

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΥΟ ΧΑΛΥΒ- ΔΙΝΩΝ ΣΦΟΝΔΥΛΩΝ ΣΤΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ

#### 5.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Θα γίνει εδώ η περιγραφή της πειραματικής ακολουθίας στην οποία ως διεγέρσεις χρησιμοποιήθηκαν ημιτονοειδείς τεχνητές σεισμικές διεγέρσεις, σε φυσικά ομοιώματα δύο σφονδύλων στην Σεισμική Τράπεζα του Εργαστηρίου Αντοχής των Υλικών του Α.Π.Θ.

Η επιφάνεια επαφής των δύο σφονδύλων ήταν λεία χαλύβδινη επιφάνεια λιπενώμενη συνεχώς με λιπαντικό λάδι (βλ. Σχ.: 5.2), ώστε να επιτευχθεί όσον το δυνατόν μικρότερος συντελεστής τριβής, αντιστοίχως με τα πειράματα που διεξήχθησαν στο ισχυρό μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης. Οι διαστάσεις των σφονδύλων ήταν οι ίδιες με αυτές των ομοιωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική ακολουθία του μεταλλικού πλαισίου (βλ. Σχ.: 5.1, 5.3).

Η συνολική μάζα του άνω σφονδύλου ήταν **1.90 tn**, μαζί με τις πρόσθετες μάζες που τοποθετήθηκαν και ήταν ακλόνητα συνδεδεμένες με αυτόν.

Οι διαστάσεις του προαναφερθέντος άνω σφονδύλου ήταν 530 mm x 530 mm x 330 mm (ίδια μάζα πλην των προσθέτων μαζών 0,32 tn).

Ο κάτω σφόνδυλος είχε διαστάσεις 430 mm x 430 mm x 230 mm, συνολική μάζα 0.10 tn και ήταν απόλυτα συνδεδεμένος με την πλατφόρμα της σεισμικής τράπεζας.

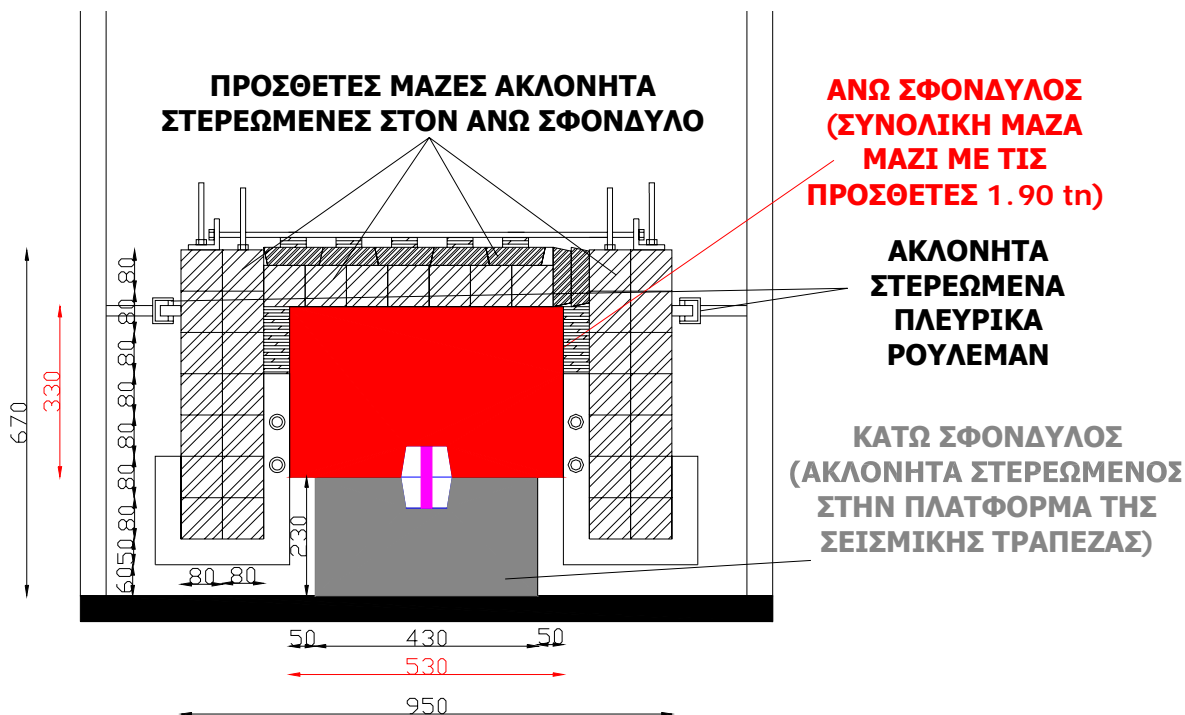
Η διαφορά αυτού του φυσικού ομοιώματος από το αντίστοιχο στο μεταλλικό πλαίσιο είναι ότι ενώ σε αυτό το φυσικό ομοίωμα το κατακόρυφο φορτίο επιβαλλόταν από την πρόσθετη μάζα που τοποθετήθηκε σε αυτό, στο φυσικό ομοίωμα που δοκιμάστηκε στο μεταλλικό πλαίσιο το κατακόρυφο φορτίο αντίθετα επιβαλλόταν από το σερβο-υδραυλικό έμβολο.

Για την συγκεκριμένη πειραματική ακολουθία διακρίνουμε τα παρακάτω φυσικά ομοιώματα:

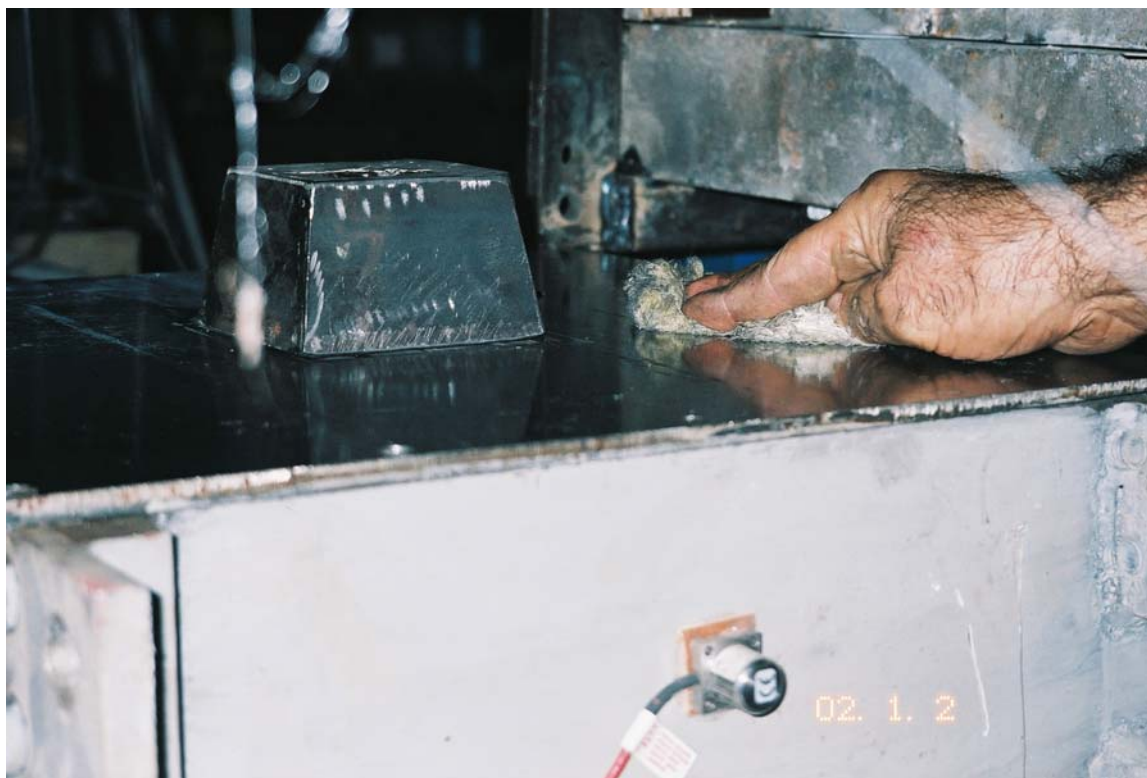
- i) Φυσικό ομοίωμα Γ1 δύο σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης χωρίς πόλους και εμπόδια.

- ii) Φυσικό ομοίωμα Δ1 δύο σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης, αλλά με πόλους ξύλου κρανιάς διαμέτρων  $d = 20\text{mm}, 25\text{mm}, 30\text{mm}, 35\text{ mm}$  και εμπόλια μολύβδου όπως φαίνονται στο σχήμα 5.3 (μεγαλυτέρων διαστάσεων, βλ. Σχ.: 5.6).
- iii) Φυσικό ομοίωμα E1 δύο σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης, αλλά με πόλους ξύλου κρανιάς διαμέτρων  $d = 10\text{mm}, 15\text{mm}, 20\text{mm}$  και εμπόλια μολύβδου όπως φαίνονται στο σχήμα 5.4 (μικρότερων διαστάσεων). Τα δοκίμια αυτά ως προς τα αντίστοιχα του Δ1 είχαν την μόνη διαφορά ότι τα εμπόλια τους ήταν μικρότερων διαστάσεων (ίδιες με τα εμπόλια που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική ακολουθία των φυσικών ομοιωμάτων της μαρμάρινης κιονοστοιχίας). Και τα μεγάλα και τα μικρά εμπόλια τοποθετούνταν στις ίδιες υποδοχές των σφονδύλων. Για τον λόγο αυτό τα μικρότερα αυτά εμπόλια αποτελούσαν το εσωτερικό τμήμα, σε επαφή με τον πόλο κατασκευασμένο από μολύβδο, εμπολίων ίδιων διαστάσεων με τα μεγάλα όπου το υπόλοιπο εξωτερικό τμήμα αποτελούνταν από τμήματα χάλυβα που γέμισαν με ειδικό υψηλής αντοχής τσιμεντοκονίαμα (βλ. Σχ.: 5.5).

Πρέπει να σημειωθεί ότι για να αποφευχθούν έντονες εκτός επιπέδου παρασιτικές μετατοπίσεις του άνω σφονδύλου (στη διεύθυνση Ανατολής – Δύσης, βλ. Σχ.: 5.7), αφού η κίνηση της σεισμικής τράπεζας ήταν μονοδιάστατη (οριζόντια κίνηση στη διεύθυνση Βορρά – Νότου), τοποθετήθηκαν τέσσερα πλευρικά ρουλεμάν, εμποδίζοντας με αυτόν τον τρόπο αυτήν την ελευθερία κίνησης του άνω σφονδύλου χωρίς να γίνεται άλλη παρέμβαση σε οποιαδήποτε άλλη πιθανή απόκριση του φυσικού ομοιώματος.



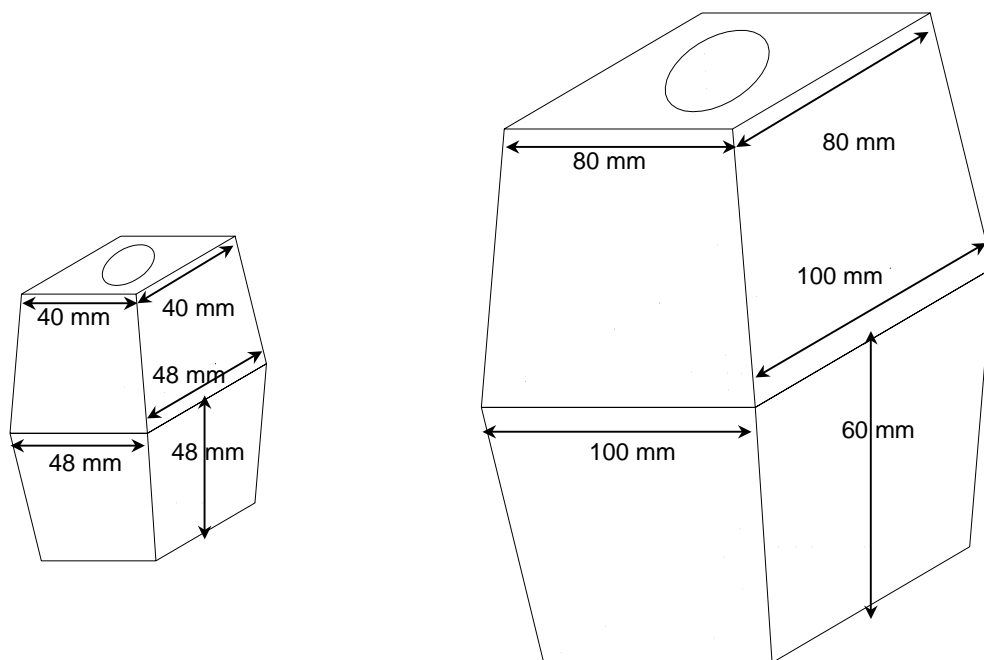
Σχήμα: 5.1. Φυσικό ομοίωμα των χαλύβδινων σφονδύλων στη σεισμική τράπεζα.



