ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ/ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕΓΑΛΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΟΣΤΟΛΙΑ-ΠΕΛΑΓΙΑ ΚΩΣΤΟΥΛΑ

Επιβλέπουσα : ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ Α., Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

Ευχαριστίες εκφράζοντας στον Διευθυντή του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας Ε.Μ.Π., καθηγητή κ. Γεώργιο Πουλάκο που μας παρείχε τον εξοπλισμό των ακουστικών μετρήσεων και πολύτιμη καθοδήγηση καθώς και στον κ. Τηλέμαχο Καραντζά, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π., υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π. για την πολύτιμη καθοδήγηση κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Ευχαριστίες εκφράζονται στον τ. Πρύτανη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, καθηγητή κ. Μουτζούρη. Είμαστε βαθιά υποχρεωμένοι που μας επέτρεψαν την διεξαγωγή των μετρήσεων στους εργαστηριακούς χώρους Ε.Μ.Π.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται σε όλους τους υπευθύνους των εργαστηριακών αιθουσών που επιλέξαμε, για τη βοήθειά τους στη σωστή διεξαγωγή των μετρήσεων χρόνου αντήχησης και θόρυβο βάθους.

Ευχαριστίες, είμαστε υποχρεωμένοι στον κ. Νίκο Αργουδέλη, Μηχανολόγο Μηχανικό, στην εξαιρετικά αμέριστη συμπαράστασή του στην επιλογή των υλικών και εφαρμογή στη μελέτη του εργαστηρίου Λιμενικών Έργων.

Η διεξαγωγή και η ολοκλήρωση της εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τις πολύτιμες υποδείξεις και την καθοδήγηση της επιβλέπουσας επίκουρης καθηγήτριας, κα Σωτηροπούλου Αλεξάνδρας, στην οποία εκφράζονται ειλικρινείς ευχαριστίες για την άψογη συνεργασία μας και την υπομονή της.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια μου για τη στήριξη ανέκαθεν στις σπουδές και σταδιοδρομία μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη συνίσταται σε ακουστικές μετρήσεις του χρόνου αντήχησης και θορύβου βάθους σε έξι (6) αίθουσες του Ε.Μ.Π., οι οποίες έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό τον τεράστιο όγκο, δηλαδή από $3.000m^3$ μέχρι $23.000m^3$ και το γεγονός ότι και οι έξι αίθουσες χρησιμοποιούνται ως εργαστηριακοί χώροι.

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι επικρατούν εξαιρετικά υψηλοί χρόνοι αντήχησης, οι οποίοι στη συνέχεια υποδεικνύεται πως θα μειωθούν για να επιτευχθεί ηχητική άνεση μέσα στο χώρο.

Στις προτάσεις περιλαμβάνεται κατά βάση η εισαγωγή εκτενούς απορρόφησης με τη μορφή πρώτον, αναρτημένων τρισδιάστατων ηχοαπορροφητικών στοιχείων και δεύτερον, με τη μορφή επένδυσης και πλευρικών παρειών της αίθουσας.

Η διορθωτική επέμβαση αναμένεται να βελτιώσει αποτελεσματικά τις συνθήκες ακρόασης ομιλίας μέσα στην αίθουσα (π.χ. άτυπη διεξαγωγή διάλεξης), καθώς και να μειώσει τη στάθμη των θορύβων που παράγονται μέσα στην αίθουσα.

Η εργασία τελειώνει με μια πλήρη εφαρμογή και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π..

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6
2. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ 8
2.1 ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ 9
2.1.1. ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 9
2.1.2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ 10
2.1.3 Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ 11
2.1.4 ΟΚΤΑΒΑ,ΤΡΙΤΟΚΤΑΒΑ 12
2.1.5 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΧΩΡΟΥ 13
2.1.6 ΑΝΑΚΛΑΣΗ 13
2.1.7 ΔΙΑΧΥΣΗ 15
2.1.8 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ 16
2.1.9 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ 17
2.2 Χρόνος Αντήχησης 17
2.2.1 ΗΧΗΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ 19
2.2.2 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ 20
2.2.3 ΗΧΩ 20
2.2.4 ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΣ 21
2.2.5 ΕΣΤΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ 22
3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ 23
4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 32
4.1 ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 34
4.1.1 ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ 34
4.1.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 38
4.1.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 41
4.2 ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 44
4.2.1 ΚΤΗΡΙΟ Κ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΗΡΥΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 44
4.2.2 ΚΤΗΡΙΟ Λ – ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 48
4.2.3 ΚΤΗΡΙΟ Μ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ 52
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ 56
5.1.1 Εργαστήριο Σιδηροδρομικής – ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 58
5.1.2 Εργαστήριο Λιμενικών Έργων– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 58
5.1.3 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 59
5.1.4 Κτήριο Κ – ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 59

5.1.5 Κτήριο Λ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 60
5.1.6 Κτήριο Μ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 60
5.2.1 Εργαστήριο Σιδηροδρομικής– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 61
5.2.2 Εργαστήριο Λιμενικών Έργων– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 62
5.2.3 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 63
5.2.4 Κτήριο Κ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 64
5.2.5 Κτήριο Λ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 65
5.2.6 Κτήριο Μ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ 66
5.3 ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ 67
5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ SABINE 68
5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ NOISE REDUCTION (N. R.) 73
6. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 79
Ενότητα 1 : Μορφή της καμπύλης των διαγραμμάτων 80
Ενότητα 2 : Συγκρίνοντας τον χρόνο αντήχησης [RT] με το χρόνο απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων [EDT]. 81
Ενότητα 3 : Noise Reduction 81
7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ 82
7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ 84
7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ 87
7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ 91
7.3.1 Προτεινόμενη Λύση 1 91
7.3.2 Προτεινόμενη Λύση 2 104
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 115

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ακουστικός σχεδιασμός ενός χώρου είναι το στοιχείο, που δεδομένης της αισθητικής αρτιότητας προσφέρει ποιότητα και άνεση στα άτομα που τον χρησιμοποιούν. Η καλή ακουστική του είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό.

Προβλήματα στην ακουστική σε πελώριους εργαστηριακούς χώρους του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου είχαν παρατηρηθεί και έδωσαν το έναυσμα για την περαιτέρω διερεύνηση τους.

Στην παρούσα εργασία διεξήγαμε φυσικές ακουστικές μετρήσεις της ακουστικής στους εργαστηριακούς αυτούς χώρους. Είναι αίθουσες που ανήκουν στα κτήρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Μηχανολόγων Μηχανικών και Ναυπηγών Μηχανικών. Η λειτουργία τους είναι κατά βάση εργαστηριακή, αλλά αρκετά συχνά χρησιμοποιούνται και σαν χώροι διδασκαλίας.

Μελετήσαμε λοιπόν τη συμπεριφορά όλων των εργαστηριακών χώρων, στους οποίους δεν είχε πραγματοποιηθεί κάποια ακουστική μελέτη κατά την αρχική κατασκευή του έργου. Είναι αντιληπτό και για τον απλό επισκέπτη ότι επικρατεί ηχητική δυσανεξία στις αίθουσες αυτές. Δηλαδή ο θόρυβος που παράγεται μέσα στην αίθουσα δεν τυγχάνει της κατάλληλης απόσβεσης, και επίσης είναι εξαιρετικά δύσκολο να παρακολουθήσει κανείς κάποιον ομιλητή στην αίθουσα έστω και λίγα μέτρα μακριά από την θέση του ομιλητού.

Η παρούσα μελέτη διερευνά τον τρόπο διόρθωσης των ανωτέρων αιθουσών από άποψη ακουστικής άνεσης. Η εργασία τελειώνει με μια πλήρη εφαρμογή και συγκεκριμένα στην αίθουσα Λιμενικών, των προτάσεων της μελέτης μας.

2. Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

2.1 ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

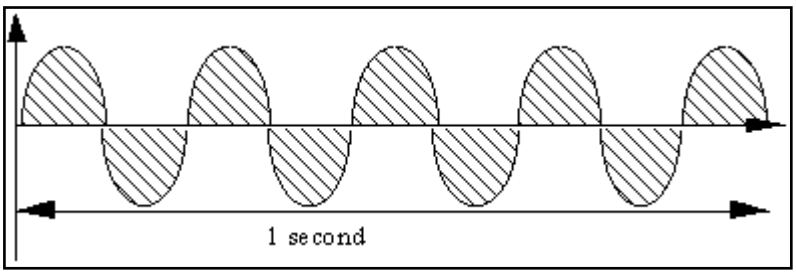
2.1.1. ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Αυτό που εμείς οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε ως «ήχο», δεν είναι παρά μια μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσω των σωματιδίων του αέρα ,του νερού ή κάποιου στερεού μέσου. Ο ήχος δηλαδή δημιουργείται, αφού ένα σώμα δονείται γρήγορα ώστε να προκαλέσει την διάδοση ενός ακουστικού κύματος στο μέσο όπου συμβαίνει η δόνηση ενώ δεν μεταδίδεται στο κενό.

Η φυσική περιγραφή ενός ήχου επιτυγχάνεται με την βοήθεια αναφοράς στην συχνότητα και στην στάθμη του ήχου.

Η περίοδος του ήχου είναι ο χρόνος που χρειάζεται το ηχητικό κύμα για να πραγματοποιήσει έναν πλήρη κύκλο, συμβολίζεται με T και μετράται σε δευτερόλεπτα (s).

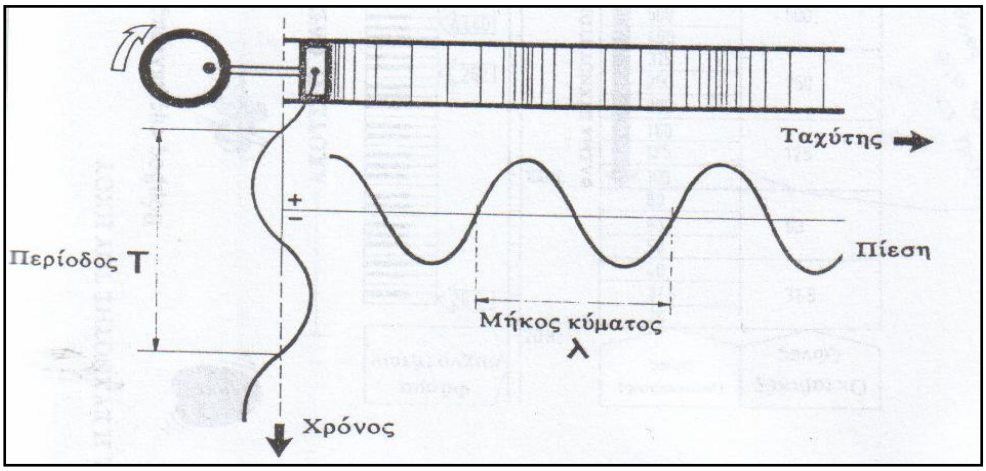
Ως συχνότητα f ορίζεται ο αριθμός των κορυφών που διαμορφώνονται σε χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου και μετράται σε Hertz (Hz) και είναι το αντίστροφο της περιόδου T, δηλαδή $f = \frac{1}{T}$.



Σχήμα 1. **Σχηματική παράσταση της συχνότητας του ήχου**

Ως μήκος κύματος του ήχου ορίζεται η απόσταση που διανύει το ηχητικό κύμα μέχρι να ολοκληρωθεί ένα πλήρης κύκλος, συμβολίζεται με λ και μετράται σε μέτρα (m)

Μια τελευταία ηχητική παράμετρος είναι η ταχύτητα του ήχου όπου δεν είναι τίποτε άλλο από την ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων συμβολίζεται με c και μετράται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s) Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στον αέρα είναι περίπου 340 m/s. Στα υγρά είναι μεγαλύτερη και στα στερεά ακόμη πιο μεγάλη. Στο νερό των ποταμών π.χ, φτάνει τα 1.440 m/s και στο θαλασσινό νερό τα 1.500 m/s. Στο ξύλο είναι 4.000 m/s και στο σίδηρο 5.100 m/s.



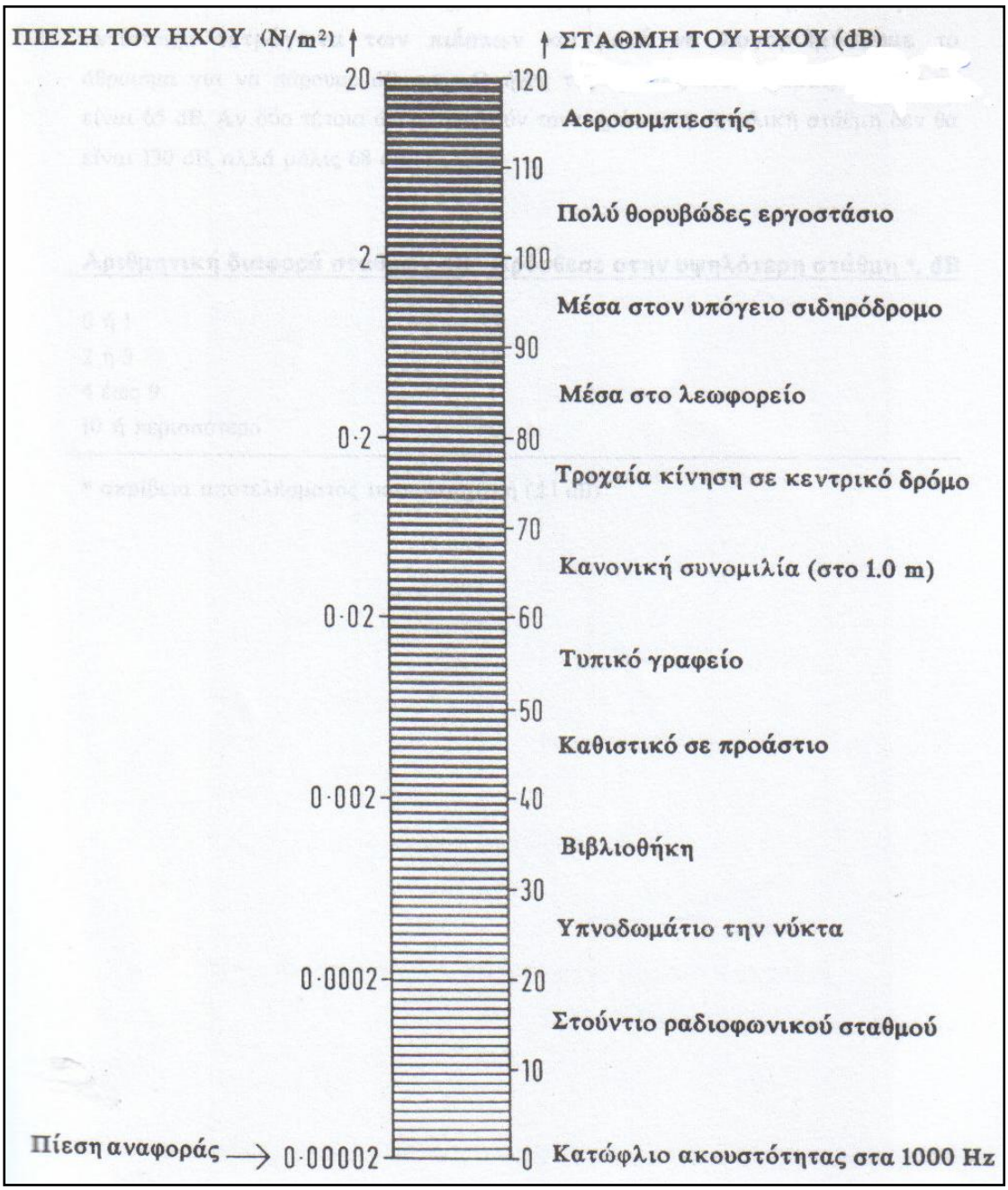
Σχήμα 2. **Σχηματική παράσταση των φυσικών ιδιοτήτων του ήχου (SRL 1976)**

2.1.2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Η Στάθμη του ήχου ορίζεται :

$$\text{ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ} = 10 \log \left(\frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ}}{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}} \right)^2 , (\text{dB})$$

Η ηχητική πίεση σε συγκεκριμένο σημείο του ηχητικού πεδίου είναι η διαφορά της στατικής πίεσης του μέσου από την ολική πίεση που υπάρχει σε αυτό το σημείο. Ως ηχητική πίεση αναφοράς λαμβάνεται στον αέρα ίση με 0,00002 N/m^2. Μονάδα μέτρησης της στάθμης του ήχου είναι το dB (ντεσιμπέλ). Ο λογάριθμος χρησιμοποιείται διότι το όργανο της ακοής λειτουργεί σε λογαριθμική κλίμακα, δηλαδή ίσες μεταβολές στην αντίληψη ενός φυσικού ακουστικού μεγέθους αντιστοιχούν σε ίσες μεταβολές του λόγου και όχι της διαφοράς του φυσικού μεγέθους. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η στάθμη του ήχου σε dB σε σχέση με την πίεση του ήχου σε κάποιες χαρακτηριστικές στάθμες.

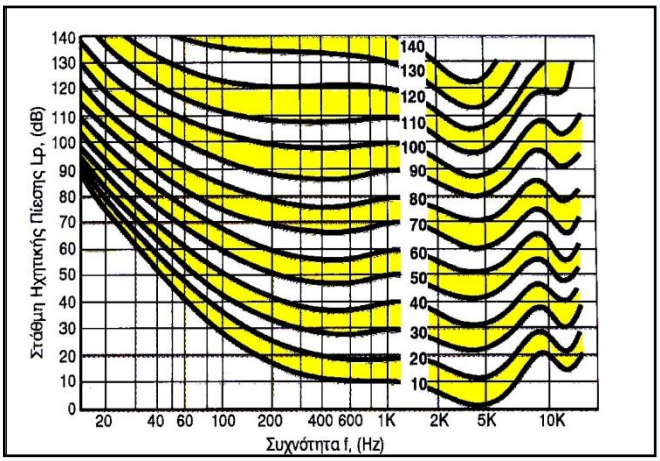


Σχήμα 3. **Πίεση του ήχου – Στάθμη του ήχου (dB) (CIRIA Report 1986)**

2.1.3 Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Η αντίληψη της στάθμης του ήχου γίνεται με υποκειμενικά κριτήρια ορίζεται ως ακουστότητα και μετράται σε phons. Με τον όρο ακουστότητα ορίζεται η αντίληψη της στάθμης ενός ήχου υποκειμενικά . Δύο ήχοι της ίδιας στάθμης είναι δυνατόν να μην έχουν την ίδια ακουστότητα αν ανήκουν σε διαφορετικές συχνότητες. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα για ένα ηχητικό κύμα συχνότητας 1000

Hz η στάθμη της έντασης του dB ισούται με τα phon της ηχηρότητας του αισθήματος που προκαλεί. Επίσης οι απεικονιζόμενες καμπύλες είναι καμπύλες ισοακουστότητας καθαρών τόνων, δηλαδή ο γεωμετρικός τόπος των ήχων της ίδιας ακουστότητας κατά Fletcher και Munson, 1993.



Σχήμα 4. **Καμπύλες ισοακουστότητας (Beranek 1993)**

Για συνεχείς ήχους η μικρότερη μεταβολή στη στάθμη του ήχου που γίνεται ευχερώς αντιληπτή είναι 3.0 dB. Η μέγιστη ευαισθησία του οργάνου της ακοής συμβαίνει κάπου μεταξύ 3000 Hz και 4000 Hz, ενώ πάνω από 5000 Hz η ευαισθησία μειώνεται σημαντικά για αυτό και όλες οι ακουστικές μελέτες διενεργούνται μέχρι την συχνότητα των 4000 Hz.

2.1.4 ΟΚΤΑΒΑ,ΤΡΙΤΟΚΤΑΒΑ

Ως οκτάβα ορίζεται κάθε ζώνη συχνοτήτων που ο λόγος της αρχικής της συχνότητας f_1 προς την τελική f_2 ισούται με δύο, $\frac{f_1}{f_2} = 2$.

Η οκτάβα είναι μονάδα μέτρησης διαστήματος συχνοτήτων και λαμβάνει την ονομασία της από την κεντρική συχνότητα κάθε διαστήματος, $f_o = \sqrt{f_1 * f_2}$. Ο λόγος των κεντρικών συχνοτήτων σε δύο διαδοχικές οκτάβες ισούται με δύο. Οι κεντρικές συχνότητες από τις οκτάβες που χρησιμοποιούνται για την ακουστική χώρου είναι όπως φαίνονται και παρακάτω από 125 ως 4000 Hz.

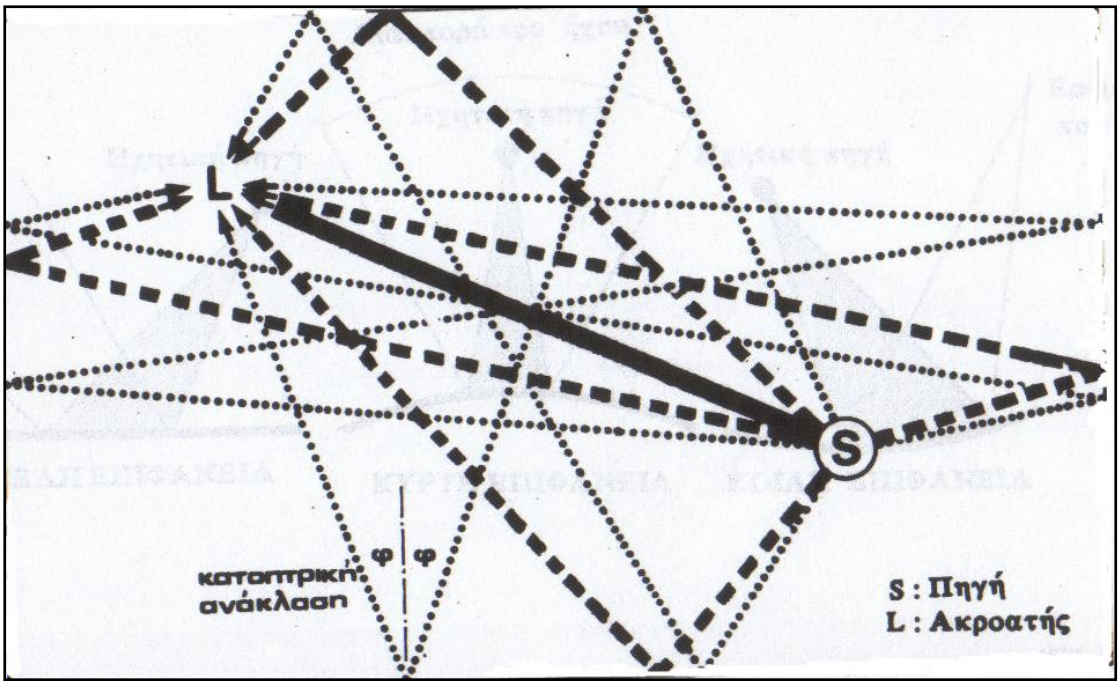
Ως τριτοκτάβα ορίζεται η ζώνη συχνοτήτων στην οποία ισχύει $\frac{f_1}{f_2} = \sqrt[3]{2}$.

2.1.5 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η διάδοση του ήχου σε κλειστό χώρο δημιουργεί κάποια φαινόμενα τα όποια κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν γιατί κατά περίπτωση ενισχύουν την καλή ακουστική.

2.1.6 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

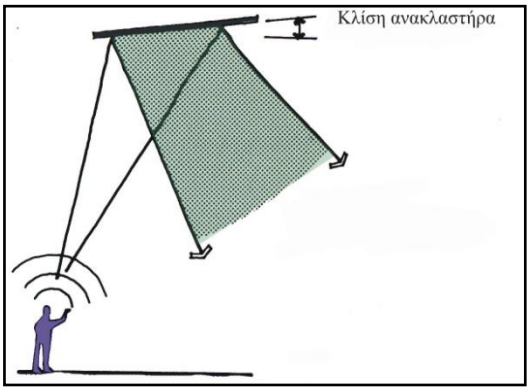
Ως ανάκλαση ορίζεται η αλλαγή στην πορεία του ήχου λόγω πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια. Έτσι λοιπόν υπάρχει ο απευθείας ήχος και ο ήχος που προέρχεται από πρώτες, δεύτερες και ούτω καθεξής ανακλάσεις όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχήμα.



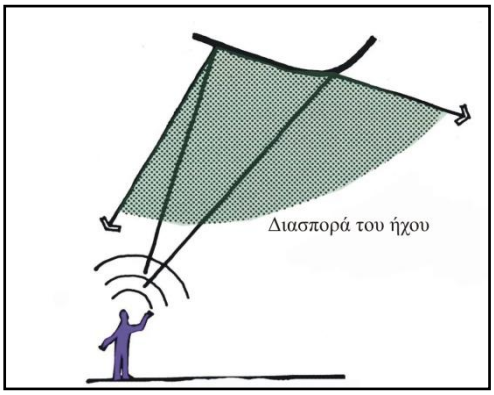
Σχήμα 5. **Παράσταση ανακλάσεων (SRL 1976)**

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων μερικοί εκ των οποίων έχουν ευεργετικά αποτελέσματα ανάλογα με την μορφή τους. Παρακάτω απεικονίζεται ανακλαστήρας

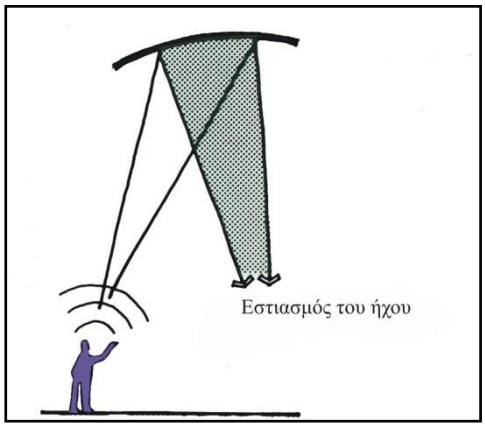
- επίπεδος
- κυρτός
- κοίλος (καλό είναι να αποφεύγονται καθώς προκαλούν εστίαση του ήχου σε ορισμένα σημεία τα οποία ονομάζονται εστιακά)



Σχήμα 6. **Επίπεδος ανακλαστήρας (Egan M.D. 1972)**



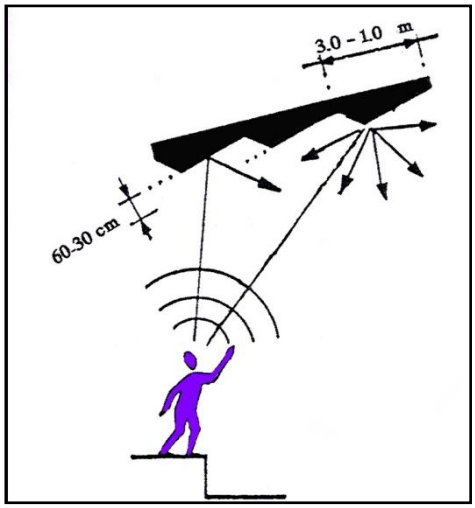
Σχήμα 7. **Κυρτός ανακλαστήρας (Egan M.D. 1972)**



Σχήμα 8. **Κοίλος ανακλαστήρας (Egan M.D. 1972)**

2.1.7 ΔΙΑΧΥΣΗ

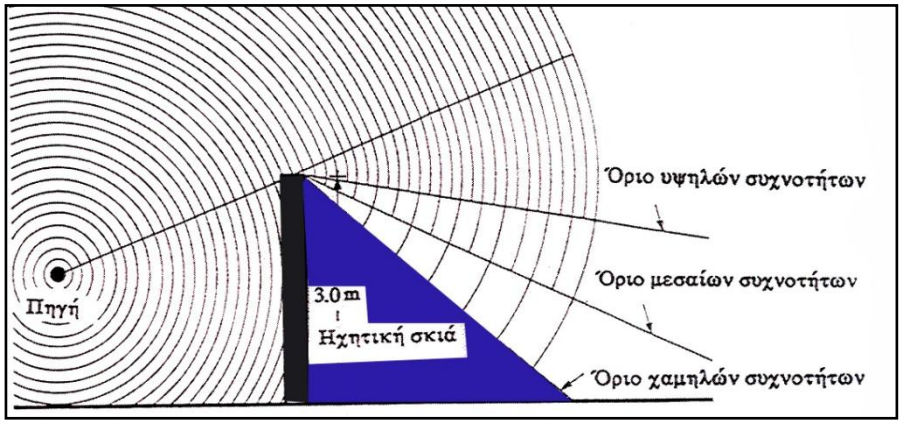
Ως διάχυση ορίζεται ο σκεδασμός μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής. Το φαινόμενο αυτό πραγματοποιείται όταν το μέγεθος της ανακλαστικής επιφάνειας ισούται με το μήκος κύματος του ήχου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται ενδεικτικές διαστάσεις ανακλαστικών επιφανειών στις οποίες επιτυγχάνεται το φαινόμενο αυτό.



Σχήμα 9. **Διάχυση (Egan M.D. 1972)**

2.1.8 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Ως περίθλαση ορίζεται η ανακοπή της διάδοσης του ηχητικού κύματος στο χώρο λόγω κάποιου εμποδίου με αποτέλεσμα την δημιουργία ηχητικής σκιάς δηλαδή μείωσης της στάθμης του ήχου.

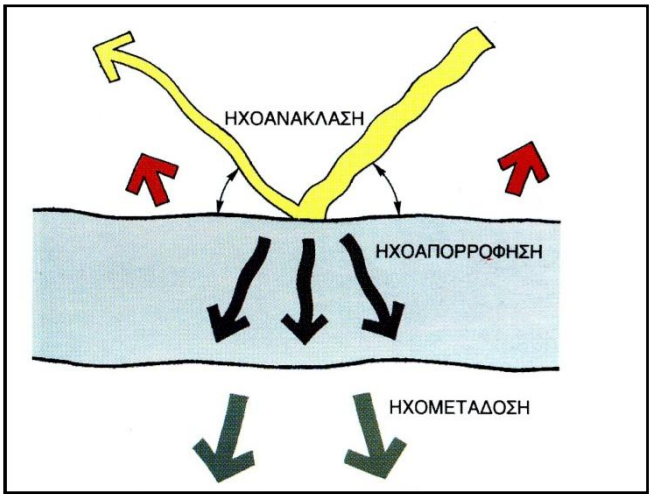


Σχήμα 10. **Περίθλαση (Webb 1978)**

Ο βαθμός περίθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου.

2.1.9 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Ως ηχοαπορρόφηση ορίζεται το ποσό, του ήχου του προσπίπτοντος επί πετάσματος ενός χώρου, που δεν ανακλάται εξ ορισμού απορροφάται. Έτσι λοιπόν ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας απορροφάται και αναλώνεται μέσα στο πέτασμα μετατρεπόμενο σε θερμότητα, ένα μέρος μεταδίδεται ως ηχητική ενέργεια πίσω από το πέτασμα και το υπόλοιπο είναι αυτό που ανακλάται.



Σχήμα 11. **Ηχοαπορρόφηση (SRL 1976)**

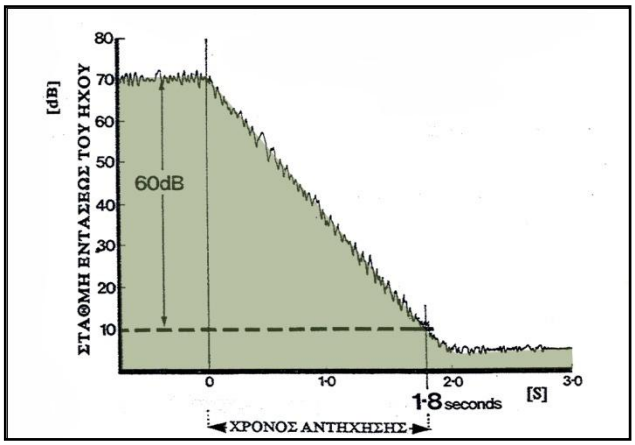
Η ηχοαπορρόφηση είναι διαφορετική για κάθε υλικό έτσι υπάρχει ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης μοναδικός για κάθε υλικό που εκφράζει το ποσοστό εκ του προσπίπτοντος επί του υλικού ήχο που δεν ανακλάται. Ένα πλήρως ανακλαστικό υλικό έχει συντελεστή ηχοαπορρόφησης 0 ενώ ένα πλήρως απορροφητικό υλικό 1.

