Old Ridge Route			
Διεύθυνση	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Διεύθυνση	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
140	0,519	46,9	35,35	360	0,514	52,2	14,89
230	0,379	90,5	63,03	090	0,568	52,1	9,38

PGA : Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, PGV : Μέγιστη εδαφική ταχύτητα, PGD : Μέγιστη εδαφική μετατόπιση.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η υψηλή τιμή εδαφικής μετακίνησης της NF140 καταγραφής (35,35cm). Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα εξεταζόμενα σεισμικά ρήγματα αναπτύσσονται επιφανειακά στη διεύθυνση  $0^{\circ}/360^{\circ} - 180^{\circ}$ , προκύπτει ότι οι ληφθείσες καταγραφές στις διευθύνσεις 140 και 230 προσεγγίζουν την κάθετη διάδοση των κινήσεων χωρίς αυτό να είναι ξεκάθαρο όπως στη περίπτωση της FF καταγραφής. Είναι γνωστό ότι δυσμενέστερες εδαφικές μετατοπίσεις προκύπτουν στην κάθετη προς το ρήγμα διάδοση των σεισμικών κυμάτων και κοντά σε αυτό (απόσταση μικρότερη των 10km). Γεγονός, που επαληθεύεται από τις NF καταγραφές, που έχουν περίπου την ίδια σχέση διεύθυνσης με το σεισμικό ρήγμα.



Έτσι, και στις δύο διευθύνσεις προκύπτουν μεγάλες εδαφικές μετατοπίσεις, με επικρατέστερη αυτή της κατεύθυνσης 230°.

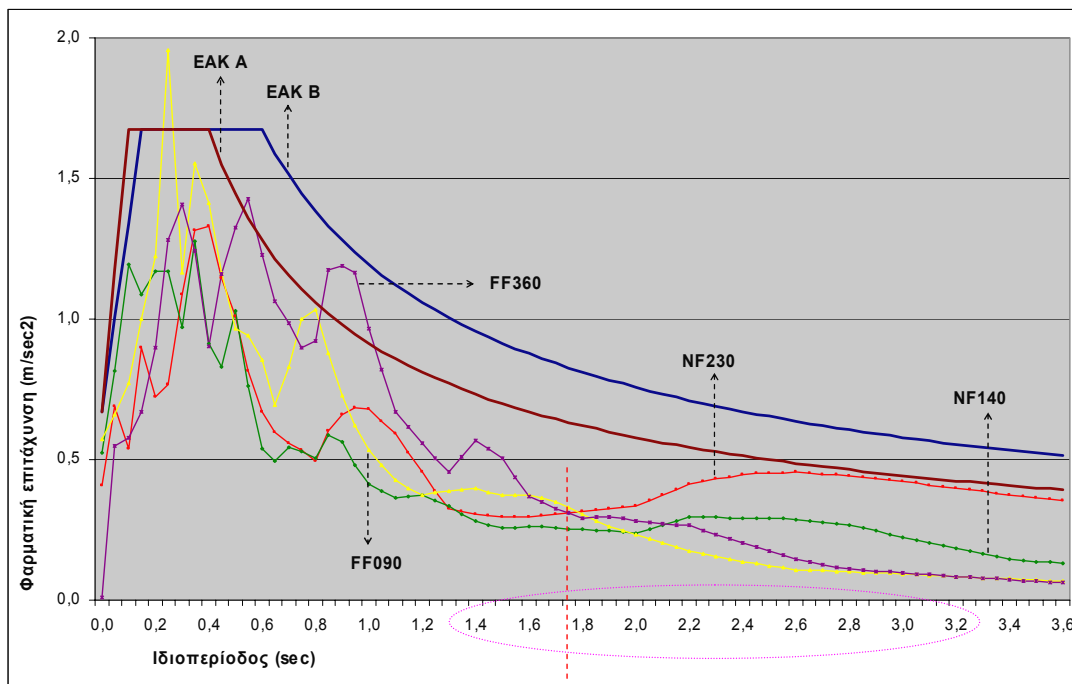


**Σχήμα 2.10:** Διευθύνσεις καταγραφής των εξεταζόμενων σεισμών.

Γίνεται αντιληπτό ότι παρόλο που η NF230 καταγραφή παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή εδαφικής επιτάχυνσης (0,379g), αναπτύσσει ισχυρές εδαφικές μετατοπίσεις με δυσμενείς συνέπειες στα προς διέγερση δομήματα. Έτσι, για τις περιοχές πλησίον σεισμικών ρηγμάτων, οι αναπτυσσόμενες εδαφικές μετατοπίσεις αποτελούν το κύριο ενδιαφέρον στον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών.

Ιδιαίτερος προβληματισμός δημιουργείται κατά την εφαρμογή της μόνωσης βάσης στις εν λόγω περιοχές. Το εγκατεστημένο σύστημα μόνωσης στη βάση των κτιρίων, σχεδιάζεται ικανό να αναλάβει τις μεγάλες εδαφικές μετατοπίσεις. Αυτό οδηγεί στην επιλογή ισχυρών εφεδράνων που αρκετές φορές δεν καλύπτει τις απαιτήσεις σχεδιασμού. Ο συνδυασμός χρήσης των επιλεγμένων εφεδράνων με επιπρόσθετο μηχανισμό απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας (αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης), αποτελεί τη λύση στο πρόβλημα σχεδιασμού παθητικών συστημάτων μόνωσης, για μεγάλες μετατοπίσεις. Βέβαια, ενδιαφέρον γεννάται για την αποτελεσματικότητα ενός τόσο σύνθετου συστήματος, όταν η διέγερση προκαλείται από μέτριο ή ισχυρό σεισμό, προερχόμενο από μακρινή απόσταση [7, 10, 23].

Μελετώντας τα φάσματα απόκρισης των επιλεγμένων χρονοϊστοριών επιτάχυνσης (τα οποία αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων Peer Strong Motion), διακρίνουμε την αυξημένη φασματική επιτάχυνση στις περιοχές υψηλών περιόδων, των NF καταγραφών σε σχέση με τις αντίστοιχες των FF. Πιο συγκεκριμένα, η διαφοροποίηση αυτή προκύπτει πέραν της τιμής των 1,7sec.



ΕΑΚ Α : Προτεινόμενο φάσμα απόκρισης του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού για σεισμικότητα 0,24g, συντελεστή συμπεριφοράς  $q = 3,5$  και έδαφος θεμελίωσης Α [22].

ΕΑΚ Β : Προτεινόμενο φάσμα απόκρισης του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού για σεισμικότητα 0,24g, συντελεστή συμπεριφοράς  $q = 3,5$  και έδαφος θεμελίωσης Β [22].

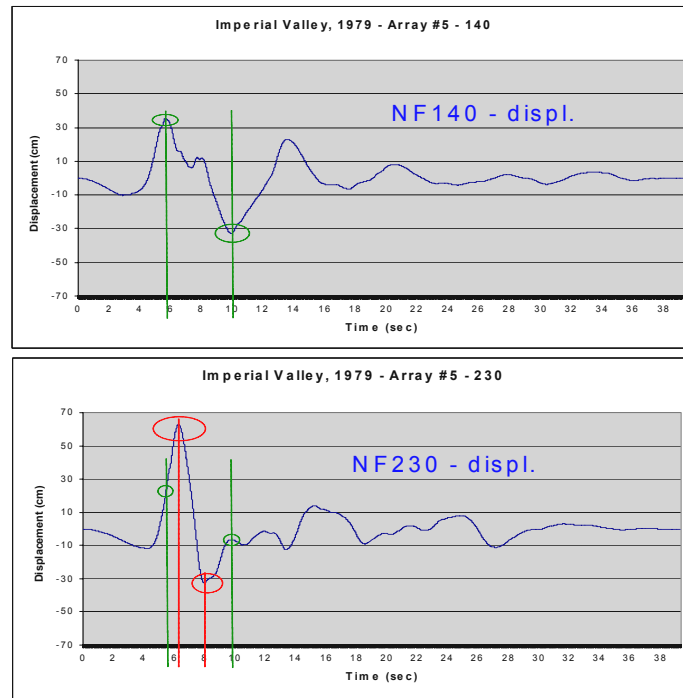
**Σχήμα 2.11:** Φάσματα απόκρισης των επιλεγμένων χρονοϊστοριών επιτάχυνσης

(<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>).

Κατά την εφαρμογή συστημάτων μόνωσης βάσης, βασικό στόχο αποτελεί η επίτευξη υψηλής θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του δομικού συστήματος, έτσι ώστε οι αναπτυσσόμενες φασματικές επιταχύνσεις να διατηρούνται σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Το σύνηθες εύρος των προς επίτευξη περιόδων κυμαίνεται από 1,5 μέχρι και 4sec και σχετίζεται με την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της θεωρούμενα πακτωμένης κατασκευής. Όπως παρατηρείται στα φάσματα απόκρισης των επιλεγμένων χρονοϊστοριών επιτάχυνσης, στο εν λόγω εύρος ιδιοπεριόδων οι φασματικές επιταχύνσεις των NF καταγραφών προκύπτουν δυσμενέστερες αυτών των FF, με μέγιστες διαφορές που υπερβαίνουν τα 400%.

Παρατηρείται λοιπόν ότι η διέγερση ενός σεισμικά απομονωμένου δομήματος με NF σεισμό, αφενός επιβαρύνει το επιλεγμένο σύστημα μόνωσης μέσω των εκτεταμένων μετακινήσεων, αφετέρου αναπτύσσει ισχυρότερες φασματικές επιταχύνσεις, σχετιζόμενες αυτών που προκύπτουν από FF σεισμούς. Οι επιλεγμένες λοιπόν καταγραφές επιτάχυνσης έγιναν με στόχο τη μελέτη απόκρισης των

περιγραφόμενων δομικών συστημάτων, σ' αυτές τις διαφορετικές συνθήκες δυναμικής διέγερσης (NF – FF). Αν και οι μέγιστες εδαφικές μετατοπίσεις σε κάθε διεύθυνση καταγραφής εμφανίζονται σε ασυσχέτιστες χρονικές στιγμές (όπως φαίνεται στις χρονοϊστορίες μετατοπίσεων της NF καταγραφής), επιλέχθηκε η υποβολή της δισδιάστατης σεισμικής διέγερσης στα δομικά συστήματα, για την καλύτερη προσέγγιση του υπολογιστικού μοντέλου.



**Σχήμα 2.12:** Συσχέτιση μέγιστων εδαφικών μετακινήσεων (NF καταγραφή)

(<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>).

## 2.4 Δυναμική ανάλυση των δομικών συστημάτων

Τα δομικά συστήματα A & B, θεωρούμενα ως πακτωμένα στο έδαφος, επιλύονται με γραμμική δυναμική ιδιομορφική ανάλυση. Από την άλλη, η εφαρμογή της μόνωσης βάσης δημιουργεί πιο σύνθετα συστήματα, που αντιμετωπίζονται με μη γραμμικές μεθόδους. Και στις δύο περιπτώσεις, η δυναμική φόρτιση αποδίδεται με τη μορφή χρονοϊστοριών επιτάχυνσης των ήδη περιγραφόμενων καταγραφών.

Στο λογισμικό ETABS 2000 ver. 8.3.0, η μέθοδος της μη γραμμικής ιδιομορφικής ανάλυσης είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να εφαρμόζεται σε δομικά συστήματα που αντιμετωπίζονται κυρίως ως γραμμικά – ελαστικά, έχοντας όμως περιορισμένο αριθμό καθορισμένων μη γραμμικών μελών. Έτσι, η μη γραμμικότητα

περιορίζεται στα μέλη εκείνα που προσομοιώνουν την μόνωση βάσης. Ο τρόπος με τον οποίο αυτό γίνεται εφικτό, περιγράφεται στη τυπολογία που ακολουθεί [11, 12].

Η εξίσωση που εκφράζει την ισορροπία δυνάμεων σε χρονική στιγμή  $t$ , στο υπολογιστικό μοντέλο μιας κατασκευής έχει την ακόλουθη μορφή:

$$M \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) + R(t)_{NL} = R(t) \quad (2.4.1)$$

όπου  $R(t)_{NL}$  το σύνολο των παραγόμενων δυνάμεων από τα μη γραμμικά μέλη, οι οποίες υπολογίζονται μέσω της προκαθορισμένης σχέσης δύναμης – παραμόρφωσης, που περιγράφει τη μη γραμμικότητα τους. Σε κάθε χρονική στιγμή οι μη γραμμικές παραμορφώσεις των μη γραμμικών μελών είναι γνωστές μέσω της εξίσωσης μετασχηματισμού των μετακινήσεων  $u(t)$ :

$$d(t) = b \cdot u(t) \quad (2.4.2)$$

όπου  $b$ , το μητρώο μετασχηματισμού των μετακινήσεων, το οποίο είναι το αντίστροφο του μητρώου μετασχηματισμού φόρτισης – δύναμης, όπως αυτό καθορίζεται από την εξίσωση ισορροπίας των κόμβων του στατικά καθορισμένου υπολογιστικού μοντέλου<sup>7</sup>.

Το μητρώο ελαστικής δυσκαμψίας  $K$  δεν περιλαμβάνει τη δυσκαμψία των μη γραμμικών μελών.

Στη περίπτωση εκείνη που το υπολογιστικό μοντέλο προκύπτει ασταθές χωρίς τα μη γραμμικά μέλη (περίπτωση μόνωσης βάσης), θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει την ύπαρξη ενεργών ελαστικών μελών τυχαίας δυσκαμψίας, στις θέσεις των μη γραμμικών μελών. Εισάγοντας τις ενεργές αναπτυσσόμενες δυνάμεις,  $K_e \cdot u(t)$ , στην εξίσωση ισορροπίας, διασφαλίζοντας την ισότητα της σχέσης, προκύπτει:

$$M \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) + K_e \cdot u(t) = R(t) - R(t)_{NL} + K_e \cdot u(t) \quad (2.4.3)$$

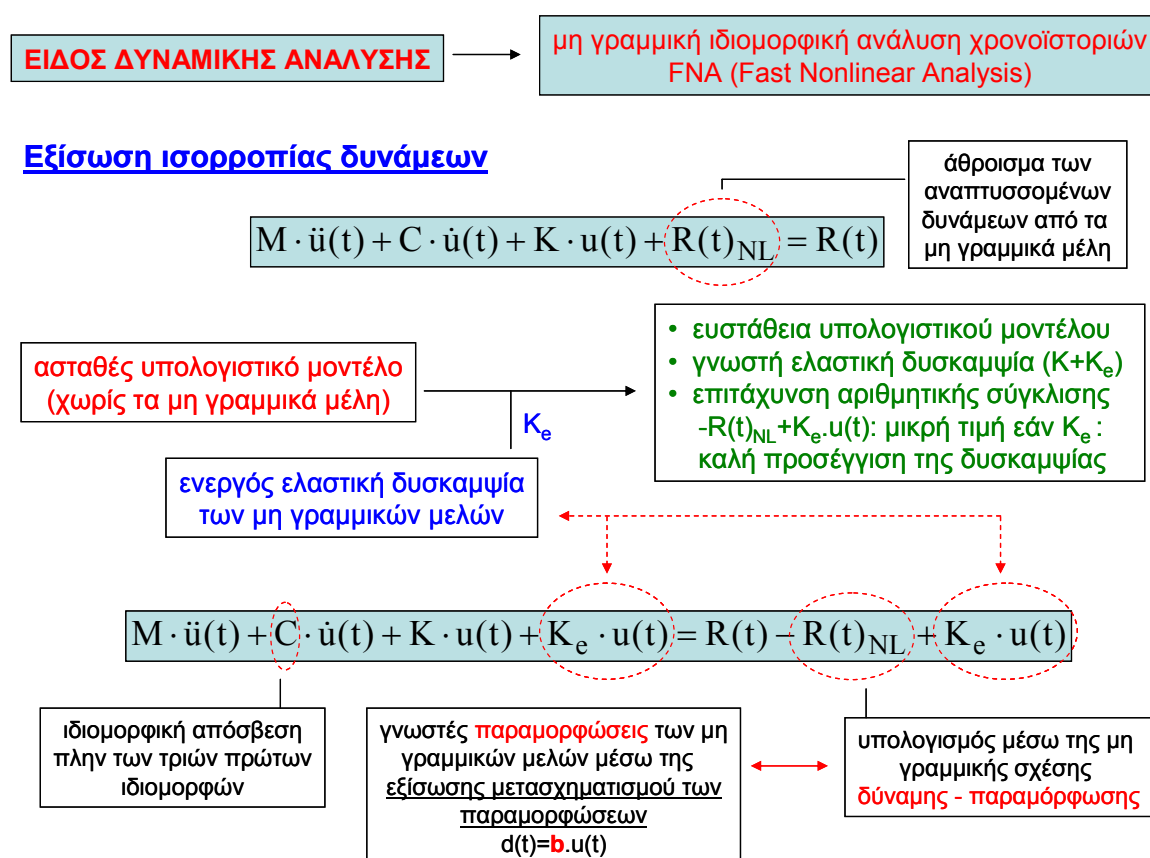
Με τον τρόπο αυτό υλοποιείται η ευστάθεια του υπολογιστικού μοντέλου με γνωστή την ελαστική δυσκαμψία του  $K + K_e$  και η εξωτερική φόρτιση προκύπτει ίση με  $R(t) - R(t)_{NL} + K_e \cdot u(t)$ . Καλή προσέγγιση της ενεργούς ελαστικής δυσκαμψίας, επιταχύνει την αριθμητική σύγκλιση μια που ο άγνωστος όρος  $R(t) + K_e \cdot u(t)$  θα είναι μικρός [12].

<sup>7</sup> Σημειώνεται ότι για χρονοϊστορίες με μικρά χρονικά βήματα, οι μετακινήσεις είναι τόσο μικρές, έτσι ώστε ο πίνακας μετασχηματισμού  $b$  για κάθε βήμα να προκύπτει ακριβής.

Παρατηρείται λοιπόν ότι τα μη γραμμικά μελή εισάγουν δυνάμεις στο δομικό σύστημα αφενός μέσω της ισοδύναμης ενεργούς ελαστικής δυσκαμψίας  $K_e$  αφετέρου από την προσδιοριζόμενη υστεριτική σχέση δύναμης – παραμόρφωσης. Το διαγώνιο μητρώο απόσβεσης  $C$ , αποδίδει την ιδιομορφική απόσβεση του δομήματος, χωρίς να επηρεάζεται από τη παρέμβαση του  $K_e$ . Για την ορθή απόδοση της απόσβεσης του απομονωμένου δομικού μοντέλου, οι τρεις πρώτες ιδιομορφές της κατασκευής, που παρουσιάζουν της συμπεριφορά του συστήματος μόνωσης, θα πρέπει να καθορίζονται με μηδενική ιδιομορφική απόσβεση.

Έτσι, στα εξεταζόμενα δομικά συστήματα θεωρήθηκε απόσβεση 5% για όλες τις ιδιομορφές πλην των τριών πρώτων, στις οποίες δεν λήφθηκε υπ' όψη η συμμετοχή της, αφήνοντας τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις να περιγράφουν το μηχανισμό αυτό.

Με το περιγραφόμενο τρόπο εκτελείται από το λογισμικό ETABS η μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστοριών, μέθοδος γνωστή και ως FNA (Fast non linear analysis), αναπτυσσόμενη από τον Edward Wilson (Ibrahimbegovic and Wilson, 1989, Wilson, 1993) [11, 12].



Σχήμα 2.13: Μη γραμμική δυναμική ανάλυση χρονοϊστοριών (FNA).

## 2.5 Απόκριση των πακτωμένων στο έδαφος δομικών συστημάτων

Η παρουσία της απόκρισης των θεωρούμενα πακτωμένων δομικών συστημάτων, κατά την επιβολή των επιλεγμένων σεισμικών διεγέρσεων, κρίνεται σκόπιμη κυρίως για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων με αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή των συστημάτων μόνωσης βάσης. Η απόκριση παρατίθεται με τη μορφή των σχετικών μετατοπίσεων του κέντρου μάζας, βάσης και ανώτατου ορόφου καθώς επίσης μέσω των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων σε κάθε στάθμη. Οι εναλλασσόμενες διευθύνσεις επιβολής των χρονοϊστοριών επιτάχυνσης στη βάση των δομημάτων, καλύπτουν τυχόν δυσμενείς περιπτώσεις φόρτισης, προκύπτουσες από τη διαφορετική μορφολογία κάτοψης τους. Επίσης, διευκρινίζεται ότι στο υπολογιστικό μοντέλο έχει ληφθεί η ύπαρξη των περιμετρικών τοιχωμάτων του υπογείου, μια που με την εν λόγω έδραση, επιβάλλεται κατασκευαστικά, η συγκεκριμένη διάταξη.

Τα αποτελέσματα ανάλυσης κάθε επιμέρους περίπτωσης (συνολικά, 8 γραμμικές αναλύσεις : 2 δομικά συστήματα με 4 περιστατικά σεισμικής διέγερσης), επικεντρωμένα στις αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις και στις μέγιστες μετακινήσεις, απεικονίζονται στο Παράρτημα Α.

Ομαδοποιώντας τις τιμές των διαγραμμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα :

**Πίνακας 2.3:** Μέγιστες μετατοπίσεις κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (κτίρια πακτωμένα).

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ		ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α		ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β	
		Μέγιστη μετατόπιση Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (cm)		Μέγιστη μετατόπιση Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (cm)	
Δ/ση Χ	Δ/ση Υ	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
FF090	FF360	10,18	13,51	5,17	4,11
FF360	FF090	15,76	8,01	4,88	4,57
NF230	NF140	9,25	7,6	5,55	3,67
NF140	NF230	9,04	8,36	3,9	4,4

**Πίνακας 2.4:** Μέγιστες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας ανώτατης στάθμης (κτίρια πακτωμένα).

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ		ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α		ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β	
		Μέγιστη επιτάχυνση στο Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		Μέγιστη επιτάχυνση στο Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )	
Δ/νση Χ	Δ/νση Υ	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
FF090	FF360	10,35	17,33	15,54	15,81
FF360	FF090	16,25	11,47	15,04	15,17
NF230	NF140	8,81	11,15	15,70	12,57
NF140	NF230	10,87	10,6	12,76	14,16

Διακρίνοντας τις τιμές των απόλυτων επιταχύνσεων του δομικού συστήματος Α, φαίνεται ότι η ανάπτυξη τους στην ανώτατη στάθμη, είναι ανάλογη της έντασης του επιταχυνσιογραφήματος φόρτισης. Έτσι, ισχυρές επιταχύνσεις εμφανίζονται με την επιβολή των ισχυρών φορτίσεων FF (με επικρατέστερη την FF360), ενώ ηπιότερες επιταχύνσεις εμφανίζονται με την επιβολή των φορτίσεων χαμηλότερης έντασης NF (με επικρατέστερη την NF140). Χαρακτηριστική είναι επίσης η επιρροή της θεωρούμενα δύσκαμπτης διεύθυνσης του δομήματος (δ/νση Υ), στην ανάπτυξη των επιταχύνσεων. Παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές απόκρισης (υπό τη μορφή των αναπτυσσομένων επιταχύνσεων), προερχόμενες από κάθε επιλεγμένη σεισμική καταγραφή (FF090, FF360, NF230, NF140), παρουσιάζονται στη «δύσκαμπτη» διεύθυνση Υ.

Μελετώντας τις μέγιστες μετατοπίσεις του κέντρου μάζας, της ανώτατης στάθμης στο δομικό σύστημα Α, παρατηρείται ότι είναι ανάλογες της έντασης του επιταχυνσιογραφήματος, όσον αφορά τις FF καταγραφές ενώ επηρεάζονται έντονα από το χαρακτηριστικό του παλμού των NF καταγραφών. Επιπρόσθετα, γίνεται αντιληπτή η επιρροή της θεωρούμενα εύκαμπτης διεύθυνσης του δομήματος (δ/νση Χ), στη διαμόρφωση των μετατοπίσεων. Έτσι, οι μέγιστες τιμές απόκρισης (υπό τη μορφή των αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων), προερχόμενες από κάθε σεισμική καταγραφή, παρουσιάζονται στην «εύκαμπτη» διεύθυνση Χ.

Από την άλλη, εξετάζοντας τις τιμές του δομικού συστήματος Β, διαπιστώνεται ότι τόσο οι FF όσο και οι NF καταγραφές δημιουργούν πολύ ισχυρές αποκρίσεις, υπό τη μορφή αναπτυσσομένων επιταχύνσεων. Οι εν λόγω τιμές επιτάχυνσης, παρουσιάζουν το ίδιο περίπου μέγεθος υπό τη διέγερση των FF καταγραφών.

Αντίθετα οι τιμές που προκύπτουν, υπό τη διέγερση των NF καταγραφών, παρουσιάζουν την επικράτηση αυτής με το χαρακτηριστικό του παλμού. Αντίστοιχη είναι η απόκριση του δομήματος σε ότι αφορά τις αναπτυσσόμενες μετατοπίσεις.

Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι οι επιλεγμένες NF καταγραφές είναι ασυσχέτιστες. Έτσι, αν και η φόρτιση είναι δισδιάστατη, ο σχολιασμός για την επικράτηση της NF καταγραφής με το χαρακτηριστικό του παλμού, γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψη ότι οι δύο διευθύνσεις καταγραφής, δεν σχετίζονται μεταξύ τους (τουλάχιστον σε τέτοιο βαθμό, που να διαμορφώνουν καθοριστικά τα αποτελέσματα) [7]. Όσον αφορά την FF διέγερση, διευκρινίζεται ότι αποτελεί μια τυχαία επιλογή κλασσικού σεισμού ισχυρής έντασης, με στόχο κυρίως την επιρροή του στα δομικά συστήματα με ή χωρίς μόνωση βάσης και όχι το σχολιασμό κάποιου ιδιαίτερου χαρακτηριστικού της διάταξης των καταγραφών του, αρκετά σημαντικού στη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων ανάλυσης.

Οι περιγραφόμενες διαπιστώσεις, όσον αφορά την επιρροή της διάταξης δυσκαμψίας ενός δομήματος στην απόκριση του, θεωρούνται ως αναμενόμενες, αλλά όπως έγινε αντιληπτό, δεν μπορεί να γενικευτούν στο σύνολο αντίστοιχων δομικών συστημάτων. Η σχέση της δυσκαμψίας και μάζας ενός στοιχείου με την αναπτυσσόμενη σε αυτό μετατόπιση και επιτάχυνση αντίστοιχα, αποτελούν βασικές παραμέτρους στη σύνθεση της εξίσωσης κίνησης, με βάση την οποία καθορίζεται η ταλάντωση μηχανικού συστήματος, υποβαλλόμενου σε σεισμική διέγερση.

Συνοψίζοντας, οι επιλεγμένες NF καταγραφές, αν και χαμηλότερης έντασης (σε σχέση με τις FF), είναι ισχυρές εδαφικές κινήσεις που επηρεάζουν τα δομικά συστήματα, προκαλώντας αποκρίσεις αντίστοιχες και κατά περιπτώσεις μεγαλύτερες αυτών που προκύπτουν από την FF διέγερση. Μάλιστα, η επικράτηση της καταγραφής με το χαρακτηριστικό του παλμού (NF230) είναι ιδιαίτερα εμφανής, κυρίως στα δομικά συστήματα που παρουσιάζουν μια ομοιόμορφη διάταξη της δυσκαμψίας τους και στις δύο διευθύνσεις.

## **2.6 Εφαρμογή συστημάτων μόνωσης βάσης**

Η αναλυτική περιγραφή της θεωρητικής βάσης του προκαταρκτικού σχεδιασμού των χρησιμοποιούμενων συστημάτων μόνωσης βάσης πραγματοποιήθηκε στο Κεφάλαιο



1. Η παράγραφος αυτή επικεντρώνεται αφενός στην παρουσία των επιλεγμένων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων που συνθέτουν υπολογιστικά τα προς εφαρμογή συστήματα μόνωσης βάσης, αφετέρου στην έκθεση των παραμέτρων σχεδιασμού, βάσει των οποίων υλοποιείται η παραμετρική μελέτη.

### **2.6.1 Ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου**

Ως βασική παράμετρος σχεδιασμού του εν λόγω συστήματος καθορίστηκε η διατήρηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του απομονωμένου κτιρίου, εντός του εύρους των 1,5 έως 2,5sec<sup>8</sup>. Έτσι, με την κατάλληλη διακύμανση του ύψους των επιλεγμένων εφεδράνων, ήδη καθορισμένης διαρροής  $F_y$ , προκύπτουν διαφορετικές θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι, κυμαινόμενοι στα επιθυμητά πλαίσια. Η τιμή που υπολογιστικά καθορίζει τη διακύμανση των ιδιοπεριόδων, είναι η ισοδύναμη ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$ .

Πιο συγκεκριμένα για το δομικό σύστημα Α, χρησιμοποιήθηκαν τρεις ομάδες εφεδράνων LRB, ανάλογα του επιπέδου διαρροής τους  $F_y$ , το οποίο καθορίζεται κυρίως από την επιλεγμένη διάμετρο του πυρήνα μολύβδου. Λαμβάνοντας υπ' όψη το βάρος του δομήματος και με στόχο την ικανοποίηση των ελεγχόμενων τιμών του προκαταρκτικού σχεδιασμού, όπως αυτός περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3, οι διάμετροι πυρήνα που επιλέχθηκαν έχουν τις τιμές 109, 126, 141 mm, για εφέδρανα συνολικής διαμέτρου 654, 665, 674 mm αντίστοιχα. Προέκυψαν λοιπόν τρεις ομάδες μονωτήρων LRB με λόγο χαρακτηριστικής δύναμης  $Q$  προς το συνολικό βάρος του δομήματος  $W$ , ίσο με 7,5%, 10%, 12,5%.

Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι ο προκαταρκτικός σχεδιασμός των LRB, έγινε στο λογιστικό φύλλο Microsoft Excel, όπου για σταθερές τιμές των διαμέτρων πυρήνα - εφεδράνου και για επιλεγμένες τιμές ύψους και μέγιστης μετατόπισης, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ευστάθειας και συμπεριφοράς τους, προβάλλοντας παράλληλα τις ιδιότητες εκείνες που περιγράφουν την διγραμμική συμπεριφορά κάθε απομονωτήρα για τη σύνθεση του υπολογιστικού τους μοντέλου.

---

<sup>8</sup> Η επιλογή του εν λόγω εύρους προκύπτει από την ανάγκη μετάθεσης της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου των δομικών συστημάτων, κατά την εφαρμογή σε αυτά σεισμικής μόνωσης βάσης, σε τιμές γύρω στις 3 φορές μεγαλύτερες των αντίστοιχα πακτωμένων στο έδαφος δομημάτων [3].

Το λογισμικό ανάλυσης ETABS προσομοιώνει τα ελαστομεταλλικά εφέδρανα με πυρήνα μολύβδου χρησιμοποιώντας τα μη γραμμικά στοιχεία τύπου ISOLATOR1, η διγραμμική συμπεριφορά των οποίων, καθορίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες [11]:

- ελαστική δυσκαμψία (Stiffness -  $K_{el}$ )
- δύναμη διαρροής (Yield Strength -  $F_y$ )
- λόγος μετελαστικής δυσκαμψίας (Post Yield Stiffness Ratio –  $K_p/K_{el}$ )

Επιπλέον των παραπάνω ιδιοτήτων, ο προσδιορισμός της ισοδύναμης ενεργούς δυσκαμψίας  $K_{eff}$ , είναι απαραίτητος για τη σύνθεση του υπολογιστικού μοντέλου, όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Παρατηρείται ότι η ενεργός δυσκαμψία καθορίζεται για κάθε εφέδρανο από την αναπτυσσόμενη μετατόπιση σε αυτό. Η επιλογή κοινού  $K_{eff}$  δεν μπορεί ρεαλιστικά να απεικονίσει τη δυσκαμψία κάθε εφεδράνου (μία που σε κάθε εφέδρανο αναπτύσσεται διαφορετική μετατόπιση) δυσκολεύοντας έτσι, την αριθμητική σύγκλιση της εξίσωσης ισορροπίας. Από την άλλη, με την κοινή επιλογή του  $K_{eff}$  σε όλα τα εφέδρανα, καθορίζεται και αναπροσαρμόζεται εύκολα η επιθυμητή θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του απομονωμένου συστήματος.

Το μοντέλο προσομοίωσης των μη γραμμικών μελών τύπου ISOLATOR1 στο ETABS βασίζεται στην υστερητική συμπεριφορά όπως αυτή περιγράφηκε από τους Wen και Park, Wen, Ang και προτάθηκε για την ανάλυση συστημάτων μόνωσης βάσης από τους Nagarajaiah, Reinhorn και Constantinou. Λεπτομερής αναφορά στις εξισώσεις που συνθέτουν το μοντέλο αυτό παρατίθεται στο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού SAP 2000 ver.8<sup>9</sup> [11].

Οι τυχαία επιλεγμένες τιμές μέγιστης μετατόπισης και ύψους του εφεδράνου, παρείχαν μέσω του προκαταρκτικού σχεδιασμού, τις χαρακτηριστικές τιμές των διγραμμικών ιδιοτήτων. Για τον έλεγχο των επιλεγμένων τιμών μέγιστης μετατόπισης, κατά την ανάλυση του συστήματος στο ETABS, λήφθηκε υπ' όψη, ως δυναμική φόρτιση η NF230 καταγραφή στη πιο εύκαμπτη διεύθυνση του δομήματος (X-X), μια που αυτή προκαλούσε τις μέγιστες εδαφικές μετακινήσεις. Έτσι, τα αποτελέσματα μετατόπισης βάσης που προέκυπταν από την ανάλυση ελέγχονταν εάν συμφωνούν με τις ήδη επιλεγμένες τιμές κατά τον προκαταρκτικό σχεδιασμό. Η

---

<sup>9</sup> Τα λογισμικά ETABS και SAP2000 παράγονται από την ίδια εταιρεία (CSI) και χρησιμοποιούν κοινά μοντέλα προσομοίωσης των μη γραμμικών μελών. Το λογισμικό ETABS είναι προσανατολισμένο στην ανάλυση κτιριακών κατασκευών.

επαναληπτική αυτή διαδικασία ανάλυσης – ελέγχου ολοκληρωνόταν με τη σύγκλιση των μετατοπίσεων ανάλυσης και προκαταρκτικού σχεδιασμού, με στόχο βέβαια, τη διατήρηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του συστήματος σε συγκεκριμένα επίπεδα.<sup>10</sup>

Στο Παράρτημα Β, παρατίθενται, οι υπολογισμοί – έλεγχοι του προκαταρκτικού σχεδιασμού των εφεδράνων που αφορούν το δομικό σύστημα Α.

Ο Πίνακας 2.5 ομαδοποιεί τις περιπτώσεις μόνωσης του δομικού συστήματος Α με ελαστομεταλλικά εφέδρανα πυρήνα μολύβδου.

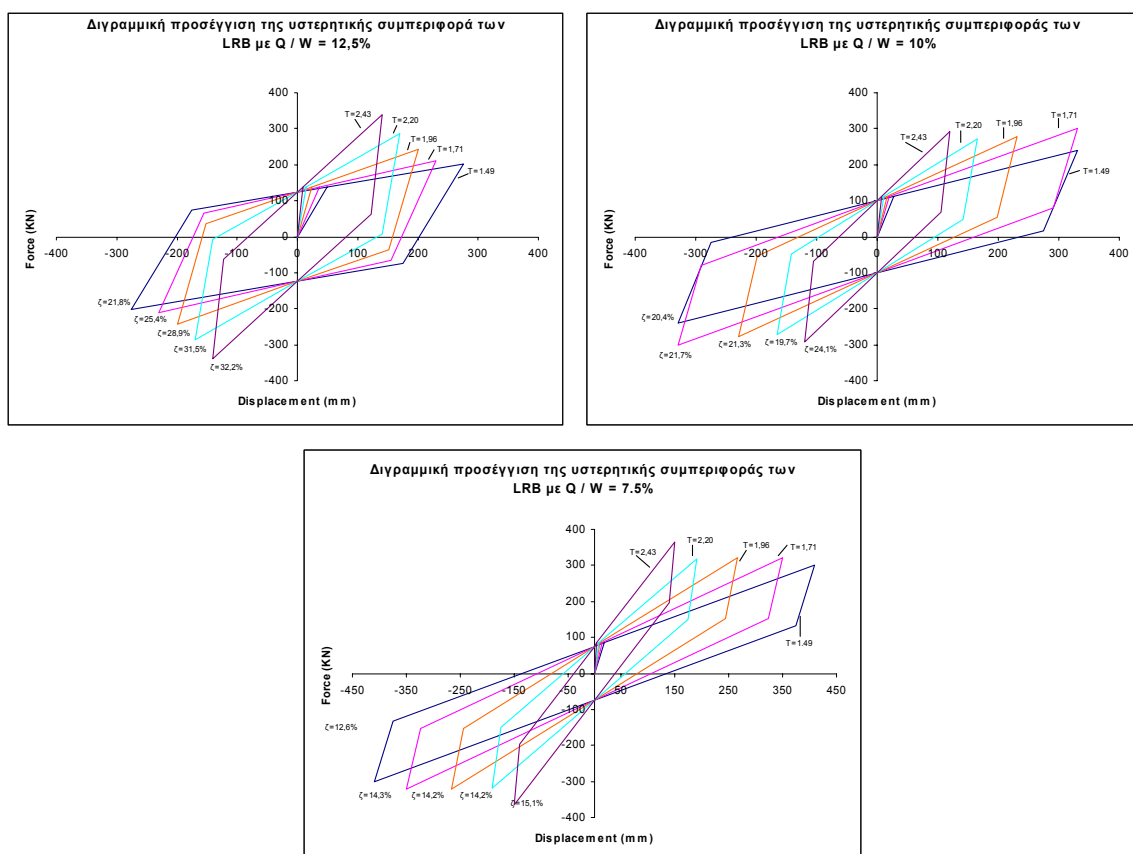
*Πίνακας 2.5: Επιλεγόμενες διαστάσεις LRB & χαρακτηριστικές ιδιότητες καθορισμού της διγγραμμικής συμπεριφοράς τους για το καθορισμό του υπολογιστικού μοντέλου στο ETABS (δομικό σύστημα Α).*

<b>Q / W = 7,5%</b>	<b>διάμετρος πυρήνα: 109mm</b>	<b>διάμετρος εφεδράνου: 654mm</b>	<b>δύναμη διαρροής Fy = 84,39kN</b>	<b>λόγος μεταελαστικής δυσκαμψίας Kp / Kel = 0,115</b>	Αριθμός στρώσεων	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T (sec)	Ενεργός δυσκαμψία K <sub>eff</sub> (kN/m)	Ελαστική δυσκαμψία K <sub>el</sub> (kN/m)	Max μετακίνηση σχεδιασμού (mm)
					12	1,49	2429	16740	150
					18	1,71	1681	11160	190
					25	1,96	1209	8035	265
					33	2,20	916	6087	350
					42	2,43	734	4783	410
<b>Q / W = 10%</b>	<b>διάμετρος πυρήνα: 126mm</b>	<b>διάμετρος εφεδράνου: 665mm</b>	<b>δύναμη διαρροής Fy = 111,77 kN</b>	<b>λόγος μεταελαστικής δυσκαμψίας Kp / Kel = 0,108</b>	Αριθμός στρώσεων	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T (sec)	Ενεργός δυσκαμψία K <sub>eff</sub> (kN/m)	Ελαστική δυσκαμψία K <sub>el</sub> (kN/m)	Max μετακίνηση σχεδιασμού (mm)
					15	1,49	2.429	14.859	120
					23	1,73	1.647	9.691	165
					31	1,96	1.207	7.190	230
					39	2,20	917	5.715	330
					56	2,44	730	3.980	330

<sup>10</sup> Κατά την επαναληπτική αυτή διαδικασία προέκυπταν διάφορες τιμές κατακόρυφης δυσκαμψίας που σε κάποιες περιπτώσεις, δεν ικανοποιούνταν οι απαιτούμενες τιμές συμπεριφοράς σε κατακόρυφη συμπίεση. Επιπρόσθετα, λαμβάνοντας υπ' όψη τις τιμές αυτές κατά την ανάλυση στο ETABS, προέκυπταν σημαντικές αλλαγές στην απόκριση του δομήματος μια που η συμβολή της κατακόρυφης δυσκαμψίας του συστήματος μόνωσης στη συμπεριφορά της κατασκευής θεωρείται σημαντική. Λήφθηκε λοιπόν υπ' όψη η παραδοχή της σταθερούς κατακόρυφης δυσκαμψίας του κάθε επιλεγμένου συστήματος μόνωσης, κυμαινόμενης μάλιστα στην τιμή των 800.000 KN/m. Με την παραδοχή αυτή διευκολύνεται η εκπόνηση της παραμετρικής μελέτης η οποία επικεντρώνεται στη επιφανειακή συμπεριφορά επιλεγμένων συστημάτων μόνωσης, υπό την επιβολή συγκεκριμένων σεισμικών καταγραφών (NF – FF), αν λάβουμε μάλιστα υπ' όψη ότι η σταθερή κατακόρυφη δυσκαμψία σε ένα σύστημα μόνωσης, θα μπορούσε κατασκευαστικά να επιτευχθεί με επιπρόσθετους μηχανισμούς, όπου η συμβολή τους στις οριζόντιες διευθύνσεις, να είναι αμελητέα.

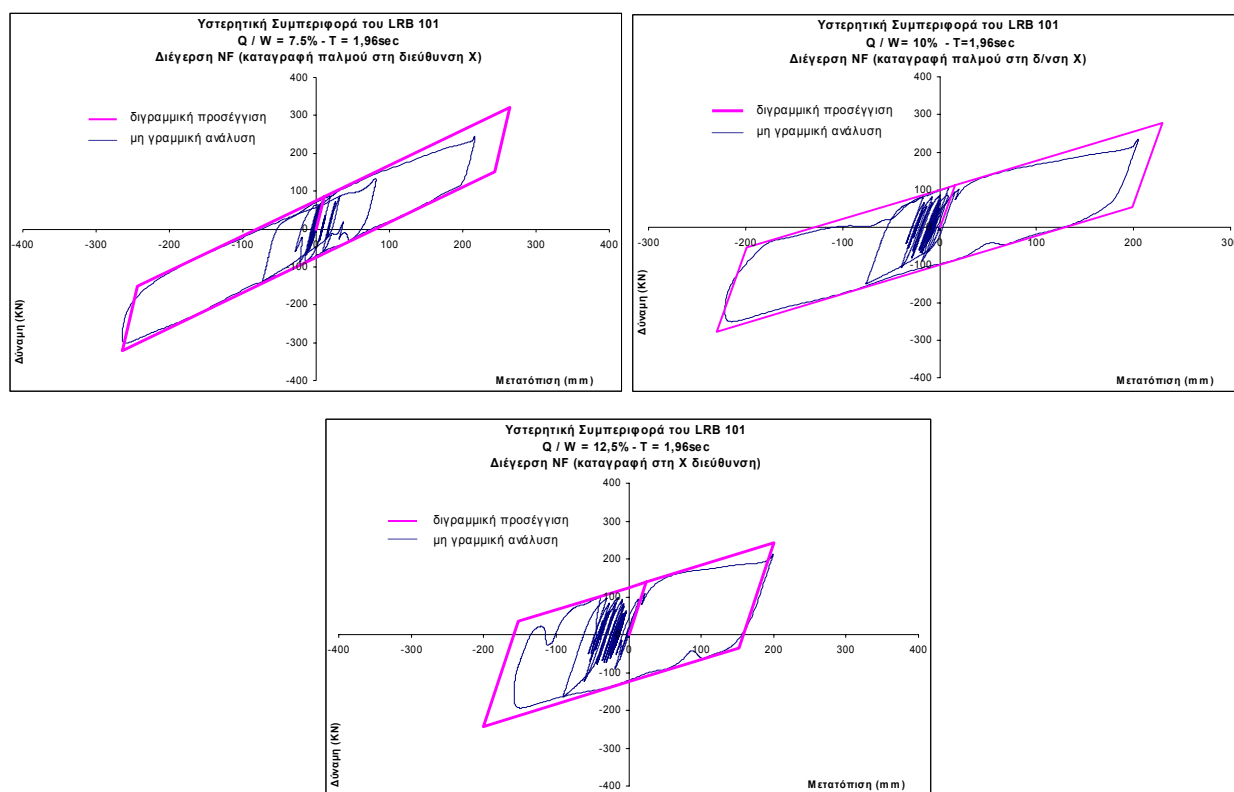
$Q / W = 12,5\%$	διάμετρος πυρήνα: 141 mm	διάμετρος εφεδράνου: 674 mm	δύναμη διαρροής $F_y = 138,93 \text{ kN}$	λόγος μεταελαστικής δυσκαμψίας $K_p / K_{el} = 0,101$	Αριθμός στρώσεων	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος $T$ (sec)	Ενεργός δυσκαμψία $K_{eff}$ (kN/m)	Ελαστική δυσκαμψία $K_{el}$ (kN/m)	Max μετακίνηση σχεδιασμού (mm)
					16	1,49	2.431	15.254	140
					26	1,71	1.682	9.387	170
					42	1,96	1.211	5.811	200
					65	2,20	922	3.755	230
					87	2,43	737	2.805	275

Η διγραμμική σχέση της υστερητικής συμπεριφοράς των LRB, για μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού, όπως αυτή προέκυψε από διαδοχικές μη γραμμικές αναλύσεις στο ETABS, υπό την επιβολή της NF διέγερσης (με τη καταγραφή παλμού στη Χ διεύθυνση του δομικού συστήματος Α), έχει την μορφή του Σχήματος 2.14, απεικονίζοντας κάθε εξεταζόμενη περίπτωση:



**Σχήμα 2.14:** Διγραμμική σχέση της υστερητικής συμπεριφοράς των LRB για  $Q / W = 7,5$  &  $10$  &  $12,5\%$  (δομικό σύστημα Α).

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των LRB, όπως αυτές καθορίζονται από τις διγραμμικές σχέσεις, στη μη γραμμική ανάλυση του δομικού συστήματος, παρουσιάζουν ικανοποιητικούς βαθμούς προσέγγισης. Έτσι, τα διαγράμματα δύναμης – μετατόπισης του πλησιέστερου στο κέντρο μάζας απομονωτήρα (101), όπως προκύπτουν από τη μη γραμμική ανάλυση, έχουν την μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 2.15:



**Σχήμα 2.15:** Υστερητική συμπεριφορά του εφεδράνου LRB 101 (πλησιέστερο εφέδρανο στο Κ.Μ. του δομήματος), όπως προκύπτει από την διγραμμική του προσομοίωση στο Microsoft Excel αλλά και από τη μη γραμμική ανάλυση στο ETABS, για  $Q/W = 7,5$  &  $10$  &  $12,5\%$  και θεμελιώδη περίοδο  $1,96\text{sec}$  (δομικό σύστημα Α).

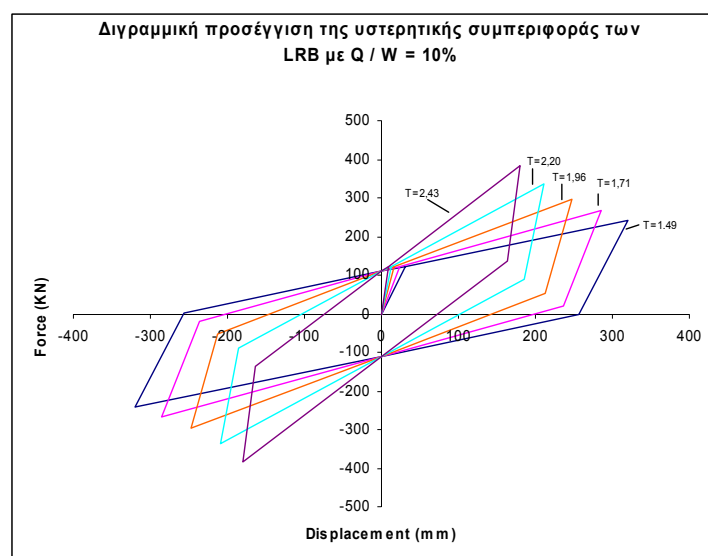
Η επίτευξη αντίστοιχων τιμών  $Q/W$ , καθόρισε την επιλογή των προς μελέτη LRB, για το δομικό σύστημα Β. Έτσι, οι αντίστοιχες περιπτώσεις μόνωσης του εν λόγω δομήματος με ελαστομεταλλικά εφέδρανα πυρήνα μολύβδου, απεικονίζονται στον Πίνακα 2.6. Επίσης, οι διγραμμικές σχέσεις της υστερητικής συμπεριφοράς των LRB, για μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού, όπως αυτές προέκυψαν από διαδοχικές μη γραμμικές αναλύσεις στο ETABS, υπό την επιβολή της NF διέγερσης (με την καταγραφή παλμού στη Υ δ/ση του Δ.Σ. Β), προκύπτουν αντίστοιχες του Σχήματος 2.14.

