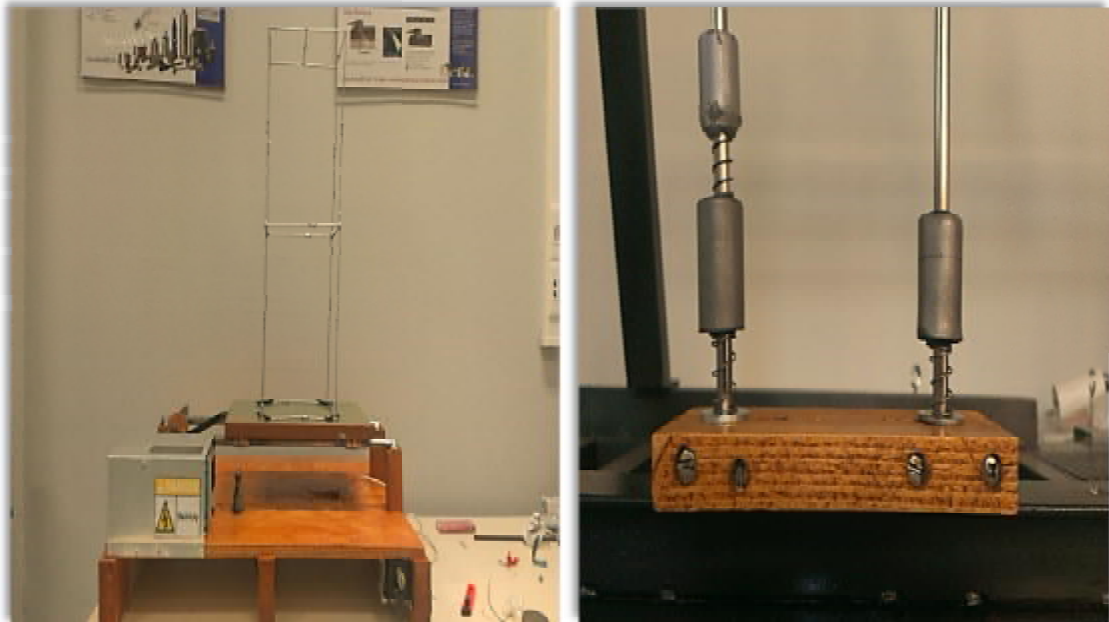


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ ΜΕΣΩ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ  
ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:  
ΒΑΝΔΩΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2015**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει τίτλο “Έλεγχος των μηχανικών ταλαντώσεων μέσω δυναμικής απόσβεσης”.

Η συγκεκριμένη εργασία ήταν για εμένα μια πρόκληση ώστε να αναπτύξω τις γνώσεις μου γενικότερα στην μηχανολογία, αλλά και στην κατανόηση της συμπεριφοράς των σωμάτων υπό ταλάντωση ειδικότερα. Επιπλέον η ενασχόληση με κάτι τόσο ενδιαφέρον ήταν ένα επιπρόσθετο κίνητρο για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος.

Η πτυχιακή αποτελείται από τα ακόλουθα : θεωρία ταλαντώσεων και δυναμικών αποσβεστήρων, σχεδιασμό και κατασκευή δυναμικών αποσβεστήρων μάζας-εκκρεμούς και μάζας-ελατηρίου.

Στόχος μου ήτανο σχεδιασμός και η κατασκευή δύο τύπων ευρέα χρησιμοποιούμενων σε πραγματικές εφαρμογές δυναμικών αποσβεστήρων. Ο σχεδιασμός έγινε με την βοήθεια των λογισμικών SAP2000 και solidworks.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Τσινόπουλο Στέφανο.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω την επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου περιεχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....  
(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή θα πραγματοποιηθούν ο σχεδιασμός, η ανάλυση και η κατασκευή δύο τύπων δυναμικών αποσβεστήρων.

Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια:

Αρχικά παρουσιάζεται μια συνοπτική γενική θεωρητική επισκόπηση των ταλαντώσεων καθώς και των συστημάτων δυναμικής απόσβεσης αυτών.

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στον σχεδιασμό των δύο τύπων δυναμικών αποσβεστήρων που κατασκευάστηκαν. Ο σχεδιασμός έγινε στο λογισμικό solidworks.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση του μοντέλου του κτιρίου που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της προσομοίωσης λειτουργίας ενός δυναμικού αποσβεστήρα μάζας-εκκρεμούς.

Στο τέταρτο και μεγαλύτερο σε όγκο κεφάλαιο, εμφανίζονται αναλυτικά και με ενδεδεγμένη απεικόνιση τα βήματα δημιουργίας των δύο κατασκευών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο απεικονίζονται οι τελικές μορφές των δύο κατασκευών, ενώ στο έκτο είναι η βιβλιογραφία.

Η πτυχιακή αυτή εργασία ήταν για εμένα μια πρόκληση, τόσο από άποψη έλλειψης εμπειρίας όσο και από την αυξημένη πολυπλοκότητα του όλο θέματος. Σίγουρα αποτελεί μεγάλη πηγή εμπειρίας καθώς μου παρείχε τις απαραίτητες γνώσεις στο σχεδιαστικό τομέα, στην ανάλυση με χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων, στο τομέα των κατασκευών καθώς και στην ορθή διαχείριση του διαθέσιμου χρόνου πραγματοποίησης ενός έργου και τέλος στο γενικότερο χώρο της τεχνολογίας.

## Περιεχόμενα

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u> .....	i
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u> .....	iii
<u>1.ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ</u> .....	1
<u>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u> .....	1
<u>1.2 ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ</u> .....	1
<u>1.3 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ</u> .....	2
<u>1.3.1 ΕΙΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ</u> .....	3
<u>1.3.2ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ</u> .....	4
<u>1.3.2.1ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ ΕΝΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ</u> .....	5
<u>1.3.2.2ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ ΔΥΟ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ</u> .....	10
<u>1.3.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΜΑΖΑΣ - ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ</u> .....	12
<u>2. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ</u> .....	19
<u>2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΜΑΖΑΣ ΕΚΚΡΕΜΜΟΥΣ</u> .....	19
<u>2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΜΑΖΑΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ</u> .....	26
<u>3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP2000 ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ</u> .....	33
<u>3.1ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ SAP2000</u> .....	33
<u>3.2ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ</u> .....	50
<u>4.ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u> .....	53
<u>4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΜΑΖΑΣ-ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ</u> .....	54
<u>4.1.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ</u> .....	54
<u>4.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΤΙΡΙΟΥ</u> .....	59
<u>4.1.3ΕΔΡΑΣΕΙΣ</u> .....	68
<u>4.1.4ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ</u> .....	69
<u>4.1.5ΗΛΕΚΤΡΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</u> .....	71
<u>4.1.6ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ</u> .....	76

<u>4.1.7</u> ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ.....	79
<u>4.2</u> ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ-ΜΑΖΑΣ.....	81
<u>5.</u> ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	83
<u>5.1</u> ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΜΑΖΑΣ-ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ .....	83
<u>5.2</u> ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ-ΜΑΖΑΣ .....	84
<u>6.</u> ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	85

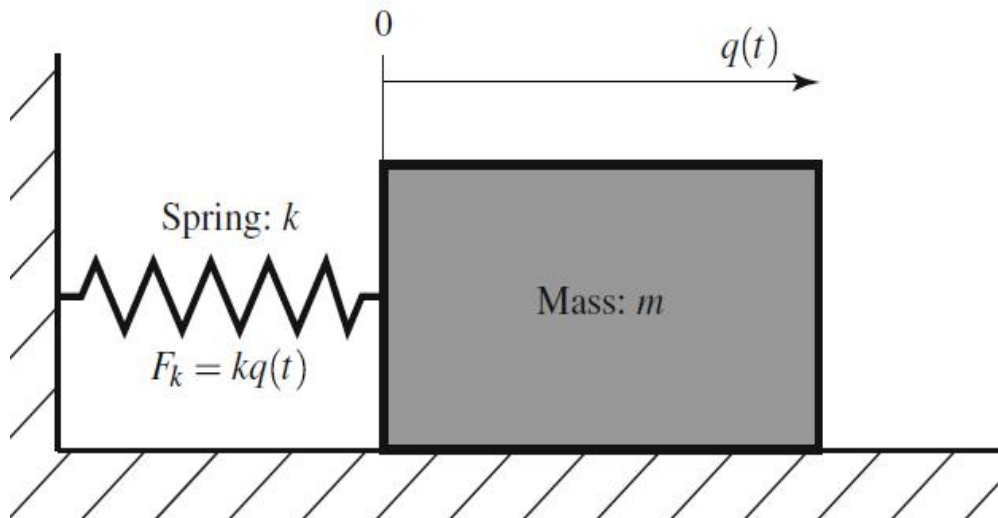
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

### 1.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους σημαντικότερους, σε μέγεθος και εφαρμογή, κλάδους της φυσικής είναι οι ταλαντώσεις. Με τον όρο ταλαντώσεις καλύπτεται ένα ευρύτατο φάσμα φαινομένων τόσο μηχανικών όσο και ηλεκτρικών. Στην πτυχιακή αυτή εργασία θα εστιάσουμε στις μηχανικές ταλαντώσεις.

### 1.2: ΑΠΛΗ ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

Η απλούστερη μορφή μηχανικής ταλάντωσης είναι αυτή ενός συστήματος με ένα βαθμό ελευθερίας (1 DOF), η μορφή του οποίου φαίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Ελεύθερη ταλάντωση μάζας m.

Εφαρμόζοντας τον 2<sup>ο</sup> Νόμο του Νεύτωνα ( $\Sigma F = m \cdot \ddot{x}(t)$ ), εύκολα εξάγεται ότι η συμπεριφορά του συστήματος περιγράφεται από τη σχέση:

$$m \cdot \ddot{x}(t) + k \cdot x(t) = 0 \quad (1.1)$$

Όπου, m: η μάζα του ταλαντούμενου σώματος

k: η σταθερά του ελατηρίου

x(t): η μετατόπιση της μάζας συναρτήσει του χρόνου

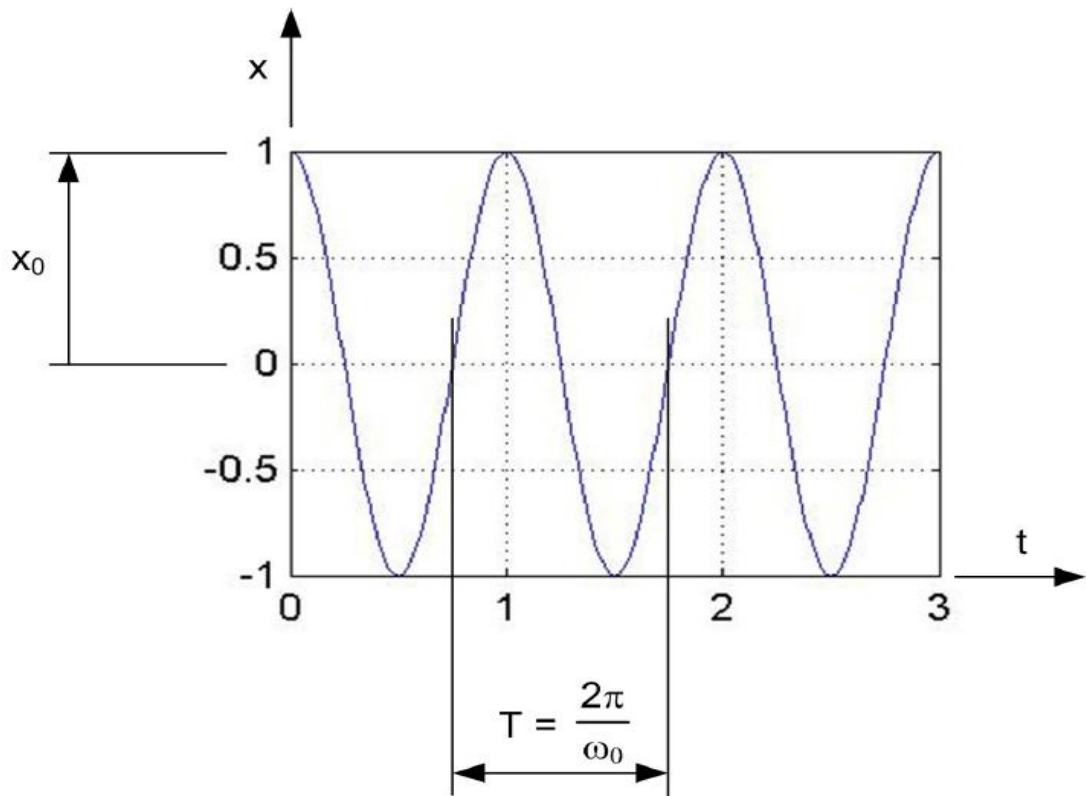
Αν εκτρέψουμε την μάζα m σε μια αρχική τυχαία θέση  $x_0$ , τότε αυτή θα εκτελέσει απλή αρμονική ταλάντωση με πλάτος  $\pm x_0$ , αφού δεν ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις. Έτσι, μπορούμε να πούμε πως (σχήμα 1.2)

$$x(t) = x_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t + \varphi) \quad (1.2)$$

Όπου,  $f_n$ : η πρώτη φυσική συχνότητα της ταλάντωσης

$x_0$ : το πλάτος της ταλάντωσης

$\varphi$ : τυχαία αρχική φάση



Σχήμα 1.2: Απεικόνιση εξίσωσης  $x/x_0=f(t)$

Αντικαθιστώντας την σχέση (1.2) στην (1.1) και ύστερα από περαιτέρω πράξεις βρίσκουμε πως η περίοδος της απλής αρμονικής ταλάντωσης της μάζας δίνεται από την εξίσωση:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.3)$$

κατά συνέπεια η περίοδος της ταλάντωσης θα δίνεται από τη σχέση:

$$T_n = \frac{1}{f_n} = 2 * \pi * \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.4)$$

### 1.3: ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

Η απλή αρμονική ταλάντωση είναι η ιδανική περίπτωση (αφού όπως είδαμε δεν υπάρχουν απώλειες), όμως προφανώς δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα. Έτσι, τα πραγματικά ταλαντωτικά φαινόμενα (σε περίπτωση που δεν έχουμε εξωτερική πηγή που να υποβοηθά την ταλάντωση) έχουν μειούμενο με το χρόνο πλάτος. Η μείωση αυτή του πλάτους οφείλεται στην απόσβεση.

Η απόσβεση στα μηχανικά συστήματα είναι το φαινόμενο μέσω του οποίου μηχανική ενέργεια διαχέεται (συνήθως υπό τη μορφή θερμότητας) σε δυναμικά συστήματα απόσβεσης.

Η γνώση των χαρακτηριστικών απόσβεσης του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας στον σχεδιασμό αυτού. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, ένα σύστημα με χαμηλή απόσβεση και φυσικές συχνότητες εντός του εύρους των σεισμικών συχνοτήτων (δηλαδή συχνότητες μικρότερες ή ίσες των 33Hz).



Τότε, σε περίπτωση σεισμού που θα διέγειρε το σύστημα σε συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητά του θα μπορούσαμε να έχουμε καταστροφικές, για το σύστημα, δονήσεις. Βλέπουμε λοιπόν, πως η γνώση του επιπέδου της απόσβεσης των μερών μιας συσκευής, των περιφερειακών αυτής καθώς και των κατασκευών στήριξης, είναι σημαντική για τον σχεδιασμό ενός σύνθετου μηχανολογικού συστήματος. Επίσης, η γνώση των επιπέδων της απόσβεσης ενός συστήματος είναι σημαντική και στον καθορισμό των περιβαλλοντικών ορίων του συστήματος σε κατάσταση λειτουργίας.

### **1.3.1: ΕΙΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ**

Σε κάθε μηχανολογικό σύστημα υπάρχει κάποια μορφή απόσβεσης. Βέβαια, το μέγεθος αυτής μπορεί να είναι τόσο μικρό, στο υπό μελέτη χρονικό διάστημα, σε σύγκριση με την ενέργεια που διεγείρει το σύστημα, που η επίδρασή της μπορεί να παραληφθεί.

Είναι αρκετές οι μορφές απόσβεσης οι οποίες υπάρχουν εκ φύσεως σε ένα μηχανολογικό σύστημα. Οι σημαντικότερες κατηγορίες αυτών είναι οι:

Εσωτερική απόσβεση των υλικών: Συνδέεται με τις ιδιότητες του υλικού και την διάχυση ενέργειας που προκαλείται από διάφορες ατέλειες αυτού στο επίπεδο του μικρόκοσμου. Τέτοιες ατέλειες είναι συνήθως τα όρια των σωματιδίων (grain boundaries), οι προσμίξεις στο υλικό, τα δινορεύματα σε φερομαγνητικά υλικά καθώς και το θερμοελαστικό φαινόμενο που προκαλείται από θερμοκρασιακές διαφορές που προκύπτουν ανομοιόμορφες πιέσεις.

Κατασκευαστικές αποσβέσεις στις αρθρώσεις και τις διεπαφές των κατασκευών: Είναι αποτέλεσμα της διάχυσης ενέργειας που προκαλείται από την τριβή λόγω της σχετικής κίνησης μεταξύ των κομματιών και της πρόσκρουσης ή της διακεκομμένης επαφής στις αρθρώσεις των κατασκευών.

Υδραυλικές αποσβέσεις: Δημιουργούνται από την διάχυση μηχανικής ενέργειας που προκύπτει από την αλληλεπίδραση δυνάμεων μεταξύ μιας κατασκευής ή υλικών αυτής, και ενός υγρού με το οποίο έρχονται σε επαφή.

Σε περίπτωση που το μέγεθος της απόσβεσης του συστήματος που προέρχεται από τους παραπάνω εσωτερικούς παράγοντες της κατασκευής δεν επαρκούν για της ανάγκες της εφαρμογής μας, υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης εξωτερικών συστημάτων απόσβεσης στο αρχικό σύστημα.

Τα εξωτερικά συστήματα απόσβεσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες τους παθητικούς και τους ενεργητικούς αποσβεστήρες. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο είναι η κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, οι ενεργητικοί αποσβεστήρες χρησιμοποιούν εξωτερική πηγή ενέργειας για να πετύχουν τα επιθυμητά επίπεδα απόσβεσης, ενώ οι παθητικοί το πετυχαίνουν χωρίς την χρήση αντίστοιχης ενεργειακής πηγής.

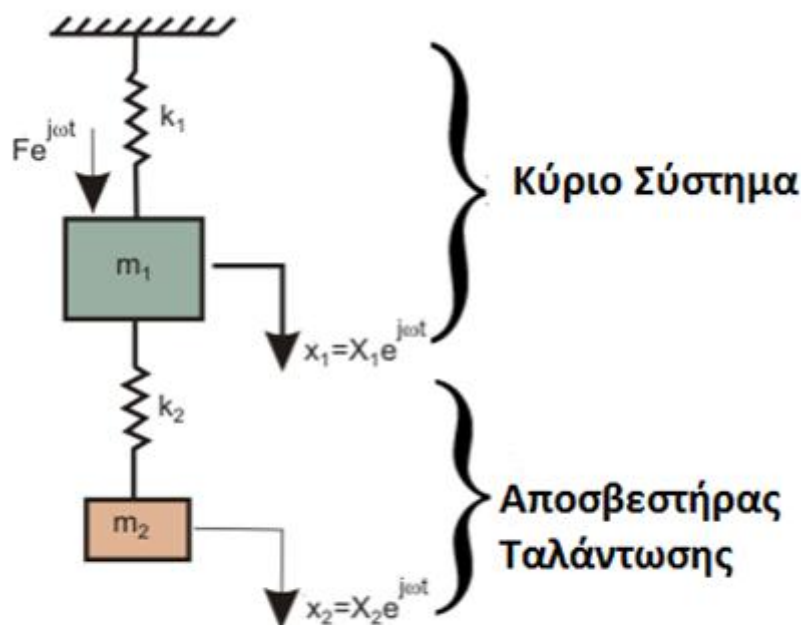
### 1.3.2: ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ

Η ανάγκη απόσβεσης των ταλαντωτικών φαινομένων οδήγησε, όπως προαναφέρθηκε, στην αναζήτηση τρόπων για την αύξηση της απόσβεσης ορισμένων μηχανολογικών συστημάτων. Η προσπάθεια ρύθμισης της απόσβεσης μέσω της μεταβολής των δομικών ή κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του συστήματος είναι συνήθως αρκετά χρονοβόρα και μη αποδοτική από άποψη κόστους.

Μια από τις προτεινόμενες και ευρύτερα χρησιμοποιούμενες λύσεις είναι η χρήση των δυναμικών αποσβεστήρων (dynamic vibration absorbers ή tuned mass dampers).

Ο δυναμικός αποσβεστήρας (ΔΑ) είναι ένα παθητικό εξωτερικό σύστημα απόσβεσης και προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Έτσι, επειδή ακριβώς ο ΔΑ είναι εξωτερικό σύστημα απόσβεσης, δεν είναι αναγκαία η επανατοποθέτηση του αρχικού συστήματος, μειώνοντας έτσι το κόστος της εγκατάστασης, επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του ΔΑ μπορούν να αναλυθούν σε συνθήκες εργαστηρίου κάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο προβλέψιμη την συμπεριφορά του.

Ένας δυναμικός αποσβεστήρας, στην απλή του μορφή, είναι ένα σύστημα μάζας-ελατηρίου που προσαρμόζεται σε ένα πρωτεύον σύστημα μάζας-ελατηρίου, ώστε να αποσβέσει την ταλάντωση αυτού (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: σύστημα 1 βαθμού ελευθερίας με δυναμικό αποσβεστήρα

Ο δυναμικός αποσβεστήρας ανακαλύφθηκε το 1909 από τον Hermann Frahm (US Patent #989958, του 1911) και από τότε χρησιμοποιείται στην απόσβεση ταλαντώσεων που προκαλούνται από τον άνεμο και τη σεισμική

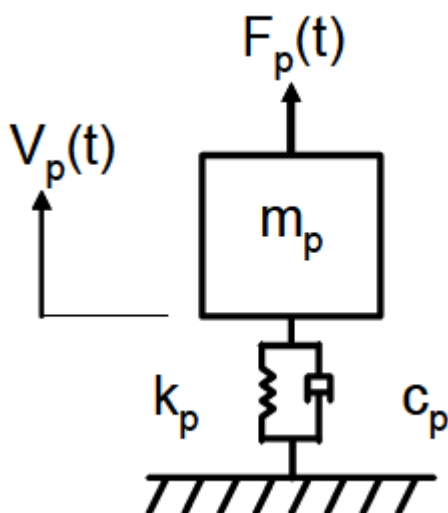
δραστηριότητα. Στην βιομηχανία η κύρια χρήση του είναι η απόσβεση ταλαντωτικών φαινομένων συντονισμού στις μηχανές.

### 1.3.2.1: ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ ΕΝΟΣ ΒΑΘΜΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Θα εξετάσουμε την εφαρμογή ενός ΔΑ σε ένα σύστημα όπως αυτό περιγράφεται από το σχήμα 1.4. Η αντίσταση του κυρίως συστήματος  $Z_p$  προσδιορίζεται ως ο λόγος της ασκούμενης σε αυτό διεγείρουσας δύναμης  $F_p$  και της ταχύτητας  $u_p$  της κύριας μάζας, δηλαδή

$$Z_p = F_p / u_p = c_p + i * (\omega * m_p - k_p / \omega) \quad (1.5)$$

Όπου,  $c_p$ : η απόσβεση  
 $k_p$ : η σταθερά του ελατηρίου  
 $\omega$ : η συχνότητα της  $F_p$  σε rad/sec  
 $m_p$ : η μάζα του κυρίως συστήματος  
 $i$ :  $i = \sqrt{-1}$



σχήμα 1.4 σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας που διεγείρεται από δύναμη  $F_p$

Τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος περιγράφονται με τη βοήθεια δύο παραμέτρων: της φυσικής συχνότητας  $\omega_n$  και του συντελεστή απόσβεσης  $\xi$ . Τα δύο αυτά μεγέθη περιγράφονται από τις εξισώσεις:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_p}{m_p}} \quad (1.6)$$

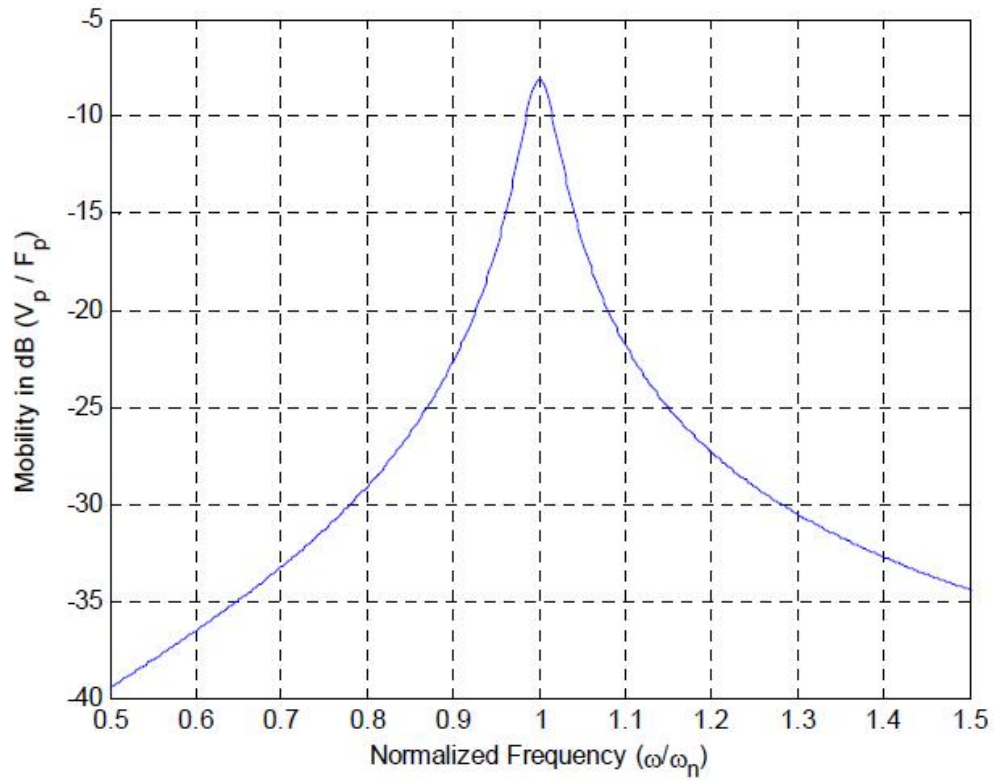
$$\xi = \frac{c_p}{2 * \sqrt{k_p * m_p}} \quad (1.7)$$

Τέλος, έχουμε την κινητικότητα του συστήματος

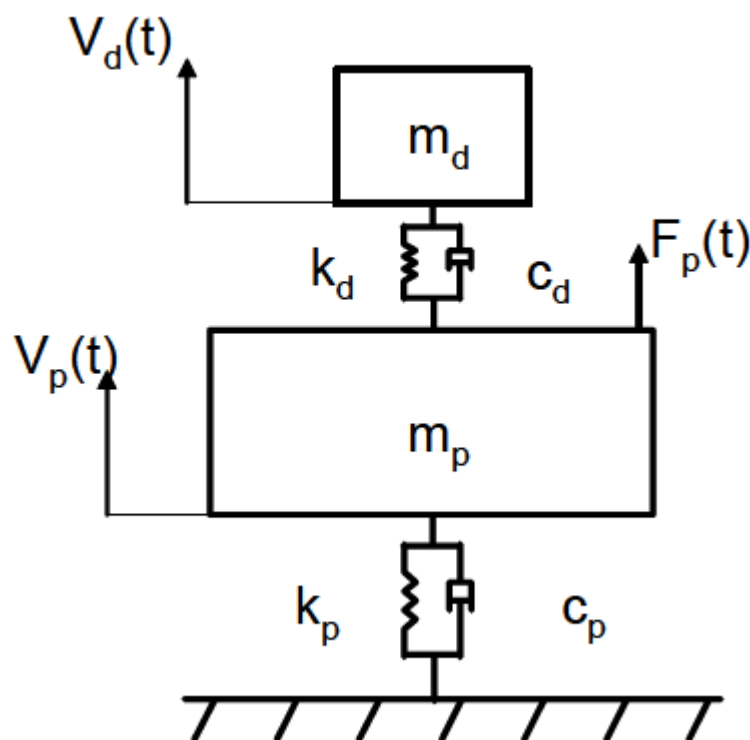
$$\gamma_p = \frac{1}{Z_p} = \frac{u_p}{F_p} \quad (1.8)$$

Η κινητικότητα του συστήματος συναρτήσει της κανονικοποιημένης συχνότητας  $\omega/\omega_n$  φαίνεται στο σχήμα 1.5. Σε αυτό θεωρούμε  $\omega_n=100\text{Hz}$  και  $\xi=0,02$ .