2.2 Χρόνος Αντήχησης

Ο χρόνος αντήχησης είναι αυτός που σε ένα κλειστό χώρο έχει το σπουδαιότερο ρόλο στον τομέα της ακουστικής. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου, όπως ακριβώς και ο συντελεστής απορρόφησης. Για το λόγο αυτό ορίζεται για τις κεντρικές συχνότητες, συνήθως κάθε οκτάβας ή τριτοοκτάβας. Οι παράγοντες που

τον επηρεάζουν είναι η απορρόφηση και ο όγκος του χώρου. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης έχουν προταθεί τύποι από διάφορους ερευνητές (με γνωστότερο αυτόν του Sabine), αναλόγως με τον υπό μελέτη χώρο.

Ως χρόνος αντήχησης (ανά συχνότητα) ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος, από τη στιγμή της διακοπής παραγωγής του μέσα σε ένα χώρο, για να μειωθεί κατά 60 dB από την αρχική του ένταση.



Σχήμα 12. **χρόνος αντήχησης (SRL 1976)**

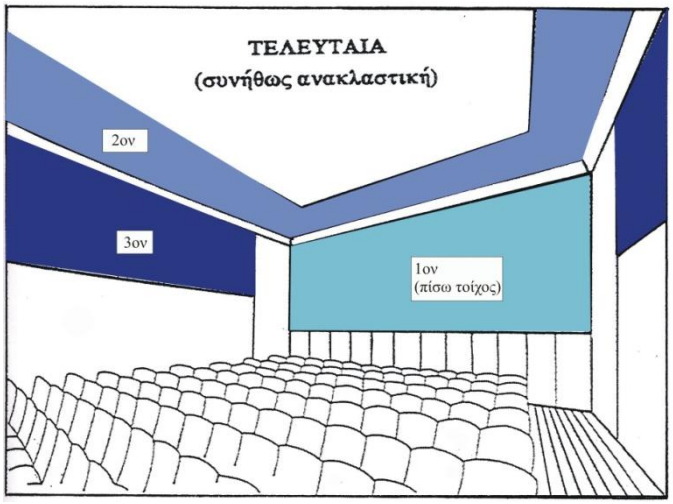
Δεδομένου ότι είναι γνωστός ο χρόνος αντήχησης ενός χώρου μπορεί με την χρήση του τύπου του Sabine να υπολογιστούν τα τετραγωνικά ηχοαπορρόφησης που απαιτούνται.

$$R.T = \frac{0{,}16V}{\sum_{1}^{v} F_i a_i + Vx}$$

- R.T.: είναι ο χρόνος αντήχησης [s]
- V : είναι ο όγκος του χώρου [m^3]

- F_i : είναι η επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου $[m^2]$
- a_i: είναι ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού του χώρου [Sab]
- X: είναι η ηχοαπορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου $[m^2 Sab / m^3]$
- ν είναι το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών του χώρου

Η επιλογή τοποθέτησης των ηχοαπορροφητικών υλικών σε μια αίθουσα κάλο είναι να ακολουθεί τον κανόνα που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



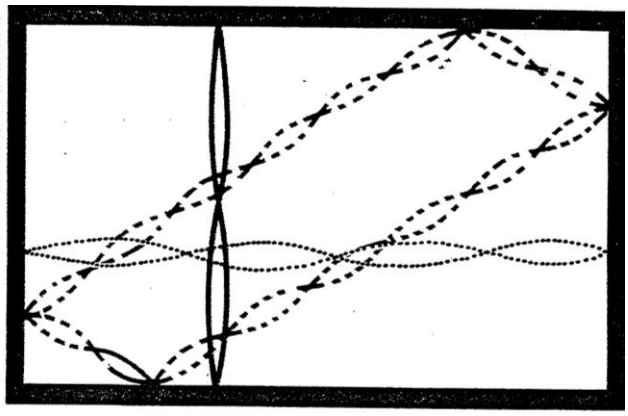
Σχήμα 13. **Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών (BRE Digest 1967)**

2.2.1 ΗΧΗΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Η διάδοση του ήχου σε ένα κλειστό χώρο μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα όπως είναι ο συντονισμός, η ηχώ, ο πλαταγισμός και ο εστιασμός του ήχου. Όλα τα παραπάνω πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ώστε να σχεδιαστεί ένας χώρος με σωστή ακουστική.

2.2.2 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

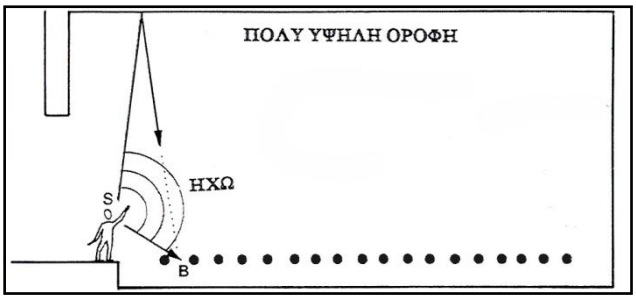
Κάθε χώρος που περικλείεται από τοιχώματα τα οποία ανακλούν τα ηχητικά κύματα έχει μια ιδιοσυχνότητα. Αν αυτός ο χώρος διεγερθεί από ένα ηχητικό κύμα του οποίου η ιδιοσυχνότητα είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα του χώρου τότε παρουσιάζεται το φαινόμενο του συντονισμού, δηλαδή ένα στάσιμο κύμα με σημεία μέγιστου και ελάχιστου πλάτους τα οποία δημιουργούν ένα όχι ευχάριστο ηχητικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 14. **Συντονισμός (SRL 1976)**

2.2.3 ΗΧΩ

Ως ηχώ ορίζεται η καθυστερημένη σχετικά έντονη ανάκλαση η οποία είναι διακριτή σε σχέση με τον απευθείας ήχο. Όπως φαίνεται και παρακάτω, διαφορά του ανακλώμενου από τον απευθείας ήχο μεγαλύτερη των δεκατεσσάρων μέτρων δημιουργεί ηχώ.

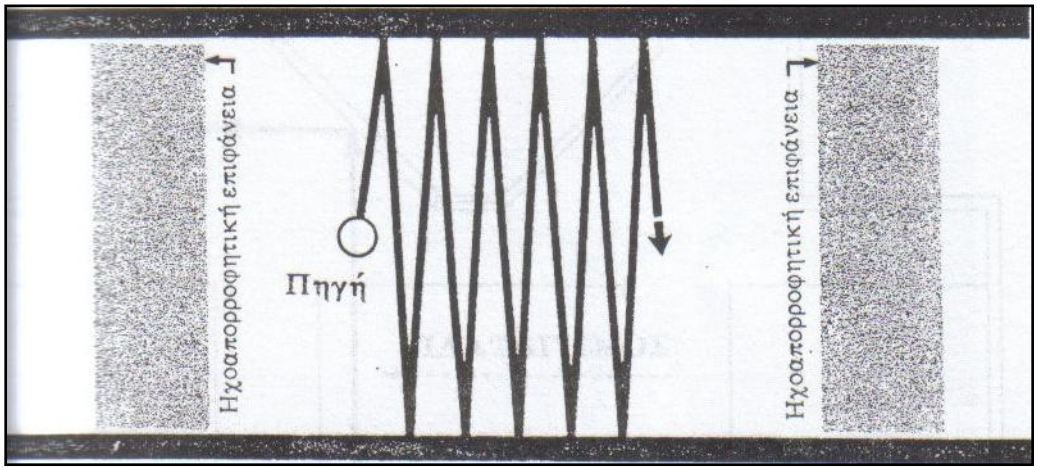


Σχήμα 15. **Δημιουργία ηχούς (Σωτηροπούλου Αλ. 1996)**

`

2.2.4 ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΣ

Ως πλαταγισμός ορίζεται το φαινόμενο της επαναλαμβανόμενης ανάκλασης σχετικά υψηλής έντασης. Επαναλαμβανόμενη ανάκλαση μπορεί να συμβεί μεταξύ παράλληλων ανακλαστικών επιφανειών με την προϋπόθεση ότι οι άλλες επιφάνειες του χώρου είναι ηχοαπορροφητικές.

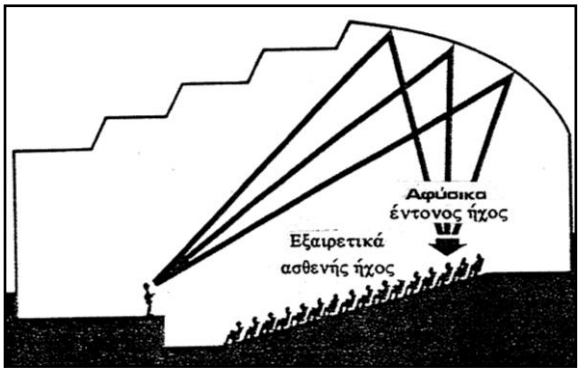


Σχήμα 16. **Δημιουργία πλαταγισμού (SRL 1976)**

Ο πλαταγισμός συνήθως συνοδεύεται από κάποια χρωματική αλλοίωση του ήχου διότι κάποιες συχνότητες αυτού αντιστοιχούν σε συχνότητες συντονισμού του χώρου.

2.2.5 ΕΣΤΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ο εστιασμός του ήχου προκαλείται όταν κοίλες επιφάνειες τοποθετημένες στην οροφή ή στον πίσω τοίχο ανακλούν τον ήχο σε ένα σημείο με αποτέλεσμα εκεί να παρατηρείται αφύσικα υψηλή ένταση.



Σχήμα 17. **Εστιασμός του ήχου (SRL 1976)**

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Impulse – Response and Reverberation – Decay Measurements Made by using a Periodic Pseudoradom Sequence.

W.T. Chu

Acoustic Section, Institute for Research in Construction. National Research Council of Canada, Ottava, Ontario, CANADA.

9 November 1989.

Η πιο θεμελιώδης περιγραφή για τον τρόπο υπολογισμού της ακουστικής συμπεριφοράς των χώρων είναι η απόκριση πλάτους μεταξύ της πηγής και ενός σημείου του χώρου.

Όλες οι μετρήσεις για την ακουστική συμπεριφορά ενός χώρου περιλαμβάνουν το ¨Χρόνο Αντήχησης¨, ο οποίος μπορεί να εξαχθεί από την απόκριση πλάτους του ακουστικού σήματος σε κάθε σημείο του χώρου αυτού.

Για το χρόνο αντήχησης των μεγάλων χώρων μία λεπτομερής μέθοδος περιγράφεται με τη χρήση μιας περιοδικής ψευδο-σειράς . Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν τη δυναμική της μεθόδου αυτής με την πραγματοποίηση μετρήσεων σε ένα πολύ θορυβώδες περιβάλλον.

Όλες οι ακουστικές μετρήσεις σε μεγάλους χώρους χρησιμοποιούν ένα μεγάλο αριθμό ακουστικών παλμών και η απόκριση αυτών στα διάφορα σημεία σε συνδυασμό με το λόγο ‘’Σήμα προς θόρυβο’’ (Signal to Noise Ratio) δίνουν τη δυνατότητα για τη μέτρηση του χρόνου αντήχησης των χώρων αυτών.

Acoustic Design of a Reverberation Chamber.

Xiang Duanqui, Wang Zheng and Chen Jinjing

Acoustic Laboratory, Beijing Institute of Architectural Design and Research,

Beijing 100045, People’s Republic of China. **5 April 1990.**

Το ακουστικό εργαστήριο του ‘’Haugzhou Electrisound Factory’’ περιλαμβάνει ένα χώρο αντήχησης για να μετρηθεί η απόδοση των μεγαφώνων και των μικροφώνων σε ένα διάχυτο ακουστικό πεδίο.

Έχει πολύ μεγάλη σπουδαιότητα να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο ‘’πεδίο διάχυσης’’ για τη μέτρηση της ακουστικής συμπεριφοράς μεγάλων εργαστηριακών χώρων με όγκο τουλάχιστον 300κ.μ. και επιφάνεια 500τ.μ.

Στη μελέτη αυτή μετρήθηκαν η διάχυση και η ακουστική συμπεριφορά των χώρων αυτών, οι οποίοι έχουν τοίχους σε ακανόνιστο σχήμα από ενισχυμένο μπετό.

Από τη μελέτη διαπιστώθηκε ότι επιτυγχάνεται καλύτερη διάχυση και ακουστική συμπεριφορά σε χώρους με ακανόνιστο σχήμα και με όχι παράλληλους τοίχους με ενισχυμένο μπετό.

The Reverberation Chamber at the Laboratorio de Acustica Luminotecnia of the Comission de Investigaciones Cientificas.

H. G. Giuliano, A.G. Velis and A. M. Mendez.

De Buenos Aires. 2 January 1996.

Ο χώρος αντήχησης που χρησιμοποιείται για τις ακουστικές μετρήσεις στο εργαστήριο αυτό είναι ένα δωμάτιο όγκου 189κ.μ. ακανόνιστου σχήματος και με μη παράλληλους τοίχους. Υπάρχει επίσης ένας άλλος γεωμετρικά ίδιος χώρος αλλά οι τοίχοι του, το δάπεδο, και η οροφή του είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά.

Στη μελέτη αυτή περιγράφονται οι ‘’περιοχές ακουστικής απορρόφησης’’, οι ‘’χρόνοι αντήχησης’’, η ‘’ομοιομορφία και η διάχυση του ακουστικού πεδίου’’ καθώς και το επίπεδο θορύβου στους παραπάνω ίδιους χώρους καθώς και σε μεγάλους εργαστηριακούς και βιομηχανικούς χώρους.

Από τις μετρήσεις διαπιστώνεται ότι τα κύρια χαρακτηριστικά ενός κατάλληλου ακουστικού χώρου είναι η χαμηλή ακουστική απορρόφηση, η ικανοποιητική διάχυση των ακουστικών συχνοτήτων καθώς και η ομοιόμορφη κατανομή του ακουστικού πεδίου που δημιουργείται σε αυτόν.

Η ικανοποιητική διάχυση στο χώρο που εξετάζεται είναι πολύ βασική για να υλοποιηθεί το μοντέλο του Sabine's και το επίπεδο θορύβου να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

Measurements in Room Acoustics.

A.F. B. Nickson and R.W. Muncey.

Division of Building Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.

Melbourne, Australia. 17 September 1963.

Είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο ότι η ''αρχιτεκτονική ακουστική'' ενός κτιρίου είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τον επιτυχημένο σχεδιασμό αυτού. Η εμπειρία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των μεγάλων χώρων-κτιρίων έχει δείξει ότι η ''αντήχηση'' είναι ο πιο βασικός παράγοντας για τον καθορισμό της ακουστικής απόδοσης αυτών.

Δεν υπάρχει μία καθορισμένη και απλή μέτρηση, η οποία θα δώσει ακριβή στοιχεία της ποιοτικής ακουστικής συμπεριφοράς ενός μεγάλου δωματίου ή εργαστηριακού χώρου. Είναι αληθές ότι η γνώση των ακουστικών χαρακτηριστικών εντός των χώρων αυτών είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιθυμητή ακουστική συμπεριφορά αυτών.

Είναι ευτυχές γεγονός ότι οι ακουστικές μετρήσεις δεν είναι δύσκολες και μπορούν εύκολα να προσδιορισθούν και να σχεδιασθούν και υλοποιηθούν χώροι υψηλής ακουστικής απόδοσης.

Some Acoustical properties of ST PAUL'S CATHEDRAL, LONDON.

T.H.Lewers and J. S. Anderson.

Department of Mechanical Engineering. The City University, Northampton Square

LONDON, EC1 VO HB, UK. **14 April 1983.**

Η ακουστική του Καθεδρικού Ναού **St. Paul's** στο Λονδίνο έχει πολύ μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, διότι είναι ένα πολύ γνωστό κτίριο. Είναι επίσης γνωστό ότι έχει πολύ μεγάλο ''χρόνο αντήχησης'' λόγω του μεγάλου όγκου του εσωτερικού του κτιρίου και των πολλών ανακλαστικών επιφανειών εντός του Ναού.

Για τον καθορισμό της επιθυμητής ακουστικής ενός τέτοιου μεγάλου χώρου, οι διαστάσεις και τα κατασκευαστικά υλικά αυτού παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο σε αυτό. Ο εν λόγω Ναός έχει μήκος 141 μ. και πλάτος 69μ. Ο συνολικός εσωτερικός του όγκος είναι 152.000κ.μ. και η επιφάνεια του δαπέδου 8.120τ.μ.

Ο χρόνος αντήχησης έχει μετρηθεί σε πολλά διαφορετικά σημεία εντός του Ναού και με διαφορετικές επιστημονικές μεθόδους. Διαπιστώθηκε ότι η κατανόηση της φωνής είναι πολύ φτωχή λόγω του μεγάλου όγκου του κτιρίου, της ύπαρξης του Τρούλου και των υλικών κατασκευής του εσωτερικού του κτιρίου και μόνο το 20-30% των λέξεων γίνονται κατανοητές.

Η μελέτη και η βελτίωση της ακουστικής ενός τέτοιου μεγάλου κτιρίου είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον για τους μηχανικούς που σχεδιάζουν συστήματα ενίσχυσης ήχου με υψηλή ακουστική επίδοση σε μεγάλους χώρους με ιδιαίτερη έμφαση όταν είναι γεμάτοι με ανθρώπους.

The Average Absorption Coefficient for Enclosed Spaces with non Uniformly Distributed Absorption.

J. Ducourneau, V. Planeau

Laboratoire de Bio Mathematique et Audioprothese, Faculte de Farmacie,

Universite Henri Poincare, FRANCE. 26 March 2003.

Η μελέτη αυτή αφορά στον καθορισμό ενός ‘’ακουστικού απορροφητικού μοντέλου’’ των μεγάλων βιομηχανικών χώρων και διαφόρων θέσεων εργασίας με επίπεδες επιφάνειες. Ειδικότερα μελετήθηκαν και βελτιώθηκαν οι τεχνικές του υπολογισμού της ακουστικής απορρόφησης επιπέδων τοίχων κατασκευασμένων με ομοιογενή και ανομοιογενή υλικά.

Οι μετρήσεις του ‘’χρόνου αντήχησης’’ με διαφορετικές μεθόδους των χώρων αυτών έδειξαν ότι το ακουστικό πεδίο απορρόφησης των χώρων εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ της πηγής και των σχετικών θέσεων εντός του χώρου των ομοιογενών και ανομοιογενών υλικών κατασκευής.

Το υιοθετούμενο ακουστικό απορροφητικό μοντέλο είναι βασισμένο στη θεωρία του Sabine’s και χρησιμοποιήθηκε για να υπολογισθεί ο χρόνος αντήχησης σε διαφορετικούς βιομηχανικούς χώρους και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Influence of Wall Absorption on Iow-frequency Dependence of Reverberation time in Room of Irregular Shape.

Miroslaw Meissner

Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences,

Warsaw, POLAND. 6 April 2009.

Η μελέτη αυτή περιγράφει το φαινόμενο της αντήχησης σε ένα χώρο με ακανόνιστο σχήμα. Είναι επιστημονικά αποδεδειγμένα ότι ο χρόνος αντήχησης καθορίζει

αποκλειστικά την ακουστική συμπεριφορά αυτού και είναι το κύριο κριτήριο για τον καθορισμό της ακουστικής ποιότητας του χώρου αυτού.

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης :

α. Η γεωμετρική θεωρία.

β. Η κυματική θεωρία και

γ. Η μέθοδος της ροής ισχύος.

Στη γεωμετρική θεωρία τα φαινόμενα διάχυσης θεωρούνται αμελητέα καθόσον η διάδοση των ακουστικών κυμάτων θεωρείται ευθύγρα μμη. Επίσης και τα φαινόμενα παρεμβολών δεν λαμβάνονται καθόλου υπόψη. Έτσι η θεωρία αυτή θεωρείται σαν πιο αξιόπιστη αλλά είναι δυσκολότερη στην εφαρμογή της, διότι βασίζεται στον τρόπο διάδοσης των ακουστικών κυμάτων.

Empirical Models for predicting noise levels, reverberation times and fitting densities in industrial work rooms.

Nelson Heerema, Murray hodgson

Occupational Hygiene Program and Department of Mechanical Engineering.

University of British Columbia, CANADA. 9 June 1998.

Στη μελέτη αυτή αναλύονται νέα εμπειρικά μοντέλα για τον υπολογισμό του θορύβου σε άδειους και γεμάτους βιομηχανικούς χώρους εργασίας με διαφορετικές διαστάσεις και διαφορετικά υλικά κατασκευής. Επίσης παρουσιάζεται και ένα μαθηματικό μοντέλο για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης των χώρων αυτών.

Υπάρχουν πολλές επιστημονικές μέθοδοι για τον υπολογισμό του θορύβου και του χρόνου αντήχησης. Η μέθοδος που εξετάζεται βασίζεται στην ανάλυση 30 βιομηχανικών δωματίων με διαφορετικών διαστάσεων άδεια ή γεμάτα, τα οποία

έχουν μία τυπική βιομηχανική κατασκευή με δάπεδο από τσιμέντο , μεταλλική οροφή και τοίχους από τούβλα.

Η μέθοδος βασίζεται στη διάδοση του ήχου στους χώρους αυτούς χρησιμοποιώντας μεταβαλλόμενη γραμμική μαθηματική ανάλυση.

Acoustic Scale Modeling of Factories Part II: 1:50 Scale model Investigations of factory

Sounds Fields.

M. R. Hodgsont and R. J. Orlowski.

Department of architecture, University of Cambrigde, ENGLAND. 11 March 1986.

Η μελέτη αυτή αναλύει τεχνικές υπολογισμού του χρόνου αντήχησης και της διάδοσης του ήχου σε τυπικούς βιομηχανικούς χώρους που χαρακτηρίζουν κατά κύριο λόγο την ακουστική συμπεριφορά των πεδίων σε κλίμακα 1:50.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να διερευνήσει τη συμπεριφορά του χρόνου αντήχησης και της διάδοσης του ήχου καθώς και όλοι οι άλλοι παράγοντες που τους επηρεάζουν, ούτως ώστε να διερευνηθούν πρακτικές μέθοδοι για τον περιορισμό αυτών και τη βελτίωση της ακουστικής των χώρων αυτών.

Η μελέτη συμπεραίνει ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν κατά κύριο λόγο το χρόνο αντήχησης και τη διάδοση του ήχου σε βιομηχανικούς χώρους είναι η γεωμετρία του χώρου και ο εσωτερικός εξοπλισμός αυτού.

Τέλος, Μια πρόσθετη επιστημονική εργασία που σκιαγραφεί τα προβλήματα μεγάλων χώρων όσον αφορά την ακουστική απόδοσή των και συγκεκριμένα για αίθουσες και αμφιθέατρα διδασκαλίας είναι η εργασία των Sotiropoulou et al (2008).

Στην εργασία αυτή, μετά από εντενείς φυσικές ακουστικές μετρήσεις σε αίθουσες διδασκαλίας, επισημένεται ότι εξαιρετικά μεγάλοι όγκοι αιθουσών οδηγούν την καταληπτότητα του ήχου της ομιλίας στο χώρο. Τέτοιες περιπτώσεις είναι συνήθεις σε πανεπιστημιακές εγκαταστάσεις όπου χρησιμοποιούνται διδακτήρια κατασκευής των αρχών του 20^{ου} αιώνα χωρίς αντίστοιχη ακουστική μελέτη.

Στην παρούσα διπλώματη εργασία αντιμετωπίζεται το ίδιο πρόβλημα για ελαφρώς διαφορετική χρήση εκπαιδευτικών χώρων, δηλαδή για χώρους εργαστηρίων, όπου όμως άτυπα διεξάγονται και διαλέξεις διδασκαλίας.

Συμπερασματικά, βλέπουμε από όλες τις ανωτέρω αναφορές ότι έχουν επιλεγεί διάφοροι τρόποι και μέθοδοι προσέγγισης του θέματος. Οι μετρήσεις του χρόνου αντήχησης είναι ένα τρόπος που επιλέγουμε εμείς να προσεγγίσουμε το πρόβλημα, χωρίς να σημαίνει ότι είναι και ο καταλυτικός, αφού κινούμαστε σε πλαίσια πειραματικής διαδικασίας.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Πραγματοποιήθηκε πείραμα λοιπόν σε έξι πελώριες αίθουσες όπως αναφέραμε, στο χώρο του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, στην περιοχή Ζωγράφου. Οι μετρήσεις ακουστικής που πραγματοποιήσαμε αφορούν το χρόνο αντήχησης και το θόρυβο βάθους των αιθουσών αυτών.

Έξι εργαστηριακές αίθουσες που είναι εμφανές σαν εργαζόμενος καθηγητής, φοιτητής ή επισκέπτης, ότι η ποιότητα της ακουστικής δεν είναι ιδιαιτέρως καλή. Αρχικά, παρατηρούμε ότι δεν έχει γίνει ποτέ μελέτη ακουστικής για τις αίθουσες αυτές. Έπειτα, λαμβάνουμε υπόψη την πιο σημαντική παράμετρο, που αυξάνει τον χρόνο αντήχησης σε ένα χώρο και αυτή είναι ο όγκος αυτού.

Θα δούμε σ' αυτό το κεφάλαιο τις διαστάσεις των αιθουσών μέσα από τις κατόψεις και τις τομές των κτηρίων. Αντιλαμβανόμαστε ότι λόγω του εργαστηριακού τους χαρακτήρα, δεν είχαν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν καλά επίπεδα ακουστικής και φυσικά δεν θεωρήθηκε αναγκαίο να μελετηθεί το πώς κατανέμεται ο ήχος στον χώρο.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ώρες ήσυχες για τα εργαστήρια, μετά το μεσημέρι, έτσι ώστε να έχουμε ιδανικές συνθήκες για να παρθούν σωστά τα αποτελέσματα.

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων, χρησιμοποιήσαμε ένα ηχόμετρο Bruel&Kjaer (B&K), Type 2250 και ως πηγή ένα πιστόλι Olympic Bruni S. R. L., με σφαίρες ήχου Salve Blank.

Στις μετρήσεις του χρόνου αντήχησης η πηγή θορύβου βρισκόταν στη μία γωνία της εκάστοτε αίθουσας, ενώ το ηχόμετρο τοποθετήθηκε σε 3 σημεία και διαφορετικές αποστάσεις αναλογικά του χώρου, έτσι ώστε να έχουμε έναν αντιπροσωπευτικό μέσο όρο.

Μετρήσεις θορύβου βάθους πήραμε σε τρεις αίθουσες από τις έξι, στο εργαστήριο Λιμενικών Έργων, στο Κτήριο Κ και Λ. Έγιναν σε σημεία όσο το δυνατόν πιο κεντρικά σε κάθε χώρο και διήρκησαν 30 λεπτά.

Στη συνέχεια αναφέρουμε αναλυτικά τη χρήση της κάθε αίθουσας.

4.1 ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

4.1.1 ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ

Σχήμα 18

Το Αμφιθέατρο Σιδηροδρομικής βρίσκεται στα κτήρια των Πολιτικών Μηχανικών, και είναι η μοναδική αίθουσα από τις εξεταζόμενες που στεγάζει μικρό αμφιθέατρο μέσα στο χώρο εργαστηρίου και στην οποία διεξάγονται προγραμματισμένα μαθήματα.

Η αίθουσα χρησιμοποιείται κατά βάση για τη διεξαγωγή μαθημάτων.

Στη συνέχεια βλέπουμε τα ηλεκτρονικά σχέδια της αίθουσας, τις κατόψεις και τις τομές της. Στην κάτοψη ισογείου θα παρατηρήσουμε τέσσερις κόκκινες κουκίδες, απ ’τις οποίες η πιο μεγάλη αντιπροσωπεύει την πηγή θορύβου, και οι υπόλοιπες τρεις πιο μικρές, τα σημεία που σταθήκαμε με το όργανο και καταγράψαμε τον χρόνο αντήχησης.

Οι θέσεις της πηγής θορύβου και τα σημεία καταγραφής του χρόνου αντήχησης με το ηχόμετρο υπάρχουν σε όλες τις κατόψεις ισογείου που θα δούμε παρακάτω, και για όλες τις αίθουσες.

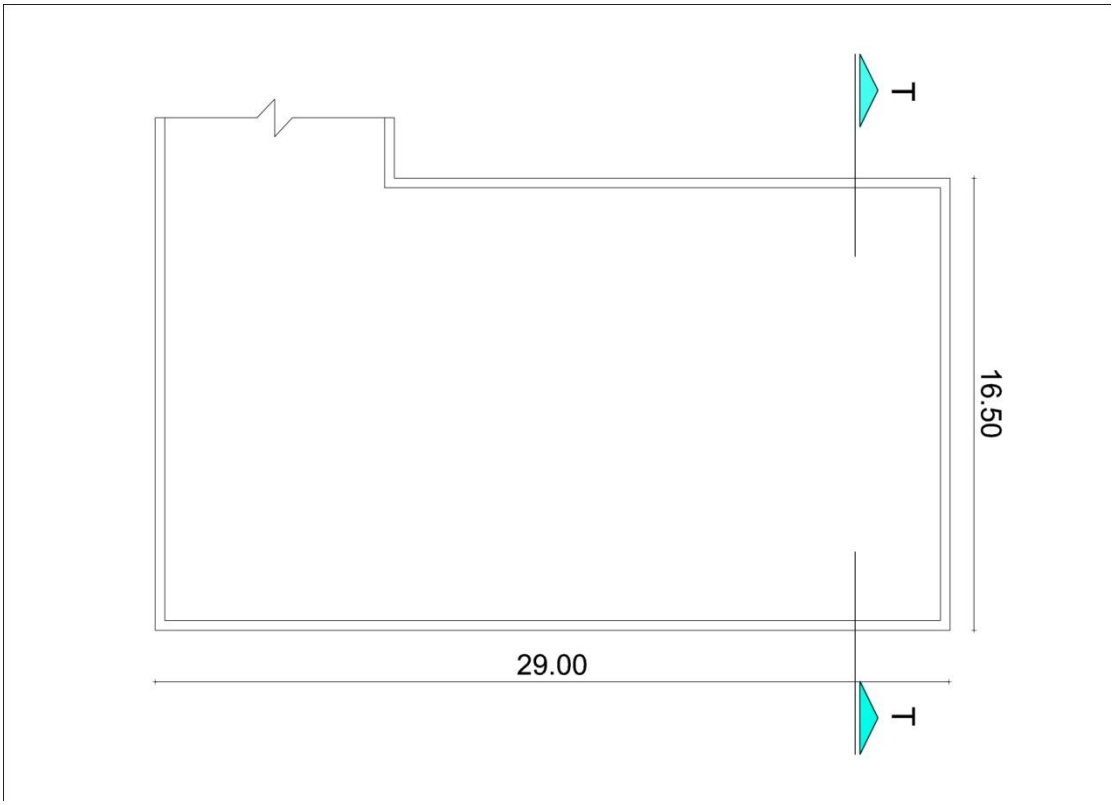
Οι κατόψεις και οι τομές των αιθουσών μας δίνουν επίσης στοιχεία για να υπολογίσουμε τον όγκο κάθε εργαστηρίου. Είναι εμφανείς λοιπόν οι διαστάσεις τους – μήκη, πλάτη και τα ύψη τους.