**Πίνακας 2.6:** Επιλεγόμενες διαστάσεις LRB & χαρακτηριστικές ιδιότητες καθορισμού της διγγραμμικής συμπεριφοράς τους για το καθορισμό του υπολογιστικού μοντέλου στο ETABS (δομικό σύστημα B).

$Q / W = 7,5\%$	διάμετρος πυρήνα: 114mm	διάμετρος εφεδράνου: 684mm	δύναμη διαρροής $F_y = 92,31 \text{ kN}$	λόγος μεταελαστικής δυσκαμψίας $K_p / K_{el} = 0,115$	Αριθμός στρώσεων	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος $T \text{ (sec)}$	Ενεργός δυσκαμψία $K_{eff} \text{ (kN/m)}$	Ελαστική δυσκαμψία $K_{el} \text{ (kN/m)}$	Max μετακίνηση σχεδιασμού (mm)
					15	1,49	2.144	14.649	180
					20	1,70	1.608	10.987	240
					27	1,95	1.211	8.138	300
					36	2,21	924	6.104	372
					45	2,43	758	4.883	420

$Q / W = 10\%$	διάμετρος πυρήνα: 132mm	διάμετρος εφεδράνου: 690mm	δύναμη διαρροής $F_y = 122,58 \text{ kN}$	λόγος μεταελαστικής δυσκαμψίας $K_p / K_{el} = 0,107$	Αριθμός στρώσεων	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος $T \text{ (sec)}$	Ενεργός δυσκαμψία $K_{eff} \text{ (kN/m)}$	Ελαστική δυσκαμψία $K_{el} \text{ (kN/m)}$	Max μετακίνηση σχεδιασμού (mm)
					17	1,50	2.126	14.198	180
					24	1,71	1.596	10.057	210
					34	1,95	1.200	7.099	248
					47	2,20	933	5.135	285
					62	2,43	758	3.893	320

$Q / W = 12,5\%$	διάμετρος πυρήνα: 147mm	διάμετρος εφεδράνου: 700mm	δύναμη διαρροής $F_y = 150,96 \text{ kN}$	λόγος μεταελαστικής δυσκαμψίας $K_p / K_{el} = 0,101$	Αριθμός στρώσεων	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος $T \text{ (sec)}$	Ενεργός δυσκαμψία $K_{eff} \text{ (kN/m)}$	Ελαστική δυσκαμψία $K_{el} \text{ (kN/m)}$	Max μετακίνηση σχεδιασμού (mm)
					20	1,50	2.126	13.197	170
					29	1,71	1.595	9.102	200
					42	1,96	1.198	6.284	240
					60	2,21	927	4.399	280
					87	2,43	758	3.034	300



**Σχήμα 2.16:** Διγραμμική σχέση της υστερητικής συμπεριφοράς των LRB για  $Q / W = 10\%$  (δομικό σύστημα B).

Στο Παράρτημα Δ, παρατίθενται, οι υπολογισμοί – έλεγχοι του προκαταρκτικού σχεδιασμού των εφεδράνων που αφορούν το δομικό σύστημα B.

## 2.6.2 Σύστημα εκκρεμούς – τριβής

Ανάλογα με το σύστημα μόνωσης LRB, βασική παράμετρος σχεδιασμού και στα FPS αποτελεί η διατήρηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του απομονωμένου κτιρίου, εντός του εύρους των 1,0 έως 2,0sec<sup>11</sup>. Η τιμή που υπολογιστικά καθορίζει τη διακύμανση των ιδιοπεριόδων, είναι η ισοδύναμη ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$ , η οποία για κάθε εφέδρανο του εν λόγω συστήματος καθορίζεται σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση:

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + f_{max} \cdot \frac{W}{D} \quad (2.6.1)$$

όπου,

$R$ , η ακτίνα καμπυλότητας επιφάνειας ολίσθησης,

$D$ , η μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού του εφεδράνου,

$W$ , το εφαρμοζόμενο φορτίο σχεδιασμού στο εφέδρανο.

<sup>11</sup> Για τα δεδομένα φορτία  $W$ , για ακτίνες καμπυλότητας των επιφανειών ολίσθησης κυμαινόμενες σε εφαρμόσιμα επίπεδα και για υλοποιήσιμες μετακινήσεις, η προκύπτουσα ενεργός δυσκαμψία δεν μπορεί να μειωθεί τόσο ώστε να παράγονται τιμές ιδιοπεριόδων στα δομικά συστήματα άνω των 2,0sec.

Παρατηρείται ότι στη περίπτωση των FPS, η τιμή του  $K_{eff}$  εξαρτάται από τα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά του εφεδράνου ( $R$ ,  $\mu$ ), από τη μέγιστη μετατόπιση σχεδιασμού ( $\Delta$ ) αλλά και από το εφαρμοζόμενο φορτίο σχεδιασμού σε κάθε εφέδρανο ( $W$ ).

Από την άλλη, όπως ήδη αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, η ιδιοπερίοδος του εν λόγω συστήματος μόνωσης εξαρτάται από την ακτίνα καμπυλότητας ολίσθησης  $R$  και την επιλεγμένη μετατόπιση σχεδιασμού  $D$ , χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη η υποστηριζόμενη μάζα από τα εφέδρανα.

Για την εκπόνηση της παραμετρικής μελέτης, στο σχεδιασμό του συστήματος εκκρεμούς – τριβής των δομικών συστημάτων Α και Β, επιλέχθηκαν οι τιμές ισοδύναμης ενεργούς δυσκαμψίας που προκύπτουν από την προαναφερόμενη εξίσωση, εφαρμοζόμενη για μέγιστη μετατόπιση εφεδράνου  $D= 0,35m$  και για ακτίνες καμπυλότητας επιφάνειας ολίσθησης  $R$  ίσες με 1, 1,5, 2, 2,5, 3m. Το φορτίο σχεδιασμού  $W$  για το δομικό σύστημα Α λήφθηκε ίσο με 2.300kN ενώ το αντίστοιχο για το δομικό σύστημα Β, 3.200kN (τιμές που προκύπτουν από συνδυασμό φόρτισης στον οποίο περιλαμβάνονται τα μόνιμα, τα κινητά και τα φορτία σεισμού).

Το λογισμικό ανάλυσης ETABS προσομοιώνει τα συστήματα εκκρεμούς – τριβής χρησιμοποιώντας τα μη γραμμικά στοιχεία τύπου ISOLATOR 2, η διγραμμική συμπεριφορά των οποίων, καθορίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες :

- ελαστική δυσκαμψία (Stiffness –  $K_{el}$ )
- μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής (για  $|\dot{u}| = \infty$ ,  $f_{max}$ )
- ελάχιστη τιμή του συντελεστή τριβής (για  $|\dot{u}| = 0$ ,  $f_{min}$ )
- συντελεστής ελέγχου της μεταβολής του συντελ. τριβής με τη ταχύτητα ( $\alpha$ )
- ακτίνα καμπυλότητας επιφάνειας ολίσθησης ( $R$ ).

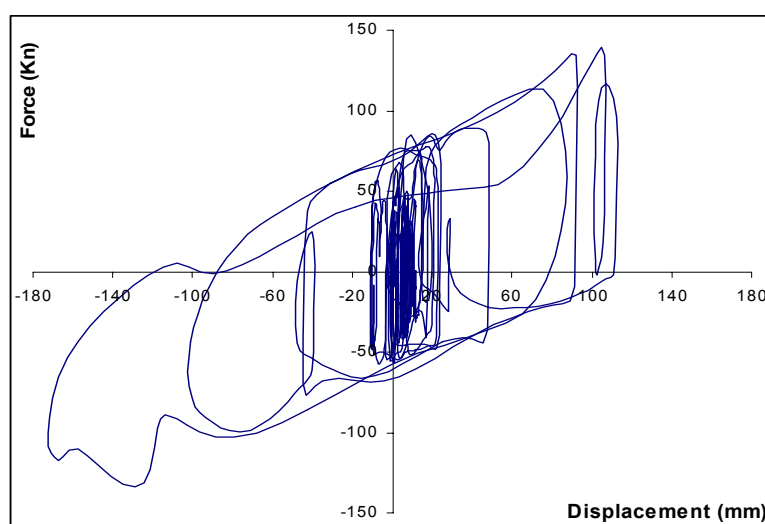
Το μοντέλο προσομοίωσης των μη γραμμικών μελών τύπου ISOLATOR 2 στο ETABS, βασίζεται στην υστερητική συμπεριφορά όπως αυτή περιγράφηκε από τους Wen και Park, Wen, Ang και προτάθηκε για την ανάλυση συστημάτων μόνωσης βάσης από τους Nagarajaiah, Reinhorn και Constantinou [11]. Η εισαγωγή της συμπεριφορά του εκκρεμούς στο εν λόγω μοντέλο, αναπτύχθηκε από τους Zayas και Low [18]. Λεπτομερής αναφορά στις εξισώσεις που συνθέτουν το μοντέλο αυτό παρατίθεται στο εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού SAP 2000 ver.8.



Οι χρησιμοποιούμενες στη μελέτη τιμές των παραπάνω παραμέτρων, λήφθηκαν από πειραματικές μετρήσεις εφεδράνων FPS, για διάφορες ακτίνες καμπυλότητας της επιφάνειας ολίσθησης (1m , 1,5m, 2m, 2,5m) και είναι οι εξής :

$$K_{el} = 100.000\text{kN/m}, f_{\max,0} = 0,12, f_{\max,p} = 0,05, f_{\min} = 0,04, \alpha = 42,9\text{sec/m}^{12}$$

Σημειώνεται ότι η τιμή του  $f_{\max}$ , που απαιτείται στο λογισμικό ανάλυσης, προκύπτει από το  $f_{\max,0}$  (μέγιστος συντελεστής τριβής για μηδενική πίεση) και  $f_{\max,p}$  (μέγιστος συντελεστής τριβής για υψηλές πιέσεις), σύμφωνα με την τυπολογία που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 1, και είναι 0,08 και 0,07 για τα δομικά σύστημα Α και Β αντίστοιχα.



**Σχήμα 2.17:** Χαρακτηριστικό διάγραμμα δύναμης – μετατόπισης μη γραμμικού μέλους εφεδράνου FPS, όπως προκύπτει μετά από την ανάλυση στο ETABS.

Ο Πίνακας 2.7 ομαδοποιεί τις περιπτώσεις μόνωσης των δομικών συστημάτων Α & Β με εφέδρανα εκκρεμούς - τριβής.

<sup>12</sup> Απαιτούμενες παράμετροι για την εύρεση του συντελεστή  $\mu$ , σύμφωνα με τη σχέση (1.44).

**Πίνακας 2.7 :** Ιδιότητες εφαρμοζόμενων εφεδράνων εκκρεμούς – τριβής στα δομικά συστήματα A & B.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α			ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β		
Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T (sec)	Ενεργός δυσκαμψία $K_{eff}$ (kN/m)	Ακτίνα καμπυλ. επιφ. ολίσθησης R (m)	Θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T (sec)	Ενεργός δυσκαμψία $K_{eff}$ (kN/m)	Ακτίνα καμπυλ. επιφ. Ολίσθησης R (m)
1,40	2.800	1,0	1,15	3.800	1,0
1,57	2.040	1,5	1,33	2.740	1,5
1,70	1.650	2,0	1,47	2.200	2,0
1,80	1.430	2,5	1,57	1.890	2,5
1,90	1.270	3,0	1,67	1.670	3,0

### 2.6.3 Επιπρόσθετη ιξώδης απόσβεση

Επιπλέον των περιγραφόμενων περιπτώσεων μόνωσης του κάθε δομικού συστήματος, μηχανισμοί επιπρόσθετης απόσβεσης εφαρμόστηκαν στο υπολογιστικό μοντέλο, για τη καταγραφή της συμπεριφοράς των δομημάτων στις συνθήκες αυτές.

Ο κύριος λόγος εφαρμογής επιπρόσθετης απόσβεσης είναι η ανάγκη μείωσης των μεγάλων μετακινήσεων που προκύπτουν υπό την επιβολή των NF καταγραφών παλμού, ιδιαίτερα σε συστήματα υψηλών ιδιοπεριόδων, δεδομένου μάλιστα ότι σημαντικοί έλεγχοι συμπεριφοράς (π.χ. λυγισμός σε παραμορφωμένη θέση) των LRB κατά το προκαταρκτικό σχεδιασμό, δεν ικανοποιούνται (κυρίως στο δομ. σύστ. Β).

Για την επίτευξη συμπληρωματικής, καθαρής ιξώδους απόσβεσης σε κάθε υλοποιούμενο σύστημα μόνωσης του δομικού συστήματος Α, εφαρμόστηκαν 28 επιπρόσθετα, διαξονικά, μη γραμμικά μέλη ιξώδους απόσβεσης, στις θέσεις των 28 υπαρχόντων διαξονικών, μη γραμμικών μελών υστερητικής συμπεριφοράς των μονωτήρων τύπου LRB ή FPS, ανάλογα με τη περίπτωση. Ο αριθμός των αντίστοιχων επιπρόσθετων μελών για το δομικό σύστημα Β, ανέρχεται στους 42 αποσβεστήρες.

Ο συντελεστής συμπληρωματικής ιξώδους απόσβεσης  $c$  κάθε συστήματος μόνωσης, επιλέγεται έτσι ώστε να καλύπτει ένα εφικτό εύρος εφαρμογής, δίδοντας ποσοστά επιπρόσθετης απόσβεσης που κυμαίνονται από 10% έως 35% περίπου. Η σχέση που συνδέει το συντελεστή με το αντίστοιχο ποσοστό απόσβεσης του

συστήματος, εξαρτάται αφενός από τη συνολική μάζα του κτιρίου που συμμετέχει στη διεύθυνση ενδιαφέροντος (X-Y), αφετέρου από τη συνολική οριζόντια δυσκαμψία του ήδη υπάρχοντος συστήματος μόνωσης, στην αντίστοιχη διεύθυνση.

$$c = 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot m = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot m = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{k \cdot m} \left( \frac{\text{kN} \cdot \text{sec}}{\text{m}} \right) \quad (2.6.2)$$

Έτσι, λαμβάνοντας υπ' όψη το πλήθος των αποσβεστήρων (28 για το δομικό σύστημα Α και 42 για το Β) και τη συνολική μάζα των κτιρίων, όπου και για τις δύο διευθύνσεις είναι ίση με 2.800 kN.sec<sup>2</sup>/m (δομικό σύστημα Α) και 4.600 kN.sec<sup>2</sup>/m (δομικό σύστημα Β), προκύπτει για την οριζόντια δυσκαμψία του εκάστοτε διαξονικού συστήματος μόνωσης K, διαφορετικός συντελεστής απόσβεσης c.

Για παράδειγμα, επιθυμώντας 20% συμπληρωματική ιξώδη απόσβεση στο σύστημα μόνωσης 42 μονωτήρων εκκρεμούς – τριβής με δυσκαμψία 2.100kN/m ο κάθε ένας, ο συντελεστής επιπρόσθετης απόσβεσης του συστήματος προκύπτει από τη σχέση :

$$\begin{aligned} 42 \cdot c &= 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot m = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot m = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{k \cdot m} = 2 \cdot 0,20 \cdot \sqrt{42 \cdot 2100 \cdot 4600} \Rightarrow \\ &\Rightarrow 42 \cdot c = 8057 \Rightarrow c = 191,83 \frac{\text{kN} \cdot \text{sec}}{\text{m}} \end{aligned} \quad (2.6.3)$$

Η επιπρόσθετη απόσβεση του συστήματος κατανέμεται σε κάθε αποσβεστήρα ιξώδους και έτσι ο συντελεστής απόσβεσης κάθε αποσβεστήρα υπολογίζεται ίσος με 191,56kN.sec/m.

Από την άλλη, για συντελεστή απόσβεσης c = 100 kN.sec/m, κάθε επιπρόσθετου αποσβεστήρα ιξώδους, εφαρμοζόμενου παράλληλα με το σύστημα μόνωσης του δομικού συστήματος Α, συνολικής δυσκαμψίας 28 x 1.209 kN/m = 33.852 kN/m, αποδίδεται επιπλέον ποσοστό απόσβεσης ίσο με 14,38%.

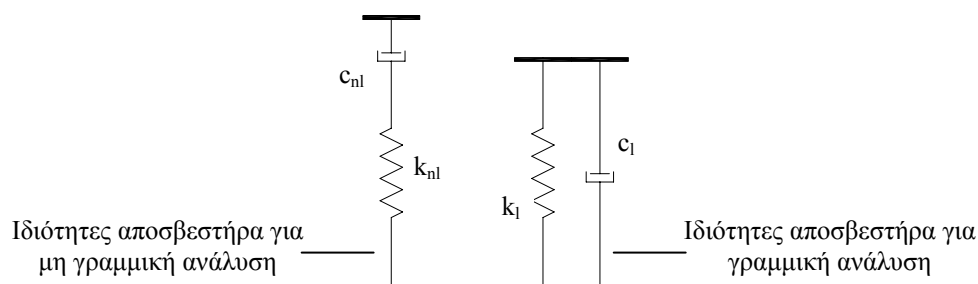
$$\begin{aligned} 28 \cdot c &= 2 \cdot \zeta \cdot \omega \cdot m = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot m = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{k \cdot m} = 2 \cdot \zeta \cdot \sqrt{28 \cdot 1209 \cdot 2800} \Rightarrow \\ &\Rightarrow 28 \cdot 100 = 19471,58 \cdot \zeta \Rightarrow \zeta = 14,38\% \end{aligned} \quad (2.6.4)$$

Στο σημείο αυτό παρατηρείται ότι η μοντελοποίηση των αποσβεστήρων ιξώδους, στο λογισμικό ανάλυσης ETABS, γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψη γραμμική ή μη

γραμμική συμπεριφορά του εν λόγω μέλους. Στη μη γραμμική ανάλυση ο αποσβεστήρας δρα ως ελατήριο που ενεργοποιείται σε σειρά με έμβολο, χρησιμοποιώντας την καθοριζόμενη δυσκαμψία του ελατηρίου και το συντελεστή απόσβεσης του εμβόλου. Αντίθετα, στη γραμμική ανάλυση ο αποσβεστήρας δρα ως ελατήριο που ενεργοποιείται παράλληλα με έμβολο, χρησιμοποιώντας επίσης τις αντίστοιχες ιδιότητες ελατηρίου – εμβόλου. Έτσι, για την επίτευξη καθαρής απόσβεσης, χωρίς τη συμμετοχή του ελατηρίου, ο αποσβεστήρας θα πρέπει υποχρεωτικά να μοντελοποιηθεί όπως ορίζει η μη γραμμική ανάλυση του, δηλαδή σε σειρά ελατήριο και έμβολο, επιδιώκοντας αμελητέα συμμετοχή του ελατηρίου, κάνοντας το αρκετά δύσκαμπτο. Η επαρκής τιμή της δυσκαμψίας καθορίζεται από το χαρακτηριστικό χρόνο  $\tau = c/k$ , ο οποίος θα πρέπει να είναι μια με δύο τάξεις μεγέθους μικρότερος από το χρονικό βήμα της χρονοϊστορίας φόρτισης. Για παράδειγμα, όταν  $c = 191\text{kN}\cdot\text{sec}/\text{m}$  και το βήμα χρονοϊστορίας φόρτισης είναι ίσο με  $0,005\text{sec}$ , επιλέγεται δυσκαμψία ελατηρίου ίση με  $382.000\text{kN}/\text{m}$  έτσι ώστε ο χαρακτηριστικός χρόνος  $\tau$  του ελατηρίου – εμβόλου, να προκύπτει :

$$\tau = \frac{c}{k} = \frac{191}{382000} = 0,0005\text{sec} \quad (2.6.5)$$

που είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερος από το χρονικό βήμα των  $0,005\text{sec}$ . Οπότε, η τιμή δυσκαμψίας  $382.000\text{kN}/\text{m}$  θεωρείται ικανοποιητική τιμή για τη μοντελοποίηση του εν λόγω αποσβεστήρα με συμπεριφορά καθαρής απόσβεσης.



**Σχήμα 2.17 :** Μοντελοποίηση αποσβ. ιζώδους στο ETABS, για γραμμική ή μη γραμμική ανάλυση [11, 12].

Στα δομικά συστήματα A & B, οι ιδιότητες διαξονικού αποσβεστήρα για μη γραμμική ανάλυση, εφαρμοζόμενου παράλληλα με το υπάρχον σύστημα ελαστομεταλλικών εφεδράνων με πυρήνα μολύβδου, προκύπτουν με βάση το

ελάχιστο βήμα των χρησιμοποιούμενων χρονοϊστοριών φόρτισης (0,005sec). Είναι λοιπόν :

- για  $c = 100 \text{ kN}\cdot\text{sec}/\text{m} \rightarrow K = 200.000 \text{ kN}/\text{m}$
- για  $c = 200 \text{ kN}\cdot\text{sec}/\text{m} \rightarrow K = 400.000 \text{ kN}/\text{m}$

Για τους εφαρμοζόμενους συντελεστές, το επιπρόσθετο ποσοστό απόσβεσης που προκύπτει στα διάφορα επίπεδα ενεργούς δυσκαμψίας, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 2.8:** Αναπτυσσόμενο ποσοστό απόσβεσης για διάφορα επίπεδα ενεργούς δυσκαμψίας των μονωτήρων LRB, εγκαταστημένων στα δομικά συστήματα A & B.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 7,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2429	10,15%	20,29%
T=1,71	1681	12,20%	24,39%
T=1,96	1209	14,38%	28,76%
T=2,20	916	16,52%	33,04%
T=2,43	734	18,46%	36,91%

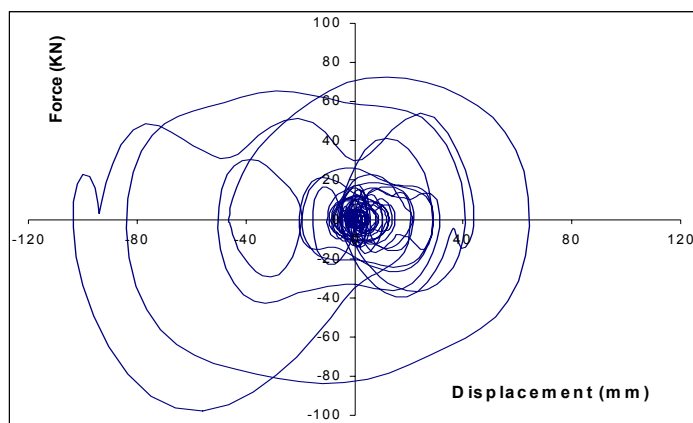
ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 7,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2144	10,32%	20,64%
T=1,70	1608	11,91%	23,83%
T=1,95	1211	13,73%	27,46%
T=2,21	924	15,72%	31,43%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 10%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2429	10,15%	20,29%
T=1,73	1647	12,32%	24,64%
T=1,96	1207	14,39%	28,78%
T=2,20	917	16,51%	33,02%
T=2,44	730	18,51%	37,01%

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 10%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,50	2126	10,36%	20,72%
T=1,71	1596	11,96%	23,92%
T=1,95	1200	13,79%	27,58%
T=2,20	933	15,64%	31,28%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 12,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2431	10,14%	20,28%
T=1,71	1682	12,19%	24,38%
T=1,96	1211	14,37%	28,74%
T=2,20	922	16,47%	32,93%
T=2,43	737	18,42%	36,84%

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 12,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,50	2126	10,36%	20,72%
T=1,71	1595	11,96%	23,93%
T=1,96	1198	13,80%	27,61%
T=2,21	927	15,69%	31,38%
T=2,43	758	17,35%	34,71%



**Σχήμα 2.18:** Χαρακτηριστικό διάγραμμα δύναμης – μετατόπισης μη γραμμικού αποσβεστήρα ιζώδους, όπως προκύπτει μετά από την ανάλυση στο ETABS.

Οι ιδιότητες διαζονικού αποσβεστήρα για μη γραμμική ανάλυση, εφαρμοζόμενου παράλληλα με το υπάρχον σύστημα εκκρεμούς – τριβής, στα δομικά συστήματα Α & Β, για διάφορα επίπεδα ενεργούς δυσκαμψίας και για επιθυμητές τιμές ποσοστών απόσβεσης, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.9.

**Πίνακας 2.9:** Ιδιότητες διαζονικού αποσβεστήρα ιζώδους εφαρμοζόμενου παράλληλα με τα FPS.

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ FPS					
1η ιδιοπερίοδος	K <sub>eff</sub>	επιπρόσθετη απόσβεση		δυσκαμψία ελατηρίου μη γραμμικού αποσβεστήρα	
		(+) 20%	(+) 35%	(+) 20%	(+) 35%
T=1,40	2800	212	370	423.320	740.810
T=1,57	2040	181	316	361.331	632.329
T=1,70	1650	162	284	324.962	568.683
T=1,80	1430	151	265	302.523	529.415
T=1,90	1270	143	249	285.096	498.919

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ FPS					
1η ιδιοπερίοδος	K <sub>eff</sub>	επιπρόσθετη απόσβεση		δυσκαμψία ελατηρίου μη γραμμικού αποσβεστήρα	
		(+) 20%	(+) 35%	(+) 20%	(+) 35%
T=1,15	3800	258	452	516.103	903.180
T=1,33	2740	219	383	438.248	766.933
T=1,47	2200	196	344	392.695	687.217
T=1,57	1890	182	318	363.978	636.962
T=1,67	1670	171	299	342.139	598.743

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 240 μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις έτσι ώστε να καλυφθεί το εύρος των εξεταζόμενων περιπτώσεων.

Στα Παραρτήματα Γ, Ε και ΣΤ παρουσιάζονται επιλεγμένα τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δομικών συστημάτων, όπως αυτά προκύπτουν με την εφαρμογή των προαναφερθέντων ομάδων μονωτήρων, για διάφορα επίπεδα απόσβεσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

---

#### 3.1 Εισαγωγή

Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων της παραμετρικής μελέτης αναπτύσσεται σε τρεις ομάδες αξιολόγησης :

- σύγκριση της σεισμικής απόκρισης των πακτωμένων δομικών συστημάτων με τα αντίστοιχα μονωμένα,
- προκύπτουσες συνέπειες στη σεισμική απόκριση των δομικών συστημάτων από την επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στα εφαρμοζόμενα συστήματα μόνωσης (LRB & FPS),
- σύγκριση της αποτελεσματικότητας των δύο διαφορετικών συστημάτων μόνωσης (LRB & FPS) στη συμπεριφορά των επιλεγμένων δομικών συστημάτων.

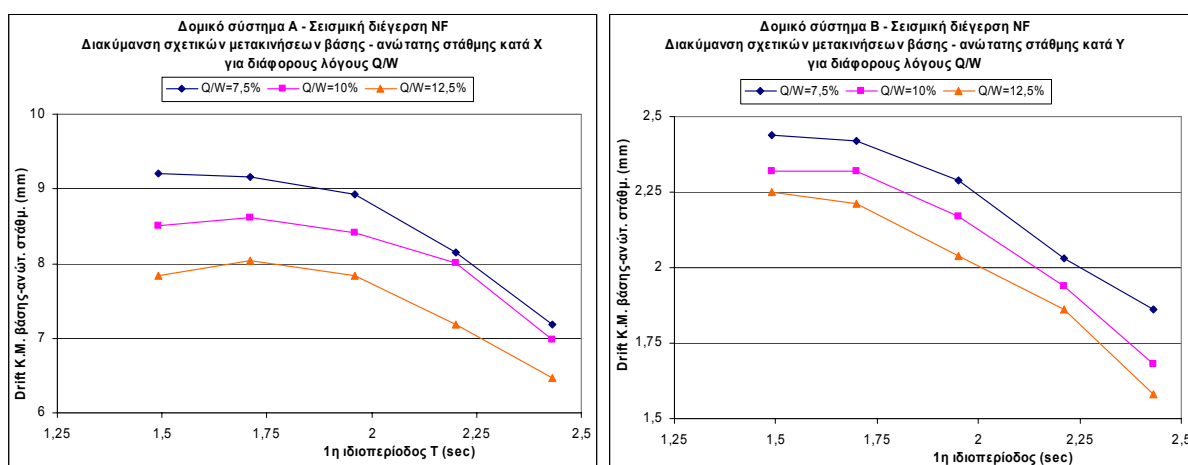
Με τον όρο σεισμική απόκριση νοείται γενικά η ένταση και η μετακίνηση / παραμόρφωση που προκύπτει σε τυχόν σημείο του δομικού συστήματος, λόγω της σεισμικής δόνησης του εδάφους. Στη παρούσα εργασία η σεισμική απόκριση επικεντρώνεται στις σχετικές μετακινήσεις κέντρου μάζας βάσης – ανώτατου ορόφου και στις αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις κάθε ορόφου των δομικών συστημάτων. Υπενθυμίζεται ότι η έκθεση των αποτελεσμάτων αφορά τις διευθύνσεις (X ή Y) στις οποίες παρατηρείται η μέγιστη απόκριση.



### 3.2 Σεισμική απόκριση των μονωμένων δομικών συστημάτων σε σχέση με τα αντίστοιχα πακτωμένα

Εξετάζοντας τα δομικά συστήματα A & B, με τη περίπτωση της σεισμικής διέγερσης NF<sup>13</sup> και με τη παραδοχή της εφικτής λειτουργίας του συστήματος μόνωσης με LRB, ανεξάρτητα των αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων σε αυτό (όπου σε κάποιες περιπτώσεις καθιστούν απαγορευτική την εφαρμογή του), παρατηρούνται τα ακόλουθα :

- αυξάνοντας το λόγο  $Q/W$ , δηλαδή αυξάνοντας τη διάμετρο του πυρήνα μολύβδου, μειώνονται οι σχετικές μετακινήσεις κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης, αυξάνεται δηλαδή η ικανότητα σεισμικής απορρόφησης από το σύστημα μόνωσης. Έτσι, η μέγιστη μείωση των σχετικών μετακινήσεων βάσης – ανώτατου ορόφου παρατηρείται στους λόγους  $Q/W=12,5\%$  και καταλήγει, για το δομικό σύστημα A 30% (6,47cm) και για το B 68% (1,58cm) μικρότερη από τις αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις των αντίστοιχα πακτωμένων δομικών συστημάτων (9,25 & 4,88cm).



**Σχήμα 3.1:** Διάγραμμα σχετικής μετακίνησης βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB δομικών συστημάτων A & B για διάφορους λόγους  $Q/W$  (σεισμική διέγερση NF).

<sup>13</sup> Δομικό σύστημα A : NF230 κατά X και NF140 κατά Y. Δομικό σύστημα B : NF140 κατά X και NF230 κατά Y. Υπενθυμίζεται επίσης ότι τα εκτιθέμενα αποτελέσματα επικεντρώνονται στις διευθύνσεις μέγιστης απόκρισης οι οποίες είναι αυτές που διεγείρονται από την καταγραφή παλμού (NF230).

**Πίνακας 3.1:** Αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB και των αντίστοιχα πακτωμένων δομικών συστημάτων A & B (σεισμική διέγερση NF).

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ NF				ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ NF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%	T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
2,43	7,19	6,98	6,47	2,43	1,86	1,68	1,58
2,2	8,15	8,01	7,18	2,21	2,03	1,94	1,86
1,96	8,93	8,41	7,83	1,95	2,29	2,17	2,04
1,71	9,16	8,62	8,04	1,7	2,42	2,32	2,21
1,49	9,2	8,5	7,84	1,49	2,44	2,32	2,25

Δ.Σ. Α - Μέγιστη μετατόπιση Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	9,25
Διεύθυνση Υ	7,6

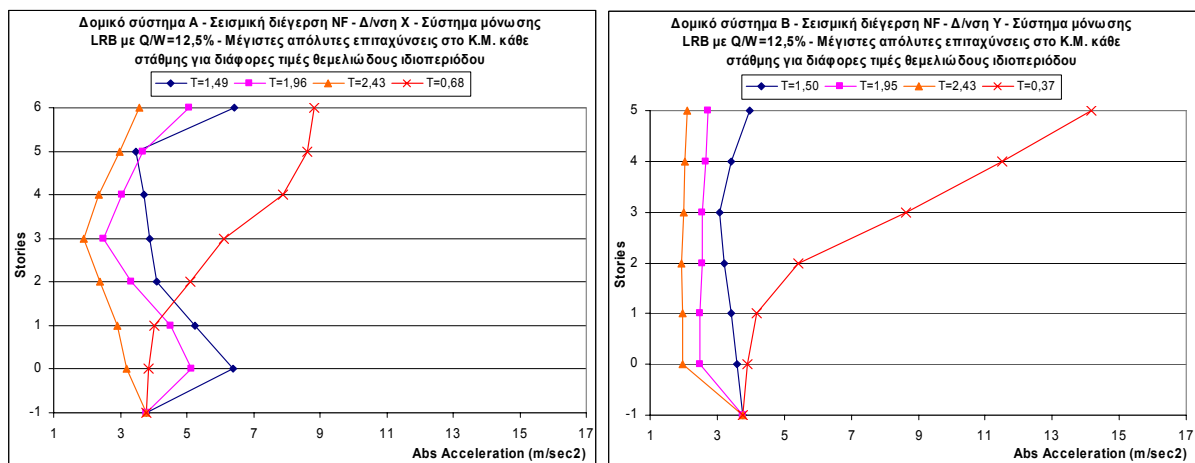
  

Δ.Σ. Β - Μέγιστη μετατόπιση Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	4,88
Διεύθυνση Υ	4,57

Η περιγραφόμενη μείωση των σχετικών μετακινήσεων δεν αναπτύσσεται μόνο με την αύξηση των λόγων  $Q/W$  αλλά επιπλέον, συμβάλει σε αυτή η μετάθεση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου των δομικών συστημάτων σε υψηλές περιόδους (γεγονός αναμενόμενο μια που η επίτευξη υψηλών περιόδων αποτελεί το στόχο στην εφαρμογή της σεισμικής μόνωσης). Είναι χαρακτηριστική η περίπτωση του δομικού συστήματος Α όπου για λόγο  $Q/W = 7.5\%$  οι σχετικές μετακινήσεις βάσης - ανώτατου ορόφου ξεκινούν από τιμές αντίστοιχες του πακτωμένου δομήματος (9,20cm με  $T=1,49\text{sec}$ ) και σταδιακά καταλήγουν μειωμένες κατά 22% (7,19cm), με την μετάθεση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του συστήματος στα 2,43sec. Όπως φαίνεται βέβαια αυτό δεν αποτελεί γενικότητα στο σύνολο των εξεταζόμενων περιπτώσεων και κατά συνέπεια δεν μπορεί να γενικευτεί σε πλήθος δομικών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο ίδιο δομικό σύστημα Α, όπου η γεωμετρία της κάτοψης του δεν παρουσιάζει την ίδια κανονικότητα με αυτή του δομήματος Β, παρουσιάζεται μικρή άνοδος των σχετικών μετακινήσεων με την αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, η οποία γίνεται πιο έντονη σε υψηλούς λόγους  $Q/W$  (10% & 12,5%). Όμως, η αύξηση αυτή τυχαίνει σε περιορισμένο εύρος περιόδων (1,5 – 1,75sec), χωρίς να μεταβάλει τη χαρακτηριστική μορφή των σχηματιζόμενων καμπύλων σχετικής μετατόπισης – θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για σεισμικές διεγέρσεις τύπου NF.

- Ευεργετική ως επί το πλείστον χαρακτηρίζεται η ανάπτυξη των επιταχύνσεων σε κάθε όροφο των μονωμένων δομικών συστημάτων παρουσιάζοντας

σημαντική μείωση σε σχέση με τα αντίστοιχα πακτωμένα. Χαρακτηριστική μάλιστα είναι η περαιτέρω μείωση των απόλυτων και σχετικών επιταχύνσεων κάθε ορόφου με της σταδιακή αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου των συστημάτων. Όμως, αντίθετα με τις σχετικές μετακινήσεις, η αύξηση του λόγου  $Q/W$  προκαλεί έντονες διακυμάνσεις στις απόλυτες επιταχύνσεις κάθε ορόφου του δομικού συστήματος Α, διαταράσσοντας τη σχετικά ομαλή κατανομή τους όπως αυτή παρουσιάζεται για διάφορες θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους, στο χαμηλό λόγο  $Q/W = 7.5\%$ , προκαλώντας έτσι υψηλές σχετικές επιταχύνσεις που μάλιστα σε κάποιες στάθμες υπερβαίνουν τις αντίστοιχες των πακτωμένων δομικών συστημάτων (στάθμες 1, 2 & 6). Επιπρόσθετα, είναι σημαντική η αύξηση των επιταχύνσεων στην ανώτατη στάθμη (6), στους υψηλούς λόγους  $Q/W$  και σε χαμηλές θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους, χωρίς βέβαια να παρατηρείται υπέρβαση των αντίστοιχων τιμών της περίπτωσης πάκτωσης. Πιο ομαλή και πιο αποτελεσματική ανάπτυξη των επιταχύνσεων απεικονίζεται στα αντίστοιχα διαγράμματα του δομικού συστήματος Β. Έτσι, για μια ακόμα φορά επιβεβαιώνεται η ουσιαστική επιρροή της διαφορετικής γεωμετρίας κάτοψης των δομικών συστημάτων στην εξέλιξη της σεισμικής τους συμπεριφοράς. Πλήρης εικόνα των περιγραφόμενων για τις επιταχύνσεις κάθε στάθμης αποκτάτε με τη μελέτη των διαγραμμάτων του Παραρτήματος Γ.



**Σχήμα 3.2:** Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε ορόφου των μονωμένων δομικών συστημάτων Α & Β, υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση NF ( $LRB - Q/W = 12.5\%$ ).

**Πίνακας 3.2:** Αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB και των αντίστοιχα πακτωμένων δομικών συστημάτων A & B (σεισμική διέγερση NF).

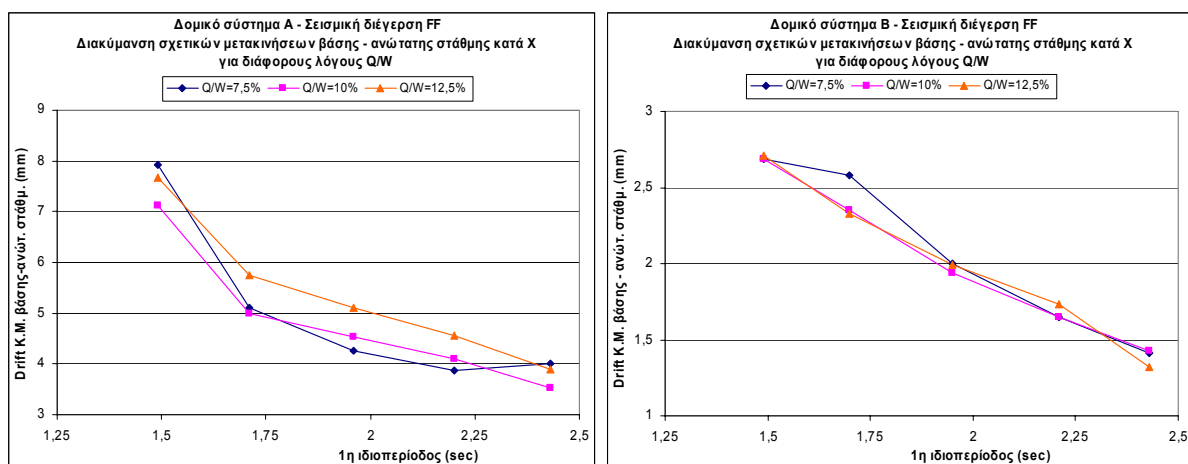
ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ NF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
1,49	4,8	5,76	6,44
1,96	4,36	4,94	5,08
2,43	3,92	3,98	3,58
0,68	8,81		
έδαφος	3,78		

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ NF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
1,5	3,82	3,96	3,97
1,95	3,2	2,9	2,74
2,43	2,9	2,3	2,1
0,37	14,16		
έδαφος	3,78		

Εξετάζοντας τα μονωμένα με LRB δομικά συστήματα A & B, με τη περίπτωση της σεισμικής διέγερσης FF<sup>14</sup>, παρατηρούνται τα ακόλουθα :

- Η διαμόρφωση των καμπυλών σχετικής μετακίνησης βάσης – ανώτατης στάθμης εξελίσσεται διαφορετική από την αντίστοιχη των NF καταγραφών. Πιο συγκεκριμένα η μείωση των σχετικών μετακινήσεων με τη μετάθεση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του συστήματος σε υψηλότερες περιόδους, εξελίσσεται πιο έντονα στις μικρές περιόδους και η διακύμανση του λόγου Q/W δεν δίνει σαφείς ενδείξεις μια που ακανόνιστα, σε κάποιες περιόδους μειώνει την απόκριση ενώ σε άλλες την αυξάνει. Μάλιστα στο πιο «κανονικό» δομικό σύστημα B η μεταβολή του λόγου Q/W φαίνεται ότι επηρεάζει ελάχιστα την απόκριση, σε ότι αφορά της σχετικές μετακινήσεις βάσης - ανώτατης στάθμης. Συγκρίνοντας τα μεγέθη των εν λόγω μετακινήσεων με τα αντίστοιχα των πακτωμένων δομημάτων προκύπτουν μειώσεις από 50% έως 75% για το δομικό σύστημα A και από 48% έως 75% για το B. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι η συμβολή της μόνωσης στα δομικά συστήματα που καταπονούνται από ανάλογες σεισμικές διεγέρσεις είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική.

<sup>14</sup> Δομικό σύστημα A : FF360 κατά X και FF090 κατά Y. Δομικό σύστημα B : FF090 κατά X και FF360 κατά Y. Υπενθυμίζεται επίσης ότι τα εκτιθέμενα αποτελέσματα επικεντρώνονται στη διεύθυνση μέγιστης απόκρισης όπου αυτή και για τα δύο δομικά συστήματα, είναι η διεύθυνση X.



**Σχήμα 3.3:** Διάγραμμα σχετικής μετακίνησης βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB δομικών συστημάτων A & B για διάφορους λόγους  $Q/W$  (σεισμική διέγερση FF).

**Πίνακας 3.3:** Αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB και των αντίστοιχα πακτωμένων δομικών συστημάτων A & B (σεισμική διέγερση FF).

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ FF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
2,43	4,01	3,52	3,89
2,2	3,88	4,09	4,55
1,96	4,27	4,53	5,1
1,71	5,11	5	5,74
1,49	7,93	7,13	7,68

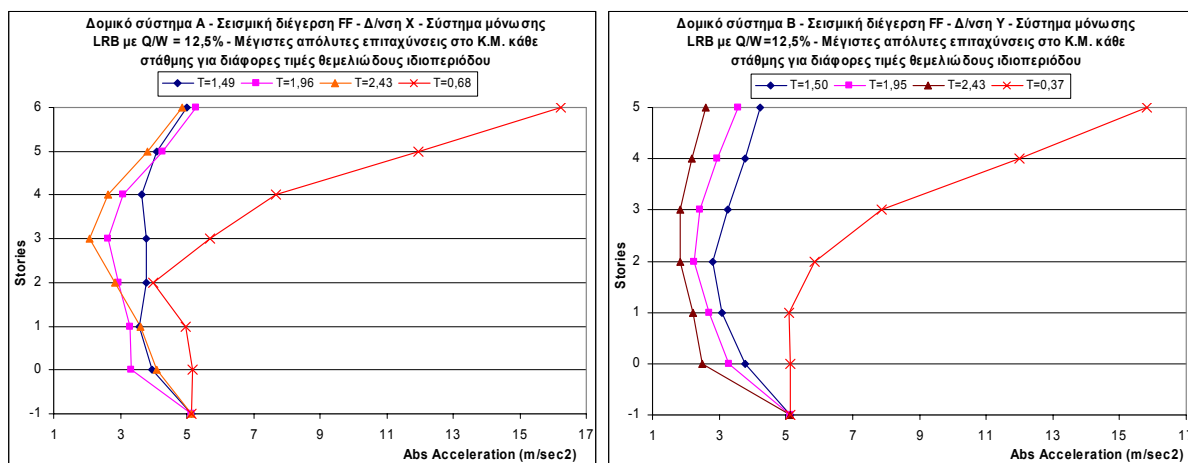
Δ.Σ. Α - Μέγιστη μετατόπιση Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	15,76
Διεύθυνση Υ	8,01

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ FF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
2,43	1,41	1,43	1,32
2,21	1,65	1,65	1,73
1,95	2	1,94	1,99
1,7	2,58	2,35	2,33
1,49	2,69	2,69	2,71

Δ.Σ. Β - Μέγιστη μετατόπιση Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	5,17
Διεύθυνση Υ	4,11

- Επίσης αποτελεσματική παρουσιάζεται η ανάπτυξη των επιταχύνσεων (απόλυτων και σχετικών) σε κάθε όροφο των μονωμένων δομικών συστημάτων παρουσιάζοντας σημαντική μείωση σε σχέση με τα αντίστοιχα πακτωμένα. Χαρακτηριστική επίσης είναι η περαιτέρω μείωση τους με τη σταδιακή αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου των συστημάτων. Η μέγιστη μείωση των απόλυτων επιταχύνσεων παρουσιάζεται στην ανώτατη στάθμη των δομικών συστημάτων και είναι της τάξης του 70% τόσο για το δόμημα Α όσο και για το Β. Εμφανής επίσης είναι η σημαντική μείωση – ομαλοποίηση των σχετικών επιταχύνσεων με εξαίρεση των τιμών της πρώτης στάθμης κάθε κτιρίου. Επιπρόσθετα, μελετώντας τα εκτιθέμενα στο Παράρτημα Γ διαγράμματα

επιταχύνσεων προκύπτει ότι η μεταβολή του λόγου  $Q/W$  επηρεάζει ελάχιστα την απόκριση των δομικών συστημάτων, σε ότι αφορά τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις σε κάθε στάθμη τους.



**Σχήμα 3.4:** Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις σε κάθε όροφο των μονωμένων δομικών συστημάτων A & B, υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση FF (LRB –  $Q/W=12.5\%$ ).

**Πίνακας 3.4:** Αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB και των αντίστοιχα πακτωμένων δομικών συστημάτων A & B (σεισμική διέγερση FF).

ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ FF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
1,49	4,95	4,5	5
1,96	4,19	4,88	5,28
2,43	4,05	4,77	4,85
0,68	16,25		
έδαφος	5,13		

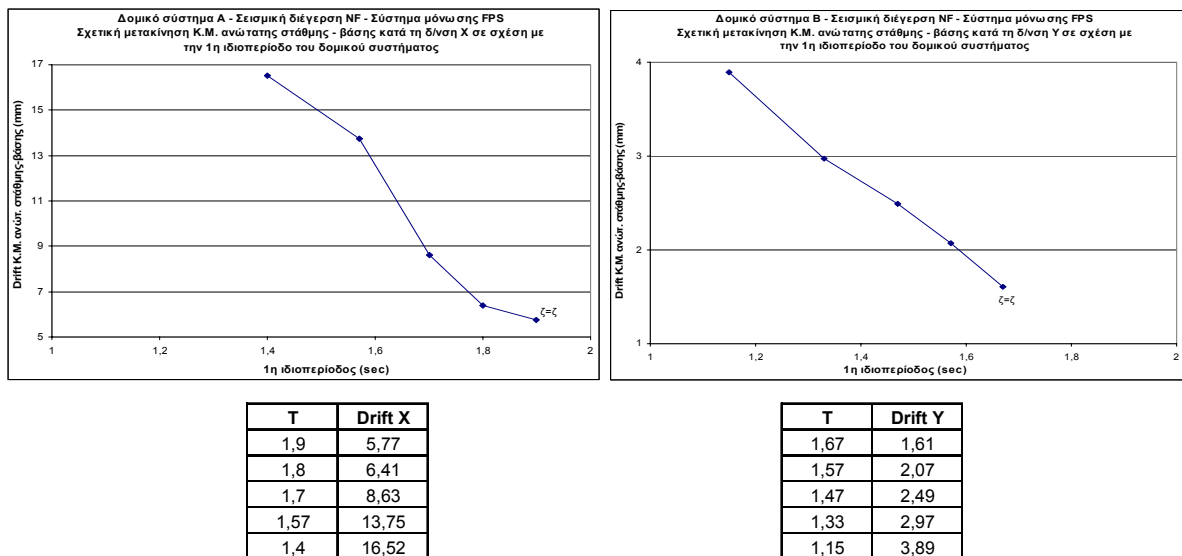
ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β - ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ FF			
T	Q/W=7,5%	Q/W=10%	Q/W=12,5%
1,5	4,17	4,2	4,22
1,95	3,47	3,48	3,57
2,43	2,85	2,89	2,6
0,37	15,81		
έδαφος	5,14		

Εξετάζοντας τα δομικά συστήματα A & B, με τη περίπτωση της σεισμικής διέγερσης NF<sup>15</sup> και με τη παραδοχή της εφικτής λειτουργίας του συστήματος μόνωσης με FPS, ανεξάρτητα των αναπτυσσόμενων μετατοπίσεων σε αυτό (όπου σε όλες τις περιπτώσεις καθιστούν απαγορευτική την εφαρμογή του), παρατηρούνται τα ακόλουθα :

- Όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης, εκ πρώτης όψεως παρατηρείται η έντονη τάση μείωσης τους με την

<sup>15</sup> Δομικό σύστημα A : NF230 κατά X και NF140 κατά Y. Δομικό σύστημα B : NF140 κατά X και NF230 κατά Y. Υπενθυμίζεται επίσης ότι τα εκτιθέμενα αποτελέσματα επικεντρώνονται στις διευθύνσεις μέγιστης απόκρισης οι οποίες είναι αυτές που διεγείρονται από την καταγραφή παλμού (NF230).

