

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι) ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ

«Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων ΤΕΙ»

Υποέργο: 12

Τίτλος: «Πειραματική μελέτη της συνεισφοράς αποσβεστήρα σωματιδίων στην μείωση της απόκρισης μνημείων σε σεισμική διέγερση »

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Αγγελική Παπαλού

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ

ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



«Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στο ΤΕΙ Πάτρας» με MIS **383592** του Ε.Π. «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» που συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση «Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ)» και Εθνικούς Πόρους

ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ

Υποέργο 12: «Πειραματική μελέτη της συνεισφοράς αποσβεστήρα σωματιδίων στην μείωση της απόκρισης μνημείων σε σεισμική διέγερση »

Επιστημονική Υπεύθυνος : Δρ. Αγγελική Παπαλού

Μέλη Κύριας Ερευνητικής Ομάδας: Δρ. Αγγελική Παπαλού, Δρ. Διονύσιος Ρουμπιέν, Δρ. Ευστάθιος Ν. Μπούσιας, Δρ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου

Μέλη Εξωτερικής Ομάδας Συνεργατών: Ηλίας Στρεπέλιας, Μιχάλης Μιαούλης

Η ετήσια έκθεση περιλαμβάνει τα δύο πρώτα πακέτα εργασίας

- **Πακέτο εργασίας 1:** Σχεδιασμός κίονα-δοκιμίου και αποσβεστήρα σωματιδίων (1/1/2013 έως 30/6/2013)
- **Πακέτο εργασίας 2:** Διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς του κίονα-δοκιμίου και του αποσβεστήρα σωματιδίων (1/7/2013 έως 31/12/2013)

1. Σχεδιασμός κίονα-δοκιμίου και αποσβεστήρα σωματιδίων

Ο σχεδιασμός του κίονα-δοκιμίου έγινε με βάση έναν πρότυπο κίονα αρχαίου ναού. Ο αρχαίος ναός που επιλέχθηκε είναι ο Παρθενώνας. Η επιλογή του κίονα του Παρθενώνα έγινε λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που έχουν οι κίονες αυτού του ναού σε σχέση με τους υπόλοιπους σωζόμενους αρχαίους κίονες. Κατ' αρχήν, το γεγονός ότι στον Παρθενώνα ο δωρικός ρυθμός θεωρείται ότι έφτασε στην τελειότητά του, έκανε τους κίονές του, όπως και όλα τα άλλα δομικά χαρακτηριστικά του, να αποτελέσουν το πρότυπο για όλα τα δωρικά κτήρια από εκείνη την εποχή

και μετά. Οι αναλογίες ύψους και διαμέτρων (άνω και κάτω), ο αριθμός και η ακριβής μορφή των ραβδώσεων, ο αριθμός και οι διαστάσεις των ιμάντων, οι αναλογίες του εχίνου και του άβακα, και γενικά όλα τα χαρακτηριστικά των κίωνων του Παρθενώνα αντιγράφηκαν σε μεγάλο βαθμό.

Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός κίωνων σε ναούς αλλά και σε άλλα αρχαία κτήρια, που μιμούνται τις αναλογίες και τη μορφή των διαφόρων λεπτομερειών των κίωνων του Παρθενώνα. Αυτό σημαίνει ότι οι παρατηρήσεις που μπορούν να γίνουν σε έναν κίονα του Παρθενώνα μπορούν να έχουν πιο άμεση εφαρμογή σε πολύ περισσότερους άλλους κίονες, από ό,τι αν επιλεγόταν ο κίονας ενός άλλου ναού.

Επιπλέον, ο Παρθενώνας είναι αναμφίβολα ο πιο μελετημένος αρχαίος ναός και αυτός του οποίου τα δομικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και των κίωνων, έχουν υποστεί τις περισσότερες επεμβάσεις, προσθαιρέσεις υλικών, αναστηλώσεις, συντηρήσεις, αλλά ζημιές από σεισμούς, πυρκαγιές κλπ. Αυτό έχει σαν συνέπεια να υπάρχουν περισσότερα στοιχεία για τη συμπεριφορά των κίωνων του σε όλες αυτές τις επεμβάσεις και ζημιές από ότι για τους κίονες οποιουδήποτε άλλου αρχαίου κτηρίου. Με αποτέλεσμα ο πειραματισμός με έναν κίονα του Παρθενώνα να μπορεί να δώσει τα περισσότερα στοιχεία, να οδηγήσει σε περισσότερους συσχετισμούς και να οδηγήσει σε πιο πλούσια συμπεράσματα.

Επιπλέον, το γεγονός ότι ο Παρθενώνας είναι από τους μεγαλύτερους αλλά και από τους πιο καλοδιατηρημένους αρχαίους ναούς σημαίνει ότι ο αριθμός των σωζόμενων κίωνων του είναι μεγάλος. Επομένως, τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από τον πειραματισμό με έναν κίονα που μιμείται τους κίονες του Παρθενώνα θα μπορούν να έχουν άμεση εφαρμογή σε ένα μεγάλο αριθμό κίωνων, αρχίζοντας από τους κίονες και του ίδιου του Παρθενώνα. Σε αυτό συντείνει και το γεγονός ότι οι κίονες του Παρθενώνα, λόγω της ιστορίας και των περιπετειών του ναού, έχουν επίσης τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για να εφαρμοστεί η μέθοδος με τον τεχνητό σφόνδυλο. Και αυτό γιατί οι περισσότεροι από αυτούς τους κίονες, επειδή κάποια στιγμή στη διάρκεια της ζωής τους μετακινήθηκαν με βίαιο τρόπο ή και έπεσαν στο έδαφος διασκορπίζοντας τους σφονδύλους τους, λόγω σεισμών, της έκρηξης του 1687, καθώς και τις φθορές από κακές αναστηλώσεις του παρελθόντος, έχουν τουλάχιστον έναν σφόνδυλο που λείπει, καθώς και άλλους που έχουν σπάσει και συγκολληθεί, πράγμα που διευκολύνει την τοποθέτηση ενός τεχνητού σφονδύλου (Εικ. 1). Επίσης, καθώς οι ελλείποντες σφόνδυλοι εντοπίζονται σε διάφορα ύψη, η μέθοδος, εφόσον αποδειχθεί αποτελεσματική, θα μπορεί να δοκιμαστεί προοδευτικά σε διάφορους κίονες του Παρθενώνα, ώστε να βρεθεί η καλύτερη εφαρμογή της επιτόπου και στο πραγματικό μνημείο. Για όλους τους παραπάνω λόγους, ο πειραματισμός με κίονα που έγινε με πρότυπο τους κίονες του Παρθενώνα θεωρήθηκε ως η πλέον ενδεικνύομενη επιλογή.



Εικ. 1.1: Φθορές σε κίονες του Παρθενώνα

Η κλίμακα που επιλέχθηκε για τον σχεδιασμό του κίονα-δοκιμίου (ομοίωμα κίονα του Παρθενώνα) είναι 1:3.3. Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του κίονα-δοκιμίου θα είναι λευκό ή γκρι μάρμαρο. Το συνολικό του ύψος θα είναι 2.992 m και θα αποτελείται από 11 σφονδύλους. Ο κάθε σφόνδυλος θα έχει ύψος 272 mm. Οι διαμέτροι των σφονδύλων είναι (Εικ. 2):

1^{ος}: κάτω διάμ.: 584 mm- πάνω διάμ. 571.7 mm

2^{ος}: κάτω διάμ.: 571.7 mm- πάνω διάμ. 559.5 mm

3^{ος}: κάτω διάμ.: 559.5 mm- πάνω διάμ. 547.2 mm

4^{ος}: κάτω διάμ.: 547.2 mm- πάνω διάμ. 534.9 mm

5^{ος}: κάτω διάμ.: 534.9 mm- πάνω διάμ. 522.6 mm

6^{ος}: κάτω διάμ.: 522.6 mm- πάνω διάμ. 510.4 mm

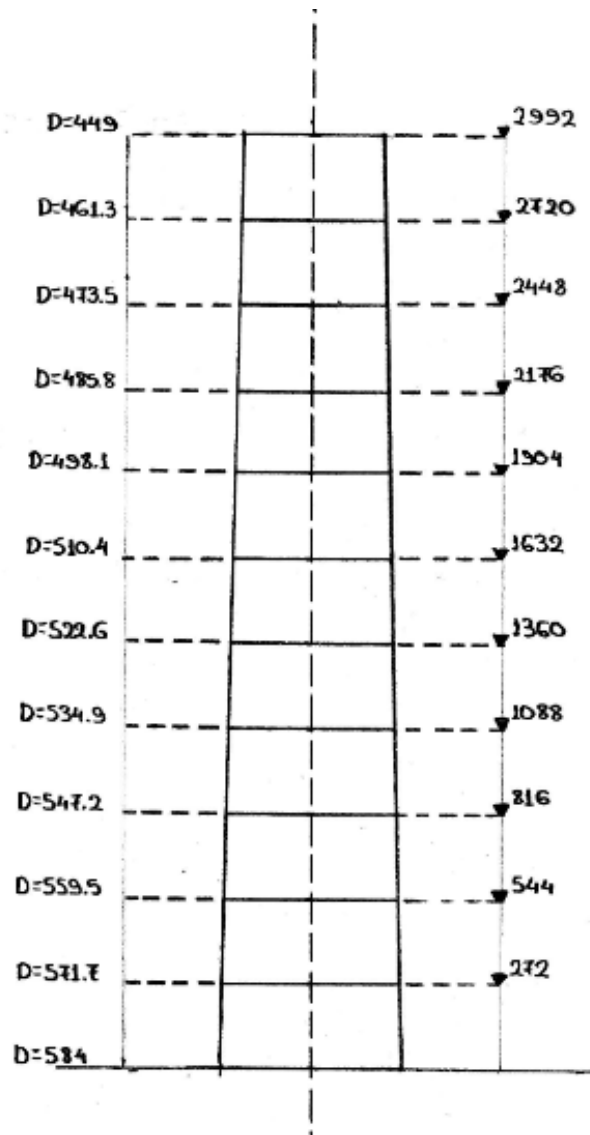
7^{ος}: κάτω διάμ.: 510.4 mm- πάνω διάμ. 498.1 mm

8^{ος}: κάτω διάμ.: 498.1 mm- πάνω διάμ. 485.8 mm

9^{ος}: κάτω διάμ.: 485.8 mm- πάνω διάμ. 473.5 mm

10^{ος}: κάτω διάμ.: 473.5 mm- πάνω διάμ. 461.3mm

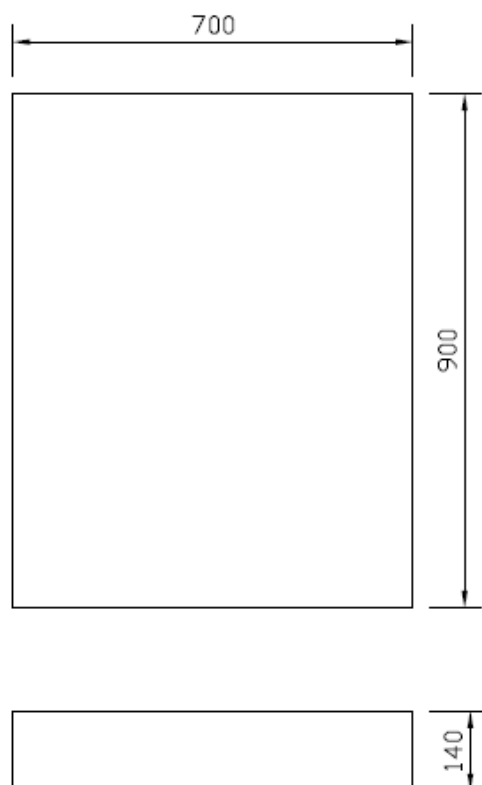
11^{ος}: κάτω διάμ.: 461.3 mm- πάνω διάμ. 449 mm



Εικ. 1.2: Διαστάσεις κίονα-δοκιμίου.