Σχήμα 19

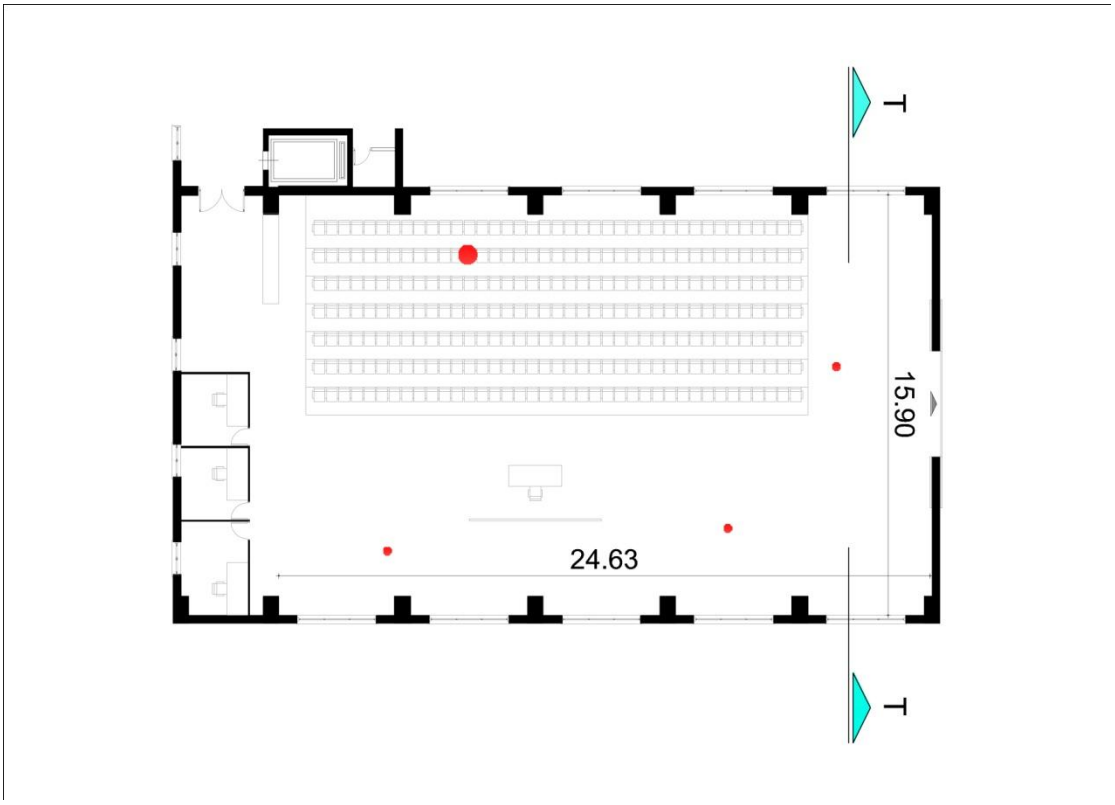
Σχήμα 20

Σχήμα 20

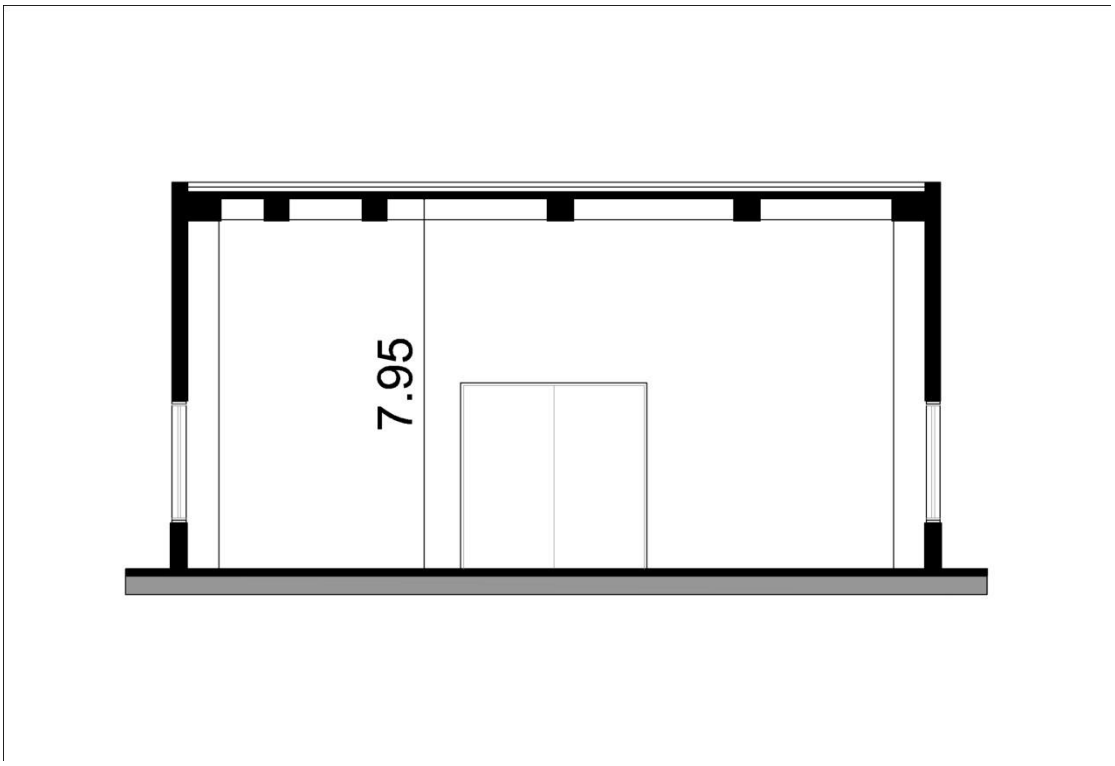
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ΤΟΜΗ Τ-Τ



4.1.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Σχήμα 21

Το εργαστήριο Λιμενικών Έργων ανήκει και αυτό στα κτήρια Πολιτικών Μηχανικών. Πρόκειται για μια αίθουσα- κτήριο όπου διεξάγονται κατά κύριο λόγω πειράματα λιμενικών κατασκευών. Η αίθουσα περιέχει δύο τεράστιες δεξαμενές νερού όπου πραγματοποιούνται τα πειράματα.

Δεν διεξάγονται προγραμματισμένα μαθήματα στην αίθουσα αυτή, παρά μόνο στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας ολιγομελή ομάδα φοιτητών.

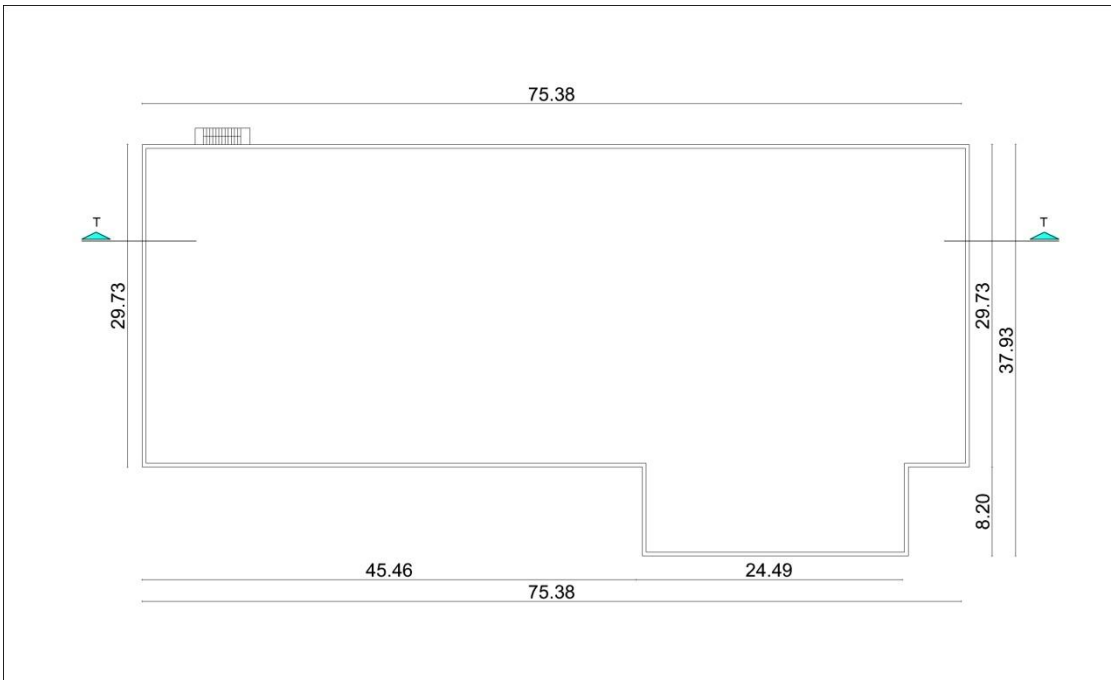
Είναι συχνές όμως οι επισκέψεις σχολείων κατά τη διάρκεια του έτους, όπου συνήθως προτιμάται να χωρίζονται σε 15μελείς ομάδες περίπου για να δούνε το χώρο.

Ο όγκος της αίθουσας ξεπερνά όλες τις υπόλοιπες που μελετήσαμε και μας προκάλεσε το ενδιαφέρον ευρύτερης αναζήτησης λύσεων καλύτερης ακουστικής. Γι' αυτό σε παρακάτω κεφάλαιο αναλύουμε εις βάθος τα χαρακτηριστικά της αίθουσας

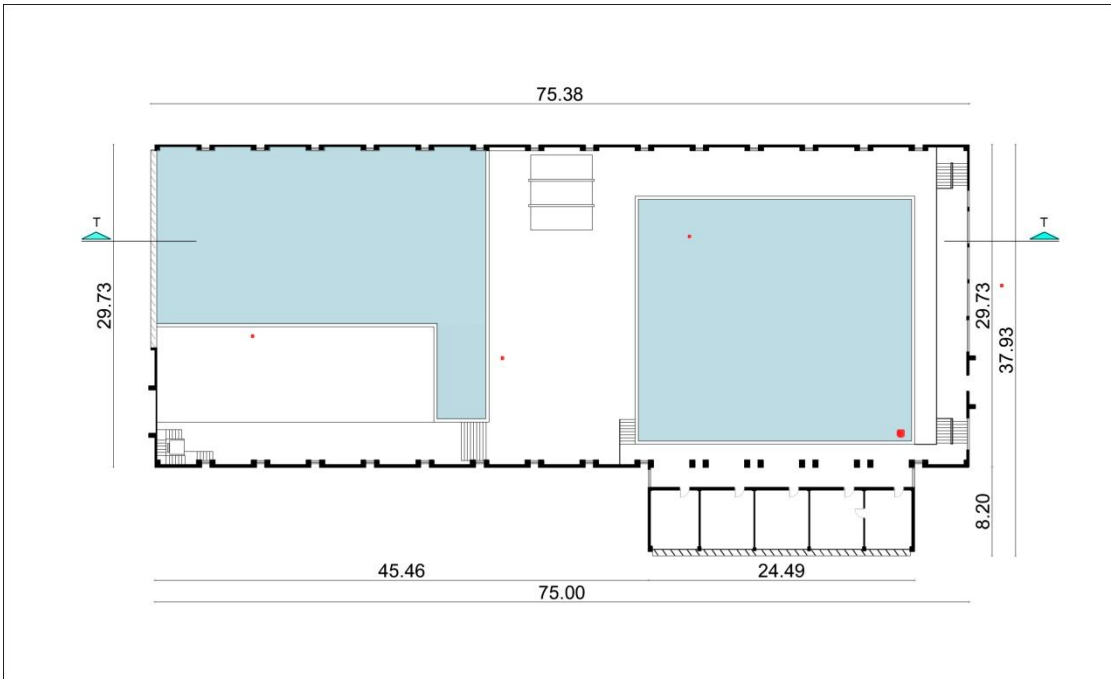
και πραγματοποιούμε μελέτη ακουστικής για την αποφυγή των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στο χώρο από άτομα που παρευρίσκονται σε αυτή.

Σχήμα 22

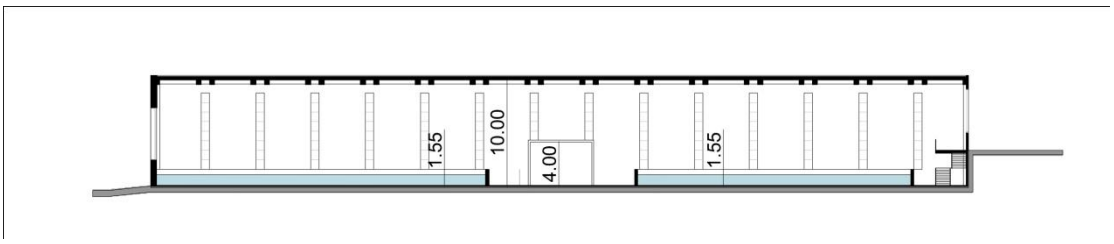
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ΤΟΜΗ Τ-Τ



4.1.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Σχήμα 23

Το εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών στεγάζεται επίσης στα κτήρια Πολιτικών Μηχανικών.

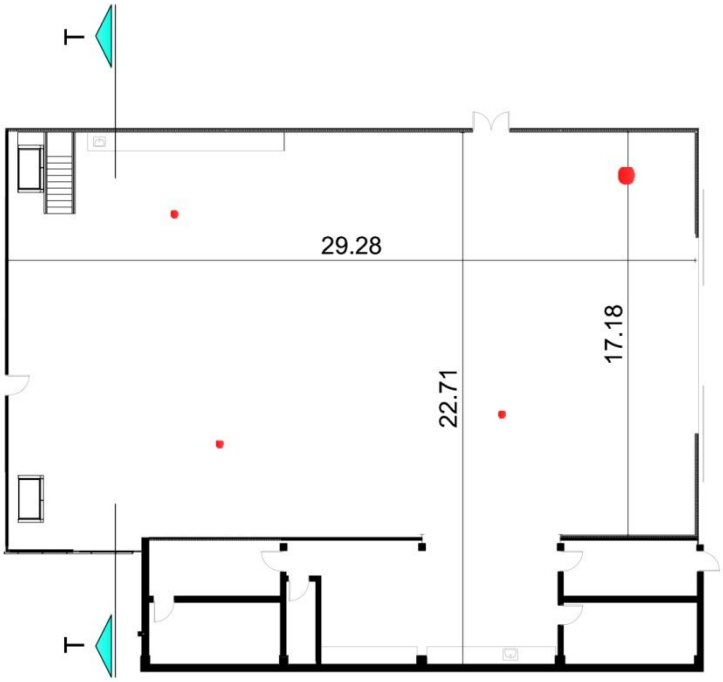
Πρόκειται για μία αίθουσα που έχει κατά βάση εργαστηριακό σκοπό όσον αφορά τις σιδηρές κατασκευές. Διεξάγονται όμως ολιγόωρα προγραμματισμένα μαθήματα κατά τη διάρκεια του ακαδημαικού έτους, που συνδυάζουν φυσικά τα πειραματικά στοιχεία του χώρου.

Για τις ώρες των μαθημάτων υπάρχει ένα τραπέζι στο κέντρο περίπου της αίθουσας όπου οι φοιτητές παρακολουθούν τις διαλέξεις των καθηγητών τους.

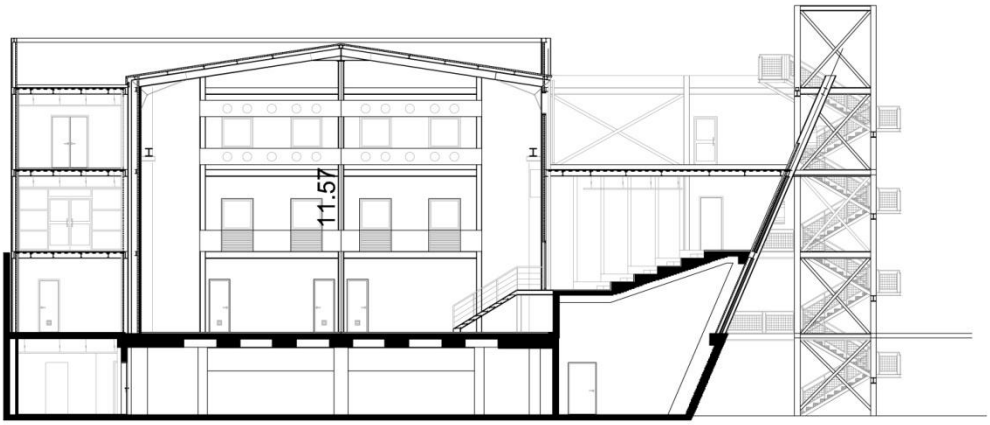
Σχήμα 24

Σχήμα 25

ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ΤΟΜΗ Τ-Τ



4.2 ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

4.2.1 ΚΤΗΡΙΟ Κ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΗΡΥΝΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Σχήμα 26

Το εγαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας βρίσκεται στα κτήρια των Μηχανολόγων Μηχανικών, στο κτήριο Κ, και είναι η μικρότερη εργαστηριακή αίθουσα σε όγκο αυτών που επιλέξαμε να μελετήσουμε.

Στον χώρο αυτό δεν διεξάγονται προγραμματισμένα μαθήματα κατά τη διάρκεια του ακαδημαικού έτους, παρά μόνο ότι αφορά εργαστηριακό χαρακτήρα.

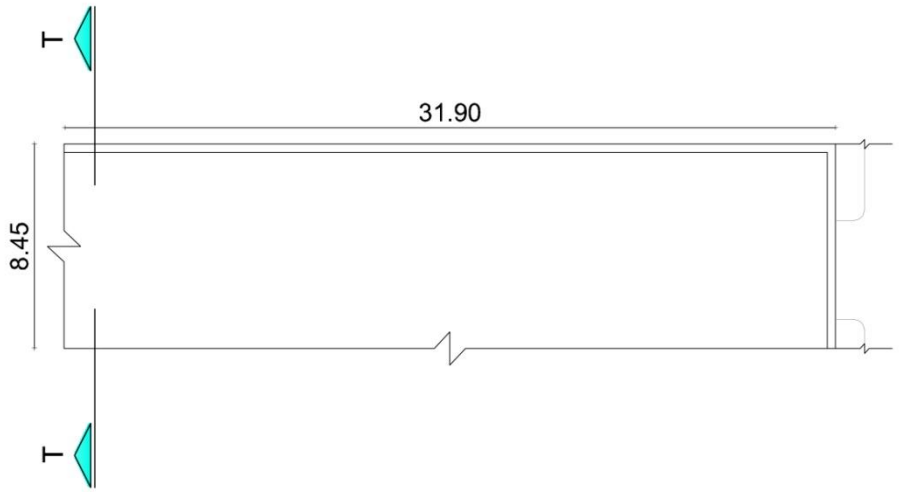
Υπάρχουν ηλεκτρονικοί υπολογιστές που χρησιμοποιούνται από τους φοιτητές στα πλαίσια των πειραμάτων που πραγματοποιούνται στον τομέα.

Σε περίπτωση παιρεταίρας ανάλυσης κάποιου πειράματος οι φοιτητές μπορεί να μαζευτούν στο τραπέζι που βλέπουμε στην φωτογραφία, κάπου στο κέντρο της αίθουσας.

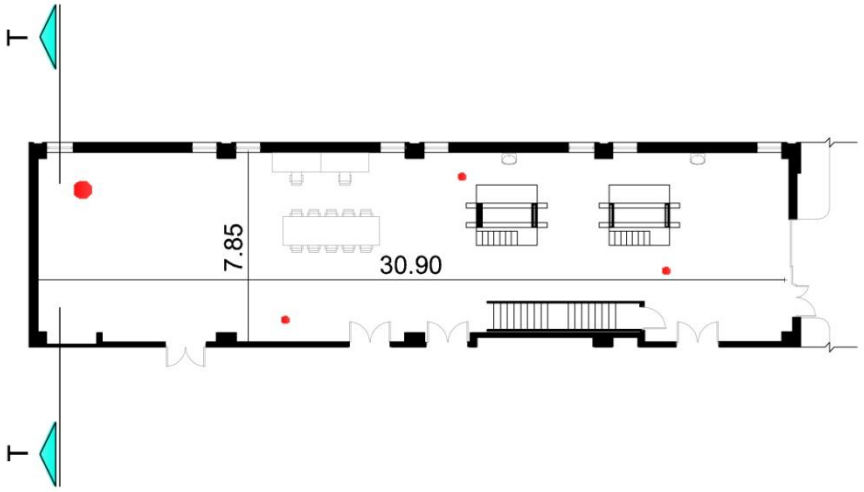
Σχήμα 27

Σχήμα 28

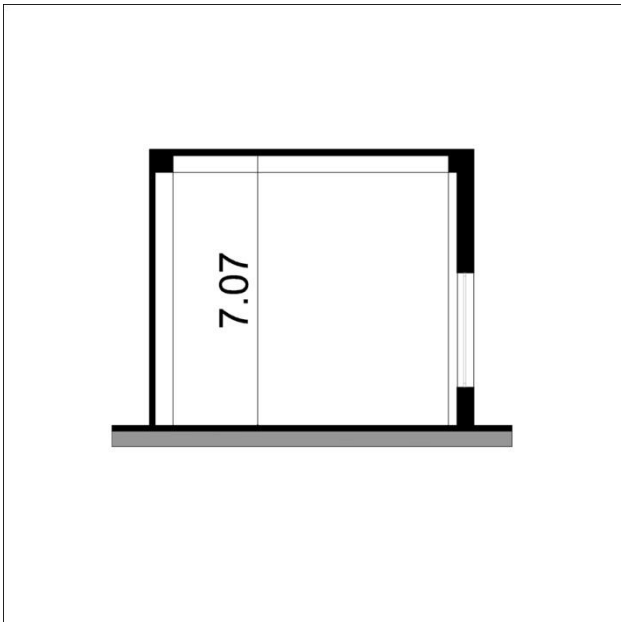
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ТОМН Т-Т



4.2.2 ΚΤΗΡΙΟ Λ – ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ : ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

Σχήμα 29

Το κτήριο Λ ανήκει στους Μηχανολόγους Μηχανικούς αλλά στεγάζει ένα τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών, όπου βρίσκονται τα εργαστήρια Ναυτικής Μηχανολογίας, Ναυπηγικής Τεχνολογίας και Μελέτης Πλοίου.

Είναι ένα εργαστηριακό κτήριο στο οποίο δουλεύουν τα εργαστήρια το καθένα ξεχωριστά. Οι μετρήσεις που πήραμε εμείς ήταν στον ενιαίο χώρο.

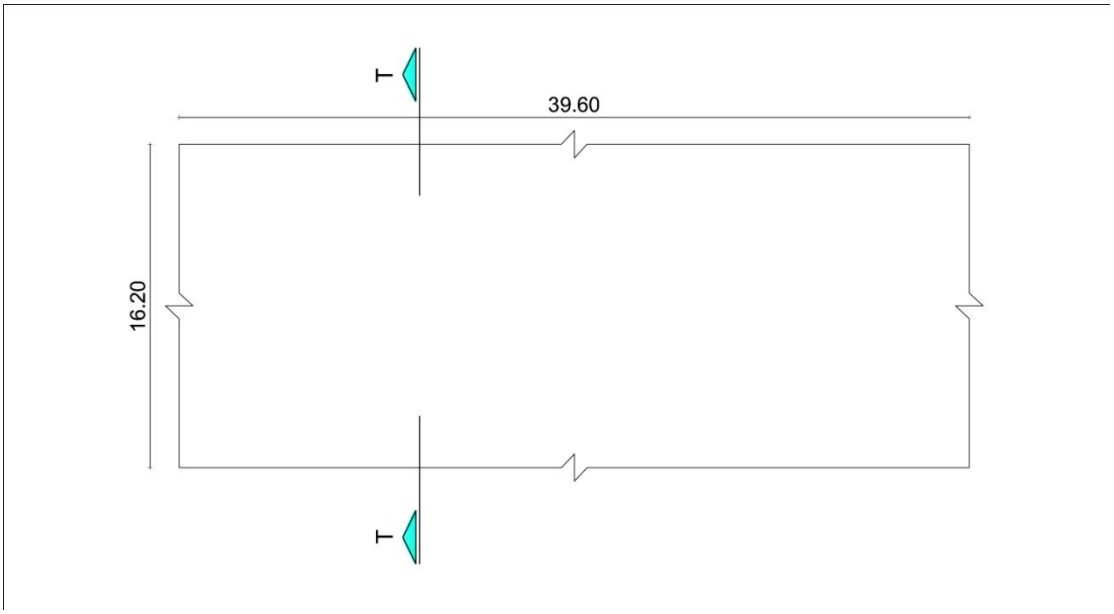
Το container που βλέπουμε στη φωτογραφία αποτελεί ξεχωριστό εργαστηριακό χώρο και ενώνεται με το υπόγειο του κτηρίου.

Στο εργαστήριο δεν διεξάγονται προγραμματισμένα μαθήματα, παρά μόνο ολιγομελείς ομάδες φοιτητών για εργαστηριακό σκοπό.

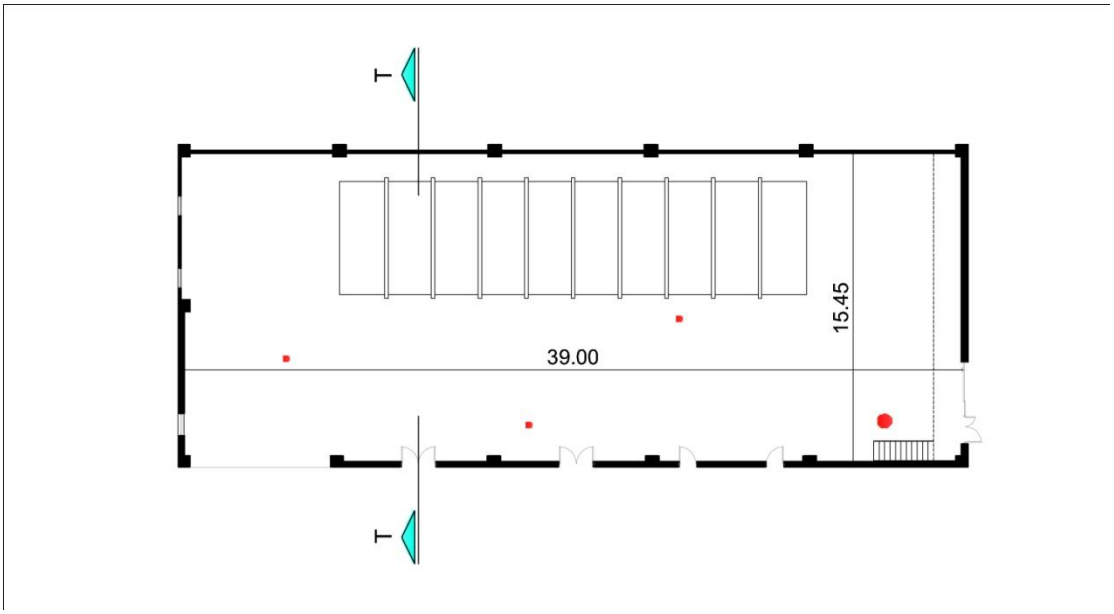
Σχήμα 30

Σχήμα 31

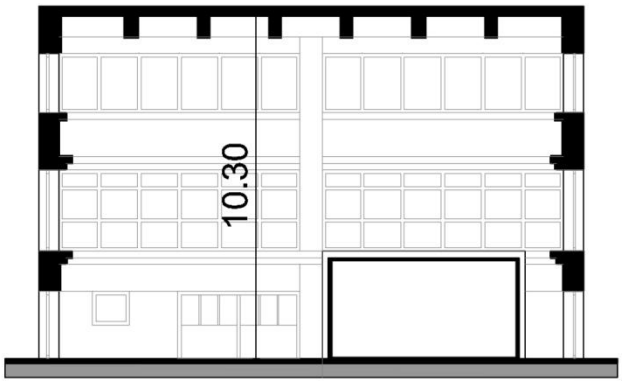
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ТОМН Т-Т



4.2.3 ΚΤΗΡΙΟ Μ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 32

Το Εργαστήριο Οχημάτων βρίσκεται στο κτήριο Μ των Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. .

Αποτελεί και αυτό μία αίθουσα - κτήριο μεγάλου όγκου, όπου στεγάζει εργαστήρια στα οποία πραγματοποιούνται πειράματα οχημάτων.

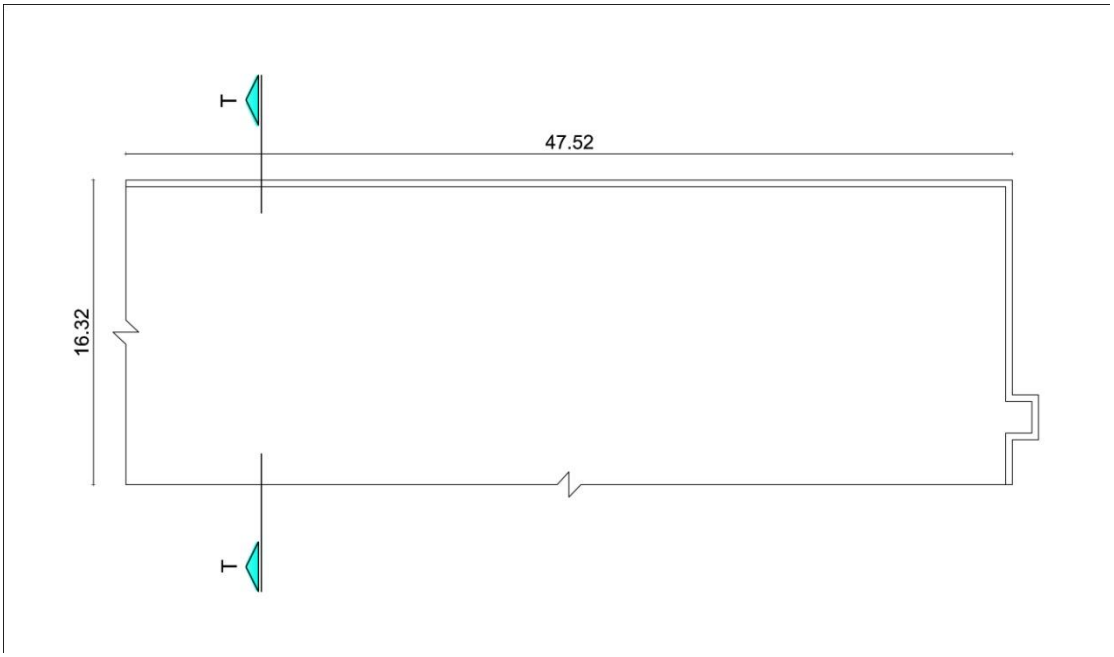
Ο χώρος δεν είναι κατάλληλος για τη διεξαγωγή μαθημάτων ή κάποιας διάλεξης, λόγω του θορύβου των μηχανών για τα πειράματα.

Δεν πραγματοποιούνται μαθήματα διδασκαλίας, παρά μόνο για εργαστηριακό σκοπό.

