

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΙΟΡΔΑΝΗΣ ΠΕΤΡΙΔΗΣ

ΕΠΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΔΡ ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΠΑΠΑΛΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τον έλεγχο ταλαντώσεων κατασκευών με τη χρήση αποσβεστήρων. Με την εφαρμογή τους τροποποιείται η συμπεριφορά των κατασκευών κατά τη διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων, έτσι ώστε να προλαμβάνονται ή να ελαχιστοποιούνται οι ενδεχόμενες βλάβες εξ αυτών.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται ο τρόπος γένεσης των σεισμών, οι επιπτώσεις που έχουν πάνω στις κατασκευές και οι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης των κατασκευών. Παρουσιάζονται επίσης μη συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης των σεισμών με τη χρήση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων ελέγχου απόκρισης των κατασκευών. Εξετάζεται κυρίως η χρήση αποσβεστήρων στις κατασκευές.

Στο δεύτερο μέρος της πτυχιακής εργασίας, παρουσιάζονται εργαστηριακές δοκιμές οι οποίες αποσκοπούν στην πειραματική διερεύνηση μείωσης της ταλάντωσης της κατασκευής με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας (εκκρεμούς) χωρίς και με σωματίδια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Είμαι απερίγραπτα ευγνώμων για την υποστήριξη της καθηγήτριας Δρ. Αγγελικής Παπαλού, η οποία με βοήθησε και στήριξε καθ' όλη την διάρκεια διεξαγωγής της πτυχιακής εργασίας. Οι γνώσεις της είχαν καθοριστική σημασία για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, καθώς ειδικεύεται στον τομέα του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου που ήταν στο πλάι μου όλα αυτά τα χρόνια.

Αφιερώνω αυτή την εργασία στον αείμνηστο πατέρα μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

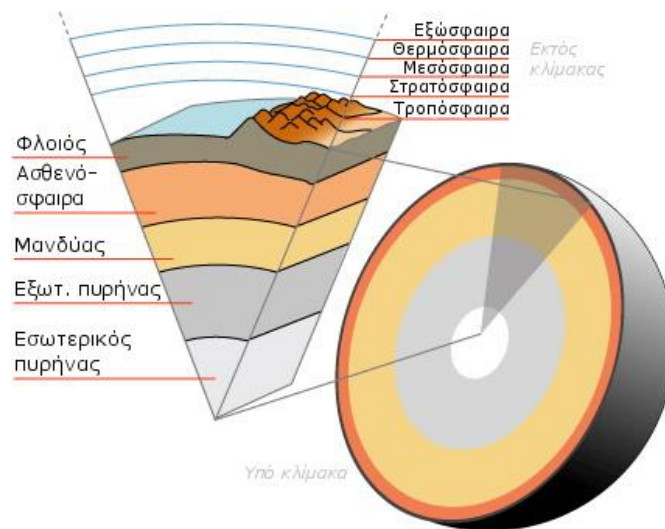
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Γήινος Φλοιός.....	6
1.2 Τεκτονικές Πλάκες.....	6
1.3 Όρια Τεκτονικών Πλακών.....	7
1.4 Γήινος Σεισμός.....	7
1.5 Τεκτονικοί Σεισμοί.....	8
1.6 Διάδοση σεισμικού φορτίου.....	9
• Επιμήκη Κύματα (P-Waves).....	9
• Εγκάρσια κύματα (S-Waves).....	9
1.7 Πώς οι σεισμοί επηρεάζουν την καθημερινότητα των ανθρώπων.....	9
2. Σεισμικές βλάβες σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι τρόποι επισκευής τους.....	10
Τυπικοί βαθμοί βλάβης	10
Θεμέλια	10
Ανωδομή	10
A. Φέρων οργανισμός ανωδομής	10
• Υποστυλώματα.....	10
• Δοκοί, πλάκες.....	11
• Τοιχώματα, κόμβοι.....	11
B. Οργανισμός Πλήρωσης	12
Γ. Δευτερεύοντα στοιχεία δομήματος	13
Γενικοί τρόποι επέμβασης σε προβλήματα που οφείλονται στις σεισμικές βλάβες	13
Επισκευές.....	13
Ενίσχυση.....	15
3. Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών.....	16
• Συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης του σεισμού :.....	16
• Μη συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης του σεισμού :.....	16
• Ενεργητικά συστήματα ελέγχου.....	16
• Παθητικά συστήματα ελέγχου.....	17
• Ημι-ενεργά συστήματα ελέγχου.....	17
i) Αποσβεστήρες ιξώδους.....	19
Αποσβεστήρες τοίχου ιξώδους (Viscous Wall Dampers ή VWD).....	20
Πλεονεκτήματα VWD.....	20
Ιξωδο-ελαστικοί αποσβεστήρες (Viscoelastic Dampers).....	21

ii) Αποσβεστήρες τριβής.....	21
Πλεονεκτήματα αποσβεστήρων τριβής.....	22
iii) Μεταλλικοί αποσβεστήρες	23
iv) Δυναμικοί αποσβεστήρες	24
Συντονισμένοι αποσβεστήρες μάζας, Tuned Mass Dampers (TMD).....	24
Αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας εκκρεμούς (PTMD)	27
Αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας ρευστού, Tuned Liquid Damper (TLD)	28
Αποσβεστήρες Σωματιδίων (PMD, Particle Dampers)	31
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ.....	33
Γενικές εφαρμογές σεισμικής μόνωσης στην Ελλάδα	35
• Γέφυρα Ρίου-Αντίρριου (Πάτρα)	35
• Νέο Μουσείο Ακρόπολης Αθηνών	36
• Κοινοφελές Ίδρυμα Ωνάση	37
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	39
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	39
Απαραίτητοι υπολογισμοί	42
Υποστυλώματα.....	42
Μάζα κατασκευής	42
Δυσκαμψίες	42
Υπολογισμός συντελεστή δυσκαμψίας ενός υποστυλώματος.....	43
Υπολογισμός ιδιοπεριόδου και ιδιοσυχνότητας κατασκευής.....	43
Ιδιοπερίοδος εκκρεμούς , εύρεση μήκους εκκρεμούς	43
Εργαστηριακές δοκιμές και μεθοδολογία.....	44
Διάγραμμα απόκρισης κτιριακού μοντέλου με ενσωματωμένο στο σύστημα αποσβεστήρα	51
Εύρος της καμπύλης αποκρίσεως.....	52
Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων (tuned mass damper)	54
Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων (Tuned Particle mass damper).....	56
Συζήτηση των αποτελεσμάτων.....	58
Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας (Tuned Mass Damper)	59
Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζα σωματιδίων.....	61
Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας χωρίς και με σωματίδια	64
Συμπεράσματα	66
Βιβλιογραφία	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γήινος Φλοιός

Ο φλοιός της Γης ή αλλιώς γεωφλοιός ονομάζεται το στρώμα στην επιφάνεια της. Το 70% περίπου του φλοιού της Γης αποτελείται κυρίως από θαλασσινό νερό. Κύριο συστατικό του γεωφλοιού είναι το πυρίτιο, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του φλοιού περιλαμβάνει πυριτιούχα ορυκτά και διοξείδιο του πυριτίου το οποίο είναι ένα από τα συστατικά τα οποία σε μεγάλο μέρος βρίσκεται στην **άμμο**. Ο φλοιός της Γης δεν είναι ενιαίος καθ' όλη την επιφάνεια της, αλλά χωρίζεται σε τμήματα τα οποία ονομάζονται **τεκτονικές πλάκες**.

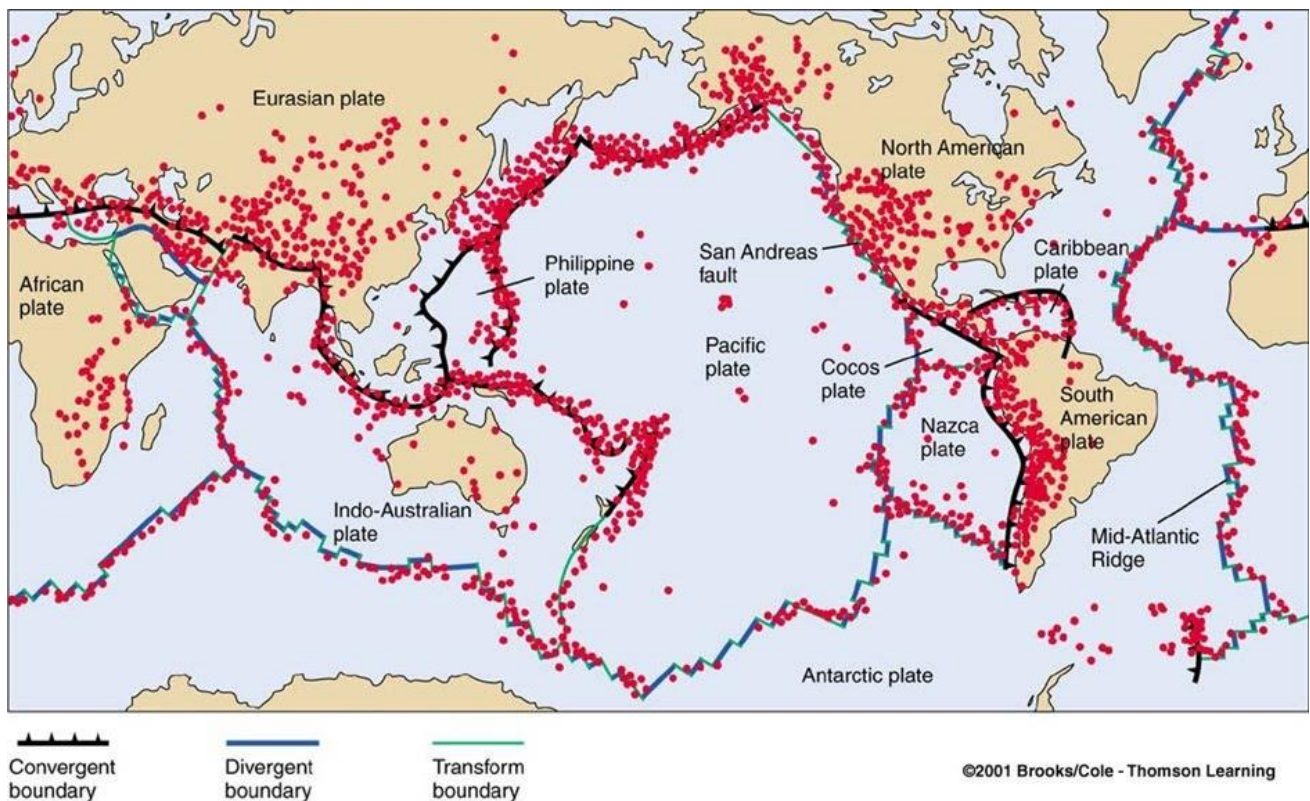


Εικ.1 Τομή της Γης ,(https://el.wikipedia.org/wiki/Γήινος_Φλοιός)

1.2 Τεκτονικές Πλάκες

Τεκτονικές πλάκες έχουν οριστεί ως οι ασυνέχειες οι οποίες παρουσιάζει ο γεωφλοιός. Οι τεκτονικές πλάκες βρίσκονται σε διαρκή κίνηση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και ενέργειας που αναπτύσσονται στον εσωτερικό πυρήνα της Γης (Εικ.1) και μεταφέρονται στον φλοιό μέσω μάγματος που βρίσκεται στον μανδύα (Εικ.1). Οι τεκτονικές πλάκες **αποκλίνουν, συγκλίνουν και ολισθαίνουν πλευρικός**, έχοντας ως αποτέλεσμα την συνεχή διαμόρφωση του φλοιού. Πέραν της διαμόρφωσης του φλοιού η μετακίνηση των τεκτονικών πλακών έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση αναταραχών στην επιφάνεια της Γης, γνωστές ως σεισμοί. Αυτό συμβαίνει όταν κάθε πλάκα ξεχωριστά κινείται ως ενιαίο άκαμπτο σώμα και συγκρούεται με οποιαδήποτε άλλη τεκτονική πλάκα.

Στα όρια των τεκτονικών πλακών εκδηλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της **ηφαιστειακής και σεισμικής** δραστηριότητας. (Εικ.2)



Εικ.2 Χάρτης Τεκτονικών Πλακών, (<https://sites.google.com/site/seismoiaspete/home/regmata>)

1.3 Όρια Τεκτονικών Πλακών

Οι τεκτονικές πλάκες κινούνται και είτε συγκλίνουν ή αποκλίνουν ή ολισθαίνουν πλευρικά.

α. Όταν οι πλάκες συγκλίνουν, πλησιάζουν η μια την άλλη και είτε βυθίζεται η μια κάτω από την άλλη είτε δημιουργούνται οροσειρές.

β. Όταν οι πλάκες αποκλίνουν, απομακρύνονται η μία από την άλλη με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα κενό μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μάγμα το οποίο προέρχεται από τον μανδύα να ανεβαίνει πάνω καλύπτοντας το κενό και να ψύχεται δημιουργώντας καινούρια κρούστα.

γ. Όταν ολισθαίνουν πλευρικά, δεν δημιουργείται νέα κρούστα ούτε καταστρέφεται.

1.4 Γήινος Σεισμός

Ο σεισμός συνήθως προκαλείται από την συσσώρευση ενέργειας στο εσωτερικό της Γης η οποία βίαια απελευθερώνεται είτε με την θραύση πετρωμάτων είτε με την σύγκλιση ή πλευρική ολίσθηση μεταξύ των τεκτονικών πλακών. Η ανατάραξη γίνεται αισθητή καθώς ένα μέρος της ενέργειας της οποίας έχει απελευθερωθεί μεταφέρεται στον γεωφλοιό μέσω των σεισμικών κυμάτων (P-Waves, S-Waves). Οι περισσότεροι σεισμοί στον πλανήτη Γη έχουν να κάνουν με τον τεκτονικό χαρακτήρα της και ονομάζονται τεκτονικοί σεισμοί οι οποίοι αποτελούν περίπου το 90% των σεισμών που συμβαίνουν στον πλανήτη Γη.

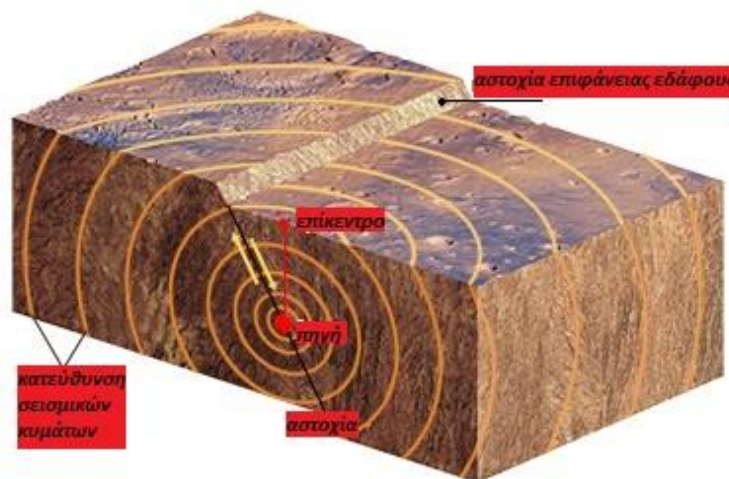
1.5 Τεκτονικοί Σεισμοί

Οι τεκτονικοί σεισμοί, όπως προαναφέρθηκε, οφείλονται στην συσσώρευση και απελευθέρωση ενέργειας μεταξύ των ορίων των τεκτονικών πλακών. Μεταξύ των ορίων αυτών αναπτύσσεται τριβή που εμποδίζει την ολίσθηση των πλακών. Σε περίπτωση όμως, που μεταξύ των τεκτονικών πλακών συσσωρευτεί ενέργεια και αναπτυχθούν μεγάλες τάσεις στα όρια των πλακών τότε η τριβή μπορεί να υπερνικηθεί δημιουργώντας ολίσθηση των πλακών. Με την ολίσθηση έχουμε την βίαιη απελευθέρωση της με αποτέλεσμα τον σεισμό όπως όλοι γνωρίζουμε. Η ολίσθηση αυτή προκαλεί ρήγματα, τα οποία μερικές φορές φτάνουν ως την επιφάνεια του εδάφους, **αστοχία επιφάνειας εδάφους** (Εικ.3).

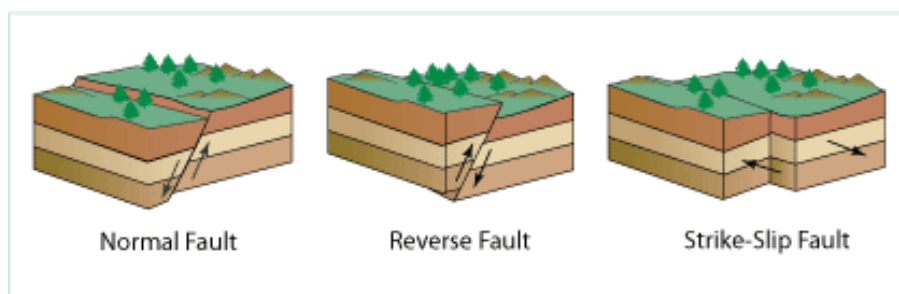
Οι τεκτονικοί σεισμοί χαρακτηρίζονται από την εστία το επίκεντρο και το εστιακό βάθος τους. Ως **εστία** ορίζεται το σημείο το οποίο παράγεται ο σεισμός (Εικ.3). Η κάθετη απόσταση από την πηγή έως την επιφάνεια του φλοιού ονομάζεται **εστιακό βάθος** και το σημείο **επίκεντρο** (Εικ.3).

Τα ρήγματα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες (Εικ.4) :

- Κανονικά ρήγματα (normal faults).
- Ανάστροφα ρήγματα (reverse faults, thrusts).
- Ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip, transform faults).



Εικ.3 Τομή σεισμικού μοντέλου, κανονικό ρήγμα
(<https://www.seis-insight.eu/en/public-2/planetary-seismology/seismic-waves>)



Εικ.4 Κατηγορίες σεισμικών ρηγμάτων, seismic faults.
(<https://gr.pinterest.com/pin/310255861810451389/>)

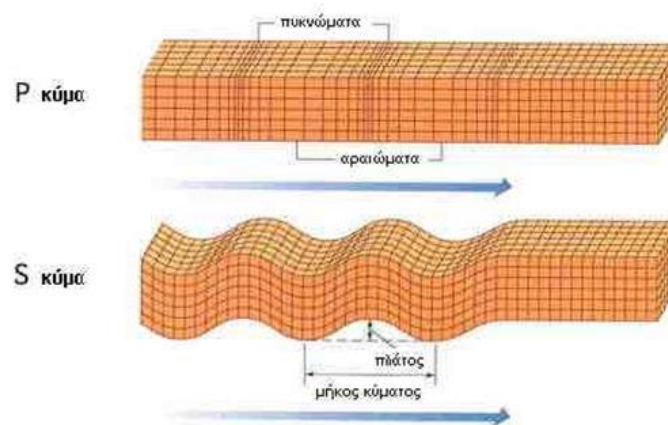
1.6 Διάδοση σεισμικού φορτίου

- Επιμήκη Κύματα (P-Waves)

Όταν συμβαίνει μια σεισμική δράση, τα πρώτα κύματα ενέργειας που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης ονομάζονται επιμήκη ή πρωτογενή κύματα (P-Wave). Είναι τα πρώτα κύματα τα οποία αναγράφουν τα σεισμόμετρα. Τα κύματα αυτά μπορούν να ταξιδέψουν διαμέσου όλων των στρωμάτων (συμπαγή πετρώματα, νερό). Τα πετρώματα ταλαντώνονται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

- Εγκάρσια κύματα (S-Waves)

Τα εγκάρσια ή δευτερογενή κύματα (S-Waves) είναι τα κύματα τα οποία ακολουθούν τα επιμήκη (P-Waves). Είναι πιο αργά όσο αφορά την ταχύτητα διάδοσης αλλά πιο ισχυρά και καταστρεπτικά από τα διαμήκη κύματα. Όταν ταξιδεύουν τα εγκάρσια κύματα τα πετρώματα ταλαντώνονται κάθετα στην διεύθυνση διάδοσης τους μεταβάλλοντας το σχήμα του πετρώματος. Τα S-Waves ταξιδεύουν με την μισή περίπου ταχύτητα από τα P-Waves και είναι υπαίτια για την ισχυρή ανατάραξη του φλοιού της Γης λόγω του μεγάλου πλάτους τους.



Εικ.5 Κύματα P και S (<http://physics4u.gr/>)

1.7 Πώς οι σεισμοί επηρεάζουν την καθημερινότητα των ανθρώπων

Ο σεισμός δημιουργεί ένα αίσθημα πανικού και ανασφάλειας λόγω των ανεπανόρθωτων ζημιών αλλά και θανάτων που έχει προκαλέσει με την πάροδο των χρόνων. Όταν βέβαια το επίκεντρό του βρίσκεται κοντά στις κατοικημένες περιοχές μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις κατασκευές ενώ μπορεί να τραυματιστούν άνθρωποι ή ακόμη να χάσουν τη ζωή τους.

Ο σεισμός μπορεί να επηρεάσει την καθημερινή μας ρουτίνα προκαλώντας προβλήματα σε δίκτυα, στα δομήματα και στο φυσικό περιβάλλον. Στη συνέχεια αναφέρονται ενδεικτικές βλάβες.

- Οδικό δίκτυο (καταστροφή δρόμων, γεφυρών κλπ.).
- Σιδηροδρομικό δίκτυο (καταστροφή γραμμών, συντριβή τρένων κλπ.).
- Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.
- Ηλεκτρικό δίκτυο (διακοπές ρεύματος, ζημιές σε στύλους της ΔΕΗ, πυρκαγιά κλπ.).
- Δίκτυο ύδρευσης (προβλήματα σε κύριο σύστημα ύδρευσης πόλης, ρωγμές σε αγωγούς, πλημμύρα, καταστροφή φραγμάτων κλπ.)
- Σε κατοικίες και άλλες κατασκευές (καταστροφή τοιχοποιίας, φέροντος οπλισμού κλπ.)

- Στο φυσικό περιβάλλον - κατολισθήσεις, καθιζήσεις (σε κατοικημένη περιοχή μπορεί να επιφέρει προβλήματα και σε κτιριακές κατασκευές).

2. Σεισμικές βλάβες σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι τρόποι επισκευής τους

Σε μια χώρα έντονης σεισμικής δραστηριότητας όπως η Ελλάδα, οι κατασκευές έρχονται αντιμέτωπες συχνά με διάφορα σεισμικά φορτία. Αυτό έχει σαφώς ως αποτέλεσμα τα κτίρια να υποστούν βλάβες και μερικές αυτών σημαντικές. Βέβαια, με την πάροδο των χρόνων, οι βλάβες αυτές είναι ο παράγοντας για την βελτίωση των κανονισμών και τον περιορισμό τους στις κατασκευές μας.

Η ταξινόμηση των βλαβών σχετίζεται με την ασφάλεια της κατασκευής ως ολότητα λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για άμεσα μέτρα (υποστύλωση, αντιστήριξη κλπ.) και το εκτιμώμενο χρονικό περιθώριο για την επισκευή των βλαβών. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή τυπικών βλαβών σε μεμονωμένα στοιχεία της κατασκευής:

Τυπικοί βαθμοί βλάβης

Θεμέλια

Αστοχία υπεδάφους ή και θεμελίων. Οι βλάβες αυτές είναι σοβαρές και εμφανίζονται ως:

- I. Διαφορικές καθιζήσεις (καθίζηση του υπεδάφους σε παραπάνω από δύο σημεία με διαφορετικό ύψος καθίζησης μεταξύ αυτών).
- II. Ολίσθηση (Εικ.4)
- III. Αστοχία συνδετήριων δοκών.

Ανωδομή

Η ανωδομή είναι το μέρος της κατασκευής το οποίο βρίσκεται άνω της θεμελίωσης. Η ανωδομή αποτελείται από τον **φέρονοντα οργανισμό** της, τον **οργανισμό πλήρωσης** και τα **δευτερεύοντα στοιχεία κατασκευής**.

A. Φέρων οργανισμός ανωδομής.

Ο φέρων οργανισμός της κατασκευής μεταφέρει με ασφάλεια τα φορτία της κατασκευής στο έδαφος και αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- I. Υποστυλώματα
- II. Δοκοί, πλάκες
- III. Τοιχώματα, κόμβοι

- **Υποστυλώματα.**

Τα υποστυλώματα της κατασκευής αποτελούν τα δεύτερα πιο σημαντικά στοιχεία της κατασκευής μετά τη θεμελίωση. Έτσι, η παρουσία οποιασδήποτε βλάβης μπορεί να οδηγήσει σε τμηματική ή ακόμη και καθολική κατάρρευση του δομήματος (Εικ.6).

Οι βλάβες στα υποστυλώματα κατατάσσονται σε βαθμούς, αναλόγως της σημαντικότητας της βλάβης:

- I. Ελαφρές βλάβες Βαθμός «Α», Βαθμός «Β» (αφορούν μεμονωμένες ρωγμές μικρού πλάτους).
- II. Σοβαρές βλάβες Βαθμός «Γ» (για έντονες ρηγματώσεις).
- III. Βαριές βλάβες Βαθμός «Δ» (εκτεταμένες βλάβες στο σκυρόδεμα και στον κύριο οπλισμό που περιλαμβάνει άνοιγμα συνδετήρων, λυγισμό ράβδων κλπ.)