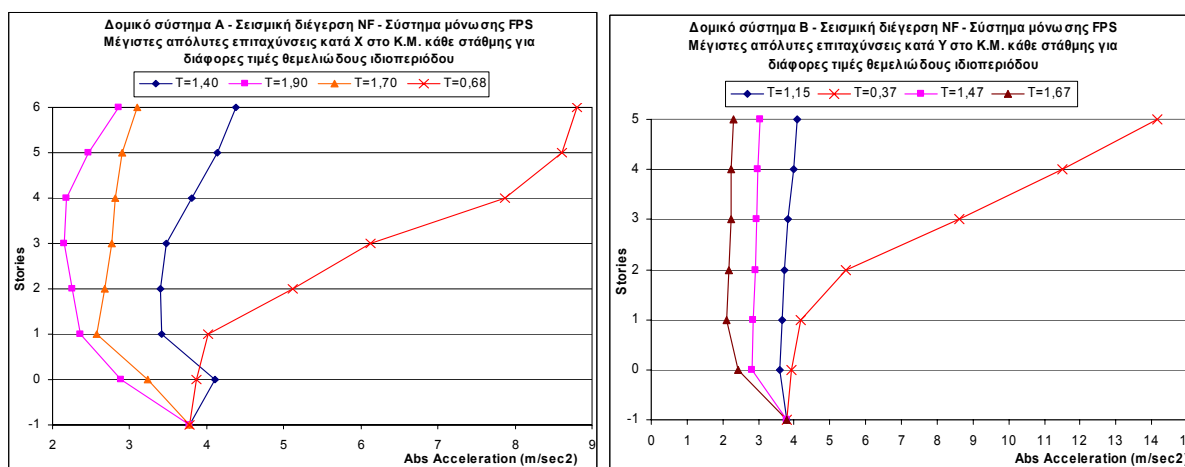
μετάθεση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου σε υψηλότερες τιμές. Για το δομικό σύστημα Α, τα μεγέθη των σχετικών μετακινήσεων στις χαμηλές περιόδους υπερβαίνουν κατά πολύ τα αντίστοιχα της περίπτωσης πάκτωσης (9,25cm), ενώ θετικά αποτελέσματα παρατηρούνται μετά τα 1,7sec, με την καλύτερη μορφή τους στα 1,90sec όπου επιτυγχάνεται μείωση της τάξης του 38%. Αντίθετα στο δομικό σύστημα Β η μόνωση παρουσιάζεται αποτελεσματική μια που για όλες τις επιλεγμένες θεμελιώδεις ιδιοπεριόδους η μείωση των σχετικών μετακινήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες του πακτωμένου συστήματος, κυμαίνεται από 20% έως 67%. Ενώ λοιπόν, η σεισμική διέγερση NF αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά από το εν λόγω σύστημα μόνωσης (FPS) εφαρμοζόμενο στο δομικό σύστημα Β, ο συνδυασμός της με την συγκεκριμένη μορφολογία του δομικού συστήματος Α οδηγεί σε ιδιαίτερα δυσμενείς αποκρίσεις, σε κάποιο εύρος περιόδων.



**Σχήμα 3.5:** Αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων Α & Β (σεισμική διέγερση NF).

- Παρατηρώντας την ανάπτυξη των απόλυτων επιταχύνσεων σε κάθε όροφο των δομικών συστημάτων διακρίνουμε την αποτελεσματικότητα του συστήματος μόνωσης FPS σε όλο το εύρος των επιλεγμένων περιόδων και στα δυο κτίρια. Επίσης, εμφανής είναι η περαιτέρω μείωση των επιταχύνσεων με τη σταδιακή αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου των συστημάτων. Η μέγιστη μείωση των απόλυτων επιταχύνσεων παρουσιάζεται στην ανώτατη στάθμη των δομικών

συστημάτων και υπερβαίνει το 70% στις υψηλές περιόδους, τόσο για το δόμημα Α όσο και για το Β.



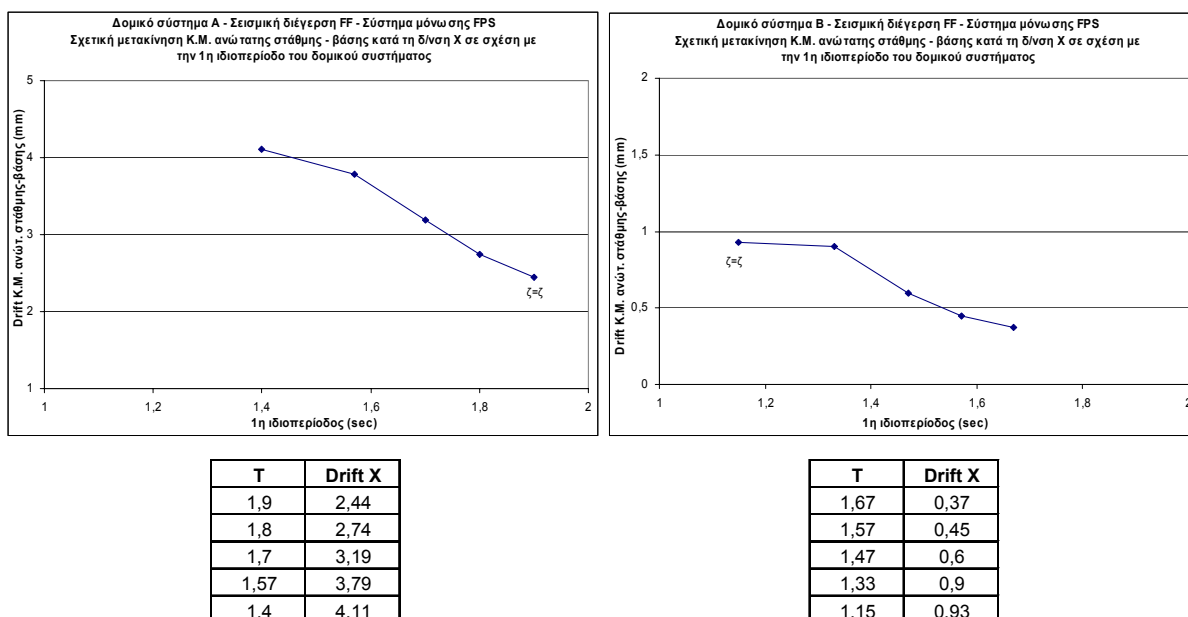
**Σχήμα 3.6:** Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις σε κάθε όροφο των μονωμένων (FPS) δομικών συστημάτων Α & Β, υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση NF.

Τέλος, η συμπεριφορά της απόκρισης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων, με τη περίπτωση της σεισμικής διέγερσης FF<sup>16</sup> παρατίθεται στα ακόλουθα διαγράμματα :

- Αν και η σεισμική διέγερση είναι αρκετά ισχυρή όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες εδαφικές επιταχύνσεις, η εφαρμογή του εν λόγω συστήματος μόνωσης και στα δύο δομικά συστήματα παρουσιάζεται ιδιαίτερα αποτελεσματική. Έτσι, για το μεν δομικό σύστημα Α η μείωση των σχετικών μετακινήσεων του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης σε σχέση με τη περίπτωση πακτωμένου δομήματος, ξεκινά από 55% και αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του συστήματος, καταλήγοντας στα 74%. Αντίστοιχα, η μείωση των σχετικών μετακινήσεων στο δομικό σύστημα Β κυμαίνεται από 80% έως 92%. Σε αυτή λοιπόν τη περίπτωση φόρτισης, η «μη ευνοϊκή» γεωμετρία κάτοψης του δομικού συστήματος Α, δεν φαίνεται να επηρεάζει την απόκρισή του, όταν αυτό μονώνεται σεισμικά με FPS.

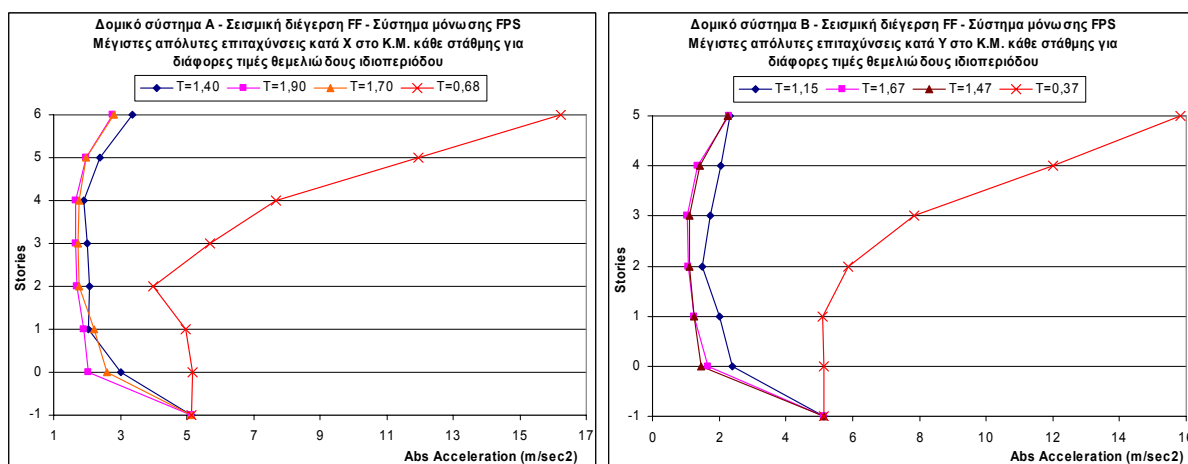
<sup>16</sup> Δομικό σύστημα Α : NF230 κατά Χ και NF140 κατά Υ. Δομικό σύστημα Β : NF140 κατά Χ και NF230 κατά Υ. Υπενθυμίζεται επίσης ότι τα εκτιθέμενα αποτελέσματα επικεντρώνονται στη διεύθυνση μέγιστης απόκρισης όπου αυτή και για τα δύο δομικά συστήματα, είναι η διεύθυνση Χ.





**Σχήμα 3.7:** Αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων A & B (σεισμική διέγερση FF).

- Όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις, οι ενδείξεις είναι εξίσου ευεργετικές χωρίς όμως να παρουσιάζονται σημαντικές βελτιώσεις στην απόκριση των δομικών συστημάτων με την αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου τους. Η μέγιστη μείωση των επιταχύνσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες που αναπτύσσονται στη περίπτωση των πακτωμένων δομημάτων ανέρχεται στα 83% και 86% για τα δομικά συστήματα A και B αντίστοιχα.



**Σχήμα 3.8:** Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις σε κάθε όροφο των μονωμένων (FPS) δομικών συστημάτων A & B, υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση FF.

Οι πίνακες που ακολουθούν προβάλλουν ομαδοποιημένα τις περιγραφόμενες διαπιστώσεις της παραγράφου αυτής.

**Πίνακας 3.5:** Μέγιστες και ελάχιστες τιμές αναπτυσσόμενων σχετικών μετακινήσεων κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης, των πακτωμένων και μονωμένων δομικών συστημάτων A & B υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση NF & FF.

Σχετικές μετακινήσεις Κ.Μ. βάσης - ανώτατης στάθμης (cm) για σεισμική διέγερση NF									
Πάκτωση	LRB		% μείωσης από τα LRB		FPS		% μείωσης από τα FPS		
	max	min	min	max	max	min	min	max	
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α</b>	9,25 (X) & 7,60 (Y)	9,2 (X) T=1,49-Q/W=7,5%	6,47 (X) T=2,43-Q/W=12,5%	0%	30%	16,52 (X) - T=1,40	5,77 (X) - T=1,9	0%	38%
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β</b>	4,88 (X) & 4,57(Y)	2,44 (X) T=1,49-Q/W=7,5%	1,58 (X) T=2,43-Q/W=12,5%	50%	68%	3,89 (Y) - T=1,15	1,61 (Y) - T=1,67	15%	65%

Σχετικές μετακινήσεις Κ.Μ. βάσης - ανώτατης στάθμης (cm) για σεισμική διέγερση FF									
Πάκτωση	LRB		% μείωσης από τα LRB		FPS		% μείωσης από τα FPS		
	max	min	min	max	max	min	min	max	
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α</b>	15,76 (X) & 8,01(Y)	7,93 (X) T=1,49-Q/W=7,5%	3,89 (X) T=2,43-Q/W=12,5%	50%	75%	4,11 (X) - T=1,40	2,44 (X) - T=1,9	74%	85%
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β</b>	5,17 (X) & 4,11(Y)	2,71 (X) T=1,49-Q/W=12,5%	1,32 (X) T=2,43-Q/W=12,5%	48%	74%	0,93 (Y) - T=1,15	0,37 (Y) - T=1,67	82%	93%

**Πίνακας 3.6:** Μέγιστες και ελάχιστες τιμές αναπτυσσόμενων απόλυτων επιταχύνσεων ανώτατης στάθμης, των πακτωμένων και μονωμένων δομικών συστημάτων A & B υποβαλλόμενα σε σεισμική διέγερση NF & FF.

Απόλυτες επιταχύνσεις Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (m/sec2) για σεισμική διέγερση NF									
Πάκτωση	LRB		% μείωσης από τα LRB		FPS		% μείωσης από τα FPS		
	max	min	min	max	max	min	min	max	
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α</b>	8,81 (X)	6,44 (X) T=1,49-Q/W=12,5%	3,58 (X) T=2,43-Q/W=12,5%	27%	59%	4,38 (X) - T=1,40	2,86 (X) - T=1,9	50%	68%
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β</b>	14,16 (X)	3,97 (Y) T=2,43-Q/W=12,5%	2,10 (Y) T=2,43-Q/W=12,5%	72%	85%	4,09 (Y) - T=1,15	2,3 (Y) - T=1,67	71%	84%

Απόλυτες επιταχύνσεις Κ.Μ. ανώτατης στάθμης (m/sec2) για σεισμική διέγερση FF									
Πάκτωση	LRB		% μείωσης από τα LRB		FPS		% μείωσης από τα FPS		
	max	min	min	max	max	min	min	max	
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α</b>	16,25 (X)	5,28 (X) T=1,96-Q/W=12,5%	4,05 (X) T=2,43-Q/W=7,5%	68%	75%	4,36 (X) - T=1,40	2,79 (X) - T=1,9	73%	83%
<b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β</b>	15,81 (X)	4,22 (Y) T=2,43-Q/W=12,5%	2,60 (Y) T=2,43-Q/W=12,5%	73%	84%	2,34 (Y) - T=1,15	2,29 (Y) - T=1,67	85%	86%

Συνοψίζοντας σχολιάζεται ότι η εγκατάσταση συστημάτων μόνωσης LRB ή FPS στα δομικά συστήματα A & B προκαλεί σημαντικές βελτιώσεις στην ήδη επιβαρημένη συμπεριφορά που προκύπτει όταν αυτά εξετάζονται ως πακτωμένα. Βέβαια, σε δύο περιπτώσεις η εφαρμογή τους οδηγεί στην ανάπτυξη δυσμενέστερης απόκρισης, όσον αφορά τις σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανωδομής. Πιο συγκεκριμένα αυτό παρουσιάζεται στο δομικό σύστημα A όπου εκτίθεται η «ασθενής» (όσον αφορά τη γεωμετρία της) διάταξη κάτοψης στη διεύθυνση επιβολής της NF καταγραφής παλμού

(δ/νση  $X$ ) και για χαμηλές τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου. Κάτι αντίστοιχο δεν παρατηρείται στο πιο στιβαρό δομικό σύστημα B, αντίθετα οι παραγόμενες τιμές απόκρισης είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικές (όμως με χαμηλά ποσοστά μείωσης των σχετικών μετακινήσεων για σύστημα μόνωσης FPS χαμηλών ιδιοπεριόδων). Επιπρόσθετα της αρνητικής επιρροής των συστημάτων μόνωσης στις σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης του δομικού συστήματος A, υπό την επιβολή της διέγερσης NF, υπενθυμίζεται και ο σχολιασμός για την άστατη παρουσία των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων κάθε ορόφου, ιδιαίτερα σε υψηλούς λόγους  $Q/W$  για τα LRB, με αποτέλεσμα την δημιουργία σχετικών επιταχύνσεων δυσμενέστερων των αντίστοιχων της περίπτωση του πακτωμένου δομήματος.

Από την άλλη, η συμπεριφορά των συστημάτων που διεγείρονται από την FF σεισμική διέγερση προβάλλει πολύ καλύτερη από την αντίστοιχη της περίπτωσης των πακτωμένων δομημάτων, με το σύστημα μόνωσης των FPS να υπερισχύει του LRB, σε ότι αφορά τις χαμηλότερες παραγόμενες σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης αλλά και τις αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις κάθε ορόφου.

Στη προσπάθεια γενίκευσης των περιγραφόμενων στη παράγραφο αυτή, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

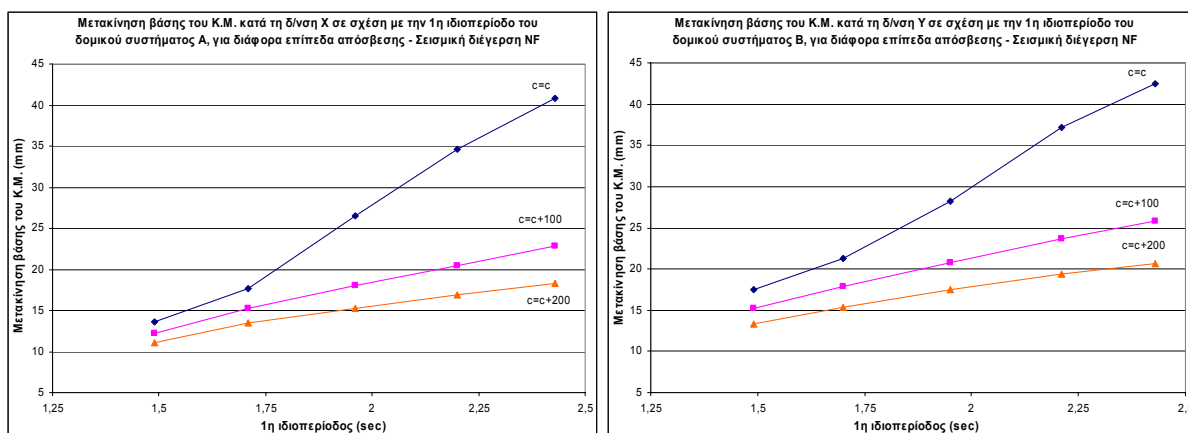
- η εφαρμογή συστημάτων μόνωσης σε δομικά συστήματα με διάφορη στιβαρότητα – κανονικότητα, τα οποία υποβάλλονται σε σεισμικές διεγέρσεις τύπου FF, έχει ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα στην απόκριση της ανωδομής.
- η θετική αξιολόγηση της εφαρμογής συστημάτων μόνωσης σε δομικά συστήματα, τα οποία υποβάλλονται σε σεισμικές διεγέρσεις τύπου NF, σχετίζεται άμεσα με τη στιβαρότητα – κανονικότητα του κάθε φορά εξεταζόμενου δομήματος.
- Τόσο για τις σεισμικές διεγέρσεις τύπου NF όσο και για τις FF οι αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις σε κάθε όροφο των δομικών συστημάτων παρουσιάζονται μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες της περίπτωσης των πακτωμένων. Όμως, η ανάπτυξη δυσμενέστερων σχετικών επιταχύνσεων είναι αρκετά πιθανή και σχετίζεται τόσο με τη διέγερση τύπου NF όσο και με τη στιβαρότητα – κανονικότητα του κάθε φορά εξεταζόμενου δομήματος.

### **3.3 Προκύπτουσες συνέπειες στη σεισμική απόκριση των δομικών συστημάτων από την επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στα εφαρμοζόμενα συστήματα μόνωσης**

Ο κύριος προβληματισμός για την εφαρμογή των συστημάτων μόνωσης σε δομικά συστήματα που διεγείρονται από σεισμούς τύπου NF εστιάζεται στην ανάπτυξη μεγάλων μετακινήσεων στη στάθμη μόνωσης, που ως επί το πλείστον οδηγεί σε μη αποτελεσματική λειτουργία των εφεδράνων [5, 6, 7, 8]. Στο πλήθος μάλιστα των περιπτώσεων, η εφαρμογή εφεδράνων μεγάλων διαστάσεων σε συνδυασμό με επιπρόσθετους μηχανισμούς παραγωγής δυνάμεων για τον έλεγχο των μεγάλων αναπτυσσόμενων εδαφικών μετακινήσεων, κρίνεται αναγκαία από τους μελετητές [5, 9, 10, 23]. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών, όχι μόνο σε ότι αφορά τη σαφώς ομαλή λειτουργία τους στον έλεγχο των εδαφικών μετακινήσεων, αλλά και στις αναπτυσσόμενες αποκρίσεις της ανωδομής, για διεγέρσεις από σεισμικά γεγονότα τύπου NF αλλά και FF. Προβλέπεται μάλιστα ότι ένα τόσο σύνθετο και στιβαρό σύστημα μόνωσης χάνει τη δυνατότητα ανάληψης της σχεδόν πλήρους δυναμικής απόκρισης του όλου δομικού συστήματος, ανακατανέμοντας τους συντελεστές συμμετοχής της δυναμικής συμπεριφοράς, σε ανώτερες ιδιόμορφες. Γίνεται βέβαια κατανοητό ότι η εν λόγω λειτουργία εξελίσσεται πιο έντονα, σε περιπτώσεις σεισμικών διεγέρσεων, μικρών εδαφικών μετακινήσεων (τύπου FF) μέσης αλλά και ισχυρής έντασης.

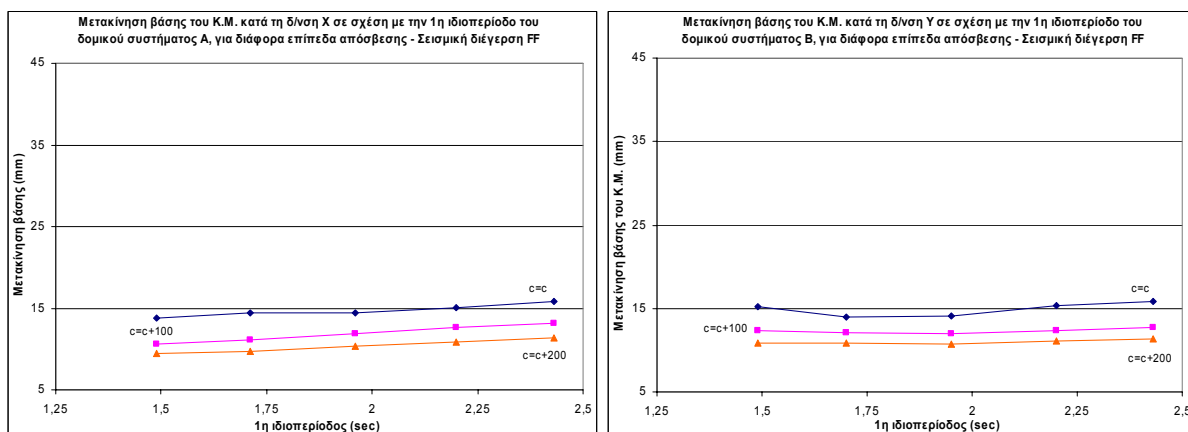
Στη παρούσα παραμετρική μελέτη εξετάστηκαν διάφορες περιπτώσεις εφαρμογής επιπρόσθετων μηχανισμών παραγωγής δυνάμεων (αποσβεστήρες ιξώδους απόσβεσης) με στόχο τη διαπίστωση των περιγραφόμενων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, είναι εμφανής η επίτευξη μείωσης των εδαφικών μετακινήσεων με τη συμβολή επιπρόσθετης απόσβεσης στα δύο μονωμένα με LRB δομικά συστήματα A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF. Μάλιστα η μείωση λαμβάνει υψηλότερες τιμές με την αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου των δομικών συστημάτων, για όλους τους εξεταζόμενους λόγους  $Q/W$ . Βέβαια, μια που η επιρροή της αύξησης του  $Q/W$  των εφεδράνων (αύξηση διατομής πυρήνα μολύβδου), στη μείωση των εδαφικών μετακινήσεων, είναι σημαντική, η επιπρόσθετη μείωση που προκαλείται από τους αποσβεστήρες ιξώδους δεν παρουσιάζεται τόσο ευεργετική όσο στους χαμηλούς λόγους  $Q/W$  (Παράρτημα Γ & Ε).



**Σχήμα 3.9:** Μετακίνηση του κέντρου μάζας της βάσης (στάθμη μόνωσης) των μονωμένων με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF, για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης.

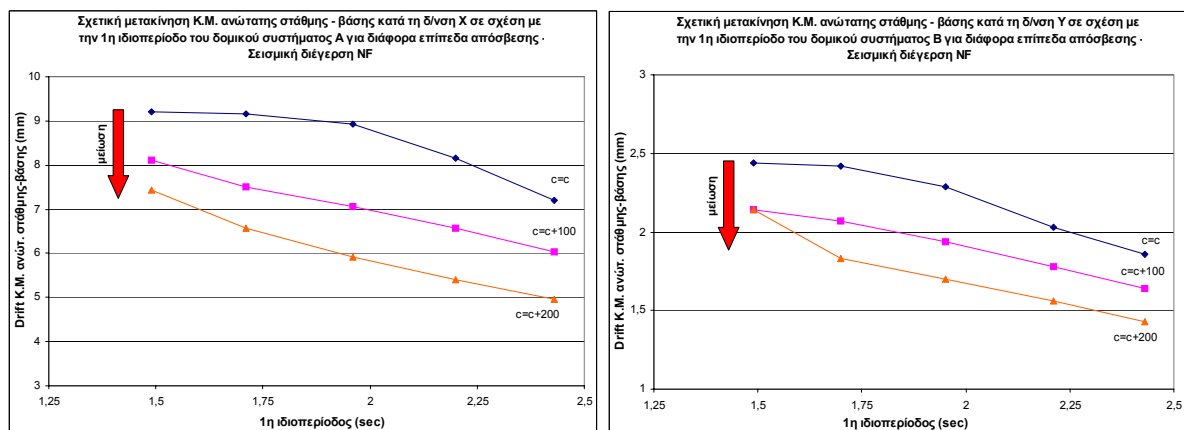
Από την άλλη, οι αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης των μονωμένων με LRB δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, παρουσιάζουν ανάλογη συμπεριφορά μείωσης με την επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης, σε σαφέστατα πολύ μικρότερη κλίμακα. Μάλιστα σε όλο το εύρος των ελεγχόμενων ιδιοπεριόδων, η μείωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως σταθερή.



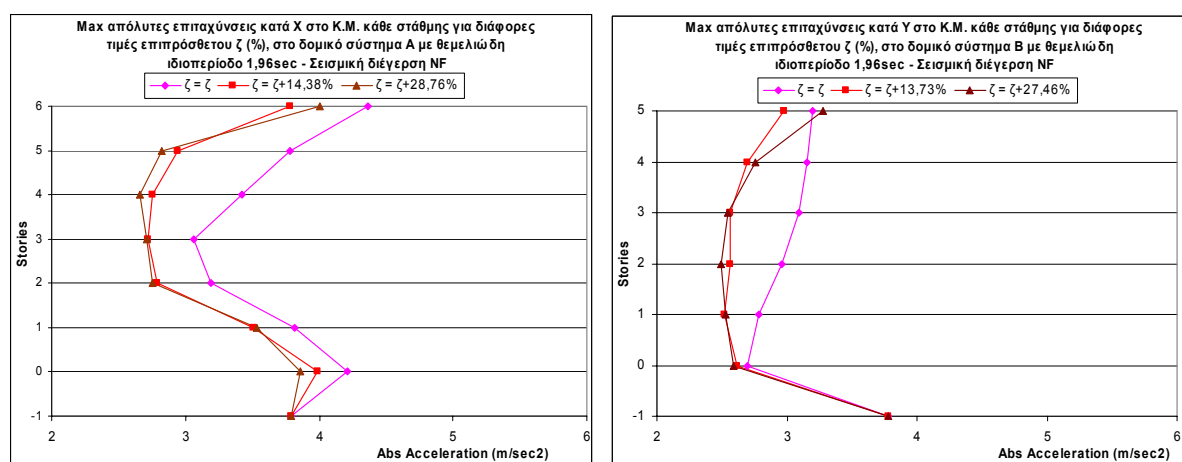
**Σχήμα 3.10:** Μετακίνηση του κέντρου μάζας της βάσης (στάθμη μόνωσης) των μονωμένων με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης.

Εξετάζοντας τώρα τη διακύμανση της απόκρισης ανωδομής των δομικών συστημάτων A & B, με την επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, παρατηρείται μια εντελώς διαφορετική συμπεριφορά με την διέγερση των σεισμικών καταγραφών τύπου NF & FF. Αποτελεσματική παρουσιάζεται η εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης

για την NF διέγερση, όπου επιπλέον της δραστηκής μείωσης των μετακινήσεων βάσης παρατηρείται μείωση στις σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης. Ανάλογες περίπου ενδείξεις, παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων κάθε στάθμης, στα δύο δομικά συστήματα.



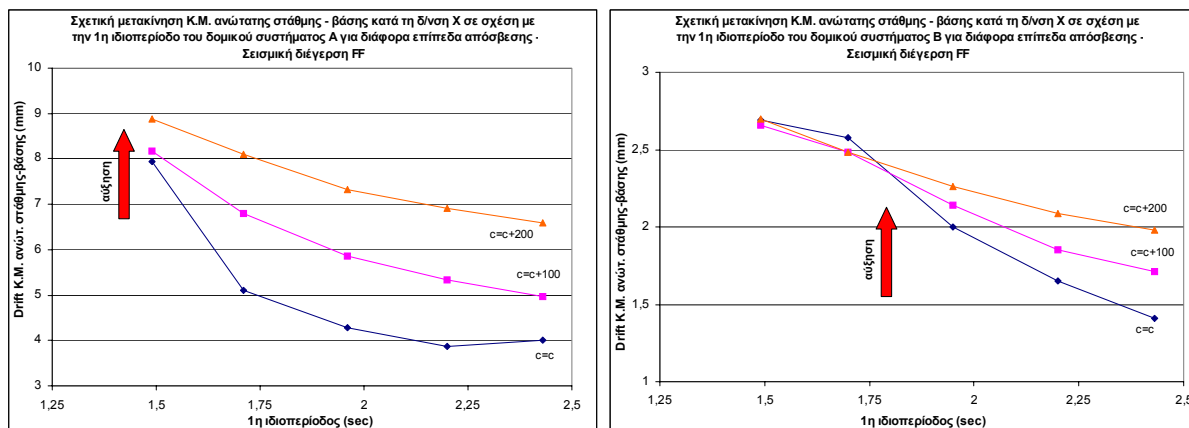
**Σχήμα 3.11:** Σχετική μετακίνηση του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικών συστημάτων Α & Β, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.



**Σχήμα 3.12:** Αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης των μονωμένων με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικών συστημάτων Α & Β, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.

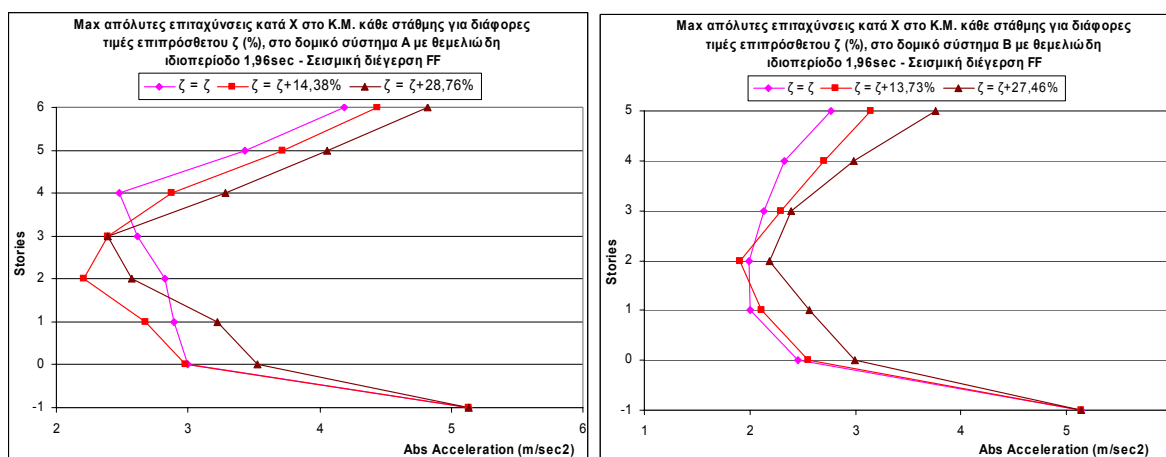
Αντιθέτως, τόσο οι σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης όσο και οι αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης, παρουσιάζουν διαφορετική τάση κατά την FF διέγερση και στα δύο δομικά συστήματα. Έτσι, αύξηση των σχετικών μετακινήσεων του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης παρατηρείται με την αύξηση της επιπρόσθετης απόσβεσης. Μάλιστα, σε

κάποιες περιπτώσεις οι αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις προκύπτουν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του θεωρητικά δυσμενή σχεδιασμού για την NF διέγερση, χωρίς την επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης. Η εν λόγω διαπίστωση γίνεται όλο και πιο έντονη με την αύξηση του λόγου  $Q/W$  στα εφαρμοζόμενα συστήματα μόνωσης με LRB (Παράρτημα Γ & Ε).



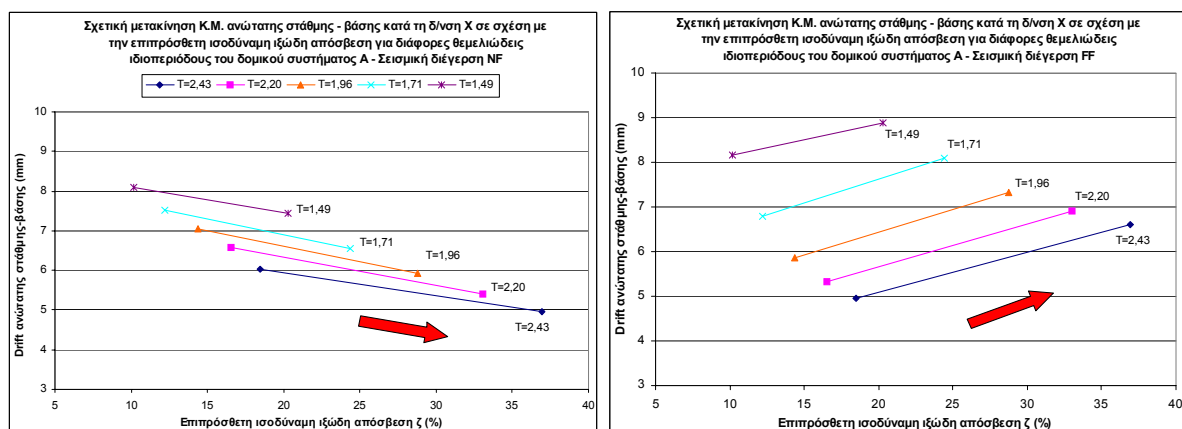
**Σχήμα 3.13:** Σχετική μετακίνηση του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιζώδους απόσβεσης.

Επίσης, αυξανόμενες παρουσιάζονται και οι απόλυτες επιταχύνσεις της εξεταζόμενης περίπτωσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα ποσοστά αύξησης στις ανώτατες στάθμες φθάνουν τα 15% για το δομικό σύστημα A και 36% για το B. Παρόλη τη διαπιστούμενη αύξηση των επιταχύνσεων, η διακύμανση τους σε χαμηλές τιμές, σε σχέση με τις αντίστοιχες της περίπτωσης των πακτωμένων δομικών συστημάτων, δεν προκαλεί ιδιαίτερους προβληματισμούς.



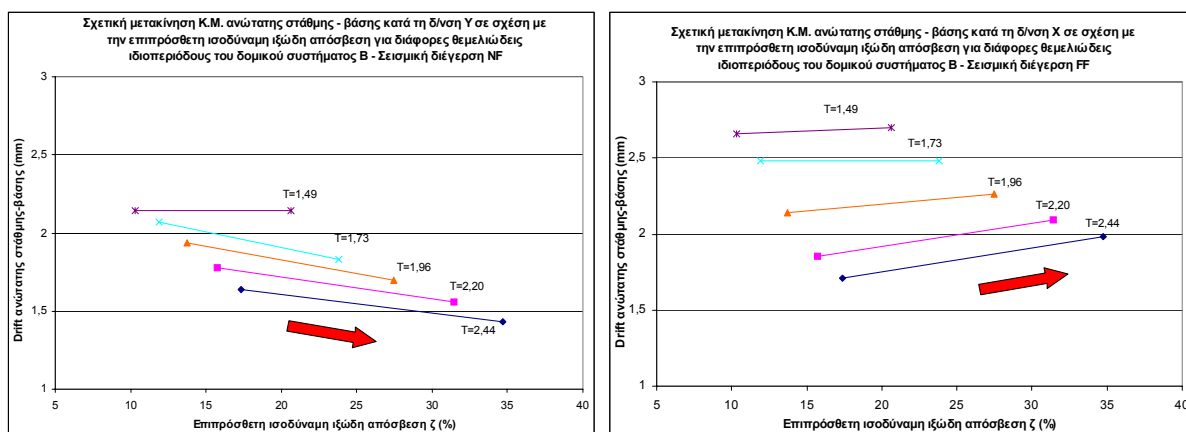
**Σχήμα 3.14:** Αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης των μονωμένων με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.

Ο τρόπος με τον οποίο η επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στο σύστημα μόνωσης με LRB, επηρεάζει την απόκριση της ανωδομής (επικεντρώνοντας στις σχετικές μετακινήσεις κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης) κατά τις διεγέρσεις τύπου NF και FF, απεικονίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα. Οι τάσεις των εκτιθέμενων τιμών σχετικής μετακίνησης παρουσιάζονται καθοδικές στη περίπτωση της σεισμικής διέγερσης τύπου NF σε αντίθεση με αυτές που προκύπτουν από την FF διέγερση, οι οποίες αναπτύσσονται ανοδικά, συνθέτοντας έτσι μια κοινή διαπίστωση και για τα δύο δομικά συστήματα A & B.



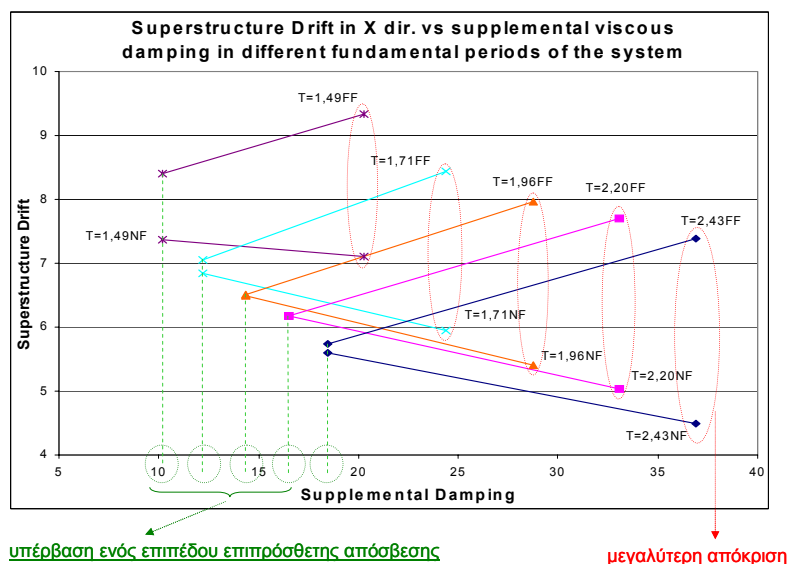
**Σχήμα 3.15:** Σχετική μετακίνηση του Κ.Μ. βάσης – ανώτατης στάθμης του μονωμένου με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικού συστήματος A, που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση τύπου NF & FF, για διάφορες τιμές επιπρ. ιξώδους απόσβεσης και για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου.





**Σχήμα 3.16:** Σχετική μετακίνηση του Κ.Μ. βάσης – ανώτατης στάθμης του μονωμένου με LRB ( $Q/W = 7,5\%$ ) δομικού συστήματος Β, που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση τύπου NF & FF, για διάφορες τιμές επιπρ. ιζώδους απόσβεσης και για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τη μορφή των περιγραφόμενων διαγραμμάτων, προκύπτει η σύσταση ενός κοινού διαγράμματος, σύμφωνα με το οποίο η αύξηση της απόκρισης με την επιβολή της σεισμικής διέγερσης FF, παρουσιάζεται με την υπέρβαση ενός επιπέδου επιπρόσθετης απόσβεσης για κάθε εξεταζόμενη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο. Έτσι για παράδειγμα, το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει για το μονωμένο με LRB ( $Q/W = 10\%$ ) δομικό σύστημα Α φαίνεται στη συνέχεια.

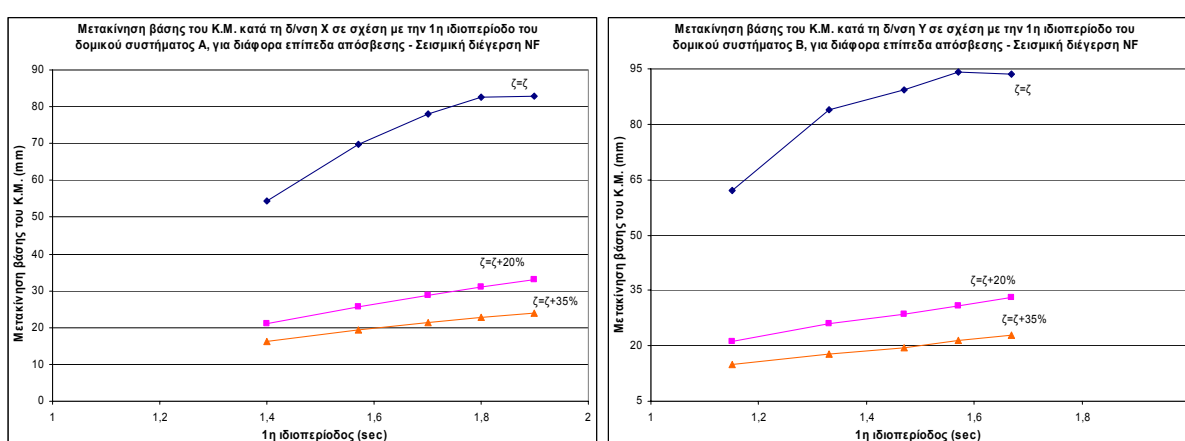


**Σχήμα 3.17:** Διακύμανση σχετικών μετακινήσεων του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης του μονωμένου με LRB ( $Q/W = 10\%$ ) δομικού συστήματος Α, που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση τύπου NF & FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιζώδους απόσβεσης και για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου.

Με τον τρόπο αυτό αξιοποιείται η ευεργετική επίδραση της επιπρόσθετης απόσβεσης στη μείωση των υψηλών εδαφικών μετακινήσεων που προκαλούνται από τις NF διεγέρσεις και ιδιαίτερα καταπονούν τα σεισμικά εφάδρανα. Έτσι, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης χωρίς την υπέρβαση συγκεκριμένου επιπέδου, αποφεύγεται η επιβάρυνση στην απόκριση της ανωδομής, κάτω από σεισμικές διεγέρσεις τύπου FF.

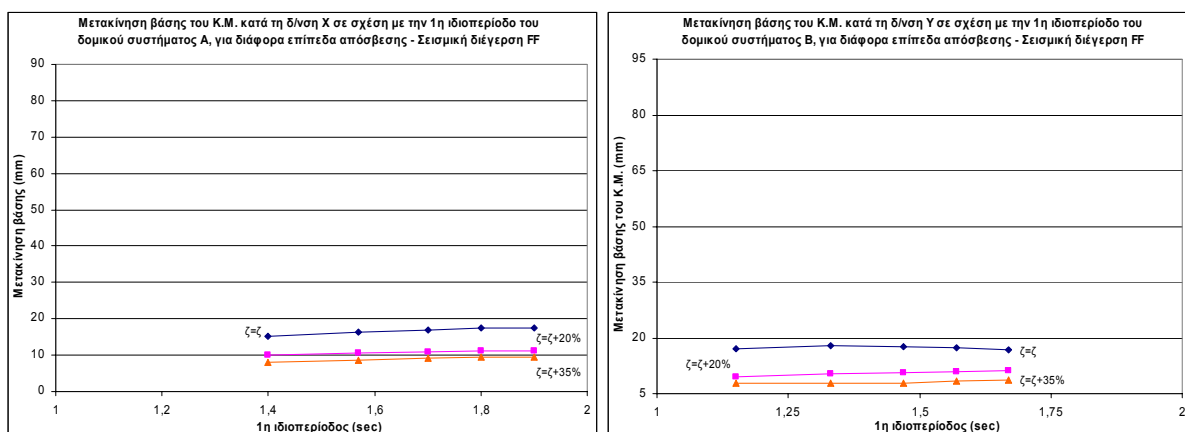
Εξετάζοντας τώρα την αντίστοιχη συμπεριφορά των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων, προκύπτουν οι ακόλουθες διαπιστώσεις.

Ευεργετική παρουσιάζεται η επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης στη μείωση των εδαφικών μετακινήσεων που προκαλούνται από καταγραφές τύπου NF. Οι τιμές μετακινήσεων βάσης, όπως αυτές προκύπτουν με την εφαρμογή του συστήματος μόνωσης FPS και χωρίς επιπρόσθετη απόσβεση (μετακινήσεις που ξεκινούν από 55εκ. και φθάνουν τα 95εκ. στις υψηλές ιδιοπεριόδους), είναι μη εφαρμόσιμες, τουλάχιστον για εφάδρανα λογικών διαστάσεων. Όμως η παρουσία έστω και μικρού ποσοστού επιπρόσθετης απόσβεσης ανατρέπει την εν λόγω μη λειτουργική απόδοση των σεισμικών εφεδράνων, προκαλώντας μετακινήσεις που εύκολα μπορεί να αναληφθούν (max 35εκ.). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για ποσοστό επιπρόσθετης απόσβεσης 35% σε σύστημα μόνωσης θεμελιώδους ιδιοπεριόδου 1,8sec, η μείωση που προκαλείται στις εδαφικές μετακινήσεις τύπου NF, υπερβαίνει τα 70% και στα δύο δομικά συστήματα A & B.



**Σχήμα 3.18:** Μετακίνηση του κέντρου μάζας της βάσης (στάθμη μόνωσης) των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF.

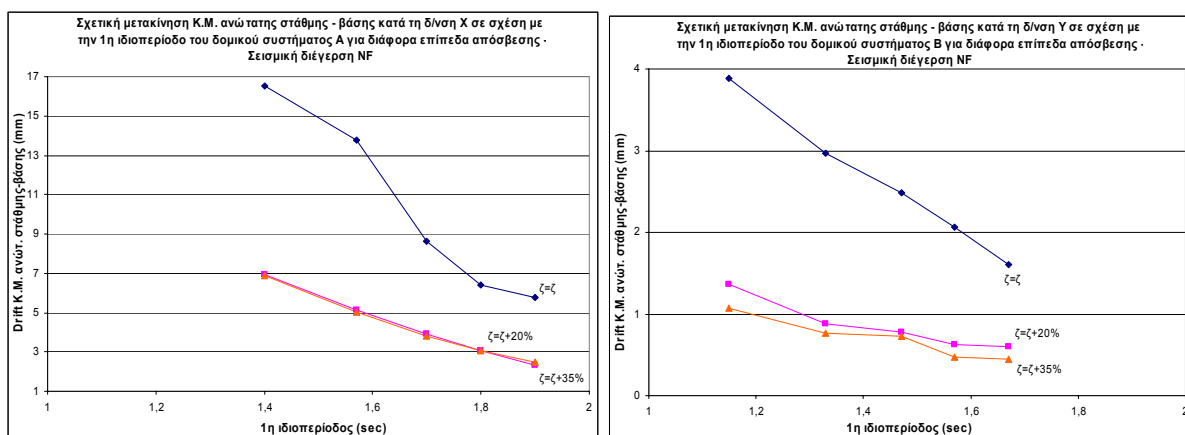
Από την άλλη, οι αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, παρουσιάζουν ανάλογη συμπεριφορά μείωσης με την επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης, σε σαφέστατα πολύ μικρότερη κλίμακα. Μάλιστα σε όλο το εύρος των ελεγχόμενων ιδιοπεριόδων, η μείωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως σταθερή.