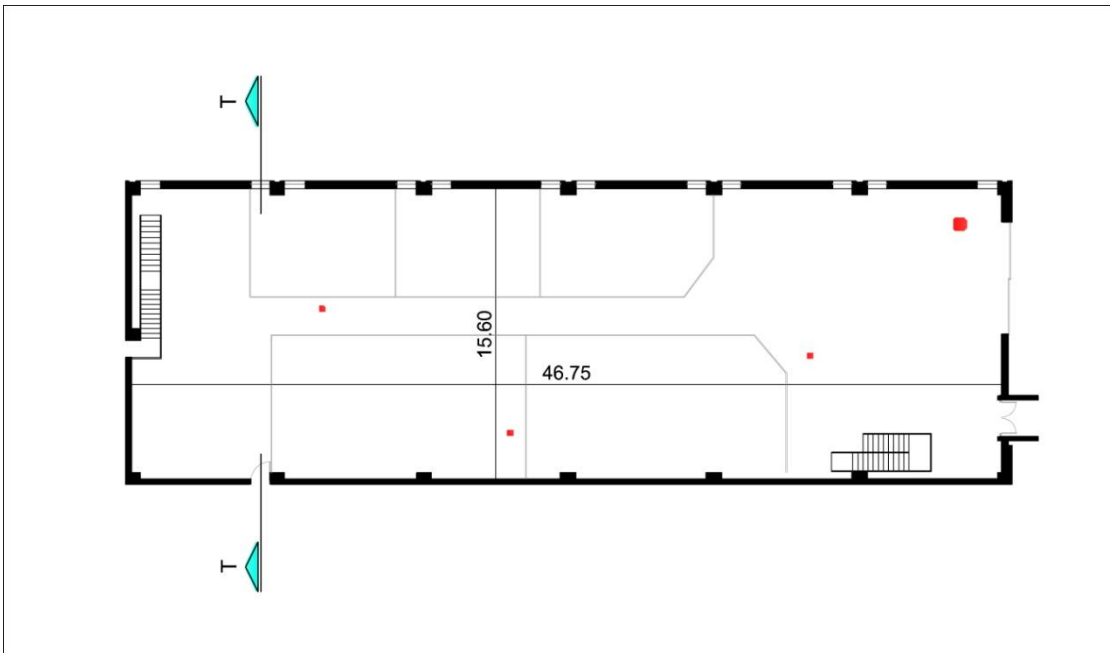
Σχήμα 33

Σχήμα 34

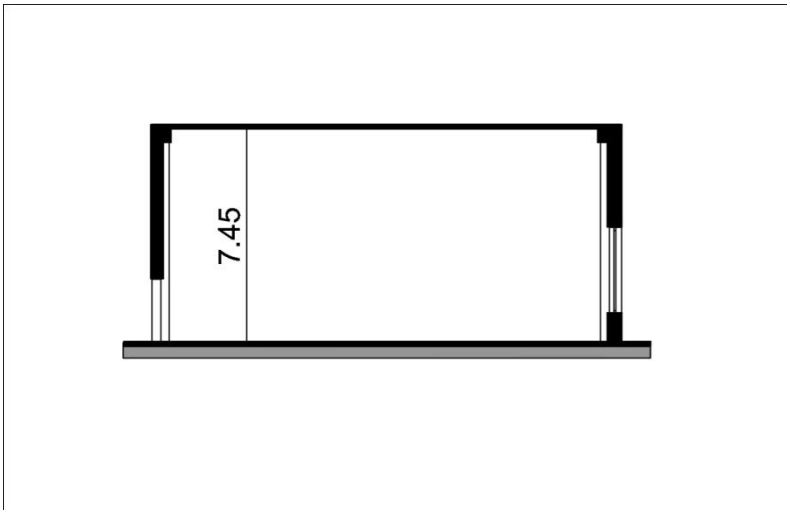
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ



ТОМН Т-Т



5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

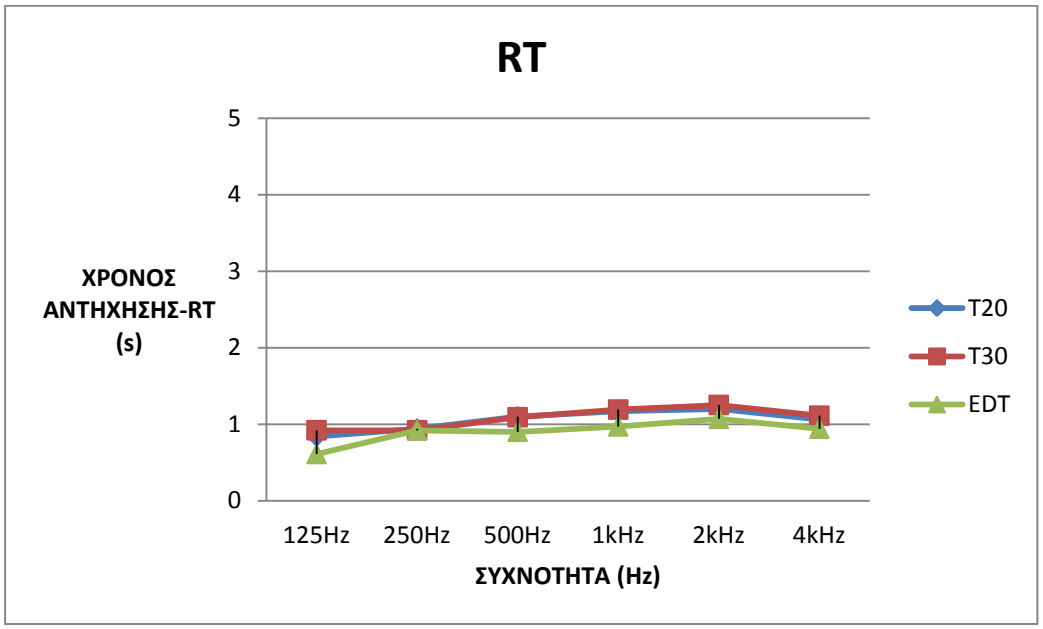
Στην παράγραφο αυτή παραθέτουμε αναλυτικά γραφήματα στα οποία φαίνεται το πώς μεταβάλλεται ο χρόνος αντήχησης (Reverbaration Time) σε κάθε εργαστηριακή αίθουσα ξεχωριστά, αλλά και το πώς κατανέμεται σε όλη την γκάμα συχνοτήτων και συγκεκριμένα σε κάθε οκταβική ζώνη. Είναι χρήσιμο εδώ να αναφέρουμε τι εννοούμε στην ακουστική με τον όρο οκταβική ζώνη. Μιλώντας για οκταβικές ζώνες, πρέπει καταρχήν να κατανοήσουμε τον όρο «διάστημα» δύο ήχων, που είναι το πηλίκο των συχνοτήτων τους. Όταν το πηλίκο αυτό ισούται με 2 μιλάμε για οκτάβα. Έτσι λοιπόν η γκάμα των συχνοτήτων που είναι αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί (0-4 kHz) αναλύεται σε οκτώ οκταβικές ζώνες, κεντρικές τιμές των οποίων είναι τα 16Hz, 32Hz, 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1Hz, 2Hz και 4Hz.

Παραθέτουμε αναλυτικά γραφήματα και τα παρατηρούμε συγκριτικά για χρόνο αντήχησης T20, T30, και EDT. Έπειτα παρουσιάζουμε διαγράμματα EDT, για κάθε θέση μέτρησης ξεχωριστά (τρεις θέσεις), και για κάθε αίθουσα ξεχωριστά.

Στη συνέχεια κάνουμε υπολογισμούς χρησιμοποιώντας την φόρμουλα του Sabine για να βρούμε σε σχέση με τον μετρηθέν χρόνο αντήχησης κάθε αίθουσας την απορρόφηση που υπάρχει στο χώρο, και έπειτα να συγκρίνουμε με τον επιθυμητό χρόνο.

Τέλος, κάνουμε κάποιους υπολογισμούς [Noise Reduction]για να δούμε ποια απορρόφηση είναι αναγκαία να προστεθεί έτσι ώστε να μειωθεί ο χρόνος αντήχησης και παράλληλα να μειωθεί η στάθμη θορύβου.

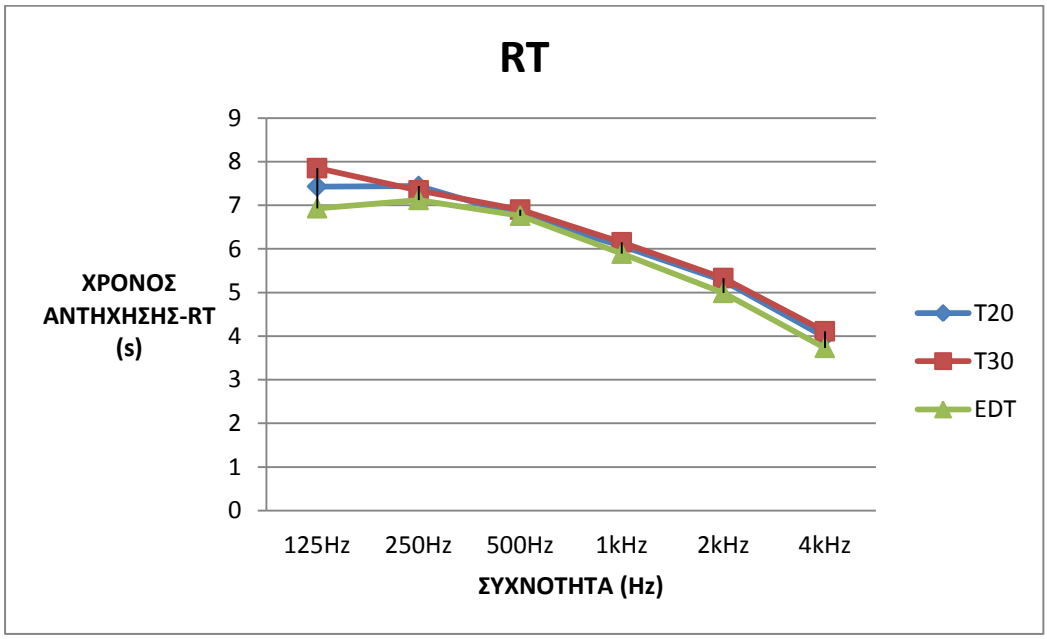
5.1.1 Εργαστήριο Σιδηροδρομικής – ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



R.T. (500 Hz, 1000 Hz) = 1.14s

Σχήμα 35

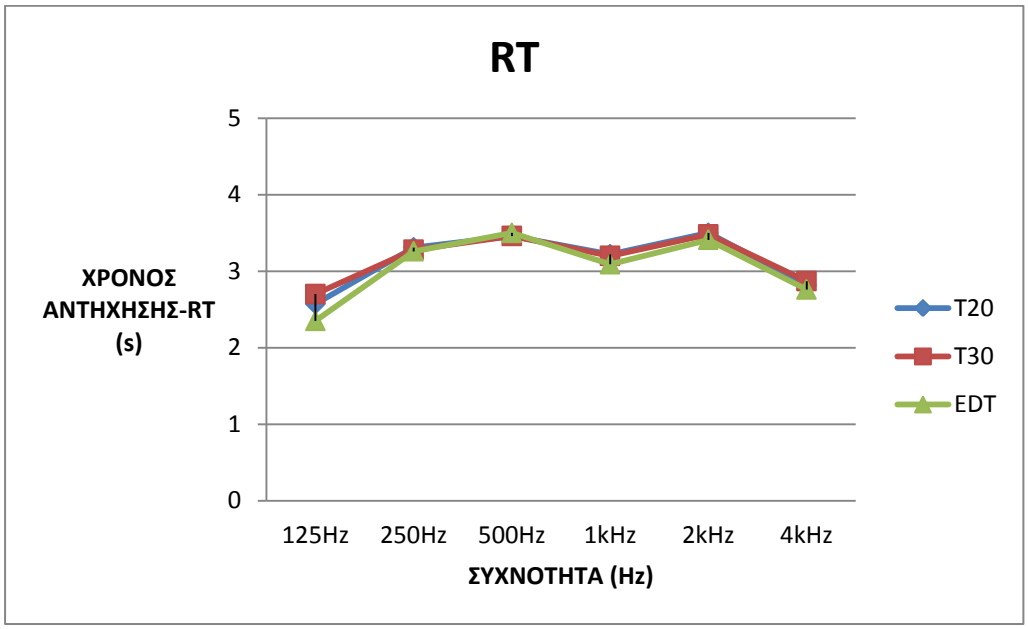
5.1.2 Εργαστήριο Λιμενικών Έργων– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



R.T. (500 Hz, 1000 Hz) = 6.53s

Σχήμα 36

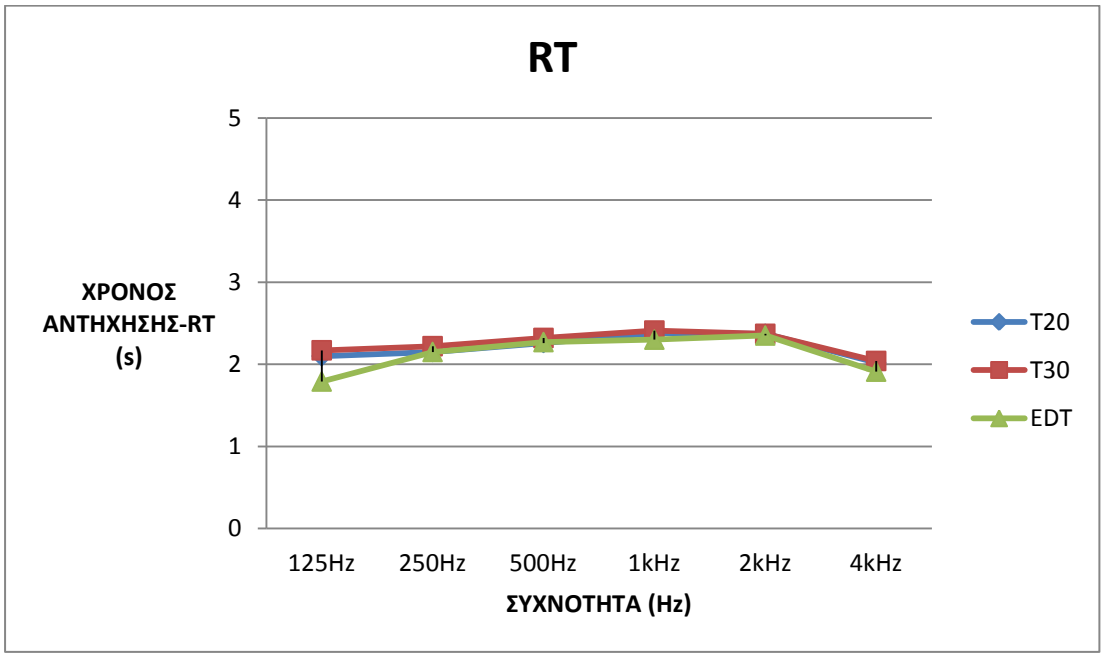
5.1.3 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



R.T. (500 Hz, 1000 Hz) = 3.33s

Σχήμα 37

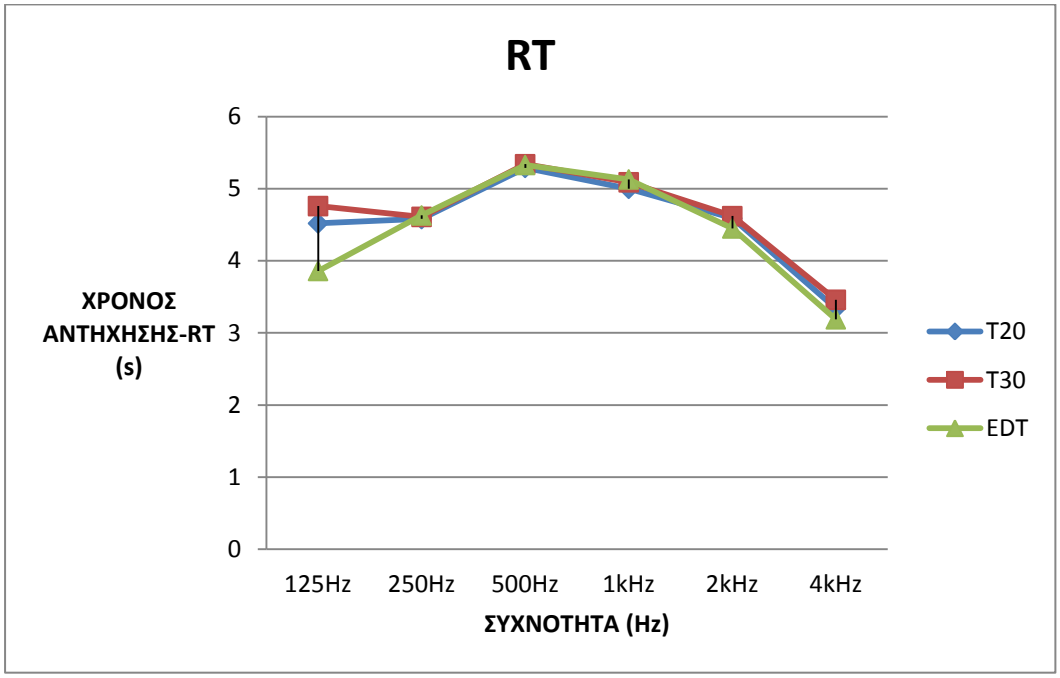
5.1.4 Κτήριο Κ – ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



R.T. (500 Hz, 1000 Hz) = 2.37s

Σχήμα 38

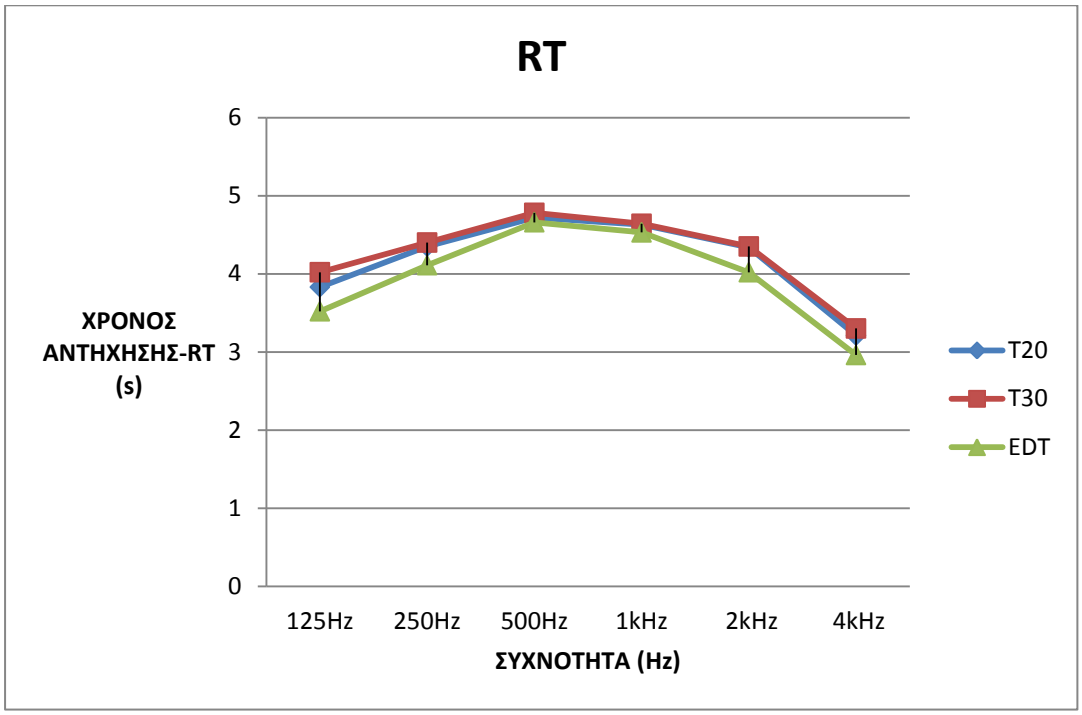
5.1.5 Κτήριο Λ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



R.T. (500 Hz, 1000 Hz) = 5.22s

Σχήμα 39

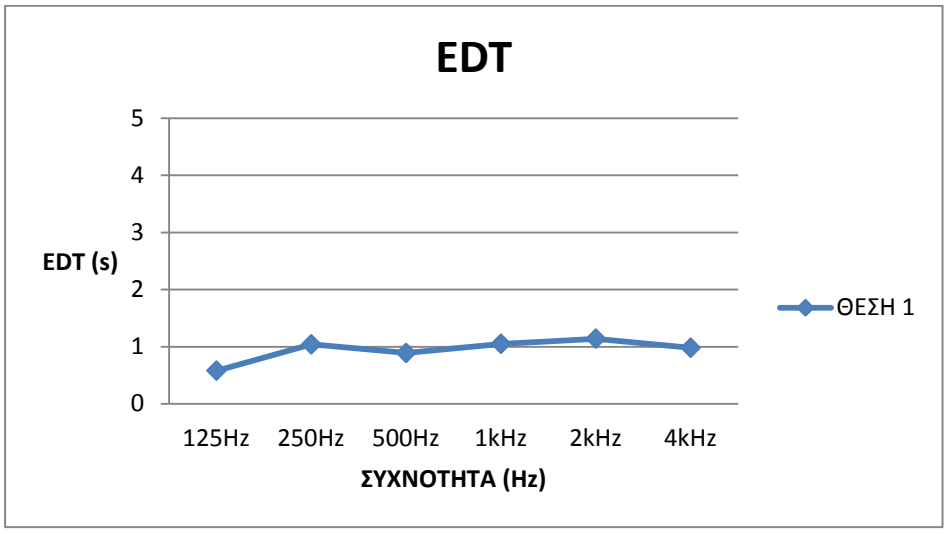
5.1.6 Κτήριο Μ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

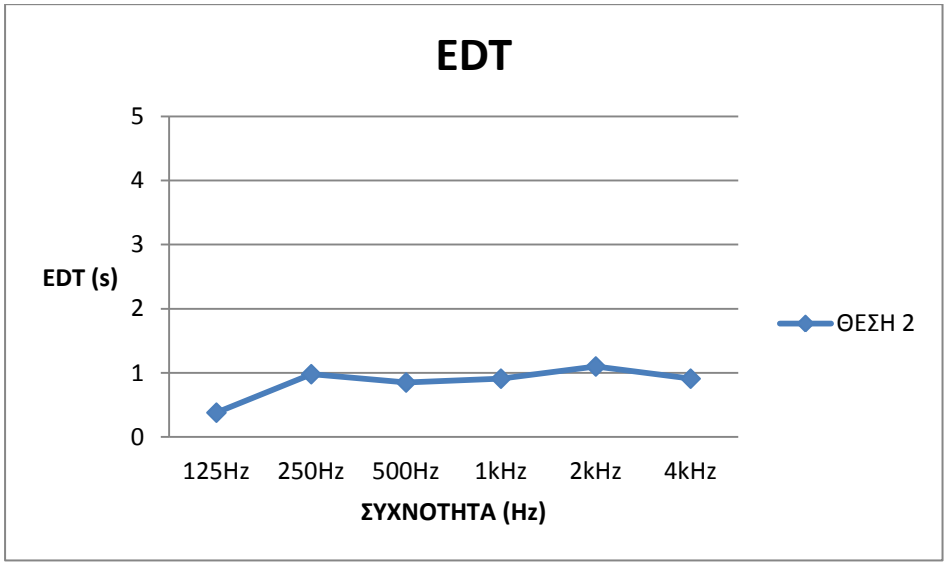


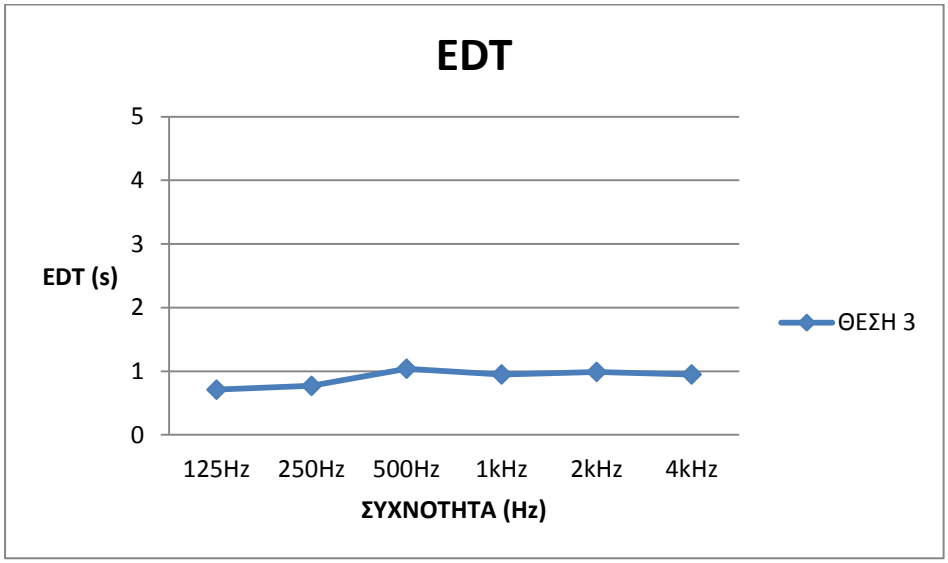
R.T. (500 Hz, 1000 Hz) = 4.71s

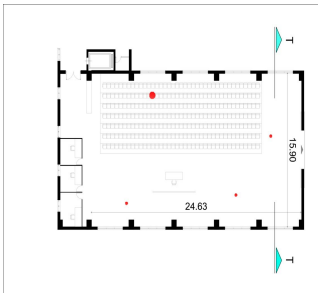
Σχήμα 40

5.2.1 Εργαστήριο Σιδηροδρομικής– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ





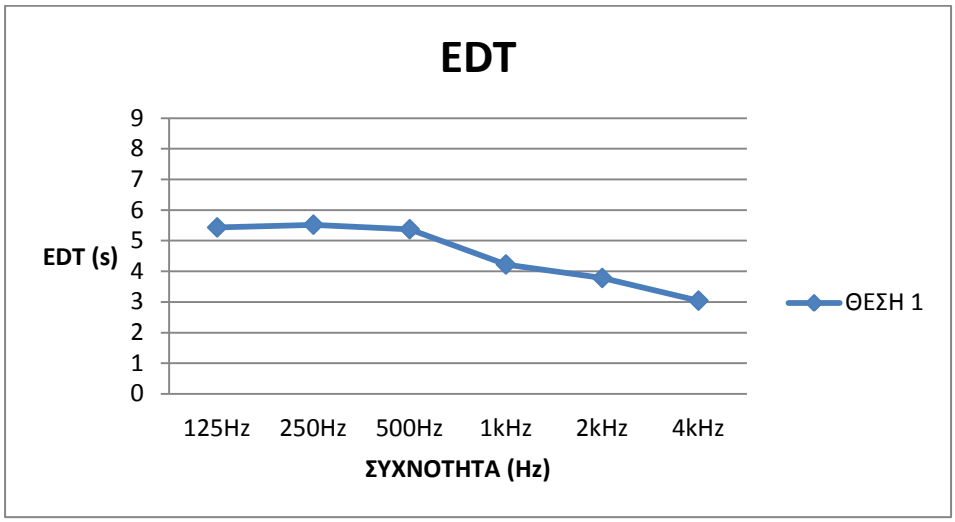


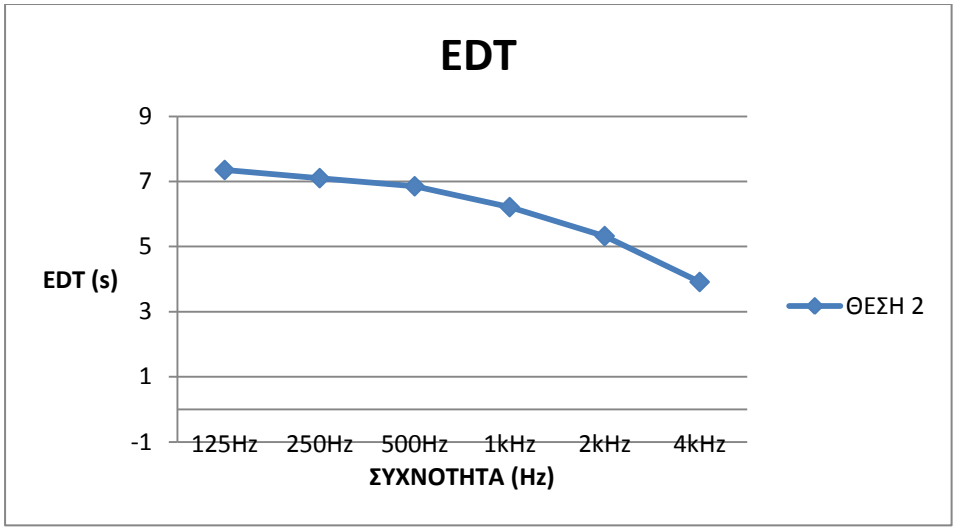


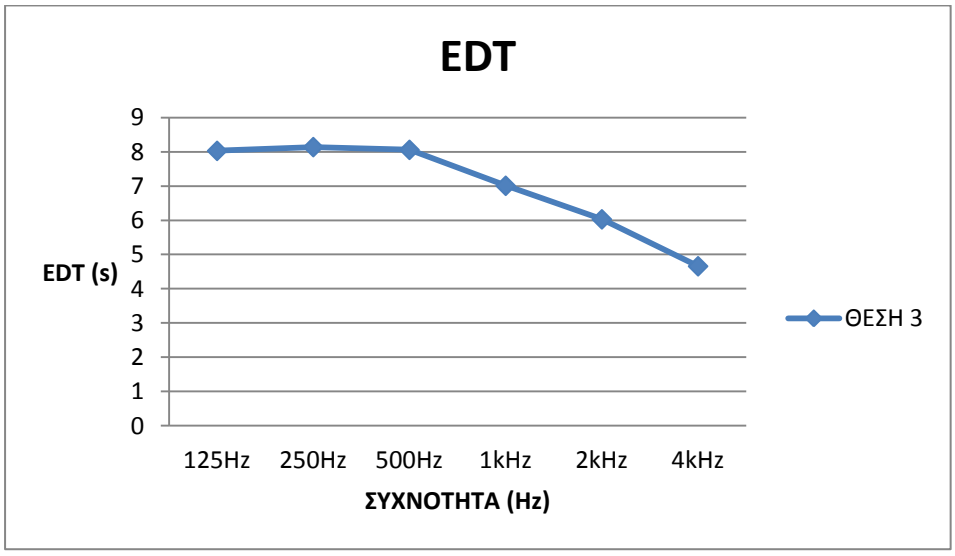
V : 3.000 m^3

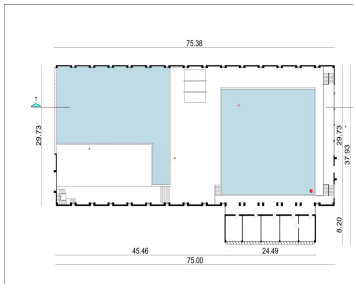
Σχήμα 41

5.2.2 Εργαστήριο Λιμενικών Έργων– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ





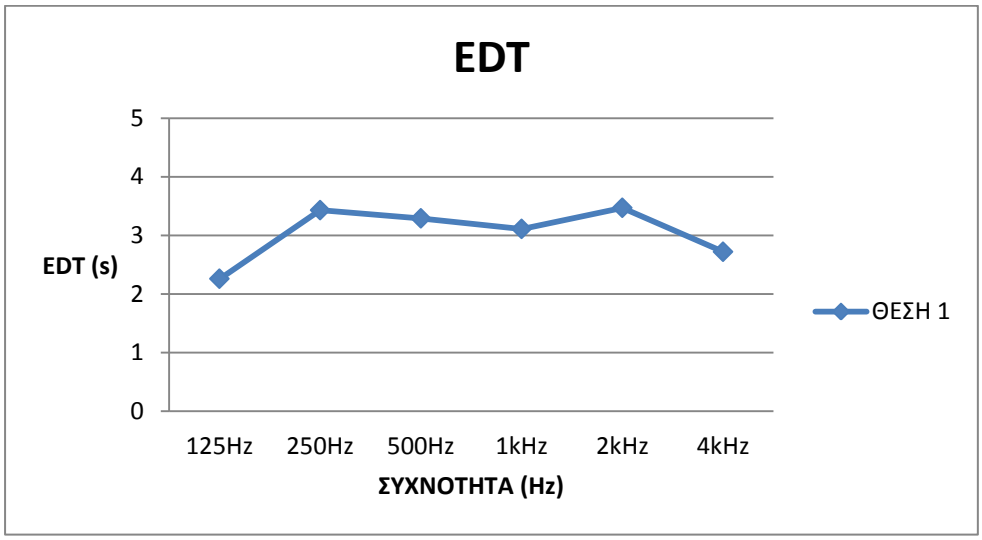


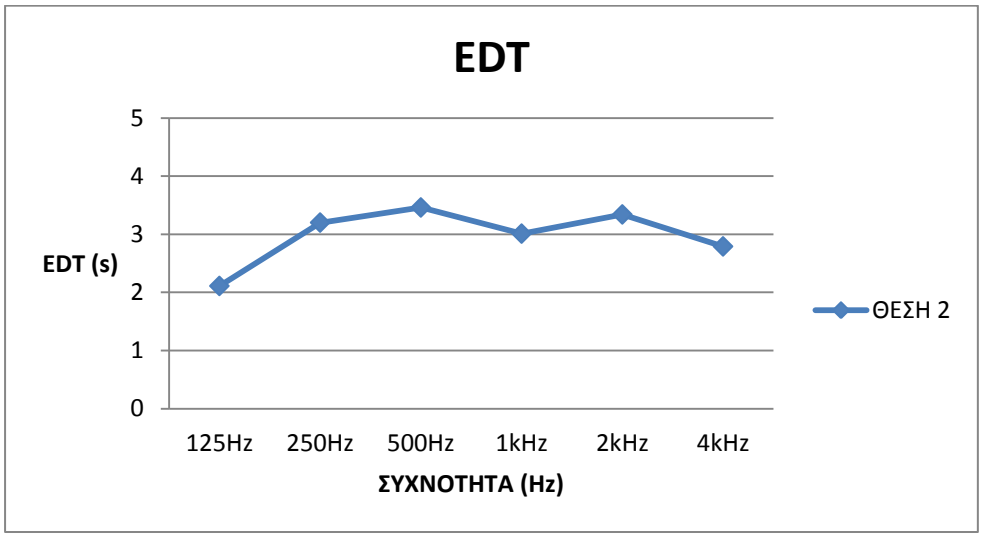


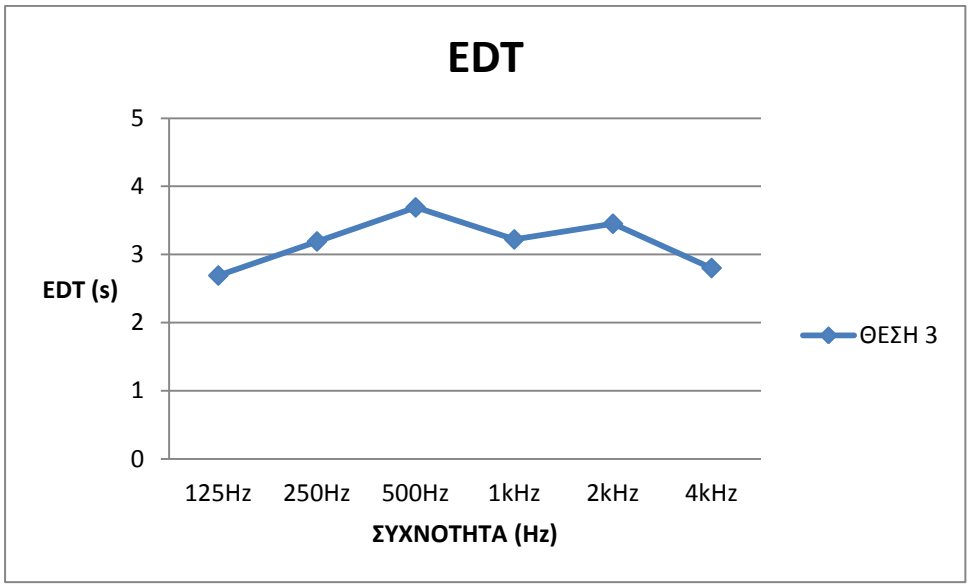
V : 23.000 m^3

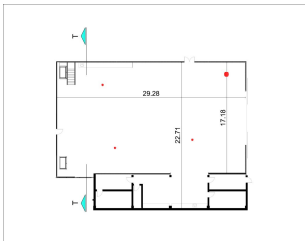
Σχήμα 42

5.2.3 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών– ΚΤΗΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ





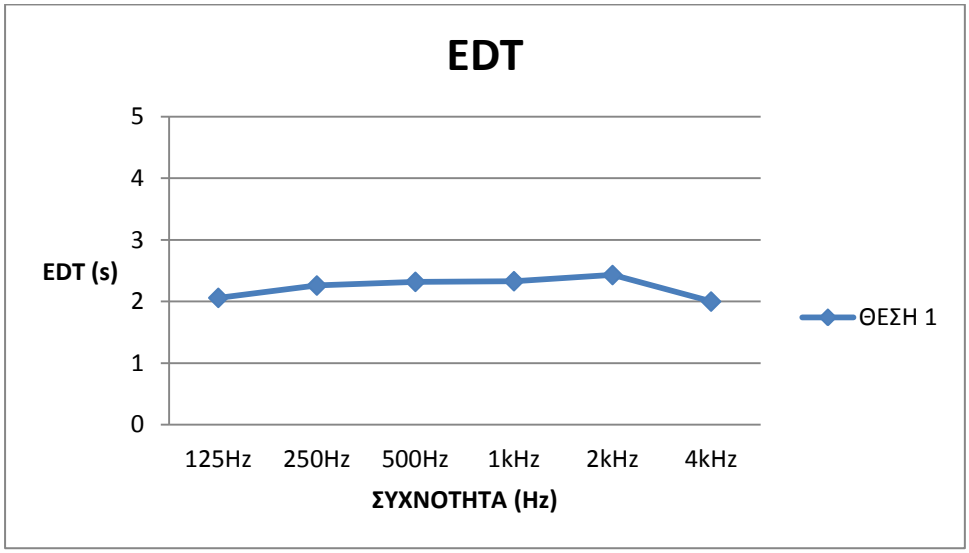


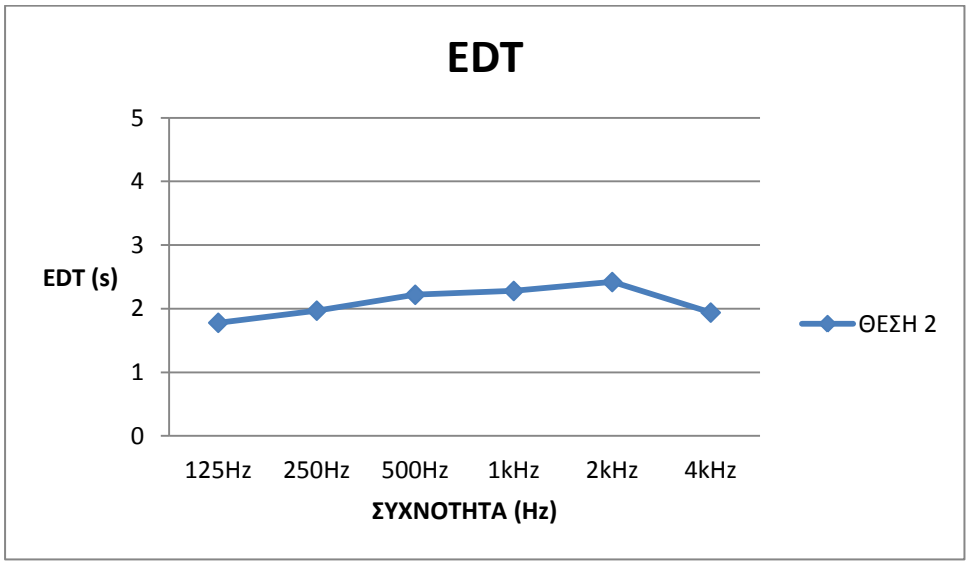


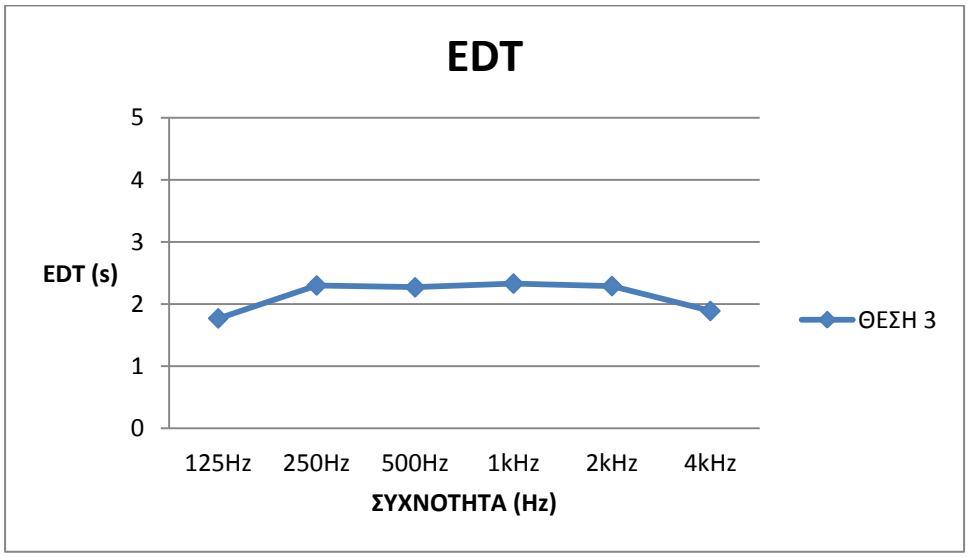
V : 6.300 m^3

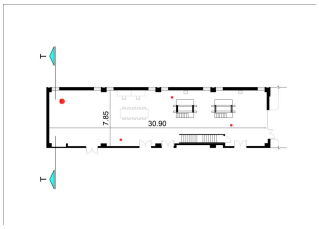
Σχήμα 43

5.2.4 Κτήριο Κ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ





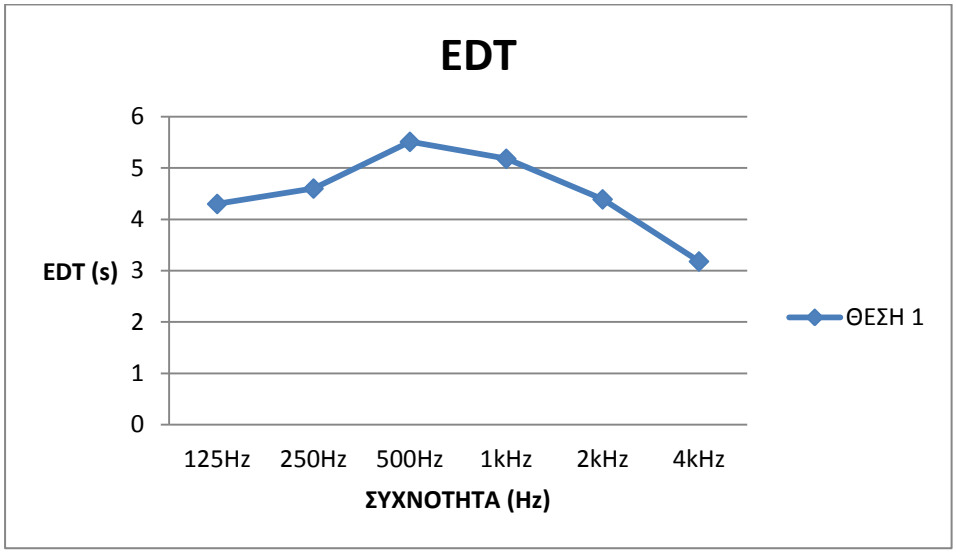


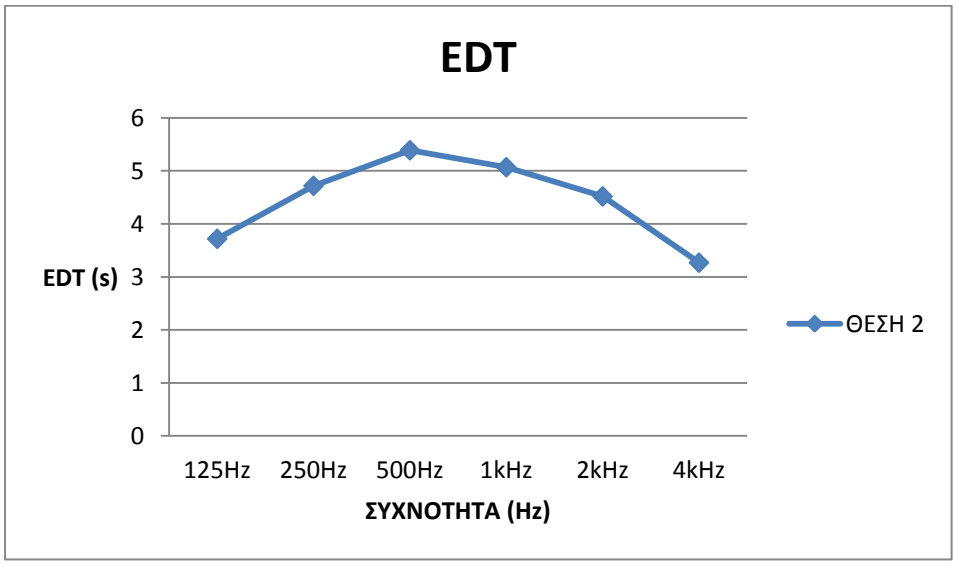


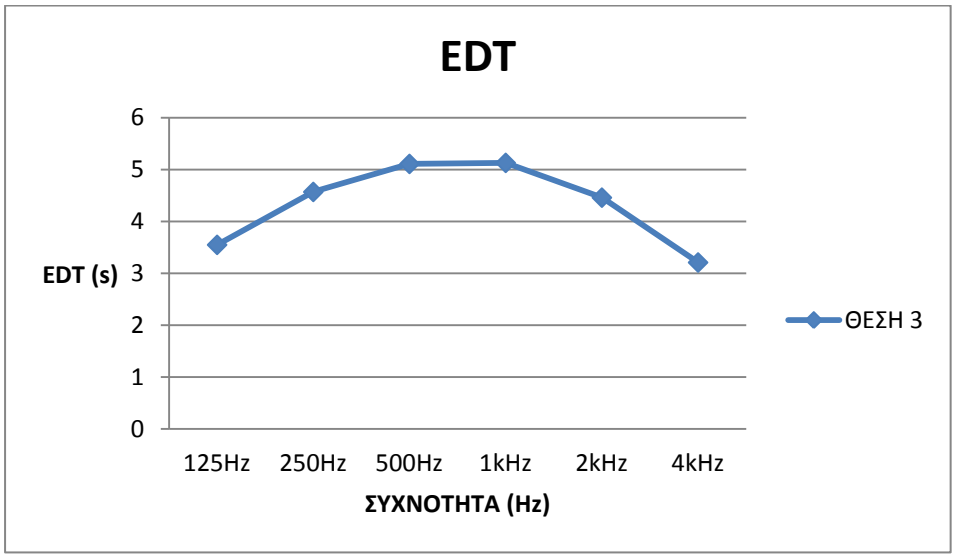
V : 2.100 m^3

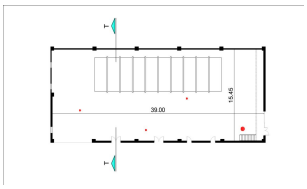
Σχήμα 44

5.2.5 Κτήριο Λ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ





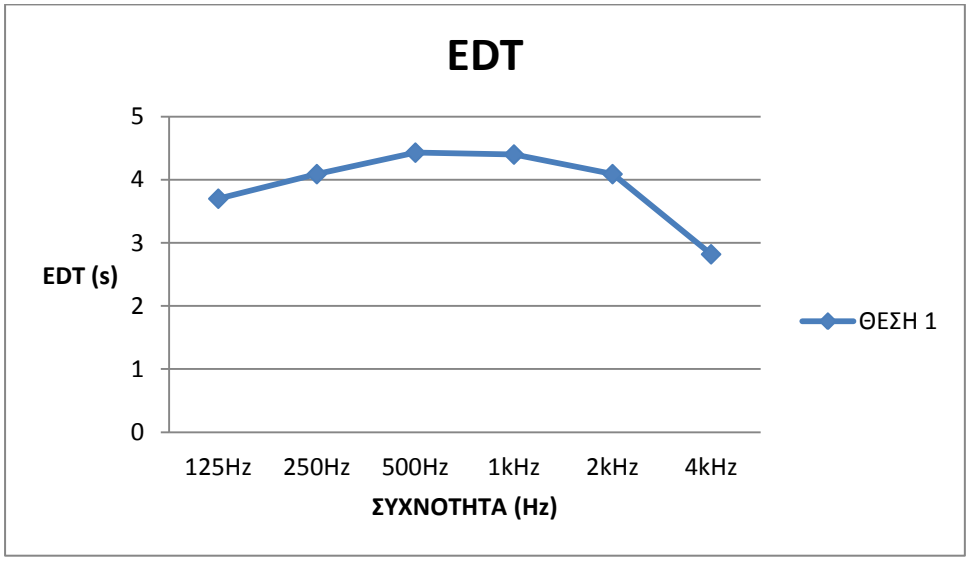


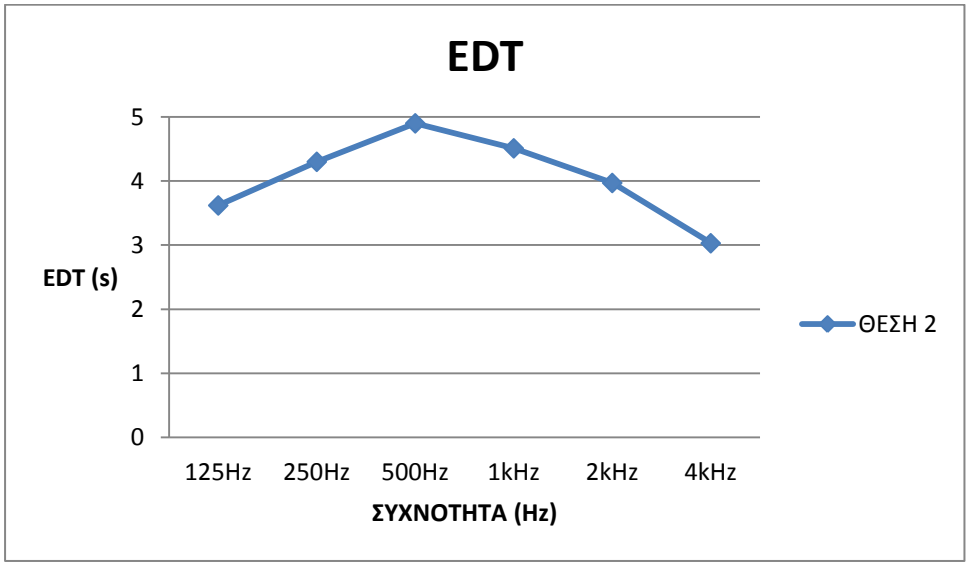


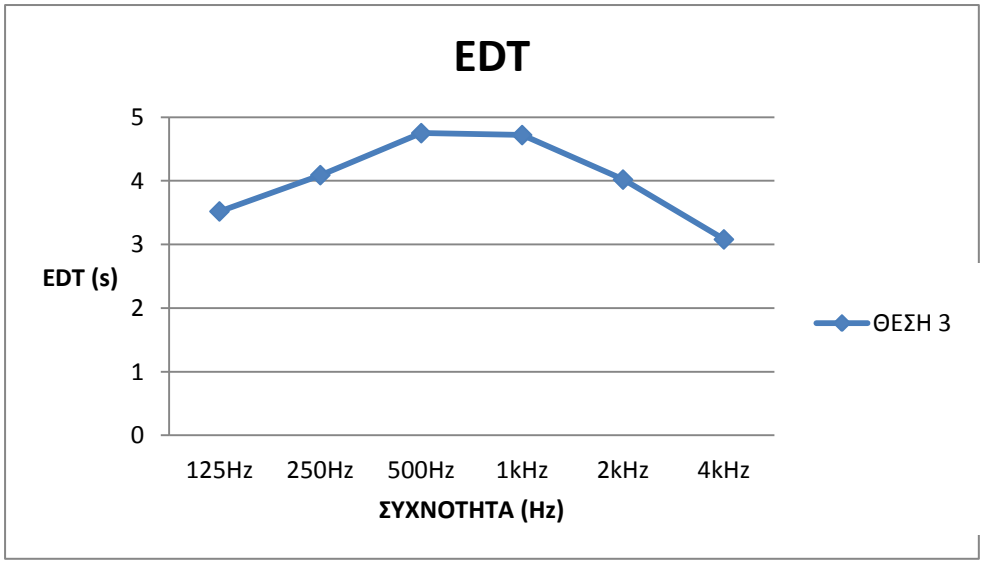
V : 5.900 m^3

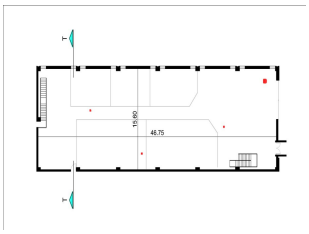
Σχήμα 45

5.2.6 Κτήριο Μ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ







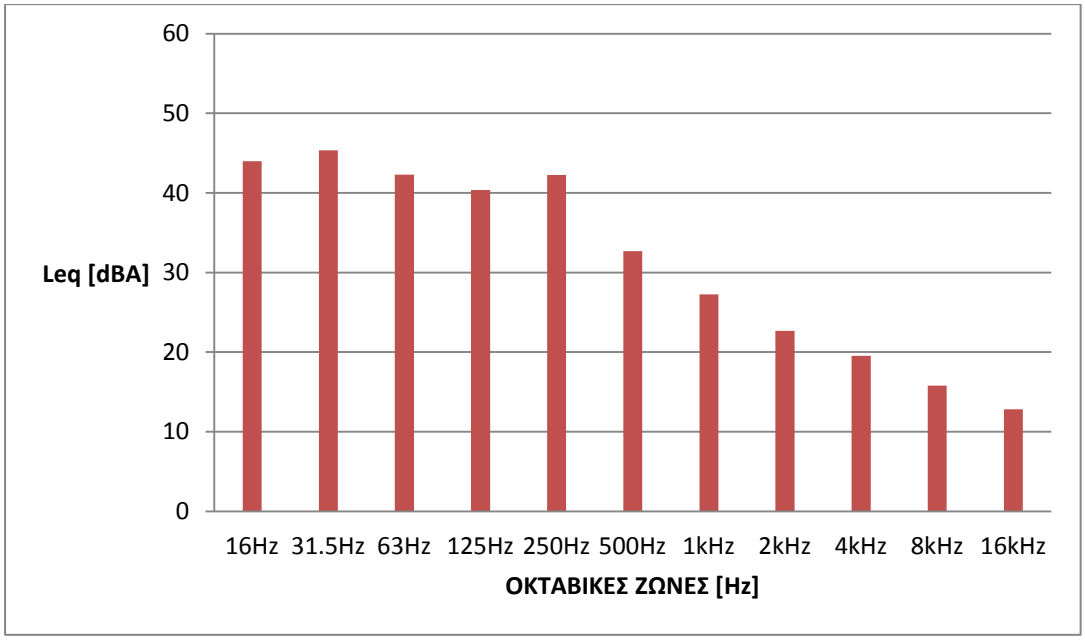


V : 7.400 m^3

Σχήμα 46

5.3 ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ

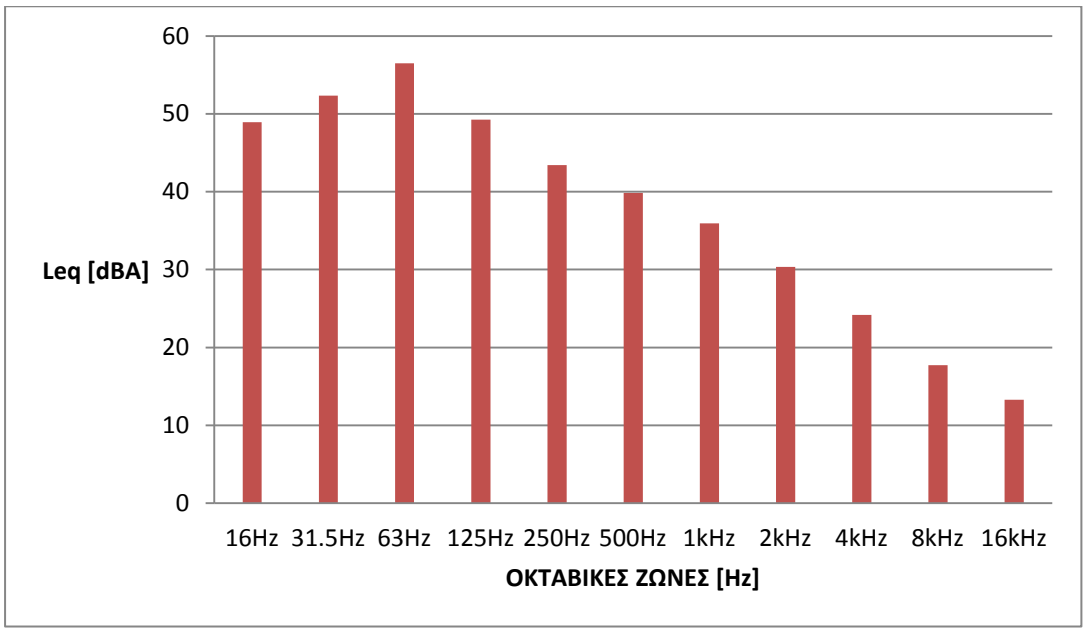
Κτήριο Κ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



LAeq [dBA] = 36 dBA

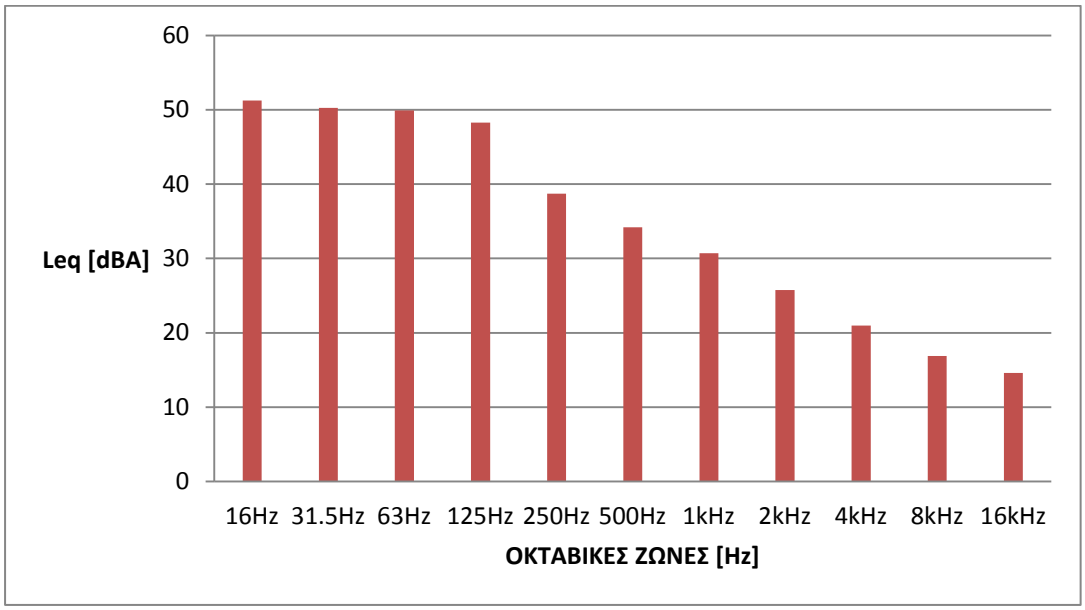
Σχήμα 47

Κτήριο Λ– ΚΤΗΡΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



LAeq [dBA] = 41,81 dBA

Σχήμα 48



LAeq [dBA] = 37,28 dBA

Σχήμα 49

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ SABINE

Εργαστήριο Σιδηροδρομικής

Απαιτούμενη Απορρόφηση Σ fα :

Για R.T ιδανικό 1.2:

1.2 = (0.16x3.000) / Σ fα > Σ fα = 400

Για R.T ιδανικό 0.85:

0.85 = (0.16x3.000) / Σ fα > Σ fα = 565

<u>ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T</u>

- 125 Hz (R.T= 0.92)

0.92 = (0.16x3.000) / Σ fα > Σ fα = 521.73

- 250 Hz (R.T= 0.92)

0.92 = (0.16x3.000) / Σ fα > Σ fα = 521.73

- 500 Hz (R.T= 1.09)

1.09 = (0.16x3.000) / Σ fα > Σ fα = 440.36

- 1000 Hz (R.T= 1.19)

1.19 = (0.16x3.000) / (Σ fα) > Σ fα = 403.36

- 2000 Hz (R.T= 1.25)

1.25 = (0.16x3.000) / (Σ fα) > Σ fα = 384

- 4000 Hz (R.T= 1.11)

1.11 = (0.16x3.000) / (Σ fα) > Σ fα = 432.43

Εργαστήριο Λιμενικών Έργων

Απαιτούμενη Απορρόφηση Σ fα :

Για R.T ιδανικό 1.7:

1.6 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 2300

Για R.T ιδανικό 1.0:

1.1 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 3345.45

ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T

- 125 Hz (R.T= 7.85)

7.85 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 468.79

- 250 Hz (R.T= 7.34)

7.34 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 501.36

- 500 Hz (R.T= 6.9)

6.9 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 533.33

- 1000 Hz (R.T= 6.15)

6.15 = (0.16x23.000) / (Σ fα + 0.003>4) > Σ fα = 598.37

- 2000 Hz (R.T= 5.33)

5.33 = (0.16x23.000) / (Σ fα + 0.007>4) > Σ fα = 690.43

- 4000 Hz (R.T= 4.11)

4.11 = (0.16x23.000) / (Σ fα + 0.02>4) > Σ fα = 895.38

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Απαιτούμενη Απορρόφηση Σ fα :

Για R.T ιδανικό 1.4:

1.4 = (0.16x6.300) / Σ fα > Σ fα = 720

Για R.T ιδανικό 0.95:

0.95 = (0.16x6.300) / Σ fα > Σ fα = 1061

ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T

- 125 Hz (R.T= 2.7)

2.7 = (0.16x6.300) / Σ fα > Σ fα = 373.31

- 250 Hz (R.T= 3.28)

3.28 = (0.16x6.300) / Σ fα > Σ fα = 307.31

- 500 Hz (R.T= 3.46)

3.46 = (0.16x6.300) / Σ fα > Σ fα = 291.32

- 1000 Hz (R.T= 3.2)

3.2 = (0.16x6.300) / (Σ fα + 0.003>4)> Σ fα = 315

- 2000 Hz (R.T= 3.48)

3.48 = (0.16x6.300) / (Σ fα + 0.007>4) > Σ fα = 289.65

- 4000 Hz (R.T= 2.87)

2.87 = (0.16x6.300) / (Σ fα + 0.02>4)> Σ fα = 351.21

Κτήριο Κ

Απαιτούμενη Απορρόφηση Σ fα :

Για R.T ιδανικό 1.1:

1.1 = (0.16x2.100) / Σ fα > Σ fα = 305.45

Για R.T ιδανικό 0.75:

0.75 = (0.16x2.100) / Σ fα > Σ fα = 448

<u>ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T</u>

- 125 Hz (R.T= 2.17)

2.17 = (0.16x2.100) / Σ fα > Σ fα = 154.83

- 250 Hz (R.T= 2.22)

2.22 = (0.16x2.100) / Σ fα > Σ fα = 151.35

- 500 Hz (R.T= 2.32)

2.32 = (0.16x2.100) / Σ fα > Σ fα = 144.82

- 1000 Hz (R.T= 2.41)

2.41 = (0.16x2.100) / (Σ fα) > Σ fα = 139.41

- 2000 Hz (R.T= 2.37)

2.37 = (0.16x2.100) / (Σ fα) > Σ fα = 141.77

- 4000 Hz (R.T= 2.04)

2.04 = (0.16x2.100) / (Σ fα) > Σ fα = 164.70

Κτήριο Λ

Απαιτούμενη Απορρόφηση Σ fα :

Για R.T ιδανικό 1.3:

1.3 = (0.16x5.900) / Σ fα > Σ fα = 726.15

Για R.T ιδανικό 0.9:

0.9 = (0.16x5.900) / Σ fα > Σ fα = 1048.8

ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T

- 125 Hz (R.T= 4.76)

4.76 = (0.16x5.900) / Σ fα > Σ fα = 198.31

- 250 Hz (R.T= 4.61)

4.61 = (0.16x5.900) / Σ fα > Σ fα = 204.77

- 500 Hz (R.T= 5.34)

5.34 = (0.16x5.900) / Σ fα > Σ fα = 176.77

- 1000 Hz (R.T= 5.09)

5.09 = (0.16x5.900) / (Σ fα) > Σ fα = 185.46

- 2000 Hz (R.T= 4.62)

4.62 = (0.16x5.900) / (Σ fα) > Σ fα = 204.32

- 4000 Hz (R.T= 3.46)

3.46 = (0.16x5.900) / (Σ fα) > Σ fα = 272.83

Κτήριο Μ

Απαιτούμενη Απορρόφηση Σ fα :

Για R.T ιδανικό 1.45:

1.45 = (0.16x7.400) / Σ fα > Σ fα = 816.55

Για R.T ιδανικό 0.98:

0.98 = (0.16x7.400) / Σ fα > Σ fα = 1208.16

ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T

- 125 Hz (R.T= 4.02)

4.02 = (0.16x7.400) / Σ fα > Σ fα = 294.52

- 250 Hz (R.T= 4.4)

4.4 = (0.16x7.400) / Σ fα > Σ fα = 269.09

- 500 Hz (R.T= 4.78)

4.78 = (0.16x7.400) / Σ fα > Σ fα = 247.69

- 1000 Hz (R.T= 4.64)

4.64 = (0.16x7.400) / (Σ fα) > Σ fα = 255.17

- 2000 Hz (R.T=4.35)

4.35 = (0.16x7.400) / (Σ fα) > Σ fα = 272.18

- 4000 Hz (R.T= 3.3)

3.3 = (0.16x7.400) / (Σ fα) > Σ fα = 358.78

5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ NOISE REDUCTION (N. R.)

