

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ:**

**ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΙΜΟΖΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΑΡΙΤΑΚΗΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΚΑΒΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2013**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο ΤΕΙ Πάτρας, στο τμήμα Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτιρίων. Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι η μελέτη ηχομόνωσης του κτιρίου Μιμόζα.

Θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή μου Δρ. Κακαβά Παναγιώτη ο οποίος με βοήθησε πάρα πολύ ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία. Τον ευχαριστώ πολύ για όλα όσα μου δίδαξε, για το επιστημονικό υλικό που μου προσέφερε, τις συμβουλές της, την συμπαράστασή της και τις ώρες που μου αφιέρωσε.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου που στα χρόνια φοίτησης μου με δίδαξαν καλά ώστε να ολοκληρώσω αυτή την πτυχιακή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρχικά αυτή η πτυχιακή μας γνωρίζει κάποια βασικά στοιχεία για τον ήχο γενικότερα.

Έπειτα εμβαθύνει σε έννοιες πάνω στην ηχομόνωση και την ηχοπροστασία και όλες τις έννοιες του ήχου που συμβάλλουν στην επιτευξη τους.

Κατόπιν μας δείχνει πως κάνουμε την μελέτη, και αργότερα δείχνει την μελέτη ηχομόνωσης του κτιρίου Μιμόζα.

Τέλος περιέχει Φωτογραφίες και σχέδια του κτιρίου από την παρούσα κατάσταση και στο τέλος φωτορεαλισμούς από την πρόταση.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1	
Εισαγωγή.....	1
2.1. Διάδοση του ήχου.....	2
2.2. Μετάδοση του ήχου μέσω διαχωριστικών πετασμάτων.....	4
2.3. Καμπτικά κύματα.....	4
2.4. Δείκτης ηχομείωσης.....	6
2.5. Διαδικασία μέτρησης του δείκτη ηχομείωσης σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις.....	9
2.6. Συμπεριφορά του δείκτη διάδοσης σε μονό πέτασμα.....	10
2.7. Υπολογισμός φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης $R'$ .....	13
2.8. Διπλά χωρίσματα – Δείκτης ηχομείωσης διπλού χωρίσματος.....	17
2.8.1. Οι συχνότητες συντονισμού που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης της διπλής τοιχοποιίας.....	18
2.8.2. Σχέση πυκνότητας υαλοβάμβακα με την απόσβεση των ταλαντώσεων...20	
2.8.3. Σχέση πυκνότητα πετροβάμβακα με το δείκτη ηχομείωσης ελαφριάς διπλής τοιχοποιίας.....	20
2.9. Υπολογιστική μέθοδος εύρεσης του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, $R'w$ , διπλής τοιχοποιίας.....	23
2.10. Μέθοδος υπολογισμού της χαμηλότερης τάξης μηχανικού συντονισμού, $f_r$ , διπλού πετάσματος.....	24
2.11. Παράθυρα – Πόρτες.....	25
2.11.1. Παράθυρα – οριακή συχνότητα των παραθύρων.....	26
2.11.2. Μονό τζάμι.....	26
2.11.3. Διπλό τζάμι.....	27
2.11.4. Υπολογισμός του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης μονών και διπλών παραθύρων.....	29
2.11.5. Πόρτες.....	31
2.12. Μετάδοση στερεόφερτου ήχου – κτυπογενή.....	34
2.12.1. Μέθοδος υπολογισμού της κανονικοποιημένης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου, $L_p$ .....	35
2.13. Μετάδοση εξωτερικού θορύβου στο εσωτερικό ενός χώρου.....	37
3.1. Προδιαγραφές.....	37
3.2. Πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές στάθμες των κριτηρίων των καμπυλών NR, NC, RC.....	38
3.3. Ελληνικός Κτιριοδομικός κανονισμός.....	41
4.1. Υλικά.....	43
4.2. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης $\alpha$ .....	44
5.1. Μελέτη ηχομόνωσης – Υπολογισμοί στο κτίριο που στεγάζεται το τμήμα Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτιρίων.....	45
6. Πρόταση.....	59
6.1. Εξωτερικοί τοίχοι.....	59
6.2. Θύρες.....	63
6.3. Παράθυρα.....	64
6.4. Τοιχοποιία.....	66
7.1. Φωτογραφίες υπάρχουσας κατάστασης κτιρίου.....	68
7.2. Φωτογραφίες πρότασης.....	74
8.1. Παράρτημα.....	75

9.1. Σχέδια Κτιρίου Μιμόζα.....	86
10.1. Βιβλιογραφία.....	98

## 1.1. Εισαγωγή

### Ανάγκη Ηχομόνωσης του Κτιρίου Μιμόζα

Το κτίριο Μιμόζα στεγάζει το τμήμα Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτιρίων, του Τ.Ε.Ι. Πάτρας. Κατά το παρελθόν είχε χρήση βιοτεχνίας, πράγμα που σημαίνει ότι δεν είχε δημιουργηθεί με τις προδιαγραφές εκπαιδευτικού κτιρίου. Ένα από τα κύρια προβλήματα που έχουν προκύψει είναι η ηχορύπανση που εισβάλλει στο κτίριο από τους δρόμους που σχεδόν εφάπτονται σε αυτό. Οπότε η ηχομόνωση του κτιρίου επιβάλλεται.

### Τα είδη των ήχων

Στην ηχοπροστασία των κτιρίων διακρίνονται δύο είδη ήχων.

Το πρώτο είδος ονομάζεται "**αερόφερτος ήχος**". Δημιουργείται στον αέρα ενός χώρου, μεταδίδεται δια του αέρα, προσβάλλει τις διαχωριστικές επιφάνειες του χώρου, τις διαπερνά και εν συνεχεία μεταδίδεται και πάλι δια του αέρα, στους γειτονικούς χώρους.

Το δεύτερο είδος ονομάζεται "**κτυπογενής ήχος**". Δημιουργείται με το κτύπημα ενός σώματος πάνω στην επιφάνεια ενός χωρίσματος (δαπέδου) του χώρου. Από το κτύπημα (περπάτημα) δημιουργείται ήχος μέσα στη μάζα του χωρίσματος, ο οποίος αφού το διαπεράσει μεταδίδεται στον γειτονικό χώρο (κυρίως στον από κάτω) δια του αέρα.

Η προστασία από αερόφερτους ήχους αφορά κυρίως στα κατακόρυφα χωρίσματα του κτιρίου (τοίχοι, πόρτες, παράθυρα) ενώ η προστασία από κτυπογενείς ήχους αφορά κυρίως στα οριζόντια χωρίσματα του κτιρίου (δάπεδα).

Για τα κατακόρυφα χωρίσματα (τοίχοι, πόρτες, παράθυρα) οι κανονισμοί θέτουν απαιτήσεις για προστασία από αερόφερτους ήχους, ενώ για τα οριζόντια χωρίσματα (δάπεδα, οροφές) θέτουν απαιτήσεις για προστασία από κτυπογενείς και αερόφερτους ήχους ταυτόχρονα (δύο παράλληλες απαιτήσεις).

### Ηχομόνωση και ηχοπροστασία

Η ηχομόνωση είναι μία σταθερή και επαληθεύσιμη ιδιότητα των δομικών στοιχείων (τοίχοι, δάπεδα, κουφώματα) που προσδιορίζεται με πρότυπη δοκιμή στο εργαστήριο.

Η ηχοπροστασία είναι η πραγματική ηχομόνωση που παρέχει ένα δομικό στοιχείο τοποθετημένο στο έργο. Μεταξύ των δύο υπάρχει διαφορά (η ηχοπροστασία είναι συνήθως μικρότερη από την ηχομόνωση) η οποία οφείλεται στις πλευρικές μεταδόσεις (μεταδόσεις από τα χωρίσματα που περιβάλλουν το χωρίσμα).

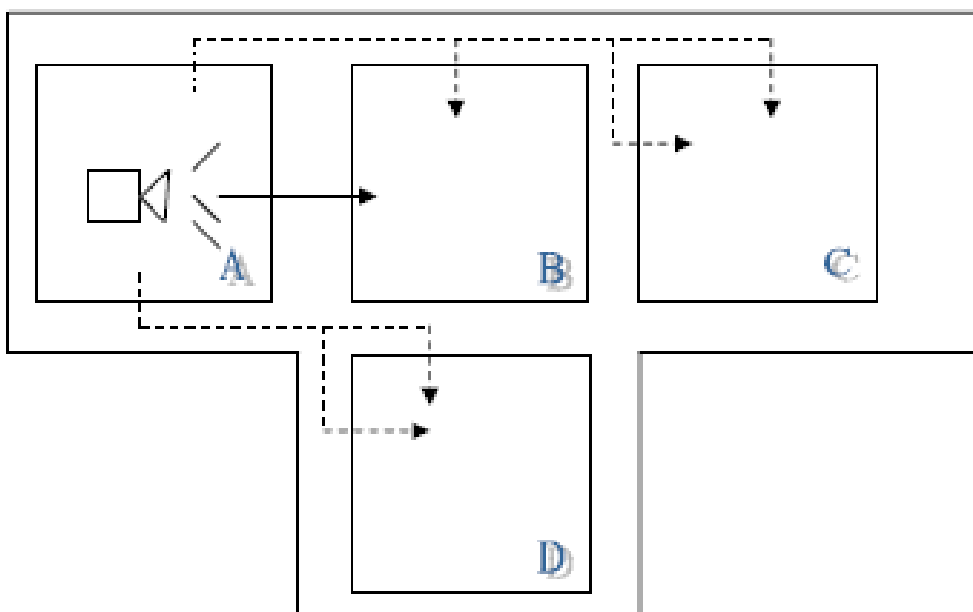
Το πρόβλημα που δημιουργούν οι πλευρικές μεταδόσεις στα κτίρια απασχόλησε επί δεκαετίες ειδικούς και αρχές. Οι σύγχρονοι κανονισμοί απαιτούν την χρήση δομικών στοιχείων με πιστοποιημένη ηχομόνωση και προβλέπουν μεθόδους για τον υπολογισμό της ηχοπροστασίας που θα παρέχει τελικά, ανάλογα με τις συνθήκες των πλευρικών μεταδόσεων στο κτίριο.

Με τον τρόπο αυτό η ευθύνη της βιομηχανίας ηχομονωτικών δομικών προϊόντων περιορίζεται στην εργαστηριακά πιστοποιημένη ηχομόνωση, ενώ η ευθύνη για την

τελική ηχοπροστασία που παρέχει το προϊόν εγκατεστημένο στο κτίριο αφορά τον μελετητή και τον κατασκευαστή του έργου.

## 2.1. Διάδοση του ήχου

Η διάδοση του ήχου σε ένα κτίριο είναι ένα σύνθετο πρόβλημα γιατί ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από μία περιοχή σε άλλη γειτονική περιοχή μέσω πολλών διαδρομών. Ένα απλοποιημένο σχήμα της διάδοσης του ήχου βρίσκεται παρακάτω:



Εικόνα: Σχεδιάγραμμα διάδοσης ηχητικού κύματος σε γειτονικό χώρο.

Ο ήχος διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάδοσης του. Τον αερόφερτο ήχο, τον στερεόφερτο και τον κτυπογενή ως ειδική περίπτωση του στερεόφερτου.

### Αερόφερτος ήχος

Σε ένα δωμάτιο, τα ηχητικά κύματα που διαδίδονται μέσω του αέρα (αερόφερτα) π.χ. ομιλία, ακρόαση κάποιου ηχητικού γεγονότος όπως ράδιο, τηλεόραση, παίξιμο μουσικής, προέρχονται είτε κατευθείαν από την πηγή είτε από τις ανακλάσεις των διαφόρων επιφανειών του δωματίου.

Τα αερόφερτα ηχητικά κύματα, προσπίπτουν στις διάφορες επιφάνειες του δωματίου και τις διεγείρουν. Οι επιφάνειες αυτές, οι οποίες διεγείρονται από την περιοδική ταλάντωση του αέρα, αναγκάζονται να τεθούν σε καμπτικές ταλαντώσεις και με τη σειρά τους να διεγείρουν τον αέρα σε γειτονικό χώρο. Παράγουν δηλαδή αερόφερτα

ηχητικά κύματα.

### **Στερεόφερτος ήχος**

Ακουστικά ηχητικά κύματα σε ένα δωμάτιο μπορεί να προκληθούν και από μηχανική ταλάντωση μιας πηγής ήχου π.χ. κλείσιμο πόρτας, ήχοι διαρροής ύδρευσης-θέρμανσης, καζανάκι, ηχείο τοποθετημένο απευθείας σε στερεή επιφάνεια.

Η μηχανική ταλάντωση προκαλεί καμπτικά κύματα στα διάφορα δομικά στοιχεία όπως τοίχοι, ταβάνια, πάτωμα του χώρου τα οποία με τη σειρά τους μεταφέρονται σε άλλα δομικά στοιχεία του γειτονικού χώρου. Έτσι προκαλούνται ταλαντώσεις του αέρα του γειτονικού χώρου. Ο τρόπος διάδοσης του ήχου σε αυτήν την περίπτωση είναι στερεόφερτος.

### **Κτυπογενής (ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου)**

Μια ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου είναι ο κτυπογενής, ο οποίος παράγεται με απευθείας κτύπο στο διαχωριστικό στοιχείο δύο χώρων. π.χ. βαδίσμα σε ένα δάπεδο, χτύπο από καρφί. Μέσω του βαδίσματος, το πάτωμα τίθεται σε καμπτικές ταλαντώσεις οι οποίες στη συνέχεια διεγείρουν τον αέρα και προκαλούν ηχητικά κύματα πάνω και κάτω από το πάτωμα. Επίσης, οι καμπτικές ταλαντώσεις μέσω του πατώματος μεταφέρονται στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του πάνω και κάτω χώρου, π.χ. στους τοίχους και έτσι οι τοίχοι εκπέμπουν ηχητικά κύματα.

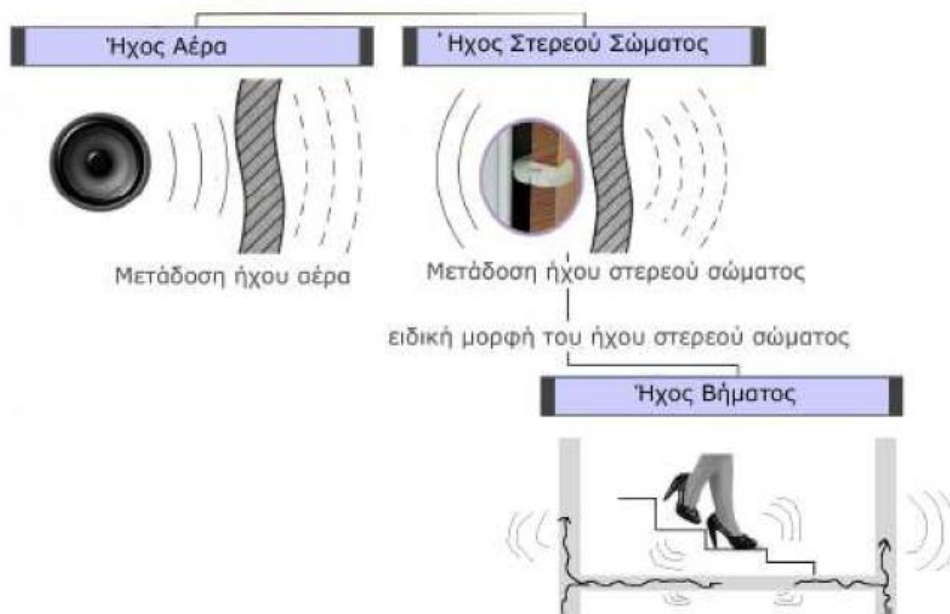
Συνοψίζοντας, ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από τον έναν χώρο σε έναν άλλο που δε συγγενεύουν :

- i) μέσω των ταλαντώσεων του αέρα που διεγείρει τα οικοδομικά στοιχεία, μεταφέρεται μέσω της στερεάς δομής και καταλήγει στο γειτονικό χώρο.
- ii) μέσω μηχανικής διέγερσης, που μεταφέρεται απευθείας μέσω στερεάς δομής και καταλήγει στο γειτονικό χώρο.

Ηχητικά αερόφερτα κύματα → διέγερση δομικών υλικών = καμπτικά κύματα → ηχητικά κύματα γειτονικού χώρου

Μηχανική διέγερση → διέγερση δομικών στοιχείων = καμπτικά κύματα → ηχητικά κύματα γειτονικού χώρου.





Εικόνα: Είδη μετάδοσης ήχων.

Η τελική επίδραση των τριών τρόπων μετάδοσης του ήχου είναι ακουστικά ηχητικά κύματα του αέρα.

## 2.2. Μετάδοση του ήχου μέσω διαχωριστικών πετασμάτων

Στο απλοποιημένο σχήμα παραπάνω, μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις :

- στον χώρο της πηγής, χώρος Α, το απευθείας ηχητικό πεδίο και το αντηχητικό είναι μεγαλύτερης σημασίας από ότι το ηχητικό πεδίο των δευτερευουσών πηγών (με εξαιρέσεις όπως γυάλινες και μεταλλικές επιφάνειες που είναι πολύ ανακλαστικές).

- στις περισσότερες περιπτώσεις το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας μεταφέρεται από τον έναν χώρο στον άλλο μέσω του ενδιάμεσου τοιχώματος.

- η μετάδοση του ήχου από αέρα σε στερεό παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση από ότι η μετάδοση μεταξύ δύο στερεών (εκτός αν τοποθετηθεί υλικό απόσβεσης της μετάδοσης μεταξύ αέρα και στερεού).

Επίσης, η μετάδοση του ήχου μέσω στερεάς δομής μπορεί να διανύσει πολύ μεγάλες αποστάσεις από τον χώρο που υπάρχει η πηγή.

Οι μεταδόσεις του ήχου από τον έναν χώρο στον άλλον μέσω διαδρομών διαφορετικών από το διαχωριστικό στοιχείο ονομάζονται πλευρικές.

## 2.3. Καμπτικά κύματα

Τα στερεά συμπαγή υλικά μπορούν να υποστηρίξουν και διατμητικές τάσεις και τάσεις συμπίεσης έτσι ώστε τα εγκάρσια, στρεπτικά και διαμήκη κύματα να μπορούν να εκπεμφθούν.

Σε συμπαγής κατασκευές, στο εύρος των ακουστικών συχνοτήτων, όπως στις

ατσαλένιες δοκούς ενός μεγάλου κτιρίου και οι τρεις τύποι διάδοσης κυμάτων είναι σημαντικοί.

Σε λεπτές κατασκευές όπως είναι συνήθως οι τοίχοι, η διάδοση των κυμάτων συμπίεσης είναι ελάχιστης σημασίας.

Η διάδοση ακουστικών συχνοτήτων που γίνεται μέσω του διαχωριστικού πετάσματος (τοιχοποιία) οφείλεται στα καμπτικά κύματα. Τα καμπτικά κύματα είναι συνδυασμός διατμητικών κυμάτων και κυμάτων συμπίεσης.

Τα καμπτικά κύματα σε ένα λεπτό πέτασμα παίρνουν τη μορφή κάμψης όπως λέει και το όνομά τους, διαδίδονται παράλληλα με την επιφάνεια του πετάσματος και φέρουν ως αποτέλεσμα το εκτόπισμα της επιφάνειας. Η ταχύτητα διάδοσης των καμπτικών κυμάτων αυξάνεται καθώς ο λόγος του μήκους κύματος του καμπτικού κύματος προς το πάχος του πετάσματος μειώνεται. Με άλλα λόγια η ακαμψία ενός πετάσματος που αναγκάζεται σε συστροφή, κάμψη  $B$ , αυξάνεται καθώς μειώνεται το μήκος κύματος ή καθώς αυξάνεται η συχνότητα διέγερσης. Έτσι το δονούμενο πέτασμα ακτινοβολεί ακουστικά κύματα στην αντίθετη μεριά του πετάσματος.

Τα πετάσματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : τα ιστροπικά και τα ορθοτροπικά. Τα ιστροπικά χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια στην ακαμψία και στις ιδιότητες των υλικών ενώ τα ορθοτροπικά χαρακτηρίζονται από μία ακαμψία η οποία ποικίλει ανάλογα με τη διεύθυνση των καμπτικών κυμάτων (για παράδειγμα αυλακωτά ή ραβδωτά ατσαλένια πετάσματα).

Η ταχύτητα διάδοσης των καμπτικών κυμάτων στα ιστροπικά πετάσματα δίνεται από τον τύπο :

$$C_{\beta} = \left( \frac{B \cdot \omega^2}{m} \right)^{1/4} \quad (\text{m/s})$$

Η καμπτική ακαμψία  $B$  ορίζεται ως :

$$B = \frac{E \cdot I'}{(1 - \nu^2)} = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2})$$

$\omega$  = κυκλική ταχύτητα (rad/sec)

$h$  = πάχος πετάσματος (m)

$\rho_m$  = γραμμική πυκνότητα υλικού (Kg/m<sup>3</sup>)

$m$  =  $\rho_m h$  επιφανειακή πυκνότητα (Kg/m<sup>2</sup>)

$E$  = μέτρο του Young (Pa)

$\nu$  = ο λόγος Poisson

$I'$  = η διατομή της δεύτερης ροπής ανά κυβικό μέτρο, που υπολογίζεται για το πέτασμα στον ουδέτερο άξονα.

Για τα ορθοτροπικά πετάσματα δεν υφίστανται γενικοί τύποι υπολογισμού των αντίστοιχων ποσοτήτων και ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης θα πρέπει να αναζητήσει στη βιβλιογραφία τις σχέσεις υπολογισμού για τον συγκεκριμένο τύπο που τον ενδιαφέρει.

#### 2.4. Δείκτης ηχομείωσης

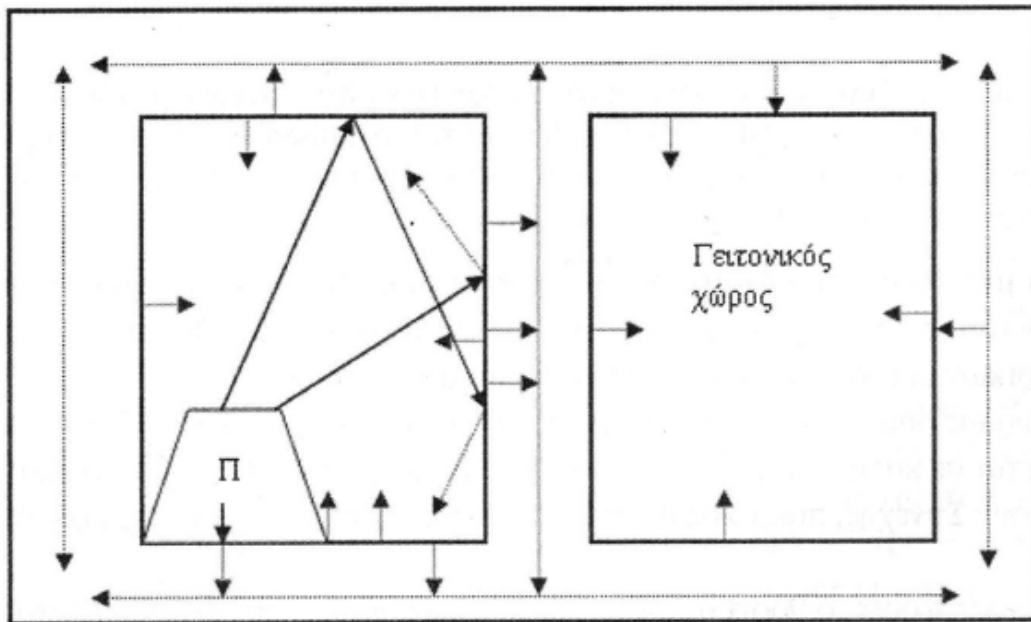
Η ένταση του διαδιδόμενου ήχου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως :

- τη συχνότητα της πηγής
- την ένταση της ηχητικής πηγής
- τη γωνία πρόσπτωσης του προσπίπτοντος κύματος στον τοίχο, πάτωμα, ταβάνι
- τις διαστάσεις του διαχωριστικού τοίχου
- τη μάζα του διαχωριστικού τοίχου
- τον τρόπο όπου τα διάφορα στοιχεία της κατασκευής συνδέονται μεταξύ τους
- το ποσοστό της απόσβεσης του πλάτους ταλάντωσης
- άλλες πλευρικές μεταδόσεις όπως αγωγοί του κλιματισμού ή ρωγμή στους σωλήνες που υπάρχουν στους τοίχους.

Επίσης, η ηχητική ενέργεια που μεταδίδεται στο δωμάτιο λήψης εξαρτάται αν:

1. έχει εισχωρήσει απευθείας στο δοκίμιο και ακτινοβολείται απευθείας από αυτό
2. έχει εισχωρήσει απευθείας στο δοκίμιο, αλλά ακτινοβολείται από την πλευρική κατασκευή.
3. έχει εισχωρήσει στην πλευρική κατασκευή και ακτινοβολείται απευθείας από το δοκίμιο
4. έχει ακτινοβολήσει στην πλευρική κατασκευή και ακτινοβολείται από αυτήν.
5. έχει μεταδοθεί (ως αερόφερτος ήχος) από ανοίγματα, αγωγούς αερισμού κλπ.

Το σχήμα που ακολουθεί είναι αναλυτικό:



Εικόνα: Μετάδοση ηχητικού κύματος σε γειτονικό χώρο.

Η βασική μέτρηση για την ηχητική μόνωση ενός δομικού στοιχείου είναι ο δείκτης ηχομείωσης.

Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει σε έναν τοίχο ή πέτασμα, ένα μέρος του ηχητικού κύματος θα ανακλαστεί και ένα μέρος θα μεταδοθεί μέσω του τοίχου. Το μέρος της ηχητικής ενέργειας του προσπίπτοντος κύματος που διαδίδεται ή αλλιώς ο λόγος της μεταδιδόμενης προς την προσπίπτουσα ισχύ ονομάζεται συντελεστής διάδοσης  $\tau$ . Το δεκαπλάσιο του λογαρίθμου του συντελεστή διάδοσης  $\tau$ , ή αλλιώς το δεκαπλάσιο του λογαρίθμου του λόγου της προσπίπτουσας ηχητικής ισχύς προς τη διαδιδόμενη ηχητική ισχύ ονομάζεται δείκτης διάδοσης και δέχεται διάφορους συμβολισμούς όπως  $R$  ή  $TL$  (transmission loss).

Δηλαδή:

$$R = - 10 \log_{10} \tau$$

ή

$$R = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_1^2}{P_2^2}$$

Όπου:

$P_1$  - η ηχητική ισχύ του προσπίπτοντος ήχου στο πέτασμα ή τοίχο και

$P_2$  - η ηχητική ισχύ του ήχου που διαδίδεται.

Οι αναφορές που γίνονται στο μέγεθος του δείκτη ηχομείωσης στις βιβλιογραφίες

είναι οι εξής : R ή TL,  $R_i$  , SRI (sound reduction index), STL (sound transmission loss) , STC (sound transmission class), σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$  (weighted). Πιο περιγραφική αναφορά των αντίστοιχων συμβολισμών γίνεται παρακάτω. Υπάρχουν και άλλα μεγέθη που περιγράφουν την ηχομονωτική ικανότητα ενός πετάσματος όπως ο θόρυβος μείωσης NR ο οποίος περιγράφεται παρακάτω.

Κατά τη μέτρηση της ηχομόνωσης γίνεται διαχωρισμός μεταξύ δύο μεγεθών.

- i) του δείκτη ηχομείωσης R και
- ii) του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης  $R'$ .

Το μέγεθος R χρησιμοποιείται για μετρήσεις ηχομόνωσης που δε λαμβάνονται υπόψη οι πλευρικές μεταδόσεις από τους τοίχους, τα ταβάνια, τα πατώματα. Είναι δηλαδή οι εργαστηριακές μετρήσεις του εξεταζόμενου πετάσματος.

Το μέγεθος  $R'$  χρησιμοποιείται για μετρήσεις ηχομόνωσης του εξεταζόμενου πετάσματος, λαμβάνοντας υπόψη και τις πλευρικές μεταδόσεις του ήχου από τους τοίχους, τα ταβάνια και τα πατώματα.

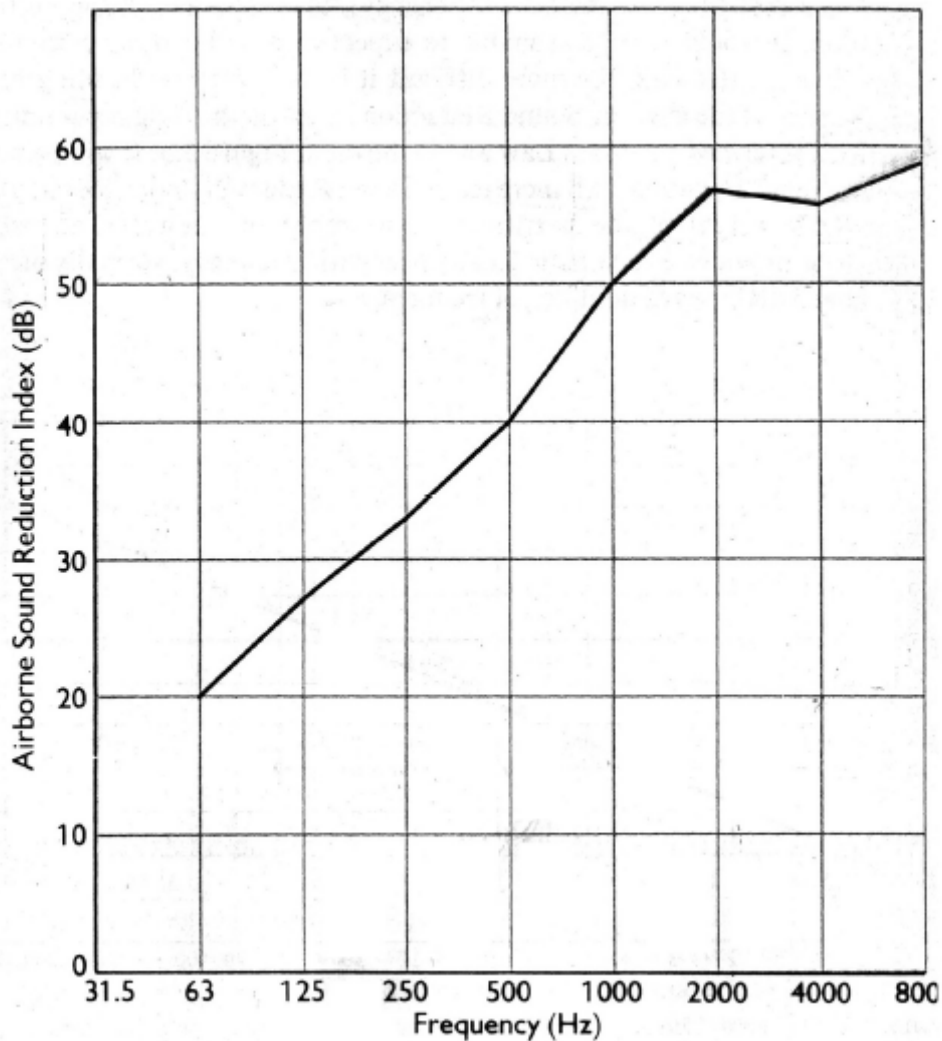
Όταν στα μεγέθη R και  $R'$  βρίσκεται ο δείκτης w, δηλαδή RW και  $R'W$ , εννοείται το μονότιμο μέγεθος, η μία τιμή που αντιπροσωπεύει όλο το δείκτη διάδοσης σε όλο το συχνοτικό φάσμα. Οι αντίστοιχες ονομασίες των μονότιμων μεγεθών είναι:

- i)  $R_w$  – σταθμισμένος δείκτης διάδοσης
- ii)  $R'w$  – σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης διάδοσης

### **SRI (sound reduction index)**

Ο SRI ονομάζεται και STL (sound transmission loss). Όταν ένας τοίχος έχει υψηλό SRI τότε η ενέργεια που μεταφέρεται στον άλλο τοίχο είναι πολύ μικρή. Για παράδειγμα, αν ένας τοίχος έχει SRI 60dB η ηχητική ενέργεια που διαδίδεται στην άλλη πλευρά του τοίχου έχει το 1 εκατομμυριοστό της προσπίπτουσας ηχητικής ενέργειας.

Μία απεικόνιση του SRI βρίσκεται παρακάτω:



Διάγραμμα δείκτη ηχομείωσης SRI σε σχέση με τη συχνότητα. (125mm παχύ τούβλο, σοβατισμένο και στις δύο μεριές με επιφανειακή μάζα 145Kg/m<sup>2</sup>)

Όπως προαναφέρθηκε, τα χαρακτηριστικά της ηχομόνωσης ενός πετάσματος εξαρτώνται από τη συχνότητα του προσπίπτοντος ήχου. Σύμφωνα με το παραπάνω σχεδιάγραμμα η ηχομόνωση είναι σχετικά μικρή στις χαμηλές συχνότητες και υψηλή στις ψηλές συχνότητες. Για πιο περιεκτική περιγραφή της ηχομόνωσης ενός πετάσματος είναι χρήσιμο να εκφράζεται ο SRI σε διάφορες συχνότητες, συνήθως σε μπάντες οκτάβας ή τριτοκτάβας.

Όταν γίνεται αναφορά σε τυπικά πετάσματα είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται ο μέσος όρος του SRI για τριτοκτάβες, στο συχνοτικό εύρος από 100-3150 Hz, ο οποίος είναι σχετικά πολύ όμοιος με τη τιμή στα 500Hz.

