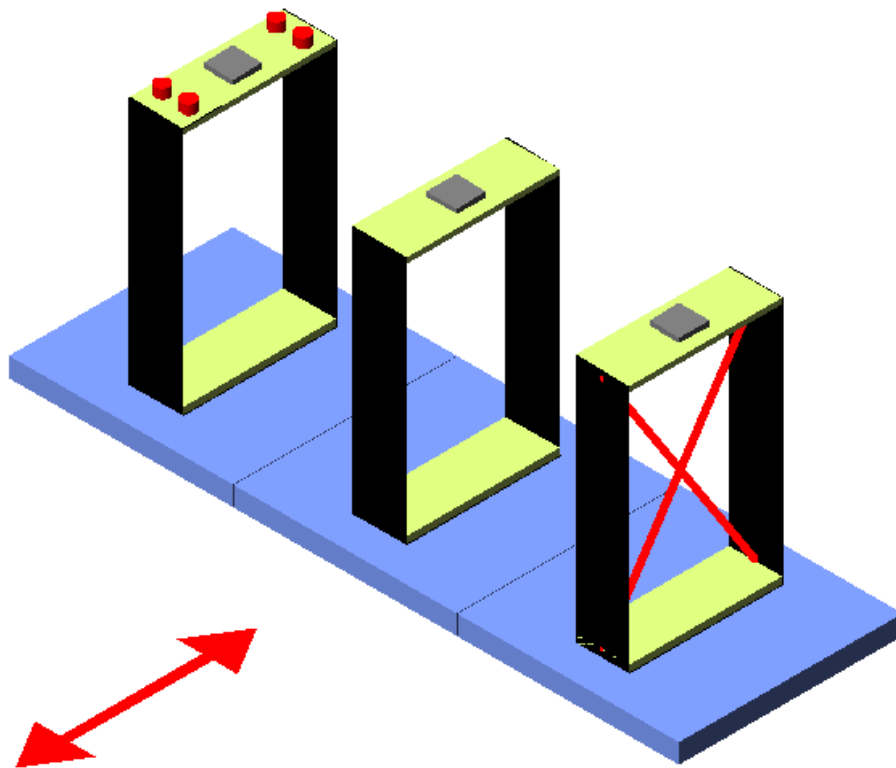




Δυναμική Ανάλυση Κατασκευών - Πειράματα Μονοβαθμίων Συστημάτων (ΜΒΣ) σε Σεισμική Τράπεζα

A. ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ:

Επιρροή μάζας και δυσκαμψίας στα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός φορέα.



Στόχος

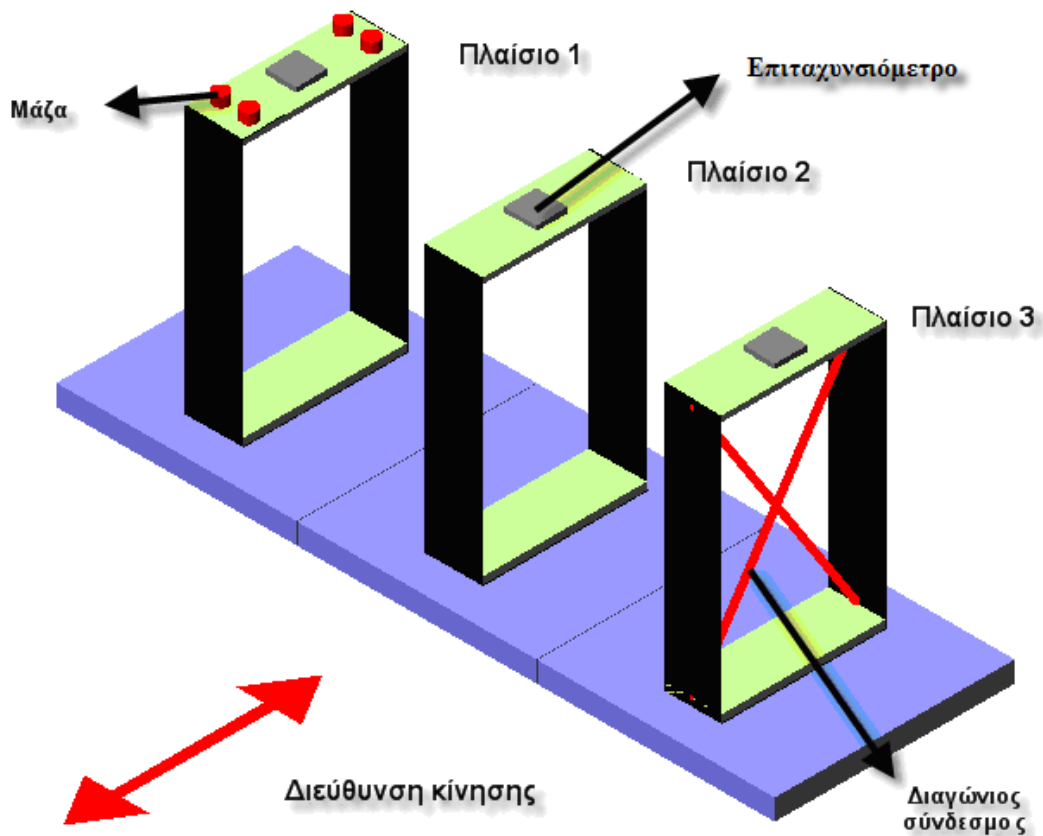
Πείραμα για την κατανόηση βασικών εννοιών δυναμικής των κατασκευών με τη βοήθεια της σεισμικής τράπεζας όπως ιδιοπερίοδος, λόγος και ποσοστό απόσβεσης, συντονισμός, δυσκαμψία, και επιρροή μάζας και δυσκαμψίας στα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός φορέα.