**Σχήμα 3.19:** Μετακίνηση του κέντρου μάζας της βάσης (στάθμη μόνωσης) των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων A & B, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, για διάφορες τιμές ιζώδους απόσβεσης.

Εξετάζοντας τώρα τη διακύμανση της απόκρισης ανωδομής των δομικών συστημάτων A & B, με την επιβολή επιπρόσθετης ιζώδους απόσβεσης, παρατηρείται μια εντελώς διαφορετική συμπεριφορά με την διέγερση των σεισμικών καταγραφών τύπου NF & FF.

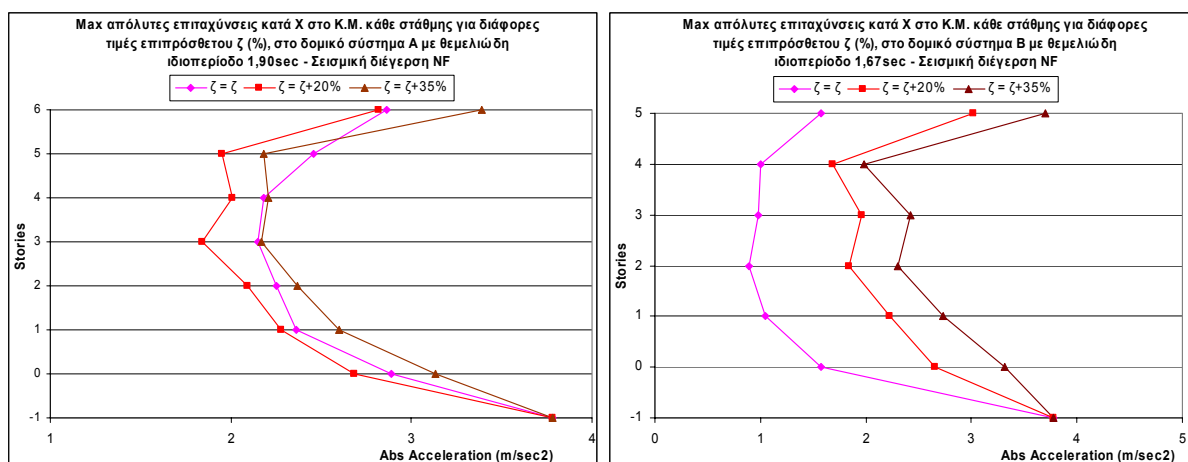
Αποτελεσματική παρουσιάζεται η εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης για την NF διέγερση, όπου επιπλέον της δραστηκής μείωσης των μετακινήσεων βάσης παρατηρείται μείωση στις σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης, που όμως περιορίζεται σε συγκεκριμένα ποσοστά απόσβεσης. Έτσι, με την περαιτέρω αύξηση των ποσοστών αυτών, προκαλούνται ασήμαντες βελτιώσεις.



**Σχήμα 3.20:** Σχετική μετακίνηση του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων Α & Β, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιζώδους απόσβεσης.

Σημαντική επίσης, παρουσιάζεται η μείωση των σχετικών μετακινήσεων στις χαμηλές ιδιοπερίόδους, όπου εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλές χωρίς την επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης και πλησιάζουν ή ξεπερνούν τις αντίστοιχες τιμές της περίπτωσης των πακτωμένων δομικών συστημάτων (όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο).

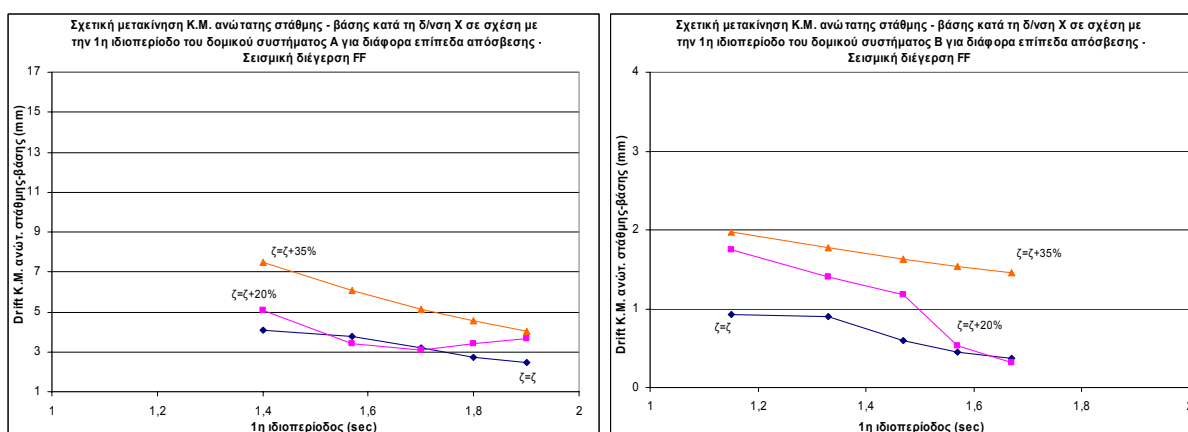
Οι αντίστοιχες ενδείξεις στα διαγράμματα των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων κάθε στάθμης, του δομικού συστήματος Α δεν παρουσιάζονται ξεκάθαρες όπως αυτό γίνεται για το δομικό σύστημα Β. Όμως, φαίνεται ότι η επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης της τάξης του 35%, δρα αρνητικά στην ανάπτυξη των απόλυτων επιταχύνσεων κάθε στάθμης καθώς επίσης στις αναπτυσσόμενες σχετικές επιταχύνσεις των δύο τελευταίων ορόφων και για τα δύο δομικά συστήματα.



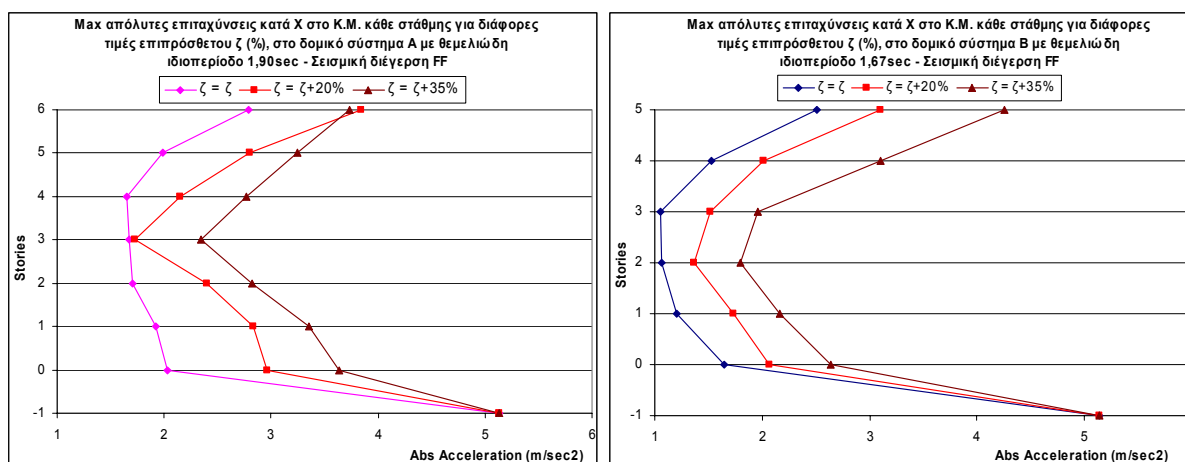
**Σχήμα 3.21:** Αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων Α & Β, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου NF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.

Από την άλλη, τόσο οι σχετικές μετακινήσεις βάσης – ανώτατης στάθμης όσο και οι αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης, παρουσιάζουν ανοδική τάση με την αύξηση της ιξώδους απόσβεσης, κατά την FF διέγερση και στα δύο δομικά συστήματα. Έτσι, σαφής αύξηση των σχετικών μετακινήσεων του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης παρατηρείται με την αντίστοιχη αύξηση της επιπρόσθετης απόσβεσης ιδιαίτερα μάλιστα, κατά την επίτευξη υψηλών ποσοστών.

Επίσης, αυξανόμενες παρουσιάζονται και οι απόλυτες επιταχύνσεις της εξεταζόμενης περίπτωσης.



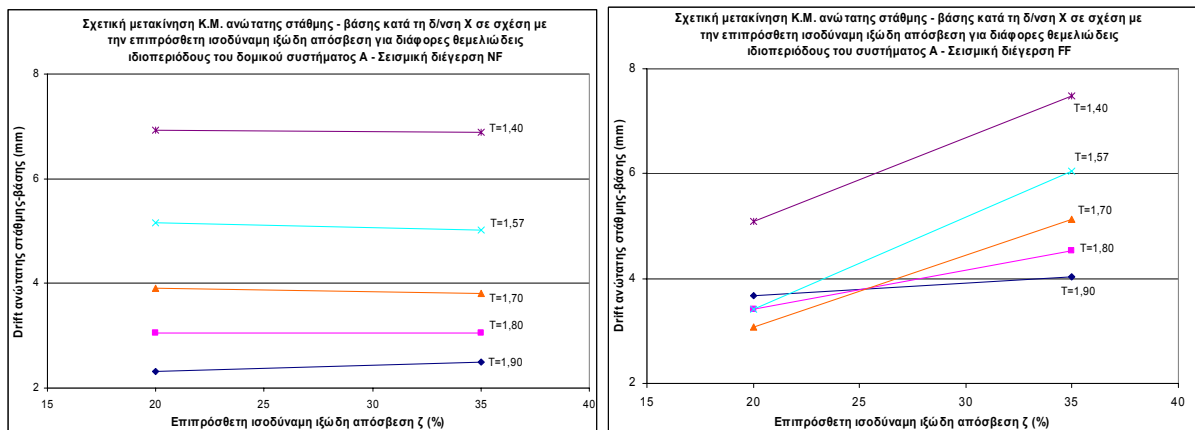
**Σχήμα 3.22:** Σχετική μετακίνηση του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων Α & Β, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.



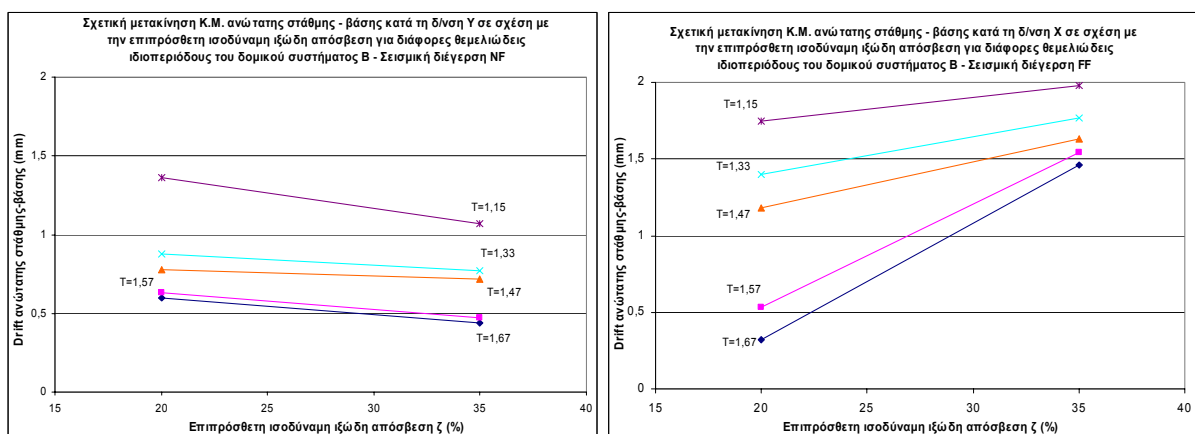
**Σχήμα 3.23:** Αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης των μονωμένων με FPS δομικών συστημάτων Α & Β, που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση τύπου FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης.

Παρόλη τη διαπιστούμενη αύξηση των επιταχύνσεων, τόσο για την περίπτωση των NF όσο για τις FF καταγραφές, η διακύμανση τους σε χαμηλές τιμές, σε σχέση με τις αντίστοιχες της περίπτωσης των πακτωμένων δομικών συστημάτων, δεν προκαλεί ιδιαίτερους προβληματισμούς.

Ο τρόπος με τον οποίο η επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στο σύστημα μόνωσης με FPS, επηρεάζει την απόκριση της ανωδομής (επικεντρώνοντας στις σχετικές μετακινήσεις κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης) κατά τις διεγέρσεις τύπου NF και FF, απεικονίζεται στα ακόλουθα διαγράμματα. Οι τάσεις των εκτιθέμενων τιμών σχετικής μετακίνησης παρουσιάζονται ελαφρώς καθοδικές στη περίπτωση της σεισμικής διέγερσης τύπου NF (μια που όπως αναφέρθηκε πέρα συγκεκριμένου ποσοστού, η επιπρόσθετη απόσβεση προκαλεί ασήμαντες βελτιώσεις στις εξεταζόμενες σχετικές μετακινήσεις), σε αντίθεση με αυτές που προκύπτουν από την FF διέγερση, οι οποίες αναπτύσσονται ξεκάθαρα ανοδικά, συνθέτοντας έτσι μια κοινή διαπίστωση και για τα δύο δομικά συστήματα Α & Β.



**Σχήμα 3.24:** Σχετική μετακίνηση του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης του μονωμένου με FPS δομικού συστήματος A, που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση τύπου NF & FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιζώδους απόσβεσης και για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου.



**Σχήμα 3.25:** Σχετική μετακίνηση του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης του μονωμένου με FPS δομικού συστήματος B, που υποβάλλεται σε σεισμική διέγερση τύπου NF & FF, για διάφορες τιμές επιπρόσθετης ιζώδους απόσβεσης και για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τη μορφή των περιγραφόμενων διαγραμμάτων, προκύπτει η σύσταση ενός κοινού διαγράμματος, αντίστοιχου με αυτό που περιγράφηκε στο σύστημα μόνωσης LRB (Σχήμα 3.17), σύμφωνα με το οποίο η αύξηση της απόκρισης με την επιβολή της σεισμικής διέγερσης FF, παρουσιάζεται με την υπέρβαση ενός επιπέδου επιπρόσθετης απόσβεσης για κάθε εξεταζόμενη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο.

Συνοψίζοντας τις διαπιστώσεις της παραγράφου αυτής προκύπτουν τα ακόλουθα :

- Η επιβολή μηχανισμού επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στο ήδη υπάρχον σύστημα μόνωσης των δομικών συστημάτων A & B (είτε αυτό συντίθεται από LRB είτε από FPS), προκαλεί μείωση των σχετικών μετακινήσεων του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης στην περίπτωση των NF καταγραφών, σε όλο το εύρος των εξεταζόμενων ιδιοπεριόδων.
- Η επιβολή μηχανισμού επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στο ήδη υπάρχον σύστημα μόνωσης των δομικών συστημάτων A & B (είτε αυτό συντίθεται από LRB είτε από FPS), προκαλεί αύξηση των σχετικών μετακινήσεων του κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης στην περίπτωση των FF καταγραφών, σε όλο το εύρος των εξεταζόμενων ιδιοπεριόδων. Μάλιστα, οι προκύπτουσες τιμές σχετικής μετακίνησης σε υψηλά ποσοστά απόσβεσης είναι υψηλότερες των αντίστοιχων του σχεδιασμού για NF καταγραφές, σε όλο το εύρος των εξεταζόμενων ιδιοπεριόδων.
- Η επιβολή μηχανισμού επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στο ήδη υπάρχον σύστημα μόνωσης των δομικών συστημάτων A & B (είτε αυτό συντίθεται από LRB είτε από FPS), προκαλεί αύξηση των αναπτυσσόμενων απόλυτων επιταχύνσεων κάθε ορόφου στην περίπτωση των FF καταγραφών, για τις επιλεγμένες ιδιοπεριόδους.
- Η επιβολή μηχανισμού επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης στο ήδη υπάρχον σύστημα μόνωσης των δομικών συστημάτων A & B, προκαλεί τη μείωση των αναπτυσσόμενων απόλυτων επιταχύνσεων κάθε ορόφου στην περίπτωση των NF καταγραφών, για εφέδρανα τύπου LRB και την αύξηση τους στην περίπτωση των NF καταγραφών, για εφέδρανα τύπου FPS, για τις επιλεγμένες ιδιοπεριόδους.
- Η αυξομείωση των απόλυτων επιταχύνσεων διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα χωρίς να προκαλεί ανησυχίες, ιδιαίτερα όταν ο σχεδιασμός του συστήματος μόνωσης δεν επικεντρώνεται στη μείωση των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων στις στάθμες του υπό μελέτη κτιρίου.
- Η αύξηση των σχετικών μετακινήσεων κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης με την επιβολή της σεισμικής διέγερσης FF, παρουσιάζεται με την υπέρβαση ενός επιπέδου επιπρόσθετης απόσβεσης για κάθε εξεταζόμενη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο.



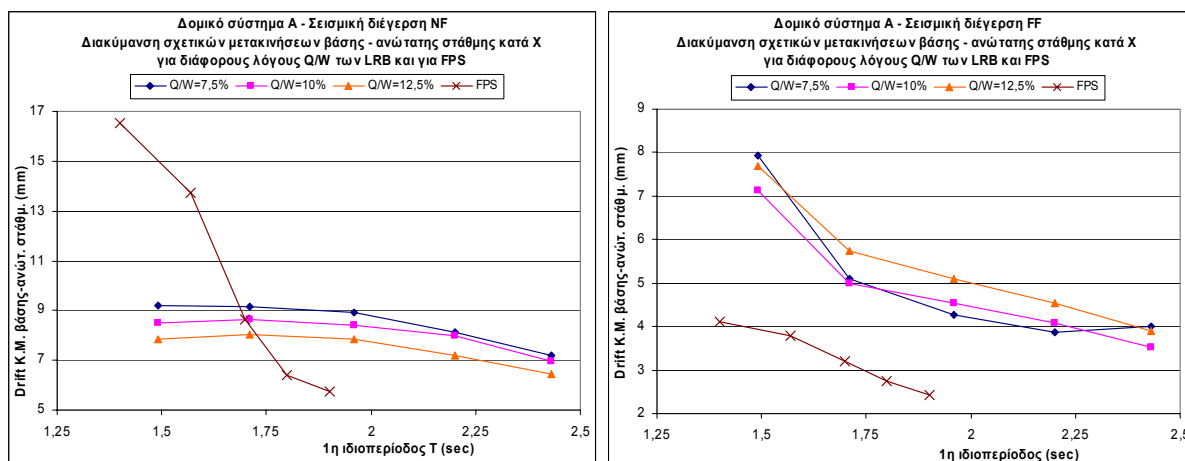
### 3.4 Αποτελεσματικότητα των συστημάτων μόνωσης LRB & FPS στη συμπεριφορά των επιλεγμένων δομικών συστημάτων

Με δεδομένη την αποδεκτή λειτουργία των επιλεγμένων συστημάτων μόνωσης για τις αναπτυσσόμενες εδαφικές μετακινήσεις, ο σχολιασμός που ακολουθεί επικεντρώνεται μόνο στις σχετικές μετακινήσεις κέντρου μάζας βάσης – ανώτατης στάθμης, μια που αυτές προκαλούν την εντατική κατάσταση της ανωδομής.

Το εύρος ιδιοπεριόδων που χρησιμοποιήθηκε για τα FPS είναι καθορισμένο από τις τιμές που λαμβάνει η ενεργός δυσκαμψία  $K_{eff}$  του κάθε φορά επιλεγμένου συστήματος μόνωσης (κοινή γεωμετρία εφεδράνων σε όλες τις θέσεις), όπως αναπτύχθηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Έτσι, για τα δομικά συστήματα A & B, το εν λόγω εύρος οριοθετείται από 1,0 έως 2,0 sec.

Αντίστοιχα το εύρος ιδιοπεριόδων των LRB είναι εξ' αρχής καθορισμένο στα 1,50 έως 2,50sec.

Εισάγοντας στο ήδη σχολιασμένο διάγραμμα διακύμανσης των σχετικών μετακινήσεων βάσης – ανώτατης στάθμης για διάφορους τύπους LRB, τις αντίστοιχες τιμές μετακίνησης που αφορούν τα FPS προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα.



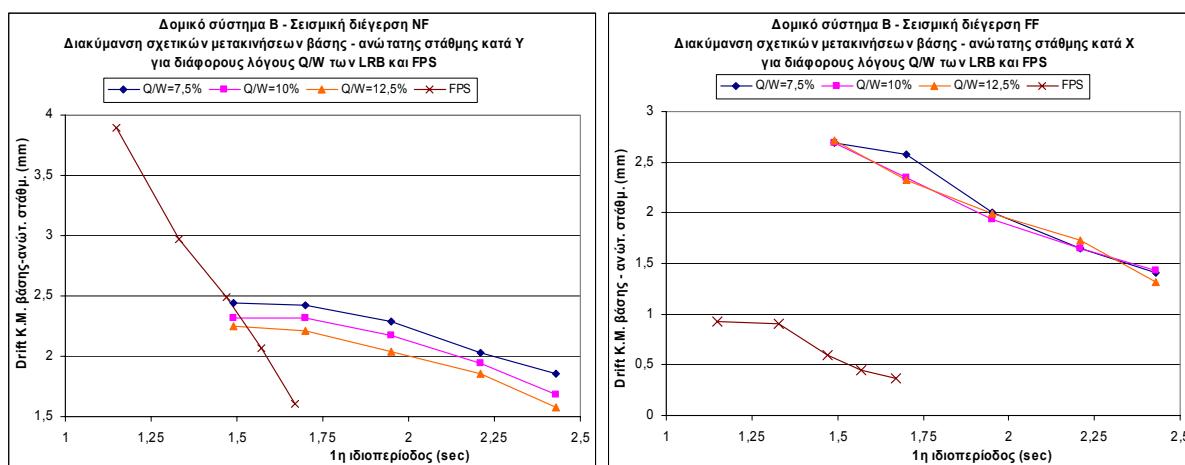
**Σχήμα 3.26:** Διάγραμμα σχετικής μετακίνησης βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB και FPS του δομικού συστήματος A (σεισμική διέγερση NF & FF).

Η διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων βάσης – ανώτατης στάθμης των δομικών συστημάτων A & B, παρουσιάζεται ανάλογη αυτής που προκαλείται από τα LRB, κατά τη διέγερση με τις καταγραφές τύπου FF, με τις αναπτυσσόμενες τιμές να

μειώνονται κατά την αύξηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου του συστήματος. Μάλιστα, πιο ευεργετική προκύπτει η λειτουργία των FPS, ιδιαίτερα στη περίπτωση του πιο στιβαρού δομικού συστήματος B, όπου όλες οι τιμές σχετικών μετακινήσεων είναι μικρότερες των αντίστοιχων με LRB.

Από την άλλη, κατά τη διέγερση με τις καταγραφές τύπου NF, η μείωση των σχετικών μετακινήσεων με τη μετάθεση των ιδιοπεριόδων σε υψηλότερα επίπεδα, πραγματοποιείται σε έντονους ρυθμούς. Έτσι, στις χαμηλές περιόδους προκύπτουν τιμές δυσμενείς, ακόμα και σε σχέση με τη περίπτωση των αντίστοιχα πακτωμένων δομημάτων, ενώ στις υψηλές περιόδους παρουσιάζονται αρκετά μειωμένες, συγκρίνοντας με τις αντίστοιχες των LRB, στο συγκεκριμένο εύρος ιδιοπεριόδων.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η επίτευξη της κατάλληλης ιδιοπεριόδου του δομικού συστήματος αποτελεί θέμα ιδιαίτερης σημασίας για την παραγόμενη ένταση στην ανωδομή, κατά την εφαρμογή συστημάτων μόνωσης με FPS, ιδιαίτερα μάλιστα στη περίπτωση που το δομικό σύστημα διεγείρεται με καταγραφές τύπου NF.



**Σχήμα 3.27:** Διάγραμμα σχετικής μετακίνησης βάσης – ανώτατης στάθμης των μονωμένων με LRB και FPS του δομικού συστήματος B (σεισμική διέγερση NF & FF).

Ομαδοποιώντας τις προαναφερόμενες διαπιστώσεις προκύπτουν τα ακόλουθα :

- Όσον αφορά την παραγόμενη ένταση της ανωδομής, κατά τη διέγερση των δομικών συστημάτων με καταγραφές τύπου FF, η συμπεριφορά του συστήματος μόνωσης FPS, σε όλο το εύρος των εξεταζόμενων ιδιοπεριόδων, προκύπτει αποτελεσματικότερη αυτής του συστήματος μόνωσης με LRB.

- Κατά τη διέγερση των δομικών συστημάτων με καταγραφές τύπου NF, οι προκύπτουσες τιμές έντασης της ανωδομής είναι ιδιαίτερα υψηλές στις χαμηλές ιδιοπεριόδους του συστήματος μόνωσης με FPS, παρουσιάζοντας μια έντονη τάση μείωσης κατά την μετάθεση των ιδιοπεριόδων σε υψηλότερα επίπεδα, προκαλώντας έτσι αποκρίσεις ευνοϊκότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες των LRB.

### 3.5 Γενικά συμπεράσματα

Κάθε μια από τις περιγραφόμενες διαπιστώσεις μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα σημαντική για την αξιολόγηση των εξεταζόμενων συστημάτων μόνωσης (LRB & FPS) σε διάφορους τύπους σεισμικών διεγέρσεων (NF & FF), ως μεμονωμένη περίπτωση σε κάθε ένα από τα επιλεγμένα δομικά συστήματα A & B.

Όμως, στη προσπάθεια γενίκευσης των διαπιστώσεων αυτών, θα πρέπει αφενός να ληφθεί υπ' όψη πλήθος σεισμικών διεγέρσεων, καλύπτοντας έτσι τη συμπεριφορά και των δύο τύπων καταγραφών (NF & FF), αφετέρου να προσδιορισθεί η στρατηγική σχεδιασμού των συστημάτων μόνωσης, για το κάθε φορά εξεταζόμενο δομικό σύστημα.

Η συγκέντρωση και επεξεργασία των κατάλληλων σεισμικών καταγραφών μπορεί να υλοποιηθεί σύμφωνα με τις υποδείξεις αντίστοιχων οδηγιών – κανονισμών, με στόχο τη παραγωγή του «σεισμού σχεδιασμού» (με ανάλογες μεθόδους κανονικοποίησης) [25] ή τη στατιστική επεξεργασία των παραγόμενων αποτελεσμάτων ανάλυσης, της ομάδας των επιλεγμένων σεισμικών καταγραφών.

Από την άλλη, η στρατηγική σχεδιασμού των συστημάτων μόνωσης επικεντρώνεται είτε στην απαίτηση για τη μείωση των σχετικών μετακινήσεων ή στη μείωση των αναπτυσσόμενων επιταχύνσεων της ανωδομής του εξεταζόμενου δομικού συστήματος.

Οι ενδείξεις για τη συμπεριφορά των εξεταζόμενων συστημάτων μόνωσης από την εκτελούμενη παραμετρική μελέτη προβάλλουν την εικόνα ότι σχεδιάζοντας για μικρές αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις (απόλυτες ή σχετικές), η επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης δρα αρνητικά στο σχεδιασμό ιδιαίτερα όταν το σύστημα μόνωσης συντίθεται από FPS, τόσο για τις καταγραφές τύπου NF όσο και για αυτές τύπου FF.

Επίσης, σχεδιάζοντας για μικρές σχετικές μετακινήσεις στην ανωδομή (με στόχο τη δημιουργία μικρότερης εντατικής κατάστασης στο φορέα), η επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης δεν προκύπτει ευεργετική κατά τη διέγερση του συστήματος με την FF καταγραφή. Μάλιστα, με την υπέρβαση ενός ορίου επιπρόσθετης απόσβεσης, οι σχετικές μετακινήσεις προκύπτουν ιδιαίτερα αυξανόμενες.

Από την άλλη, η σημαντική μείωση των εδαφικών μετακινήσεων όπως αυτή προβάλλεται με την παρουσία επιπρόσθετης απόσβεσης, κρίνει αναγκαία την εφαρμογή της, ιδιαίτερα μάλιστα όταν το σύστημα μόνωσης απαρτίζεται από FPS.

Κατά συνέπεια, όπως προκύπτει και από τη παραμετρική μελέτη, η ελεγχόμενη επιβολή επιπρόσθετης απόσβεσης, κυμαινόμενη ως επί το πλείστον σε χαμηλά επίπεδα (π.χ. μέχρι 20%), συμβάλλει στη μείωση των σχετικών μετακινήσεων ανωδομής, βοηθώντας συγχρόνως στη μείωση των εδαφικών μετακινήσεων που προκαλεί ένας σεισμός τύπου NF, χωρίς να προκαλεί σημαντικές αυξήσεις στις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις.

Βέβαια, ο σχεδιασμός για μεγάλες εδαφικές μετακινήσεις από εύκαμπτα συστήματα μόνωσης, θα πρέπει να αποτελεί πρωταρχικό στόχο, μια που με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη συμπεριφορά της ανωδομής κάθε δομικού συστήματος.

Στη περίπτωση που αυτό δεν γίνεται εφικτό, η σύσταση αντίστοιχων διαγραμμάτων, όπως αυτό που εκτίθεται σε προηγούμενη παράγραφο, σύμφωνα με το οποίο ορίζεται το βέλτιστο ποσοστό απόσβεσης για τη διατήρηση των σχετικών μετακινήσεων σε χαμηλά επίπεδα, θα μπορούσε να υλοποιηθεί, κάθε φορά ανάλογα με την εξεταζόμενη περίπτωση και μετά από την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων ανάλυσης του φορέα. Η σύσταση αλλά και η βελτιστοποίηση των εν λόγω διαγραμμάτων οριοθέτησης του μέγιστου ποσοστού επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης σε κάθε δομικό σύστημα, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

Εναλλακτική προσέγγιση σχεδιασμού συστημάτων σεισμικής μόνωσης βάσης, αποτελεί η εφαρμογή των ημι-ενεργών συστημάτων. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ελεγχόμενη συμπεριφορά τους, ανάλογα με τις συνθήκες διέγερσης, παράγοντας σε κάθε χρονικό βήμα ελέγχου, τις κατάλληλες δυνάμεις απόσβεσης, με στόχο τη

βέλτιστη απόκριση του δομικού συστήματος. Αντίθετα με τα περιγραφόμενα παθητικά συστήματα μόνωσης, τα ημι-ενεργά χρησιμοποιούν μια μικρή πηγή ενέργειας και μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία ηλεκτρονικού ελέγχου, αναπτυσσόμενη σε πολύ μικρά χρονικά βήματα. Η πρόσφατη έρευνα στο χώρο αυτό είναι αρκετά σημαντική και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη, η εφαρμογή αλλά και η επέκτασή της.

Τέλος, επικεντρώνοντας τα σχόλια στην εξεταζόμενη παθητική διαδικασία σχεδιασμού συστημάτων μόνωσης βάσης, επισημαίνουμε την ανάγκη για το σχεδιασμό εύκαμπτων συστημάτων ικανών να παραλάβουν μεγάλες αναπτυσσόμενες εδαφικές μετακινήσεις, εξασφαλίζοντας όμως με ικανούς συντελεστές ασφαλείας, την αξιόπιστη λειτουργία τους. Με την ελεγχόμενη επιβολή επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης σε χαμηλά επίπεδα, ενισχύετε η ομαλή λειτουργία των συστημάτων μόνωσης, χωρίς να προκαλούνται αρνητικές επιδράσεις στην απόκριση του δομικού συστήματος. Η απαίτηση για μειωμένες σχετικές μετακινήσεις ή μειωμένες αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις (απόλυτες και σχετικές) στο δομικό σύστημα, αποτελούν τη βάση για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος μόνωσης με ή χωρίς μηχανισμούς επιπρόσθετης απόσβεσης, λαμβάνοντας πάντα υπ' όψη διεγέρσεις τύπου FF αλλά και NF καταγραφών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ηλιάδης Ι., *Σεισμική Μόνωση: Μια νέα αντιμετώπιση αντισεισμικής θωράκισης των κτιρίων*, 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Β, 485-494, 2001.
2. Κουμούσης Β. και Γκαζέτας Γ., *Σχεδιασμός Συστημάτων Σεισμικής Μόνωσης*, Σημειώσεις Σεμιναρίου, Ελληνικό Κέντρο Πληροφόρησης και Επιμόρφωσης, 2003.
3. Kelly T.E., *Base Isolation of Structures – Design Guidelines*, Holmes Consulting Group Ltd, 2001.
4. Naeim F., Kelly J.M., *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*, John Willey & Sons Inc., 1999.
5. Makris N., *Rigidity-Plasticity-Viscosity: Can electrorheological dampers protect base-isolated structures from near-source ground motions?*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 571-591, 1997.
6. MacRae G.A., Morrow D.V. and Roeder C.W., *Near-Fault Ground Motion Effects on Simple Structures*, Journal of Structural Engineering, 996-1004, September 2001.
7. Jangid R.S. and Kelly J.M., *Base isolation for near-fault motions*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 30, 691-707, 2001.
8. Malhorta P.K., *Response of buildings to near-pulse like ground motions*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 28, 1309-1326, 1999.
9. Makris N. and Chang S.P., *Effect of damping mechanisms on the response of seismically isolated structures*, Report No. PEER-98/96, University of California, Berkeley, CA, 1998.
10. Kelly J.M., *The role of damping in seismic isolation*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 28, 3-20, 1999.
11. CSI Computer & Structures Inc., *SAP 2000 version 8 Integrated Software for structural Analysis and Design, Analysis Reference Manual*, Berkeley, 2002.

12. Wilson E.L., *Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures*, Third edition, CSI Computer & Structures Inc., 2002.
13. Kelly J.M., *Earthquake-Resistant Design with Rubber*, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer-Verlag, 1996.
14. International Building Code 2000, *Structural Design*, Chapter 16, *Seismically Isolated Structures*, Section 1623.
15. Federal Emergency Management Agency, *FEMA 356 – Prestandard and Commentary for the seismic Rehabilitation of buildings*.
16. Madden G.J., Wongprasert N. and Symans M.D., *Analytical and Numerical Study of a Smart Sliding Base Isolation System for Seismic Protection of Buildings*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 18, 19-30, 2003.
17. Bhasker Rao P. and Jangid R.S., *Performance of sliding systems under near-fault motions*, Nuclear Engineering and Design, Vol. 203, 259-272, 2001.
18. Zayas V. and Low S., *A simple pendulum technique for achieving seismic isolation*, *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No 2, 1990.
19. Constantinou M.C., Tsopelas P. Hammel W., *Testing and Modeling of an improved damper configuration for stiff structural systems*, Technical Report, Centre of industrial effectiveness and Taylor Devices Inc., 1998.
20. Hussain S., Lee D. Retamal E., *Viscous damping for base isolated structures*, Technical Report, 1998.
21. Συρμακέζης Κ.Α. και Σοφοκλέους Α.Α., *Η εισαγωγή συστημάτων απορρόφησης ενέργειας για τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών*, 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Τόμος Β, 15-23, 2001.
22. ΟΑΣΠ και ΣΠΜΕ, *EAK 2000*, έκδοση ΟΑΣΠ, Αθήνα, 2001.
23. Alhan C., Gavin H, *A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings*, Engineering Structures, Vol. 26, 485-497, 2004.

24. Providakis C.P. and Xirouyannis Y.G., *Comparative studies on performance of base isolation devices for near-fault earthquake ground motions*, 7<sup>th</sup> National Congress on Mechanics, Chania, Greece, Vol. I, 281-287, 2004.
25. Kurama Y.C. and Farrow K.T., *Ground motion scaling methods for different site conditions and structure characteristics*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 32, 2425-2450, 2003.

Επιπρόσθετα της βιβλιογραφίας που αναφέρεται, πολλά στοιχεία για τη σύνταξη της εργασίας αυτής αντλήθηκαν και από τις ακόλουθες πηγές:

- Chopra A.K., *Dynamics of Structures*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1995.
- Clough R.W. and Penzien J., *Dynamics of Structures*, McGraw Hill, New York, 1993.
- Κατσικαδέλης Ι.Θ., *Δυναμική των Κατασκευών*, Τόμος Ι, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2002.
- Αναστασιάδης Κ., *Δυναμική των Κατασκευών*, Τόμος Ι. Διακριτά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.
- Αναστασιάδης Κ., *Δυναμική των Κατασκευών*, Τόμος ΙΙ. Συνεχή Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1999.
- Αναστασιάδης Κ., *Αντισεισμικές Κατασκευές Ι*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1993.
- Paulay T. and Priestley, *Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 1996.
- CSI Computer & Structures Inc., *ETABS 2000 version 8 Integrated Building Design Software, User Interface Reference Manual*, Berkeley, 2002.

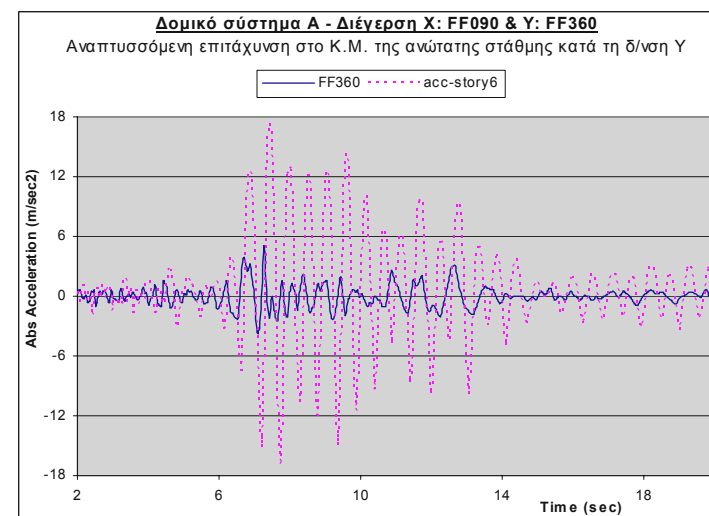
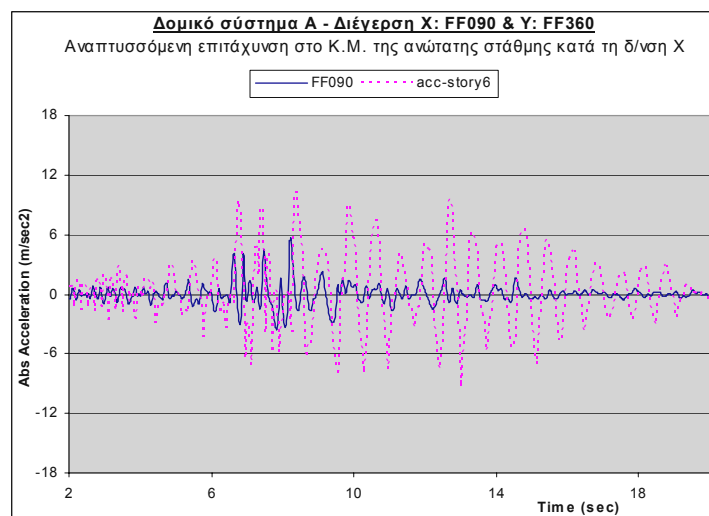
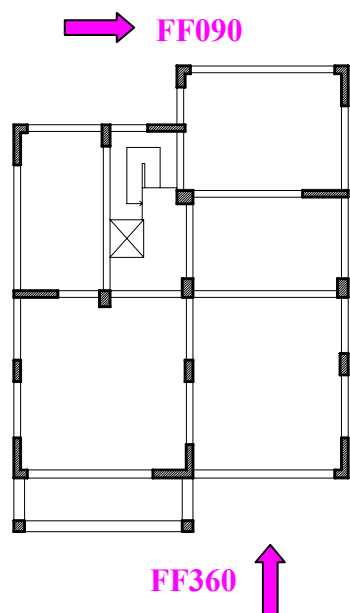


# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΠΑΚΤΩΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

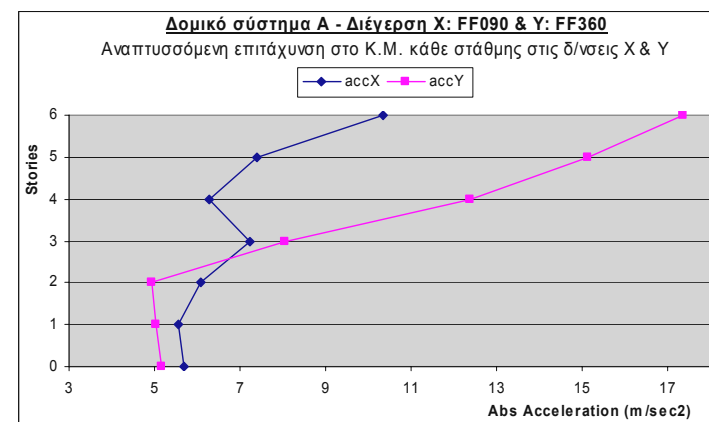
---

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις αναλύσεις των θεωρούμενα πακτωμένων στο έδαφος δομικών συστημάτων Α & Β, κατά την επιβολή των επιλεγμένων σεισμικών διεγέρσεων τύπου FF και NF. Τα αποτελέσματα αυτά επικεντρώνονται στις αναπτυσσόμενες απόλυτες επιταχύνσεις του κέντρου μάζας (Κ.Μ.) κάθε στάθμης καθώς επίσης στις μέγιστες μετατοπίσεις του κέντρου μάζας (Κ.Μ.) της ανώτατης στάθμης των δομικών συστημάτων.



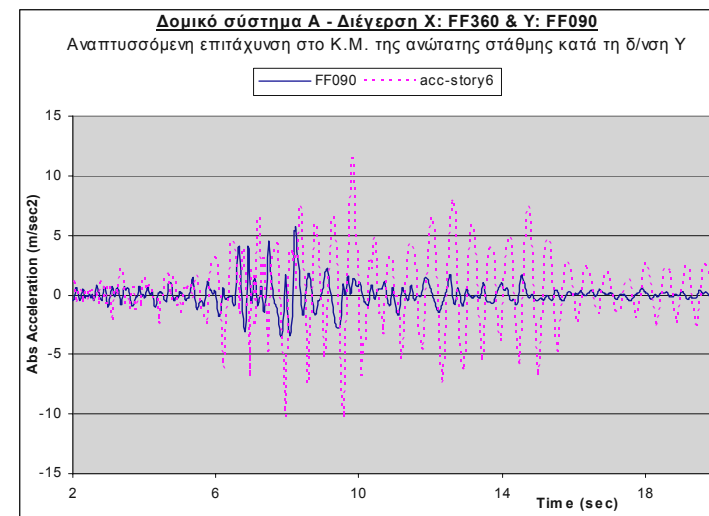
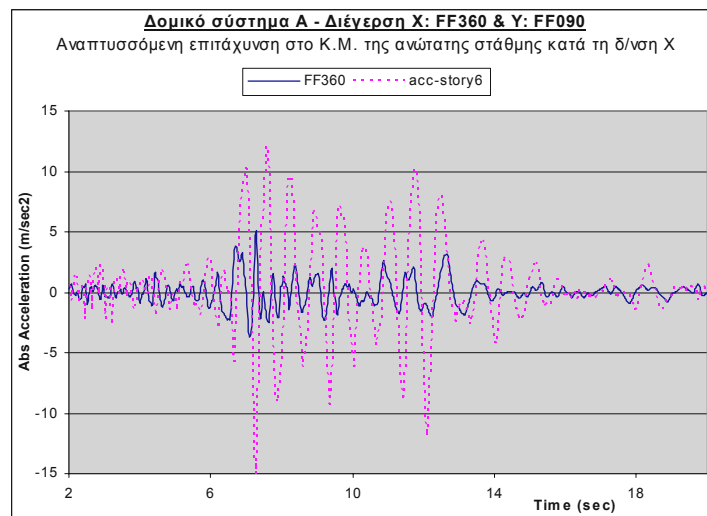
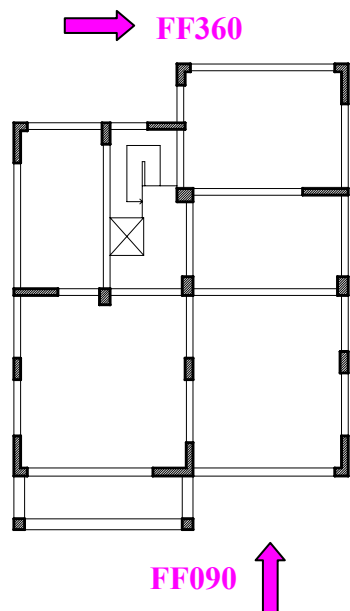
Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
6	10,35	17,33
5	7,39	15,12
4	6,28	12,38
3	7,24	8,05
2	6,09	4,93
1	5,55	5,03
Βάση	5,67	5,15

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	10,18
Διεύθυνση Υ	13,51



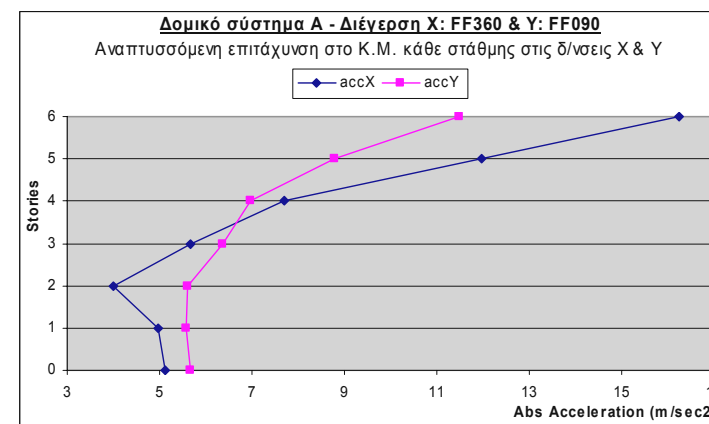
### Δομικό σύστημα Α – Σεισμική διέγερση κατά Χ : FF090 & κατά Υ : FF360

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις Χ και Υ.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις Χ και Υ.



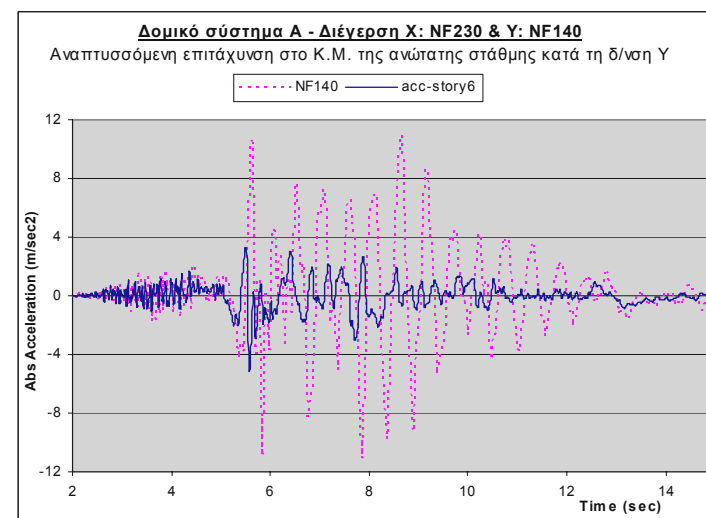
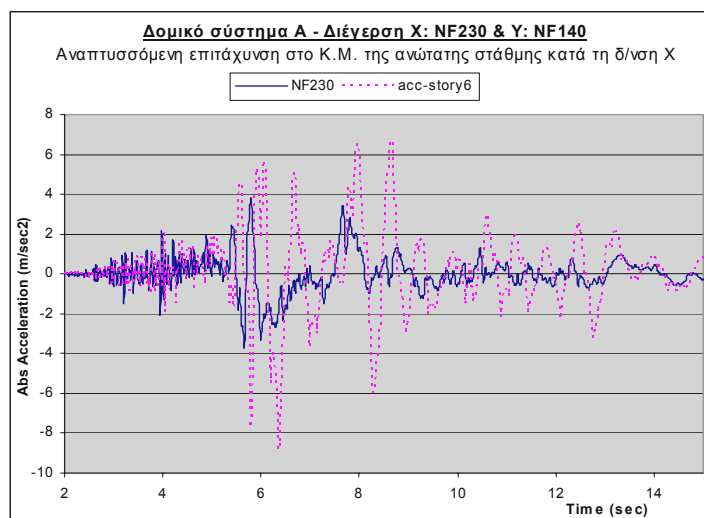
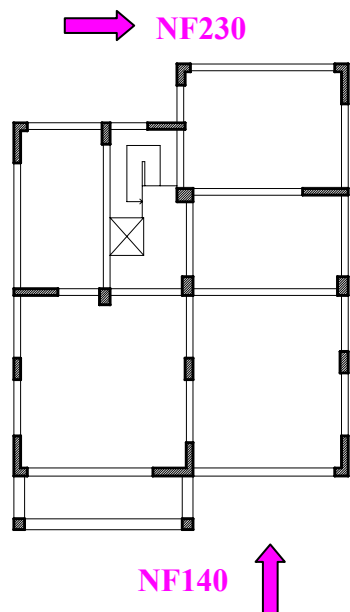
Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
6	16,25	11,47
5	11,97	8,78
4	7,69	6,98
3	5,68	6,37
2	3,99	5,62
1	4,96	5,57
Βάση	5,13	5,68

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	15,76
Διεύθυνση Υ	8,01



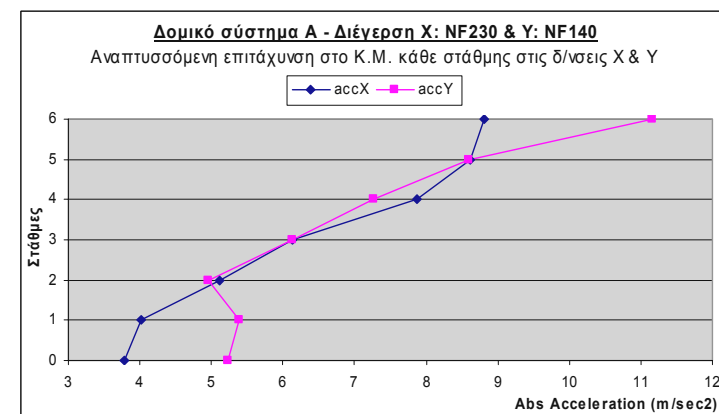
### Δομικό σύστημα Α – Σεισμική διέγερση κατά Χ : FF360 & κατά Υ : FF090

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις Χ και Υ.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις Χ και Υ.