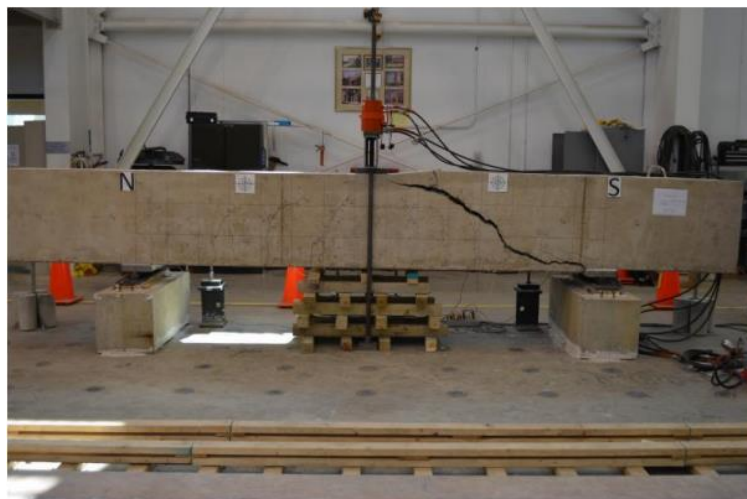
Σε εξαιρετες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και ο Βαθμός «Ε» όπου οι βλάβες είναι δύσκολο να επισκευαστούν.



Εικ.6 Υποστύλωμα μετά από σεισμό. (<https://www.prooptiki-insurance.gr/>)

- Δοκοί, πλάκες

Η κύρια λειτουργία των δοκών και των πλακών είναι σε κάμψη. Οι δοκοί εμφανίζουν πιο συχνά βλάβες από τις πλάκες. Οι βλάβες αυτές δεν είναι τόσο σημαντικές όσο των υποστυλωμάτων (Εικ.7).



Εικ.7 Διατμητική αστοχία σε δοκό.
(<https://www.pinterest.com/pin/164240717640574621/>)

- Τοιχώματα, κόμβοι

Τα τοιχώματα και οι κόμβοι ενισχύουν την διατμητική αντοχή της κατασκευής. Κάθε βλάβη, ακόμη και ρωγμή, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ως σοβαρή καθώς επηρεάζει άμεσα την ακεραιότητα του κτιρίου. (Εικ.8, Εικ.9).



Εικ.8 Διατμητική βλάβη τοιχώματος (<http://www.eqclearinghouse.org>)



Εικ.9 Αστοχία κόμβων από σεισμό στην Τουρκία τον Αύγουστο του 1999, (https://www.researchgate.net/figure/Partial-Building-Collapse-due-to-failure-of-beam-column-joints-in-the-Izmit-Turkey_fig1_324165100)

B. Οργανισμός Πλήρωσης

Ως οργανισμός πλήρωσης ορίζεται το σύνολο της άοπλης οπτοπλινθοδομής, κοινώς τούβλα, για την κάλυψη των φατνωμάτων. Οι βλάβες του οργανισμού πλήρωσης κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- I. Ελαφριές βλάβες (αφορά κυρίως μικρές ρηγματώσεις, $<1,0$ mm).
- II. Σοβαρές βλάβες (αφορά έντονες ρηγματώσεις, $\leq 5,0$ mm).
- III. Βαριές βλάβες (θραύση, μεγάλες ανοικτές ρωγμές, έως και 10 mm).

Γ. Δευτερεύοντα στοιχεία δομήματος

Δευτερεύοντα στοιχεία μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα θεωρούνται αυτά τα οποία φέρουν μικρά ή μηδενικά φορτία και αποσκοπούν στην λειτουργικότητα του κτιρίου. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν: καμινάδες, πατάρια, τζάκια, αρμούς, ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, υδραυλικές εγκαταστάσεις κλπ. Για τις δευτερεύουσες κατασκευές δομήματος δεν υπάρχουν τυπικοί βαθμοί βλάβης.

Γενικοί τρόποι επέμβασης σε προβλήματα που οφείλονται στις σεισμικές βλάβες

Με βάση τον βαθμό της βλάβης και τις καταστροφές που έχει υποστεί η κατασκευή ακολουθούν κάποιοι γενικοί τρόποι επέμβασης:

- Απαλλαγή της κατασκευής από δυσμενή φορτία (πχ. καθαίρεση ανώτερων ορόφων).
- Περιορισμός της χρήσης της κατασκευής (μείωση κινητού φορτίου).
- Τροποποίηση αμφιέριστων τμημάτων δοκών σε συνεχές δοκούς.
- Αποκατάσταση δομικών στοιχείων (φέρουσας ικανότητας, δυσκαμψίας).
- Αντικατάσταση δομικών στοιχείων (σε περίπτωση που η βλάβη είναι ανεπανόρθωτη).
- Ενίσχυση δομήματος (πχ. αντιρήδες).

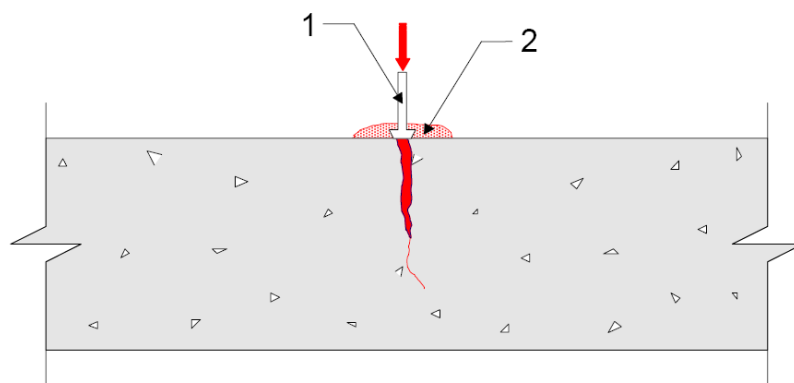
Επισκευές

Ως επισκευή ορίζεται η διαδικασία επέμβασης σε μια κατασκευή που έχει υποστεί βλάβες. Η κατασκευή μετά την αποκατάσταση των στοιχείων τα οποία φέρουν τις βλάβες επαναφέρεται στην αρχική της κατάσταση. Στις επισκευές μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα κάτωθι:

- I. Πολυμερικές κόλλες-Ρητίνες, Ενέσεις ρητίνης (Εικ.11). Χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση μικρού πλάτους ρωγμών ή επικόλληση μεταλλικών ή FRP φύλλων.
- II. Ρητινοκονιάματα. (για επισκευή βλαβών που απαιτείται συμπλήρωση υλικού όπως στην περίπτωση αποφλοίωσης σκυροδέματος).
- III. Τσιμεντοκονιάματα (για πλήρωση μεγαλύτερου εύρους ρωγμών).

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή (ή ενίσχυση) τα εξής :

- Ινοπλισμένα πολυμερή, (Εικ.12) (υπάρχει υπό την μορφή ράβδων, ελασμάτων και υφασμάτων, τα οποία είναι εμπλουτισμένα με ίνες άνθρακα οι οποίες λόγω της κατάταξης τους προσδίδουν υψηλή στιβαρότητα και αντοχή σε θραύση).
- Επισκευή με επικολλητά μεταλλικά ελάσματα, (Εικ.13)



Εικ.10 Ενέσεις ρητίνης σε ρωγμή, (<https://www.paints-mihopoulos.gr/Επισκευή-Ρωγμών-Ενέματα-Ρητινενέσεις-Εποξειδικές-Ρητίνες>)



Εικ.11 Ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή με την μορφή ελάσματος, (<http://www.epidomos.gr/page.php?id=50&lang=>)



Εικ.12 Επικολλητά μεταλλικά ελάσματα, με χρήση πρόσθετων στοιχείων αγκύρωσης (http://sideris-konstantinos.blogspot.com/p/blog-page_8741.html)

Ενίσχυση

Ως ενίσχυση ορίζεται η διαδικασία επέμβασης σε μια κατασκευή, ανεξάρτητα με το αν φέρει βλάβες, η οποία αυξάνει την φέρουσα ικανότητα της. Κάποιες από τις μεθόδους ενισχύσεων είναι οι εξής:

- Ενίσχυση δομικών στοιχείων με την χρήση μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος ή άλλων υλικών (αύξηση αντοχής, αύξηση πλαστιμότητας).
- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού.
- Κατασκευή δικτυωτών συστημάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού.
- Επιπρόσθετα κατακόρυφα στοιχεία (αύξηση δυσκαμψίας, αντοχής και πλαστιμότητας, κλπ.)

Συχνά γίνεται **συνδυασμός των επισκευών με την ενίσχυση των κατασκευών**, ιδίως όταν οι βλάβες προέρχονται από σεισμό. Αναλόγως τον στόχο του συνδυασμού επιλέγεται και η κατάλληλη εφαρμογή της μεθόδου. Οι συνδυασμοί-μέθοδοι αυτοί αποσκοπούν:

- I. Αύξηση δυσκαμψίας και αντοχής.
- II. Αύξηση πλαστιμότητας.
- III. Συνδυασμός των I. και II.

3. Αντισεισμικός σχεδιασμός κατασκευών

Ο σεισμός είναι ένα δυναμικό φαινόμενο το οποίο είναι ικανό να φέρει καταστροφές στα κτίρια και στις κατασκευές με συνέπεια τις υπέρογκες υλικές ή και μη ζημιές.

Στόχος του Αντισεισμικού σχεδιασμού των κατασκευών είναι η διασφάλιση σε περίπτωση σεισμού ότι:

- τα κτίρια θα είναι ασφαλή για την σωματική ακεραιότητα των ανθρώπων.
- οι βλάβες που θα υποστούν τα δομήματα θα είναι περιορισμένες.
- το κτίριο δεν θα οδηγηθεί σε κατάρρευση.

Η δόνηση που προκαλείται στις κατασκευές μας λόγω σεισμού μπορεί να αντιμετωπιστεί με συμβατικούς ή μη συμβατικούς τρόπους:

- Συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης του σεισμού

Οι συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης εκμεταλλεύονται την πλάσטיμη συμπεριφορά των φερόντων στοιχείων της κατασκευής για την απόσβεση της εισερχόμενης σεισμικής ενέργειας.

- Μη συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης του σεισμού

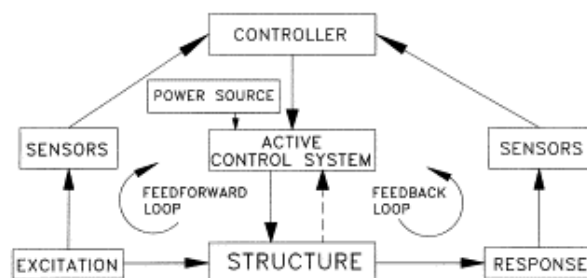
Αναφέρονται σε ειδικά συστήματα ελέγχου απόκρισης της κατασκευής τα οποία χωρίζονται κυρίως σε δύο μεγάλες κατηγορίες

Ενεργητικά και **Παθητικά συστήματα**.

- Ενεργητικά συστήματα ελέγχου

Τα ενεργητικά συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούν μια εξωτερική πηγή ενέργειας και ελέγχουν την μετακίνηση την ταχύτητα και την επιτάχυνση της κατασκευής. Το σύστημα συμπεριλαμβάνει υπολογιστές, ενεργοποιητές και αισθητήρες μέσω των οποίων ελέγχεται η απόκριση της κατασκευής κατά την σεισμική δραστηριότητα.

Εάν η απόκριση της κατασκευής δεν είναι η επιθυμητή το σύστημα αναπτύσσει δυνάμεις ελέγχου για την μείωση της απόκρισης στα επιθυμητά επίπεδα.



Εικ.13 Διάγραμμα λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων (Symans και Constantinou)

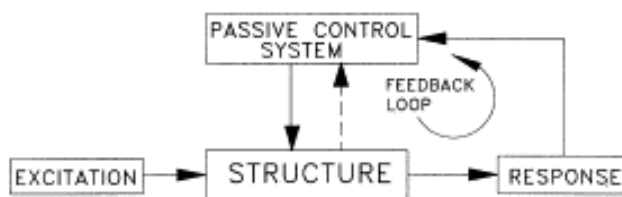
Ο σχεδιασμός τους είναι ανεξάρτητος από την εδαφική ιδιομορφία της περιοχής. Ωστόσο, τα ενεργητικά συστήματα ελέγχου, απαιτούν την συνεχή παροχή ενέργειας από εξωτερική πηγή. Το σύστημα είναι πολύπλοκο και δαπανηρό για αυτό και χρησιμοποιείται σε πολύ ειδικές περιπτώσεις.

- **Παθητικά συστήματα ελέγχου**

Τα παθητικά συστήματα ελέγχου έχουν το πλεονέκτημα να χρησιμοποιούν υλικά τα οποία απορροφούν και αποσβένουν την σεισμική ενέργεια που δρα στην κατασκευή. Αυτό κατά συνέπεια δεν απαιτεί την χρήση εξωτερικής πηγής ενέργειας, όπως στα ενεργητικά συστήματα ελέγχου, με αποτέλεσμα το κόστος κατασκευής τους να είναι μικρότερο σε σύγκριση με τα ενεργητικά συστήματα ελέγχου.

Επίσης, δεδομένου ότι δεν απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας καθιστά αυτό το μέσο ελέγχου αξιόπιστο δεν επηρεάζεται από διακοπές ρεύματος οι οποίες είναι κοινές κατά τη διάρκεια σεισμών.

Η σωστή επιλογή του κατάλληλου για εφαρμογή παθητικού συστήματος ελέγχου εξαρτάται από την κρίση του σχεδιαστή, την αποτελεσματικότητα της συσκευής και τις διάφορες συνθήκες σχεδίασης.



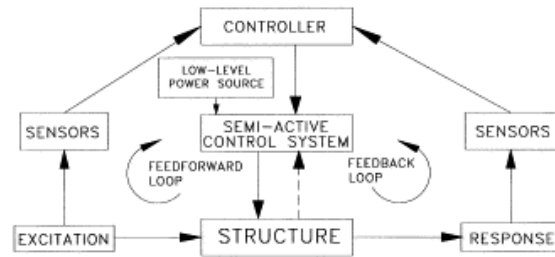
Εικ.14 Διάγραμμα ελέγχου των παθητικών συστημάτων (Symans και Constantinou)

- **Ημι-ενεργά συστήματα ελέγχου**

Τα ημι-ενεργά συστήματα ελέγχου εντάχθηκαν πολύ πρόσφατα στις εφαρμογές των πολιτικών μηχανικών. Το σύστημα αυτό προέρχεται από ένα σύστημα παθητικού ελέγχου το οποίο στη συνέχεια έχει τροποποιηθεί ώστε να επιτρέπει τη ρύθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του. Για παράδειγμα, οι συμπληρωματικές συσκευές διάχυσης ενέργειας που διαχέουν ενέργεια μέσω διάτμησης ιξώδους υγρού, στόμιο υγρού και τριβής ολίσθησης, έχουν τροποποιηθεί ώστε να συμπεριφέρονται με ημι-ενεργό τρόπο.

Οι μηχανικές ιδιότητες αυτών των συστημάτων μπορούν να προσαρμοστούν με βάση την ανάδραση από τη διέγερση ή από τη μετρούμενη απόκριση. Όπως σε ένα ενεργό σύστημα ελέγχου, έτσι και σε αυτή την μέθοδο, ένας ελεγκτής παρακολουθεί τις μετρήσεις ανάδρασης και παράγει ένα κατάλληλο σήμα εντολής. Οι δυνάμεις ελέγχου αναπτύσσονται ως αποτέλεσμα της κίνησης της ίδιας της δομής, μέσω κατάλληλης προσαρμογής των μηχανικών ιδιοτήτων του συστήματος. Επιπλέον, οι δυνάμεις ανάδρασης σε πολλά ημι-ενεργά συστήματα ενεργούν κυρίως για να αντισταθούν στην κίνηση του δομικού συστήματος και επομένως να προωθήσουν την σταθερότητα της κατασκευής. Τα

συστήματα αυτά απαιτούν γενικά μια μικρή ποσότητα εξωτερικής ισχύος για λειτουργία (της τάξης των δεκάδων βατ).



Εικ.15 Διάγραμμα ελέγχου των ημι-ενεργειακών συστημάτων (Symans και Constantinou)

Ο μηχανισμός ο οποίος ελαττώνει σταδιακά μια ταλάντωσης, έναν κραδασμό έναν ήχο, κλπ. μέχρι αυτό να εξαλειφθεί τελείως ονομάζεται **αποσβεστήρας**. Τέτοιοι μηχανισμοί συναντιούνται καθημερινά και περνούν απαρατήρητοι όπως για παράδειγμα τα αμορτισέρ ενός αυτοκινήτου ή οι αναρτήσεις ενός ποδηλάτου.

Οι αποσβεστήρες μετατρέπουν την επαγομένη στο σύστημα μηχανική ενέργεια σε άλλους τύπους ενέργειας, με το μεγαλύτερο μέρος αυτών την θερμότητα. Οι ίδιες αποσβέσεις της κατασκευής προέρχονται από την απώλεια ενέργειας ανά κύκλο παραμόρφωσης και τριβής μεταξύ των συνδέσεων. Το μεγαλύτερο μέρος απόσβεσης είναι μικρό όταν η παραμόρφωση είναι κάτω από το όριο ελαστικότητας. Αυτές οι συσκευές θα απορροφήσουν την επαγομένη ενέργεια στην κατασκευή μειώνοντας τον κίνδυνο υπερφόρτωσης της κατασκευής, που μπορεί να οδηγήσει στην αστοχία.

Η κινητική ενέργεια της κατασκευής με μια τέτοια συσκευή περιγράφεται από την εξίσωση:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + \Gamma x = -(m + \bar{m})\ddot{x}_g$$

Όπου:

m και \bar{m} οι μάζες της κατασκευής και του παθητικού συστήματος ελέγχου αντίστοιχα, c ο συντελεστής απόσβεσης, k η δυσκαμψία της κατασκευής, \ddot{x}_g η επιτάχυνση της βάσης και Γx η δύναμη ελέγχου.

Οι συσκευές οι οποίες αποσβένουν κάποιου είδους ενέργεια (πχ σεισμός, άνεμος) ποικίλουν. Σημαντικοί παράγοντες στην επιλογή της κατάλληλης συσκευής είναι η κατασκευή, η σεισμικότητα ή τα φορτία ανέμου της περιοχής, η σημαντικότητα της κατασκευής καθώς και το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Οι συσκευές απόσβεσης ενέργειας κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες ως εξής:

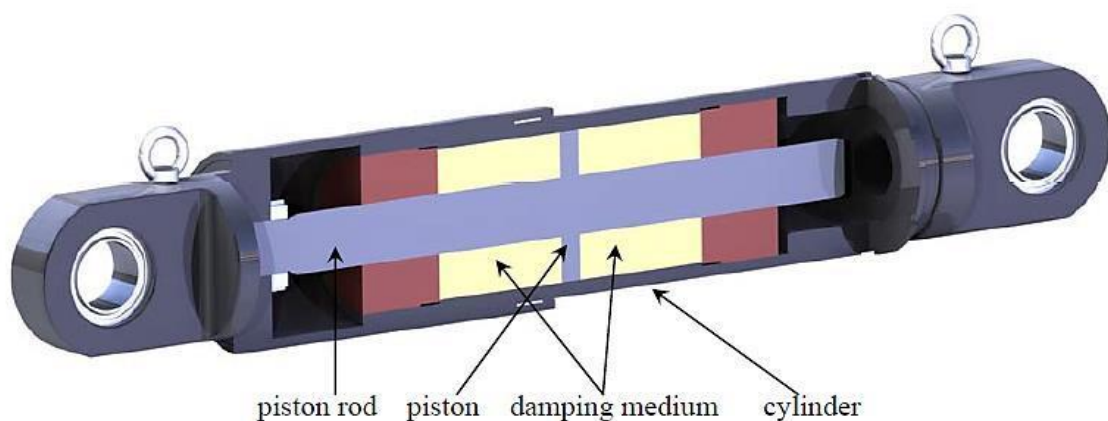
- i) Αποσβεστήρες ιξώδους
- ii) Αποσβεστήρες τριβής
- iii) Μεταλλικοί αποσβεστήρες
- iv) Δυναμικοί αποσβεστήρες.
 - Συντονισμένοι αποσβεστήρες μάζας (TMD).
 - Συντονισμένοι αποσβεστήρες μάζας εκκρεμούς (PTMD).
 - Συντονισμένοι αποσβεστήρες ρευστού (TLD).
 - Συντονισμένοι αποσβεστήρες σωματιδίων (PMD).

i) Αποσβεστήρες ιξώδους

Οι αποσβεστήρες ιξώδους είναι συσκευές οι οποίες βασίζονται στην απόσβεση της ενέργειας μέσω της τριβής που δημιουργείται από την κίνηση ενός σώματος μέσα σε ένα ιξώδες ρευστό. Αποτελούνται από έναν κύλινδρο ο οποίος περιέχει ιξώδες ρευστό και από ένα έμβολο με σπές που κινείται διαμέσου του κυλίνδρου. Ως αποτέλεσμα, διαμορφώνονται υψηλές πιέσεις στα ανάντη και χαμηλές πιέσεις στα κατόντη του συστήματος έτσι ώστε η κίνηση του ρευστού να είναι υψηλής ταχύτητας. Κατ' επέκταση η απόσβεση της ενέργειας γίνεται με την μορφή θερμότητας λόγω αντίστασης της κίνησης του ρευστού από την ανάπτυξη δυνάμεων τριβής μεταξύ του έμβολου και του ρευστού.



Εικ.16 Καλωδιωτή γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου 2002-2004, (<https://www.elemka.gr/>)



Εικ.17 Αποσβεστήρες ιξώδους ρευστού (seismico.com, youbuyfrance.com & Qian F., Ding S., 15WCEE)

Οι αποσβεστήρες ιξώδους χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε στρατιωτικές και αεροδιαστημικές εγκαταστάσεις. Η επίδραση τους στις κατασκευές μπορεί να μεταφραστεί από την παρακάτω εξίσωση ενέργειας:

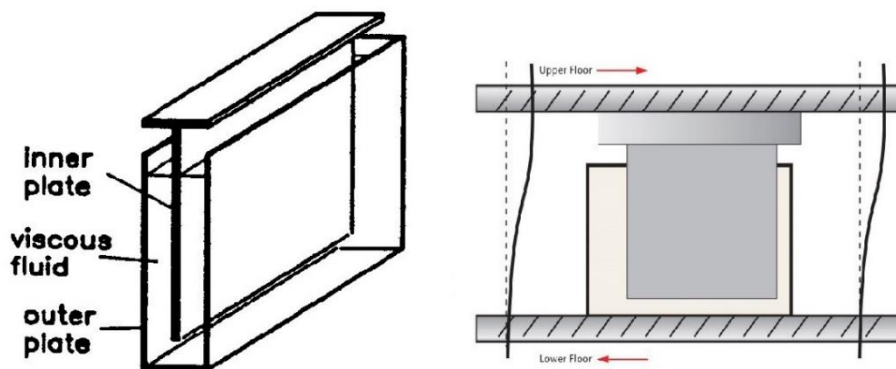
$$E_i = E_h + E_k + E_s + E_x$$

Όπου:

E_i είναι η εισαγόμενη ενέργεια στο σύστημα, E_h μη ανακτήσιμη υστερική ενέργεια, E_k η κινητική ενέργεια, E_s η ανακτήσιμη ελαστική ενέργεια παραμόρφωσης και E_x η ενέργεια η οποία έχει καταναλωθεί από την ιξώδη απόσβεση. Η δύναμη ελέγχου ενός αποσβεστήρα ιξώδους είναι ανάλογη της σχετικής ταχύτητας μεταξύ των άκρων του αποσβεστήρα.

Αποσβεστήρες τοίχου ιξώδους (Viscous Wall Dampers ή VWD)

Οι αποσβεστήρες τοίχου ιξώδους αποτελούνται από μια χαλύβδινη δεξαμενή που περιέχει ιξώδες ρευστό και μια εσωτερική πλάκα αντιστάσεως. Κατά τη διάρκεια της διέγερσης, η οποία μπορεί να οφείλεται στον άνεμο ή σε κάποιο σεισμό, προκαλούν την εσωτερική πλάκα να μετακινηθεί αντίθετα στην κίνηση του φορτίου με αποτέλεσμα την διάλυση της ενέργειας εξαιτίας της διατμητικής δράσης του ρευστού.



Εικ.18 Viscous wall damper, (<https://www.structuremag.org/>)

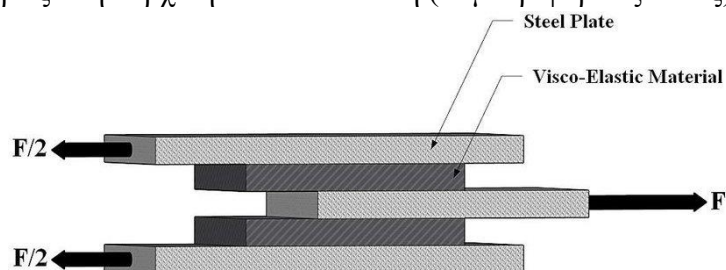
Αυτή η μέθοδος είναι πρωτοποριακή στον κλάδο της αντισεισμικής προστασίας και αποτελεί ανακάλυψη της εταιρία Dynamic Isolation Systems η οποία κατασκευάζει αυτό το είδος αποσβεστήρων. Μέχρι σήμερα έχει εφαρμοστεί σε πάνω από εκατό σημαντικά κτίρια.