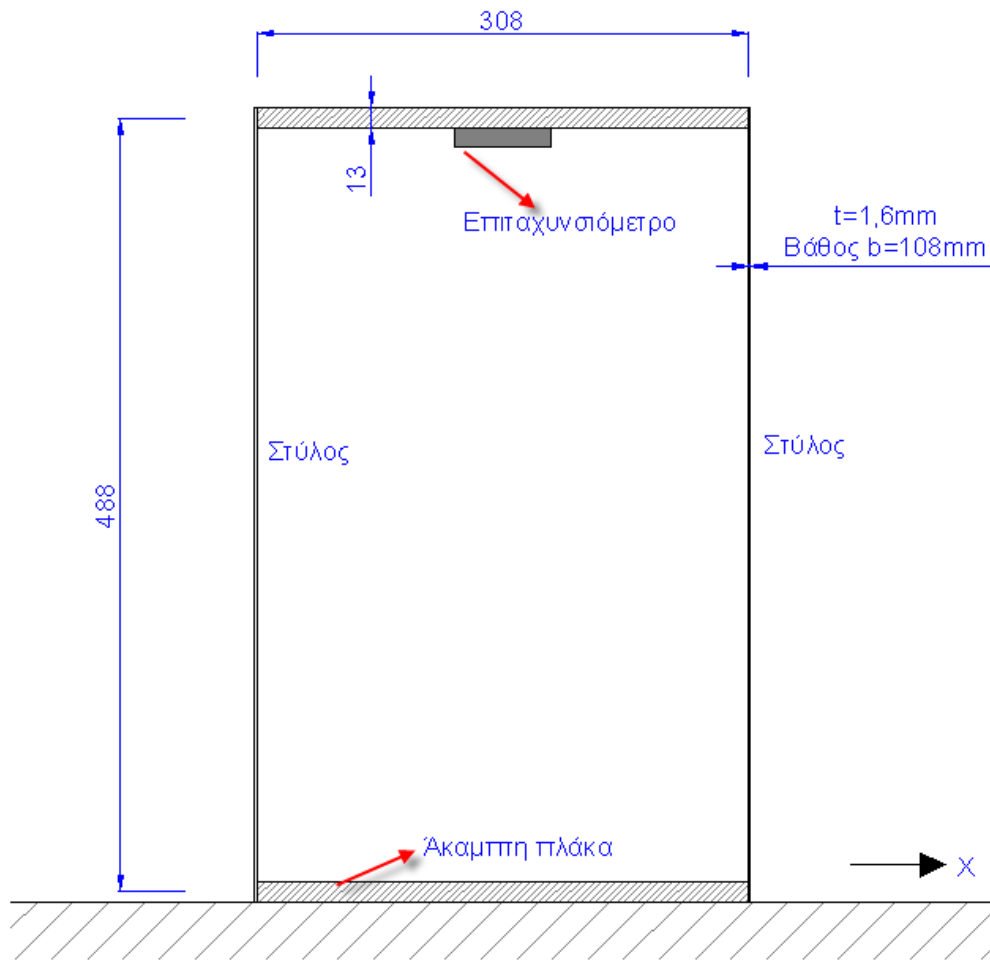
Περιγραφή πειράματος

Στη σεισμική τράπεζα τοποθετούνται 3 ανεξάρτητα πλαίσια. Τα 3 πλαίσια είναι κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό. Το πλαίσιο 1 έχει επιπλέον μάζα από το πλαίσιο 2 ενώ το πλαίσιο 3 έχει αυξημένη δυσκαμψία σε σχέση με το πλαίσιο 2. Σκοπός του πειράματος είναι να προσδιοριστούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά των πλαισίων, τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά. Στην συνέχεια να διερευνηθεί πώς η μάζα και δυσκαμψία επηρεάζουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά.

Κατόπιν με τη σεισμική τράπεζα θα προκληθεί διέγερση βάσης με διάφορες συχνότητες και θα μελετηθεί το φαινόμενο του συντονισμού με αρμονικές διεγέρσεις μεταβαλλόμενων συχνοτήτων. Επίσης τα 3 πλαίσια θα υποβληθούν σε διεγέρσεις που προσομοιάζουν τους σεισμούς του El Centro, Northridge, Kobe και Hachimoto.