N.R. = 10 log * (A2 / A1)

Όπου :

N.R.: noise reduction [dB]

A2: total room absorption after treatment [m^2 Sab]

A1:total room absorption before treatment [m^2 Sab]

Υπολογισμοί Noise Reduction για όλες τις αίθουσες σε όλες τις συχνότητες, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz.

Εργαστήριο Σιδηροδρομικής

Για R.T ιδανικό 1.2 > Σ fα = 400

- 125 Hz (Σ fα = 521.73)

N.R. = 10 log * (400 / 521.73) = -1.15 dB ≈ -1 dB

- 250 Hz (Σ fα = 521.73)

N.R. = 10 log * (400 /521.73) = -1.15 dB ≈ 1 dB

- 500 Hz (Σ fα = 440.36)

N.R. = 10 log * (400 /440.36) = -0.41 dB ≈ 0 dB

- 1000 Hz (Σ fα = 403.36)

N.R. = 10 log * (400 / 403.36) = -0.03 dB ≈ 0 dB

- 2000 Hz (Σ fα = 384)

N.R. = 10 log * (400 / 384) = -0.18 dB ≈ 0 dB

- 4000 Hz (Σ fα = 432.43)

N.R. = 10 log * (400 / 432.43) = -0.33 dB ≈ 0 dB

Εργαστήριο Λιμενικών Έργων

Για R.T ιδανικό 1.7 > Σ fα = 2300

- 125 Hz (Σ fα = 468.79)

N.R. = 10 log * (2300 / 468.79) = 6.9 dB ≈ 7 dB

- 250 Hz (Σ fα = 501.36)

N.R. = 10 log * (2300 /501.36) = 6.61 dB ≈ 6.5 dB

- 500 Hz (Σ fα = 533.33)

N.R. = 10 log * (2300 /533.33) = 6.34 dB ≈ 6 dB

- 1000 Hz (Σ fα = 598.37)

N.R. = 10 log * (2300 / 598.37) = 5.84 dB ≈ 6 dB

- 2000 Hz (Σ fα = 690.43)

N.R. = 10 log * (2300 / 690.43) = 5.22 dB ≈ 5 dB

- 4000 Hz (Σ fα = 895.38)

N.R. = 10 log * (2300 / 895.38) = 4.09 dB ≈ 4 dB

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Για R.T ιδανικό 1.4 > Σ fα = 720

- 125 Hz (Σ fα = 373.31)

N.R. = 10 log * (720 / 373.31) = 2.85 dB ≈ 3 dB

- 250 Hz (Σ fα = 307.31)

N.R. = 10 log * (720 /307.31) = 3.7 dB ≈ 4dB

- 500 Hz (Σ fα = 291.32)

N.R. = 10 log * (720 /291.32) = 3.92 dB ≈ 4 dB

- 1000 Hz (Σ fα = 315)

N.R. = 10 log * (720 / 315) = 3.6 dB ≈ 3.5 dB

- 2000 Hz (Σ fα = 289.65)

N.R. = 10 log * (720 / 289.65) = 3.9 dB ≈ 4 dB

- 4000 Hz (Σ fα = 351.21)

N.R. = 10 log * (720 / 351.21) = 3.11 dB ≈ 3 dB

Κτήριο Κ

Για R.T ιδανικό 1.1 > Σ fα = 305.45

- 125 Hz (Σ fα = 154.83)

N.R. = 10 log * (305.45 /154.83) = 2.95 dB ≈ 3 dB

- 250 Hz (Σ fα = 151.35)

N.R. = 10 log * (305.45 /151.35) = 3.04 dB ≈ 3 dB

- 500 Hz (Σ fα = 144.82)

N.R. = 10 log * (305.45 / 144.82) = 3.24 dB ≈ 3 dB

- 1000 Hz (Σ fα = 139.41)

N.R. = 10 log * (305.45 / 139.41) = 3.4 dB ≈ 3.5 dB

- 2000 Hz (Σ fα = 141.77)

N.R. = 10 log * (305.45 / 141.77) = 3.33 dB ≈ 3 dB

- 4000 Hz (Σ fα = 164.70)

N.R. = 10 log * (305.45 / 164.70) = 2.68 dB ≈ 2.5 dB

Κτήριο Λ

Για R.T ιδανικό 1.3 > Σ fα = 726.15

- 125 Hz (Σ fα = 198.31)

N.R. = 10 log * (726.15 / 198.31) = 5.63 dB ≈ 5.5 dB

- 250 Hz (Σ fα = 204.77)

N.R. = 10 log * (726.15 /204.77) = 5.5 dB ≈ 5.5 dB

- 500 Hz (Σ fα = 176.77)

N.R. = 10 log * (726.15 /176.77) = 6.1 dB ≈ 6 dB

- 1000 Hz (Σ fα = 185.46)

N.R. = 10 log * (726.15 / 185.46) = 5.9 dB ≈ 6 dB

- 2000 Hz (Σ fα = 204.32)

N.R. = 10 log * (726.15 / 204.32) = 5.5 dB ≈ 5.5 dB

- 4000 Hz (Σ fα = 272.83)

N.R. = 10 log * (726.15 / 272.83) = 4.2 dB ≈ 4 dB

Κτήριο Μ

Για R.T ιδανικό 1.45 > Σ fα = 816.55

- 125 Hz (Σ fα = 294.52)

N.R. = 10 log * (816.55 / 294.52) = 4.4 dB ≈ 4.5 dB

- 250 Hz (Σ fα = 269.09)

N.R. = 10 log * (816.55 /269.09) = 4.8 dB ≈ 5 dB

- 500 Hz (Σ fα = 247.69)

N.R. = 10 log * (816.55 /247.69) = 5.1 dB ≈ 5 dB

- 1000 Hz (Σ fα = 255.17)

N.R. = 10 log * (816.55 / 255.17) = 5 dB

- 2000 Hz (Σ fα = 272.18)

N.R. = 10 log * (816.55 / 272.18) = 4.8 dB ≈ 5 dB

- 4000 Hz (Σ fα = 358.78)

N.R. = 10 log * (816.55 / 358.78) = 3.5 dB

Υπολογισμοί Noise Reduction στις μεσαίες συχνότητες, mid (500Hz , 1000 Hz).

Εργαστήριο Σιδηροδρομικής

N.R. = 10 log * (400 / 421.86) = -0.23 dB

Εργαστήριο Λιμενικών έργων

N.R. = 10 log * (2,300 / 565.85) = 6.09 dB ≈ 6 dB

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

N.R. = 10 log * (720 / 303.16) = 3.76 dB ≈ 4 dB

Κτήριο Κ

N.R. = 10 log * (305.45 / 142.12) = 3.32 dB ≈ 3 dB

Κτήριο Λ

N.R. = 10 log * (726.15 / 181.12) = 6.03 dB ≈ 6 dB

Κτήριο Μ

N.R. = 10 log * (816.55 / 502.86) = 2.11 dB ≈ 2 dB

Πίνακας 1. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΝΑ ΠΡΟΣΘΕΘΕΙ

ΑΙΘΟΥΣΕΣ	ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ A mid (500Hz , 1000 Hz)	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ A	ΔΙΑΦΟΡΑ(ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΝΑ ΠΡΟΣΤΕΘΕΙ A [m^2 Sab])
1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ	421.86	400	-21.86
2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	565.85	2,300	1734.15
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	303.16	720	416.84
4. ΚΤΗΡΙΟ Κ	142.12	305.45	163.33
5. ΚΤΗΡΙΟ Λ	181.12	726.15	545.03
6. ΚΤΗΡΙΟ Μ	502.86	816.55	313.69

Α : απορρόφηση

6. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ενότητα 1 : Μορφή της καμπύλης των διαγραμμάτων.

Αρχικά θα σχολιάσουμε τη μορφή της καμπύλης των διαγραμμάτων που προκύψανε από τις μετρήσεις που κάναμε στις έξι αίθουσες. Τα διαγράμματα αφορούν το χρόνο απόσβεσης του ήχου από την πηγή ενέργειας.

Στις υψηλές συχνότητες ο αέρας γίνεται ηχοαπορροφητικό υλικό. Παρατηρούμε ότι ο χρόνος αντήχησης στις υψηλές συχνότητες είναι μειωμένος σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες, των 500Hz και 1000Hz. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη σχετική αυξημένη ηχοαπορρόφηση του αέρα στις υψηλές συχνότητες. Το ίδιο παρατηρούμε να συμβαίνει και στις μετρήσεις του EDT.

Ο χρόνος απόσβεσης λοιπόν του ήχου στις υψηλές συχνότητες είναι σχετικά μειωμένος σε σχέση με τις χαμηλότερες, που σημαίνει ότι ο αέρας λειτουργεί ως απορροφητικό υλικό.

Στις χαμηλές συχνότητες δεν υπάρχουν απορροφητικά στο χώρο. Παρατηρούμε ότι ο χρόνος αντήχησης [RT] στις χαμηλές συχνότητες είναι σχετικά μειωμένος σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες και δεν υπάρχουν απορροφητικά στους συγκεκριμένους χώρους που μετρήσαμε. Παραδείγματος χάρην, στην αίθουσα Λιμενικών Έργων όπου κυριαρχούν μεγάλες υδάτινες επιφάνειες καθώς και επιχρισμένες παρειές από μπετόν ή πληθοδομή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το Κτήριο Κ, Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας στα κτήρια Μηχανολόγων Μηχανικών, το οποίο είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα κτήρια που μετρήσαμε. Στην αίθουσα αυτή, στις χαμηλές συχνότητες όπου το μήκος κύματος του ήχου είναι σχετικά μεγάλο ως προς τις διαστάσεις της αίθουσας, η μέτρηση είναι εξαρτημένη από τη θέση του μικροφώνου. Δηλαδή, ο συντονισμός που αναπτύσσεται στο χώρο και δημιουργεί κόμβους και κυλίες, δημιουργεί ανομοιομορφία στο ηχητικό πεδίο. Συνεπώς αυτή η εξάρτηση της μέτρησης από τη θέση του μικροφώνου, κάνει τη μέτρηση σχετικά λιγότερο αξιόπιστη.

Αντίθετα, στις υψηλότερες συχνότητες, το φαινόμενο αυτό εξασθενεί λόγω του ότι το μήκος κύματος ήχου είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με τις διαστάσεις του χώρου.

Παρατηρούμε μια γενική τάση ο χρόνος αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες να είναι μειωμένος σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει απορρόφηση σε αυτή την περιοχή του φάσματος. Αυτό οφείλεται σε μεμβράνες που υπάρχουν στο εσωτερικό των αιθουσών που προκαλούν την απορρόφηση αυτή, σε αντίθεση για παράδειγμα με το εργαστήριο Λιμενικών Έργων που κυριαρχούν υδάτινες επιφάνειες καθώς και το σκληρό ανακλαστικό κέλυφος του χώρου. Υπάρχουν πολλά και διάφορα μηχανήματα, δοκίμια και άλλα, τα οποία ισοδυναμούν με ηχοαπορροφητικά τύπου μεμβράνης. Συνεπώς, εξηγείται γιατί στις χαμηλές συχνότητες παρατηρούμε αυξημένη ηχοαπορρόφηση, δηλαδή μείωση του χρόνου αντήχησης.

Ενότητα 2 : Συγκρίνοντας τον χρόνο αντήχησης [RT] με το χρόνο απόσβεσης πρώτων ανακλάσεων [EDT].

Όταν υπάρχει τέλεια διάχυση σε ένα χώρο οι τιμές του EDT και χρόνου αντήχησης RT συγκλίνουν. Στην αντίθετη περίπτωση κάθε παράμετρος έχει τις δικές της τιμές.

Για κάθε μία αίθουσα παρατηρούμε ότι οι μετρηθείσες τιμές του κλασικού χρόνου αντήχησης T30 και του χρόνου απόσβεσης των πρώτων ανακλάσεων EDT, συγκλίνουν.

Αυτό σημαίνει ότι σε όλες τις αίθουσες επικρατεί αρκετή διάχυση, πράγμα το οποίο επαληθεύεται αν ρίξει κανείς μια ματιά στις διάφορες συσκευές εγκατάστασης στους χώρους.

Ενότητα 3 : Noise Reduction.

Στις μεσαίες συχνότητες για όλες τις αίθουσες, εφόσον βάλουμε τη σωστή ηχοαπορρόφηση σε κάθε μία από αυτές, ο θόρυβος που παράγεται μέσα στην αίθουσα μπορεί να μειωθεί από 2 μέχρι 6 dBA. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να μειώσουμε την ενέργεια του ήχου εις το ήμισι ή ακόμα και να την υποδιπλασιάσουμε.

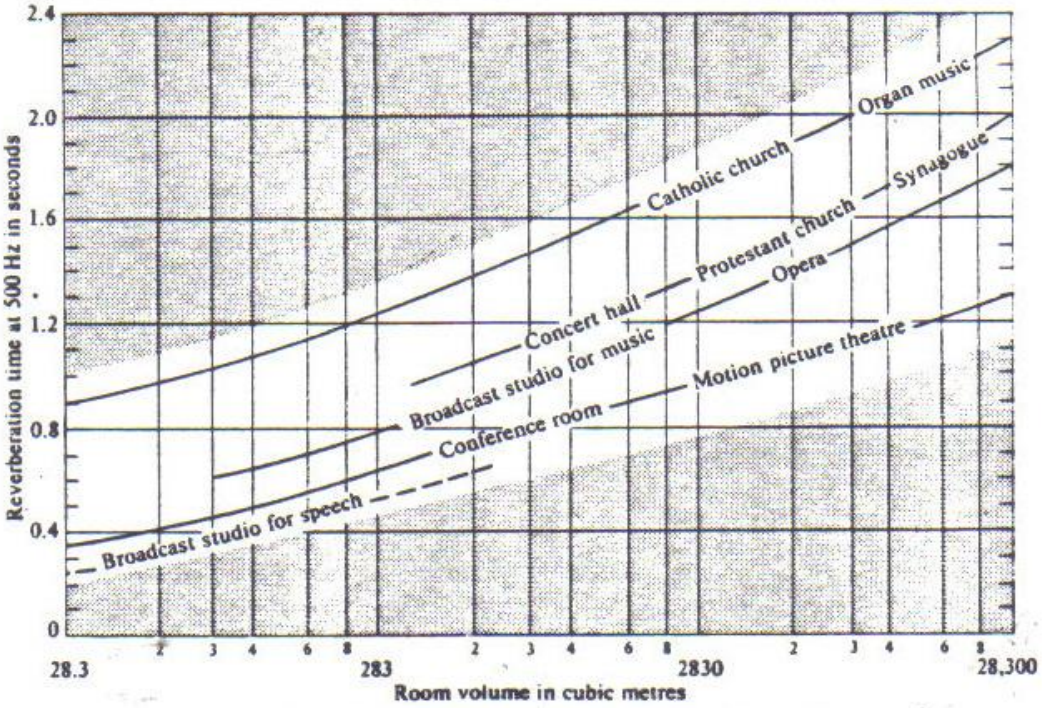
7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια ευρύτερη μελέτη και σχεδιασμό για την εργαστηριακή αίθουσα των Λιμενικών έργων. Δεδομένου του μεγάλου όγκου της αίθουσας, σε σχέση με τις υπόλοιπες πέντε αίθουσες που εξετάσαμε κατόπιν μετρήσεων, μας προσέλκυσε το ενδιαφέρον να την μελετήσουμε εις βάθος.

Γνωρίζοντας τον υψηλό χρόνο αντήχησης στο χώρο, θα προτείνουμε κάποιες λύσεις που θα μειώσουν τη διαφορά αυτή και θα μας φέρουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Παρακάτω, εξετάζοντας όλα τα απαραίτητα στοιχεία, παρατείθενται δυο πιθανές λύσεις, επιλέγοντας κατάλληλα ηχοαπορροφητικά υλικά για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Το παρακάτω διάγραμμα παριστά γραφικά τους ιδανικούς χρόνους αντήχησης κατά τον Beranek για την συχνότητα των 500 Hz σε συνάρτηση με τον όγκο της αίθουσας. Οι ιδανικοί χρόνοι αντήχησης για μουσική και ομιλία σε σχέση με αυτών των 500 Hz κατά τον Beranek δίνονται από το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 50

7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΑΡΧΟΝΤΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

Ο χώρος στον οποίο πρόκειται να εργασθούμε είναι ένα κτήριο το οποίο ανήκει στο Ε.Μ.Π. που ευρίσκεται στον Πανεπιστημιακό χώρο του Ζωγράφου. Είναι ένα εργαστήριο το οποίο χρησιμοποιείται από τους σπουδαστές Ναυπηγούς για τις μελέτες και τις εργασίες τους, γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να έχουν ένα τόσο μεγάλο χώρο.

Έχει δύο μεγάλες δεξαμενές (των 566.8τ.μ. και 617.8τ.μ.),το γεγονός αυτό είναι σχετικό, διότι θέλουμε να παρέμβουμε σε αυτές έτσι ώστε η απορρόφηση και τα χαρακτηριστικά τους να παραμείνουν τα ίδια, χωρίς καμία αλλαγή σε αυτές.

Σχήμα 51

Έχει όγκο 23.000κ.μ. (εμβαδό 2.449,42τ.μ. και 9.4μ. ύψος).

Τα κύρια υλικά των επιφανειών αποτελούνται κυρίως από μπετό και ''plaster''για τους τοίχους, τσιμέντο και νερό (αφορά την επιφάνεια των δεξαμενών) στο δάπεδο και μπετό και ''plaster panels'' στην οροφή.

Διαστάσεις: Μήκος: 79,10μ. Πλάτος: 39,80μ. Υψος: 10μ.

Οι συντελεστές απορρόφησης των υλικών αυτών είναι πολύ χαμηλές και αυτός είναι ο κύριος λόγος της χαμηλής απορρόφησης και του υψηλού χρόνου αντήχησης στο χώρο αυτό.

Για τον όγκο του χώρου αυτού (σύμφωνα με τους πίνακες), απαιτείται χρόνος αντήχησης μεταξύ των **1.0 και 1,7 sec** , αλλά ο μετρηθείς χρόνος αντήχησης είναι πολύ υψηλότερος (μεταξύ των 4,11 και 7.85 sec).

<u>Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η</u> :

Όγκος : 23.000κ.μ.

Επιφάνεια : 2449.42τ.μ.

Ύψος : 9.4μ.

Επιφάνεια πλευρών: 2043,56τ.μ.

Επιφάνεια οροφής: 1656 τ.μ.

Επιφάνεια χωρίς την επιφάνεια της

Δεξαμενής : 1264,6τ.μ.

Επιφάνεια δεξαμενής: 1184,8τ.μ.

Συνολική Επιφάνεια : **6148,96τ.μ.**

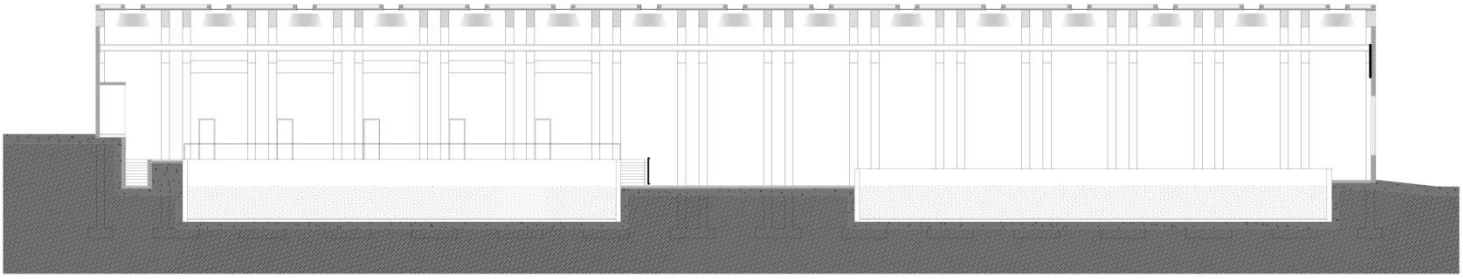
Ιδανικός Χρόνος Αντήχησης:

Μεταξύ των 1,0 και 1,7 sec.

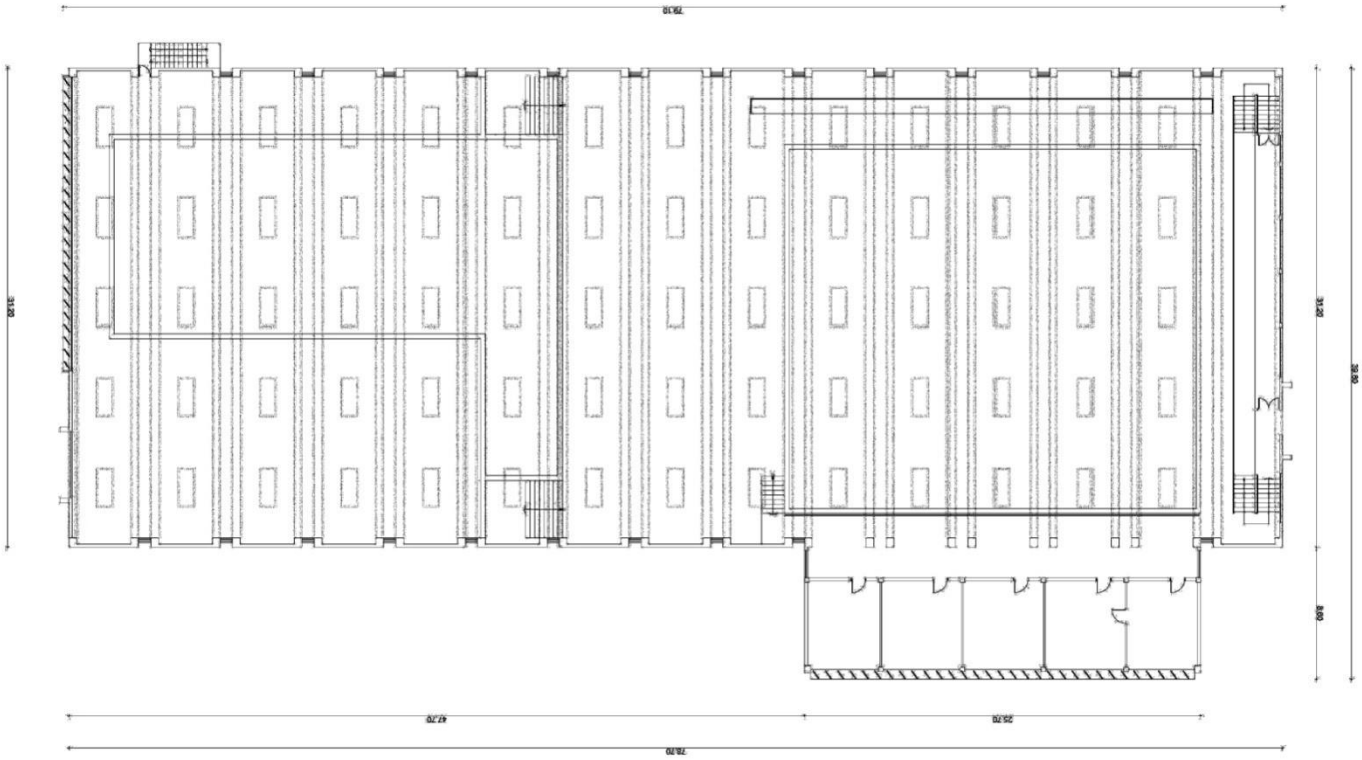
Πραγματικός Χρόνος Αντήχησης:

Μεταξύ των 4,11 και 7,85 sec.

Σχήμα 53



ΤΟΜΗ Α-Α



ΚΑΤΟΨΗ

7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

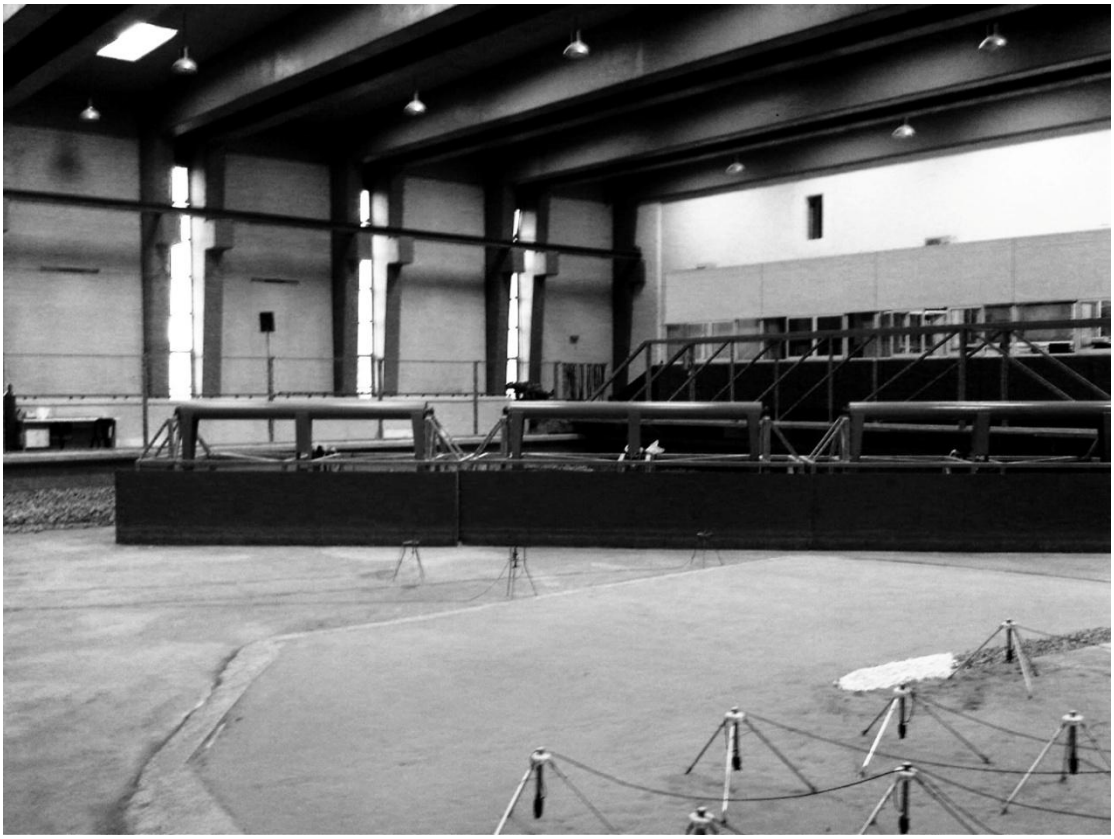
Σύμφωνα με τους πίνακες , για ένα χώρο με όγκο 23.000κ.μ. ο ιδανικός χρόνος αντήχησης κυμαίνεται μεταξύ 1,0 έως 1,7 sec, αλλά λόγω του σχήματος του χώρου και των υλικών κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν για τις επιφάνειες ο χρόνος αντήχησης κυμαίνεται μεταξύ των 4,11 και 7,85 sec (αναλόγως των συχνοτήτων). Αυτό σημαίνει ότι η πραγματική απορρόφηση των ήδη χρησιμοποιηθέντων υλικών είναι πολύ χαμηλή. Επομένως είναι αναγκαίο όπως ο χρόνος αντήχησης θα πρέπει να μειωθεί κατά περίπου 4sec και αυτό είναι μία μεγάλη τιμή μείωσης.

Σχήμα 54

Υπάρχουν δύο πιθανές λύσεις:

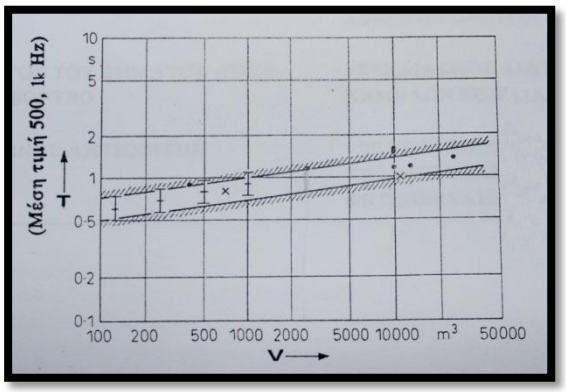
Να τροποποιήσουμε το σχήμα του χώρου για να βελτιώσουμε την ακουστική και το ‘’βήμα’’ του ήχου στο χώρο αυτό ή να αλλάξουμε τα υλικά των επιφανειών για να έχουμε μεγαλύτερη απορρόφηση. Επίσης μπορούμε να συνδυάσουμε και τις δύο λύσεις, αλλά η λειτουργικότητα του χώρου καθιστά πολύ δύσκολη την αλλαγή του σχήματος ή τη μείωση της επιφάνειας του χώρου. Θα χρησιμοποιήσουμε ένα συνδυασμό και των δύο λύσεων, αλλά η επιδιωκόμενη λύση είναι η σωστή επιλογή

των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε επιφάνεια για να πετύχουμε την επιθυμητή απορρόφηση.