Εύκολα μπορούμε να μοντελοποιήσουμε το σύστημα με χρήση  $\Delta A$ , απλά προσθέτοντας ένα όμοιο σύστημα στο αρχικό (σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.5:  $Y_p=f(\omega/\omega_n)$ , όπου  $Y_p$  σε dB



Σχήμα 1.6: Σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας με ΔΑ.

Η αντίσταση του ΔΑ δίνεται από την εξίσωση

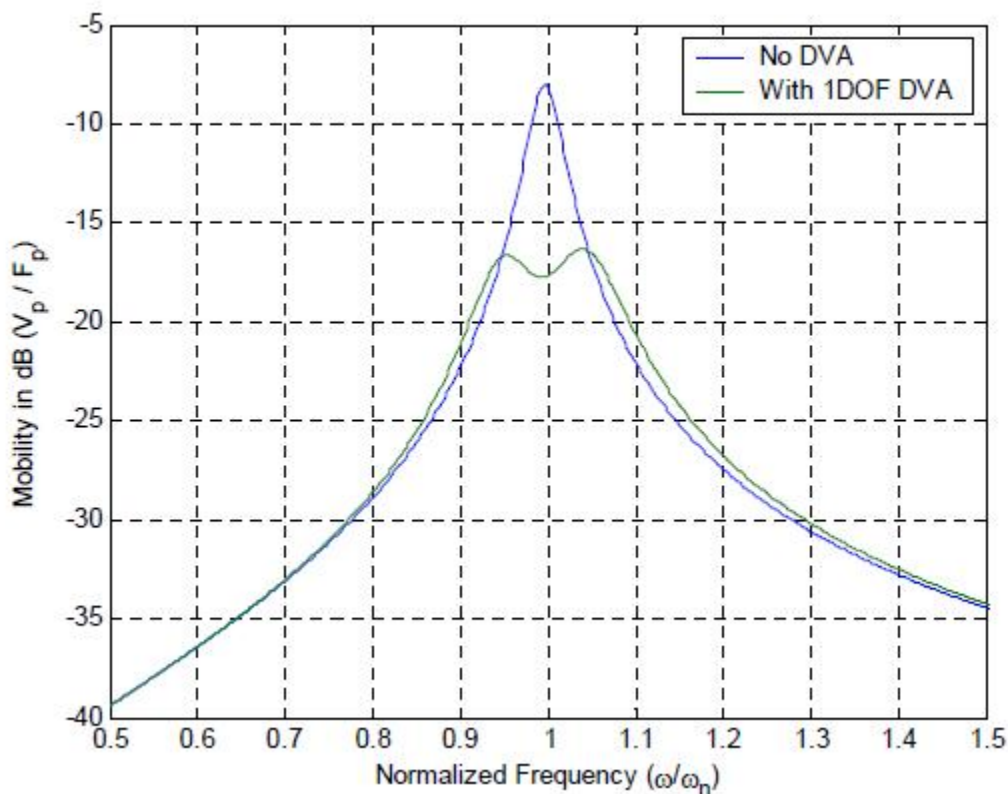
$$Z_d = \frac{m_d * k_d + i * \omega * m_d * c_d}{c_d + i * (\omega * m_d - \frac{k_d}{\omega})} \quad (1.9)$$

Έτσι, η συνολική αντίσταση  $Z_{sys}$  του συστήματος δίνεται από τη σχέση

$$Z_{sys} = Z_p + Z_d = c_p + i * (\omega * m_p - \frac{k_p}{\omega}) + \frac{m_d * k_d + i * \omega * m_d * c_d}{c_d + i * (\omega * m_d - \frac{k_d}{\omega})} \quad (1.10)$$

Από την εξίσωση (1.10) μπορούμε να δούμε πως ρύθμιση της συχνότητας λειτουργίας του ΔΑ σε συχνότητα ίση με τη συχνότητα συντονισμού του κυρίως συστήματος οδηγεί σε αύξηση της  $Z_{sys}$ .

Στο σχήμα 1.7 βλέπουμε την συνάρτηση  $Y_p = f(\omega/\omega_n)$  όταν στο αρχικό σύστημα έχει προστεθεί ο ΔΑ. Βλέπουμε πως σε σχέση με πριν έχουμε πια δύο συχνότητες συντονισμού, μια μεγαλύτερη και μια μικρότερη της αρχικής.



Σχήμα 1.7:  $Y_p=f(\omega/\omega_n)$  με και χωρίς τη χρήση ΔΑ.

Η αντίδραση του συστήματος όταν σε αυτό χρησιμοποιείται δυναμικός αποσβεστήρας μπορεί να μεταβληθεί μέσω τριών παραγόντων: του συντελεστή μάζας, τη συχνότητα λειτουργίας και την απόσβεση του ΔΑ.

Με τη μεταβολή της μάζας του ΔΑ μπορούμε να καθορίσουμε το διαχωρισμό των δύο νέων συχνοτήτων συντονισμού. Αύξηση της μάζας οδηγεί σε μεγαλύτερο διαχωρισμό μεταξύ των συχνοτήτων και κατά συνέπεια σε περεταίρω απομάκρυνση από την συχνότητα συντονισμού του αρχικού συστήματος. Έτσι, τα φαινόμενα συντονισμού ατονούν. Βέβαια, η μάζα του ΔΑ δεν μπορεί να αυξάνεται σε μεγάλες τιμές λόγω του πρόσθετου βάρους που προστίθεται στο αρχικό σύστημα.

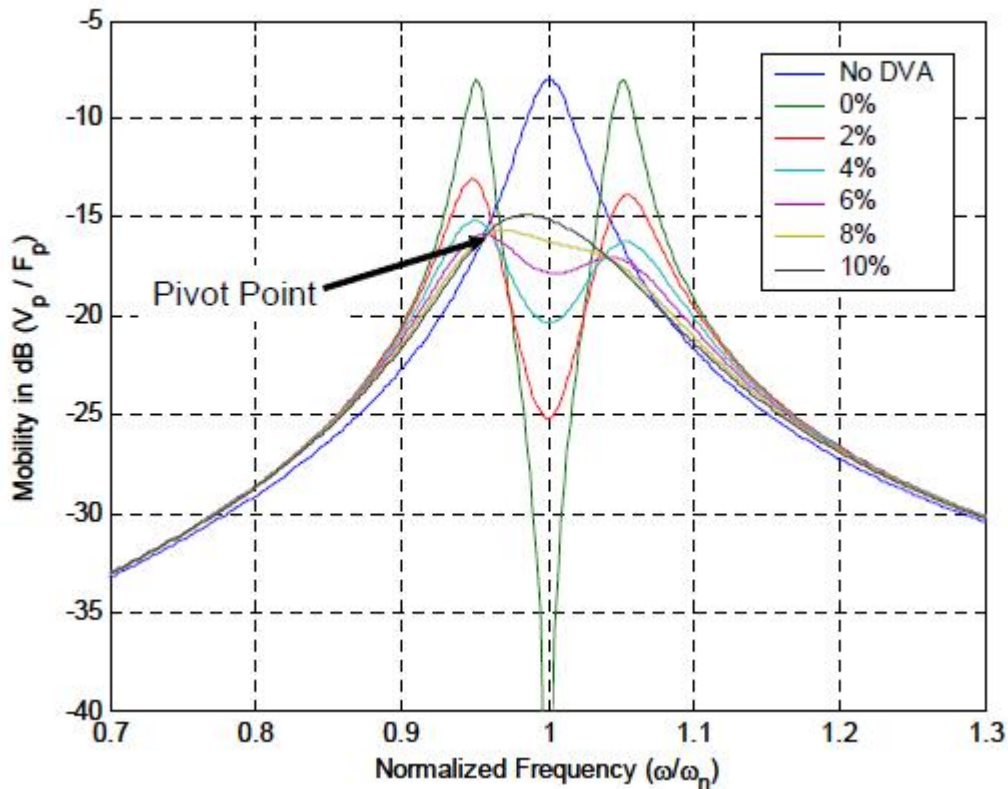
Η συχνότητα λειτουργίας του ΔΑ μεταβάλλεται επίσης ώστε να πετύχουμε βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Αν θεωρήσουμε δεδομένη τη μάζα  $m_d$  σταθερά  $k_d$  συνήθως μεταβάλλεται ώστε να πετύχουμε συχνότητα λειτουργίας του ΔΑ ίση με την  $f_n$ . Βέβαια η ιδανική συχνότητα λειτουργίας του ΔΑ δεν είναι πάντα ίση με την  $f_n$  αλλά καθορίζεται από τη σχέση

$$f_{opt} = \frac{1}{1+\mu} * f_n \quad (1.11)$$

Όπου,  $\mu$ : ο συντελεστής  $m_d/m_p$ .

Βέβαια, για πολύ μικρό  $\mu$  αυτό θεωρείται  $\mu=0$  και στοχεύουμε σε συχνότητα  $f_d=f_p$ .

Τέλος, είναι πολύ σημαντικό το μέγεθος της απόσβεσης  $\xi$  του δυναμικού αποσβεστήρα. Για μικρό  $\xi$  αυτό που πετυχαίνουμε είναι ένας μικρός μόνο διαχωρισμός των κορυφών των δύο νέων συχνοτήτων συντονισμού, οι οποίες μάλιστα είναι πολύ κοντά στην αρχική συχνότητα συντονισμού. Βέβαια, πολύ μεγάλες τιμές του  $\xi$  οδηγούν σε σχέση άμεσης αναλογίας μεταξύ της μάζας  $m_d$  και της  $Z_{sys}$  (βλέπε εξισώσεις 1.10 και 1.7) κάτι που γενικά δεν είναι επιθυμητό. Στο σχήμα 1.8 φαίνεται η απόκριση του συστήματος για  $\mu=0,01$  και διαφορετικές τιμές της απόσβεσης  $\xi$ .



Σχήμα 1.8:  $Y_p=f(\omega/\omega_n)$  για διαφορετικές τιμές του  $\xi$  και  $\mu=0,01$

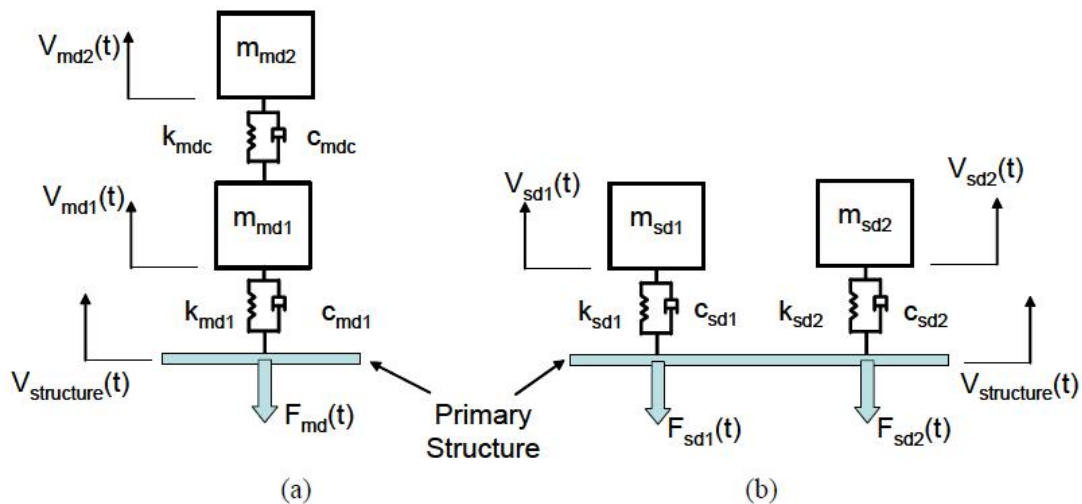
Βλέπουμε πως για  $\xi=0$  έχουμε απλό διαχωρισμό από μία σε δύο συχνότητες συντονισμού, ενώ για αύξηση της τιμής του έχουμε αύξηση της απόσβεσης για να φτάσουμε στην βέλτιστη κατάσταση για  $\xi=6\%(=0,06)$ . Καταλαβαίνουμε πως η κατάσταση αυτή είναι βέλτιστη από το γεγονός πως στο κοινό pivot point των καμπυλών η κορυφή της απόκρισης είναι σχεδόν ευθεία.

Πολλές εξισώσεις έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της τιμής  $\xi_{opt}$  για διαφορετικές εφαρμογές. Στην περίπτωση της τυχαίας ευριζωνικής διέγερσης, με βάση τον Den Hartog η  $\xi_{opt}$  υπολογίζεται από την εξίσωση 1.12:

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{\mu*(1+0,075*\mu)}{4*(1+\mu)^3}} \quad (1.12)$$

### 1.3.2.2: ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΕΣ ΔΥΟ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

Ένας τρόπος βελτίωσης του συμβατικού ΔΑ ενός βαθμού ελευθερίας είναι η χρήση ενός με δύο. Αν επιτευχθεί ο σχεδιασμός του ΔΑ δύο βαθμών ελευθερίας ώστε οι δύο συχνότητες συντονισμού του να συμπίσουν με αυτές του κυρίως συστήματος, τότε ο ΔΑ δύο βαθμών ελευθερίας θα προσφέρει υπηρεσίες αντίστοιχες δύο ΔΑ ενός βαθμού ελευθερίας. Η μορφή των δύο προαναφερθεισών εναλλακτικών παρουσιάζονται στο σχήμα 1.9.

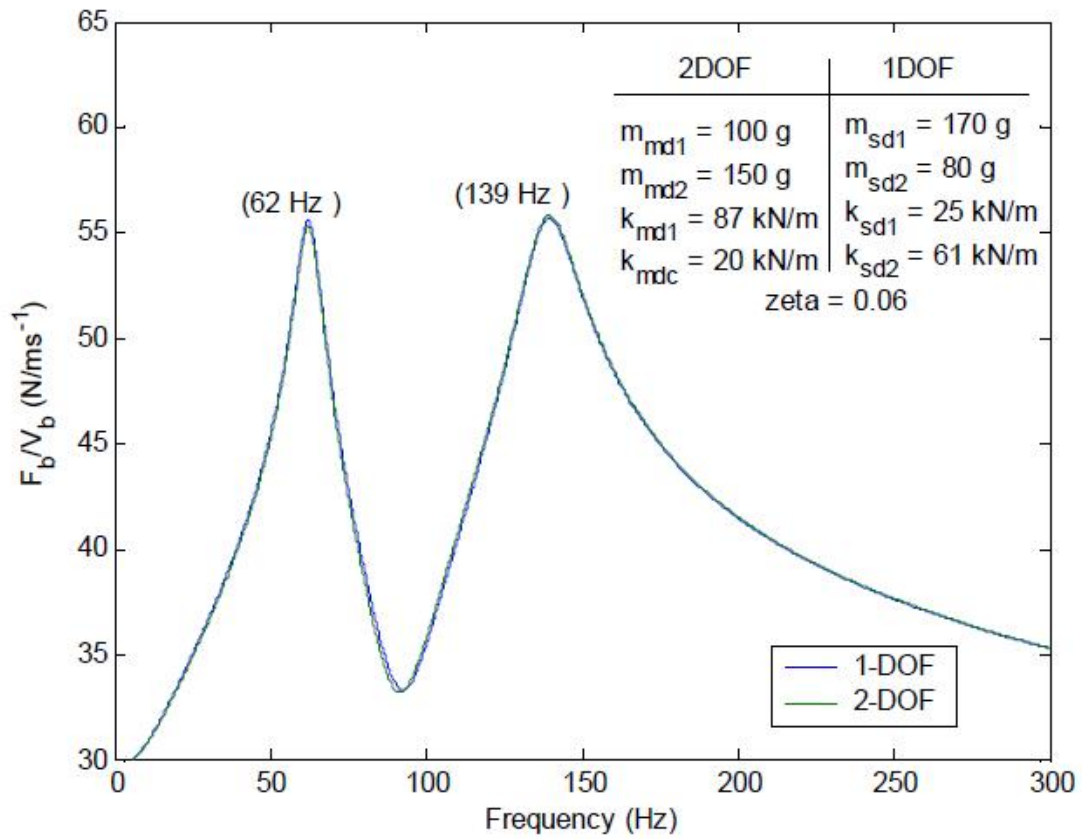


Σχήμα 1.9: α) Δυναμικός αποσβεστήρας δύο βαθμών ελευθερίας  
β) Δύο δυναμικοί αποσβεστήρες ενός βαθμού ελευθερίας που χρησιμοποιούνται από κοινού

Στο σχήμα 1.10 φαίνεται η απόκριση του συστήματος όταν χρησιμοποιείται η μία και η άλλη μέθοδος.

Τελικά καταλήγουμε στο ότι δεν έχουμε κάποιο κέρδος από την χρήση του αποσβεστήρα δύο βαθμών ελευθερίας εν σύγκριση με την χρήση του συνδυασμού δύο αποσβεστήρων ενός βαθμού ελευθερίας.





**Σχήμα 1.10:** Απόκριση συχνότητας ενός συστήματος όταν σε αυτό χρησιμοποιείται ΔΑ δύο βαθμών ελευθερίας (πράσινο) ή σύστημα 2 ΔΑ ενός βαθμού ελευθερίας.

### 1.3.3: ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ ΜΑΖΑΣ - ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ

Για την εξαγωγή των εξισώσεων κίνησης του συστήματος ξεκινούμε με τις εξισώσεις Lagrangeόπου για κάθε βαθμό ελευθερίας ισχύει:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dL}{dx_i} \right) - \frac{dL}{dx_i} = 0 \dots (1.13)$$

Όπου:

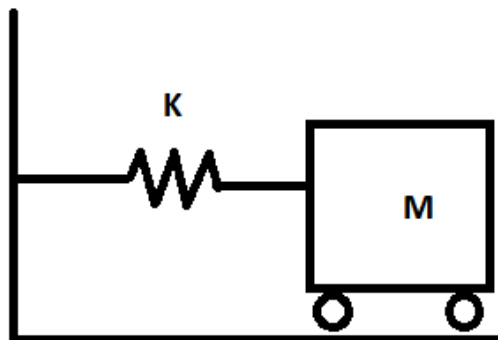
- $x_i$  ο κάθε βαθμός ελευθερίας
- $L$  η συνάρτηση Lagrange, η οποία ορίζεται ως

$$L = T - V \dots (1.14)$$

Όπου:

- $T$  η κινητική ενέργεια όλου του ταλαντώμενου συστήματος
- $V$  η δυναμική του ενέργεια

Για την πλήρη κατανόηση των παραπάνω, παρουσιάζεται μια εφαρμογή αντίστοιχη της δεύτερης κατασκευής.



Σχήμα 1.12 Σύστημα μάζας ελατηρίου

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \dots (1.15)$$

$$V = \frac{1}{2} kx^2 \dots (1.16)$$

Η εξ. (1.14) με βάση τις εξ. (1.15) και (1.16) έχει ως εξής:

$$L = T - V = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 - \frac{1}{2} kx^2$$

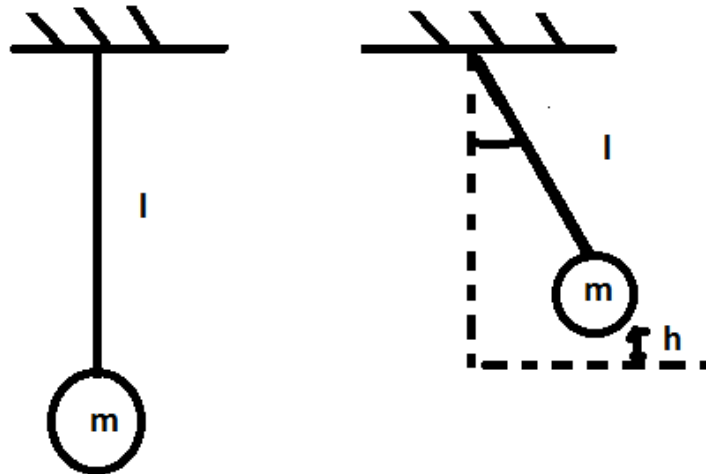
$$\frac{dL}{d\dot{x}} = \frac{1}{2} m (2\dot{x}) = m\dot{x}$$

$$\frac{dL}{dx} = -\frac{1}{2} k (2x) = -kx$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dL}{d\dot{x}} \right) = \frac{d}{dt} (m\dot{x}) = m\ddot{x}$$

Βάση των παραπάνω η (1.13) μας δίνει:

$$m\ddot{x} + kx = 0 \dots (1.17)$$



Σχήμα 1.13 Σύστημα μάζας εκκρεμούς

$$\left. \begin{array}{l} T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \\ \dot{x} = l \dot{\theta} \end{array} \right\} \Rightarrow T = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\theta}^2 \dots (1.18)$$

$$\left. \begin{array}{l} V = mg h \\ h = l - l \cos\theta \end{array} \right\} \Rightarrow V = mg (l - l \cos\theta) \dots (1.19)$$

$L = T - V$  αντικαθιστώντας τις εξ. (1.18) και (1.19) παίρνουμε:

$$L = T - V = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\theta}^2 - mg (l - l \cos\theta)$$

$$\frac{dL}{d\dot{\theta}} = \frac{1}{2} m l^2 (2\dot{\theta}) = m l^2 \dot{\theta}$$

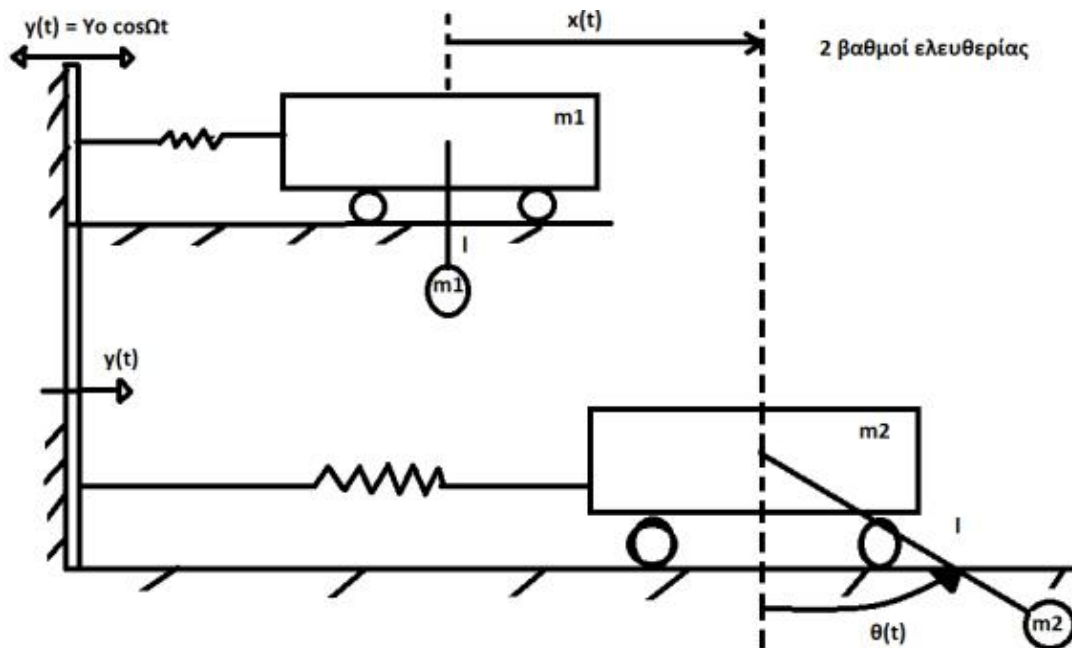
$$\frac{dL}{d\theta} = -mg(l \sin\theta) = -mgl \sin\theta \approx -mgl\theta \quad (\text{για μικρές γωνίες})$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dL}{d\dot{\theta}} \right) = ml^2 \ddot{\theta}$$

Αντικαθιστώντας στην εξ. (1.13) :

$$\Rightarrow ml^2 \ddot{\theta} - (-mgl\theta) = 0$$

$\Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{g}{l} \theta = 0 \dots (1.20)$
---



Σχήμα 1.14 Σύστημα με αποσβεστήρα

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2$$

$$V_1 = \frac{1}{2} k (x-y)^2$$

Η απόλυτη ταχύτητα της  $m_2$  στη  $x$  διεύθυνση (μικρές γωνίες) είναι:

$$U_2 = \dot{x} + l\dot{\theta}$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 (\dot{x} + l\dot{\theta})^2$$

$$V_2 = mg h = mg (l - l \cos\theta)$$

$$T = T_1 + T_2 = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_2 l^2 \dot{\theta}^2 + m_2 l \dot{x}\dot{\theta}$$

$$V = V_1 + V_2 = \frac{1}{2} k (x-y)^2 + mg (l - l \cos\theta)$$

$$L = T - V = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_2 l^2 \dot{\theta}^2 + m_2 l \dot{x}\dot{\theta} - \frac{1}{2} k (x-y)^2 + mg (l - l \cos\theta)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = (m_1 + m_2)\dot{x} + m_2 l\dot{\theta}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = -k(x - y)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) &= \frac{\partial}{\partial t} ((m_1 + m_2)\dot{x} + m_2 l\dot{\theta}) \\ &= (m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l\ddot{\theta} \end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας στην εξ. (1.13):

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l\ddot{\theta} + kx = ky \dots (1.21)$$

ή

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l\ddot{\theta} + kx = k y_0 \cos \Omega t \dots (1.22)$$

$$\frac{dL}{d\dot{\theta}} = m_2 l^2 \dot{\theta} + m_2 l \dot{x}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -m_2 gl \sin \theta = -m_2 gl \theta$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (m_2 l^2 \dot{\theta} + m_2 l \dot{x}) = m_2 l^2 \ddot{\theta} + m_2 l \ddot{x}$$

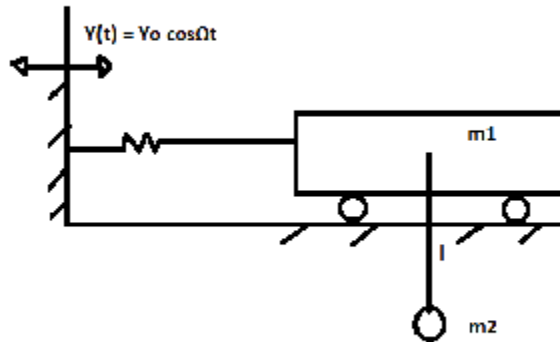
Αντικαθιστώντας πάλι στην εξ. (1.13):

$$m_2 l^2 \ddot{\theta} + m_2 l \ddot{x} + m_2 gl \theta = 0$$

$$l\ddot{\theta} + \ddot{x} + g\theta = 0 \dots (1.23)$$

ή

$$\ddot{\theta} + \frac{1}{l} \ddot{x} + \frac{g}{l} \theta = 0 \dots (1.24)$$



Σχήμα 1.15 Σύστημα με αποσβεστήρα

Από εξ. (1.22) και (1.24):

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l \ddot{\theta} + kx = k y_0 \cos \Omega t$$

$$\ddot{\theta} + \frac{1}{l} \ddot{x} + \frac{g}{l} \theta = 0$$

$$x(t) = A \cos \Omega t, \quad \ddot{x}(t) = -A \Omega^2 \cos \Omega t$$

$$\theta(t) = B \cos \Omega t, \quad \ddot{\theta}(t) = -B \Omega^2 \cos \Omega t$$

$$[-A \Omega^2 (m_1 + m_2) - B \Omega^2 m_2 l + AK] \cos \Omega t = k Y_0 \Rightarrow$$

$$\left[ -B \Omega^2 - \frac{1}{l} A \Omega^2 + \frac{g}{l} B \right] \cos \Omega t = 0$$

$$[-\Omega^2 (m_1 + m_2) + k] A - m_2 \Omega^2 l B = k Y_0 \dots (1.25)$$

$$-\Omega^2 \frac{1}{l} A + \left( \frac{g}{l} - \Omega^2 \right) B = 0 \dots (1.26)$$

Από εξ. (1.26) λύνοντας ως προς B προκύπτει:

$$B = \frac{\Omega^2/l}{\frac{g}{l} - \Omega^2} A \dots (1.27)$$

Αντικαθιστώντας στην εξ. (1.25) την εξ. (1.27) προκύπτει:

$$[-\Omega^2(m_1 + m_2) + k] A - m_2 \Omega^2 l \frac{\frac{\Omega^2}{l}}{\frac{g}{l} - \Omega^2} A = kY_0$$

$$\left\{ \left( \frac{g}{l} - \Omega^2 \right) [-\Omega^2(m_1 + m_2) + k] - m_2 \Omega^4 \right\} A = kY_0 \left( \frac{g}{l} - \Omega^2 \right)$$

Λύνοντας ως προς A προκύπτει:

$$A = \frac{kY_0 \left( \frac{g}{l} - \Omega^2 \right)}{\left( \frac{g}{l} - \Omega^2 \right) [-\Omega^2(m_1 + m_2) + k] - m_2 \Omega^4} \dots (1.28)$$

Στην συνέχεια αντικαθιστώντας στην εξ. (1.27) την εξ. (1.28) προκύπτει το B:

$$B = \frac{\frac{\Omega^2}{l} kY_0}{\left( \frac{g}{l} - \Omega^2 \right) [-\Omega^2(m_1 + m_2) + k] - m_2 \Omega^4} \dots (1.29)$$

Από την εξ. (1.29) βλέπουμε ότι αν συμπίσει η συχνότητα του εξαναγκασμού  $\Omega$  με το  $\sqrt{\frac{g}{l}}$ , δηλαδή τη φυσική συχνότητα του απλού μαθηματικού εκκρεμούς το πλάτος A του συστήματος (m,k) μηδενίζεται.

Τότε το πλάτος του εκκρεμούς γίνεται:

$$B = -\frac{\Omega^2 \kappa Y_0}{l m_2 \Omega^4}$$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΥΜΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

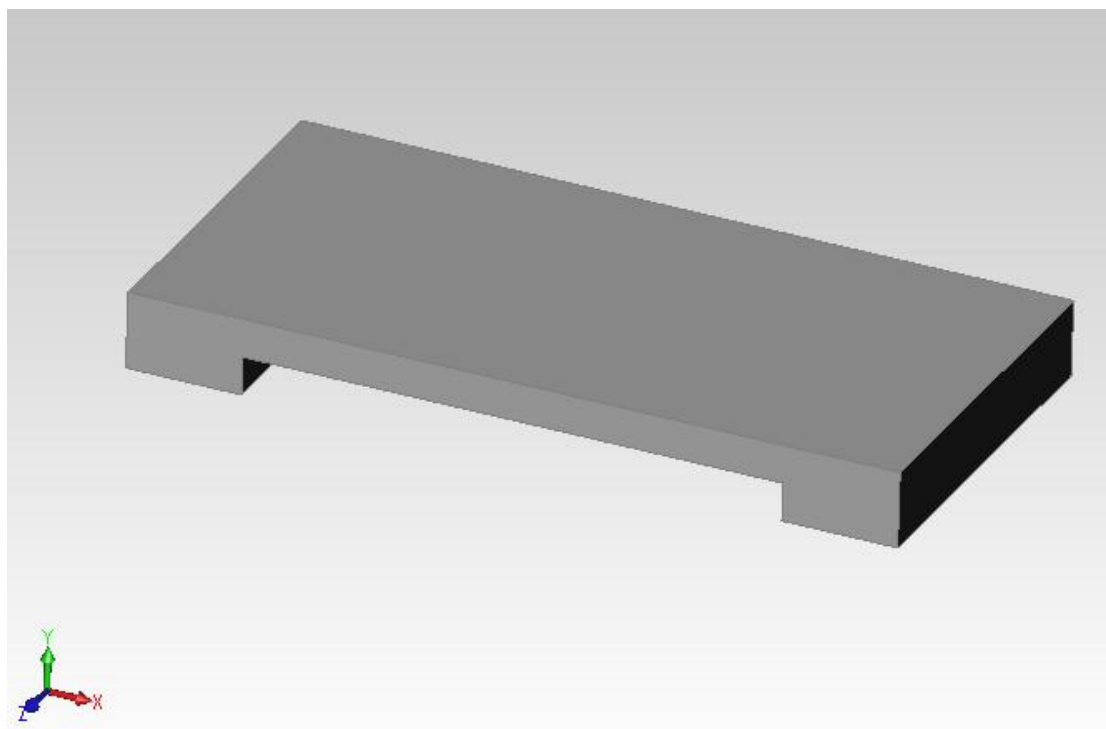
### 2.1 Σχεδίαση αποσβεστήρα μάζας εκκρεμούς

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται σχέδια σε λογισμικό Solidworks από τα τμήματα που αποτελούν την κατασκευή της σεισμικής τράπεζας και συγκεκριμένα τα παρακάτω:

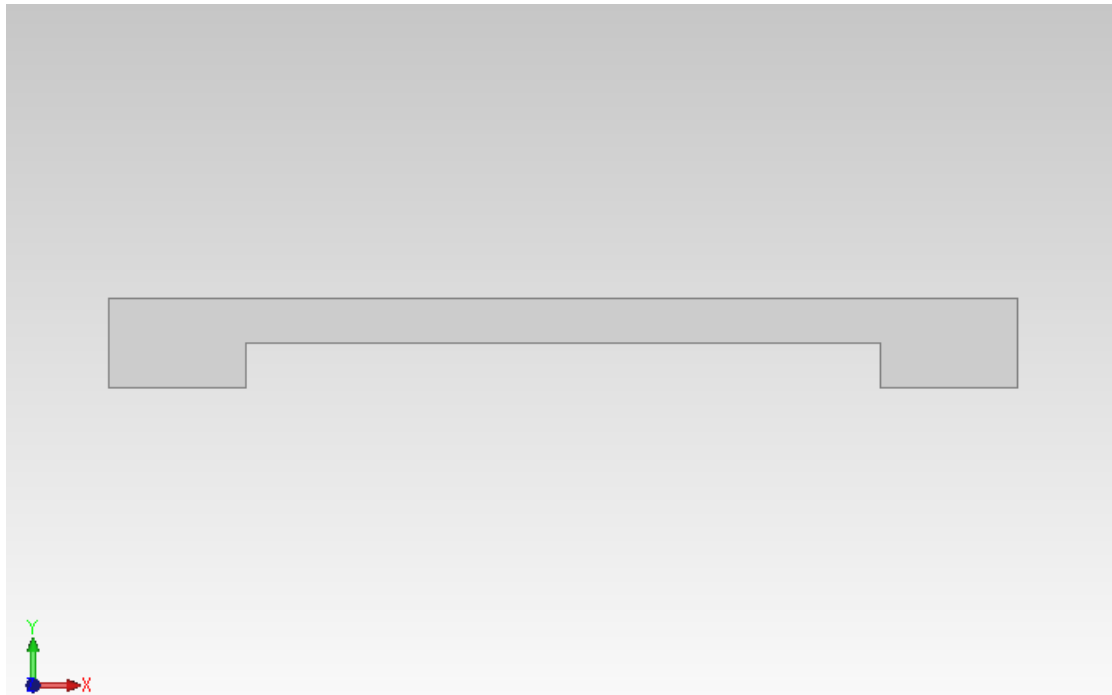
- Η βάση της σεισμικής τράπεζας
- Η πλάκα της σεισμικής τράπεζας η οποία αποτελεί και το κινούμενο μέρος
- Τα ποδαράκια στήριξης των ραγών πάνω στις οποίες γλιστρά η σεισμική πλάκα
- Οι ράγες
- Οι οδηγοί κίνησης της σεισμικής πλάκας
- Το κτίριο που δέχεται την ταλάντωση

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως η κατασκευή αποτελείται από πολλά ακόμα κομμάτια όπως προσδετήρες, ηλεκτρικό κινητήρα, εδράσεις κ.α. τα οποία φαίνονται αναλυτικά στο κατασκευαστικό κομμάτι.

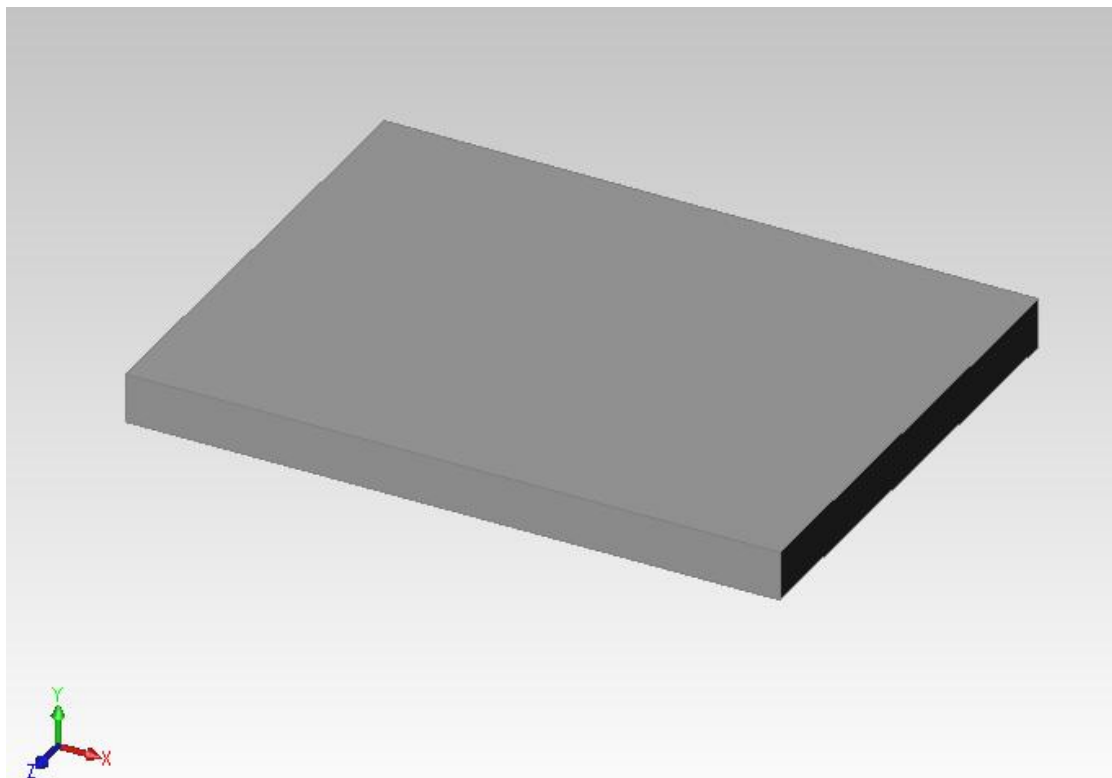
Έτσι:



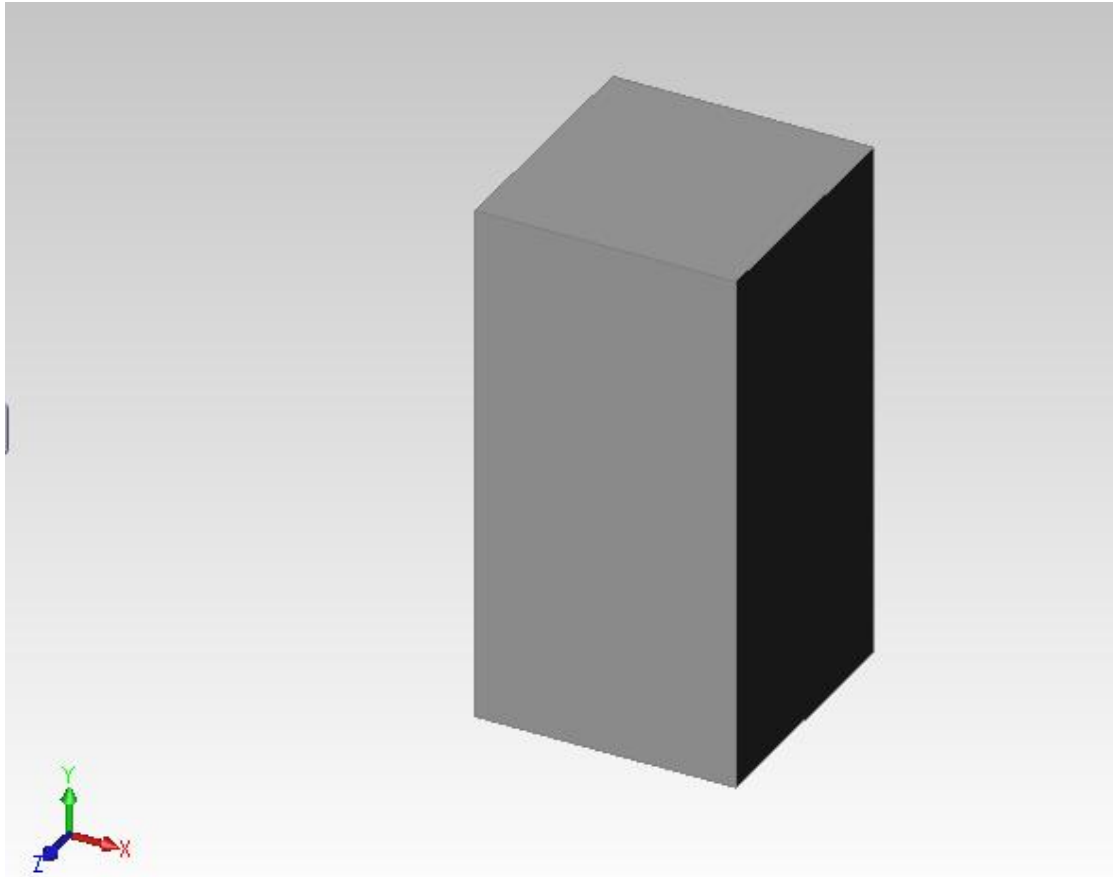
Εικόνα 2.1 Βάση σεισμικής τράπεζας



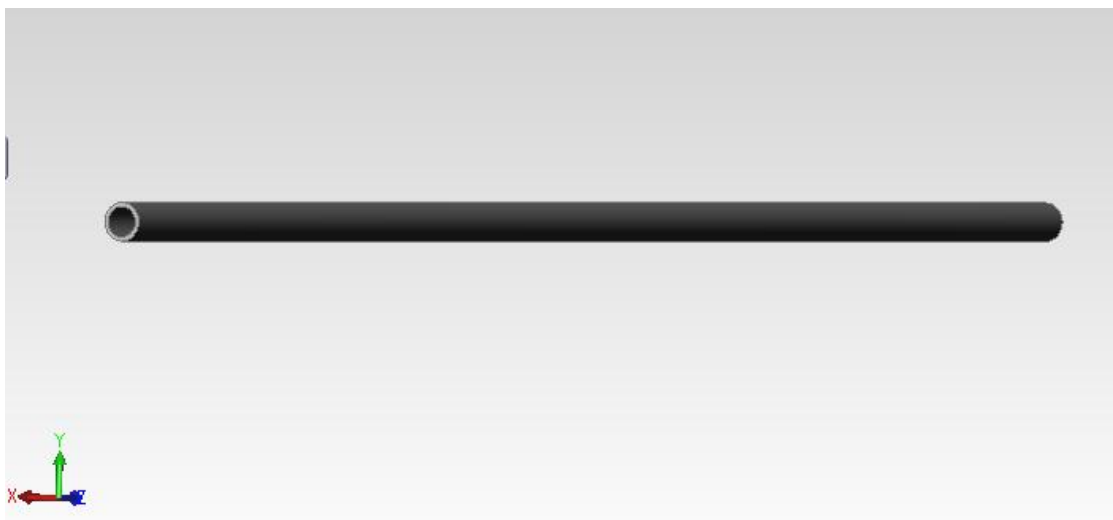
**Εικόνα 2.2** Πλαϊνή όψη βάσης



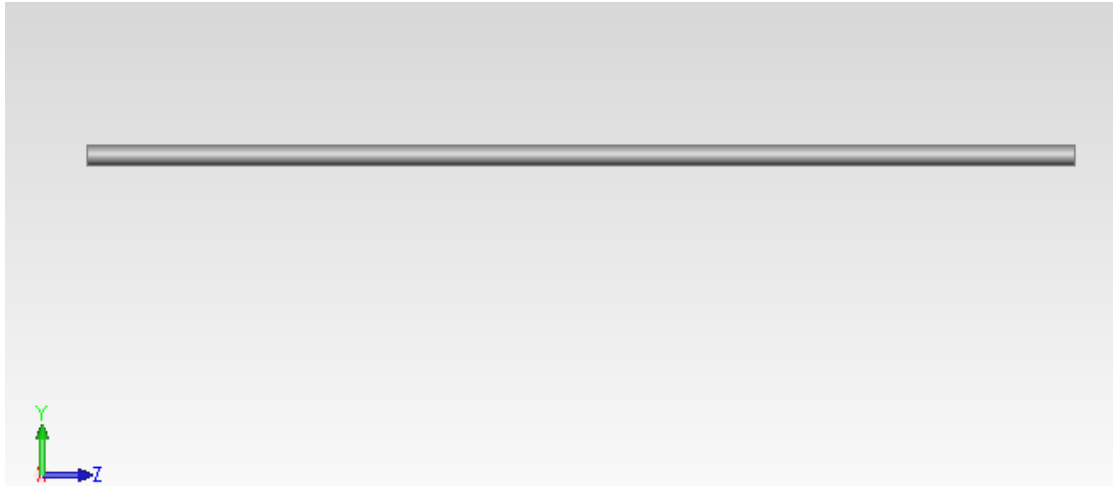
**Εικόνα 2.3** Πλάκα της σεισμικής τράπεζας



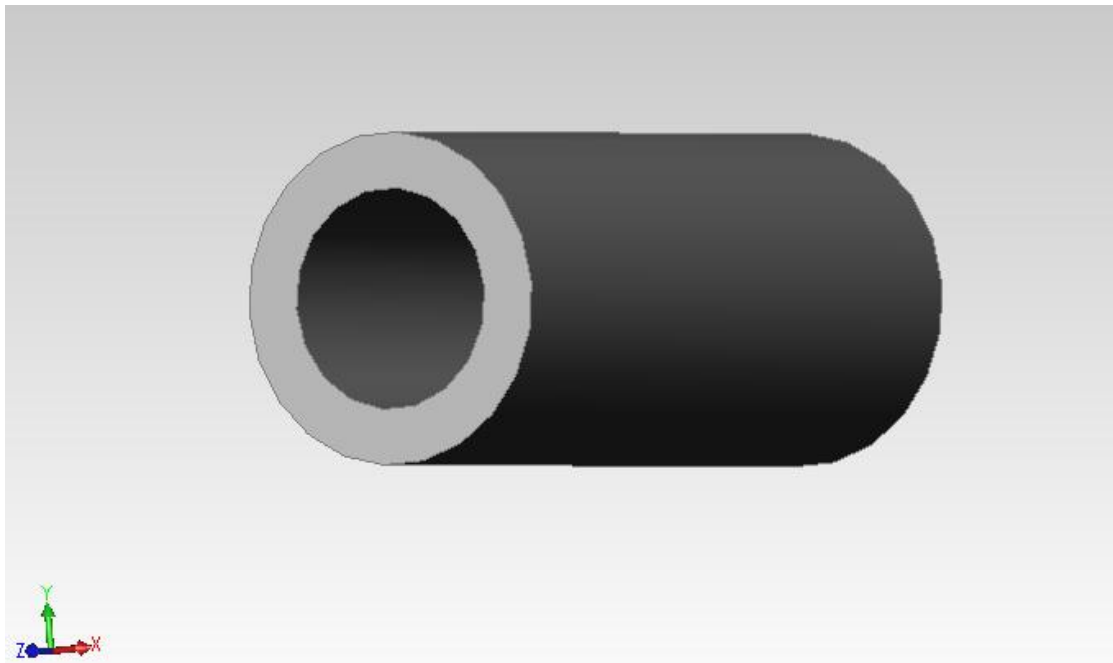
**Εικόνα 2.4**Ποδαράκια στήριξης ραγών (x4)