Περιγραφή πειραματικής διάταξης



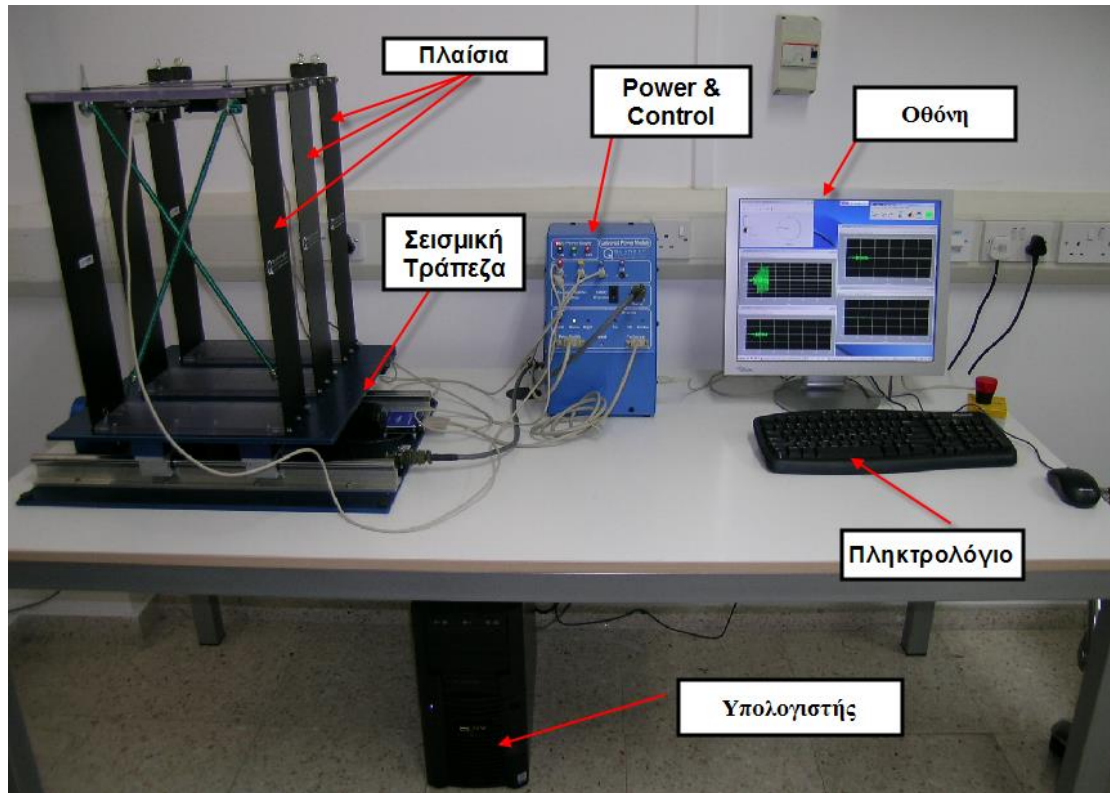


Πλαίσιο 2

Η σεισμική Τράπεζα

Η σεισμική τράπεζα του Ερευνητικού Κέντρου Τεχνολογίας Κατασκευών Αρχιμήδης είναι τύπου Quanser Shake Table II. Είναι μίας διεύθυνσεως και έχει τις εξής δυνατότητες:

Μέγιστη επιτάχυνση	2.5 g
Μέγιστο φορτίο	15 kg
Συχνότητες	0 – 20 Hz
Μέγιστη ταχύτητα	83.8 cm/sec
Μέγιστη μετατόπιση	15.2 cm



Σεισμική τράπεζα – Ερευνητικό κέντρο Αρχιμήδης

Οι επιταχύνσεις καταγράφονται από τα επιταχυνσιόμετρα στην κορυφή του κάθε πλαισίου αλλά και στην βάση της τράπεζας.



Επιταχυνσιόμετρο

Διαδικασία πειραμάτων - Ζητούμενα

1. Προσδιορισμός μάζας
2. Πειραματικός υπολογισμός δυσκαμψίας
3. Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας
4. Θεωρητικός υπολογισμός ιδιοπεριόδου πλαισίου 2 και πλαισίου 3
5. Πειραματικός προσδιορισμός ιδιοπεριόδων των τριών πλαισίων
6. Υπολογισμός ποσοστού και λόγου απόσβεσης για τα τρία πλαίσια
7. Διέγερση βάσης σε εύρος συχνοτήτων – Συντονισμός
8. Διέγερση βάσης με το σεισμό του El Centro, Northridge, Kobe και Hachimoto

1. Προσδιορισμός Μάζας

Ε1. Να μετρηθούν οι πιο κάτω μάζες:

Άνω πλάκα:

Πλαστική άκαμπτη πλάκα	478 gr
Επιταχυνσιογράφος	88 gr
Κοχλίες επιταχυνσιογράφου (4)	23 gr
Κοχλίες πλάκας (6) (+2 λαμάκια)	46 gr
Σύνολο	635 gr

Στύλοι:

1 στύλος	281 gr
Σύνολο (2 στύλοι)	562 gr

Κάτω πλάκα:

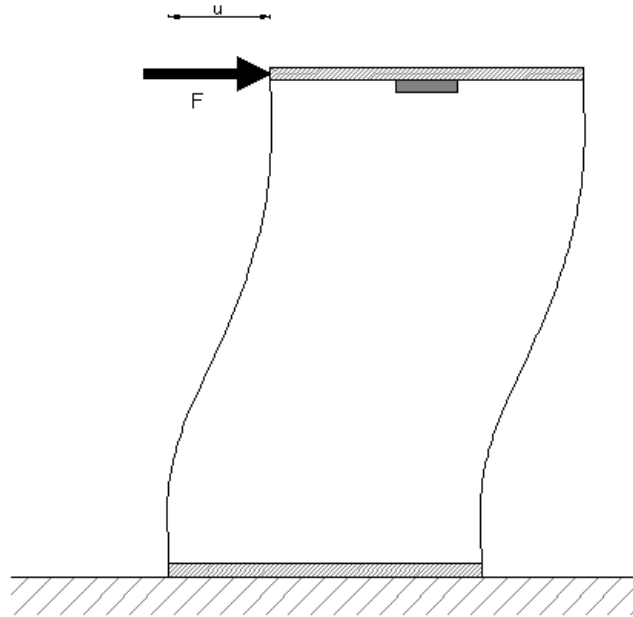
Πλαστική άκαμπτη πλάκα	478 gr
Κοχλίες σύνδεσης πλακών (4)	20 gr
Κοχλίες πλάκας (6) (+2 λαμάκια)	46 gr
Σύνολο	544 gr

Επιπλέον μάζα:

1 βαρίδιο με βίδα και ροδέλες	152 gr
Σύνολο (4)	608 gr

2. Πειραματικός υπολογισμός δυσκαμψίας

Για τον υπολογισμό της δυσκαμψίας επιβάλλεται στατικά στο πλαίσιο οριζόντια δύναμη και μετρείται η οριζόντια μετακίνηση.



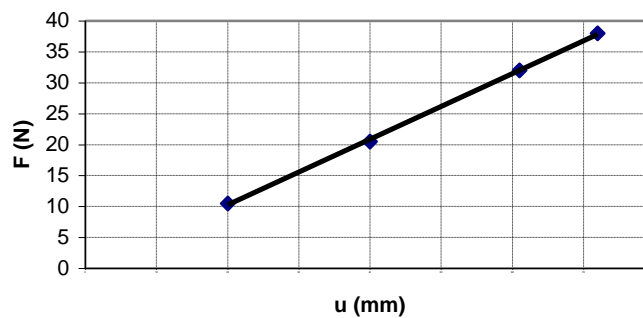
$$K = \frac{F}{u}$$

E2. Να υπολογιστεί η δυσκαμψία του πλαισίου.