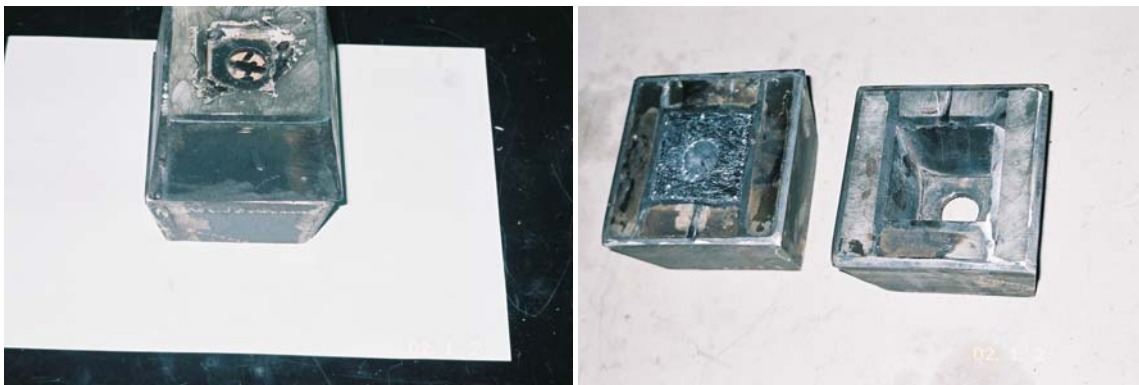
Σχήμα: 5.2. Λίπανση χαλύβδινων επιφανειών σφονδύλων.



Σχήμα: 5.3. Φυσικό ομοίωμα των χαλύβδινων σφονδύλων στη σεισμική τράπεζα.



Σχήμα: 5.4. Εμπόλια μολύβδου φυσικού ομοιώματος E1 (μικρά εμπόλια)  
και φυσικού ομοιώματος Δ1 (μεγάλα εμπόλια) αντίστοιχα.



Σχήμα: 5.5. Εμπόλια μολύβδου φυσικού ομοιώματος E1 (μικρά εμπόλια).



Σχήμα: 5.6. Εμπόλια μολύβδου φυσικού ομοιώματος Δ1 (μεγάλα εμπόλια).



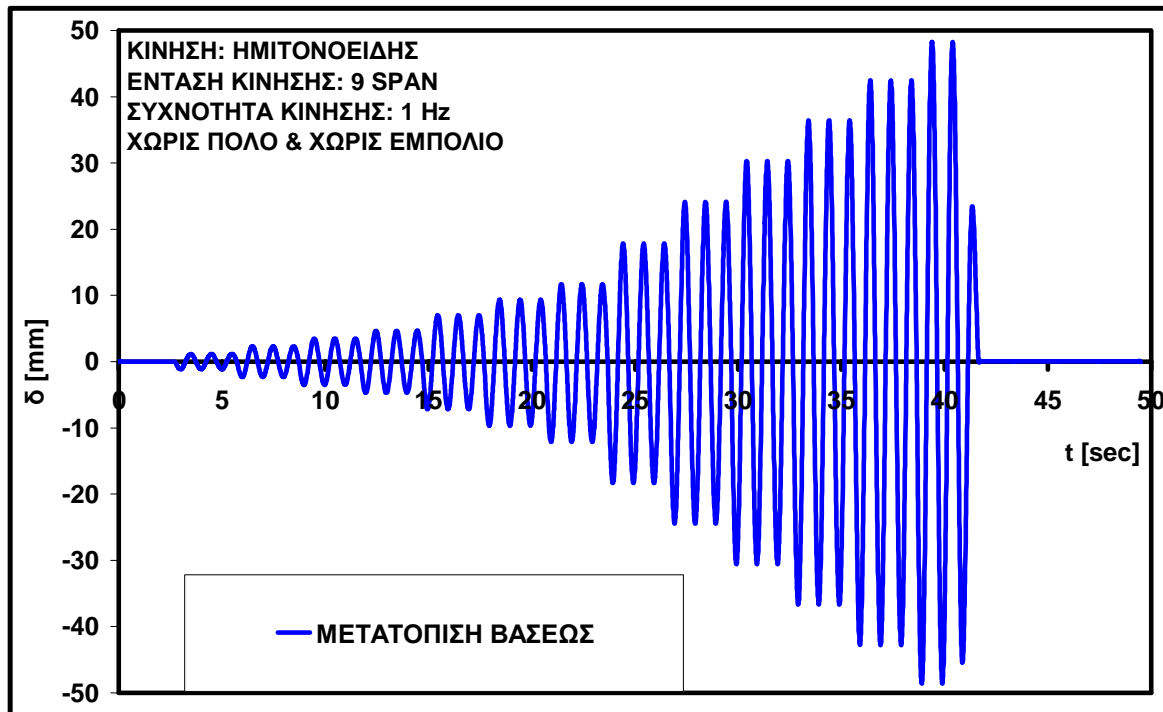


*Σχήμα: 5.7. Πλευρικά ρουλεμάν και επιταχυνσιόμετρο μέτρησης της εκτός επιπέδου αναπτυσσόμενης επιταχύνσεως του άνω σφονδύλου (CHANNEL 2).*

## 5.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΙΝΗΣΗΣ

Χρησιμοποιήθηκε μία ακολουθία αποτελούμενη από ημιτονοειδείς κινήσεις συνεχώς αυξανόμενου εύρους. Το εύρος αυτό αυξανόταν σε 13 βήματα και σε κάθε βήμα υπήρχαν τρεις σταθερές ημιτονοειδής ανακυκλήσεις. Άρα η συνολική αυτή ακολουθία μετακινήσεων αποτελούνταν από 39 ημιτονοειδή ανακυκλήσεις (13 ομάδες x 3 βήματα, βλ. Σχ.: 5.8). Στις διαφορές δοκιμές οι παραπάνω διεγέρσεις διαφοροποιούνταν πρώτον ως προς την ένταση της τεχνητής σεισμικής ακολουθίας και δεύτερον ως προς το συχνотικό περιεχόμενό τους.

Όσον αφορά την ένταση της ακολουθίας αυτή χαρακτηρίζεται από τον όρο SPAN, ο οποίος υποδηλώνει την ένταση της διεγέρσεως της σεισμικής τράπεζας (το SPAN στη συγκεκριμένη σεισμική τράπεζα παίρνει τιμές από 1 που είναι η μικρότερη τιμή εντάσεως έως 9 που είναι η μέγιστη που μπορεί να επιβληθεί στην συγκεκριμένη διάταξη με μέγιστο εύρος μετατόπισης  $\pm 45\text{mm}$ ). Δηλαδή όσο μεγαλύτερος ο όρος SPAN, τόσο ισχυρότερη η επιβαλλόμενη τεχνητή σεισμική διέγερση.



Σχήμα: 5.8. Συνολική ακολουθία μετακινήσεων πλατφόρμας Σεισμικής Τράπεζας.

Όσον αφορά το συχνотικό περιεχόμενο αυτών των μετακινήσεων διατηρούνταν σταθερό για κάθε πειραματική δοκιμή. Στη συνολική πειραματική ακολουθία όμως χρησιμοποιήθηκαν κινήσεις που είχαν συχνότητες 1 Hz, 2 Hz ή 3 Hz, τόσο στο φυσικό ομοίωμα Γ1 (με πόλους κρανιάς και εμπόλια μολύβδου), όσο και στο φυσικό ομοίωμα Δ1 (χωρίς πόλους και χωρίς εμπόλια). Σε αντιδιαστολή με τα πειράματα του μεταλλικού πλαισίου όπου το συχνотικό περιεχόμενο της επιβαλλόμενης μετακινήσεως ήταν μικρότερο του 0,1 Hz (στατικής φύσεως φόρτιση), η φόρτιση της εδώ πειραματικής ακολουθίας είχε δυναμικό χαρακτήρα.

Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς της σεισμικής τράπεζας του Εργαστηρίου Αντοχής των Υλικών του Α.Π.Θ. αποφασίσθηκε να:

- Χρησιμοποιηθούν οι τρεις αυτές συχνότητες, ώστε να είναι δυνατόν στα εν λόγω δοκίμια να αναπτυχθούν αποκρίσεις ολίσθησης ή παραμόρφωσης των πόλων – εμπολίων, που να προσεγγίζουν ως ένα ορισμένο βαθμό αυτές που παρατηρήθηκαν στους σφονδύλους κατά την διάρκεια της πειραματικής ακολουθίας του μεταλλικού πλαισίου.
- Επιλέχθηκε το συχνотικό περιεχόμενο των σεισμικών διεγέρσεων να μην είναι πολύ υψηλό ώστε να έχει αντιστοιχίες με το κυρίαρχο συχνотικό περιεχόμενο μιας ισχυρής σεισμικής κίνησης.

Τελικώς πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές δοκιμές που φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας: 5.1. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στους χαλύβδινους σφονδύλους ολίσθησης χωρίς πόλο και χωρίς εμπόλιο (φυσικό ομοίωμα Γ1).

Ένταση κίνησης	Συχνότητα κίνησης		
	1 Hz	2 Hz	3 Hz
SPAN=1	-	1s2h	1s3h
SPAN=2	-	-	2s3h
SPAN=3	-	3s2h	<b>3s3h</b>
SPAN=4	4s1h	4s2h	-
SPAN=5	-	<b>5s2h</b>	-
SPAN=6	6s1h	-	-
SPAN=9	<b>9s1h</b>	-	-

\* Με έντονη και μεγαλύτερη γραμματοσειρά τονίζονται οι πειραματικές δοκιμές των οποίων τα επεξεργασμένα διαγράμματα παρατίθενται παρακάτω και γίνεται σχολιασμός τους.

Όπως γίνεται φανερό από τον παραπάνω πίνακα, η κάθε πειραματική δοκιμή ονομαζότανε σύμφωνα με την κίνηση στην οποία υποβαλλόταν. Δηλαδή για παράδειγμα η ονομασία 5s2h μας δηλώνει ότι το συγκεκριμένο δοκίμιο υποβλήθηκε σε ανακυκλιζόμενη ημιτονοειδούς φύσης (σχ. 5.7) τεχνητή σεισμική διέγερση εντάσεως SPAN=5, και συχνότητας 2 Hz. Αυτοί οι συμβολισμοί ισχύουν σε όλες τις πειραματικές δοκιμές που εκτελέστηκαν στην συγκεκριμένη πειραματική ακολουθία.

Πίνακας: 5.2. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στους χαλύβδινους σφονδύλους ολίσθησης με διαμέτρους πólων 20 mm, 25mm, 30mm, 35mm και με τα μεγάλα εμπόλια μολύβδου (ομοίωμα Δ1).

Διάμετρος Πόλου Κρανιας	Συχνότητα κίνησης		
	1 Hz	2 Hz	3 Hz
20 mm *	9s1h	<b>9s2h</b>	-
25 mm	-	<b>9s2h</b>	-
30 mm	-	<b>9s2h</b>	-
35 mm	-	4s2h <b>9s2h</b>	-

\* Με έντονη και μεγαλύτερη γραμματοσειρά τονίζονται οι πειραματικές δοκιμές των οποίων τα επεξεργασμένα διαγράμματα παρατίθενται παρακάτω και γίνεται σχολιασμός τους.

\*\* Για το δοκίμιο με πόλο διαμέτρου 20mm χρησιμοποιήθηκε επιπρόσθετα τεχνητή σεισμική διέγερση βασισμένη στην πρωτότυπη καταγραφή El Centro 1940



Πίνακας: 5.3. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στους χαλύβδινους σφονδύλους ολίσθησης με διαμέτρους πόλων 10 mm, 15mm, 20mm και με τα μικρά εμπόλια μολύβδου (E1).

Διάμετρος Πόλου Κρανιάς	Συχνότητα κίνησης		
	1 Hz	2 Hz	3 Hz
10 mm	-	<b>5s2h</b>	-
15 mm	-	<b>5s2h</b>	-
35 mm	-	<b>5s2h</b>	-

Από όλα τα παραπάνω πειράματα διερευνήθηκαν σε βάθος αυτά των οποίων η επιβαλλόμενη κίνηση είχε συχνότητα 2 Hz, αφού παρουσίαζαν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην απόκρισή τους για τα φυσικά ομοιώματα Δ1 και E1 (με πόλους κρανιάς και μεγάλα και μικρά εμπόλια μολύβδου αντιστοίχως).

### 5.3. ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Η μέτρηση της απόκρισης των φυσικών ομοιωμάτων που δοκιμάσθηκαν στην συγκεκριμένη πειραματική ακολουθία, έγινε με την χρησιμοποίηση τριών ηλεκτρονικών επιταχυνσιομέτρων, εννέα ηλεκτρονικών μηχανοσυστοιχιών και μίας δυναμοκυψέλης. Τα όργανα, οι θέσεις τους καθώς και το μέγιστο μέγεθος απόκρισης που μετρήθηκε φαίνονται στα παρακάτω σχήματα και πίνακες (βλ. Σχ.: 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, Πιν.: 5.4). Τονίζεται ότι όλα τα μηχανοσυστοιχία που μετρούσαν οριζόντιες μετακινήσεις (CHANNEL03, CHANNEL04, CHANNEL05, CHANNEL06) ήταν προσαρμοσμένα εκτός του συστήματος του φυσικού ομοιώματος μετρώντας απόλυτες μετακινήσεις. Αντίθετα τα υπόλοιπα μηχανοσυστοιχία μετρούν την σχετική απόκριση μετακίνησης του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω σφόνδυλο και την κινούμενη βάση.

Με τις παρακάτω σχέσεις προκύπτουν από τις αρχικές παραμέτρους απόκρισης μετακίνησης και επιτάχυνσης παράγωγα μεγέθη που αναφέρονται:

- α) Στην απόκριση ολίσθησης του άνω σφονδύλου ως προς το κάτω (θετική όταν ο άνω σφόνδυλος ολισθαίνει ως προς τον κάτω με κατεύθυνση προς Βορρά).
- β) Στην απόκριση λικνισμού του άνω σφονδύλου ως προς το κάτω (θετική όταν ο άνω σφόνδυλος στρέφεται με την φορά του ωρολογίου βλέποντάς τον από την Ανατολή).
- γ) Στην απόκριση της εσωτερικής δύναμης που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια των δύο σφονδύλων συμπεριλαμβανομένης τόσο της τριβής όσο και αυτής των πόλων-εμπολίων (εφόσον υπάρχουν). Θετική δύναμη προκαλεί ολίσθηση θετικής φοράς.

Κατωτέρω δίδονται οι εκφράσεις για αυτά τα παράγωγα μεγέθη μέσω των πρωτογενώς μετρηθέντων μεγεθών.

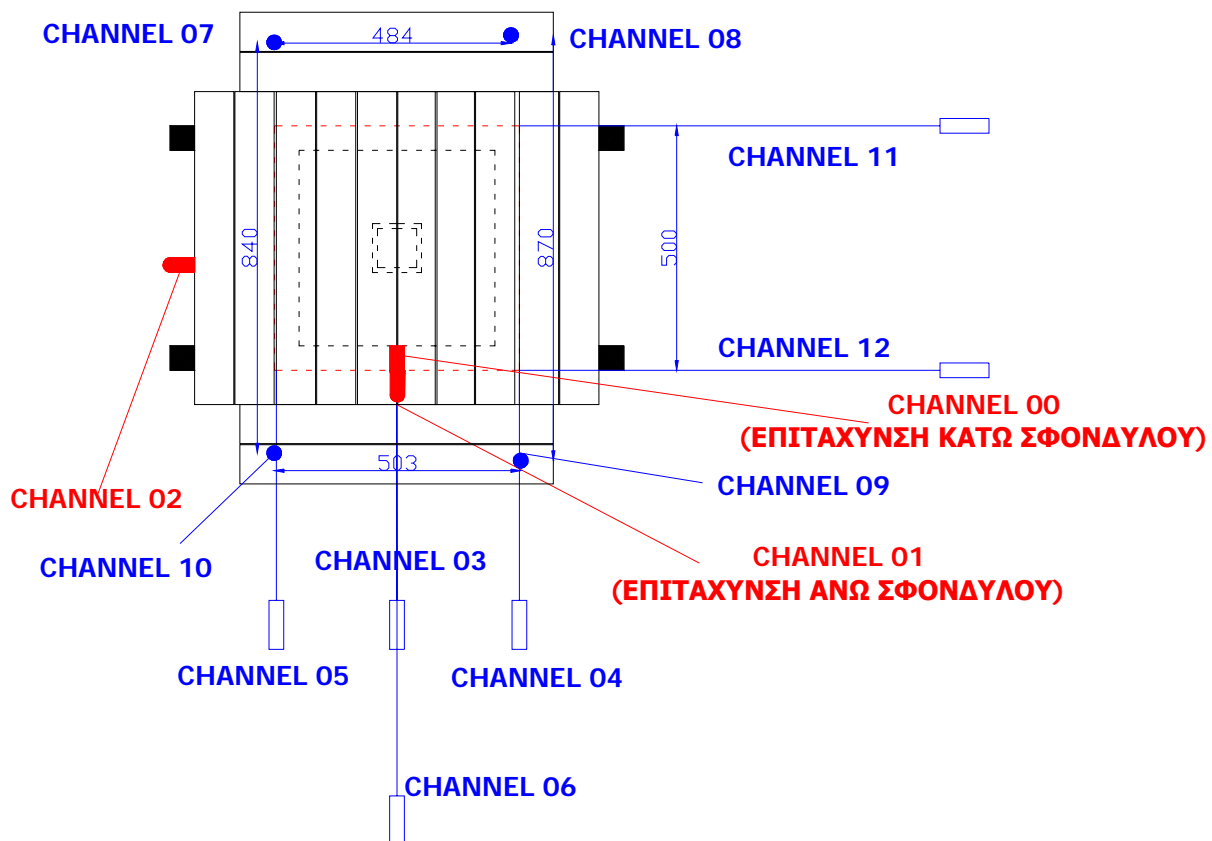
- i) Αδρανειακή Δύναμη που αναπτύσσεται στον πάνω σφόνδυλο και μεταφέρεται μέσω της ολίσθησης και του πόλου – εμπολίου (εφόσον υπάρχουν) στον κάτω

σφόνδυλο (ονομάζεται στα διαγράμματα **ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΣΤΗ ΜΑΖΑ**) =  $m \cdot acc$   
 $= 1.9 \cdot 9.81 \cdot (\text{CHANNEL01})$  [kN]

- ii) Ολίσθηση του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω (ονομάζεται στα διαγράμματα **ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΜΑΖΑΣ**)  
 $\delta = (\text{CHANNEL03}) - (\text{CHANNEL06})$  [mm]
- iii) Λικνισμός του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω: (ονομάζεται στα διαγράμματα **ΛΙΚΝΙΣΜΟΣ ΜΑΖΑΣ**)  
 $\theta = (180/\pi) \cdot ((\text{CHANNEL10}) - (\text{CHANNEL07}))/840$  [deg]

*Πίνακας: 5.4. Ενοργάνωση πειραματικής ακολουθίας σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης.*

Θέση στον ενισχυτή	Όνομα οργάνου	Συντελεστής βαθμονόμησης	Μετρούμενο μέγεθος απόκρισης
CHANNEL00	SETRA1	0.45 V/g	Επιτάχυνση κέντρου μάζας κάτω σφονδύλου
CHANNEL01	SETRA2	0.45 V/g	Επιτάχυνση κέντρου μάζας άνω σφονδύλου
CHANNEL02	SETRA3	0.45 V/g	Εκτός επιπέδου επιτάχυνση κέντρου μάζας άνω σφονδύλου
CHANNEL03	LVDTN03	0.187 V/mm	Μετατόπιση κάτω σφονδύλου (μετατόπιση πλατφόρμας σεισμικής τράπεζας)
CHANNEL04	LVDTN04	0.186 V/mm	Μετατόπιση άνω σφονδύλου νοτιοανατολική πλευρά
CHANNEL05	LVDTN05	0.184 V/mm	Μετατόπιση άνω σφονδύλου νοτιοδυτική πλευρά
CHANNEL06	LVDTN06	0.187 V/mm	Μετατόπιση άνω σφονδύλου στο γεωμετρικό του κέντρο
CHANNEL07	LVDTN11	1.053 V/mm	Κατακόρυφη μετατόπιση άνω σφονδύλου βορειοδυτική πλευρά
CHANNEL08	LVDTN12	1.046 V/mm	Κατακόρυφη μετατόπιση άνω σφονδύλου βορειοανατολική πλευρά
CHANNEL09	LVDTN13	1.050 V/mm	Κατακόρυφη μετατόπιση άνω σφονδύλου νοτιοανατολική πλευρά
CHANNEL010	LVDTN14	1.030 V/mm	Κατακόρυφη μετατόπιση άνω σφονδύλου νοτιοανατολική πλευρά
CHANNEL11	LVDT10	0.730 V/mm	Εκτός επιπέδου μετατόπιση άνω σφονδύλου βορειοανατολική πλευρά
CHANNEL12	LVDT5	0.730 V/mm	Εκτός επιπέδου μετατόπιση άνω σφονδύλου νοτιοανατολική πλευρά
CHANNEL13	Shaking Table's Horizontal Load Cell	0.650 V/tn	Συνολική τέμνουσα βάσεως

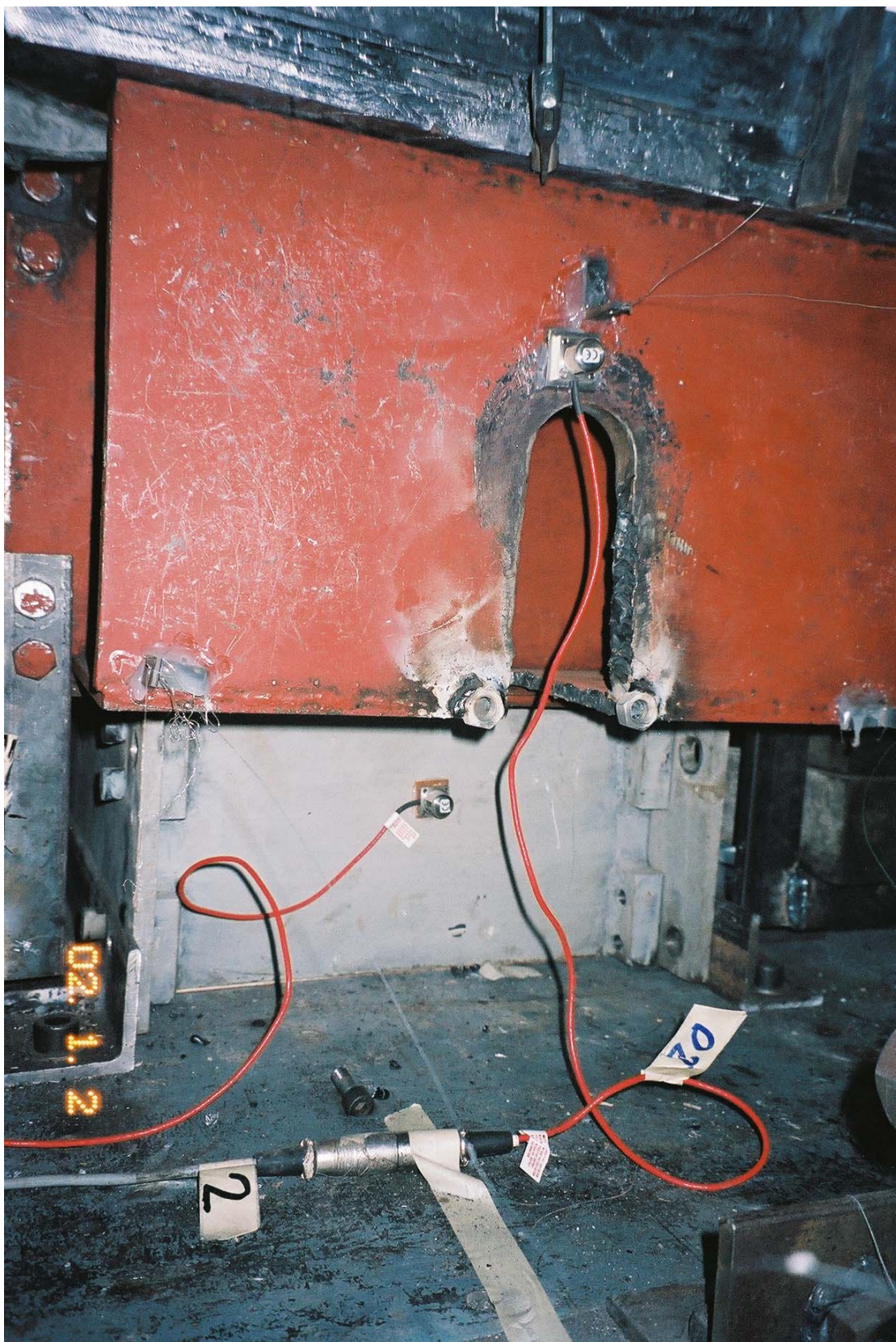


Σχήμα: 5.9. Κάτοψη ενοργανώσεως πειραματικής ακολουθίας σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης.

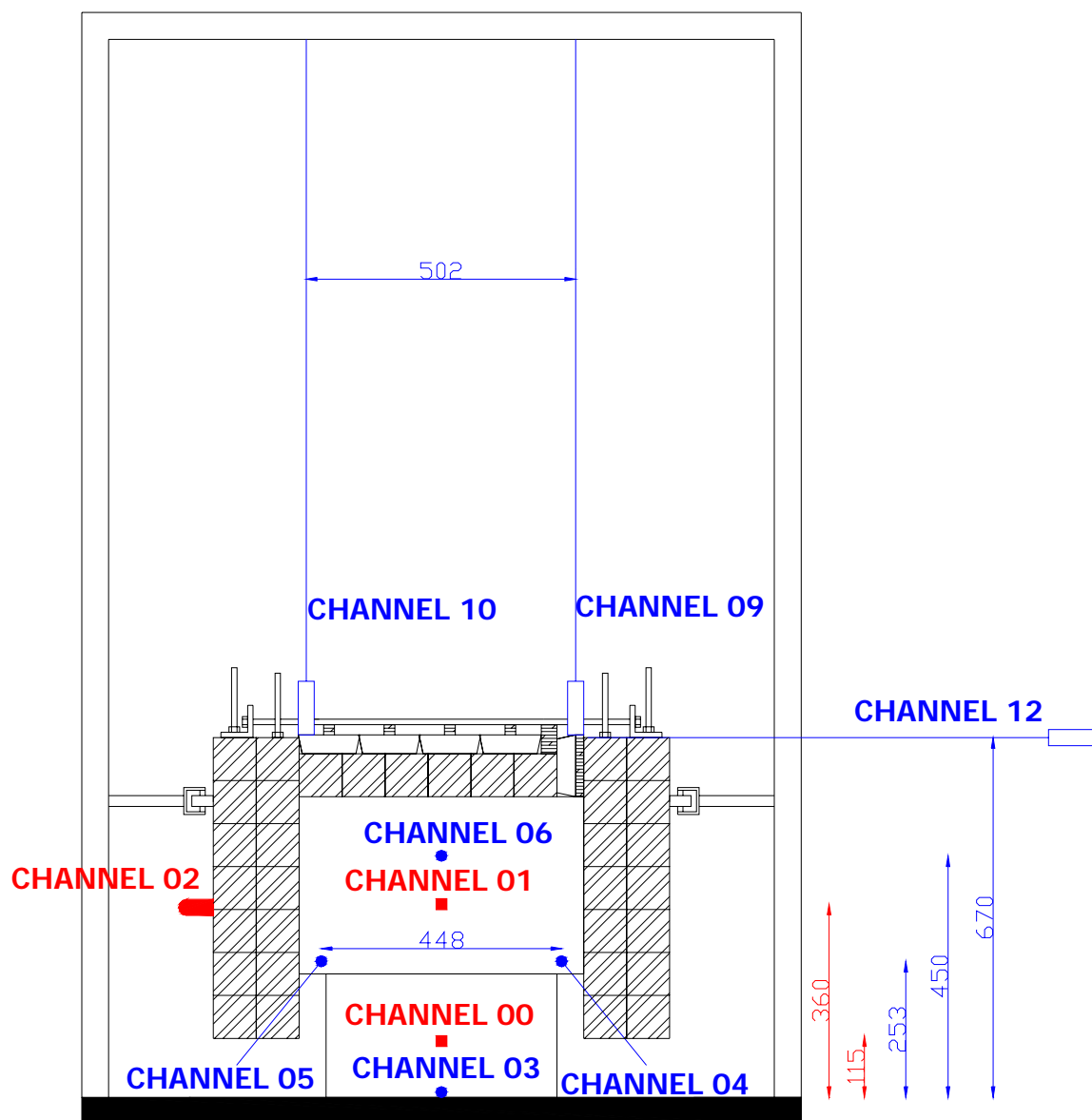


Σχήμα: 5.10. Μερική άποψη ενοργανώσεως.