Πλεονεκτήματα VWD

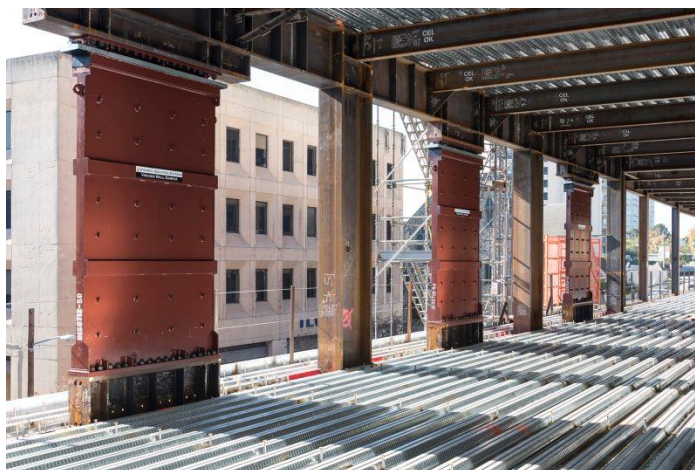
- Μπορεί να σχεδιαστεί με δύο εσωτερικές πλάκες αντιστάσεως έχοντας ως αποτέλεσμα δύο φορές μεγαλύτερη δύναμη απόσβεσης με μια μικρή μετατροπή στο πάχος του αποσβεστήρα.
- Το συμπαγές τους σχήμα δίνει ευελιξία στους αρχιτέκτονες.
- Μείωση των πλευρικών μετατοπίσεων και καταπονήσεων της κατασκευής έως και 50%. Αυτό καθιστά αυτόματα την κατασκευή πιο οικονομική καθώς οι ανάγκες για χάλυβα μειώνονται.
- Εύκολη τοποθέτηση τους και χρήση τους γενικά αλλά και ειδικά σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

Ιξωδο-ελαστικοί αποσβεστήρες (Viscoelastic Dampers)

Οι ιξωδο-ελαστικοί αποσβεστήρες συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των αποσβεστήρων ιξώδους και των ελαστομερών υπό την παραμόρφωση τους. Αυτό σημαίνει πως θα επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση όταν σταματήσει να δρα η δύναμη (F), (Εικ.19) αλλά θα πάρει κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να επανέλθει πλήρως στην αρχική του κατάσταση (συμπεριφορά ιξώδους).



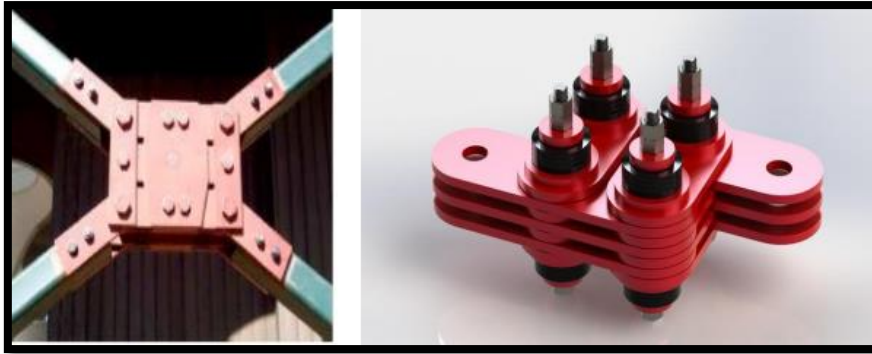
Εικ.19 VWD (<https://www.aisc.org/>)



Εικ.20 Ιξωδο-ελαστικός αποσβεστήρας, viscoelastic damper (<https://www.researchgate.net/>)

ii) Αποσβεστήρες τριβής

Οι αποσβεστήρες τριβής είναι συσκευές οι οποίες βασίζονται στο φαινόμενο της τριβής μέσω της ολίσθησης επιφανειών ανάμεσα σε δύο στερεά σώματα. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται, συνήθως, από ένα σύνολο μεταλλικών πλακών, στενά συνδεδεμένων μεταξύ τους, οι οποίες υπό την υποβολή ορισμένου φορτίου έχουν την δυνατότητα και ολισθαίνουν. Ως αποτέλεσμα της κίνησης μεταξύ των μεταλλικών πλακών, έχουμε την απόσβεση ενέργειας λόγω ανάπτυξης της τριβής και την διάχυση της στο περιβάλλον ως θερμότητα.



Εικ.21 Αποσβεστήρες Τριβής (Elgamal/Fraser, 2004 & damptech.com)

Η επιθυμητή διάχυση ενέργειας επιτυγχάνεται από την τριβή που αναπτύσσεται από τις πλάκες, οι οποίες είναι σφικτά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό οι επιφάνειες επαφής είναι σημαντικό να μένουν ξηρές. Η θεωρία της ξηρής τριβής βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις:

- Η συνολική δύναμη τριβής που αναπτύσσεται είναι ανεξάρτητη από την επιφάνεια επαφής
- Η συνολική δύναμη τριβής που αναπτύσσεται είναι ανάλογη του κάθετου αξονικού φορτίου στις επιφάνειες επαφής
- Για την περίπτωση ολίσθησης των δύο επιφανειών σε χαμηλή σχετικά ταχύτητα, η δύναμη τριβής είναι ανεξάρτητη αυτής της ταχύτητας.

Σαν αποτέλεσμα αυτών των υποθέσεων την στιγμή που αρχίζει η ολίσθηση και κατά τη διάρκεια αυτής η δύναμη τριβής είναι:

$$F = \mu * N$$

F= τριβή ολίσθησης, μ = συντελεστής τριβής, N= Αξονική δύναμη κάθετη στην επιφάνεια.

Την επιθυμητή τριβή ολίσθησης την επιτυγχάνουμε ρυθμίζοντας την κάθετη δύναμη στις επιφάνειες και επιλέγοντας τα κατάλληλα υλικά επιφανειών που παρέχουν το ζητούμενο συντελεστή τριβής μ . Η τιμή του μ δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία, επηρεάζεται όμως από τις χημικές αντιδράσεις που ενδεχομένως γίνονται στις επιφάνειες επαφής.

Αν εξετάσουμε μικροσκοπικά τις επιφάνειες θα δούμε ότι δεν είναι λείες αλλά τραχιές. Η αλληλεμπλοκή αυτών των ανωμαλιών κατά την διάρκεια της ολίσθησης δημιουργεί ελαστικές ή πλαστικές παραμορφώσεις στην επιφάνεια με αποτέλεσμα την δύναμη τριβής. Αν όμως υπάρχει υγρασία στην συσκευή η επιφάνεια θα είναι οξειδωμένη αλλοιώνοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά της με αποτέλεσμα την **μείωση** της δύναμης τριβής. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι η προφύλαξη της συσκευής από την υγρασία είναι σημαντική.

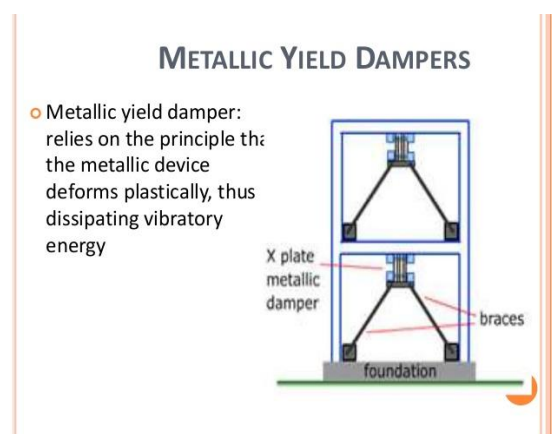
Πλεονεκτήματα αποσβεστήρων τριβής

- Εκτός της απόσβεσης, οι αποσβεστήρες τριβής προσδίδουν δυσκαμψία στο κτίριο .
- Οι επιδόσεις τους είναι ανεξάρτητες από την ταχύτητα της ταλάντωσης και την θερμοκρασία που αναπτύσσεται.
- Σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών, οι βλάβες που προκαλούνται σε ένα κτίριο μετά το τέλος του σεισμού είναι οι ελάχιστες δυνατές λόγω της πολύ μικρής σχετικής μετακίνησης ορόφων και της διάχυσης ενέργειας.

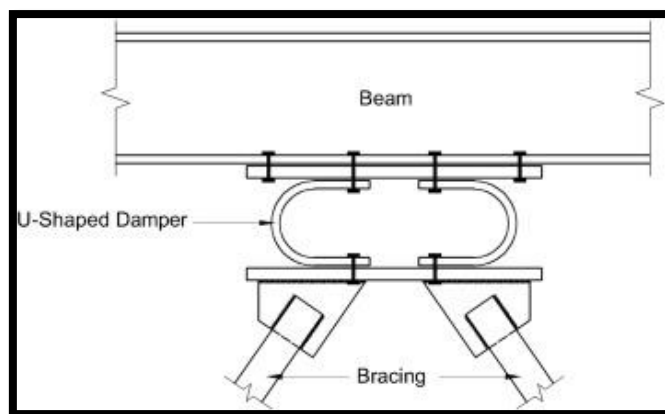
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και προσφέρουν μια αξιόπιστη λύση, στοιχεία που ικανοποιούν τις ανάγκες φωτισμού και αερισμού των χώρων. Μπορούν να κρυφτούν μέσα σε τοίχους, δεν επηρεάζουν την αρχιτεκτονική του κτιρίου και αυτό τους κάνει να είναι **ιδανική λύση για ιστορικά κτίρια**.
- Η ικανότητα απορρόφησης – διάχυσης σεισμικής ενέργειας, η μεγάλη διάρκεια ζωής τους καθώς και η εύκολη δυνατότητα επισκευής, αντικατάστασης ή και επαναρύθμισής τους, καθιστούν ελκυστική την εφαρμογή τους.
- Η συμπεριφορά τους δεν επηρεάζεται από το εύρος της ταλάντωσης, το φάσμα συχνότητας ή από τον αριθμό των κύκλων της κινητήριας δύναμης. Είναι ανεπηρέαστοι από το φαινόμενο της κόπωσης. Επίσης αποτρέπουν στην κατασκευή να εμφανιστεί το καταστροφικό φαινόμενο του συντονισμού.
- Δεν απαιτούν κατεδαφίσεις, αντικαταστάσεις των μελών της κατασκευής και ενίσχυση της θεμελίωσης, δηλαδή δεν επεμβαίνουμε στον αρχικό φέροντα οργανισμό.
- Σε ένα υφιστάμενο κτίριο, κατά την διάρκεια της τοποθέτησης των αποσβεστήρων, δεν εμποδίζεται η λειτουργία του κτιρίου, γεγονός το οποίο έχει μεγάλη σημασία σε ορισμένες κατηγορίες κτιρίων, όπως νοσοκομεία και εργοστάσια. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης τους σε εναλλακτικά μέρη του κτιρίου, χωρίς να είναι αναγκαία η κάθετη διάταξή τους στους ορόφους, καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο να απαγορεύεται η εφαρμογή τους σε κάποιον χώρο του κτιρίου.
- Λειτουργούν υπό συγκεκριμένο φορτίο σε οποιονδήποτε σεισμό και αυτό κάνει τη σχεδίαση των μελών και των συνδέσεων τους εύκολη και οικονομική. Επίσης γίνεται εύκολη η προσομοίωσή τους στην ανάλυση.

iii) Μεταλλικοί αποσβεστήρες

Οι μεταλλικοί αποσβεστήρες αποτελούν φθηνές συσκευές οι οποίες εκμεταλλεύονται την κάμψη και την στρέψη για να αποσβέσουν την ενέργεια. Σε υψηλού μεγέθους σεισμούς παίρνουν μικρές παραμορφώσεις με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η μετάδοση τους στην κατασκευή. Βέβαια, οι μεταλλικοί αποσβεστήρες χαρακτηρίζονται από την μη γραμμική συμπεριφορά τους, που συνεπάγεται μη γραμμική μελέτη. Επίσης, υπάρχει το ενδεχόμενο της πιθανής αντικατάστασης ενός αποσβεστήρα μετά από ζημία ενός σεισμικού φαινομένου.



Εικ.22 Μεταλλικοί αποσβεστήρες τύπου «χ»,
(<https://www.slideshare.net/NamanKantesaria/naman-act>)



Εικ.23 Μεταλλικός αποσβεστήρας τύπου «U»
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352012415000508>)

Βέβαια, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί η σταθερή υστεριτική συμπεριφορά τους, η μακροχρόνια λειτουργική αξιοπιστία τους και το ότι δεν επηρεάζονται από μεγάλες θερμοκρασιακές αλλαγές. Επίσης, τα υλικά από τα οποία αποτελούνται είναι γνωστά στους μηχανικούς, με αποτέλεσμα να προσδίδει ευελιξία και σιγουριά.

iv) Δυναμικοί αποσβεστήρες

Συντονισμένοι αποσβεστήρες μάζας, Tuned Mass Dampers (TMD)

Κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων ή δυνατών ανέμων, οι ουρανοξύστες μπορεί να έχουν μετατόπιση η οποία φτάνει έως και το 1 μέτρο για κάθε πλευρά της κατασκευής. Το κτίριο μπορεί κατασκευαστικά να είναι άψογο, αλλά το μέγεθος της μετακίνησης, και οποιαδήποτε δόνηση, μπορεί να προκαλέσει δυσφορία, αδιαθεσία, ναυτία ή ακόμη και σοκ στους ενοίκους / ιδιοκτήτες του κτιρίου. Για αυτό το λόγο η πλευρική εκτροπή, η δόνηση καθώς και η εδαφική επιτάχυνση είναι σημαντικά κριτήρια που οι δομικοί μηχανικοί αξιολογούν προσεκτικά στο σχεδιασμό υψηλών δομών.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι μείωσης της ταλάντωσης των κατασκευών προκείμενου να γίνουν πιο λειτουργικές και να παρέχουν ένα ικανοποιητικό επίπεδο άνεσης στο ενοίκους / ιδιοκτήτες τους, ένας από αυτούς είναι οι αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας.

Οι αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας αποτελούν ένα μεγάλο μέρος των παθητικών συστημάτων. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια μάζα και ένα ελατήριο τα οποία τοποθετούνται στην αρχική κατασκευή για την μεταφορά των θεμελιωδών συχνοτήτων μακριά από την επιβαλλόμενη συχνότητα διέγερσης, έτσι ώστε να αποφύγουμε κάθε ενδεχόμενο συντονισμού το οποίο θα επιφέρει καταστρεπτικές συνέπειες στην κατασκευή.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι TMD, οι οριζόντιοι, οι οποίοι συνήθως συναντώνται σε δομικά λεπτές κατασκευές (πύργους που συνδέονται μεταξύ τους κτλ.) και οι κατακόρυφοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μεγάλου ανοίγματος κατασκευές (γέφυρες, πλάκες και πεζοδρόμια κλπ.). Οι δύο τύποι έχουν παρόμοια λειτουργία, παρόλο που μπορεί να υπάρξει μια μικρή διαφορά στους όρους του μηχανισμού.

Η μελέτη των συντονισμένων αποσβεστήρων μάζας γίνεται για ένα σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας (Εικ.24). Οι εξισώσεις που αποτελούν αυτό το σύστημα είναι οι εξής:

$$1) (1 + \mu)\ddot{x} + 2\xi\omega_s\dot{x} + \omega_s^2x = \frac{p}{m_d} - \mu\ddot{u} \quad (\text{προ υπάρχουσα κατασκευή})$$

$$2) u + 2\xi_d\omega_d\dot{u} + \omega_d^2u = -\ddot{x} \quad (\text{TMD κατασκευή})$$

$$3) \mu = \frac{m_d}{m_s}$$

$$4) \omega_s^2 = \frac{k_s}{k_m}$$

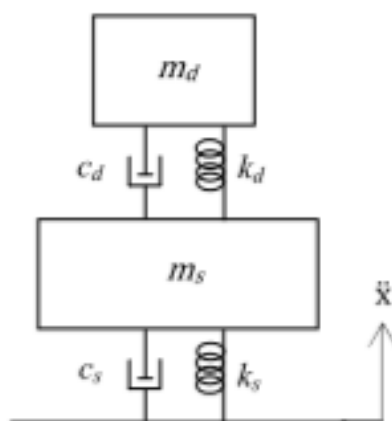
$$5) \omega_d^2 = \frac{k_d}{m_d}$$

$$6) \xi_d = \frac{c_d}{2\omega_d m_d}$$

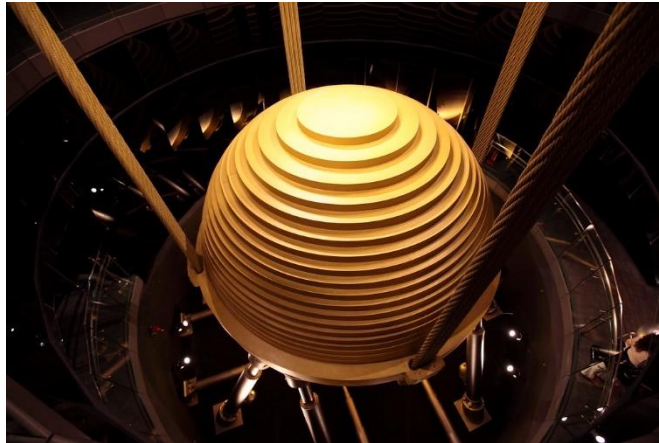
$$7) \xi_s = \frac{c_s}{2\omega_s m_s}$$

$$8) \gamma = \frac{\omega_d}{\omega_s}$$

Οπού, το μ ο λόγος της μάζας του αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας (m_d) και την μάζα της κατασκευής (m_s), k_s, c_s η δυσκαμψία και ο συντελεστής της κατασκευής και ανάλογα k_d, c_d η δυσκαμψία και ο συντελεστής του αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας. Η αναλογία απόσβεσης ξ_s για την κατασκευή και ξ_d για τον αποσβεστήρα, γ είναι ο λόγος της συχνότητας του TMD (ω_d) προς τη συχνότητα της δομής (ω_s). Με x συμβολίζεται η μετατόπιση της κατασκευής και με u η μετατόπιση του αποσβεστήρα. Τέλος, με p η εξωτερική δύναμη που εφαρμόζεται στο πρωταρχικό σύστημα.

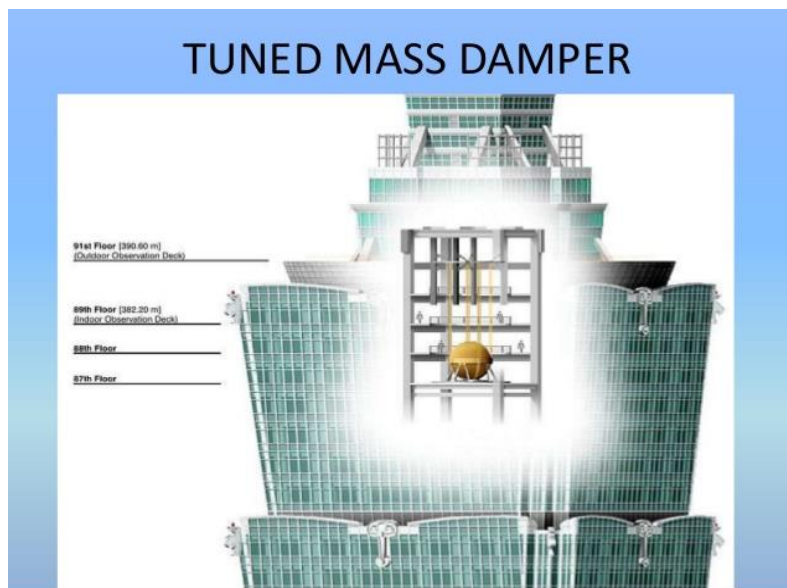


Εικ.24 Σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας με χρήση TMD



Εικ.25 Ταίρει 101, Ταϊπει 101 (cnet.com)

Ευρέως γνωστό παράδειγμα εφαρμογής αυτής της μεθόδου είναι ο ουρανοξύστης Ταϊπέι 101, που βρίσκεται στην Ταϊπέι πρωτεύουσα της Δημοκρατίας της Κίνας (Εικ.25). Στην περιοχή εκείνη επικρατούν υψηλοί άνεμοι, οπότε ο σχεδιασμός ενός τέτοιου έργου είναι αρκετά δύσκολος. Για αυτό οι μελετητές-σχεδιαστές κατασκεύασαν ένα εκκρεμές με ατσάλινη σφαίρα βάρους επτακοσίων τόνων, που απορροφά την δύναμη του ανέμου. Έτσι, όταν αντί ταλαντεύεται το κτίριο, ταλαντεύεται το εκκρεμές (Εικ.26).



Εικ.26 Μοντέλο κτιρίου- αποσβεστήρα Ταϊπει 101 , Ταίρει 101 (<https://sites.google.com/site/q8406617/home/realcase>)

Αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας εκκρεμούς (PTMD)

Η συγκεκριμένη κατηγορία αποσβεστήρων χρειάζονται μεγάλη μάζα και χώρο για την εγκατάστασή τους δημιουργώντας έτσι αρχιτεκτονικούς περιορισμούς. Όταν το κτίριο υποστεί στην δοκιμασία μιας σεισμικής μετακίνησης, ο αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας εκκρεμούς θα δημιουργήσει μια δύναμη αντίθετης κατεύθυνσης από αυτή της μετακίνησης λόγω της σεισμικής δύναμης (Εικ.27).

Η εξίσωση μετακίνησης του αποσβεστήρα (PTMD) γράφεται ως εξής:

$$m_d \ddot{u} + \frac{m_d g}{L} (u) = -m_d \ddot{x}$$

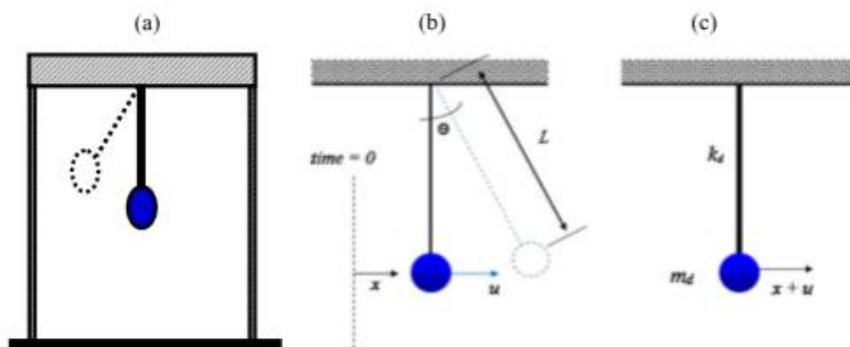
Η δυσκαμψία του ελατηρίου υπολογίζεται ως

$$k_d = \frac{m_d g}{L}$$

Η φυσική συχνότητα λαμβάνεται ως

$$\omega_d^2 = \frac{k_d}{m_d} = \frac{g}{L}$$

Ένας αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας εκκρεμούς είναι αποδεδειγμένα πιο αποδοτικός από τον αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας διότι η συχνότητα του μπορεί να ρυθμιστεί ξανά αλλάζοντας απλά το μήκος του καλωδίου. Πλέον η μέθοδος PTMD έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετά πολυώροφα κτίρια.



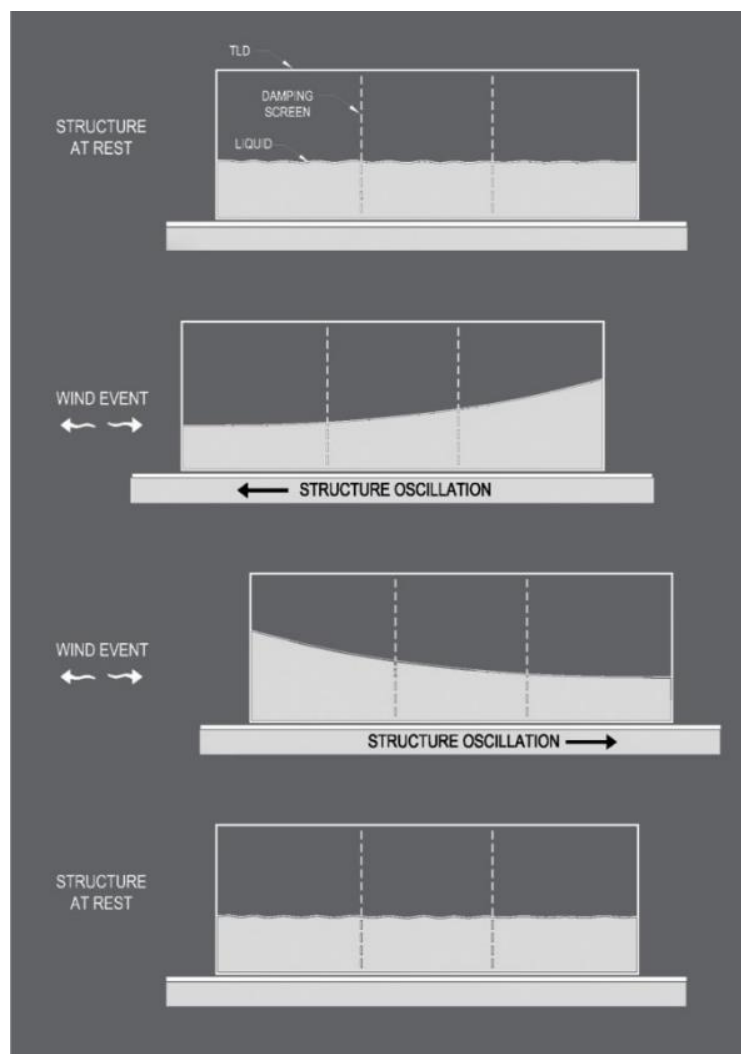
Εικ.27 Σύστημα PTMD σε ενός βαθμού ελευθερίας κτιριακό μοντέλο

(http://physics.wooster.edu/JrIS/Files/Web_Article_Huang.pdf)

Αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας ρευστού, Tuned Liquid Damper (TLD)

Παρόμοιοι, σε σύλληψη, με τους αποσβεστήρες συντονισμένης μάζας, είναι αυτοί συντονισμένου ρευστού οι οποίοι μεταδίδουν έμμεση απόσβεση στο σύστημα και έτσι βελτιώνουν την απόδοσή του. Απορροφούν τη δομική ενέργεια μέσω των ιξώδων δράσεων του ρευστού. Χρησιμοποιούνται κυρίως στον περιορισμό ταλαντώσεων λόγω φορτίων ανέμου για την μέγιστη αποτελεσματικότητα πάνω στον τομέα της λειτουργικότητας της κατασκευής.