F ₁ =	N	u ₁ =	mm
F ₂ =	N	u ₂ =	mm
F ₃ =	N	u ₃ =	mm
F ₄ =	N	u ₄ =	mm
F ₅ =	N	u ₅ =	mm
F ₆ =	N	u ₆ =	mm

Από τα πιο πάνω στοιχεία κατασκευάζεται το διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης (F-u)

κ



Η κλίση της ευθείας αντιπροσωπεύει την οριζόντια δυσκαμψία του πλαισίου

K= N/mm

3. Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας

E3. Να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας του πλαισίου. Από τι υλικό μπορεί να είναι κατασκευασμένοι οι στύλοι του πλαισίου;

$$K = 2 \cdot \frac{12EI}{h^3} \rightarrow E =$$

4. Θεωρητικός υπολογισμός ιδιοπερίοδου πλαισίου 2 και πλαισίου 3

E4. Με τα δεδομένα που μετρήθηκαν μπορεί να υπολογιστεί η ιδιοπερίοδος του πλαισίου 2 θεωρητικά.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Πλαίσιο 2

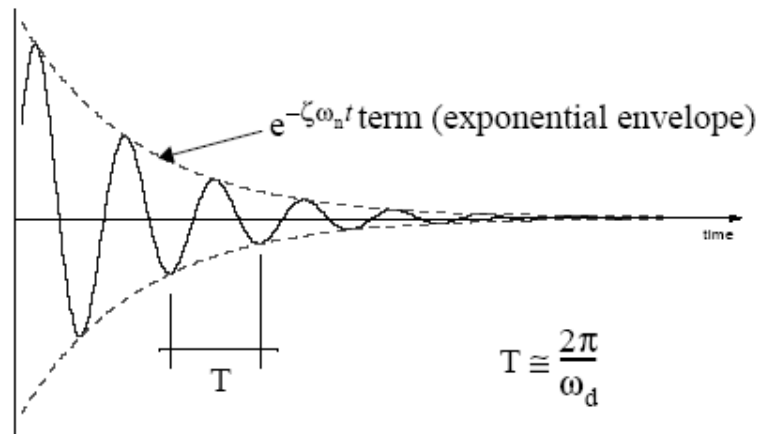
$T_\beta =$	sec
$\omega_\beta =$	rad/sec
$f_\beta =$	Hz

Πλαίσιο 1

$T_\alpha =$	sec
$\omega_\alpha =$	rad/sec
$f_\alpha =$	Hz

5. Πειραματικός προσδιορισμός ιδιοπεριόδων των τριών πλαισίων

Για να προσδιοριστεί πειραματικά η ιδιοπερίοδος του πλαισίου προκαλείται αρχική μετατόπιση της κορυφής του, και στην συνέχεια αφήνεται να πραγματοποιήσει ελεύθερη ταλάντωση. Για τον προσδιορισμό της ιδιοπεριόδου να ληφθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι κύκλοι.



Το Φάσμα Fourier

Ο Γάλλος μαθηματικός J.B.J. Fourier έδειξε ότι μια περιοδική κίνηση μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα των απλών αρμονικών της (υπό κάποιες προϋποθέσεις):

$$G(\omega) = \int_0^{T_d} g(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad (\text{ακριβής ορισμός})$$

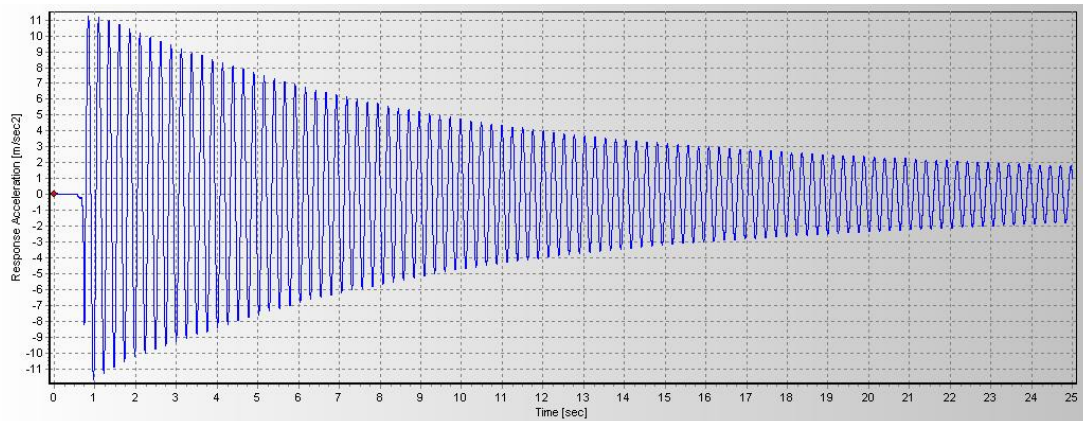
$$G(\omega_n) \approx \Delta t \sum_{k=1}^N [g(t_k) \cos(\omega_n t_k) - i g(t_k) \sin(\omega_n t_k)]$$

Στη σεισμική μηχανική χρησιμοποιείται η ιδιότητα αυτή για να εκφραστεί μία πολύπλοκη εδαφική κίνηση σε άθροισμα απλών αρμονικών κινήσεων. Γενικά, όσο περισσότερες αρμονικές συνιστώσες αθροίζονται, τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η πραγματική διέγερση.

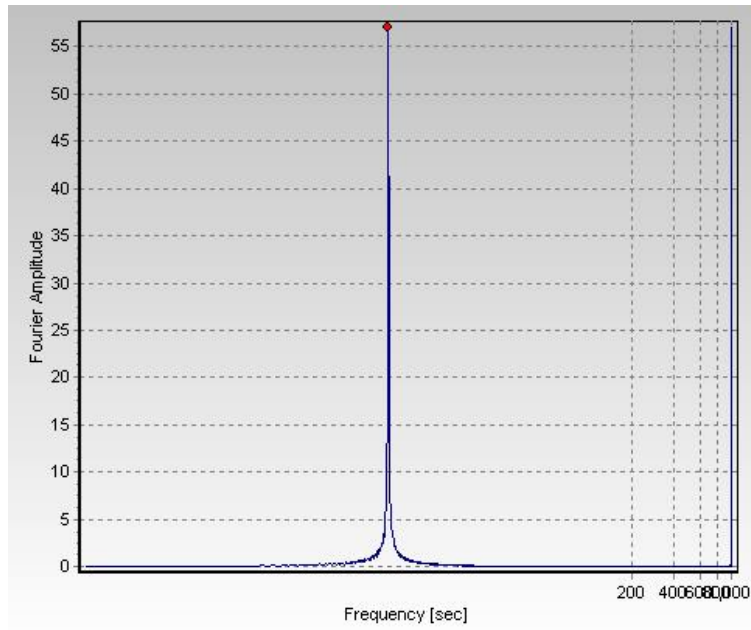
Μια αρμονική συνιστώσα συγκεκριμένης συχνότητας διέγερσης ω , χαρακτηρίζεται από το μέγεθος ή εύρος (amplitude) και την γωνία φάσης (phase angle). Έτσι έχουμε το φάσμα Fourier (εύρους/πλάτους), που είναι το διάγραμμα της έντασης Fourier σε σχέση με την συχνότητα ($FA_n - \omega_n$) και το φάσμα Fourier (φάσης) που είναι το διάγραμμα της φάσης γωνίας Fourier σε σχέση με την συχνότητα ($\varphi_n - \omega_n$).

Το φάσμα Fourier εκφράζει το συχνοτικό περιεχόμενο μιας κίνησης αφού δείχνει ποιες συχνότητες είναι έντονες στην κίνηση.

E5. Δίνεται το φάσμα Fourier από τη χρονοιστορία επιτάχυνσης του κάθε πλαισίου. Να υπολογιστούν οι ιδιοπερίοδοι των πλαισίων.



χρονοιστορία επιτάχυνσης



φάσμα Fourier

$T_a=$	sec	$T_b=$	sec	$T_c=$	sec
$f_a=$	hz	$f_b=$	hz	$f_c=$	hz
$\omega_a=$	rad/sec	$\omega_b=$	rad/sec	$\omega_c=$	rad/sec

E6. Υπάρχουν διαφορές με τα μεγέθη που υπολογίστηκαν θεωρητικά; Αν ναι, πού οφείλονται οι διαφορές αυτές; Από τα φάσματα Fourier των πλαισίων 1 και 2 να υπολογιστεί η δυσκαμψία τους K και η μάζα τους αν η επιπλέον μάζα του πλαισίου 1 είναι 608g.

6. Υπολογισμός ποσοστού και λόγου απόσβεσης για τα τρία πλαίσια

E7. Να υπολογιστεί το ποσοστό απόσβεσης ξ (ζ) και ο λόγος απόσβεσης C

Το ποσοστό απόσβεσης μπορεί να υπολογιστεί :

$$\xi = \frac{1}{2j\pi} \frac{\omega_d}{\omega_n} \ln \left(\frac{u(t)}{u(t + jT_d)} \right)$$

Για κατασκευές με μικρό ποσοστό απόσβεσης ($\xi < 10\%$):

$$\xi = \frac{1}{2j\pi} \ln \left(\frac{u(t)}{u(t + jT_d)} \right)$$

$\xi_a =$	$\xi_b =$	$\xi_c =$
-----------	-----------	-----------

Ο συντελεστής απόσβεσης C μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση:

$$\xi = \frac{C}{2 \cdot m \cdot \omega_n}$$

$C_a =$	$C_b =$	$C_c =$
---------	---------	---------

E8. Σχολιάστε τα πιο πάνω αποτελέσματα. Πως επηρεάζει η μάζα και η δυσκαμψία τα πιο πάνω αποτελέσματα;

7. Διέγερση βάσης σε εύρος συχνοτήτων – Συντονισμός

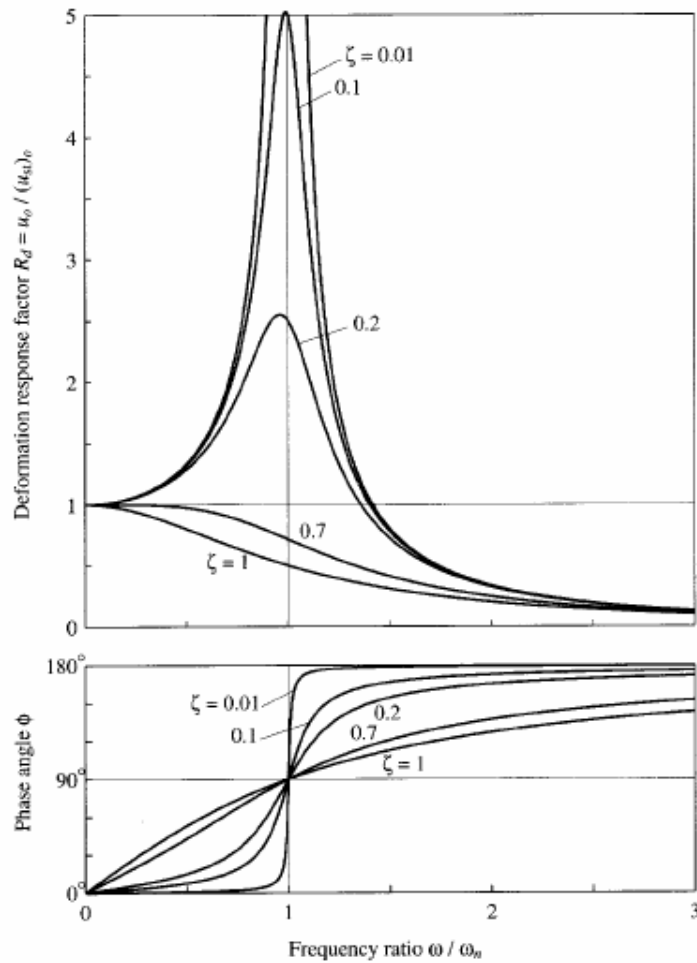
Η σεισμική τράπεζα διεγείρει την βάση των πλαισίων με ημιτονοειδή μετακίνηση. Η συχνότητα κίνησης καθορίζεται από τον χειριστή, ξεκινώντας με μικρές συχνότητες 0.5 Hz και φτάνοντας μέχρι 10 Hz.