Η επιφάνεια του πάνω και κάτω τμήματος κάθε σφονδύλου θα είναι λεία για κυκλικό δαχτυλίδι 70-80 mm (από εξωτερικό τμήμα και προς τα μέσα). Το υπόλοιπο τμήμα του θα είναι ελαφρά κατεργασμένο ώστε να μην υπάρχει απόλυτη επαφή σ' αυτό το τμήμα δύο συνεχόμενων σφονδύλων. Σε κάθε σφόνδυλο στην αριστερή και δεξιά του πλευρά θα πρέπει να υπάρχει στο μέσον του περίπου, καθ' ύψος, τρύπα διαμέτρου: 18 mm και μήκους 50 mm. Η ανοχή στις διαστάσεις θα πρέπει να περιορίζεται στο ± 2 mm.

Η βάση του κίονα-δοκιμίου θα είναι μαρμάρινη πλάκα (λευκό ή γκρι μάρμαρο) διαστάσεων 700 mm x 900 mm x 140 mm (Εικ. 3).



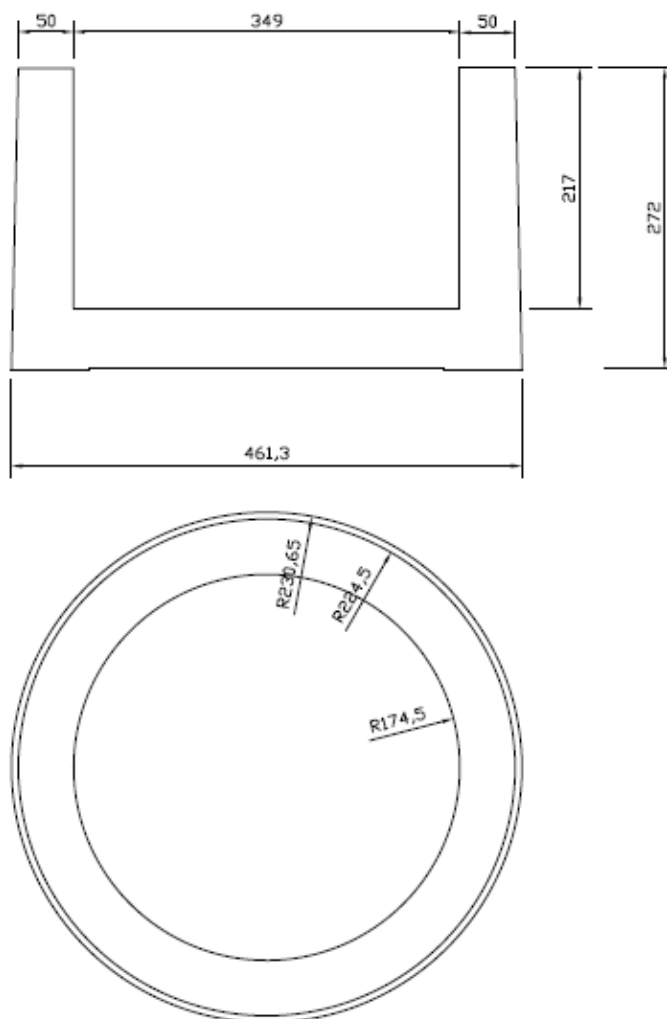
Εικ.1.3: Διαστάσεις μαρμάρινης βάσης

Ο κίονας-δοκίμιο θα δοκιμαστεί και σε κεκλιμένες θέσεις, καθώς η κλίση των αρχαίων κίωνων σήμερα είναι κάτι συνηθισμένο. Αυτό συμβαίνει γιατί συχνά οι ναοί έχουν υποστεί μερική καθίζηση λόγω ανομοιογένειας του εδάφους. Επίσης μπορεί να συμβεί λόγω φθορών στην κρηπίδα, είτε από φυσικά αίτια (σεισμοί) είτε λόγω ανθρώπινης παρέμβασης, π.χ. σε περιπτώσεις όπου σε αναζήτηση των σιδηρών στοιχείων στο εσωτερικό των κίωνων έγιναν ανεπιτυχείς ή και επιτυχείς προσπάθειες να καταρριφθούν οι κίονες, με λάξευση της κάτω επιφάνειας του κατώτερου σφονδύλου, ώστε ο κίονας να καταρρεύσει. Σε τέτοια περίπτωση προκλήθηκαν φθορές και στην κάτω επιφάνεια του κάτω σφονδύλου, αλλά και στην κρηπίδα, οπότε ακόμη και μετά την αναστύλωση ο κίονας μπορεί να μην πατά σωστά πάνω της.

Αρχικά θεωρήθηκε ότι θα ήταν καλό να σχεδιαστεί πλάκα όπου η πάνω της πλευρά να είναι κεκλιμένη. Λόγω μείωσης του κόστους και επειδή θα είναι πιο εύκολα εφικτό να δοκιμαστούν διάφορες κλίσεις αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η ίδια βάση με τις διαστάσεις της εικόνας 3 τοποθετώντας στο κάτω τμήμα της φύλλα μολύβδου που μπορούν να δώσουν την επιθυμητή κλίση που κυμαίνεται από 1 μέχρι 3%.

Δύο αποσβεστήρες θα κατασκευαστούν. Οι δύο αποσβεστήρες θα είναι κατασκευασμένοι από μάρμαρο λευκό ή γκρι. Ο πρώτος αποσβεστήρας, που θα τοποθετηθεί στα πειράματα στην

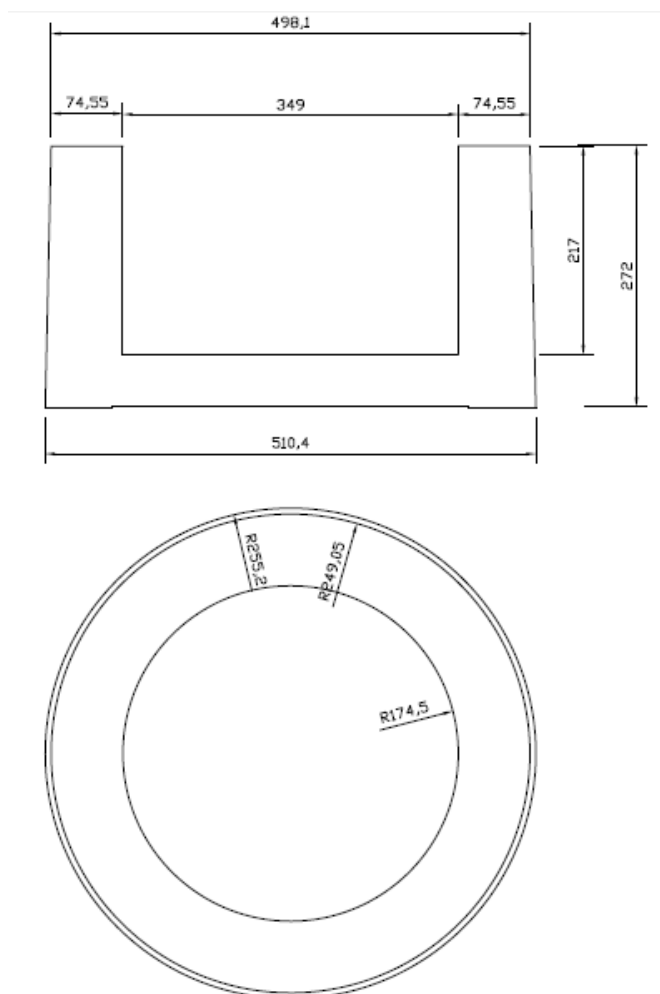
κορυφή του κίονα-δοκιμίου αντικαθιστώντας τον πάνω σφόνδυλο, θα είναι ένας σφόνδυλος κούφιος με ύψος 272 mm, κάτω διάμετρο 461.3 mm, πάνω διάμετρο 449 mm, διάμετρο οπής 349 mm (στο κέντρο της επιφάνειας) και βάθος οπής 217 mm. Η επιφάνεια του πάνω και κάτω τμήματος του σφονδύλου θα είναι λεία για κυκλικό δαχτυλίδι 50 mm (στο πάνω μέρος) και 70-80 mm (στο κάτω μέρος από εξωτερικό τμήμα και προς τα μέσα). Το υπόλοιπο τμήμα του στο κάτω μέρος θα είναι ελαφρά κατεργασμένο ώστε να μην υπάρχει απόλυτη επαφή δύο συνεχόμενων σφονδύλων στο τμήμα αυτό. (Το υπόλοιπο του πάνω μέρος του σφονδύλου θα είναι κούφιο, βλέπε Εικ. 4). Στην εξωτερική αριστερή και δεξιά πλευρά του σφονδύλου (καθ' ύψος) θα πρέπει να ανοιχθεί στο σημείο που θα κριθεί πιο βολικό και λιγότερο επικίνδυνο, μετά την κατασκευή του, τρύπα διαμέτρου: 15-18 mm και μήκους 35-45 mm. Η ανοχή στις διαστάσεις θα περιορίζεται στο ± 2 mm.



Εικ. 1.4: Διαστάσεις πρώτου αποσβεστήρα

Ο δεύτερος αποσβεστήρας, που θα τοποθετηθεί στην θέση του έβδομου σφονδύλου στον κίονα-δοκίμιο, θα είναι σφόνδυλος κούφιος με ύψος 272 mm, κάτω διάμετρο 510.4 mm, πάνω διάμετρο 498.1 mm, διάμετρο οπής 349 mm (στο κέντρο της επιφάνειας) και βάθος οπής 217 mm. Η επιφάνεια του πάνω και κάτω τμήματος του σφονδύλου θα είναι λεία για κυκλικό δαχτυλίδι 70-80

mm (από εξωτερικό τμήμα και προς τα μέσα). Το υπόλοιπο τμήμα του στο κάτω μέρος θα είναι ελαφρά κατεργασμένο ώστε να μην υπάρχει απόλυτη επαφή δύο συνεχόμενων σφονδύλων στο τμήμα αυτό. (Το υπόλοιπο του πάνω μέρος του σφονδύλου είναι κούφιο, βλέπε Εικ. 5). Στην εξωτερική αριστερή και δεξιά πλευρά του σφονδύλου (καθ' ύψος) θα πρέπει να ανοιχθεί στο σημείο που θα κριθεί πιο βολικό και λιγότερο επικίνδυνο, μετά την κατασκευή του, τρύπα διαμέτρου: 15-18 mm και μήκους 35-45 mm. Η ανοχή στις διαστάσεις θα περιορίζεται στο ± 2 mm.