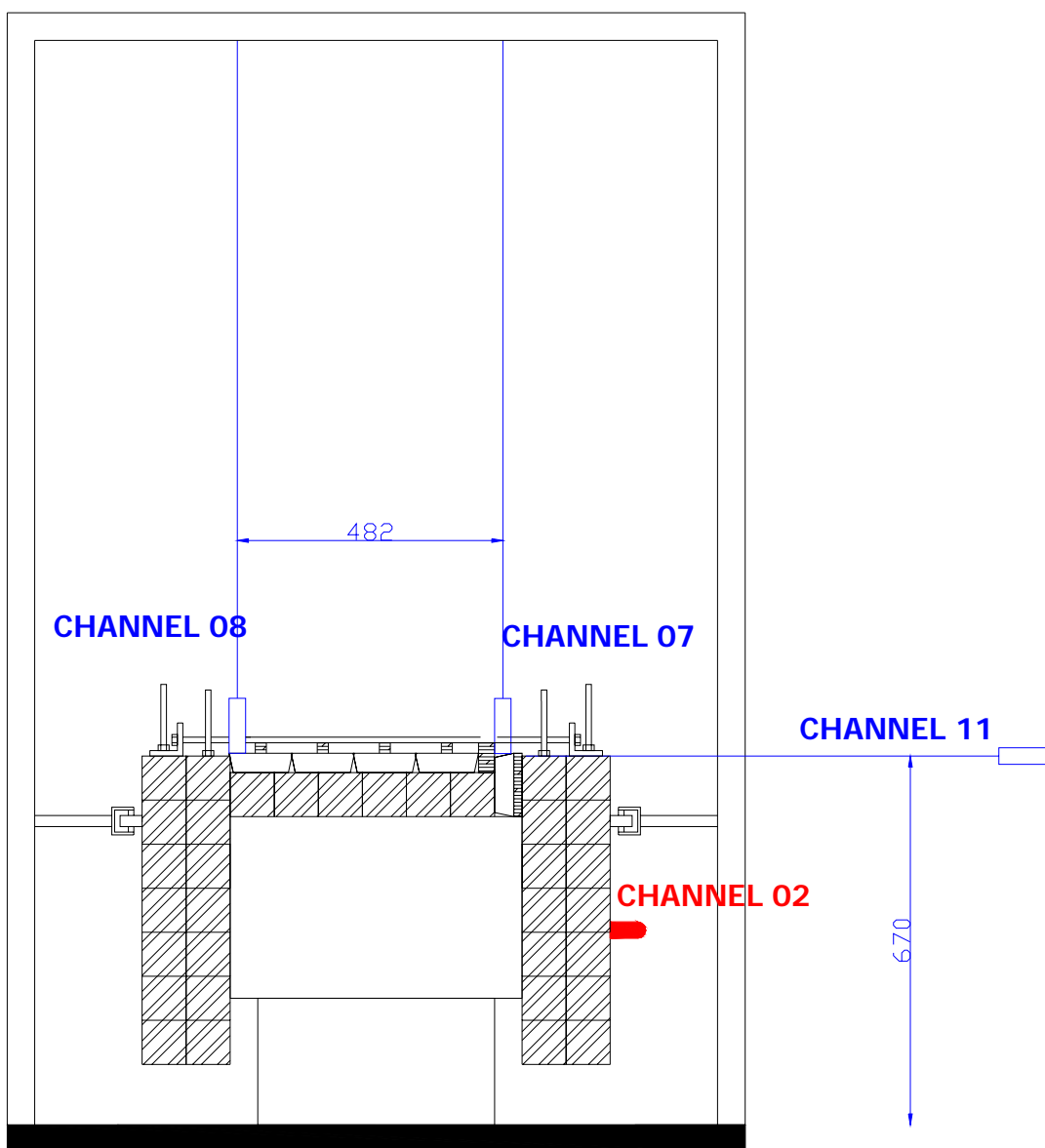




Σχήμα: 5.11. Ηλεκτρονικά επιταχυνσιόμετρα (CHANNEL00, CHANNEL01).



Σχήμα: 5.12. Νότια όψη εντοπισμού πειραματικής ακολουθίας σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης.



Σχήμα: 5.13. Βόρεια όψη ενοργανώσεως πειραματικής ακολουθίας σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης.

Αμέσως παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα μεγεθών απόκρισης ορισμένων από τις πειραματικές δοκιμές που εκτελέστηκαν. Τα μεγέθη απόκρισης που επιλέχτηκαν για επεξεργασία είναι τα εξής:

- 1) Η επιτάχυνση του άνω (επιτάχυνση κέντρου μάζας) και κάτω (επιτάχυνση βάσης) σφονδύλου κατά την διεύθυνση της κίνησης.
- 2) Η μετακίνηση του κάτω σφονδύλου (διέγερση - μετακίνηση βάσης) και η απόκριση ολίσθησης του πάνω σφονδύλου (ολίσθηση κέντρου μάζας).



3) Η δύναμη που αναπτύχθηκε στο έμβολο της σεισμικής τράπεζας (τέμνουσα βάσεως) καθώς και η αδρανειακή δύναμη που αναπτύσσεται στον πάνω σφόνδυλο και μεταφέρεται μέσω της ολίσθησης και του πόλου – εμπολίου (τέμνουσα στη μάζα).

4) Ο λικνισμός του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω (λικνισμός μάζας).

Όλες οι ως άνω αποκρίσεις απεικονίζονται σε διαγράμματα μεταβολής τους μέσα στο χρόνο. Πέραν αυτών απεικονίζονται σε δύο πρόσθετους τύπους διαγραμμάτων συνδυασμένες μεταβολές των κάτωθι:

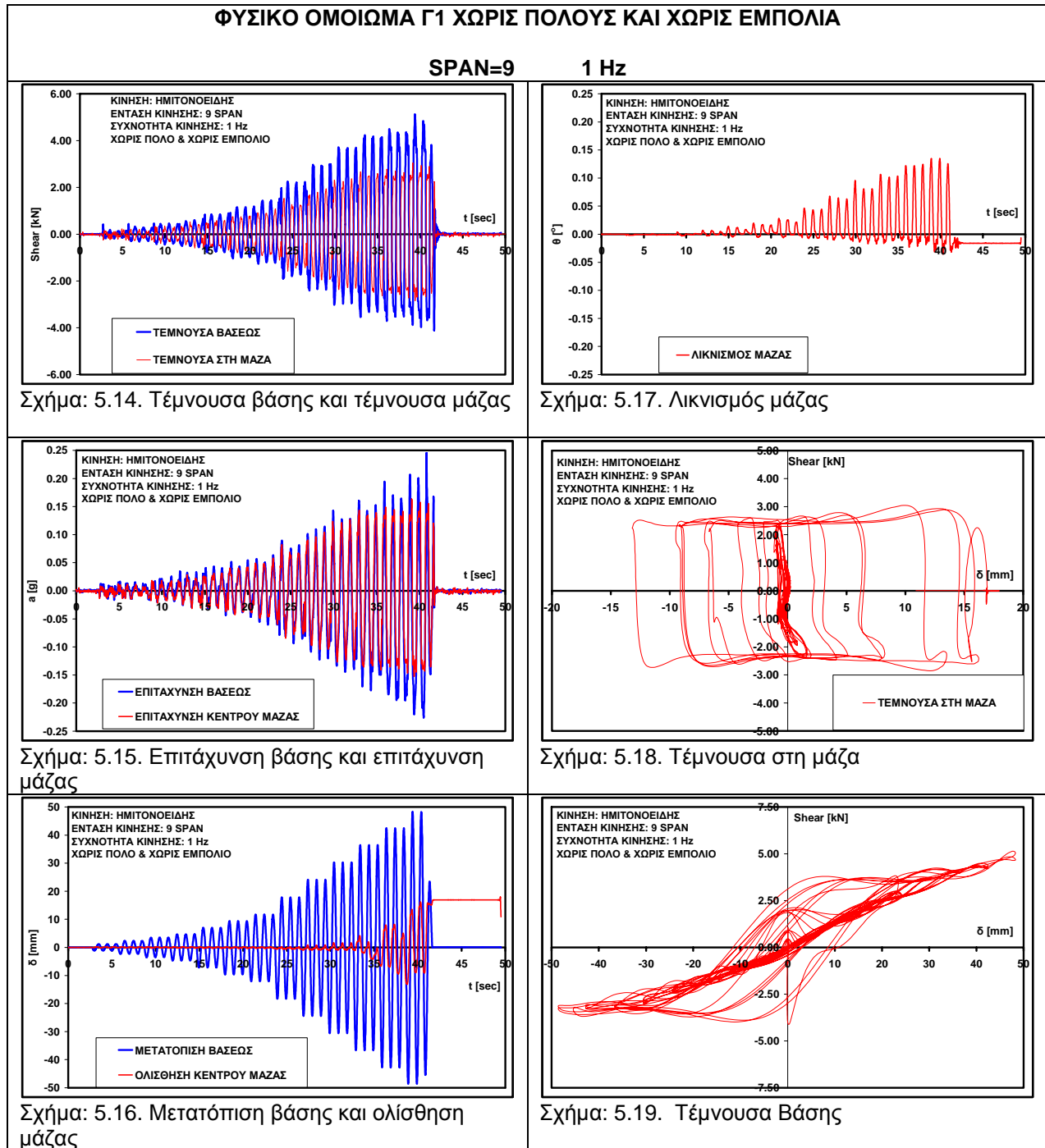
5) Η συνδυασμένοι μεταβολή της αδρανειακής δύναμης που αναπτύσσεται στον πάνω σφόνδυλο μαζί με την αντίστοιχη μεταβολή της ολίσθησης του πάνω σφονδύλου ως προς τον κάτω.

6) Η συνδυασμένοι μεταβολή της δύναμης του εμβόλου της σεισμικής τράπεζας που μαζί με την αντίστοιχη της σεισμικής τράπεζες.

Επιλέχθηκαν πειράματα για τα οποία η ένταση την εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς διεγέρσεως είναι παρόμοια, ώστε να είναι συγκρίσιμα, αναδεικνύοντας την επιρροή της διαμέτρου των πόλων, που μεταβάλλεται από πείραμα σε πείραμα, στην απόκριση των φυσικών ομοιωμάτων των σφονδύλων. Πάνω στα διαγράμματα αυτά, καθώς και στη τελική μορφή αστοχίας των πόλων – εμπολίων, όπως αυτή διαπιστώθηκε μετά το τέλος των πειραμάτων για κάθε δοκίμιο, θα βασισθεί η εξαγωγή των όποιων συμπερασμάτων. Επιπρόσθετα, από την σύγκριση της απόκρισης μεταξύ των δοκιμίων χωρίς πόλους και εμπολία με αυτή των δοκιμίων με πόλους και εμπολία θα βασισθεί η εξαγωγή συμπερασμάτων για την διαφοροποίηση των μορφών απόκρισης που προέρχεται από την παρουσία των συγκεκριμένων πόλων και εμπολίων στην παρούσα πειραματική ακολουθία.