**Εικόνα 2.5** Ράγα κίνησης σεισμικής πλάκας (x4)



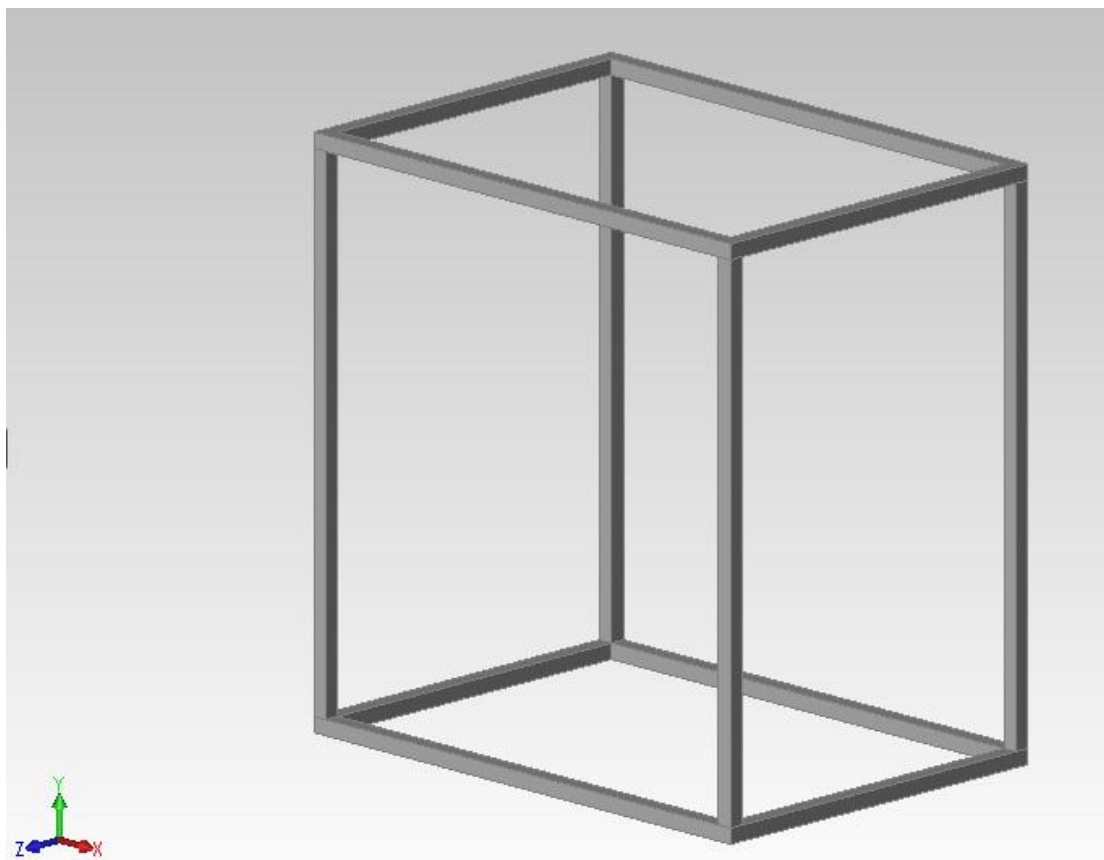
**Εικόνα 2.6** Πλαϊνή όψη ράγας



**Εικόνα 2.7** Οδηγός κίνησης (x4)



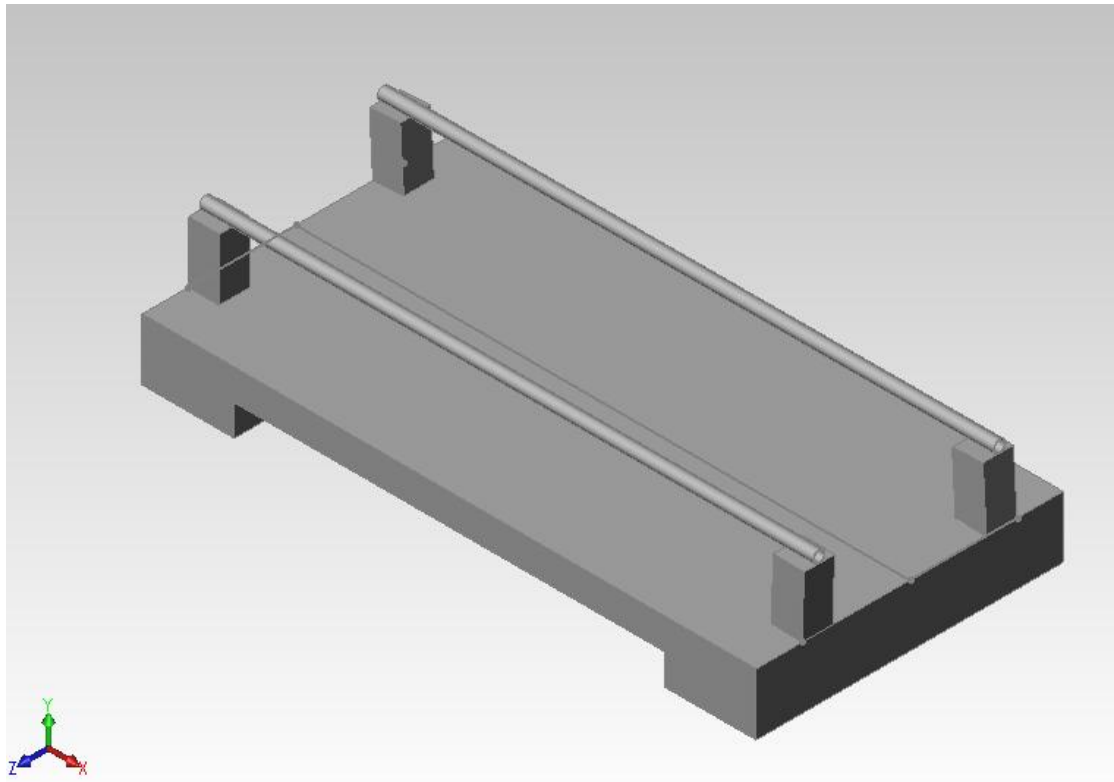
**Εικόνα 2.8** Πλαϊνή όψη οδηγού



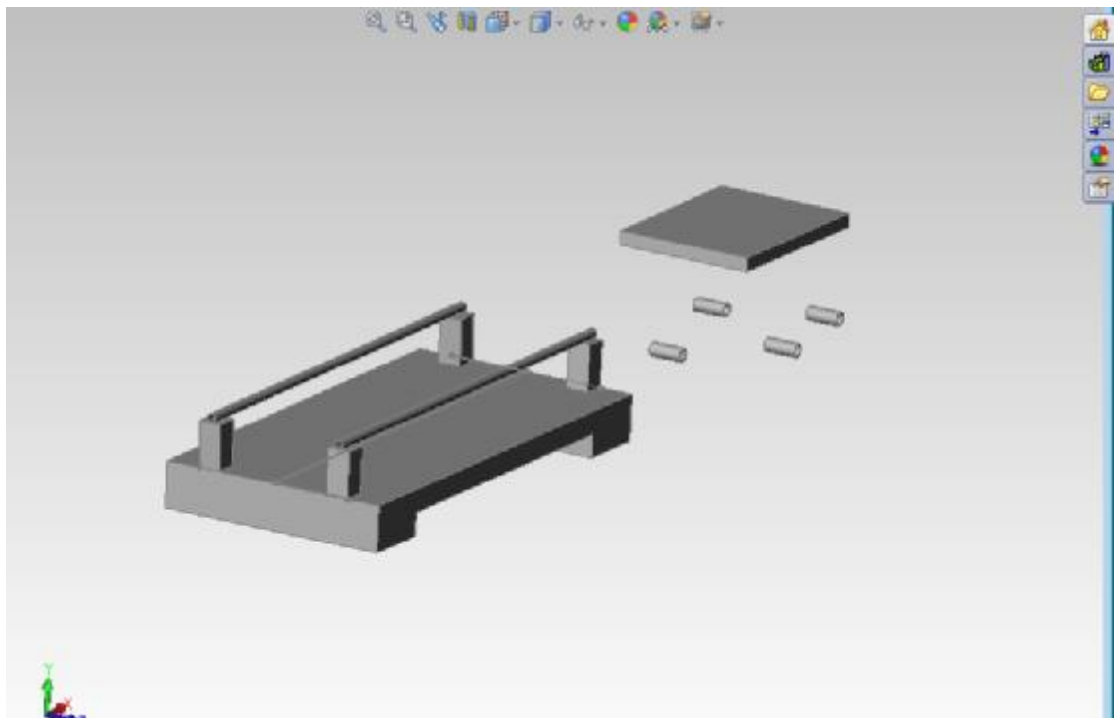
**Εικόνα 2.9** Κτίριο κατασκευής

Τα σχέδια στο solidworks πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την κατανόηση των αναλογιών των μεγεθών μεταξύ των εξαρτημάτων, προκειμένου να προχωρήσω στην κατασκευή με σιγουριά για την αποφυγή τυχόν δυσαναλογιών.

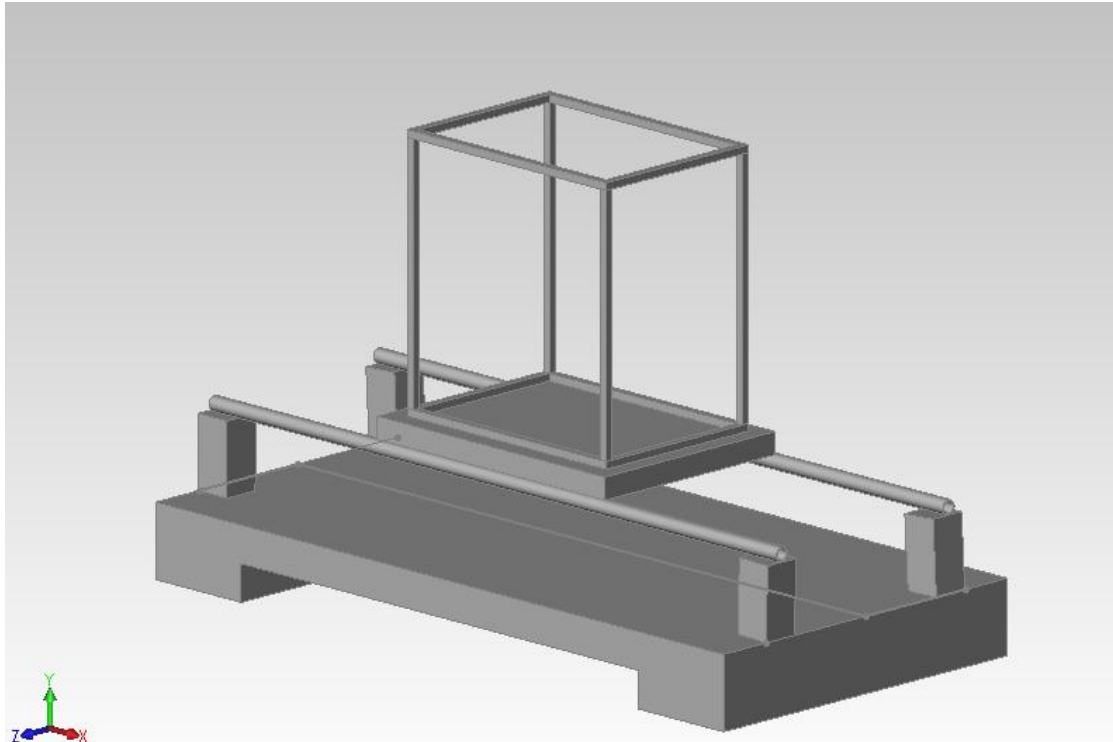
Για τον ίδιο λόγο δημιουργήθηκαν και τα assembly της κατασκευής όπως παρουσιάζονται παρακάτω.



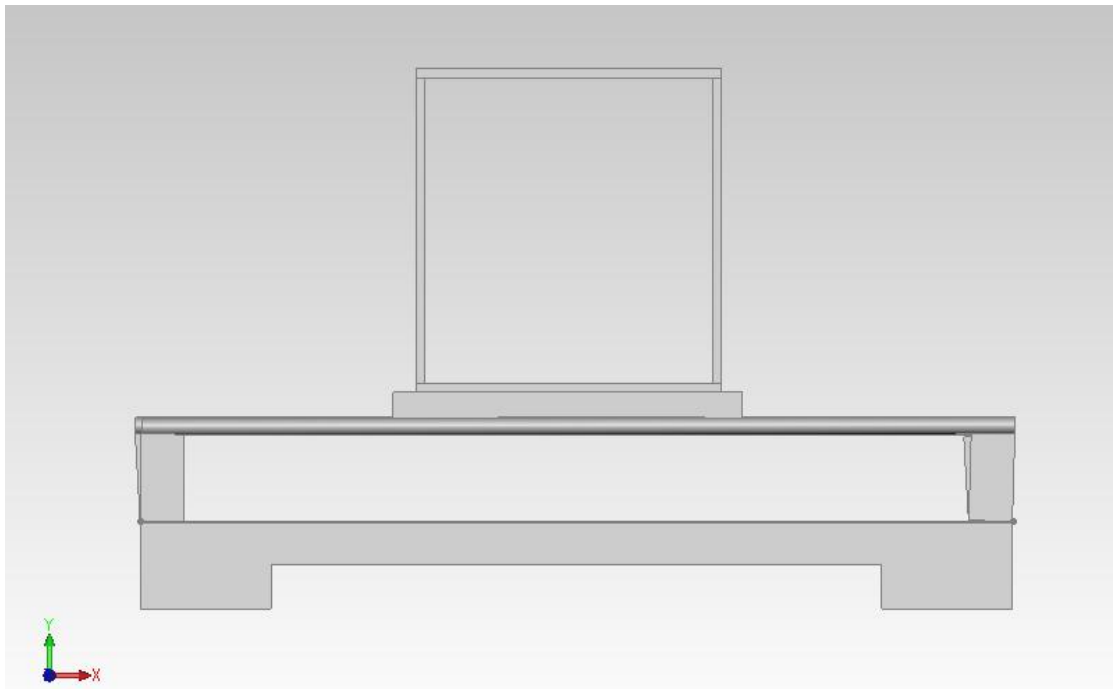
Εικόνα 2.10 Assembly κατασκευής



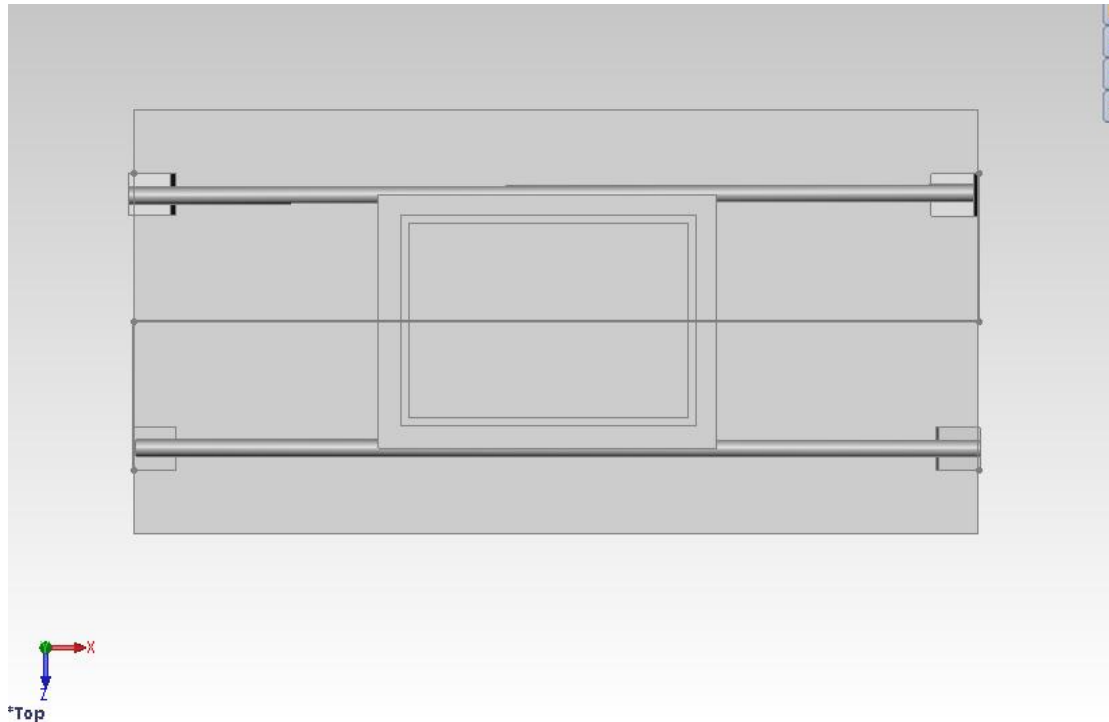
Εικόνα 2.11 Assembly κατασκευής



**Εικόνα 2.12** Τελικό Assembly κατασκευής



**Εικόνα 2.13** Πλάγια όψη Assembly κατασκευής



Εικόνα 2.14 Άνω όψη Assembly κατασκευής

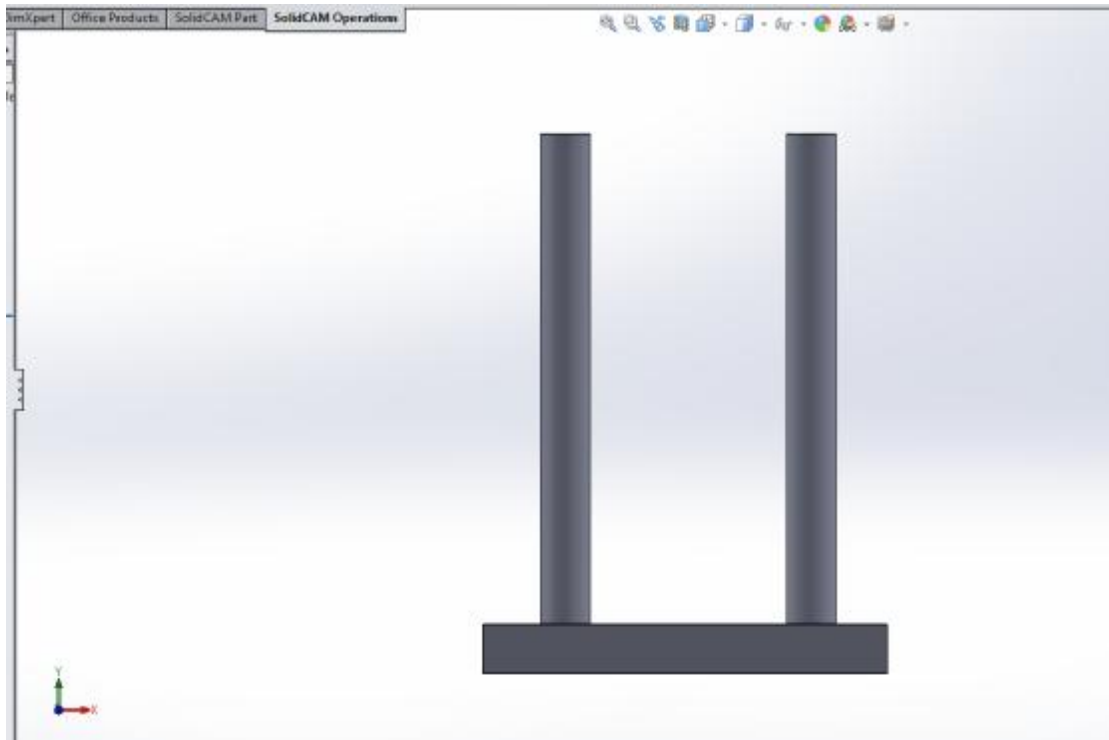
## 2.2 Σχεδίαση αποσβεστήρα μάζας ελατηρίου

Η κατασκευή αυτή αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα.

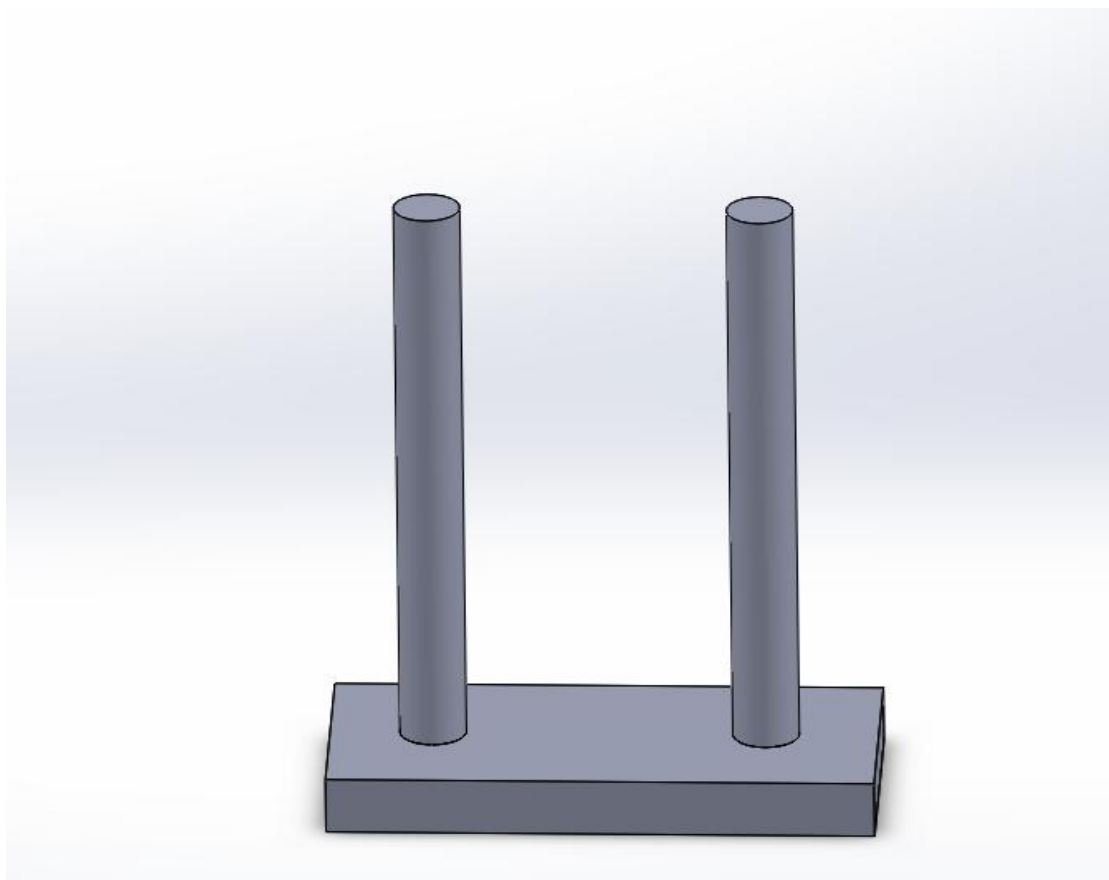
- Βάση της κατασκευής με τους οδηγούς
- 2 ίδια βαρίδια
- 1 μικρότερο βαρίδι
- Ελατήρια (x3)

Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα κομμάτια ένα προς ένα καθώς και το τελικό προϊόν (assembly) τα οποία δημιουργήθηκαν για τον ίδιο σκοπό με την άλλη κατασκευή, δηλαδή την κατανόηση των αναλογιών των μεγεθών μεταξύ των εξαρτημάτων της κατασκευής.