Σχήμα 55

Γνωρίζοντας τον πραγματικό χρόνο αντήχησης του χώρου, τον όγκο αυτού και τον ιδανικό χρόνο αντήχησης , μπορούμε να υπολογίσουμε την επιθυμητή απορρόφηση (για κάθε συχνότητα):



Σχήμα 56

Όγκος : 23.000κ.μ.

Χρόνος Αντήχησης (R.T) Ιδανικός: 1,0 έως 1,7sec.

Απαιτούμενη Απορρόφηση:

Για R.T ιδανικό 1.7:

1.7 = (0.17x23.000) / Σ fα > Σ fα = 2164

για R.T ιδανικό 1.0:

1.0 = (0.1x23.000) / Σ fα > Σ fα = 3680

<u>ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ για τον R.T</u>

- 125 Hz (R.T= 7,85)

7.85 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 468,79

- 250 Hz (R.T= 7.34)

7,34 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 501,36

- 500 Hz (R.T= 6,9)

6,9 = (0.16x23.000) / Σ fα > Σ fα = 533,33

- 1000 Hz (R.T= 6,15)

6.15 = (0.16x23.000) / (Σ fα + 0.003>4) > Σ fα = 598,37

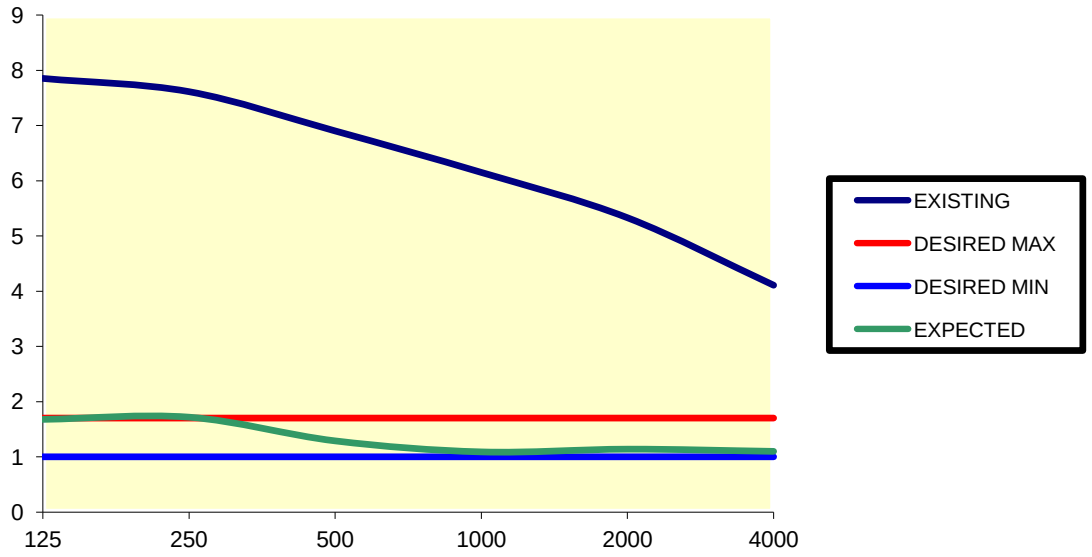
- 2000 Hz (R.T= 5,33)

5,33 = (0.16x23.000) / (Σ fα + 0.007>4) > Σ fα = 690.43

- 4000 Hz (R.T= 4,11)

4,11 = (0.16x23.000) / (Σ fα + 0.02>4) > Σ fα = 895,38

Μέσος όρος: 31.58



Σχήμα 57

Α/Α	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	V (m^3)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ [RT]					
			125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1	ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ	23.000	7.85	7.34	6.9	6.15	5.33	4.11
2	ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ	23.000	1.0 – 1.7					
3	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	23.000	1.68	1.72	1.29	1.09	1.14	1.1

Σχήμα 58

7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

7.3.1 Προτεινόμενη Λύση 1

Για να επιλύσουμε το πρόβλημα ενός πολύ υψηλού χρόνου αντήχησης , αναγκαίο είναι να χρησιμοποιήσουμε υλικά υψηλής απορροφητικότητας και να προσπαθήσουμε να αυξήσουμε την επιφάνεια εφαρμογής αυτών. Επιλέξαμε το υλικό που αποκαλείται ‘’Stereo” το οποίο αποτελείται από μία σειρά από ‘’Panels’’ τοποθετημένα κατακόρυφα μεταξύ των δεσμών, έτσι ώστε οπτικά η επιφάνεια της οροφής να είναι επίπεδη, αλλά στην πραγματικότητα δεν είναι. Με αυτόν τον τρόπο η καλυπτόμενη επιφάνεια του υλικού είναι πιο μεγάλη από το εάν τα τοποθετούσαμε με οριζόντιο τρόπο.

Με τον τρόπο αυτό της τοποθέτησης του υλικού και λόγω της υψηλής του απορροφητικότητας πλησιάζουμε τον επιθυμητό χρόνο αντήχησης. Επίσης χρησιμοποιούμε το ίδιο υλικό και στους τοίχους μεταξύ των κυρίων δομών, αλλά σε διαφορετικό μέγεθος και σχήμα.

Διατηρούμε την υπάρχουσα δομή του χώρου με τα παράθυρα, τις δεξαμενές και το δάπεδο με το υπάρχον μπετόν.

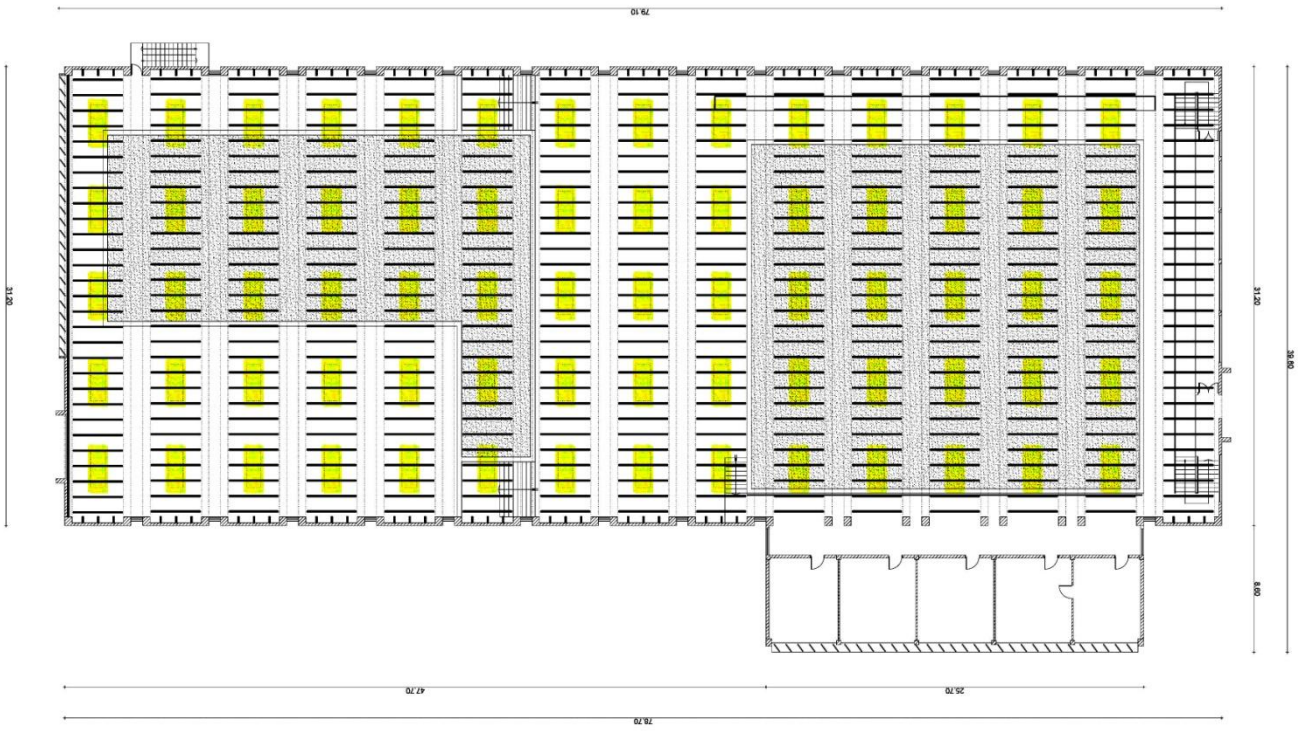
ΥΛΙΚΑ

Stereo (κρεμασμένο από την οροφή)	628,32τ.μ.	1,7	κάθε γραμμή
Stereo (στον τοίχο ΑΒ)	211,8τ.μ.	2	_,,_
Stereo (στον τοίχο CD)	141,2τ.μ.	2	_,,_
ΣΥΝΟΛΟ ‘’Stereo”	981,32τ.μ.		

TR-TBE(κρεμασμένο από την οροφή)	907,2τ.μ.	42	κάθε γραμμή
TR-TBE(στον τοίχο ΑΒ)	129.6τ.μ	6	_,,_
TR-TBE(στον τοίχο CD)	86,4τ.μ.	6	_,,_
ΣΥΝΟΛΟ ‘’TR-TBE’’	1123,2τ.μ.		

Acu-PACK(στον τοίχο AD)	102τ.μ.
Acu-PACK(στον τοίχο BC)	127,5τ.μ.
ΣΥΝΟΛΟ Acu- PACK	229,5τ.μ.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΟΜΗ Α-Α



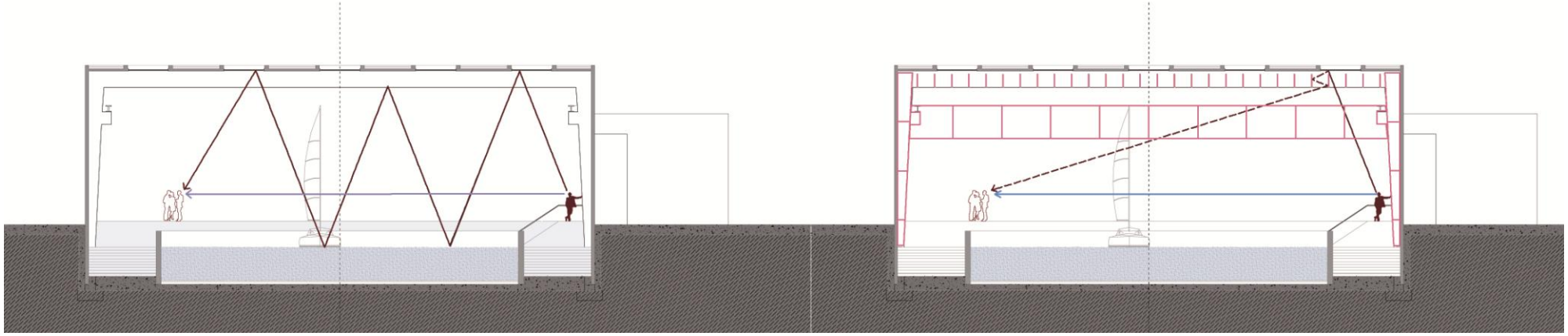
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

	125	250	500	1000	2000	4000
Ae (actual absorption)	458.79	501.36	533.3	598.37	690.43	895.38
Ad (ideal absorption)	2164 –> 3680					
An (absorption needed) (A = Ad – Ae)	1705.21–>3221.21	1662.64–>3178.74	1630.7–>3146.7	1565.63–>3081.63	1573.57–>3089.57	1268.62–>2784.62

	Surfaces (m2)	125	250	500	1000	2000	4000
TOTAL STEREO	982.32	480.84	942.06	1570.48	2119.63	2031.39	2031.39
TOTAL TR-TBE	907.2	889.06	453.6	544.2	508.03	889.06	362.88
TOTAL ACUPACK	229.5	149.18	126.22	80.33	34.42	22.95	22.95

An TOTAL MATERIALS	2119.02	1519.08	1521.88	1705.01	2662.08	2943.4	2417.22
A concrete	229.5	2.29	2.29	4.59	4.59	4.59	6.885
A final = An + Ae – A concrete		2187.24	2128.95	2844.11	3255.86	3629.24	3305.72
Final R. T.		1.68	1.72	1.29	1.09	1.14	1.1

A/A	Location	Material	S (m2)	Absorption Coefficient (α)						Product (fα)					
				125	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*
1	Ceiling	Concrete	1656	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	16.56	16.56	33.12	33.12	33.12	49.68
2	Ceiling	**Stereo (suspended)**	628.32	0.49	0.96	1.58	2.16	2.04	2.04	307.87	603.18	992.74	1357.1	1281.7	1281.7
3	Ceiling	**TR-TBE (suspended)**	907.2	0.98	0.5	0.65	0.56	0.45	0.4	889.06	453.6	544.2	508.03	408.24	362.88
4	Side wall BC	**AcuPACK (wall finished)**	127.5	0.65	0.55	0.35	0.15	0.1	0.1	82.88	70.12	44.63	19.12	12.75	12.75
5	Side wall AD	**AcuPACK (wall finished)**	102	0.65	0.55	0.35	0.15	0.1	0.1	66.3	56.1	35.7	15.3	10.2	10.2
6	Side wall AB	**Stereo (free)**	211.8	0.49	0.96	1.58	2.16	2.04	2.04	103.78	203.33	334.64	457.48	432.07	432.07
7	Side wall BC	**Stereo (free)**	141.2	0.49	0.96	1.58	2.16	2.04	2.04	69.18	135.55	223.09	304.99	288.05	288.05
8	Side wall AB	**TR-TBE (free)**	129.6	0.98	0.5	0.65	0.56	0.45	0.4	127	64.8	84.24	72.57	58.32	51.84
9	Side wall BC	**TR-TBE (free)**	86.4	0.98	0.5	0.65	0.56	0.45	0.4	84.67	43.2	56.16	48.38	38.88	34.56
				Σ fα						1730.74	1629.88	2315.4	2782.97	2530.21	2474.05
				Reverberation Time						1.68	1.72	1.29	1.09	1.14	1.1

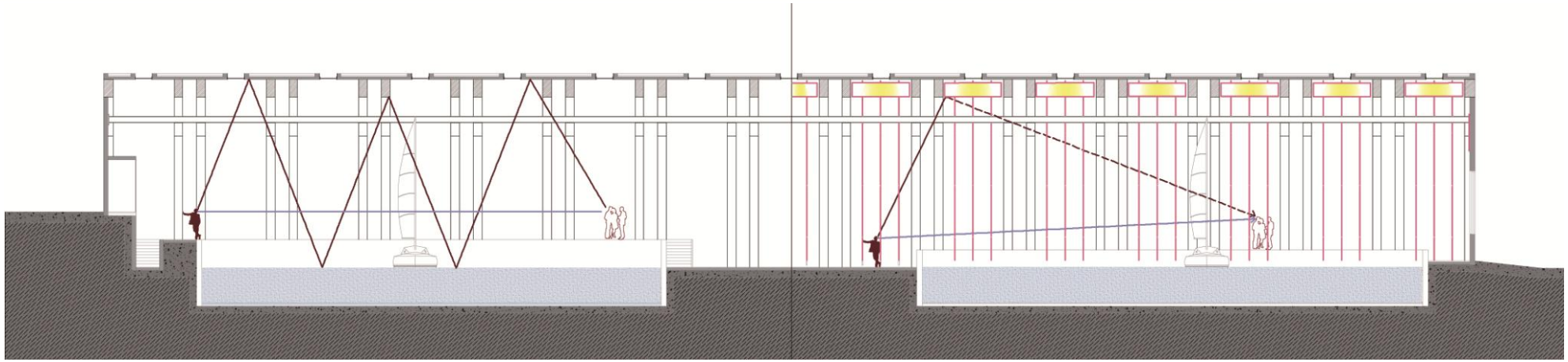


With these schematic drawings we can see how , with the placed panels reduces significantly the ECHO, increasing the absorption of the room in great quantity.

The reflected sound (represented with the red arrow)
Direct sound (represented with blue arrow)
STEREO panels (represented in pink)
Speaker (S)
Receiver (B)

		Type	Lenght	SB´ - SB	ECO
CASE 1	Actual	Direct	23.4	37.4	YES
		Indirect	60.8		
	Proposed	Direct	23.4	8.6	NO
		Indirect	32		

		Type	Lenght	SB´ - SB	ECO
CASE 2	Actual	Direct	23.25	37.8	YES
		Indirect	61.1		
	Proposed	Direct	21.8	6.3	NO
		Indirect	28.1		



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΤΕΧΑΑ

‘’STEREO ACOUSTIC PANELS’’ και ΟΘΟΝΕΣ για ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ και ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ.

Το υλικό ‘’**Stereo’’** με τα δικτυωτά ακουστικά ‘’panels’’ και τις ‘’οθόνες’’ είναι σχεδιασμένο να μειώσει τον υπερβολικό θόρυβο αντήχησης σε μεγάλους χώρους. Είναι διαθέσιμο σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών και τα 24 πολύχρωμο υφασμάτινο υλικό ‘’Aeria’’ παρέχει την τέλεια ακουστική λύση για εσωτερικούς χώρους νέους ή παλιούς, σύγχρονους ή παραδοσιακούς.

Ο δικτυωτός μεταλλικός σκελετός εγγυάται το αυστηρό γεωμετρικό σχήμα κάθε στοιχείου εμπνέοντας για τη χρήση τους σε δημιουργικούς συνδυασμούς από κομψές γραμμές , αιωρούμενα ακουστικά νέφη οροφής ή ακουστικές ασπίδες για χρήση στους τοίχους ή τις οροφές ακόμη και σε ανοικτούς χώρους.

Σχήμα 59

ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ PANELS

Τα ακουστικά panels μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους ή σε συνδυασμό για να δημιουργήσουν απλές γραμμές και σχήματα ή ακουστικά νέφη σε διάφορα μεγέθη στερεωμένα στην οροφή ή αιωρούμενα στο χώρο.

Μπορούν να αιωρούνται σε κάθετη ή οριζόντια θέση στερεωμένα με καλώδια, βιδωμένα στους τοίχους ή τις οροφές ή προσαρμοζόμενα σε κατακόρυφες μεταλλικές επιφάνειες με μαγνήτες.

- Αιωρούμενα σε γραμμές και ενωμένα με ατσάλινους δεσμούς.
- Αιωρούμενα σε ‘’νέφη’’.
- Αιωρούμενα με κατακόρυφα καλώδια.
- Αιωρούμενα με οριζόντια καλώδια.
- Βιδωμένα στην οροφή/με στηρίγματα στους τοίχους.
- Στερεωμένα σε κατακόρυφες μεταλλικές επιφάνειες.

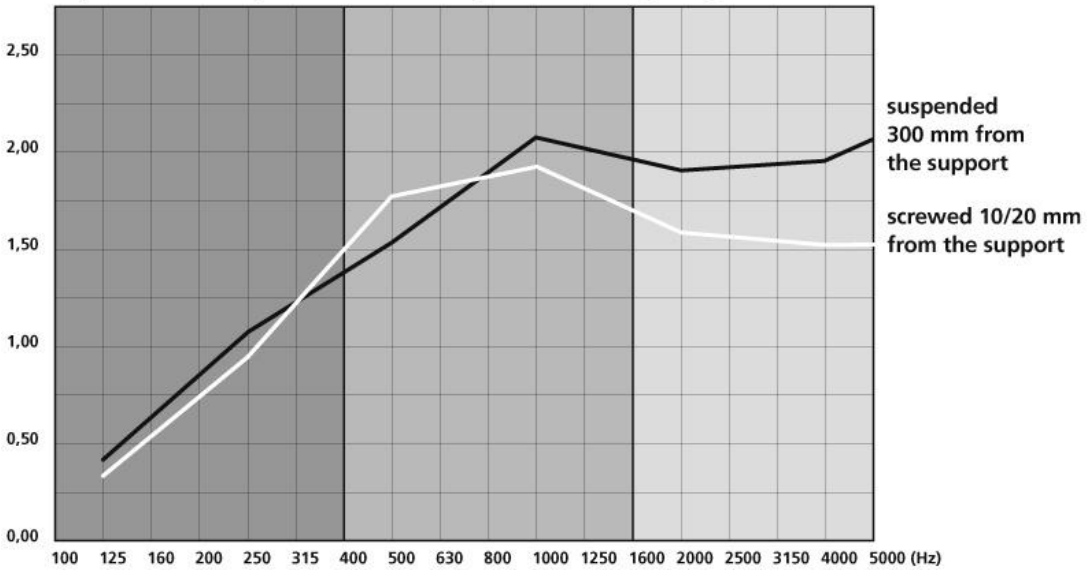
Απαντώντας στο ‘’Project’’ αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα **‘’PANELS CLIPPED TO THE WALL’’.**

Η ακουστική απορρόφηση παρέχεται από τα δικτυωτά ‘’**panels’’**, με καλυμμένη την επιφάνειά τους με ύφασμα μόνο στη μία τους πλευρά και τα οποία αποτελούνται από:

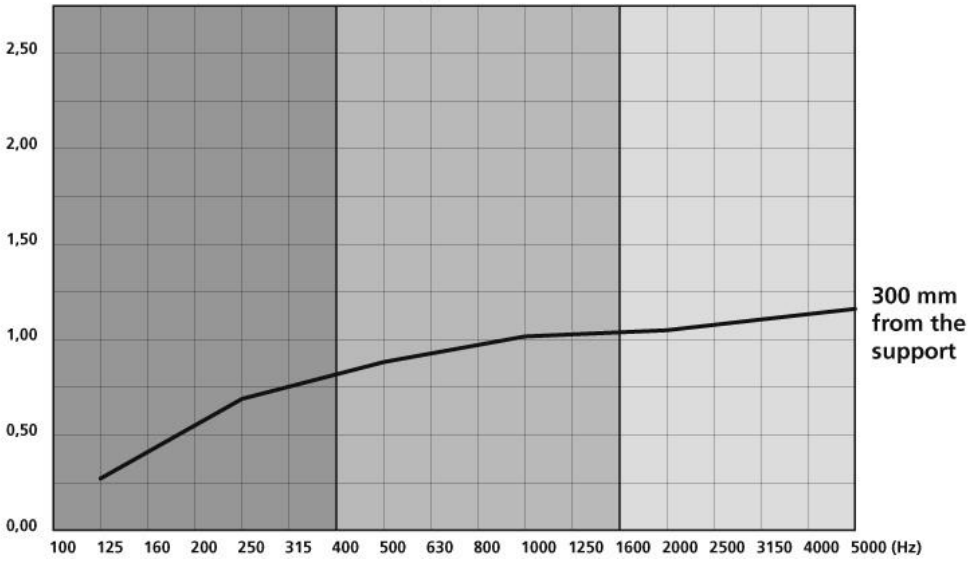
- Μεταλλικό σκελετό.
- Γκρί ΑΝ κυψελωτό αφρό.
- Γκρί ή μαύρο ύφασμα με μικροπόρους.
- Αφαιρούμενο **‘’Aeria’’** τοποθετούμενο σαν κάλυμα σε μία επιφάνεια.

Για ένα ‘’panel’’ **1,196 x 1,196 x 50mm**

Equivalent absorption area of an object A(m²) – spacing 1,500 mm

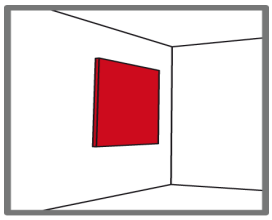


α Sabine - clustered under a suspended frame



ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΤΟΝ ΤΟΙΧΟ



Κάθε ‘’Stereo δικτυωτό panel’’ καλυπτόμενο με ύφασμα στην μία του επιφάνεια μπορεί να στηριχθεί σε δύο τροχιές των 10mm, οι οποίες βιδώνονται στον τοίχο.

Οι τροχιές πρέπει πάντοτε να είναι οριζόντιες και οι θέσεις τους είναι στα: 600 - 1.200 – 1.800 – 2.400mm.

ΕΠΙΛΟΓΗ : Panels τοποθετημένα σε ‘’clusters’’(στην περίπτωση αυτή οι τροχιές έχουν μήκος 3 μέτρα).

STEREO SCREENS

Οι Stereo οθόνες μπορούν να αιωρούνται από την οροφή σε διάφορα ύψη ή να αναρτηθούν σε μία βάση και έχουν σχεδιασθεί να παρέχουν υψηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου σε μεγάλους ανοικτούς χώρους.

Καλύπτονται από αφαιρούμενους υφασμάτινους φακέλους και προσφέρουν ένα απλό, εύκολα αφαιρούμενο και αποτελεσματικό τρόπο απορρόφησης του ήχου καλύπτοντας διάφορες ζώνες ή ελεύθερους χώρους. Χρησιμοποιούμενες σε διάφορους συνδυασμούς δημιουργούν ένα ανάγλυφο εσωτερικό χώρο δημιουργώντας μία ακουστική ασπίδα.

Αιωρούμενες με κατακόρυφο καλώδιο.

Αιωρούμενες μεταξύ δαπέδου και της οροφής με καλώδιο.

Τοποθετημένες να σχηματίσουν ακουστική ασπίδα.

Τοποθετημένες σε μία ελεύθερη βάση.

Βιδωμένες στην οροφή.

Σχήμα 60

Για να επιλυθεί το πρόβλημα του κτιρίου επιλέχθηκαν οι ‘’Οθόνες’’ αιωρούμενες μεταξύ του δαπέδου και της οροφής για τους τοίχους και για την οροφή τα αιωρούμενα ‘’panels’’ στερεωμένα με κατακόρυφα καλώδια.

Το ‘’Modular system’’ Ακουστικών Θέσεων

Οι οθόνες μπορούν να τοποθετηθούν σε μεταλλικές βάσεις σε θήκες τοποθετημένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίσουν ένα κανονικό ‘’modular system’’ ακουστικών τμημάτων.

Χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την ακουστική κάθε ανοικτού χώρου, χωρίς να παρενοχλούνται αυτοί που ζουν και εργάζονται εκεί.

Είναι ιδανικό για χρήση σε χώρους διασκέψεων, σε επιλεγμένους εργασιακούς χώρους ή καφετέριες. Είναι πολύ εύκολο να τοποθετηθούν με διαφορετικό τρόπο, ώστε να ανταποκρίνονται σε κάθε δεδομένο χώρο.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η ακουστική απορρόφηση που παρέχεται από το πλαίσιο οθονών του υλικού ‘’Texaa stereo’’ καλλυμένο και στις δύο πλευρές με ύφασμα και αποτελείται από:

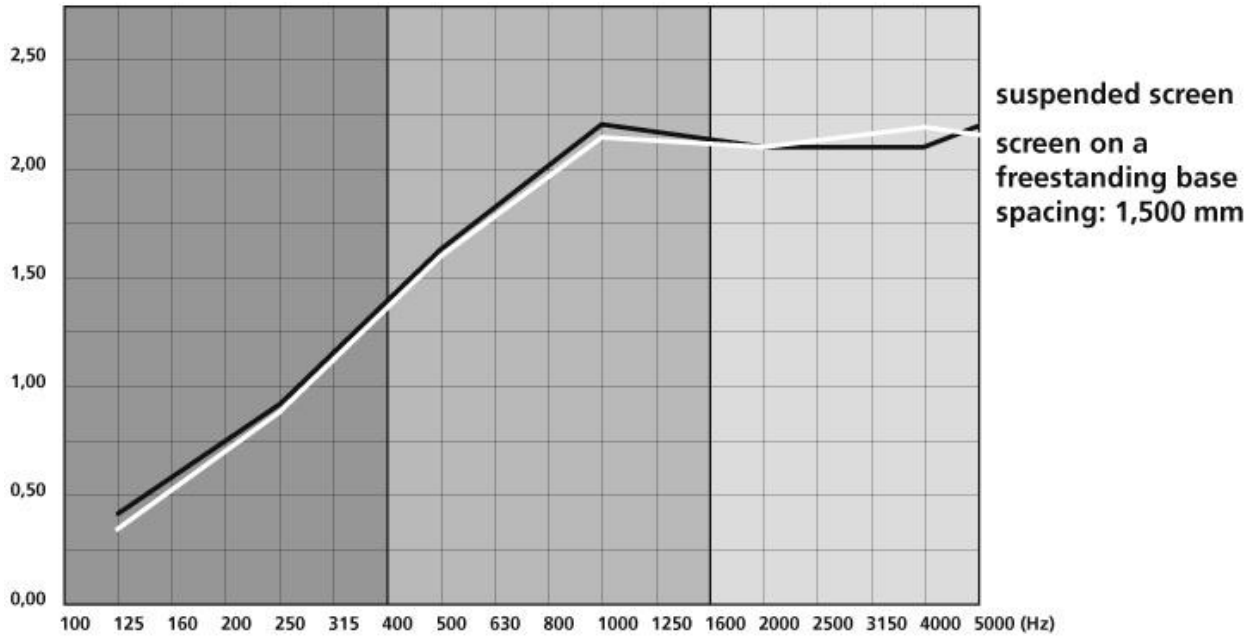
Μεταλλικό σκελετό

Γκρι ΑΝ κυψελωτό αφρό

Γκρι ή μαύρο ύφασμα μικροπόρων

‘’Aeria’’ τοποθετημένο και στις δύο όψεις

Για μία οθόνη 1,196 x 1,196x 50 mm



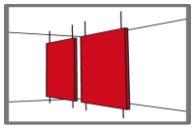
ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Κάθε πλαίσιο οθονών καλυμμένο με ύφασμα και στις δύο πλευρές του μπορεί να αιωρείται μεταξύ της οροφής και του δαπέδου χρησιμοποιώντας δύο ατσάλινα ανοξείδωτα καλώδια τοποθετημένα χωριστά.

Κέντρο σε κέντρο η στερέωση των καλωδίων είναι: 600-1200-1800-2400mm.

Ζευγάρι καλωδίων:

4mm διάμετρος και 4500mm μήκος στηριζόμενα με δύο τένοντες, ο ένας εκ των οποίων μπορεί



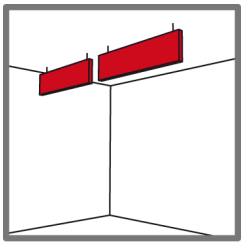
να περιστρέφεται.

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΚΑΛΩΔΙΟ

Κάθε πλαίσιο οθονών από ‘’Stereo’’ καλυμμένο και στις δύο επιφάνειές του με ύφασμα μπορεί να αιωρείται από την οροφή κατακόρυφα χρησιμοποιώντας 2 ή 3 ατσάλινα ανοξείδωτα καλώδια διαμέτρου 2mm και μήκος 1500mm στηριζόμενα με το υλικό M6 και τη μία πλευρά ρυθμιζόμενη.

Η στήριξη από κέντρο σε κέντρο γίνεται στα: 600-1200-1800-2400mm.

ΕΠΙΛΟΓΗ: Μήκος καλωδίου 3000mm.



ACUSTICAINTEGRAL ΕΤΑΙΡΕΙΑ

‘’CORNER BASS TRAP’’

Περιγραφή:

Panel Ελέγχου Συχνοτήτων.