E8. Τι συμβαίνει όταν η συχνότητα διέγερσης είναι πολύ πιο μικρή από την ιδιοσυχνότητα του πλαισίου;

E9. Τι συμβαίνει όταν η συχνότητα διέγερσης ίση με την ιδιοσυχνότητα του πλαισίου;

E10. Τι συμβαίνει όταν η συχνότητα διέγερσης είναι πολύ πιο μεγάλη από την ιδιοσυχνότητα του πλαισίου;

E11. Περιγράψτε το πιο κάτω διάγραμμα.



E12. Τι εκφράζει η πιο κάτω σχέση; Τι είναι συντονισμός;

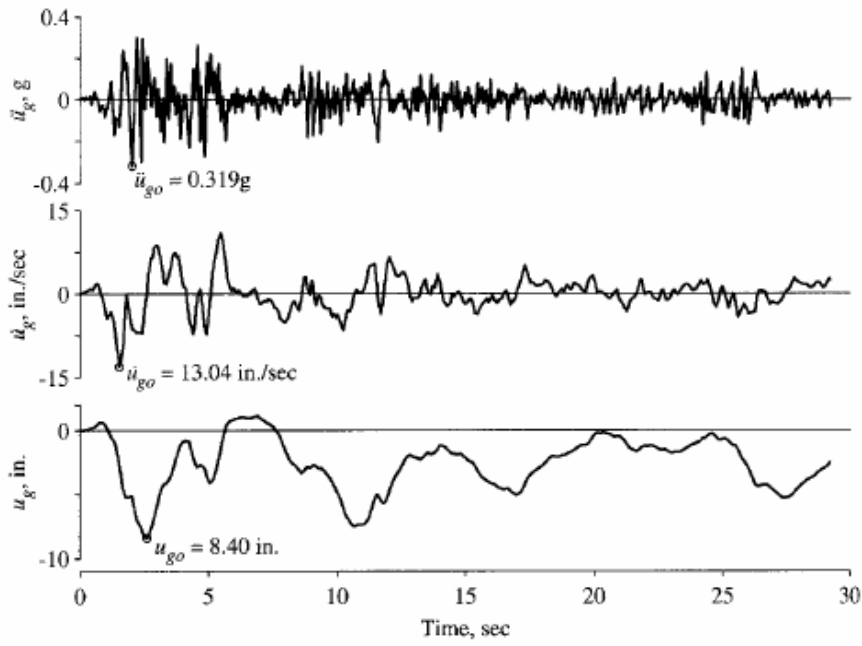
$$R_d = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + (2\zeta\omega/\omega_n)^2}}$$

E13. Σε ποιες συχνότητες διέγερσης παρατηρήθηκε μέγιστη μετατόπιση κορυφής για το κάθε πλαίσιο;

$f_a =$	Hz	$f_b =$	Hz	$f_c =$	Hz
---------	----	---------	----	---------	----

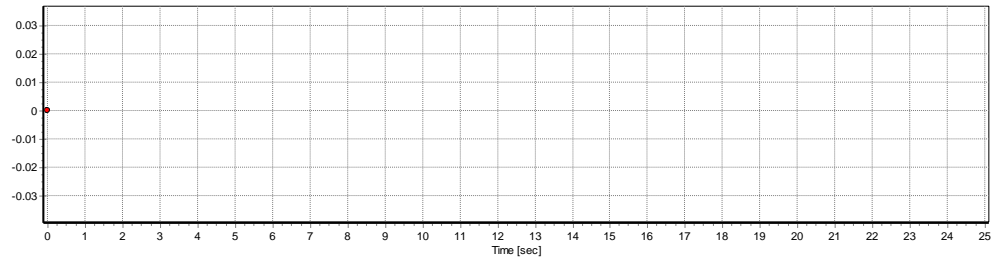
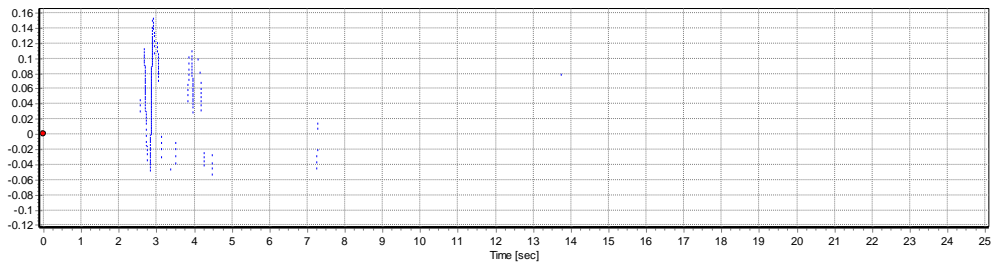
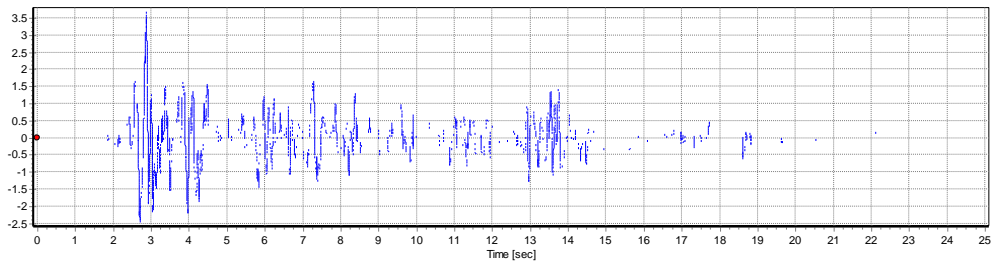
Διέγερση βάσης με το σεισμό του El Centro, Northridge, Kobe και Hachimoto

Η σεισμική τράπεζα προκαλεί μετακίνηση της βάσης των 3 πλαισίων που αντιστοιχεί σε μετακίνηση, αρχικά του σεισμού El Centro. Οι καταγραφές που υπάρχουν για τον σεισμό είναι σε μονάδες χρόνου – επιτάχυνσης. Για τον μετασχηματισμό σε χρόνο – μετατόπιση χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι. Οι σεισμοί είναι προσαρμοσμένοι έτσι ώστε η μέγιστη μετακίνηση στη σεισμική τράπεζα να είναι 3cm.