Ένας συντονισμένος αποσβεστήρας υγρού (TLD) ή ένας συντονισμένος αποσβεστήρας στήλης υγρού (TLCD) είναι ένας τύπος TMD όπου η μάζα αντικαθίσταται με υγρό, συνήθως νερό. Το νερό μπορεί να βρίσκεται σε σωλήνα με προσανατολισμό στο οριζόντιο τμήμα ή σε δεξαμενή με άνοιγμα στο μεσαίο τμήμα της. Η ταλάντευση του νερού στο σωλήνα ή της δεξαμενής αντισταθμίζει τις επιδράσεις των εξωτερικών δονήσεων. Η ιδέα πίσω από το TLCD δεν είναι νέα, χρησιμοποιήθηκε για τη σταθεροποίηση των πλοίων για πολλά χρόνια, αλλά η εφαρμογή του σε κτίρια προτάθηκε από τους Sakai (Εικ.28).



Εικ.28 Μοντέλο του συστήματος συντονισμένου αποσβεστήρα ρευστού
(<https://nnaimi.civil.iut.ac.ir/content/passive-and-semi-active-structure-multiple-tuned-liquid-damper-systemstld>)

Τα διαφράγματα (baffles) βοηθούν στην εκτόνωση της ενέργειας η οποία προέρχεται από την σεισμική δράση ή τον άνεμο (συνήθως), και μεταφέρεται στο ρευστό (Εικ.29).



Εικ.29 Μοντέλο One Rincon Hill South Tower 2008, συντονισμένη ρευστή διάταξη απόσβεσης (<http://artemis.library.tuc.gr/>)



Εικ.30 *One Rincon Hill South Tower*, was completed in 2008 (<https://en.wikipedia.org/>)

Οι εξισώσεις που παρουσιάζουν τη μετακίνηση ενός βαθμού ελευθερίας συστήματος εξοπλισμένο με TLCD είναι οι εξής:

12) Πρωταρχική κατασκευή

$$\begin{aligned} & (m_s + \rho A(L_h + L_v))\ddot{x} + c_s \dot{x} + k_s x = \\ & = \rho - \frac{L_h}{L_v} \rho A(L_h + L_v) \ddot{u} \end{aligned}$$

13) Σύστημα TLCD

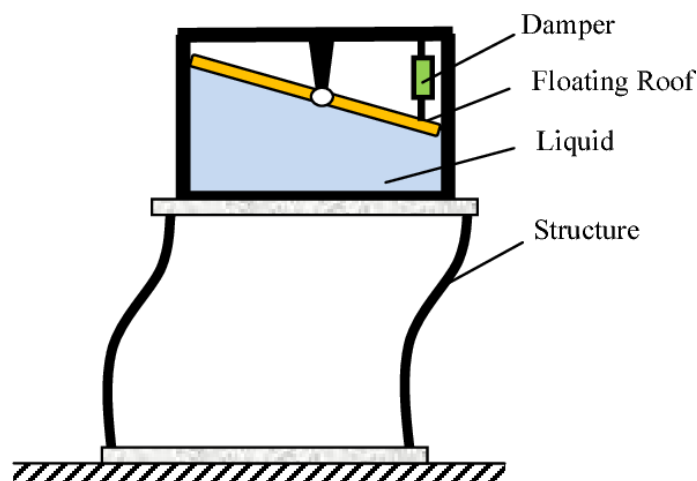
$$\begin{aligned} & \rho A(L_h + L_v) \ddot{u} + \frac{\rho A \zeta}{2} |\dot{u}| \dot{u} + 2g\rho A u = \\ & = \mu p - \frac{L_h}{L_v} \rho A(L_h + L_v) \ddot{x} \end{aligned}$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού, A είναι η επιφάνεια εγκάρσιας διατομής, ζ είναι ο συντελεστής απώλειας, και L_h, L_v οριζόντια και κατακόρυφα μήκοι αντίστοιχα. Η μάζα και η ταλάντωση του αποσβεστήρα χαρακτηρίζονται ως εξής:

$$14) m_T = \rho A(L_h + L_v)$$

$$15) c_T = \frac{\rho A \zeta}{2} |\dot{u}|$$

Ο προσανατολισμός εντός του οριζόντιου σωλήνα ελέγχει τη ροή του υγρού από τη μία πλευρά στην άλλη, η οποία συντονίζεται σύμφωνα με τη συχνότητα. Σε ένα ημι-ενεργό ή ενεργό σύστημα TLCD, το μέγεθος του προσανατολισμού μπορεί να αλλάξει σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε ο παράγοντας απώλειας να μπορεί να προσαρμοστεί σε μια σειρά συχνοτήτων.



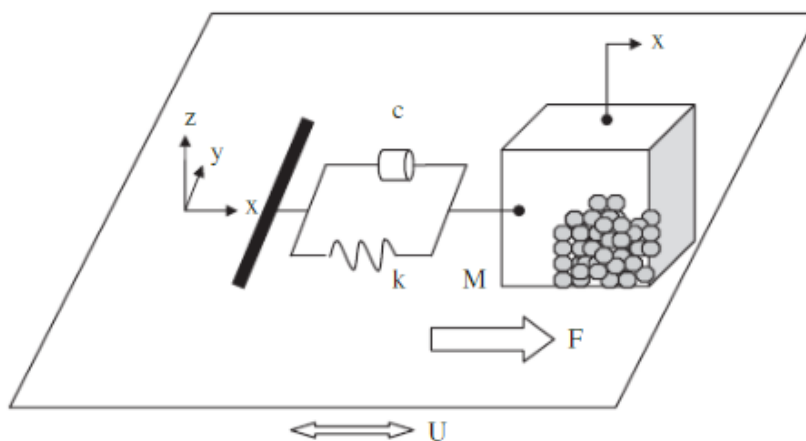
Εικ.31 Μοντέλο Tuned Liquid Damper (<https://www.semanticscholar.org/>)

Αποσβεστήρες Σωματιδίων (PMD, Particle Dampers)

Οι αποσβεστήρες αυτοί αποτελούνται από ένα κενό δοχείο στο οποίο τοποθετούνται μεταλλικά σωματίδια. Το δοχείο τοποθετείται στην κατασκευή και συνήθως στο υψηλότερο δυνατό σημείο της κατασκευής. Το κενό δοχείο είναι στενά συνδεδεμένο με την κατασκευή. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ανταλλαγή ορμής και απόσβεσης ενέργειας κατά την διάρκεια κρούσης των σωματιδίων με τα τοιχώματα του δοχείου και μεταξύ τους, καθώς η κατασκευή υπόκειται σε κίνηση. (Papalou and Masri 1996,1998).

Οι ενεργές και παθητικές τεχνικές απόσβεσης είναι κοινές μέθοδοι εξασθένησης των συντονισμένων δονήσεων που διεγείρονται σε μια δομή. Οι ενεργές τεχνικές απόσβεσης δεν ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις, για παράδειγμα, των απαιτήσεων ισχύος, του κόστους, του περιβάλλοντος κ.λπ. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι τεχνικές παθητικής απόσβεσης είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση. Η τεχνολογία απόσβεσης σωματιδίων είναι ένα παράγωγο της απόσβεσης κρούσης, με πολλά πλεονεκτήματα. Η απόσβεση πρόσκρουσης αναφέρεται σε μία μόνο (κάπως μεγαλύτερη) βοηθητική μάζα σε μια κοιλότητα, ενώ η απόσβεση σωματιδίων χρησιμοποιείται για να υπονοήσει πολλαπλές βοηθητικές μάζες μικρού μεγέθους σε μια κοιλότητα.

Η αρχή πίσω από την απόσβεση σωματιδίων είναι η απομάκρυνση της δονητικής ενέργειας μέσω απωλειών που συμβαίνουν κατά την πρόσκρουση των σωματιδίων τα οποία κινούνται ελεύθερα εντός των ορίων μιας κοιλότητας που συνδέεται με ένα πρωτεύον σύστημα. Στην πράξη, οι αποσβεστήρες σωματιδίων είναι εξαιρετικά μη γραμμικοί αποσβεστήρες των οποίων η απόσβεση, προέρχεται από έναν συνδυασμό μηχανισμών απώλειας ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της τριβής και της ανταλλαγής ορμής. Λόγω της ικανότητας των αποσβεστήρων σωματιδίων να αποδίδουν μέσα από ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και συχνοτήτων και να επιβιώνουν για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως τα χωρίς βάρος περιβάλλοντα του εξωτερικού χώρου, σε δομές αεροσκαφών, για να μετριάσουν τους κραδασμούς των πολιτικών δομών, ακόμα και σε ρακέτες τένις.



Εικ.32 Μοντέλο ενός αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων .(
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/stc.359>)

Πλεονεκτήματα αποσβεστήρα σωματιδίων

- Μπορούν να αποδώσουν σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας χωρίς απώλεια θερμοκρασίας.
- Μπορούν να επιβιώσουν για μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Μπορούν να αποδώσουν σε ένα πολύ ευρύ φάσμα συχνοτήτων, σε αντίθεση με τους βισκοελαστικούς αποσβεστήρες, που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα.
- Τα σωματίδια που τοποθετούνται μέσα σε μια κοιλότητα, σε μια κατασκευή μπορεί να έχουν μικρότερο βάρος από τη μάζα που αντικαθιστούν.
- Μέσα από αναλύσεις, μπορεί κανείς να βρει το σωστό είδος και μέγεθος των σωματιδίων για τη δεδομένη εφαρμογή.

Επομένως, είναι κατάλληλα για εφαρμογές όπου υπάρχει ανάγκη για μακροχρόνια εξυπηρέτηση σε χώρους οι οποίοι έρχονται αντιμέτωποι με δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Σημαντικό ρόλο παίρνει η αναλογία μάζας σωματιδίων συνάρτηση της κατασκευής έτσι ώστε κατά την κίνηση της να έχουμε αποτελεσματική αποσβετική ικανότητα. Αξιοσημείωτο παράδειγμα χρήσης αυτής της μεθόδου είναι η εφαρμογή σε αρχαίους σφονδυλωτούς κίονες, συνεισφέροντας στην σταθερότητα όλου του μνημείου.



Εικ.33 Μοντέλο σφονδυλωτού κίονα με την χρήση αποσβεστήρα σωματιδίων, Papalou, et al. (2015)

Με βάση την μελέτη της Δρ. Αγγελικής Παπαλού στο αντικείμενο σεισμικής προστασία μνημείων χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, η τοποθέτηση των σωματιδίων σε σημεία «κλειδιά» στην κατασκευή αυξάνουν έως και 30% την σεισμική προστασία της. (A.Papalou and Strepelias 2014,2015),(A.Papalou et.al, 2015).

Στην Ελλάδα είναι αρκετά συνηθισμένη και η χρήση ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Τα εφεδράνα ανήκουν στο κεφάλαιο της σεισμικής μόνωσης ή αλλιώς εξωτερικής μόνωσης (απομονώνει την ανωδομή από την θεμελίωση). Η μόνωση αυτή αποσκοπεί στην μείωση της σεισμικής απαίτησης και όχι την αύξηση της σεισμικής αντοχής μιας κατασκευής.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ

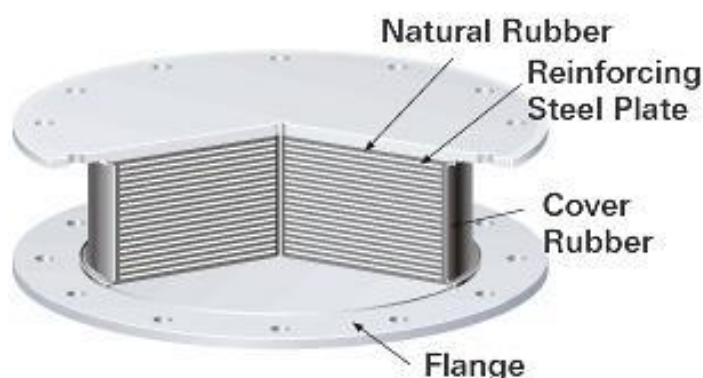
Τα ελαστομεταλλικά εφεδράνα αποτελούν τον πιο απλό και πρακτικό τύπο εφεδράνων και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής μόνωσης. Το σχήμα τους είναι είτε κυλινδρικό είτε παραλληλεπίπεδο και αποτελούνται από ελαστομερή υλικά σε συνδυασμό με μεταλλικά φύλλα τα οποία αυξάνουν την κατακόρυφη δυσκαμψία τους και μειώνουν το κίνδυνο ανατροπής από οριζόντιες φορτίσεις.

Το ελαστομερές υλικό συνήθως αποτελείται από νεοπρένιο και είναι υπεύθυνο για την γραμμική συμπεριφορά του εφεδράνου. Το υλικό αυτό είναι εξαιρετικά ανθεκτικό σε εξωτερικούς παράγοντες και έχει μεγαλύτερη αντοχή στον χρόνο από το σκυρόδεμα και τον χάλυβα.

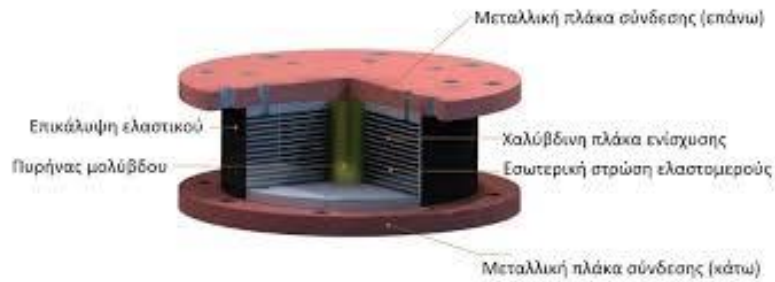
Αρχικά τα εφεδράνα χρησιμοποιήθηκαν για την μόνωση γεφυρών, όμως αργότερα συμπεριληφθήκαν στον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών υψηλής σημασίας (νοσοκομεία, μουσεία κλπ.).

Η σεισμική μόνωση αναλόγως τον τρόπο λειτουργίας διακρίνεται ως εξής:

- Φυσικά και συνθετικά εφεδράνα χαμηλής απόσβεσης (NR), (Εικ.34)
- Ελαστομεταλλικά εφεδράνα με πυρήνα μόλυβδου (LRB), (Εικ.35)
- Φυσικά εφεδράνα υψηλής απόσβεσης (HDNR), (Εικ.36)



Εικ.34 Μοντέλο εφεδράνου χαμηλής απόσβεσης (<https://docplayer.gr/51806362-Ptyhiaki-ergasia-syneisfora-pathitikon-systimaton-ston-elegho-talantoseon-kataskeyon.html>)



Εικ.35 Μοντέλο ελαστομεταλλικού εφεδράνου με πυρήνα από μολύβδου (LRB). (Σχεδιασμός και σύγκριση εναλλακτικών συστημάτων σεισμικής μόνωσης σε σύμμικτη γέφυρα, Ελένη Βελλέ)



Εικ.36 Ελαστομεταλλικό εφέδρανα υψηλής απόσβεσης (HDNR), (<https://docplayer.gr/51806362-Ptyhiaki-ergasia-syneisfora-pathitikon-systimatou-stonelegho-talantoseon-kataskeyon.html>)

Άλλες κατηγορίες εφεδράνων οι οποίες δεν συναντιούνται τόσο συχνά είναι οι εξής:

- Εφέδρανα ολίσθησης.
- Συστήματα TASS.
- Σύστημα μόνωσης βάσης επανακτικότητας – τριβής.
- Εφέδρανα Κύλισης.
- Συστήματα εκκρεμούς τριβής.

Γενικές εφαρμογές σεισμικής μόνωσης στην Ελλάδα

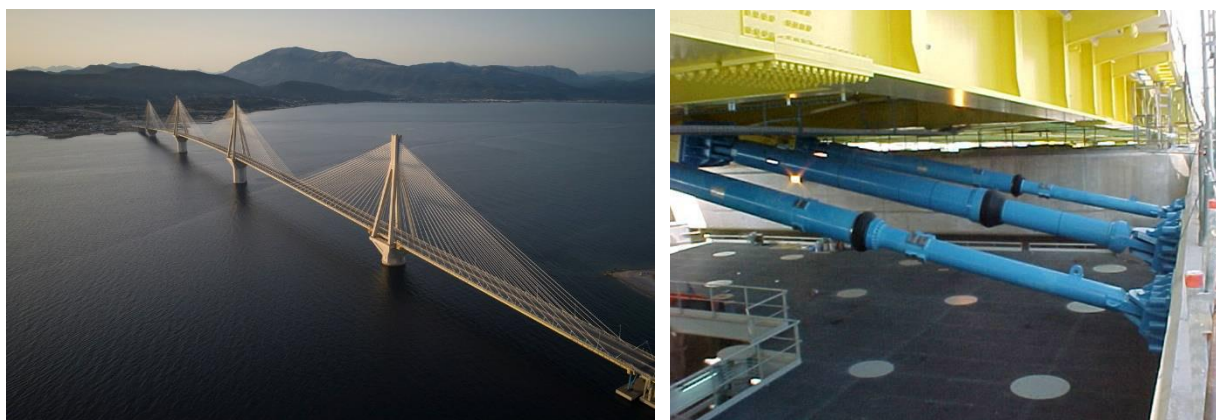
- Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου (Πάτρα)

Η Γέφυρα Ρίου – Αντιρρίου ή επίσημα Γέφυρα «Χαρίλαος Τρικούπης» είναι καλωδιωτή γέφυρα που ολοκληρώθηκε και τέθηκε σε λειτουργία το 2004, μέσω της οποίας επιτεύχθηκε τόσο η σύζευξη μεταξύ του Ρίου (προάστιο της Πάτρας) και του Αντιρρίου, όσο και η σύνδεση της Πελοποννήσου με τη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα και ευρύτερα με το υπόλοιπο της Ευρώπης. Κατασκευάστηκε από την Γαλλική εταιρεία Vinci (Εικ.37).

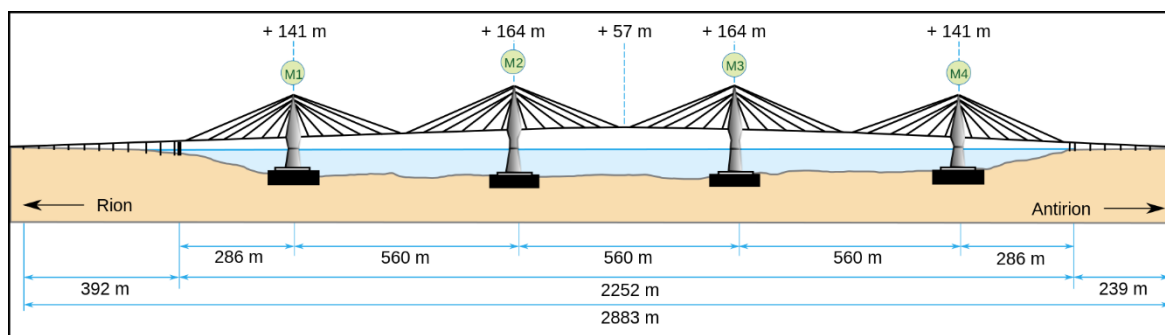
Το μήκος της γέφυρας, που στηρίζεται σε τέσσερις πυλώνες, ανέρχεται στα 2.252 μέτρα, ενώ μαζί με τις προσβάσεις φτάνει γύρω στα 2.883 μέτρα (Εικ.38). Η γέφυρα αναπτύχθηκε και ολοκληρώθηκε, παρά τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ το μέγιστο βάθος θεμελίωσης φθάνει τα 65 μέτρα υπό την επιφάνεια της θάλασσας (Εικ.38).

Πρόκειται για μία καλωδιωτή γέφυρα, οι αντοχές της οποίας είναι εντυπωσιακές. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με προδιαγραφές να αντέξει σε σεισμό μεγαλύτερο από αυτόν που σημειώθηκε στις 17 Αυγούστου 1999 στο Ιζμίτ της Τουρκίας, ο οποίος ήταν μεγέθους **7,4 της Κλίμακας Ρίχτερ**. Επίσης, έχει υπολογιστεί πως αντέχει σε ενδεχόμενη σύγκρουση δεξαμενοπλοίου με εκτόπισμα 180.000 τόνων, καθώς και σε ταχύτητα ανέμου 265 χλμ./ώρα, ταχύτητα που αντιστοιχεί σε τυφώνα Κατηγορίας 5, το ανώτατο δυνατό επίπεδο στην Κλίμακα Σαφίρ-Σίμπσον. Τέλος, η γέφυρα είναι σχεδιασμένη να απορροφά πιθανές μετατοπίσεις μεταξύ δύο βάθρων, σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Η γέφυρα περιλαμβάνει και πεζόδρομο/ποδηλατόδρομο, η χρήση των οποίων απαλλάσσεται πληρωμής διοδίων. Έχει σχεδιαστεί για συνολική διάρκεια ζωής 120 ετών, αν και με τη διαρκή συντήρησή της το όριο αυτό ενδέχεται να παραταθεί.



Εικ.37 Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου (gefyra.gr)



Εικ.38 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες καλωδιωτής γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου (<https://el.wikipedia.org>)

- Νέο Μουσείο Ακρόπολης Αθηνών



Εικ.39 Νέο Μουσείο Ακρόπολης Αθηνών (<https://gr.pinterest.com/>)

Το νέο κτήριο του μουσείου θεμελιώθηκε το 2003 και άνοιξε για το κοινό στις 21 Ιουλίου 2009 (Εικ.39). Στις 20 Ιουλίου του 2009, πραγματοποιήθηκαν, μεγαλοπρεπώς, τα εγκαίνια του Μουσείου από τον Πρόεδρο της Δημοκρατίας Κάρολο Παπούλια, παρουσία του Προέδρου της ΕΕ και πλήθους ξένων ηγετών. Ο τότε υπουργός Πολιτισμού Αντώνης Σαμαράς, σε μια συμβολική κίνηση, που μεταδόθηκε σε ολόκληρο τον κόσμο, τοποθέτησε κομμάτι μαρμάρου που επεστράφη από το Μουσείο του Βατικανού, σε μετόπη του Παρθενώνα. Η κίνηση αυτή συμβόλισε το ελληνικό αίτημα για επανένωση των μαρμάρων στο νέο Μουσείο της Ακρόπολης. Το νέο Μουσείο της Ακρόπολης είναι στο σύνολό του 25.000 τ.μ. και διαθέτει εκθεσιακούς χώρους με εμβαδόν 14.000 τ.μ.

Το κτήριο στεγάζει σημαντικά εκθέματα του αρχαιολογικού χώρου της Ακρόπολης και δέχεται μεγάλο αριθμό επισκεπτών. Χαρακτηρίστηκε ως κτήριο υψηλής σπουδαιότητας, έτσι χρησιμοποιήθηκαν 94 εφέδρανα τριβής ανεστραμμένου εκκρεμούς (Εικ.40).



Εικ.40 Εφέδρανα ολίσθησης (ikee.lib.auth.gr)

- Κοινοφελές Ίδρυμα Ωνάση



Εικ.41 Κοινοφελές Ίδρυμα Ωνάση, (<http://esw.gr/stegi-grammatwn-tehnwn-idryma-onasi/>)

Δεν μπορεί βέβαια να παραληφθεί το πολιτιστικό έργο του Ιδρύματος ποικίλει και ασχολείται κυρίως με την προστασία λογοτεχνικών έργων, την προβολή του ελληνικού πολιτισμού στο εξωτερικό και με την οικονομική στήριξη για την ενίσχυση της εκπαίδευσης της ελληνικής γλώσσας και του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού (Εικ.41). Το Ίδρυμα Ωνάση έχει ως σκοπό και την προβολή του ελληνικού πολιτισμού στο εξωτερικό. Στο πλαίσιο αυτό, στις Η.Π.Α. και στον Καναδά, μέσω του Θυγατρικού ιδρύματος στον Ολυμπιακό πύργο της Νέας Υόρκης, διοργανώνει διαλέξεις, μια έκθεση αρχαιολογικού ενδιαφέροντος κάθε χρόνο και ένα πρόγραμμα επισκεπτών καθηγητών σε Πανεπιστήμια της Βορείου και Νοτίου Αμερικής και του Καναδά. Επίσης, στηρίζει οικονομικά πανεπιστημιακές έδρες, τμήματα ή προγράμματα, ακόμη και κλασικά σχολεία δημοτικής και μέσης εκπαίδευσης στην Ευρώπη, τις ΗΠΑ, τον Καναδά, τη Νότια Αμερική, την Αφρική, την Αυστραλία και την Ασία, όπου διδάσκονται οι ελληνικές σπουδές.

Το κτίριο θεμελιώθηκε στην Αθήνα το 2004 και κατασκευάστηκε με την αποκλειστική χρηματοδότηση και επίβλεψη του Ιδρύματος Ωνάση. Ανεγέρθηκε σε ιδιόκτητο οικοπέδο έκτασης τριών στρεμμάτων επί της Λεωφόρου Συγγρού 107-109, όπου περιβάλλεται από τέσσερις δρόμους, καλύπτοντας ένα ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο, και διαθέτει εσωτερικούς χώρους συνολικού εμβαδού 18.000 τ.μ. Το συγκρότημα περιλαμβάνει δύο βασικές αίθουσες, χωρητικότητας 880 και 220 ατόμων, κατάλληλες για την πραγματοποίηση μεγάλου εύρους εκδηλώσεων (παραστάσεις θεάτρου ή χορού, συναυλίες, κινηματογραφικές προβολές, διαλέξεις, συνέδρια), έναν εκθεσιακό χώρο και εστιατόριο.