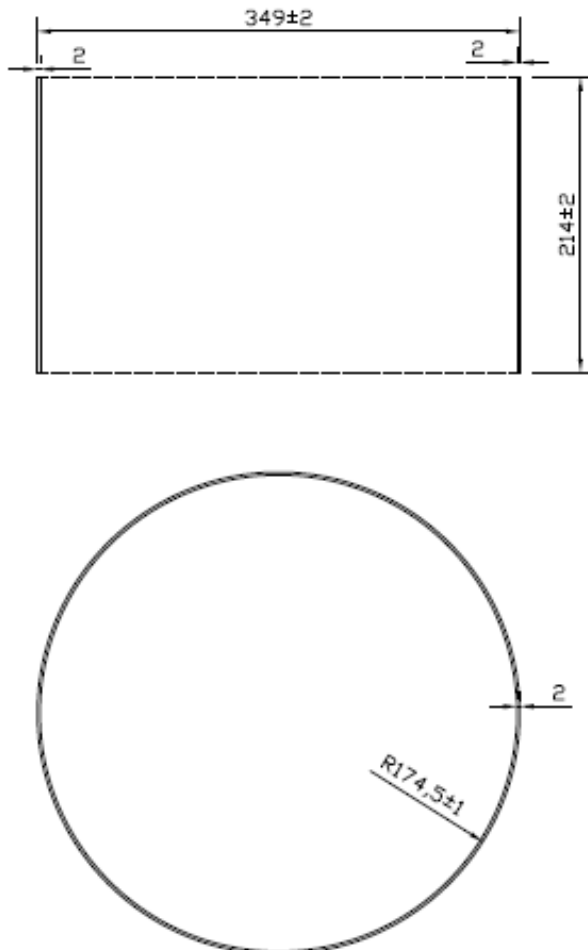


Εικ. 1.5: Διαστάσεις δεύτερου αποσβεστήρα

Οι θέσεις των αποσβεστήρων επιλέχθηκαν σύμφωνα με τα όσα έχουν παρατηρηθεί από προηγούμενα πειράματα σεισμικής συμπεριφοράς κίονων που δείχνουν μεγάλη μετατόπιση στις συγκεκριμένες θέσεις όπως και από το γεγονός ότι στους πολλούς μεμονωμένους κίονες ο πάνω σφόνδυλος λείπει.

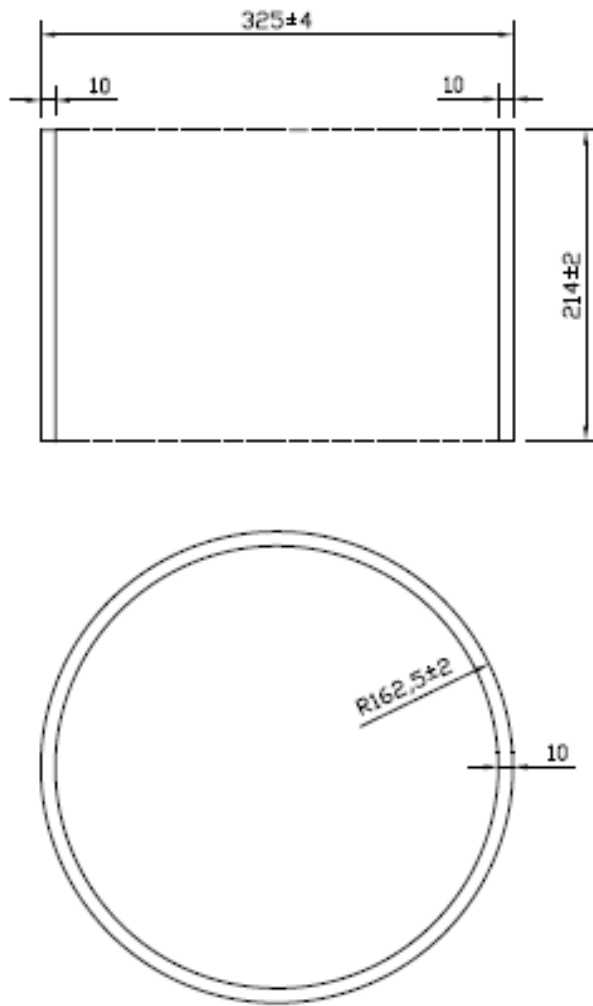
Οι διαστάσεις των αποσβεστήρων θα αλλάζουν με χαλύβδινα δαχτυλίδια που θα εισέρχονται στο εσωτερικό τους. Τρία χαλύβδινα δαχτυλίδια θα κατασκευαστούν που θα μπορούν να

εφαρμοστούν και στους δύο αποσβεστήρες. Το πρώτο χαλύβδινο δαχτυλίδι, θα είναι ύψους 214 ± 2 mm, διαμέτρου 349 ± 2 mm, πάχους 2 mm (Εικ. 6). Η ύπαρξη αυτού του χαλύβδινου δαχτυλιδιού έχει σαν στόχο την αποφυγή της επαφής των χαλύβδινων σφαιριδίων του αποσβεστήρα με το μάρμαρο που μπορεί να μην είναι απόλυτα λείο και έτσι να χαθεί ενέργεια στις κρούσεις.



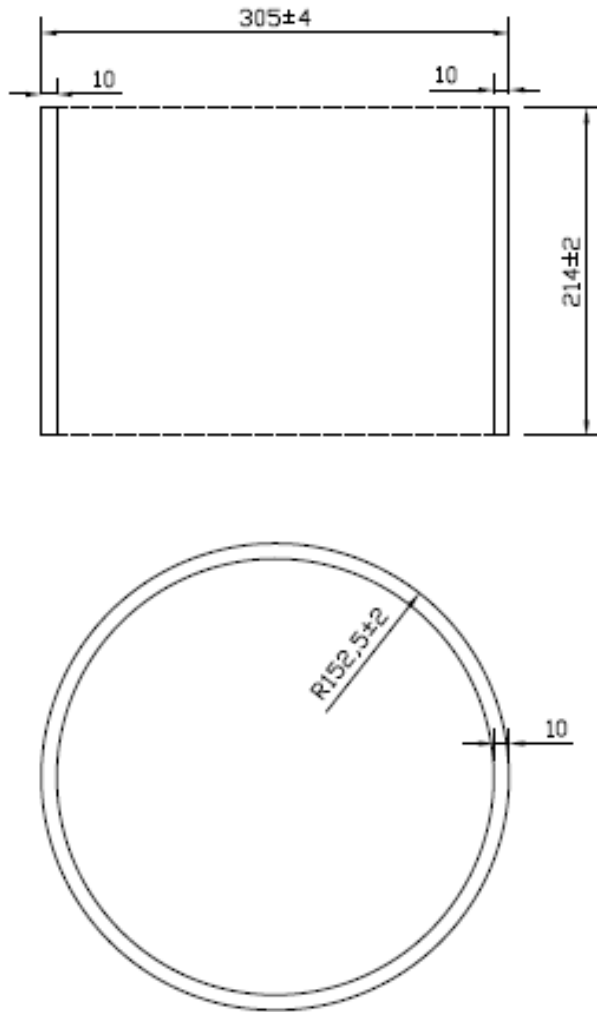
Εικ. 1.6: Διαστάσεις 1^{ου} χαλύβδινου δαχτυλιδιού

Το δεύτερο χαλύβδινο δαχτυλίδι θα είναι ύψους 214 ± 2 mm, διαμέτρου 335 ± 2 mm, πάχους 10 mm (Εικ. 7) και θα μπορεί να τοποθετηθεί εσωτερικά του πρώτου χαλύβδινου δαχτυλιδιού μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις διαστάσεις του αποσβεστήρα.



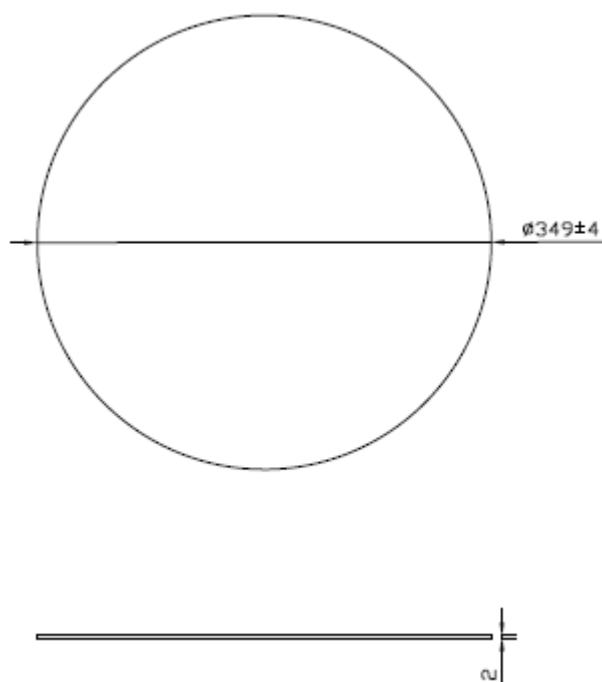
Εικ. 1.7: Διαστάσεις 2^ο χαλύβδινου δαχτυλιδιού

Το τρίτο χαλύβδινο δαχτυλίδι θα είναι ύψους 214 ± 2 mm, διαμέτρου 305 ± 4 mm, πάχους 10 mm (Εικ. 8).



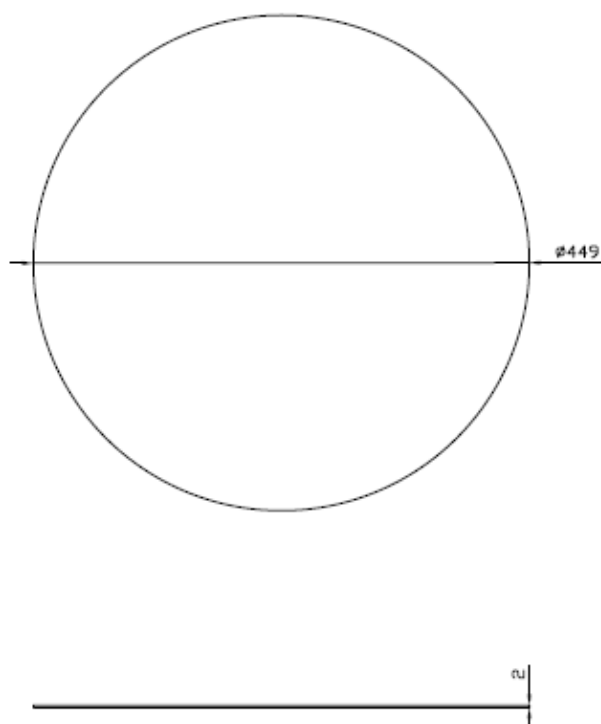
Εικ. 1.8: Διαστάσεις 3^{ου} χαλύβδινου δαχτυλιδιού

Χαλύβδινη πλάκα διαμέτρου 349 ± 4 mm και πάχους 2 mm (Εικ. 9) θα τοποθετηθεί στον πάτο του αποσβεστήρα. Η πλάκα αυτή θα να καλύψει τυχόν ατέλειες από την επεξεργασία του μαρμάρου δημιουργώντας μια λεία επιφάνεια επαφής για τις χαλύβδινες μπάλες που θα κινούνται μέσα στον αποσβεστήρα και μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την τριβή.



Εικ. 1.9: Διαστάσεις χαλύβδινης πλάκας

Επίσης θα κατασκευαστεί πλάκα από Plexiglas διαμέτρου 449 ± 2 mm και πάχους 2 mm (Εικ. 10) που θα τοποθετηθεί στην πάνω πλευρά του πρώτου αποσβεστήρα όταν αυτός τοποθετηθεί στην κορυφή του κίονα ώστε οι μπάλες με την κίνηση να μην μπορούν να φύγουν από τον αποσβεστήρα.