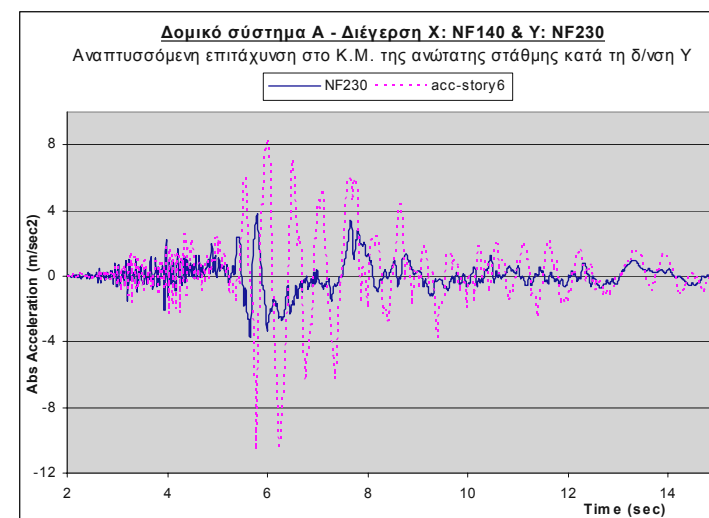
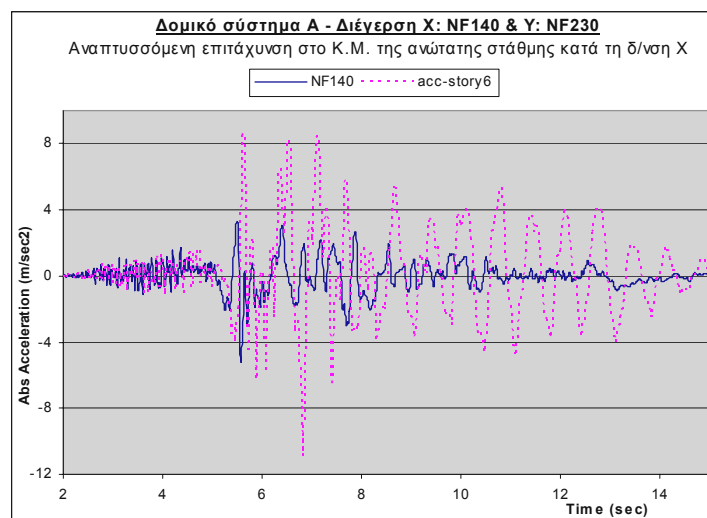
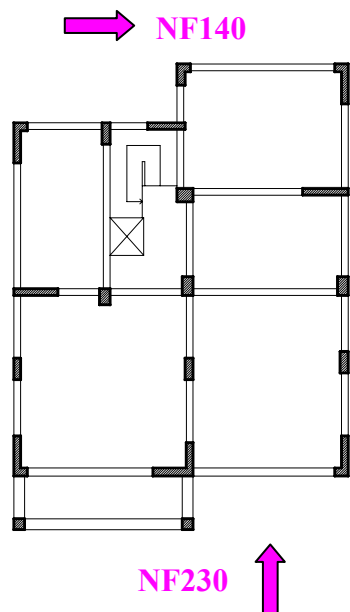
Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
6	8,81	11,15
5	8,61	8,6
4	7,87	7,26
3	6,13	6,14
2	5,12	4,96
1	4,02	5,38
Βάση	3,78	5,24

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	9,25
Διεύθυνση Υ	7,6



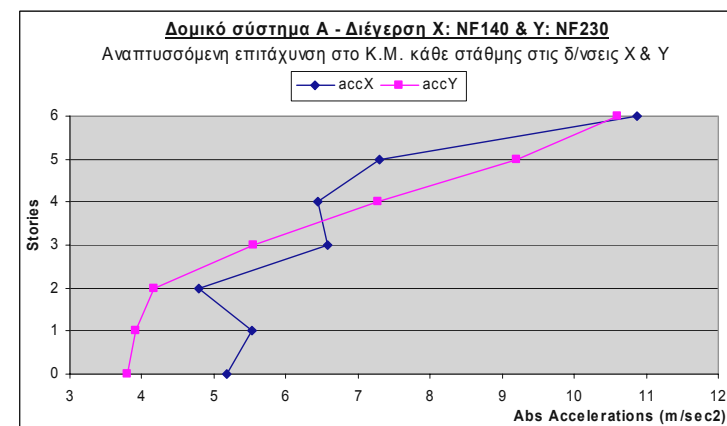
### Δομικό σύστημα Α – Σεισμική διέγερση κατά Χ : NF230 & κατά Υ : NF140

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις Χ και Υ.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις Χ και Υ.



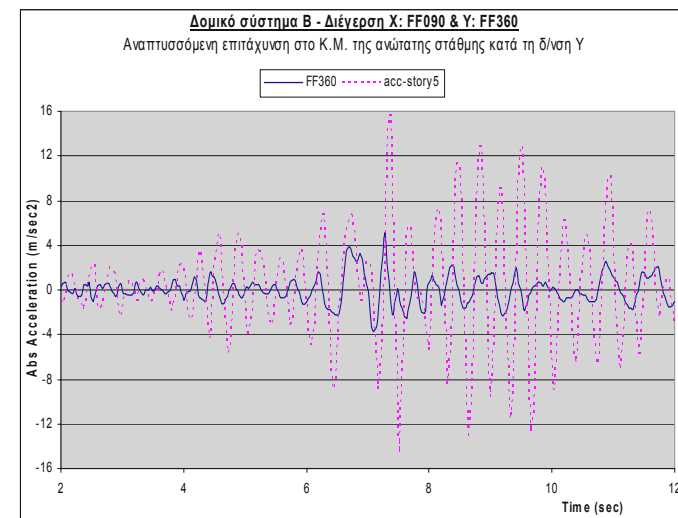
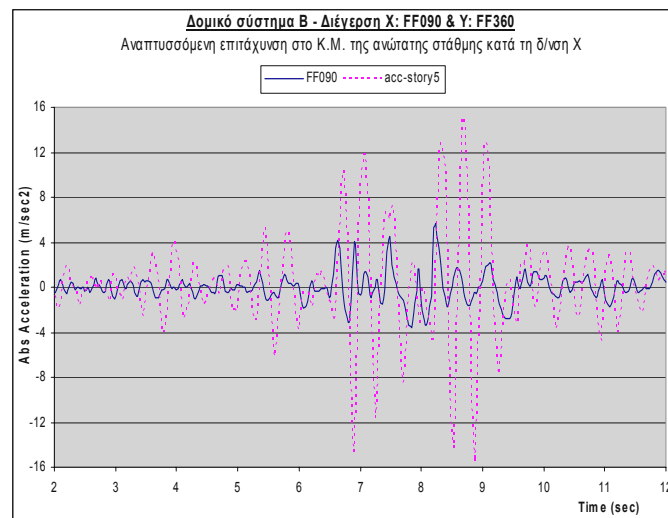
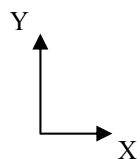
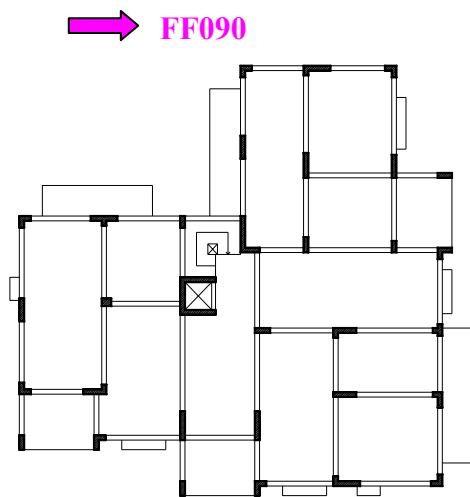
Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
6	10,87	10,6
5	7,29	9,21
4	6,44	7,27
3	6,57	5,55
2	4,78	4,16
1	5,53	3,92
Βάση	5,17	3,79

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	9,04
Διεύθυνση Υ	8,36



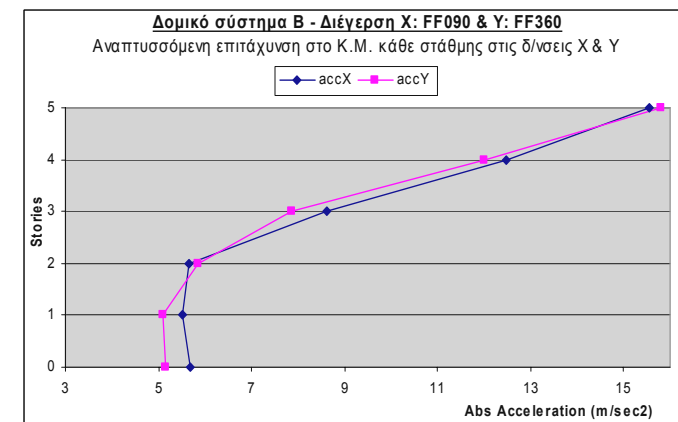
### Δομικό σύστημα Α – Σεισμική διέγερση κατά Χ: NF140 & κατά Υ: NF230

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις Χ και Υ.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις Χ και Υ.



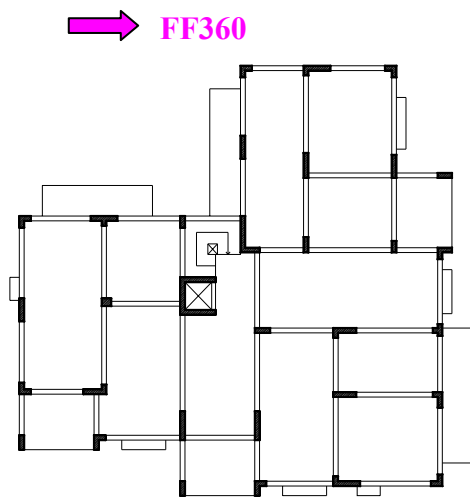
Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση X	Διεύθυνση Y
5	15,54	15,81
4	12,49	12
3	8,61	7,86
2	5,66	5,85
1	5,53	5,09
Βάση	5,68	5,14

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση X	5,17
Διεύθυνση Y	4,11

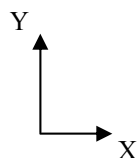


### Δομικό σύστημα Β – Σεισμική διέγερση κατά X : FF090 & κατά Y : FF360

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις X και Y.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις X και Y.

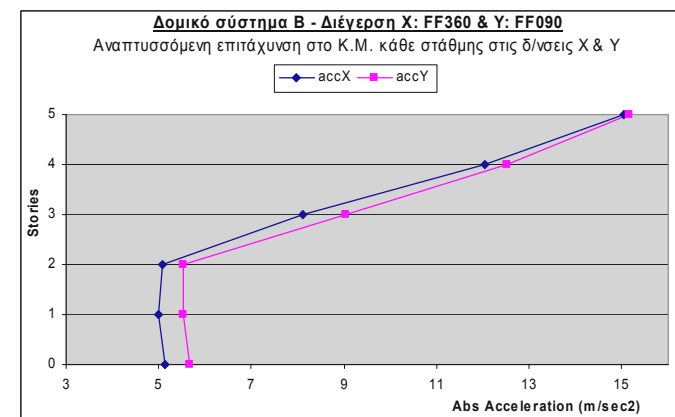
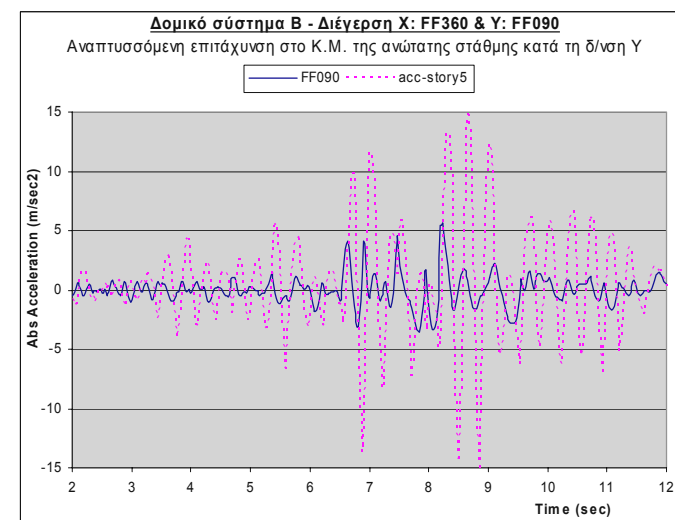
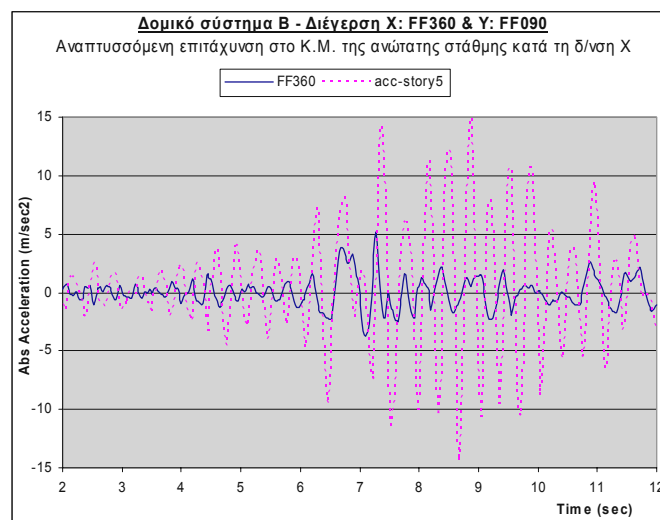


FF090 ↑



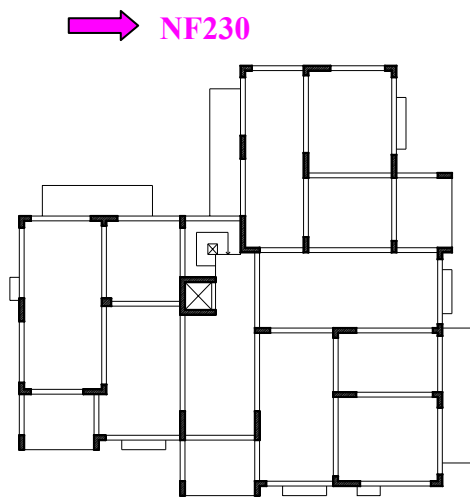
Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση X	Διεύθυνση Y
5	15,04	15,17
4	12,04	12,52
3	8,1	9,03
2	5,08	5,52
1	4,99	5,54
Βάση	5,14	5,68

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση X	4,88
Διεύθυνση Y	4,57

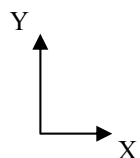


### Δομικό σύστημα Β – Σεισμική διέγερση κατά X : FF360 & κατά Y : FF090

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις X και Y.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις X και Y.

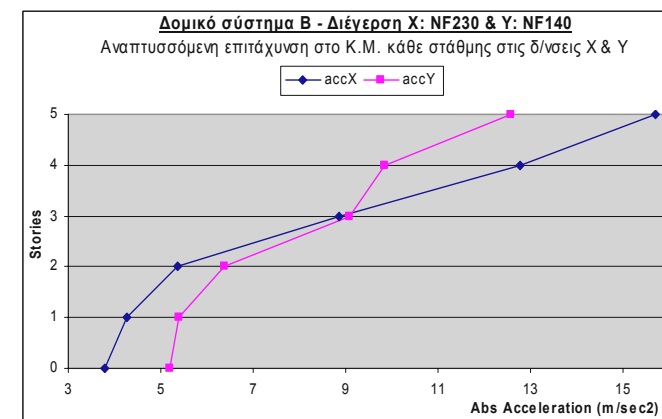
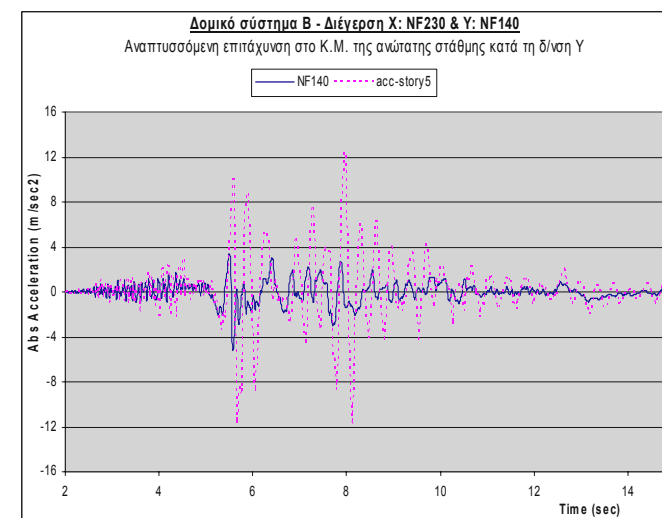
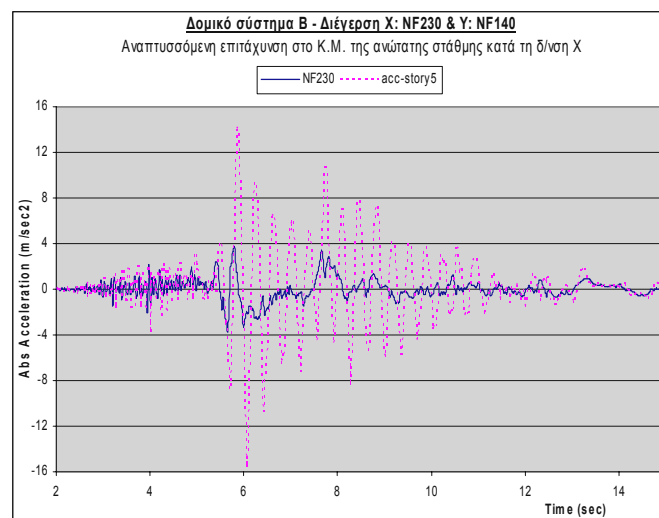


NF140 ↑



Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
5	15,7	12,57
4	12,77	9,85
3	8,84	9,08
2	5,36	6,38
1	4,28	5,39
Βάση	3,78	5,19

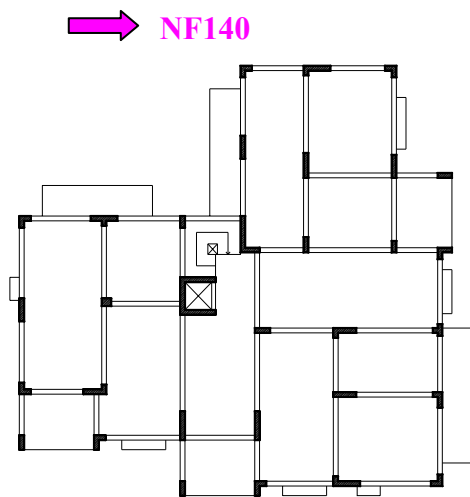
Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση Χ	5,55
Διεύθυνση Υ	3,67



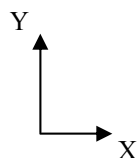
### Δομικό σύστημα Β – Σεισμική διέγερση κατά Χ : NF230 & κατά Υ : NF140

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις Χ και Υ.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις Χ και Υ.



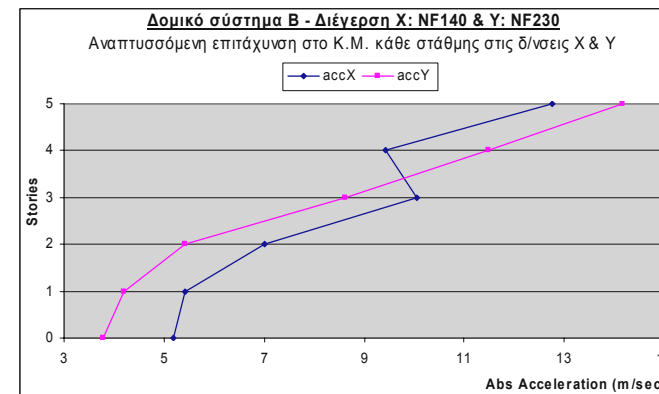
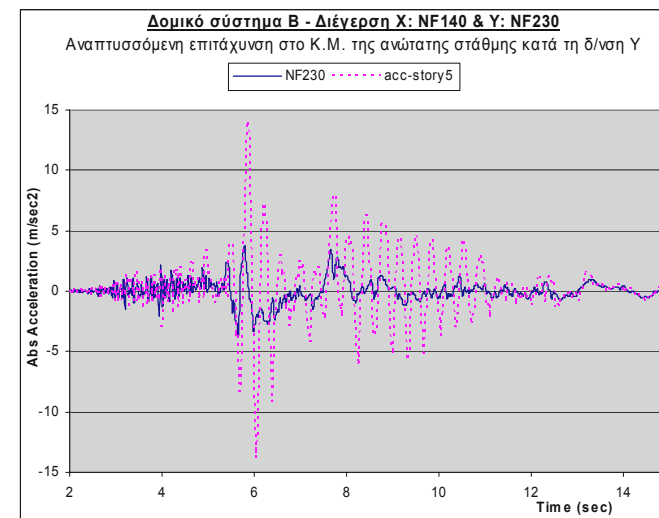
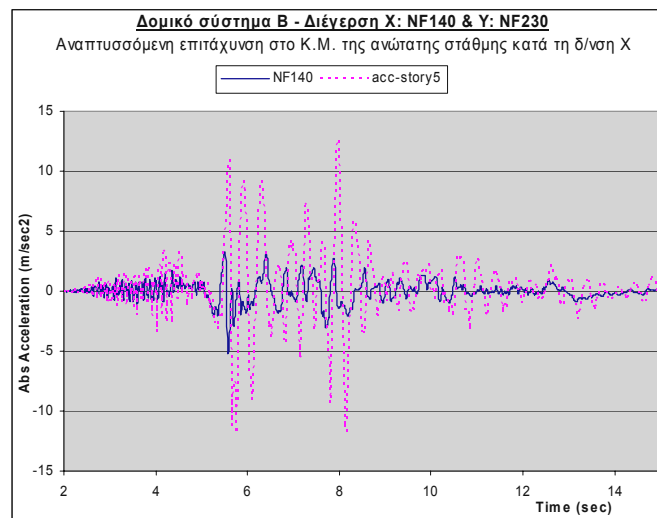


NF230



Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο κέντρο μάζας κάθε στάθμης (m/sec <sup>2</sup> )		
Στάθμη	Διεύθυνση X	Διεύθυνση Y
5	12,76	14,16
4	9,42	11,49
3	10,05	8,63
2	7,02	5,43
1	5,41	4,19
Βάση	5,19	3,78

Μέγιστη μετατόπιση κέντρου μάζας ανώτατης στάθμης (cm)	
Διεύθυνση X	3,9
Διεύθυνση Y	4,4



### Δομικό σύστημα Β – Σεισμική διέγερση κατά X : NF140 & κατά Y : NF230

- Αναπτυσσόμενη ιστορία επιτάχυνσης στο Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης σε κάθε δ/ση και συσχέτιση της με την αντίστοιχη σεισμική διέγερση.
- Αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης στις διευθύνσεις X και Y.
- Μέγιστες μετακινήσεις του Κ.Μ. της ανώτατης στάθμης κατά τις διευθύνσεις X και Y.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

## ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ LRB ΓΙΑ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α

---

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται τα δεδομένα και οι έλεγχοι του προκαταρκτικού σχεδιασμού των LRB, για μετακινήσεις που προκύπτουν κατά την NF φόρτιση, με τη καταγραφή του παλμού στη διεύθυνση X του δομικού συστήματος Α (μονάδες μέτρησης kN-mm). Το φυσικό ελαστικό που συνθέτει τα εφένδρανα είναι χαμηλού βαθμού απόσβεσης και σκληρότητας IHRD : 45. Οι ελαστικές σταθερές του απεικονίζονται στη στήλη των δεδομένων. Σημειώνεται ότι κάποιοι από τους ελέγχους, που αφορούν κυρίως ακραίες προσεγγίσεις εφενδράνων, δεν ικανοποιούνται στο βαθμό που ορίζουν οι επιλεγμένοι συντελεστές ασφαλείας. Όμως, η συμμετοχή τους στη παραμετρική μελέτη κρίθηκε απαραίτητη, αφενός για την ολοκληρωμένη παρουσίαση της, αφετέρου για τη έκθεση της ανάγκης εφαρμογής επιπρόσθετης απόσβεσης, ελέγχοντας έτσι τις υψηλές αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης, στις οποίες οφείλονται οι εν λόγω αστοχίες.

## ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΥΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	654
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	109
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	335.927
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	326.596
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	9.331
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	326.596
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	238.694
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.491
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	12
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	108
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

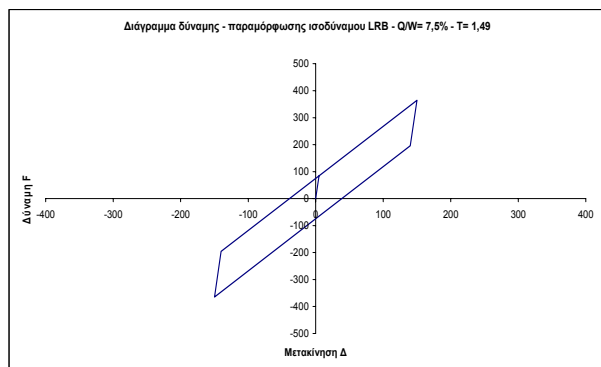
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,66
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,01071
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32969
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,90021
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62079
	σ <sub>y</sub>	φαινόμενο όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	74,651
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	150
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			
-----------	--	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>r</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 7,5\% - T = 1,49\text{sec}$$

### ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,711	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	109	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>r</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
----------------------	--	--	--

K <sub>0</sub>	ατιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονωτήρα	20.934.882
(EI) <sub>eff</sub> <sup>∞</sup>	καμπτική ατιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.025.423.875
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική ατιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.260.967.281

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
--	--	--	--

$K_{v,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Εc σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	1025,47	
$K_{v,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Εc σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	728,65	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,39	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,39	
$\epsilon_{br}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
f.ε.0	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότη. - θέση 0	1,39	ο.κ.
f.ε.Δ	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,78	ο.κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.310	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
-----------------------------------	--	--	--

$K_0$	σπιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	16,740	
$K_p$	σπιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,932	
$K_p/K_0$	λόγος σπιβαροτήτων	11,5%	Ο.Κ.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	5,041	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	84,388	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	364,388	
$K_{eff}$	ενεργός σπιβαρότητα εφεδράνου	2,429	
ED	καταναλωσόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	43,285	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	12,6%	Ο.Κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
--	--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	18.629	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	12,8	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	15.703	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	6,8	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
--	--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,3	ο.κ.
	λυγισμός	12,8	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,2	ο.κ.
	λυγισμός	6,8	ο.κ.

spring effective stiffness	2429	E T A B S
initial spring stiffness	16.740	
yield force	84,39	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	728.652	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	654
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	109
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	335.927
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	326.596
	A <sub>ph</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	9.331
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	326.596
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	213.438
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.491
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	18
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	162
	t <sub>stl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

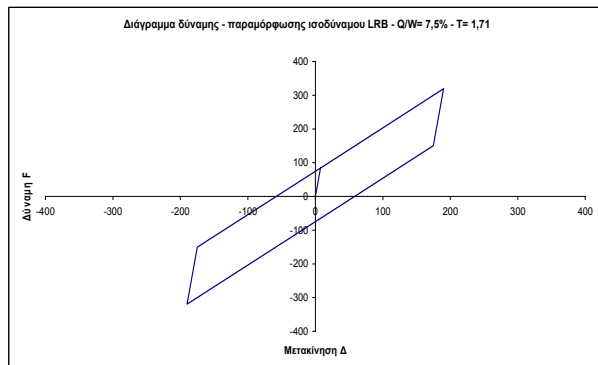
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,66
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεσής/τάσης ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,01071
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεσής/τάσης του ελαστικού (FEMA 356)	0,32969
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεσής/τάσης ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,90021
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεσής/τάσης του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62079
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	74,651
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	190
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 7,5\% - T = 1,71\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,635	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλάστ. συμπερ.)	109	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>0</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,5%	ο.κ.
α / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>0</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	13.956.588
(E) <sub>eff</sub> <sup>0</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.025.423.875
(E) <sub>eff</sub> <sup>1</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.260.967.281

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{\kappa,0}$	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	683,65	
$K_{\kappa,\Delta}$	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	434,37	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,39	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,17	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0	
$f_{\epsilon,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικώτ. - θέση 0	1,39	ο.κ.
$f_{\epsilon,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,56	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.209	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>0</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	11,160	
K <sub>0</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,288	
K <sub>y</sub> /K <sub>0</sub>	λόγος σθβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	7,561	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	84,388	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	319,318	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	1,681	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	54,477	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	14,3%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	12.419	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	8,6	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	9.900	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	4,3	ο.κ.

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,3	ο.κ.
	λυγισμός	8,6	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,3	ο.κ.
	λυγισμός	4,3	ο.κ.

spring effective stiffness	1681	E T A B S
initial spring stiffness	11.160	
yield force	84,39	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	434.369	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	654
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	109
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	335.927
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	326.596
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	9.331
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	326.596
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	167.484
	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.491
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	25
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	225
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

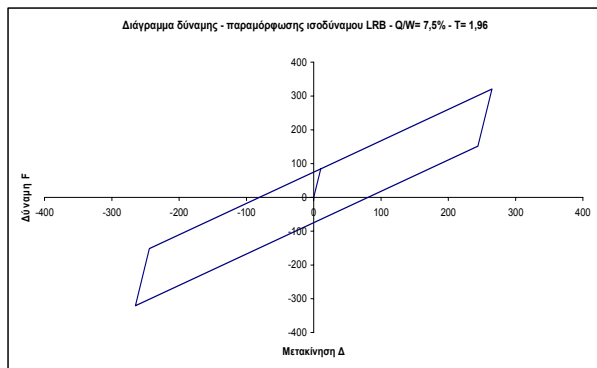
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,66
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>D</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεσότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,01071
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32969
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεσότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,90021
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62079
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	74,651
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	265
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>f</sub> = max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 7,5\% - T = 1,96\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,499	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	109	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>f</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	10.048.743
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.025.423.875
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.260.967.281

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{u,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	492,23	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	245,41	
$\epsilon_{ac}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,39	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,18	
$\epsilon_{av}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στροφής	0	
$f_{\epsilon,u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικोटό. - θέση 0	1,39	ο.κ.
$f_{\epsilon,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,57	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.731	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>s</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	8,035	
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,927	
K <sub>y</sub> /K <sub>s</sub>	λόγος στιβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	10,502	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	84,388	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	320,348	
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	1,209	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	75,994	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	14,2%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	8.942	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	6,2	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	6.314	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	2,7	ο.κ.

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,3	ο.κ.
	λυγισμός	6,2	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,3	ο.κ.
	λυγισμός	2,7	ο.κ.

spring effective stiffness	1209	E T A B S
initial spring stiffness	8.035	
yield force	84,39	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	245.410	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	654
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	109
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	335.927
	A <sub>e</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	326.596
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	9.331
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	326.596
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	118.479
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.491
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	33
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	297
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

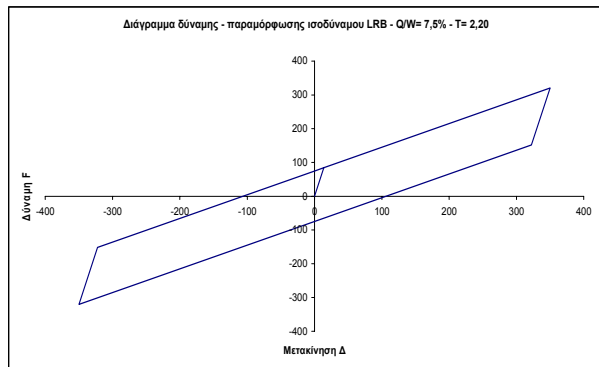
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,66
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διόγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεσής της ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,01071
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσής της του ελαστικού (FEMA 356)	0,32969
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεσής της ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,90021
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσής της του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62079
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	74,651
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	350
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>r</sub> = max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



**Q / W = 7,5% - T = 2,20sec**

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,353	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	109	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W, σε % - από 3% έως 10%)	7,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>b</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	7.612.684
(EI) <sub>eff</sub> <sup>0</sup>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.025.423.875
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.260.967.281

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

K <sub>u,0</sub>	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	372,90	
K <sub>u,Δ</sub>	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	131,52	
ε <sub>ac</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,39	
ε <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,18	
ε <sub>av</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένων στροφής	0	
f <sub>Lu</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικ. - θέση 0	1,39	Ο.Κ.
f <sub>LΔ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,57	Ο.Κ.
P <sub>v</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.224	Μη εφαρμοσμένο
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>u</sub>	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	6,087	
K <sub>p</sub>	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,702	
K <sub>y</sub> /K <sub>u</sub>	λόγος σθιβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	13,863	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	84,388	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	320,488	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	0,916	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	100,371	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	14,2%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	6.774	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	4,7	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	4.023	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,7	ο.κ.

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,3	ο.κ.
	λυγισμός	4,7	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,3	ο.κ.
	λυγισμός	1,7	ο.κ.

spring effective stiffness	916	E T A B S
initial spring stiffness	6.087	
yield force	84,39	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	131.519	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	654
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	109
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	335.927
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	326.596
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	9.331
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	326.596
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	86.568
	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.491
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	42
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	378
	t <sub>stl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

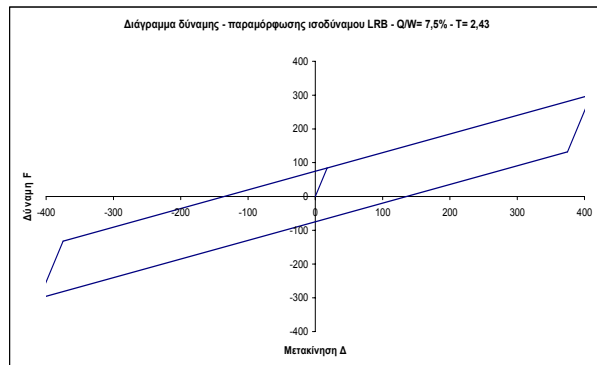
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,66
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>D</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεσότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,01071
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32969
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεσότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,90021
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62079
	σ <sub>y</sub>	φαινόμενο όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	74,651
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	410
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>f</sub> = max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 7,5\% - T = 2,43\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,258	Μη εφορμόζω
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	109	Ο.Κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>f</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,5%	Ο.Κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	Ο.Κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	Ο.Κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	5.981.395
(EI) <sub>eff</sub> <sup>0</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.025.423.875
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.260.967.281

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{u,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	292,99	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	75,50	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,39	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,08	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρωφής	0	
$f_{\epsilon u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικोट. - θέση 0	1,39	Ο.Κ.
$f_{\epsilon \Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,47	Ο.Κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	920	Μη εφαρμόσιμο
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>s</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	4.783	
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0.552	
K <sub>y</sub> /K <sub>s</sub>	λόγος στιβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	17.643	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	84.388	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	300.922	
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	0.734	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	117.159	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	15,1%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	5.323	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	3,7	Ο.Κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	2.702	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,2	Μη αποδεκτό

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,3	Ο.Κ.
	λυγισμός	3,7	Ο.Κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,4	Ο.Κ.
	λυγισμός	1,2	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	734	E T A B S
initial spring stiffness	4.783	
yield force	84,39	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	75.504	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΨΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	665
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	126
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	347.323
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	334.854
	A <sub>ph</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	12.469
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	334.854
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	267.958
	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.802
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	15
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	135
	t <sub>st</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

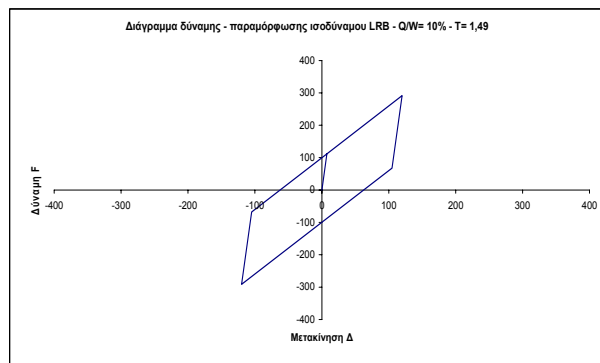
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,81
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>p</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,02761
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32362
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,91523
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62789
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	99,752
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	120
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>i</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 10\% - T = 1,49\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,771	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	126	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>b</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονωτήρα	18.099.845
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.288.231.918
(EI) <sub>st</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.443.479.070

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{u,0}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	832,60	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	642,35	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παρσμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,38	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,89	
$\epsilon_{st}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
$f_{u,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικ. - θέση 0	1,38	ο.κ.
$f_{u,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,27	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.931	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>o</sub>	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	14,859	
K <sub>p</sub>	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,598	
K <sub>y</sub> /K <sub>o</sub>	λόγος σθιβαρότητων	10,8%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	7,522	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	111,770	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	291,474	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	2,429	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	44,880	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	20,4%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	15.754	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	10,9	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	13.837	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	6,0	ο.κ.

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	10,9	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,6	ο.κ.
	λυγισμός	6,0	ο.κ.

spring effective stiffness	2429	E T A B S
initial spring stiffness	14.859	
yield force	111,77	
post yield stiffness ratio	0,108	
spring vertical effective stiffness	642.350	



# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	665
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	126
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	347.323
	A <sub>s</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	334.854
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	12.469
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	334.854
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	238.734
	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.802
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	23
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	207
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

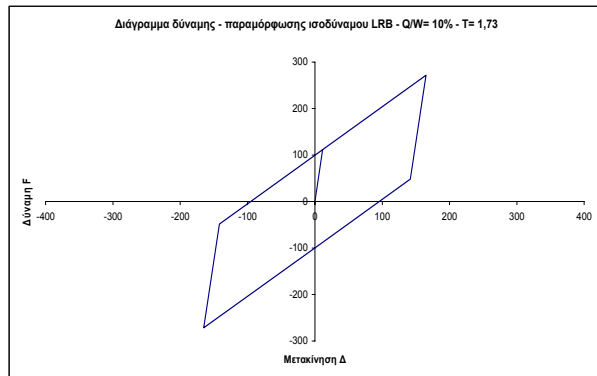
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,81
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,02761
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32362
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,91523
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62789
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	99,752
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	165
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>f</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 10\% - T = 1,73\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,687	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	126	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W, σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	11.804.247
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.288.231.918
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.443.479.070

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{v,0}$	κατακόρυφη σπιθαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	543,00	
$K_{v,\Delta}$	κατακόρυφη σπιθαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	373,24	
$\epsilon_{ac}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,38	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,80	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρόφης	0	
$f_{\epsilon,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικोट. - θέση 0	1,38	ο.κ.
$f_{\epsilon,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,18	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.677	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

K <sub>s</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	9,691	
K <sub>p</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,042	
K <sub>s</sub> /K <sub>e</sub>	λόγος σθβαροτήτων	10,8%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	11,534	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	111,770	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	271,677	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	1,647	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	61,234	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	21,7%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	10.274	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	7,1	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	8.518	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	3,7	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λγισμός	7,1	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,8	ο.κ.
	λγισμός	3,7	ο.κ.

spring effective stiffness	1647	E T A B S
initial spring stiffness	9.691	
yield force	111,77	
post yield stiffness ratio	0,108	
spring vertical effective stiffness	373.236	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

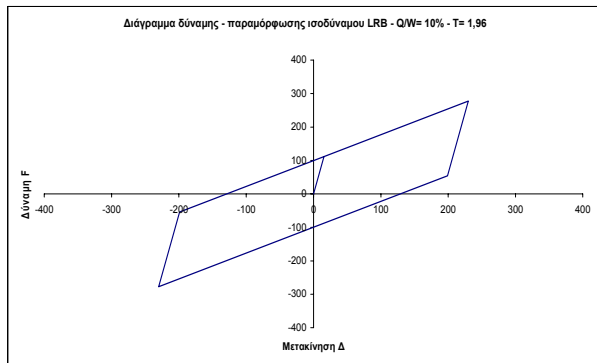
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΣΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	665
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	126
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	347.323
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	334.854
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	12.469
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	334.854
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	197.479
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτιζόμενη επιφάνεια	18.802
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	31
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	279
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,81
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΙΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD 22	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>p</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,02761
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32362
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,91523
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62789
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	99,752
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>w</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	230
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 10\% - T = 1,96\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,569	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλάστ. συμπερ.)	126	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W, σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	8.757.989
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.288.231.918
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.443.479.070

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
K <sub>u,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	402,87
K <sub>u,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	229,06
e <sub>ac</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,38
e <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,82
e <sub>sw</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στροφής	0
f <sub>e,u</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικά. - θέση 0	1,38
f <sub>e,u</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,20
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.198
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000
δεν απαιτείται έλεγχος		

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	7.190
K <sub>p</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,773
K <sub>y</sub> /K <sub>b</sub>	λόγος σθβαροτήτων	10,8%
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	15,546
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	111,770
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	277,559
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	1,207
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	85.569
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	21,3%

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	7.623
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	5,3
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	5.748
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	2,5

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	5,3	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,7	ο.κ.
	λυγισμός	2,5	ο.κ.

spring effective stiffness	1207	E T A B S
initial spring stiffness	7.190	
yield force	111,77	
post yield stiffness ratio	0,108	
spring vertical effective stiffness	229.064	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	665
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	126
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	347.323
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	334.854
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	12.469
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	334.854
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	137.246
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.802
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	39
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	351
	t <sub>st</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

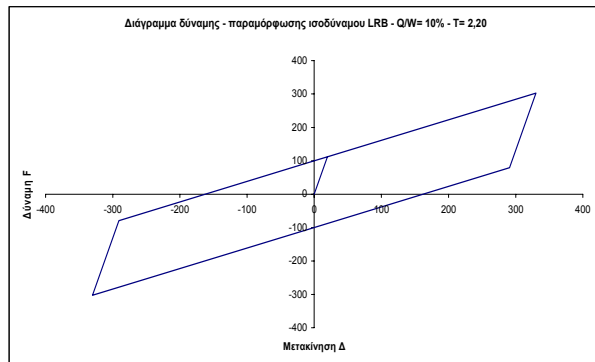
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,81
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>d</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπιεσσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,02761
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπιεσσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32362
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπιεσσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,91523
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπιεσσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62789
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου σε K <sub>N</sub> /mm <sup>2</sup> (σταθερό)	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	99,752
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	330
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W=max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου (Kn)	620



$$Q / W = 10\% - T = 2,20\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,395	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	126	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W, σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονιτήρα	6.961.479
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.288.231.918
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.443.479.070

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{c,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Εc σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	320,23	
$K_{c,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Εc σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	126,54	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,38	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,94	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρόφης	0	
$f_{\epsilon,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικ. - θέση 0	1,38	ο.κ.
$f_{\epsilon,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,32	ο.κ.
$P_y$	μείνιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.480	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

K <sub>o</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	5,715	
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0.614	
K <sub>p</sub> /K <sub>o</sub>	λόγος στιβαροτήτων	10,8%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	19,558	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	111,770	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	302,535	
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	0.917	
ED	κατανάλισιόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	123,869	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	19,7%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαμόρφωτη θέση 0	6.059	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	4,2	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	3.809	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,7	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	Ο.Κ.
	λγισμός	4,2	Ο.Κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,6	Ο.Κ.
	λγισμός	1,7	Ο.Κ.

spring effective stiffness	917	E T A B S
initial spring stiffness	5.715	
yield force	111,77	
post yield stiffness ratio	0,108	
spring vertical effective stiffness	126.541	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	665
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	126
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	347.323
	A <sub>e</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	334.854
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	12.469
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	334.854
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	137.246
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>tee</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	18.802
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	56
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	504
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΜΗ	$A_{free}$	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσμευση επιφάνεια	18.802
	$n$	αριθμός στρώσεων ελαστικού	56
	$t$	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	$t_{st}$	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	$t_e$	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	504
	$t_{st}$	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

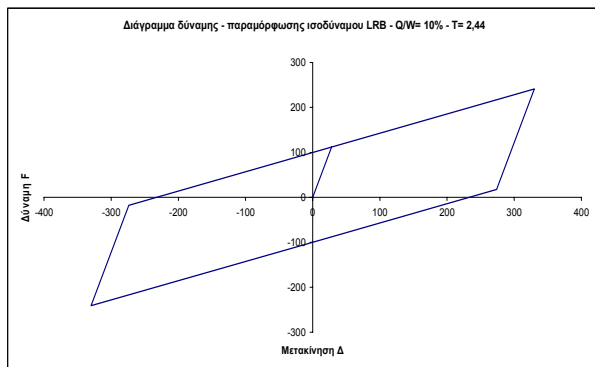
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,81
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διόγκωσης	2
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπιεσσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,02761
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπιεσσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,32362
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπιεσσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,91523
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπιεσσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,62789
	σ <sub>y</sub>	φαινόμενο όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	99,752
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραύση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	330
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			
-----------	--	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
$W = DL + 0,3LL$	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
$W_i = \max (DL + 0,3LL)$	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
$\max (1,2DL + LL)$	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
$\max (1,2DL + LL + EQ)$	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
$\min (0,8DL - EQ)$	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
$\theta$	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 10\% - T = 2,44\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,395	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	126	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
----------------------	--	--	--

K <sub>b</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	4.848.173
(EI) <sub>eff</sub> <sup>0</sup>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμτ. υλικό (FEMA 356)	3.288.231.918
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.443.479.070

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
--	--	--	--

$K_{v,0}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	223,02	
$K_{v,\Delta}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	88,13	
$\epsilon_{ac}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,38	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,65	
$\epsilon_{ar}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στροφής	0	
$f_{0u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικώτ. - θέση 0	1,38	ο.κ.
$f_{\Delta u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,03	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.598	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
-----------------------------------	--	--	--

$K_0$	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	3.980	
$K_p$	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0.428	
$K_y/K_0$	λόγος σθιβαροτήτων	10,8%	ο.κ.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	28,083	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	111,770	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	240,976	
$K_{eff}$	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	0.730	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	120.467	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	24,1%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
--	--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	4.220	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	2,9	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	2.653	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,2	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
--	--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	2,9	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	3,0	ο.κ.
	λυγισμός	1,2	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	730	E T A B S
initial spring stiffness	3.980	
yield force	111,77	
post yield stiffness ratio	0,108	
spring vertical effective stiffness	88.127	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

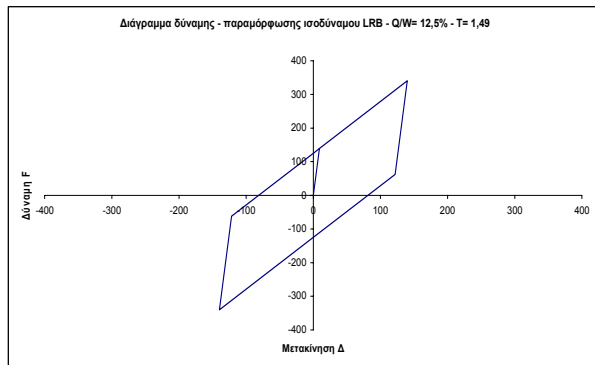
## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	674
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	141
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	356.788
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	341.173
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	15.615
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	341.173
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	263.111
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	16
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	144
	t <sub>st</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗ	$A_{\text{free}}$	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	16
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	$t_{sh}$	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)	2
	$t_e$	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	144
	$t_{pl}$	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	140
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων		28
Σεισμική απόδοση			
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία		28.000
W=max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία		1.000
Ικανότητα εφεδράνου			
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία		1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό		2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού		0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)		0
Φορτίσεις ανέμου			
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου		620



$$Q / W = 12,5\% - T = 1,49\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,737	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	141	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W, σε % - από 3% έως 12,5%)	12,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονιτήρα		18.029.064
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)		3.506.534.218
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)		2.596.185.173

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
K <sub>c,0</sub>	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0		791,69
K <sub>c,Δ</sub>	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ		583,83
ε <sub>sc</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0		1,37
ε <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)		0,97
f <sub>eff</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρόφης		0
f <sub>ε,υ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικ. - θέση 0	1,37	ο.κ.
f <sub>ε,υ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,34	ο.κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.761	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation		0,00000
	den απαιτείται έλεγχος		

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
K <sub>o</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)		15,254
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)		1,539
K <sub>y</sub> /K <sub>o</sub>	λόγος στιβαροτήτων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )		9,108
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου		138,930
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ		340,326
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου		2,431
ED	καταναιωσόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)		65,402
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	21,8%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0		15.430
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	10,6	ο.κ.
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ		13.250
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	5,8	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	10,6	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,6	ο.κ.
	λυγισμός	5,8	ο.κ.

spring effective stiffness	2431	E T A B S
initial spring stiffness	15.254	
yield force	138,93	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	583.826	

## ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΣΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	674
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	141
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	356.788
	A <sub>e</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες εντάχωσης	341.173
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	15.615
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	341.173
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	243.434
	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

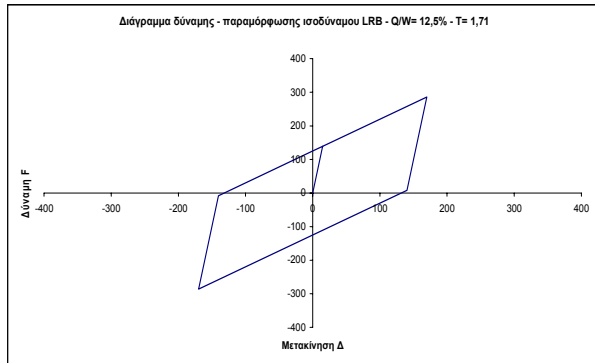
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>res</sub>	παραπλευρική, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	26
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>eb</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών εντάχωσης (σταθερό)	2
	t <sub>e</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	234
	t <sub>el</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

S	συντελεστής σχίσματος των στρώσεων του ελαστικού	17,90
---	--	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1.03846
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,31953
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,92488
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,63242
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	124,916
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	170
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>f</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 12,5\% - T = 1,71\text{sec}$$

### ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,682	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	141	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	11.094.808
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμτ. υλικά (FEMA 356)	3.506.534.218
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.596.185.173

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
$K_{c,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	487,19	
$K_{c,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	332,41	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,37	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,73	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
$f_{c,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικ. - θέση 0	1,37	ο.κ.
$f_{c,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,09	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.733	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
$K_0$	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	9,387	
$K_p$	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,947	
$K_y/K_0$	λόγος στιβαροτήτων	10,1%	ο.κ.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	14,801	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	138,930	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	285,882	
$K_{eff}$	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	1,682	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	77.548	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	25,4%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	9.495	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	6,5	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	7.843	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	3,4	ο.κ.

ΣΥΝΩΠΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	6,5	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,9	ο.κ.
	λυγισμός	3,4	ο.κ.

spring effective stiffness	1682	E T A B S
initial spring stiffness	9.387	
yield force	138,93	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	332.410	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΦΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	674
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	141
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	356.788
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	341.173
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	15.615
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	341.173
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	223.993
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	42
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	378
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

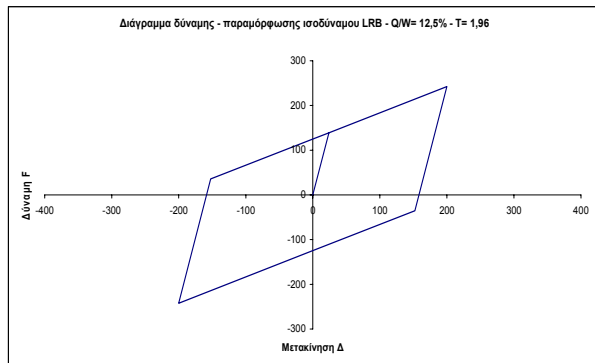
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17,90
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>p</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1.03846
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0.31953
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0.92488
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0.63242
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>δ</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	124,916
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	200
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W=max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 12,5\% - T = 1,96\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,628	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	141	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>δ</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>b</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονωτήρα	6.868.215
(EI) <sub>eff</sub> <sup>0</sup>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.506.534.218
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.596.185.173

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{y,0}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	301,60	
$K_{y,\Delta}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	189,34	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,37	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,53	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
$f_{\epsilon,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικोट. - θέση 0	1,37	Ο.Κ.
$f_{\epsilon,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	1,90	Ο.Κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.646	Ο.Κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>o</sub>	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	5,811	
K <sub>p</sub>	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,586	
K <sub>p</sub> /K <sub>o</sub>	λόγος σθιβαρότητων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	23,909	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	138,930	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	242,146	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	1,211	
ED	κατανεμημένη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	87,987	
β	ισοδυναμός βαθμός απόσβεσης	28,9%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	5.878	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	4,1	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	4.657	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	2,0	ο.κ.

## ΣΥΝΩΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	4,1	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	3,2	ο.κ.
	λυγισμός	2,0	ο.κ.

spring effective stiffness	1211	E T A B S
initial spring stiffness	5.811	
yield force	138,93	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	189.343	



# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

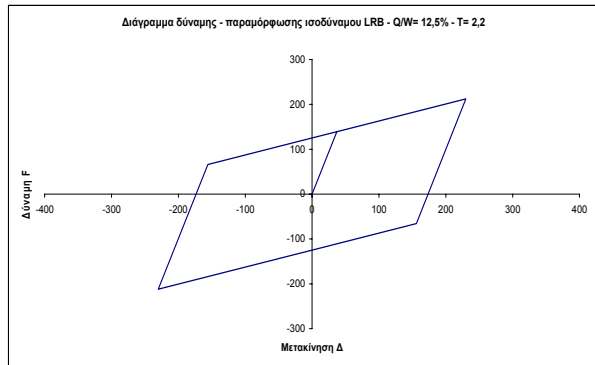
## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	674
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτωσης πυρήνα μολύβδου	141
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	356.788
	A <sub>e</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	341.173
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτωσης του πυρήνα μολύβδου	15.615
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτωση	341.173
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	204.831
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	65
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	585
	t <sub>st</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗ	$A_{\text{free}}$	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	65
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	$t_h$	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)	2
	$t_e$	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	585
	$t_{pl}$	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	230
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28	
Σεισμική απόδοση			
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000	
W <sub>i</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000	
Ικανότητα εφεδράνου			
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450	
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300	
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0	
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0	
Φορτίσεις ανέμου			
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620	



$$Q / W = 12,5\% - T = 2,20\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,574	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	141	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	4.437.923	
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.506.534.218	
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.596.185.173	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
K <sub>u,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	194,88	
K <sub>u,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	111,88	
ε <sub>sc</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,37	
ε <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,39	
ε <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρόφης	0	
f <sub>sc</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,37	ο.κ.
f <sub>su</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	1,76	ο.κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.502	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
δεν απαιτείται έλεγχος			

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
K <sub>u</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	3,755	
K <sub>p</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,379	
K <sub>p</sub> /K <sub>u</sub>	λόγος σθβαρότητων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	37,002	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	138,930	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	212,027	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	0,922	
ED	καταναλωόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	96,434	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	31,5%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
P <sub>cr,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	3.798	
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	2,6	ο.κ.
P <sub>cr,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	2.878	
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,3	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΦΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	2,6	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	3,4	ο.κ.
	λυγισμός	1,3	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	922	E T A B S
initial spring stiffness	3.755	
yield force	138,93	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	111.879	



# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ			
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΣΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	674
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	141
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	356.788
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης	341.173
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	15.615
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	341.173
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	176.717
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.057
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	87
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	9
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)	2
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	783
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40

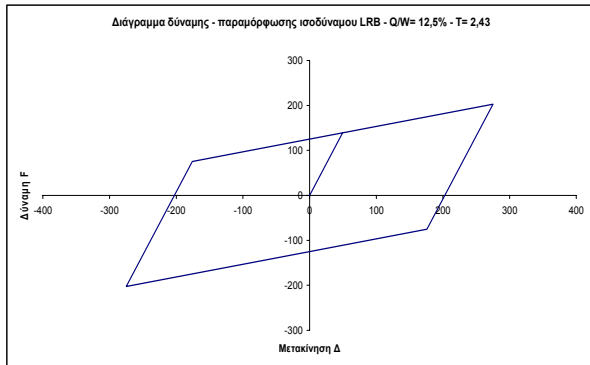
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	17.90
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,03846
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,31953
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,92488
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,63242
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>Δ</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	124,916
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διαστημική μετακίνηση του εφεδράνου	275
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	28
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	28.000
W <sub>max</sub> = max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.000
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.450
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	2.300
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλην του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρωφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	620



$$Q / W = 12,5\% - T = 2,43\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,495	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	141	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>y</sub> / W, σε % - από 3% έως 12,5%)	12,5%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρωφή των άκρων του μονωτήρα	3.315.690
(EI) <sub>eff<sup>0</sup></sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.506.534.218
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.596.185.173

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{v,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	145,60	
$K_{v,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	72,11	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,37	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήτρ. (σεισμός)	0,35	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρωφής	0	
$f_{c,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότη. - θέση 0	1,37	Ο.Κ.
$f_{c,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	1,72	Ο.Κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.181	Ο.Κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	2.805	
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0.283	
K <sub>p</sub> /K <sub>b</sub>	λόγος στιβαρότητων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	49.525	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	138.930	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	202.733	
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	0.737	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	112.662	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	32.2%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
--	--	--	--

P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	2.838	
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	2,0	Μη αποδεκτό
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	1.997	
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	0,9	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	4,4	ο.κ.
	λυγισμός	2,0	Μη αποδεκτό
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	0,9	Μη αποδεκτό

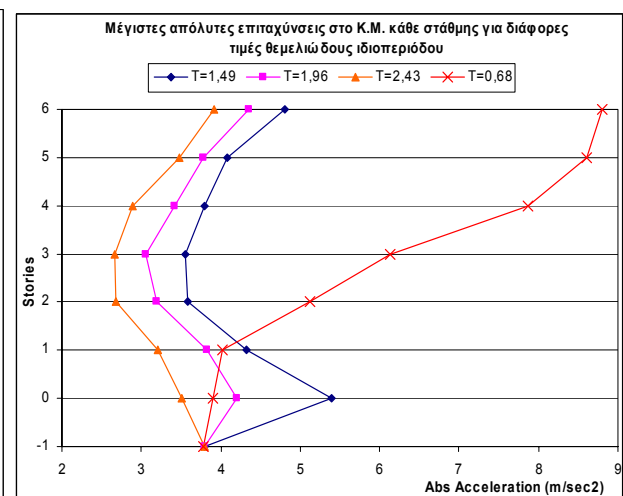
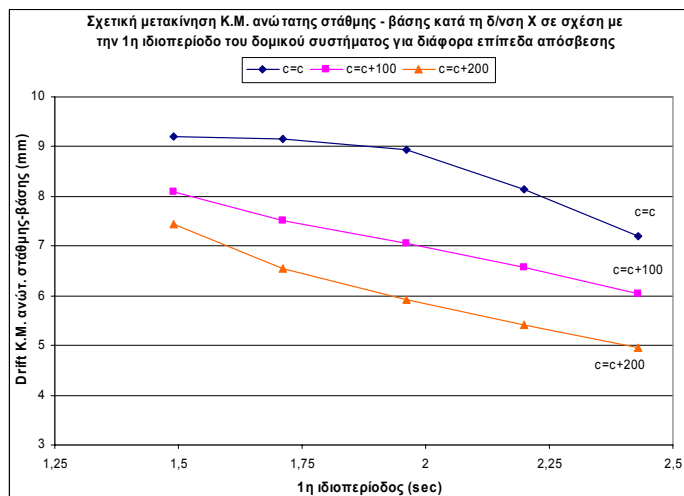
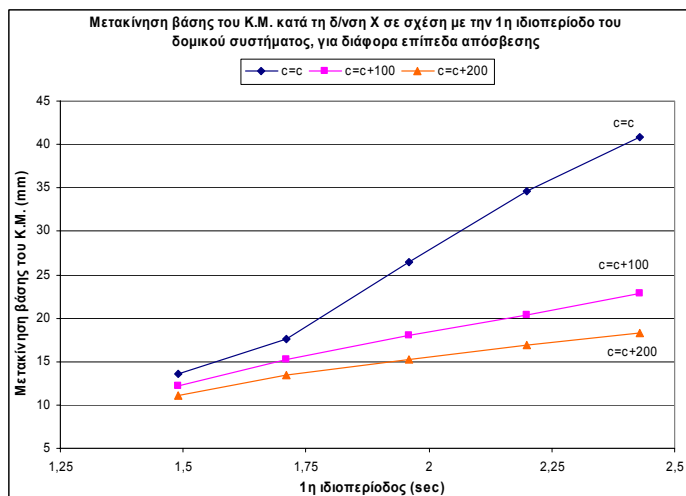
spring effective stiffness	737	E T A B S
initial spring stiffness	2.805	
yield force	138,93	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	72.115	

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

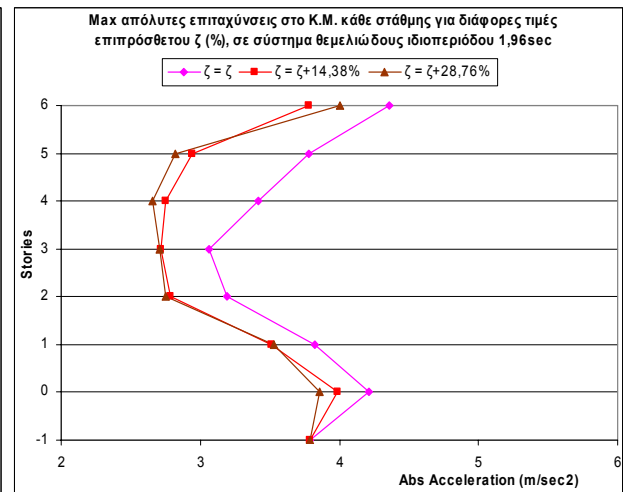
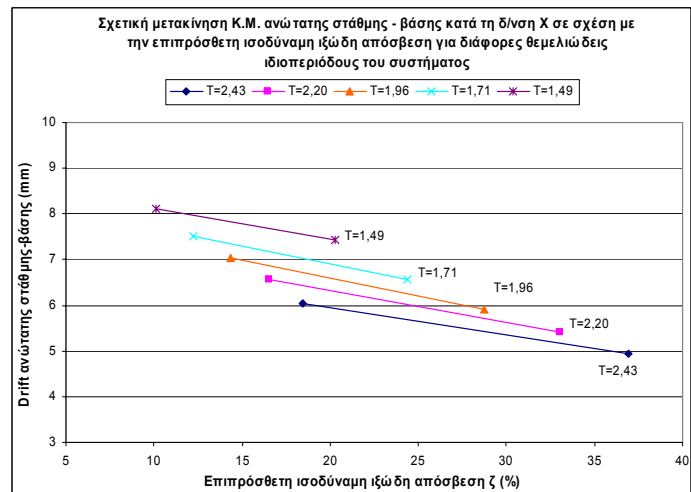
## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Α ΜΕ LRB ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

---

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης του μονωμένου δομικού συστήματος Α με διάφορους τύπους LRB και για διάφορα επίπεδα επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, υπό τη διέγερση επιλεγμένων NF & FF καταγραφών. Τα αποτελέσματα επικεντρώνονται στις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης, στις σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης και στις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις του κέντρου μάζας κάθε στάθμης. Οι επιλεγμένες διευθύνσεις επιβολής των σεισμικών καταγραφών έγινε με στόχο την έκθεση των δυσμενέστερων αποκρίσεων. Οι ιδιότητες των μονωτήρων που συνθέτουν το κάθε σύστημα μόνωσης, προήλθαν από προκαταρκτικό σχεδιασμό όπως αυτός περιγράφηκε στο Παράρτημα Β. Τα επίπεδα επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, αντιστοιχούν σε συντελεστές απόσβεσης 100 και 200 kN.sec/m για κάθε σύστημα, οι οποίοι αποδίδουν τιμές ποσοστού ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης  $\zeta$ , με εύρος από 10% έως 37% περίπου, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.

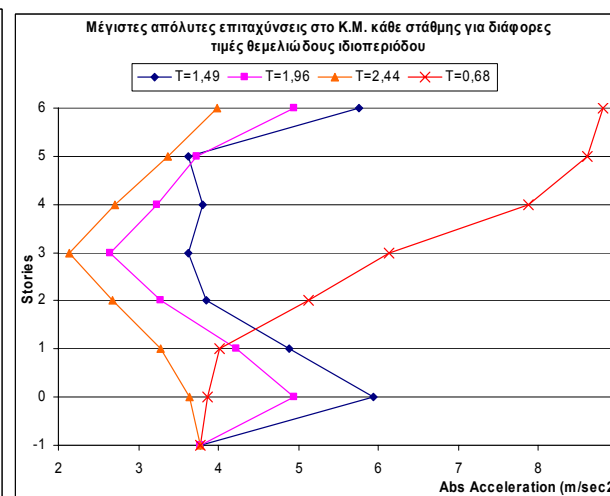
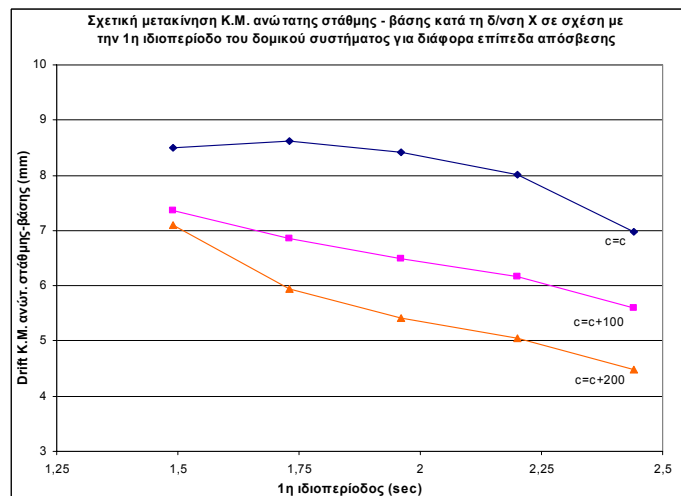
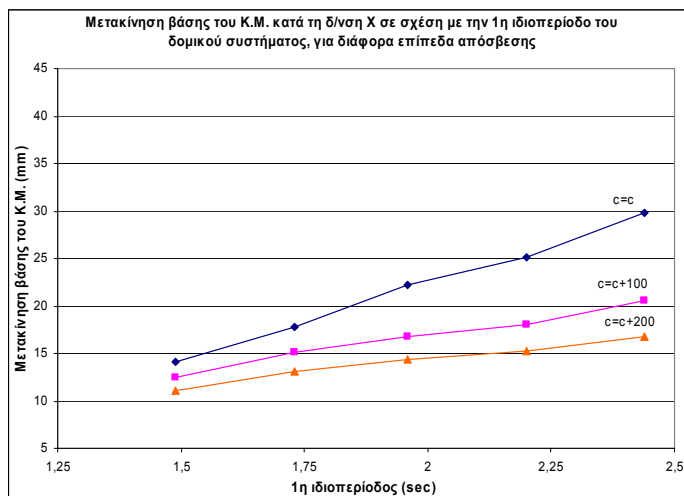


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 7,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2429	10,15%	20,29%
T=1,71	1681	12,20%	24,39%
T=1,96	1209	14,38%	28,76%
T=2,20	916	16,52%	33,04%
T=2,43	734	18,46%	36,91%

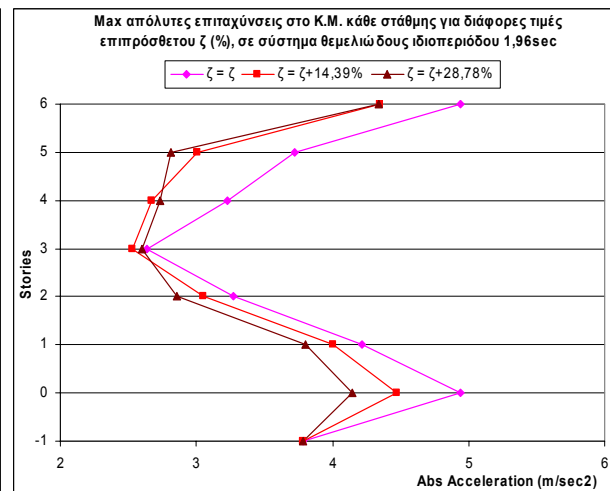
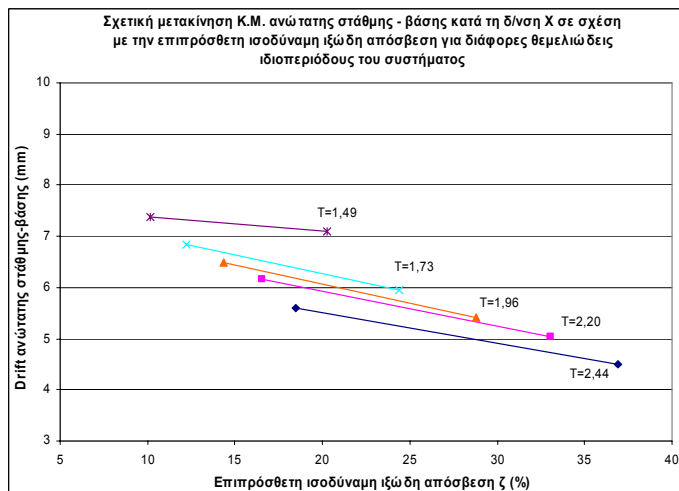


### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 7,5% - Σεισμική διέγερση κατά X : NF230 & κατά Y : NF140

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

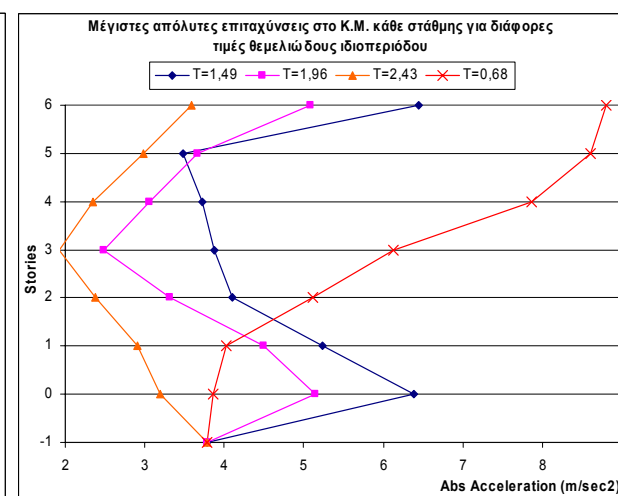
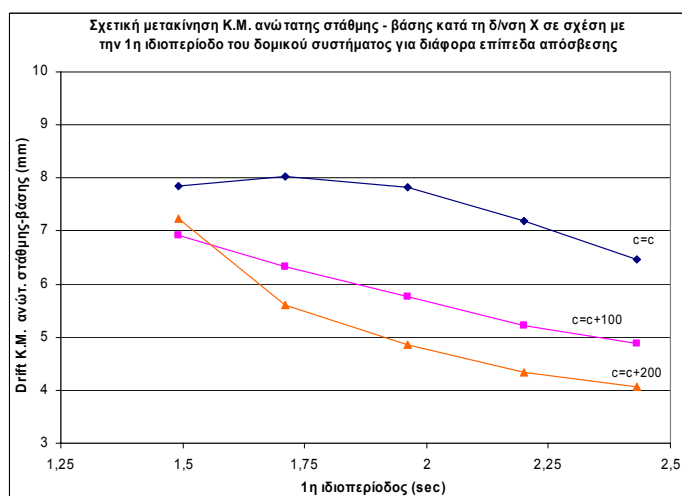
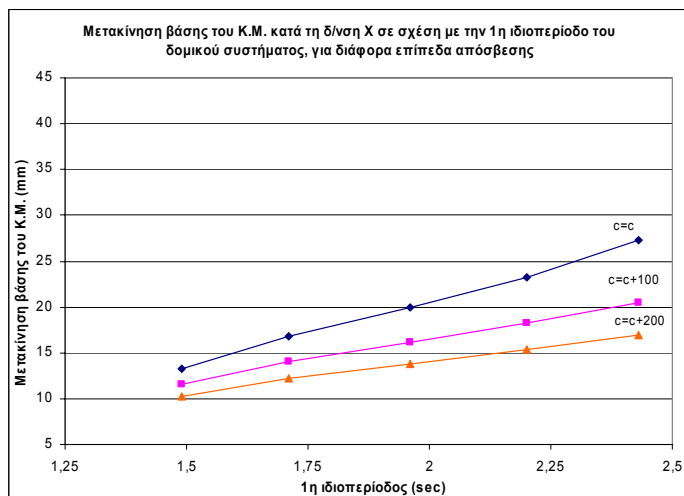


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 10%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2429	10,15%	20,29%
T=1,73	1647	12,32%	24,64%
T=1,96	1207	14,39%	28,78%
T=2,20	917	16,51%	33,02%
T=2,44	730	18,51%	37,01%

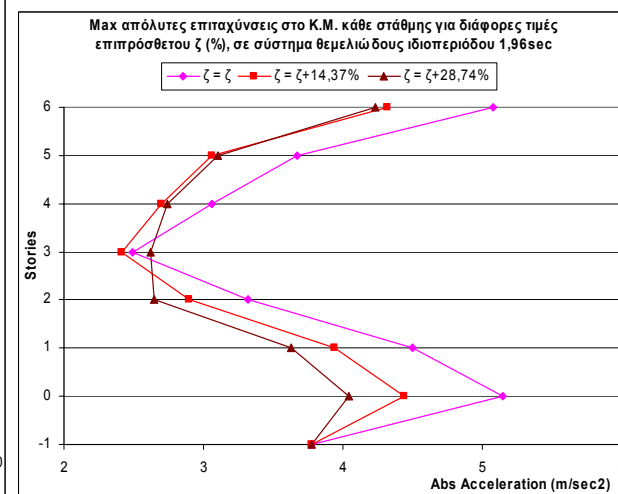
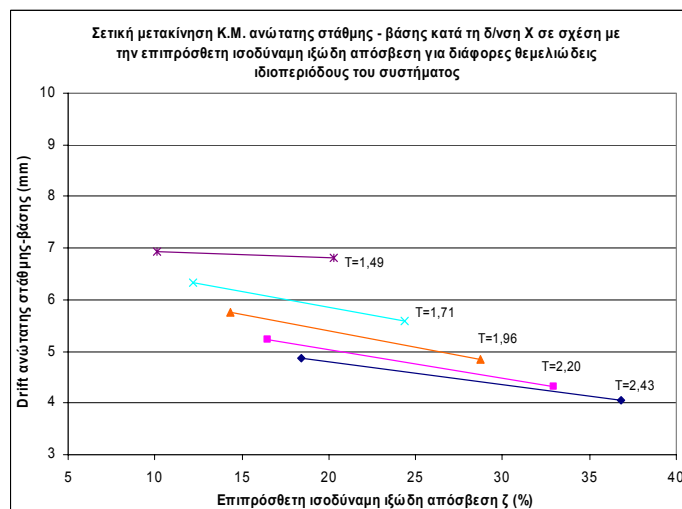


### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 10% - Σεισμική διέγερση κατά X : NF230 & κατά Y : NF140

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/νση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

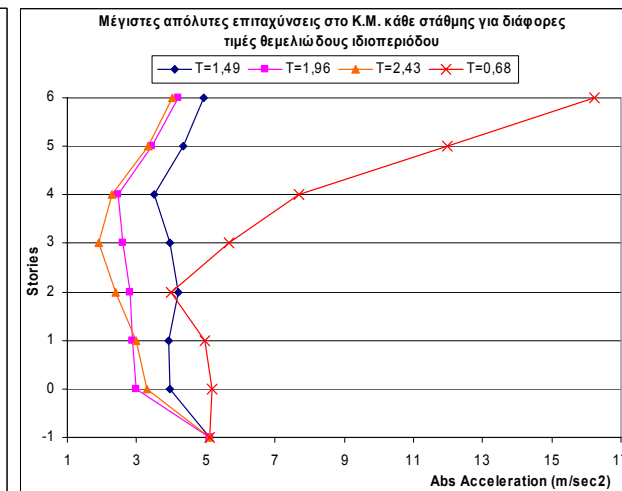
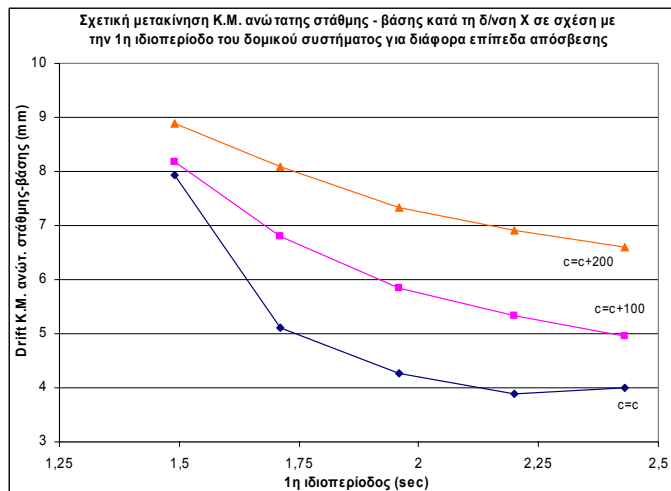
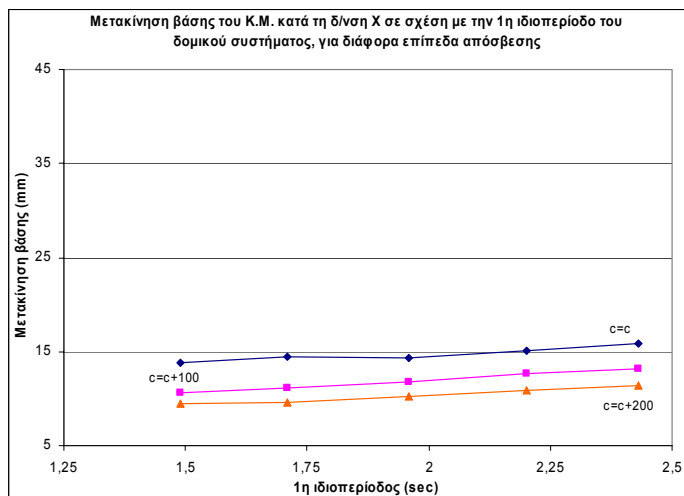


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 12,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2431	10,14%	20,28%
T=1,71	1682	12,19%	24,38%
T=1,96	1211	14,37%	28,74%
T=2,20	922	16,47%	32,93%
T=2,43	737	18,42%	36,84%

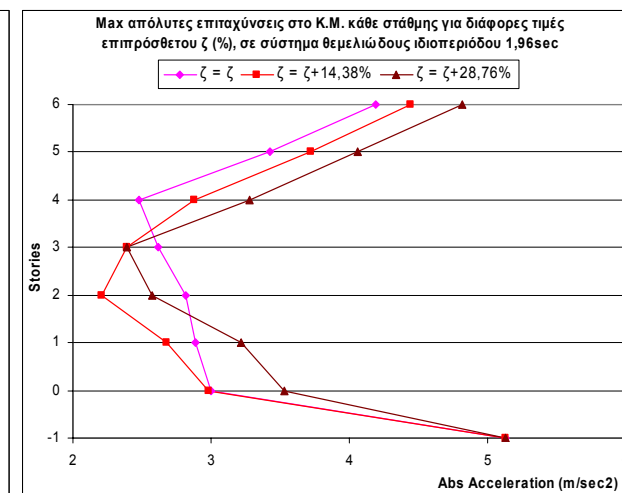
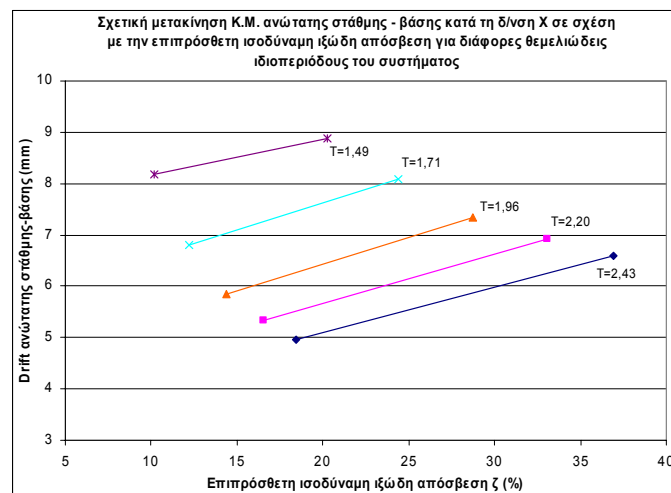


### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 12,5% - Σεισμική διέγερση κατά X : NF230 & κατά Y : NF140

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

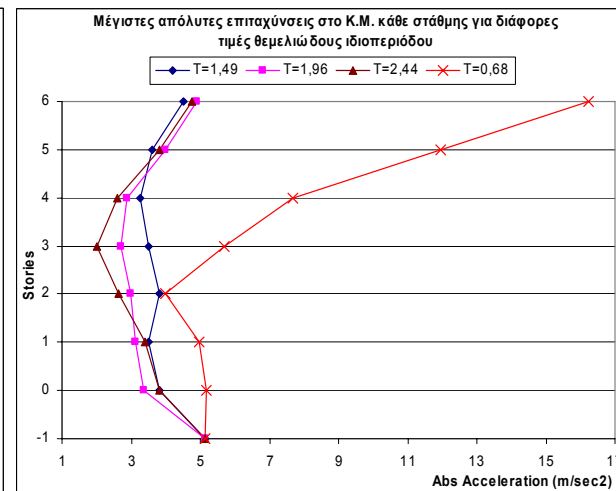
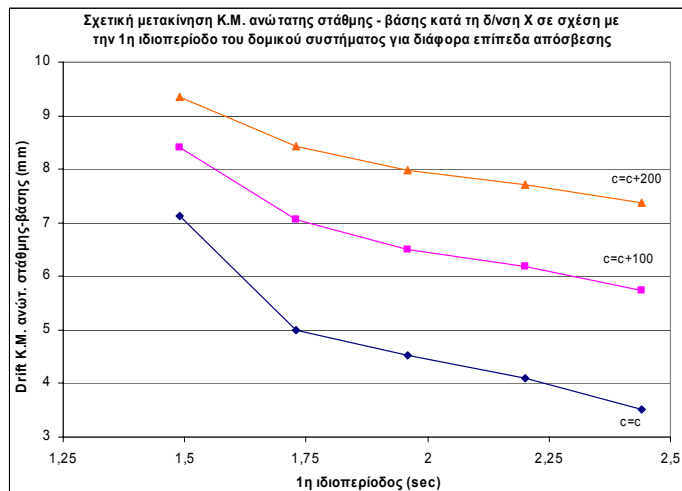
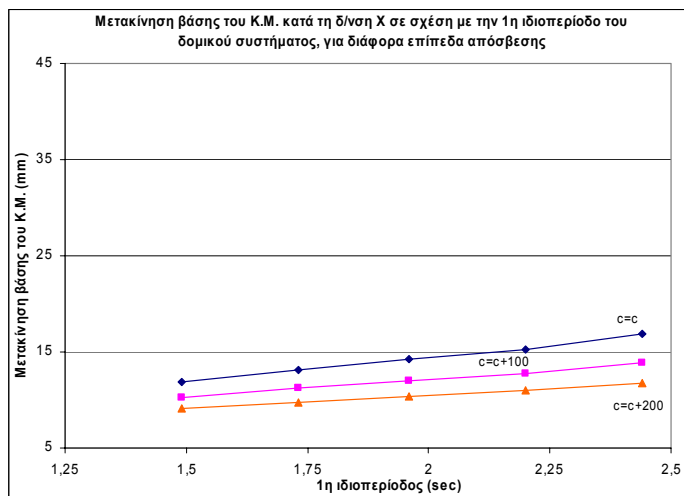


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 7,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2429	10,15%	20,29%
T=1,71	1681	12,20%	24,39%
T=1,96	1209	14,38%	28,76%
T=2,20	916	16,52%	33,04%
T=2,43	734	18,46%	36,91%

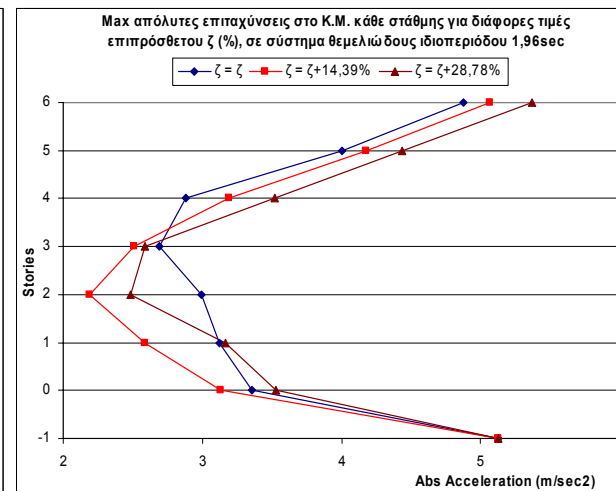
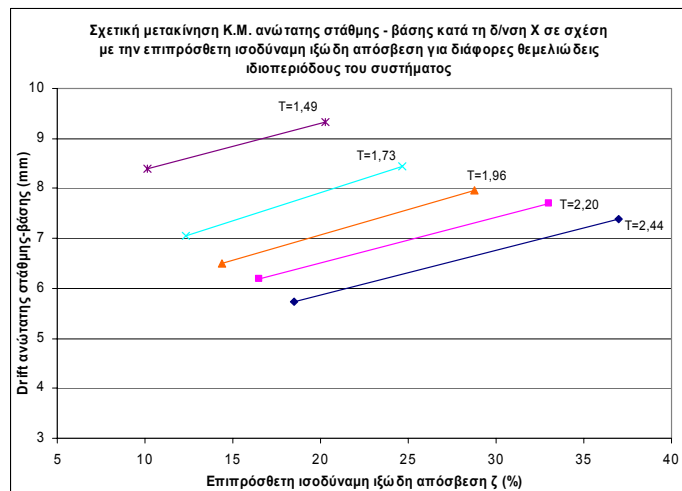


### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 7,5% - Σεισμική διέγερση κατά X : FF360 & κατά Y : FF090

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

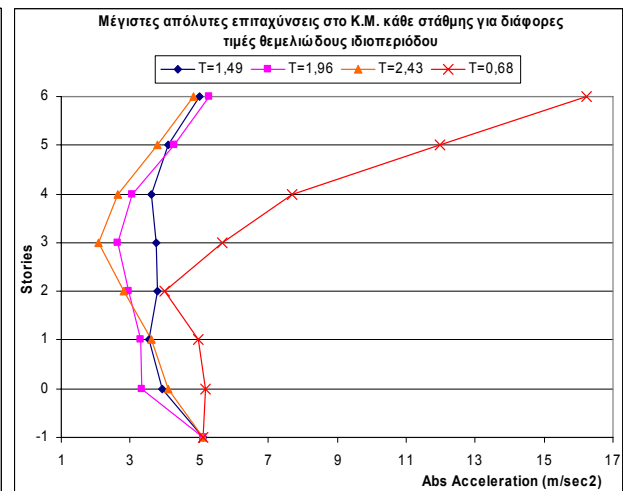
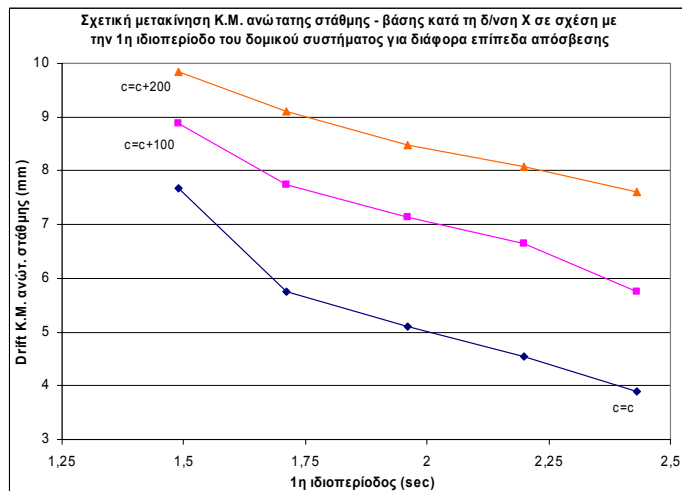
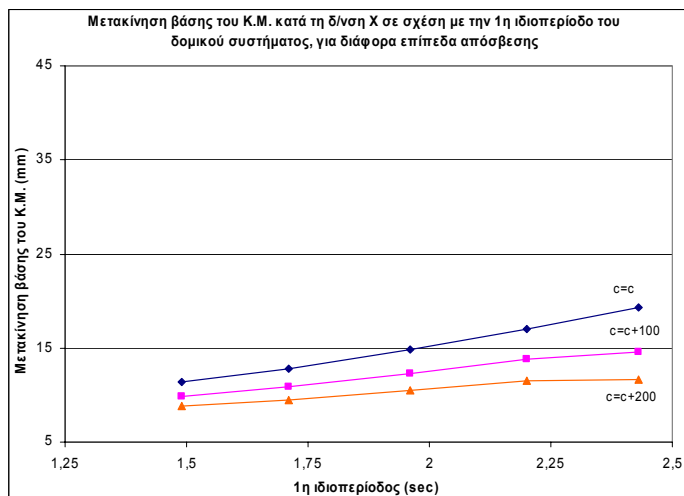


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 10%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2429	10,15%	20,29%
T=1,73	1647	12,32%	24,64%
T=1,96	1207	14,39%	28,78%
T=2,20	917	16,51%	33,02%
T=2,44	730	18,51%	37,01%

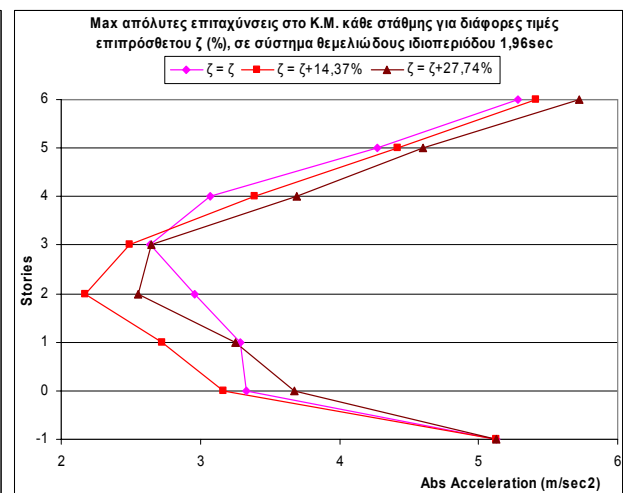
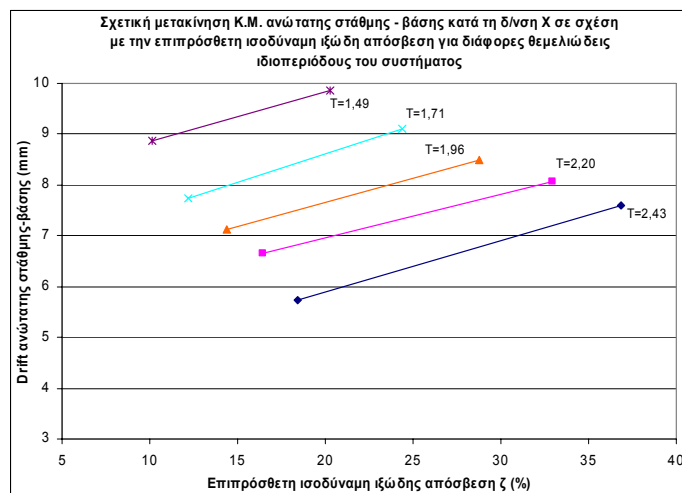


#### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 10% - Σεισμική διέγερση κατά X : FF360 & κατά Y : FF090

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.



ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ LRB : Q / W = 12,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2431	10,14%	20,28%
T=1,71	1682	12,19%	24,38%
T=1,96	1211	14,37%	28,74%
T=2,20	922	16,47%	32,93%
T=2,43	737	18,42%	36,84%



#### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 12,5% - Σεισμική διέγερση κατά X : FF360 & κατά Y : FF090

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ LRB ΓΙΑ ΤΟ ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β

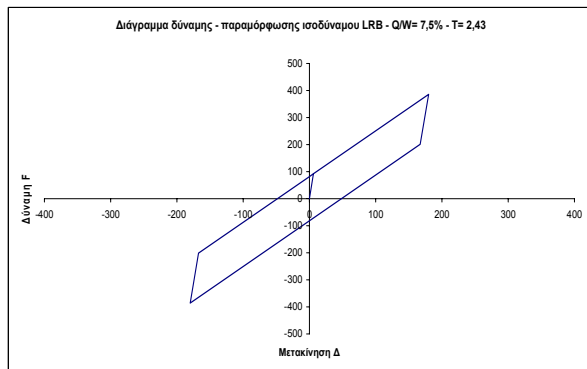
---

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται τα δεδομένα και οι έλεγχοι του προκαταρκτικού σχεδιασμού των LRB, για μετακινήσεις που προκύπτουν κατά την NF φόρτιση, με τη καταγραφή του παλμού στη διεύθυνση Y του δομικού συστήματος Β (μονάδες μέτρησης kN-mm). Το φυσικό ελαστικό που συνθέτει τα εφένδρανα είναι χαμηλού βαθμού απόσβεσης και σκληρότητας IHRD : 45. Οι ελαστικές σταθερές του απεικονίζονται στη στήλη των δεδομένων. Σημειώνεται ότι κάποιοι από τους ελέγχους, που αφορούν κυρίως ακραίες προσεγγίσεις εφενδράνων, δεν ικανοποιούνται στο βαθμό που ορίζουν οι επιλεγμένοι συντελεστές ασφαλείας. Όμως η συμμετοχή τους στη παραμετρική μελέτη κρίθηκε απαραίτητη, αφενός για την ολοκληρωμένη παρουσίαση της, αφετέρου για τη έκθεση της ανάγκης εφαρμογής επιπρόσθετης απόσβεσης, ελέγχοντας έτσι τις υψηλές αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης, στις οποίες οφείλονται οι εν λόγω αστοχίες.