Εικ.42 Εφεδρανα Ολίσθησης και η τοποθέτηση τους (library.tee.gr)

Οι αρχιτεκτονικές απαιτήσεις, τα λεπτά υποστυλώματα περιμετρικά, ώστε να αναδεικνύεται το κεντρικό ωσειδές κέλυφος, καθώς και οι μαρμάρινες επενδύσεις, σε συνδυασμό με την προστασία του περιεχομένου του κτιρίου από τις αναπτυσσόμενες επιταχύνσεις και μετακινήσεις κατά την διάρκεια σεισμικών διεγέρσεων, οδήγησαν στην εφαρμογή εφεδράνων ολίσθησης τύπου εκκρεμούς. (Εικ.42)

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας και αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων (σε μορφή εκκρεμούς) για την μείωση ταλαντώσεων κατασκευών.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο μεταλλικού μονώροφου κτιρίου. Το μοντέλο τοποθετήθηκε σε σεισμική τράπεζα με ικανότητα κίνησης σε μία διεύθυνση και διεγέρθηκε με ημιτονοειδή σήματα.

Τα σήματα αυτά μπορούν να μας δείξουν σε ποια συχνότητα έχει την μέγιστη μετακίνηση στο σύστημά μας (ιδιοσυχνότητα στην διεύθυνση κίνησης του διεγέρτη) και ποια είναι η συμπεριφορά του αποσβεστήρα σε συχνότητες κοντά στην ιδιοσυχνότητα του συστήματος.

Ακολουθεί περιγραφή της πειραματικής διάταξης και η μεθοδολογία ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων.

Πιο αναλυτικά ακολουθεί:

- i. Περιγραφή των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή της κίνησης
- ii. Περιγραφή του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε

Οι πειραματικές δοκιμές διεξήχθησαν με την άδεια της Δρ. Α. Παπαλού στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΠΑ.ΠΕΛ κατά το χειμερινό εξάμηνο 2019-2020.

Η υφιστάμενη διάταξη για την πραγματοποίηση των πειραμάτων περιλάμβανε τα εξής:

- 1. Σεισμική τράπεζα μικρών διαστάσεων που υπάγεται σε διάφορες δυναμικές διεγέρσεις.**
- 2. Κτιριακό μοντέλο που θα υφίστατο τις διεγέρσεις αυτές.**
- 3. Όργανα καταγραφής τύπου “λίζερ” για την καταγραφή της κίνησης στην κορυφή και στη βάση του μοντέλου.**
- 4. Επιταχυνσιόμετρα στην κορυφή και στη βάση για την καταγραφή της αντίστοιχης απόκρισης.**
- 5. Όργανο καταγραφής τύπου σύρματος (draw-wire) αναφορικά με την απόκριση της σεισμικής τράπεζας.**
- 6. Χαλύβδινο πλαίσιο που περικλείει τις συσκευές μέτρησης και τη σεισμική τράπεζα.**
- 7. Σύστημα παραλαβής των δεδομένων από τα ανωτέρω όργανα (Data Acquisition System), καθώς το κτιριακό μοντέλο υπόκειται σε διέγερση.**
- 8. Υπολογιστικό σύστημα για την επεξεργασία των δεδομένων. Ο υπολογιστής ήταν εξοπλισμένος με κατάλληλα προγράμματα επεξεργασίας του σήματος και πρόσδοση επιθυμητών δονήσεων στη σεισμική τράπεζα.**

Το κτιριακό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας (1 - DOF), αφού διαθέτει μόνο μια υπερκείμενη μάζα άνωθεν της βάσης.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

- Ύψος : 62.0 cm
- Μήκος 25.5 cm
- Πλάτος 14.0 cm
- Υποστυλώματα : πάχους 2.0 mm
- Πλάκα : πάχους 2.0 cm
- Βάρος Πλάκας : 1.804 kg
- Βάρος Κοχλιών : 0.118 kg

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

Αποσβεστήρας Συντονισμένης Μάζας (Tuned Mass Damper)

- Βάρος Αποσβεστήρα : 96 gr

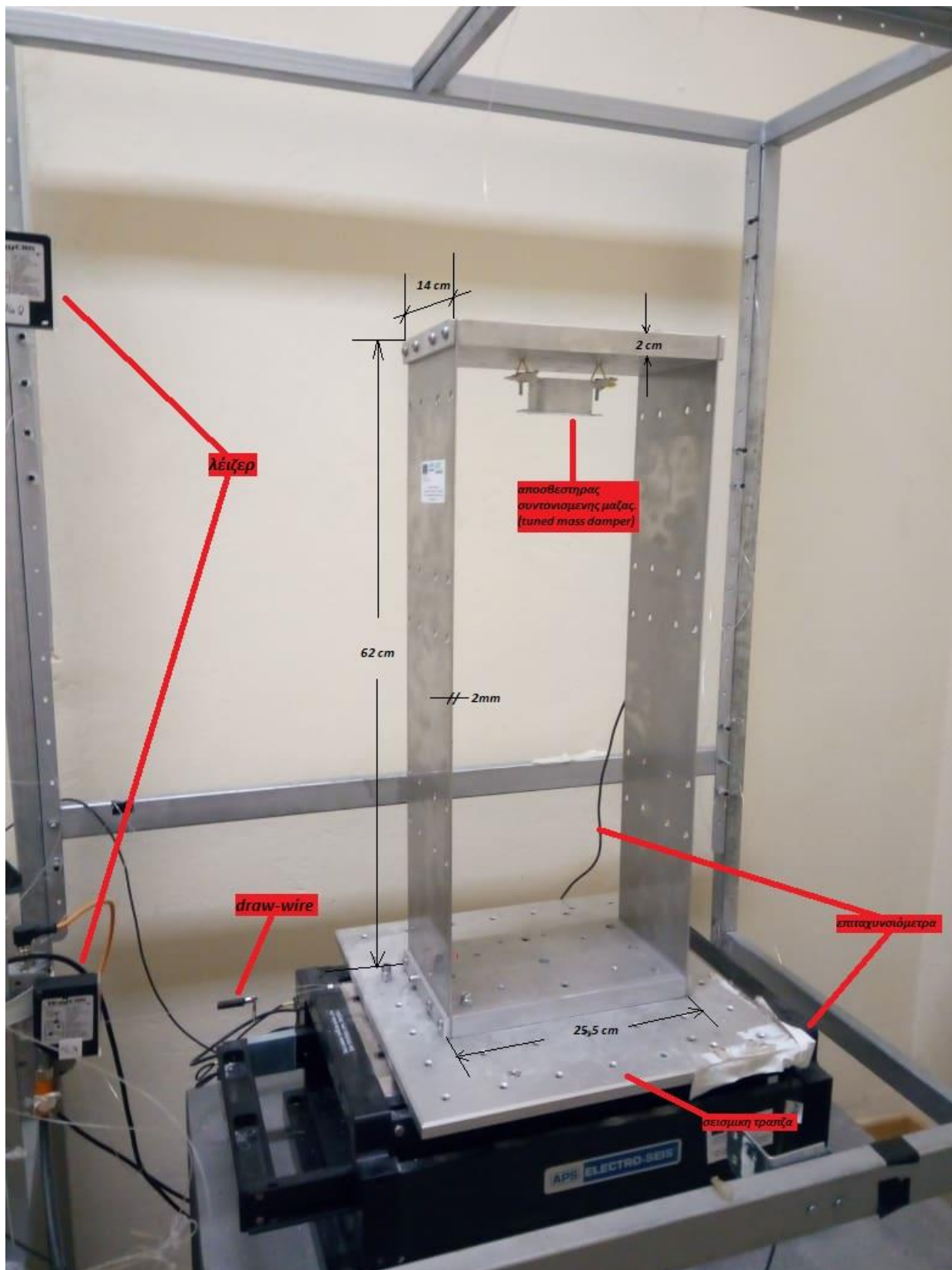
Αποσβεστήρας Συντονισμένης Μάζας Σωματιδίων (Tuned Particle Mass Damper)

- Αριθμός σωματιδίων : 12
- Βάρος ενός σωματιδίου : 8 gr
- Βάρος Αποσβεστήρα : 96 gr

ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Πυκνότητα Υποστυλωμάτων : $7852 \frac{kg}{m^3}$
- Μέτρο Ελαστικότητας : 210 GPa.
- Επιτάχυνση Βαρύτητας : $9.81 \frac{m}{s^2}$

Τα στοιχεία του μοντέλου με του οποίου τη βοήθεια διεξάχθηκαν τα πειράματα καθώς και η διάταξη φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Εικ.43).



Εικ.43 Κτιριακό μοντέλο πραγματοποίησης εργαστηριακών πειραμάτων

Απαραίτητοι υπολογισμοί

Υποστυλώματα

Για τον υπολογισμό της ολικής μάζας των υποστυλωμάτων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

Υπολογισμός μάζας υποστυλώματος:

$$\begin{aligned} m &= V \times \rho = 0.002 \times 0.14 \times 0.62 \times 7852 = 1,736 \times 10^{-4} \times 7852 = \\ &= 1,363 \text{ kg} = 1,363 \times 10^{-3} \text{ ton} \end{aligned}$$

Οπού m η μάζα ενός υποστυλώματος.

Μάζα κατασκευής

Για τον υπολογισμό μάζας κατασκευής χρησιμοποιείται το ½ της μάζας των υποστυλωμάτων με βάση γνωστή μεθοδολογία αντισεισμικών κανονισμών.

Οπότε:

$$\begin{aligned} m_{ολ} &= (1,804 + 0,118) + 1,363 = 1,922 + 1,363 \\ &= 3,285 \text{ kg} = 3,285 \times 10^{-3} \text{ ton} \end{aligned}$$

Όπου 1,804 kg το βάρος της πλάκας της κατασκευής και 0,118 kg το βάρος των μπουλονιών και των κοχλιών που συνδέουν τα μέρη από τα οποία αποτελείται η κατασκευή (2 υποστυλώματα + πλάκα).

Δυσκαμψίες

Το μέτρο ελαστικότητας της κατασκευής $E=210 \text{ GPa}$.

Χρήση της εξίσωσης της δυσκαμψίας:

$$k = \frac{12EI}{h^3} \text{ KN/m} \quad (1)$$

Ροπή αδράνειας:

$$I = \frac{h^3 b}{12} \text{ m}^4 \quad (2)$$

Υπολογισμός συντελεστή δυσκαμψίας ενός υποστυλώματος

Με αντικατάσταση των εξισώσεων 1 και 2 όπως φαίνονται παραπάνω, έχουμε:

$$k = \frac{12EI}{h^3} = \frac{12 \times (210 \times 10^6) \times \left(\frac{0.002^3 \times 0.14}{12}\right)}{0.62^3} = \frac{0.2352}{0.23833} \cong 0,99 \text{ KN/m}$$

Για όλη τη κατασκευή μιας και τα υποστυλώματα είναι ιδίων διαστάσεων η σχέση απλοποιείται και έχει ως εξής:

$$k_{ολ} = 2 \times k = 2 \times 0,99 \cong 1,98 \text{ KN/m}$$

Υπολογισμός ιδιοπερίόδου και ιδιοσυχνότητας κατασκευής

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3,285 \times 10^{-3}}{1,98}} = 0.25 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{0,25} \Rightarrow f = 3,921 \text{ Hz}$$

Ιδιοπερίοδος εκκρεμούς , εύρεση μήκους εκκρεμούς

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$0,25 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{9,81}} \Rightarrow 0,0625 = \frac{4\pi^2 l}{9,81} \Rightarrow l = \frac{0,613}{39,43} = 0.0155 \text{ m} = 1.55 \text{ cm}$$

Εργαστηριακές δοκιμές και μεθοδολογία

Η παρακολούθηση απόκρισης της κατασκευής έγινε με την βοήθεια ενός συστήματος συλλογής δεδομένων και ενός φορητού υπολογιστή Y/H για την επεξεργασία τους. Με βάση ενός ειδικού προγράμματος, συγκεκριμένα σχεδιασμένο για τις απαιτήσεις του πειράματος, μετατρέπονται οι πληροφορίες σε αρχεία Excel για την διευκόλυνση επεξεργασίας αυτών. Σε κάθε αρχείο σε μορφή Excel αποθηκεύεται η χρονοϊστορία της απόκρισης λόγω ημιτονοειδών διεγέρσεων συχνοτήτων από 1 Hertz ~ 9 Hertz

Από τα στοιχεία απόκρισης της κατασκευής, κατασκευάζεται το φάσμα μετακίνησης (RMS της χρονοϊστορίας των μετακινήσεων) σε συνάρτηση των συχνοτήτων διέγερσης. Για την απόκτηση των φασμάτων χρειάστηκε να γίνει κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων.

Στο κείμενο που ακολουθεί περιγράφεται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων.

CH No.	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	
11 Range	10	10	10	10	10	1000	10	1000	
12 Calibratio	22.4788	50	0.503	50	0.503	1	50	1	
13 Offset	0	0	0	0	0	0	0	0	
14 Unit	mm	mm	g	mm	g	um/m	V	um/m	
15	0	103.5868	191.4506105	0.04072214	189.15238	-0.146476	-297.5708	-0.513476	637.1784
16	0.005	103.5321	191.4178056	0.01824479	189.05976	-0.1704256	-246.9047	-5.598415	214.4508
17	0.01	103.5882	191.3988422	0.04346533	189.18311	-0.1432096	-277.5703	0.5818902	-162.097
18	0.015	103.6431	191.6339032	0.06005942	189.32293	-0.1258205	-54.60487	6.119939	-405.224
19	0.02	103.5858	191.48183	0.04115092	189.15488	-0.1464987	357.4054	-0.52378	-651.481
20	0.025	103.5321	191.3441471	0.0179982	189.1661	-0.1707593	318.6907	-5.638354	-436.242
21	0.03	103.5869	191.4234764	0.04343711	189.18756	-0.1434464	262.619	0.5720122	-14.3198
22	0.035	103.6409	191.6161593	0.06024406	189.29585	-0.1255789	159.403	6.1270122	271.9568
23	0.04	103.5875	191.4325008	0.04102885	189.20177	-0.1461589	-309.0041	-0.52811	590.0447

Πιν.1 Υπόδειγμα αρχείου Excel για ένα συγκεκριμένο εύρος συχνότητας και για μια συγκεκριμένη συχνότητα

Το παραπάνω σχήμα δείχνει πως μετατρέπονται τα δεδομένα από την κατασκευή σε ηλεκτρονική μορφή έτοιμα προς επεξεργασία. Για τους απαραίτητους υπολογισμούς θα πρέπει να γίνει επεξεργασία του σήματος. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έχουν κατασκευαστεί υπορουτίνες σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic.

Η επεξεργασία του σήματος αφορά τα εξής κανάλια:

1 channel - Draw Wire

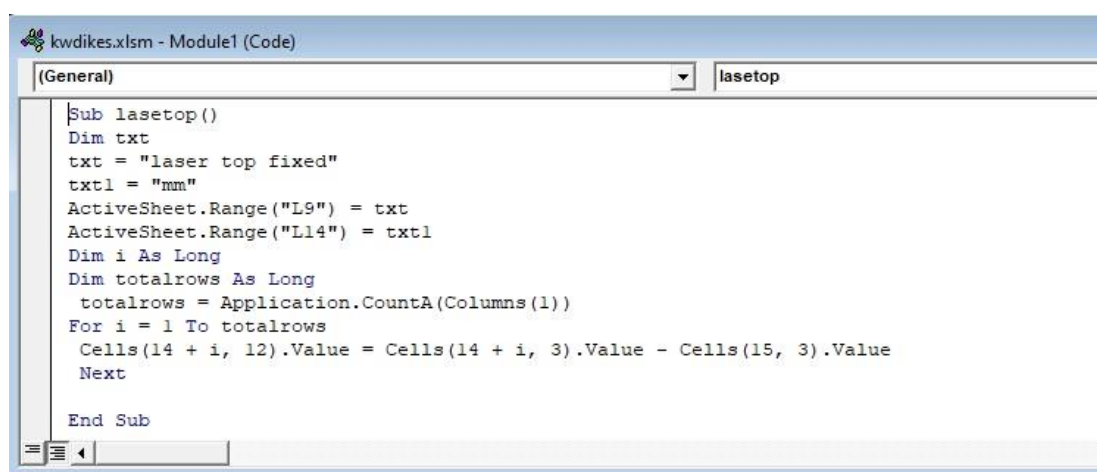
2 channel - Laser Top

3 channel - Acceleration Top

4 channel – Laser Bottom

5 channel – Acceleration Base

Για τον σχεδιασμό των κωδίκων, χρησιμοποιήθηκε η Visual Basic, την οποία παρέχει η Excel μέσω των μακροεντολών.



```
Sub lasetop()  
Dim txt  
txt = "laser top fixed"  
txt1 = "mm"  
ActiveSheet.Range("L9") = txt  
ActiveSheet.Range("L14") = txt1  
Dim i As Long  
Dim totalrows As Long  
totalrows = Application.CountA(Columns(1))  
For i = 1 To totalrows  
Cells(14 + i, 12).Value = Cells(14 + i, 3).Value - Cells(15, 3).Value  
Next  
End Sub
```

Πιν.2 laser top, κώδικας καθαρισμού του σήματος

Ο κώδικας αυτός επεξεργάζεται το διάγραμμα του λείζερ της κορυφής, το οποίο μας δίνει δεδομένα για τις μετακινήσεις στο πάνω μέρος της κατασκευής. Συγκεκριμένα, αφαιρεί την πρώτη τιμή που μας δίνεται από το πρόγραμμα μετάφρασης δεδομένων για την μετακίνηση η οποία είναι **μη μηδενική** από όλες τις υπόλοιπες τιμές της στήλης, έτσι ώστε να καταλήξουμε σε μια στήλη **όπου αρχική τιμή της στήλης των μετακινήσεων κορυφής να ισούνται με το μηδέν**. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα από το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, από τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν.

	A	B
7	Data Nos/	2339
8	MEAS Tim	11.695
9	CH Name	LASER_top
10	CH No.	CH2
11	Range	10
12	Calibratio	50
13	Offset	0
14	Unit	mm
15	0	191.6237203
16	0.005	191.5165861
17	0.01	191.6074398
18	0.015	191.7146959
19	0.02	191.6229886
20	0.025	191.5100617
21	0.03	191.6053056
22	0.035	191.7148178
23	0.04	191.6278666
24	0.045	191.5141471
25	0.05	191.6061593
26	0.055	191.7158544
27	0.06	191.6248178
28	0.065	191.5142691
29	0.07	191.6052447

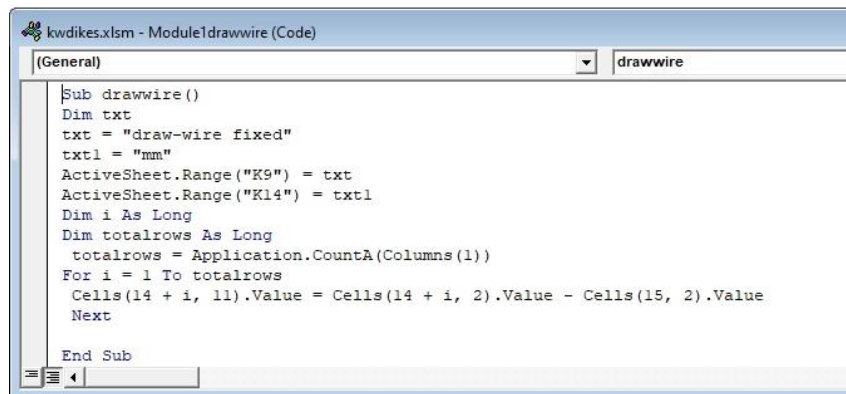
Πιν.3. laser top, χωρίς επεξεργασία

Εδώ παρατηρούμε μια μικρή δέσμη δεδομένων χωρίς να έχουν υποστεί επεξεργασία καθαρισμού του σήματος. Γίνεται αντιληπτό πως το σήμα χρειάζεται επεξεργασία εφόσον για χρόνο μηδέν έχουμε μετακίνηση της τάξης των 191.6237203 χιλιοστών (mm). Με βάση το παραπάνω κώδικα, θα υπάρξει μια ακολουθία πράξεων αφαίρεσης της πρώτης τιμής της μετακίνησης (191.6237203 χιλιοστών (mm)) από τον εαυτό της και στην συνέχεια της κάθε τιμής που ακολουθείται. Με αυτόν τον τρόπο θα καταλήξουμε σε μια νέα στήλη η οποία θα περιέχει τις πραγματικές τιμές μετακίνησης της κορυφής του μοντέλου των οποίων διεξάγονται τα πειράματα με μονάδα μέτρησης τα χιλιοστά (mm), όπως φαίνεται παρακάτω.

	A	B
	Data Nos/	2339
	MEAS Tim	11.695
	CH Name	laser top fixed
	CH No.	
	Range	
	Calibratio	
	Offset	
	Unit	mm
	0	0
	0.005	-0.107134147
	0.01	-0.016280488
	0.015	0.09097561
	0.02	-0.000731707
	0.025	-0.113658537
	0.03	-0.018414634
	0.035	0.091097561
	0.04	0.004146341
	0.045	-0.109573171
	0.05	-0.017560976
	0.055	0.092134147
	0.06	0.001097561
	0.065	-0.10945122
	0.07	-0.01847561

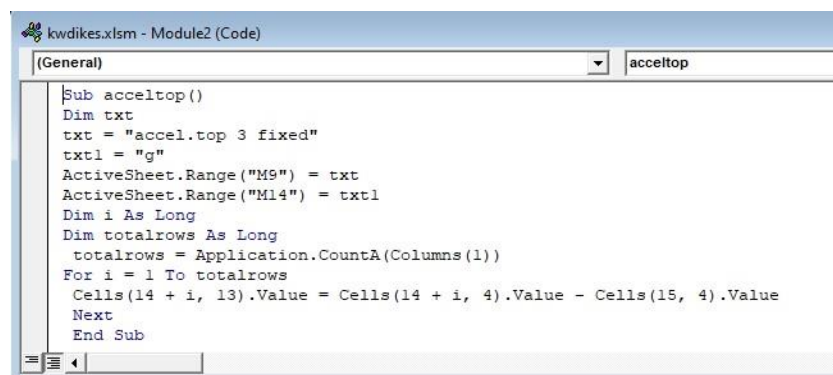
Πιν.4 lase top, με επεξεργασία του σήματος

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την παραπάνω και για τα: *Draw Wire, Acceleration Top, Laser Bottom, Acceleration Base* με τους παρακάτω κώδικες.



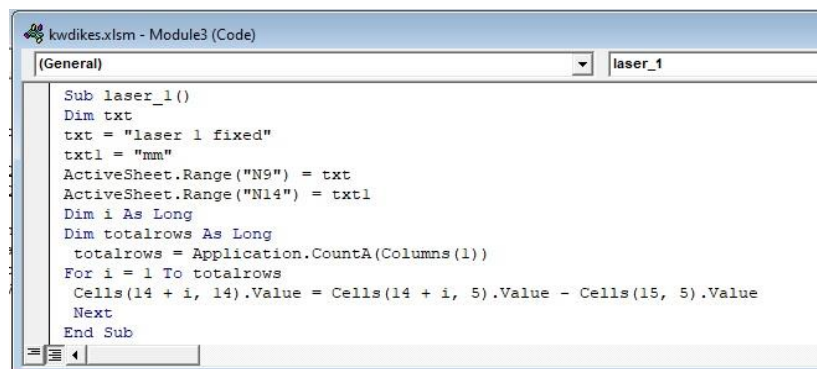
```
Sub drawwire()  
Dim txt  
txt = "draw-wire fixed"  
txt1 = "mm"  
ActiveSheet.Range("K9") = txt  
ActiveSheet.Range("K14") = txt1  
Dim i As Long  
Dim totalrows As Long  
totalrows = Application.CountA(Columns(1))  
For i = 1 To totalrows  
Cells(14 + i, 11).Value = Cells(14 + i, 2).Value - Cells(15, 2).Value  
Next  
End Sub
```

Πιν.5 draw-wire, κώδικας επεξεργασίας σήματος



```
Sub acceltop()  
Dim txt  
txt = "accel.top 3 fixed"  
txt1 = "g"  
ActiveSheet.Range("M9") = txt  
ActiveSheet.Range("M14") = txt1  
Dim i As Long  
Dim totalrows As Long  
totalrows = Application.CountA(Columns(1))  
For i = 1 To totalrows  
Cells(14 + i, 13).Value = Cells(14 + i, 4).Value - Cells(15, 4).Value  
Next  
End Sub
```

Πιν.6 Acceleration top, κώδικας επεξεργασίας σήματος



```
Sub laser_1()  
Dim txt  
txt = "laser 1 fixed"  
txt1 = "mm"  
ActiveSheet.Range("N9") = txt  
ActiveSheet.Range("N14") = txt1  
Dim i As Long  
Dim totalrows As Long  
totalrows = Application.CountA(Columns(1))  
For i = 1 To totalrows  
Cells(14 + i, 14).Value = Cells(14 + i, 5).Value - Cells(15, 5).Value  
Next  
End Sub
```

Πιν.7 laser 1, κώδικας επεξεργασίας σήματος

```

Sub lasercap()
Dim txt
txt = "laser cap fixed"
txt1 = "v"
ActiveSheet.Range("P9") = txt
ActiveSheet.Range("P14") = txt1
Dim i As Long
Dim totalrows As Long
totalrows = Application.CountA(Columns(1))
For i = 1 To totalrows
Cells(14 + i, 16).Value = Cells(14 + i, 8).Value - Cells(15, 8).Value
Next
End Sub

```

Πιν.8 laser- cap , κώδικας επεξεργασίας σήματος

Έπειτα τον καθαρισμό των σημάτων ακολουθεί ο υπολογισμός της μετακίνησης, ο οποίος γίνεται με την βοήθεια του παρακάτω κώδικα.

```

Sub metakinish()
Dim txt
txt = "metakinish korufhs"
txt1 = "mm"
ActiveSheet.Range("Q9") = txt
ActiveSheet.Range("Q14") = txt1
Dim i As Long
Dim totalrows As Long
totalrows = Application.CountA(Columns(1))
For i = 1 To totalrows
Cells(14 + i, 17).Value = (Cells(14 + i, 12).Value) - (Cells(14 + i, 14).Value)
Next
End Sub

```

Πιν.9 Μετακίνηση, κώδικας υπολογισμού μετακίνησης

Ο παραπάνω κώδικας μας δίνει τη στήλη της μετακίνησης της κατασκευής κατά τη διάρκεια της διέγερσης. Αφαιρεί την 12^η στήλη με την 14^η στήλη (Excel) για κάθε γραμμή και τοποθετεί το αποτέλεσμα της πράξης στην 17^η στήλη. Στην πράξη, αφαιρούνται laser top και laser 1 και οι τιμές τοποθετούνται στην στήλη μετακινήσεων κορυφής. Με τον κώδικά αυτό, λαμβάνουμε τη διαφορά μεταξύ laser top , το οποίο είναι τοποθετημένο στην κορυφή της κατασκευής, και laser 1 το οποίο είναι τοποθετημένο στην βάση του μοντέλου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ,εφόσον είναι διορθωμένο το κάθε σήμα με βάση τις παραπάνω διαδικασίες, να έχουμε αυτούσια τα δεδομένα της μετακίνησης της κορυφής του μοντέλου εξαιτίας της διέγερσης που του δίνεται από εμάς.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός του RMS (Root Mean Square), ο υπολογισμός δηλαδή της μέσης τιμής τετραγώνων. Αυτό θα γίνει με βάση την παρακάτω μαθηματική εξίσωση.

$$RMS = \frac{\sqrt{\sum xi^2}}{n}$$

Για την εύρεση του RMS για κάθε συχνότητα, θα χρειαστεί να βρεθεί το τετράγωνο των μετακινήσεων εξίσου για κάθε συχνότητα. Για την αποφυγή σφάλματος στον υπολογισμό, επιλέγεται ένα συγκεκριμένος εύρος μετρήσεων το οποίο θεωρείται ως πιο ακριβές σε σύγκριση με των υπολοίπων μετρήσεων.