Εικ. 1.10: Διαστάσεις πλάκας από Plexiglass

Οι χαλύβδινες μπάλες θα είναι διαμέτρου θα είναι 20 mm (1900 μπάλες) και 50 mm (150 μπάλες). Οι διαστάσεις αυτές επιλέχθηκαν γιατί θεωρήθηκε ότι θα μπορέσουν να δείξουν την επιρροή της διάστασης στην αποτελεσματικότητα του αποσβεστήρα αλλά και από οικονομικής άποψης το κόστος τους κρίθηκε το πιο ικανοποιητικό. Η μέγιστη packing density που θα μπορέσει να επιτευχθεί με αυτή την ποσότητα των σφαιριδίων θα είναι της τάξης του 0.5. Ο λόγος της μάζας των σφαιριδίων προς την μάζα του κίονα θα πάρει τις εξής τιμές: $m/M = 1\%$, 2% , 3% ή παραπλήσιες τιμές. Με τα πειράματα θα διαπιστωθεί ο πιο αποτελεσματικός λόγος μαζών για την μείωση των ταλαντώσεων. Άλλοι λόγοι μαζών μπορεί να δοκιμαστούν σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι αρκετά ικανοποιητικά.

Ο τρόπος μεταφοράς και συναρμογής των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου θα γίνει με την χρήση ιμάντων που θα δεθούν γύρω από τον κάθε σφόνδυλο και με την βοήθεια της υπάρχουσας γερανογέφυρας στον χώρο της σεισμικής τράπεζας θα μπορέσουν να μεταφερθούν και να τοποθετηθούν ο ένας επάνω στον άλλον στην σεισμική τράπεζα. Στο κατώτατο σημείο θα τοποθετηθεί πρωτίστως η βάση του κίονα. Η ασφάλεια των σφονδύλων σε τυχόν μεγάλες μετακινήσεις και η αποφυγή της πτώσης τους που θα μπορούσε να δημιουργήσει ζημιές στον σφόνδυλο αλλά και στην σεισμική τράπεζα θα επιτευχτεί με την χρήση καλωδίων που θα περαστούν από βύσματα (ούπα) που θα είναι τοποθετημένα (κολλημένα) στις τρύπες που θα ανοιχτούν στις δύο πλευρές του κάθε σφονδύλου. Τα καλώδια θα αναρτώνται από το πάνω μέρος του κτιρίου που βρίσκεται η σεισμική τράπεζα.

Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν είναι επιταχυνσιόμετρα υψηλής ευαισθησίας περιοχής λειτουργίας κυρίως $\pm 2g$ αλλά και επιταχυνσιόμετρα στην περιοχή λειτουργίας $\pm 10g$. Τα επιταχυνσιόμετρα θα τοποθετηθούν ένα σε κάθε σφόνδυλο (αν επαρκούν αλλιώς κάθε δεύτερο) για μέτρηση της οριζόντιας κίνησης στην ίδια κατακόρυφο, ένα ή δύο για μέτρηση της κατακόρυφης κίνησης και πιθανόν λικνίσματος στον 11^ο σφόνδυλο και ένα στην σεισμική τράπεζα για μέτρηση της εισαγόμενης κίνησης στο σύστημα.

2. Διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς του κίονα-δοκιμίου και του αποσβεστήρα σωματιδίων

Λόγω της αργοπορίας κατασκευής του κίονα μεγάλο διαστάσεων και την πολυπλοκότητα των πειραμάτων με τις διαστάσεις του μεγάλου κίονα στο πλαίσιο του έργου αποφασίστηκε να κατασκευαστεί ένας επιπλέον κίονας μικρότερων διαστάσεων. Ο κίονας-δοκίμιο προσομοίωσε κίονα μικρότερων διαστάσεων και συγκεκριμένα κίονα από τον ναό του Ηφαιστείου στην Αθήνα. Χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1:8. Η διάμετρος του κίονα για το μικρό μοντέλο αποφασίστηκε να είναι σταθερή για όλους τους σφονδύλους ώστε να μπορεί να ελεγχθεί εύκολα η αποτελεσματικότητα του αποσβεστήρα σωματιδίων σε διαφορετικές θέσεις στον κίονα.

Περιγραφή του κίονα-δοκιμίου

Στα πλαίσια του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στο εργαστήριο σεισμικής τράπεζας του Πανεπιστημίου Πατρών. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε έναν μαρμάρينو κίονα σε κλίμακα 1:8. Ο κίονας αποτελείται από 7 σφονδύλους ύψους 120mm και διαμέτρου 93mm ο καθένας. Ο κάθε σφόνδυλος έχει υποστεί επεξεργασία έτσι ώστε να εκτραχυνθεί η πάνω και η κάτω επιφάνειά του σε διάμετρο 60 mm. Οι ακριβείς διαστάσεις του κάθε σφονδύλου μετρήθηκαν με παχύμετρο και μετρήθηκε το βάρος του (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Διαστάσεις και βάρος σφονδύλων

Σφόνδυλος	Διάμετρος (mm)	Ύψος (mm)	Βάρος (kgr)
#1	120	93.1	2.82
#2	120	93	2.83
#3	120	92.8	2.82
#4	120	93	2.82
#5	120	92.8	2.83
#6	120.25	92.85	2.83
#7	119.65	92.85	2.83

Ο κίονας εδράζεται σε μαρμάρινη πλάκα διαστάσεων 120mmx 120mm η οποία πακτώθηκε μέσω ρητίνης στο κέντρο μεταλλικής πλάκας διαστάσεων 400mmx 400mm. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην επιπεδότητα της μαρμάρινης πλάκας (Εικ. 2.1)



Εικ. 1.1: Προετοιμασία μεταλλικής πλάκας (αριστερά) και μαρμάρινη πλάκα πακτωμένη (δεξιά)

Η μεταλλική πλάκα πακτώθηκε στη σεισμική τράπεζα μέσω τεσσάρων ντιζών διαμέτρου M26. Σε κάθε σφόνδυλο τοποθετήθηκαν και αγκυρώθηκαν μέσω ρητίνης στο μέσο του ύψους του ντίξης διαμέτρου M6 οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την πρόσδεση τους έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανή πτώση τους κατά την διάρκεια των πειραματικών δοκιμών (Εικ. 2.1).



Εικ. 2.1: Κίονας τοποθετημένος στην σεισμική τράπεζα

Περιγραφή των πειραμάτων και της εκτέλεσής τους

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο σεισμικής τράπεζας του Πανεπιστημίου Πατρών. Η τράπεζα αποτελείται από μια άκαπτη χαλύβδινη πλάκα διαστάσεων 3 x 5m με την κίνηση να παρέχεται από ένα σερβουδραυλικό έμβολο ικανότητας 250kN κατά μήκος της μεγάλης διάστασης της πλάκας. Ο σεισμικός προσομοιωτής μπορεί να εφαρμόσει δυναμικά σήματα μέγιστης επιτάχυνσης 0.75 g (7.5m/sec²) σε πλήρες φορτίο (10ton) . Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του

προσομοιωτή είναι η ικανότητά του να εφαρμόσει σεισμικού τύπου σήματα με ταχύτητες έως 1.2m/sec.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικές δοκιμές στην σεισμική τράπεζα για να ταυτοποιηθούν οι βέλτιστοι παράμετροι που θα πρέπει να εισαχθούν στο σύστημα έτσι ώστε η επιβαλλόμενη διέγερση να ταυτίζεται με αξιοπιστία με την διέγερση εισόδου. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές τόσο με ημιτονοειδείς παλμούς σε ένα εύρος συχνοτήτων, όσο και με επιταχυνσιογραφήματα και με τυχαίες διεγέρσεις.

Οι παραπάνω δοκιμές πραγματοποιούνται έτσι ώστε να υπολογιστεί η κατάλληλη συνάρτηση μεταφοράς η οποία θα εφαρμοστεί στην επιθυμητή διέγερση της σεισμικής τράπεζας. Σε ένα ιδεατό σύστημα αυτή η συνάρτηση δε θα χρειαζόταν, όμως στην πραγματικότητα πρέπει να υπολογιστεί και να εφαρμοστεί έτσι ώστε να συμπεριληφθούν όλα τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Ο υπολογισμός της συνάρτησης μεταφοράς πραγματοποιείται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Το σήμα εισόδου (η επιθυμητή διέγερση) συγκρίνεται με το σήμα ανάδρασης και στην συνέχεια χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από μαθηματικούς υπολογισμούς, πολλαπλασιαστές και φίλτρα υπολογίζεται η συνάρτηση μεταφοράς η οποία εφαρμόζεται στο σήμα εισόδου στην επόμενη δοκιμή. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το σήμα εισόδου και το σήμα ανάδρασης να έχουν καλή συνοχή.

Ο κίονας υποβλήθηκε σε μια σειρά δοκιμών με διεγέρσεις που φαίνονται παρακάτω. Σε κάθε πείραμα καταγράφονταν οι επιταχύνσεις των σφονδύλων του κίονα (Εικ. 2.3). Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 6 επιταχυνσιόμετρα τα οποία κατέγραφαν την επιτάχυνση του σφονδύλου στην διεύθυνση φόρτισης. Σε ορισμένα πειράματα καταγράφηκε η επιτάχυνση του 7ου σφονδύλου στην εγκάρσια και στην κατακόρυφη διεύθυνση φόρτισης. Σε κάθε καταγραφή από τους παραπάνω αναφερόμενους αισθητήρες εφαρμόστηκε στην συνέχεια ένα ζωνοδιαπερατό ψηφιακό φίλτρο Butterworth απο 0.1Hz έως 20Hz. Τέλος από τις καταγραφές των επιταχυνσιομέτρων μέσω μετασχηματισμού Fourier υπολογίζονται οι συχνότητες ταλάντωσης του κάθε σφονδύλου.



Εικ. 2.3: Επιταχυνσιόμετρα τοποθετημένα στον κίονα

Διεγέρσεις

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε σε μια σειρά από φυσικά επιταχυνσιογραφήματα, σε ημιτονοειδείς παλμούς και σε τυχαίες διεγέρσεις (Πίνακας 2). Σε όλα τα επιταχυνσιογραφήματα ο χρόνος πολλαπλασιάστηκε με $\sqrt{(1/8)}$ λόγω της κλίμακας του δοκιμίου.