## 5.4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ ΔΥΟ ΣΦΟΝΔΥΛΩΝ ΜΕ ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

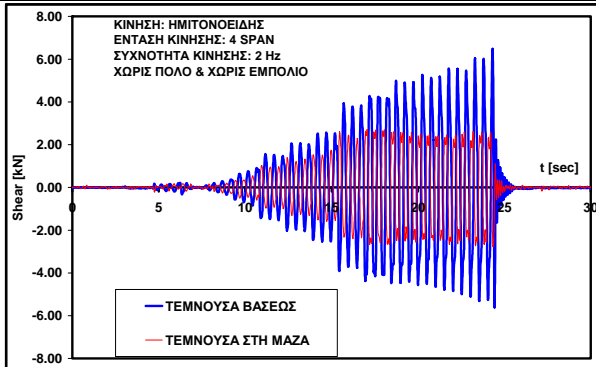
### 5.4.1. Φυσικό ομοίωμα Γ1 χωρίς πόλους και εμπόλια



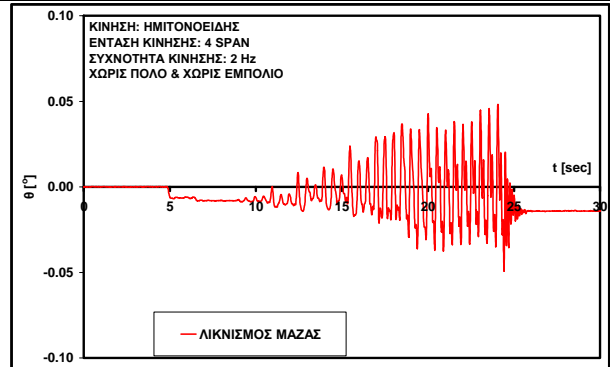
# ΦΥΣΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ Γ1 ΧΩΡΙΣ ΠΟΛΟΥΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΕΜΠΟΛΙΑ

SPAN=4

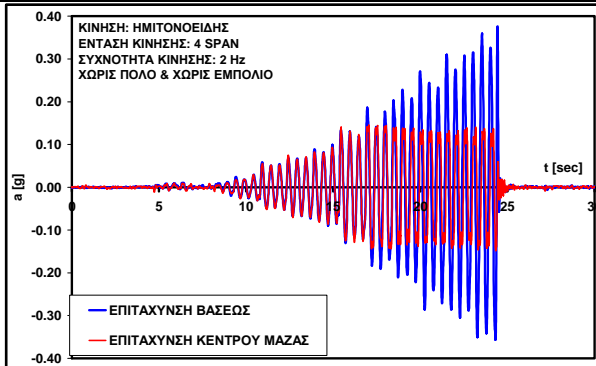
2 Hz



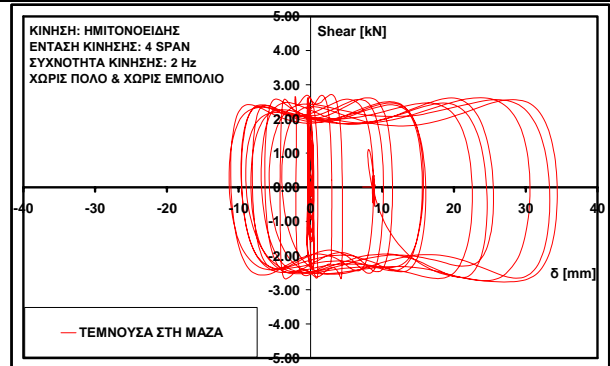
Σχήμα: 5.20. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



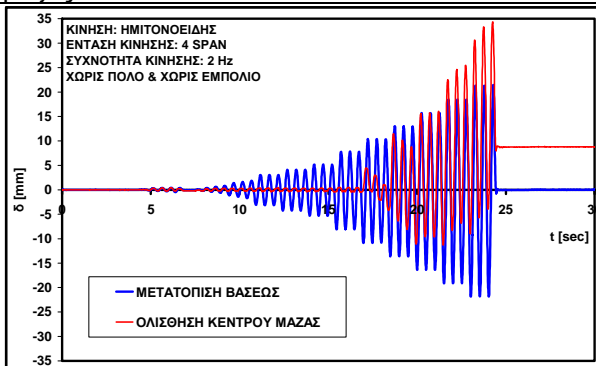
Σχήμα: 5.23. Λικνισμός μάζας



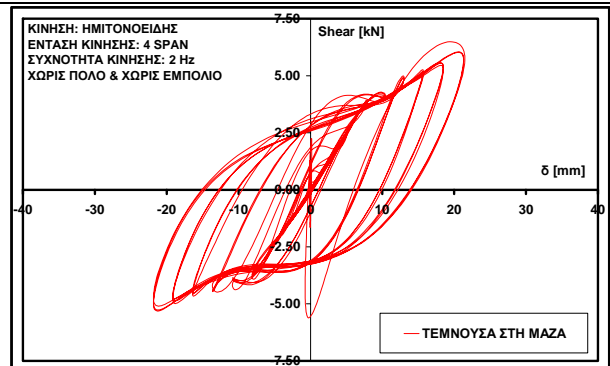
Σχήμα: 5.21. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.24. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.22. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας

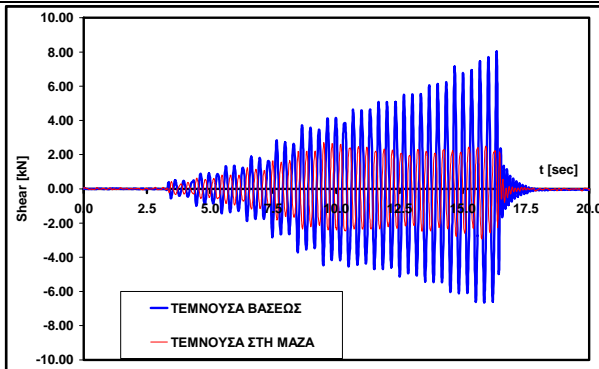


Σχήμα: 5.25. Τέμνουσα Βάσης

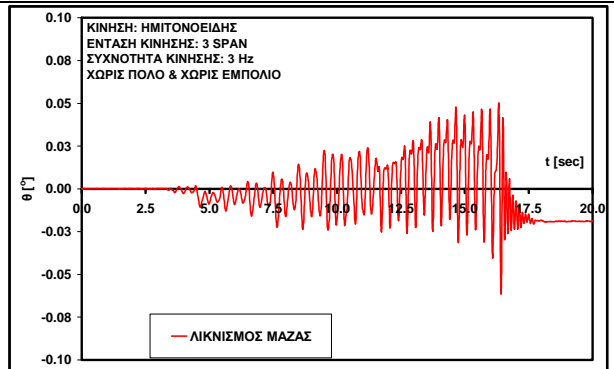
# ΦΥΣΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ Γ1 ΧΩΡΙΣ ΠΟΛΟΥΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΕΜΠΟΛΙΑ

SPAN=3

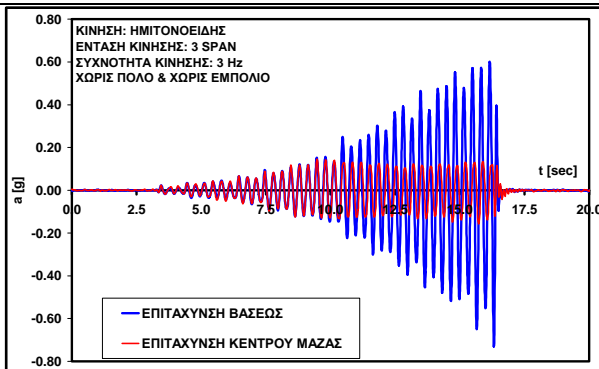
3 Hz



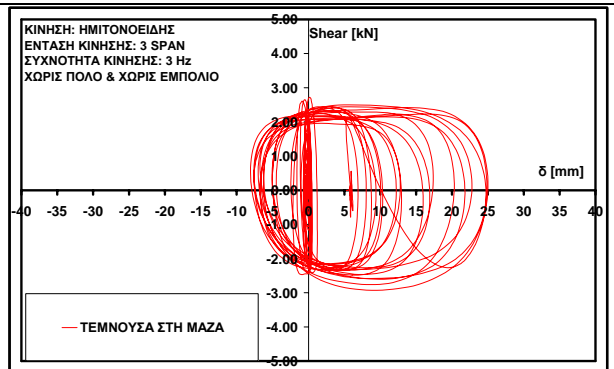
Σχήμα: 5.26. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



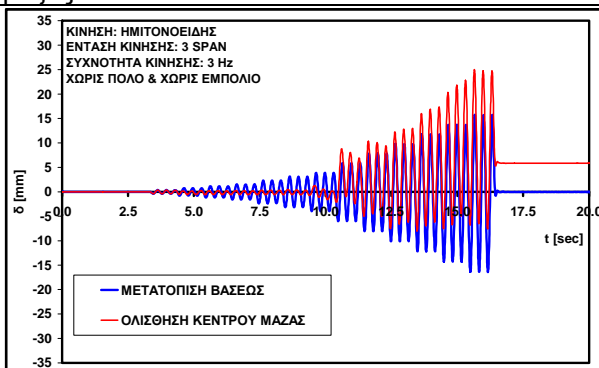
Σχήμα: 5.29. Λικνισμός μάζας



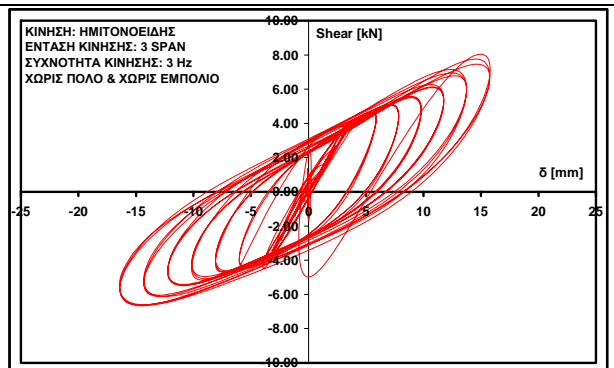
Σχήμα: 5.27. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.30. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.28. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας



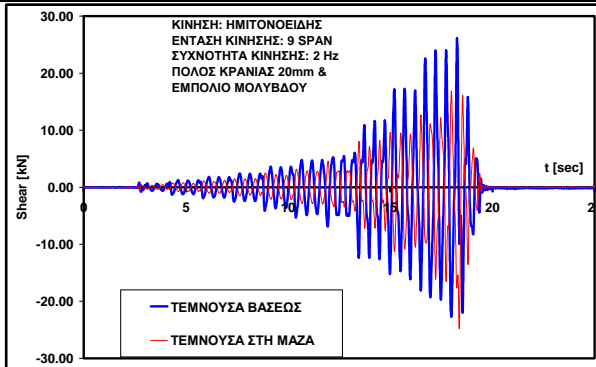
Σχήμα: 5.31. Τέμνουσα Βάσης

**5.4.2. Φυσικό ομοίωμα Δ! με πόλους Κρανιάς διαμέτρων 20mm, 25mm, 30mm, 35mm και μεγάλα εμπόλια μολύβδου**

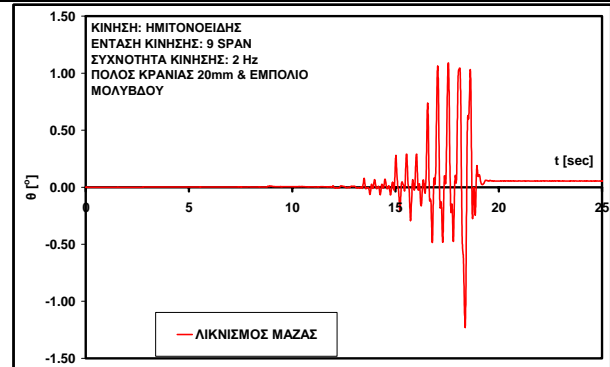
**ΜΕΓΑΛΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=20 mm**

**SPAN=9**

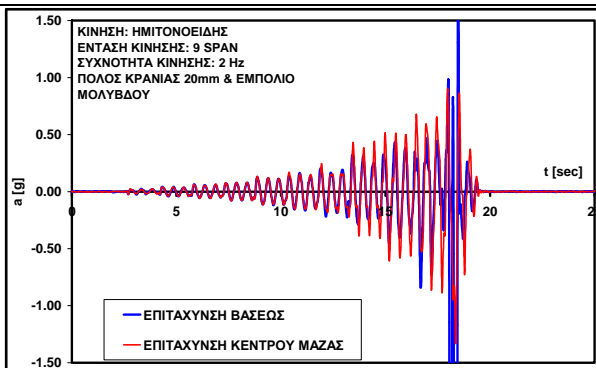
**2 Hz**



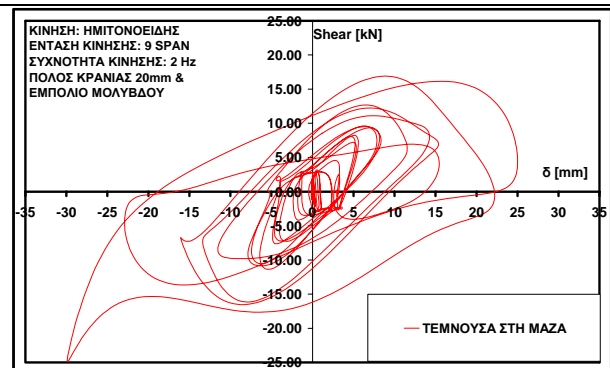
Σχήμα: 5.32. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



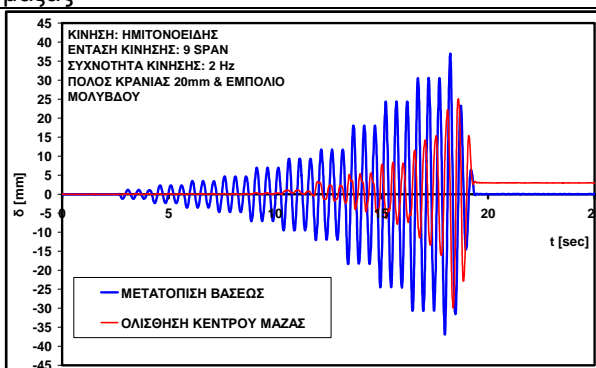
Σχήμα: 5.35. Λικνισμός μάζας



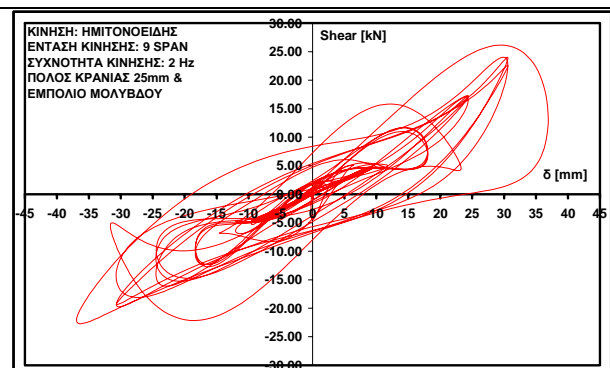
Σχήμα: 5.33. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.36. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.34. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας

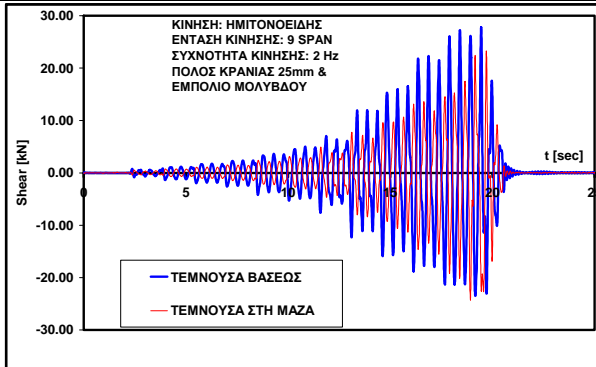


Σχήμα: 5.37. Τέμνουσα βάσης

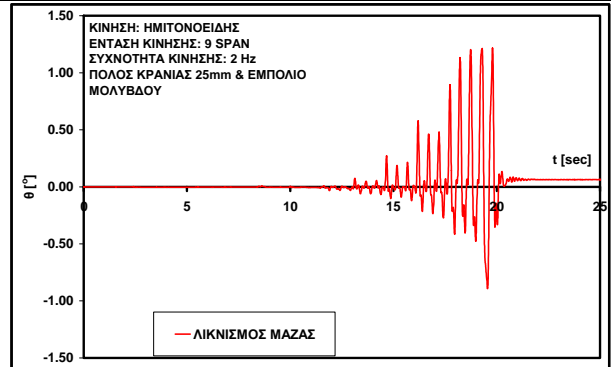
# ΜΕΓΑΛΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=25 mm

SPAN=9

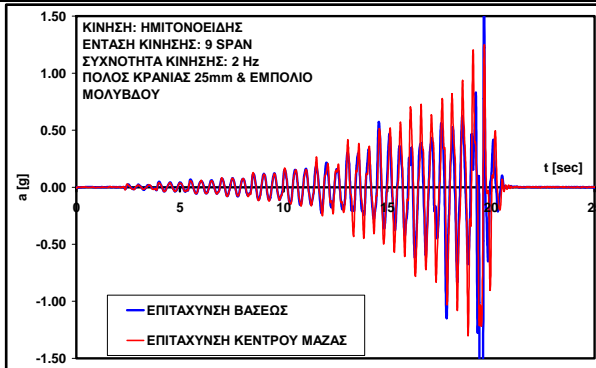
2 Hz



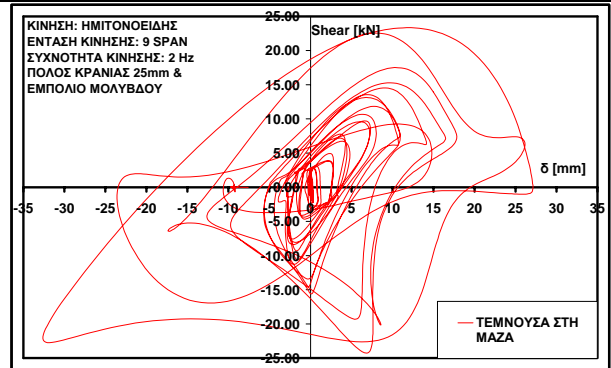
Σχήμα: 5.38. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



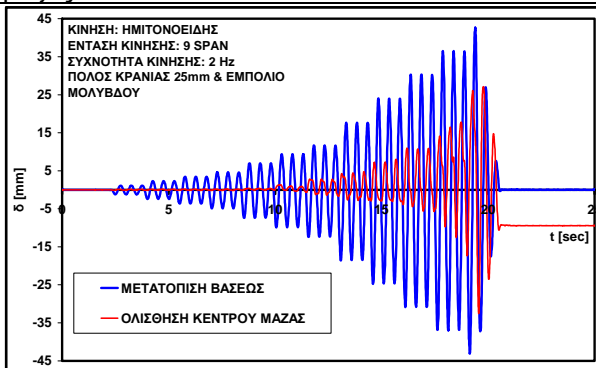
Σχήμα: 5.41. Λικνισμός μάζας



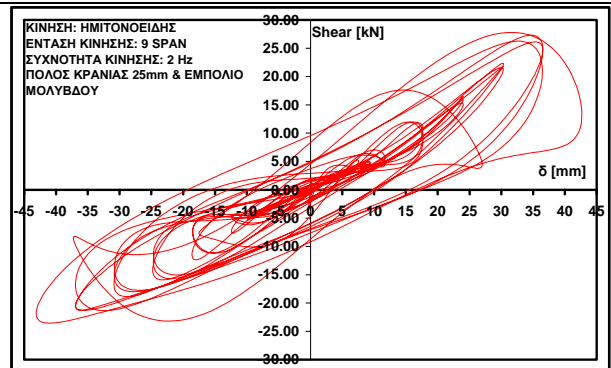
Σχήμα: 5.39. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.42. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.40. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας



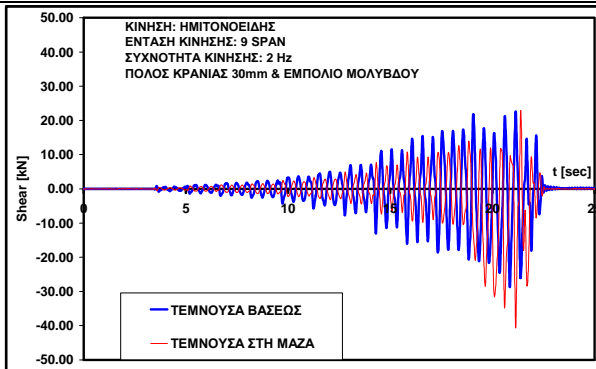
Σχήμα: 5.43. Τέμνουσας βάσης



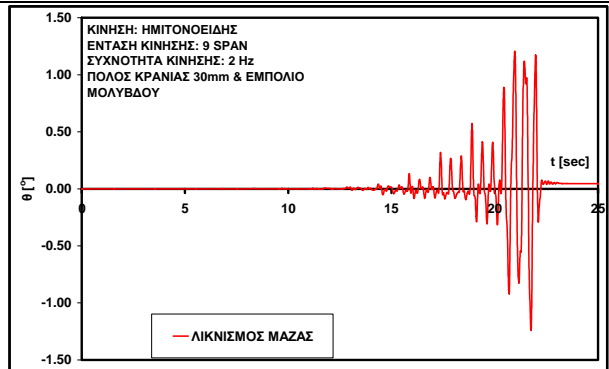
# ΜΕΓΑΛΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=30 mm

SPAN=9

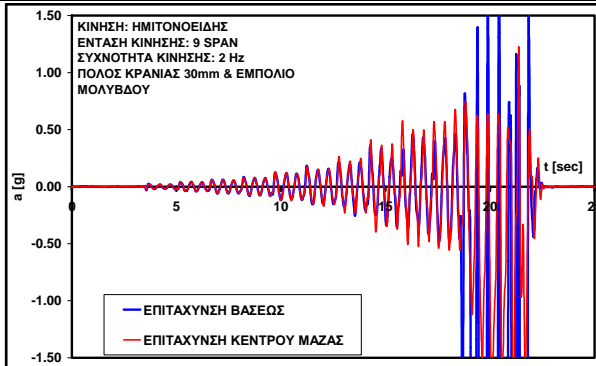
2 Hz



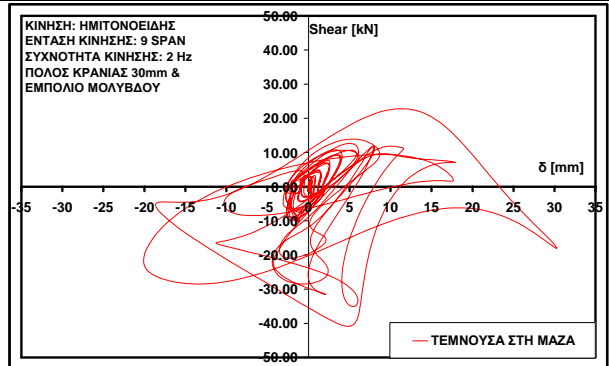
Σχήμα: 5.44. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



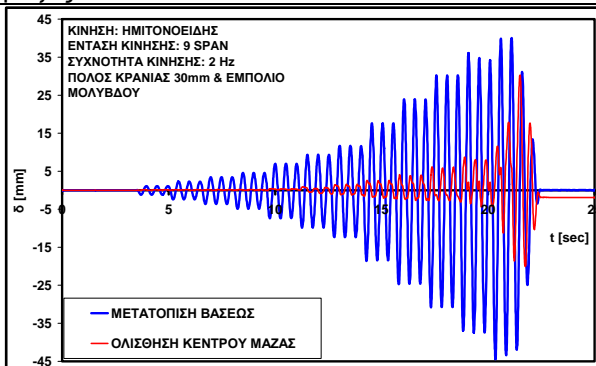
Σχήμα: 5.47. Λικνισμός μάζας



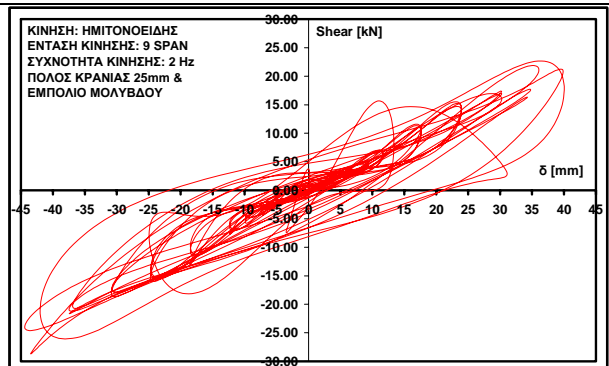
Σχήμα: 5.45. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.48. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.46. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας

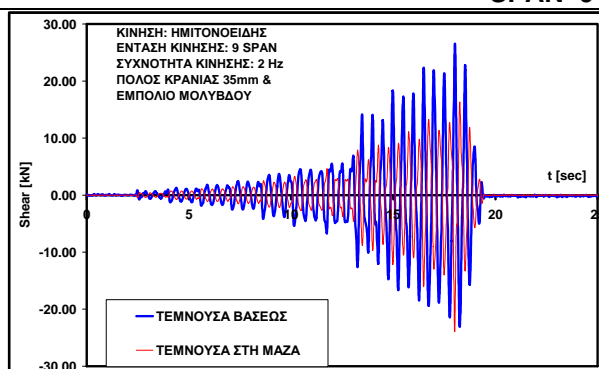


Σχήμα: 5.49. Τέμνουσας βάσης

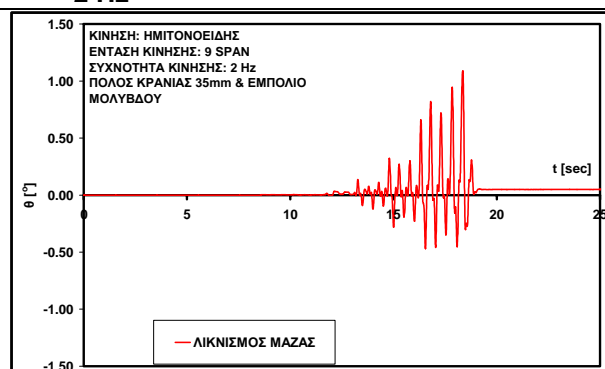
## ΜΕΓΑΛΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=35 mm

**SPAN=9**

**2 Hz**



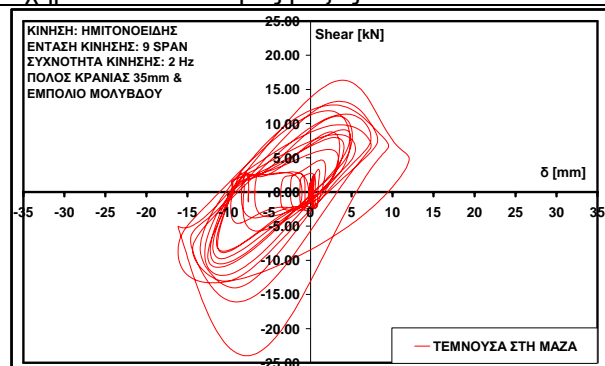
Σχήμα: 5.50. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



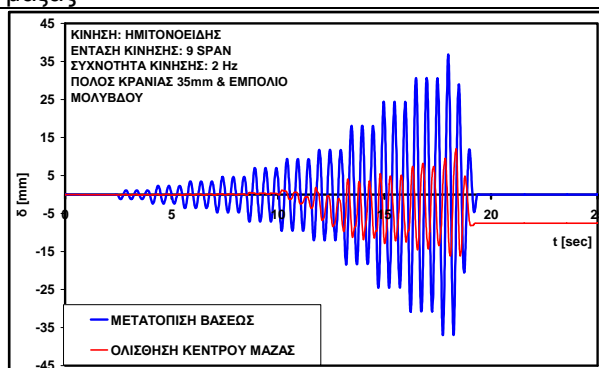
Σχήμα: 5.53. Λικνισμός μάζας



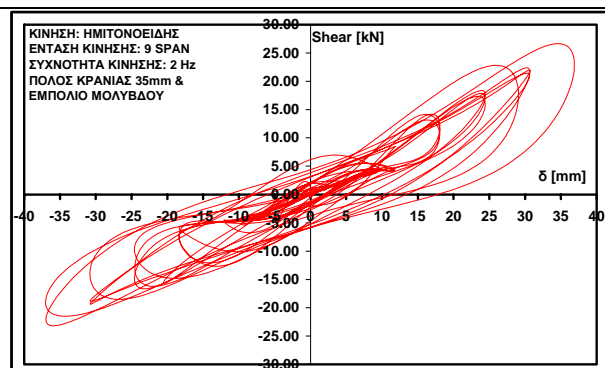
Σχήμα: 5.51. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.54. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.52. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας



Σχήμα: 5.55. Τέμνουσας βάσης

Πίνακας: 5.5. Συγκεντρωτικός πίνακας μέγιστων μεγεθών φυσικού ομοιώματος Δ1.