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ				
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΨΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	684	
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου	114	
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)	367.45	
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόσχησης	357.24	
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου	10.20	
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη	357.24	
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού	245.76	
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	2	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια	19.34	
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού	16	
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού	6	
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόσχησης (σταθερό)	2	
	t <sub>s</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού	138	
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)	40	
S			συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,43
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45	
	E <sub>B</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,0018	
	G	μέτρο διάτμησης	0,0005	
	K	μέτρο διάγκωσης	2	
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10556	
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,2907	
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98452	
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65973	
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008	
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	81,656	
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,1	
e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%		
Δ			ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	180
ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ				
N		συνολικός αριθμός εφεδράνων		42
Σεισμική απόδοση				
W = DL + 0,3LL		σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία		46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)		μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία		1.100
Ικανότητα εφεδράνου				
max (1,2DL + LL)		μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία		1.700
max (1,2DL + LL + EQ)		μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό		3.200
min (0,8DL - EQ)		ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού		0
θ		επιβαλλόμενη στροφι (rad)		0
Φορτίσεις ανέμου				
Άνεμος		συνολικό φορτίο ανέμου		0



$$Q / W = 7,5\% - T = 1,49\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,669	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	114	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,4%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	21.223.977	
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.959.645.902	
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.865.236.896	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
K <sub>c,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	791,30	
K <sub>c,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	529,25	
ε <sub>sc</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,76	
ε <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,33	
ε <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
f <sub>εu</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,76	ο.κ.
f <sub>εu</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	3,10	ο.κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2,041	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	14,649	
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,690	
K <sub>y</sub> /K <sub>b</sub>	λόγος σθβαρότητων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	6,301	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	92,307	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	385,908	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	2,144	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	56,734	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	13,0%	Μη εφαρμόσιμο

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	17.547	
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	10,3	ο.κ.
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	14.350	
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	4,5	ο.κ.
ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,4	ο.κ.
	λυγισμός	10,3	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	1,9	ο.κ.
	λυγισμός	4,5	ο.κ.

spring effective stiffness	2144	E T A B S
initial spring stiffness	14.649	
yield force	92,31	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	529.254	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχωσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>needed</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

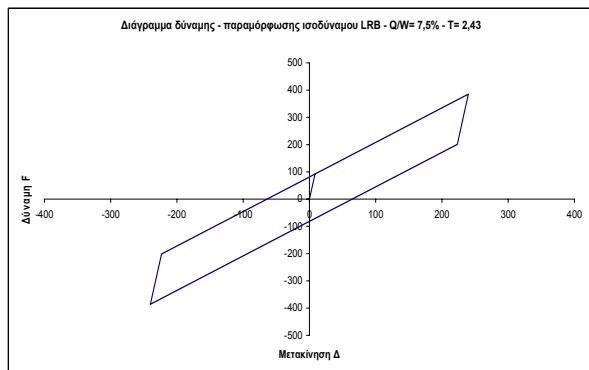
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>res</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχωσης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10556
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29072
	E**	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98452
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65975
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	81,656
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	240
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 7,5\% - T = 1,70\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,563	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	114	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>0</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,4%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	15.917.983
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.959.645.902
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.865.236.896

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
$K_{c,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	593,47	
$K_{c,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	333,88	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,76	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβέβλ. οριζόντιων μετακινήτρ. (σεισμός)	1,33	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στροφής	0	
$f_{c,u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικώτ. - θέση 0	1,76	ο.κ.
$f_{c,u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	3,10	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.717	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
K <sub>e</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	10,987	
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,268	
K <sub>p</sub> /K <sub>e</sub>	λόγος στιβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	8,402	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	92,307	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	385,908	
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	1,608	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	75,646	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	13,0%	Μη εφαρμόσιμο

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	13.160	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	7,7	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	9.871	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	3,1	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity			
	παραμόρφωση	3,4	ο.κ.
	λυγισμός	7,7	ο.κ.
Design earthquake			
	παραμόρφωση	1,9	ο.κ.
	λυγισμός	3,1	ο.κ.

spring effective stiffness	1608	E T A B S
initial spring stiffness	10.987	
yield force	92,31	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	333.883	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΑΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχλησης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>needed</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

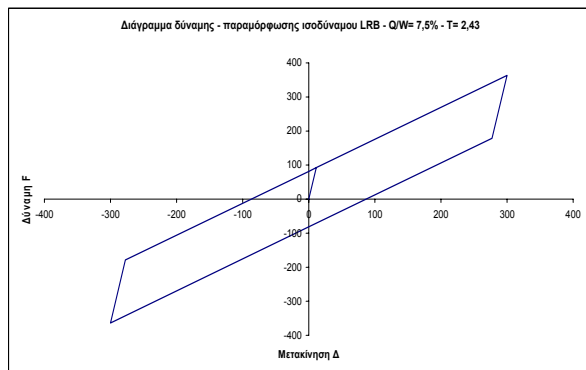
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>me</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10556
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29072
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98452
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65975
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	81,656
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>0</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	300
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>p</sub> max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλύν του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 7,5\% - T = 1,96\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,460	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	114	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W) σε % - από 3% έως 10%)	7,4%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	11.791.098
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.959.645.902
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.865.236.896

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
K <sub>v,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	439,61	
K <sub>v,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	202,23	
E <sub>se</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,76	
E <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,23	
E <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
f <sub>ε,0</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,76	ο.κ.
f <sub>ε,Δ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	3,00	ο.κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.448	Μη εφαρμοσμένο
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
K <sub>x</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	8,138	
K <sub>y</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,939	
K <sub>y</sub> /K <sub>x</sub>	λόγος σθβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	11,342	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	92,307	
F <sub>m</sub>	αναπτισσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	363,370	
K <sub>en</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	1,211	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	94,283	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	13,8%	Μη εφαρμοσμένο

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαρμόρφωτη θέση 0	9.748	
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαρμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	5,7	ο.κ.
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	6.612	
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	2,1	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity			
	παραμόρφωση	3,4	ο.κ.
	λυγισμός	5,7	ο.κ.
Design earthquake			
	παραμόρφωση	2,0	ο.κ.
	λυγισμός	2,1	ο.κ.

spring effective stiffness	1211	E T A B S
initial spring stiffness	8.138	
yield force	92,31	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	202.229	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΑΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχλησης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>res</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

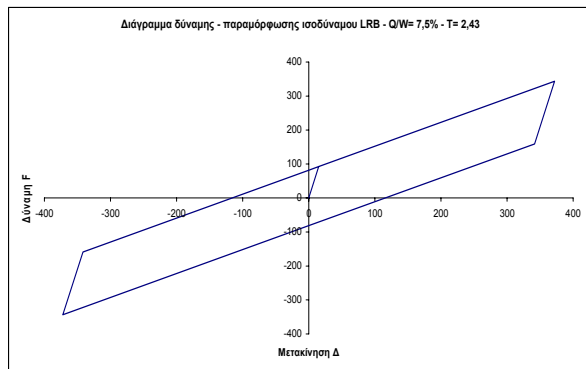
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>D</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>+</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10556
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29072
	E <sup>-</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98452
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65975
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	81,656
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραύση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	372
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 7,5\% - T = 2,21\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,343	Ο.Κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	114	Ο.Κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,4%	Ο.Κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	Ο.Κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	Ο.Κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	8.843.324	
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.959.645.902	
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.865.236.896	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
--	--	--	--

K <sub>u,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	329,71	
K <sub>u,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	113,21	
ε <sub>sc</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,76	
ε <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,15	
ε <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρόφης	0	
f <sub>ε,0</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,76	Ο.Κ.
f <sub>ε,Δ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,91	Ο.Κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.109	Μη εφαρμοσμένο
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
-----------------------------------	--	--	--

K <sub>c</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	6,104	
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,704	
K <sub>y</sub> /K <sub>b</sub>	λόγος σθβαρότητων	11,5%	Ο.Κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	15,123	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	92,307	
F <sub>u</sub>	ανάπτυχσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	343,650	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	0,924	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	116.565	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	14,5%	Μη εφαρμοσμένο

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
--	--	--	--

P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	7.311	
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	4,3	Ο.Κ.
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	4.284	
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,3	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
--	--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,4	Ο.Κ.
	λυγισμός	4,3	Ο.Κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,1	Ο.Κ.
	λυγισμός	1,3	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	924	E T A B S
initial spring stiffness	6.104	
yield force	92,31	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	113.213	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΑΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχωσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>mes</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχωσης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

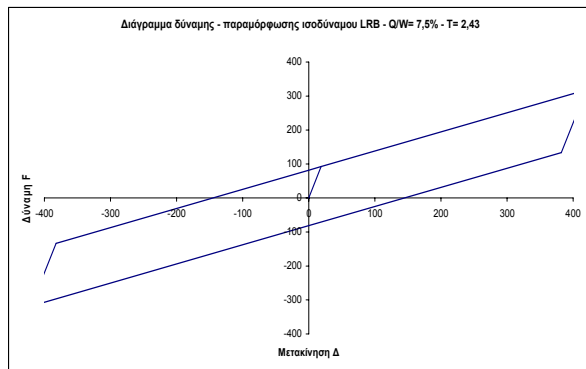
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>D</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10556
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29072
	E <sup>**</sup>	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98452
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65975
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	81,656
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραύση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	420
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 7,5\% - T = 2,43\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,271	Μη εφαρμοσμένο
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	114	Ο.Κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 10%)	7,4%	Ο.Κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	7,5%	Ο.Κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	Ο.Κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	7.074.659
(EI) <sub>eff</sub> <sup>α</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	3.959.645.902
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.865.236.896

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{u,0}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	263,77	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	71,36	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,76	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,04	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρόφης	0	
$f_{\epsilon u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότη. - θέση 0	1,76	Ο.Κ.
$f_{\epsilon \Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,80	Ο.Κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	903	Μη εφαρμοσμένο
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

K <sub>c</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	4,883	
K <sub>p</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,563	
K <sub>y</sub> /K <sub>b</sub>	λόγος σθβαροτήτων	11,5%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	18,904	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	92,307	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	318,296	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	0,758	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	131.008	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	15,6%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	5.849	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	3,4	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	3.042	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,0	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,4	Ο.Κ.
	λυγισμός	3,4	Ο.Κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,1	Ο.Κ.
	λυγισμός	1,0	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	758	E T A B S
initial spring stiffness	4.883	
yield force	92,31	
post yield stiffness ratio	0,115	
spring vertical effective stiffness	71.363	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΑΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχλησης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>needed</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)
		20

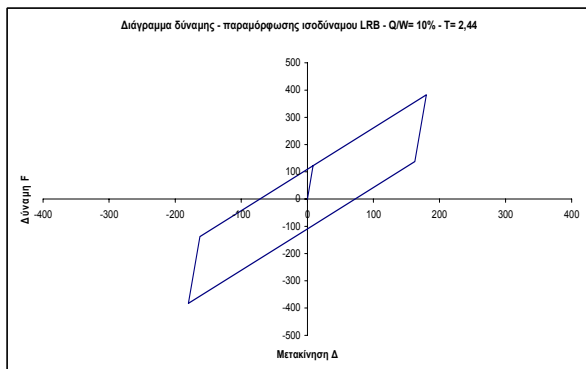
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>me</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10472
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29111
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98378
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65942
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	109,478
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>0</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	180
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδρώνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>p</sub> max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδρώνων από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδρώνων		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδρώνων από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδρώνων από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδρώνων από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 10\% - T = 1,49\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,672	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	132	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W) σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	19.383.732
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.097.310.410
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.965.710.938

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
K <sub>v,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδρώνων (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	711,47
K <sub>v,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδρώνων (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	477,87
E <sub>se</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73
E <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	1,18
E <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0
f <sub>ε,0</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,73
f <sub>ε,Δ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,91
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.193
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000
	den απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
K <sub>x</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	14,198
K <sub>y</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδρώνων (FEMA 356)	1,518
K <sub>y</sub> /K <sub>x</sub>	λόγος σθβαροτήτων	10,7%
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδρώνων (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	8,634
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδρώνων	122,582
F <sub>m</sub>	αναπτισσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	382,666
F <sub>n</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδρώνων	2,126
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	75,043
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	17,3%

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	15.890
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	9,3
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	13.022
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	4,1

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity			
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	9,3	ο.κ.
Design earthquake			
	παραμόρφωση	2,1	ο.κ.
	λυγισμός	4,1	ο.κ.

spring effective stiffness	2126	E T A B S
initial spring stiffness	14.198	
yield force	122,58	
post yield stiffness ratio	0,107	
spring vertical effective stiffness	477.867	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΑΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>r</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχλησης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>needed</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)
		20

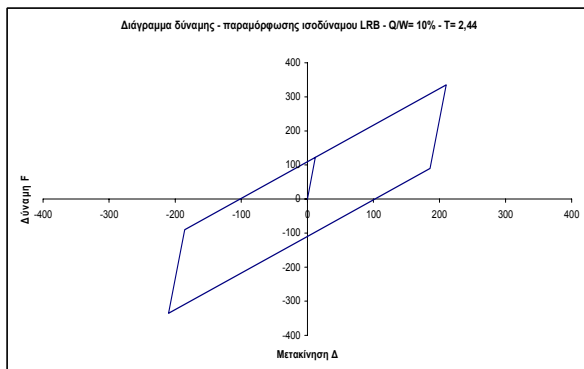
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>me</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10472
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29111
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98378
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65942
	σ <sub>y</sub>	φαινόμενο όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	109,478
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>0</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	210
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδρώνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδρώνων από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδρώνων		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδρώνων από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδρώνων από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδρώνων από τα μόνιμα φορτία πλύν του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 10\% - T = 1,71\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,619	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	132	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W) σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	13.730.143
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.097.310.410
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.965.710.938

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
K <sub>v,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδρώνων (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	503,96
K <sub>v,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδρώνων (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	311,73
E <sub>se</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73
E <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,97
E <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0
f <sub>ε,0</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,73
f <sub>ε,Δ</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,70
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.144
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000
		δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
K <sub>h</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	10,057
K <sub>h</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδρώνων (FEMA 356)	1,075
K <sub>h</sub> /K <sub>v</sub>	λόγος σθβαροτήτων	10,7%
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδρώνων (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	12,189
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδρώνων	122,582
F <sub>m</sub>	αναπτισσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	335,237
K <sub>h</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδρώνων	1,596
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	86,624
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	19,6%

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	11.255
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	6,6
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	8.852
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	2,8

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity			
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	6,6	ο.κ.
Design earthquake			
	παραμόρφωση	2,2	ο.κ.
	λυγισμός	2,8	ο.κ.

spring effective stiffness	1596	E T A B S
initial spring stiffness	10.057	
yield force	122,58	
post yield stiffness ratio	0,107	
spring vertical effective stiffness	311.731	



# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## Α Ε Δ Ο Μ Ε Ν Α

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτωσης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>r</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης
	A <sub>ph</sub>	επιφάνεια κάτωσης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτωση
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
t <sub>ec</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)	20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>nom</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

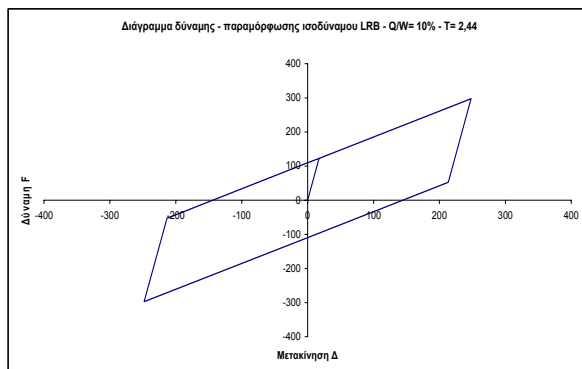
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD 22	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E'	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10472
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29111
	E''	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98378
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65942
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	109,478
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	248
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρπισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρπιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρπιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρπιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρπιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλ/ν του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 10\% - T = 1,95\text{sec}$$

## Ε Λ Ε Γ Χ Ο Ι

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,552	o.k.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	132	o.k.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>0</sub> σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	o.k.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	o.k.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	o.k.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>0</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	9.691.866
(E) <sub>inf</sub> <sup>0</sup>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.097.310.410
(E) <sub>inf</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.965.710.938

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{c,0}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	355,74	
$K_{c,\Delta}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	196,52	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σσεισμός)	0,81	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στροφής	0	
$f_{\epsilon,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικάτ. - θέση 0	1,73	ο.κ.
$f_{\epsilon,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,54	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.003	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

$K_0$	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	7,099	
$K_p$	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,759	
$K_p/K_0$	λόγος σθιβαροτήτων	10,7%	o.k.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	17,268	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	122,582	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	297,674	
$K_{eff}$	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	1,200	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρπισης (επιφάνεια υστέρησης)	101.040	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	21,8%	o.k.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	7.945	
$SF_{0,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	4,7	o.k.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	5.905	
$SF_{0,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,8	o.k.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,5	o.k.
	λυγισμός	4,7	o.k.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,4	o.k.
	λυγισμός	1,8	o.k.

spring effective stiffness	1200	E T A B S
initial spring stiffness	7.099	
yield force	122,58	
post yield stiffness ratio	0,107	
spring vertical effective stiffness	196.518	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>tee</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

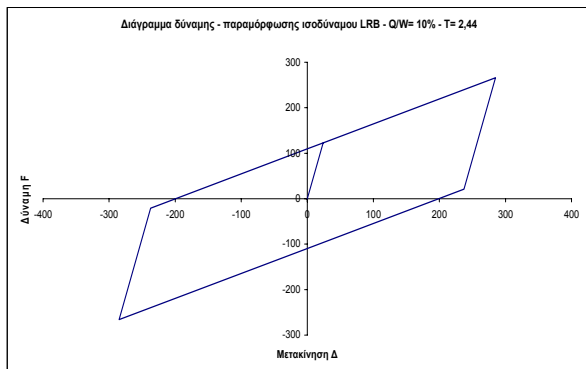
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E'	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10472
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29111
	E''	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98378
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65942
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	109,478
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>w</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	285
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>f</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλύν του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 10\% - T = 2,20\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,489	Ο.Κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	132	Ο.Κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	Ο.Κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	Ο.Κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	Ο.Κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	7.011.137
(EI) <sub>eff</sub> <sup>∞</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.097.310.410
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.965.710.938

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{v,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	257,34	
$K_{v,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	125,96	
$E_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
$E_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,67	
$E_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
$f_{ε,0}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότη. - θέση 0	1,73	Ο.Κ.
$f_{ε,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,40	Ο.Κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.840	Ο.Κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

$K_x$	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	5,135	
$K_p$	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,549	
$K_p/K_x$	λόγος στιβαροτήτων	10,7%	ο.κ.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	23,871	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	122,582	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	265,931	
$K_{eff}$	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	0,933	
ED	κατανάλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	114,352	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	24,0%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	5.747	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	3,4	Ο.Κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	4.021	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,3	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,5	Ο.Κ.
	λυγισμός	3,4	Ο.Κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,5	Ο.Κ.
	λυγισμός	1,3	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	933	E T A B S
initial spring stiffness	5.135	
yield force	122,58	
post yield stiffness ratio	0,107	
spring vertical effective stiffness	125.958	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## Α Ε Δ Ο Μ Ε Ν Α

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτωσης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>r</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης
	A <sub>ph</sub>	επιφάνεια κάτωσης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτωση
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

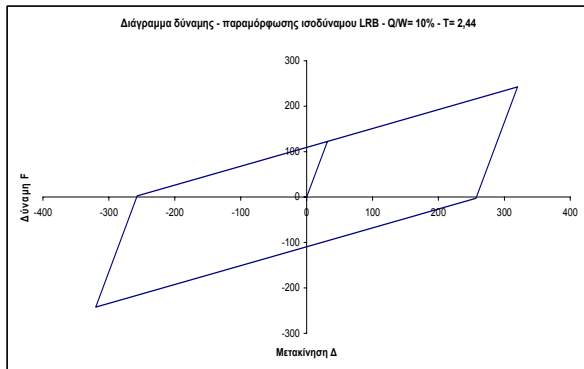
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>res</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,47
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διάγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,10472
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,29111
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,98378
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,65942
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	109,478
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>w</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραύση του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	320
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>pmax</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 10\% - T = 2,43\text{sec}$$

## Ε Λ Ε Γ Χ Ο Ι

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,431	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	132	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W, σε % - από 3% έως 10%)	10,0%	ο.κ.
q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	10,0%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ			
K <sub>s</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονωτήρα	5.314.894	
(EI) <sub>eff</sub> <sup>o</sup>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.097.310.410	
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	2.965.710.938	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ			
K <sub>u,0</sub>	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	195,08	
K <sub>u,Δ</sub>	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	84,16	
e <sub>ac</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
e <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σσειμός)	0,57	
e <sub>sr</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
f <sub>e,u</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότ. - θέση 0	1,73	ο.κ.
f <sub>e,u</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,30	ο.κ.
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.664	Μη εφαρμοσμένο
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ			
K <sub>s</sub>	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	3,893	
K <sub>p</sub>	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,416	
K <sub>y</sub> /K <sub>s</sub>	λόγος σθιβαρότητων	10,7%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	31,489	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	122,582	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	242,645	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	0,758	
ED	καταναλωσόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	126,343	
β	ισοδύναμος βαθμός απόδοσης	25,9%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ			
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαρμόρφωτη θέση 0	4.357	
SF <sub>b,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαρμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	2,6	ο.κ.
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	2.862	
SF <sub>b,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	0,9	Μη αποδεκτό

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Gravity			
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	2,6	ο.κ.
Design earthquake			
	παραμόρφωση	2,6	ο.κ.
	λυγισμός	0,9	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	758	E T A B S
initial spring stiffness	3.893	
yield force	122,58	
post yield stiffness ratio	0,107	
spring vertical effective stiffness	84.162	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτωσης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>e</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτωσης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτωση
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>tee</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

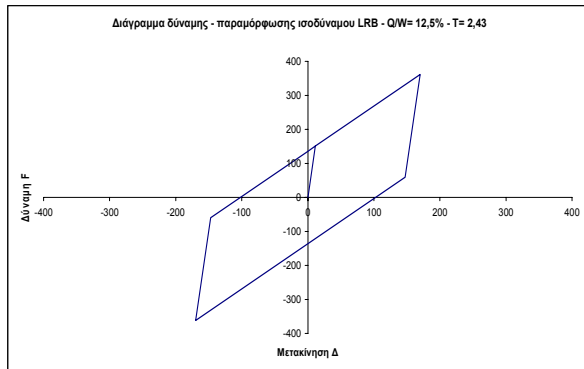
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,59
---	---	-------

ΙΔΙΩΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>d</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διόγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,11934
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,28406
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,99677
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,66523
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	135,773
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	170
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 12,5\% - T = 1,50\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,694	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	147	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,3%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,4%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>0</sub>	σθιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	17.593.884
(EI) <sub>inf</sub> <sup>∞</sup>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.397.459.172
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	3.166.899.051

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{u,0}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	607,33	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη σθιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	421,40	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβελ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,94	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένης στρώσης	0	
$f_{\epsilon u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότη. - θέση 0	1,73	ο.κ.
$f_{\epsilon u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,68	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.418	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

K <sub>u</sub>	σθιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	13,197	
K <sub>p</sub>	σθιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	1,328	
K <sub>p</sub> /K <sub>u</sub>	λόγος σθιβαροτήτων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	11,439	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	150.961	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	361,485	
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθιβαρότητα εφεδράνου	2,126	
ED	κατανάλισμένη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	86,114	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	22,3%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	14.159	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	8,3	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	11.794	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	3,7	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	8,3	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,2	ο.κ.
	λυγισμός	3,7	ο.κ.

spring effective stiffness	2126	E T A B S
initial spring stiffness	13.197	
yield force	150,96	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	421.396	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

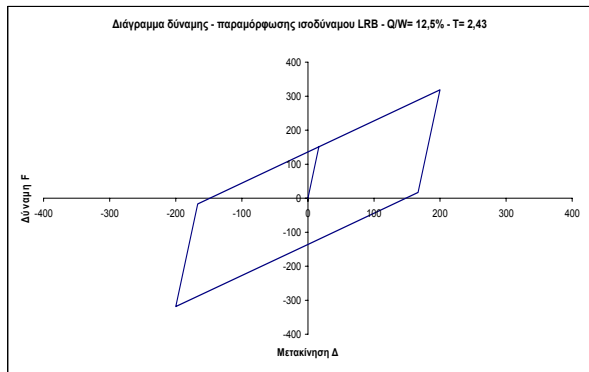
## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχωσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)
	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχωσης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,59
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας
	G	μέτρο διάτμησης
	K	μέτρο διόγκωσης
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)
	E <sup>*</sup>	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	200
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>f</sub> =max (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 12,5\% - T = 1,71\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,641	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	147	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W σε % - από 3% έως 12,5%)	12,3%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,4%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
K <sub>0</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	12.133.713
(E) <sub>eff</sub> <sup>∞</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.397.459.172
(E) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	3.166.899.051

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
K <sub>0,0</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	418,85
K <sub>0,Δ</sub>	κατακόρυφη σθβαρότητα εφεδράνου (E <sub>c</sub> σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	268,58
ε <sub>sc</sub>	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73
ε <sub>sh</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,77
ε <sub>sw</sub>	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. στρώσεως	0
f <sub>sc</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότητας - θέση 0	1,73
f <sub>sw</sub>	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,50
P <sub>y</sub>	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.347
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000
δεν απαιτείται έλεγχος		

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
K <sub>0</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	9,102
K <sub>p</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,916
K <sub>p</sub> /K <sub>0</sub>	λόγος σθβαροτήτων	10,1%
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	16,586
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	150,961
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	318,907
K <sub>eff</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	1,595
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	99,611
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	24,9%

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
P <sub>crit,0</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	9.785
SF <sub>0,0</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	5,7
P <sub>crit,Δ</sub>	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	7.819
SF <sub>0,Δ</sub>	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	2,4

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων	
	παραμόρφωση	3,5
	λυγισμός	5,7
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού	
	παραμόρφωση	2,4
	λυγισμός	2,4

spring effective stiffness	1595	E T A B S
initial spring stiffness	9.102	
yield force	150,96	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	268.577	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΨΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>t</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επκόλλωσης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>test</sub>	παραπάνω, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

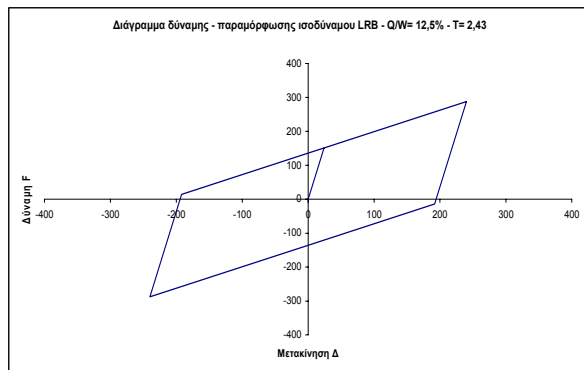
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,59
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>0</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο δόγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,11934
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,28406
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,99677
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,66523
	σ <sub>y</sub>	φαινομενικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>0</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	135,773
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>u</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	240
---	--	-----

ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		
-----------	--	--

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφη (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 12,5\% - T = 1,96\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,572	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	147	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>0</sub> / W <sub>0</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,3%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,4%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ		
----------------------	--	--

K <sub>b</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφη των άκρων του μονωτήρα	8.378.040
(E <sub>l</sub> ) <sub>eff</sub> <sup>∞</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.397.459.172
(E <sub>l</sub> ) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	3.166.899.051

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ		
--	--	--

$K_{u,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	289,20	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	165,47	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,63	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένων στροφής	0	
$f_{.u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικώτ. - θέση 0	1,73	ο.κ.
$f_{.u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,37	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	2.168	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
			δεν απαιτείται έλεγχος

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ		
-----------------------------------	--	--

$K_c$	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	6,284	
$K_p$	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,632	
$K_p/K_c$	λόγος στιβαροτήτων	10,1%	ο.κ.
$D_y$	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει $\Delta > D_y$ )	24,022	
$F_y$	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	150,961	
$F_m$	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση $\Delta$	287,512	
$K_{eff}$	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	1,198	
ED	καταναλωόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	117,296	
$\beta$	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	27,1%	ο.κ.

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ		
--	--	--

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	6.742	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	4,0	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	5.100	
$SF_{\Delta,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,6	ο.κ.

ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ		
--	--	--

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	4,0	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,5	ο.κ.
	λυγισμός	1,6	ο.κ.

spring effective stiffness	1198	E T A B S
initial spring stiffness	6.284	
yield force	150,96	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	165.474	

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτοψης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>c</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενόχλησης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτοψης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτοψη
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>free</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενόχλησης (σταθερό)
	t <sub>t</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

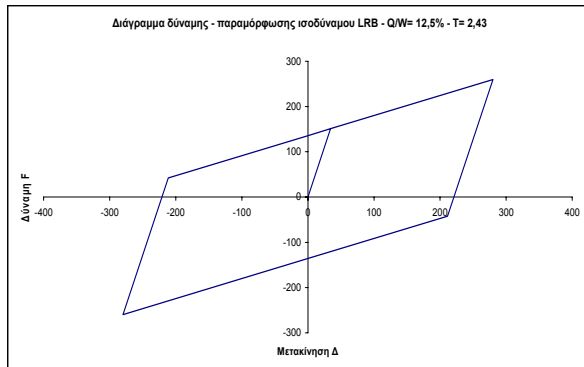
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,59
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>d</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο διόγκωσης	2
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,11934
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,28406
	E*	μέτρο συμπίεσιότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,99677
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεσιότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,66523
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	135,773
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	280
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλήν του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στροφή (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 12,5\% - T = 2,21\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,505	ο.κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	147	ο.κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,3%	ο.κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,4%	ο.κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	ο.κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>u</sub>	σθβαρότητα σε καμπτική στροφή των άκρων του μονωτήρα	5.864.628
(EI) <sub>eff</sub> <sup>uo</sup>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.397.459.172
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική σθβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	3.166.899.051

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{u,0}$	κατακόρυφη στήθαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	202,44	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη στήθαρότητα εφεδράνου (Ec σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	102,16	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλ. οριζόντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,52	
$\epsilon_{sw}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβεβλημένων στρωφής	0	
$f_{t,u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικ. - θέση 0	1,73	ο.κ.
$f_{t,\Delta}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,25	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.969	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>u</sub>	σθβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	4,399	
K <sub>p</sub>	σθβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,443	
K <sub>p</sub> /K <sub>u</sub>	λόγος σθβαροτήτων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	34,316	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	150,961	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	259,693	
K <sub>u,m</sub>	ενεργός σθβαρότητα εφεδράνου	0,927	
ED	καταναλισκόμενη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	133,429	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	29,2%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	4.720	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	2,8	ο.κ.
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	3.353	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	1,0	Μη αποδεκτό

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,5	ο.κ.
	λυγισμός	2,8	ο.κ.
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,7	ο.κ.
	λυγισμός	1,0	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	927	E T A B S
initial spring stiffness	4.399	
yield force	150,96	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	102.159	



# ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ ΤΥΠΟΥ LRB ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟ

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΩΤΗΡΩΝ LRB ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΩΝΗΣ	d	καθαρή διάμετρος κυκλικής στρώσης ελαστικού (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	d <sub>in</sub>	διάμετρος κάτωσης πυρήνα μολύβδου
	A	καθαρή επιφάνεια διατομής του εφεδράνου (χωρίς πλ. επικ. ελαστ.)
	A <sub>e</sub>	επιφάνεια συγκολλημένου ελαστικού στις μεταλλικές πλάκες ενίσχυσης
	A <sub>pb</sub>	επιφάνεια κάτωσης του πυρήνα μολύβδου
	A <sub>loaded</sub>	φορτιζόμενη επιφάνεια της στρώσης του ελαστικού σε κάτωση
	A <sub>red</sub>	απομειωμένη καθαρή επιφάνεια του ελαστικού
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	t <sub>sc</sub>	πάχος πλευρικής επικάλυψης από ελαστικό (σταθερό)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΜΗΣ	A <sub>tee</sub>	παράπλευρη, ελεύθερη φορτίσεως επιφάνεια
	n	αριθμός στρώσεων ελαστικού
	t	πάχος στρώσης του ελαστικού
	t <sub>sh</sub>	πάχος εσωτερικών μεταλλικών πλακών ενίσχυσης (σταθερό)
	t <sub>r</sub>	συνολικό πάχος των στρώσεων του ελαστικού
	t <sub>pl</sub>	πάχος μεταλλικών πλακών βάσεως (σταθερό)

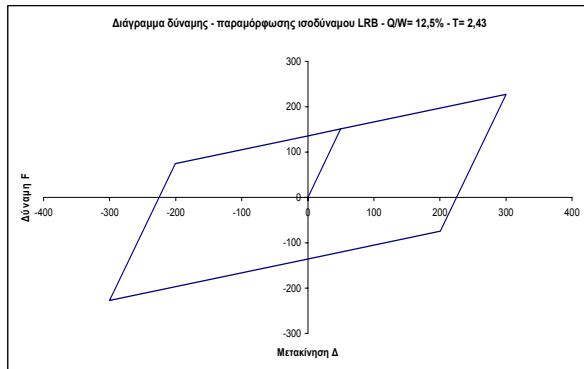
S	συντελεστής σχήματος των στρώσεων του ελαστικού	18,59
---	---	-------

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΟΥ	IRHD ±2	χαρακτηρισμός σκληρότητας	45
	E <sub>d</sub>	μέτρο ελαστικότητας	0,00180
	G	μέτρο διάτμησης	0,00054
	K	μέτρο δόγκωσης	2
	E"	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (FEMA 356)	1,11934
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (FEMA 356)	0,28406
	E*	μέτρο συμπίεστικότητας ασυμπίεστου υλικού (Gent & Lindley)	0,99677
	E <sub>c</sub>	μέτρο συμπίεστικότητας του ελαστικού (Gent & Lindley)	0,66523
	σ <sub>y</sub>	φαινomenικό όριο διαρροής του πυρήνα μολύβδου	0,008
	Q <sub>d</sub>	Χαρακτηριστική δύναμη (δύναμη κατά τη μηδενική μετατόπιση)	135,773
	k	διορθωτική σταθερά ελαστικού	0,8
	e <sub>a</sub>	ελάχιστη επιμήκυνση κατά τη θραυσή του ελαστικού	600%

Δ	ορισμένη οριζόντια διατμητική μετακίνηση του εφεδράνου	300
---	--	-----

## ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

N	συνολικός αριθμός εφεδράνων	42
Σεισμική απόδοση		
W = DL + 0,3LL	σύνολο φόρτισης από συνδυασμένα λειτουργικά φορτία	46.000
W <sub>max</sub> (DL + 0,3LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.100
Ικανότητα εφεδράνου		
max (1,2DL + LL)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από μόνιμα και κινητά φορτία	1.700
max (1,2DL + LL + EQ)	μέγιστη φόρτιση εφεδράνου από συνδ. λειτουργικά φορτία και σεισμό	3.200
min (0,8DL - EQ)	ελάχιστη φόρτιση εφεδράνου από τα μόνιμα φορτία πλέον του σεισμού	0
θ	επιβαλλόμενη στρόφι (rad)	0
Φορτίσεις ανέμου		
Άνεμος	συνολικό φορτίο ανέμου	0



$$Q / W = 12,5\% - T = 2,43\text{sec}$$

## ΕΛΕΓΧΟΙ

ΕΛΕΓΧΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ			
A <sub>red</sub> /A	λόγος απομειωμένης επιφάνειας προς καθαρή επιφάνεια εφεδράνου	0,472	Ο.Κ.
confinement	έλεγχος εγκλεισμού πυρήνα μολύβδου (καλή ελαστοπλαστ. συμπερ.)	147	Ο.Κ.
lead size	έλεγχος μεγέθους πυρήνα μολύβδου (Q <sub>d</sub> / W <sub>i</sub> σε % - από 3% έως 12,5%)	12,3%	Ο.Κ.
Q / W	λόγος συνολικής χαρακτηριστικής δύναμης προς το συνολικό βάρος	12,4%	Ο.Κ.
layer thickness	έλεγχος πάχους στρώσης ελαστικού	9	Ο.Κ.

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

K <sub>0</sub>	στιβαρότητα σε καμπτική στρόφι των άκρων του μονωτήρα	4.044.571
(EI) <sub>eff</sub> <sup>∞</sup>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού, για ασυμπ. υλικό (FEMA 356)	4.397.459.172
(EI) <sub>eff</sub>	καμπτική στιβαρότητα της στρώσης ελαστικού (FEMA 356)	3.166.899.051

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$K_{u,0}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Εc σύμφωνα με FEMA 356) - θέση 0	139,62	
$K_{u,\Delta}$	κατακόρυφη στιβαρότητα εφεδράνου (Εc σύμφωνα με FEMA 356) - θέση Δ	65,83	
$\epsilon_{sc}$	διατμητική παραμ. λόγω συμπίεσης από max κατακόρυφο φορτίο - θέση 0	1,73	
$\epsilon_{sh}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβελθ. οριζώντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0,38	
$\epsilon_{sr}$	διατμητική παραμόρφωση λόγω επιβελθ. οριζώντιων μετακινήσ. (σεισμός)	0	
$f_{\epsilon u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα φορτία λειτουργικότη. - θέση 0	1,73	ο.κ.
$f_{\epsilon u}$	έλεγχος διατμητικής παραμόρφωσης για τα τελικά φορτία - θέση Δ	2,12	ο.κ.
$P_y$	μέγιστο επιτρεπτό κατακόρυφο φορτίο - θέση Δ	1.903	ο.κ.
cavitation	έλεγχος εφελκυστικών τάσεων για την αποφυγή cavitation	0,00000	
		δεν απαιτείται έλεγχος	

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

K <sub>u</sub>	στιβαρότητα σε οριζόντια διάτμηση (HCG)	3,034	
K <sub>p</sub>	στιβαρότητα μετά τη διαρροή του εφεδράνου (FEMA 356)	0,305	
K <sub>p</sub> /K <sub>u</sub>	λόγος στιβαροτήτων	10,1%	ο.κ.
D <sub>y</sub>	μετακίνηση διαρροής του εφεδράνου (θα πρέπει Δ>D <sub>y</sub> )	49,759	
F <sub>y</sub>	δύναμη διαρροής του εφεδράνου	150,961	
F <sub>m</sub>	αναπτυσσόμενη δύναμη στη μετατόπιση Δ	227,340	
K <sub>eff</sub>	ενεργός στιβαρότητα εφεδράνου	0,758	
ED	κατανάλισμένη ενέργεια σε κάθε κύκλο φόρτισης (επιφάνεια υστέρησης)	135,904	
β	ισοδύναμος βαθμός απόσβεσης	31,7%	ο.κ.

## ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

$P_{crit,0}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην απαραμόρφωτη θέση 0	3.255	
$SF_{b,0}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε απαραμόρφωτη θέση 0 (>2,5)	1,9	Μη αποδεκτό
$P_{crit,\Delta}$	κρίσιμο φορτίο λυγισμού στην παραμορφωμένη θέση Δ	2.235	
$SF_{b,\Delta}$	συντελεστής ασφαλείας έναντι λυγισμού σε παραμορφωμένη θέση Δ (>1,5)	0,7	Μη αποδεκτό

## ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΟΝΩΣΗΣ - ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Gravity	συντελεστής ασφαλείας λειτουργικών φορτίων		
	παραμόρφωση	3,5	Ο.Κ.
	λυγισμός	1,9	Μη αποδεκτό
Design earthquake	συντελεστής ασφαλείας φορτίων από σεισμό σχεδιασμού		
	παραμόρφωση	2,8	Ο.Κ.
	λυγισμός	0,7	Μη αποδεκτό

spring effective stiffness	758	E T A S
initial spring stiffness	3.034	
yield force	150,96	
post yield stiffness ratio	0,101	
spring vertical effective stiffness	65.832	

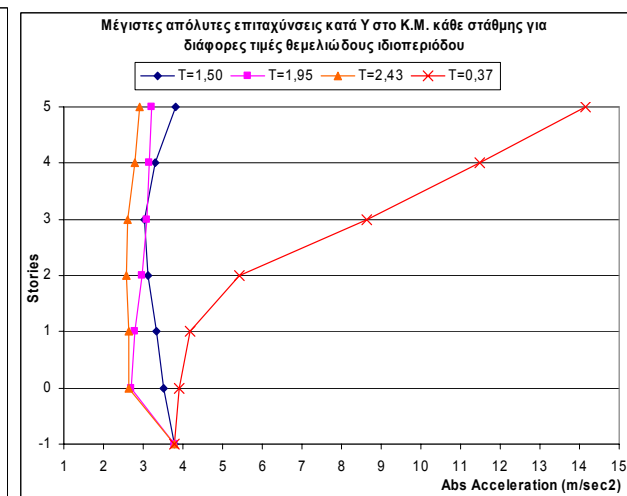
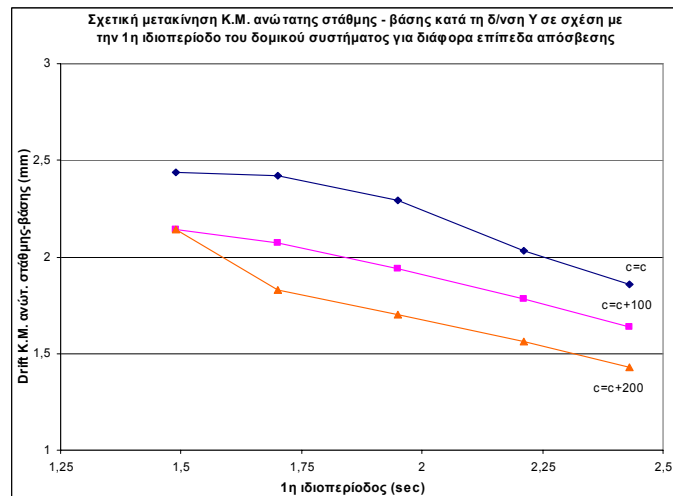
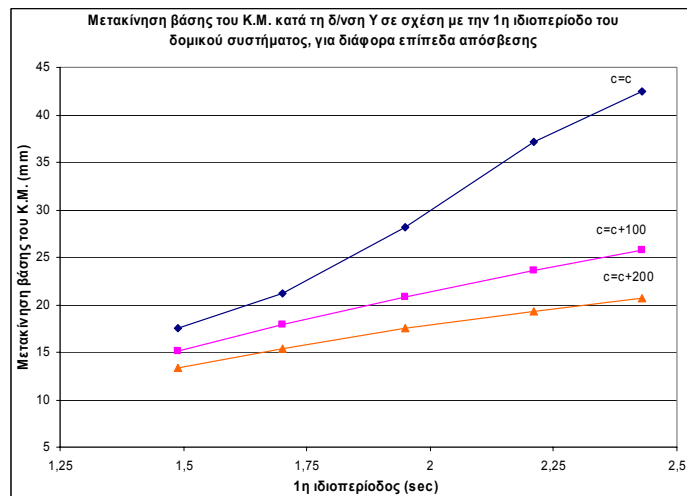


# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

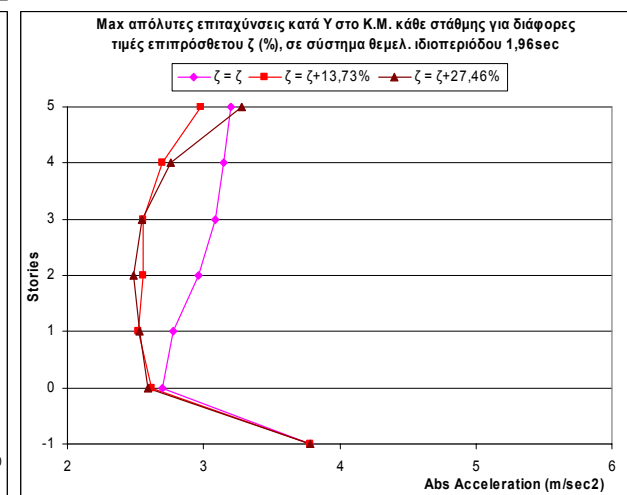
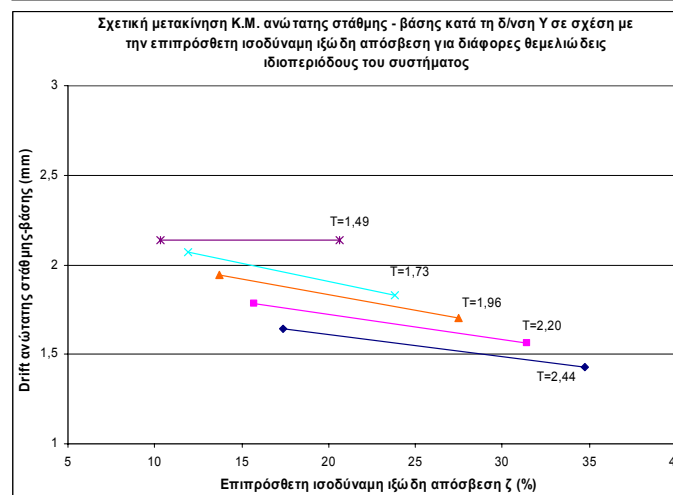
## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Β ΜΕ LRB ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

---

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης του μονωμένου δομικού συστήματος Β με διάφορους τύπους LRB και για διάφορα επίπεδα επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, υπό τη διέγερση επιλεγμένων NF & FF καταγραφών. Τα αποτελέσματα επικεντρώνονται στις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης, στις σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης και στις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις του κέντρου μάζας κάθε στάθμης. Οι επιλεγμένες διευθύνσεις επιβολής των σεισμικών καταγραφών έγινε με στόχο την έκθεση των δυσμενέστερων αποκρίσεων. Οι ιδιότητες των μονωτήρων που συνθέτουν το κάθε σύστημα μόνωσης, προήλθαν από προκαταρκτικό σχεδιασμό όπως αυτός περιγράφηκε στο Παράρτημα Δ. Τα επίπεδα επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, αντιστοιχούν σε συντελεστές απόσβεσης 100 και 200 kN.sec/m για κάθε σύστημα, οι οποίοι αποδίδουν τιμές ποσοστού ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης  $\zeta$ , με εύρος από 10% έως 35% περίπου, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.