## 2.5. Διαδικασία μέτρησης του δείκτη ηχομείωσης σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις.

Όλες οι μέθοδοι βαθμονόμησης βασίζονται σε ακριβείς μετρήσεις του δείκτη ηχομείωσης. Τέτοιες μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις σύμφωνα με τις απαιτήσεις του BS2750:1980 ή του ISO R140-1978. Αυτές οι

μετρήσεις είναι αντιπροσωπευτικές για κάθε δοκιμαστικό πέτασμα και επιπλέον ελαχιστοποιούν τις πλευρικές μεταδόσεις (flanking paths) που υπάρχουν.

Το δοκιμαστικό πέτασμα τοποθετείται σε έναν ανοικτό χώρο ανάμεσα σε δύο αντηχητικά δωμάτια, σχεδιασμένα για τέτοιου είδους μετρήσεις. Ο θόρυβος εκπέμπεται από το ένα δωμάτιο (δωμάτιο εκπομπής) και μέρος της ηχητικής ενέργειας διαδίδεται μέσω του δοκιμαστικού πετάσματος στο άλλο δωμάτιο (δωμάτιο λήψης).

Στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις, η ηχητική στάθμη στο δωμάτιο εκπομπής είναι  $L_1$ , το διαχωριστικό πέτασμα έχει επιφάνεια  $S$  ( $m^2$ ) και η ηχητική στάθμη στο δωμάτιο λήψης είναι  $L_2$ . Επιπλέον, το δωμάτιο λήψης έχει όγκο  $V$  ( $m^3$ ) και χρόνο αντήχησης  $T_a$  (sec).

Οι μετρήσεις αυτές γίνονται σε διαστήματα τριτοκτάβας.

Ο δείκτης διάδοσης του προσπίπτοντος πεδίου, σύμφωνα με την παραπάνω εργαστηριακή μέθοδο, μπορεί να οριστεί και διαφορετικά χρησιμοποιώντας τις εξής μετρούμενες ποσότητες:

- το θόρυβο μείωσης NR
- τη σταθερά δωματίου λήψης
- την απορρόφηση Sabine του δωματίου λήψης.

Το αποτέλεσμα του μέσου όρου της στάθμης της ηχητικής πίεσης (μακριά από την ηχητική πηγή) στα δωμάτια εκπομπής και λήψης μετρούνται και η διαφορά στη στάθμη ονομάζεται θόρυβος μείωσης, NR.

Η σταθερά δωματίου λήψης

$$R = \frac{S \cdot a}{1 - a}$$

ορίζεται είτε με τη χρήση μιας κανονικής πηγής ηχητικής δύναμης είτε από τη μέθοδο μετρήσεων της πτώσης του χρόνου αντήχησης.

Η δύναμη που διαδίδεται μέσω του τοίχου,  $W_t$ , δίνεται από την ενεργό ένταση του διάχτου πεδίου,  $I$ , πολλαπλασιασμένη με την περιοχή  $A$  του διαχωριστικού πετάσματος και με το κλάσμα της ενέργειας που διαδίδεται  $\tau$ .

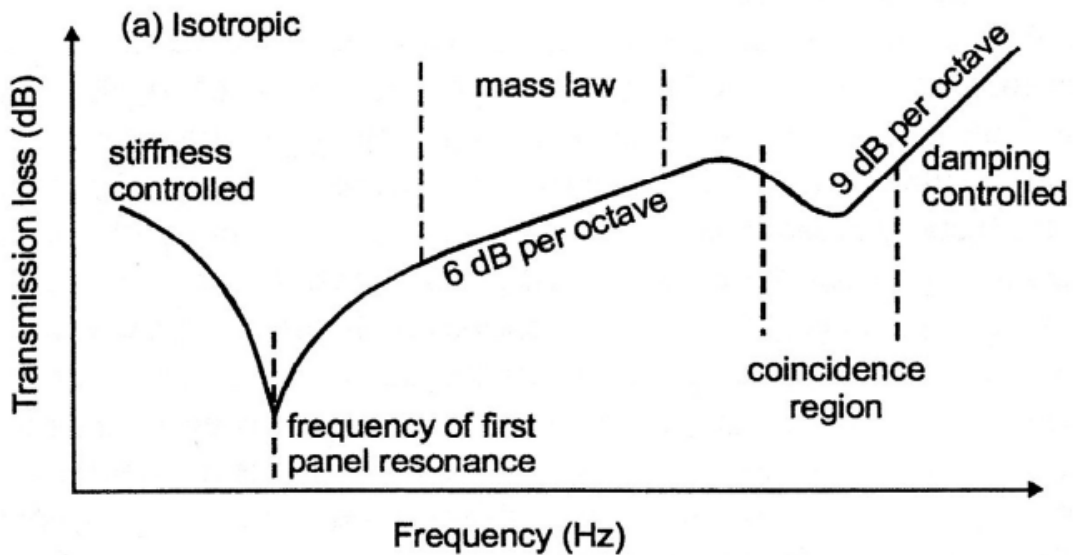
## 2.6. Συμπεριφορά του δείκτη διάδοσης σε μονό πέτασμα.

Είναι σημαντική η κατανόηση της γενικής συμπεριφοράς του δείκτη διάδοσης ενός μονού συμπαγές διαχωριστικού πετάσματος (ισοτροπικό) στο εύρος των ακουστικών συχνοτήτων.

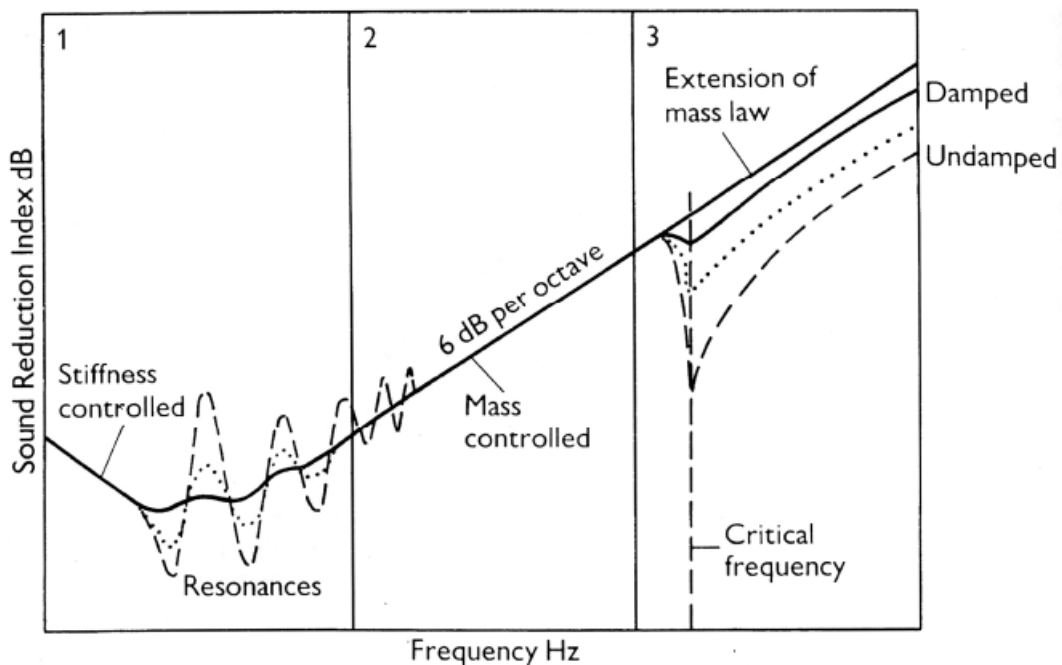
Μονό συμπαγές πέτασμα θεωρείται αυτό που έχει και τις δύο επιφάνειες στερεά συνδεδεμένες. Ταλαντεύεται δηλαδή ως ενιαίο σώμα. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα ομογενή πετάσματα από τούβλο, ασβεστόπλακα, γυψοσανίδα, τσιμέντο. Οι κατασκευές sandwich, οι κατασκευές που αποτελούνται από στρώσεις διαφορετικών

υλικών, μπορούν επίσης να θεωρηθούν σα μονό πέτασμα αν είναι στερεά ενωμένα μεταξύ τους και κινούνται ως ενιαίο σώμα.

Μια εικονογράφηση μιας τυπικής συμπεριφοράς δίνεται στα παρακάτω σχεδιαγράμματα, όπου διάφορα χαρακτηριστικά του συχνοτικού εύρους είναι ενδεικτικά.



Σχεδιάγραμμα: Δείκτης διάδοσης μονού ισοτροπικού πετάσματος σε σχέση με τη συχνότητα.



Σχεδιάγραμμα: Χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης μονού ισοτροπικού πετάσματος σε σχέση με τη συχνότητα.

Η γενική συμπεριφορά του δείκτη διάδοσης ενός μονού πετάσματος χωρίζεται σε



τρεις περιοχές. Ανάλογα την περιοχή, ελέγχεται από τους εξής παράγοντες:

Περιοχή 1η : την ακαμψία και τους συντονισμούς

Περιοχή 2η : το νόμο μάζας

Περιοχή 3η : το φαινόμενο σύμπτωσης και την εσωτερική απόσβεση του συστήματος. Η ακαμψία του πετάσματος επηρεάζει και την τρίτη περιοχή.

Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το δείκτη διάδοσης είναι ο τρόπος στήριξης του πετάσματος.

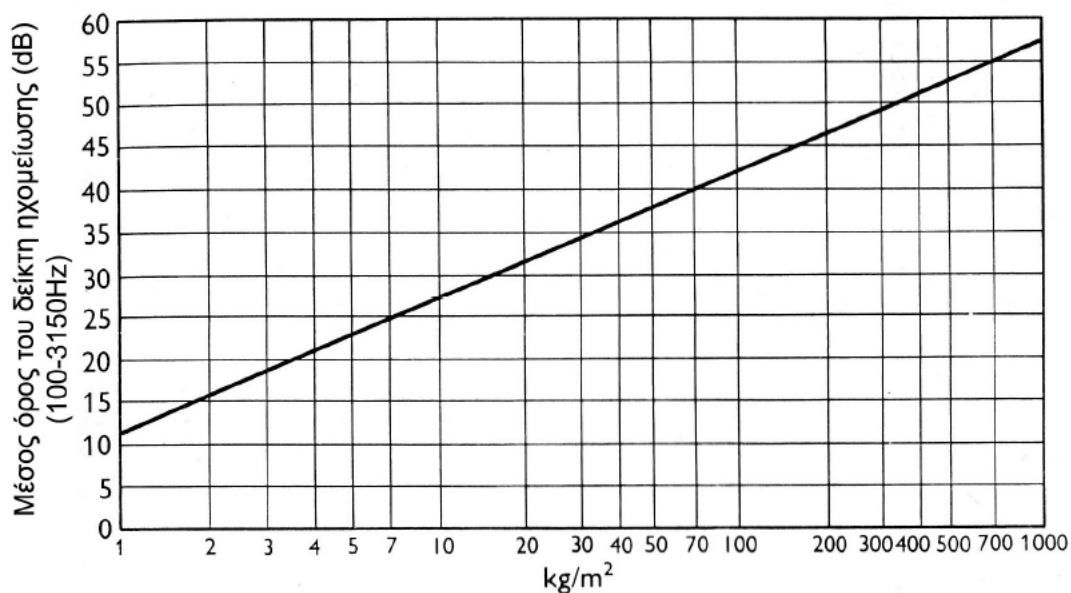
### **Περιοχή 1η**

Στις χαμηλές συχνότητες ο δείκτης διάδοσης ελέγχεται από την ακαμψία του πετάσματος. Στις συχνότητες αυτές το πέτασμα τείνει να κινείται σα μια μεμβράνη που παρουσιάζει καμπτικές κινήσεις. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στις καμπτικές κινήσεις, όσο δηλαδή το πέτασμα είναι περισσότερο άκαμπτο, τόσο πιο ψηλά θα βρίσκεται ο δείκτης διάδοσης. Για αυτό το λόγο τα ελαφριά πετάσματα, όπως το πλαστικό ή τα πετάσματα με κυψελοειδή μορφή όπου η κυψέλες είναι άκαμπτες, συνήθως έχουν πολύ καλό δείκτη ηχομείωσης στις χαμηλές συχνότητες. Ωστόσο αυτά τα υλικά παρουσιάζουν πολύπλοκους συντονισμούς που τείνουν να ελαττώνουν την απόδοσή τους ηχομονωτικά στις μεσαίες συχνότητες. Στη συχνότητα του πρώτου συντονισμού του πετάσματος, η διάδοση του ήχου είναι μεγάλη και τότε ο δείκτης διάδοσης εξαρτάται αρκετά από την απόσβεση του συστήματος.

### **Περιοχή 2<sup>η</sup>**

Στις συχνότητες πάνω από τον πρώτο συντονισμό, υπάρχει ένα φαρδύ εύρος συχνοτήτων, όπου ο δείκτης διάδοσης ελέγχεται από την επιφανειακή πυκνότητα του πετάσματος. Αυτή είναι η δεύτερη περιοχή, η περιοχή νόμου μάζας. Φαίνεται λογικό ότι όσο πιο συμπαγής είναι μια κατασκευή τόσο πιο δύσκολα θα παρουσιάζει καμπτικές κινήσεις. Αυτή η εξάρτηση του μέσου όρου του δείκτη ηχομείωσης με το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας του πετάσματος ορίζεται από το νόμο της μάζας και δείχνεται σχηματικά παρακάτω. Η σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών είναι σχεδόν γραμμική και για κάθε διπλασιασμό της επιφανειακής πυκνότητας του πετάσματος υπάρχει αύξηση περίπου 5 dB του δείκτη ηχομείωσης.

Είναι σημαντικό επίσης το γεγονός ότι ο δείκτης διάδοσης εξαρτάται και από τη συχνότητα και συνήθως αυξάνει περίπου 5dB για κάθε διπλασιασμό της συχνότητας.



Σχεδιάγραμμα: Νόμος μάζας.

### Περιοχή 3<sup>η</sup>

Στις ψηλές συχνότητες, στην τρίτη περιοχή, συμβαίνει το φαινόμενο της σύμπτωσης. Λόγω του φαινομένου της σύμπτωσης που εξετάστηκε, πάνω από την κρίσιμη συχνότητα υπάρχει ελάττωση του δείκτη ηχομείωσης.

Το βάθος της σύμπτωσης εξαρτάται από την ομοιογένεια του υλικού και την εσωτερική του απόσβεση.

Επίσης, ο τρόπος που στηρίζεται το πέτασμα μπορεί να επηρεάσει τα καμπτικά κύματα και έτσι να επηρεαστεί και η διάδοση.

Τελικά στις πολύ ψηλές συχνότητες, ο δείκτης διάδοσης πάλι αυξάνει ελεγχόμενος από την απόσβεση και πετυχαίνει μια έκταση της καμπύλης περίπου 9dB ανά οκτάβα.

Για ορισμένα συνήθη οικοδομικά στοιχεία και κατασκευές, κάποιες τιμές του δείκτη ηχομείωσης είναι κάτω από αυτές που ορίζει ο νόμος μάζας και αυτό οφείλεται στο βάθος του φαινομένου σύμπτωσης και στο πορώδες του υλικού. Οι πυκνοί τοίχοι συνήθως παρουσιάζουν ελάττωση στα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης, λόγω των ηχητικών διαρροών μέσω μη στεγασμένων κενών της κατασκευής ή λόγω των πόρων του ίδιου του υλικού. Ακόμα και οι τοίχοι από πυκνό παχύ ξύλο ή τούβλα συχνά παρουσιάζουν χαραμάδες στο σοβάτισμά τους και αυτό μπορεί να ελαττώσει αρκετά τον δείκτη ηχομείωσής τους. Για αυτόν τον λόγο είναι συνηθισμένο να καλύπτεται η μία πλευρά των τοίχων από 12mm παχύ πλαστικό.

## 2.7. Υπολογισμός φαινομένου δείκτη ηχομείωσης $R'$ .

### Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R'$

Σύμφωνα με την εργαστηριακή διάταξη για τη μέθοδο υπολογισμού του δείκτη ηχομείωσης και δεδομένου ότι τα ηχητικά πεδία στα δύο δωμάτια είναι διάχτυα, ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης  $R'$  (ή ο φαινόμενος σταθμισμένος

δείκτης ηχομείωσης  $R'w$ ) μπορεί να υπολογιστεί μέσω της στάθμης ήχου, για διαστήματα τριτοκτάβας και οκτάβας ως εξής:

$$R' = L_s - L_E + 10 \log_{10} \frac{A}{A_0}$$

Όπου:

$L_s$  - η στάθμη ήχου στο χώρο εκπομπής

$L_E$  - η στάθμη του ήχου στον χώρο λήψης κάθε φορά σε συνάρτηση με τη συχνότητα

$A$  - η εξεταζόμενη επιφάνεια του πετάσματος

$A_0$  - η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης του ήχου.

Το  $A_0$  εκφράζει το πόσο μεγάλο πρέπει να είναι το σύνολο όλων των επιφανειών, που γειτονεύουν με το χώρο, αν οι επιφάνειες έχουν βαθμό απορρόφησης 100%. Επειδή στην πράξη δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, η ισοδύναμη επιφάνεια καθορίζεται μέσω του μαθηματικού τύπου:

$$T = 0.163 \frac{V}{A_0}$$

Άρα

$$A_0 = 0.163 \frac{V}{T} \text{ (m}^2\text{)}$$

Από αυτό προκύπτει ότι σε μικρούς όγκους χώρου, ο χρόνος αντήχησης είναι πολύ μικρός και επειδή στη μαθηματική έκφραση βρίσκεται στον παρονομαστή προκύπτει μια μεγάλη ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου  $A_0$ .

Ένα παράδειγμα του παραπάνω τρόπου υπολογισμού :

### **Παράδειγμα:**

Αν υπάρχει ένας τοίχος προς εκτίμηση,

Προς εκτίμηση τοίχος  $A = 18 \text{ m}^2$  και

Όγκος χώρου λήψης  $V = 80 \text{ m}^3$

Χρόνος αντήχησης  $T = 0.8 \text{ s}$ .

Τότε η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης θα είναι  $A_0 = 0.163 \cdot 80 / 0.8 = 16.3 \text{ m}^2$ . Αυτό σημαίνει ότι σε μία επιφάνεια  $16.3 \text{ m}^2$  με βαθμό απορρόφησης ήχου 1 (=100%) απορροφάτε ακριβώς η ίδια ποσότητα ήχου, όπως και από τις υπάρχουσες επιφάνειες του χώρου.

Για διαστήματα τριτοκτάβας

Έχοντας μετρήσει τις στάθμες ήχου των δύο δωματίων (εκπομπής και λήψης) και χρησιμοποιώντας τη σχέση μπορεί να υπολογιστεί ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης για κάθε συχνότητα σε διαστήματα τριτοκτάβας.

Συχνότητα σε Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Χώρος εκπομπής σε dB	90	92	91	91	91	92	89	90	89	89	89	88	88	88	87	86
Χώρος λήψης σε dB	54	52	52	53	53	51	52	51	50	48	47	45	43	42	37	32

Πίνακας: Στάθμες ήχου σε dB δωματίου εκπομπής και λήψης σε διάστημα τριτοκτάβας.

$$R'w = Ls - LE + 10 \log A/Ao$$

$$R'w,100 = 90 \text{ dB} - 54 \text{ dB} + 10 \log 18 \text{ m}^2 / 16,3 \text{ m}^3$$

$$R'w,100 = 90 \text{ dB} - 54 \text{ dB} + 0,4 \text{ dB}$$

$$R'w,100 = 36,4 \text{ dB.}$$

Ο παράγοντας διόρθωσης  $10 \log A/Ao$  είναι τόσο μικρός ώστε μπορεί να μη ληφθεί υπόψη.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται για τις υπόλοιπες συχνότητες. Για τις δοθείσες τιμές (Ao, T60, V, δωματίου) προκύπτει:

$R'w,100$	$R'w,125$	$R'w,160$	$R'w,200$	$R'w,250$	$R'w,315$	$R'w,400$	$R'w,500$	$R'w,630$	$R'w,800$	$R'w,1000$
36.4	40.4	39.4	38.4	38.4	41.4	37.4	39.4	39.4	41.4	42.4
$R'w,1250$	$R'w,1600$	$R'w,2000$	$R'w,2500$	$R'w,3150$						
43.4	45.4	46.4	50.4	54.4						

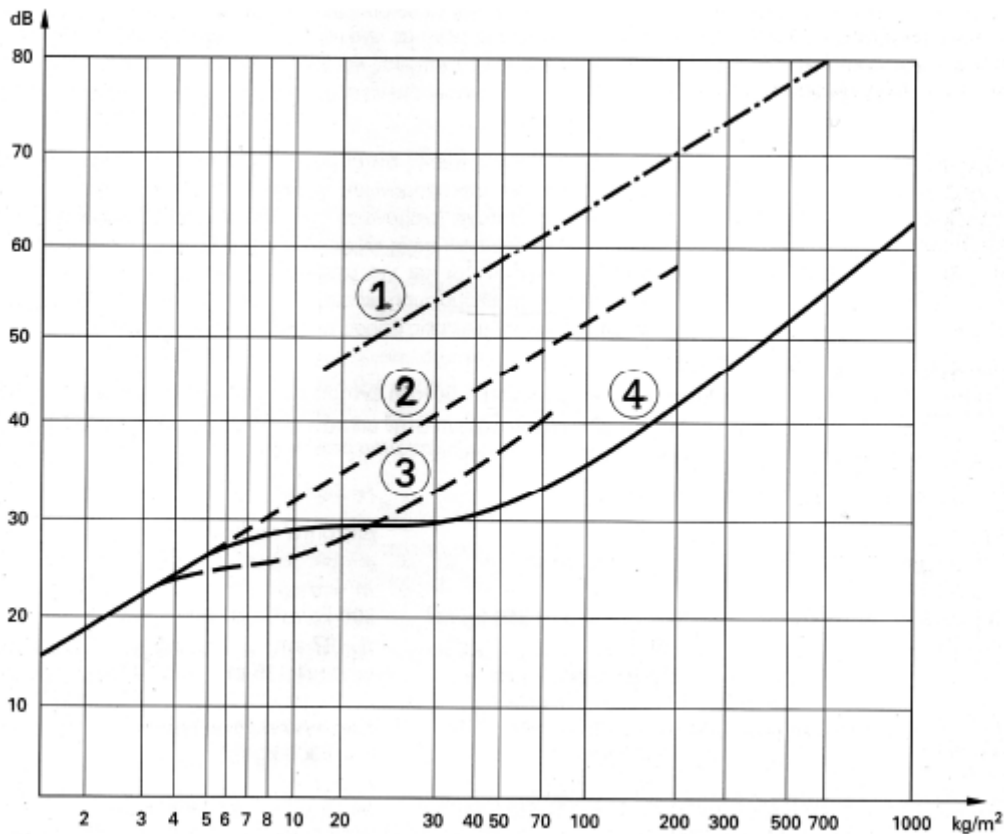
Πίνακας: Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης  $R'w$  σε διάστημα τριτοκτάβας μέσω στάθμης ήχου δωματίου λήψης και εκπομπής.

### Σταθμισμένος Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R'W$

Στην πράξη είναι θεμιτό να χρησιμοποιείται ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης  $R'W$ , έτσι ώστε να αποδίδεται η ηχομονωτική ικανότητα ενός πετάσματος με την τιμή ενός αριθμού. Αυτό συμβαίνει για να γίνεται απλή και γρήγορη η αξιολόγηση της ηχομονωτικής ικανότητας ενός πετάσματος και η σύγκρισή του με άλλα πετάσματα. Επίσης, είναι δύσκολο να τεθούν απαιτήσεις και προδιαγραφές για την ηχομόνωση κτιριακών στοιχείων χρησιμοποιώντας όλες τις τιμές του δείκτη ηχομείωσης στις τριτοκταβικές ή οκταβικές μπάντες.

Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης  $R'w$  είναι μέσω της γραφικής μεθόδου.

### **Γραφική μέθοδος υπολογισμού $R'w$ , πριν την κατασκευή.**



Σχεδιάγραμμα 2.8 Φαινόμενος δείκτης  $R'w$  των οικοδομικών στοιχείων σε συνάρτηση με την επιφανειακή μάζα ( $\text{kg/m}^2$ ).

Στο διάγραμμα απεικονίζονται τα εξής:

1. μέγιστες τιμές διπλών οικοδομικών στοιχείων με κοιλότητα μόνωσης.
2. σύμφωνα με το νόμο μάζας για μονές πλάκες (δυνατές μόνο για μολύβδινες λαμαρίνες και κόμμι).
3. ξύλο και ξύλινα υλικά σε μονές οικοδομικές κατασκευές.
4. τοιχοποιία, μπετόν, γύψος, γυαλί σε μονές οικοδομικές κατασκευές.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι ο δείκτης ηχομείωσης  $R'w$ :

1. Αυξάνεται περίπου 7dB με το διπλασιασμό της επιφανειακής μάζας  $\text{kg/m}^2$ .
2. Το ξύλο και τα ξύλινα υλικά, λόγω της συχνότητας σύμπτωσης, με αύξηση της επιφανειακής μάζας από 4-20 $\text{Kg/m}^2$  δεν επιφέρουν καμία αύξηση στο δείκτη ηχομείωσης.
3. Το μπετόν, η τοιχοποιία, ο γύψος και το γυαλί με επιφανειακή μάζα από 6-40  $\text{kg/m}^2$  και λόγω της συχνότητας σύμπτωσης δεν επιφέρουν αύξηση στο δείκτη ηχομείωσης.
4. Οι τοίχοι από μπετόν, τα υλικά από γυαλί και ο γύψος προσφέρουν καλές και κυρίως σταθερά αυξανόμενες τιμές του δείκτη ηχομείωσης όταν έχουν επιφανειακή πυκνότητα 50 $\text{Kg/m}^2$  και πάνω. Γεγονός που ισχύει πάντα για τα οικοδομικά υλικά

τοιχοποιίας και για το μπετόν.

5. Τα ξύλινα υλικά προσφέρουν αξιοσημείωτα αποτελέσματα όταν έχουν επιφανειακή μάζα από 20kg/m<sup>2</sup> και πάνω.

6. Οι μονοί τοίχοι δύσκολα επιφέρουν ηχομονωτικά αποτελέσματα πάνω από 50dB. Αν στόχος είναι η ηχομόνωση της τάξης των 55dB θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μονός τοίχος με βαριά υλικά και πάχος πάνω 49cm. Τέτοιοι τοίχοι δε συνιστώνται και για στατικούς λόγους και για λόγους θερμοχωρητικότητας. Απαραίτητη είναι η χρήση τοίχων με διπλό κέλυφος για ηχομόνωση της τάξης των 55dB και πάνω.

### Παράδειγμα

Απαιτείται R'w = 60dB. Δεν ακούγεται πλέον η δυνατή ένταση του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης.

Σύμφωνα με το διάγραμμα απαιτείται η επιφανειακή μάζα του μονού δομικού στοιχείου να είναι της τάξης των 800kg/m<sup>2</sup>.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τις παρακάτω λύσεις:

1. Μπετόν

$$\rho = 2300\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 2300\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 34 \text{ cm}$$

2. Τούβλα

$$\rho = 1400\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 1400\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 61,6 \text{ cm}$$

3. Διάτρητα τούβλα

$$\rho = 820\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 820\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 1,115\text{m}$$

4. τούβλα από ασβέστη-άμμο

$$\rho = 1720\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 1720\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 49 \text{ cm}$$

5. Μπετόν με φυσαλίδες αέρα

$$\rho = 460\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 460\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 1,84 \text{ m}$$

6. Λίθοι από ελαφρύ μπετόν

$$\rho = 1000\text{kg/m}^3$$

$$m' = d \cdot \rho (\text{επιφανειακή μάζα})$$

$$800\text{kg/m}^2 = d \cdot 1000\text{kg/m}^3$$

$$\Rightarrow d = 86,5 \text{ cm}$$

Όπως φαίνεται από τα παραδείγματα, τέτοιες ψηλές τιμές ηχομόνωσης μπορούν να επιτευχθούν μόνο με βαριά υλικά και αντίστοιχο πάχος, γεγονός που θα προκαλούσε πρόβλημα στατικότητας, θερμοχωρητικότητας και απώλειας ενός μεγάλου μέρους του εμβαδόν του χώρου.

### 2.8. Διπλά χωρίσματα – Δείκτης ηχομείωσης διπλού χωρίσματος

Υψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης μπορεί να επιτευχθούν με τη χρήση κατασκευών με κοιλότητα.

Οι κατασκευές με κοιλότητα είναι διπλά κελύφη τα οποία βρίσκονται σε κάποια απόσταση μεταξύ τους και συνδέονται ελάχιστα μεταξύ τους. Το κενό, η κοιλότητα, μπορεί να είναι αέρας ή κάποιο μονωτικό υλικό. Συνήθως τοποθετείται

υαλοβάμβακας ή πετροβάμβακας στην κοιλότητα. Τα διπλά οικοδομικά στοιχεία, λόγω του ενδιάμεσου στρώματος αέρα ή μονωτικού υλικού, με μικρή επιφανειακή μάζα δίνουν ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης.

Τα ηχομονωτικά χαρακτηριστικά ενός διπλού χωρίσματος δεν είναι το άθροισμα των χαρακτηριστικών του κάθε χωρίσματος ξεχωριστά. Αυτό συμβαίνει γιατί τα δύο χωρίσματα ενώνονται ακουστικά μεταξύ τους λόγω της ελαστικότητας του έγκλειστου αέρα στο κενό. Για να επιτευχθεί ακουστική μόνωση μεταξύ των δύο χωρισμάτων θα πρέπει το κενό μεταξύ τους να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλο και όπως προαναφέρθηκε το κενό να γεμίζεται με μονωτικό υλικό, χωρίς όμως το μονωτικό υλικό να δρα σα μηχανική γέφυρα μεταξύ των δύο χωρισμάτων.

Διπλά οικοδομικά στοιχεία μπορεί να είναι οι τοίχοι ή ακόμη και τα ταβάνια. Αν αντί διπλών κελυφών για ψηλές τιμές ηχομόνωσης χρησιμοποιούταν μονό κέλυφος, θα έπρεπε η επιφανειακή του μάζα να είναι πολύ μεγάλη καθώς ο δείκτης ηχομείωσης αυξάνεται περίπου 5dB ανά διπλασιασμό μάζας (νόμος της μάζας). Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα ένα πολύ βαρύ κέλυφος που θα ήταν αντικοινομικό και δύσχρηστο δομικά.

### **2.8.1. Οι συχνότητες συντονισμού που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης της διπλής τοιχοποιίας.**

Ο δείκτης ηχομείωσης ενός μονού ισοτροπικού πετάσματος σε σχέση με τη συχνότητα, ορίζεται από δύο συχνότητες. Τη συχνότητα που αντιστοιχεί στον χαμηλότερο συντονισμό του πετάσματος,  $f_1$  και τη συχνότητα σύμπτωσης,  $f_c$ . Σε έναν διπλό τοίχο με κοιλότητα τρεις είναι οι σημαντικές συχνότητες που ορίζουν τα χαρακτηριστικά του δείκτη ηχομείωσης.

1) Η πρώτη είναι η συχνότητα που αντιστοιχεί στην χαμηλότερη τάξη ακουστικού συντονισμού,  $f_2$ .

2) Η δεύτερη αντιστοιχεί στην χαμηλότερη τάξη μηχανικού συντονισμού του διάκενου,  $f_0$ .

3) Η τρίτη είναι μια οριακή συχνότητα που σχετίζεται με το διάκενο των δύο πετασμάτων,  $f_1$ .

#### Η πρώτη συχνότητα:

Η συχνότητα χαμηλότερης τάξης ακουστικού συντονισμού,  $f_2$ , αντικαθιστά την χαμηλότερης τάξης συχνότητα συντονισμού του μονού πετάσματος και μπορεί να υπολογιστεί από την εξής σχέση:

$$f_2 = \frac{c}{2L} \quad (\text{Hz})$$

όπου  $c$  - η ταχύτητα ήχου στον αέρα (m/s)  
και  $L$  - η μεγαλύτερη διάσταση του κενού. (m)

### Η δεύτερη συχνότητα:

Η χαμηλότερης τάξης συχνότητα μηχανικού συντονισμού μπορεί να υπολογιστεί στρογγυλοποιημένα αν γίνει η υπόθεση ότι τα δύο πετάσματα είναι μάζες που ενώνονται με την ελαστικότητα του κενού. Το σύστημα δρα δηλαδή ως δύο μάζες που συνδέονται με ελατήριο.

Για πιο πιστά αποτελέσματα όταν υπολογίζεται η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού του διάκενου για κάποιες κοινές τοιχοποιίες έχει βρεθεί ότι είναι σημαντική η προσθήκη ενός εμπειρικού παράγοντα, το 1.8.(Sharp, 1973).