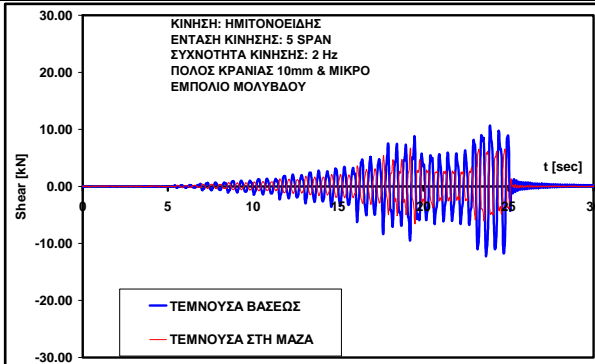
d [mm]	Ολίσθηση μάζας [mm]		Τέμνουσα μάζας [kN]		Μετατόπιση τράπεζας [mm]		Τέμνουσα τράπεζας [kN]	
20	-29.19	25.01	-24.80	16.88	-36.92	36.91	-22.72	26.13
25	-32.56	27.12	-24.27	23.25	-43.11	42.63	-23.51	27.80
30	-20.08	30.30	-40.65	22.82	-44.43	40.04	-28.72	22.58
35	-16.15	12.03	-23.92	16.34	-36.97	36.86	-23.13	26.57

**5.4.3. Φυσικό ομοίωμα E1 με πόλους Κρανιάς διαμέτρων 10mm, 15mm και 20mm και μικρά εμπόδια μολύβδου.**

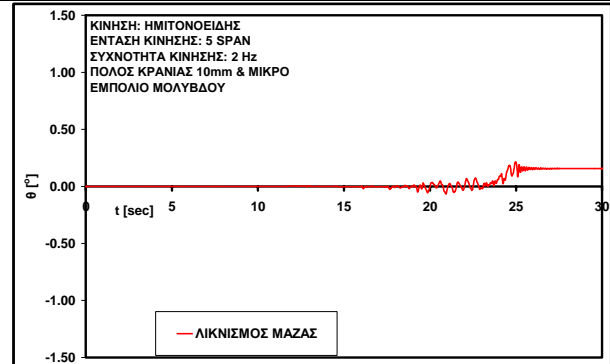
**ΜΙΚΡΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=10 mm**

**SPAN=5**

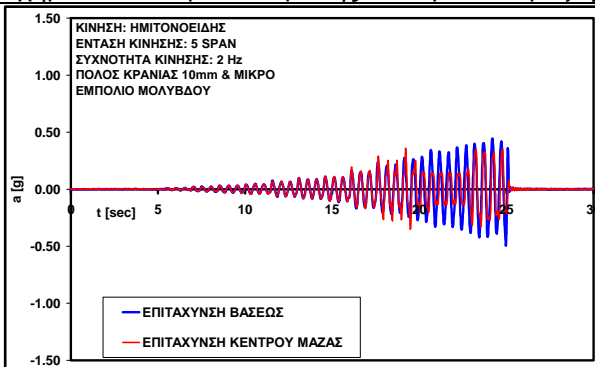
**2 Hz**



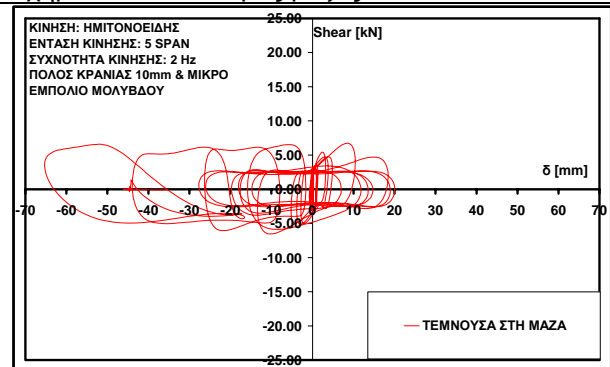
Σχήμα: 5.56. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



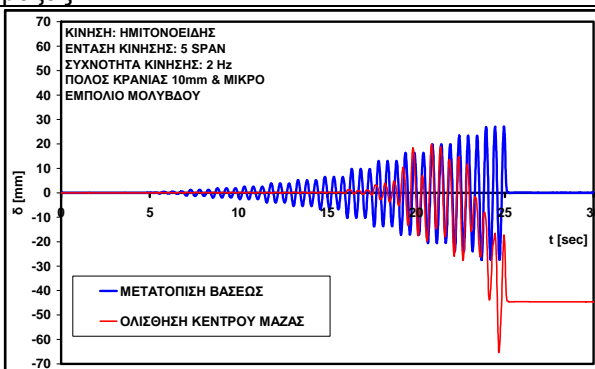
Σχήμα: 5.59. Λικνισμός μάζας



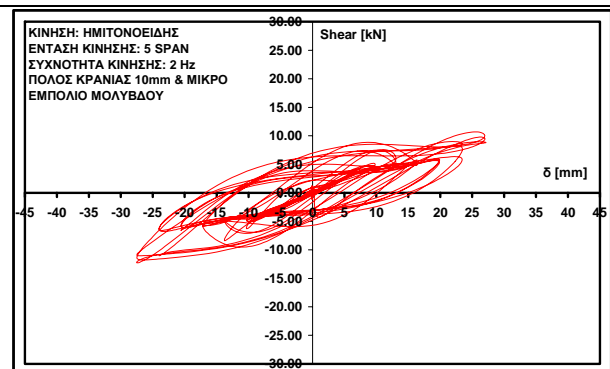
Σχήμα: 5.57. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.60. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.58. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας

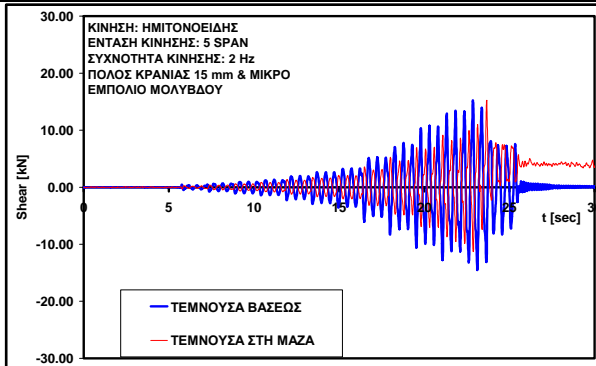


Σχήμα: 5.61. Τέμνουσας βάσης

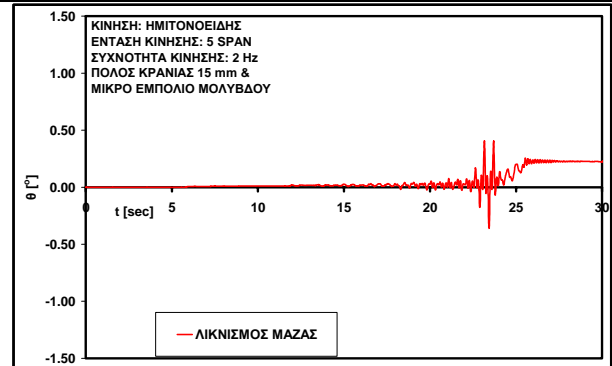
# ΜΙΚΡΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=15 mm

SPAN=5

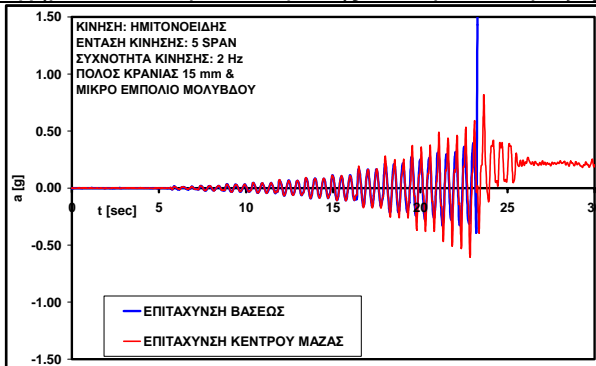
2 Hz



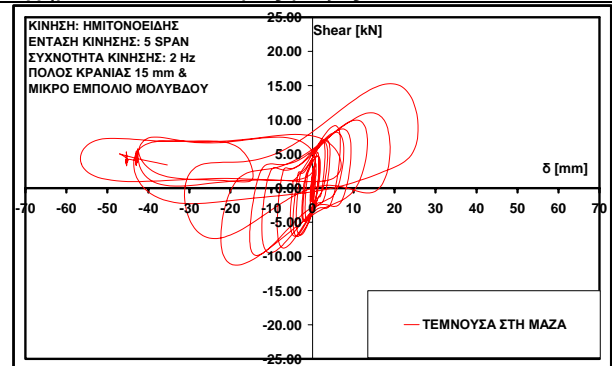
Σχήμα: 5.62. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



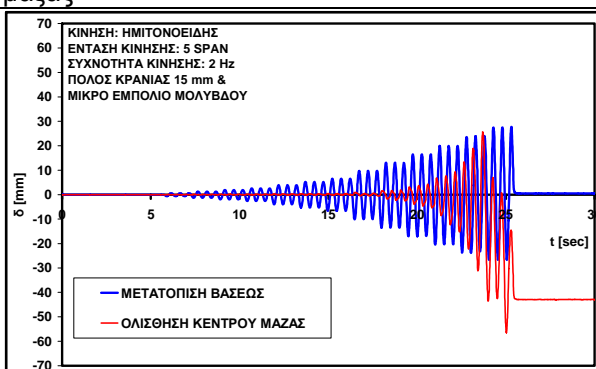
Σχήμα: 5.65. Λικνισμός μάζας



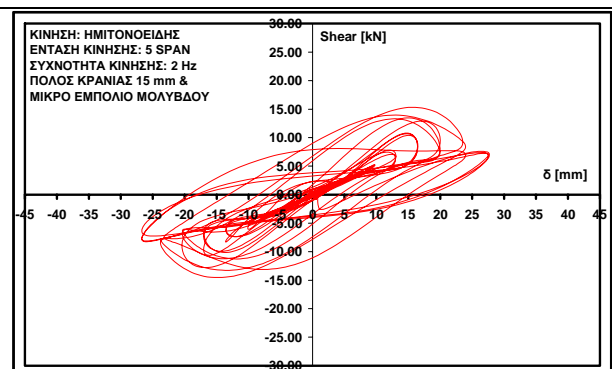
Σχήμα: 5.63. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.66. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.64. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας

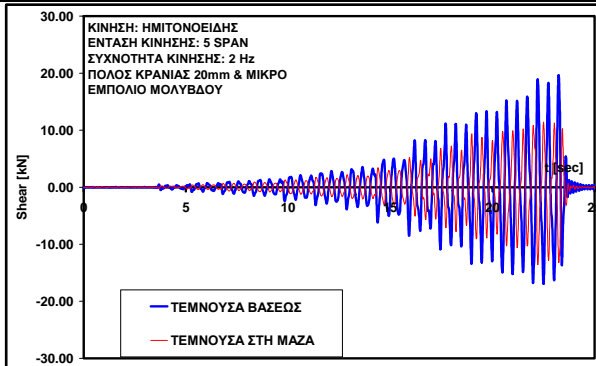


Σχήμα: 5.67. Τέμνουσας βάσης

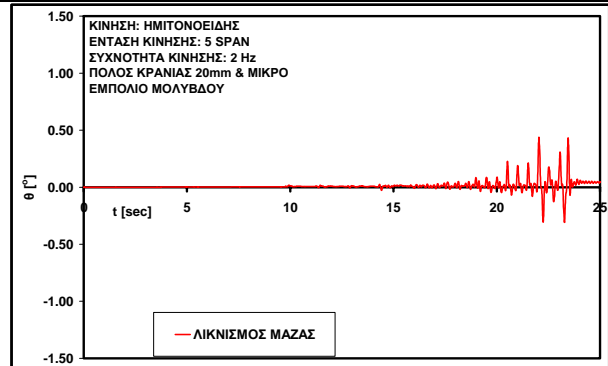
# ΜΙΚΡΟ ΕΜΠΟΛΙΟ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΠΟΛΟΣ ΚΡΑΝΙΑΣ d=20 mm

SPAN=5

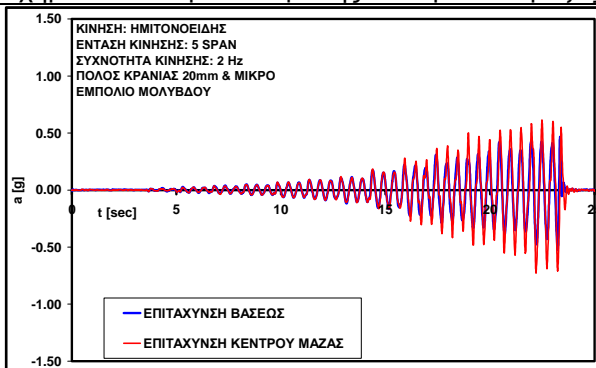
2 Hz



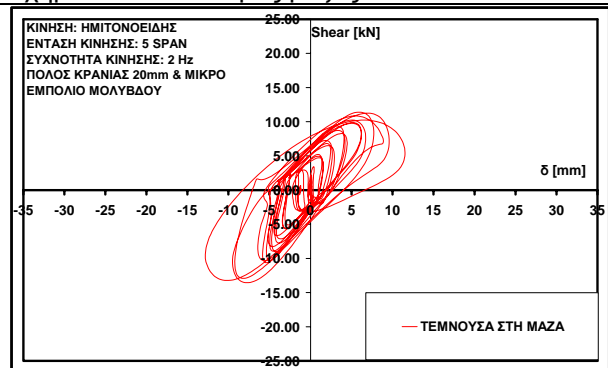
Σχήμα: 5.68. Τέμνουσα βάσης και τέμνουσα μάζας



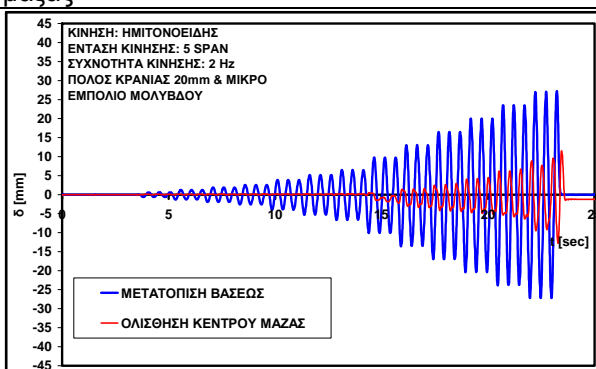
Σχήμα: 5.71. Λικνισμός μάζας



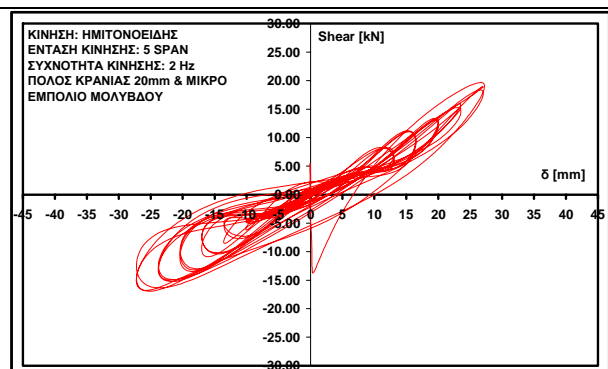
Σχήμα: 5.69. Επιτάχυνση βάσης και επιτάχυνση μάζας



Σχήμα: 5.72. Τέμνουσα στη μάζα



Σχήμα: 5.70. Μετατόπιση βάσης και ολίσθηση μάζας



Σχήμα: 5.73. Τέμνουσας βάσης

## 5.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### A) Φυσικό ομοίωμα Γ1

Αναφορικά με το φυσικό ομοίωμα Γ1, δηλαδή των δύο σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης, χωρίς πόλους κρανιάς και εμπόλια μολύβδου, παρατηρήθηκαν τα εξής:

- i) Η δύναμη που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια, μετά την έναρξη της απόκρισης ολίσθησης, είναι ανεξάρτητη της συχνότητας της ημιτονοειδούς διεγέρσεως (βλ. Σχ.: 5.14, 5.20, 5.26). Ο σχετικός συντελεστής τριβής είναι της τάξεως του 0.13, τιμή που ταυτίζεται με την αντίστοιχη τιμή που βρέθηκε στην πειραματική ακολουθία των αντιστοιχών σφονδύλων στο μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης.
- ii) Ο λικνισμός του άνω σφονδύλου παραμένει σε μικρά επίπεδα και είναι ανεξάρτητος της συχνότητας της ημιτονοειδούς διεγέρσεως (βλ. Σχ.: 5.17, 5.23, 5.29).
- iii) Αυξανόμενης της συχνότητας της ημιτονοειδούς διεγέρσεως το μέγεθος της ολίσθησης ανάμεσα στους δύο σφονδύλους δείχνει να αυξάνεται αλλά ταυτόχρονα μειώνεται η παραμένουσα ολίσθηση ανάμεσα στους δύο σφονδύλους (βλ. Σχ.: 5.16, 5.22, 5.28).
- iv) Η απόκριση ολίσθησης των δύο σφονδύλων που εξετάστηκαν είναι τυπική αντίστοιχης απόκρισης από ολισθαίνοντα σώματα, όπως αυτή έχει περιγραφή από αντίστοιχες προηγούμενες πειραματικές, αναλυτικές και αριθμητικές διερευνήσεις.

### B) Φυσικό ομοίωμα Δ1

Όσον αφορά τα δοκίμια του φυσικού ομοιώματος Δ1, δηλαδή των δύο σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης, πόλους κρανιάς διαμέτρου 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm και τα μεγάλα εμπόλια μολύβδου, η ένταση της σεισμικής της σεισμικής κινήσεως είναι περίπου ίδια. Δεν είναι ακριβώς η ίδια, γιατί σε ορισμένες πειραματικές δοκιμές λόγω της έντασης της απόκρισης έγινε βίαιη διακοπή της διεγέρσεως, προτού ολοκληρωθούν οι τελευταίοι κύκλοι της εναλλασσόμενης ημιτονοειδούς κινήσεως της σεισμικής τράπεζας, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5, όπου για τους πόλους διαμέτρου 25 mm, 30 mm η μέγιστη μετατόπιση της πλατφόρμας της τράπεζας είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για τους πόλους 20 mm, 35 mm (βλ. Σχ: 5.32, 5.33, 5.38, 5.39, 5.44, 5.45, 5.50, 5.51).

Παρατηρήθηκαν οι εξής μορφές απόκρισης:

Απόκριση επαφής των δύο σφονδύλων. Στα αρχικά στάδια της ανακυκλιζόμενης διέγερσης το σύνολο των δύο σφονδύλων και της πλατφόρμας της σεισμικής τράπεζας αποκρίνονταν ως ένα στερεό σώμα (βλ. Σχ: 5.34, 5.40, 5.46, 5.52).



**Απόκριση περιορισμένης ολίσθησης και μικρών παραμορφώσεων πόλου-εμπολίων.**

Αυξανόμενης της εντάσεως της διέγερσης (μέσω της μετατοπίσεως της σεισμικής τράπεζας) εμφανίζονται σταδιακά σχετικές οριζόντιες μετατοπίσεις του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω. Οι σχετικές αυτές μετατοπίσεις περιλαμβάνουν αφενός ολίσθηση της επιφανείας επαφής και ανάληψη δυνάμεων και παραμορφώσεων από τον πόλο και τα εμπόλια που βρίσκονται στις υποδοχές των δύο σφονδύλων.

**Απόκριση σημαντικής ολίσθησης και παραμορφώσεων πόλου-εμπολίων με σχετικό λικνισμό των δύο σφονδύλων.** Αυξανόμενης περαιτέρω της εντάσεως της διέγερσης (μέσω της μετατοπίσεως της σεισμικής τράπεζας) η σχετική αυτή κίνηση της ολίσθησης του άνω ως προς το κάτω σφόνδυλο, βαίνει αυξανόμενη, αλλά αρχίζει να συνοδεύεται και από λικνισμό του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω, ο οποίος βαίνει και αυτός αυξανόμενος (βλ. Σχ: 5.35, 5.41, 5.47, 5.53).

Για να σχολιασθούν τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της διαμέτρου των πόλων κρανιάς θα χρησιμοποιηθούν, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα εξής:

- i) Η μετατόπιση της σεισμικής τράπεζας και η σχετική μετατόπιση των δύο σφονδύλων.
- ii) Η αναπτυσσόμενη επιτάχυνση του κέντρου μάζας του άνω σφονδύλου συγκριτικά με την αναπτυσσόμενη επιτάχυνση του κέντρου μάζας του κάτω σφονδύλου.
- iii) Η λικνιστική απόκριση του άνω σφονδύλου.
- iv) Διαγράμματα ανακυκλήσεις από τον συνδυασμό της σχετικής ολίσθησης του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω και της δύναμης που αναπτύσσεται στον άνω σφόνδυλο και της επιβαλλόμενης δύναμης του εμβόλου της σεισμικής τράπεζας με την μετατόπιση της τράπεζας.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σχετικά διαγράμματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, οι ακόλουθες παρατηρήσεις εκφράζουν την επιρροή της ύπαρξης πόλου-εμπολίων καθώς και την αύξηση της διαμέτρου του πόλου στην παρατηρούμενη απόκριση:

- Αυξανόμενης της διαμέτρου των πόλων (κρανιάς) παρατηρούμε μείωση της σχετικής ολισθήσεως των δύο σφονδύλων (βλ. Σχ.: 5.34, 5.40, 5.46, 5.52), συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι η ένταση για τους πόλους διαμέτρου 25 mm, 30 mm ήταν μεγαλύτερη από τους άλλους δύο.
- Αυξανόμενης της διαμέτρου των πόλων κρανιάς παρατηρούμε μείωση της ενέργειας παραμόρφωσης που απορροφάται μέσω των πόλων – εμπολίων (βλ. Σχ.: 5.36, 5.42, 5.48, 5.54). Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί και με την εικόνα που παρατηρήθηκε στους πόλους – εμπόλια μετά το πέρας των δοκιμών, αφού αυξανόμενης της

διαμέτρου των πόλων μειώνονται σημαντικά οι μόνιμες παραμορφώσεις τους (β. Σχ.: 5.56).

- Αυξανόμενης της διαμέτρου των πόλων κρανιάς παρατηρούμε μείωση της λικνιστικής απόκρισης του άνω σφονδύλου ως προς τον κάτω.



Σχήμα: 5.56. Συγκριτική εικόνα παραμορφώσεων των πόλων – εμπολίων αυξανόμενης της διαμέτρου του πόλου.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις κρίνονται φυσιολογικές. Δηλαδή για σταθερής σεισμικής έντασης απαιτήσεις στην διεπιφάνεια των σφονδύλων που περιλαμβάνουν πόλους και εμπολία η αύξηση της διαμέτρου των πόλων θα δράση αποτρεπτικά στη δημιουργία σχετικής ολίσθησης ανάμεσα στους σφονδύλους και στη δημιουργία πλαστικών παραμορφώσεων στους πόλους και εμπολία.

Όπως έχει διακριβωθεί από τα αντίστοιχα πειράματα του μεταλλικού πλαισίου σε αντίστοιχα δοκίμια με πόλους και εμπολία, απαιτούνται υψηλότερου επιπέδου δυνάμεις ώστε οι μεγαλύτερου διαμέτρου πόλοι να λειτουργήσουν έτσι, δηλαδή να αναπτυχθούν πλαστικές παραμορφώσεις σε αυτούς τους πόλους και εμπολία).

Συγκρίνοντας την συμπεριφορά των δοκιμίων στη Σεισμική Τράπεζα με τα αντίστοιχα δοκίμια στο μεταλλικό πλαίσιο αντίδρασης παρατηρούμε ότι για ίδιες συνθήκες

επιφανειών ολίσθησης, είδος και μέγεθος πόλων και εμπολίων, αναπτύχθηκαν συγκρίσιμου εύρους δυνάμεις αντίστασης για το ίδιο επίπεδο απαίτησης απόκρισης, μετατόπισης – ολίσθησης.

Συγκρίνοντας τα αντίστοιχα πειράματα του μεταλλικού μεταλλικού πλαισίου όπου η φορτιστική ακολουθία ήταν στατικού χαρακτήρα με αυτά της Σεισμικής Τράπεζας, όπου η φορτιστική ακολουθία ήταν δυναμικού χαρακτήρα, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές όσον αφορά την ανάπτυξη του μηχανισμού απόσβεσης του συστήματος των δύο σφονδύλων και των πόλων – εμπολίων.

### **Γ) Φυσικό ομοίωμα E1**

Όσον αφορά τα δοκίμια του φυσικού ομοιώματος E1, δηλαδή των δύο σφονδύλων με χαλύβδινη επιφάνεια ολίσθησης, πόλους κρανιάς διαμέτρου 10 mm, 15 mm, 20 mm, και τα μικρά εμπολία μολύβδου, η ένταση της σεισμικής της σεισμικής κινήσεως είναι η ίδια (SPAN=5, 2 Hz). Για την ένταση αυτή οι μορφές απόκρισης που πραγματοποιήθηκαν είναι οι ίδιες με αυτές των μεγάλων εμπολίων με την προσθήκη μιας ακόμη μορφής απόκρισης της ακόλουθης:

**Απόκριση θραύσης του πόλου - Μετάπτωση σε απόκριση ολίσθησης.** Αυξανόμενης της εντάσεως της διέγερσης (μέσω της μετατοπίσεως της σεισμικής τράπεζας) ο πόλος ενδίδει και θραύεται. Μετά την θραύση του πόλου η απόκριση του δοκιμίου μεταπίπτει σε απόκριση που προσομοιάζει αυτή των δοκιμίων χωρίς πόλους και εμπολία, δηλαδή απόκριση ολίσθησης. Αυτό παρατηρήθηκε για τις διαμέτρους των 10mm και 15mm.

Ο πόλος των 20 mm δεν ενέδωσε για αυτή την ένταση της διέγερσης (SPAN=5, 2 Hz) γεγονός που συμφωνεί και με τα αντίστοιχα πειράματα των μεγάλων διαστάσεων εμπολίων για τον ίδιο πόλο, που ήταν μεγαλύτερης έντασης και όπου και πάλι ο πόλος δεν ενέδωσε (SPAN=9, 2 Hz). Αν συγκρίνουμε την εικόνα ανακύκλησης στην διεπιφάνεια ανάμεσα στα δύο αυτά πειράματα (σχ. 5.72 για το μικρό εμπολίο με σχήμα 5.36 για το μεγάλο εμπολίο) παρατηρούμε ομοιότητα στην μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη με διαφορά στην μέγιστη αναπτυσσόμενη μετατόπιση και αποσβεσμένη ενέργεια που είναι σαφώς μεγαλύτερες για την περίπτωση του μεγάλου εμπολίου και θα πρέπει να αποδωθούν αποκλειστικά στην διαφορά έντασης της σεισμικής διέγερσης ανάμεσα στα δύο πειράματα.