Υπολογίζονται τα τετράγωνα όλων των μετακινήσεων και στην συνέχεια με την απλή συνάρτηση, την οποία διατίθεται από την Excel, υπολογίζεται το τετράγωνο τους για το εύρος μεταξύ 500 έως 2000 δηλαδή ένα σύνολο 1500 μετρήσεων οπου όπως αναφέρθηκε θεωρούνται πιο ακριβής.

Για την εξοικονόμηση χρόνου, χρησιμοποιείται ο παρακάτω κώδικας στον υπολογισμό του RMS για μια τυχαία συχνότητα.

```

Sub rms1()
Dim txt
txt = "rms"
ActiveSheet.Range("T9") = txt

rms = ((Cells(15, 19).Value) / 1500) ^ (1 / 2)
Cells(15, 20).Value = rms
End Sub

```

Πιν.10 RMS, κώδικας για την διευκόλυνση υπολογισμού της τιμής RMS

Αυτός ο κώδικας διαιρεί το άθροισμα τετραγώνων για εύρος μετρήσεων 500-2000 και το διαιρεί για το πλήθος των μετρήσεων n (1500 μετρήσεις). Στην συνέχεια, υψώνεται στην δύναμη 1/2 και τοποθετεί την τιμή στο RMS.

Ολοκληρωμένο παράδειγμά της όλης διαδικασίας που προαναφέρθηκε

Πιν.11. Ολοκληρωμένο τυχαίο παράδειγμα διαδικασίας υπολογισμού RMS

Εφόσον γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για κάθε σύνολο συχνοτήτων, κατασκευάζεται το διάγραμμα RMS –Frequency.

Για κάθε πείραμα που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω συχνότητες:
sin1.00, sin2.00, sin3.00, sin3.25, sin3.50, sin3.75, sin4.00, sin4.25, sin4.50, sin4.75, sin5.00, sin5.25, sin5.50, sin5.75, sin6.00, sin7.00, sin8.00, sin9.00 (Hz).

Μεταξύ 3 και 5 Hz έχουμε πύκνωση των μετρήσεων, αυτό συμβαίνει διότι υπολογίστηκε πως η συχνότητα συντονισμού βρίσκεται ενδιάμεσα των τιμών αυτών, και επιλέχθηκε η πύκνωση για εκτενέστερη μελέτη αυτού του εύρους συχνοτήτων.

Τα πειράματα διεξάχθηκαν με την εξής σειρά.

1. Amplitude 15 – no particles, fixed tuned mass
2. Amplitude 30 – no particles, fixed tuned mass
3. Amplitude 30 – no particles, fixed tuned mass

Ο αποσβεστήρας λειτούργησε ως μέρος της κατασκευής προσκολλημένος σε εκείνη, χωρίς την προσθήκη μάζας.

4. Amplitude 15 – particles, fixed tuned mass damper
5. Amplitude 30- particles, fixed tuned mass
6. Amplitude 40 – particles, fixed tuned mass

Ο αποσβεστήρας λειτούργησε σε αυτή τη περίπτωση ως μέρος της κατασκευής, προσκολλημένος σε εκείνη με περιεχόμενο particles. Αυτές οι πειραματικές μετρήσεις θα χρειαστούν στην συνέχεια ως μετρό σύγκρισης.

Tuned Mass Damper.

7. Amplitude 15 – tuned mass damper, 1.5 cm από την βάση της πάνω πλάκας
8. Amplitude 15 – tuned mass damper, 1.2 cm από την βάση της πάνω πλάκας
9. Amplitude 15 – tuned mass damper, 1.0 cm από την βάση της πάνω πλάκας
10. Amplitude 15 – tuned mass damper, 2.0 cm από την βάση της πάνω πλάκας

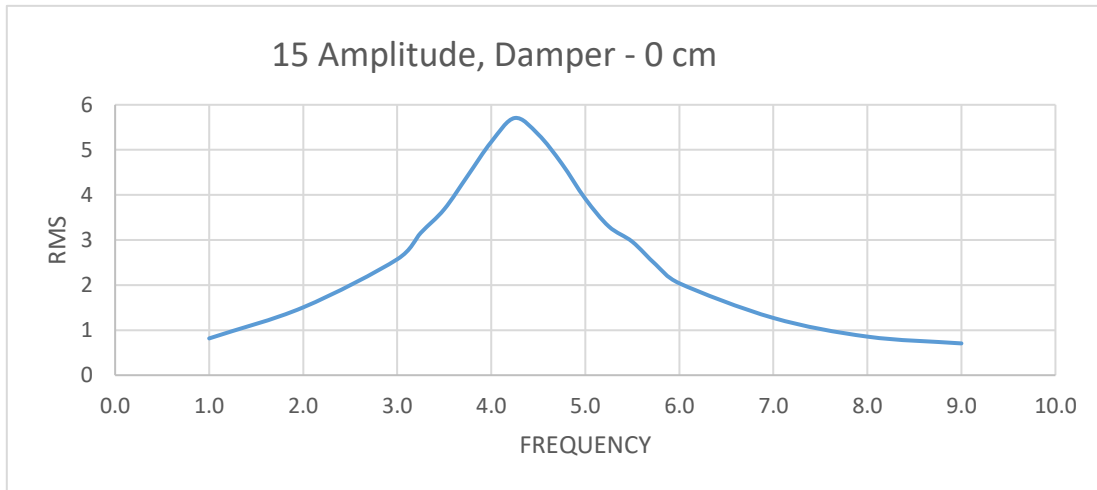
Ο αποσβεστήρας λειτούργησε σε αυτή την περίπτωση ως εκκρεμές με μια σφηνωμένη μάζα στο εσωτερικό του, και με μήκος εκκρεμούς μεταξύ 1~2 εκατοστών (cm) καθώς υπολογίστηκε ότι το μήκος ίδιο-συχνότητας $l_o = 1.55$ εκατοστά (cm).

Tuned Particle Mass Damper.

11. Amplitude 15 – particle mass damper, 2.0 cm
12. Amplitude 15 – particle mass damper, 1.5 cm
13. Amplitude 15 – particle mass damper, 1.2 cm
14. Amplitude 15 – particle mass damper, 1.0 cm

Διάγραμμα απόκρισης κτιριακού μοντέλου με ενσωματωμένο στο σύστημα αποσβεστήρα

Ο αποσβεστήρας λειτούργησε ως εκκρεμές, στο εσωτερικό του σε αυτή τη περίπτωση, όμως, περιείχε particles (σωματίδια) ίδιου βάρους με την σφηνωμένη μάζα που διεξάχθηκαν τα πειράματα παραπάνω.



Διάγραμμα.1 .RMS- FREQUENCY – 15 Amplitude, ενσωματωμένος στο σύστημα αποσβεστήρας

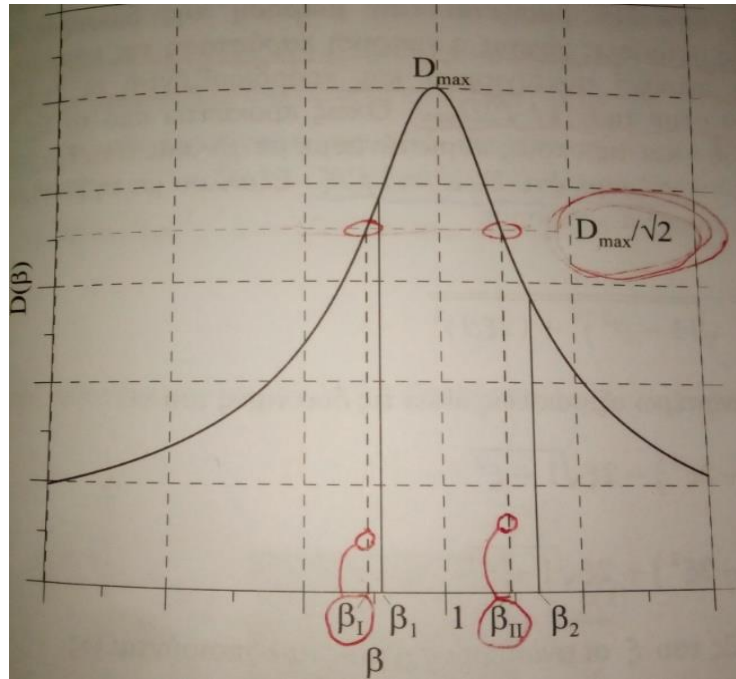
Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει την απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς αποσβεστήρα. Αυτό θα χρησιμοποιηθεί για όλες τις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων, με σκοπό την παρατήρηση των ποσοστών μείωσης.

Κάθε πείραμα περιέχει 18 φακέλους που ο κάθε ένας αναφέρεται σε μια συχνότητα. Για κάθε συχνότητα ακολουθείται η διαδικασία εύρεσης του RMS. Ως αποτέλεσμα έχουμε για κάθε πείραμα ένα διάγραμμα συχνότητας RMS (RMS-Frequency).

Εύρος της καμπύλης αποκρίσεως

Το εύρος της καμπύλης αποκρίσεως $D(\beta)$ στην περιοχή συντονισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αποσβέσεως. Η μέθοδος περιλαμβάνει τη μέτρηση των συχνοτήτων στις οποίες η διαφορά φάσεως είναι ± 45 μοίρες. Η μία από τις συχνότητες αυτές είναι μικρότερη από τη συχνότητα συντονισμού και η άλλη μεγαλύτερη. Οι αντίστοιχες τιμές του β λαμβάνονται από τη σχέση:

$$\frac{2\xi\beta_1}{1 - \beta_2} = 1$$



Εικ.44 Γραφική παράσταση της καμπύλης αποκρίσεως $D(\beta)$ για το προσδιορισμό των β_I και β_{II} ,
(Δυναμική Ανάλυση των Κατασκευών Ι.Θ.ΚΑΤΣΙΚΑΔΕΛΗΣ)

$$\frac{2\xi\beta_2}{1 - \beta_2^2} = -1$$

Οι εξισώσεις γράφονται ως εξής:

$$1 - \beta_1^2 - 2\xi\beta_1 = 0$$

$$1 - \beta_2^2 - 2\xi\beta_2 = 0$$

Αφαιρώντας κατά μέλη προκύπτει:

$$\xi = \frac{1}{2}(\beta_2 - \beta_1) = \frac{1}{2} \frac{\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1}{\omega}$$

Η τελευταία σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ξ , όταν έχουν μετρηθεί οι συχνότητες $\bar{\omega}_1$ και $\bar{\omega}_2$. Η δε ιδιοσυχνότητα ω είναι γνωστή ή μπορεί να υπολογιστεί.

Η προηγούμενη μέθοδος βασίζεται στη δυνατότητα μετρήσεως της διαφοράς φάσεως, πράγμα το οποίο δεν είναι εύκολο διότι απαιτεί σχετικά πολύπλοκη διάταξη. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί άλλη ιδιότητα της καμπύλης αποκρίσεως που δεν βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς φάσεως. Από πειραματικές μετρήσεις γίνεται η γραφική παράσταση της καμπύλης αποκρίσεως $D(\beta)$ στην περιοχή

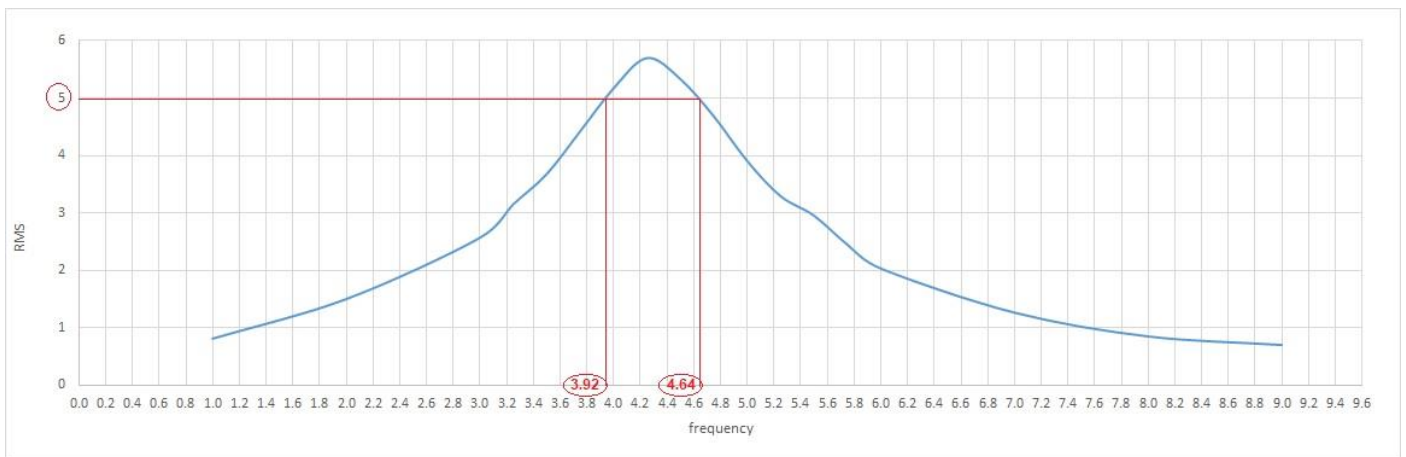
συντονισμού και προσδιορίζονται οι τιμές του β που αντιστοιχούν στην τιμή $1/\sqrt{2 D_{max}}$. Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα, οι τιμές αυτές είναι δύο και τις οποίες παριστάνουμε με β_I, β_{II} . Για μικρές τιμές της αποσβέσεως γνωρίζουμε ότι $D_{max} \cong 1/2\xi$.

Όμοια σχέση με την τελευταία η οποία αποφεύγει τη μέτρηση γωνιών διαφοράς φάσεως είναι η εξής, γνωστή και ως **μέθοδος μισής ισχύος**.

$$\xi = \frac{1}{2}(\beta_I - \beta_{II})$$

Με βάση την τελευταία μέθοδο, θα υπολογιστεί η απόσβεση της κατασκευής. Επιλέγεται η τιμή που αντιστοιχεί για RMS ίσο με 5, καθώς υπάρχει διαφορά φάση ± 45 μοιρών.

Με την χρήση αυτών θα ακολουθήσει εύρεση των β_I, β_{II}

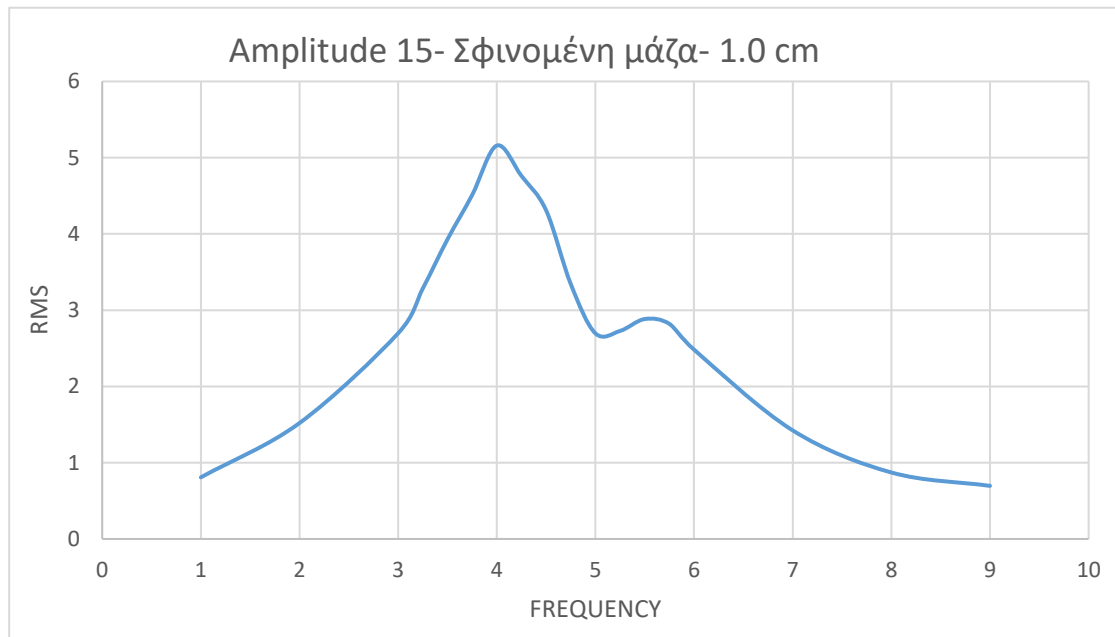


*Διάγραμμα.12 RMS – FREQUENCY για ενσωματωμένο αποσβεστήρα στο σύστημα
(δευτερεύουσα κλίμακα διαγράμματος 0.04)*

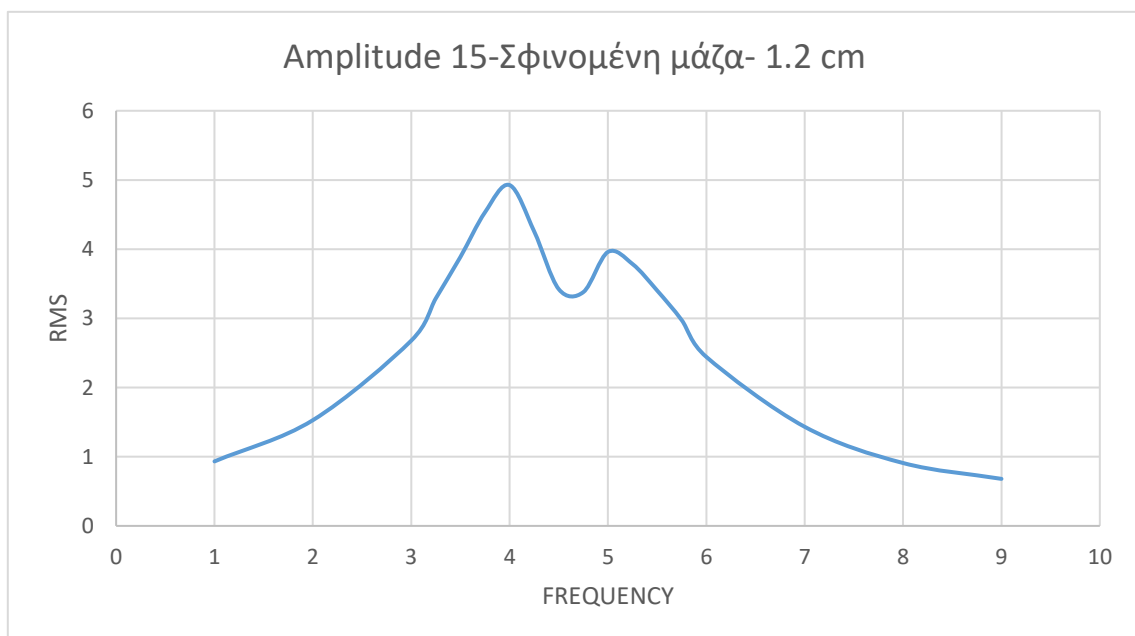
Παρατηρείται λοιπόν με βάση το διάγραμμα πως $\beta_I = 3.92, \beta_{II} = 4.64$. Οπότε,

$$\xi = \frac{1}{2}(\beta_I - \beta_{II}) = \frac{1}{2}(4.64 - 3.92) = 0.36$$

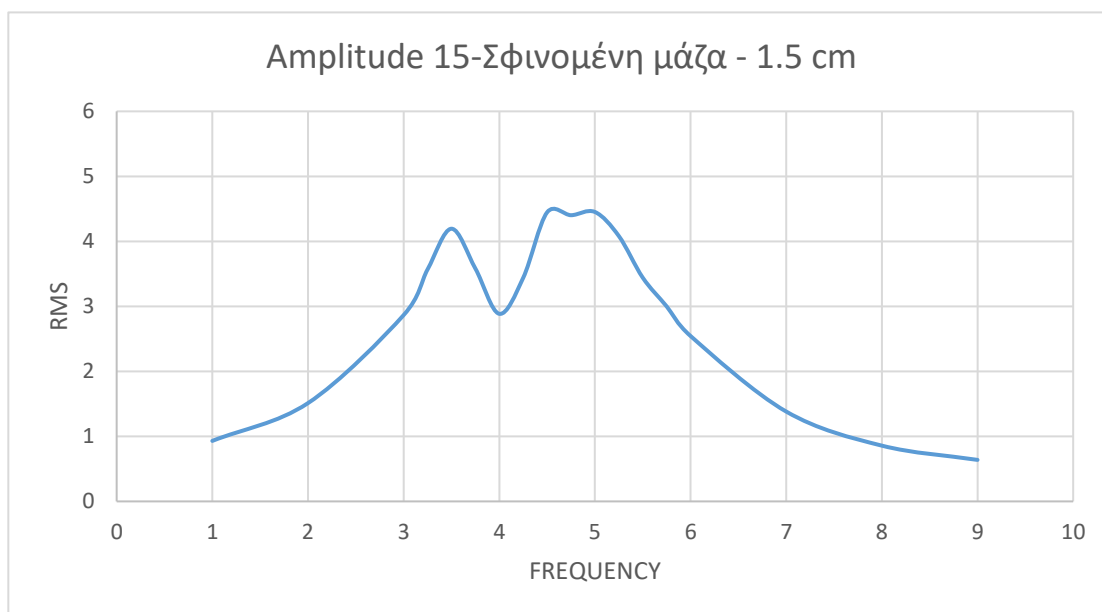
Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων (tuned mass damper)



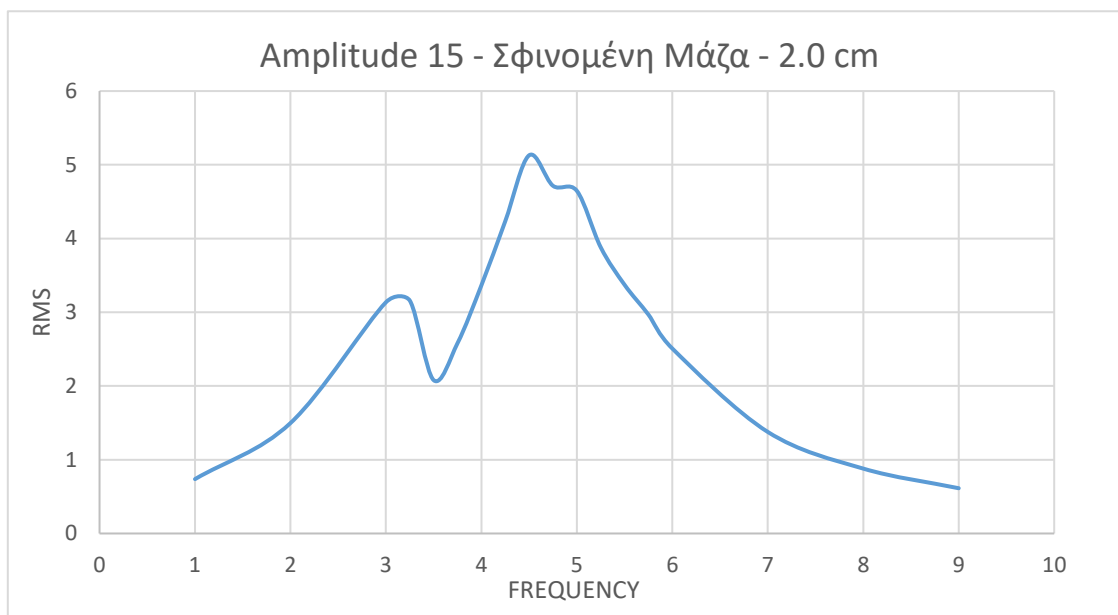
Διάγραμμα.13 Data, tuned mass damper για εκκρεμή μάζα με απόσταση 1.0 εκατοστά