Έτσι, η χαμηλότερης τάξης συχνότητα μηχανικού συντονισμού του διάκενου μιας διπλής τοιχοποιίας, όπου οι τοίχοι είναι πιο μεγάλοι σε σχέση με το πλάτος του κενού μεταξύ τους, δίνεται από τη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1.8 pc^2 (m_1 + m_2)}{d(m_1 m_2)} \right)^{1/2} \quad \text{Hz}$$

όπου ,

$m_1$  και  $m_2$  - οι επιφανειακές πυκνότητες (Kg/m<sup>2</sup>) του κάθε τοίχου αντίστοιχα και  $d$  - το πλάτος του κενού σε μέτρα

### Η τρίτη συχνότητα:

Η τρίτη συχνότητα, οριακή συχνότητα  $f_L$  , σχετίζεται με το πλάτος του διάκενου  $d$  (m) και ορίζεται :

$$f_1 = \frac{c}{2\pi d} \approx \frac{55}{d} \quad (\text{Hz})$$

Επίσης, σημαντικές συχνότητες για τον καθορισμό του δείκτη ηχομείωσης διπλής τοιχοποιίας είναι οι  $f_{c1}$  και  $f_{c2}$  (κρίσιμες συχνότητες του κάθε πετάσματος) της παρακάτω σχέσης που δίνει την κρίσιμη συχνότητα:

$$F_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (\text{Hz})$$



### 2.8.2. Σχέση πυκνότητας υαλοβάμβακα με την απόσβεση των ταλαντώσεων

Έχουν γίνει πειράματα προκειμένου να βρεθεί ποιά είναι η βέλτιστη πυκνότητα υαλοβάμβακα αναλογικά και με την αντίσταση ροής αέρα του υαλοβάμβακα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η απόσβεση των ταλαντώσεων των χωρισμάτων και η επιθυμητή επίδραση της συχνότητας συντονισμού ενώ παράλληλα δε γεφυρώνονται τα δύο στοιχεία.

Τα αποτελέσματα καταχωρούνται στον πίνακα 2.8 και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η πυκνότητα του υαλοβάμβακα πρέπει να είναι μεταξύ 10-40kg/m<sup>3</sup>.

Τα πειράματα έγιναν σε διπλό χωρίσματα από γυψοσανίδα πάχους 9,5mm με διάκενο 80mm και πάχος υαλοβάμβακα 80mm.

Αντίσταση στη ροή αέρα (Kpa.s/m <sup>2</sup> )	Πυκνότητα	R' w
6	10	48
8	10	49
15	20	49
25	40	48

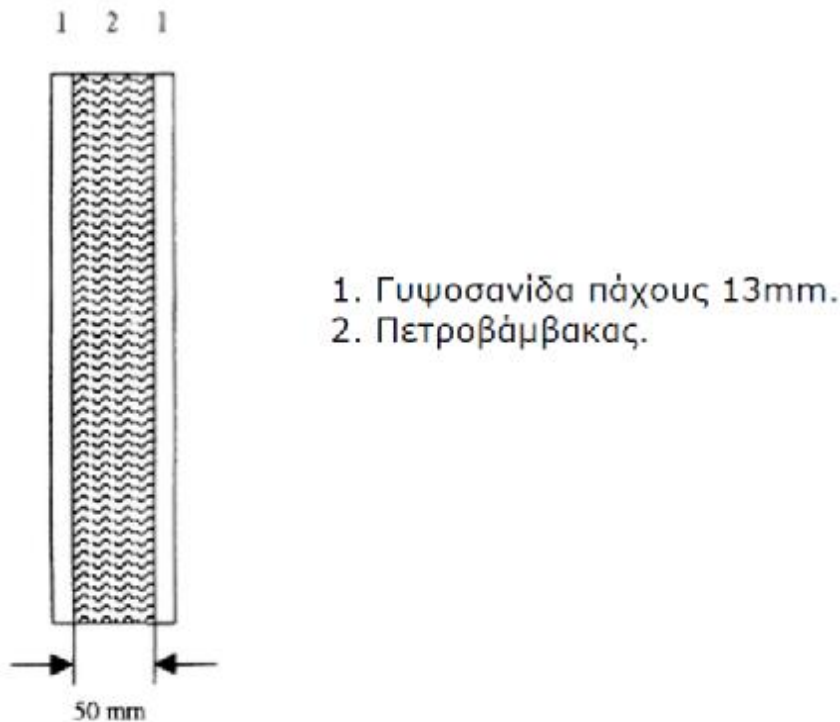
Πίνακας: Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R' w σε σχέση με την αντίσταση ροής αέρα και πυκνότητα του υαλοβάμβακα.

### 2.8.3. Σχέση πυκνότητα πετροβάμβακα με το δείκτη ηχομείωσης ελαφριάς διπλής τοιχοποιίας.

Για να βρεθεί ο ρόλος της πυκνότητα του πετροβάμβακα ως προς τον δείκτη ηχομείωσης μιας ελαφριάς διπλής τοιχοποιίας πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις σε δύο είδη διπλής τοιχοποιίας από γυψοσανίδα. Σε κάθε μέτρηση δοκιμάστηκαν τρεις πυκνότητες πετροβάμβακα: 40, 70, 120 kg/m<sup>3</sup>.

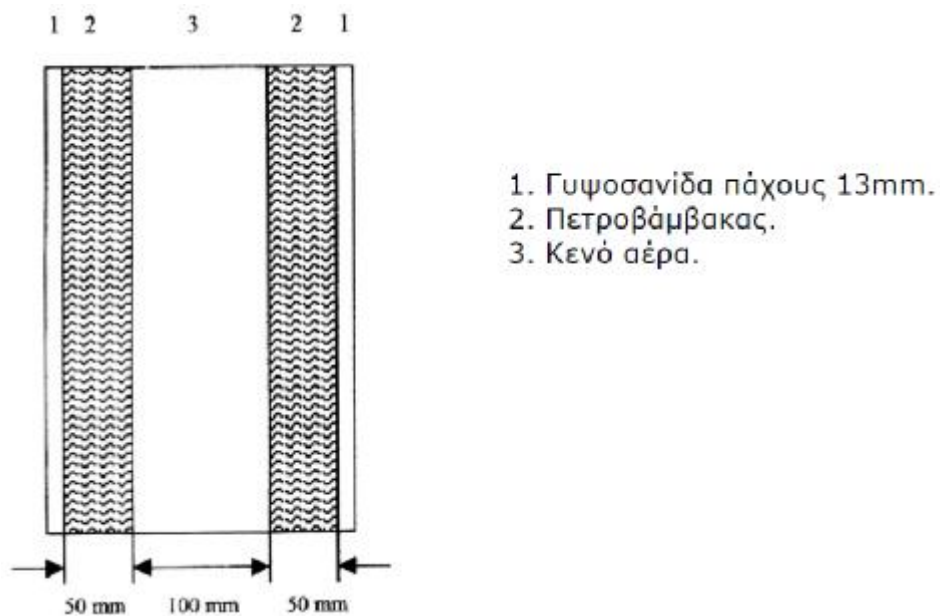
Οι μετρήσεις έγιναν στο πολυτεχνείο της Valencia στην Ισπανία (ETS of Architecture in the Polytechnical University of Valencia) και ακολουθούν τα πρότυπα ISO.

Η πρώτη τοιχοποιία αποτελείται από μονή γυψοσανίδα στερεωμένη σε ένα μεταλλικό σκελετό 50mm. Στο κενό μεταξύ των τοιχωμάτων, όσο το πάχος του σκελετού, τοποθετείται πετροβάμβακας.



Εικόνα: Μονός σκελετός με διπλή γυψοσανίδα.

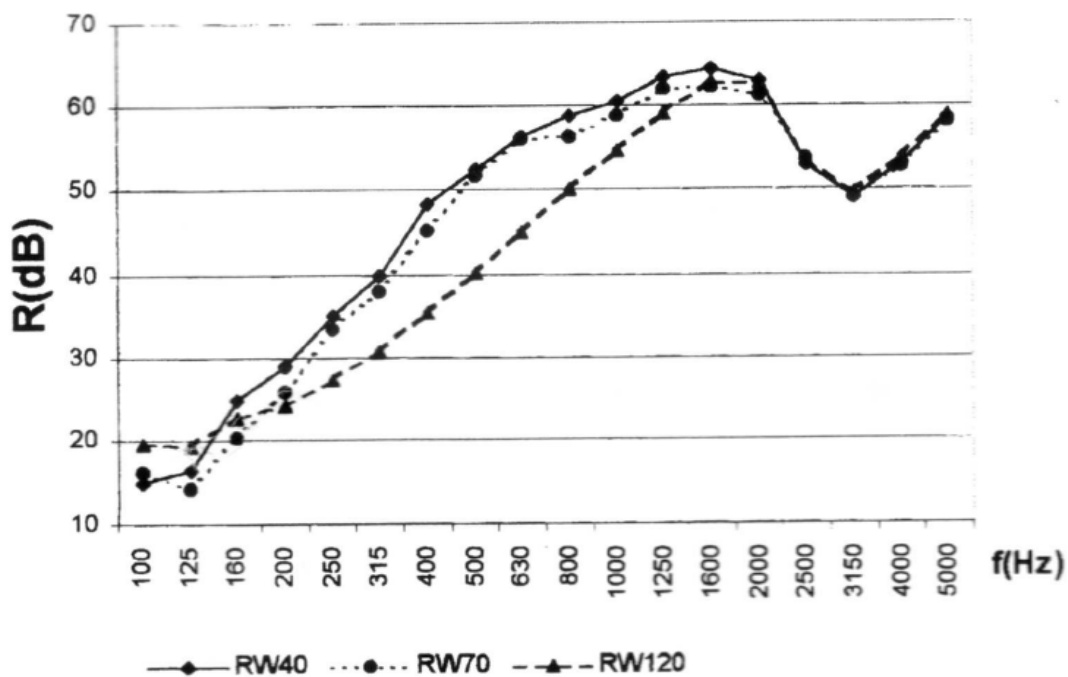
Η δεύτερη τοιχοποιία αποτελείται από μονή γυψοσανίδα σε δύο ανεξάρτητους μεταλλικούς σκελετούς των 50mm. Πίσω από κάθε πλευρά της τοιχοποιίας υπάρχει πετροβάμβακας. Το κενό μεταξύ των δύο σκελετών είναι 10 cm.



Εικόνα: Διπλός σκελετός με μονή γυψοσανίδα.

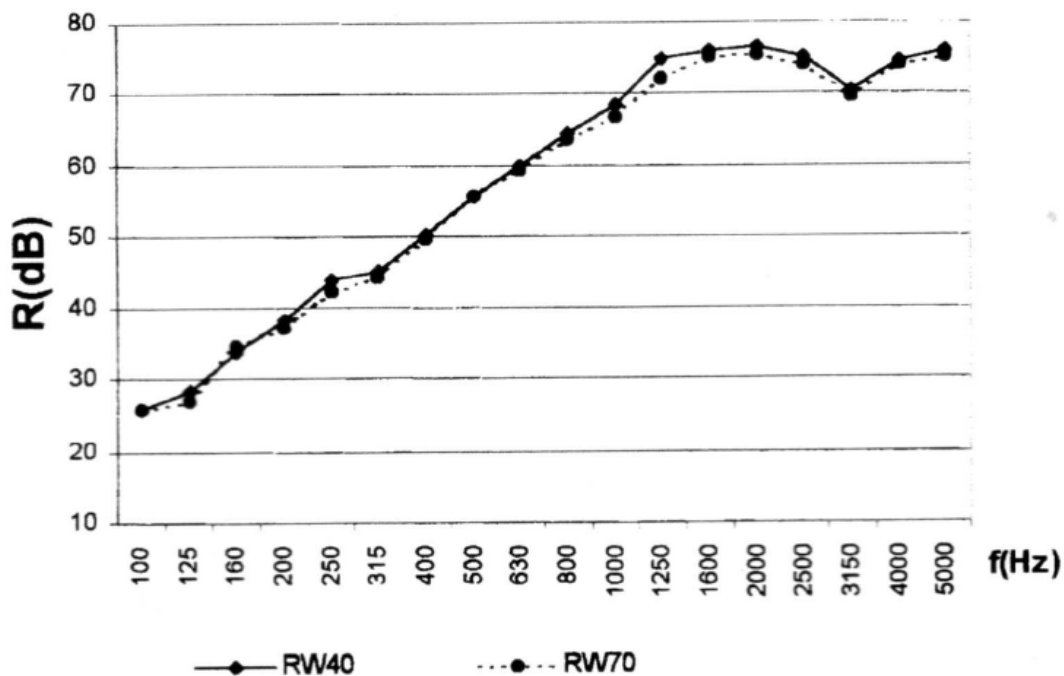
Τα αποτελέσματα του δείκτη ηχομείωσης των υπό μελέτη διπλών τοιχοποιιών ανάλογα με τις πυκνότητες του πετροβάμβακα που μελετήθηκαν, σχεδιάστηκαν στα ακόλουθα διαγράμματα.

Για την πρώτη τοιχοποιία :



Σχεδιάγραμμα: Δείκτης ηχομείωσης της διπλής ελαφριάς τοιχοποιίας από γυψοσανίδα με μονό σκελετό. Οι πυκνότητες του πετροβάμβακα που μελετήθηκαν είναι 40, 70, 120 kg/m<sup>3</sup>. Οι αριθμήσεις της κάθε καμπύλης αφορούν στην πυκνότητα του πετροβάμβακα όπου έγιναν οι μετρήσεις.

Για τη δεύτερη τοιχοποιία:



Σχεδιάγραμμα: Δείκτης ηχομείωσης της διπλής ελαφριάς τοιχοποιίας από γυψοσανίδα με διπλό σκελετό. Οι πυκνότητες του πετροβάμβακα που μελετήθηκαν είναι 40, 70 kg/m<sup>3</sup>. Οι αριθμήσεις της κάθε καμπύλης αφορούν στην πυκνότητα του πετροβάμβακα όπου έγιναν οι μετρήσεις.

Από τα διαγράμματα προκύπτουν τα εξής:

#### Διάγραμμα 1ο:

Οι πυκνότητες που μελετήθηκαν είναι των 40, 70, 120 kg/m<sup>3</sup>.

Γενικά παρατηρείται πως στο μεγαλύτερο εύρος των συχνοτήτων καλύτερα ηχομονωτικά αποτελέσματα προσφέρει η διπλή τοιχοποιία με πυκνότητα πετροβάμβακα 40 kg/m<sup>3</sup>.

Η μεγαλύτερη υπό μελέτη πυκνότητα πετροβάμβακα των 120Kg/m<sup>3</sup>, προσφέρει αύξηση του δείκτη ηχομείωσης σε σχέση με τις άλλες πυκνότητες μόνο κάτω από την περιοχή των 160 Hz. Αυτό συμβαίνει γιατί η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων στην περιοχή αυτή είναι μεγάλη και απαιτείται η πυκνότητα του πετροβάμβακα να είναι αρκετή ώστε να μπορεί να παρουσιάζει αντίσταση και αδράνεια στην περιοχή αυτή. Στο συχνοτικό εύρος από 160-1250Hz, τα αποτελέσματα διαφέρουν ανάλογα με την πυκνότητα. Η εξεταζόμενη πυκνότητα των 120Kg/m<sup>3</sup> δίνει τις πιο χαμηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης. Η πυκνότητα των 70 Kg/m<sup>3</sup> δίνει σχεδόν τα ίδια αλλά μικρότερα αποτελέσματα σε σχέση με την πυκνότητα των 40 kg/m<sup>3</sup>. Η εξεταζόμενη πυκνότητα των 40 kg/m<sup>3</sup> δίνει τις πιο ψηλές τιμές του δείκτη ηχομείωσης.

Πάνω από τη συχνότητα των 1250Hz και οι τρεις πυκνότητες προσφέρουν τα ίδια αποτελέσματα.

#### Διάγραμμα 2ο:

Οι πυκνότητες που μελετήθηκαν είναι των 40 και 70 Kg/m<sup>3</sup>.

Η γενική παρατήρηση των αποτελεσμάτων είναι ότι η πυκνότητα του πετροβάμβακα των 40Kg/m<sup>3</sup> προσφέρει λίγο μεγαλύτερη αύξηση του δείκτη ηχομείωσης σε όλο το εύρος των συχνοτήτων.

### **2.9. Υπολογιστική μέθοδος εύρεσης του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, $R'_w$ , διπλής τοιχοποιίας**

Ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης μιας διπλής τοιχοποιίας με ορυκτοβάμβακα στο διάκενο μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά με τη χρήση του τύπου:

$$R'_w = 50 \cdot \log \frac{m'}{m_0} + 20 \cdot \log \frac{d_L}{d_0} + 56 \text{ dB.}$$

Όπου

$m'$ - η επιφανειακή μάζα και των δύο κελυφών (Kg/m<sup>2</sup>)

$m_0$  – η τιμή αναφοράς 300kg/m<sup>2</sup>

$d_L$ - απόσταση κελυφών σε mm

$d_0$ - τιμή αναφοράς 10mm.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα από τον τρόπο υπολογισμού του  $R'_w$  της διπλής τοιχοποιίας:

δομ.υλικό	γραμμική πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	πάχος(cm)	επιφανειακή πυκνότητα(kg/m <sup>2</sup> )		τιμή αναφοράς 300(kg/m <sup>2</sup> )	απόσταση μεταξύ κελυφών(m)		τιμή αναφοράς (m)	Δεικ.ηχομ.
	m		h	m'		*2 m'	m <sub>0</sub>		dL
τούβλο(πλήρες)	1800	9	162	324	300	0,05		0,01	71,65
τούβλο(πλήρες)	1800	9	162	324	300	0,1		0,01	77,67
Άλλο υλικό	900	9	81	162	300	0,05		0,01	56,6

Παρατηρήσεις:

Από το παράδειγμα 1 και 2 (τούβλο πλήρες) παρατηρείται το εξής:

- Με το διπλασιασμό της απόστασης των κελυφών επιτυγχάνεται αύξηση του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης περίπου κατά 6dB.

Από το παράδειγμα 1 και 3 (τούβλο πλήρες-άλλο υλικό) παρατηρείται ότι:

- Στις διπλές τοιχοποιίες, ο διπλασιασμός της μάζας επιτυγχάνει αύξηση του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης περίπου κατά 15 dB.

Στις μονές τοιχοποιίες ο διπλασιασμός της μάζας προσφέρει αύξηση του φαινομένου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης περίπου 7,5dB.

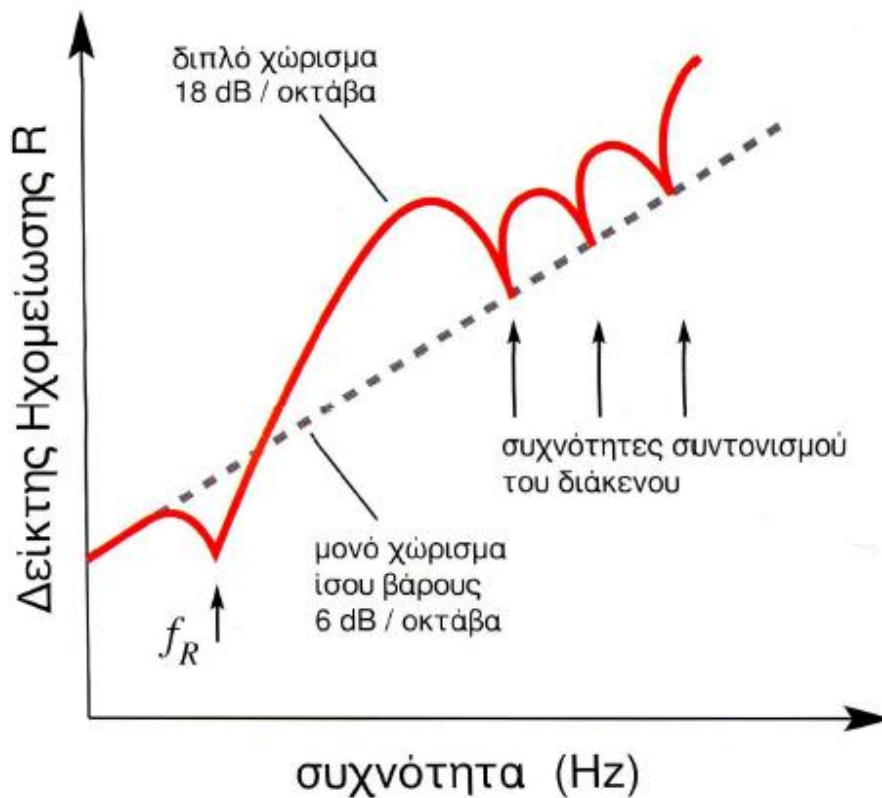
## 2.10. Μέθοδος υπολογισμού της χαμηλότερης τάξης μηχανικού συντονισμού, $f_r$ , διπλού πετάσματος.

Όπως αναφέρθηκε, στα διπλά οικοδομικά στοιχεία, σημαντικό ρόλο έχει η συχνότητα συντονισμού  $f_r$ . Παραπάνω δόθηκε ο ορισμός της χρησιμοποιώντας όμως τον συμβολισμό  $f_0$ .

Η συχνότητα συντονισμού  $f_r$  βρίσκεται στην χαμηλή περιοχή συχνοτήτων και δηλώνει το χαμηλότερο όριο της ηχομονωτικής ικανότητας ενός διπλού πετάσματος.

Στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων, λόγω του φαινομένου συντονισμού των δύο κελυφών, το διπλό πέτασμα στη συχνότητα  $f_r$  εμφανίζει σημαντική μείωση της ηχομόνωσης και υστερεί της ηχομονωτικής ικανότητας ενός μονού πετάσματος.

Η διαγραμματική απεικόνιση του είναι:



Σχεδιάγραμμα: Δείκτης ηχομείωσης διπλού χωρίσματος σε σύγκριση με τον αντίστοιχο μονού χωρίσματος ίσου βάρους.

Ο υπολογισμός της συχνότητας συντονισμού διπλών πετασμάτων μπορεί να γίνει βάσει της τοποθέτησης του ηχομονωτικού υλικού στο διάκενο:

1. όταν είναι ελεύθερα τοποθετημένο
2. όταν είναι συνδεδεμένο με τα δύο κελύφη σε όλη την επιφάνεια.

Ηχομονωτικά ισχύει:

Όσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα συντονισμού των διπλών κελυφών τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συμπεριφορά της κατασκευής ως προς την ηχομόνωση.

## 2.11. Παράθυρα – Πόρτες

Τα παράθυρα και οι θύρες σε έναν τοίχο αποτελούν το σύνθετο χώρισμα και εξετάζονται ως προς την ηχομόνωση τους με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην παράγραφο των σύνθετων πετασμάτων.

Τα παράθυρα και οι πόρτες αποτελούν το πιο αδύνατο σημείο μιας σύνθετης τοιχοποιίας. Ο δείκτης ηχομείωσης τους εξαρτάται από το φύλλο, το πλαίσιο και η εφαρμογή τους (στεγανότητα).

Η στεγανότητά τους καθορίζει και το σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης. Όσον αφορά στα παράθυρα, τα ανοιγόμενα είναι πιο εύκολο να στεγανοποιηθούν από ότι τα

συρόμενα που έχουν εντοιχισμένο τον μηχανισμό.

Για λόγους ηχομόνωσης αλλά και θερμομόνωσης τα φύλλα κατασκευάζονται διπλά και έτσι εξετάζονται ως σύνθετα διπλά χωρίσματα. Τα χωρίσματα αυτά αν και έχουν τις δικές τους προδιαγραφές ως οικοδομικά στοιχεία, πρέπει πάντα να εξετάζονται ως σύνολα, δηλαδή μαζί με την τοιχοποιία. Αυτό γιατί ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης εξαρτάται από τις λεπτομέρειες της κατασκευής, τα υλικά, τις διαστάσεις και την τοποθέτησή των στοιχείων. Επομένως ως σύνολα θα πρέπει να συνοδεύονται από πιστοποιητικό εργαστηριακών μετρήσεων για πληροφορίες του δείκτη ηχομείωσης.

### **2.11.1. Παράθυρα – οριακή συχνότητα των παραθύρων**

Η μετάδοση του αερόφερτου ήχου μέσα από τα παράθυρα γίνεται όπως η μετάδοση μέσα από τα τοιχώματα. Η ηχομόνωση τους παρουσιάζει κάποιες αποκλίσεις που οφείλονται στις μικρές διαστάσεις των κρυστάλλων, τον τρόπο στήριξή τους στο φύλλο και την κάσα, καθώς και την τοποθέτηση της κάσας στον τοίχο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηχομόνωση των παραθύρων είναι:

1. Το πάχος της γυάλινης φέτας
2. Η γωνία πρόσπτωσης του ήχου
3. Η πυκνότητα των αρμών
4. Η συχνότητα του προσπίπτοντος ήχου.

Σημαντική πτώση του δείκτη ηχομείωσης των παραθύρων παρατηρείται λόγω της οριακή συχνότητα-συχνότητα σύμπτωσης, όπως γίνεται και με τους τοίχους σε περίπτωση πλάγιας πρόσπτωσης του ήχου.

Η μείωση του δείκτη ηχομείωσης λόγω της εμφάνισης της οριακής συχνότητας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση διπλών τζαμιών, διαφορετικού πάχους μεταξύ τους.

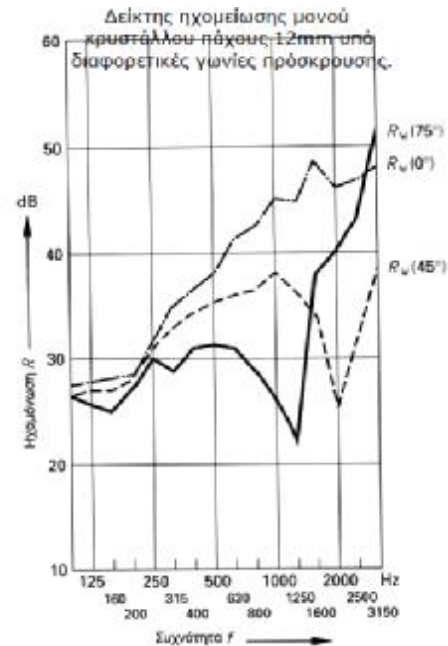
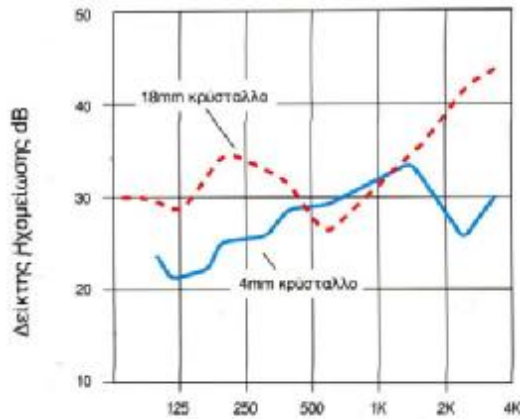
Ωστόσο, αν και τα διπλά παράθυρα θεωρούνται καλύτερα ως προς την ηχομόνωση, στις χαμηλές συχνότητες σε σχέση με τα μονά μπορεί να μη φέρουν κάποια αύξηση του δείκτη, όπου η διάδραση της μάζας του γυαλιού και η ακαμψία του παγιδευμένου αέρα στο διάκενο μεταξύ των φύλων παράγουν μια σειρά από συντονισμούς.

Η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού και ο αντίστοιχος χαμηλός δείκτης διάδοσης δίνονται περίπου από τη σχέση 2.46. Υπάρχουν και άλλοι συντονισμοί του διακένου που είναι σημαντικές αλλά βρίσκονται συνήθως σε υψηλότερες συχνότητες.

### **2.11.2. Μονό τζάμι**

Ο δείκτης ηχομείωσης μονού παραθύρου ακολουθεί το νόμο της μάζας στις μεσαίες συχνότητες ενώ στις χαμηλές είναι μεγαλύτερος από τον προβλεπόμενο από το νόμο της μάζας. Στις ψηλές συχνότητες παρουσιάζει μια απότομη μείωση λόγω του φαινομένου της σύμπτωσης όπως προαναφέρθηκε. Στα σχεδιαγράμματα που ακολουθούν δίνεται ο δείκτης ηχομείωσης ορισμένων μονών παραθύρων.

Δείκτης ηχομείωσης μονού παραθύρου με κρύσταλλα διαφορετικού πάχους



Στο αριστερό σχεδιάγραμμα, οι αποκλίσεις που παρουσιάζει ο δείκτης ηχομείωσης από τον προβλεπόμενο ενός μονού χωρίσματος οφείλεται στις μικρές διαστάσεις των κρυστάλλων οι οποίες επηρεάζουν την ακαμψία με αποτέλεσμα την έντονη εμφάνιση του φαινομένου της σύμπτωσης και τον περιορισμό της ηχομόνωσης. Για το λόγο αυτό ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης δεν αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του πάχους των κρυστάλλων.

### 2.11.3. Διπλό τζάμι

Όπως προαναφέρθηκε τα διπλά τζάμια θεωρούνται πιο γερές κατασκευές ως προς την ηχομόνωση αλλά και τη θερμομόνωση. Παράλληλα όμως, λόγω του συντονισμού του διάκενου προκαλούν κάποιους συντονισμούς που μπορεί να ελαττώσει κατά πολύ το δείκτη ηχομείωσης. Αν και το φαινόμενο της σύμπτωσης ελαττώνεται με τη χρήση άνισων παχών της κάθε φέτας του διπλού παραθύρου, η βελτίωση που επιτυγχάνεται καθορίζεται κυρίως από το πάχος του διακένου μεταξύ των κρυστάλλων και λιγότερο από το πάχος των ίδιων των κρυστάλλων.

Ο δείκτης ηχομείωσης αυξάνει περίπου 4,5dB με το διπλασιασμό του διάκενου μεταξύ των φετών σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta R_w \approx 15 \cdot \log \frac{d_1}{d_0} ,$$

όπου  $d_1$  = το πάχος της βαριάς φέτας σε mm  
 $d_0$  = τιμή αναφοράς 10mm.

Στα μικρά πάχη του διάκενου η συχνότητα συντονισμού εμφανίζεται ανάλογα και με το πάχος των κρυστάλλων στην περιοχή από 200-400Hz με αποτέλεσμα τη μειωμένη ηχομονωτική ικανότητα.

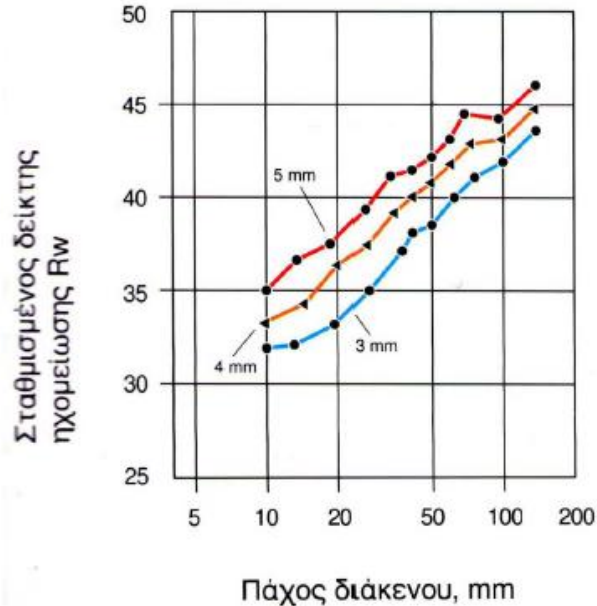


Το διάκενο των παραθύρων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 mm.

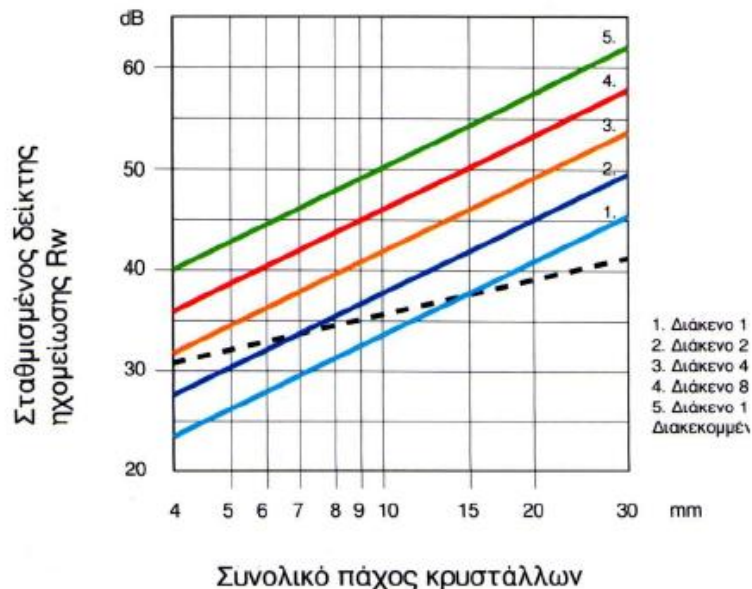
Στις ψηλές συχνότητες υπάρχει το φαινόμενο της σύμπτωσης που μειώνει απότομα το δείκτη ηχομείωσης.

Η χρήση άνισων παχών των φετών είναι απαραίτητη με μία σχέση πάχους 1:2 η οποία θεωρείται η βέλτιστη.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η ηχομείωση διπλών παραθύρων σε συνάρτηση με το συνολικό πάχος των κρυστάλλων.



Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$  διπλού παραθύρου για διαφορετικά πάχη κρυστάλλων



Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης  $R_w$  διπλού παραθύρου σε συνάρτηση με το συνολικό πάχος των κρυστάλλων.

**Σημείωση :** Τα τριπλά παράθυρα δεν προσφέρουν αυξημένη ηχομόνωση σε σχέση με τα διπλά αντίστοιχων διαστάσεων, πάχους και διάκενου. Αυτό συμβαίνει γιατί το διάκενο μεταξύ των τριών φύλλων είναι μικρό και οι κρύσταλλοι δε λειτουργούν σε διπλό χώρισμα. Αν το διάκενο είναι μεγάλο τότε ένα τριπλό παράθυρο εμφανίζει

καλύτερη ηχομόνωση από ένα αντίστοιχο διπλό.