Το γεωμετρικό τους σχήμα με ευκολία προσαρμόζεται σε κάθε γωνία, όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός ανεπιθύμητων χαμηλών συχνοτήτων.

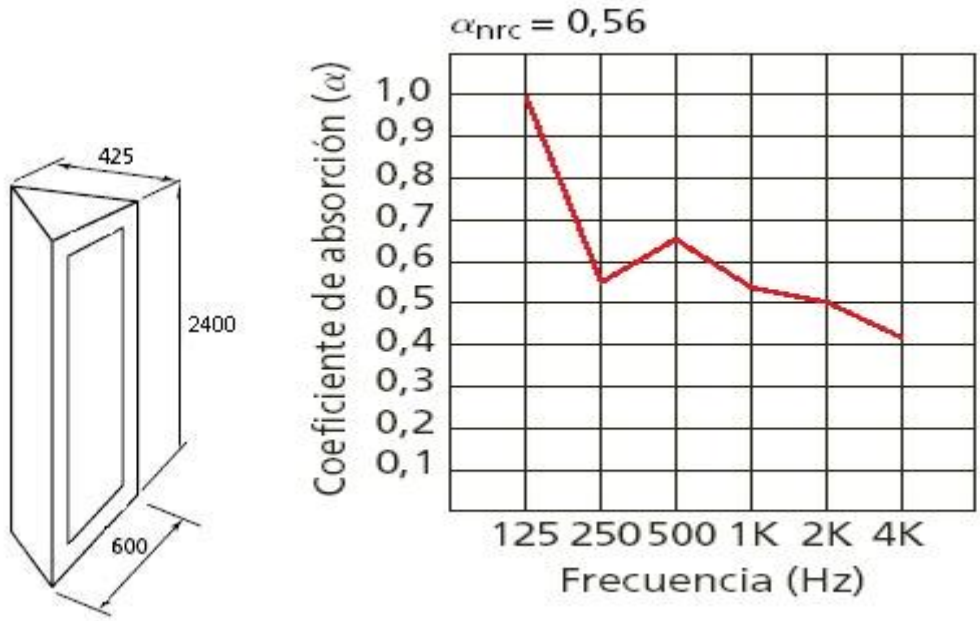
Χαρακτηριστικά.

Εξωτερική όψη: Charcoal Velo. Ευχάριστο στην αφή.

Τοποθέτηση: κατασκευή από MDF υλικό, βαμμένο.

Εσωτερικός απορροφητής: Acustifiber. Οικολογικό υλικό και το οποίο δεν απελευθερώνει σωματίδια.

Διαστάσεις: 600χ425mm, ύψος:2400mm.



Σχήμα 61

7.3.2 Προτεινόμενη Λύση 2

Εξετάζουμε τα στοιχεία της αίθουσας, τα οποία είναι το δάπεδο, η οροφή και οι περικλειόμενοι τοίχοι. Είναι οι χώροι στους οποίους μπορούμε να προσθέσουμε ηχοαπορρόφηση.

Δάπεδο:

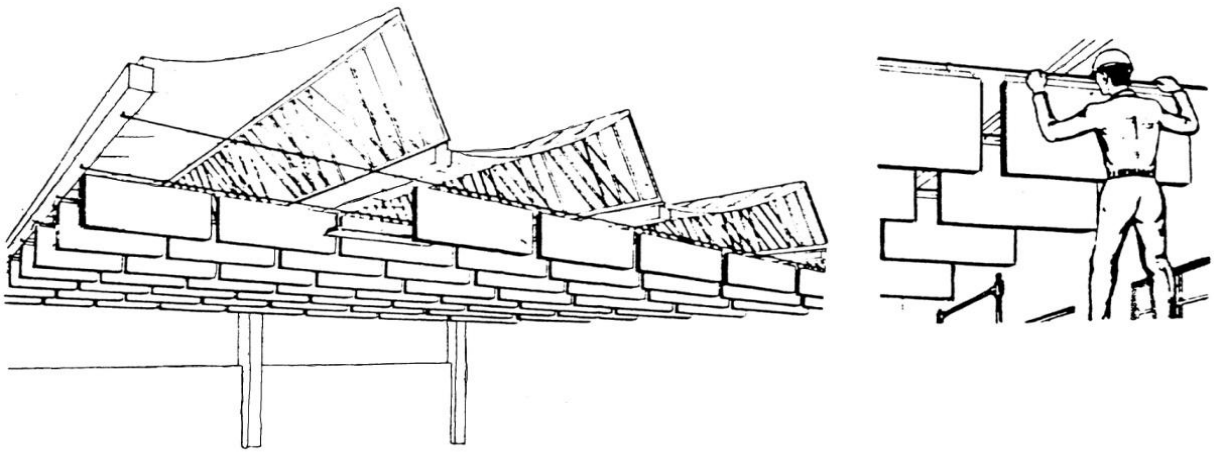
Στο δάπεδο υπάρχουν πρακτικοί περιορισμοί λόγω ύπαρξη νερού στην αίθουσα. Δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ηχοαπορρόφηση λόγω μικρής επιφάνειας του δαπέδου. Σε περίπτωση που μπορούσαμε να προσθέσουμε κάποιο υλικό, θα επιλέγαμε ηχοαπορροφητική μοκέτα, που θα ήταν φθηνή λύση.

Οροφή:

Στην οροφή επιλέγουμε να τοποθετήσουμε άλλη μια φορά ακουστικά πλαίσια, υλικό τύπου acoustic baffles ALPHAcoustic AB. Εχουν καλό συντελεστή απορρόφησης στις χαμηλές συχνότητες και θα πρέπει να τα τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμποδίζει τον εργαστηριακό χαρακτήρα της αίθουσας, πόσο μάλλον και το φωτισμό.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Τα κάθετα αναρτόμενα ηχοαπορροφητικά στοιχεία ALPHAcoustic -AB αποτελούνται από ειδικό μεταλλικό περιμετρικό προφίλ, το οποίο συγκρατεί το ηχοαπορροφητικό υλικό. Διαθέτει στο πάνω μέρος αυτών σύστημα ανάρτησης από 2 γάντζους.



Σχήμα 62

Το ηχοαπορροφητικό υλικό είναι ινώδες, δύσφλεκτο (Κατηγορία A2 DIN 4102) δεν σαπίζει, δεν προσβάλλεται από έντομα, δεν επηρεάζεται από την υπεριώδη ακτινοβολία.

Το ηχοαπορροφητικό υλικό επικαλύπτεται με μεμβράνη από μαύρο υαλοΰφασμα. Επιπλέον μπορεί να επενδυθεί με διάτρητο χαλυβδοέλασμα.

Οι διαστάσεις των πλαισίων είναι 120 x 60 cm. Διαφορετικές διαστάσεις μπορούν να κατασκευαστούν κατόπιν ειδικής παραγγελίας.

Τα ηχοαπορροφητικά πλαίσια, ALPHAcoustic-AB έχουν μετρηθεί στο Εργαστήριο Ηχοτεχνίας ΕΜΠ. Η ηχοαπορροφητική ικανότητα αυτών σύμφωνα με το πρότυπο ISO 354 και για πλαίσια διαστάσεων 1200x600x80 mm, αναρτημένα σε αποστάσεις 600 mm μεταξύ τους, παρουσιάζεται στην ακόλουθη καμπύλη (όπου A_N η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης ανά αντικείμενο).

Η απόσταση των πλαισίων μεταξύ του καθώς και το σύνολο των απαιτούμενων τεμαχίων, σε ένα χώρο, καθορίζονται από την σχετική ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.

Συντελεστές απορρόφησης ALPHAcoustic-AB:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α_{ς}	0.45	0.93	1	1	1	1

Σχήμα 63

Στην παραπάνω φωτογραφία βλέπουμε την εφαρμογή baffles σε ένα γήπεδο του μπάσκετ που αντιμετώπιζε πρόβλημα υψηλού χρόνου αντήχησης λόγω μεγάλου ύψους οροφής.

Περιμετρικοί Τοίχοι:

Στους περιμετρικούς τοίχους επιλέγουμε να προσθέσουμε υλικό τύπου μεταλλικό ηχοπέτασμα ALPHAfon-MB. Αφήνοντας ένα διάκενο στην πλευρά του τοίχου αυξάνει την ηχοαπορρόφηση στις χαμηλές συχνότητες, λόγω μιας μεμβράνης που είναι τοποθετημένη στην πίσω πλευρά της κατασκευής. Στις υψηλές συχνότητες δρά η μπροστινή πλευρά της κατασκευής μας.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

Το **μεταλλικό ALPHA*fon*-MB** αποτελείται από προκατασκευασμένα πλαίσια από γαλβανισμένη προβαμμένη λαμαρίνα. Στα δύο άκρα φέρει διαμόρφωση (θηλυκό - αρσενικό) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται τέλεια ηχοστεγανότητα αλλά παράλληλα αυξάνει και η αντοχή του σε κάμψη.
Εσωτερικά φέρει ηχοαπορροφητικό υλικό ινώδες, υδρόφοβο και άκαυστο κατάλληλης πυκνότητας.
Η εσωτερική επιφάνεια των πλαισίων αποτελείται από λαμαρίνα διάτρητη σε ποσοστό μεγαλύτερο του 30 %.

Ηχομονωτική Ικανότητα Rw = 31dB (Σύμφωνα με ISO 140.3, ISO 717.1)

Συντελεστής ηχοαπορρόφησης για πάχος 50mm στα 250 Hz είναι **0.6**.

(Σύμφωνα με ISO 11654:1997)

Τα στοιχεία **ALPHAfon-MB** αποτελούν μια άμεση και οικονομική λύση σε προβλήματα ηχοαπορρόφησης σε συνδυασμό με ηχομόνωση και μηχανική αντοχή τόσο σε εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους όπως: Ηχοφράγματα δρόμων - σχολείων - νοσοκομείων και άλλων ακουστικά ευαίσθητων κτιρίων. Επίσης χρησιμοποιείται σε κολυμβητήρια, γυμναστήρια, disco - pub, ωδεία, βιομηχανικούς

χώρους. Επίσης Ηχοφράγματα μπορούν να περιβάλλουν **θορυβώδη μηχανήματα** (κλιματιστικά, ηλεκτρ. μετασχηματιστές, αερόψυκτους ψύκτες, πύργους ψύξης κ.α.)

Συντελεστές απορρόφησης ALPHAfon-MB:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α_{ς}	0.45	0.76	1,03	1	1	1

<u>Θεωρητικά Στοιχεία</u>

Πορώδη απορροφητικά

Στα πορώδη υλικά η απορρόφηση του ήχου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των δυνάμεων τριβής που μετατρέπουν την ηχητική ενέργεια σε θερμότητα. Για να υπάρχει αποτελεσματική απορρόφηση του ήχου πρέπει ο συντελεστής ανάκλασης

των υλικών αυτών να είναι μικρός. Όσο πιο μικρή η διαφορά των εμπεδήσεων του αέρα και των υλικών, τόσο μικρότερη η ανάκλαση και συνεπώς μεγαλύτερη η διάδοση. Για να συμβαίνει αυτό η πυκνότητα των απορροφητικών υλικών θα πρέπει να είναι μικρή και αυτό αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό τους. Στην πράξη η πυκνότητα ενός καλού απορροφητή είναι 2-3 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα. Επί προσθέτως η διάμετρος των πόρων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μήκος κύματος του ήχου και για το λόγο αυτό οι πορώδεις απορροφητές έχουν μεγαλύτερη απόδοση σε υψηλές συχνότητες. Παράδειγμα τέτοιων υλικών είναι ο υαλοβάμβακας.

Στα πορώδη, η απορρόφηση οφείλεται στην απώλεια ενέργειας λόγω τριβών καθώς ο αέρας κινείται στους πόρους. Εφόσον η τριβή είναι ανάλογη με τη δυναμική πίεση του κινούμενου αέρα, τα πορώδη υλικά προκαλούν μεγαλύτερη απορρόφηση όταν αυτά βρίσκονται σε θέσεις τις οποίες η ταχύτητα σωματιδίων του ηχητικού κύματος είναι μέγιστη.

Όταν το ηχητικό κύμα προσπίπτει σε ανένδοτη επιφάνεια, πχ μπετόν, σχηματίζονται στάσιμα κύματα. Σε αποστάσεις από την επιφάνεια η ταχύτητα ταλάντωσης παίρνει τη μέγιστη τιμή της. Εχουμε λοιπον μεγάλη απορρόφηση όταν το ίδιο υλικό τοποθετηθεί σε απόσταση από την επιφάνεια.

Απορροφητικά τύπου μεμβράνης

Τα υλικά αυτά αποτελούνται από μια λεπτή μεμβράνη, συνήθως από ύφασμα, που βρίσκεται σε μικρή απόσταση από κάποιο σκληρό υλικό, όπως ο τοίχος. Όταν ο ήχος πέφτει στη μεμβράνη τότε τη διεγείρει σε ταλαντώσεις και η απώλεια της ηχητικής ενέργειας οφείλεται στην εσωτερική τριβή του υλικού. Ο συντελεστής απορρόφησης των υλικών αυτών είναι μεγάλος σε χαμηλές συχνότητες, έχει δε ένα χαρακτηριστικό μέγιστο στην περιοχή αυτή που συμπίπτει με τη φυσική συχνότητα ταλάντωσης της μεμβράνης.

Τα απορροφητικά αυτού του τύπου διεγείρονται από τον προσπίπτοντα ήχο σε ταλαντώσεις. Η συχνότητα συντονισμού των υλικών αυτών και συνεπώς η συχνότητα που η απορρόφηση γίνεται μέγιστη δίνεται από τη σχέση:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{\rho c^2}{mL}}$$

όπου m, η μάζα ανά μονάδα επιφάνειας

L, η απόσταση από τον τοίχο σε μέτρα

ρ, η πυκνότητα του αέρα

c, η ταχύτητα του ήχου

Παρατηρώντας λοιπόν τους συντελεστές ηχοαπορρόφησης των δύο υλικών, ALPHAfon MB (πλαίσια τοίχων) και ALPHAcoustic 100 (Baffles) παρατηρούμε ότι υπολείπονται στις χαμηλές συχνότητες. Γι' αυτό προτείνεται η χρήση ενός διαφορετικού τύπου υλικού για την απορρόφηση στις χαμηλές συχνότητες.

Προτείνεται η χρησιμοποίηση υλικού τύπου μεμβράνης σε αρκετά μεγάλη έκταση στους δύο από τους περιμετρικούς τοίχους της αίθουσας. Όπως είδαμε στην αντίστοιχη θεωρία, το διάκενο και ιδιαίτερα σε υλικά τύπου μεμβράνης αυξάνει περαιτέρω την ηχοαπορρόφηση σε χαμηλές συχνότητες. Έτσι προτείνεται η χρήση των ιδίων πλαισίων αντεστραμμένα, ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη μείωση χρόνου αντήχησης και στις χαμηλές συχνότητες.

Συμπερασματικά, με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται και ίση ηχητική ένταση σε όλο το ακουστικό φάσμα.

Α/Α	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	V (m^3)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ [RT]					
			125Hz	250Hz	500Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000Hz
1	ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ	23.000	7.85	7.34	6.9	6.15	5.33	4.11
2	ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ	23.000	1.0 – 1.7					
3	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ	23.000	2.1	2.1	1.8	1.8	1.8	1.8

Α/Α	ΘΕΣΗ	ΥΛΙΚΟ	S (m2)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (α)						(fα)					
				125	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*
1	Οροφή	**Μπετόν**	1656	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	16.56	16.56	33.12	33.12	33.12	49.68
2	Οροφή	**ALPHAcoustic-AB.100**	1500	0.48	0.93	1	1	1	1	720	720	1500	1500	1500	1500
3	Τοίχος ΑΒ	**ALPHAfon-MB.100**	200	0.47	0.76	1	1	1	1	94	94	200	200	200	200
4	Τοίχος ΒC	**ALPHAfon-MB.100 (Ανάποδα)**	500	0.88	0.3	0.2	0.14	0.15	0.15	440	440	100	75	70	75
5	Τοίχος CD	**ALPHAfon-MB.100**	200	0.47	0.76	1	1	1	1	94	94	200	200	200	200
6	Τοίχος DA	**ALPHAfon-MB.100 (Ανάποδα)**	500	0.88	0.3	0.2	0.14	0.15	0.15	440	440	100	75	70	75
				Σ fα						1804.56	1804.56	2113.1	2083.12	2073.12	2099.68
				Χρόνος Αντήχησης [RT]						2.1	2.1	1.8	1.8	1.8	1.8

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για όλες τις αίθουσες που μετρήσαμε παρατηρούμε ότι επικρατούν σχετικά μεγάλοι χρόνοι αντήχησης [RT], με εξαίρεση το Εργαστήριο Σιδηροδρομικής. Αυτό οφείλεται αφενός στους σχετικά μεγάλους όγκους των αιθουσών, αφετέρου στην έλλειψη επαρκών ηχοαπορροφητικών υλικών.

Η πρακτική σημασία αυτού είναι ότι :

- Επικρατεί μειωμένη καθαρότητα του ήχου (της ομιλίας), ώστε να μην είναι ευχερής η κατανόηση του λόγου σε περίπτωση που η αίθουσα χρησιμοποιείται για διαλέξεις.
- Η απουσία ηχοαπορροφητικών στο χώρο συνεπάγεται αύξηση της στάθμης του θορύβου μέσα στην αίθουσα.

Η μελέτη μας αποτιμά το ποσό της ηχοαπορρόφησης που πρέπει να εισαχθεί σε κάθε μία αίθουσα ξεχωριστά προκειμένου αυτή να είναι κατάλληλη και για την διεξαγωγή διαλέξεων, αλλά και οι θόρυβοι που παράγονται μέσα σε αυτή να μετριάζονται.

Η πλέον μειονεκτική αίθουσα ως προς τους ανωτέρω παράγοντες είναι η αίθουσα των Λιμενικών Έργων όπου η διορθωτική ηχοαπορρόφηση που προτείνεται να εισαχθεί είναι θεαματικά υψηλή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ 'ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΧΩΡΩΝ ΑΚΡΟΑΣΗΣ' (1996)*
2. *ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ Δ. 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ' (1998)*
3. *F . Alton Everest, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ, 3^{H} ΕΚΔΟΣΗ (2003)*
4. *SABINE, WC , Collected papers on Acoustics Harvard University Press Cambridge Mass (1922)*
5. *SOTIROPOULOU A.G., POULAKOS G., CAMBOURAKIS G. , TYPICAL ERRORS IN THE DESIGN OF MODERN LECTURE THEATERS, Proceeding of the Institute of Acoustics of England, 8th International Conference on Editorium Acoustics, Oslo Norway (Oct. 2008)*
6. *ACUSTICA Volume 85 (january/ February 1999), No1. Pp. 1 152*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ [R.T.]

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ

T20						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	0,75	0,88	1,09	1,13	1,16	1,04
ΘΕΣΗ 2	1,17	0,96	1,11	1,2	1,22	1,05
ΘΕΣΗ 3	0,76	0,95	1,09	1,17	1,21	1,07
Μ.Ο.	0,84	0,94	1,1	1,17	1,2	1,06

T30						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	0,83	0,91	1,07	1,17	1,23	1,1
ΘΕΣΗ 2	1,15	0,93	1,1	1,22	1,26	1,1
ΘΕΣΗ 3	0,84	0,93	1,1	1,19	1,28	1,12
Μ.Ο.	0,92	0,92	1,09	1,19	1,25	1,11

EDT						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	0,58	1,04	0,89	1,05	1,14	0,98
ΘΕΣΗ 2	0,38	0,98	0,85	0,91	1,1	0,91
ΘΕΣΗ 3	0,71	0,77	1,04	0,95	0,99	0,95
Μ.Ο.	0,61	0,92	0,9	0,97	1,07	0,94

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

T20						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	6,1	6,73	6,07	5,43	4,68	3,43
ΘΕΣΗ 2	7,2	7,64	6,93	6,22	5,33	4,01
ΘΕΣΗ 3	8,05	7,56	6,82	6,06	5,51	4,22
Μ.Ο.	7,43	7,44	6,76	6,07	5,27	3,98

T30						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	6,99	6,9	6,47	5,8	4,94	3,69
ΘΕΣΗ 2	7,35	7,48	7,04	6,2	5,41	4,1
ΘΕΣΗ 3	8,32	7,43	6,87	6,05	5,42	4,27
Μ.Ο.	7,85	7,34	6,9	6,15	5,33	4,11

EDT						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	5,43	5,52	5,37	4,22	3,78	3,04
ΘΕΣΗ 2	7,35	7,1	6,85	6,21	5,32	3,91
ΘΕΣΗ 3	7,1	7,73	7,15	6,61	5,63	4,34
Μ.Ο.	6,93	7,12	6,76	5,89	4,99	3,73

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

T20						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	2,52	3,32	3,46	3,21	3,49	2,78
ΘΕΣΗ 2	2,63	3,38	3,44	3,22	3,51	2,85
ΘΕΣΗ 3	2,55	3,24	3,49	3,24	3,49	2,83
Μ.Ο.	2,57	3,31	3,46	3,22	3,5	2,82

T30						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	2,65	3,23	3,42	3,18	3,47	2,86
ΘΕΣΗ 2	2,67	3,36	3,46	3,19	3,5	2,89
ΘΕΣΗ 3	2,78	3,23	3,51	3,23	3,46	2,87
Μ.Ο.	2,7	3,28	3,46	3,2	3,48	2,87

EDT						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	2,26	3,43	3,29	3,11	3,47	2,72
ΘΕΣΗ 2	2,11	3,2	3,46	3,01	3,34	2,79
ΘΕΣΗ 3	2,69	3,19	3,69	3,22	3,45	2,8
Μ.Ο.	2,35	3,26	3,5	3,09	3,41	2,76

ΚΤΗΡΙΟ Κ

T20						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	2,25	2,17	2,24	2,34	2,39	2,02
ΘΕΣΗ 2	1,64	2,11	2,29	2,42	2,37	2,03
ΘΕΣΗ 3	2,16	2,17	2,25	2,38	2,35	2,02
Μ.Ο.	2,1	2,15	2,26	2,38	2,37	2,02

T30						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	2,25	2,23	2,34	2,41	2,39	2,04
ΘΕΣΗ 2	2,12	2,22	2,34	2,4	2,35	2,04
ΘΕΣΗ 3	2,13	2,21	2,29	2,43	2,37	2,04
Μ.Ο.	2,17	2,22	2,32	2,41	2,37	2,04

EDT						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	2,06	2,26	2,32	2,33	2,43	2
ΘΕΣΗ 2	1,78	1,97	2,22	2,28	2,42	1,94
ΘΕΣΗ 3	1,77	2,3	2,27	2,33	2,29	1,89
Μ.Ο.	1,79	2,15	2,27	2,3	2,35	1,91

ΚΤΗΡΙΟ Λ

T20						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	4,45	4,79	5,37	5	4,49	3,35
ΘΕΣΗ 2	4,57	4,26	5,3	5,1	4,61	3,32
ΘΕΣΗ 3	4,58	4,65	5,22	4,93	4,66	3,36
Μ.Ο.	4,52	4,58	5,29	5	4,59	3,34

T30						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	4,69	4,74	5,35	5,09	4,57	3,43
ΘΕΣΗ 2	4,81	4,44	5,32	5,09	4,64	3,45
ΘΕΣΗ 3	4,8	4,61	5,36	5,1	4,64	3,48
Μ.Ο.	4,76	4,61	5,34	5,09	4,62	3,46

EDT						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	4,3	4,6	5,51	5,18	4,39	3,18
ΘΕΣΗ 2	3,72	4,72	5,39	5,07	4,52	3,27
ΘΕΣΗ 3	3,55	4,57	5,11	5,13	4,46	3,21
Μ.Ο.	3,86	4,63	5,33	5,13	4,45	3,19

ΚΤΗΡΙΟ Μ

T20						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	3,72	4,19	4,67	4,65	4,21	3,11
ΘΕΣΗ 2	3,85	4,36	4,76	4,44	4,5	3,2
ΘΕΣΗ 3	3,94	4,51	4,73	4,81	4,3	3,29
Μ.Ο.	3,83	4,35	4,72	4,63	4,34	3,21

T30						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	3,92	4,24	4,73	4,64	4,26	3,22
ΘΕΣΗ 2	3,85	4,47	4,79	4,55	4,46	3,3
ΘΕΣΗ 3	4,21	4,47	4,82	4,74	4,33	3,37
Μ.Ο.	4,02	4,4	4,78	4,64	4,35	3,3

EDT						
[Hz]	**125**	**200**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
ΘΕΣΗ 1	3,7	4,09	4,43	4,4	4,09	2,82
ΘΕΣΗ 2	3,62	4,3	4,9	4,51	3,97	3,03
ΘΕΣΗ 3	3,52	4,09	4,75	4,72	4,02	3,08
Μ.Ο.	3,52	4,11	4,66	4,53	4,02	2,96

ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Leq											
[Hz]	16Hz	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
[dB]	51,24	50,27	49,9	48,28	38,73	34,21	30,69	25,76	20,96	16,88	14,6

ΚΤΗΡΙΟ Κ

Leq											
[Hz]	16Hz	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
[dB]	43,97	45,34	42,27	40,34	42,25	32,67	27,24	22,67	19,54	15,79	12,81

ΚΤΗΡΙΟ Λ

Leq											
[Hz]	16Hz	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz
[dB]	48,92	52,35	56,5	49,26	43,41	39,85	35,95	30,36	24,18	17,71	13,27

Πίνακας 1. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ

ΑΙΘΟΥΣΕΣ	**ΟΓΚΟΣ**	**ΜΗΚΟΣ**	**ΠΛΑΤΟΣ**	**ΥΨΟΣ**	**ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ [RT]mid**
1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ	3.000 m3	15.978m	24.109m	7.947m	1.14s
2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	23.000 m3	30.904m	75.846m	10.083m	6.53s
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	6.300 m3	17.876m	29.268m	12.100m	3.33s
4. ΚΤΗΡΙΟ Κ	2.100 m3	9.90m	30.94m	7.07m	2.37s
5. ΚΤΗΡΙΟ Λ	5.900 m3	14.983m	38.398m	10.281m	5.22s
6. ΚΤΗΡΙΟ Μ	7.400 m3	15.693m	46.963m	10.085m	4.71s

Πίνακας 2. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΝΑ ΠΡΟΣΘΕΘΕΙ

ΑΙΘΟΥΣΕΣ	**ΜΕΤΡΗΘΕΙΣΑ A mid (500Hz , 1000 Hz)**	**ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ A**	**ΔΙΑΦΟΡΑ(ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΝΑ ΠΡΟΣΤΕΘΕΙ A [m^2 Sab])**
1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ	421.86	400	-21.86
2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	565.85	2,300	1734.15
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	303.16	720	416.84
4. ΚΤΗΡΙΟ Κ	142.12	305.45	163.33
5. ΚΤΗΡΙΟ Λ	181.12	726.15	545.03
6. ΚΤΗΡΙΟ Μ	502.86	816.55	313.69

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (T20 ΚΑΙ T30) ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ (ED

ΟΚΤΑΒΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ [Hz]	ΑΙΘΟΥΣΕΣ											
	ΕΡΓ. ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ			ΕΡΓ. ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ			ΕΡΓ. ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΩΝ			ΚΤΗΡΙΟ Κ		
	T20 [s]	T30 [s]	EDT [s]	T20 [s]	T30 [s]	EDT [s]	T20 [s]	T30 [s]	EDT [s]	T20 [s]	T30 [s]	EDT [s]
125	0,84	0,92	0,61	7,43	7,85	6,93	2,57	2,7	2,35	2,1	2,17	1,79
250	0,94	0,92	0,92	7,44	7,34	7,12	3,31	3,28	3,26	2,15	2,22	2,15
500	**1,1**	**1,09**	**0,9**	**6,76**	**6,9**	**6,76**	**3,46**	**3,46**	**3,5**	**2,26**	**2,32**	**2,27**
1000	**1,17**	**1,19**	**0,97**	**6,07**	**6,15**	**5,89**	**3,22**	**3,2**	**3,09**	**2,38**	**2,41**	**2,3**
2000	1,2	1,25	1,07	5,27	5,33	4,99	3,5	3,48	3,41	2,37	2,37	2,35
4000	1,06	1,11	0,94	3,98	4,11	3,73	2,82	2,87	2,76	2,02	2,04	1,91

ΑΙΘΟΥΣΕΣ	ΟΓΚΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ [RT]mid	ΗΧ m
1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ	3.000m^3	15.978m	24.109m	7.947m	1.14s	
2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	23.000m^3	30.904m	75.846m	10.083m	6.53s	

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	6.300m^3	17.876m	29.268m	12.100m	3.33s	
4. ΚΤΗΡΙΟ Κ	2.100m^3	9.90m	30.94m	7.07m	2.37s	
5. ΚΤΗΡΙΟ Λ	5.900m^3	14.983m	38.398m	10.281m	5.22s	
6. ΚΤΗΡΙΟ Μ	7.400m^3	15.693m	46.963m	10.085m	4.71s	

Πίνακας 4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΚΤΑΣΗΣ Μ2 ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΞΑΜΕ ΣΕ

ΥΛΙΚΟ	**S (m2)**	**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (α)**						**(fα)**				
		125	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*125*	*250*	*500*	*1000*	
Μπετόν	1656	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	16.56	16.56	33.12	33.12	
ALPHAcoustic-AB.100	1500	0.48	0.93	1	1	1	1	720	720	1500	1500	
ALPHAfon-MB.100	200	0.47	0.76	1	1	1	1	94	94	200	200	
ALPHAfon-MB.100 (Ανάποδα)	500	0.88	0.3	0.2	0.14	0.15	0.15	440	440	100	75	
ALPHAfon-MB.100	200	0.47	0.76	1	1	1	1	94	94	200	200	
ALPHAfon-MB.100 (Ανάποδα)	500	0.88	0.3	0.2	0.14	0.15	0.15	440	440	100	75	
		Σ fα						1804.56	1804.56	2113.1	2083.12	
		Χρόνος Αντήχησης [RT]						2.1	2.1	1.8	1.8	

ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Πίνακας 5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΚΤΑΣΗΣ Μ2 ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΞΑΜΕ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛ

Material	**S (m2)**	**Absorption Coefficient (α)**						**Product (fα)**				
		125	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*125*	*250*	*500*	*1000*	
Concrete	1656	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	16.56	16.56	33.12	33.12	
Stereo (suspended)	628.32	0.49	0.96	1.58	2.16	2.04	2.04	307.87	603.18	992.74	1357.1	
TR-TBE (suspended)	907.2	0.98	0.5	0.65	0.56	0.45	0.4	889.06	453.6	544.2	508.03	
AcuPACK (wall finished)	127.5	0.65	0.55	0.35	0.15	0.1	0.1	82.88	70.12	44.63	19.12	
AcuPACK (wall finished)	102	0.65	0.55	0.35	0.15	0.1	0.1	66.3	56.1	35.7	15.3	
Stereo (free)	211.8	0.49	0.96	1.58	2.16	2.04	2.04	103.78	203.33	334.64	457.48	
Stereo (free)	141.2	0.49	0.96	1.58	2.16	2.04	2.04	69.18	135.55	223.09	304.99	
TR-TBE (free)	129.6	0.98	0.5	0.65	0.56	0.45	0.4	127	64.8	84.24	72.57	
TR-TBE (free)	86.4	0.98	0.5	0.65	0.56	0.45	0.4	84.67	43.2	56.16	48.38	
		Σ fα						1730.74	1629.88	2315.4	2782.97	
		Reverberation Time						1.68	1.72	1.29	1.09	