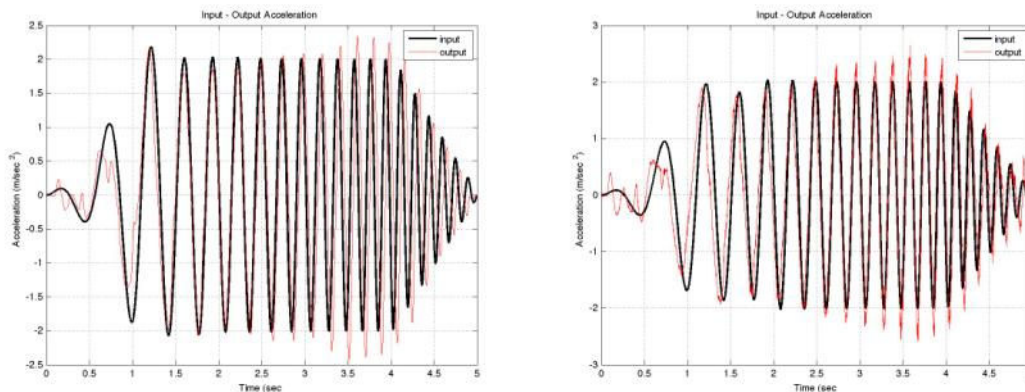
Πίνακας 2: Διεγέρσεις που δοκιμάστηκαν στην σεισμική τράπεζα

Διέγερση	Ένταση (m/sec ²)
Sinesweep 1-7Hz	2
Sinesweep_90	2
Sinesweep 1.1-1.7Hz	1
Sinesweep 1.6-2.2Hz	1
Sinesweep 3.6-4.7Hz	2
Sinesweep 4.6-5.6Hz	2
Random 1-10Hz	0.6
New_random 1-10Hz	2.5
Λευκάδα 2003	3.3
Αίγιο 1995	4.95
Πάτρα 1993	4
Αθήνα 1999	2.58
Irpinia	3.5
Friuli	3.45

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα της διαδικασίας εξισορρόπησης για τις παραπάνω αναφερόμενες διεγέρσεις.

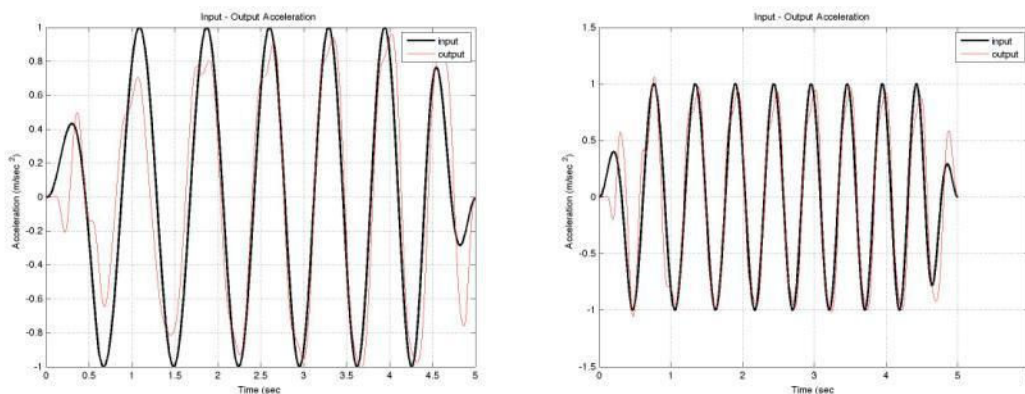
Αρμονικές διεγέρσεις

Ο κίονας αρχικά δονήθηκε με ημιτονοειδή σήμα (sine-sweep) από 1-7 Hz. Το σήμα διέγερσης που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στην Εικ. 2.4. Το σήμα αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να μας δώσει τις ιδιοσυχνότητες του κίονα.

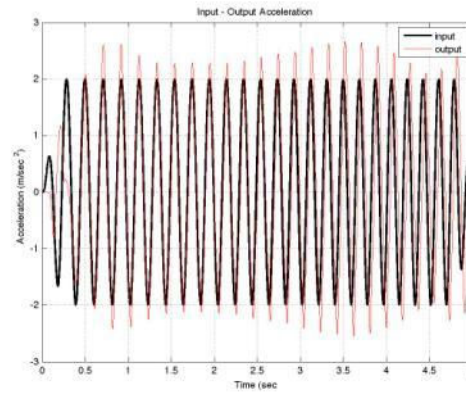
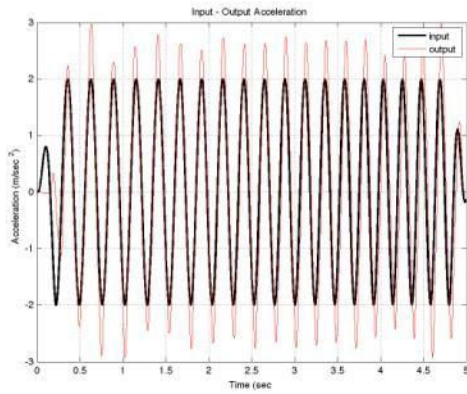


Εικ. 2.4: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση sinesweep 1-7Hz (αριστερά), sine-sweep_90 (δεξιά)

Στην συνέχεια ημιτονοειδή σήματα διέγερσης με μικρότερο πεδίο χρησιμοποιήθηκε όπως φαίνεται στις Εικόνες 2.5-2.6.



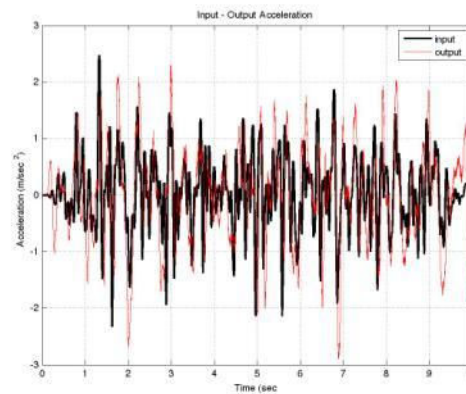
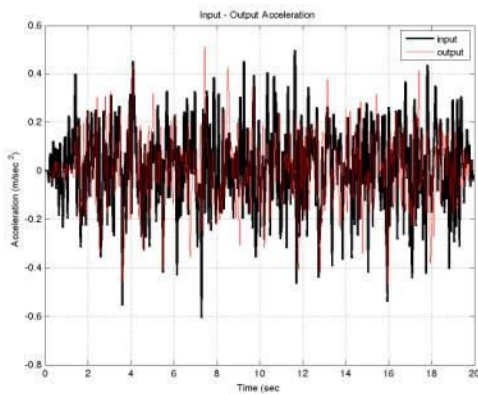
Εικ. 2.5: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση sinesweep 1.1-1.7Hz (αριστερά), sinesweep 1.6-2.2Hz (δεξιά)



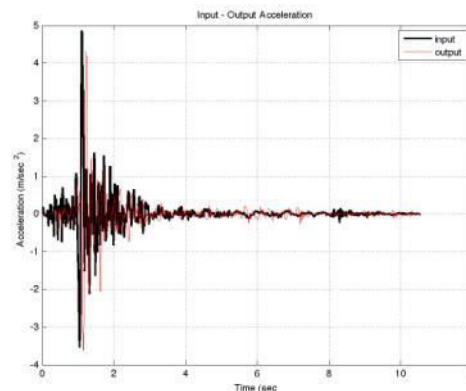
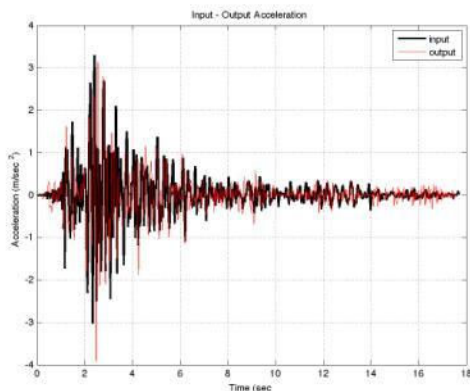
Εικ. 2.6: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση sinesweep 3.6-4.7Hz (αριστερά), sinesweep 4.6-5.6Hz (δεξιά)

Τυχαίες και σεισμικές διεγέρσεις

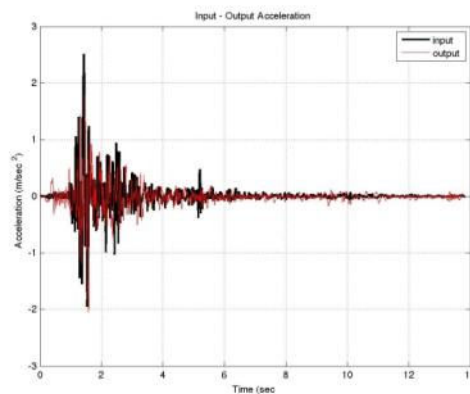
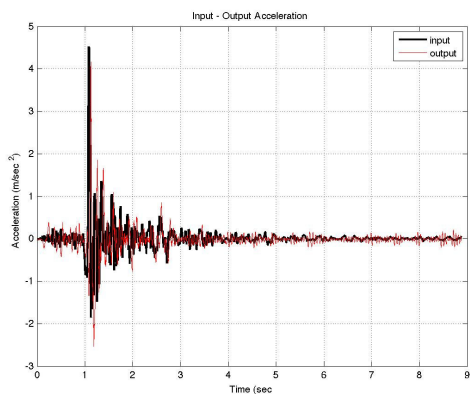
Η συμπεριφορά του κίονα-δοκιμίου μελετήθηκε για τυχαίες (random) και σεισμικές διεγέρσεις (Εικ. 2.7-2.10)



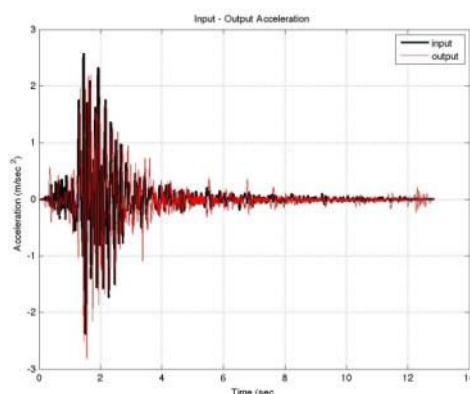
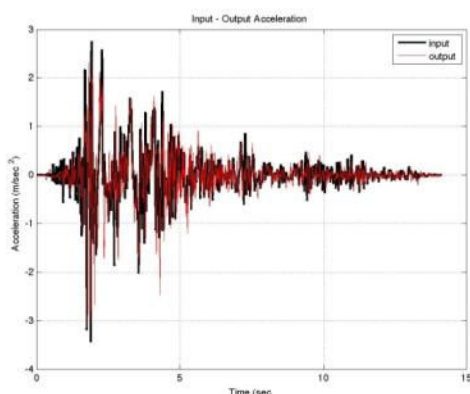
Εικ. 2.7: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση random1-10Hz (αριστερά), new_random1-10Hz (δεξιά)



Εικ. 2.8: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση Λευκάδα 2003 (αριστερά), Αίγιο 1995(δεξιά)



Εικ. 2.9: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση Πάτρα 1993 (αριστερά), Αθήνα 1999(δεξιά)



Εικ. 2.10: Σήμα διέγερσης και σήμα ανάδρασης σεισμικής τράπεζας, διέγερση Irpinia(αριστερά), Friuli(δεξιά)

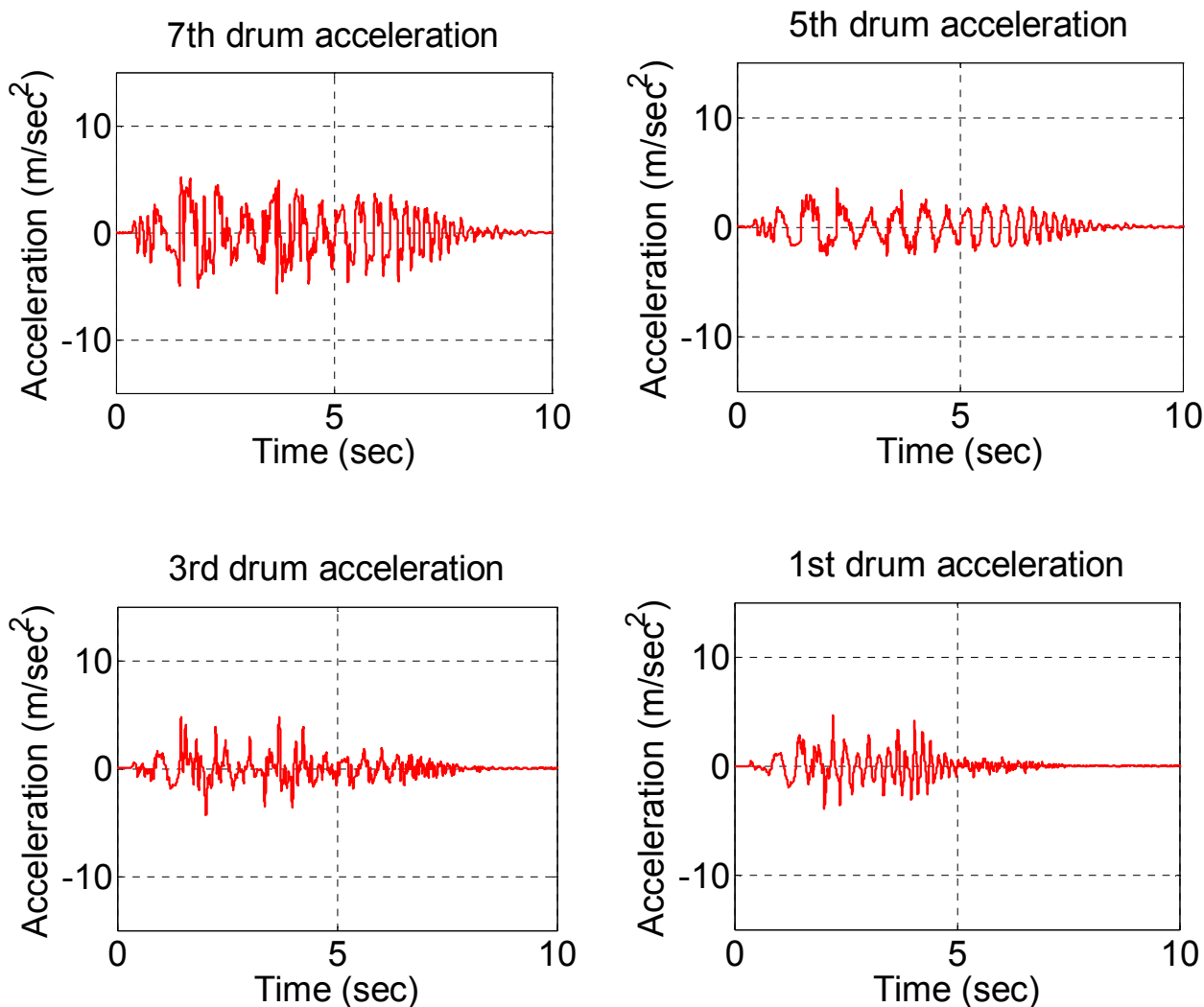
Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών

Παρατηρήθηκε ότι τα πειράματα δεν είναι επαναλαμβανόμενα δηλαδή για την ίδια διέγερση ο κίονας δεν συμπεριφέρεται ίδια γι' αυτό αποφασίστηκε τα ίδια πειράματα να επαναληφθούν πολλές φορές και με στατιστική ανάλυση να βγάλουμε συμπεράσματα για την δυναμική συμπεριφορά του. Επίσης οι επαναλαμβανόμενες δοκιμές αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά του κίονα. Σκόνη αναδύεται με την ολίσθηση ή λικνισμό των σφονδύλων, τμήματα μικρά αποσπώνται από τις άκρες των σφονδύλων. Επιπλέον η σεισμική τράπεζα μερικές φορές πριν την αρχή των πειραμάτων έκανε απότομη κίνηση με αποτέλεσμα να μετακινεί βίαια τους σφονδύλους με κίνδυνο να τους καταστρέψει.

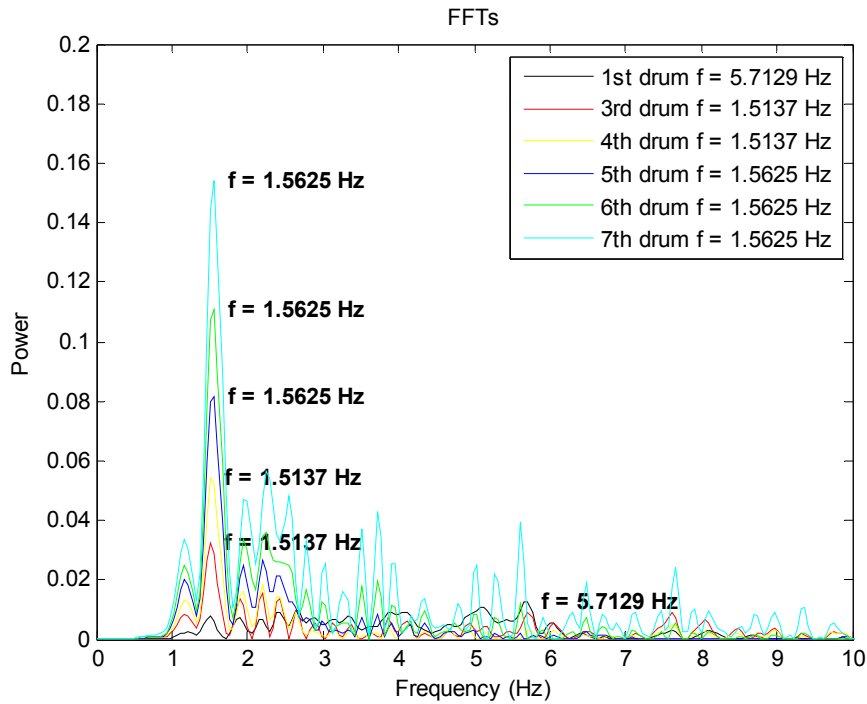
Πειραματικά αποτελέσματα

A. Αρμονικές διεγέρσεις

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των αρμονικών ταλαντώσεων παρουσιάζονται στην συνέχεια. Λόγω του μεγάλου αριθμού των δοκιμών που γίνανε παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα κάποιων ενδεικτικών δοκιμών. Στην Εικ. 2.11 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων των σφονδύλων στην διεύθυνση της διέγερσης και στην Εικ. 2.12 το φάσμα της επιτάχυνσης των σφονδύλων.

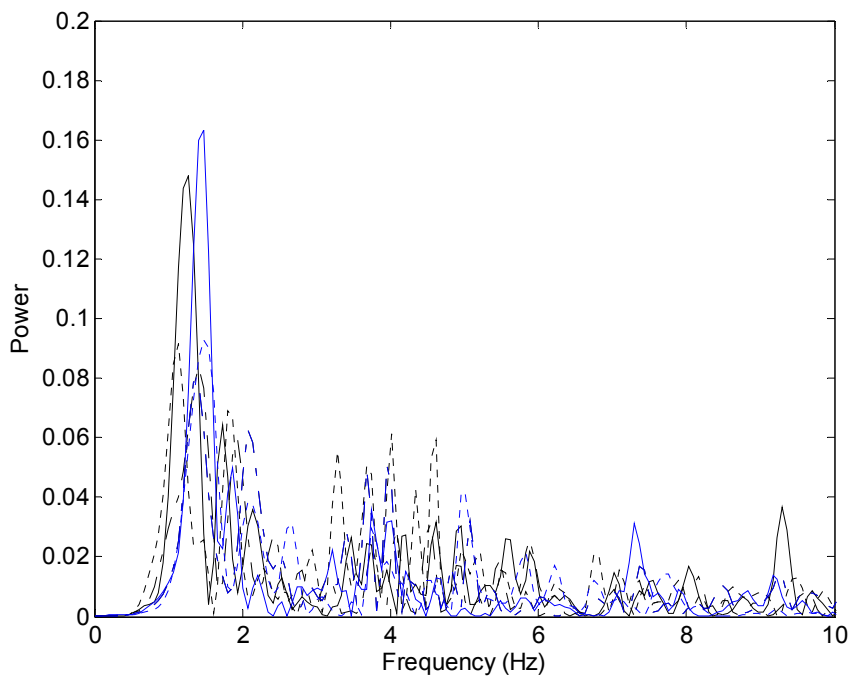


Εικ. 2.11: Χρονοϊστορία επιταχύνσεων των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για ημιτονοειδή διέγερση



Εικ. 2.12: Φάσμα επιτάχυνσης των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για ημιτονοειδή διέγερση

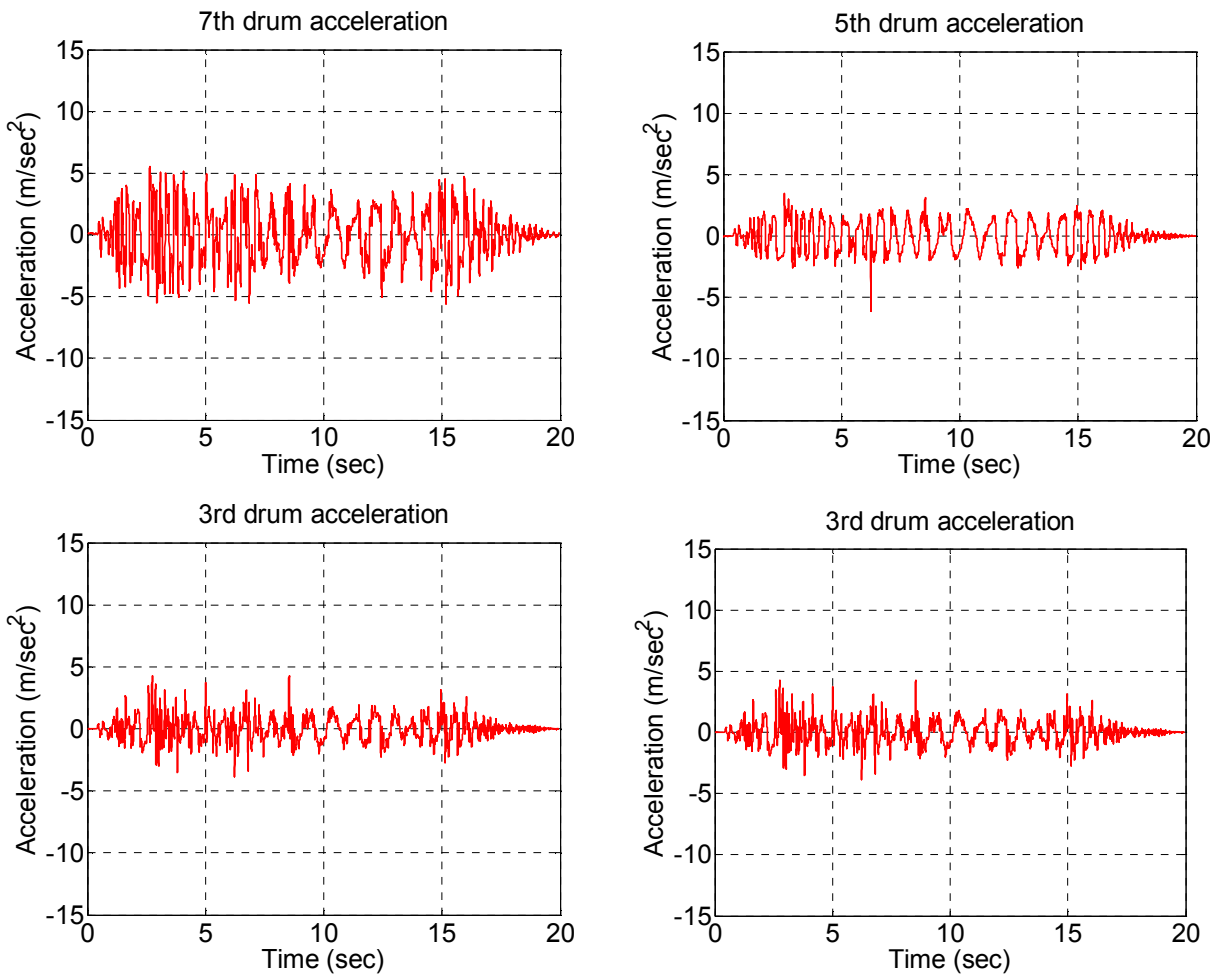
Η Εικ. 2.13 παρουσιάζει συνοπτικά το φάσμα της επιτάχυνσης του 7^{ου} σφονδύλου για μία σειρά δοκιμών με ημιτονοειδή διέγερση.