Διάγραμμα.14 Data, tuned mass damper για εκκρεμή μάζα με απόσταση 1.2 εκατοστά

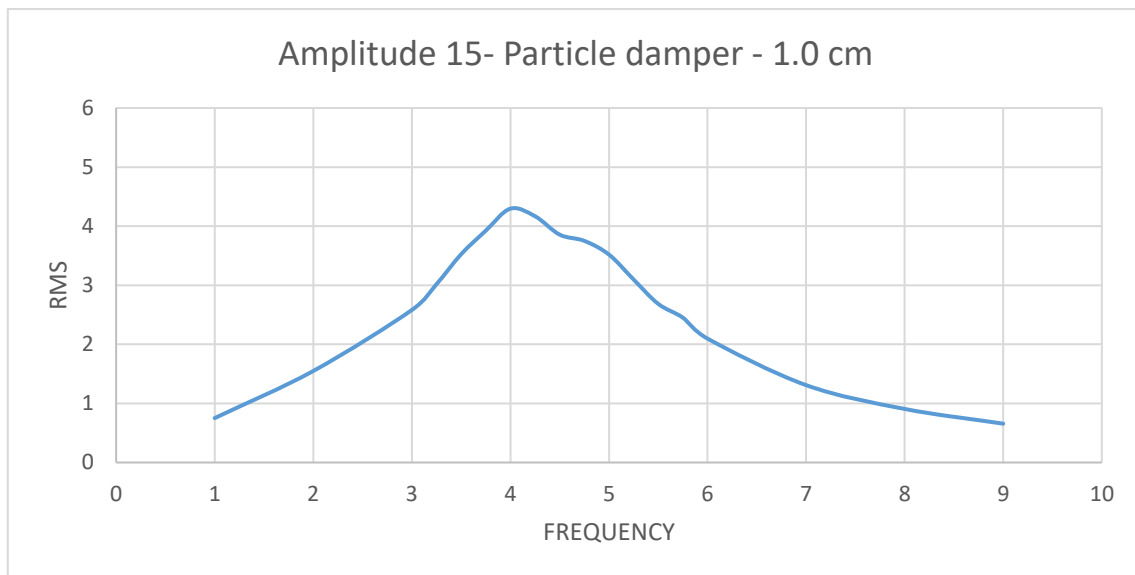


Διάγραμμα.15 Data, tuned mass damper για εκκρεμή μάζα με απόσταση 1.5 εκατοστά

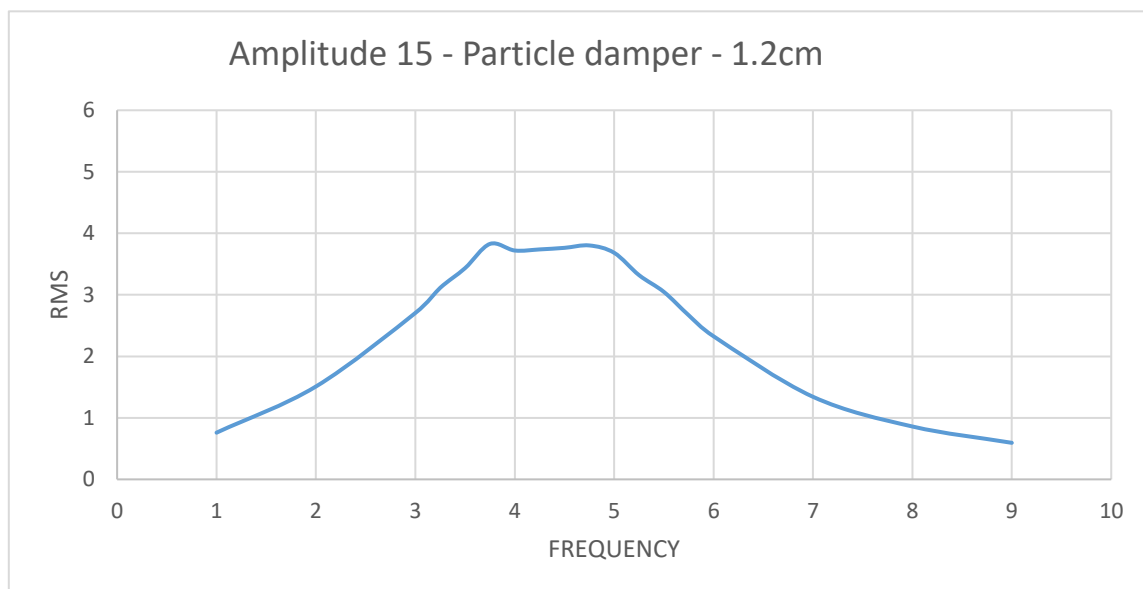


Διάγραμμα.16 Data, tuned mass damper για εκκρεμή μάζα με απόσταση 2.0 εκατοστά

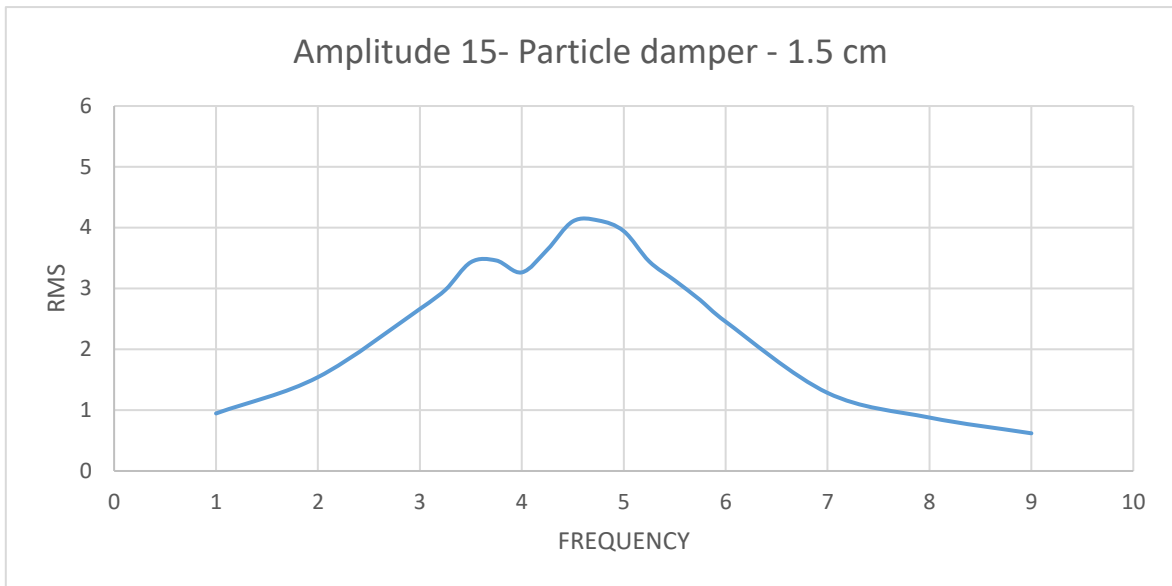
Ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων (Tuned Particle mass damper)



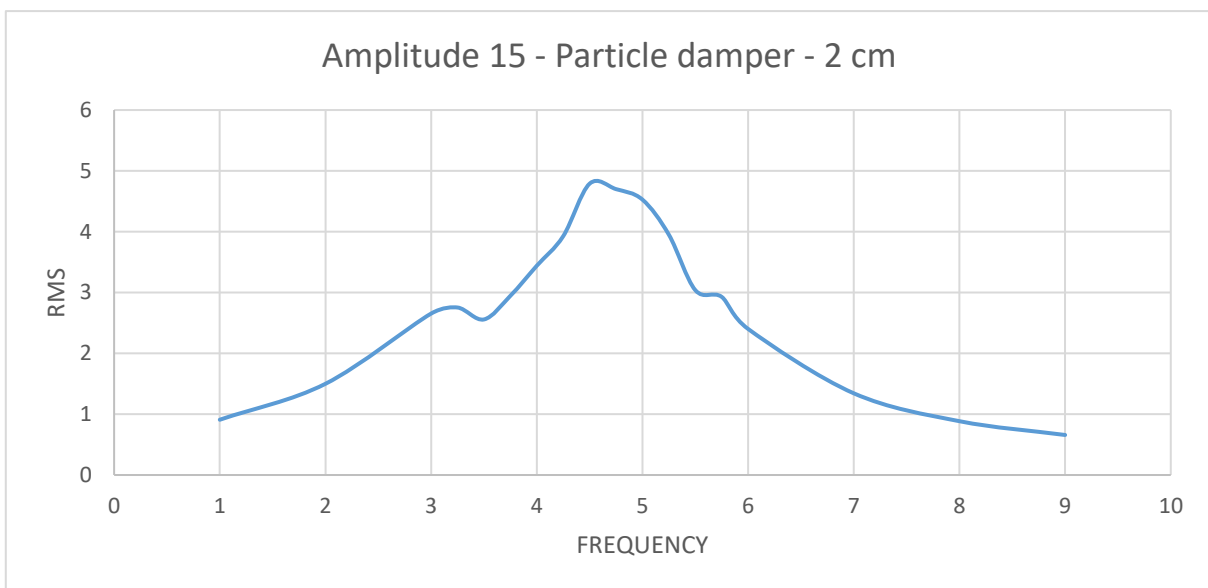
Διάγραμμα.17 Data, tuned particle mass damper για εκκρεμή μάζα σωματιδίων με απόσταση 1.0 εκατοστά



Διάγραμμα.18 Data, tuned particle mass damper για εκκρεμή μάζα σωματιδίων με απόσταση 1.2 εκατοστά



Διάγραμμα.19 Data, tuned particle mass damper για εκκρεμή μάζα σωματιδίων με απόσταση 1.5 εκατοστά



Διάγραμμα.20 Data, tuned particle mass damper για εκκρεμή μάζα σωματιδίων με απόσταση 2.0 εκατοστά

Συζήτηση των αποτελεσμάτων

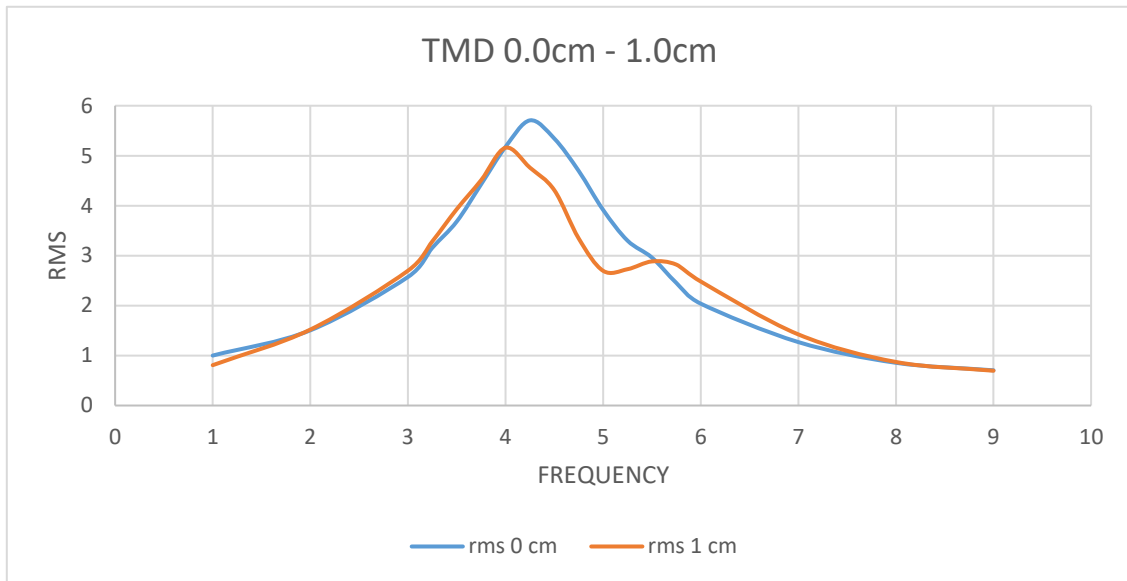
Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες σελίδες συγκρίνονται μεταξύ τους. Θα πρέπει να συγκριθεί η απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς αποσβεστήρα, με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας και συντονισμένης μάζας σωματιδίων. Οι συγκρίσεις γίνονται για τις εξής περιπτώσεις :

- Κτιριακό μοντέλο χωρίς αποσβεστήρα – 1,0 cm tuned mass damper , 1,0 cm tuned particle mass damper.
- Κτιριακό μοντέλο χωρίς αποσβεστήρα – 1,2 cm tuned mass damper , 1,2 cm tuned particle mass damper.
- Κτιριακό μοντέλο χωρίς αποσβεστήρα – 1,5 cm tuned mass damper, 1,5 cm tuned particle mass damper.
- Κτιριακό μοντέλο χωρίς αποσβεστήρα – 2,0 cm tuned mass damper , 2,0 cm tuned particle mass damper.

Εύρος μήκους εκκρεμούς από 1 cm ~ 2 cm

Για κάθε σύγκριση θα προκύψουν 3 διαγράμματα από τα οποία με βάση το μοντέλο χωρίς αποσβεστήρα θα καταφέρουμε να υπολογίσουμε τα ποσοστά μείωσης για κάθε περίπτωση. Επιπλέον, μέσω των συγκρίσεων αυτών θα είναι πιο αποδοτική η παρατήρηση και η συλλογή συμπερασμάτων σε κάθε στάδιο.

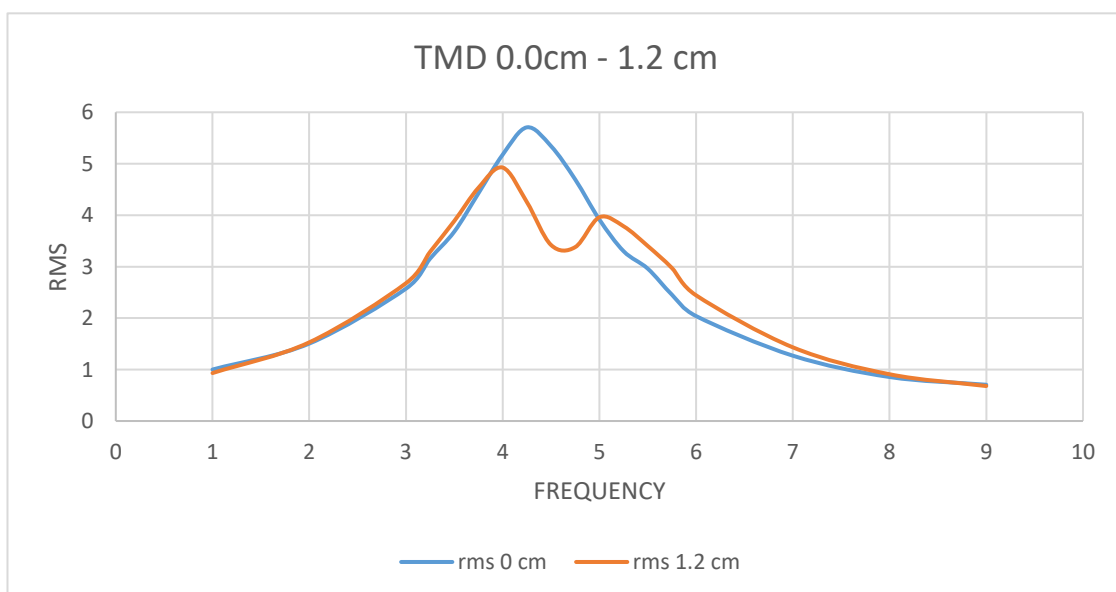
Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας (Tuned Mass Damper)



μέγιστα	5.70695	5.158957
μείωση	0.096	9.60%

Διάγραμμα.20 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς με απόσταση 1.0 cm

Στο παρόν διάγραμμα συγκρίνεται η απόκριση του μοντέλου χωρίς αποσβεστήρα με την με την απόκριση του μοντέλου με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας σε απόσταση 1.0 εκατοστού από την πάνω πλάκα του κτιριακού μοντέλου. Με μπλε απόχρωση απεικονίζεται η αρχική κατάσταση του κτιρίου και με πορτοκάλι με απόσβεση. Παρατηρείται λοιπόν πως με την προσθήκη του αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας έχουμε μια μείωση της απόκρισης της τάξης 9.6%.

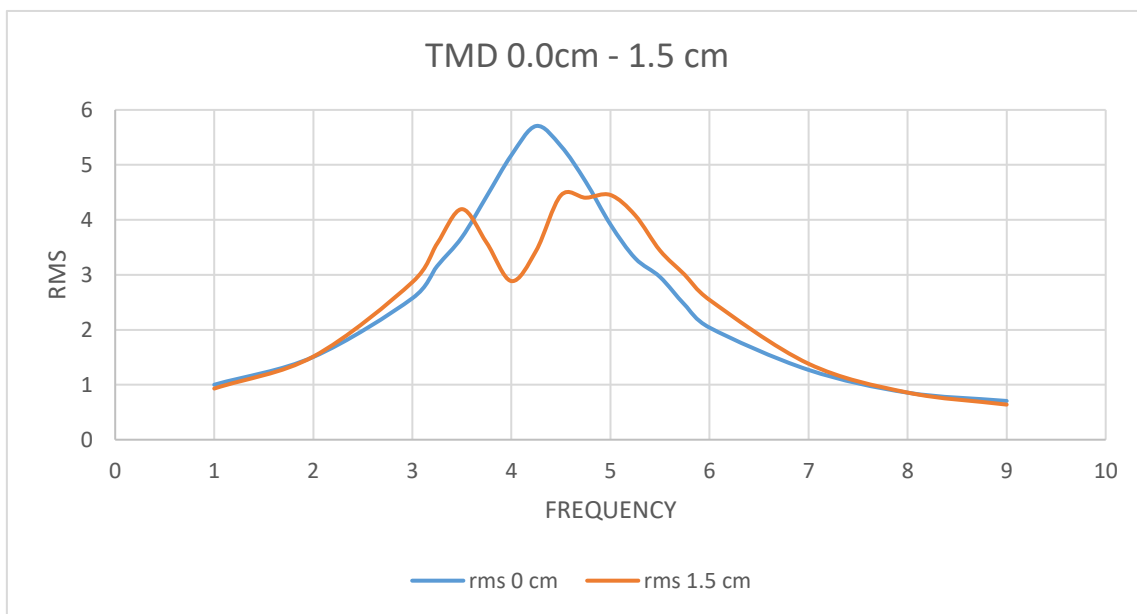


μέγιστα	5.70695	4.925697
μείωση	0.1368	13.68%

Διάγραμμα.21 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς με απόσταση 1.2 cm

Στο παρόν διάγραμμα συγκρίνεται η αρχική κατάσταση του κτιρίου με την αυτήν προσθήκης αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας σε απόσταση 1,2 εκατοστών από την πάνω πλάκα. Στην προκειμένη φάση του πειράματος παρατηρείται μείωση 13,68% από την αρχική απόκριση του μοντέλου χωρίς αποσβεστήρα.

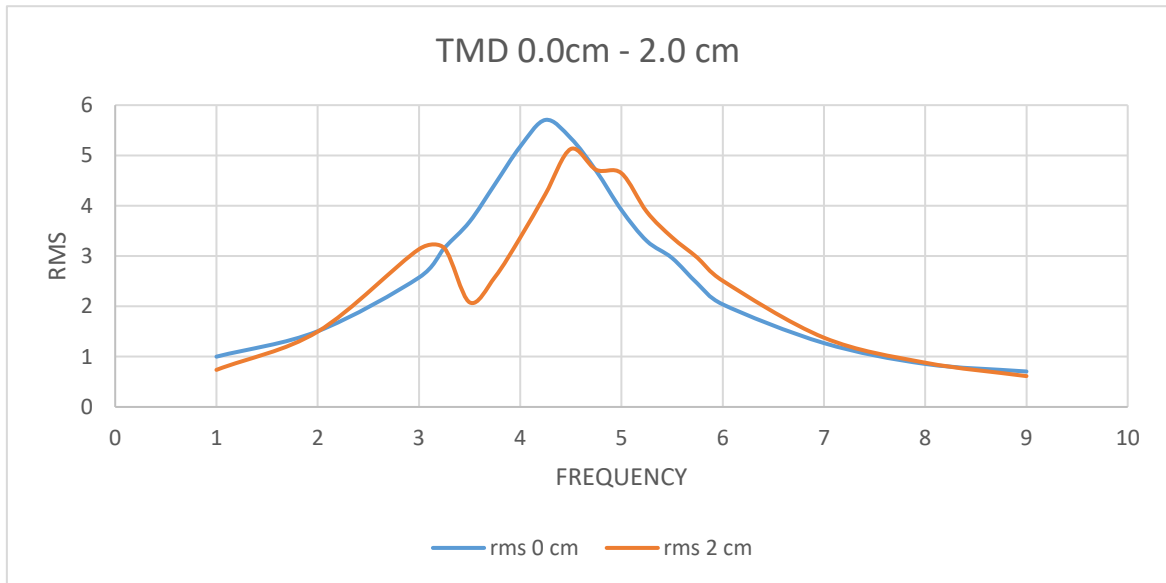
Επίσης σημαντική αναφορά, είναι πως μετά την προσθήκη του αποσβεστήρα η καμπύλη αποκτά 2 peaks (μέγιστα). Αυτό συμβαίνει διότι με την επέμβαση μας στην αρχική κατασκευή με αποσβεστήρα την μετατρέψαμε σε ένα σύστημα με 2 βαθμούς ελευθερίας, ενώ στην αρχή οριζόταν ως μονοβάθμιο.



μέγιστα	5.70695	4.451999
μείωση	0.2198	21.98%

Διάγραμμα.22 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς με απόσταση 1.5 cm

Η καλύτερη συμπεριφορά του εκκρεμούς-αποσβεστήρα είναι στα 1,5 cm μήκους όταν δηλαδή η βέλτιστη συχνότητα απόσβεσης είναι πολύ κοντά στην συχνότητα διέγερσης (φαινόμενο συντονισμού).

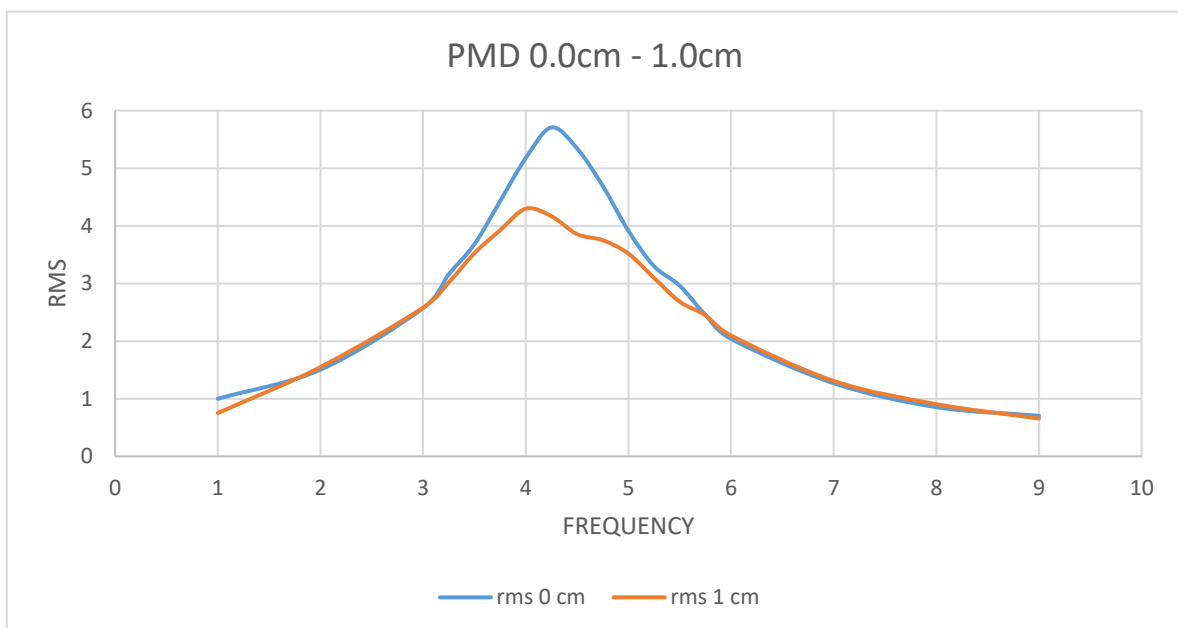


μέγιστα	5.70695	5.128546
μείωση	0.1013	10.13%

Διάγραμμα.23 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς με απόσταση 2.0 cm

Η τελευταία σύγκριση γίνεται με το εκκρεμές στα 2.0 εκατοστά με μείωση της απόκρισης 10.13%. Η μείωση αυτή είναι μικρή όπως και όταν το μήκος του εκκρεμούς ήταν 1.0 cm (μείωση 9.6%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αποσβεστήρας έχει την βέλτιστη απόδοση σε γειτονικές τιμές των 1.5 εκατοστών (που είναι και η ιδιοσυχνότητα του κτιριακού μοντέλου).