Συνοψίζοντας, κατά την κατασκευή ηχομονωτικών παραθύρων οι βασικοί κανόνες είναι οι εξής:

- Όπου απαιτείται υψηλή ηχομόνωση, τα παράθυρα με τα διπλά κρύσταλλα είναι η καλύτερη επιλογή. Το πάχος και το διάκενο πρέπει να επιλεγούν ανάλογα με τις απαιτήσεις.
- Τα πάχη των κρυστάλλων πρέπει να είναι άνισα, με βέλτιστη επιλογή την αναλογία πάχους 1:2.
- Η λεπτότερη φέτα κρυστάλλου πρέπει να τοποθετείται στη θορυβώδη πλευρά του οικοδομικού στοιχείου.
- Η κάσα και η τοποθέτηση της είναι σημαντικός παράγοντας για την ηχομόνωση. Η στεγανοποίηση καθορίζει και το σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης. Η χρήση ξεχωριστών φύλλων και ειδικά σε ξεχωριστή κάσα αυξάνει σημαντικά την ηχομόνωση λόγω μείωσης των πλευρικών μεταδόσεων.

#### **2.11.4. Υπολογισμός του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης μονών και διπλών παραθύρων**

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των παραθύρων υπάρχει και η αντίστοιχη μαθηματική σχέση για τον υπολογισμό του φαινόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης.

1. Απλά παράθυρα με μονή φέτα

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_0} + 37 \text{ dB}$$

2. απλό παράθυρο με μονωτικό τζάμι και γεμάτο με αέριο στο διάκενο μεταξύ των φετών

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 39 \text{ dB} + k_R$$

3. απλό παράθυρο με μονωτικό τζάμι, σύνδεσης με γεμάτο με αέρα στο διάκενο μεταξύ των φετών

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 10 \cdot \log \frac{d_2}{d_o} + 46 \text{ dB} + k_R$$

4. απλό παράθυρο με μονωτικό τζάμι και γεμάτο με αέρα στο διάκενο μεταξύ των Φετών

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 38dB + k_R$$

5.συνδεδεμένο παράθυρο

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 10 \cdot \log \frac{d_2}{d_o} + 39dB + k_R$$

6.παράθυρο πλαισίου

$$R'_w = 10 \cdot \log \frac{d_1}{d_2} + 15 \cdot \log \frac{d_L}{d_o} + 10 \cdot \log \frac{d_2}{d_o} + 39dB$$

όπου d1 = το πάχος της βαριάς φέτας σε mm

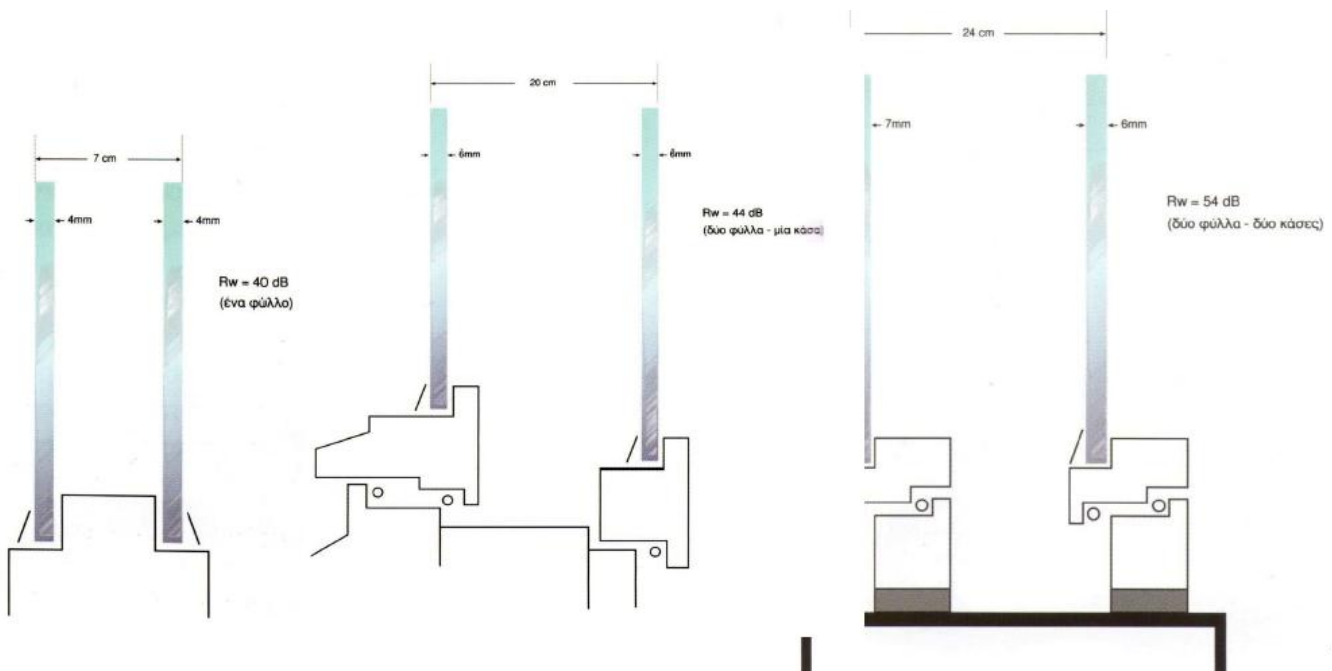
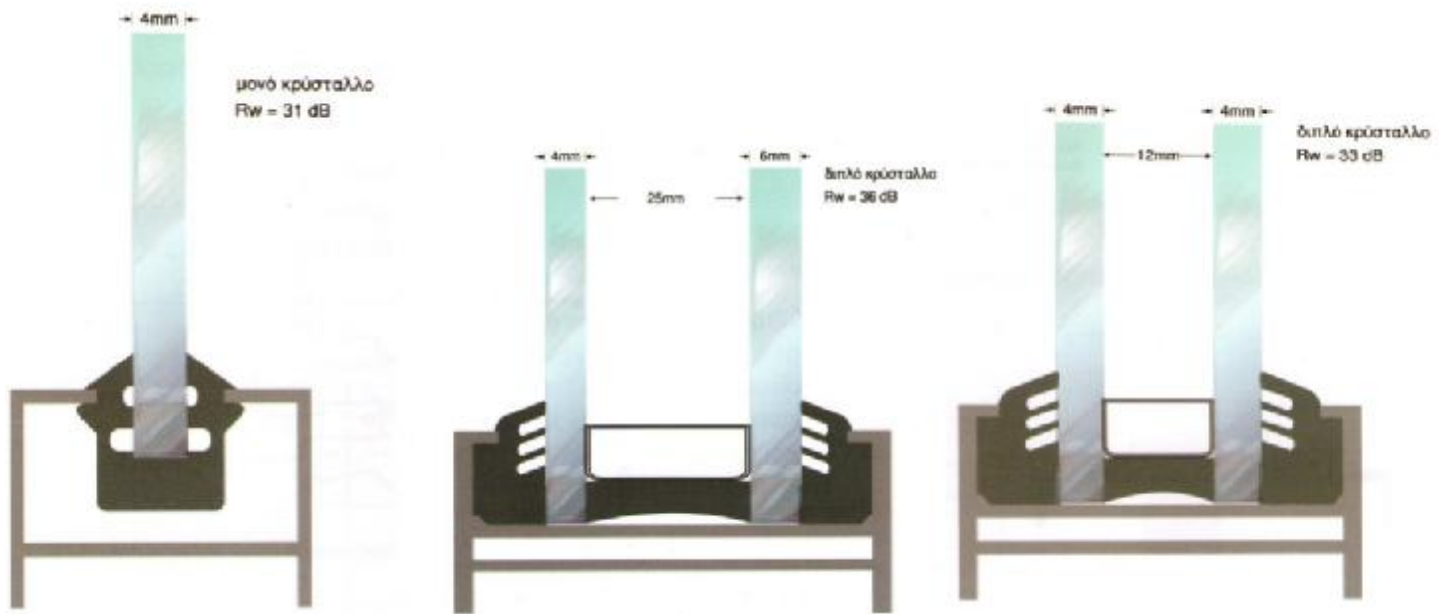
d2 = το πάχος της λεπτότερης φέτας σε mm

dL = ενδιάμεσος χώρος αέρα μεταξύ των φετών

KR = διορθωτικός συντελεστής για μεταφορές πλαισίου. Οι τιμές του δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Εκτιμήσιμη ηχομόνωση τζαμιού	Διορθωτικός παράγοντας K <sub>R</sub> σε dB	
	Για R <sub>w</sub> πλαίσιο = 46dB	Για R <sub>w</sub> πλαίσιο = 49dB
40	-1,0	-0,5
42	-1,5	-0,8
44	-2,1	-1,2
46	-3,0	-1,8
48	-4,1	-2,5
50	-5,5	-3,5

Παραδείγματα ανοιγόμενων παραθύρων



### 2.11.5. Πόρτες

Οι πόρτες είναι τα στοιχεία με την πιο αδύνατη ηχομονωτική ικανότητα συνεπώς είναι τα ηχοτεχνικά αδύναμα σημεία για τους τοίχους. Αυτό οφείλεται στους εξής λόγους:

- στο χαμηλό επιφανειακό τους βάρος

- στη μη καλή στεγανοποίηση της εγκοπής της πόρτας
- στη σύνδεση μεταξύ θυρόφυλλου και πατώματος
- στη σύνδεση της κάσας (ή αλλιώς στεφάνη πόρτας) με τα θυρόφυλλα και με τον τοίχο.

Όπως και στις απλές τοιχοποιίες ο δείκτης ηχομείωσης της πόρτας εξαρτάται από την επιφανειακή πυκνότητα του υλικού.

Οι σύνηθες πόρτες δωματίων έχουν επιφανειακή μάζα από 10-20Kg/m<sup>2</sup>. Γι' αυτό το επιφανειακό βάρος ο δείκτης ηχομείωσης αναμένεται περίπου στα 27dB.

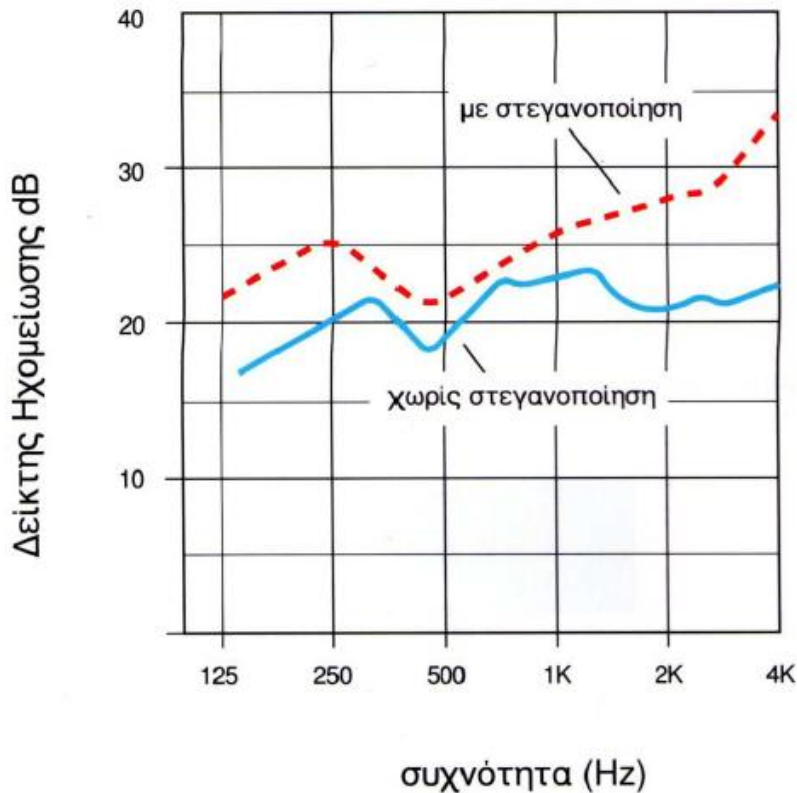
Για αύξηση του δείκτη ηχομείωσης μπορεί να αυξηθεί το επιφανειακό βάρος της πόρτας με γέμισμα των εσωτερικών σωλήνων με ξερή άμμο. Έτσι ο δείκτης ηχομείωσης ανεβαίνει στα 37dB. Η αύξηση αυτή δεν επιτεύχθηκε μόνο λόγω της αύξησης της μάζας αλλά κυρίως από το γεγονός ότι ο ηχητικός παλμός προωθείται από κόκκο σε κόκκο και χάνει την έντασή του.

Πόρτες με μεγάλο δείκτη ηχομείωσης είναι επίσης οι πόρτες με δύο κελύφη. Το ενδιάμεσο κενό είναι περίπου 10-15 cm (για αρκετά υψηλές απαιτήσεις). Τα δύο κελύφη μπορούν να αποτελούνται από πλάκες διαφορετικού πάχους (διαφορετική επιφανειακή πυκνότητα). Για επιφανειακή πυκνότητα 30 kg/m<sup>2</sup> μιας τέτοιας πόρτας ο δείκτης ηχομείωσης μπορεί να είναι από 35- 40 dB. Οι πόρτες αυτές έχουν ψηλές προδιαγραφές χρήσης (μεγαλύτερη δύναμη) και συντήρησης (π.χ. ενισχυμένη κάλυψη).

### Στεγανοποίηση

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην εγκοπή της πόρτας για να μπορεί ο δείκτης ηχομείωσης αυτής να είναι ψηλός. Στο σχεδιάγραμμα 2.20 δίνεται η βελτίωση της ηχομόνωσης μιας πρεσσαριστής πόρτας λόγω της στεγανοποίησης των περιμετρικών κενών.

Το καουτσούκ, λάστιχο, πλαστικές λωρίδες είναι κάποια από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περιμετρική στεγανοποίηση. Οι ελαστικές λωρίδες στεγανοποίησης φέρνουν αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται κυκλικά στην εγκοπή μέσω του περιβλήματος και του κλεισίματος της πόρτας.



Σχεδιάγραμμα: Επίδραση της περιμετρικής στεγανοποίησης στην ηχομόνωση μίας πόρτας.

- Οι συνήθεις πόρτες από πρεσσαριστό φύλλο, με επιφανειακή πυκνότητα 10-15kg/m<sup>2</sup> εμφανίζουν δείκτη ηχομείωσης από 17dB ανάλογα με τη στεγανοποίησή τους.

- Συμπαγείς ξύλινες πόρτες (25-40Kg/m<sup>2</sup>) έχουν δείκτη ηχομείωσης μέχρι 35dB.

- Μεταλλικές πόρτες με φύλλο λαμαρίνας 1-2mm και ηχοαπορροφητικό στο διάκενο έχουν δείκτη ηχομείωσης από 35- 40dB ανάλογα με το πάχος της λαμαρίνας.

Μεγάλη σημασία δίνεται ακόμη και στο θυρόφυλλο με την πληρέστερη στεγανοποίηση της εγκοπής στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ πατώματος και θυρόφυλλου. Σήμερα πλέον δε δημιουργούνται κατώφλια για τις πόρτες και έτσι δεν απαιτείται στεγανοποίηση με άλλον τρόπο.

Η κάτω στεγανοποίηση μπορεί να γίνει:

- με ένα σκέπαστρο στεγανοποίησης από μία λωρίδα καουτσούκ στο κάτω μέρος του θυρόφυλλου. Το μειονέκτημα εδώ είναι η παραγωγή θορύβου κατά τη χρήση της πόρτας.

- Με μία βυθιζόμενη στο πάτωμα στεγανοποίηση κατά το κλείσιμο της πόρτας.

Διάφοροι μέθοδοι στεγανοποίησης του κάτω μέρους θυρών δίνονται στην επόμενη Εικόνα:



Μέθοδοι στεγανοποίησης του κάτω μέρους των θυρών. Οι θύρες μπορεί να είναι απλές ή διπλές ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Η μετάδοση του ήχου που γίνεται από τον χώρο μεταξύ του πλαισίου της πόρτας και του τοίχου μπορεί να εμποδιστεί με γέμισμα από ορυκτοβάμβακα ή με στεγανοποίηση με αφρώδη υλικά.

Για ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις ως προς την ηχομόνωση, χρησιμοποιούνται βαριές πόρτες, σανίδωση με λαμαρίνες οι οποίες δίνουν δείκτη ηχομείωσης από 50dB και πάνω. Αυτές οι πόρτες βρίσκουν εφαρμογή σε τηλεοπτικούς ή ραδιοφωνικούς σταθμούς ή και σε συγκεκριμένους χώρους συνεδριάσεων. Αν απαιτούνται ακόμα μεγαλύτερες τιμές ηχομόνωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο ξεχωριστές πόρτες.

## 2.12. Μετάδοση στερεόφερτου ήχου – κτυπογενή.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, στερεόφερτος ήχος ονομάζεται ο ήχος που προκαλείται από τα κύματα μίας μηχανικής διέγερσης. Τα κύματα αυτά με τη σειρά τους διεγείρουν τα δομικά στοιχεία ενός κτίσματος, μέσω των καμπτικών κυμάτων, και η διέγερση των δομικών στοιχείων προκαλεί τα ηχητικά κύματα στον χώρο.

Κτυπογενής ήχος, είναι μια ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου και παράγεται όταν ένα οικοδομικό στοιχείο τίθεται άμεσα σε ταλάντωση από κύπο. Αυτό μπορεί να συμβεί με το κλείσιμο της πόρτας, τη χρήση wc ,το τρύπημα ή κάρφωμα στους τοίχους , τη χρήση οικιακών συσκευών, το βάδισμα πάνω στο πάτωμα.

Ο κτυπογενής ήχος είναι ο πιο ενοχλητικός ήχος που μεταφέρεται, μέσω του σκελετού του κτιρίου, από έναν χώρο σε έναν άλλο. Μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις και με μικρή απόσβεση. Για το λόγο αυτό η προσπάθεια ηχομόνωσής του είναι πολύ σημαντική.

Για τη μέτρηση αξιολόγησης του κτυπογενή ήχου χρησιμοποιούνται, όπως και στον αερόφερτο, δύο δωμάτια. Το δωμάτιο λήψης και το δωμάτιο εκπομπής. Το δωμάτιο εκπομπής βρίσκεται πάνω από το δωμάτιο λήψης.

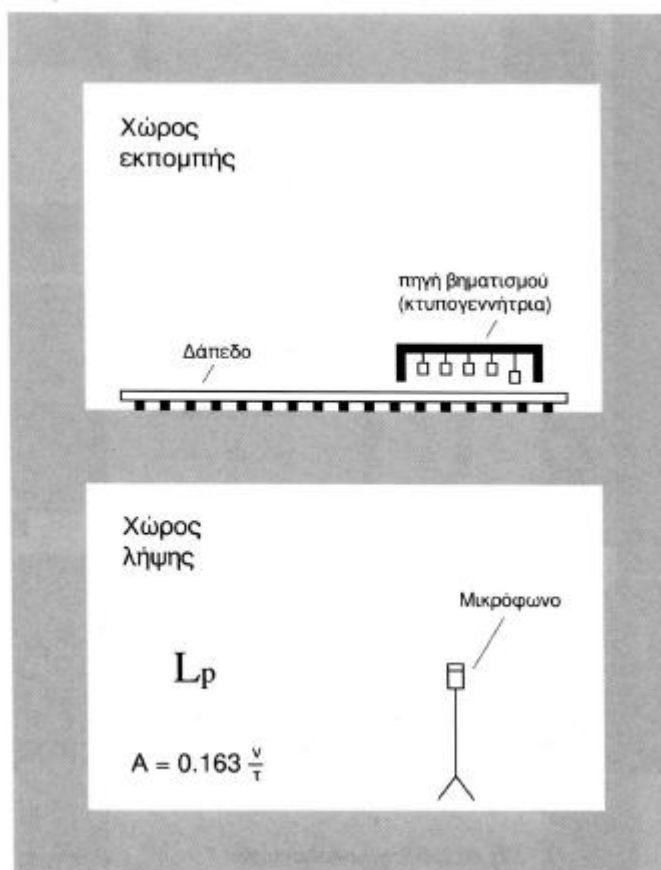
Η πηγή του κτυπογενή ήχου είναι μία συσκευή, η κτυπογεννήτρια η οποία τοποθετείται πάνω στο εξεταζόμενο ταβάνι.

Το εξεταζόμενο ταβάνι διεγείρεται και μετριέται η στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, σε ορισμένη ζώνη συχνοτήτων στο δωμάτιο λήψης.

Η κτυπογεννήτρια αποτελείται από πέντε όμοια σφυριά που έχουν βάρος 500gr το καθένα. Μέσω ενός άξονα, τα σφυριά ανυψώνονται και αφήνονται να πέσουν ελεύθερα το καθένα πάνω στο ταβάνι με έναν εικόνα 2.9 κτυπογεννήτρια συγκεκριμένο ρυθμό. Επειδή η συσκευή αυτή διεγείρει το ταβάνι του δωματίου λήψης, είναι πολύ σημαντικός ο τρόπος που το διεγείρει γιατί από αυτό επηρεάζεται κατά πολύ η στάθμη ηχητικής πίεσης που θα μετρηθεί στο δωμάτιο λήψης.

Οι προδιαγραφές που αφορούν την κατασκευή της, το βάρος της και τη θέση της, το ύψος των σφυριών από το πάτωμα είναι πολύ αυστηρές. Τα μέτρα επίσης που πρέπει να λαμβάνονται εξαρτώνται και από το είδος του δαπέδου, αν αυτό π.χ. έχει μαλακή επίστρωση ή αν είναι ανώμαλο.

### 2.12.1. Μέθοδος υπολογισμού της κανονικοποιημένης ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου, $L_p$ .



Διάταξη μέτρησης ηχομονωτικής ικανότητας από κτυπογενή ήχο.

Για την αξιολόγηση της ηχομόνωσης από τον κτυπογενή ήχο, μετριέται η κανονικοποιημένη ή πρότυπη στάθμη ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου στο δωμάτιο λήψης,  $L_n$  (normalized impact sound pressure level).

Οι μετρήσεις συχνοτήτων γίνονται σε διαστήματα τριτοκτάβας με κεντρικές συχνότητες από 100-3150Hz.



Γίνονται μετρήσεις της ισοδύναμης στάθμης της ηχητικής πίεσης σε διάφορα σημεία στο δωμάτιο λήψης και υπολογίζεται η μέση τιμή σε κάθε ζώνη συχνοτήτων. Όταν το πεδίο είναι διάχυτο δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στάθμης στα διάφορα σημεία του δωματίου.

Η πρότυπη (κανονικοποιημένη) στάθμη ηχητικής πίεσης του κτυπογενή ήχου, αντιστοιχεί σε μία τιμή αναφοράς της ισοδύναμης επιφάνειας ηχοαπορρόφησης  $A_0$  του δωματίου λήψης και δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$L_n = L + 10 \cdot \log_{10} \frac{A_0}{A'_0}$$

όπου

$L_n$  = η κανονικοποιημένη ή πρότυπη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενή ήχου

$L$  = η μετρημένη στάθμη ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο λήψης

$A_0$  = η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου του δωματίου λήψης

$A'_0$  = η αναφορική επιφάνεια απορρόφησης, η οποία λαμβάνεται ίση προς  $10\text{m}^2$

Επειδή η ισοδύναμη επιφάνεια απορρόφησης ήχου δεν μπορεί να βρεθεί άμεσα, υπολογίζεται από τη σχέση όγκου του χώρου (δωματίου λήψης) προς το χρόνο αντήχησης αυτού, από τη σχέση

$$A_0 = 0,163 \cdot \frac{V}{T}$$

όπου  $V$  = ο όγκος του δωματίου λήψης

και  $T$  = ο χρόνος αντήχησης σε sec του δωματίου λήψης.

Το μέγεθος  $A_0$  εκφράζει πόσα  $\text{m}^2$  επιφάνειας χώρου (τοιχοί, ταβάνι, πάτωμα) με βαθμό απορρόφησης  $\alpha_s=1$  αντιστοιχούν στην ίδια απορρόφηση ήχου με αυτή των ήδη υπαρχόντων επιφανειών.

Εκτός από την παραγωγή ηχητικών κυμάτων λόγω του κτυπογενή ήχου, στο δωμάτιο εκπομπής παράγονται και αερόφερτα ηχητικά κύματα.

Τα αερόφερτα ηχητικά κύματα μεταδίδονται στο δωμάτιο λήψης με τον τρόπο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της μετάδοσης αερόφερτου ήχου.

Στην περίπτωση όπου έχουν ληφθεί ηχομωνοτικά μέτρα για τον κτυπογενή ήχο χωρίς να έχουν ληφθεί για τον αερόφερτο, η στάθμη του αερόφερτου ήχου γίνεται συγκρίσιμη με αυτή του κτυπογενή στο δωμάτιο λήψης.

Η ηχομόνωση για τον αερόφερτο ήχο μεταξύ των δωματίων εκπομπής και λήψης πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η στάθμη των ηχητικών κυμάτων που μεταδίδονται αερόφερτα στο δωμάτιο λήψης να είναι  $10\text{dB}$  κάτω σε κάθε ζώνη συχνοτήτων από τη στάθμη των ηχητικών κυμάτων που μεταδίδονται στερεοφόρα λόγω του κτυπογενή ήχου.

Αυτό ελέγχεται με τη μέτρηση της στάθμης στον χώρο εκπομπής, τη μέτρηση ή τη γνώση του δείκτη ηχομείωσης  $R$  ή του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης  $R'$  και τον υπολογισμό της ηχητικής στάθμης του δωματίου λήψης  $L_2$ .

Επίσης, δίνεται προσοχή και στη στάθμη θορύβου βάθους του δωματίου λήψης. Σε κάθε ζώνη συχνοτήτων των μετρήσεων, η στάθμη του κτυπογενή ήχου που προέρχεται από το δωμάτιο εκπομπής, πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη στάθμη του θορύβου βάθους για να αποφεύγονται τα σφάλματα των μετρήσεων. Η συνολική στάθμη που προκύπτει από τον κτυπογενή ήχο και το θόρυβο βάθους πρέπει να είναι τουλάχιστον 6dB (10dB προτιμότερο) μεγαλύτερη από τη στάθμη του θορύβου βάθους. Σε κάθε περίπτωση αφαιρείται ο θόρυβος βάθους.

### 2.13. Μετάδοση εξωτερικού θορύβου στο εσωτερικό ενός χώρου.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου σε μία ηχομονωτική μελέτη είναι θεμιτό να εξετάζεται ο θόρυβος, ο οποίος προέρχεται από εξωτερικές πηγές και δεν αναπαράγεται μέσα στον χώρο. Οι πηγές θορύβου μπορεί να είναι είτε γραμμικές είτε σημειακές. Σημειακή πηγή μπορεί να θεωρηθεί ένα οποιοδήποτε στάσιμο μηχανήμα που παράγει θόρυβο.

Γραμμική πηγή, μπορεί να αποτελεί ο θόρυβος της οδικής κυκλοφορίας.

Η εσωτερική στάθμη θορύβου σε έναν χώρο, η οποία δημιουργείται λόγω εξωτερικής πηγής θορύβου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$L_2 = L_1 - R + 10 \cdot \log \frac{S}{A} + 10 \cdot \log(\cos \theta) + 6$$

όπου R – ο σύνθετος δείκτης ηχομείωσης της πρόσοψης του χώρου

A - η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης του χώρου λήψης

L2 - η στάθμη πίεσης στο εσωτερικό του σπιτιού.

L1 – η στάθμη πίεσης της εξωτερικής πηγής στην πρόσοψη του σπιτιού

S – η ολική επιφάνεια της πρόσοψης του χώρου

θ – η γωνία πρόσπτωσης του θορύβου στην πρόσοψη του σπιτιού.

### 3.1. Προδιαγραφές

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα κριτήρια των προδιαγραφών της ηχομόνωσης ως προς τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο καθώς και ως προς το θόρυβο που προέρχεται εξωτερικά των κτιρίων.

Τα κριτήρια των προδιαγραφών κατηγοριοποιούνται στις εξής ομάδες:

- Στις καμπύλες θορύβου: NC, NR, RC, NCB, RNC, PNC, BBC, IBA, AES οι οποίες δίνουν πληροφορίες για τις επιθυμητές στάθμες θορύβου ανάλογα με τις απαιτήσεις του υπό μελέτη χώρου.

- Στους σχετικούς πίνακες, που δίνουν πληροφορίες για τις επιθυμητές στάθμες του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R'w και της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης του κτυπογενή ήχου L'n,w, ανάλογα με τον χώρο που εξετάζεται.

- Στον ελληνικό κτιριοδομικό κανονισμό.

Οι προδιαγραφές της ηχομόνωσης γίνονται σύμφωνα με τα κριτήρια όπου εξετάζεται και υπακούουν στη νομοθεσία της κάθε χώρας. Η νομοθεσία βασίζεται και στην οικοδομική κατασκευή των κτιρίων της κάθε χώρας.

Για την Ελλάδα ισχύει το άρθρο 12 του κτιριοδομικού κανονισμού. Το συγκεκριμένο άρθρο δίνει τις απαιτούμενες τιμές ηχομόνωσης ως προς τον αερόφερτο και το κτυπογενή θόρυβο και τις απαιτήσεις προστασίας από εξωτερικούς θορύβους, με στόχο την ακουστική άνεση στο εσωτερικό των κτιρίων.

### **3.2. Πίνακες που ορίζουν τις επιθυμητές στάθμες των κριτηρίων των καμπυλών NR, NC, RC**

Όσον αφορά στις στάθμες ηχητικής πίεσης σε έναν χώρο μπορεί να γίνει η εξής διάκριση σε τρεις κατηγορίες :

1. η επιθυμητή στάθμη (ανώτατο όριο) που καθορίζεται από τα κριτήρια ακουστικής άνεσης από το θόρυβο ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ο χώρος.
2. η στάθμη η οποία αναμένεται να υπάρξει στο χώρο αυτό. Η στάθμη αυτή είναι απαραίτητη να είναι γνωστή έτσι ώστε να μπορεί να καθοριστεί η ηχοπροστασία των γειτονικών χώρων.
3. η στάθμη η οποία μετρείται σε έναν χώρο σε συγκεκριμένη στιγμή και συνθήκες.

Χρήση χώρου	L <sub>A</sub> -dB(A)	NR -dB	NC- dB	RC- dB	Υποκειμενική Αίσθηση
Αίθουσα συναυλιών, μελοδράματος, studio ηχογράφησης ή εκπομπής ομιλίας, μεγάλες συνεδριακές αίθουσες, μεγάλα θέατρα, υπνοδωμάτια σε ήσυχη περιοχή	20 -30	10 - 20	10 - 20	15 -20	Πολύ ήσυχος χώρος
Studio τηλεόρασης, studio ηχογράφησης, μικρά συνεδριακά, αίθουσες διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, δωμάτια σε ξενοδοχεία, κατοικίες, νοσοκομειακοί θάλαμοι, διευθυντικά γραφεία	30 - 35	25	25	25 - 30	
Καθιστικά, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, μικρές αίθουσες συσκέψεων, διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, γραφεία, νοσοκομειακοί θάλαμοι.	35 - 40	30	30	30	Ήσυχος χώρος
Εργαστήρια(ανάλογα με τις εργασίες), εστιατόρια, μπαρ ξενοδοχείων	40 - 45	35	35	35	
Εργαστήρια(ανάλογα με τις εργασίες), χώροι υποδοχής, κτίρια αεροδρομίων, καταστήματα	45 - 50	40	40	40	Μέτρια θορυβώδης
Καφενεία, εστιατόρια, γραφεία σε ανοιχτό χώρο	50 - 55	40	35 - 45	35 - 40	
Κουζίνες, σουπερμάρκετ, πλυντήρια	55 - 65	50 - 55	50 - 55	50	Θορυβώδης

Πίνακας: Σύγκριση επιθυμητών τιμών με τα κριτήρια AS2107 -1977 office Buildings.CIBSE Guide.Beraneκ(1971). ASHRAE Handbook: 1991, Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός άρθρο 12.