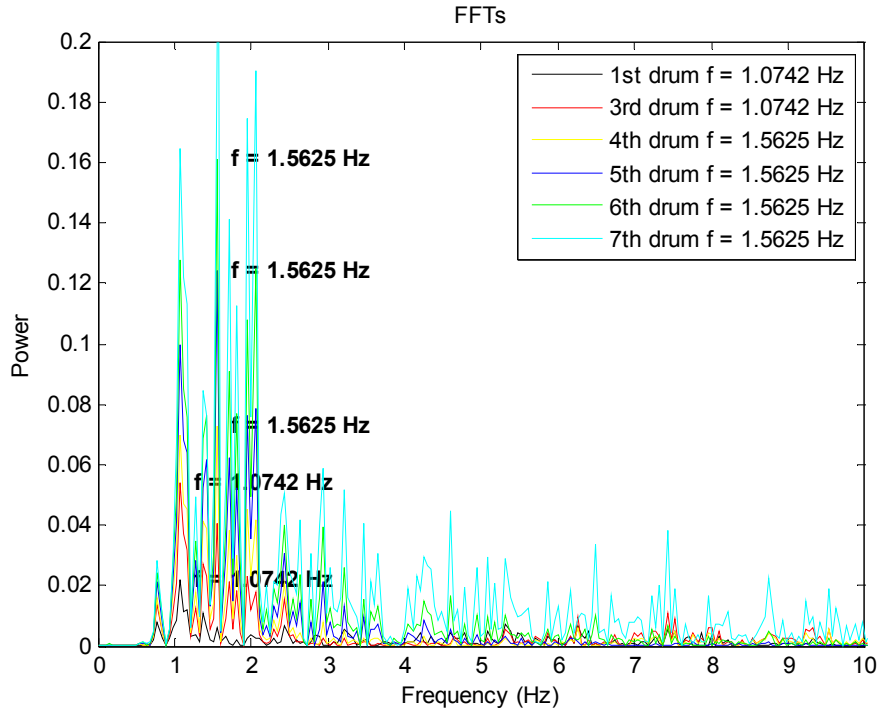
Εικ. 2.13: Φάσμα επιτάχυνσης του 7^{ου} σφονδύλου για μία σειρά δοκιμών για ημιτονοειδή διέγερση.

B. Τυχαίες και σεισμικές διεγέρσεις

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των τυχαίων και σεισμικών ταλαντώσεων παρουσιάζονται στην συνέχεια. Λόγω του μεγάλου αριθμού των δοκιμών που γίνανε παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα κάποιων ενδεικτικών δοκιμών. Στην Εικ. 2.14 παρουσιάζονται οι επιταχύνσεις των σφονδύλων κατά την διάρκεια της διέγερσης και στην Εικ. 2.15 το φάσμα της επιτάχυνσης των σφονδύλων.

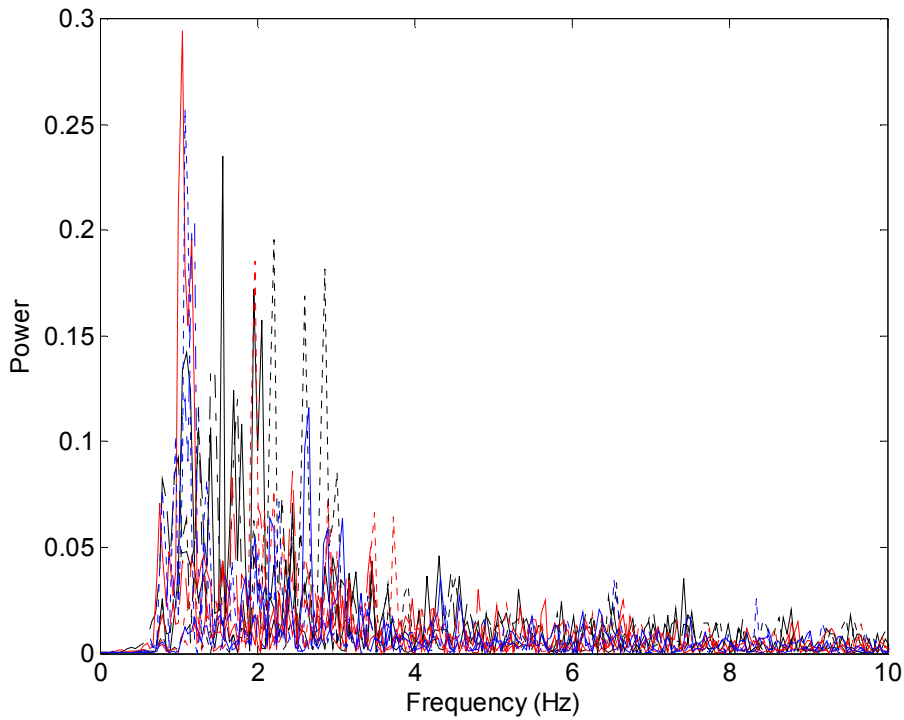


Εικ. 2.14: Χρονοϊστορία επιταχύνσεων των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για τυχαία διέγερση



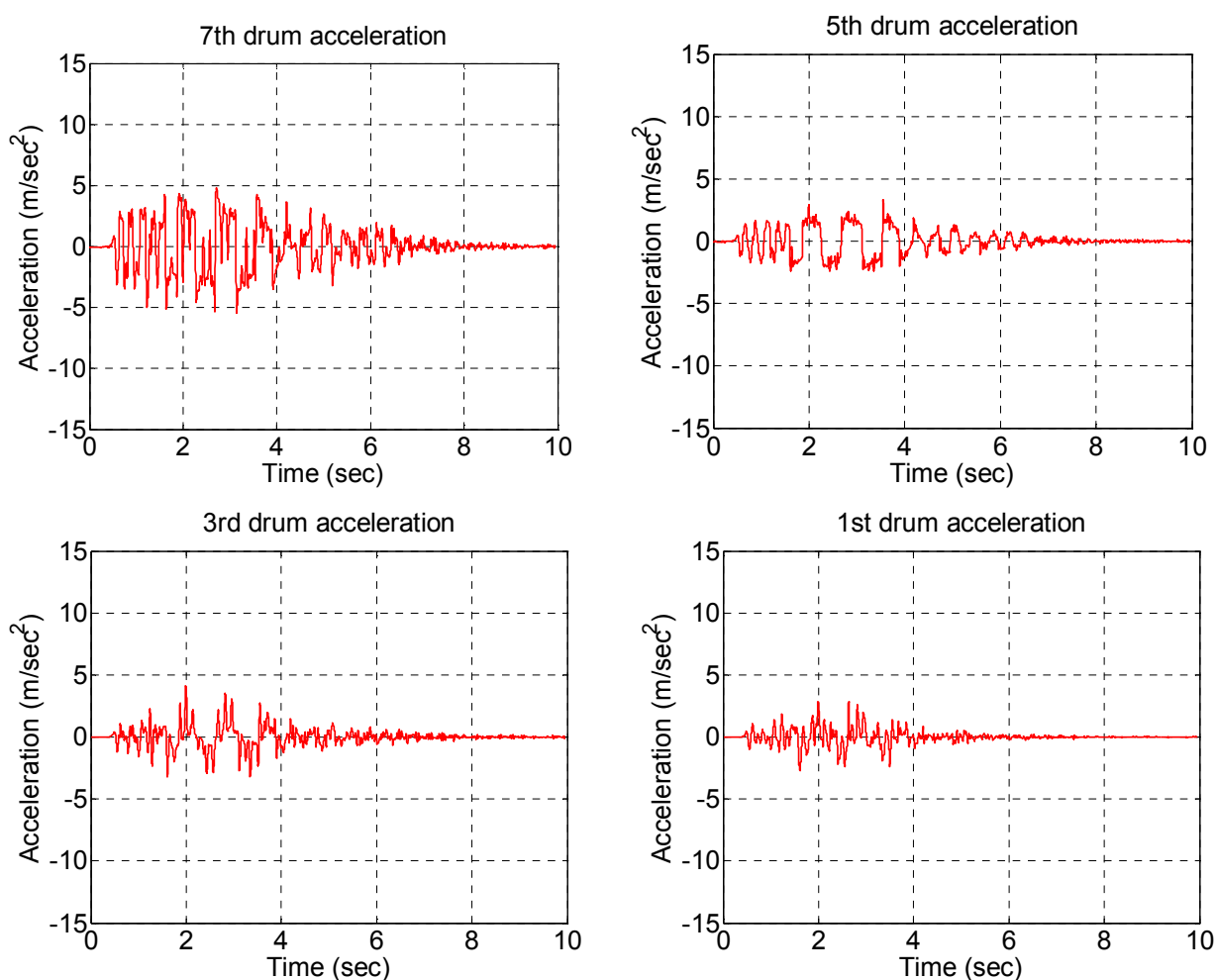
Εικ. 2.15: Φάσμα επιτάχυνσης των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για τυχαία διέγερση

Η Εικ. 2.16 παρουσιάζει συνοπτικά το φάσμα της επιτάχυνσης του 7^{ου} σφονδύλου για μία σειρά δοκιμών για τυχαία διέγερση.

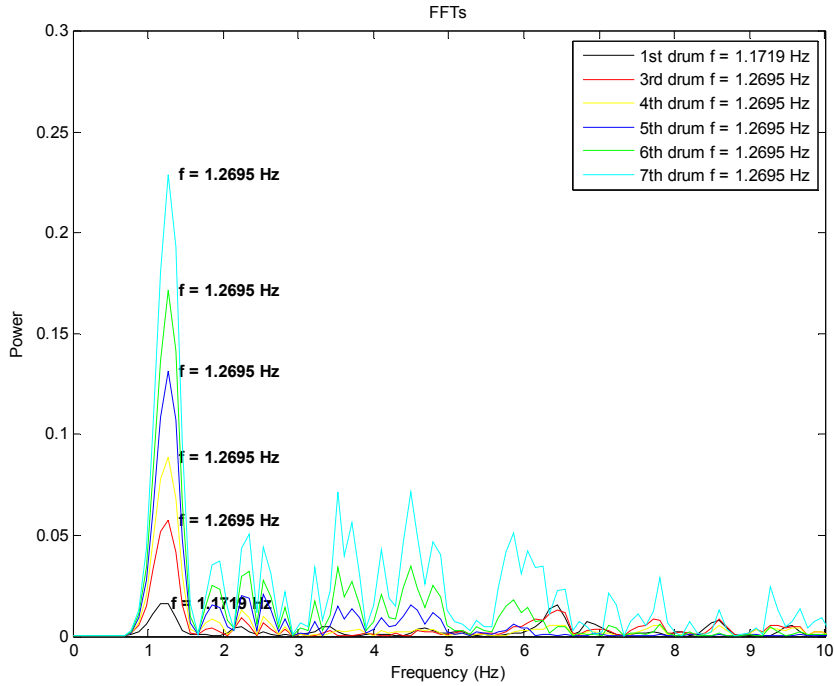


Εικ. 2.16: Φάσμα επιτάχυνσης του 7^{ου} σφονδύλου για μία σειρά δοκιμών για τυχαία διέγερση.