1940 Imperial Valley Earthquake, El Centro record, Component S00E

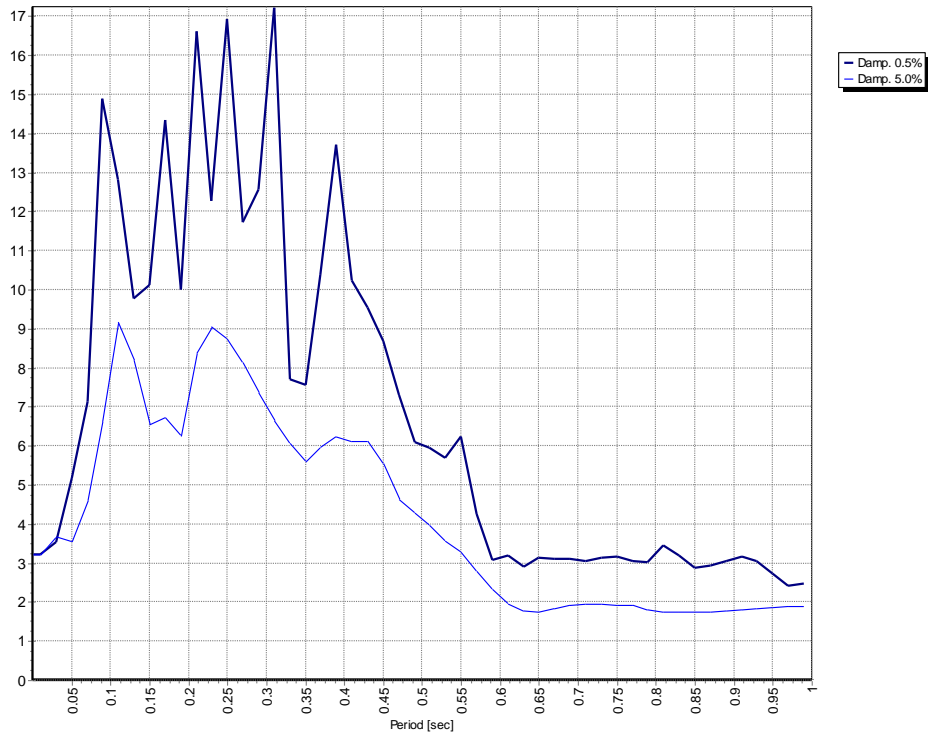
Σεισμός El Centro- Πραγματική διέγερση



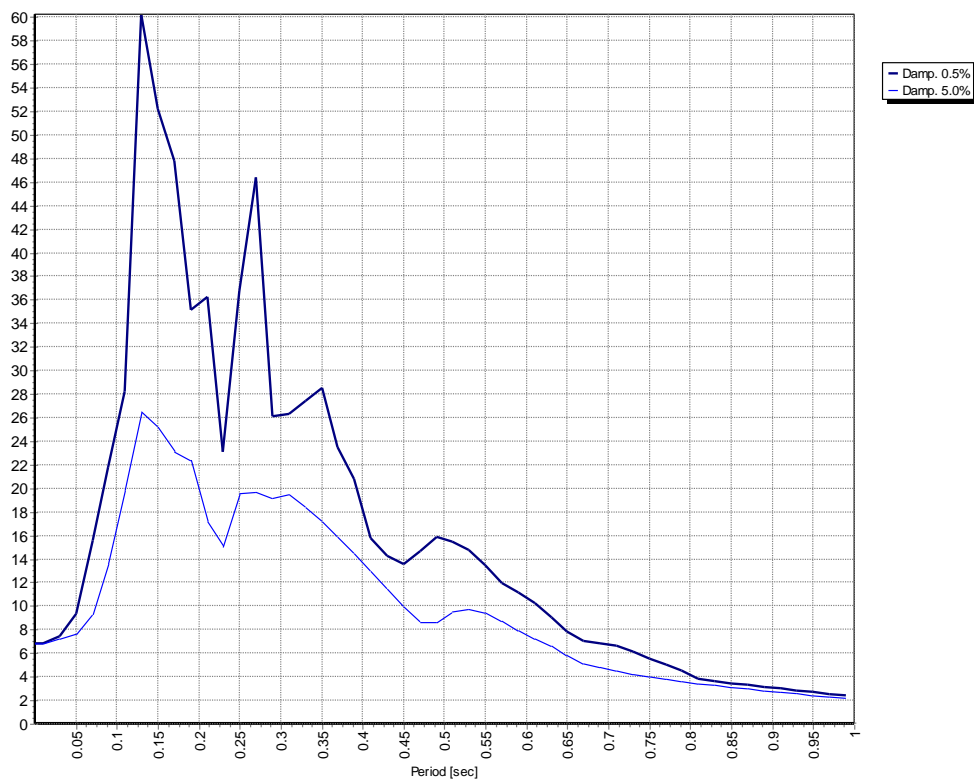
Σεισμός El Centro- Προσαρμογή στη σεισμική τράπεζα

E14. Παρατηρώντας τα φάσματα απόκρισης του κάθε σεισμού ποιο από τα 3 πλαίσια θα έχει την μεγαλύτερη επιτάχυνση κορυφής σε κάθε σεισμική διέγερση;