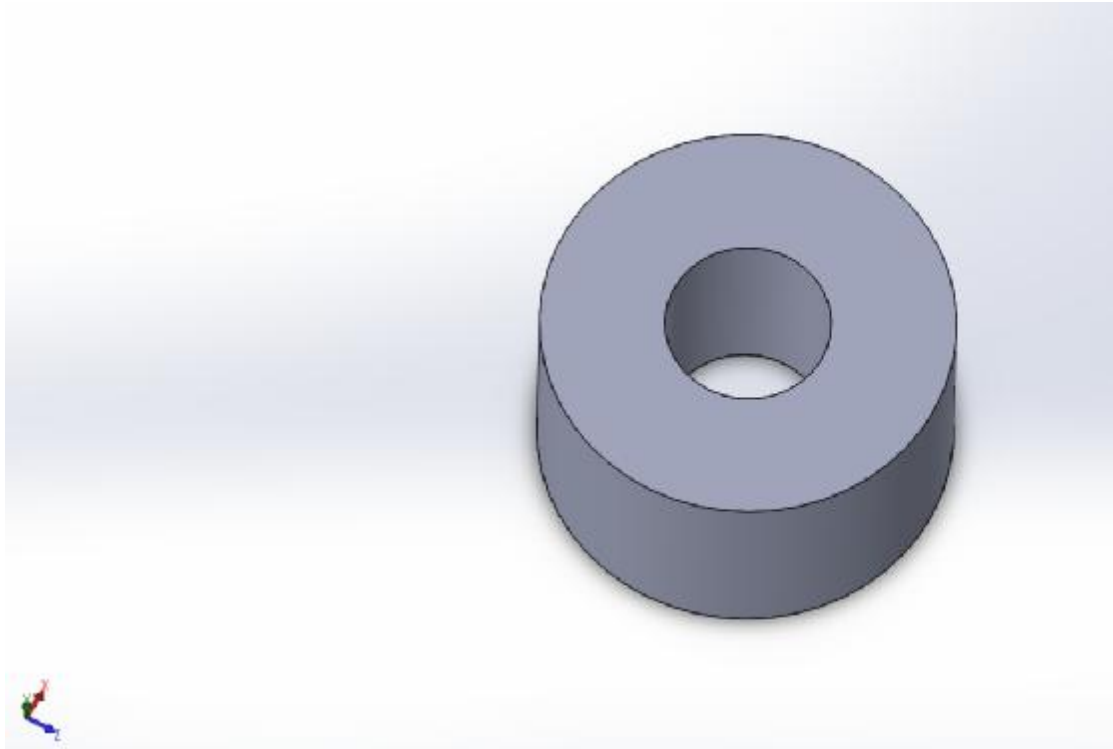




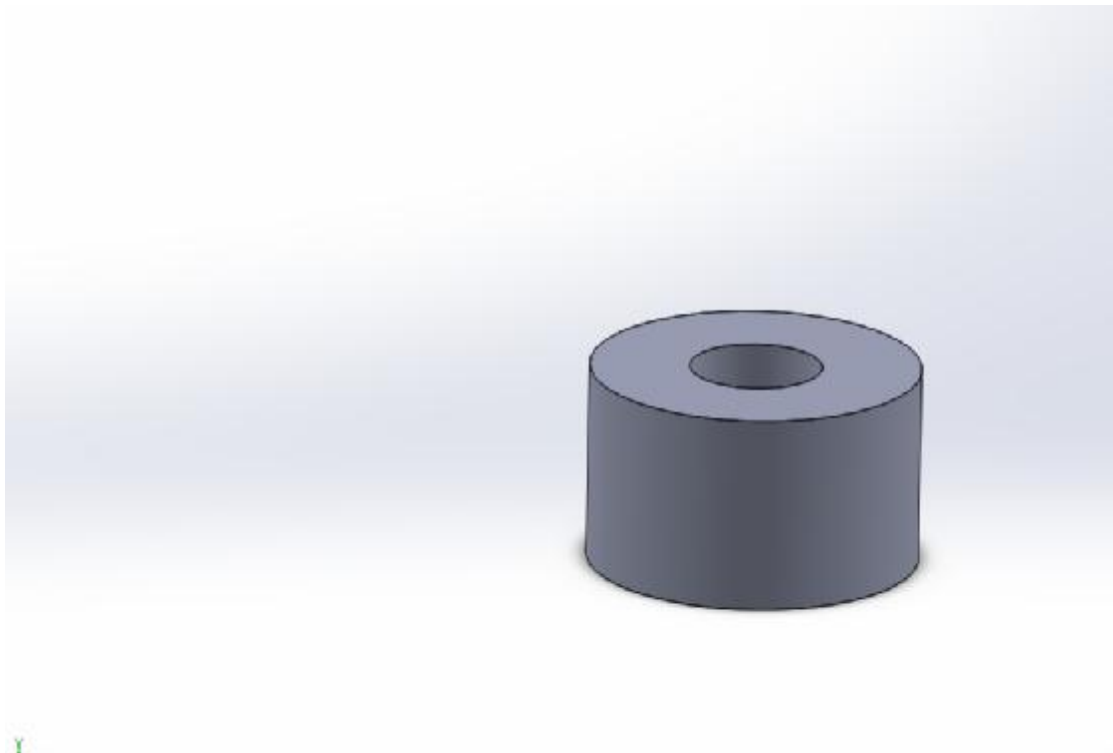
**Εικόνα 2.15**Εμπρόσθια όψη βάσης



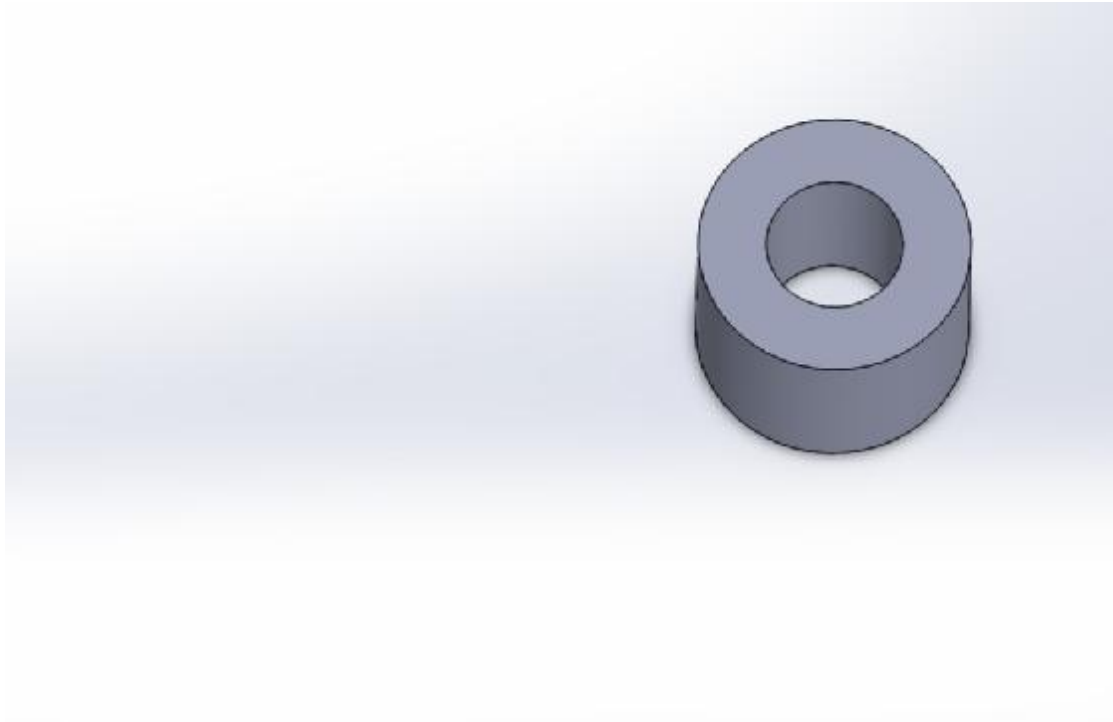
**Εικόνα 2.16** Βάση Κατασκευής



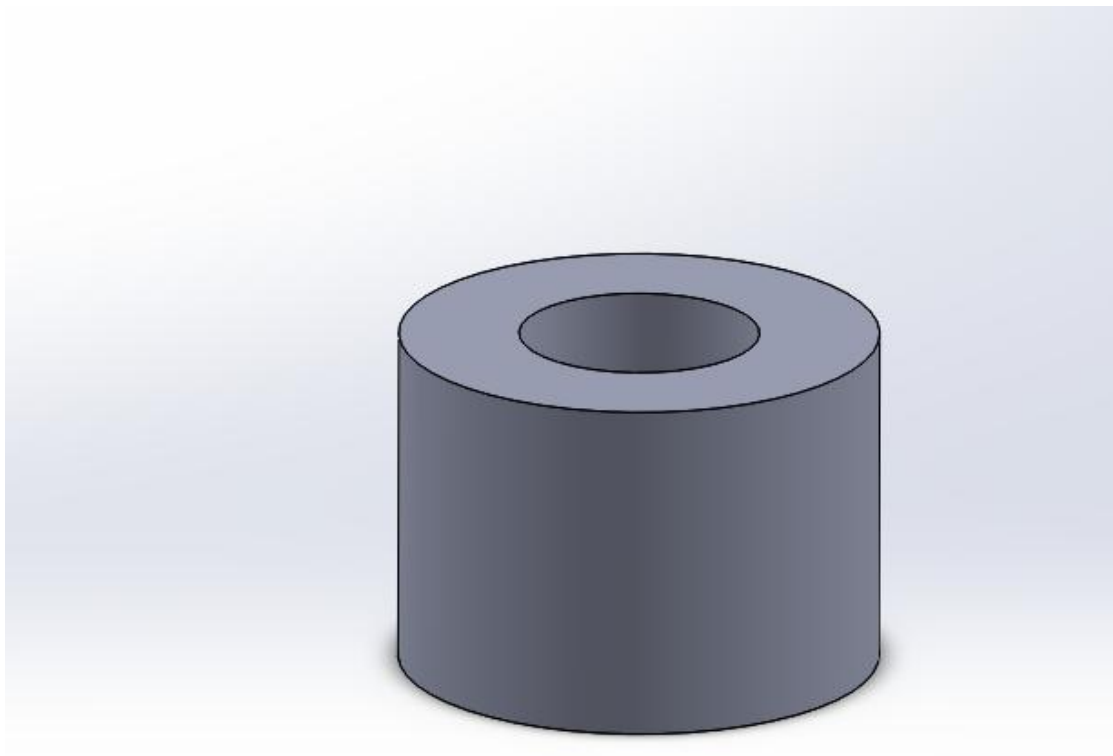
Εικόνα 2.17 Κύριο βαρίδι



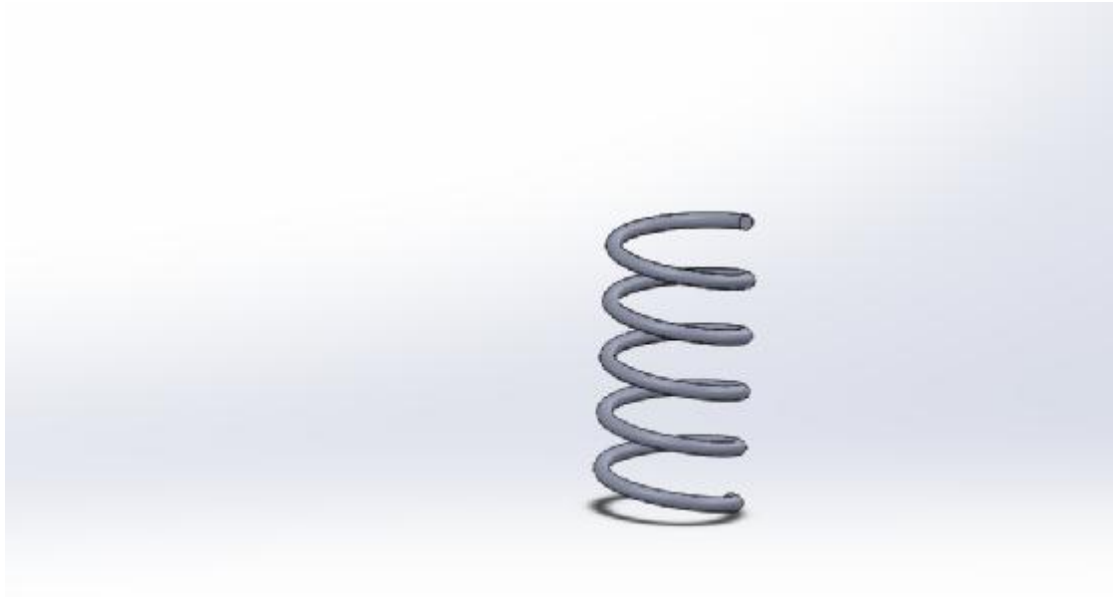
Εικόνα 2.18 Κύριο βαρίδι



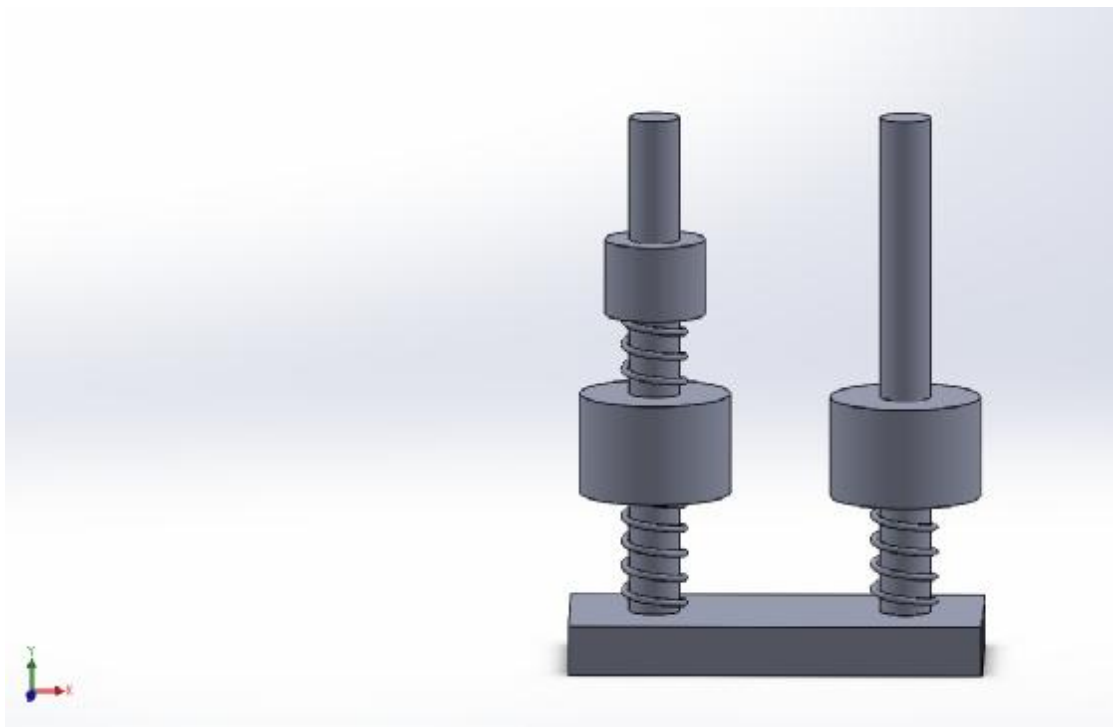
**Εικόνα 2.19** Δευτερεύον βαρίδι



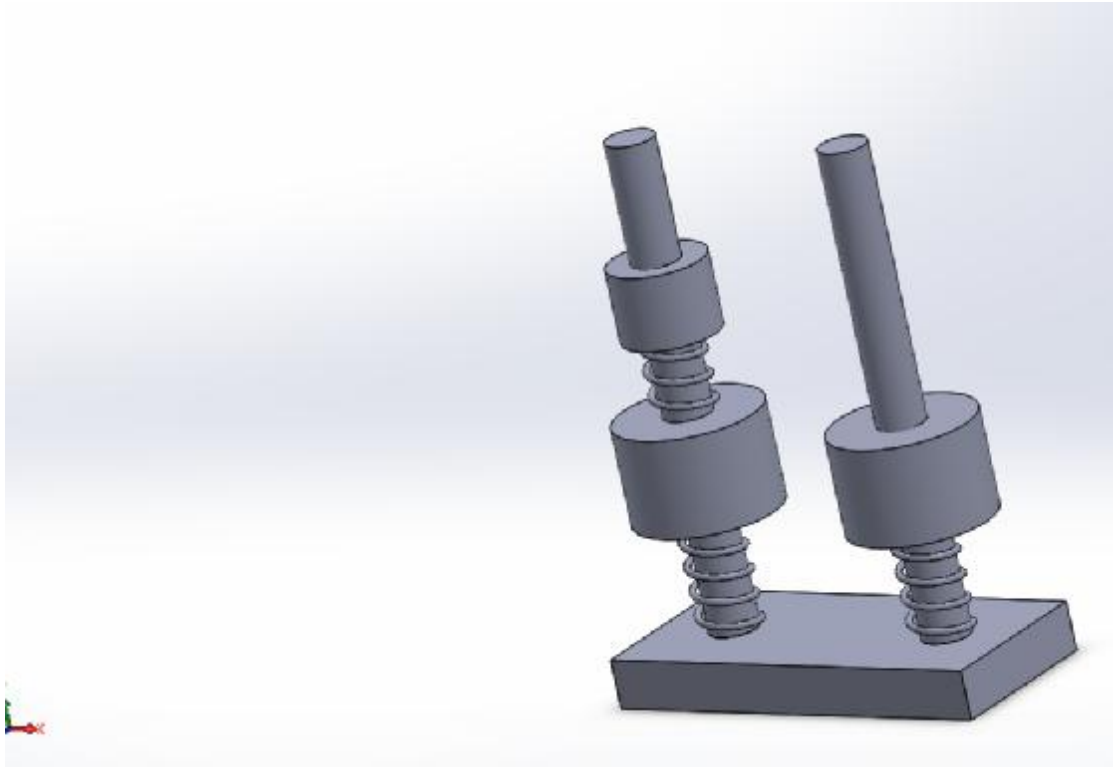
**Εικόνα 2.20** Δευτερεύον βαρίδι



**Εικόνα 2.21** Ελατήριο



**Εικόνα 2.22** Τελικό Assembly



**Εικόνα 2.23** Τελικό Assembly



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAP2000 ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

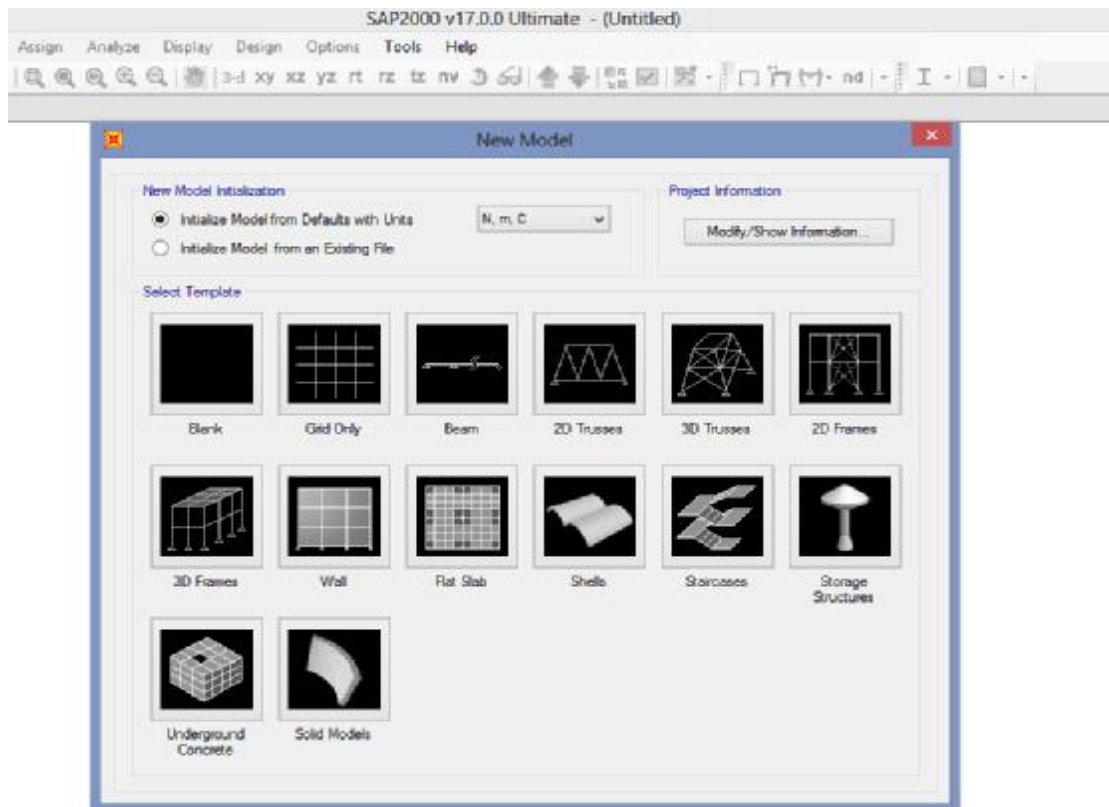
### 3.1 Σχεδιασμός και ανάλυση κτιρίου με χρήση του λογισμικού SAP2000

Στο κομμάτι αυτό της πτυχιακής παρουσιάζεται αναλυτικά η χρήση του λογισμικού SAP2000 για τον υπολογισμό της περιόδου ταλάντωσης (T) του κτιρίου μου προκειμένου μέσω υπολογισμών να καταλήξω στην εύρεση του μήκους (l) σχοινιού του εκκρεμούς ώστε τελικά να καταλήξω σε μια ικανοποιητική απόσβεση της ταλάντωσης.



Εικόνα 3.1 Λογισμικό SAP2000 V17

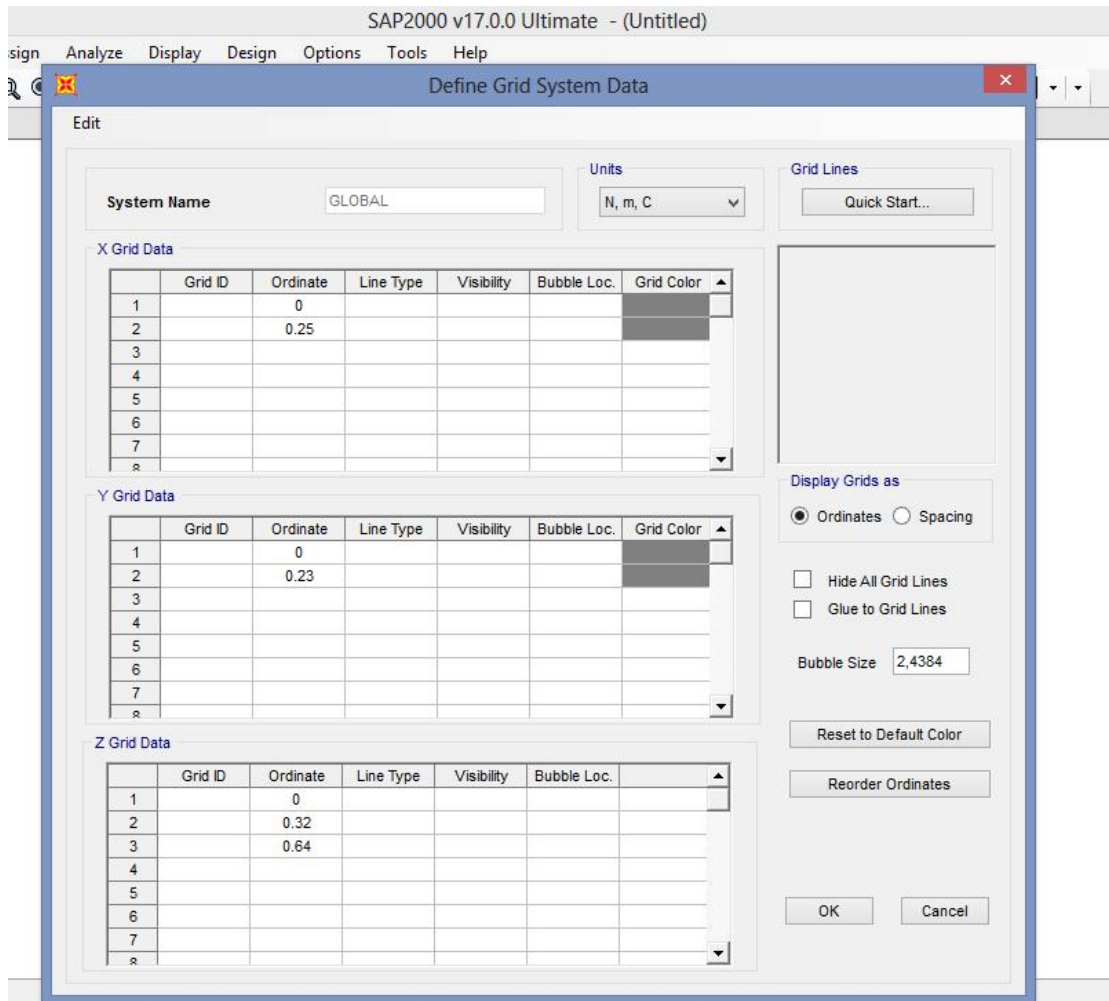
Προκειμένου να δώσω στο πρόγραμμα την μορφή του κτιρίου μου ξεκινώ επιλέγοντας μονάδες, newton, μέτρα (N,m) συγκεκριμένα, και επιλέγω Blank Template δηλαδή ουσιαστικά κενό χώρο ώστε να δώσω στο κτίριο μου την μορφή και διαστάσεις που επιθυμώ.



Εικόνα 3.2 Επιλογή μονάδων

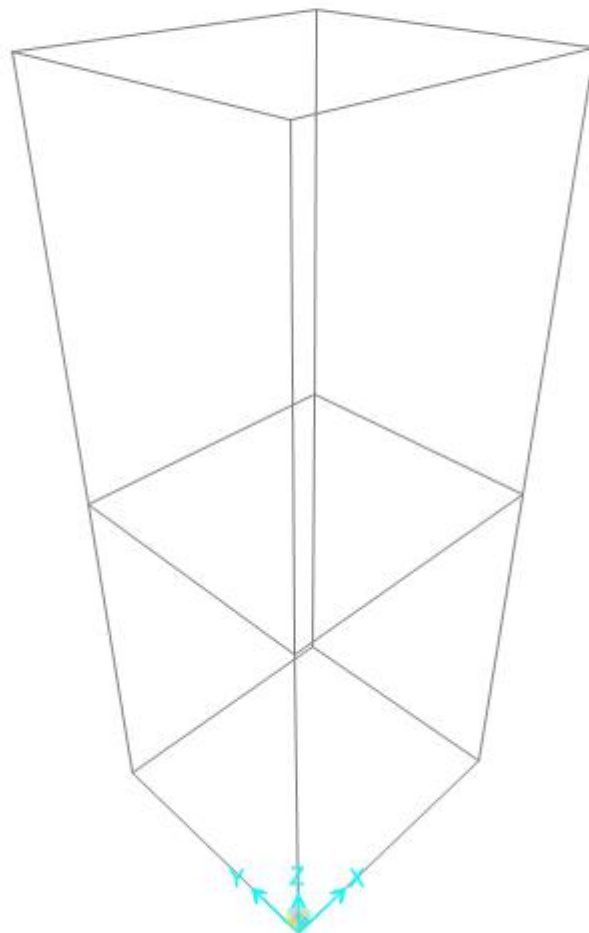
Συνεχίζω δίνοντας τις διαστάσεις του κτιρίου στο πρόγραμμα και συγκεκριμένα 25 X 23 X 32 και 64cm.





Εικόνα 3.3 Διαστασιολόγηση κτιρίου

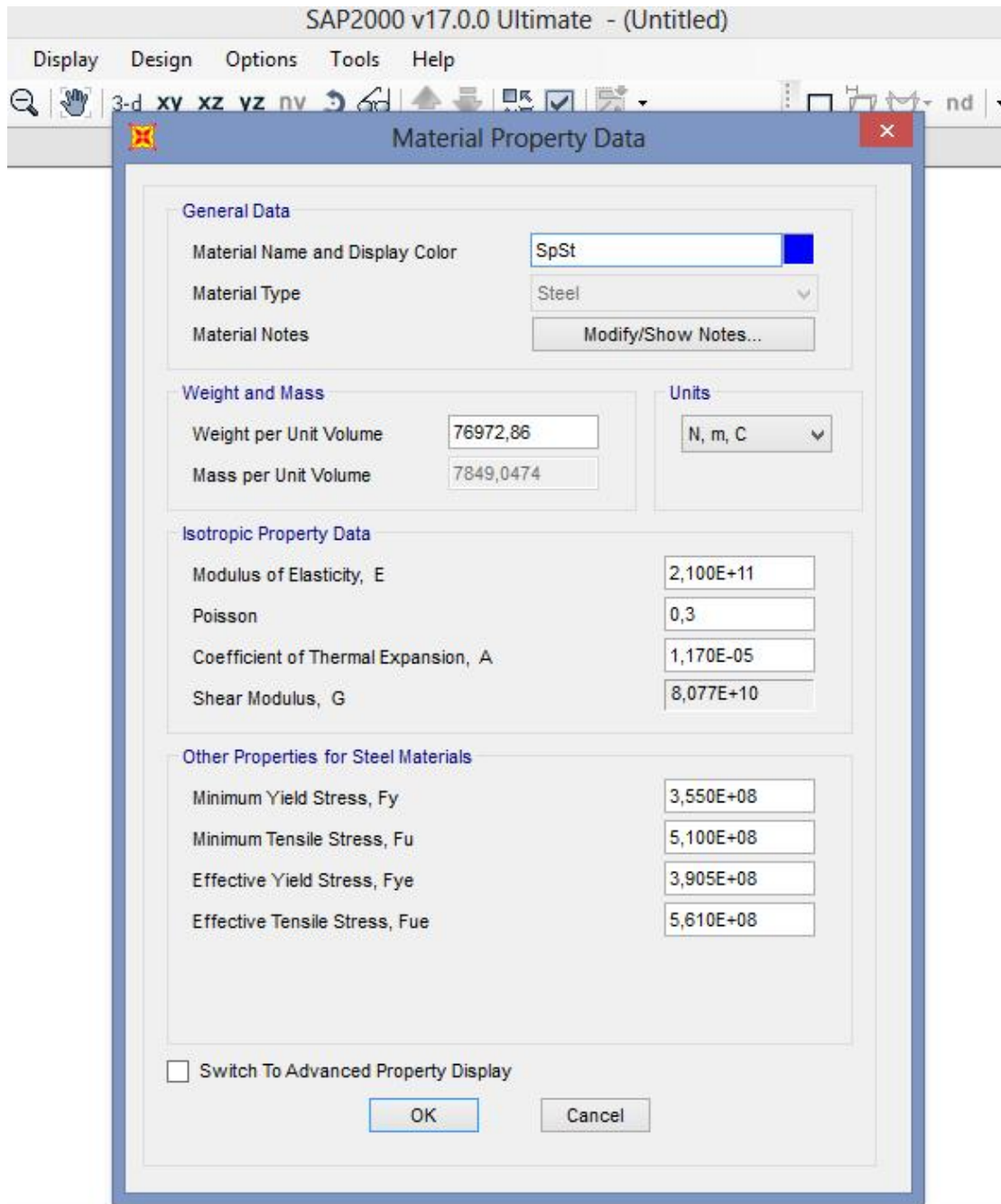
Και έτσι παρουσιάζεται η αρχική μορφή του κτιρίου.



Εικόνα 3.4 Αρχική μορφή κτιρίου

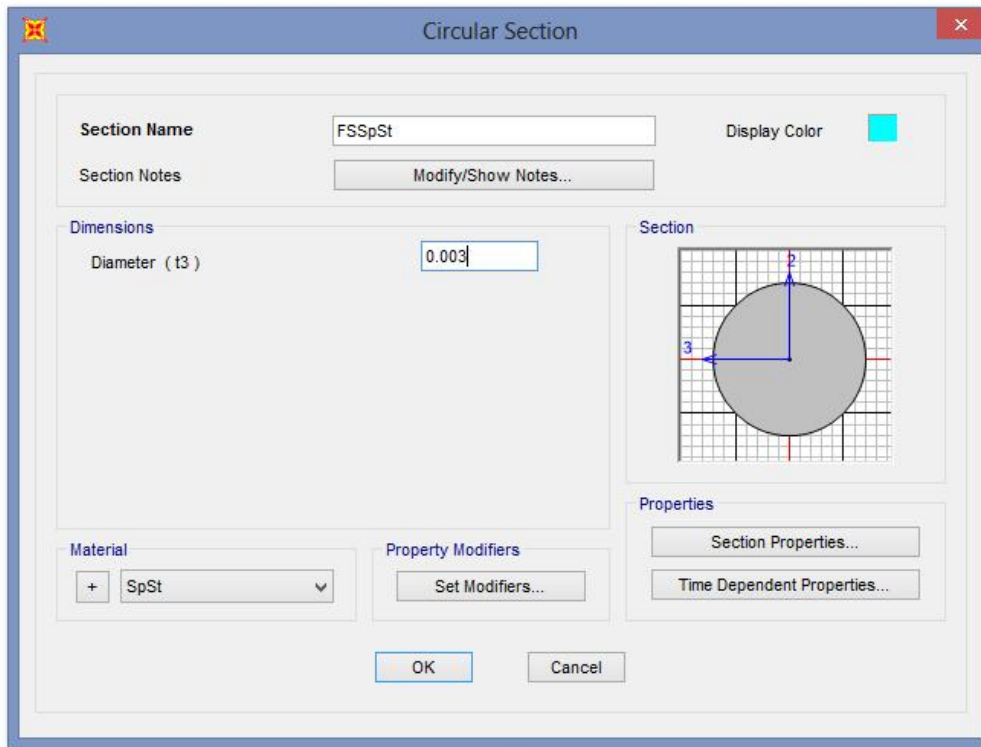
Προχωρώ ορίζοντας το υλικό του κτιρίου το οποίο ονόμασα SpSt με τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

- Ειδικό βάρος ίσο με 76972.86
- Μέτρο ελαστικότητας 2.100E+11
- Λόγος poisson 0.3



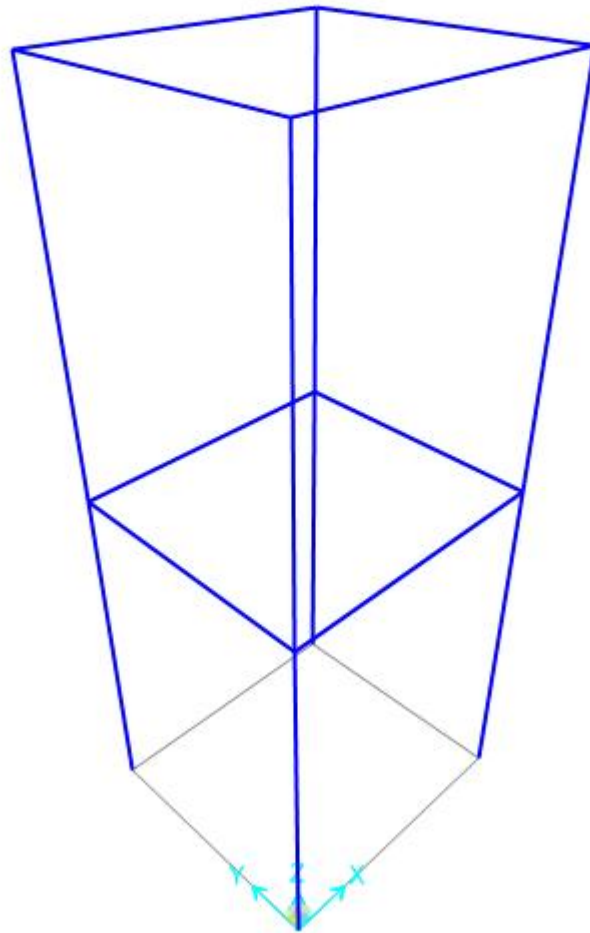
Εικόνα 3.5 Υλικό και στοιχεία αυτού

Ακολουθεί επιλογή δοκού με στρογγυλή διατομή 'massif' και διάμετρο 3mm.