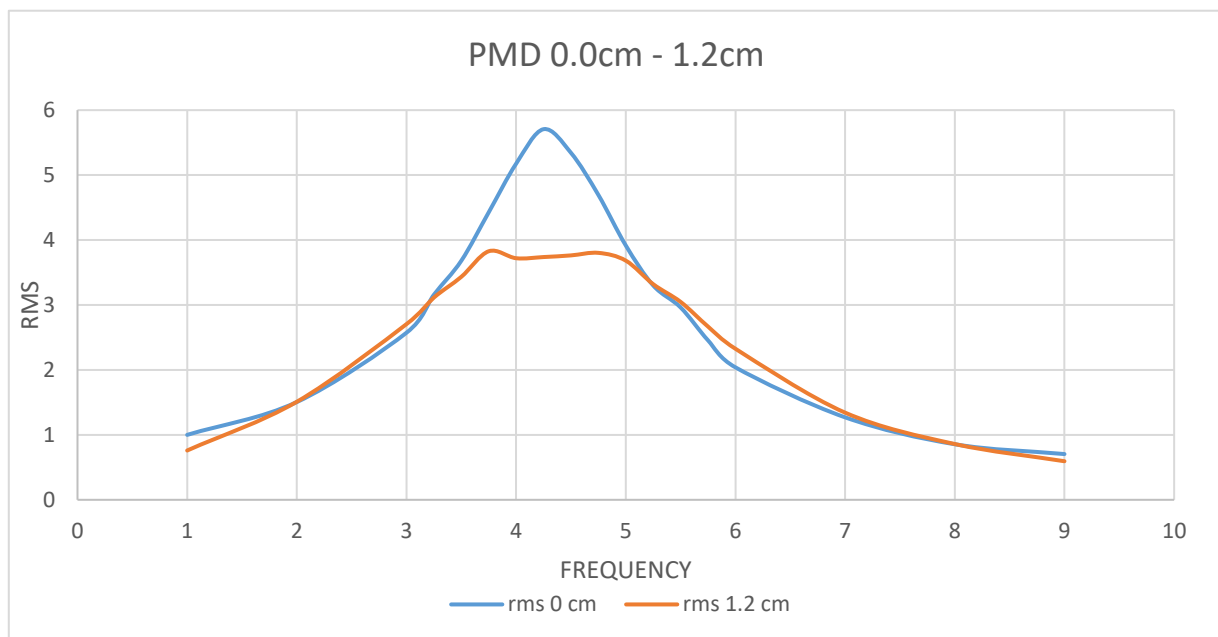
Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζα σωματιδίων



μέγιστα	5.7069499	4.295939
μείωση	0.2472	24.72%

Διάγραμμα.24 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 1.0 cm

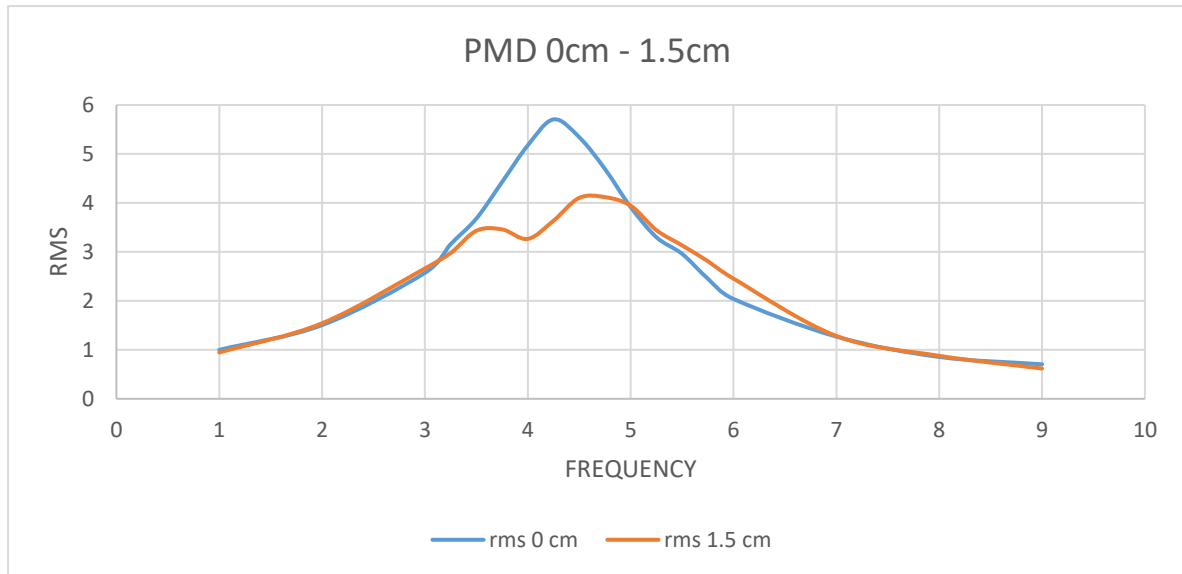
Στο παρόν διάγραμμα συγκρίνεται η αρχική κατάσταση του κτιριακού μοντέλου με την κατάσταση του μετά την προσθήκη αποσβεστήρα σωματιδίων σε απόσταση 1.0 εκατοστού. Παρατηρείται ήδη από το 1.0 εκατοστό σημαντική μείωση του RMS της τάξεως των 24,72% καθώς και η ομαλή κλίση της καμπύλης RMS-Frequency, η οποία αναφέρεται στο κτιριακό μοντέλο μετά την προσθήκη απόσβεσης σωματιδίων.



μέγιστα	5.70695	3.827202
μείωση	0.3293	32.83%

Διάγραμμα.25 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 1.2 cm

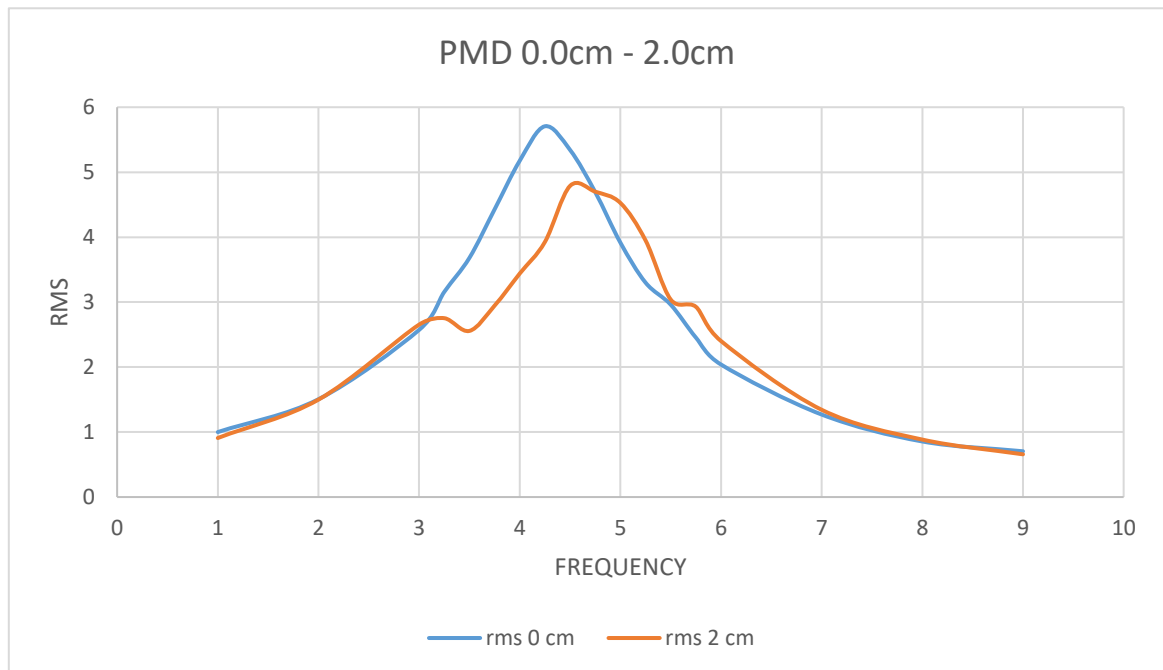
Συγκρίνοντας τις δύο καμπύλες του σχήματος παρατηρείται μεγάλη μείωση της απόκρισης (32.83%), για μεγάλο εύρος συχνοτήτων από 3.5 Hz ~ 4.5 Hz.



μέγιστα	5.70695	4.118965
μείωση	0.2782	27.82%

Διάγραμμα.26 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 1.5 cm

Η περίπτωση της σύγκρισης του μοντέλου χωρίς αποσβεστήρα με το εκκρεμές σωματιδίων σε απόσταση 1,5 εκατοστών επίσης αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό μείωσης του δείκτη RMS, μόνο που στην προκείμενη περίπτωση δεν παρατηρείται η ομαλοποίηση της καμπύλης τόσο έντονα όσο στην περίπτωση στην οποία το εκκρεμές βρισκόταν σε απόσταση 1,2 εκατοστών. Τέλος, ακολουθεί η περίπτωση όπου το εκκρεμές με τα σωματίδια βρίσκεται στα 2.0 εκατοστά με μια μείωση του δείκτη RMS της τάξεως των 16,08%.

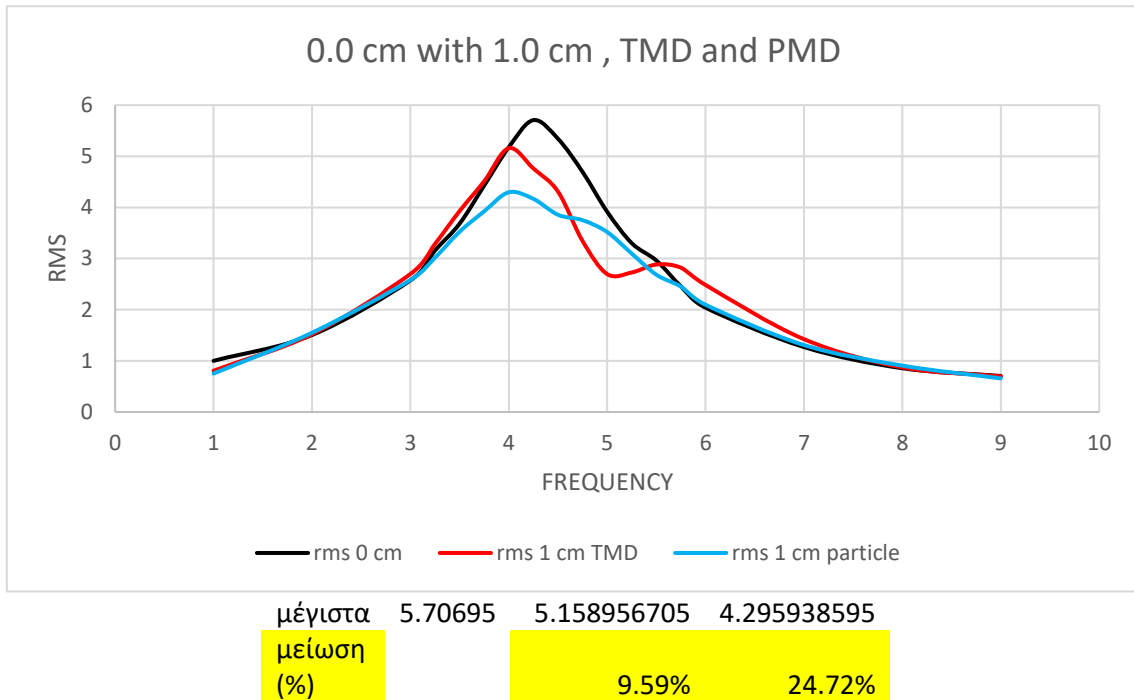


μέγιστα	5.70695	4.789098
μείωση	0.1608	16.08%

Διάγραμμα.27 Απόκριση κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 2.0 cm

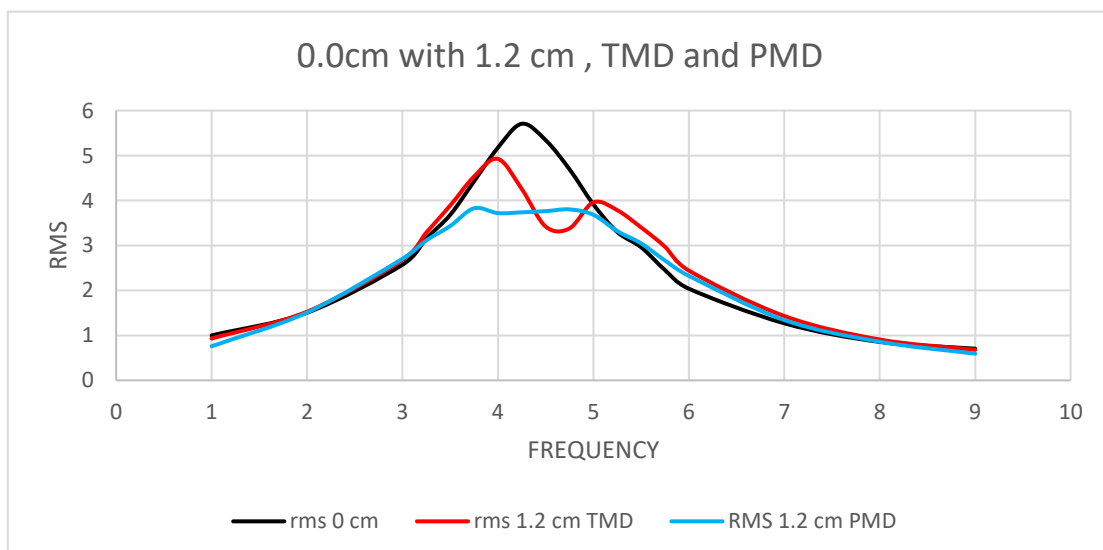
Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας, αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων

Στα διαγράμματα γίνεται η σύγκριση της απόκρισης της κατασκευής χωρίς αποσβεστήρα (μαύρη καμπύλη), με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς (κόκκινη καμπύλη), με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς σωματιδίων (μπλε καμπύλη).



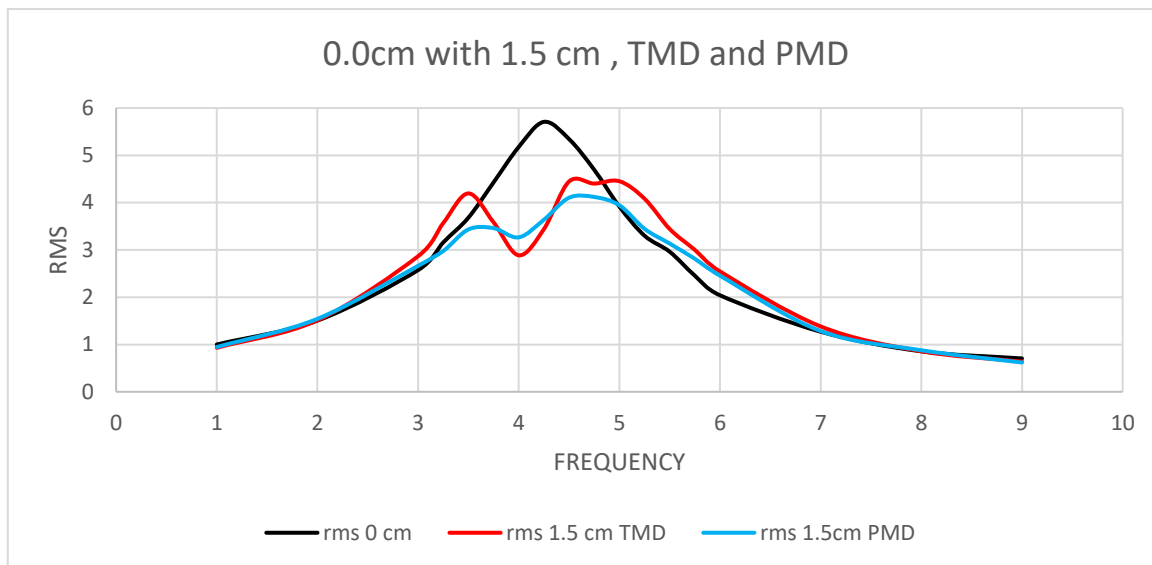
Διάγραμμα.28 Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας, αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 1 cm

Στο Διάγραμμα.28 φαίνεται ότι ο αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας σωματιδίων μειώνει πιο αποτελεσματικά την απόκριση της κατασκευής σε σχέση με τον αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας. Αυτό συμβαίνει σε όλες τις που εξετάστηκαν όπου το μήκος του αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας εκκρεμούς είχε τιμές από 1 cm ~ 2 cm.



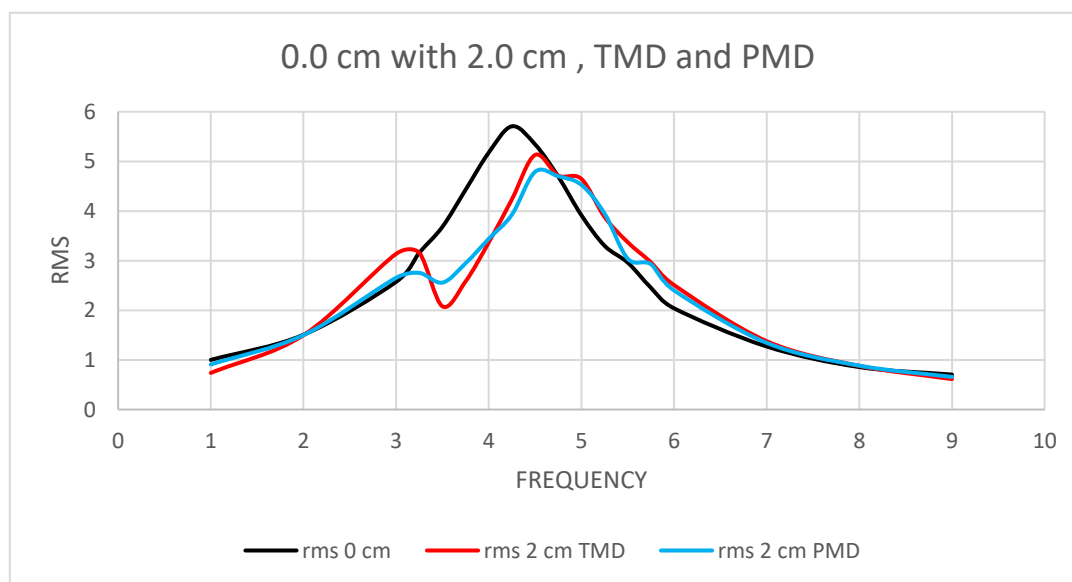
μέγιστα	5.70695	4.925696624	3.827202427
μείωση (%)		13.69%	32.93%

Διάγραμμα.29 Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας, αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 1.2 cm



μέγιστα	5.70695	4.451999317	4.118965083
μείωση (%)		21.98%	27.82%

Διάγραμμα.30 Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας, αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 1.5 cm



μέγιστα	5.70695	5.128545712	4.789098187
μείωση (%)		10.13%	16.08%

Διάγραμμα.31 Απόκριση του κτιριακού μοντέλου χωρίς και με αποσβεστήρας συντονισμένης μάζας, αποσβεστήρα μάζας σωματιδίων εκκρεμούς με απόσταση 2.0 cm

Συμπεράσματα

Αρχικά, στην πτυχιακή αυτή παρουσιάστηκε ο τρόπος γένεσης των σεισμών, οι επιπτώσεις που έχουν πάνω στις κατασκευές και οι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης των κατασκευών. Παρουσιάστηκαν επίσης μη συμβατικοί τρόποι αντιμετώπισης των σεισμών με τη χρήση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων ελέγχου απόκρισης των κατασκευών. Εξετάστηκε κυρίως η χρήση αποσβεστήρων στις κατασκευές.

Πραγματοποιήθηκε πειραματική διερεύνηση μείωσης της απόκρισης της κατασκευής με αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας (εκκρεμούς) χωρίς και με σωματίδια. Βρέθηκε ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση της απόκρισης της κατασκευής με τον αποσβεστήρα συντονισμένης μάζας (εκκρεμούς) όταν είναι σχεδιασμένος ώστε η συχνότητα ταλάντωσης του να είναι κοντά στην ιδιοσυχνότητα της κατασκευής. Η μείωση της απόκρισης μπορεί να φτάσει μέχρι 22%.

Η χρήση μικρής μάζας σωματιδίων μέσα στον αποσβεστήρα αυτόν (μάζας 2.7% της μάζας της κατασκευής) μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα του αποσβεστήρα λόγω των κρούσεων των σωματιδίων μεταξύ τους αλλά και με τα τοιχώματα του αποσβεστήρα, διαχύοντας ένα ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας.

Η μείωση της απόκρισης μπορεί να φτάσει πάνω από 30% όταν ο αποσβεστήρας σωματιδίων είναι σχεδιασμένος ώστε η συχνότητα ταλάντωσης του είναι κοντά στην ιδιοσυχνότητα της κατασκευής.

Βιβλιογραφία

1. <http://www.episkevesold.civil.upatras.gr/ergasies%202012/11.%20%CE%9B%CE%9F%CE%A4%CE%A3%CE%91%CE%A1%CE%97%CE%A3-%CE%A0%CE%91%CE%A7%CE%97%CE%A3.pdf>
2. H.V. Panossian, Structural damping enhancement via non-obstructive particle damping technique, *Journal of Vibration and Acoustics*, 114 (1992), pp. 101–105.
3. R. Ehr Gott, H. Panossian & G. Davis, Modelling techniques for evaluating the effectiveness of particle damping in turbomachinery, Pratt & Whitney Rocketdyne, Canoga Park, CA. PDF
4. S.S. Simonian, Particle beam damper, *Proceedings of the SPIE*, 2445 (1995), pp. 149–160.
5. S. Ashley, A new racket shakes up tennis, *Mechanical Engineering*, 117 (1995), pp. 80–81.
6. Non-obstructive Particle Damping Experience and Capabilities, Panossian, H., *Proceedings-Spie The International Society For Optical Engineering*, 2002, ISSU 4753; VOL 2, pages 936-941. PDF Archived 2016-03-04 at the Wayback Machine
7. Steven E. Olson, An analytical particle damping model, *Journal of Sound and Vibration*, 264 (2003), pp. 1155–1166. doi:10.1016/S0022-460X(02)01388-3
8. Bryce L. Fowler, Eric M. Flint, Steven E. Olson, Effectiveness and Predictability of Particle Damping, *Proceedings of SPIE Volume 3989, Smart Structures and Materials 2000, Damping and Isolation, 2000*. PDF
9. Bryce L. Fowler, Eric M. Flint, Steven E. Olson, Design Methodology for Particle Damping, *SPIE Conference on Smart Structures and Materials, 2001*. PDF
10. Kuanmin Mao, Michael Yu Wang, Zhiwei Xu, Tianning Chen, DEM simulation of particle damping, *Powder Technology*, 142 (2004), pp. 154–165. doi:10.1016/j.powtec.2004.04.031

11. Comparison Study of Vibration Control Effects between Suspended Tuned Mass Damper and Particle Damper Zheng Lu, Dianchao Wang, and Peizhen Li
12. THE STATE-OF-THE-ART AND PRACTICE OF STRUCTURAL CONTROL OF CIVIL STRUCTURES FOR HAZARD MITIGATION IN MAINLAND CHINA J. P. Ou^{1,2} and H. Li²
13. Impact force magnitude analysis of an impact pendulum suspended in a vibrating structure R.R. Aguiar* and H.I. Weber Department of Mechanical Engineering, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil
14. Tuned Mass Dampers Article in Archives of Computational Methods in Engineering · December 2013, Maríantoneta Gutierrez Soto
15. Design, Construction and Testing of an Adaptive Pendulum Tuned Mass Damper By Richard Lourenco
16. Performance of pendulum tuned mass dampers in reducing the responses of flexible structures
17. AJ Roffel, S Narasimhan, T Haskett - Journal of Structural ..., 2012 - ascelibrary.org
18. A combined tuned absorber and pendulum impact damper under random excitation
FS Collette - Journal of Sound and Vibration, 1998 – Elsevier
19. Granular dampers for the reduction of vibrations of an oscillatory saw Michael Heckel, Achim Sack, Jonathan E. Kollmer, Thorsten Pöschel ← Institute for Multiscale Simulation, Universität Erlangen-Nürnberg, Nägelsbachstraße 49b, 91052 Erlangen, Germany
20. Parametric studies of the performance of particle damper under harmonic excitation, Zheng Lu , Sami F Masri and Xilin Lu
21. https://el.wikipedia.org/wiki/Τεκτονικές_Πλάκες
22. https://el.wikipedia.org/wiki/Γήινος_Φλοιός

23. <https://www.seismoi.gr/seismikakymata.htm>
24. <https://www.civilprotection.gr/>
25. ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΧΑΣΑΠΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΧΡΙΣΤΑΚΗ ΑΙΜΙΛΙΑ
26. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, Καθ. Στέφανος Η. Δρίτσος
27. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, Δρ. Γιαννακάς Νικόλαος
28. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΦΕΔΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ , ΦΕΓΚΑ ΧΡΙΣΤΙΝΑ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ
29. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ , ΓΚΑΡΤΖΙΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, ΚΑΛΛΙΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ
30. Papalou A. and S. F. Masri (1998). An Experimental Investigation of Particle Dampers under Harmonic Excitation, *Journal of Vibration and Control*, Vol. 4, 361-379
31. Papalou A and S. F. Masri (1996). Performance of Particle Dampers under Random Excitation, *ASME Journal of Vibration and Acoustics*, October 1996, Vol 118. 614-621
32. Papalou A. and Strepelias E., Roubien D., Bousias S. and Triantafyllou T. (2015). “Seismic Protection of Monuments Using Particle Dampers in Multi-Drum Columns”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* , Vol.77, 360-368
33. Papalou A. and Strepelias E. (2015). “Control of the Dynamic Response of Classical Columns with Defects”, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, Vol. 59(3), 303-308
34. Papalou A. and Strepelias E. (2014). “ Structural Control of Monuments’ Response under Sinusoidal Excitation using Particle Dampers”, *Open Construction and Building Technology Journal*, Vol. 8, 351-356
35. Papalou A., (2015). Passive Control Techniques and their Applications in Historic Structures, Κεφάλαιο στο βιβλίο “Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures”, IGI Global Publisher
36. ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Συνεισφορά Παθητικών Συστημάτων στον Έλεγχο Ταλαντώσεων Κατασκευών, Χατζιραι Εργκίς, ΔΡ Αγγελική Παπαλού
37. Δυναμική Ανάλυση των Κατασκευών Ι.Θ.ΚΑΤΣΙΚΑΔΕΛΗΣ

38. Papalou A., Roubien D., Triantafillou T., and Strepelias E. (2015). "A passive control methodology for seismic safety enhancement of monumental structures", *SPIE, Smart Structures NDE*, Vol. 9431, March 2015, San Diego, USA