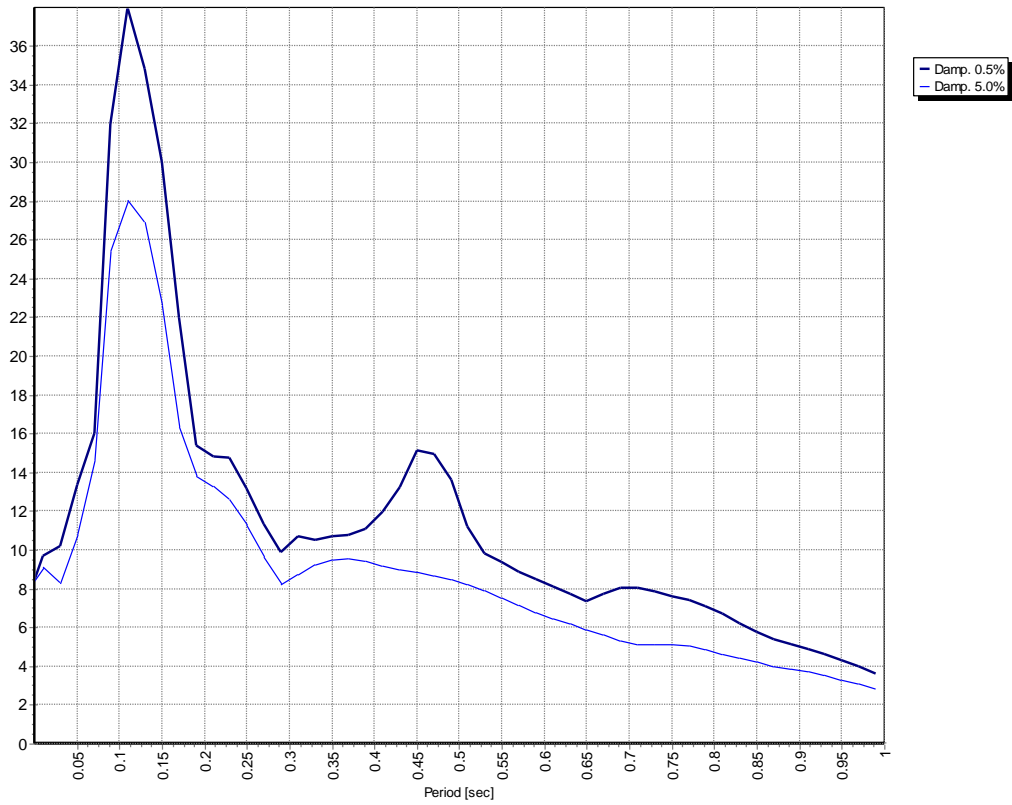
E15. Υπολογίστε αριθμητικά την απόκριση του πλαισίου 2 για την συγκεκριμένη διέγερση. Υπάρχουν διαφορές με τις πραγματικές καταγραφές; Αν ναι, πού οφείλονται;



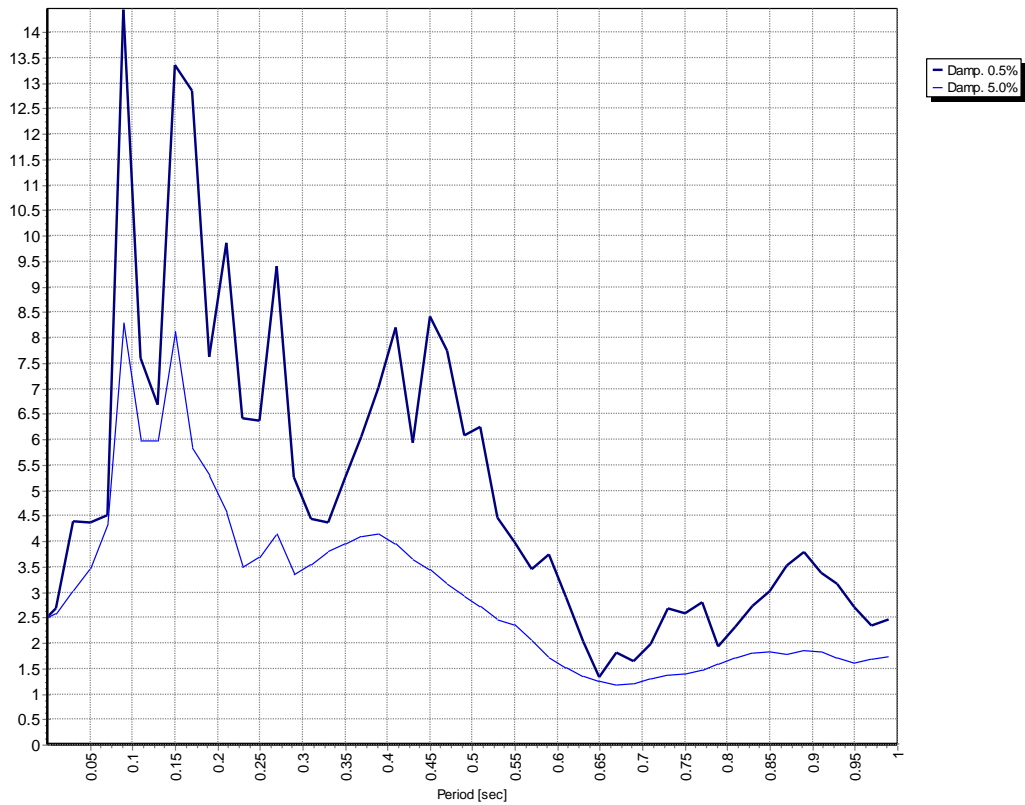
Φάσμα απόκρισης σεισμού *El Centro*



Φάσμα απόκρισης σεισμού Kobe



Φάσμα απόκρισης σεισμού Northridge



Φάσμα απόκρισης σεισμού Hachimoto