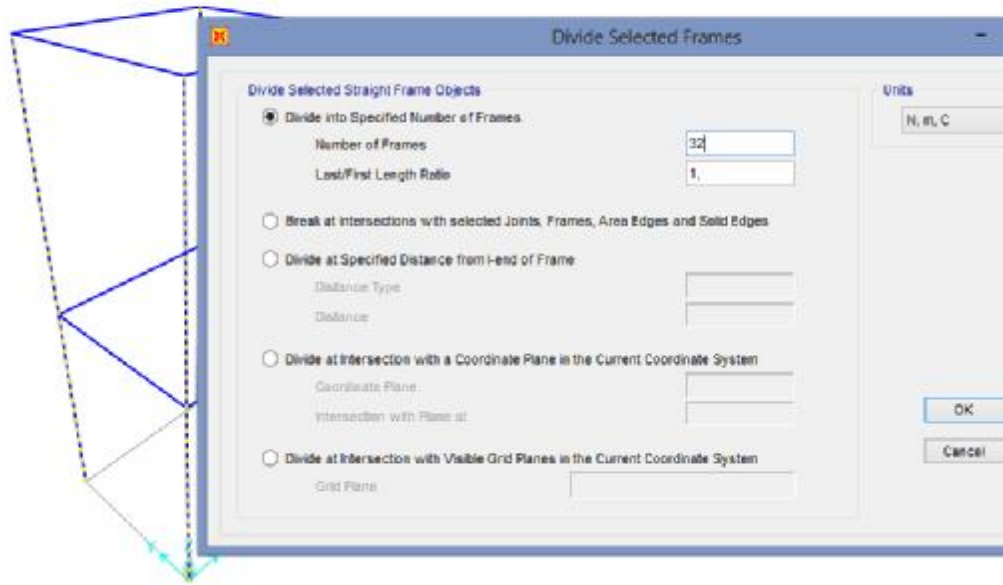
Εικόνα 3.6 Επιλογή δοκού

Επόμενο βήμα είναι ο ορισμός στοιχείων γραμμής και ο χωρισμός αυτών σε πεπερασμένα στοιχεία.

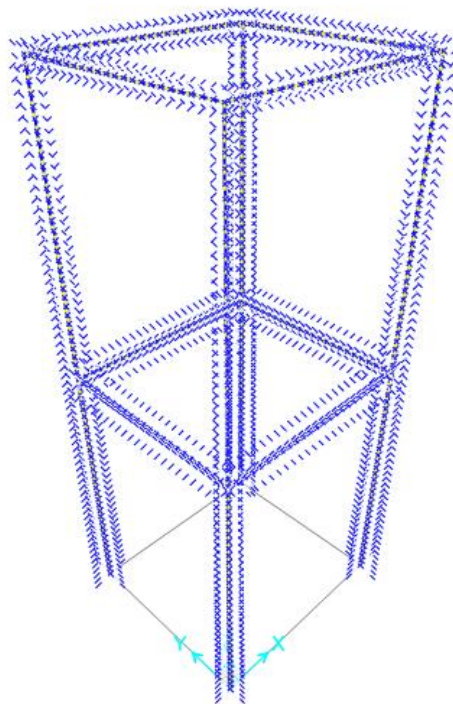


Εικόνα 3.7 Επιλογή στοιχείων γραμμής

Χωρίζω τα όρθια τμήματα στον zάξονα σε 32 κομμάτια, τα οριζόντια στον χάξονα σε 25 και στον γσε σε 23.

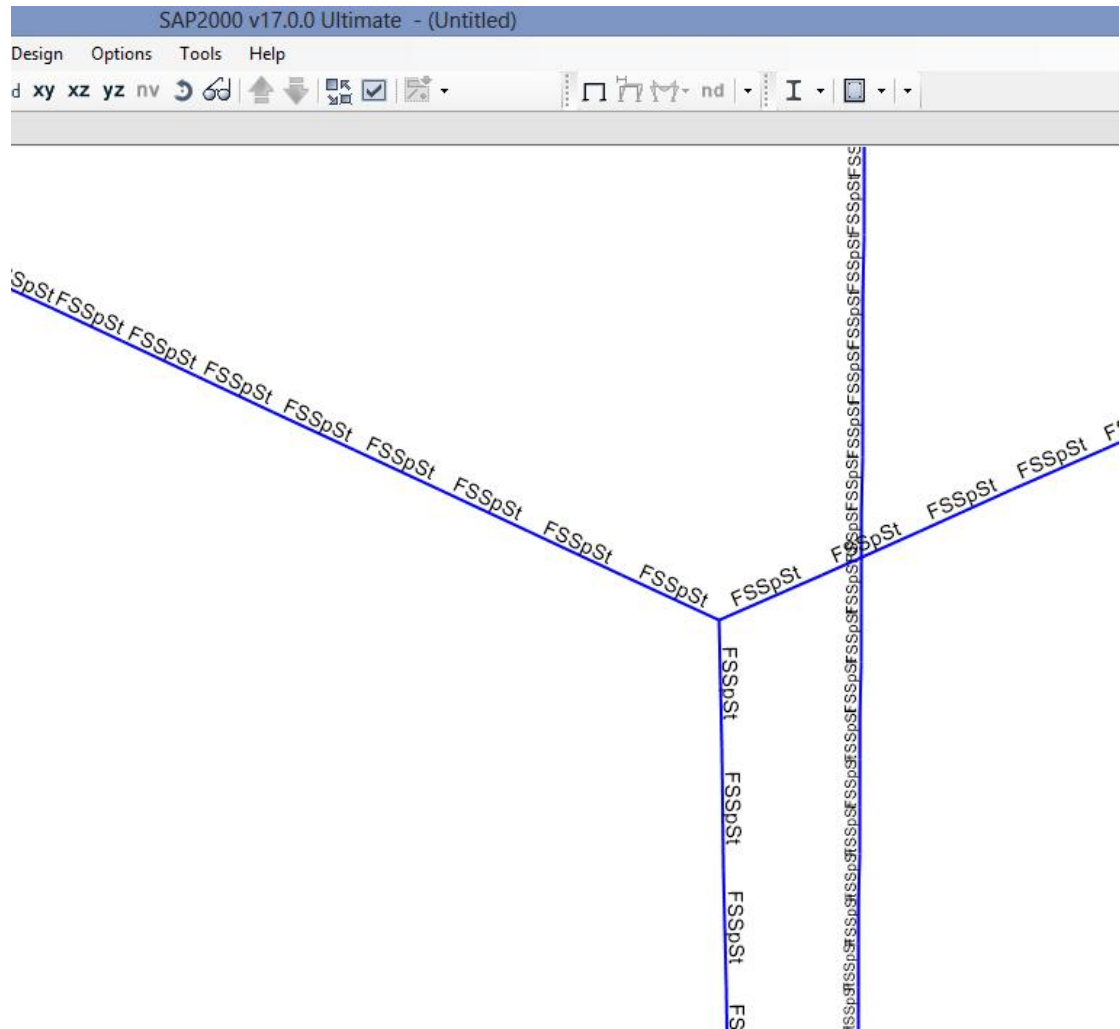


Εικόνα 3.8 Χωρισμός στοιχείων σε τμήματα



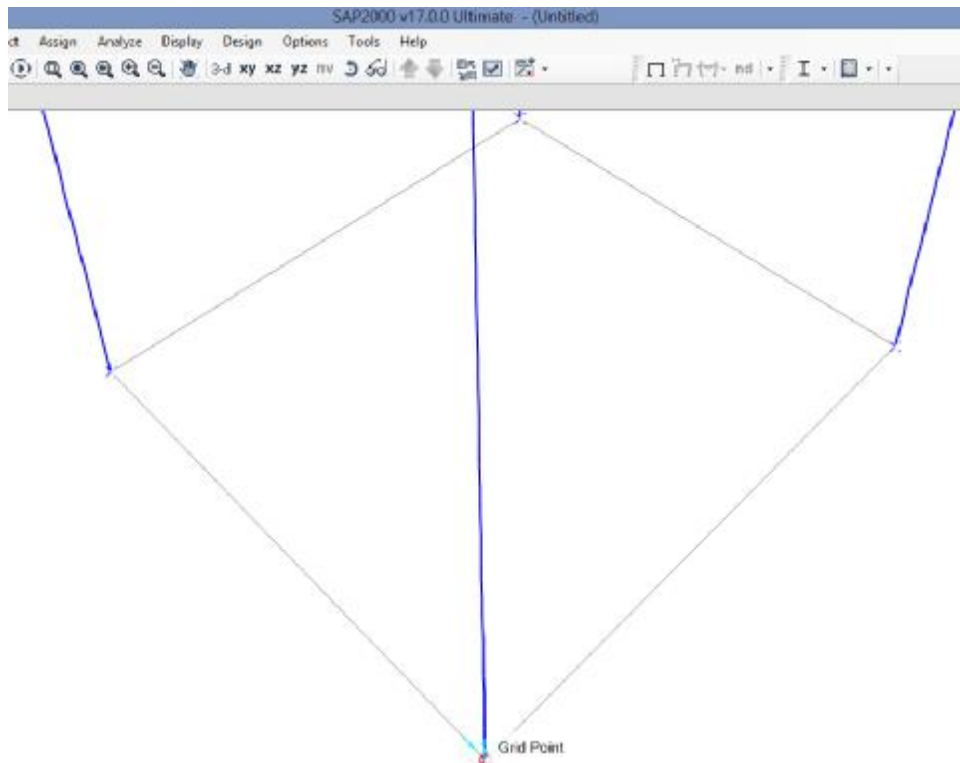
Εικόνα 3.9 Τμήματα στοιχείων γραμμής

Αντιστοιχίζω το υλικό που έχω ορίσει παραπάνω στην κατασκευή (κτίριο).

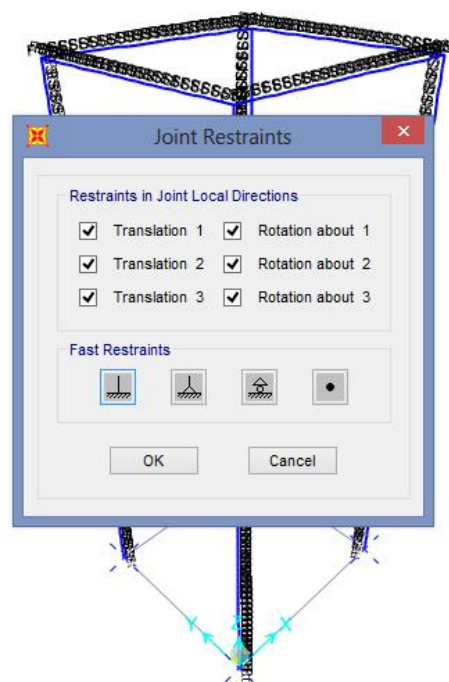


Εικόνα 3.10 Αντιστοίχιση Υλικού

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των θέσεων πακτώσεως του κτιρίου. Επιλέγω τα 4 σημεία των κόμβων αφού έτσι πακτώνω την κατασκευή μου και στην πράξη όπως φαίνεται και στο κατασκευαστικό κομμάτι.

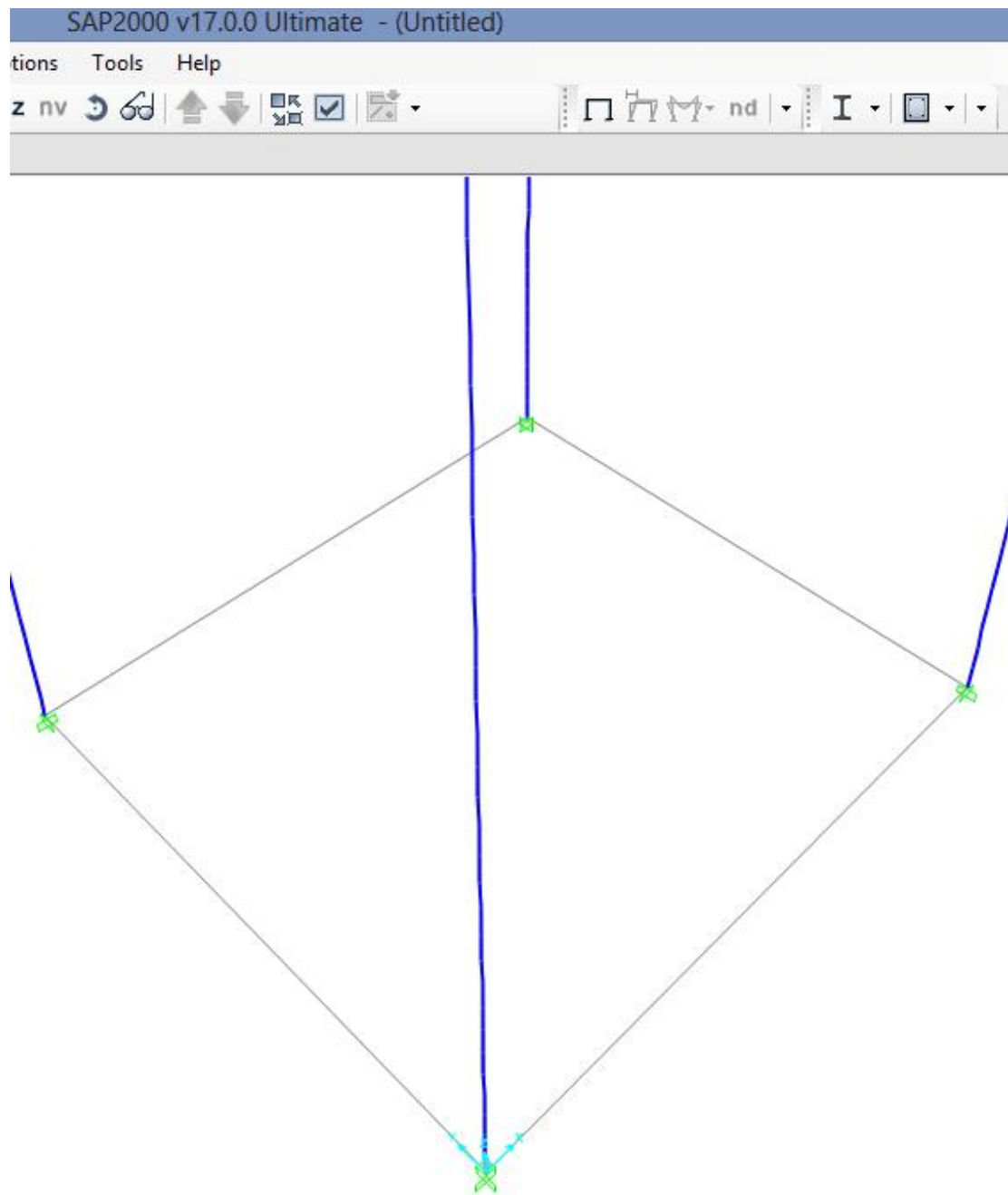


Εικόνα 3.11 Επιλογή σημείων πάκτωσης κτιρίου



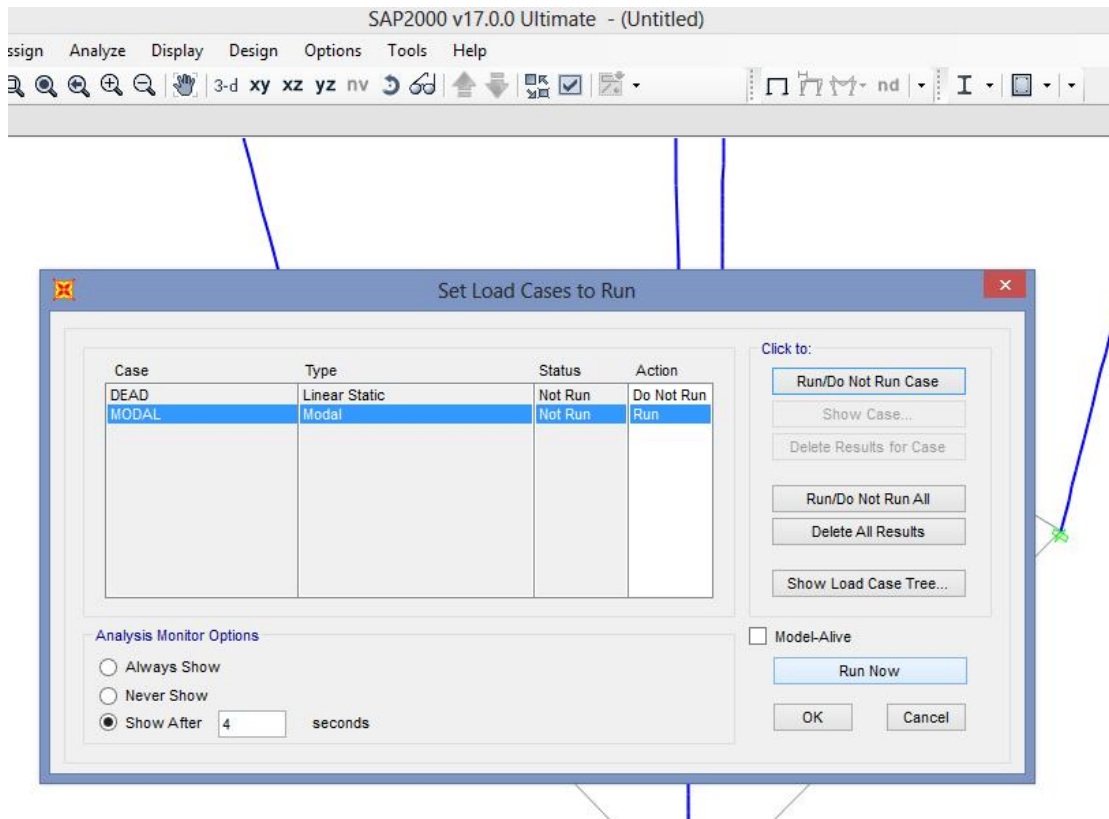
Εικόνα 3.12 Επιλογή πακτώσεων





Εικόνα 3.13 Πακτωμένο κτίριο

Προχωρώ στην προσομοίωση και ανάλυση που μου προσφέρει το πρόγραμμα (δηλαδή ξεκινώ την δοκιμή). Επιλέγω ιδιομορφική ανάλυση (modal) δηλαδή σε όλες τις κατευθύνσεις (άξονες).



Εικόνα 3.14 Analysis Run

OutputCase	Step Type	Stepnum	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RK Unitless
MODAL	Mode	1	0,120311	0,01	4,963E-16	7,365E-13	0,01	4,963E-16	7,365E-13	1,202E-1
MODAL	Mode	2	0,118538	5,638E-16	0,01	5,204E-13	0,01	0,01	1,256E-12	0,1
MODAL	Mode	3	0,080947	1,291E-09	1,49E-09	1,540E-14	0,01	0,01	1,271E-12	5,344E-01
MODAL	Mode	4	0,038065	0,0921	3,278E-14	4,486E-11	0,9	0,01	4,613E-11	9,105E-12
MODAL	Mode	5	0,037868	3,403E-14	0,08974	3,021E-11	0,9	0,9	7,833E-11	0,3
MODAL	Mode	6	0,029814	2,913E-09	2,229E-09	1,303E-12	0,9	0,9	7,764E-11	2,587E-01
MODAL	Mode	7	0,024895	1,803E-10	8,315E-11	4,066E-10	0,9	0,9	4,842E-10	9,747E-1
MODAL	Mode	8	0,018605	5,513E-10	3,911E-10	4,425E-09	0,9	0,9	4,91E-09	1,042E-1
MODAL	Mode	9	0,013381	2,194E-09	2,152E-15	0,0005191	0,9	0,9	0,0005191	8,404E-1
MODAL	Mode	10	0,012933	7,944E-15	2,168E-09	0,0002466	0,9	0,9	0,0007848	5,193E-01
MODAL	Mode	11	0,012084	3,274E-09	9,231E-11	3,923E-12	0,9	0,9	0,0007648	3,096E-01
MODAL	Mode	12	0,011843	7,718E-11	3,112E-09	1,314E-12	0,9	0,9	0,0007648	6,246E-01

Εικόνα 3.15 Αποτελέσματα ανάλυσης

Όπως φαίνεται στα αποτελέσματα της ανάλυσης από πάνω η ζητούμενη περίοδος της ιδιοσυχνότητας του κτιρίου είναι  $T = 0.120311 \text{sec}$  την οποία επιλέξαμε βάση του ποσοστού της συμμετεχόμενης μάζας στον άξονα

Χ που τρέξαμε την ανάλυση. Όπως φαίνεται, το μεγαλύτερο ποσοστό, το οποίο και επιλέγουμε, είναι 0.81 όπου βάση αυτού επιλέγουμε και την περίοδο.

Παρακάτω φαίνονται τα αναλυτικά αποτελέσματα που μας έδωσε η ανάλυση καθώς και οι φάσεις του κτιρίου κατά την διάρκεια της ταλάντωσης.

.....

SAP2000 v17.0.0 Ultimate (Analysis Build 9238/32)

File: C:\Users\adreas\Desktop\sap analysis\1 run ptyxiakh.LOG

BEGIN ANALYSIS 2015/09/15 23:11:11

RUNNING ANALYSIS WITHIN THE GUI PROCESS

USING THE ADVANCED SOLVER (PROVIDES LIMITED INSTABILITY INFORMATION)

NUMBER OF JOINTS = 264  
WITH RESTRAINTS = 4  
NUMBER OF FRAME/CABLE/TENDON ELEMENTS = 268  
NUMBER OF LOAD PATTERNS = 1  
NUMBER OF ACCELERATION LOADS = 6  
NUMBER OF LOAD CASES = 1

ELEMENT FORMATION 23:11:11

LINEAR EQUATION SOLUTION 23:11:11

FORMING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 1560

NUMBER OF NON-ZERO STIFFNESS TERMS = 14964

NUMBER OF EIGENVALUES BELOW SHIFT = 0

EIGEN MODAL ANALYSIS 23:11:11

CASE: MODAL

USING STIFFNESS AT ZERO (UNSTRESSED) INITIAL CONDITIONS

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 1560

NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 780

MAXIMUM NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12

MINIMUM NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 1

NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0

NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 24

RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-09

FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000

FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = -INFINITY-

ALLOW AUTOMATIC FREQUENCY SHIFTING = YES

Original stiffness at shift : EV= 0.0000000E+00, f= .000000, T= -INFINITY-

Number of eigenvalues below shift = 0

Found mode 1 of 12: EV= 2.7274127E+03, f= 8.311809, T= 0.120311  
Found mode 2 of 12: EV= 2.8095884E+03, f= 8.436095, T= 0.118538  
Found mode 3 of 12: EV= 4.9899694E+03, f= 11.242660, T= 0.088947  
Found mode 4 of 12: EV= 2.7246386E+04, f= 26.270878, T= 0.038065  
Found mode 5 of 12: EV= 2.7544416E+04, f= 26.414167, T= 0.037858  
Found mode 6 of 12: EV= 4.4415376E+04, f= 33.541834, T= 0.029814  
Found mode 7 of 12: EV= 6.3700929E+04, f= 40.169185, T= 0.024895  
Found mode 8 of 12: EV= 1.1404785E+05, f= 53.748169, T= 0.018605  
Found mode 9 of 12: EV= 2.2047976E+05, f= 74.731636, T= 0.013381  
Found mode 10 of 12: EV= 2.3601073E+05, f= 77.318961, T= 0.012933  
Found mode 11 of 12: EV= 2.7034820E+05, f= 82.752643, T= 0.012084  
Found mode 12 of 12: EV= 2.8147994E+05, f= 84.439151, T= 0.011843

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12

NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 10

NUMBER OF STIFFNESS SHIFTS = 0

ANALYSIS COMPLETE

2015/09/15 23:11:11

.....



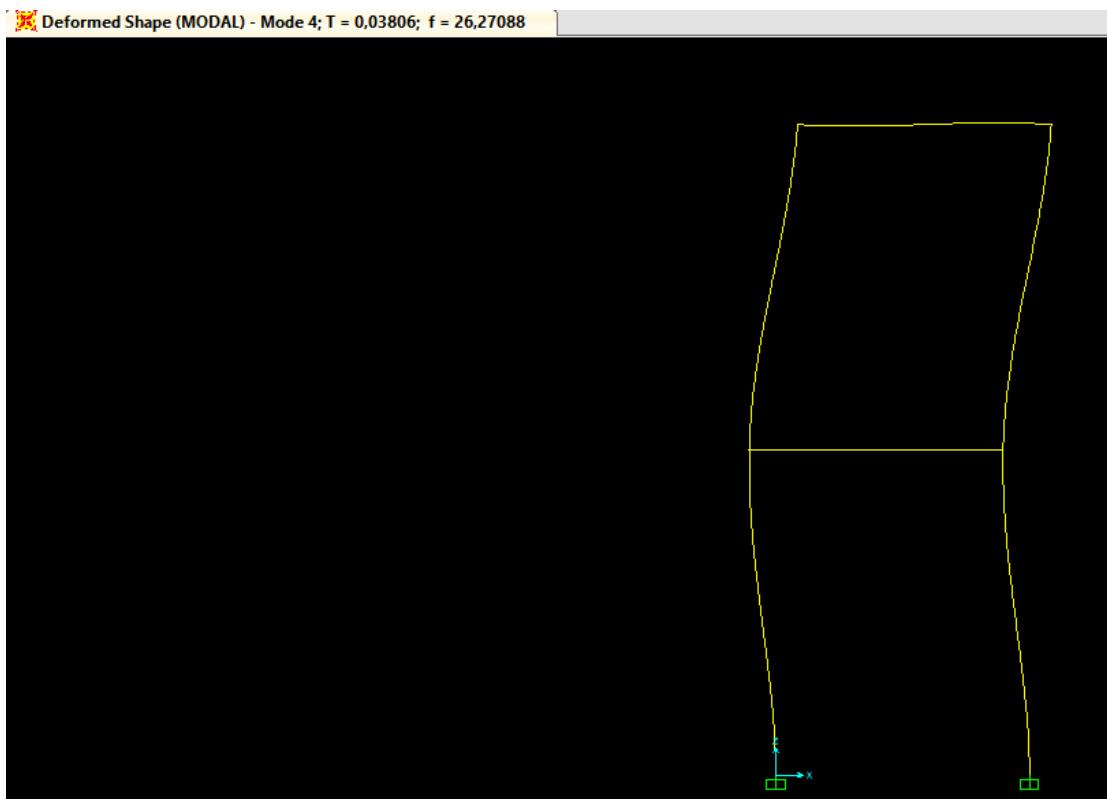
Εικόνα 3.16 Φάση 1 της ταλάντωσης



Εικόνα 3.17 Φάση 2 της ταλάντωσης



Εικόνα 3.18 Φάση 3 της ταλάντωσης



Εικόνα 3.19 Φάση 4 της ταλάντωσης



Εικόνα 3.20 Φάση 5 της ταλάντωσης

### 3.2 Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί που χρειάζονται για την εύρεση του μήκους σχοινιού του εκκρεμούς συνοψίζονται στον παρακάτω τύπο όπου:

$$T = 2\pi\sqrt{l \div g}$$

- $T = 0.36\text{sec}$  η συχνότητα που μετρήσαμε ( $f = 2.79 \text{ Hz}$ )
- $\pi = 3.14$
- $l$  είναι το ζητούμενο μήκος
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$



Η περίοδος  $T$  που χρησιμοποιούμε δεν προκύπτει ιδιοσυχνότητα του κτιρίου ( $f = 1 / T$ ) που υπολογίστηκε παραπάνω διότι, ο κινητήρας μας δεν μπορεί να την φτάσει και αντί αυτής χρησιμοποιούμε την συχνότητα που, βρίσκεται εντός του φάσματος συχνοτήτων που μπορεί να πιάσει ο κινητήρας και, μας δίνει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Λύνοντας λοιπόν ως προς  $l$  μου προκύπτει η εξής εξίσωση:

$$l = (g \times T^2) \div (4 \times \pi^2)$$

Τέλος, αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση μου προκύπτει:

$$l = 0.0887\text{m}$$

$$l = 8.87\text{cm}$$

Όπου το μήκος του σχοινιού  $l$  είναι το βασικό στοιχείο που χρειαζομαι προκειμένου κατασκευάσω ένα δυναμικό αποσβεστήρα με ικανοποιητική απόδοση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ



Στο τμήμα αυτό της πτυχιακής παρουσιάζονται τα κομμάτια καθώς και η διαδικασία κατασκευής και των 2 πειραματικών συσκευών και πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει τα παρακάτω:

### Δυναμικός αποσβεστήρας Μάζας – Εκκρεμούς

- Κατασκευή σεισμικής τράπεζας
- Κατασκευή κτιρίου που δέχεται τις ταλαντώσεις
- Εδράσεις
- Ηλεκτρικός Κινητήρας
- Ηλεκτρολογική εγκατάσταση
- Μετάδοση κίνησης
- Αποσβεστήρας ταλάντωσης

### Δυναμικός αποσβεστήρας Ελατηρίου – Μάζας

- Ελατήρια
- Βάση
- Οδηγοί
- Βαρίδια

#### 4.1 Κατασκευή δυναμικού αποσβεστήρα Μάζας – Εκκρεμούς



Εικόνα 4.1 Δυναμικός Αποσβεστήρας Μάζας Εκκρεμούς

##### 4.1.1 Κατασκευή σεισμικής τράπεζας

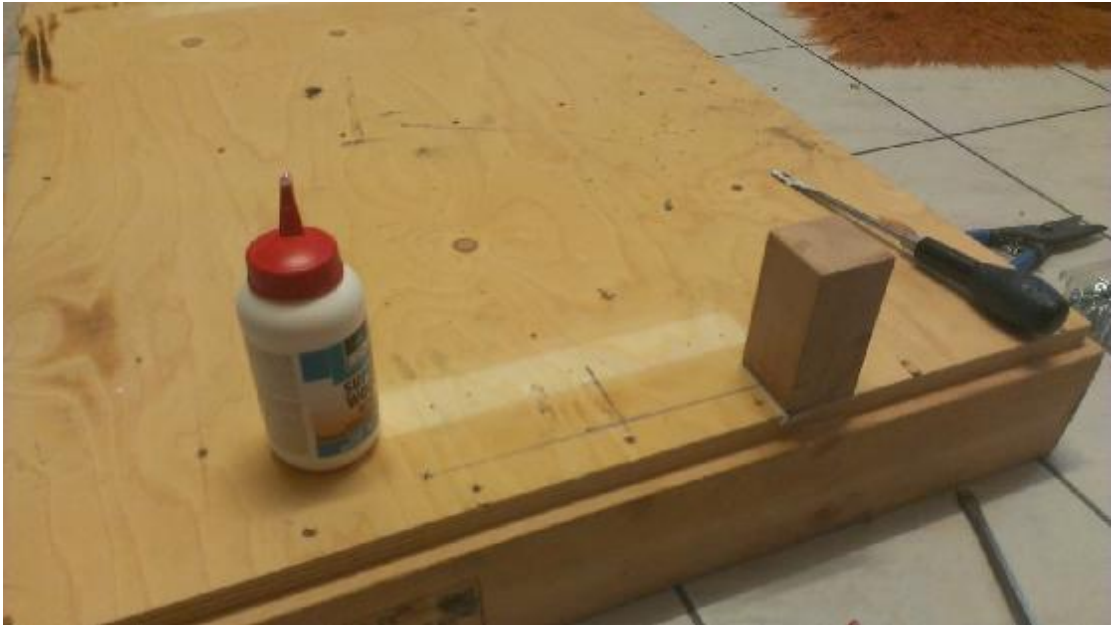
Για την κατασκευή της σεισμικής τράπεζας αρχικά έπρεπε να βρεθεί μια βάση αρκετά μεγάλη και ανθεκτική ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της κατασκευής.

Έτσι, κατασκευάστηκε μία ‘παλέτα’ από κόντρα πλακέ καπάκι και σουηδικό ‘μασίφ’ ξύλο για τα πόδια, με την χρήση ξυλόκολλας και βιδών.



Εικόνα 4.2 Βάση σεισμικής τράπεζας

Στην συνέχεια κολλήθηκαν τα ποδαράκια τα οποία πρώτα κόπηκαν στο κατάλληλο μέγεθος, που θα πατήσουν πάνω οι ράγες της σεισμικής πλάκας, σε κατάλληλη μεταξύ τους απόσταση, κατασκευασμένα από 'μασίφ' οξιά, ξύλο δηλαδή μεγάλης σκληρότητας.



**Εικόνα 4.3**Κόλληση ποδιών στην βάση



**Εικόνα 4.4**Κόλληση ποδιών στην βάση



**Εικόνα 4.5** Βάση με ποδαράκια

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η μορφοποίηση από βέργα αλουμινίου των οδηγών ολίσθησης της σεισμικής πλάκας.



**Εικόνα 4.6** Κομμένοι στο κατάλληλο μήκος οδηγοί



**Εικόνα 4.7** Μορφοποίηση οδηγών



**Εικόνα 4.8** Έτοιμοι οδηγοί

Ακολούθησε η τοποθέτηση των οδηγών αυτών επάνω στην σεισμική πλάκα η οποία ουσιαστικά αποτελείται από ένα κομμάτι μελαμίνης με χοντρή ρητίνη κολλημένη στα άκρα της.

Η τοποθέτηση έγινε με την χρήση διάτρητης μικρού πάχους λαμαρίνας, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως για την στήριξη σωληνώσεων σε κατοικίες, και βιδών κατάλληλες για ξυλουργικές εργασίες.



**Εικόνα 4.9** Τοποθέτηση οδηγών στην σεισμική πλάκα

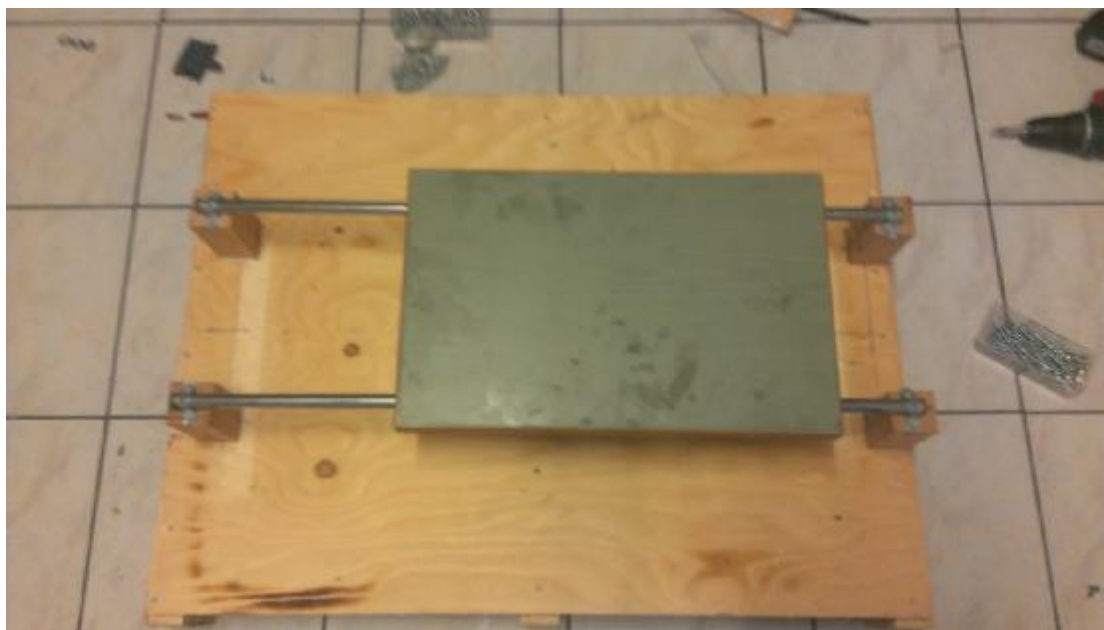


**Εικόνα 4.10** Σεισμική πλάκα με οδηγούς και την μία ράγα



Αμέσως μετά περάστηκαν οι ράγες στους οδηγούς και όλο αυτό σαν ένα κομμάτι τοποθετήθηκε επάνω στα ποδαράκια της βάσης και ασφαλίστηκαν εκεί με τον ίδιο τρόπο όπως οι οδηγοί παραπάνω.

Οι ράγες που χρησιμοποιήθηκαν είναι κυλινδρικής διατομής κατασκευασμένες από χάλυβα και ουσιαστικά πρόκειται για παλιούς σωλήνες από σώματα καλοριφέρ.



Εικόνα 4.11 Τελειωμένη σεισμική τράπεζα σε αρχική μορφή

Έτσι ολοκληρώνεται το αρχικό στάδιο κατασκευής της σεισμικής τράπεζας. Θα επανέλθουμε σε αυτήν παρακάτω όταν θα τοποθετηθούν σε αυτήν ο κινητήρας, το κτίριο κ.α.

#### **4.1.2 Κατασκευή κτιρίου**

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων με την σεισμική τράπεζα δημιουργήθηκαν 2 κτίρια από τα οποία τελικά επιλέχθηκε το 2, αφού το 1 ήταν πολύ βαρύ και στιβαρό.

Παρακάτω περιγράφεται η κατασκευή του πρώτου κτιρίου αναλυτικά και ύστερα παρουσιάζεται και το δεύτερο κτίριο το οποίο κατασκευάστηκε με πανομοιότυπο τρόπο με το πρώτο.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε και για τα 2 κτίρια είναι χάλυβας κυλινδρικής διατομής, για το πρώτο διαμέτρου 10mm ενώ για το δεύτερο μόλις 3mm.

Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία όπως.

- Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου
- Σταθερός τροχός κοπής μετάλλου
- Κινητός τροχός μετάλλου (το λεγόμενο σβουράκι)
- Γωνία απλή και μαγνητική 90°

Η κατασκευή ξεκίνησε με μία βέργα χάλυβα από την οποία κόπηκαν, σε κατάλληλο μέγεθος, τα τμήματα του κτιρίου.



Εικόνα 4.12 Κοπή βέργας χάλυβα

Ύστερα συγκολλήθηκαν τα τμήματα του κτιρίου σε γωνία 90° μεταξύ τους και δημιουργήθηκε ένα ορθογώνιο κλουβί.



**Εικόνα 4.13** Κλουβί κτιρίου

Επόμενο βήμα ήταν ο λογισμός, στην μέγγενη, 2 βεργών με σκοπό την δημιουργία μια τριγωνικής σκεπής για το κτίριο.



**Εικόνα 4.14** Δοκιμή σκεπής κτιρίου



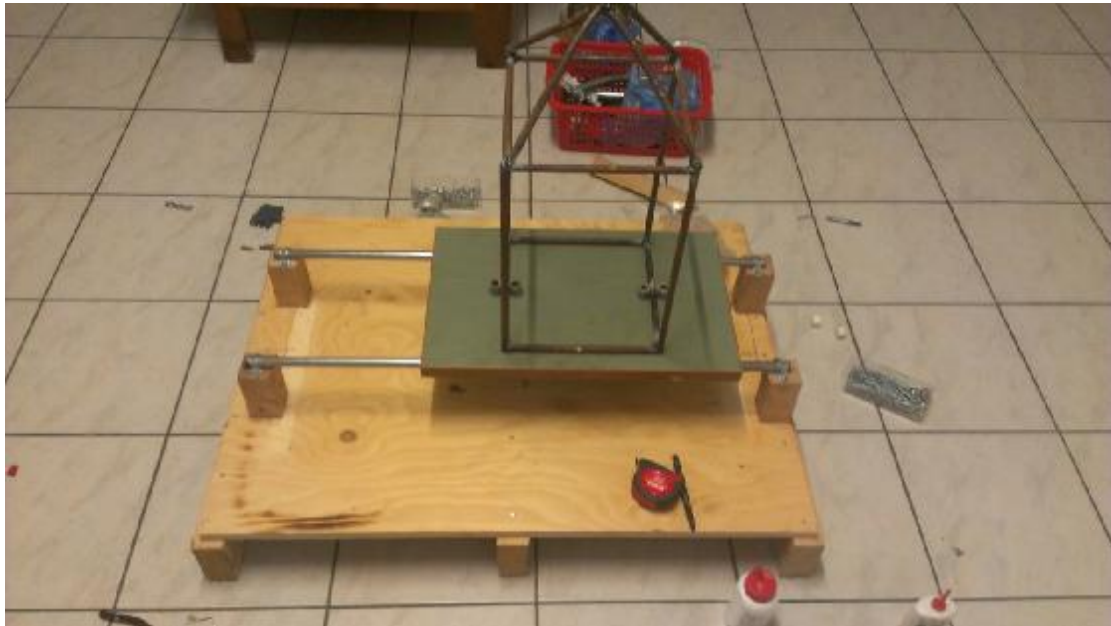
**Εικόνα 4.15** Συγκόλληση σκεπής

Και το τελικό προϊόν με τραχιά ακόμα όψη.



**Εικόνα 4.16** Τελική μορφή κτιρίου

Στην συνέχεια ακολούθησε η τοποθέτηση του κτιρίου στην σεισμική τράπεζα, στην οποία όμως δε θα δοθεί ιδιαίτερη βάση αφού όπως προαναφέρθηκε επικράτησε τελικά το δεύτερο κτίριο.



**Εικόνα 4.17** Τοποθέτηση κτιρίου στην σεισμική τράπεζα



**Εικόνα 4.18** Τοποθέτηση κτιρίου στην σεισμική τράπεζα



**Εικόνα 4.19** Κτίριο τοποθετημένο στην σεισμική τράπεζα



**Εικόνα 4.20** Βαμμένο κτίριο

Προχωράμε τώρα στην κατασκευή του 2<sup>ου</sup> κτιρίου το οποίο έχει πολύ μικρότερη ακαμψία αφού είναι κατασκευασμένο από χάλυβα κυλινδρικής διατομής μόνο 3mm.

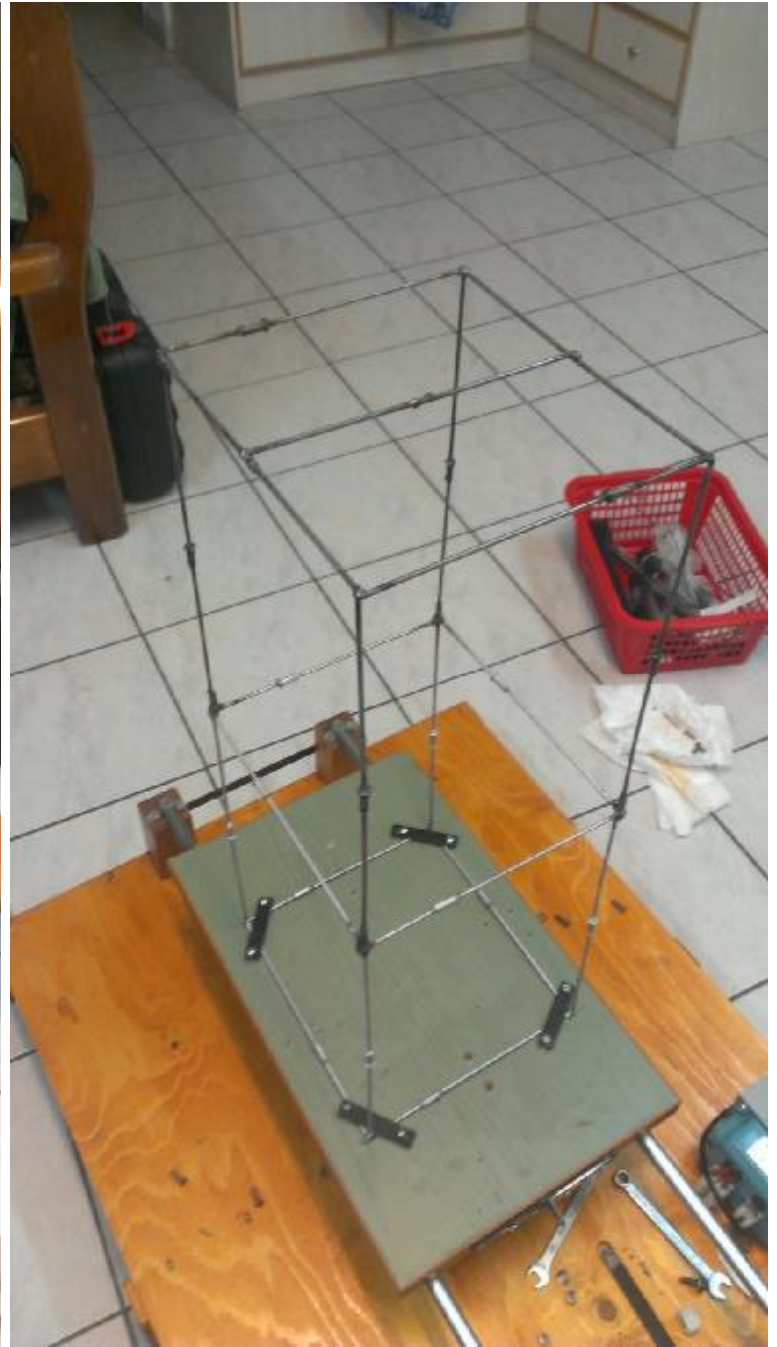
Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν ακτίνες από ζάντα μοτοποδηλάτου οι οποίες ενώθηκαν ανά 2 μεταξύ τους με τα άκρα τους (spoke nipples), κόπηκαν οι γωνίες στα τελειώματά τους και ύστερα κόπηκαν στο σωστό για κάθε διάσταση μήκος. Μετά από αυτό, με την βοήθεια γωνιακού μαγνήτη και ηλεκτροσυγκόλλησης, δημιουργήθηκε το παρακάτω κτίριο.



Εικόνα 4.21 Τελική μορφή δεύτερου κτιρίου



**Εικόνα 4.22** Διαγώνια πλαινή όψη κτιρίου



**Εικόνα 4.23** Όψη του κτιρίου διαγώνια από πάνω



Όπως θα φανεί και σε επόμενες φωτογραφίες, το κτίριο βιάφηκε ασημί για χάρη καλλωπισμού.

Επίσης στο πάνω μέρος του έχει κολληθεί μία οριζόντια διατομή, σημαδεμένη στο κέντρο, για την τοποθέτηση σε αυτήν του σχοινιού του δυναμικού αποσβεστήρα.

Ακόμη, χρήσιμο είναι να αναφερθεί ότι η ανάλυση που εμφανίζεται παραπάνω στην πτυχιακή έχει γίνει σε αυτό το κτίριο.

Το κτίριο αυτό, σε σχέση με το πρώτο, έχει διπλάσιο ύψος και 2 ορόφους.

Τέλος παρουσιάζεται το κτίριο βαμμένο, τοποθετημένο στην σεισμική πλάκα της τράπεζας, με το βαρίδι του δυναμικού αποσβεστήρα τοποθετημένο στην κορυφή.



**Εικόνα 4.24** Πακτωμένο κτίριο στην σεισμική πλάκα

Η τοποθέτησή του έγινε με 4 ευθεία λαμάκια τα οποία πακτώνουν το κτίριο επάνω στην σεισμική πλάκα στις 4 γωνίες της βάσης του κτιρίου.

Εδώ φαίνεται και ο λόγος που στην ανάλυση της ταλάντωσης του κτιρίου στο λογισμικό SAP2000 επιλέξαμε πάκτωση τεσσάρων σημείων στις γωνίες της βάσης του κτιρίου.



Εικόνα 4.25 Κάτοψη πακτωμένου κτίριο στην σεισμική πλάκα

#### 4.1.3 Εδράσεις

Το κομμάτι αυτό της πτυχιακής ουσιαστικά συνοψίζεται σε όλα τα κομμάτια της κατασκευής αφού περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Εδράσεις των ραγών ολίσθησης
- Εδράσεις των οδηγών ολίσθησης
- Εδράσεις του κτιρίου στην σεισμική πλάκα
- Εδράσεις του κινητήρα
- Εδράσεις μετάδοσης κίνησης
  1. Εδράσεις στρόφαλου
  2. Έδραση διωστήρα με στρόφαλο
  3. Έδραση σύνδεσης διωστήρα στην σεισμική πλάκα
- Εδράσεις ηλεκτρολογικής εγκατάστασης
- Έδραση δυναμικού αποσβεστήρα
- Έδραση επιπλέον βάρους στο κτίριο (προαιρετικό)

Για τον λόγο όμως ότι οι εδράσεις βρίσκονται σε όλα τα κομμάτια κατασκευής της πτυχιακής, αυτές αναλύονται στο κάθε κομμάτι ξεχωριστά και όχι εδώ.

#### 4.1.4 Ηλεκτρικός κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή προέρχεται από μοτοποδήλατο στο οποίο λειτουργούσε σαν μίζα (ηλεκτρικός εκκινητής).

Πρόκειται για ένα Συνεχούς Ρεύματος (DC) μοτεράκι το οποίο ενσωματώνει μειωτήρα για μεγαλύτερη ροπή.

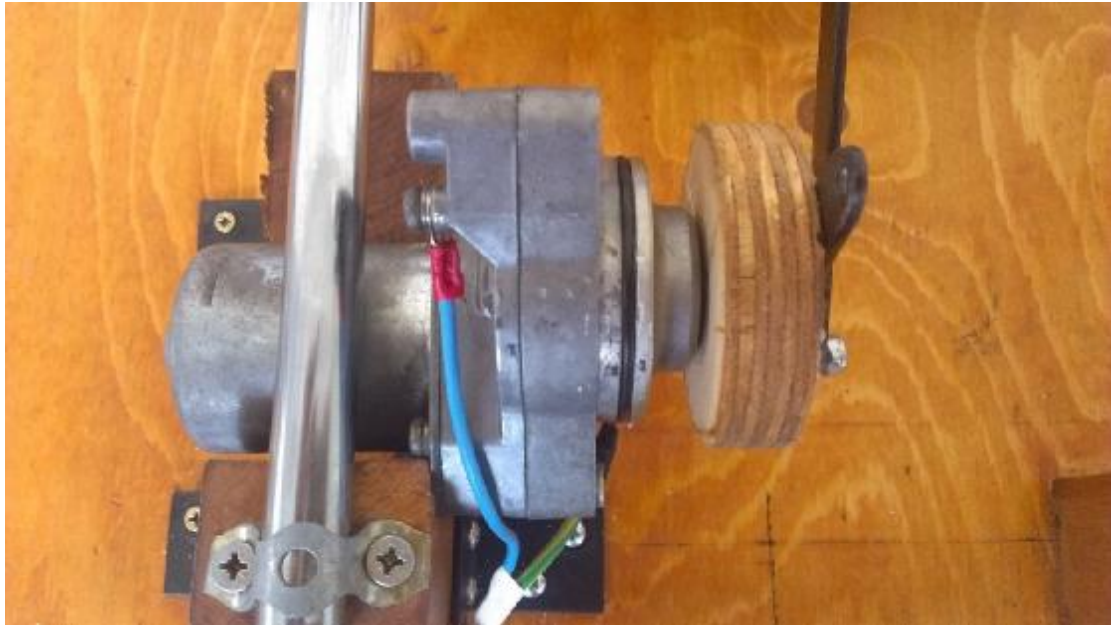
Σαν δυνατός κινητήρας όμως απαιτεί πολλά amper, πράγμα που θα φανεί παρακάτω και από τον μετασχηματιστή που χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργία του.



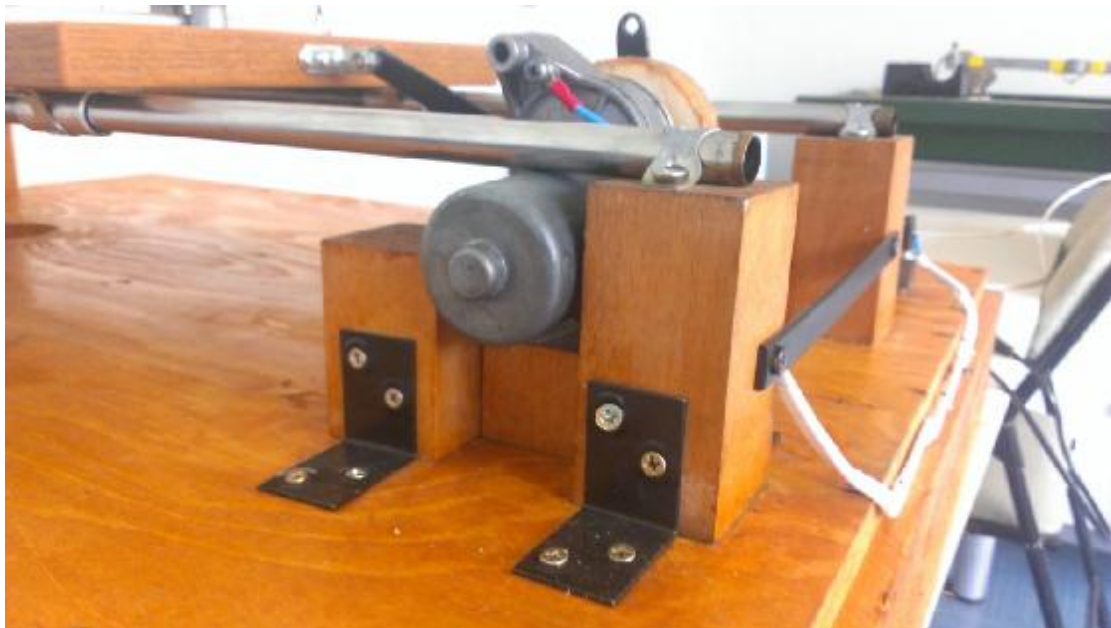
Εικόνα 4.26 Ηλεκτρικός κινητήρας DC

Ο συγκεκριμένος κινητήρας υπερκαλύπτει τις ανάγκες της κατασκευής τόσο σε ροπή όσο και σε ταχύτητα περιστροφής (rpm) για αυτό, όπως θα φανεί και παρακάτω, χρησιμοποιείται ποτενσιόμετρο για τον έλεγχο της τάσης που φθάνει στο κινητήρα με αποτέλεσμα τον έλεγχο των στροφών και της ροπής του κινητήρα.

Η τοποθέτηση του κινητήρα στην βάση της σεισμικής τράπεζας έγινε με την χρήση 'μασιφ' ξύλου οξιάς, ξυλουργικών βιδών και γωνιών που τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν των πλευρών των βάσεων για την ενίσχυση τους.

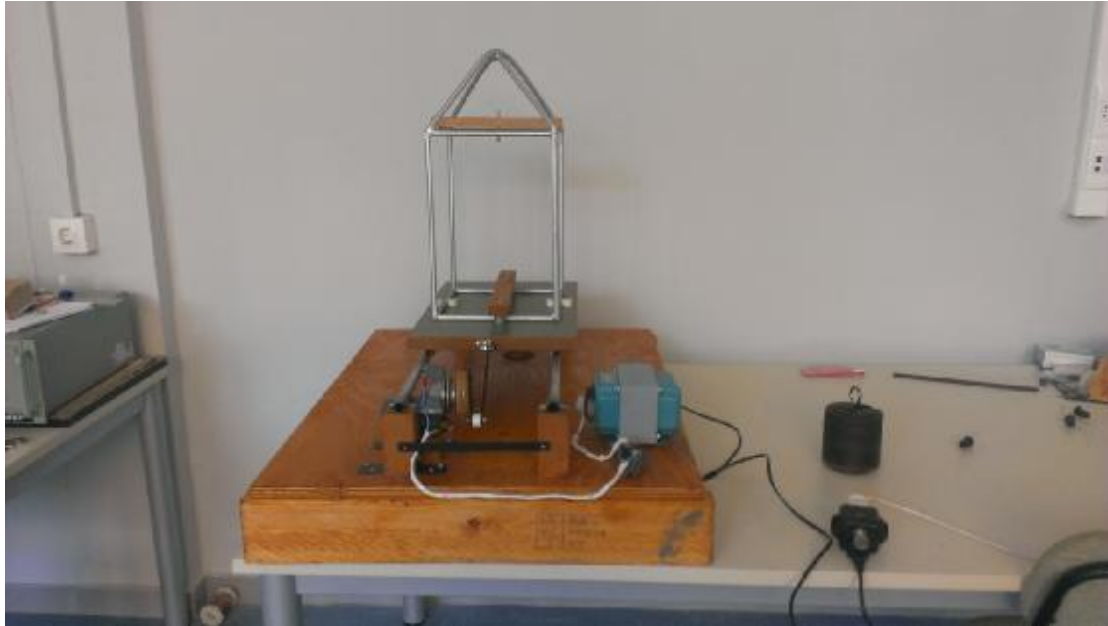


**Εικόνα 4.27** Τοποθετημένος κινητήρας στην βάση της σεισμικής τράπεζας



**Εικόνα 4.28** Γωνιές ενίσχυσης βάσεων κινητήρα

#### 4.1.5 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση



Εικόνα 4.29 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση κατασκευής

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση της κατασκευής αυτής δημιουργήθηκε με σκοπό ο ηλεκτρικός κινητήρας της, να τροφοδοτείται απευθείας από μία συμβατική πρίζα χωρίς να υπάρχει η ανάγκη μπαταριών οι οποίες θα χρειαζόταν και φόρτιση.

Αυτό μας δίνει μεγάλη ευελιξία και ειδικότερα όταν η πτυχιακή αυτή θα χρησιμοποιείται για επίδειξη λειτουργίας δυναμικού αποσβεστήρα σε φοιτητές.

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση αποτελείται από:

- Καλώδιο προέκταση με αρσενικό άκρο στην μία πλευρά και θηλυκό στην άλλη
- Ποτενσιόμετρο ρύθμισης τάσης κινητήρα
- Μετασχηματιστής 230V σε 12V
- Γέφυρα ανόρθωσης
- Καλωδιώσεις

Ξεκινώντας λοιπόν παρουσιάζοντας το ποτενσιόμετρο το οποίο ρυθμίζει την τάση που φθάνει στον μετασχηματιστή και στην συνέχεια στον κινητήρα με αποτέλεσμα να ελέγχουμε τόσο τις στροφές όσο και την ροπή του κινητήρα.

Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να ισοβαθμίσουμε την συχνότητα του κινητήρα με την ιδιοσυχνότητα του κτιρίου, πράγμα ζητούμενο για την σωστή απόσβεση των ταλαντώσεων με τον δυναμικό αποσβεστήρα που χρησιμοποιούμε.



Εικόνα 4.30 Ποτενσιόμετρο ρύθμισης τάσης

Στην συνέχεια, προχωράμε στον μετασχηματιστή που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή ο οποίος έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Δέχεται ως είσοδο 230V εναλλασσόμενο (AC) στα 50-60Hz με μέγιστο ρεύμα 2.17<sup>A</sup>
2. Δίνει στη έξοδο του 12V εναλλασσόμενο (AC) με μέγιστο ρεύμα 41.6 A
3. Πρόκειται για ελληνικής κατασκευής μετασχηματιστή μάρκας EMMIS των με φαινόμενη ισχύς 500VA

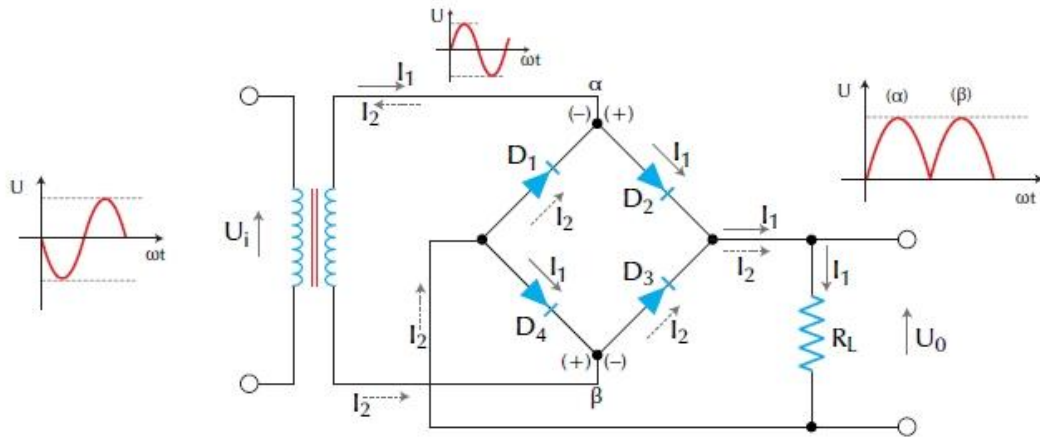


Εικόνα 4.31 Πίνακας χαρακτηριστικών μετασχηματιστή



Εικόνα 4.32 Μετασχηματιστής κατασκευής

Επειδή όμως ο μετασχηματιστής μας δίνει εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και ο κινητήρας που χρησιμοποιούμε χρειάζεται συνεχές (DC), στην έξοδο του μετασχηματιστή προσθέτουμε μια γέφυρα ανόρθωσης, η οποία κάνει αυτό ακριβώς που θέλουμε, δηλαδή μετατρέπει το AC σε DC.



Σχήμα 8.4. Κύκλωμα ανόρθωσης με γέφυρα

Εικόνα 4.33 Σχεδιάγραμμα γέφυρας ανόρθωσης



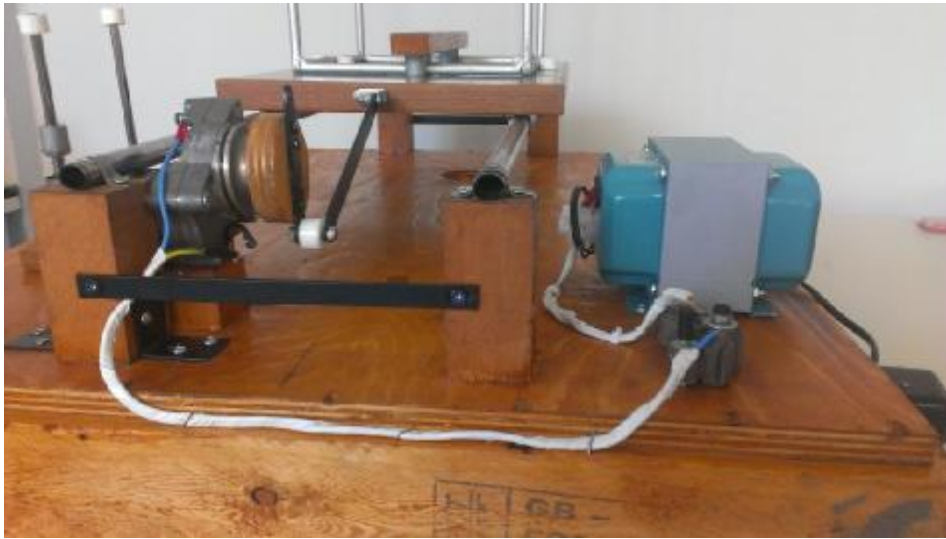
Εικόνα 4.34 Γέφυρα ανόρθωσης κατασκευής

Η συγκεκριμένη γέφυρα ανόρθωσης χρησιμοποιεί διόδους και προέρχεται από την γεννήτρια (δυναμό) ενός παλιού Fiat Tίρο 1.4 i.e.

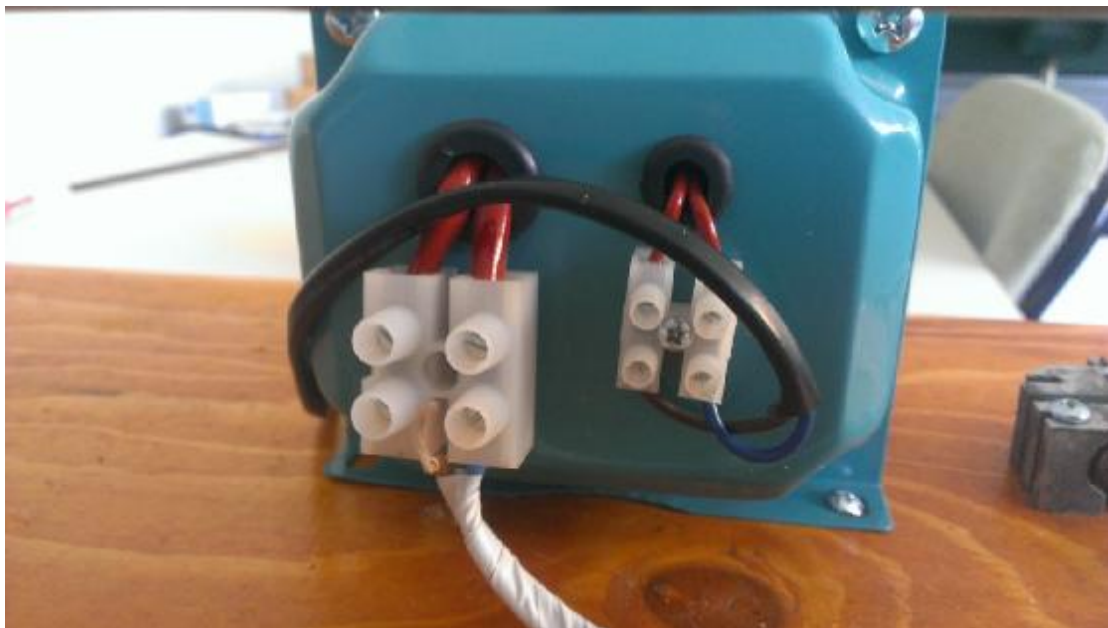
Τέλος, τοποθετήθηκαν οι καλωδιώσεις της κατασκευής οι οποίες συνδέουν τον μετασχηματιστή με την γέφυρα ανόρθωσης και από αυτήν στον ηλεκτρικό κινητήρα.



Επίσης καλώδιο φθάνει απλό την πρίζα στην είσοδο του μετασχηματιστή αφού πρώτα περάσει από το ποτενσιόμετρο.



**Εικόνα 4.35** Καλωδιώσεις κατασκευής



**Εικόνα 4.36** Είσοδος (αριστερά) και έξοδος (δεξιά) μετασχηματιστή

#### 4.1.6 Μετάδοση κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης της κατασκευής, το οποίο μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του κινητήρα σε παλινδρομική κίνηση της σεισμικής πλάκας αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία.

- Στρόφαλος συνδεδεμένος στον άξονα του κινητήρα
- Προέκταση στροφάλου με λάμα χάλυβα
- Διωστήρας μετάδοσης κίνησης
- Γωνία πακτωμένη στην σεισμική πλάκα
- Κοχλίες , περικόχλια, ροδέλες , αποστάτες

Ο στρόφαλος της κατασκευής είναι κατασκευασμένος από ξύλο, σφηνωμένος με κόλα στον άξονα του κινητήρα με πακτωμένη λάμα στο κέντρο του με σκοπό την αύξηση της διαμέτρου του.



Εικόνα 4.37 Στρόφαλος από ασπρόξυλο

Παραπάνω απεικονίζεται ο πρώτος στρόφαλος που κατασκευάστηκε από ασπρόξυλο, με την ασφάλεια συγκράτησης του στο κέντρο του.

Δυστυχώς αυτός ο στρόφαλος δεν άντεξε τα φορτία της κατασκευής και έτσι δημιουργήθηκε, ο εικονιζόμενος πιο κάτω, δεύτερος στρόφαλος από κόντρα πλακέ.



**Εικόνα 4.38** Στρόφαλος από κόντρα πλακέ με βίδα στήριξης του διωστήρα

Στην συνέχεια κατασκευάστηκε ο διωστήρας από λάμα χάλυβα και τοποθετήθηκε στην κατασκευή με το ένα άκρο του να πατάει στον στρόφαλο του κινητήρα (από τον οποίο παίρνει κίνηση) και το άλλο στην πακτωμένη στην σεισμική πλάκα γωνία. Η τοποθέτηση του έγινε με την χρήση κοχλιών, περικοχλιών, αποστατών και ροδελών όπως φαίνεται και πιο κάτω.



**Εικόνα 4.39** Σύστημα μετάδοσης κίνησης



**Εικόνα 4.40** Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Σε αυτό το σημείο χρήσιμο είναι να αναφερθεί ότι ο διωστήρας έχει ευθυγραμμιστεί με αλφάδι για την σωστή αξονική μετάδοση της κίνησης.

Επίσης, όλες οι συνδέσεις έχουν γρασσαριστεί για την ομαλότερη μετάδοση της κίνησης και την διασφάλιση της μακροζωίας των εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή.

#### 4.1.7 Αποσβεστήρας ταλάντωσης

Ο αποσβεστήρας της ταλάντωσης που χρησιμοποιούμε εδώ είναι δυναμικός αποσβεστήρα εκκρεμούς – μάζας και είναι αυτός που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.41 Δυναμικός αποσβεστήρα μάζας – εκκρεμούς

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα βαρίδι 200γραμμαρίων με ένα γαντζάκι στο πάνω μέρος του το οποίο συνδέεται με το πάνω μέρος της κατασκευής με την χρήση πετονιάς συγκεκριμένου όμως μήκους όπως υπολογίστηκε πιο πάνω.

Στο βάρος των 200 γραμμαρίων καταλήξαμε μετά από πολλές δοκιμές βαριδιών διαφορετικών μαζών. Επιλέξαμε αυτό διότι παρουσίαζε την ομαλότερη ταλάντωση σε σχέση με τα υπόλοιπα βαρίδια που δοκιμάστηκαν.

Παρακάτω φαίνεται ο αποσβεστήρας τοποθετημένος στο κτίριο και κατά σε λειτουργία κατά την διάρκεια δοκιμών που έγιναν.



**Εικόνα 4.42** Τοποθετημένος αποσβεστήρας στο κτίριο της κατασκευής



**Εικόνα 4.43** Τοποθετημένος αποσβεστήρας στο κτίριο της κατασκευής κατά την διάρκεια δοκιμών

## 4.2 Κατασκευή δυναμικού αποσβεστήρα Ελατηρίου - Μάζας

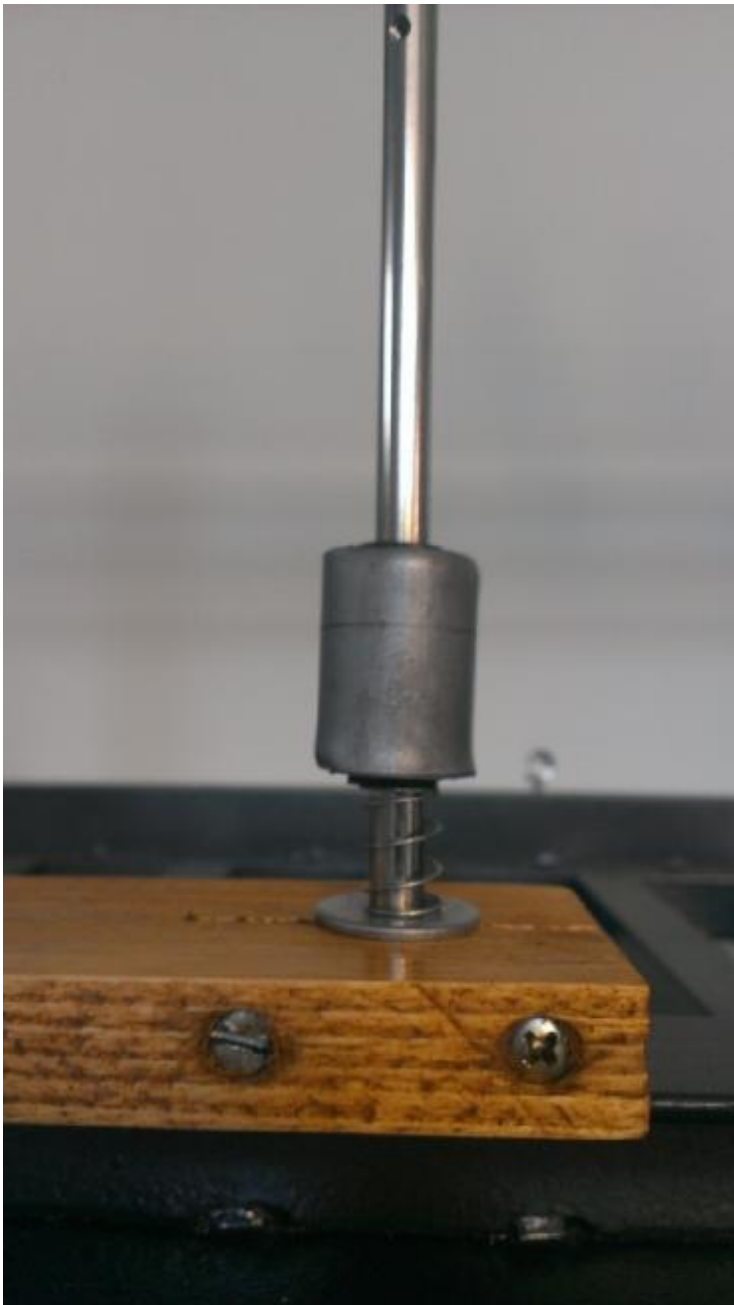


Εικόνα 4.45 δυναμικός αποσβεστήρας Ελατηρίου - Μάζας



Εικόνα 4.46 Κάτοψη δυναμικού αποσβεστήρα Ελατηρίου - Μάζας

Η κατασκευή αυτή αποτελείται από μια ξύλινη βάση στην οποία έγιναν εγχοπές και τρύπες και σφηνώθηκαν σε αυτήν οι 2 οδηγοί της κατασκευής με ξυλουργικές βίδες . Αποτελείται από 2 ίδια ελατήρια, ακόμα 1 ελατήριο μικρότερο των άλλων, 2 ίδια βαρίδια και 1 ακόμα βαρίδι μικρότερο των άλλων.



**Εικόνα 4.47** Ελατήριο – Μάζα χωρίς αποσβεστήρα



**Εικόνα 4.48** Ελατήριο – Μάζας με δυναμικό αποσβεστήρα ελατηρίου μάζας

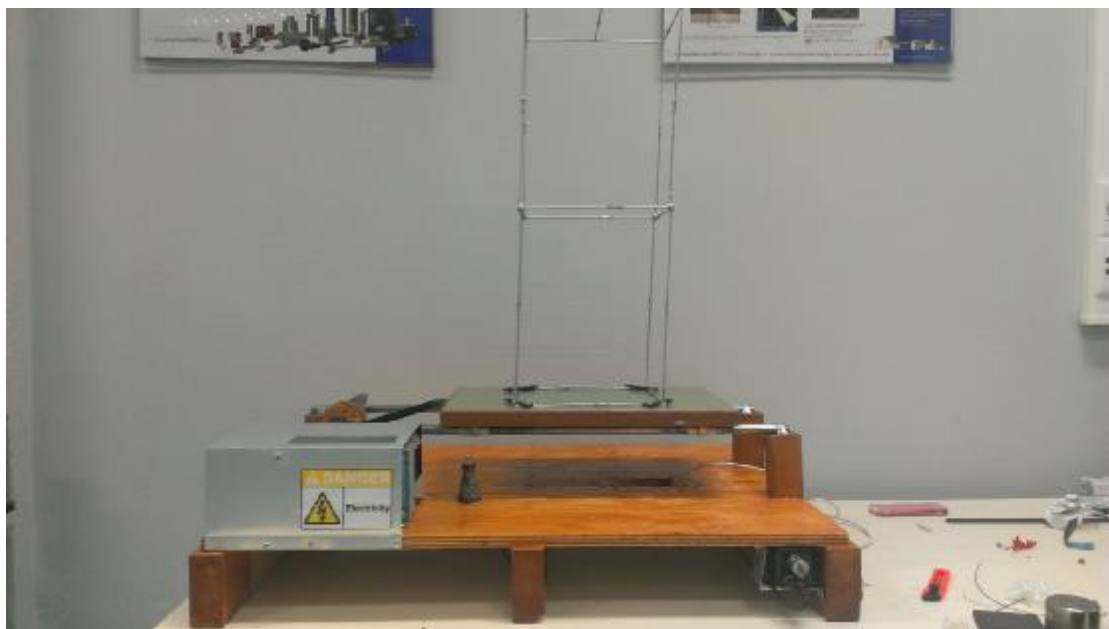


Στην μία μεριά της κατασκευής υπάρχει μόνο ένα σύστημα ελατηρίου μάζας ενώ στην άλλη υπάρχει και δυναμικός αποσβεστήρας ελατηρίου μάζας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ταλάντωση της δεξιάς μεριάς να μεταφέρεται στον αποσβεστήρα και να έχει πολύ μικρότερη ένταση και διάρκεια σε σχέση με την ταλάντωση της αριστερής μεριάς χωρίς αποσβεστήρα.

Εννοείται πως αναφερόμαστε πάντα σε διέγερση ίδιου φορτίου και για τις 2 πλευρές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### 5.1 Δυναμικός αποσβεστήρας μάζας – εκκρεμούς

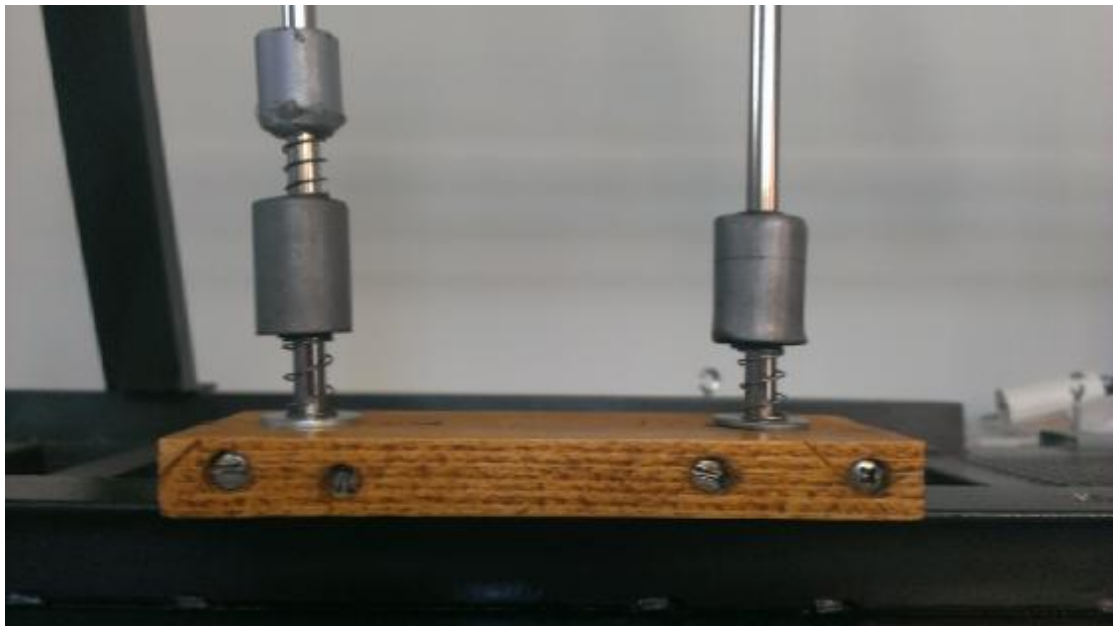


Εικόνα 5.1 Τελική μορφή 1<sup>ης</sup> κατασκευής



Εικόνα 5.2 Τελική μορφή 1<sup>ης</sup> κατασκευής

## 5.2 Δυναμικός αποσβεστήρας ελατηρίου – μάζας



Εικόνα 5.3 Τελική μορφή 2<sup>ης</sup> κατασκευής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [http://www.mecos.com/pdf/Modelling\\_and\\_Analysis.pdf](http://www.mecos.com/pdf/Modelling_and_Analysis.pdf)
2. <http://www.pumpsandsystems.com/topics/instrumentationcontrols/dynamic-vibration-absorbers-application-variable-speed-machines>
3. <http://nptel.ac.in/courses/112104040/pdf/lecture16.pdf>
4. <http://www.scribd.com/doc/235532702/9781447123323-c2#scribd>
5. <http://shure.custhelp.com/ci/fattach/get/29245/>
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_Vibration\\_Absorber](https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Vibration_Absorber)
7. Clarence W. de Silva, Vibration Damping, Control, and Design, CRC Press, 2007
8. Anthony F. Harris, Multi-Degree of Freedom Passive and Active Vibration Absorbers for the Control of Structural Vibration, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003
9. Στεφ. Α. Παϊπέτη, Δημοσθ. Δ. Πολύζου, Ταλαντώσεις και κύματα, εκδόσεις ίων, 2003
10. Διαλέξεις Θεωρίας Δρ. Τσινόπουλου Στέφανου