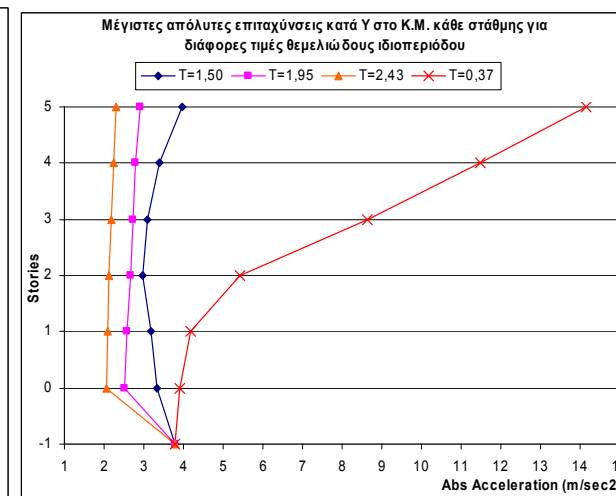
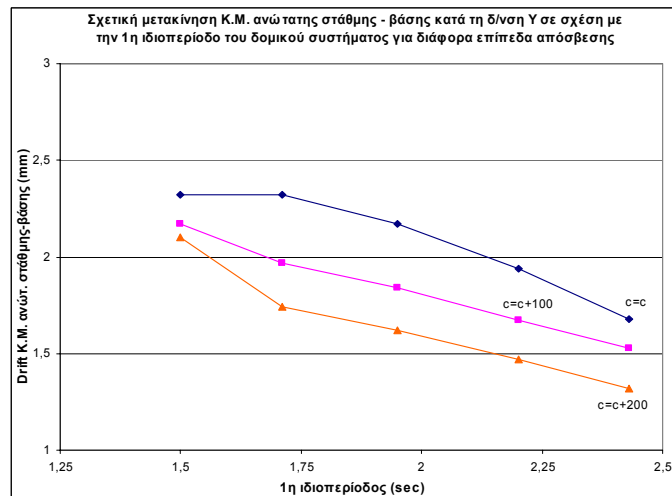
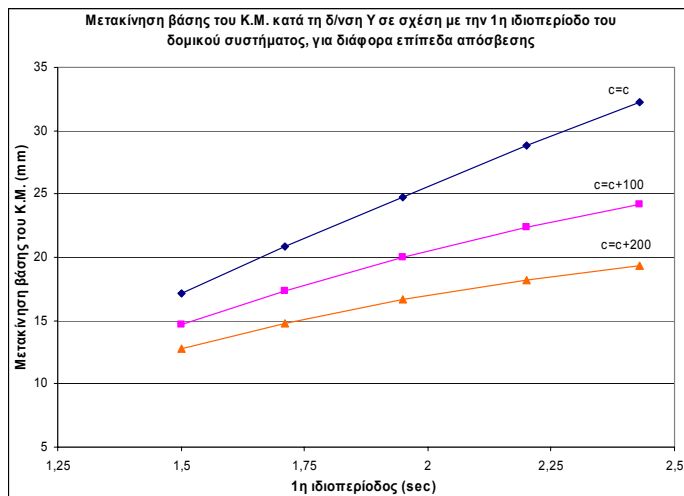


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 7,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2144	10,32%	20,64%
T=1,70	1608	11,91%	23,83%
T=1,95	1211	13,73%	27,46%
T=2,21	924	15,72%	31,43%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

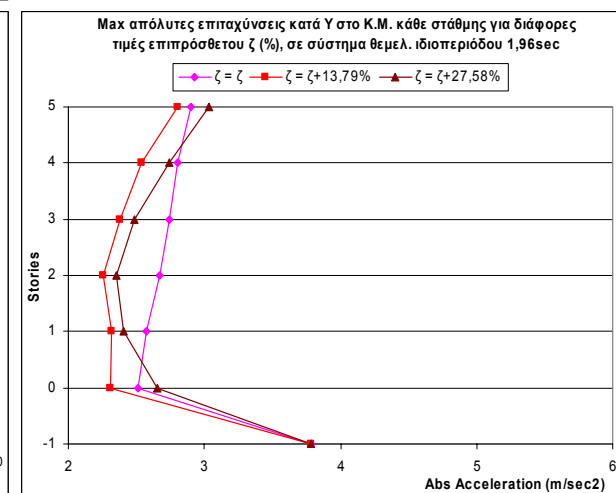
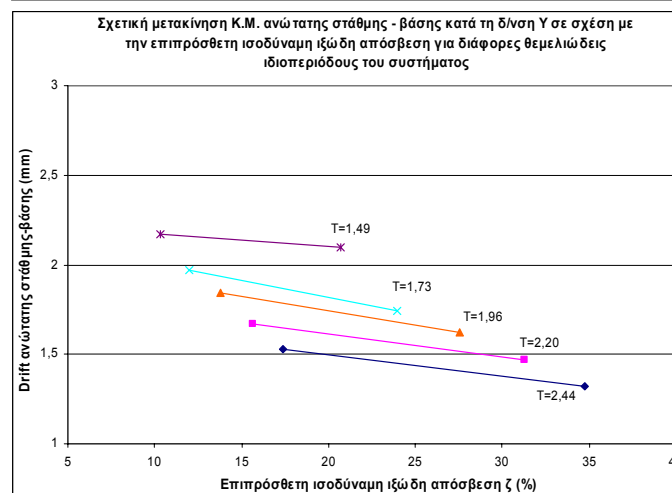


### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 7,5% - Σεισμική διέγερση κατά X : NF140 & κατά Y : NF230

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση Υ, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση Υ, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση Υ, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

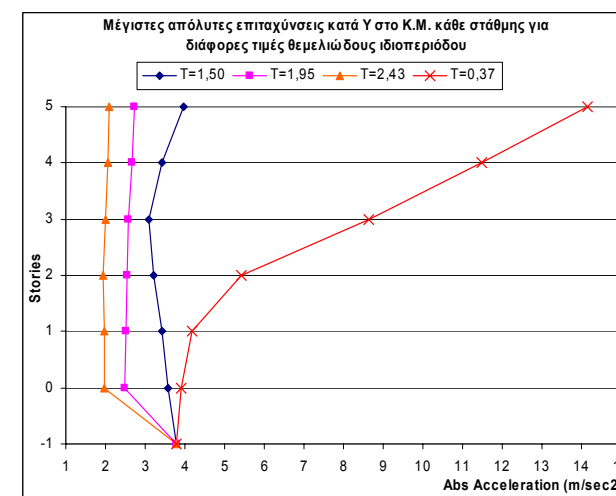
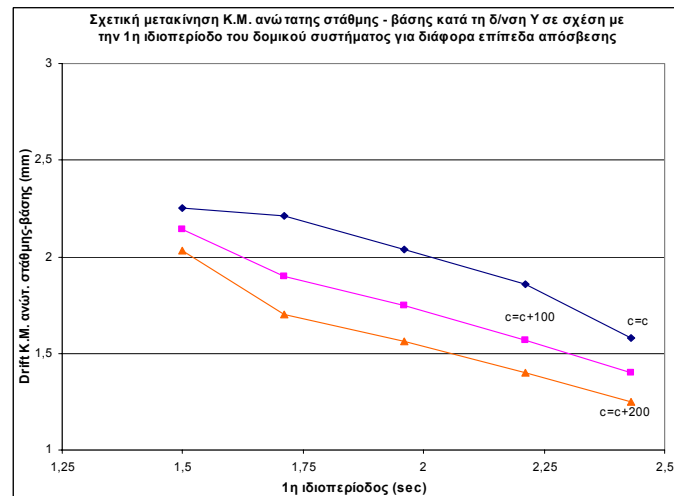
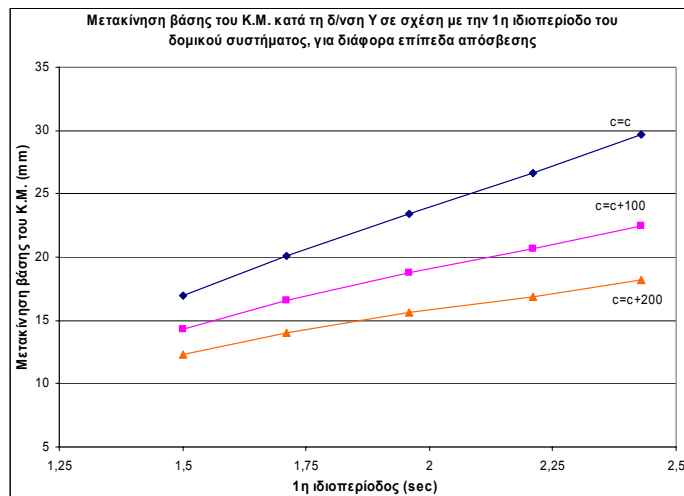


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 10%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,50	2126	10,36%	20,72%
T=1,71	1596	11,96%	23,92%
T=1,95	1200	13,79%	27,58%
T=2,20	933	15,64%	31,28%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

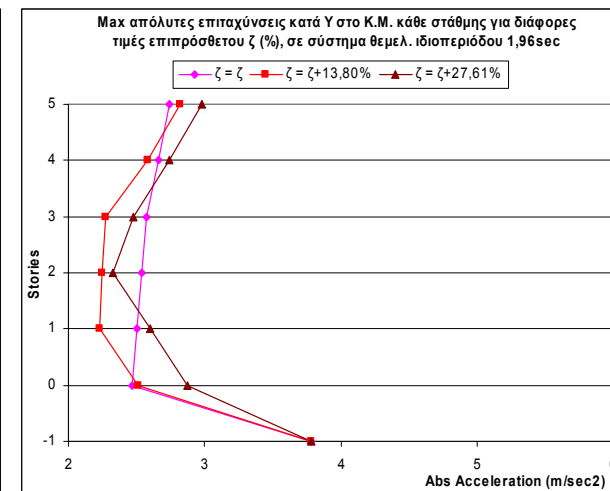
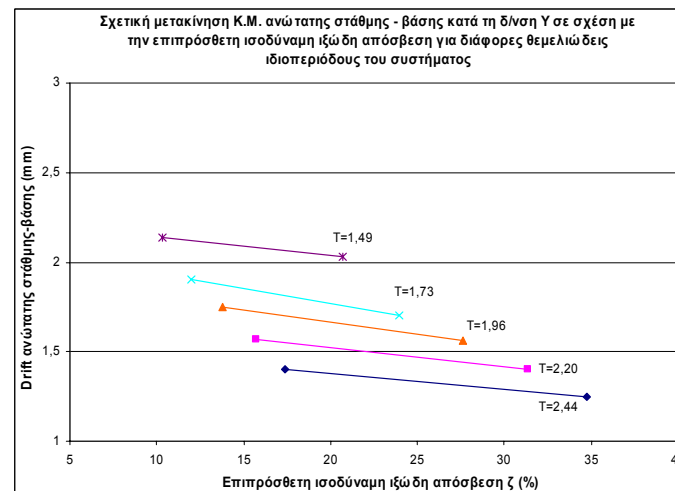


### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 10% - Σεισμική διέγερση κατά X : NF140 & κατά Y : NF230

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση Υ, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/νση Υ, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση Υ, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

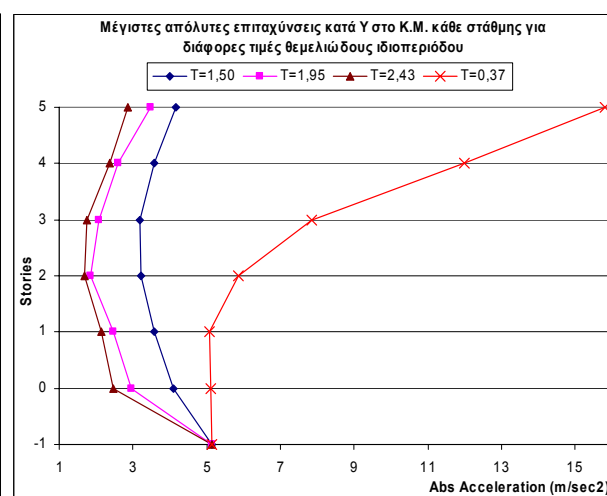
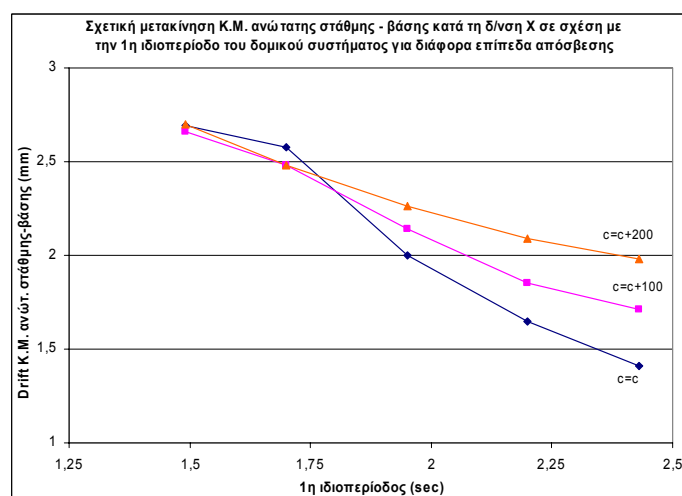
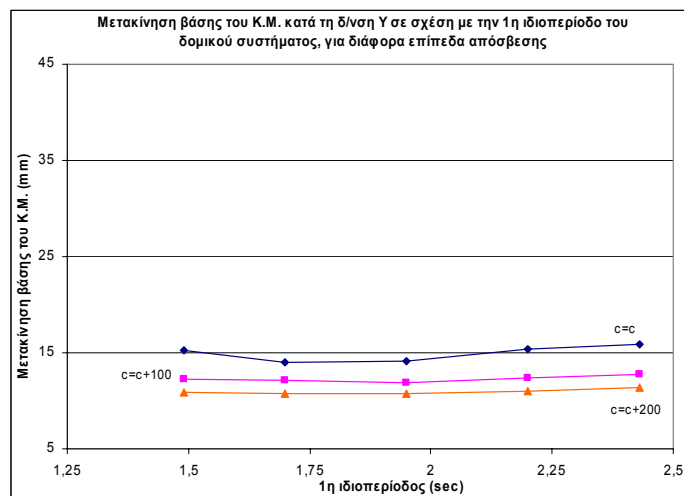


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : $Q / W = 12,5\%$			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,50	2126	10,36%	20,72%
T=1,71	1595	11,96%	23,93%
T=1,96	1198	13,80%	27,61%
T=2,21	927	15,69%	31,38%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

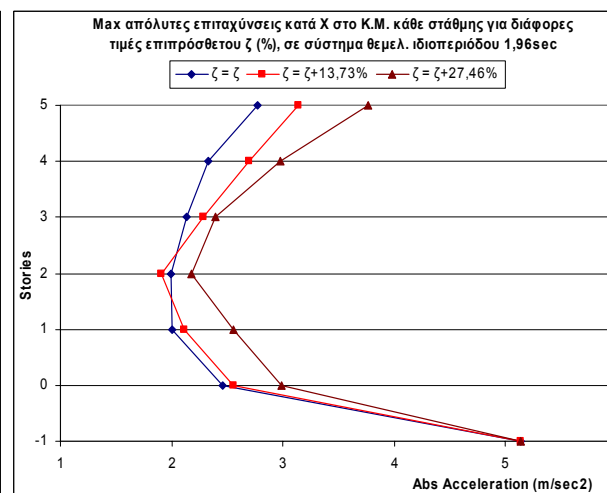
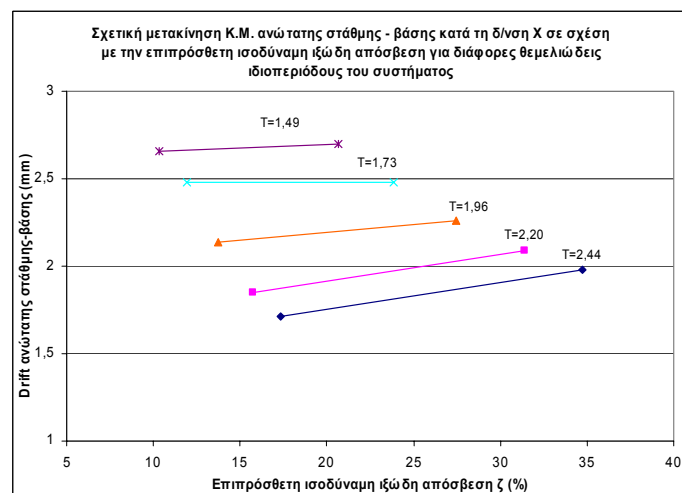


### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο $Q / W = 12,5\%$ - Σεισμική διέγερση κατά X : NF140 & κατά Y : NF230

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση Υ, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση Υ, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση Υ, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

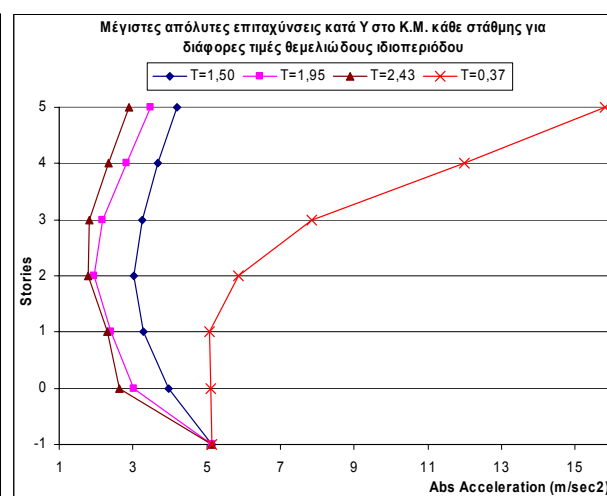
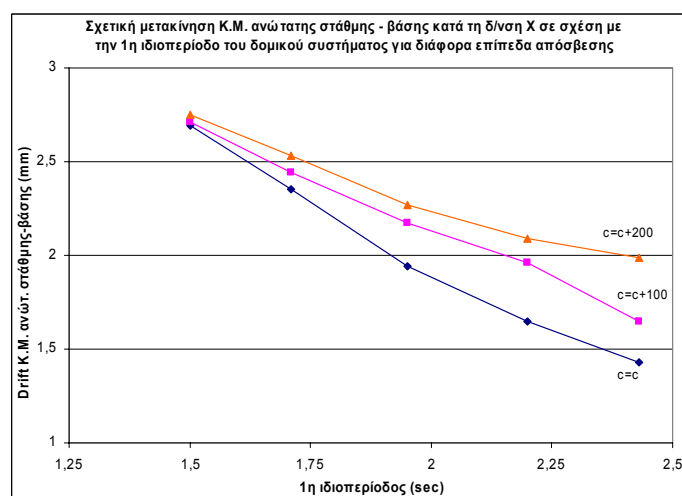
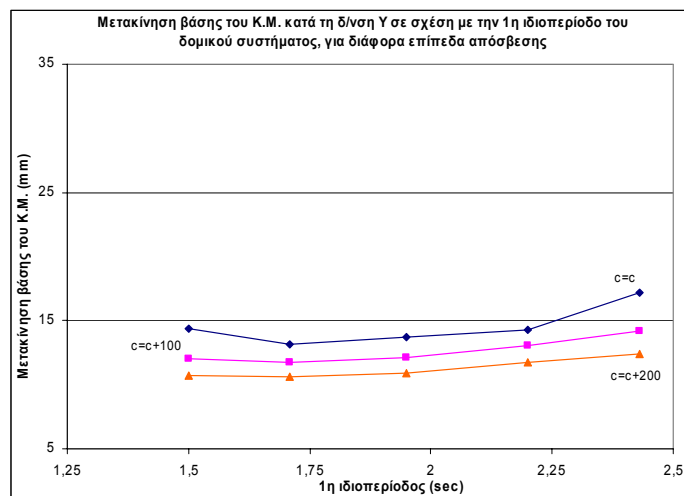


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 7,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,49	2144	10,32%	20,64%
T=1,70	1608	11,91%	23,83%
T=1,95	1211	13,73%	27,46%
T=2,21	924	15,72%	31,43%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

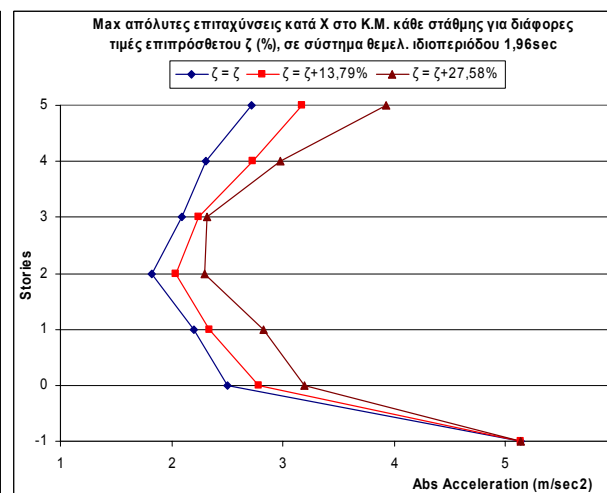
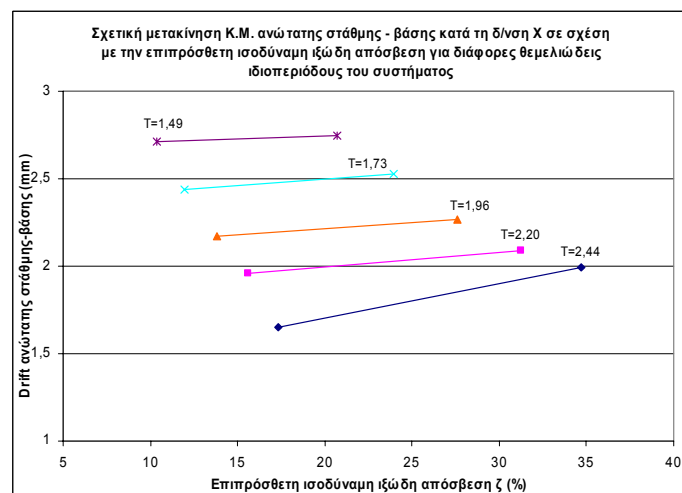


### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 7,5% - Σεισμική διέγερση κατά X : FF090 & κατά Y : FF360

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τις δ/νσεις μέγιστης απόκρισης (X & Y), συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/νση μέγιστης απόκρισης (X & Y), για διάφορες τιμές θεμελ. ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπρ. τη στ. μόνωσης και τη στ. έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

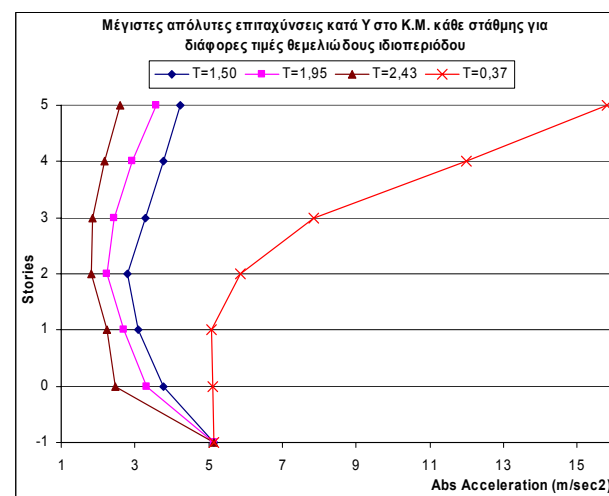
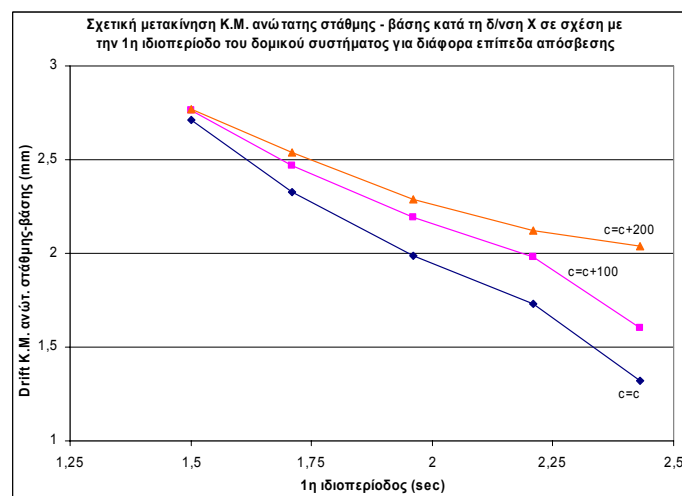
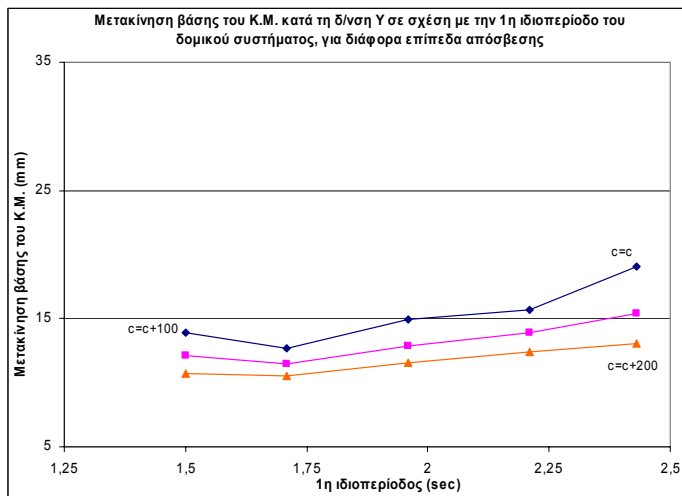


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 10%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,50	2126	10,36%	20,72%
T=1,71	1596	11,96%	23,92%
T=1,95	1200	13,79%	27,58%
T=2,20	933	15,64%	31,28%
T=2,43	758	17,35%	34,71%

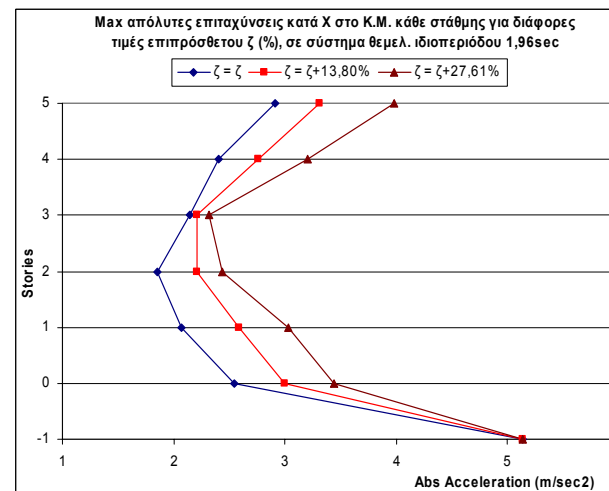
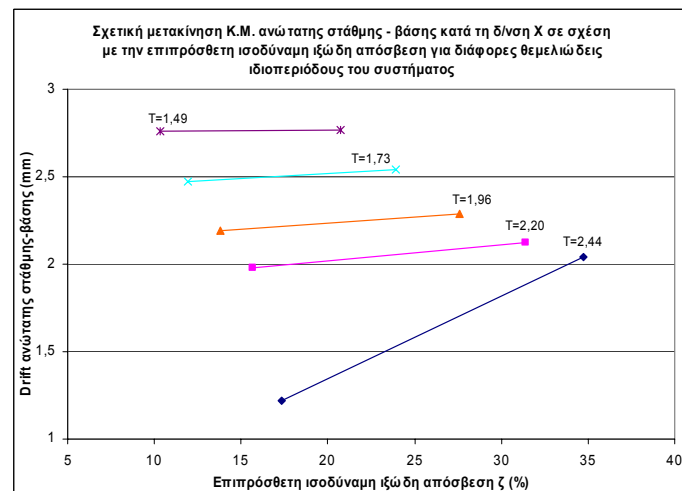


### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 10% - Σεισμική διέγερση κατά X : FF090 & κατά Y : FF360

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τις δ/νσεις μέγιστης απόκρισης (X & Y), συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/νση μέγιστης απόκρισης (X & Y), για διάφορες τιμές θεμελ. ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπρ. τη στ. μόνωσης και τη στ. έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.



ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ LRB : Q / W = 12,5%			
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση	
		(+) 100	(+) 200
T=1,50	2126	10,36%	20,72%
T=1,71	1595	11,96%	23,93%
T=1,96	1198	13,80%	27,61%
T=2,21	927	15,69%	31,38%
T=2,43	758	17,35%	34,71%



### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης LRB με λόγο Q / W = 12,5% - Σεισμική διέγερση κατά Χ : FF090 & κατά Υ : FF360

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τις δ/νσεις μέγιστης απόκρισης (X & Y), συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/νση μέγιστης απόκρισης (X & Y), για διάφορες τιμές θεμελ. ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπρ. τη στ. μόνωσης και τη στ. έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση Χ, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

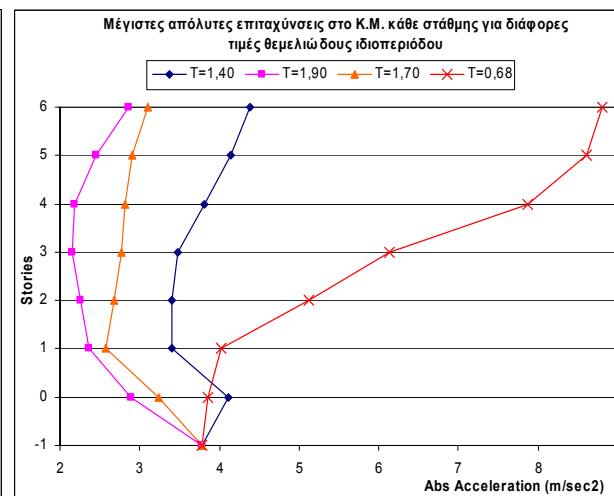
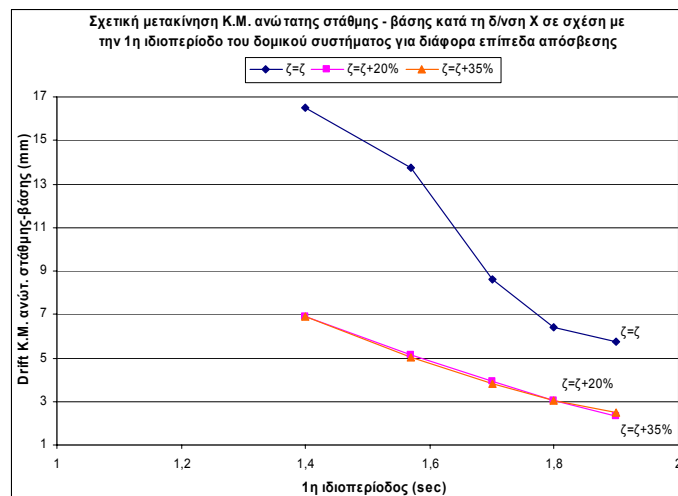
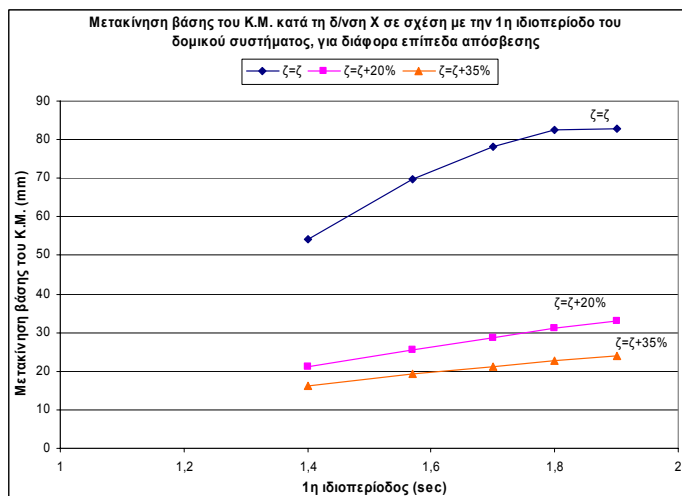
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

## ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Α & Β ΜΕ FPS ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

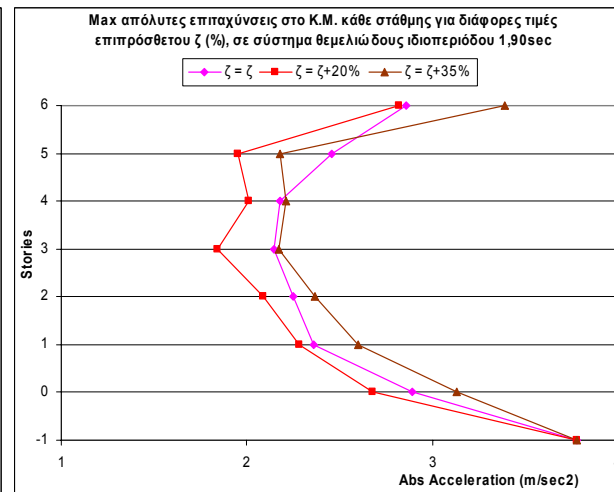
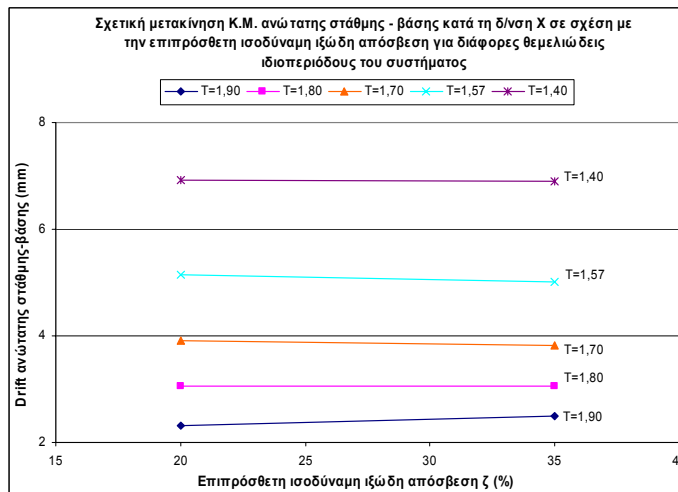
---

Στο παράρτημα αυτό απεικονίζονται τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης των μονωμένων δομικών συστημάτων Α & Β με διάφορους τύπους FPS και για διάφορα επίπεδα επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, υπό τη διέγερση επιλεγμένων NF & FF καταγραφών. Τα αποτελέσματα επικεντρώνονται στις αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης, στις σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης και στις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις του κέντρου μάζας κάθε στάθμης. Οι επιλεγμένες διευθύνσεις επιβολής των σεισμικών καταγραφών έγινε με στόχο την έκθεση των δυσμενέστερων αποκρίσεων. Οι ιδιότητες των μονωτήρων που συνθέτουν το κάθε σύστημα μόνωσης, προήλθαν από τυπολογία όπως περιγράφηκε στα Κεφάλαια 1 & 2 καθώς επίσης από βιβλιογραφικές πηγές πειραματικών αποτελεσμάτων. Τα επίπεδα επιπρόσθετης ιξώδους απόσβεσης, αντιστοιχούν σε ποσοστά ισοδύναμης ιξώδους απόσβεσης 20% και 35% για κάθε σύστημα.



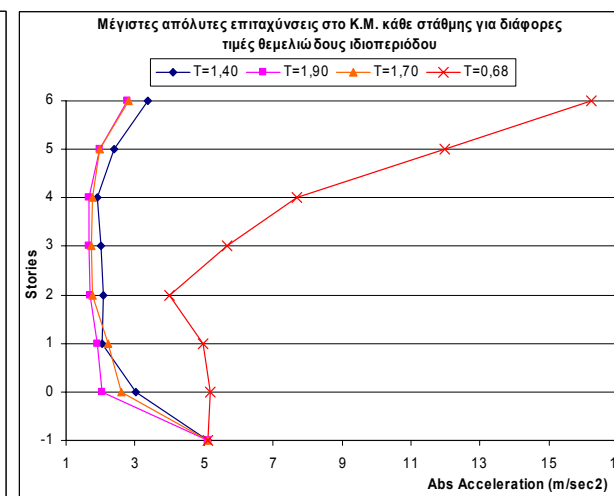
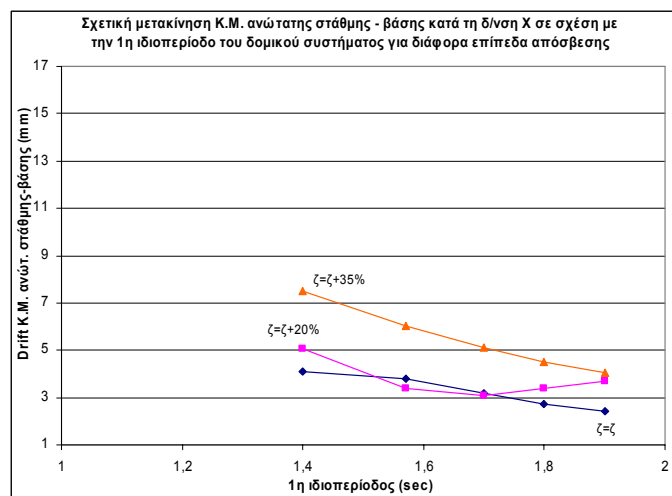
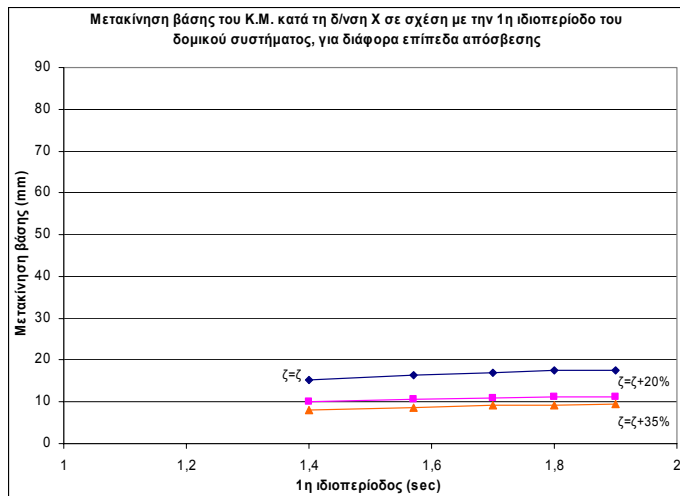


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ FPS					
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση		δυσκαμψία ελατηρίου μη γραμμικού αποσβεστήρα	
		(+) 20%	(+) 35%	(+) 20%	(+) 35%
T=1,40	2800	212	370	423.320	740.810
T=1,57	2040	181	316	361.331	632.329
T=1,70	1650	162	284	324.962	568.683
T=1,80	1430	151	265	302.523	529.415
T=1,90	1270	143	249	285.096	498.919

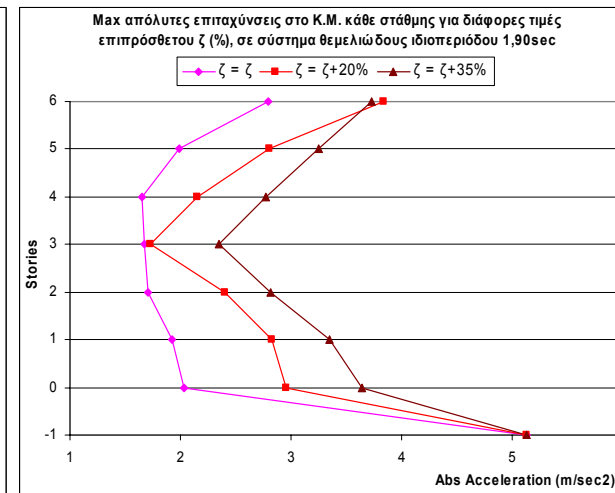
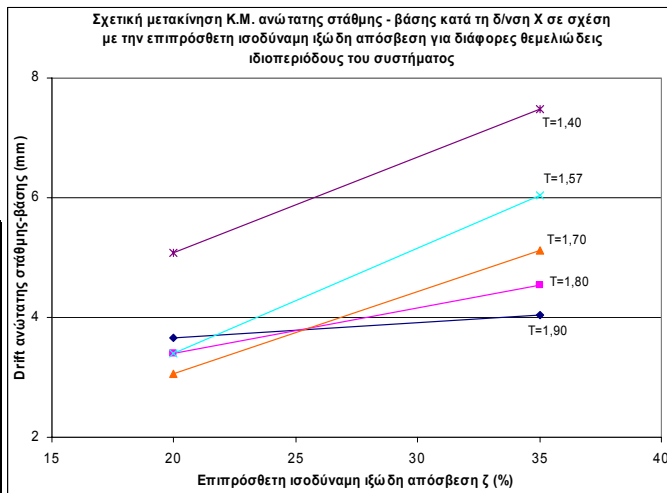


### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης FPS - Σεισμική διέγερση κατά X : NF230 & κατά Y : NF140

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

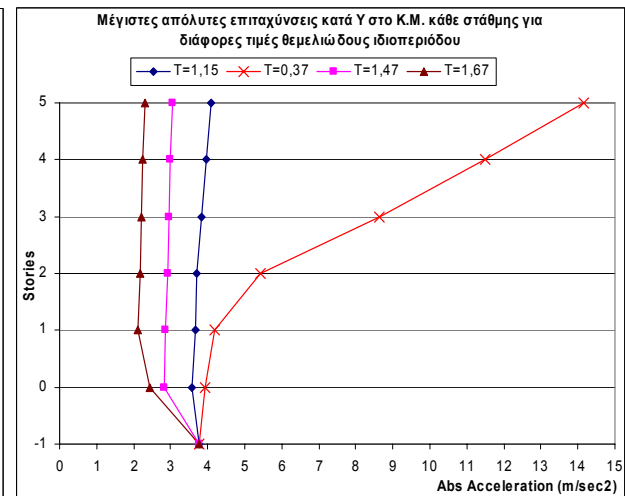
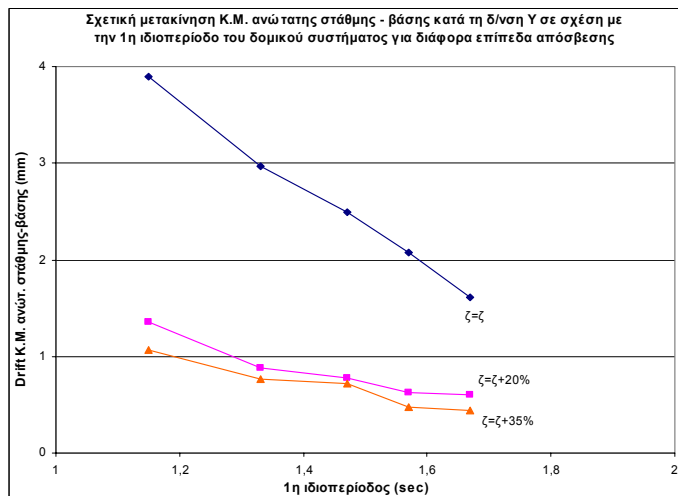
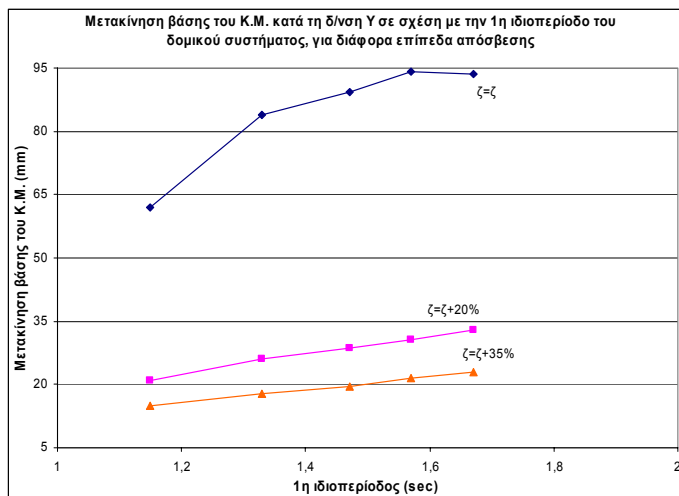


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Α ΜΕ FPS					
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση		δυσκαμψία ελατηρίου μη γραμμικού αποσβεστήρα	
		(+) 20%	(+) 35%	(+) 20%	(+) 35%
T=1,40	2800	212	370	423.320	740.810
T=1,57	2040	181	316	361.331	632.329
T=1,70	1650	162	284	324.962	568.683
T=1,80	1430	151	265	302.523	529.415
T=1,90	1270	143	249	285.096	498.919

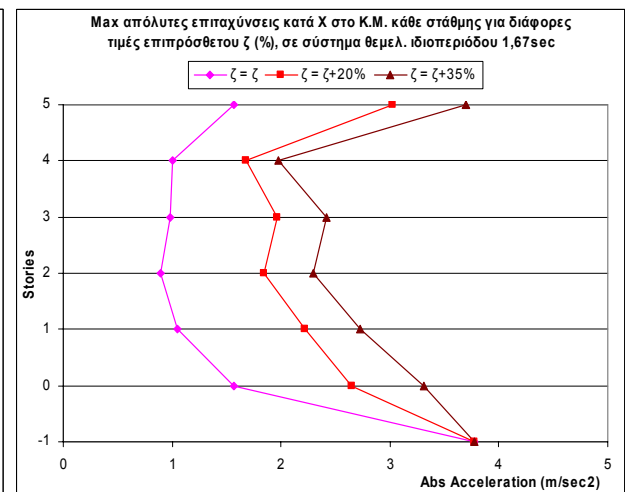
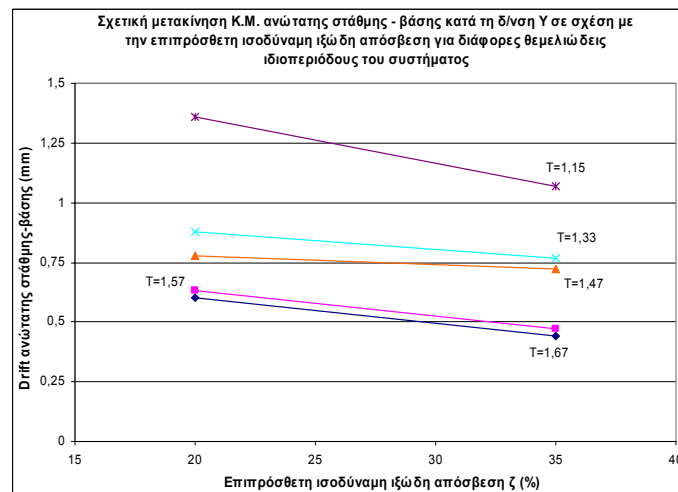


### Δομικό σύστημα Α – Σύστημα μόνωσης FPS - Σεισμική διέγερση κατά X : FF360 & κατά Y : FF090

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τη δ/ση X, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/ση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.

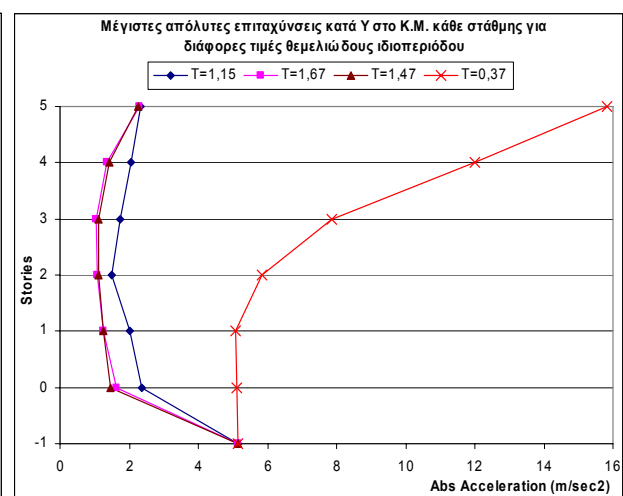
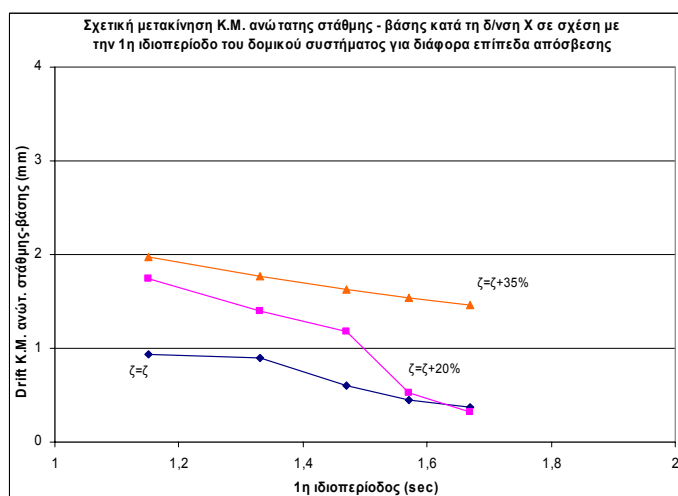
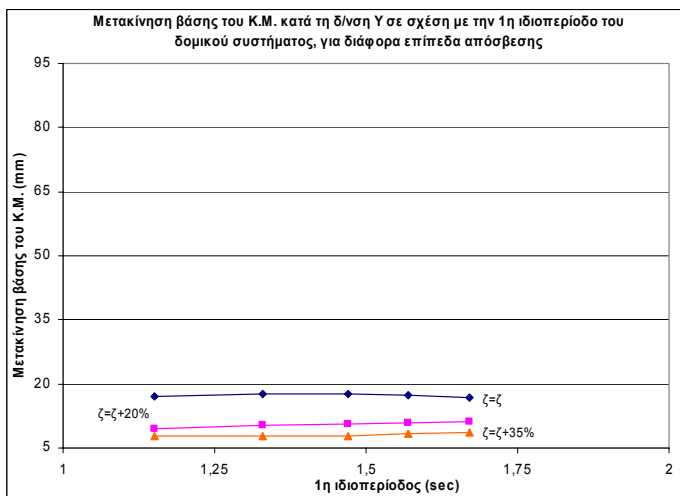


ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ FPS					
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση		δυσκαμψία ελατηρίου μη γραμμικού αποσβεστήρα	
		(+) 20%	(+) 35%	(+) 20%	(+) 35%
T=1,15	3800	258	452	516.103	903.180
T=1,33	2740	219	383	438.248	766.933
T=1,47	2200	196	344	392.695	687.217
T=1,57	1890	182	318	363.978	636.962
T=1,67	1670	171	299	342.139	598.743

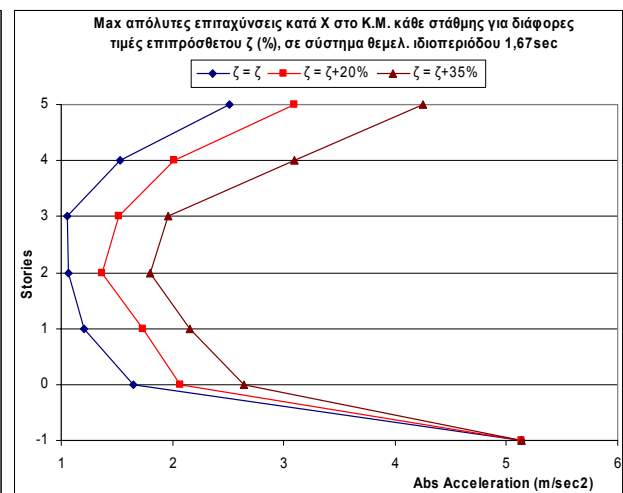
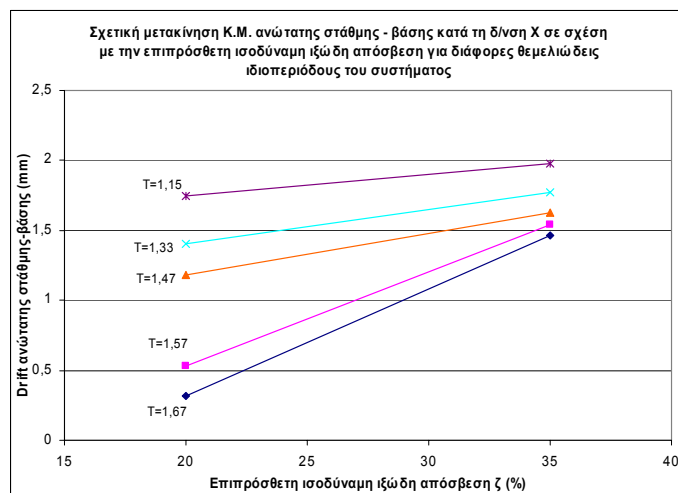


### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης FPS - Σεισμική διέγερση κατά X : NF140 & κατά Y : NF230

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση Y, συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τις δ/νσεις X & Y, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση Y, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.



ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Β ΜΕ FPS					
1η ιδιοπερίοδος	Keff	επιπρόσθετη απόσβεση		δυσκαμψία ελατηρίου μη γραμμικού αποσβεστήρα	
		(+) 20%	(+) 35%	(+) 20%	(+) 35%
T=1,15	3800	258	452	516.103	903.180
T=1,33	2740	219	383	438.248	766.933
T=1,47	2200	196	344	392.695	687.217
T=1,57	1890	182	318	363.978	636.962
T=1,67	1670	171	299	342.139	598.743



### Δομικό σύστημα Β – Σύστημα μόνωσης FPS - Σεισμική διέγερση κατά X : FF090 & κατά Y : FF360

- Αναπτυσσόμενες μετακινήσεις βάσης και αναπτυσσόμενες σχετικές μετακινήσεις ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τις δ/νσεις μέγιστης απόκρισης (X & Y), συσχετιζόμενες με διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου, για επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης.
- Αναπτυσσόμενες μέγιστες απόλυτες επιταχύνσεις στο Κ.Μ. κάθε στάθμης του συστήματος κατά τις δ/νσεις X & Y, για διάφορες τιμές θεμελιώδους ιδιοπεριόδου και για τα επιλεγμένα επίπεδα απόσβεσης (οι τιμές 0, -1 του άξονα των τεταγμένων, αντιπροσωπεύουν τη στάθμη μόνωσης και τη στάθμη έδρασης στο έδαφος).
- Διακύμανση των σχετικών μετακινήσεων ανώτατης στάθμης – βάσης, στο Κ.Μ. του συστήματος κατά τη δ/νση X, με την εφαρμογή επιπρόσθετης απόσβεσης.