<b>Μέρος 1ο-στούντιο και αίθουσες συναθροίσεων</b>	NC/NR δείκτης
Μετάδοση ήχου (θεατρικού έργου)	15
Μετάδοση ήχου(γενικά),τηλεόραση(γενικά), στούντιο ηχογράφησης	20
Τηλεόραση (στούντιο ακροατηρίου)	25
Αίθουσα συναυλιών, θέατρο	20-25
Αμφιθέατρο διαλέξεων, σινεμά	25-30
<b>Μέρος 2ο-Νοσοκομεία</b>	
Δωμάτιο μετρητή ακουστικής οξύτητας	20-25
Αίθουσα εγχειρήσεων, μονόκλιнос θάλαμος	30-35
Θάλαμος με πολλές κλίνες, δωμάτιο αναμονής	35
Διάδρομος, εργαστήρια	35-40
Δωμάτιο καθαριότητας, τουαλέτες, κουζίνα	35-45
Δωμάτιο προσωπικού, δωμάτιο ανάπαυσης	30-40
<b>Μέρος 3ο-Ξενοδοχεία</b>	
Μονόκλινο, σουίτα	20-30
Μεγάλος χώρος για δεξιώσεις, αίθουσα συνεστιάσεων	30-35
Διάδρομος, αίθουσα αναμονής	35-40
Κουζίνα, αίθουσα καθαρισμού ρούχων	40-45
<b>Μέρος 4-εστιατόρια, μαγαζιά, αποθήκες</b>	
Εστιατόρια, πολυκατάστημα	35-40
Κέντρα διασκέδασης, πανδοχείο, καφετέρια, καντίνα, καταστήματα	40-45
<b>Μέρος 5ο- γραφεία</b>	
Αίθουσα συσκέψεων, μεγάλη αίθουσα διάσκεψης	25-30
Μικρή αίθουσα διάσκεψης, διοικητικό γραφείο, δωμάτιο υποδοχής	30-35
Γραφείο υπάλληλου	35
Ανοικτό γραφείο σχεδιασμού, γραφείο με υπολογιστές	35-40
<b>Μέρος 6ο- δημόσια κτίρια</b>	
δικαστήριο	25-30
Αίθουσα σύναξης	25-30
Βιβλιοθήκη, τράπεζα, μουσείο	30-35
Καθαριστήριο, τουαλέτες	35-45
Πισίνα, γυμναστήριο	40-50
Γκαραζ, παρκινγκ	55
<b>Μέρος 7ο- εκκλησιαστικά και ακαδημαϊκά κτίρια</b>	
εκκλησία	25-30
Αίθουσα σχολείου, αμφιθέατρο διαλέξεων	25-30
Αίθουσα εργαστηρίων	35-40
Διάδρομος, γυμναστήριο	35-45
<b>Μέρος 8ο- βιομηχανία</b>	
Αποθήκη εμπορευμάτων, γκαραζ	45-50
Εργοτάξιο-με ελαφρύ μηχανισμό	45-55
Εργοτάξιο-με βαρύ μηχανισμό	50-65
<b>Μέρος 9ο- ιδιωτική αστική κατοικία</b>	
Δωμάτιο ανάπαυσης	25
σαλόνι	30

Πίνακας: Τιμές για τις επιθυμητές στάθμες των καμπυλών NC/NR διάφορων χώρων.

P (Pa)	LA dB(A)	ε	Ενδεικτική περιγραφή πηγών
200	140	5	Κινητήρας jet σε απόσταση 20 m
112	135	5	
63,2	130	5	
35,6	125	5	Όριο πόνου
20,0	120	4	Συναυλίες rock κοντά στα ηχεία, δοκιμή κινητήρα jet σε απόσταση 25 m
11,2	115	4	Κέντρο διασκέδασης κοντά στα ηχεία
6,32	110	4	Χώρος εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους χωρίς ειδικά μέτρα
3,56	105	4	Disco
2,00	100	3	Αερόσφυρα σε απόσταση 1m
1,12	95	3	Τρομπέτα σε χώρο δοκιμών
0,63	90	3	Θορυβώδες εργοστάσιο
0,36	85	3	Βαριά οδική κυκλοφορία σε απόσταση περίπου 10 μέτρων
0,200	80	2	Μηχανοστάσια, δυνατή ομιλία σε απόσταση ενός μέτρου, Χώροι συγκέντρωσης κοινού
0,063	70	2	Θορυβώδες γραφείο
0,036	65	2	Κανονική ομιλία σε απόσταση 1m
0,020	60	1	Ήσυχο γραφείο
0,0112	55	1	Κανονική ομιλία σε απόσταση 1m
0,0063	50	1	Ήσυχο εστιατόριο
0,0036	45	1	Οικιστική περιοχή τη νύχτα
0,0020	40	1	Ήσυχη βιβλιοθήκη
0,0011	35	0	όριο εσωτερικού κατοικίας από θόρυβο οδικής κυκλοφορίας
0,00063	30	0	Ήσυχο υπνοδωμάτιο στην εξοχή
0,00036	25	0	Κανονική αναπνοή σε απόσταση 1m
0,00020	20	0	Studio ηχογράφησης
0,00011	15	0	
0,00006	10	0	Ανηχοικός θάλαμος μετρήσεων
0,00004	5	0	
0,00002	0	0	Όριο ακοής

Πίνακας: Ενδεικτικές στάθμες ηχητικών πιέσεων.

### 3.3. Ελληνικός Κτιριοδομικός κανονισμός

Το άρθρο 12 του κτιριοδομικού κανονισμού πληροφορεί για τις απαιτήσεις της ηχομόνωσης, από τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο, στον ελλαδικό χώρο. Ο κτιριοδομικός κανονισμός, θέτει τα κριτήρια για τις κατώτατες απαιτούμενες τιμές του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης  $R'w$  και τις ανώτατες τιμές της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης  $L'w$ , ανάλογα με το είδος και τη χρήση του κτιρίου. Στόχος του συγκεκριμένου κανονισμού είναι το εκάστοτε κτίριο να μπορεί να χαρακτηριστεί ως προς την ακουστική άνεση που προσφέρει.

Τα είδη των κτιρίων κατηγοριοποιούνται σε συγκεκριμένες ομάδες σε σχέση με τη χρήση τους.π.χ. κατοικία, εμπόριο, συνάθροιση, κοινόβιο, κ.τ.λ.

Τα κτίρια ως προς την ακουστική τους άνεση διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- i) Κτίρια ακουστικής άνεσης Α (ψηλής ακουστικής άνεσης). Οι απαιτήσεις της ηχομόνωσης από τον αερόφερτο και στρερεόφερτο θόρυβο είναι οι πιο αυστηρές.
- ii) Κτίρια ακουστικής άνεσης Β (κανονικής ακουστικής άνεσης). Οι απαιτήσεις ηχομόνωσης από τον αερόφερτο και τον κτυπογενή θόρυβο είναι λιγότερο αυστηρές σε σχέση με τις απαιτήσεις των κτιρίων Α.
- iii) Κτίρια ακουστικής άνεσης Γ. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλλέγονται όλα τα κτίρια που δεν πληρούν τις προϋποθέσεις των απαιτήσεων της ακουστικής άνεσης των κτιρίων Α, Β και χαρακτηρίζονται ως κτίρια χαμηλής ακουστικής άνεσης.

Ο κτιριοδομικός κανονισμός θέτει επίσης τα κριτήρια για την ηχοπροστασία από τους αερόφερτους εξωτερικούς θορύβους καθώς και τους αερόφερτους θορύβους που παράγονται από εγκαταστάσεις.

Στις περιπτώσεις αυτές τα κριτήρια εκφράζονται με τις ανώτατες επιτρεπόμενες τιμές της στάθμης σε dB(A) . Συγκεκριμένα για την προστασία από τον εξωτερικό θόρυβο χρησιμοποιείται η ωριαία ισοδύναμη ηχοστάθμη  $L_{eq,h}$ , ενώ για την προστασία από το θόρυβο των εγκαταστάσεων χρησιμοποιείται η στάθμη πίεσης  $L_p$  .

Ο πίνακας με τα κριτήρια της ηχομόνωσης για τα κτίρια Α « ψηλής ακουστικής άνεσης » είναι ο ακόλουθος.

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.1)	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΑΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.2)	ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΕΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΥΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
---------------	---	--	------------------	--	---

					Εξωτερικός θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$R'_{w}$ dB	$L'_{p,w}$ dB	$R'_{w}$ dB	$L'_{p,w}$ dB	$L_{d,w,e}$ dB(A)	$L_{d,e}$ dB (A)	$R'_{w}$ dB	$R'_{w}$ dB	$L'_{p,w}$ dB
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	54	55	-	-	30	25	48	60	45
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΜΠΟΡΙΟ	52	60	58	52	35	30	-	55	55
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	57	58	58	52	30	25	-	60	45
ΥΠΕΙΛΑ	57	55	58	52	30	25	-	60	45
ΕΥΝΑΘΡΟΙΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)

Πίνακας: Κριτήρια ηχομόνωσης για τα κτίρια Α.

Ο πίνακας με τα κριτήρια της ηχομόνωσης για τα κτίρια Β « κανονικής ακουστικής άνεσης » είναι ο ακόλουθος.

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ Ή ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.1)		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ (ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ) ΑΠΟ ΆΛΛΟ ΧΩΡΟ ΚΥΡΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΠΑΡ. 4.2)		ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ		ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΥΡΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	
					Εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	$R'_{w}$ dB	$L'_{w,T}$ dB	$R'_w$ dB	$L'_{w,n}$ dB	$L_{Aeq,T}$ dB (A)	$L_{p,A}$ dB (A)	$R'_{w}$ dB	$R'_{w}$ dB	$L'_{w,n}$ dB
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	30	60	-	-	35	30	42	35	50
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΜΠΟΡΙΟ	40	65	52	55	40	35	-	53	60
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	50	65	55	55	35	30	-	55	50
ΥΓΕΙΑ	50	60	55	55	35	30	-	53	50
ΣΥΝΑΘΡΩΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)

Πίνακας: Κριτήρια ηχομόνωσης για τα κτίρια Β.

Η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων κριτηρίων (στήλες του πίνακα Α,Β του άρθρου 12) σε σχέση με τον υπό μελέτη χώρο, για την προστασία από το θόρυβο που δημιουργείται εσωτερικά, είναι η εξής.

Αρχικά επιλέγεται το είδος κτιρίου που εξετάζεται, από την πρώτη στήλη. Στη συνέχεια επιλέγονται οι χώροι όπου βρίσκονται τα οριζόντια ή κάθετα οικοδομικά στοιχεία που εξετάζονται, από τις στήλες 2,3,5,6. Περισσότερες πληροφορίες για τις κατηγοριοποιήσεις των συνορεύοντων χώρων που διαχωρίζονται από τα οικοδομικών στοιχεία, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να ανατρέψει στο αντίστοιχο άρθρο.

Σε ήδη υπάρχοντες χώρους, οι μετρούμενες στάθμες πίεσης συγκρίνονται με τα κριτήρια του κανονισμού και χαρακτηρίζεται ο χώρος αντίστοιχα.

#### 4.1. Υλικά

Στα συστήματα ηχομόνωσης τοποθετούνται πορώδη απορροφητικά υλικά όπως είναι: υαλοβάμβακας, πετροβάμβακας (είναι πιο ανθεκτικός στην φωτιά από τον υαλοβάμβακα), ορυκτοβάμβακας, φελλός, διογκωμένο πολυαιθυλένιο κλειστών κυψελών και ξυλόμαλλο

Τα ηχοαπορροφητικά υλικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το μηχανισμό ηχοαπορρόφησής τους. Στα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά και στους συνηχητές.

1. Πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά. Η ηχοαπορρόφηση στα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά οφείλεται στην ύπαρξη πόρων στο υλικό, οι οποίοι επικοινωνούν με τον εξωτερικό αέρα και μεταξύ τους. Τα ηχητικά κύματα κατά την πρόσπτωσή τους στο υλικό εισέρχονται στους πόρους του και εκεί χάνουν μέρος της ηχητικής ενέργειάς τους, που μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, λόγω εσωτερικής



τριβής και θερμικών διεργασιών. Τα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά παρουσιάζουν σημαντική ηχοαπορρόφηση στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων, μέτρια στις μεσαίες και μικρή στις χαμηλές συχνότητες.

2. Συνηχητές. Οι συνηχητές διακρίνονται σε ταλαντούμενες πλάκες και σε διάτρητες ταλαντούμενες πλάκες. Οι ταλαντούμενες πλάκες είναι φύλλα υλικού, τα οποία τοποθετούνται σε απόσταση από την επιφάνεια στήριξης και, καθώς προσπίπτουν πάνω τους τα ηχητικά κύματα, πάλλονται. Η ηχοαπορρόφηση οφείλεται στη λειτουργία του συστήματος μάζας ελατηρίου. Το φύλλο του υλικού ενεργεί ως μάζα και το στρώμα του αέρα μεταξύ του φύλλου και της επιφάνειας στήριξης ως ελατήριο. Η ηχοαπορρόφηση οφείλεται κυρίως στη δόνηση του φύλλου του υλικού και είναι μεγαλύτερη για συχνότητες κοντά στην συχνότητα συντονισμού του συστήματος. Οι ταλαντούμενες πλάκες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις περιοχές των χαμηλών συχνοτήτων, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η ηχοαπορρόφηση είναι μικρή.

#### 4.2. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης $\alpha$ .

Το σύμβολο  $\alpha$  αντιπροσωπεύει το συντελεστή ηχοαπορρόφησης των υλικών, όταν η πρόσπτωση του ήχου είναι τυχαία. Είναι το μέρος της ενέργειας, που προέρχεται από όλες τις κατευθύνσεις προσπίπτει πάνω στο υλικό και δεν επιστρέφει στον χώρο.

Το πεδίο τιμών του  $\alpha$  είναι [0,1].

Όταν παίρνει τη μέγιστη τιμή, δηλαδή  $\alpha=1$ , συμβολίζει την ολική ηχοαπορρόφηση, π.χ. ένα ανοιχτό παράθυρο.

Όταν παίρνει την ελάχιστη τιμή, δηλαδή  $\alpha=0$ , συμβολίζει την ολική αντανάκλαση.

Ο μέσος συντελεστής ηχοαπορρόφησης, συμβολίζεται με  $\bar{\alpha}$ , είναι η μέση τιμή όλων των συντελεστών ηχοαπορρόφησης, των υλικών ενός χώρου και εκφράζεται μαθηματικά ως :

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n}{S_{\text{ολικό}}}$$

όπου  $S$ -η επιφάνεια κάθε υλικού  $m^2$

άρα  $S\alpha$ - η συνολική ηχοαπορρόφηση του κάθε υλικού σε σχέση με την επιφάνειά του.

Όλα τα υλικά έχουν συντελεστή ηχοαπορρόφησης ο οποίος διαφέρει ανάλογα με τη συχνότητα. Το πιο σύνηθες είναι να περιγράφεται ένα υλικό ως προς το συντελεστή ηχοαπορροφητικότητας σε διαστήματα οκτάβας.

## 5.1. Μελέτη ηχομόνωσης – Υπολογισμοί στο κτίριο που στεγάζεται το τμήμα Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτιρίων

### ΙΣΟΓΕΙΟ

Χώρος		Αίθουσα Διδασκαλίας Ι1			
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	64,61	37,45	0,010	0,375
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	66,60	62,50	0,025	1,563
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	27,16	27,16	0,180	4,888
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,09	4,09	0,060	0,246
Δάπεδο	Μάρμαρο		81,13	0,010	0,811
Οροφή	Betton βαμμένο		81,13	0,010	0,811
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		72,00	0,020	1,440
<b>Σύνολο</b>			<b>293,47</b>	<b>0,315</b>	<b>10,133</b>

Χώρος		Αίθουσα Διδασκαλίας Ι2			
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	41,18	21,82	0,010	0,218
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	120,88	114,78	0,025	2,870
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	19,36	19,36	0,180	3,484
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	6,10	6,10	0,060	0,366
Δάπεδο	Μάρμαρο		131,44	0,010	1,314
Οροφή	Betton βαμμένο		131,44	0,010	1,314
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		120,00	0,020	2,400
<b>Σύνολο</b>			<b>424,94</b>	<b>0,315</b>	<b>11,967</b>

Χώρος		Αίθουσα Διδασκαλίας Ι3			
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	72,07	43,44	0,010	0,434
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	70,47	66,58	0,025	1,665
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	28,62	28,62	0,180	5,152
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	3,89	3,89	0,060	0,233

Δάπεδο	Μάρμαρο		94,05	0,010	0,941
Οροφή	Betton βαμμένο		94,05	0,010	0,941
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		80,00	0,020	1,600
<b>Σύνολο</b>			<b>330,63</b>	<b>0,315</b>	<b>10,965</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι4				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	19,63	10,85	0,010	0,109
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	96,67	91,51	0,025	2,288
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	8,78	8,78	0,180	1,581
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	5,15	5,15	0,060	0,309
Δάπεδο	Μάρμαρο		59,31	0,010	0,593
Οροφή	Betton βαμμένο		59,31	0,010	0,593
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>234,92</b>	<b>0,315</b>	<b>5,472</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι5				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	19,74	10,98	0,010	0,110
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	102,42	97,84	0,025	2,446
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	8,76	8,76	0,180	1,577
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,58	4,58	0,060	0,275
Δάπεδο	Μάρμαρο		64,37	0,010	0,644
Οροφή	Betton βαμμένο		64,37	0,010	0,644
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		60,00	0,020	1,200
<b>Σύνολο</b>			<b>250,90</b>	<b>0,315</b>	<b>6,895</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι6				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	31,77	18,73	0,010	0,187
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	100,68	96,03	0,025	2,401

Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	13,05	13,05	0,180	2,348
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,65	4,65	0,060	0,279
Δάπεδο	Μάρμαρο		86,76	0,010	0,868
Οροφή	Betton βαμμένο		86,76	0,010	0,868
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		56,00	0,020	1,120
<b>Σύνολο</b>			<b>305,97</b>	<b>0,315</b>	<b>8,070</b>

## Α ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α1				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (ai)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	64,75	39,23	0,010	0,392
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	67,02	57,04	0,025	1,426
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	25,52	25,52	0,180	4,594
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	9,99	9,99	0,060	0,599
Δάπεδο	Μάρμαρο		123,73	0,010	1,237
Οροφή	Betton βαμμένο		123,73	0,010	1,237
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>379,24</b>	<b>0,315</b>	<b>9,486</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α2				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (ai)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	79,50	49,06	0,010	0,491
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	74,64	72,22	0,025	1,805
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	30,45	30,45	0,180	5,480
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	2,42	2,42	0,060	0,145
Δάπεδο	Μάρμαρο		172,39	0,010	1,724
Οροφή	Betton βαμμένο		172,39	0,010	1,724
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		20,00	0,020	0,400
<b>Σύνολο</b>			<b>498,92</b>	<b>0,315</b>	<b>11,769</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α3				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	16,64	9,72	0,010	0,097
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	81,86	79,44	0,025	1,986
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	6,92	6,92	0,180	1,245
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	2,42	2,42	0,060	0,145
Δάπεδο	Μάρμαρο		62,29	0,010	0,623
Οροφή	Betton βαμμένο		62,29	0,010	0,623
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>223,08</b>	<b>0,315</b>	<b>4,719</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α4				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	74,49	50,30	0,010	0,503
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	74,13	67,93	0,025	1,698
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	24,18	24,18	0,180	4,353
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	6,20	6,20	0,060	0,372
Δάπεδο	Μάρμαρο		133,69	0,010	1,337
Οροφή	Betton βαμμένο		133,69	0,010	1,337
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		100,00	0,020	2,000
<b>Σύνολο</b>			<b>416,00</b>	<b>0,315</b>	<b>11,600</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α5				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	33,54	19,82	0,010	0,198
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	77,73	72,89	0,025	1,822
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	13,73	13,73	0,180	2,471
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,84	4,84	0,060	0,290
Δάπεδο	Μάρμαρο		78,70	0,010	0,787
Οροφή	Betton βαμμένο		78,70	0,010	0,787

Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανά θέση)		0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>		<b>268,67</b>	<b>0,315</b>	<b>6,355</b>

Χώρος		Αίθουσα Παρουσιάσεων Α6			
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	16,55	9,65	0,010	0,096
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	80,89	74,93	0,025	1,873
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	6,90	6,90	0,180	1,242
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	5,96	5,96	0,060	0,358
Δάπεδο	Μάρμαρο		61,22	0,010	0,612
Οροφή	Betton βαμμένο		61,22	0,010	0,612
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>219,88</b>	<b>0,315</b>	<b>4,794</b>

## Β ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος		Αίθουσα Διδασκαλίας Β1			
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	64,75	38,94	0,010	0,389
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	67,41	62,55	0,025	1,564
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	25,81	25,81	0,180	4,646
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,86	4,86	0,060	0,292
Δάπεδο	Μάρμαρο		125,17	0,010	1,252
Οροφή	Betton βαμμένο		125,17	0,010	1,252
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		35,00	0,020	0,700
<b>Σύνολο</b>			<b>382,50</b>	<b>0,315</b>	<b>10,094</b>

Χώρος		Αίθουσα Διδασκαλίας Β2			
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	43,51	33,16	0,010	0,332
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	64,31	61,88	0,025	1,547
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	10,35	10,35	0,180	1,863
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	2,43	2,43	0,060	0,146

Δάπεδο	Μάρμαρο		57,70	0,010	0,577
Οροφή	Betton βαμμένο		57,70	0,010	0,577
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>223,22</b>	<b>0,315</b>	<b>5,042</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β3				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	15,99	9,06	0,010	0,091
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	83,10	78,24	0,025	1,956
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	6,93	6,93	0,180	1,248
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,86	4,86	0,060	0,292
Δάπεδο	Μάρμαρο		62,01	0,010	0,620
Οροφή	Betton βαμμένο		62,01	0,010	0,620
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>223,11</b>	<b>0,315</b>	<b>4,826</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β4				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	16,34	9,43	0,010	0,094
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	82,78	77,92	0,025	1,948
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	6,92	6,92	0,180	1,245
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,86	4,86	0,060	0,292
Δάπεδο	Μάρμαρο		62,12	0,010	0,621
Οροφή	Betton βαμμένο		62,12	0,010	0,621
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>223,36</b>	<b>0,315</b>	<b>4,821</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β5				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	15,87	8,97	0,010	0,090
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	83,19	78,33	0,025	1,958

Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	6,90	6,90	0,180	1,242
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,86	4,86	0,060	0,292
Δάπεδο	Μάρμαρο		61,85	0,010	0,619
Οροφή	Betton βαμμένο		61,85	0,010	0,619
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>222,76</b>	<b>0,315</b>	<b>4,819</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β6				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (ai)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	16,46	9,56	0,010	0,096
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	79,27	74,41	0,025	1,860
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	6,90	6,90	0,180	1,242
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,86	4,86	0,060	0,292
Δάπεδο	Μάρμαρο		59,36	0,010	0,594
Οροφή	Betton βαμμένο		59,36	0,010	0,594
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>214,45</b>	<b>0,315</b>	<b>4,677</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β7				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (ai)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	33,19	19,49	0,010	0,195
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	98,38	93,52	0,025	2,338
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	13,70	13,70	0,180	2,465
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,86	4,86	0,060	0,292
Δάπεδο	Μάρμαρο		124,29	0,010	1,243
Οροφή	Betton βαμμένο		124,29	0,010	1,243
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		30,00	0,020	0,600
<b>Σύνολο</b>			<b>380,15</b>	<b>0,315</b>	<b>8,376</b>



## Γ ΟΡΟΦΟΣ

Χώρος	Εργαστήριο Γ1				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	54,52	33,56	0,010	0,336
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	56,35	50,63	0,025	1,266
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	20,96	20,96	0,180	3,773
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	5,72	5,72	0,060	0,343
Δάπεδο	Μάρμαρο		84,10	0,010	0,841
Οροφή	Betton βαμμένο		84,10	0,010	0,841
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>279,06</b>	<b>0,315</b>	<b>7,399</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	33,48	17,95	0,010	0,179
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	94,31	87,71	0,025	2,193
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	15,53	15,53	0,180	2,796
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	6,60	6,60	0,060	0,396
Δάπεδο	Μάρμαρο		121,28	0,010	1,213
Οροφή	Betton βαμμένο		121,28	0,010	1,213
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>370,35</b>	<b>0,315</b>	<b>7,990</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ3				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (αι)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	60,62	38,08	0,010	0,381
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	59,30	55,78	0,025	1,394
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	22,54	22,54	0,180	4,057
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	3,52	3,52	0,060	0,211
Δάπεδο	Μάρμαρο		97,09	0,010	0,971
Οροφή	Betton βαμμένο		97,09	0,010	0,971

Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)		0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>		<b>314,10</b>	<b>0,315</b>	<b>7,986</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ4				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (ai)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	33,10	19,28	0,010	0,193
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	88,15	83,42	0,025	2,085
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	13,82	13,82	0,180	2,487
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,73	4,73	0,060	0,284
Δάπεδο	Μάρμαρο		107,47	0,010	1,075
Οροφή	Betton βαμμένο		107,47	0,010	1,075
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>336,19</b>	<b>0,315</b>	<b>7,198</b>

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ5				
Δομικό Στοιχείο	Υλικό	Μικτή επιφάνεια	Εμβαδόν S	Συντ. Απορ/σης επιφάνειας (500Hz)	(Si) x (ai)
Εξ. Τοιχοποιία	Betton βαμμένο	33,10	19,40	0,010	0,194
Εσωτερικά Χωρίσματα	Τοίχοι	77,56	73,16	0,025	1,829
Εξωτερικά Κουφώματα	Υαλοπίνακας	13,70	13,70	0,180	2,465
Εσωτερικές πόρτες	πόρτα ξύλινη	4,40	4,40	0,060	0,264
Δάπεδο	Μάρμαρο		84,47	0,010	0,845
Οροφή	Betton βαμμένο		84,47	0,010	0,845
Καθίσματα	Ξύλινο κάθισμα (ανα θέση)			0,020	0,000
<b>Σύνολο</b>			<b>279,59</b>	<b>0,315</b>	<b>6,441</b>

Όροφος	Χώρος	Χρόνος Αντήχησης T <sub>60</sub> (sec)	
		Sabine	Norris-Eyring
Ισόγειο	Αίθουσα Διδασκαλίας I1	4,58	4,50
	Αίθουσα Διδασκαλίας I2	6,28	6,19
	Αίθουσα Διδασκαλίας I3	4,90	4,82
	Αίθουσα Διδασκαλίας I4	6,19	6,12
	Αίθουσα Διδασκαλίας I5	5,34	5,26
	Αίθουσα Διδασκαλίας I6	6,14	6,06
Α όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας A1	6,20	6,12

	Αίθουσα Διδασκαλίας Α2	6,96	6,87
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α3	6,27	6,20
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α4	5,47	5,40
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α5	5,88	5,81
	Αίθουσα Παρουσιάσεων Α6	6,07	6,00
Β όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β1	5,89	5,81
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β2	5,44	5,37
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β3	6,10	6,04
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β4	6,12	6,05
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β5	6,10	6,03
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β6	6,03	5,96
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β7	7,05	6,97
Γ όροφος	Εργαστήριο Γ1	5,40	5,33
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2	7,21	7,13
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ3	5,77	5,70
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ4	7,09	7,01
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ5	6,23	6,16

Όροφος	Χώρος	Σταθερά Δωματίου R <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )
Ισόγειο	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι1	10,50
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι2	12,31
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι3	11,34
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι4	5,60
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι5	7,09
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι6	8,29
Α όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α1	9,73
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α2	12,05
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α3	4,82
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α4	11,93
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α5	6,51
	Αίθουσα Παρουσιάσεων Α6	4,90
Β όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β1	10,37
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β2	5,16
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β3	4,93
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β4	4,93
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β5	4,93
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β6	4,78
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β7	8,56
Γ όροφος	Εργαστήριο Γ1	7,60
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2	8,17
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ3	8,19

	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ4	7,36
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ5	6,59

Όροφος	Χώρος	Συχνότητα Αποκοπής (Hz)	
		Sabine	Eyring
Ισόγειο	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι1	252,10	249,90
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι2	231,98	230,34
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι3	242,35	240,32
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι4	343,05	341,04
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι5	305,62	303,50
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι6	282,48	280,61
Α όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α1	260,56	258,92
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α2	233,92	232,53
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α3	369,41	367,45
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α4	235,62	233,96
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α5	318,32	316,43
	Αίθουσα Παρουσιάσεων Α6	366,52	364,51
Β όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β1	252,59	250,91
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β2	357,40	355,37
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β3	365,30	363,31
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β4	365,48	363,50
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β5	365,57	363,58
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β6	371,08	369,05
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β7	277,29	275,75
Γ όροφος	Εργαστήριο Γ1	295,02	293,05
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2	283,90	282,36
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ3	283,98	282,16
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ4	299,10	297,49
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ5	316,19	314,36

Όροφος	Χώρος	Lp (dB)
Ισόγειο	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι1	44,26
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι2	44,62
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι3	45,48
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι4	44,73
	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι5	44,63
	Αίθουσα	41,84

	Διδασκαλίας Ι6	
Α όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Α1	44,44
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α2	45,40
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α3	44,08
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α4	48,84
	Αίθουσα Διδασκαλίας Α5	42,73
	Αίθουσα Παρουσιάσεων Α6	36,38
Β όροφος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β1	44,44
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β2	39,85
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β3	44,41
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β4	44,46
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β5	44,46
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β6	43,79
	Αίθουσα Διδασκαλίας Β7	44,31
Γ όροφος	Εργαστήριο Γ1	44,36
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2	44,94
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ3	45,61
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ4	44,26
	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ5	44,31

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι1	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι2	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι3	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι4	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι5	Αίθουσα Διδασκαλίας Ι6
Όγκος (V)	288,01	466,61	333,88	210,55	228,51	308,00
Διαστάσεις LxWxH	11,20x7,20 x3,55	11,60x11,95 x3,55	12,60x7,45 x3,55	5,50x11,70 x3,55	11,60x5,50 x3,55	8,95x9,70 x3,55
Απόσταση πίσω σειράς από ομιλητή (D)	9,20	9,60	10,60	9,70	9,60	6,95
Αρ. Καθισμάτων (N)	72,00	120,00	80,00	0,00	60,00	56,00
Συντ. Απορρόφησ ης Επιφάνειας (ST)	10,44	12,29	11,29	5,61	7,08	8,28
V/N	4,00	3,89	4,17		3,81	5,50
V/ST	27,59	37,97	29,57	37,56	32,28	37,20

T60	4,50	6,19	4,82	6,12	5,26	6,06
-----	------	------	------	------	------	------

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας A1	Αίθουσα Διδασκαλίας A2	Αίθουσα Διδασκαλίας A3	Αίθουσα Διδασκαλίας A4	Αίθουσα Διδασκαλίας A5	Αίθουσα Παρουσιάσεων A6
Όγκος (V)	365,00	508,55	183,76	394,39	232,17	180,60
Διαστάσεις LxWxH	11,40x11x2,95	12,50x13,90x2,95	11,00x5,65x2,95	17,60x7,80x2,95	9,70x7,50x2,95	5,65x10,90x2,95
Απόσταση πίσω σειράς από ομιλητή (D)	9,40	10,50	9,00	15,60	7,70	3,65
Αρ. Καθισμάτων (N)	0,00	20,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Συντ. Απορρόφησης Επιφάνειας (ST)	9,73	12,06	4,83	11,91	6,51	4,91
V/N		25,43		3,94		
V/ST	37,53	42,17	38,05	33,11	35,65	36,80
T60	6,12	6,87	6,20	5,40	5,81	6,00

Χώρος	Αίθουσα Διδασκαλίας Β1	Αίθουσα Διδασκαλίας Β2	Αίθουσα Διδασκαλίας Β3	Αίθουσα Διδασκαλίας Β4	Αίθουσα Διδασκαλίας Β5	Αίθουσα Διδασκαλίας Β6	Αίθουσα Διδασκαλίας Β7
Όγκος (V)	369,25	170,22	182,93	183,25	182,46	175,11	366,66
Διαστάσεις LxWxH	11,40x11, x2,95	7,50x7,10 x2,95	5,50x11,35 x2,95	5,50x11,4 x2,95	5,50x11,4 x2,95	5,55x10,7 x2,95	11,25x11,1 x2,95
Απόσταση πίσω σειράς από ομιλητή (D)	9,40	5,50	9,35	9,40	9,40	8,70	9,25
Αρ. Καθισμάτων (N)	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00
Συντ. Απορρόφησης Επιφάνειας (ST)	10,36	5,16	4,94	4,93	4,93	4,79	8,57
V/N	10,55						12,22
V/ST	35,65	32,97	37,03	37,14	36,99	36,58	42,76
T60	5,81	5,37	6,04	6,05	6,03	5,96	6,97

Χώρος	Εργαστήριο Γ1	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ2	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ3	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ4	Αίθουσα Διδασκαλίας Γ5
Όγκος (V)	248,10	357,78	286,42	317,04	249,19
Διαστάσεις LxWxH	11,30x7,45x2,95	11,95x11,35x2,95	12,75x7,75x2,95	11,25x9,85x2,95	11,25x7,55x2,95
Απόσταση πίσω σειράς από ομιλητή (D)	9,30	9,95	10,75	9,20	9,25
Αρ. Καθισμάτων (N)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Συντ. Απορρόφησης Επιφάνειας (ST)	7,59	8,18	8,19	7,37	6,60
V/N					
V/ST	32,68	43,75	34,97	43,03	37,77
T60	5,33	7,13	5,70	7,01	6,16

## 6. Πρόταση

Η πρόταση της ηχομόνωσης είναι πολύ σημαντική. Θα γίνουν επεμβάσεις σε όλο το κτίριο, εσωτερικά και εξωτερικά, σε τοίχους, δάπεδα, οροφές, κλπ. Συγκεκριμένα τα παρακάτω κεφάλαια αναφέρουν λεπτομερώς τις επεμβάσεις.

### 6.1. Εξωτερικοί τοίχοι

Για τους εξωτερικούς τοίχους θα χρησιμοποιηθεί ηχοαπορροφητικό πάνελ.

Αποτελείται από:

1. Εξωτερικό μικροδιαμορφωμένο φύλλο λαμαρίνας πάχους 0,6 mm (0,5 mm για τα panels πάχους 50 και 60 mm)
2. Ενδιάμεση στρώση ηχοαπορροφητικού υλικού ορυκτοβάμβακα πυκνότητας 90 Kgr/m<sup>3</sup>, με ίνες προσανατολισμένες κάθετα στα μεταλλικά ελάσματα.
3. Εσωτερικό μικροδιαμορφωμένο φύλλο διάτρητης λαμαρίνας πάχους 0,6 mm, με ποσοστό διάτρησης 40% και διάμετρο οπής 4 mm.
4. Εκατέρωθεν επικάλυψη προστατευτικής ταινίας.

#### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ:  $R_w = 29, 31, 34 \text{ \& } 36 \text{ dB}$  για πάχη 50, 60, 80 & 100 mm αντίστοιχα, σύμφωνα με EN ISO 140-3(1995) – ISO 717.

ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ: Σύμφωνα με EN 20354(1993).

#### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ – ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΣΕ: Ηχομονωτικούς κλωβούς, ηχοπετάσματα, Η/Μ εγκαταστάσεις κλπ.

#### ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ - ΜΟΡΦΗ

Διατίθενται σε κανονική πλάτη 930 – 1000 - 1180 mm και σε διάφορα μήκη κατά παραγγελία. Διαθέτουν διαμόρφωση προσαρμογής αρσενικού – θηλυκού, για μέγιστη επίτευξη ηχομόνωσης.



## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



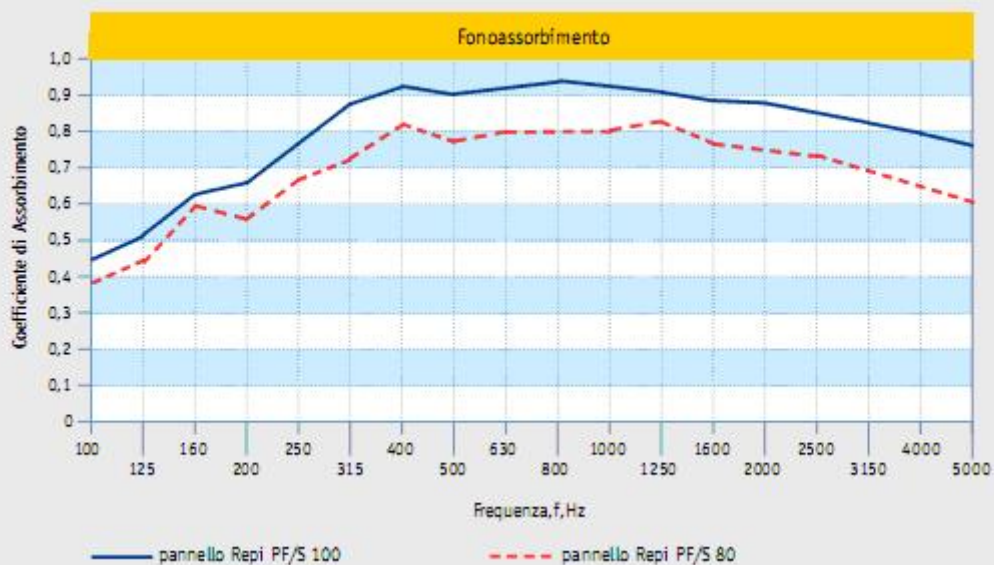
## ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ – ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Norme di riferimento: **EN 20354 (1993)**

REQUNZE (Hz)	Repi PF/S 100 Coefficiente di assorbimento acustico alfa	Repi PF/S 80 Coefficiente di assorbimento acustico alfa
100	0,45	0,38
125	0,52	0,44
160	0,63	0,59
200	0,66	0,56
250	0,75	0,67
315	0,86	0,72
400	0,93	0,82
500	0,91	0,78
630	0,92	0,80
800	0,94	0,80
1000	0,93	0,80
1250	0,92	0,83
1600	0,89	0,77
2000	0,89	0,78
2500	0,86	0,74
3150	0,82	0,70
4000	0,80	0,66
5000	0,77	0,61

### FONOASSORBIMENTO

REPI PF/S 100 - REPI PF/S 80

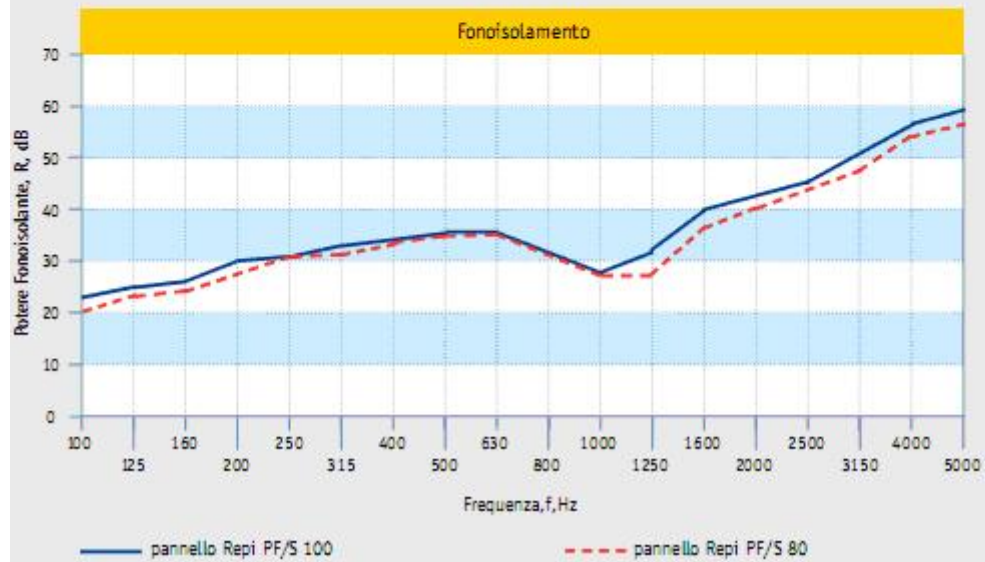


Norme di riferimento: **EN ISO 140-3 (1995) - ISO 717**

FREQUENZE (Hz)	Repi PF/S 100 Potere fonoisolante R dB	Repi PF/S 80 Potere fonoisolante R dB
100	24,0	20,9
125	25,4	23,2
160	26,1	23,6
200	29,4	26,4
250	29,0	28,7
315	32,6	32,2
400	33,5	31,5
500	35,1	33,7
630	35,0	34,1
800	31,7	31,6
1000	27,5	27,2
1250	32,2	27,9
1600	39,5	35,5
2000	41,9	39,9
2500	44,9	42,6
3150	49,3	46,4
4000	55,0	52,3
5000	59,7	57,3
ISO 717	1Rw = 36 dB	1Rw = 34 dB

## FONOISOLAMENTO

REPI PF/S 100 - REPI PF/S 80



## 6.2. Θύρες

Οι εσωτερικές θύρες θα αντικατασταθούν με ξύλινες ηχομονωτικές θύρες.



Η ξύλινη ηχομονωτική θύρα είναι ιδανική για κατοικίες, χώρους γραφείων, studios και ξενοδοχεία. Κατασκευάζεται από ηχομονωτικά και ηχοαπορροφητικά υλικά και φέρει ειδικά ελαστικά παρεμβύσματα και μηχανισμό αεροσφράγισης.

### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

#### ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ:

NC – W40 -  $R_w = 40$  dB

NC – W47 -  $R_w = 47$  dB

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εσωτερικές και εξωτερικές θύρες κατοικιών, Χώροι γραφείων, Studios ηχογραφήσεων κ.α.

### ΜΟΡΦΗ – ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

- Μονόφυλλη θύρα με μηχανισμό αεροσφράγισης στο κάτω τμήμα (και δίφυλλη με μειωμένη ηχομονωτική απόδοση).

- Ενισχυμένη μονόφυλλη θύρα με κατωκάσι.

Δυνατότητα παραγωγής σε διάφορες διαστάσεις.

### 6.3. Παράθυρα

#### Διπλά τζάμια:

Η ακουστική μόνωση πρέπει να είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν τα κουφώματα για να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις για την αποφυγή θορύβου που μεταβιβάζεται μέσω του αέρα. Όπως και στην περίπτωση της θερμομόνωσης έτσι και εδώ, θεωρώντας ότι η κατασκευή και τοποθέτηση των κουφωμάτων έχει γίνει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, τότε το κύριο βάρος για την επίτευξη της ηχομόνωσης πέφτει στον τύπο του τζαμιού.

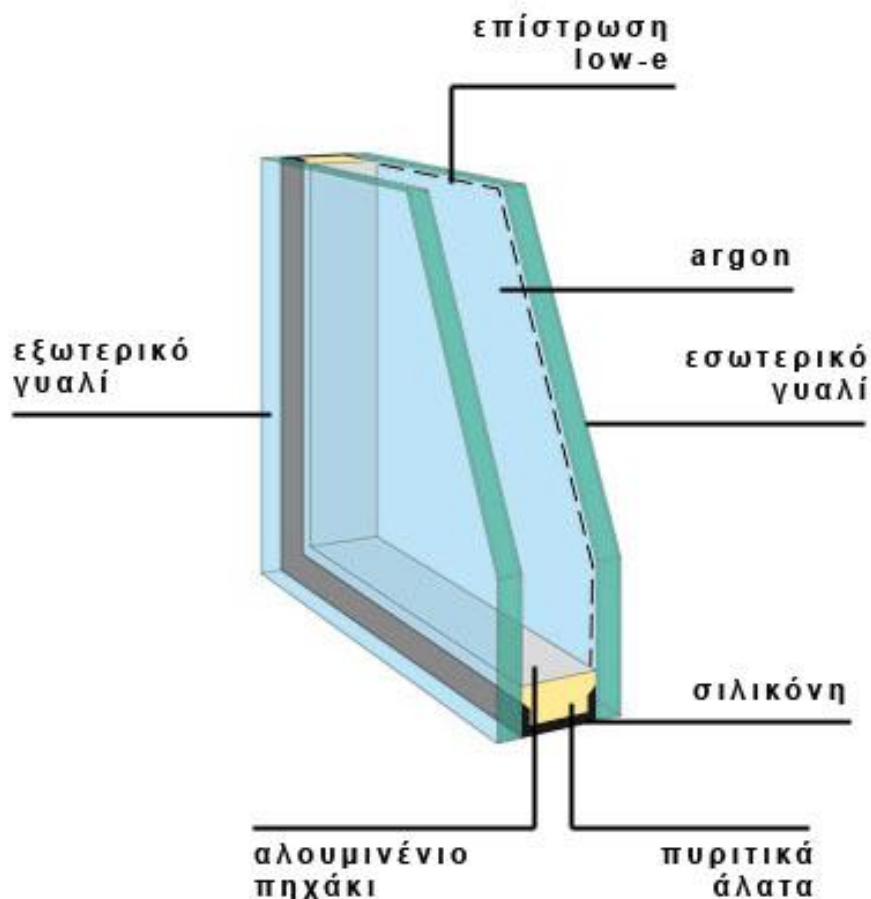
#### **Τύπος τζαμιού και ηχομόνωση που προσφέρει στο κούφωμα**

Τύπος τζαμιού	$R_w$ (db)
Απλό 4 mm	31
Απλό 6 mm	32
Απλό 10 mm	36
Απλό 12 mm	37
Διπλό 4-12-4 mm	31
Διπλό 6-12-6 mm	33
Διπλό 10-12-6 mm	38
Διπλό 12-12-6 mm	39

Οι συντελεστές ηχομείωσης ( $R_w$ ) για κοινά απλά τζάμια και για κοινά διπλά τζάμια με διάκενο 12mm (Pilkington), όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής  $R_w$  τόσο μεγαλύτερη ηχομείωση επιτυγχάνεται, άρα τόσο καλύτερη ηχομόνωση.

Σε αντίθεση με την θερμομόνωση, η ηχομόνωση που επιτυγχάνεται δεν εξαρτάται από το εάν το τζάμι είναι διπλό, τριπλό, κλπ., αλλά κυρίως από το πάχος του τζαμιού. Με την αύξηση του πάχους του τζαμιού βελτιώνεται η ηχομόνωση.

Για κατοικίες που είναι κτισμένες κοντά σε αεροδρόμια, όπου οι απαιτήσεις σε ηχομείωση είναι πάνω από 40 dB, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν διπλά τζάμια.



Κουφώματα:

Η ηχομόνωση είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιλογή κουφωμάτων. Ένα κούφωμα με την πρέπουσα κατηγορία ηχομόνωσης, μειώνει αποτελεσματικά την ένταση του θορύβου εντός των οικιών ή των χώρων εργασία. Το σημαντικότερο τμήμα που συντελεί στην ηχομόνωση είναι ο υαλοπίνακας μια και που αυτός καταλαμβάνει την μεγαλύτερη επιφάνεια επί του συνόλου του κουφώματος. Βέβαια κατά αναλογία με το εμβαδόν του και το πλαίσιο του κουφώματος παίζει και αυτό το ρόλο του, στην συνολική ηχομόνωση.

Για να είναι πιο απλή η δυνατότητα επιλογής έχουν θεσπιστεί κατηγορίες ηχομόνωσης για τα κουφώματα, οι οποίες δίνονται στο παρακάτω πίνακα.

Κατηγορίες Ηχομόνωσης	Rw σε dB	Εφαρμογή σε
1	25 - 29	Ήσυχη κατοικημένη περιοχή
2	30 - 34	Μικρής κυκλοφορίας δρόμο

3	35 - 39	Μέσης κυκλοφορίας δρόμο
4	40 - 44	Υψηλής κυκλοφορίας δρόμο
5	45 - 49	Ζώνη θορύβου αεροπλάνων
6	≥50	Ειδικές περιπτώσεις

Ο συντελεστής ηχομόνωσης  $R_w$  των κουφωμάτων είναι σε μονάδες dB.

Σε μετρήσεις που έχουν γίνει σε κουφώματα αλουμινίου με διάφορους τύπους υαλοπινάκων έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Υάλωση	Πλήρωση Διάκενου	Ηχομόνωση $R_w$ (σε dB)
4/12/4	Αέρας <sup>1</sup>	32 - 34
4/16/4	Αέρας	33 - 35
4/16/6	Αέρας	34 - 36
4/16/6	Αέριο <sup>2</sup>	38 - 40
4/12/10	Αέριο	38 - 40
4/24/10	Αέριο	40 - 42
Υάλωση με ειδική μεμβράνη		44 - 48

#### 6.4. Τοιχοποιία

Ένα σύστημα διπλού τοίχου απαιτεί πρωτίστως σχεδιασμένα και κατασκευασμένα υποστηρικτικά στοιχεία της πρόσοψης. Το πλάτος αυτών των στοιχείων πρέπει να ταιριάζει με το πάχος των μονωτικών υλικών που είναι κατασκευασμένα από πετροβάμβακα, το φάρδος του στρώματος αέρα (αν είναι αεριζόμενος διπλός τοίχος) και το πάχος της επίστρωσης της πρόσοψης.

Η επίστρωση της πρόσοψης είναι δεμένη με τον τοίχο στήριξης με ειδικά αγκύρια τα οποία ταυτοχρόνως εξυπηρετούν στην επισκευή των πλακών πετροβάμβακα. Σε αεριζόμενους τοίχους, αυτά τα αγκύρια χρησιμεύουν και ως μέτρο της απόστασης ανάμεσα στις πλάκες πετροβάμβακα και την επίστρωση της πρόσοψης, παρέχοντας έτσι ένα ενιαίο πλάτος του στρώματος αέρα.

Για τον απαιτούμενο αριθμό αγκυρών για ένα τετραγωνικό μέτρο, καθώς και για το μήκος των αγκυρών, συμβουλευτείτε τον κατασκευαστή.



Στους αεριζόμενους τοίχους, παρέχονται ανοίγματα εξαερισμού στην επίστρωση της πρόσοψης (όλα σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή της επίστρωσης από τούβλα), επιτρέποντας τον κάθετο εξαερισμό της επιφάνειας του μονωτικού υλικού, στην οποία η κυκλοφορία του αέρα πρέπει να γίνεται ανενόχλητα.

Με τους μη αεριζόμενους τοίχους, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διαλέγονται αδιάβροχα αλλά περατά από ατμούς υλικά για την επίστρωση της πρόσοψης, ώστε αν υπάρχουν συγκεντρωμένοι υδρατμοί στον τοίχο να στεγνώνουν μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν είναι αναγκαία η τοποθέτηση ενός φράγματος ατμών. Σε άλλες περιπτώσεις, ένα φράγμα ατμών πρέπει να τοποθετείται ανάμεσα στον τοίχο στήριξης και στην μόνωση για την αποφυγή υγροποίησης στο μονωτικό υλικό.

#### Περιγραφή:

Ημιάκαμπτη, μονωτική πλάκα πετροβάμβακα υψηλών προδιαγραφών πολλαπλών χρήσεων, διπλής τοιχοποιίας, ξηράς δόμησης.  
 Δείκτης θερμικής αγωγιμότητας=0,035W/mK  
 Άκαυστο υλικό, δείκτης ακουστότητας A1

#### Σκοπός εφαρμογής:

Θερμομόνωση, ηχομόνωση, και πυροπροστασία :

- § Διπλής τοιχοποιίας
- § Μεταλλικών κτιρίων (για πλήρωση ανάμεσα στα χαλύβδινα στοιχεία των τμημάτων)
- § Συστημάτων ξηράς δόμησης με αυξημένες απαιτήσεις σε άκαυστα υλικά
- § Κατασκευών με αυξημένη απαίτηση σε ακουστική απόδοση

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Χαρακτηριστικά	Πρότυπο	Μονάδα μέτρησης	KR P
Δείκτης θερμικής αγωγιμότητας $\lambda$	EN 12667	W/mK	0,035
Ειδική θερμότητα $C_p$	-	J/kgK	840
Ακουστότητα	EN ISO 1182	-	Άκαυστο υλικό A1
Θερμοκρασία τήξης	DIN 4102-17	°C	> 1000
Συντελεστής αντίστασης διάχυσης υδρατμών $\mu$	EN 12086	-	1,2
Αντίσταση αέρα $r$	EN 29053	kNs/m <sup>4</sup>	> 13,8

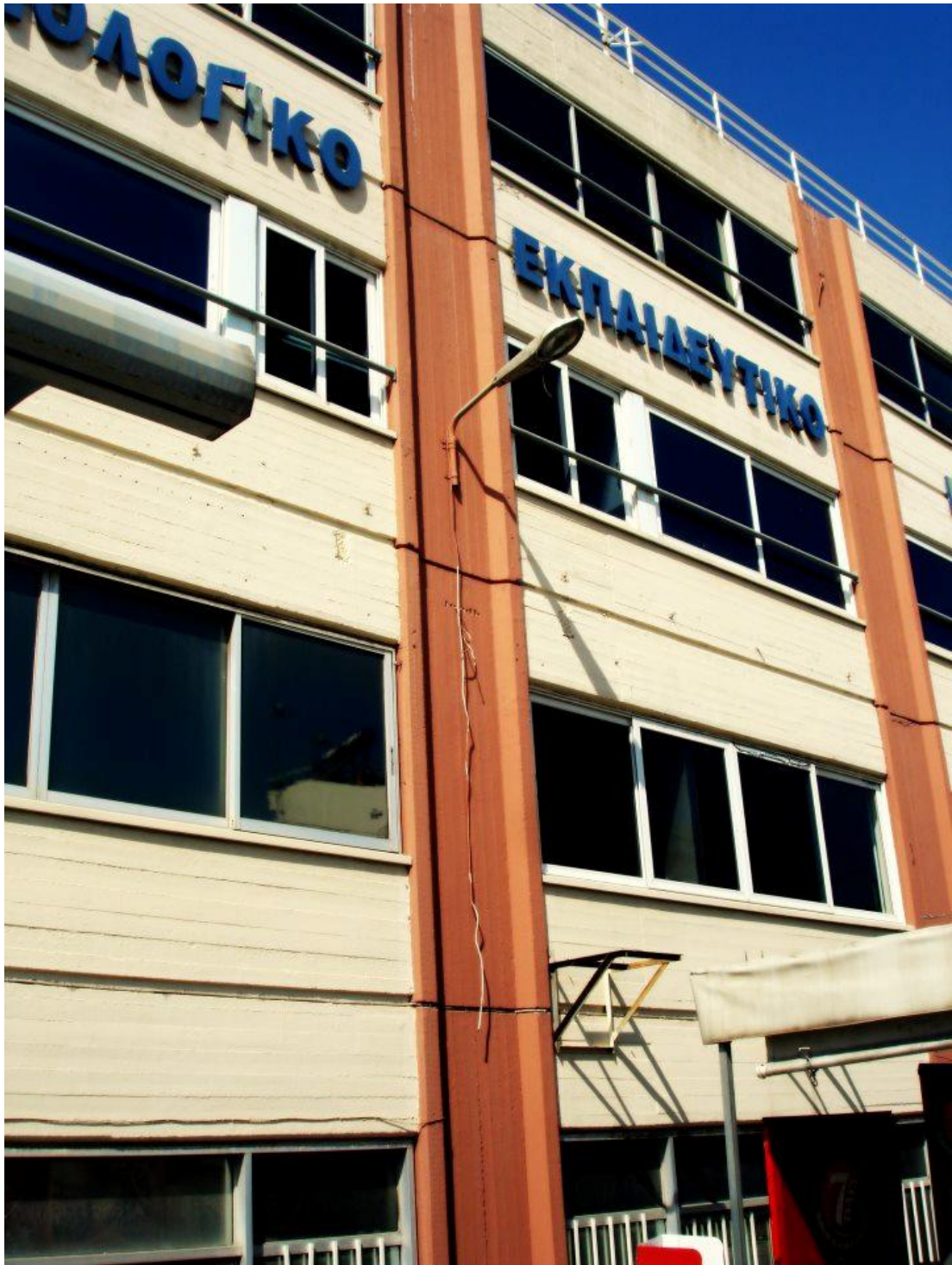


Πάχος(mm)	Μήκος(mm)	Πλάτος(mm)	m <sup>2</sup> /Δέμα	m <sup>3</sup> /Δέμα	Αριθμός πλακών/δέμα	λ(W/mK)
30	1000	600	7.2	0.22	12	0.035
40	1000	600	5.4	0.22	9	0.035
50	1000	600	4.8	0.24	8	0.035
60	1000	600	3.6	0.22	6	0.035
70	1000	600	3.6	0.25	6	0.035
80	1000	600	2.4	0.19	4	0.035
90	1000	600	2.4	0.22	4	0.035
100	1000	600	1.8	0.18	3	0.035
120	1000	600	1.8	0.22	3	0.035

### 7.1. Φωτογραφίες υπάρχουσας κατάστασης κτιρίου













## 7.2. Φωτογραφίες πρότασης.



## 8.1. Παράρτημα

**Κώδικας βασικής πολεοδομικής νομοθεσίας > Μέρος-III > Κεφάλαιο-ΣΤ > Άρθρον-355**

(Άρθ-12 Αποφ-3046/304/30.1/3-2-89)

### **ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

#### 1. Στόχος.

Τα κτίρια πρέπει να σχεδιάζονται και κατασκευάζονται έτσι, ώστε να προστατεύονται οι ένοικοι από κάθε μορφής θορύβους μέσα στα όρια της κατοικίας, του τόπου εργασίας και διαμονής τους, όταν οι θόρυβοι προέρχονται από άλλους. Δηλαδή, να εξασφαλίζεται αποδεκτή ακουστική άνεση, λαμβάνοντας τα απαραίτητα μέτρα κτιριακής ηχομόνωσης και ηχοπροστασίας. Οι παράμετροι και τα κριτήρια ακουστικής άνεσης, από όπου εξαρτάται η ηχομόνωση, ηχοπροστασία για κάθε είδος κτιρίου ή χώρου αυτού, και οι κατηγορίες ακουστικής άνεσης καθορίζονται στις επόμενες παραγράφους. Σε ειδικά κτίρια είναι δυνατό να εφαρμόζονται κανονισμοί με αυστηρότερα κριτήρια.

#### 2. Παράμετροι ακουστικής άνεσης.

Η ακουστική άνεση ενός κτιρίου είναι η ικανότητά του να προστατεύει τους ενοίκους του από εξωγενείς θορύβους και να παρέχει ακουστικό περιβάλλον κατάλληλο για διαμονή ή για διάφορες δραστηριότητες.

Η ακουστική άνεση ενός χώρου καθορίζεται από ένα σύνολο ηχητικών παραμέτρων, που αφορούν την ηχομόνωση και ηχοπροστασία του χώρου από:

τον αερόφερτο ήχο που παράγεται σε γειτονικούς χώρους τον κτυπογενή ήχο που παράγεται σε γειτονικούς χώρους τον αερόφερτο ήχο που παράγεται από κοινόχρηστες ή ιδιωτικές εγκαταστάσεις του ίδιου κτιρίου.

Οι ορισμοί των παραμέτρων ακουστικής άνεση  $R_w$ ,  $R'w$ ,  $L'n$ ,  $w$ ,  $L_{Aeqh}$ ,  $L_p A$  φαίνονται στον πίνακα 1 της παρ.8 του παρόντος άρθρου.

#### 3. Κατηγορίες ακουστικής άνεσης.

Όλα τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται μετά τη 18-2-90 (ημερομηνία υποχρεωτικής εφαρμογής του παρόντος κεφαλαίου) υπάγονται σε μία από τις πιο κάτω "κατηγορίες ακουστικής άνεσης".

α. Κατηγορία Α. "υψηλή ακουστική άνεση"

Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 2 της παρ.8

β. Κατηγορία Β. "κανονιστική ακουστική άνεση"

Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 3 της παρ.8

γ. Κατηγορία Γ. "χαμηλή ακουστική άνεση"

Όταν δεν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 3.

#### 4. Κριτήρια ηχομόνωσης, ηχοπροστασίας.

Τα κριτήρια ηχομόνωσης, ηχοπροστασίας είναι οι οριακές τιμές των παραμέτρων ακουστικής άνεσης για κάθε είδος ηχομόνωσης, ηχοπροστασίας και κάθε κατηγορία ακουστικής άνεσης.

Οι απαιτήσεις για όλα τα είδη των κτιρίων εκφράζονται με εννέα συνολικά κριτήρια που περιλαμβάνονται στους πίνακες 2 και 3.

Κατά τη σύνταξη μελετών είναι δυνατό να λαμβάνονται μεταξύ  $R_w$  και  $R'w$  η σχέση που ορίζεται στον πίνακα 4. Κατά την κατασκευή, θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, ώστε οι διαφορές μεταξύ  $R_w$  και  $R'w$ , οφείλονται στις πλευρικές



μεταδόσεις να μην είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που προκύπτουν από τον πίνακα 4. Μέτρα μείωσης των πλευρικών μεταδόσεων είναι, μεταξύ άλλων, η διακοπή συνέχειας των οικοδομικών στοιχείων μεταξύ των δύο χώρων και η αύξηση της επιφανειακής μάζας των πλευρικών στοιχείων (πχ άνω των 350 Kg/τμ). Αν λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για τη μείωση των πλευρικών μεταδόσεων, είναι δυνατό να γίνονται αποδεκτές μικρότερες τιμές για τη διαφορά αυτή.

α. Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης και ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης του κτιρίου.

Αφορά όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα ανάμεσα σε:

δύο διαμερίσματα του ίδιου κτιρίου (κατοικίες).

χώρο κύριας χρήσης και γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης (όλα τα άλλα κτίρια εκτός από κατοικίες) ένα διαμέρισμα ή ένα χώρο κύριας χρήσης και τους κοινής χρήσης χώρους του κτιρίου (εκτός από μονοκατοικίες).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι μέγιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $L'n, w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

β. Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης. Αφορά όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα ανάμεσα σε:

ένα διαμέρισμα και χώρους κτιρίου που προορίζονται για άλλη κύρια χρήση εκτός κατοικίας.

Το κριτήρια ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι μέγιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $L'n, w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

γ. Ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους.

Αφορά τον εξωτερικό θόρυβο περιβάλλοντος (κυκλοφοριακό, αστικό) που μεταδίδεται μέσα από όλα τα εξωτερικά οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα για όλα ανεξαιρέτως τα κτίρια.

Το κριτήριο ηχοπροστασίας είναι οι μέγιστες τιμές της ωρειαίας ισοδύναμης  $A$ , ηχοστάθμης  $LA_{e,q,h}$  σε ντεσιμπέλ  $A(dB(A))$ .

δ. Ηχοπροστασία από εγκαταστάσεις.

Αφορά το θόρυβο που προέρχεται από τις κοινόχρηστες και ιδιωτικές εγκαταστάσεις, που μεταδίδεται μέσα από όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα και από όλες τις άλλες ηχητικές διαδρομές για όλα ανεξαιρέτως τα κτίρια.

Το κριτήριο ηχοπροστασίας είναι οι μέγιστες τιμές της  $A$ , ηχοστάθμης  $L_p A$  σε ντεσιμπέλ -  $A(dB)(A)$  μέσα στους χώρους κύριας χρήσης.

Κοινόχρηστες εγκαταστάσεις, για την εφαρμογή του παρόντος άρθρου, είναι η υδραυλική, η ηλεκτρική, η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης, ψύξης, αερισμού, οι ανελκυστήρες, οι αντλίες και τα κάθε είδους μηχανήματα που εξυπηρετούν από κοινού τα διαμερίσματα και τους άλλους χώρους.

Ιδιωτικές εγκαταστάσεις είναι εγκαταστάσεις ανάλογες με τις κοινόχρηστες που εξυπηρετούν αποκλειστικά μία κατοικία ή ένα άλλο χώρο.

ε. Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας.

Αφορά τα εσωτερικά κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα της ίδιας κατοικίας. Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'w$  σε

ντεσιμπέλ (dB).

στ. Ηχομόνωση χώρου κύριας χρήσης από χώρους εγκαταστάσεων.

Αφορά τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα ανάμεσα σε χώρους κύριας χρήσης και χώρους εγκαταστάσεων για όλες τις περιπτώσεις των κτιρίων εκτός από τα κτίρια κατοικίας.

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι μέγιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $L_n, w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

5. Ελάχιστες απαιτήσεις ακουστικής άνεσης.

Όλα ανεξαιρέτως τα νέα κτίρια πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον τις απαιτήσεις της κατηγορίας ακουστικής άνεσης B.

6. Μέτρηση και πιστοποίηση.

Για την αντιμετώπιση των αναγκών σε μετρήσεις, πιστοποιήσεις που απορρέουν από την εφαρμογή του παρόντος άρθρου, χρησιμοποιούνται εργαστήρια μετρήσεων κτιριακής ηχοπροστασίας.

Αυτά λειτουργούν κάτω από την επίβλεψη εξειδικευμένου διπλωματούχου μηχανικού και διαθέτουν εξοπλισμό για τις εργαστηριακές και επιτόπιες μετρήσεις σύμφωνα με τα πρότυπα του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης (ΕΛΟΤ).

7. Έλεγχος.

Ο έλεγχος των εργασιών ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας γίνεται από τις κατά τόπους αρμόδιες πολεοδομικές υπηρεσίες. Σε περιπτώσεις ελέγχου που απαιτούν ειδικές συσκευές και εξειδίκευση, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα εργαστήρια μετρήσεων της προηγούμενης παρ.6.

8. Οι πίνακες 1, 2 και 3 που ακολουθούν προσδιορίζουν τις παραμέτρους ακουστικής άνεσης  $R'w$ ,  $R'n$ ,  $w$ ,  $LA$  e  $q$ ,  $h$  και  $L_p A$  καθώς και τις τιμές των κριτηρίων ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας για τις κατηγορίες (A) και (B). Ο πίνακας 4 προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ  $R_w$  και  $R'w$ .

## ΠΙΝΑΚΑΣ 1

### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

Είδος Ηχομόνωσης Ηχοπρ/σίας	Παράμετρος ακουστικής άνεσης		Μετρούμενο μέγεθος				
	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότ. ΕΛΟΤ	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης

Παρατηρήσεις:

1. Οι τιμές σε παρενθέσεις αποτελούν μόνο οδηγό για σχεδιασμό θεάτρων, κινηματογράφων, αίθουσων συγκεντρώσεων, αίθουσων μουσικής, χώρων ηχογράφησης και επεξεργασίας ήχου, εκκλησιών και άλλων χώρων, στους οποίους η αυξημένη ηχοπροστασία αποτελεί προϋπόθεση για τη διαμόρφωση της εσωτερικής ακουστικής τους.

2. Για κτίρια στα οποία συνυπάρχουν επιμέρους τμήματα διαφορετικών κύριων χρήσεων, η επιλογή των τιμών των κριτηρίων γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι

απαιτήσεις σε ηχομόνωση, ηχοπροστασία κάθε χώρου κύριας χρήσης. Η επιλογή ακολουθεί τις τιμές των χώρων με περισσότερο αυξημένες απαιτήσεις, έτσι ώστε να καλύπτονται και οι απαιτήσεις των άλλων χώρων. 3. Οι τιμές της στήλης 9 αφορούν μόνο την επιφάνεια έδρασης των μηχανημάτων.

### **ΠΙΝΑΚΑΣ 3**

**ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ - ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β "ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ"**

Παρατηρήσεις:

1. Οι τιμές σε παρενθέσεις αποτελούν μόνο οδηγό για σχεδιασμό θεάτρων, κινηματογράφων, αίθουσων συγκεντρώσεων, αίθουσων μουσικής, χώρων ηχογράφησης και επεξεργασίας ήχου, εκκλησιών και άλλων χώρων, στους οποίους η αυξημένη ηχοπροστασία αποτελεί προϋπόθεση για τη διαμόρφωση της εσωτερικής ακουστικής τους.
2. Για κτίρια στα οποία συνυπάρχουν επιμέρους τμήματα διαφορετικών κύριων χρήσεων, η επιλογή των τιμών των κριτηρίων γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε ηχομόνωση, ηχοπροστασία κάθε χώρου κύριας χρήσης. Η επιλογή ακολουθεί τις τιμές των χώρων με περισσότερο αυξημένες απαιτήσεις, έτσι ώστε να καλύπτονται και οι απαιτήσεις των άλλων χώρων.
3. Οι τιμές της στήλης 9 αφορούν μόνο την επιφάνεια έδρασης των μηχανημάτων.