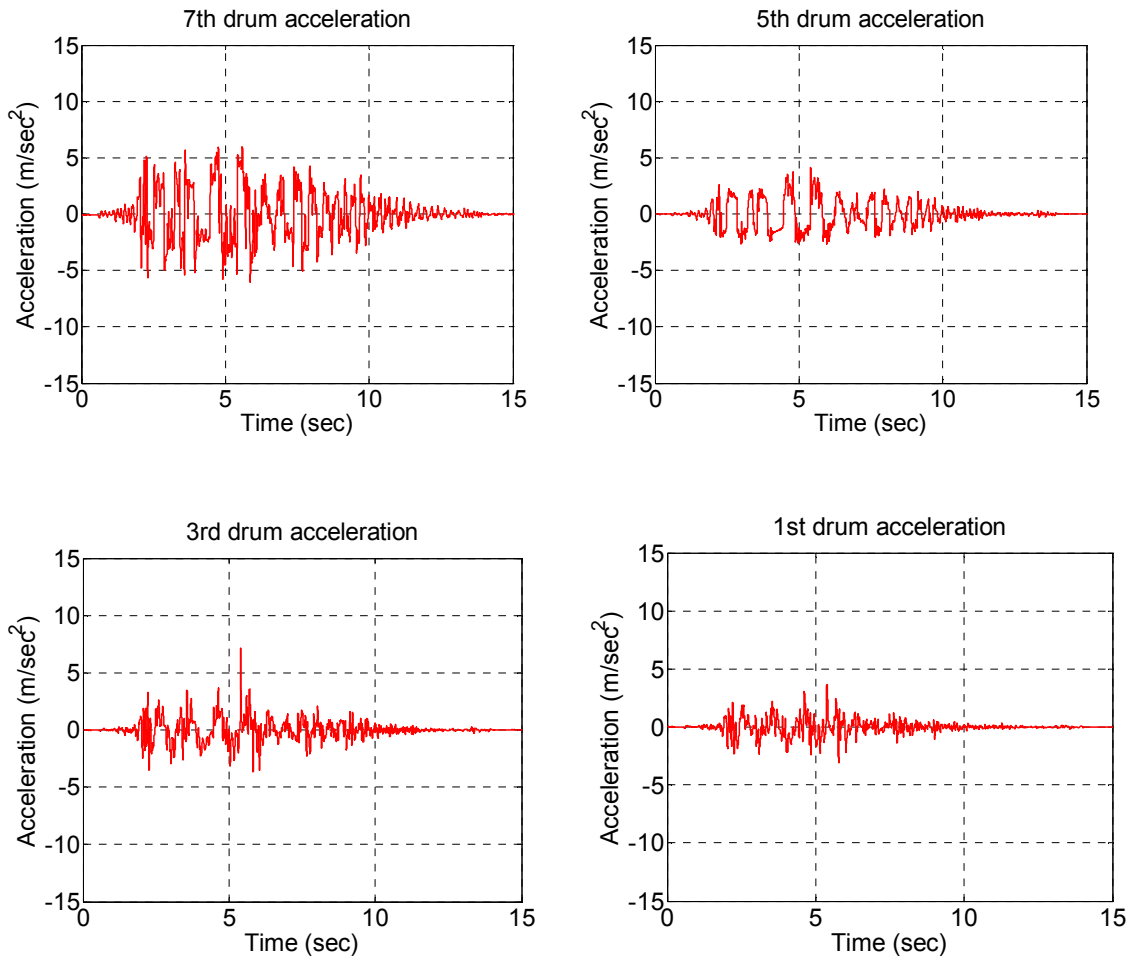
Οι σεισμικές δονήσεις που αρχικά θεωρήθηκαν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ήταν αρκετές. Από αυτές όμως μόνο δύο μπορούσαν να δημιουργήσουν στην κλίμακα που χρησιμοποιήσαμε (1:8) αρκετή μετατόπιση ώστε να μπορέσει να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα του αποσβεστήρα σωματιδίων. Οι σεισμοί αυτοί είναι της Καλαμάτας και της Ιρηνία. Γίνανε πολλές δοκιμές με αυτές τις διεγέρσεις και παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα. Στις Εικ. 2.17 και 2.19 παρουσιάζονται οι επιταχύνσεις των σφονδύλων κατά την διάρκεια της διέγερσης του κίονα-δοκιμίου από τον σεισμό της Καλαμάτας και της Ιρηνία αντίστοιχα και στις Εικ. 2.18 και 2.20 το φάσμα της επιτάχυνσης των σφονδύλων για τον σεισμό της Καλαμάτας και της Ιρηνία αντίστοιχα.



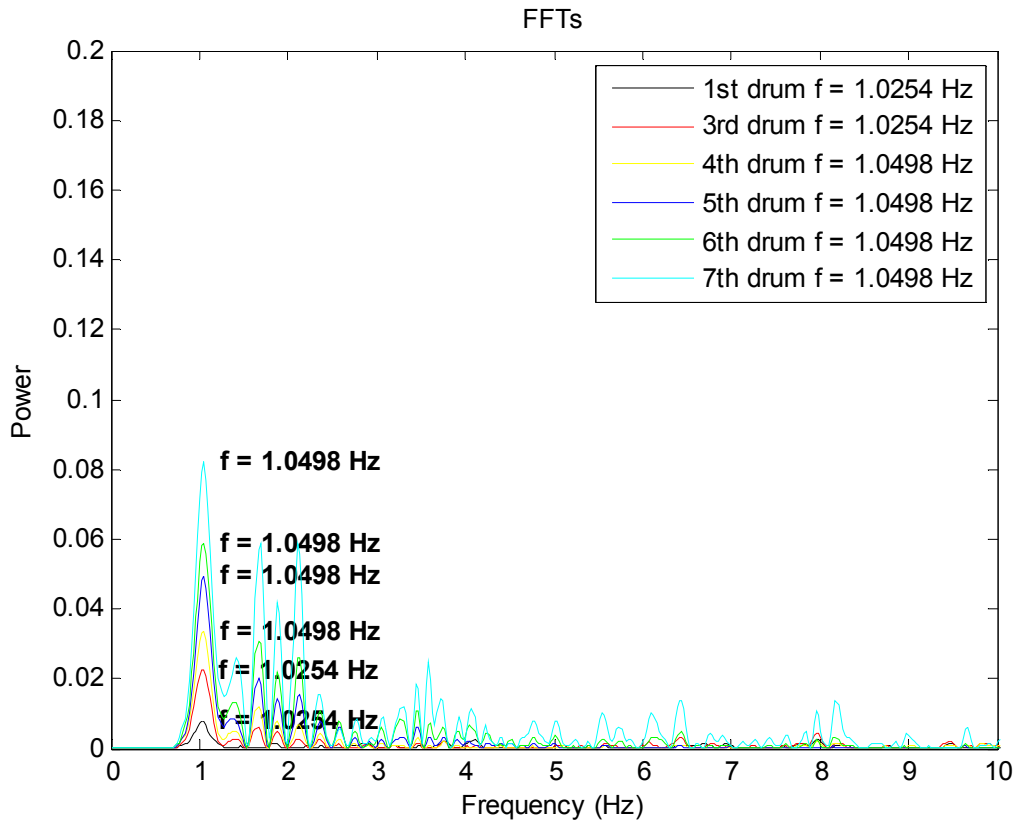
Εικ. 2.17: Χρονοϊστορία επιταχύνσεων των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για σεισμική διέγερση



Εικ. 2.18: Φάσμα επιτάχυνσης των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για σεισμική διέγερση



Εικ. 2.18: Φάσμα επιτάχυνσης των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για σεισμική διέγερση



Εικ. 2.19: Φάσμα επιτάχυνσης των σφονδύλων του κίονα-δοκιμίου για σεισμική διέγερση

Διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς αποσβεστήρα σωματιδίων

Ο αποσβεστήρας κατασκευασμένος από μάρμαρο μοιάζει εξωτερικά με τους άλλους σφονδύλους αλλά το εσωτερικό του είναι κούφιο. Τρεις αποσβεστήρες χρησιμοποιήθηκαν. Η διάμετρος του κενού χώρου για τον πρώτο αποσβεστήρα είναι 9 cm για τον δεύτερο 8 cm και για τον τρίτο 6.5 cm. Ο αποσβεστήρας μαζί με σωματίδια τοποθετήθηκε στην σεισμική τράπεζα και η κίνηση των σωματιδίων διερευνήθηκε για διάφορες διεγέρσεις. Παρατηρήθηκε ότι για σωματίδια που δεν καλύπτουν την επιφάνεια του αποσβεστήρα η κίνηση είναι έντονη και οι κρούσεις με τα τοιχώματα του αποσβεστήρα γίνεται αντιληπτή κι από τους κρουστικούς ήχους που ακούγονται. Όταν τοποθετούνται πολλά σωματίδια στον αποσβεστήρα αυτά σφηνώνουν και οι κρούσεις μειώνονται.

Συμπεράσματα

Οι σφόνδυλοι του κίονα μετακινούνται μεταξύ τους, περιστρέφονται, λικνίζονται και ολισθαίνουν (Εικ. 2.20). Το πείραμα είναι μη επαναλήψιμο ακόμα και για την ίδια διέγερση. Οι ελάχιστες διαφορές που μπορεί να υπάρξουν από το ένα πείραμα στο άλλο επηρεάζουν την συμπεριφορά του κίονα. Οι αλλαγές που μπορεί να οφείλονται στην μη τοποθέτηση των σφονδύλων ακριβώς στο ίδιο

σημείο, στην ελάχιστη διαφορά που μπορεί να υπάρχει στην διέγερση μια και η σεισμική τράπεζα δεν μπορεί να δώσει επακριβώς το ίδιο σήμα, στη σκόνη που αναπτύσσεται μεταξύ των σφονδύλων κατά την διάρκεια της δόνησης καθώς και στα μικρά σπασίματα που αναπτύσσονται στις άκρες των σφονδύλων λόγω λικνισμού τους μπορεί να επηρεάσουν την συμπεριφορά του κίονα. Θα πρέπει να γίνονται αρκετές επαναλήψεις στα πειράματα με την ίδια διέγερση ώστε να εξάγονται με βεβαιότητα συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα του αποσβεστήρα στην απόσβεση ταλαντώσεων. Επίσης πολλά σωματίδια παρέα όταν δεν έχουν χώρο να κινηθούν δεν μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην απόσβεση των δονήσεων.



Εικ. 2.20: Κίνηση σφονδύλων κατά την διάρκεια διεγέρσεων