### **ΠΙΝΑΚΑΣ 4**

**ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ  $R_w$  &  $R'w$**

9. Οι αποδεκτές κατασκευαστικές λύσεις είναι αυτές που αναφέρονται στις ισχύουσες κάθε φορά τεχνικές οδηγίες. Σε περίπτωση κατασκευαστικών λύσεων που δεν περιλαμβάνονται σε τεχνικές οδηγίες απαιτούνται εργαστηριακές μετρήσεις, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου αυτού

*Άρθρο 12 Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού[33]*

Υπεύθυνος για τη μελέτη και την κατασκευή των σχολικών κτηρίων είναι ο Οργανισμός Σχολικών Κτηρίων (ΟΣΚ). Ο ΟΣΚ, όσον αφορά την ακουστική, ακολουθεί τις προδιαγραφές που ορίζονται από το άρθρο 12 του Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού. Ο κανονισμός αυτός δεν προβλέπει προδιαγραφές για την ακουστική του χώρου, παρά μόνο για την ηχομόνωση. Επίσης, λόγω του ότι δεν προβλέπεται η υποχρεωτική κατάθεση μελέτης ηχομόνωσης σε ανεγειρόμενες ή επισκευαζόμενες οικοδομές, επί της ουσίας, δεν υπάρχει υποχρέωση συμμόρφωσης στις απαιτήσεις του άρθρου 12.

## Παράμετροι ακουστικής άνεσης

Είδος ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας	Παράμετροι ακουστικής άνεσης				Μετρούμενο μέγεθος			
	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο ΕΛΟΤ	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο ΕΛΟΤ
Ηχομόνωση με αερόφερτο ήχο	σταθμισμένος δείκτης ηχομόνωσης	$R'_w$	dB	461.1	δείκτης ηχομείωσης	R	dB	370.3
	σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομόνωσης	$R'_{d,w}$	dB	461.1	Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	$R'$	dB	370.4
Ηχομόνωση με χτυπογενή ήχο	σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης χτυπογενούς ήχου	$L'_{d,w}$	dB	461.2	σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης χτυπογενούς ήχου	$L'_w$	dB	370.7 370.8
	Ωριαία ισόδυναμη A – ηχοστάθμη	$L_{Aeq,h}$	dB (A)	230	Ωριαία ισόδυναμη A – ηχοστάθμη	$L_{pA}$	DB (A)	230
Ηχοπροστασία με αερόφερτο θόρυβο εξωτερικών πηγών	A – ηχοστάθμη	$L_{pA}$	dB (A)	229	A – ηχοστάθμη	$L_{pA}$	dB (A)	229
Ηχοπροστασία από τον αερόφερτο θόρυβο που παράγεται από εγκαταστάσεις								

## Κριτήρια ηχομόνωσης – ηχοπροστασίας: Κατηγορία Α «υψηλή ακουστική άνεση»

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης (παρ. 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης (παρ. 4.2)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κυρίου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων	
	1	2	3	4	εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων		8	9
	$R'_w$ dB	$L'_{d,w}$ dB	$R'_w$ dB	$L'_{d,w}$ dB	$L_{d,ext}$ dB (A)	$L_{d,inst}$ dB (A)		$R'_w$ dB	$R'_w$ dB
Κατοικία Προσωρινή διαμονή	54	55	-	-	30	25	48	60	45
Γραφεία Εμπόριο	52	60	58	52	35	30	-	55	55
<b>Εκπαίδευση</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>52</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	-	<b>60</b>	<b>45</b>
Υγεία	57	55	58	52	30	25	-	60	45
Συνάθροιση	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)
Βιομηχανία									

## Κριτήρια ηχομόνωσης – ηχοπροστασίας: Κατηγορία Β «κανονική ακουστική άνεση»

Είδος κτηρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης (παρ. 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης (παρ. 4.2)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κυρίου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων	
	1	2	3	4	εξωτερικούς θορύβους	Θορύβους εγκαταστάσεων		8	9
	$R'_{w}$ dB	$L'_{n,w}$ dB	$R'_{w}$ dB	$L'_{n,w}$ dB	$L_{Aeq,h}$ dB (A)	$L_{hA}$ dB (A)		$R'_{w}$ dB	$R'_{w}$ dB
Κατοικία Προσωρινή διαμονή	50	60	-	-	35	30	42	55	50
Γραφεία Εμπόριο	40	65	52	55	40	35	-	53	60
<b>Εκπαίδευση</b>	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	-	<b>55</b>	<b>50</b>
Υγεία	50	60	55	55	30	30	-	55	50
Συνάθροιση	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)
Βιομηχανία									

Η ηχομόνωση μεταξύ δύο αιθουσών όσον αφορά τον αερόφερτο θόρυβο, για υψηλή ακουστική άνεση, ορίζεται στα  $R'_{w}=57\text{dB}$ . Η τιμή αυτή είναι πολύ μεγάλη και δύσκολα επιτεύξιμη. Για το λόγο αυτό λοιπόν, συνίσταται η ηχομόνωση να είναι στα 50dB, όπως προβλέπεται από την κατηγορία B «κανονική ακουστική άνεση».

Μια άλλη υψηλή απαίτηση που αξίζει να σημειωθεί είναι αυτή της ηχοπροστασίας από θορύβους εγκαταστάσεων (πχ μια διάταξη για τεχνητό εξαερισμό) για υψηλή ακουστική άνεση. Η τιμή  $L_{p,A}=25\text{dBA}$  είναι πολύ χαμηλή τιμή και παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία, έως ανικανότητα στην εφαρμογή της. Εξίσου δύσκολο στο να επιτευχθεί είναι η προτεινόμενη τιμή,  $L_{Aeq,h}=30\text{dBA}$ , της ικανότητας ηχομόνωσης από εξωτερικούς θορύβους. Πρέπει να σημειωθεί ότι το μέγεθος αυτός δεν χαρακτηρίζει την ηχομόνωση που προκαλεί η αίθουσα από τους εξωτερικούς θορύβους στον υπαίθριο χώρο έξω από αυτήν (πχ προαύλιο), αλλά τη συνολική ηχομόνωση του σχολικού κτηρίου (πρόσοψη και κέλυφος κτηρίου, φράγματα θορύβου) από τον θόρυβο έξω από το σχολικό συγκρότημα (γειτονιά, αυτοκινητόδρομοι, γραμμές τρένου, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οικοδομικές κατασκευές κλπ). Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, συνίσταται η χρήση των προτεινόμενων τιμών της κατηγορίας B «κανονική ακουστική άνεση», δηλαδή για την ηχοπροστασία από θορύβους εγκαταστάσεων πρέπει  $L_{p,A}=30\text{dBA}$ , ενώ για την ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους πρέπει  $L_{p,A}=35\text{dBA}$ . Στην Ελλάδα δε χρησιμοποιείται τεχνητός εξαερισμός, αλλά αυτό συντελείται με το να μένουν τα παράθυρα ανοιχτά. Με ανοιχτά τα παράθυρα, ειδικά στις μεγάλες πόλεις οι οποίες έχουν υψηλά επίπεδα θορύβου, οι πραγματικές τιμές του εξωτερικού θορύβου που διεισδύουν στην αίθουσα είναι αρκετά μεγαλύτερες τόσο από τα 30 όσο και από τα 35dBA.

Στην Ελλάδα, λόγω της σεισμικής επικινδυνότητας, τα πατώματα είναι βαριές, παχιές κατασκευές. Επομένως, οι τιμές για την κτυπογενή ηχομόνωση για την κατηγορία B  $L'_{n,w}=65\text{dB}$  είναι ευκόλως επιτεύξιμες. Για να πετύχουμε υψηλή ακουστική άνεση, συνίσταται  $L'_{n,w}=58\text{dB}$ . Η τιμή αυτή είναι αρκετά χαμηλή και για να επιτευχθεί ενδεχομένως χρειάζονται ειδικά ελαστικά ή αντικραδασμικά δάπεδα. Ακόμα και μια μοκέτα θα συνέβαλε ουσιαστικά. Πρέπει να γίνει μια σημείωση σχετικά με τα

μετρούμενα μεγέθη στην ηχομόνωση από αερόφερτο και από κτυπογενή θόρυβο. Στον αερόφερτο παραθέτουμε την ένταση του θορύβου που «κόβει» ο διαχωριστικός τοίχος. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η τιμή αυτή, τόσο περισσότερες θόρυβος μονώνεται, άρα τόσο καλύτερα. Αντίθετα, στον κτυπογενή, προκαλούμε εμείς έναν θόρυβο στο δάπεδο και μετρούμε την ένταση του θορύβου που καταφέρνει να περάσει. Επομένως, όσο μικρότερη τιμή, τόσο λιγότερος θόρυβος διεισδύει, άρα τόσο καλύτερα.

#### Προεδρικό διάταγμα 149/2006

Εκτός από τον κτιριοδομικό κανονισμό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το προεδρικό διάταγμα 149/2006 το οποίο ορίζει τα όρια έκθεσης σε θόρυβο στους εργασιακούς χώρους και τις υποχρεώσεις όσον αφορά τη λήψη μέτρων. Το διάταγμα αυτό εξετάζει τα μεγέθη:

A) την κορυφοτιμή της ηχητικής πίεσης (P<sub>peak</sub>): μέγιστη τιμή της C-σταθμισμένης στιγμιαίας πίεσης θορύβου

B) την ημερήσια στάθμη έκθεσης σε θόρυβο ( $L_{EX,8h}$ ): [dB(A) re 20μPa]: χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή των σταθμών έκθεσης σε θόρυβο για οκτάωρη ημέρα εργασίας όπως ορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990. Καλύπτει όλα τα είδη θορύβου που απαντώνται στο εργασιακό περιβάλλον, περιλαμβανομένου και του παλμικού

Καθορίζονται τρεις περιπτώσεις:

A) οριακές τιμές έκθεσης:  $L_{EX,8h}=87\text{dB(A)}$  και  $P_{peak}=200\text{Pa}=140\text{dB(C)}$  re 20μPa

B) ανώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης:  $L_{EX,8h}=85\text{dB(A)}$  και  $P_{peak}=140\text{Pa}=137\text{dB(C)}$  re 20μPa

Γ) κατώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης:  $L_{EX,8h}=80\text{dB(A)}$  και  $P_{peak}=112\text{Pa}=135\text{dB(C)}$  re 20μPa

### **Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO)**

Το 1993 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας πρότεινε μια σειρά από μέτρα που αφορούν τόσο τη σχεδίαση νέων αιθουσών, όσο και τη βελτίωση των υπαρχόντων. [31]

1. Ο χρόνος αντήχησης στις συχνότητες από 125 έως 4000 Hz πρέπει να είναι μικρότερος από 0,6sec. Πρέπει να δίνεται έμφαση στην οκτάβα των 125Hz καθότι τα παιδιά, και κυρίως αυτά με μειωμένη ακοή, έχουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις χαμηλές συχνότητες. Γι αυτό το λόγο συνίσταται η χρήση της καμπύλης C (σε συνδυασμό βέβαια με την A). Επειδή τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στο χρόνο αντήχησης συγκριτικά με τους ενήλικες, και λόγω του ότι στατιστικά όλοι θα περάσουν περιόδους με μειωμένη ακουστική ικανότητα (πχ λόγω ενός

κρυολογήματος) συνίσταται ο προτεινόμενος χρόνος αντήχησης να είναι ακόμα μικρότερος, στα 4sec.

2. Το background noise level δεν πρέπει να ξεπερνά τα 30dB(A) ή τα 50dB(C). Για λόγους όμως πρακτικούς και οικονομικούς είναι ανεκτές και μεγαλύτερες τιμές, 35dB(A) με 40dB(A).

3. Συνίσταται η χρήση ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης, για υποβοήθηση του ομιλητή με ασύρματο μικρόφωνο.

### Προτεινόμενες τιμές

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας που σχετίζεται με τα επίπεδα ηχομόνωσης, το βάθος θορύβου δωματίου και τις ακουστικές απαιτήσεις. [24],[25],[28]

Απαιτούμενη ηχομόνωση (dB)	Απαιτούμενο $R_{w'}$				Απαιτούμενο $L_{n,w'}$			
	Έντονη ομιλία		Δυνατή μουσική		Βάδισμα		Τρίξιμο καρέκλας	
<b>Βάθος θορύβου δωματίου</b>	20	30	20	30	20	30	20	30
<i>Να μην ακούω</i>	67	57	72	62	33	43	28	38
<i>Να ακούω αλλά να μην καταλαβαίνω</i>	57	47	63	53	43	53	38	48
<i>Να ακούω και να καταλαβαίνω</i>	53	43	57	47	53	63	48	58
<i>Να ακούω δυνατά και να καταλαβαίνω ευκρινώς</i>	42	32	47	37	63	73	58	48

Όσον αφορά αίθουσες ειδικά διαμορφωμένες για μαθητές με ακουστικές δυσκολίες, η ένωση Βρετανών καθηγητών κωφών μαθητών και η αμερικάνικη ένωση λόγου και ακοής προτείνουν τα εξής πρότυπα:

	British Association of teachers of the Deaf	American Speech language Hearing Association
<b>Μέγιστο επίπεδο θορύβου σε μη κατειλημμένο δωμάτιο</b>	35dBA	30-35dBA
<b>Μέγιστος χρόνος αντήχησης</b>	0.4sec στις συχνότητες 125Hz - 4kHz	0.4sec
<b>Ελάχιστο S/N</b>	20dB στις συχνότητες 125Hz - 750Hz 15dB στις συχνότητες 750Hz -4kHz	≥15dB

Ο στόχος όσον αφορά την ακουστική συμπεριφορά μιας αίθουσας είναι η ακουστική ευκρίνεια και η διαμόρφωση ενός ήσυχου, φιλόξενου ακουστικού περιβάλλοντος που

να συμβάλει στην εκπαιδευτική διαδικασία. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει το βάθος θορύβου της αίθουσας να είναι λιγότερο από 35dB.

Όσον αφορά το S/N, για να ακούγεται ο ομιλητής με σαφήνεια πρέπει οι τιμές να υπακούουν στον παρακάτω πίνακα. [28]

<u>Ελάχιστο S/N ανά ηλικία και ικανότητα ακοής</u>	<b>ενήλικες</b>	<b>παιδιά</b>
<b>Με κανονική ακοή</b>	6dB	10dB
<b>Με ακουστικές δυσκολίες</b>	15dB	20dB

Σε μία αίθουσα με περίπου 30 μαθητές ο χρόνος αντήχησης πρέπει να κυμαίνεται γύρω στα 0,5sec. Παρακάτω, παρατίθενται πίνακες που απεικονίζουν το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων από τους μαθητές αναφορικά με τον χρόνο αντήχησης και το S/N. Το ποσοστό αυτό προκύπτει από πειράματα κατά τα οποία αναγιγνώσκονται στους μαθητές μονοσύλλαβες λέξεις και οι μαθητές καλούνται να τις αναγνωρίσουν. [28]



S/N	Ποσοστό αναγνώρισης λέξεων
+12dB (χαμηλό επίπεδο θορύβου βάθους)	95,3%
+6dB (μέσο επίπεδο θορύβου βάθους)	80,7%
0dB (υψηλό επίπεδο θορύβου βάθους)	46,0%

Χρόνος αντήχησης (sec)	Ποσοστό αναγνώρισης λέξεων	
	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή
0 (χωρίς καθόλου ηχώ)	94,5%	87,5%
0,4 (με ιδανική ηχώ)	82,8%	69,0%
1,2 (με μεγάλη ηχώ)	76,5%	61,8%

		Χρόνος αντήχησης			
		0 sec		1.2 sec	
S/N	+12dB	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή
		89,2%	70,0%	68,8%	41,2%
	0dB	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή	Κανονική ακοή	Προβλήματα στην ακοή
		60,2%	39,0%	29,7%	11,2%

Σε μια έρευνα της ASA (Acoustical Society of America) και της NPC (Noise Pollution Clearinghouse) είχε διαπιστωθεί ότι σε πολλά σχολεία στις ΗΠΑ το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων ήταν 75% ή και λιγότερο. Μπορεί ως ποσοστό να φαντάζει μεγάλο, στην πραγματικότητα όμως υποδηλώνει ότι ένας μαθητής δεν μπορεί να αντιληφθεί 1 στις 4 λέξεις που λέει ο καθηγητής, ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας ότι ο μαθητής καλείται να κατανοήσει, να αφομοιώσει αυτά που ακούει και να εξεταστεί πάνω στη διάλεξη του καθηγητή. Ως ποσοστό ασφαλείας μπορεί να θεωρηθεί το 90%. Στην πραγματικότητα όμως αυτό είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί, επομένως, ακόμα και χαμηλότερες τιμές γίνονται δεκτές.

Επειδή δεν είναι εφικτό σε κάθε συνθήκη να γίνονται ειδικά τεστ που να εξαγάγουν το ποσοστό των λέξεων που γίνονται κατανοητές έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από μεθόδους οι οποίες δίνουν εκτίμηση για την αντιληπτότητα της ομιλίας (SII, STI, RASTI, %ALcons κλπ). Το STI (Speech Transmission Index) είναι διεθνώς αναγνωρισμένο, εκφράζει το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής και οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0 (μηδενική αντίληψη της ομιλίας) και 1 (τέλεια αντίληψη της ομιλίας). Σε γενικές γραμμές το STI λειτουργεί με τον εξής τρόπο: ορίζει ένα ηχητικό σήμα αναφοράς που να προσομοιάζει σε σήμα ομιλίας. Το σήμα αυτό διαμορφώνεται ανάλογα με τον χρόνο αντήχησης και το

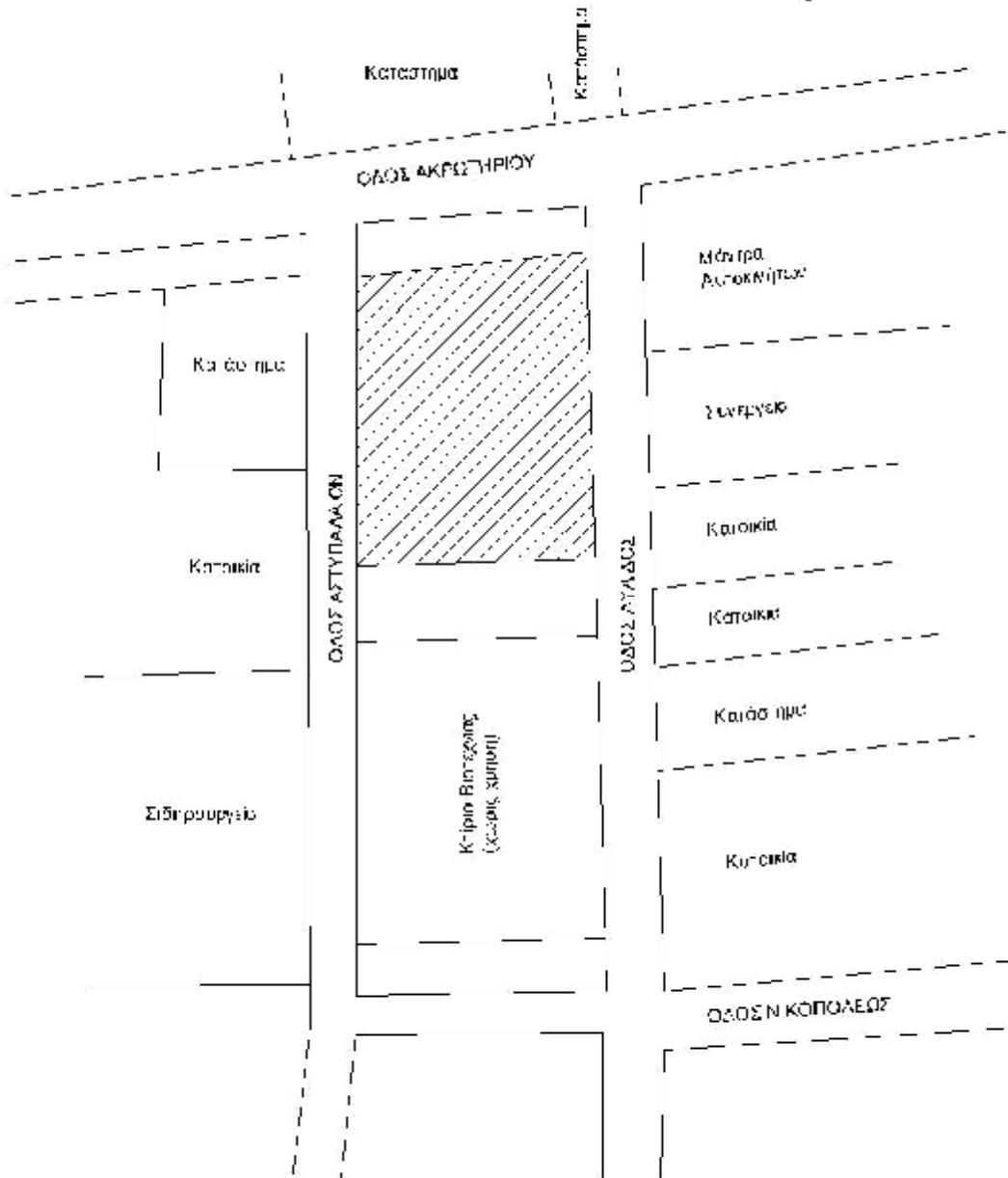
θόρυβο βάθους. Η σύγκριση του σήματος αναφοράς με το τελικό, διαμορφωμένο σήμα, σε μία σειρά από συχνότητες στο ακουστό φάσμα δίνει τιμή για το STI. Το RASTI (Room Acoustics STI) είναι μια απλουστευμένη εκδοχή του STI, ειδικά διαμορφωμένη για δωμάτια και εξετάζει μόνο το σήμα στα 500Hz και στα 2kHz. Τόσο τα ηχόμετρα της Brüel&Kjaer, όσο και το Odeon, περιλαμβάνουν ειδικό λογισμικό υπολογισμού τόσο του STI όσο και του RASTI. [18],[22]

Για να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα για το τι πρεσβεύει το STI θα ορίσουμε το %ALcons και θα κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ τους. Το %ALcons (Articulation loss of consonants in %) αντιπροσωπεύει τα ποσοστά των συμφώνων που δεν γίνονται αντιληπτά κατά την ομιλία. Παρόλο που τα φωνηέντα περιέχουν το μεγαλύτερο «μερίδιο» από την ηχητική ενέργεια της ομιλίας, τα σύμφωνα, των οποίων η ενέργεια είναι συσσωρευμένη προς τις υψηλότερες συχνότητες του ακουστού φάσματος, επηρεάζουν περισσότερο την αντίληψη μας όσον αφορά την ομιλία. Κατά μία έννοια λοιπόν, το μέγεθος αυτός είναι πολύ παρεμφερές με το ποσοστό αναγνώρισης λέξεων που αναφέραμε παραπάνω. Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που αξιολογεί τις τιμές των STI και %ALcons όσον αφορά το επίπεδο της αντιληπτότητας και παρουσιάζει την αντιστοιχία των τιμών των μεγεθών αυτών μεταξύ τους.

STI	0 - 0.3	0.3 - 0.45	0.45 - 0.6	0.60 - 0.75	0.75 - 1.0
	unacceptable	poor	fair	good	excellent
ALcons	100 - 33%	33 - 15%	15 - 7%	7 - 3%	3 - 0%

Σε περιπτώσεις διδασκαλίας μία απώλεια της τάξης του 5-10% της είναι αποδεχτή. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι επιδιώκουμε για το STI μία τιμή γύρω στο 0.6. Το 5% ALcons αντιστοιχεί σε 0,678 για το STI, ενώ το 10% σε 0,54.

### 9.1. Σχέδια Κτιρίου Μιμόζα



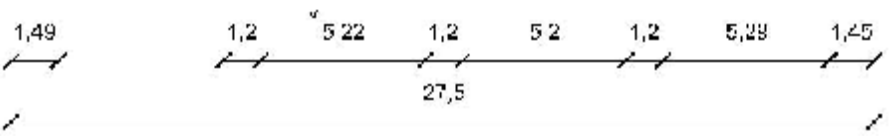
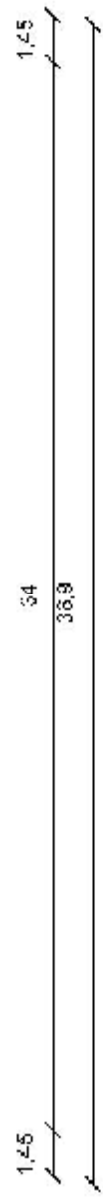
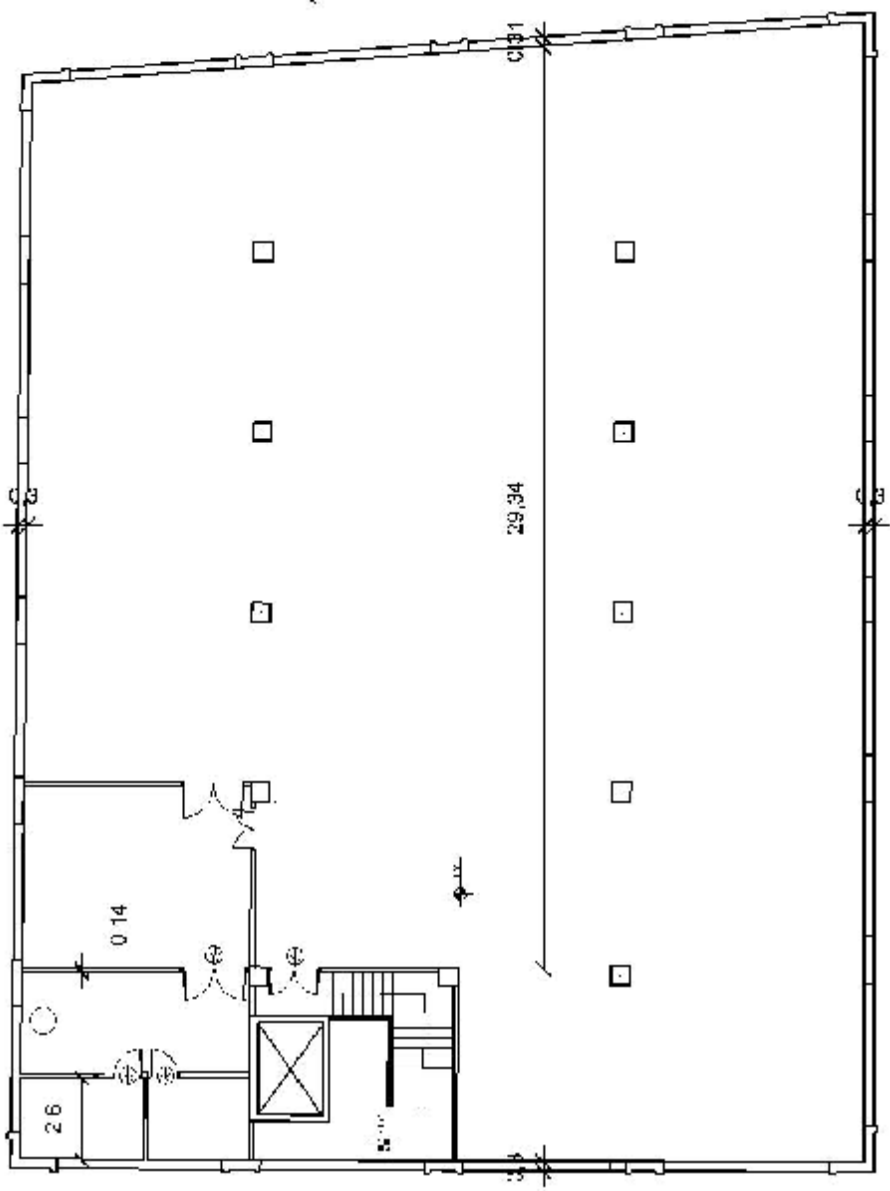
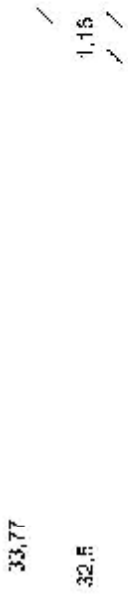
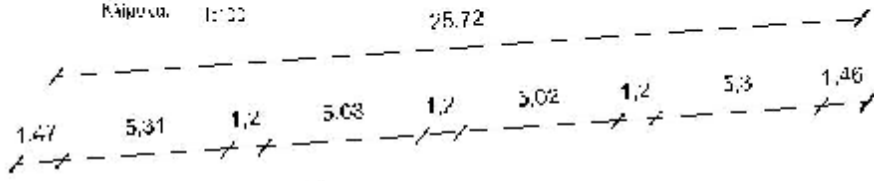
Εμβαδόν: 974 m<sup>2</sup>

Κλίμακα: 1:1000

**ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ**

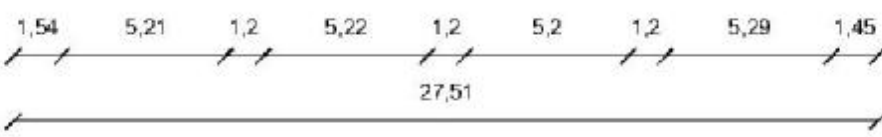
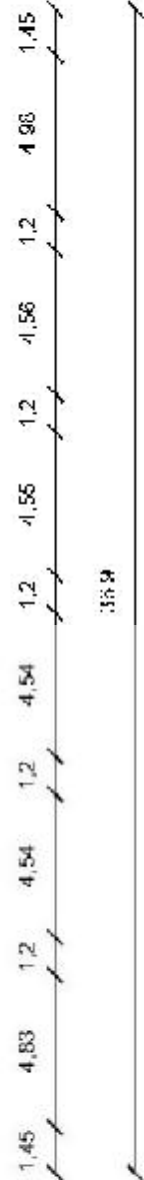
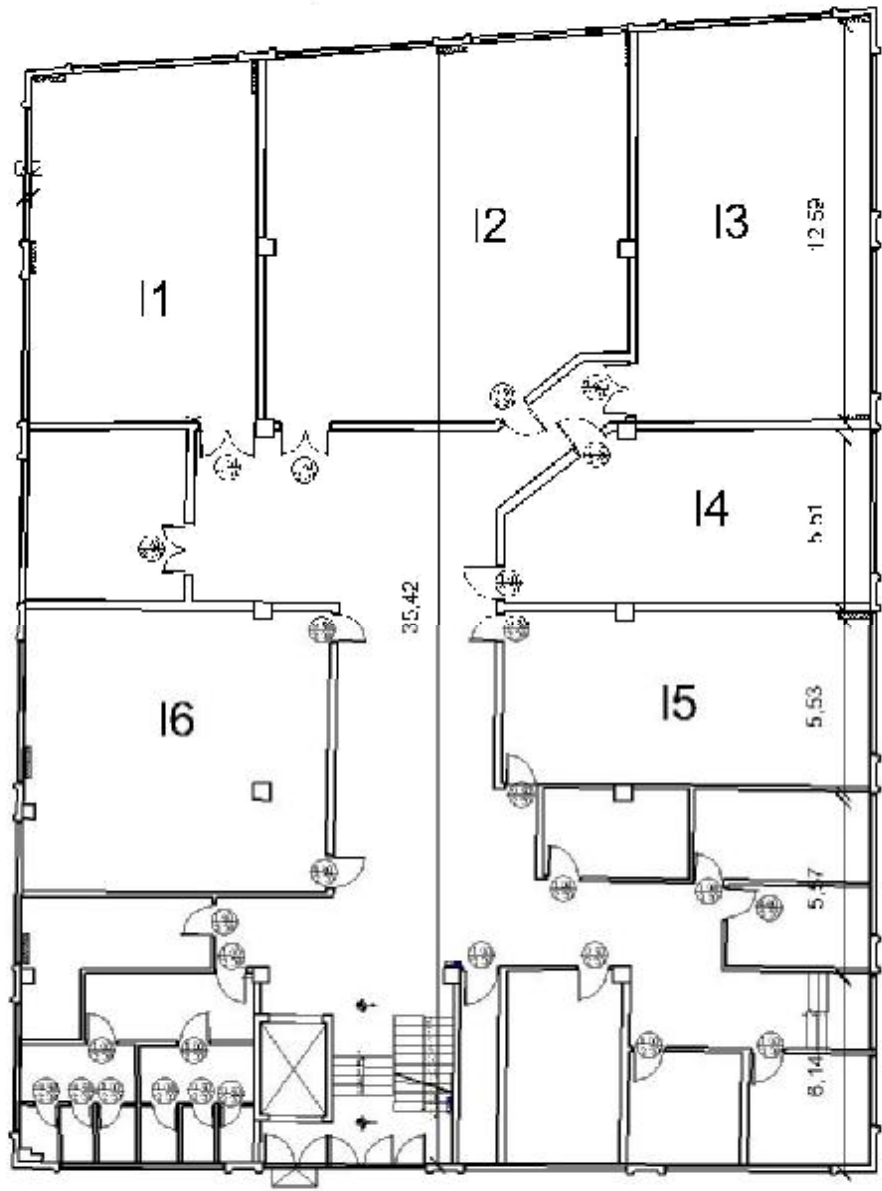
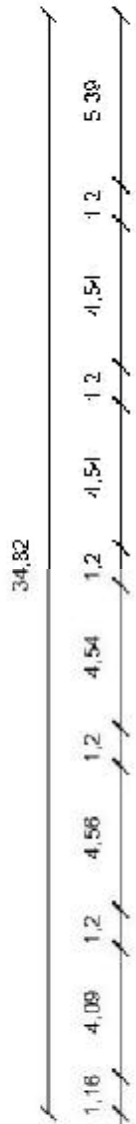
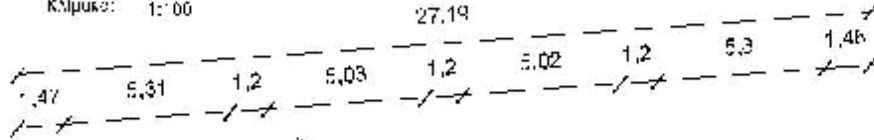
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Εμβαδόν: 674 m<sup>2</sup>  
Κλίμακα: 1:20



ΚΑΤΟΨΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ

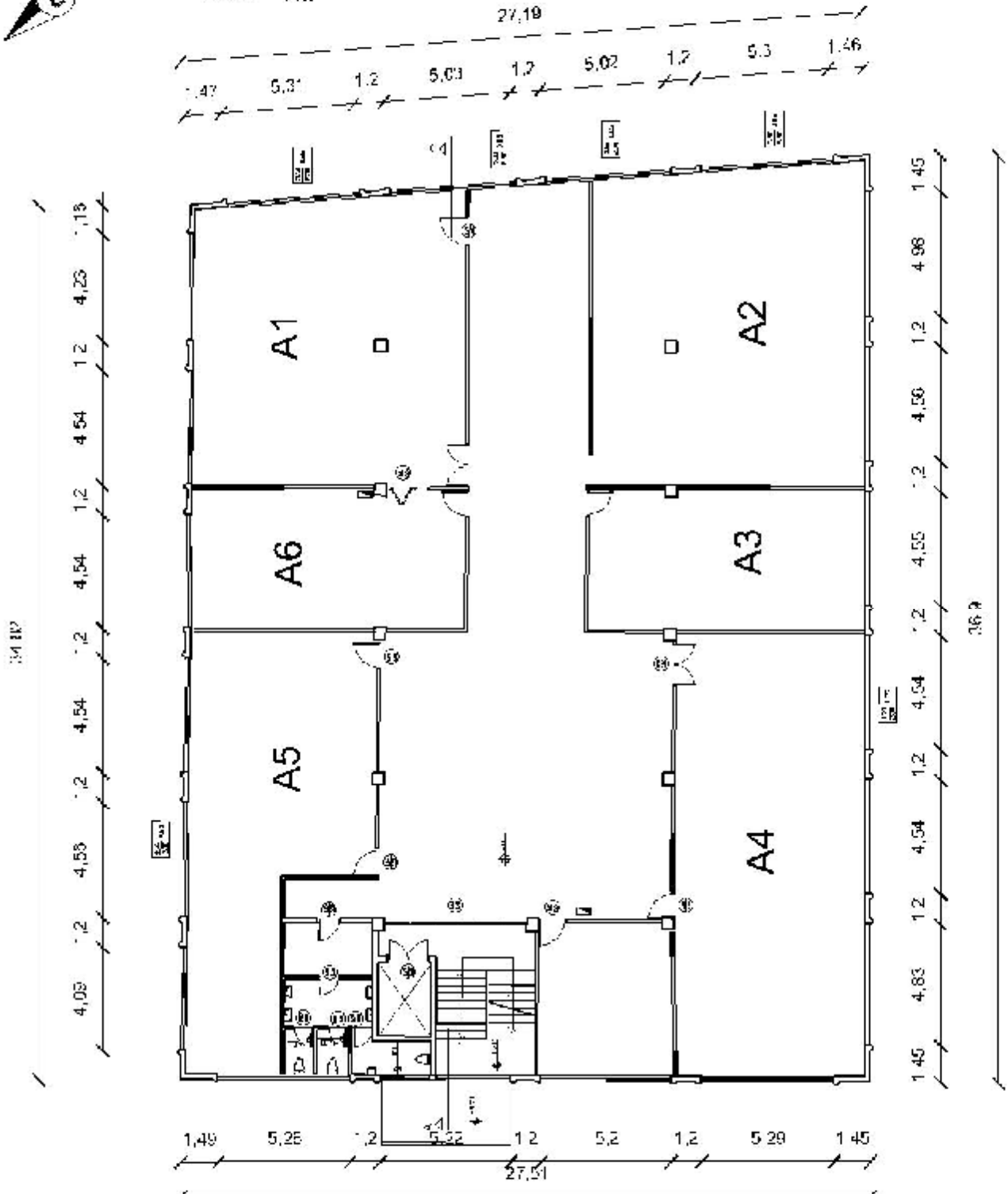
Ε. Γουδί, 9/4m2  
 Κλίμακα: 1:100



ΚΑΤΟΨΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

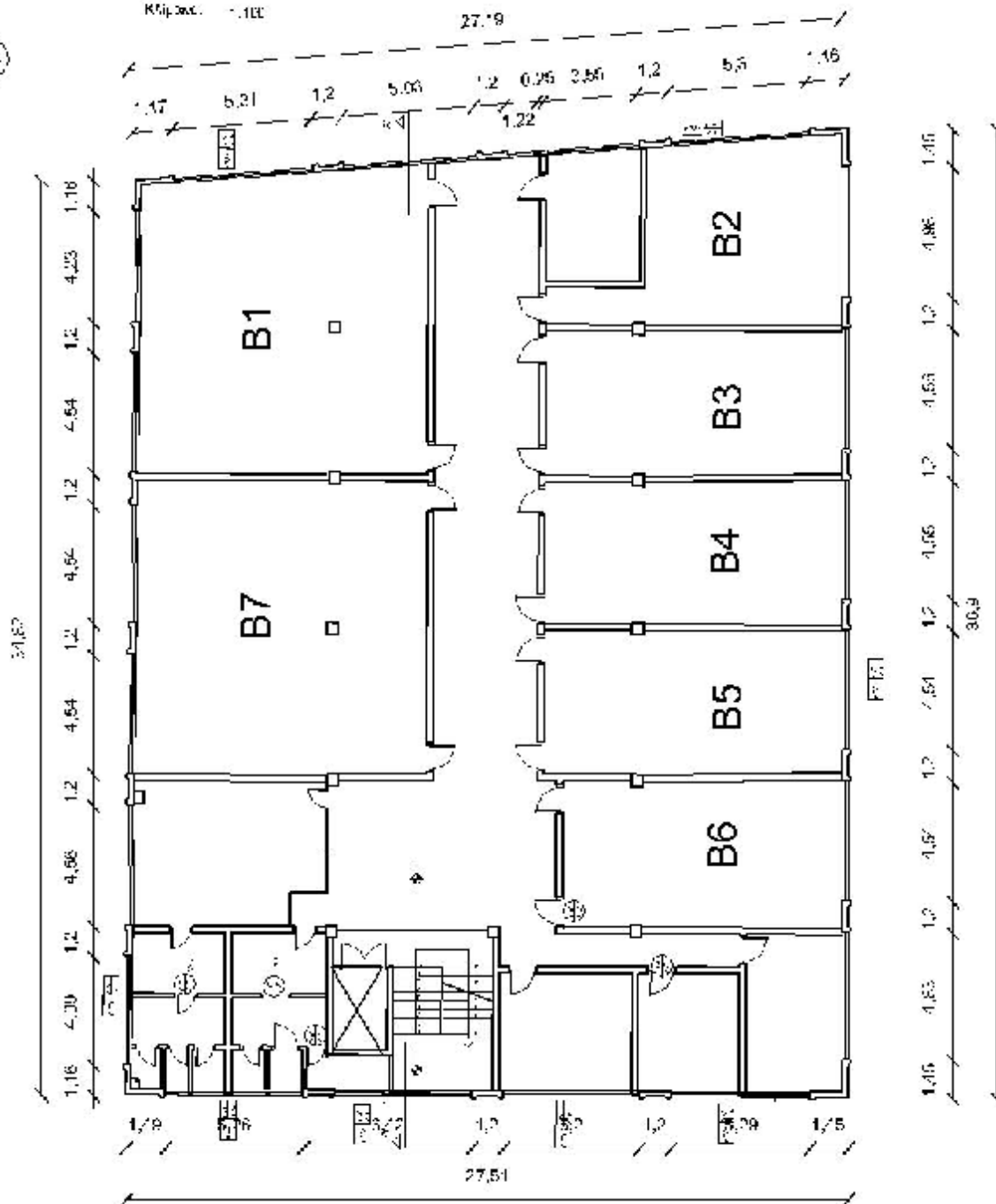


Επιπόσει: #1/12  
Κλίμακα: 1:100



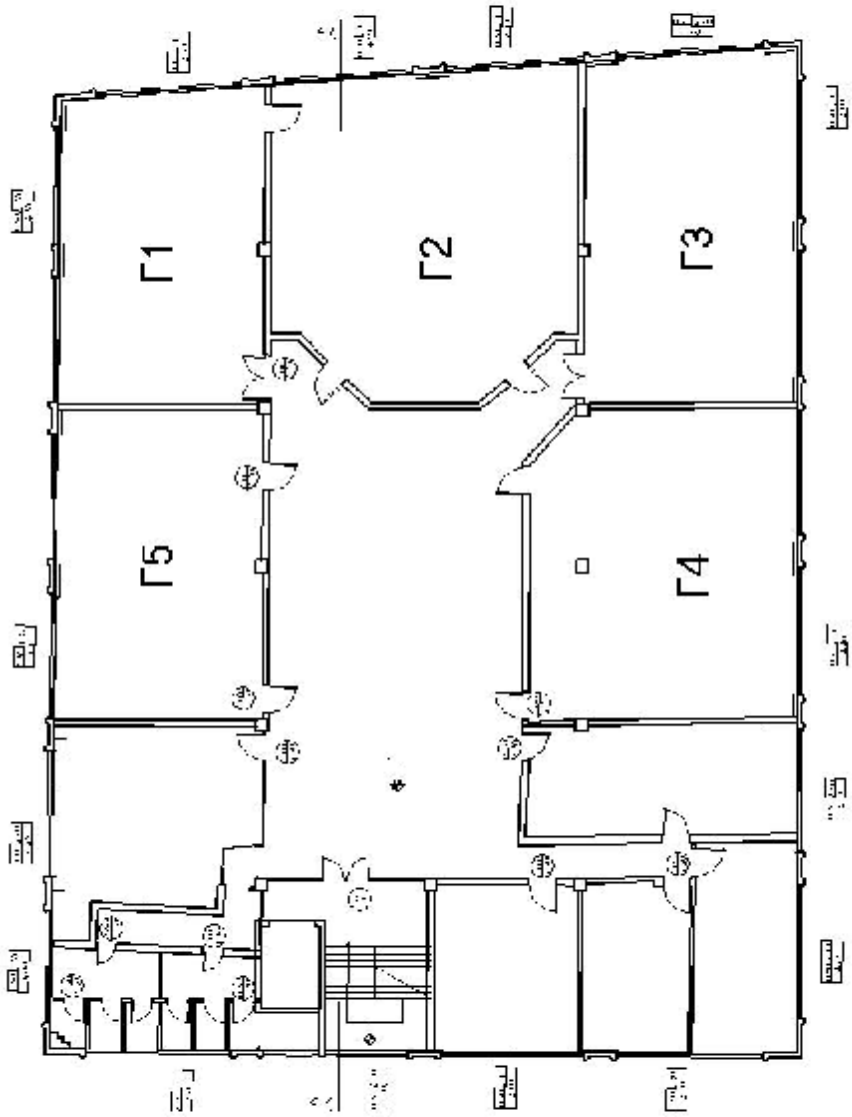


Επιφάνεια: 977 m<sup>2</sup>  
Κλίση: -1.1%



ΚΑΤΟΧΗ Β' ΟΡΟΦΟΥ

Εμβαδόν: 646 m<sup>2</sup>  
Έργο: Ε.Π.Π.

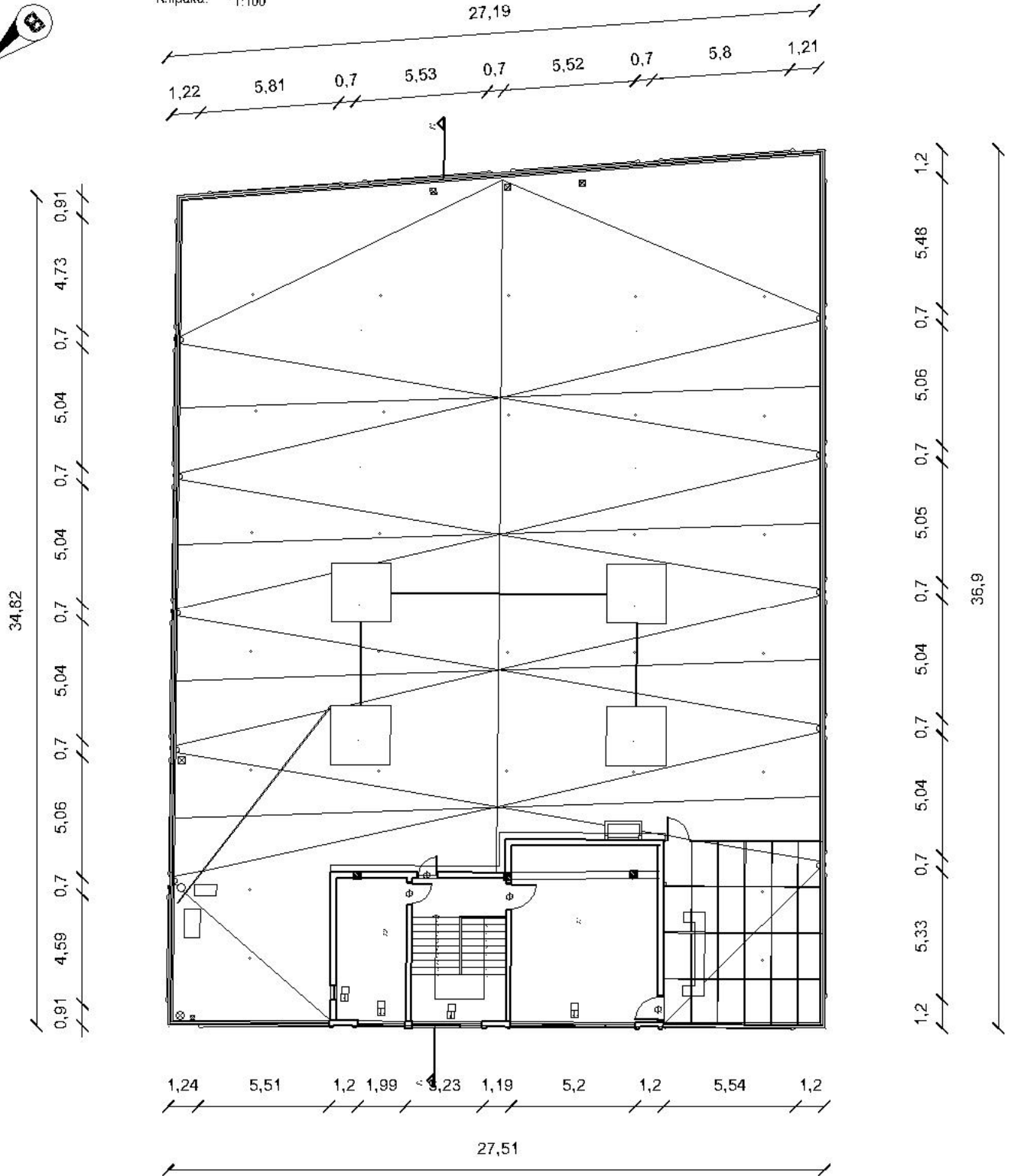


ΚΑΤΩΗ ΓΙΟΡΔΑΝΟΥ

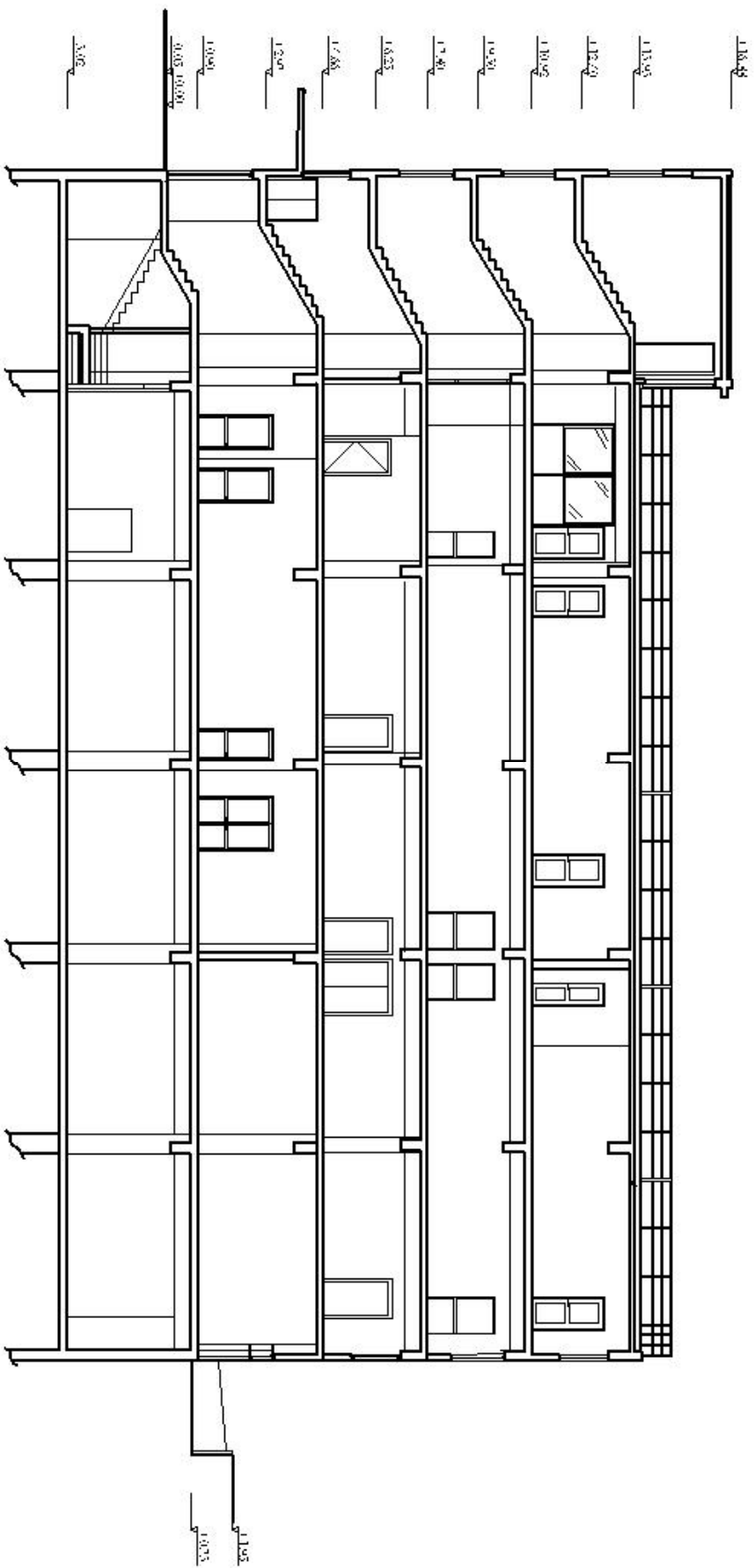


Εμβαδόν: 974 m<sup>2</sup>

Κλίμακα: 1:100



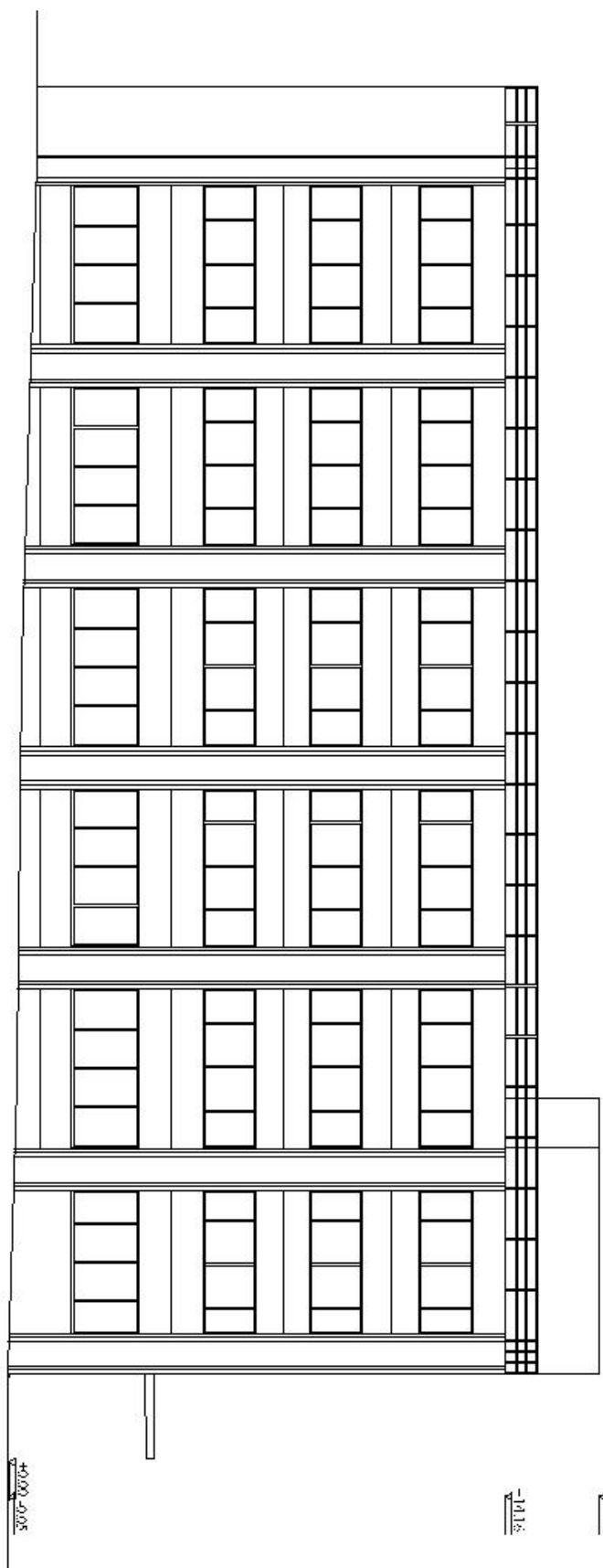
ΚΑΤΟΨΗ ΔΩΜΑΤΟΣ



Клипарт 1:1:00

ТОМН А-А

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ



Κλίμακα: 1:100

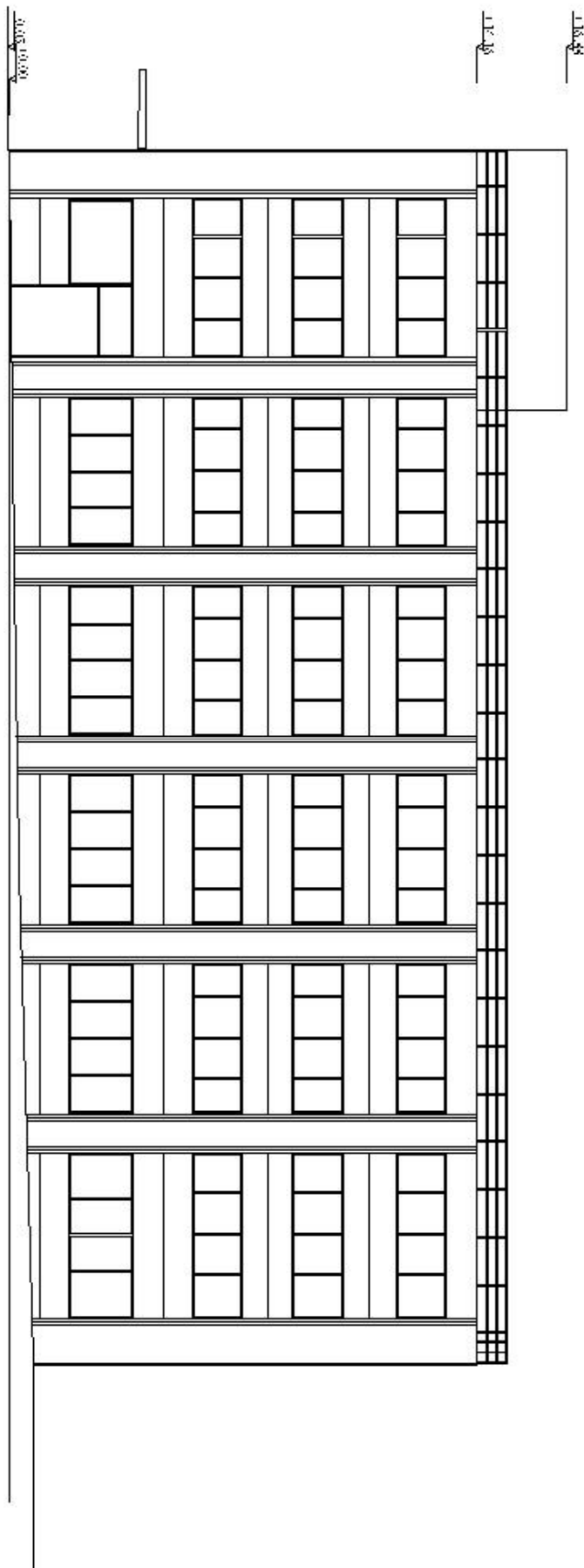
4000-2025

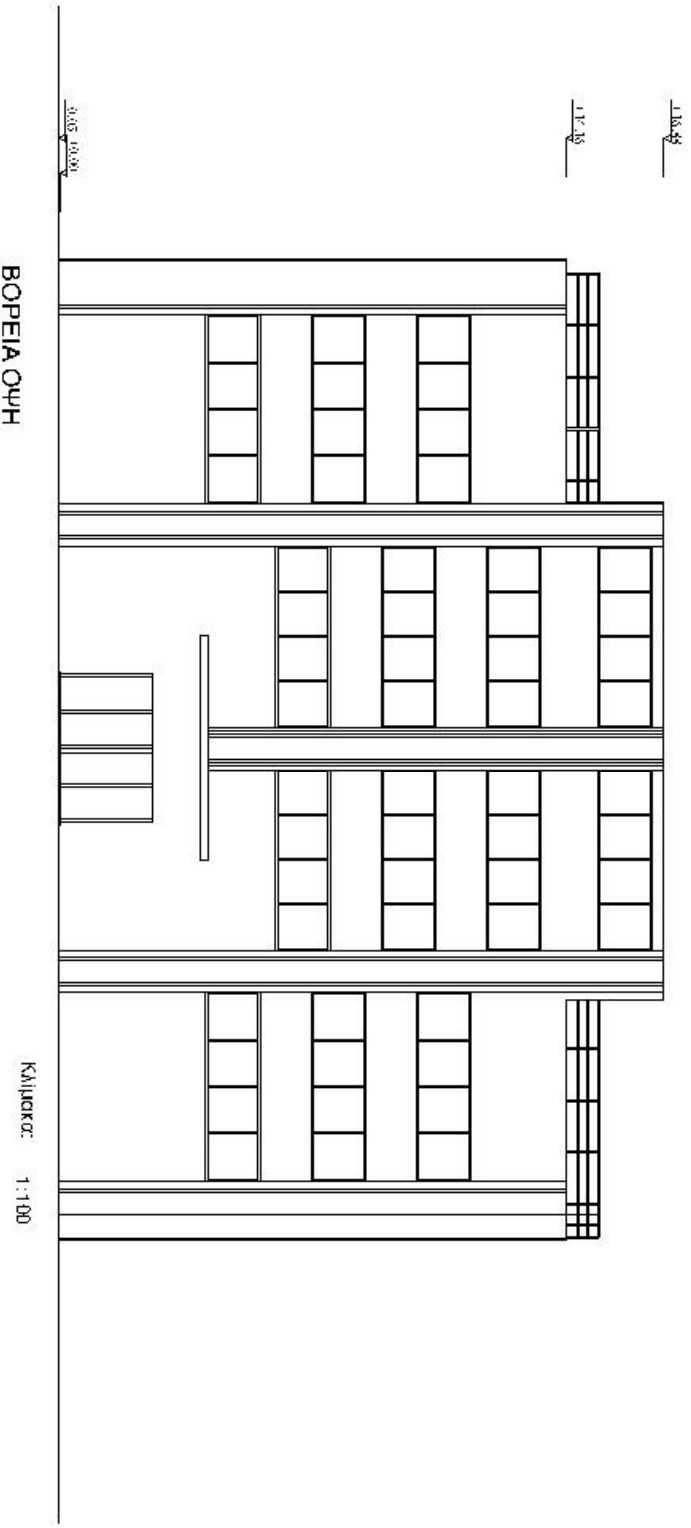
1/118

1/118

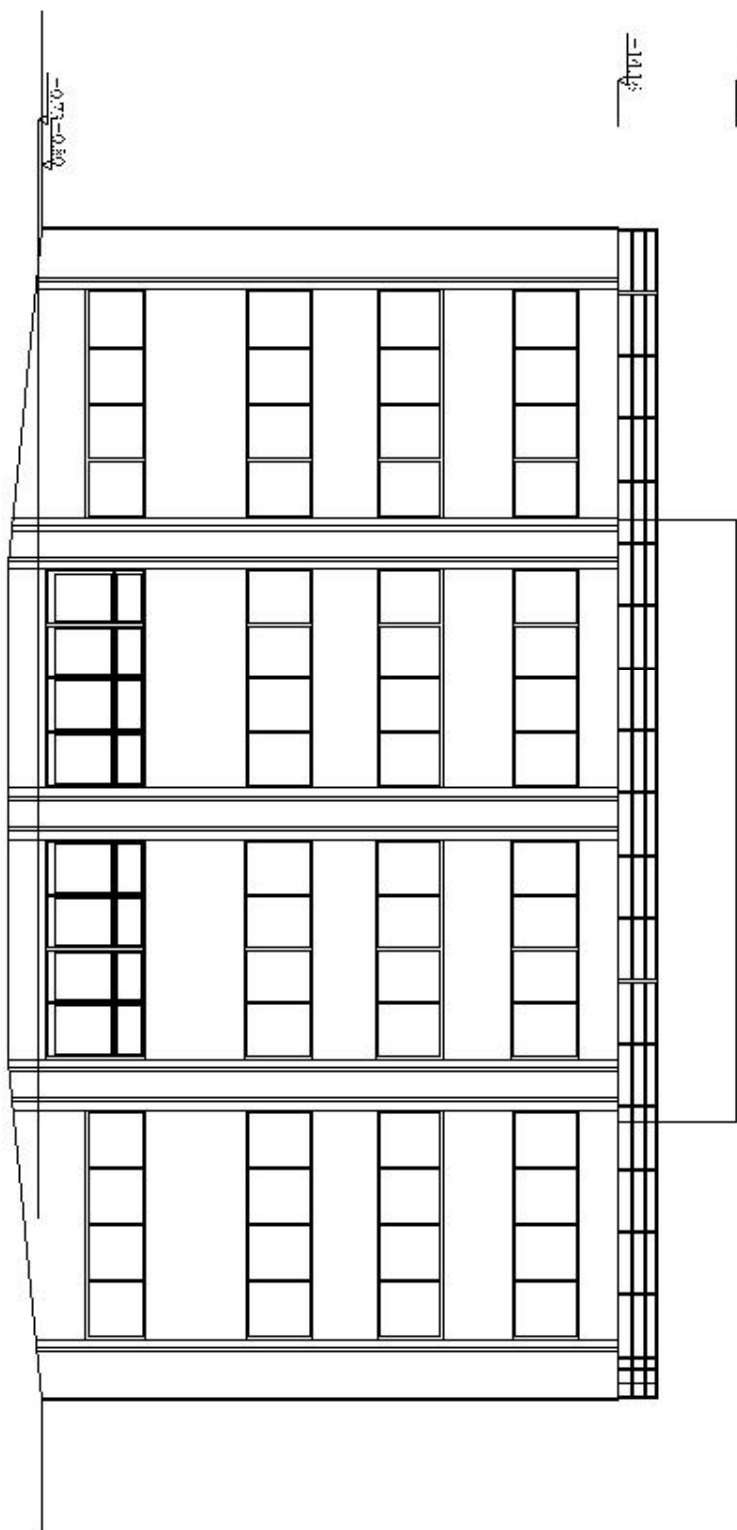
ΔΥΤΙΚΗ ΟΥΡΗ

Κλίμακα: 1:100





NOTIA QPH



Kalıpka: 1:100

## 10.1. Βιβλιογραφία

Εφαρμοσμένη Ακουστική - Δημήτρης Σκαρλάτος

Μελέτη Θερμομόνωσης-Υγρομόνωσης και Ηχομόνωσης Υφιστάμενης Κατασκευής με σύγχρονες απαιτήσεις (Διπλωματική Εργασία) - Παναγιωτάκου Γρηγορία

Ηχομόνωση & Τεχνολογία υλικών (Πτυχιακή Εργασία) – Παπαρίδου Ελένη

Θερμομονωτικά και Ηχομονωτικά Υλικά και Νέες Τεχνολογίες (Διπλωματική Εργασία) - Κάναβος Αλέξανδρος

Ακουστική Μελέτη Σχολικών Αιθουσών Μέσης Εκπαίδευσης (Διπλωματική Εργασία) - Μπακογιάννης Κωνσταντίνος

Acoustics for Engineers - Jens Blauert/Ning Xiang

CIBSE Guide - Leo Beranek

ASHRAE Handbook: 1991

Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός