



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

“ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ”

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΤΕΜΙΣ Σ. ΜΕΡΚΟΥΡΕΑ

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού Ε.Μ.Π

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Α.ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ

Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Ι.ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ

Υ/Δ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, Ιούνιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

“ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ”

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΤΕΜΙΣ Σ. ΜΕΡΚΟΥΡΕΑ

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού Ε.Μ.Π

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Α.ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ, Αν.Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Σ.ΤΣΙΒΙΛΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Ε.ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Επ.Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, Ιούνιος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τη φοιτήτρια του μεταπτυχιακού προγράμματος 'Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών', του τμήματος Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Άρτεμις Μερκουρέα.

Η διεξαγωγή και η ολοκλήρωση της εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τις πολύτιμες υποδείξεις και την καθοδήγηση της επιβλέπουσας καθηγήτριας κα. Αλεξάνδρας Σωτηροπούλου, στην οποία εκφράζονται ειλικρινείς ευχαριστίες.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στον συνεπιβλέποντα υποψήφιο διδάκτορα κ.Γιάννη Καραγιάννη για τη σημαντική βοήθεια που προσέφερε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ειλικρινείς ευχαριστίες εκφράζονται στον κ.Γ.Καμπουράκη, καθηγητή ΕΜΠ, για την παραχώρηση του ηχομέτρου.

Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στον αρχιτέκτονα κ.Ι.Δουρίδα και στον κ.Ι.Κακογιαννάκη, Project Manager της εταιρείας ΟΤΕ ESTATE, για την πρόθυμη συνεργασία, την παραχώρηση αρχιτεκτονικού υλικού και την υλοποίηση των μετρήσεων στο χώρο της εταιρείας BMS United Bunkers και στα κτίρια ΟΤΕ, Cosmote. Όπως επίσης και στους υπεύθυνους των κτιρίων BMS United Bunkers, ΟΤΕ και Cosmote για την παραχώρηση του χώρου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Η υλοποίηση των πειραματικών μετρήσεων δε θα ήταν εφικτή χωρίς τη συνεργασία με το Εργαστήριο Ηχοτεχνίας Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο σχεδιασμό και την κατασκευή κλειστών χώρων γραφείων η εξασφάλιση της ιδιωτικότητας της ομιλίας αποτελεί σημαντική παράμετρο. Είναι απαραίτητη η επίτευξη επαρκούς επιπέδου ηχομόνωσης σε τοίχους και οροφές, όπως επίσης και ο έλεγχος των διαδρομών πλευρικής ηχομετάδοσης. Η χρήση υαλοπετασμάτων αποτελεί συχνή επιλογή για το σχεδιασμό χώρου γραφείων στις σύγχρονες κατασκευές, καθώς απαντά σε διάφορες ανάγκες, όπως καλύτερες συνθήκες φωτισμού, οπτική άνεση λόγω διεύρυνσης του χώρου πέρα από τα φυσικά καθορισμένα όρια και διαφάνεια της διαδικασίας της εργασίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός ηχομονωτικής απόδοσης σύνθετων διαχωριστικών υαλοπετασμάτων σε εσωτερικό χώρο.

Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από τρεις διαφορετικούς τύπους υαλοπετασμάτων, σε τρία διαφορετικά κτίρια γραφείων. Για κάθε τύπο πετάσματος πραγματοποιείται επιτόπια μέτρηση στην κατασκευή, συγκεντρώνονται οι εργαστηριακές προδιαγραφές και γίνεται πρόβλεψη βάσει θεωρητικών υπολογιστικών μοντέλων, με στόχο την αξιολόγηση της ηχομονωτικής απόδοσης των υαλοπετασμάτων στην κατασκευή και το πώς συγκρίνεται με τις εργαστηριακές προδιαγραφές.

Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων οδηγούμαστε σε χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για την απόδοση στην κατασκευή όσο και για τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης. Σε σχέση με τα μοντέλα πρόβλεψης, η ηχομονωτική ικανότητα των υαλοπετασμάτων όπως προσδιορίζεται με τον τύπο του M.Crocker συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με την ηχομονωτική ικανότητα των πετασμάτων αυτών όπως υπολογίζεται στις μετρήσεις στο εργαστήριο. Ως προς την εφαρμογή των σύνθετων υαλοπετασμάτων στην κατασκευή, αναμένεται η ηχομονωτική τους απόδοση να είναι κατά μέσο όρο 15dB μικρότερη από την εργαστηριακή. Κρίνεται ότι τα υαλοπετάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κλειστούς χώρους γραφείων όπου υπάρχουν απαιτήσεις ηχοπροστασίας, ωστόσο πρέπει να δίνεται προσοχή στο αεροστεγές σφράγισμα των αρμών της περιμέτρου και ιδιαίτερα στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες της σύνδεσης με την οροφή στην περίπτωση της ψευδοροφής.

ABSTRACT

Speech privacy is a significant design parameter that determines detailing in the office workplace. For closed offices, it is essential to reach adequate ratings of sound insulation for walls and ceilings, and control flanking transmission paths. Glass panels are commonly used as partitions in contemporary offices where a physical but not a visual barrier is needed as they offer improved lighting conditions, visual comfort and transparency of the work process.

The scope of this study is to determine the sound insulation performance of composite glass panels for interior spaces.

The sample of the research consists of three different glass panel types found in three different buildings. For each panel in situ measurements are realized, the laboratory standards are collected and the expected sound insulation is calculated using prediction models. The specification of these ratings aims to assess the rate of the achieved sound insulation.

Analysis of the results leads to useful conclusions concerning the performance of in situ application of composite glass panels and the efficiency of prediction models. Compared with the prediction models, the sound insulation of glazing as determined by M.Crocker's model agrees with great accuracy with the sound insulation capacity of these panels as measured in the laboratory. Concerning the application of composite glass panels in buildings, the expected sound insulation performance tends to be 15dB less than the laboratory. It is considered that the glass panels can effectively be used in interior spaces where there are sound insulation requirements. However, particular attention should be paid to sealing systems and especially in the connection with suspended ceiling.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	3
3.Ο ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	5
3.1 ΤΥΠΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ	5
3.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	6
4.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	9
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	9
4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΕΙ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	9
4.3 ΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ	10
4.5 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	10
4.6 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΘΟΡΥΒΟΥ (Noise Criteria-NC)	11
5.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	13
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	13
5.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	13
5.3 ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ COSMOTE	14
5.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Τύπος Α.....	14
5.4 ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ BMS UNITED BUNKERS.....	27
5.4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Τύπος Β	27
5.5 ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ ΟΤΕ.....	36
5.5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Τύπος Γ.....	36
5.6 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	48
5.6.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΟΝΟΥ	48
ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ.....	48
5.6.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ	49
ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ.....	49
5.6.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΠΛΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ.....	50
5.6.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΤΥΠΟΥ Γ	51
5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ	52
5.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	54
6.ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	59
6.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	59
6.2 ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΜΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ.....	59
6.3 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΞΥ ΙΔΙΩΝ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ	60
6.4 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	61
6.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΛΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	63
6.6 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΤΥΠΟΥ Γ	63
7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	65
8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	71

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασική αρχή για την εύρεση λύσης σε ένα πρόβλημα αποτελεί ο ορισμός του προβλήματος. Την ίδια αρχή ακολουθεί και ο ακουστικός σχεδιασμός. Ο ακουστικός σχεδιασμός δεν αφορά μόνο σε προφανείς εφαρμογές, όπως ένας συναυλιακός χώρος, αλλά σχετίζεται και με άλλους (πιο συμβατικούς) χώρους. Η πρόβλεψη και ο σχεδιασμός της ηχητικής απόδοσης είναι το αντικείμενο μελέτης της ακουστικής χώρου και, όπως η αρχιτεκτονική, καθοδηγείται από την επιστήμη και το ένστικτο.

Οι δύο κύριες διακριτές κατηγορίες της αρχιτεκτονικής ακουστικής είναι η ηχοπροστασία και τα room acoustics (ακουστική). Ο προσδιορισμός της φύσης του ακουστικού προβλήματος είναι το πρώτο βήμα για τον περιορισμό του.

Το πρόβλημα το οποίο μελετά η παρούσα εργασία εμπίπτει στην κατηγορία της ηχοπροστασίας. Η διάδοση του ήχου λειτουργεί αμφίδρομα, μερικές φορές πρέπει να εμποδίζεται η διαφυγή του ήχου από ένα χώρο και άλλες να εμποδίζεται η είσοδός του. Κατά βάση οι δύο απαιτήσεις συνυπάρχουν, όπως σε ένα ιδιωτικό χώρο όπου υπάρχει τόσο η απαίτηση για ηχοπροστασία, όσο και για ιδιωτικότητα της ομιλίας. Στο σχεδιασμό υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι ηχοπροστασίας (τοποθέτηση κρίσιμων περιοχών σε απόσταση, μείωση της ηχητικής ενέργειας στην πηγή, μείωση του θορύβου στο δωμάτιο λήψης), μεταξύ των οποίων η πιο συνηθισμένη μέθοδος σε κτιριακές εφαρμογές είναι η ηχομόνωση, δηλαδή ο φραγμός του μονοπατιού από την πηγή του ήχου στον κρίσιμο χώρο μέσω κατασκευαστικών στοιχείων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην κατασκευή παρουσιάζουν τα συστήματα ξηράς δόμησης τα οποία στηρίζονται στην ιδέα της τυποποίησης και της προκατασκευής και απαντούν σε διάφορα ζητήματα της κατασκευής όπως ο χρόνος, το κόστος, ο χώρος, η μεταβλητότητα, οι αισθητικές απαιτήσεις κ.α. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα υαλοπετάσματα. Ως υαλοπετάσματα θεωρούμε το σύστημα υαλοπίνακα και πλαισίου στήριξης και η απόδοση του επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους σχεδιασμού.

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών και των σύγχρονων κατασκευαστικών πρακτικών στον τομέα της ξηράς δόμησης καθιστούν το υαλοπέτασμα ανταγωνιστικό δομικό στοιχείο, το οποίο αποτελεί δημοφιλή αρχιτεκτονική επιλογή. Ως δομικό στοιχείο, παρουσιάζει ενδιαφέρον η μελέτη της ηχομονωτικής του ικανότητας, καθώς αποτελεί στοιχείο ευαίσθητο στον ήχο, λόγω των πλευρικών διαδρομών που δημιουργεί και λόγω των περιορισμών που θέτει το μικρό πάχος του υλικού.

Η παρούσα εργασία μελετά την ηχομονωτική απόδοση διαχωριστικών υαλοπετασμάτων εσωτερικού χώρου, με μετρήσεις επί τόπου στην κατασκευή. Καθώς η βιβλιογραφία εξετάζει τα υαλοπετάσματα κυρίως ως συστήματα πλήρωσης παραθύρων, η μελέτη αυτή επιδιώκει να απαντήσει στα εξής ερωτήματα: ποια είναι η μέση απόδοση των υαλοπετασμάτων στην κατασκευή στον εσωτερικό χώρο και πώς συγκρίνεται με τις εργαστηριακές προδιαγραφές.

2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το αντικείμενο της ηχομόνωσης, το οποίο εντάσσεται στο ευρύ πεδίο της αρχιτεκτονικής ακουστικής, αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας στην κατασκευή. Σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών και των κατασκευαστικών συστημάτων έχει πραγματοποιηθεί μεγάλος αριθμός μελετών για τον προσδιορισμό της ηχομονωτικής ικανότητας κάθε κατασκευαστικού στοιχείου. Ενδιαφέρον για την ηχομονωτική απόδοση του γυαλιού άρχισε να παρατηρείται τη δεκαετία του '60 στην Αγγλία. Έκτοτε σχεδιαστές και ερευνητές επιχειρούν ποικίλους συνδυασμούς γυαλιών, ενδιάμεσων αποστάσεων, ενδιάμεσων στρώσεων και συστημάτων πλαίσίων στήριξης προκειμένου να βελτιστοποιήσουν και να πετύχουν όσο το δυνατόν υψηλότερες τιμές δείκτη ηχομείωσης και σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης [1-8]. Ειδικότερα:

Η μελέτη της Jacqueline A.Marsh [1] αποτελείται από τρία διαδοχικά άρθρα στα οποία συγκεντρώνει τα αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων δείκτη ηχομείωσης προηγούμενων μελετητών, από το 1952 μέχρι και το 1969, σχετικά με απλούς και πολυστρωματικούς υαλοπίνακες (μέγιστη τιμή δείκτη ηχομείωσης 40dB), διπλούς υαλοπίνακες με κενό λιγότερο των 50mm (μέγιστη τιμή δείκτη ηχομείωσης 36dB), διπλούς υαλοπίνακες με κενό μεγαλύτερο των 50mm(μέγιστη τιμή δείκτη ηχομείωσης 57dB). Το γυαλί μελετάται ως μέρος κουφώματος και καταρτίζονται οι σχετικοί πίνακες των παραμέτρων που επηρεάζουν το σχεδιασμό τους (πάχος-διαστάσεις υαλοπίνακα, υλικό σφραγίσματος, βάθος κενού κ.α.). Η μελέτη καταλήγει ότι λεπτομερής διερεύνηση απαιτείται για τη στήριξη στα άκρα του πετάσματος, την κατασκευή του πλαισίου, τις διαστάσεις του πετάσματος και τον προσδιορισμό της ακρίβειας των μετρήσεων.

Η μελέτη των W.A.Utley και B.L.Fletcher [2] ερευνά το πως η απόσβεση στο όριο του τζαμιού, δηλαδή στο πλαίσιο στήριξης, επηρεάζει την ηχομονωτική απόδοση του υαλοπετάσματος. Για την έρευνα αυτή γίνονται μετρήσεις ηχομόνωσης με υαλοπίνακα 9.5mm και τέσσερα διαφορετικά συστήματα στήριξης : με νεοπρέν, με μεταλλικό πλαίσιο και μαστίχα, με ξύλινο πλαίσιο και ύφασμα για το σφράγισμα των αρμών και με τσιμεντένιο πλαίσιο και στόκο. Η απόδοση του μονού τζαμιού όντως διέφερε ανάλογα με τις συνθήκες στην περίμετρο, ιδιαίτερα στις συχνότητες κοντά στη συχνότητα συντονισμού. Μεταξύ των συστημάτων αυτών τη βέλτιστη απόδοση παρουσιάζει το νεοπρέν με δείκτη ηχομείωσης 31dB, ενώ τη χαμηλότερη το τσιμεντένιο πλαίσιο με 27dB.

Σε συνέχεια της μελέτης τους, οι W.A.Utley και B.L.Fletcher [3] διεξάγουν έρευνα για τη σημασία του πλαισίου στήριξης για διπλούς υαλοπίνακες. Παρατηρούν ότι καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται, όταν υπάρχει μικρότερος περιορισμός των άκρων και καλύτερη απόσβεση των δονήσεων μεταξύ γυαλιού και πλαισίου.

Ο R.D.Ford [4] παρατηρεί ότι το ζήτημα της απόδοσης των μονολιθικών υαλοπινάκων είναι πλήρως τεκμηριωμένο και στρέφει το ενδιαφέρον του στους πολυστρωματικούς (φυλλόπηκτους) υαλοπίνακες. Για τη δυνατότητα εύρεσης του βέλτιστου πάχους και συνδυασμού πολυστρωματικού υαλοπίνακα προτείνει τη μέτρηση των ιδιοτήτων του υλικού που επηρεάζουν το δείκτη ηχομείωσης σε μικρά δοκίμια (400 x 40 mm) και στη συνέχεια την πρόβλεψη του δείκτη ηχομείωσης με τη μέθοδο Sharp. Πραγματοποιεί την παραπάνω μέθοδο για γυαλιά πάχους 7, 9 και 11mm και στη συνέχεια συγκρίνει τις τιμές με τις τιμές εργαστηριακών μετρήσεων των αντίστοιχων υαλοπετασμάτων πραγματικών διαστάσεων. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής δείχνουν ότι η πρόβλεψη του δείκτη ηχομείωσης ήταν αρκετά ακριβής με απόκλιση μόλις 1-2dB από τις τιμές που μετρήθηκαν στο εργαστήριο.

Σε νεότερη μελέτη σχετικά με τον πολυστρωματικό υαλοπίνακα, η J.Schimmelpenningh [5] εστιάζει στη βελτίωση της ηχομονωτικής του απόδοσης, η οποία οφείλεται στην εξέλιξη της τεχνολογίας των ενδιάμεσων στρώσεων που εφαρμόζονται στα πολυστρωματικά τζάμια (στρώσεις από ρητίνη PVB) και συνεπάγεται βελτίωση της ακαμψίας του πετάσματος. Σύμφωνα με τον μελετητή, επιτυγχάνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα (δείκτης ηχομείωσης από 36-47 dB) με πιο λεπτές ενδιάμεσες στρώσεις και πιο λεπτά τζάμια, εξοικονομώντας έως και 25 mm, βελτιστοποιώντας τον περιορισμό των νεκρών φορτίων στην κατασκευή.

Σχετικά με τη σημασία των διπλών υαλοπινάκων, οι A.J.B.Tadeu και D.M.R.Mateus [6] κάνουν πειραματική εκτίμηση του δείκτη ηχομείωσης απλών, διπλών και τριπλών υαλοπετασμάτων και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα διπλά πετάσματα έχουν ουσιαστικά καλύτερη απόδοση από τα μονά, όταν το διάκενο είναι μεγαλύτερο των 50mm, ενώ τα τριπλά τζάμια δεν προσφέρουν αξιοσημείωτη βελτίωση σε σχέση με τα διπλά. Η βέλτιστη ηχομονωτική απόδοση διπλών και τριπλών τζαμιών με ικανό διάκενο προκύπτει με τη χρήση ξεχωριστών πλαισίων για κάθε τζάμι.

Στην πιο πρόσφατη μελέτη, οι K.Miskinis et al. [7] σε έρευνα για την ηχομονωτική απόδοση διπλών υαλοπετασμάτων επιτυγχάνουν βελτίωση της ηχομόνωσης κατά 5dB στις υψηλές συχνότητες χρησιμοποιώντας πολυστρωματικούς υαλοπίνακες και μειώνοντας την ακαμψία τους με τη χρήση δύο μεμβρανών PVB.

Ως προς την πρόβλεψη της ηχομονωτικής ικανότητας των υαλοπετασμάτων, ο M.J.Crocker [8], λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της κρίσιμης συχνότητας, προτείνει τρεις διαφορετικούς τύπους υπολογισμού ειδικά για υαλοπίνακες. Οι τύποι αυτοί αφορούν συγκεκριμένα στον απλό μονολιθικό υαλοπίνακα, τον πολυστρωματικό υαλοπίνακα, όπου λαμβάνεται υπόψιν το πάχος της ενδιάμεσης μεμβράνης, και το διπλό υαλοπίνακα με ενδιάμεσο κενό.

Η βιβλιογραφία αποδεικνύει ότι ο τομέας της ακουστικής που αφορά την ηχομονωτική απόκριση των υαλοπετασμάτων στο κτίριο ενδιαφέρει εδώ και πολλά χρόνια την επιστημονική κοινότητα, η οποία προσπαθεί να επιτύχει τη βέλτιστη απόδοση και να μειώσει όσο το δυνατόν τις αποκλίσεις που οφείλονται στην κατασκευή των στοιχείων. Ωστόσο, οι μελέτες αυτές αφορούν κυρίως στη χρήση των υαλοπετασμάτων σε παράθυρα και πόρτες όψεων κτιρίων και όχι στη χρήση τους ως ελαφριά διαχωριστικά πετάσματα εσωτερικού χώρου.

Το γεγονός αυτό και η παρατήρηση ότι γίνεται ευρεία χρήση υαλοπετασμάτων, ιδίως σε επαγγελματικούς χώρους τα τελευταία χρόνια, μας οδήγησε στην κατάστρωση της παρούσας εργασίας, η οποία σκοπό έχει την σύγκριση της ηχομονωτικής ικανότητας των υαλοπετασμάτων ως διαχωριστικά πετάσματα εσωτερικού χώρου, μετά την τοποθέτησή τους στο κτίριο, με τις εργαστηριακές προδιαγραφές. Από τη σύγκριση αυτή θα προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, για τη διερεύνηση της καταλληλότητας των συστημάτων υαλοπετασμάτων σε χώρους που απαιτείται ηχοπροστασία.

3.0 ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Παραγωγή γυάλινων αντικειμένων σημειώνεται ήδη από το 1500 π.Χ. Από το 1000 μ.Χ. γίνονται σημαντικές αλλαγές στην τεχνολογία της υαλοουργίας, όταν αναπτύσσεται η μέθοδος παραγωγής επίπεδου γυαλιού με εμφύσηση. Από το 19^ο αιώνα και μετά για την παραγωγή υαλοπινάκων χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της κυλίνδρωσης, της έλξης και της επίπλευσης (float) [Παράρτημα 4.4]. Το γυαλί αποτελούσε υλικό πολυτελείας ως τα τέλη του μεσαίωνα και επί αιώνες η χρήση του ήταν περιορισμένη σε βιτρίνες και παράθυρα. Η προώθηση του γυαλιού στη σύγχρονη εποχή έγινε από τους αδελφούς Pilkington στην Αγγλία το 1959 και από τότε χρησιμοποιείται ευρύτατα. Πλέον, είναι δυνατή η παραγωγή υαλοπινάκων μεγάλων διαστάσεων, υψηλής ποιότητας γυαλιού και χαμηλού κόστους. Η τεχνολογική εξέλιξη και η συνεχής βελτίωση της παραγωγής επέτρεψαν τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των γυάλινων στοιχείων [Παράρτημα 4.6] με αποτέλεσμα να διευρυνθεί η δυνατότητα εφαρμογής τους ως δομικών στοιχείων.

Το γυαλί παρασκευάζεται με σύντηξη χαλαζιακής άμμου, η οποία αποτελεί το βασικό συστατικό του, ενός ή περισσότερων συλλιπασμάτων και ενός ή περισσότερων σταθεροποιητών. Ανάλογα με τον τύπο και το ποσοστό των συλλιπασμάτων και των σταθεροποιητών λαμβάνονται και οι διάφοροι τύποι γυαλιού [Παράρτημα 4.2].

Οι βασικοί τύποι γυαλιού είναι το κοινό γυαλί (soda-lime glass), το γυαλί μολύβδου, το γυαλί βορίου (εμπορική ονομασία "Pyrex") και το υαλόνημα. Οι ειδικόι τύποι γυαλιού είναι το γυαλί αργιλίου, το γυαλί αλκαλίων - βαρίου, το κεραμικό γυαλί και τα οπτικά γυαλιά. Από τους τύπους αυτούς την κατασκευή ενδιαφέρει το κοινό γυαλί και πιο συγκεκριμένα το επίπεδο γυαλί (float ή flat glass) με τη μορφή υαλοπινάκων οι οποίοι διακρίνονται σε διάφορους τύπους.

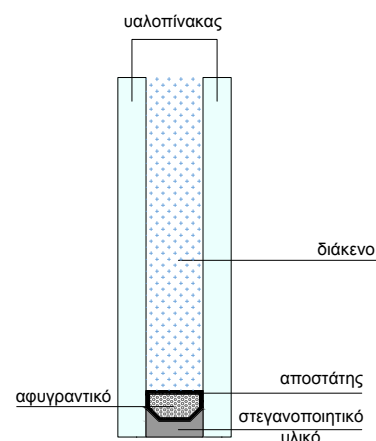
3.1 ΤΥΠΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

Οι ΑΠΛΟΙ (ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΙ) ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ αποτελούν την πιο απλή μορφή υαλοπίνακα. Προσφέρουν προστασία από τα καιρικά φαινόμενα, επαφή με το φυσικό περιβάλλον επιτρέποντας την είσοδο του φυσικού φωτός και υποτυπώδη θερμομόνωση.

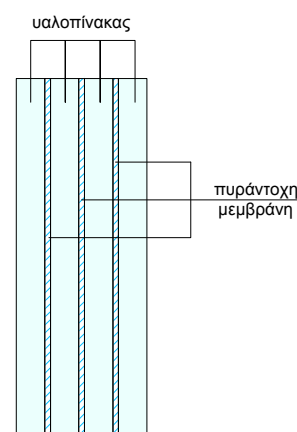
Οι ΔΙΠΛΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ αποτελούνται από δυο υαλοπετάσματα τα οποία διαχωρίζονται από ένα στρώμα αέρα. Σε σύγκριση με το σύστημα μονής υάλωσης, οι διπλοί υαλοπίνακες περιορίζουν τις θερμικές απώλειες λόγω της θερμομονωτικής ιδιότητας του αέρα στο διάκενο. Επιπλέον, στο διάκενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο αέριο. (Σχήμα 3.1)

Οι ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ χρησιμοποιούνται ως στοιχεία όψης για προστασία του εσωτερικού του κελύφους από τα θερμικά κέρδη κατά τη θερινή περίοδο του έτους. Η ανακλαστική ιδιότητα του υαλοπίνακα επιτυγχάνεται είτε με την επικάλυψη αυτού με ειδικά ανακλαστικά επιστρώματα, είτε με την προσθήκη των κατάλληλων ουσιών στην υαλόμαζα.

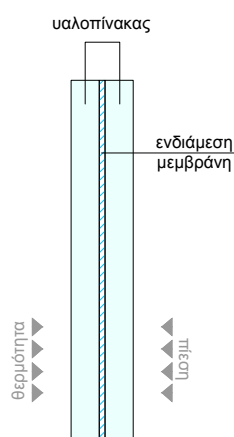
Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑΣ εμποδίζει την εκπομπή της θερμότητας προς τα έξω και για αυτό ονομάζεται "χαμηλής εκπομπής" ή "Low-E" (Low -Emissivity). Οι χαμηλής εκπομπής (Low-E) διπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από δύο φύλλα γυαλιού εκ των οποίων το ένα περιέχει σύνθεση μεταλλικών στοιχείων, την αποκαλούμενη χαμηλής εκπομπής επίστρωση.



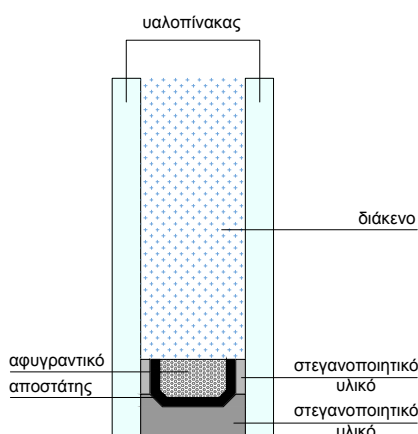
Σχήμα 3.1 Διπλός υαλοπίνακας.



Σχήμα 3.2 Πυράντοχος υαλοπίνακας.



Σχήμα 3.3 Πολυστρωματικός υαλοπίνακας.



Σχήμα 3.4 Μονωτικός διπλός υαλοπίνακας.

Οι ΠΥΡΑΝΤΟΧΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ αφορούν τόσο τους μονολιθικούς όσο και τους πολυστρωματικούς υαλοπίνακες και ικανοποιούν τις απαιτήσεις των κανονισμών πυρασφάλειας των κτιρίων. (Σχήμα 3.2)

Το U-GLASS είναι ημιδιαφανές και ανάγλυφο γυαλί, η διατομή του οποίου μοιάζει με επεκταμένο "U" και είναι διαθέσιμο αρμέ ή απλό. Το αρμέ U-Glass έχει ενσωματωμένο πλέγμα από ανοξείδωτο ατσάλι το οποίο είναι προστατευμένο από διάβρωση επιτρέποντας να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες υγρασίας.

ΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ είναι προϊόν θερμικής καταψύξεως με την οποία επιτυγχάνεται αυξημένη αντοχή στις έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές και ασφαλής θραύση.

Οι ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ (laminated glass) προκύπτουν από τη συγκόλληση δύο ή περισσοτέρων υαλοπινάκων, απλών ή ασφαλείας, συνήθως μέσω ενδιάμεσων μεμβρανών, πολυβινυλοβουτυρικών (PVB) ή και άλλων ρητινών (interlayers). Η συγκόλληση των υαλοπινάκων πραγματοποιείται με θέρμανση και μετέπειτα με πίεση. Οι ιδιότητες αυτού του τύπου υαλοπίνακα καθορίζονται από τον αριθμό και το πάχος, τόσο των υαλοπινάκων, όσο και των μεμβρανών και από τη σχέση συνάφειας του υαλοπίνακα με τη μεμβράνη. (Σχήμα 3.3)

Οι ΜΟΝΩΤΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ (insulated glass units-IGU) αποτελούνται από δύο ή τρεις παράλληλους υαλοπίνακες (απλοί ή πολυστρωματικοί) σε απόσταση μεταξύ τους. Το ενδιάμεσο κενό σφραγίζεται με κατάλληλο ελαστομερές και η πλήρωση του διακένου γίνεται με αέρα ή ευγενή αέρια (αργόν, κρυπτόν, ξένον κλπ). (Σχήμα 3.4)

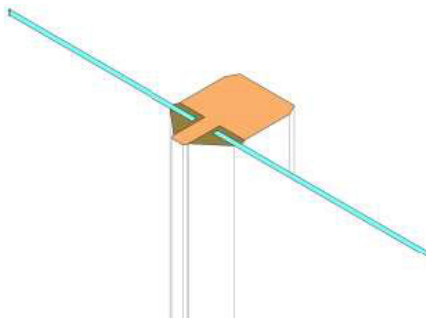
3.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Η διάδοση του ήχου μέσω του γυαλιού συνεπάγεται φαινόμενα συντονισμού και κυματοσύμπτωσης. Το απλό μονολιθικό γυαλί έχει συγκεκριμένη κρίσιμη συχνότητα. Η συχνότητα αυτή μετατοπίζεται προς χαμηλότερες συχνότητες όσο αυξάνεται το πάχος του γυαλιού. Αν και η συχνότητα σύμπτωσης εντοπίζεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο, πρακτικά επηρεάζει ένα εύρος συχνοτήτων στο οποίο πραγματοποιείται διάδοση του ήχου και το οποίο περιλαμβάνει τις συχνότητες της ανθρώπινης ακοής και ομιλίας [Παράρτημα 2.1].

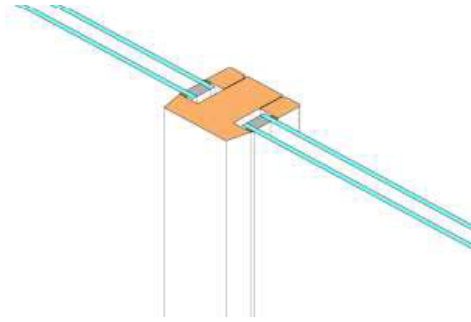
Τα χαρακτηριστικά της διάδοσης του ήχου στην κατασκευή καθορίζονται από τρεις κύριες παραμέτρους: τη μάζα, την ακαμψία και την απόσβεση. Στα αρχιτεκτονικά υαλοπετάσματα, η μάζα και η ακαμψία σχετίζονται με το πάχος του γυαλιού, ενώ η απόσβεση πραγματοποιείται μέσω μονωτικών στοιχείων, όπως το διάκενο στους μονωτικούς υαλοπίνακες, ή μέσω των ενδιάμεσων μεμβρανών (PVB, PMMA, ρητίνη) στην περίπτωση των πολυστρωματικών υαλοπινάκων. Με τη χρήση πολυστρωματικών υαλοπινάκων μικρότερου πάχους και κατάλληλων μεμβρανών είναι δυνατή η βελτίωση της ηχομονωτικής τους απόδοσης λόγω μείωσης της ακαμψίας του υαλοπίνακα και η ταυτόχρονη μείωση των νεκρών φορτίων στην κατασκευή [5, 7].

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, βέλτιστη ηχομονωτική απόδοση επιτυγχάνεται σε μονωτικούς υαλοπίνακες με χρήση υαλοπινάκων διαφορετικού πάχους, βάθος διακένου μεγαλύτερο των 50mm και πλήρωση του διακένου με κάποιο ευγενές αέριο ή με εξαφθοριούχο θείο (SF₆), το οποίο όμως έχει χαρακτηριστεί περιβαλλοντικά ακατάλληλο [5].

Η ηχομονωτική απόδοση ενός υαλοπετάσματος επηρεάζεται, επίσης, από το πλαίσιο στήριξής του. Ο περιμετρικά πλαισιωμένος υαλοπίνακας αποτελεί τον κλασικό τρόπο στήριξης. Η τοποθέτηση υαλοπινάκων με στόκο (Σχήμα 3.5) είναι ο παλαιότερος και απλούστερος τρόπος γραμμικής στήριξης και σε αυτό βασίζονται οι σύγχρονοι τρόποι. Στην τοποθέτηση με πηχάκι (Σχήμα 3.6) ο υαλοπίνακας συγκρατείται με ένα ανεξάρτητο συνδετικό μέσο, το οποίο πρέπει να εξασφαλίζει αεροστεγές σφράγισμα των αρμών, για μην υπάρχουν απώλειες στην ηχομόνωση. Επίσης, προσοχή πρέπει να δίνεται και στο σφράγισμα των αρμών του πλαισίου με την υπόλοιπη κατασκευή (δάπεδο, οροφή, τοίχο). Άλλος τρόπος στήριξης είναι η σημειακή στήριξη (σύστημα spider), όπου για να αποφευχθεί η επαφή μεταξύ γυαλιού και χάλυβα, τοποθετείται πάντα κάποιο θερμοπλαστικό υλικό ή αλουμίνιο 1050 στις οπές.



Σχήμα 3.5 Περιμετρική στήριξη υαλοπίνακα με στόκο.[20]



Σχήμα 3.6 Περιμετρική στήριξη υαλοπίνακα με πηχάκι.[20]

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε την ηχομονωτική ικανότητα σύνθετων διαχωριστικών υαλοπετασμάτων σε χώρους γραφείων. Ο έλεγχος της ηχομονωτικής ικανότητας έγκειται στη σύγκριση της ηχομόνωσης που προκύπτει από τις επιτόπιες μετρήσεις στην κατασκευή και της ηχομόνωσης όπως έχει προκύψει από εργαστηριακές μετρήσεις. Επίσης, πραγματοποιείται πρόβλεψη της ηχομόνωσης των πετασμάτων μέσω των θεωρητικών μοντέλων και σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην κατασκευή και στο εργαστήριο.

Τα ηχητικά κύματα προσπίπτουν σε ένα πέτασμα το οποίο δονείται και επανεκπέμπει ήχο ως μια καινούργια αλλά ασθενέστερη ηχητική πηγή. Η ιδιότητα αυτή του πετάσματος να εμποδίζει τη διάδοση του ήχου λέγεται ηχομόνωση [Παράρτημα 1.7]. Η ηχομόνωση είναι η συνήθης μέθοδος μείωσης της διάδοσης του ήχου για την ηχοπροστασία ενός χώρου.

Σε σχέση με την ηχομόνωση, ο ήχος διακρίνεται σε αερόφερτο, όταν η διάδοση του ήχου επέρχεται μέσω της αλληλεπίδρασης ήχου και αέρα, και σε κτυπογενή, όταν η διάδοση επέρχεται μέσω της αλληλεπίδρασης ήχου και στερεών [Παράρτημα 1.7].

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε τον αερόφερτο ήχο. Η ηχομόνωση από αερόφερτο ήχο χαρακτηρίζεται από το δείκτη ηχομείωσης R , το φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης R' (λαμβάνει υπόψη τις πλευρικές μεταδόσεις στην κατασκευή), καθώς και τους αντίστοιχους σταθμισμένους δείκτες R_w και R_w' , που είναι μονότιμα μεγέθη και επιτρέπουν την εύκολη αξιολόγηση της ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων [Παράρτημα 1.10].

4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Κύριο εργαλείο διερεύνησης της ηχομονωτικής απόδοσης των διαχωριστικών πετασμάτων αποτελούν οι επιτόπιες μετρήσεις σε υλοποιημένα έργα για διαχωριστικά πετάσματα με προσδιορισμένη εργαστηριακή ηχομονωτική απόδοση. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην κατασκευή παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς οι συνθήκες της τελικής κατασκευής οι οποίες οδηγούν σε απόκλιση της απόδοσης από την εργαστηριακή και τη θεωρητική απόδοση δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν και να προσομοιωθούν ακριβώς.

4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΕΙ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Για τον προσδιορισμό της ηχομόνωσης πετασμάτων στην κατασκευή, πρέπει να πραγματοποιηθούν μια σειρά φυσικών ακουστικών μετρήσεων. Ο υπολογισμός της ηχομόνωσης διαχωριστικών πετασμάτων με βάση τις μετρήσεις γίνεται σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 140/4-1978 [Παράρτημα 1.8].

Σκοπός του προτύπου είναι:

- να δώσει τρόπους μέτρησης της ηχομόνωσης μεταξύ δύο δωματίων σε κτίρια έτσι, ώστε να μπορεί να ελέγχεται αν έχουν πραγματοποιηθεί οι επιθυμητές ακουστικές συνθήκες, και
- να δώσει τρόπους επιτόπιων μετρήσεων, ώστε να διαπιστώνεται αν τα κτιριακά στοιχεία ικανοποιούν τις προδιαγραφές και να ελέγχεται αν έχουν γίνει σφάλματα στο στάδιο της κατασκευής.

4.3 ΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ

Με αφετηρία την επιλογή μελέτης δομικών στοιχείων εσωτερικού χώρου ξηράς δόμησης, διαμορφώθηκε τόσο το δείγμα τόσο των πετασμάτων όσο και της επιλογής των χώρων, διατυπώνοντας το ζήτημα της μελέτης διαχωριστικών υαλοπετασμάτων εσωτερικού χώρου σε κτίρια γραφείων. Το δείγμα της μελέτης είναι μικρό για να τεκμηριώσει το ζήτημα της ηχομονωτικής απόδοσης αυτού του τύπου πετασμάτων, αλλά ικανό να δείξει τις τάσεις.

Η τοποθέτηση υαλοπετασμάτων σε εσωτερικούς χώρους αποτελεί συχνή επιλογή για το σχεδιασμό χώρου γραφείων στις σύγχρονες κατασκευές, καθώς απαντά σε διάφορες ανάγκες, όπως καλύτερες συνθήκες φωτισμού, οπτική άνεση λόγω διεύρυνσης του χώρου πέρα από τα φυσικά καθορισμένα όρια και διαφάνεια της διαδικασίας της εργασίας. Ωστόσο, στο σχεδιασμό και την κατασκευή κλειστών χώρων γραφείων η εξασφάλιση της ιδιωτικότητας της ομιλίας αποτελεί σημαντική παράμετρο. Επομένως, είναι απαραίτητη η επίτευξη επαρκούς επιπέδου ηχομόνωσης σε τοίχους και οροφές, όπως επίσης και ο έλεγχος των διαδρομών πλευρικής ηχομετάδοσης.

Συγκεκριμένα, μετρήσεις πραγματοποιούνται σε τρεις διαφορετικούς τύπους σύνθετων υαλοπετασμάτων:

Τύπος Α : Triplex υαλοπίνακας με πλαίσιο στήριξης αλουμινίου,

Τύπος Β : Μονωτικός διπλός υαλοπίνακας (ένας υαλοπίνακας triplex 5+5mm και ένας απλός 5mm, κενό: 12mm) με πλαίσιο στήριξης αλουμινίου και,

Τύπος Γ : Μονωτικός διπλός υαλοπίνακας (δυο υαλοπίνακες triplex 6+6mm, κενό:76mm) με πλαίσιο στήριξης αλουμινίου.

Η μελέτη των συγκεκριμένων τύπων πετασμάτων οφείλεται στη διαθεσιμότητα και τη δυνατότητα πρόσβασης των χώρων για την υλοποίηση μετρήσεων και την ύπαρξη συνοχής ως προς τη χρήση και τις απαιτήσεις του χώρου. Σημαντική παράμετρος είναι το έτος κατασκευής ώστε να απαλειφθεί η παράμετρος της μειωμένης απόδοσης που οφείλεται σε φθορά των υλικών λόγω της επίδρασης του χρόνου.

4.5 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση ηχομονώσεων μεταξύ δωματίων και για τη σύγκριση της πραγματικής ηχομόνωσης με τις προδιαγραφμένες απαιτήσεις.

Για τον προσδιορισμό των ηχομονωτικών ιδιοτήτων κτιριακών στοιχείων στην κατασκευή, χρησιμοποιείται ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R' [Παράρτημα 1.9].

4.6 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΘΟΡΥΒΟΥ (Noise Criteria-NC)

Μετά τον υπολογισμό της ηχομόνωσης που παρέχει το κάθε διαχωριστικό πέτασμα και την επιτόπια μέτρηση θορύβου βάθους στο δωμάτιο εκπομπής σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του χώρου, προσδιορίζεται η στάθμη θορύβου βάθους για κάθε δωμάτιο λήψης σε τιμή NC [Παράρτημα 1.6].

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΓΡΑΦΕΙΑ

Οι τιμές NC κυμαίνονται μεταξύ 15-55. Η επιλογή της κατάλληλης καμπύλης NC εξαρτάται από τη χρήση του γραφείου, για παράδειγμα ενδείκνυνται επίπεδα θορύβου βάθους NC20 για γραφεία προϊσταμένων έως NC45 για γραφεία όπου υπάρχουν δακτυλογράφοι και άλλος εξοπλισμός [9]. Για ορισμένα είδη γραφείων υψηλότερα επίπεδα θα ήταν αποδεκτά, σε περιπτώσεις που η ομιλία δεν είναι σημαντική.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον υπολογισμό της ηχομόνωσης σε τρία κτίρια, για τρεις διαφορετικούς τύπους σύνθετων υαλοπετασμάτων. Για τους δύο τύπους υαλοπετασμάτων υπήρχε η δυνατότητα ξεχωριστής μέτρησης της πόρτας σε διαφορετικό σημείο της κατασκευής.

Κάθε υαλοπέτασμα αποτελεί μόνιμο κατακόρυφο διαχωριστικό στοιχείο εσωτερικού χώρου, το οποίο απομονώνει τον ιδιωτικό χώρο ενός γραφείου ως προς ένα κοινόχρηστο χώρο (διάδρομο ή χώρο γραφείων open space). Και στις τρεις περιπτώσεις, η πηγή θορύβου τοποθετείται στον κοινόχρηστο χώρο, ο οποίος αποτελεί το δωμάτιο εκπομπής και ο ιδιωτικός χώρος του κλειστού γραφείου αποτελεί το δωμάτιο λήψης.

Στο δωμάτιο λήψης γίνονται μετρήσεις ηχοστάθμης σε τρεις θέσεις και στο δωμάτιο εκπομπής σε δύο θέσεις. Στο δωμάτιο λήψης, στις ίδιες θέσεις, μετράται ο θόρυβος βάθους, και με την τοποθέτηση του μεγαφώνου στο δωμάτιο λήψης μετράται ο χρόνος αντήχησης.

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μη εργάσιμες ώρες, με απενεργοποιημένα τα μηχανολογικά συστήματα.

5.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Οι μετρήσεις στην κατασκευή πραγματοποιήθηκαν με τον εξής εξοπλισμό:

- Ηχόμετρο Hand-held Analyzer Type 2270 - Brüel & Kjær με μικρόφωνο 4189. Το ηχόμετρο διαθέτει το λογισμικό για την παραγωγή του ηχητικού σήματος, τη λήψη και την ανάλυσή του, καθώς επίσης και λογισμικό υπολογισμού του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης.
- Ενισχυτής LAB.GRUPPEN 2716 - Brüel & Kjær. Ο ενισχυτής συνδέεται με το ηχόμετρο για ενίσχυση του σήματος που παράγει.
- Πολύεδρο μεγάφωνο Omni Power 4296 - Brüel & Kjær. Το μεγάφωνο συνδέεται με τον ενισχυτή και αναπαράγει το ενισχυμένο ηχητικό σήμα που στέλνει το ηχόμετρο.

5.3 ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ COSMOTE

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ: ΚΟΚΚΙΝΟΥ + ΚΟΥΡΚΟΥΛΑΣ ARCHITECTS

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ: 2012

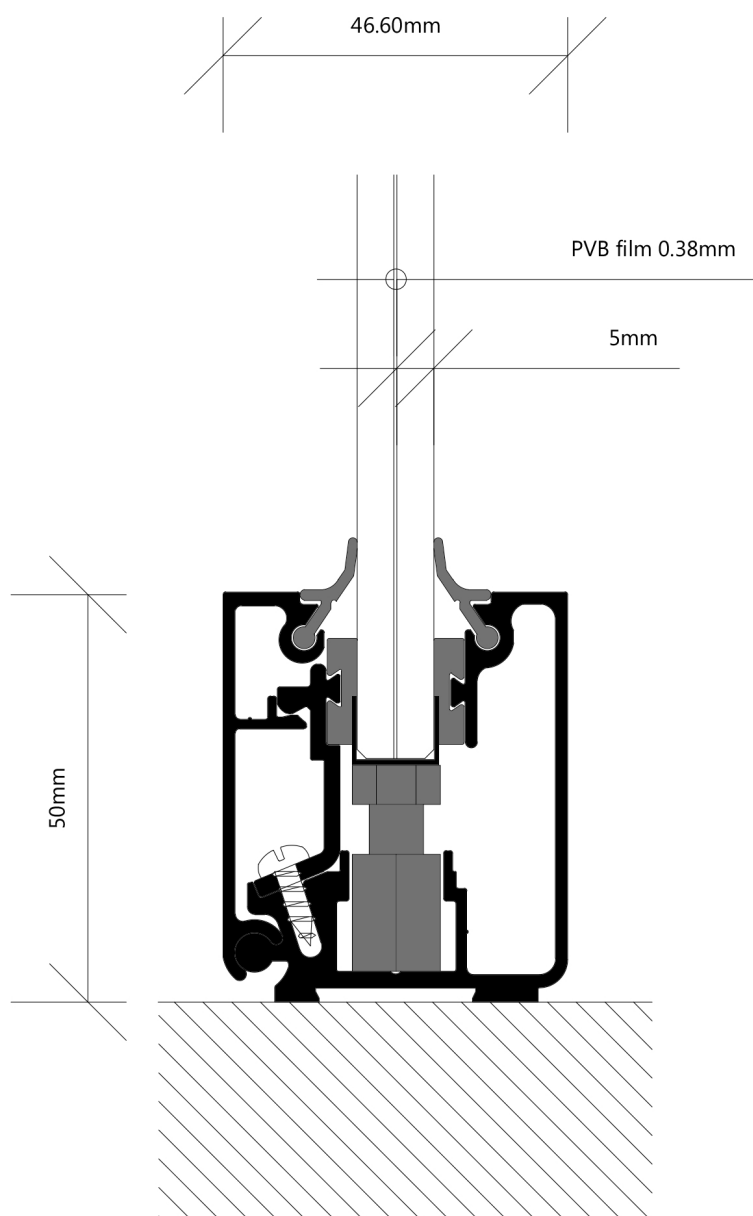
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: ΠΑΙΑΝΙΑ, ΑΤΤΙΚΗ

5.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Τύπος Α

ΣΥΝΘΕΤΟ ΜΟΝΟ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ, ΣΥΣΤΗΜΑ VELOX

Υαλοπίνακας: Triplex υαλοπίνακας 5mm+5mm ,με ενδιάμεση μεμβράνη PVB 0.38mm.

Πλαίσιο στήριξης: Κούφωμα αλουμινίου Velox.



Ο σκελετός του συστήματος είναι από αλουμίνιο με συνολικό πάχος 46.6 mm. Αποτελείται από ένα εξωτερικό προφίλ ύψους 50mm και ένα δευτερεύον εσωτερικό προφίλ, το οποίο επιτρέπει τη ρύθμιση της θέσης του υαλοπίνακα (+- 15mm καθ'ύψος) και βιδώνεται με το εξωτερικό προφίλ.

Οι υαλοπίνακες είναι αυτοφερόμενοι, από γυαλί ασφαλείας, πολυστρωματικό, με μεμβράνη PVB πάχους 0.38mm. Οι κατακόρυφοι αρμοί μεταξύ των υαλοπινάκων είναι από πολυκαρβονικό προφίλ.

Πόρτα

Οι πόρτες είναι από υαλοπίνακα πάχους 10mm, χωρίς περιμετρικό πλαίσιο στήριξης. Η στήριξή τους γίνεται με μεντεσέδες στην κάσα του πετάσματος και οι περιμετρικοί αρμοί σφραγίζονται κατά το κλείσιμο με ελαστικό παρέμβυσμα, το οποίο βρίσκεται στο πλαίσιο του πετάσματος. Μεταξύ πόρτας και δαπέδου υπάρχει αρμός (<1cm).

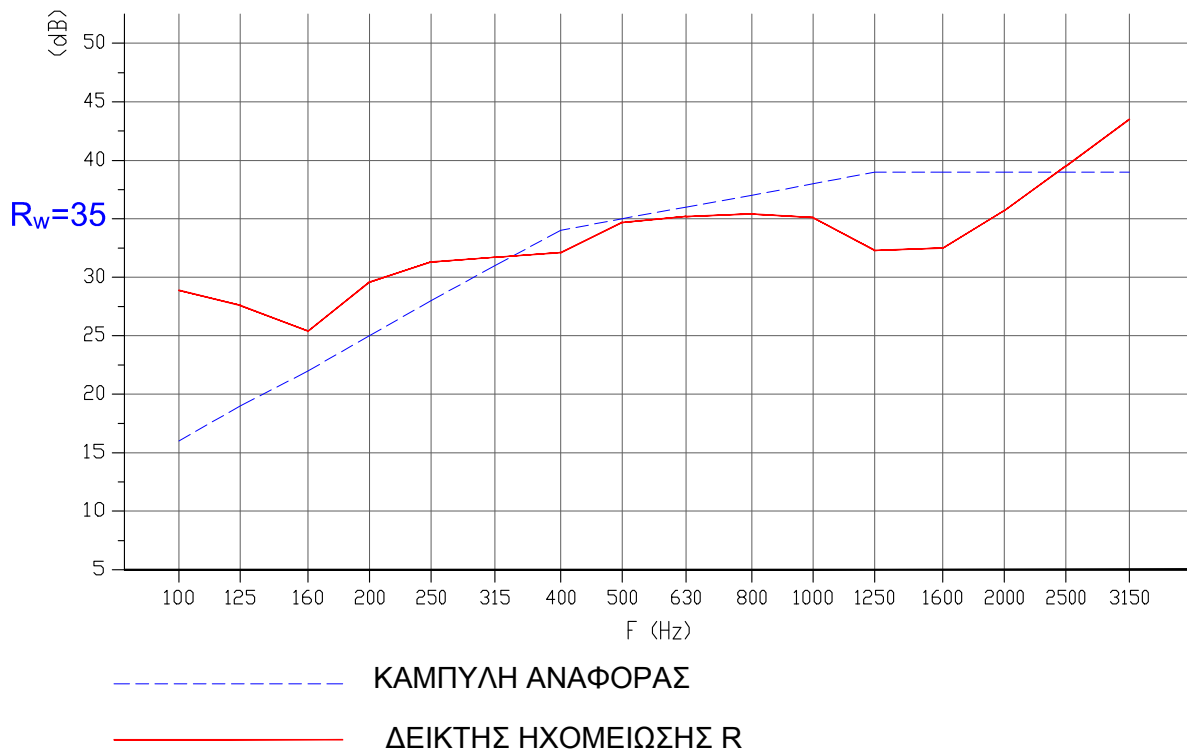
Σχήμα 5.3.1 Τομή υαλοπετάσματος τύπου Α.

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1

5.3.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

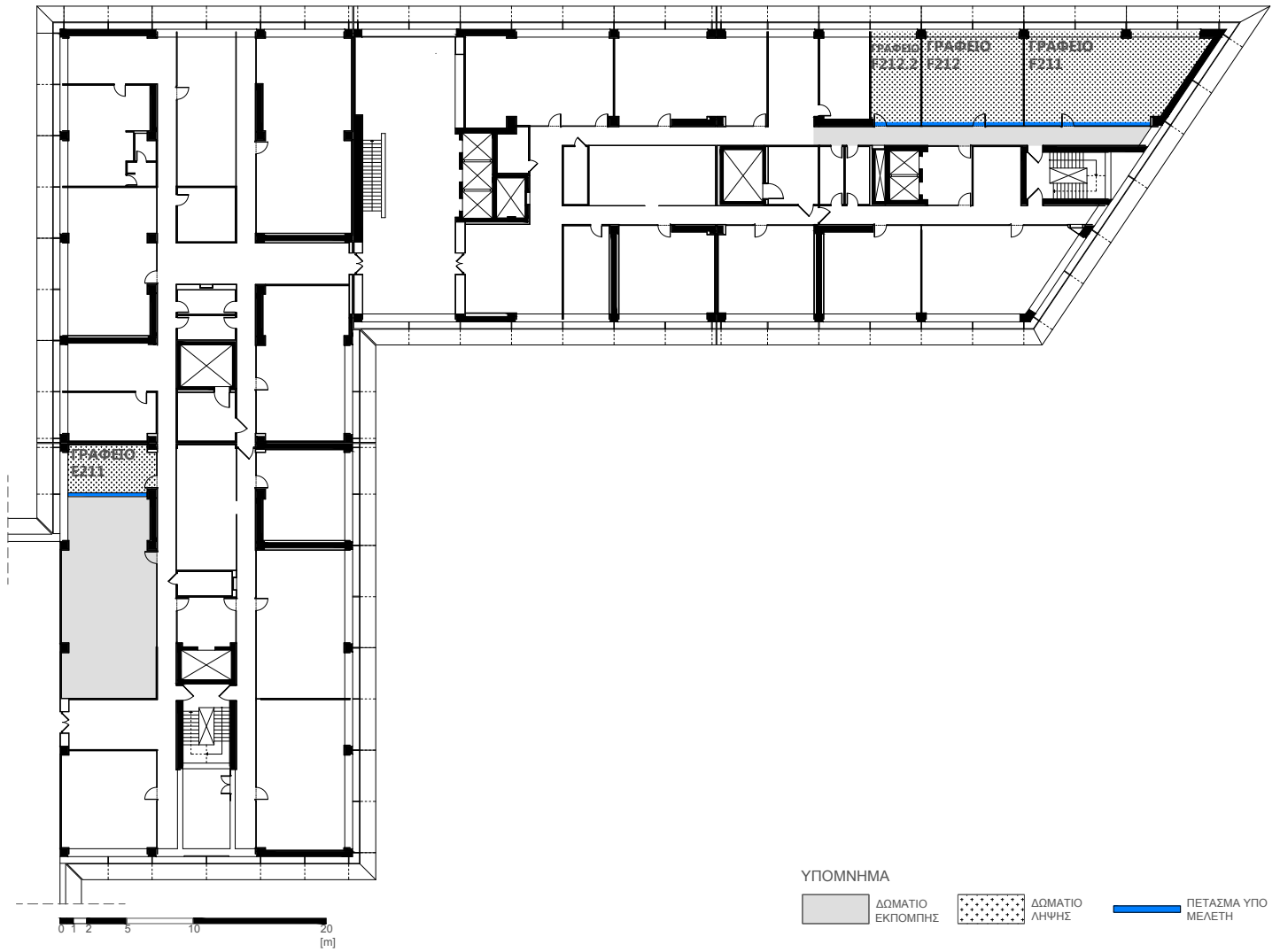
[Παράρτημα 8.1]

Πίνακας 5.3.1 Δείκτης ηχομείωσης υαλοπετάσματος τύπου A .	
F	R
-Hz-	-dB-
100	28,9
125	27,6
160	25,4
200	29,6
250	31,3
315	31,7
400	32,1
500	34,7
630	35,2
800	35,4
1000	35,1
1250	32,3
1600	32,5
2000	35,7
2500	39,5
3150	43,5



Σχήμα 5.3.2 Μετρήσεις του δείκτη ηχομείωσης R, σύστημα τύπου A.
Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης $R_w=35dB$.

5.3.3 ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ



Σχήμα 5.3.3 Τμηματική κάτοψη 2^{ου} ορόφου, κτίριο γραφείων Cosmote, πτέρυγα F,Ε. (κλίμακα 1:500).



Εικόνα 5.3.1- Άποψη υαλοπετάσματος F212.2 - γραφείο F212.2.

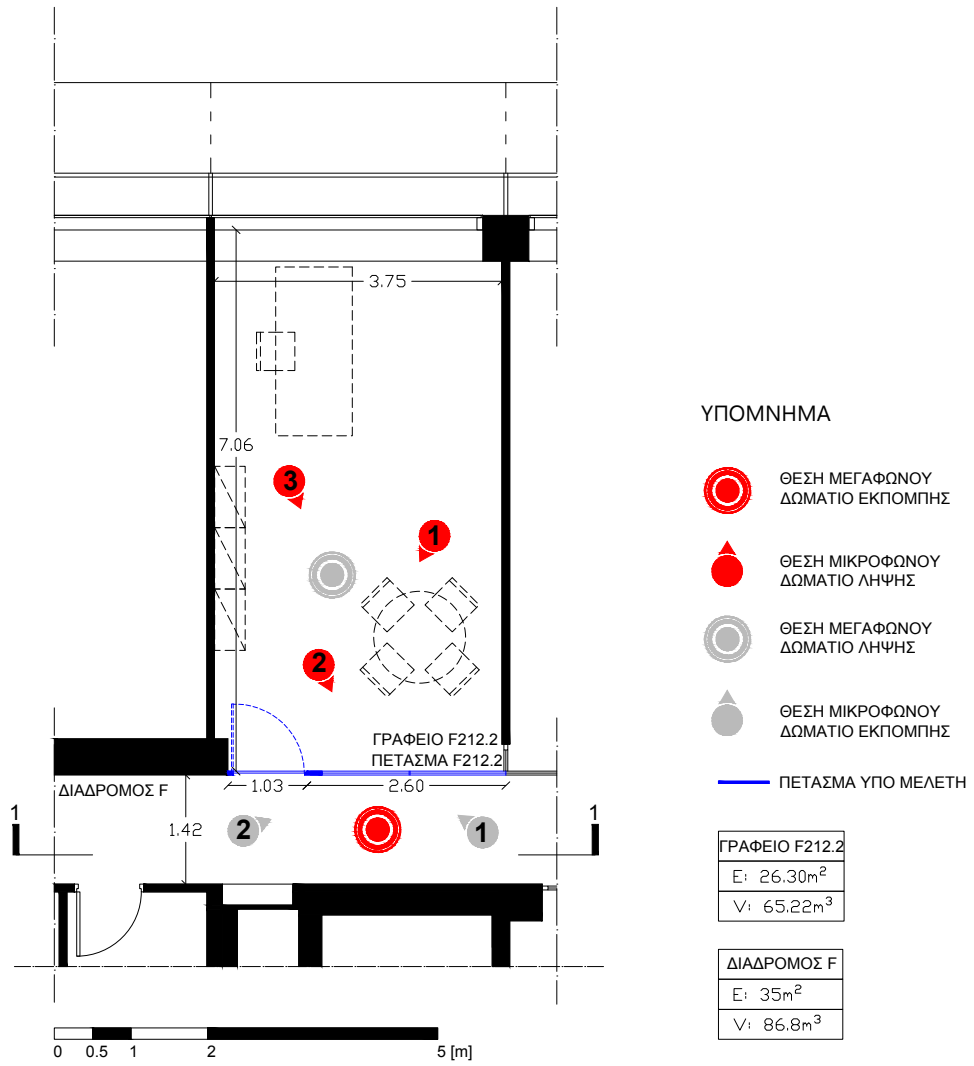


Εικόνα 5.3.2- Γενική άποψη διαδρόμου F.



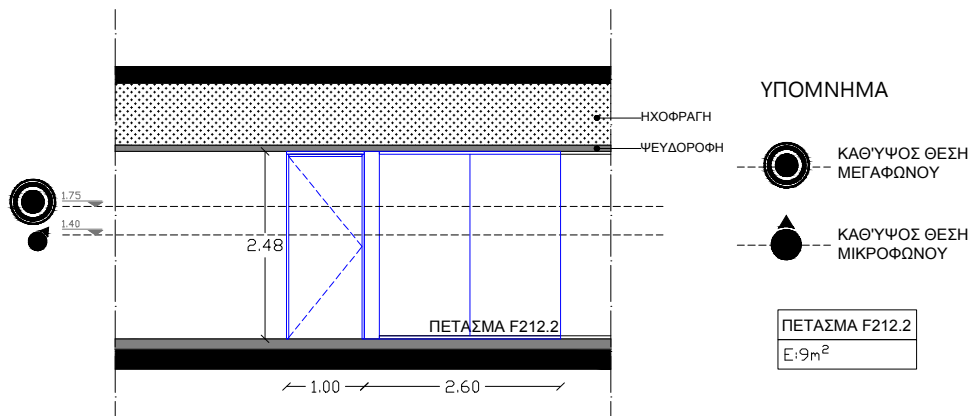
Εικόνα 5.3.3- Λεπτομέρεια κατακόρυφου αρμού υαλοπετάσματος τύπου Α.

5.3.4 ΠΕΤΑΣΜΑ F212.2 - ΓΡΑΦΕΙΟ F212.2



Σχήμα 5.3.4 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ F212.2, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.

Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.

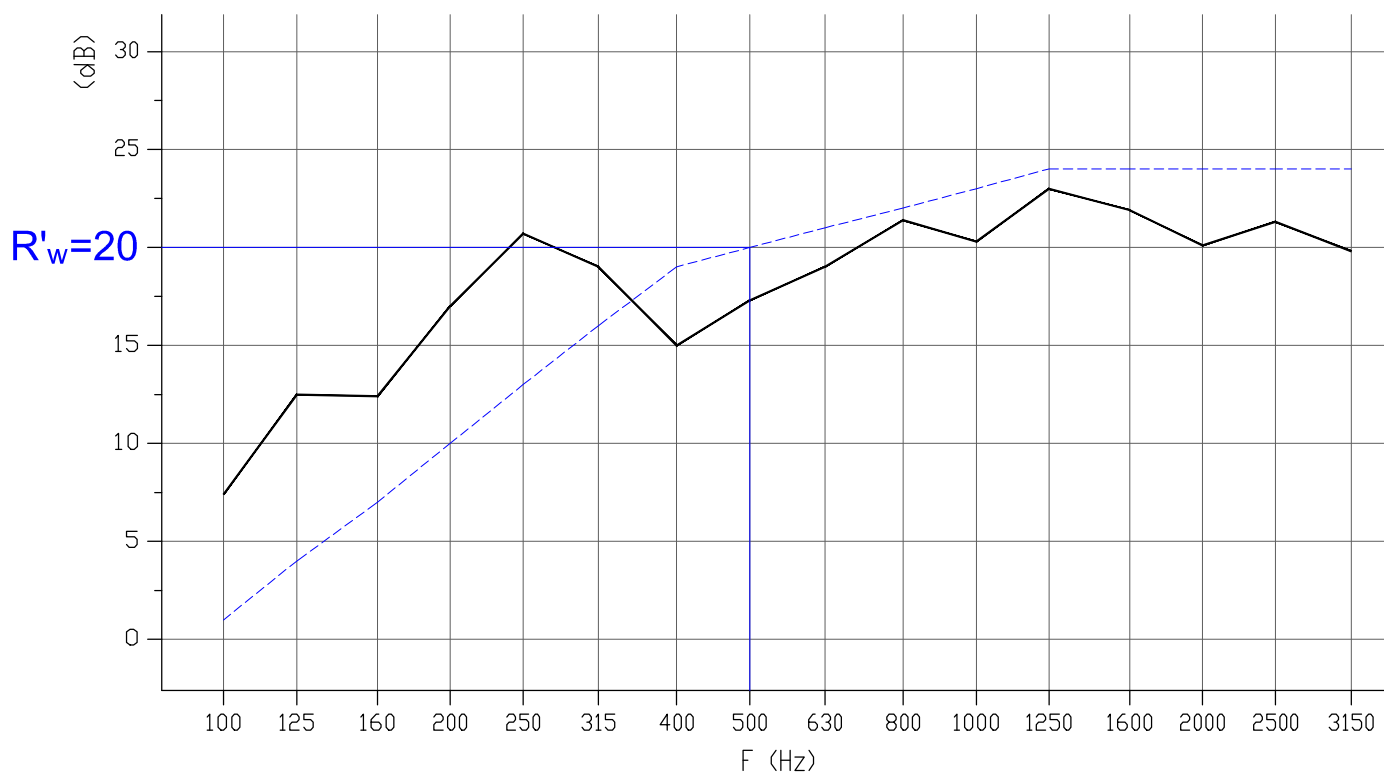


Σχήμα 5.3.5 ΤΟΜΗ 1-1, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.

Όψη πετάσματος F212.2. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.3.2 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης πετάσματος F212.2 .

F -Hz-	R' -dB-
100	7,4
125	12,5
160	12,4
200	17
250	20,7
315	19
400	15
500	17,3
630	19
800	21,4
1000	20,3
1250	23
1600	21,9
2000	20,1
2500	21,3
3150	19,8



----- ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

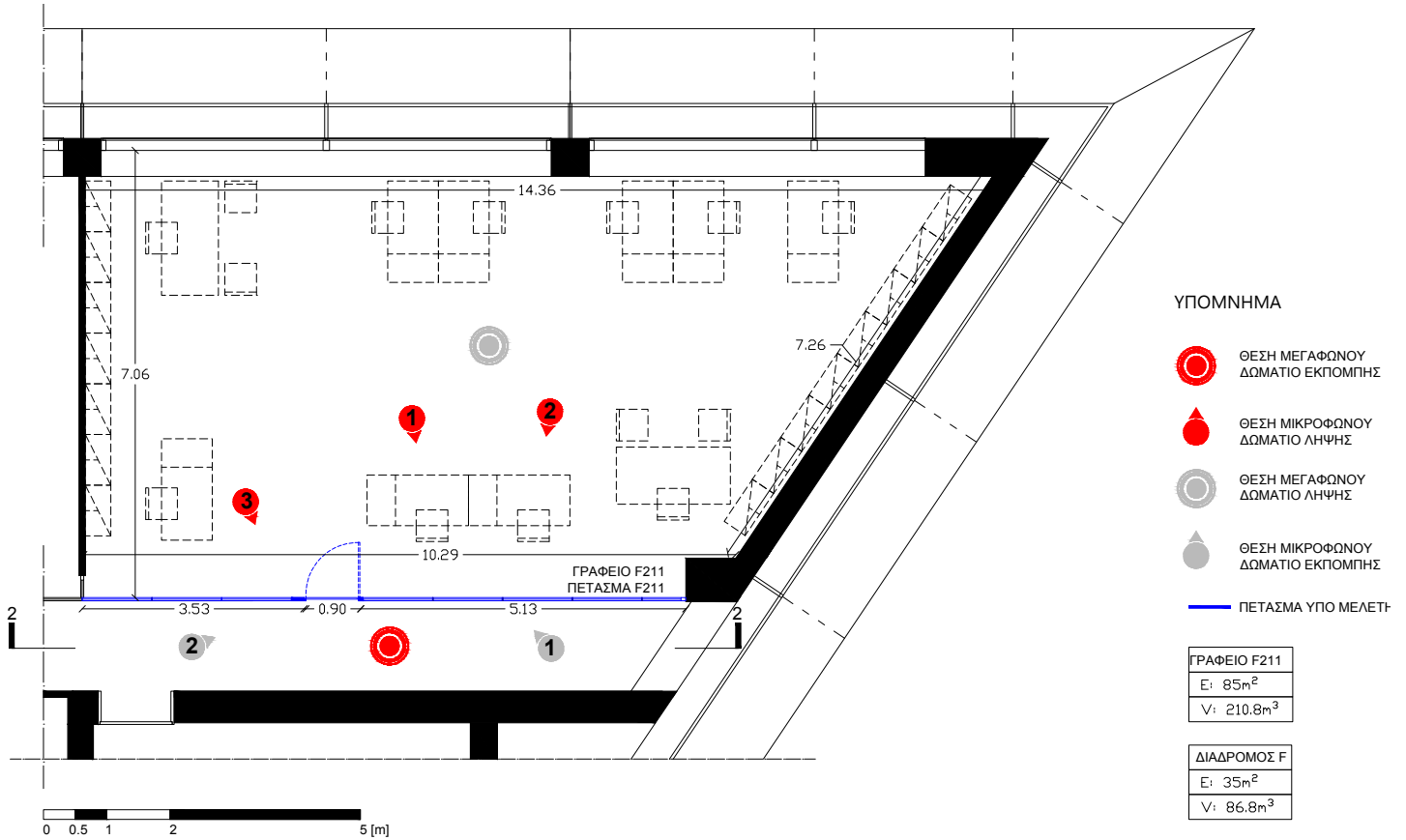
———— ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R'

ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ: 26dB

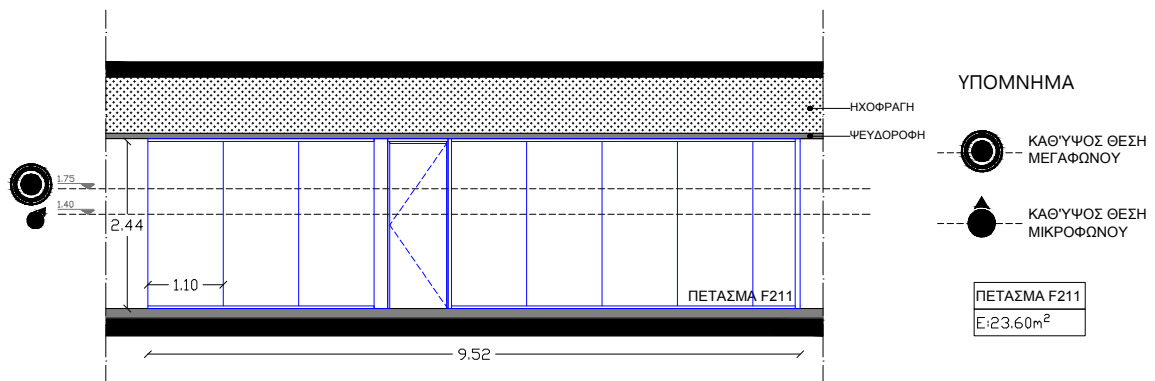
Σχήμα 5.3.6 Μετρήσεις του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ F212.2.

Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'w=20dB.

5.3.5 ΠΕΤΑΣΜΑ F211 - ΓΡΑΦΕΙΟ F211

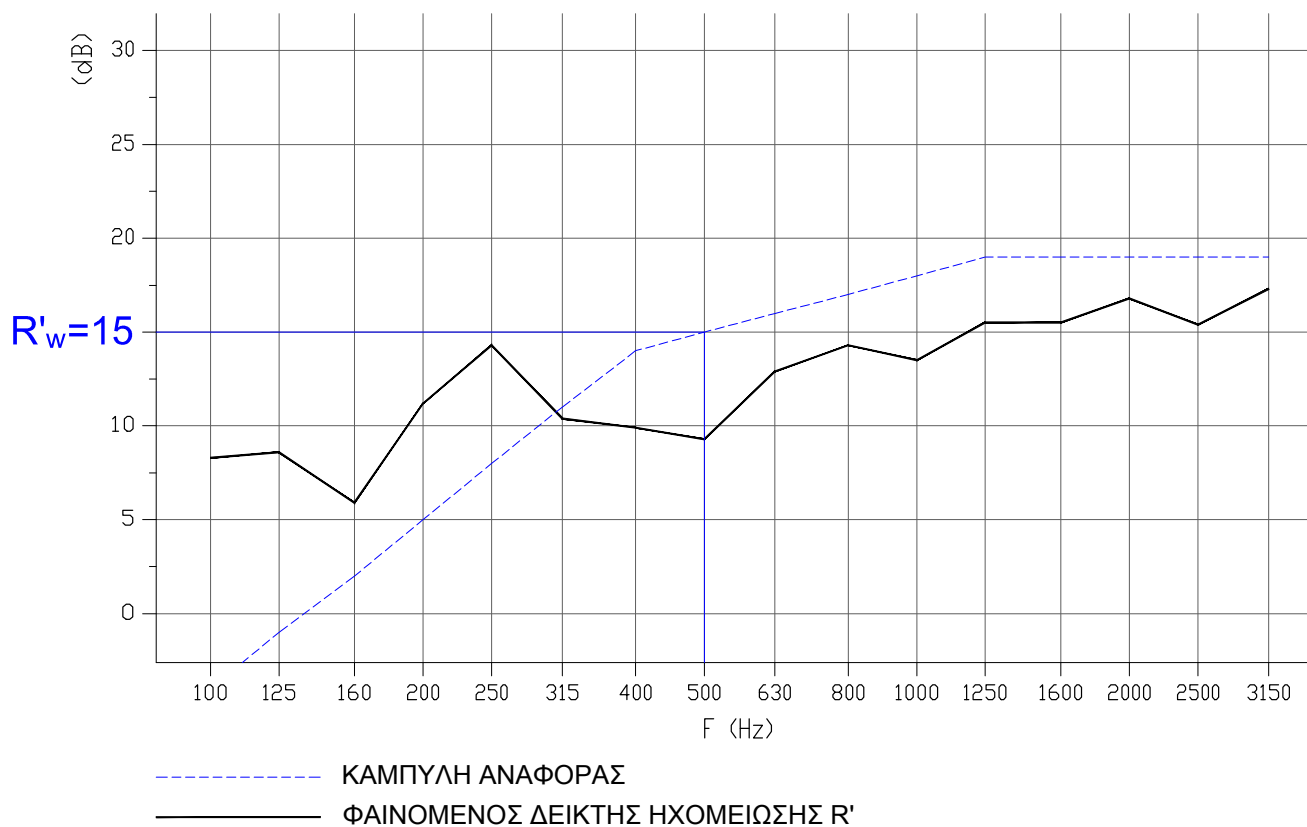


Σχήμα 5.3.7 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ F211, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



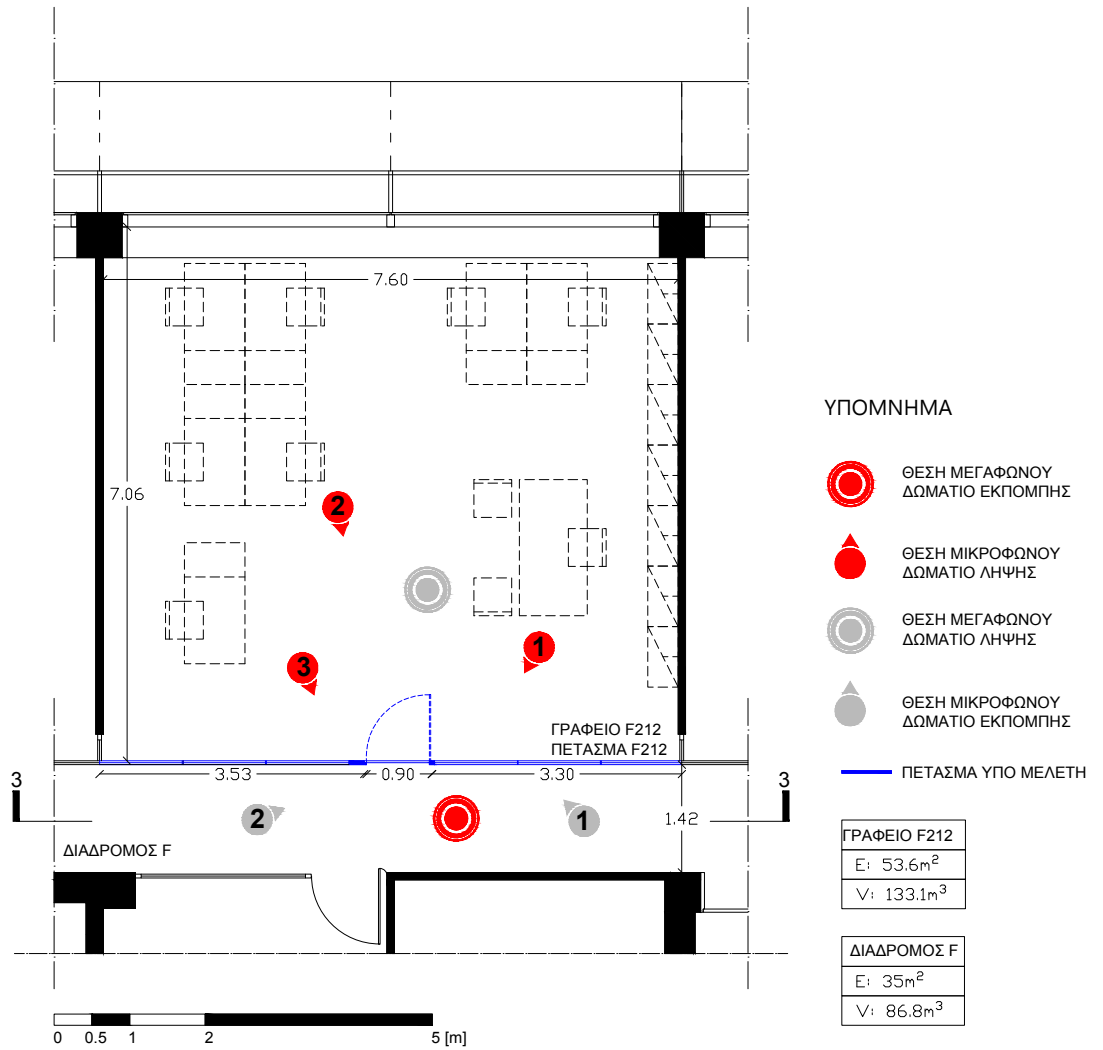
Σχήμα 5.3.8 ΤΟΜΗ 2-2, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Ύψη πετάσματος F211. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.3.3 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης πετάσματος F211 .	
F -Hz-	R' -dB-
100	8,3
125	8,6
160	5,9
200	11,2
250	14,3
315	10,4
400	9,9
500	9,3
630	12,9
800	14,3
1000	13,5
1250	15,5
1600	15,5
2000	16,8
2500	15,4
3150	17,3

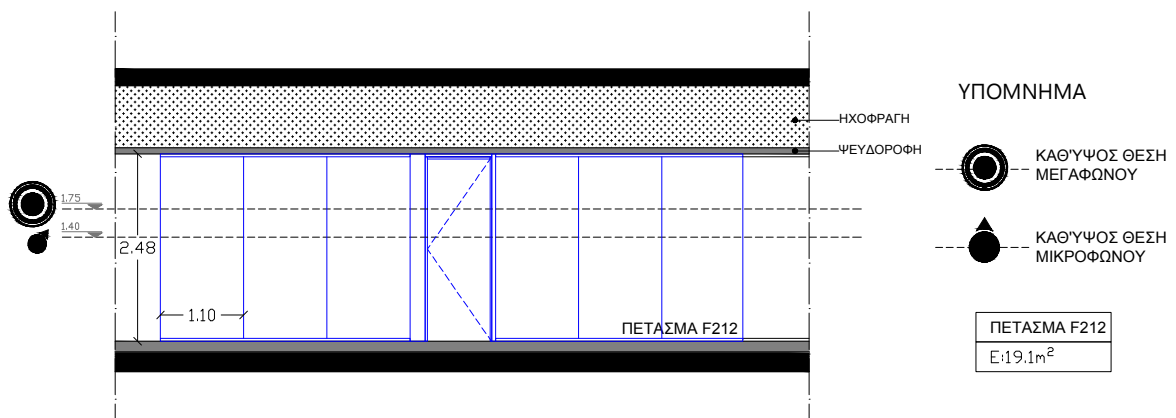


Σχήμα 5.3.9 Μετρήσεις του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ F211.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R'_w=15dB$.

5.3.6 ΠΕΤΑΣΜΑ F212 - ΓΡΑΦΕΙΟ F212

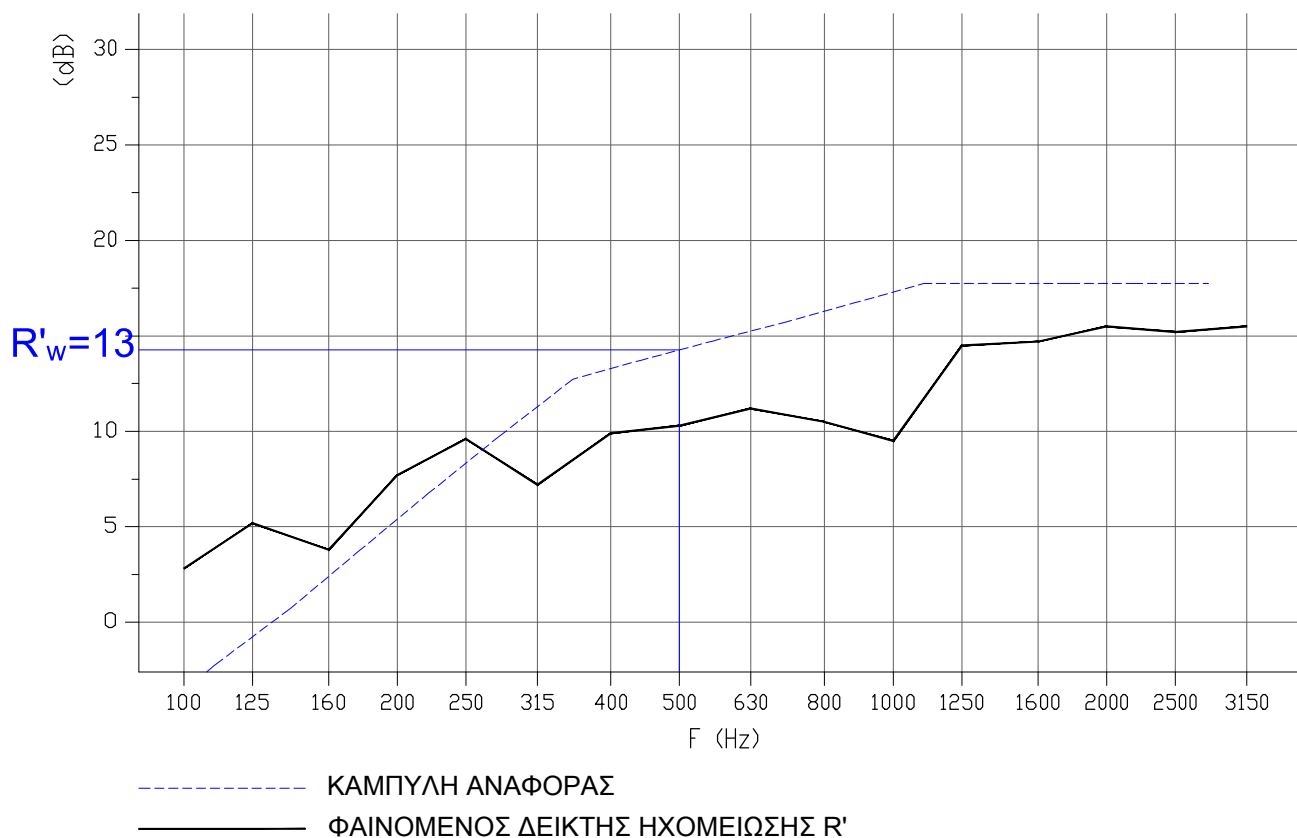


Σχήμα 5.3.10 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ F212, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



Σχήμα 5.3.11 ΤΟΜΗ 3-3, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος F212. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

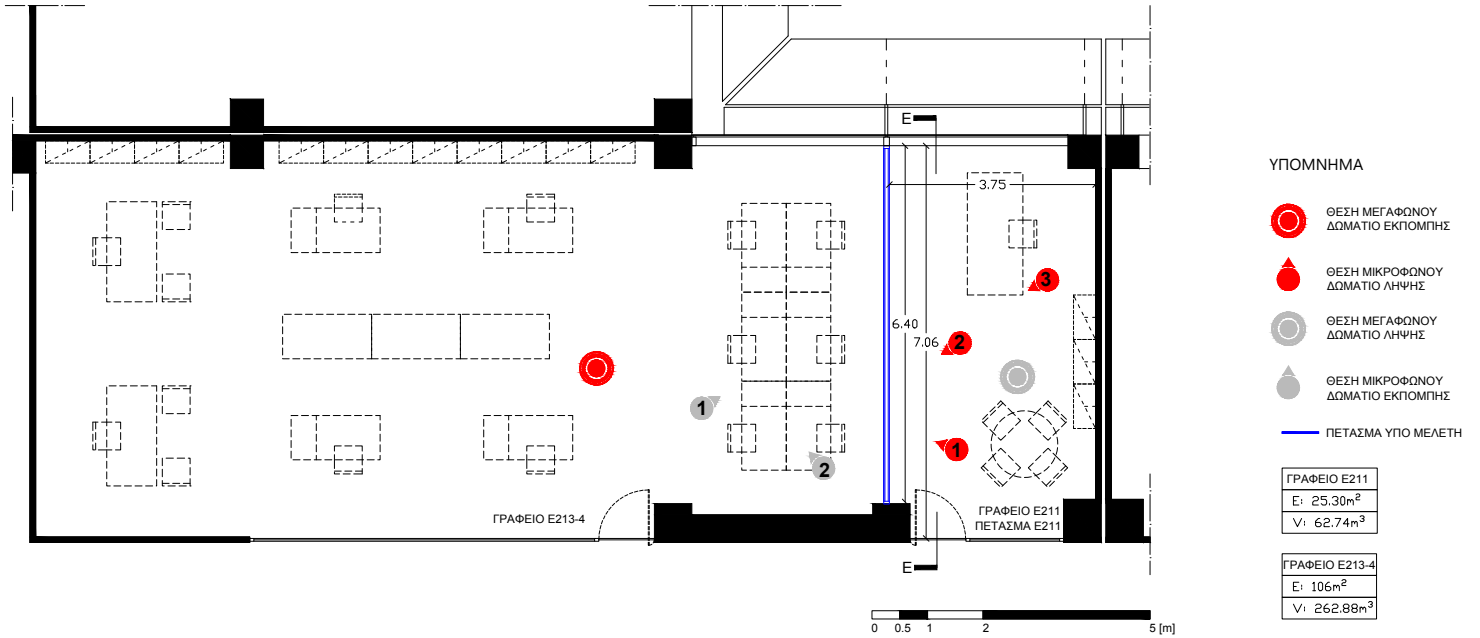
Πίνακας 5.3.4 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης πετάσματος F212 .	
F -Hz-	R' -dB-
100	2,8
125	5,2
160	3,8
200	7,7
250	9,6
315	7,2
400	9,9
500	10,3
630	11,2
800	10,5
1000	9,5
1250	14,5
1600	14,7
2000	15,5
2500	15,2
3150	15,5



Σχήμα 5.3.12 Μετρήσεις του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ F212.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'w=13dB.

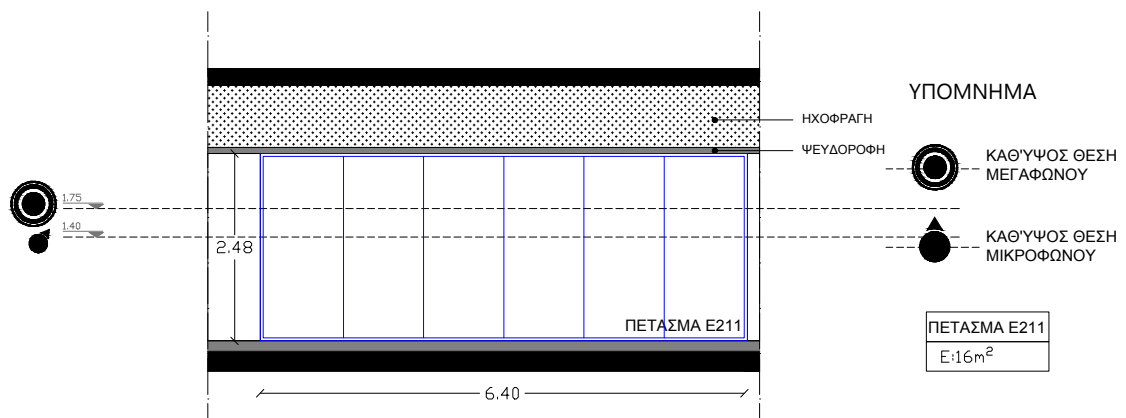
5.3.7 ΠΕΤΑΣΜΑ E211 - ΓΡΑΦΕΙΟ E211

Το πέτασμα E211 είναι απλό υαλοπέτασμα τύπου Γ, το οποίο περιγράφεται στην παράγραφο 5.5.1 (σελ. 36).



Σχήμα 5.3.13 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ E211, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.

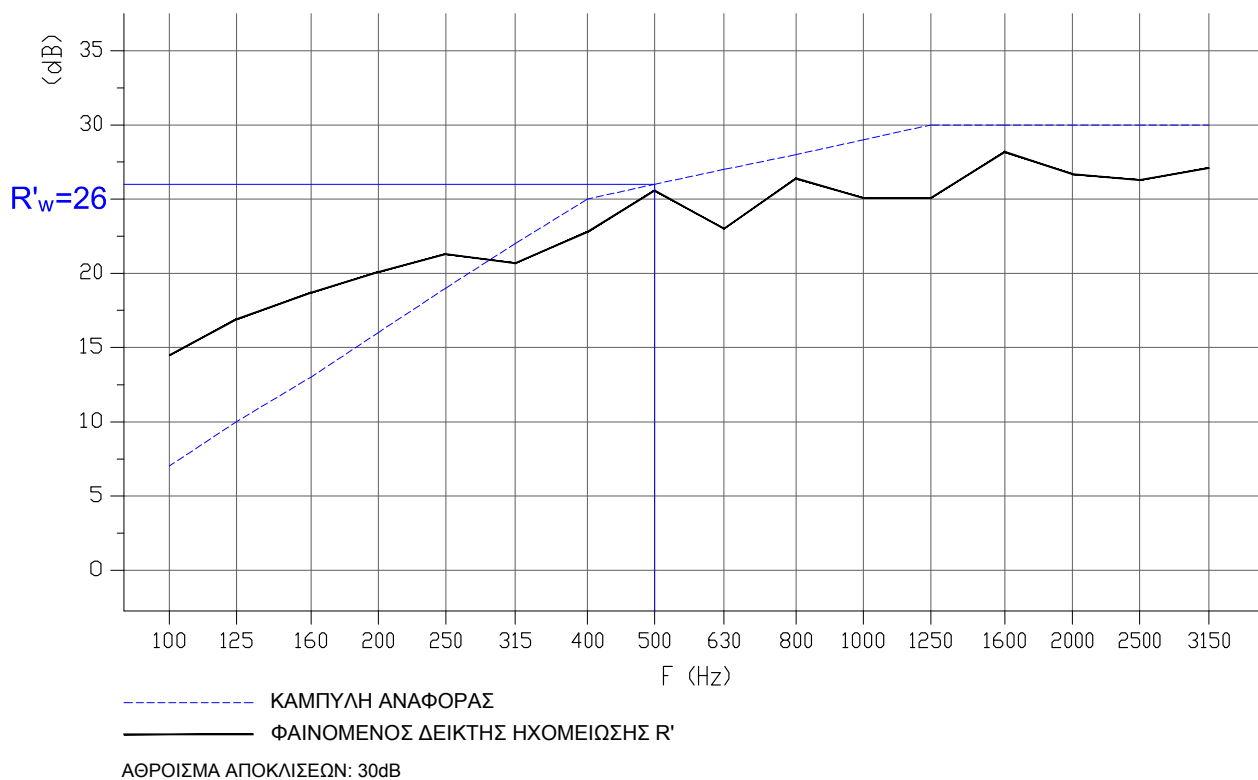
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



Σχήμα 5.3.14 ΤΟΜΗ Ε-Ε ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.

Όψη πετάσματος E211. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.3.5 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης πετάσματος E211 .	
F	R'
-Hz-	-dB-
100	14,5
125	16,9
160	18,7
200	20,1
250	21,3
315	20,7
400	22,8
500	25,6
630	23
800	26,4
1000	25,1
1250	25,1
1600	28,2
2000	26,7
2500	26,3
3150	27,1



Σχήμα 5.3.15 Μετρήσεις του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ E211.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'w=26dB.

5.4 ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ BMS UNITED BUNKERS

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ: R.C.TECH

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ: 2015

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: ΠΕΙΡΑΙΑΣ

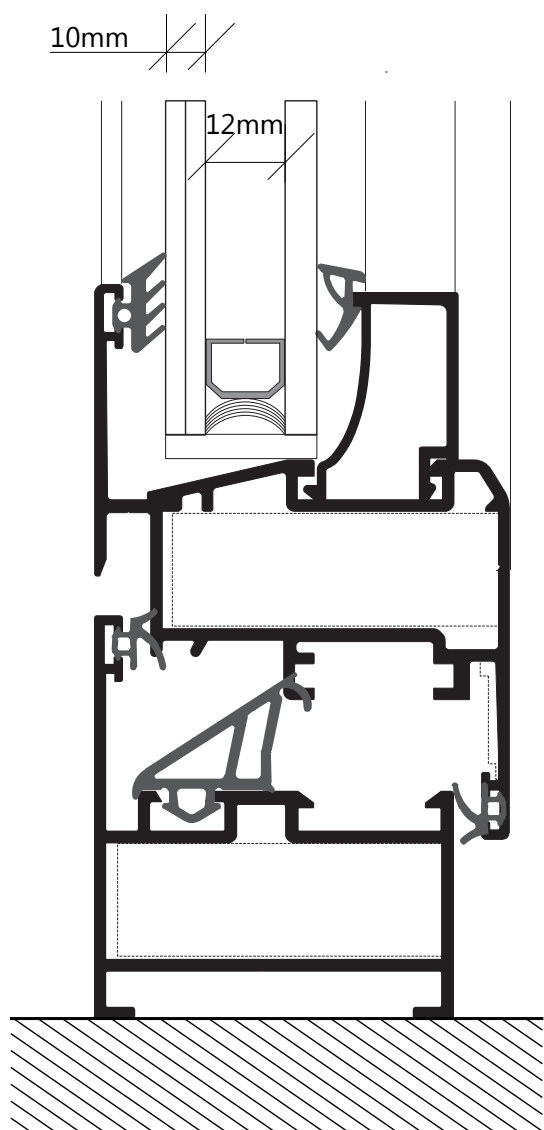
5.4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Τύπος Β

ΣΥΝΘΕΤΟ ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΔΙΠΛΟ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ (ιδιοκατασκευή)

Υαλοπίνακες: Triplex υαλοπίνακας 5mm+5mm (interlayer PVB), κενό 12mm, απλός υαλοπίνακας 5mm,

Κατασκευαστής: AGC Glass Europe.

Πλαίσιο στήριξης: Κούφωμα αλουμινίου της εταιρείας Alumil, σειρά M9400 softline plus, τύπος M9300.



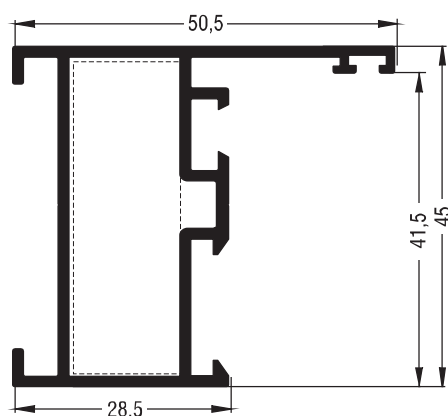
Σχήμα 5.4.1 Τομή υαλοπετάσματος τύπου Β.

Ο σκελετός του συστήματος είναι από αλουμίνιο με συνολικό πάχος 45 mm.

Οι υαλοπίνακες είναι ασύμμετροι: ένας πολυστρωματικός υαλοπίνακας 5+5mm με ενδιάμεση μεμβράνη PVB και ένας απλός υαλοπίνακας 5mm και ενδιάμεσο κενό με ξηρό αέρα, βάθους 12mm.

Πόρτα

Οι πόρτες έχουν το ίδιο σύστημα υαλοπινάκων, και διαθέτουν ειδικό πλαίσιο κάσας (Σχήμα 5.4.1.α) για να πραγματοποιηθεί αλληλεπικάλυψη των περιμετρικών αρμών. Για αεροστεγές σφράγισμα, η κάσα της πόρτας, στην περίμετρο και προς το δάπεδο, διαθέτει παρεμβύσματα με τη μορφή βούρτσας.

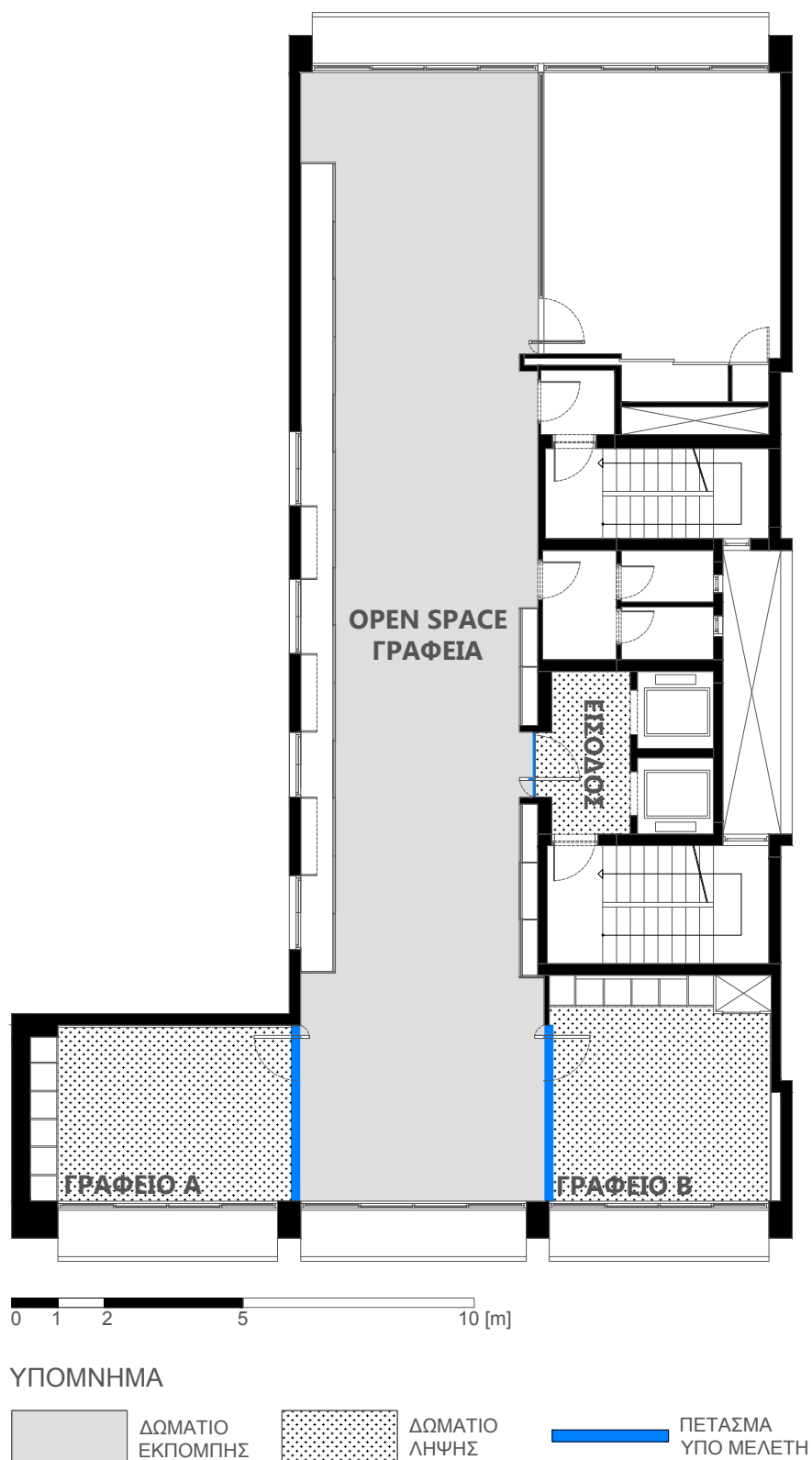


Σχήμα 5.4.1α Διατομή πλαισίου αλουμινίου πόρτας υαλοπετάσματος τύπου Β.

5.4.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ [Παράρτημα 8.2]

Η πιστοποιημένη τιμή σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης R_w για τον υαλοπίνακα triplex της εταιρείας AGC Glass Europe, βάσει του προτύπου EN14449:2005+AC:2005, είναι $R_w=37$ dB, με απόκλιση (0, -2).

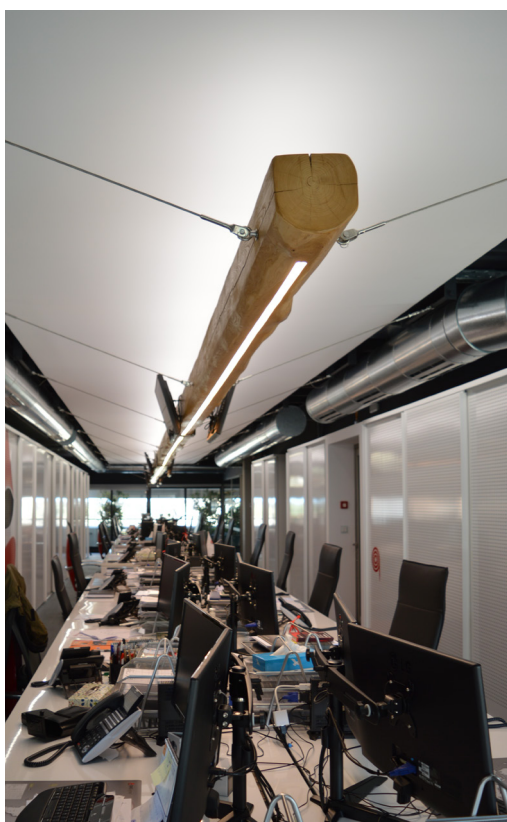
5.4.3 ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ



Σχήμα 5.4.2 Κάτοψη 6^{ου} ορόφου, κτίριο γραφείων BMS (κλίμακα 1:150).



Εικόνα 5.4.1- Άποψη υαλοπετάσματος Α - γραφείο Α- από τον κεντρικό χώρο open space.

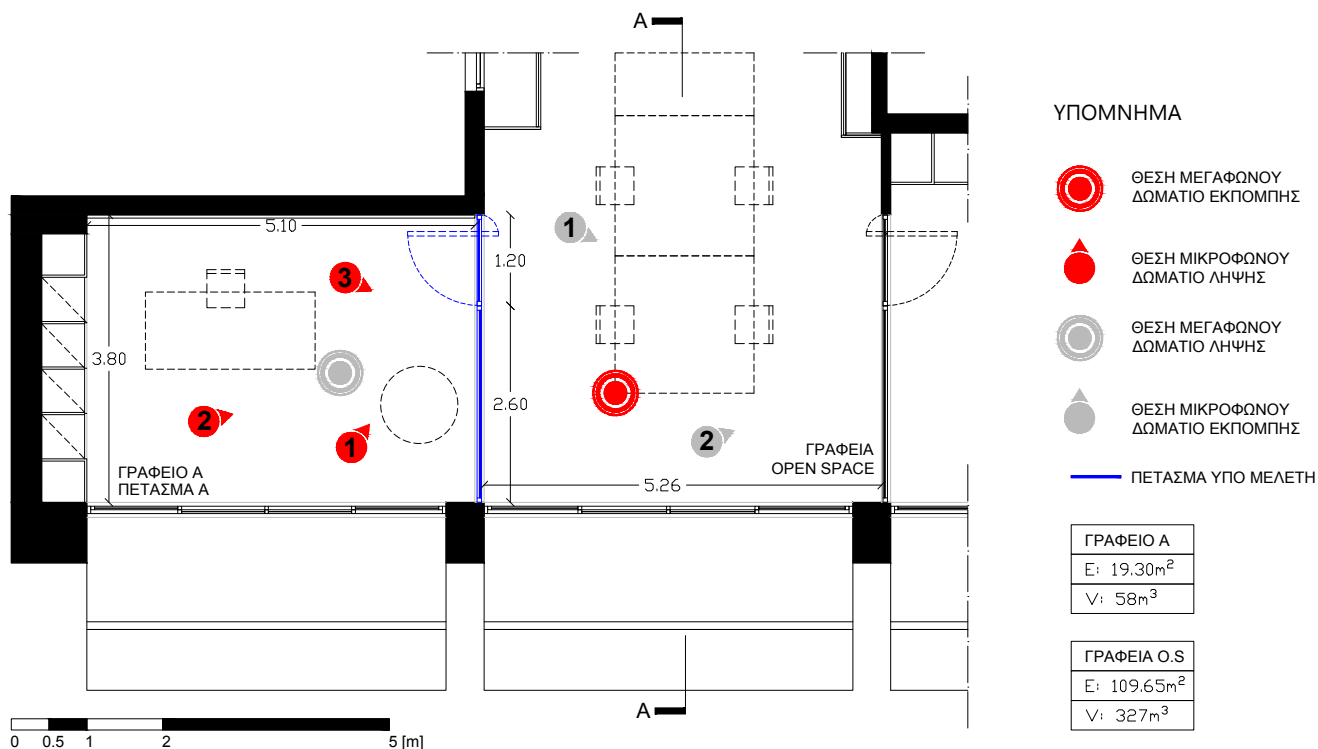


Εικόνα 5.4.2- Γενική άποψη χώρου γραφείων open space.

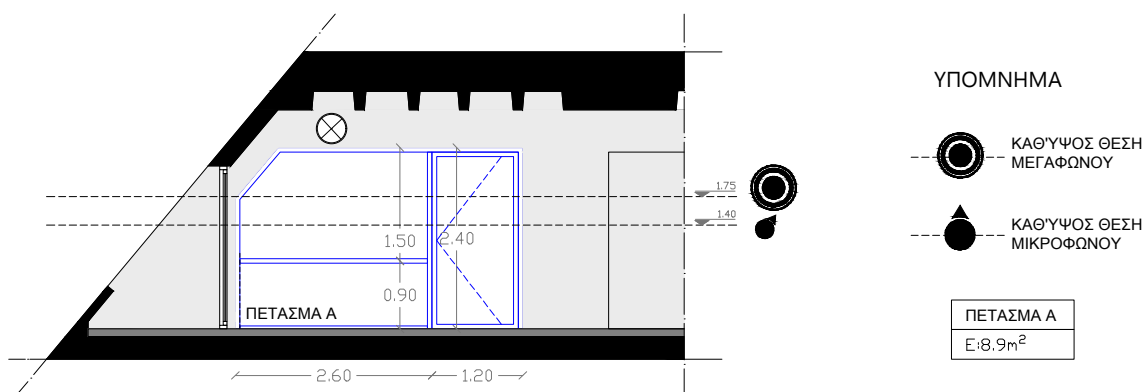


Εικόνα 5.4.3- Λεπτομέρεια υαλοπετάσματος Β - γραφείο Β.

5.4.4 ΠΕΤΑΣΜΑ Α - ΓΡΑΦΕΙΟ Α

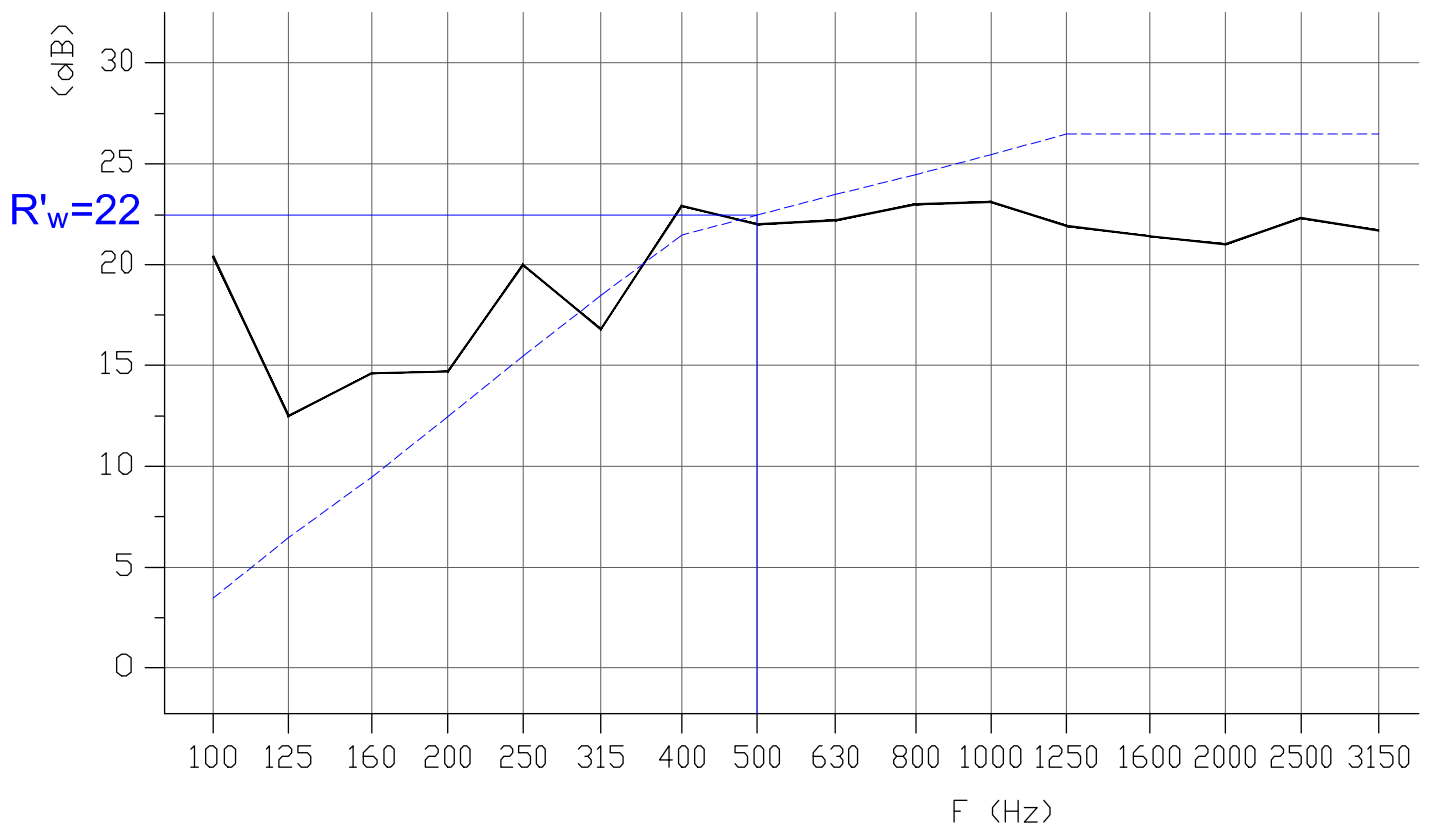


Σχήμα 5.4.3 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟ Α, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



Σχήμα 5.4.4 ΤΟΜΗ Α-Α, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος Α. ΚαθΎψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.4.1 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ Α.	
F	R'
-Hz-	-dB-
100	20,4
125	12,5
160	14,6
200	14,7
250	20
315	16,8
400	22,9
500	22
630	22,2
800	23
1000	23,1
1250	21,9
1600	21,4
2000	21
2500	22,3
3150	21,7

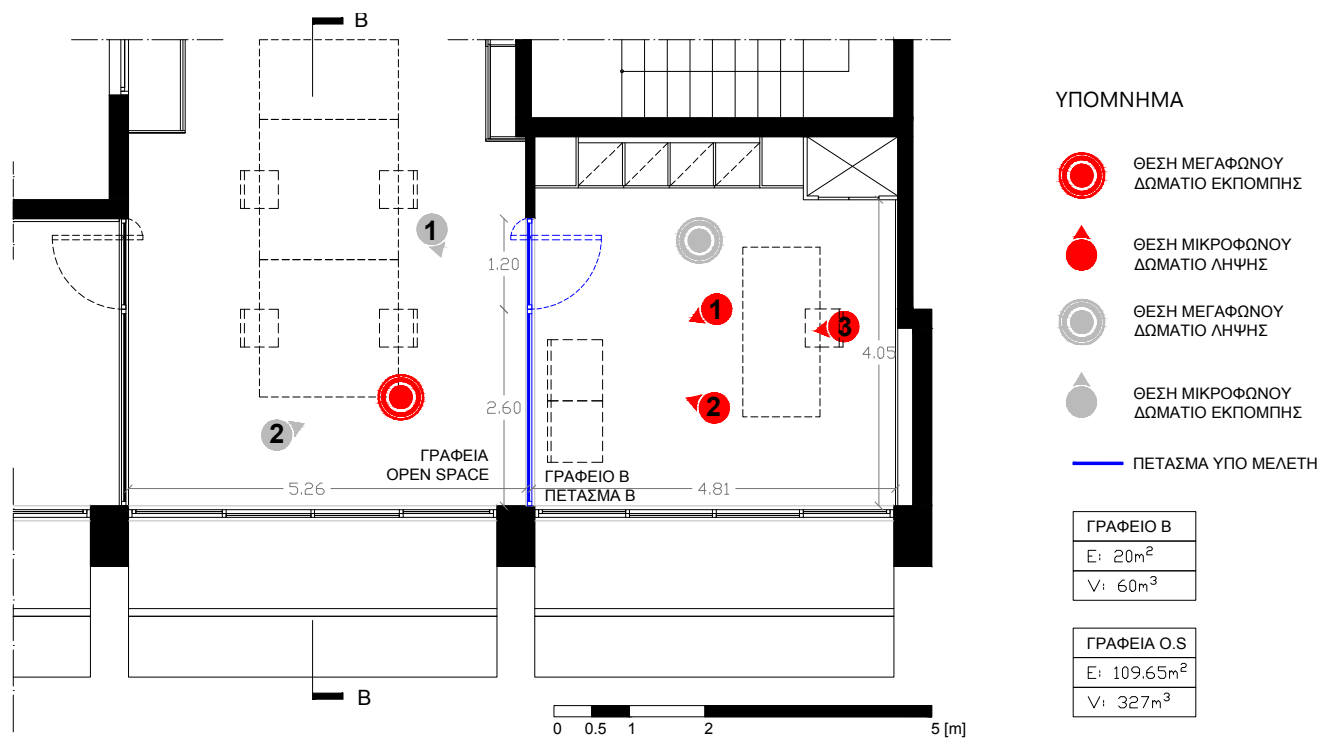


- - - - - ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
 ————— ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R'

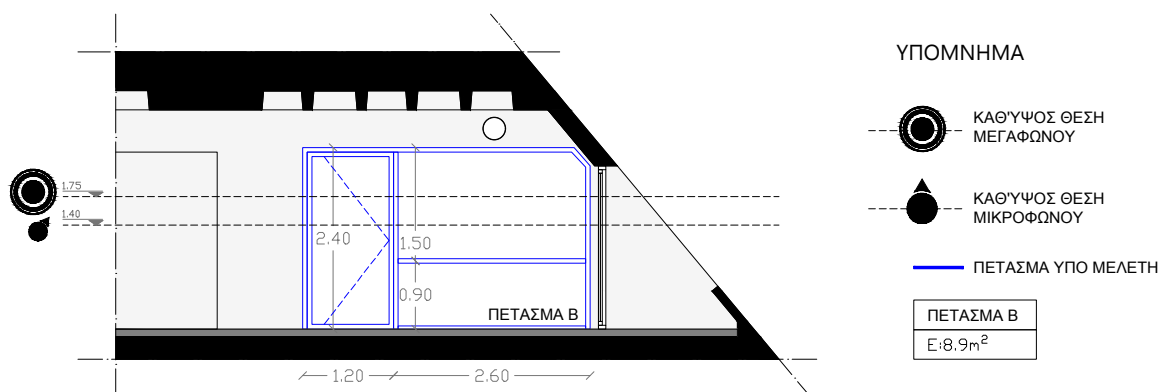
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ: 31dB

Σχήμα 5.4.5 Μετρήσεις του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ Α.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'w=22 dB.

5.4.5 ΠΕΤΑΣΜΑ Β - ΓΡΑΦΕΙΟ Β



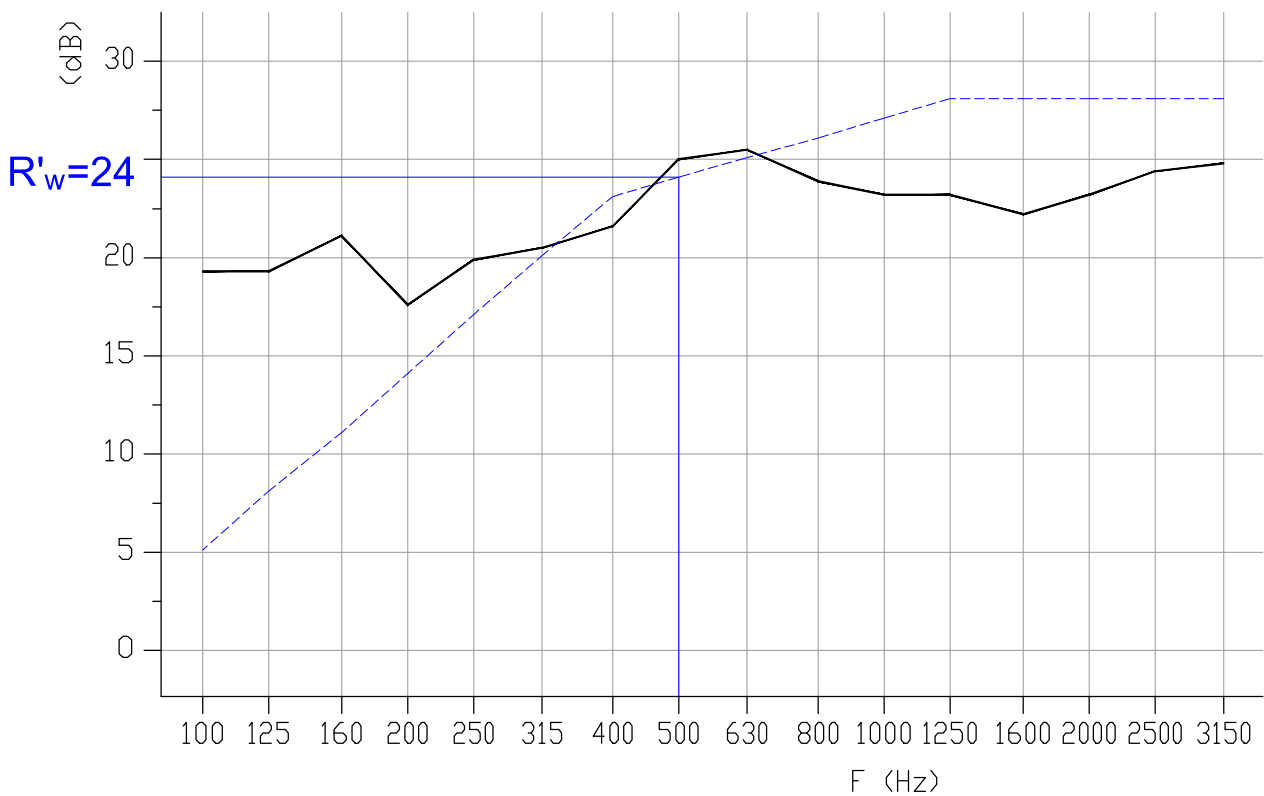
Σχήμα 5.4.6 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟ Β, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



Σχήμα 5.4.7 ΤΟΜΗ Β-Β, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος Β. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.4.2 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ Β.

F	R'
-Hz-	-dB-
100	19,3
125	19,3
160	21,1
200	17,6
250	19,9
315	20,5
400	21,6
500	25
630	25,5
800	23,9
1000	23,2
1250	23,2
1600	22,2
2000	23,2
2500	24,4
3150	24,8

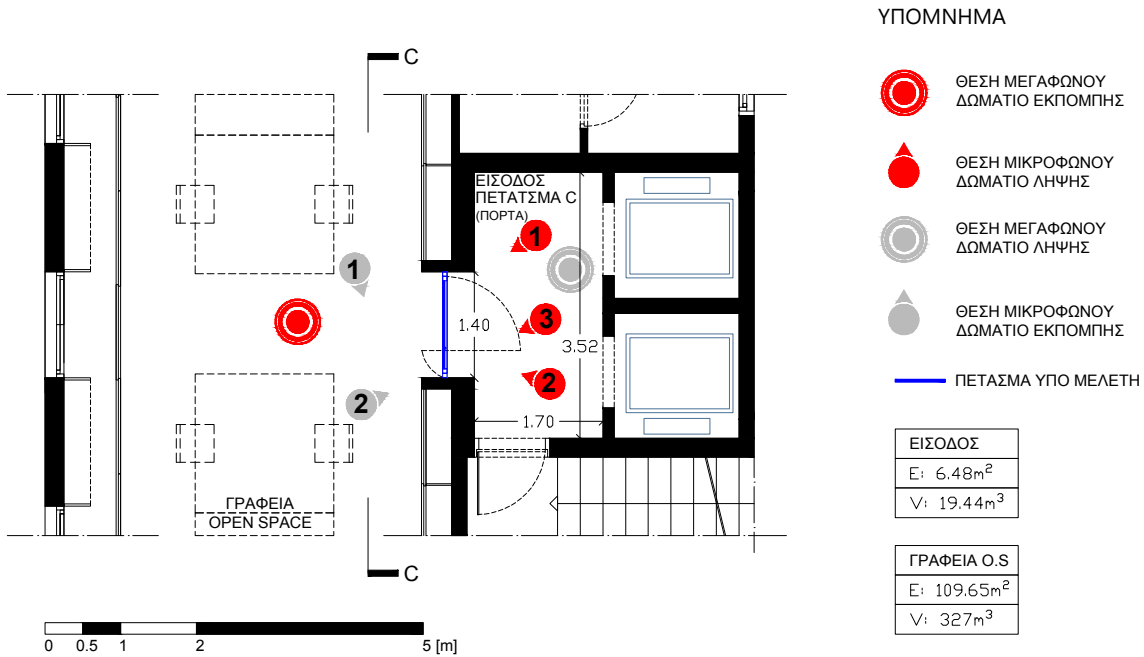


----- ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
 ————— ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R'

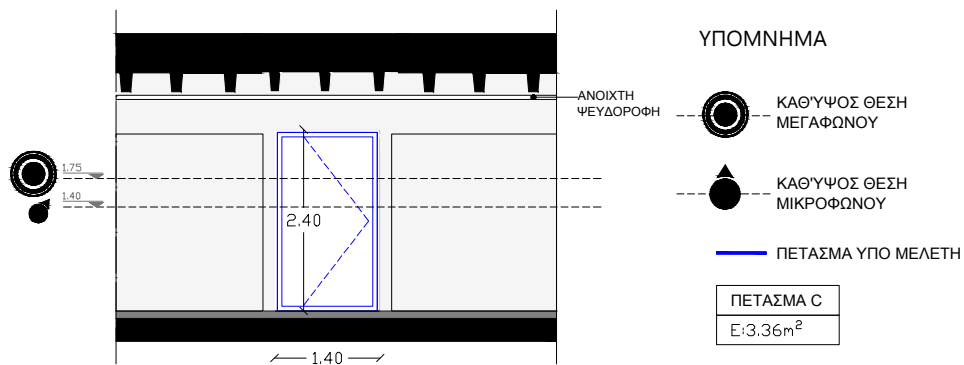
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ: 30dB

Σχήμα 5.4.8 Μετρήσεις του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ Β.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'w=24 dB.

5.4.6 ΠΕΤΑΣΜΑ C (ΠΟΡΤΑ) - ΕΙΣΟΔΟΣ



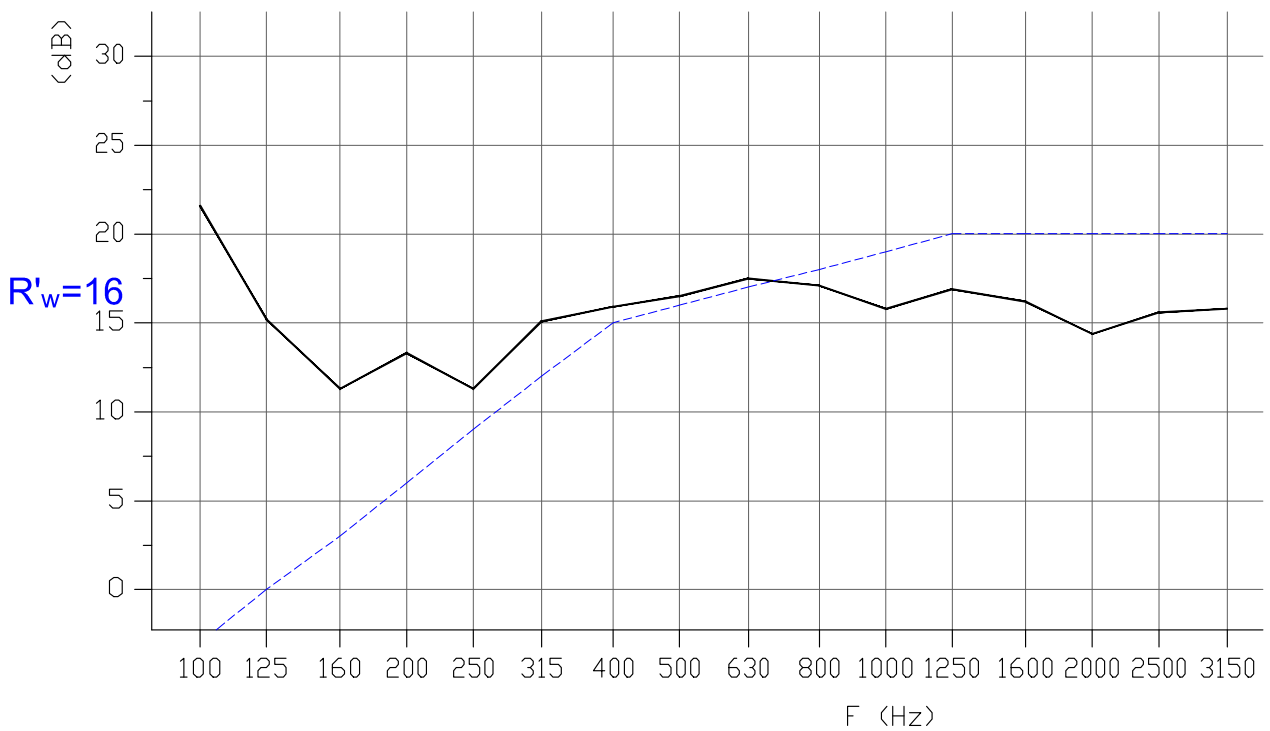
Σχήμα 5.4.6 ΚΑΤΟΨΗ ΕΙΣΟΔΟΥ, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



Σχήμα 5.4.7 ΤΟΜΗ C-C, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος C. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.4.3 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ C(ΠΟΡΤΑ).

F	R'
-Hz-	-dB-
100	21,6
125	15,2
160	11,3
200	13,3
250	11,3
315	15,1
400	15,9
500	16,5
630	17,5
800	17,1
1000	15,8
1250	16,9
1600	16,2
2000	14,4
2500	15,6
3150	15,8



----- ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
 ————— ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R'

ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ: 29dB

Σχήμα 5.4.8 Μετρήσεις του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R' , ΠΕΤΑΣΜΑ C (ΠΟΡΤΑ).
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R'_w=16dB$.

5.5 ΚΤΙΡΙΟ ΓΡΑΦΕΙΩΝ ΟΤΕ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ: ARTEMIDOS ARCHILAB

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ: 2012

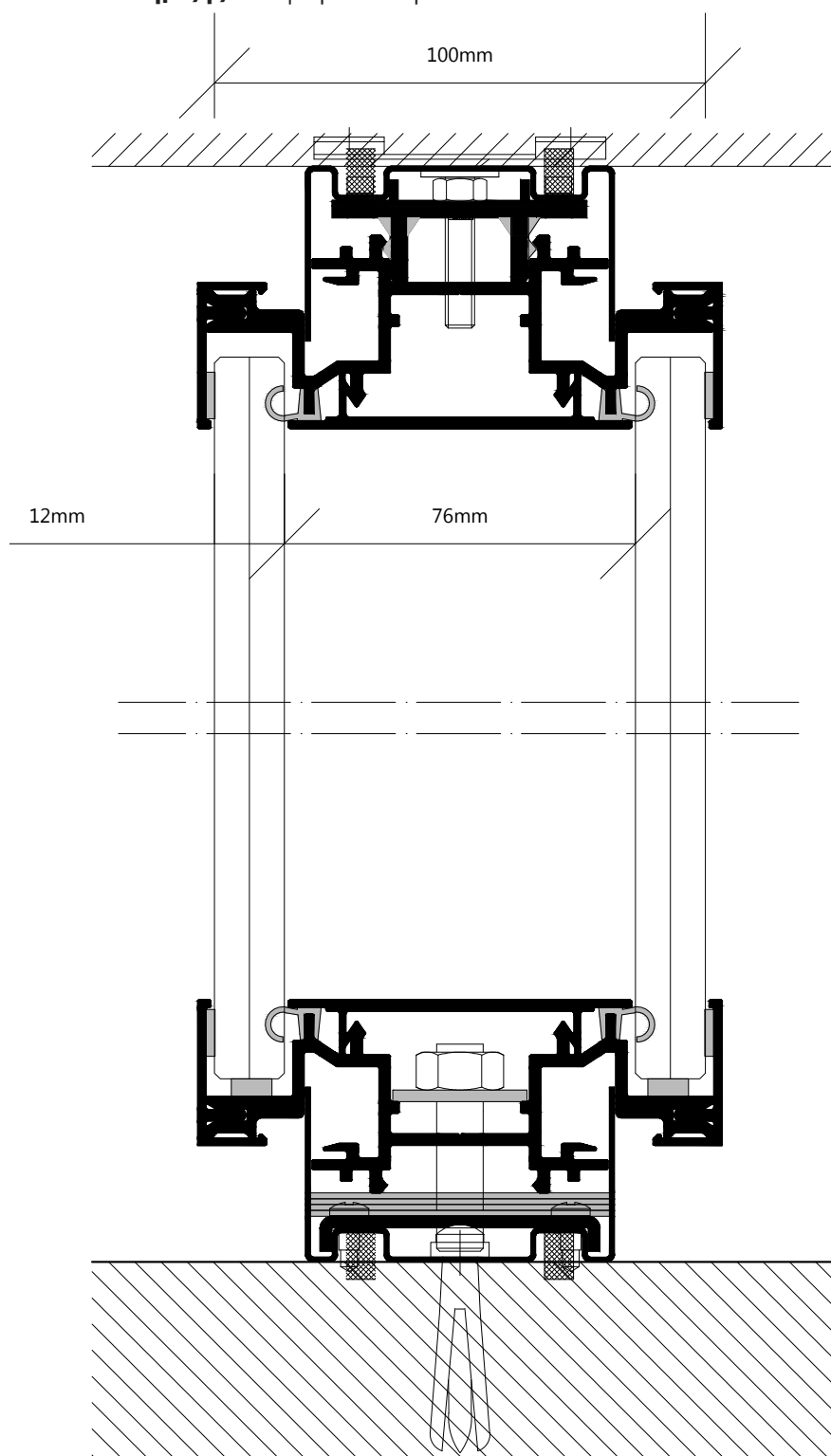
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: ΜΑΡΟΥΣΙ, ΑΤΤΙΚΗ

5.5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Τύπος Γ

ΣΥΝΘΕΤΟ ΔΙΠΛΟ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ, ΣΥΣΤΗΜΑ 1:10 Movinord.

Υαλοπίνακες: Triplex υαλοπίνακας 6mm+6mm .

Πλαίσιο στήριξης: Κούφωμα αλουμινίου.



Σχήμα 5.5.1 Τομή συστήματος τύπου Γ.

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1

Ο σκελετός του συστήματος είναι από αλουμίνιο με συνολικό πάχος 100mm. Οι υαλοπίνακες είναι διπλοί πάχους 12mm (6+6 triplex) ο καθένας και τοποθετούνται εκατέρωθεν του προφίλ.

Στους κατακόρυφους αρμούς μεταξύ των κρυστάλλων τοποθετείται ειδικό προφίλ από PMMA, διατομής Η συνολικού πάχους 6mm το οποίο εσωτερικά διαθέτει ειδική ταινία διπλής όψεως για την απόλυτη σφράγιση των κρυστάλλινων επιφανειών.

Τα κρύσταλλα σταθεροποιούνται πάνω στους στρωτήρες με τη χρήση προφίλ αλουμινίου που διαθέτουν στήριξη clip-in και διασφαλίζουν την ηχομόνωση του συστήματος με το ενσωματωμένο μαλακό P.V.C. που διαθέτουν.

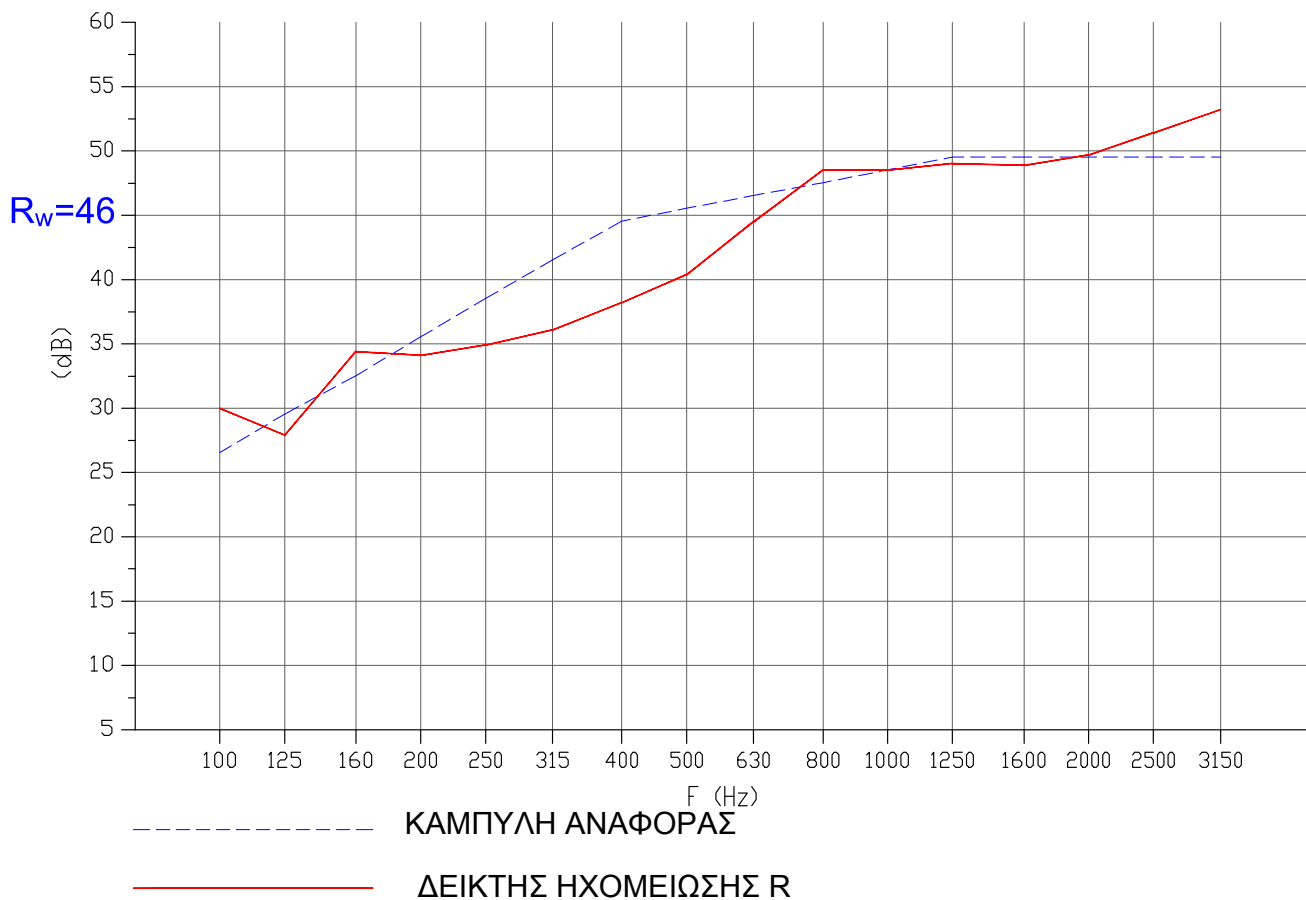
Πόρτα

Η κάσα διαθέτει ειδική διατομή και ενσωματώνει ελαστικά παρεμβύσματα ώστε να εξασφαλίζεται η μόνωση κατά το κλείσιμο, διαθέτει στην πάνω και στην κάτω πλευρά μηχανισμό καταφραγής που ενεργοποιείται αυτόματα με το κλείσιμο της πόρτας για να διασφαλιστεί η ακουστική απόδοση του συστήματος.

5.5.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

[Παράρτημα 8.3]

Πίνακας 5.5.1 Δείκτης ηχομείωσης υαλοπετάσματος τύπου Γ .	
F	R
-Hz-	-dB-
100	30
125	27,9
160	34,4
200	34,1
250	34,9
315	36,1
400	38,2
500	40,4
630	44,5
800	48,5
1000	48,5
1250	49
1600	48,9
2000	49,7
2500	51,4
3150	53,2

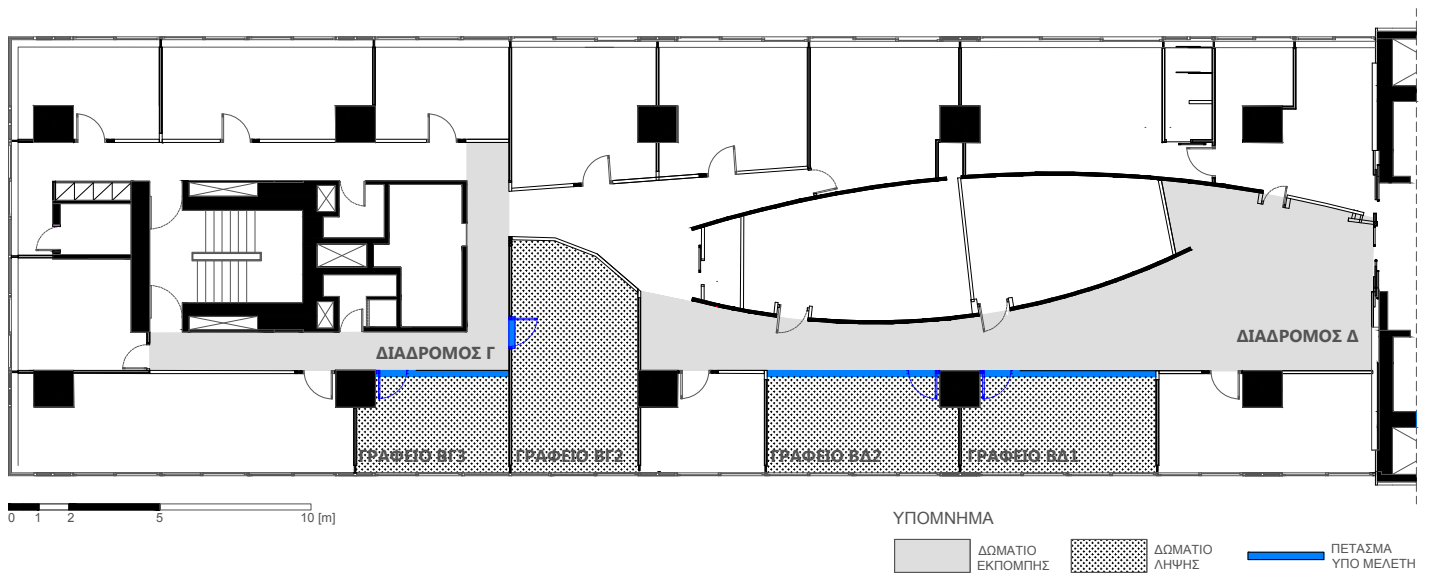


Σχήμα 5.5.2 Μετρήσεις του δείκτη ηχομείωσης R, υαλοπέτασμα τύπου Γ.

Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w=46dB.

Παρατήρηση: Η ηχομονωτική ικανότητα της πόρτας τύπου Γ είναι 35db.

5.5.3 ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ



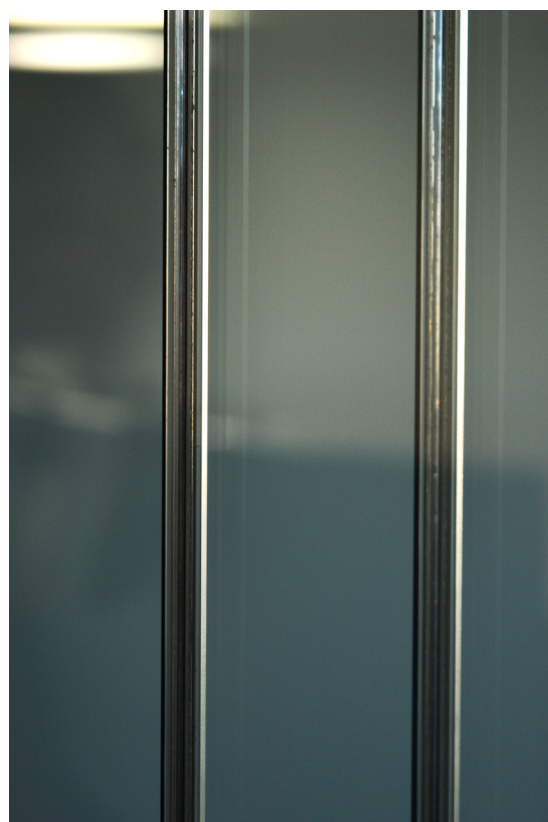
Σχήμα 5.5.3 Κάτοψη 1^{ου} ορόφου, κτίριο γραφείων ΟΤΕ (κλίμακα 1:250).



Εικόνα 5.5.1- Άποψη υαλοπετάσματος ΒΔ1 - γραφείο ΒΔ1- από το διάδρομο Δ.

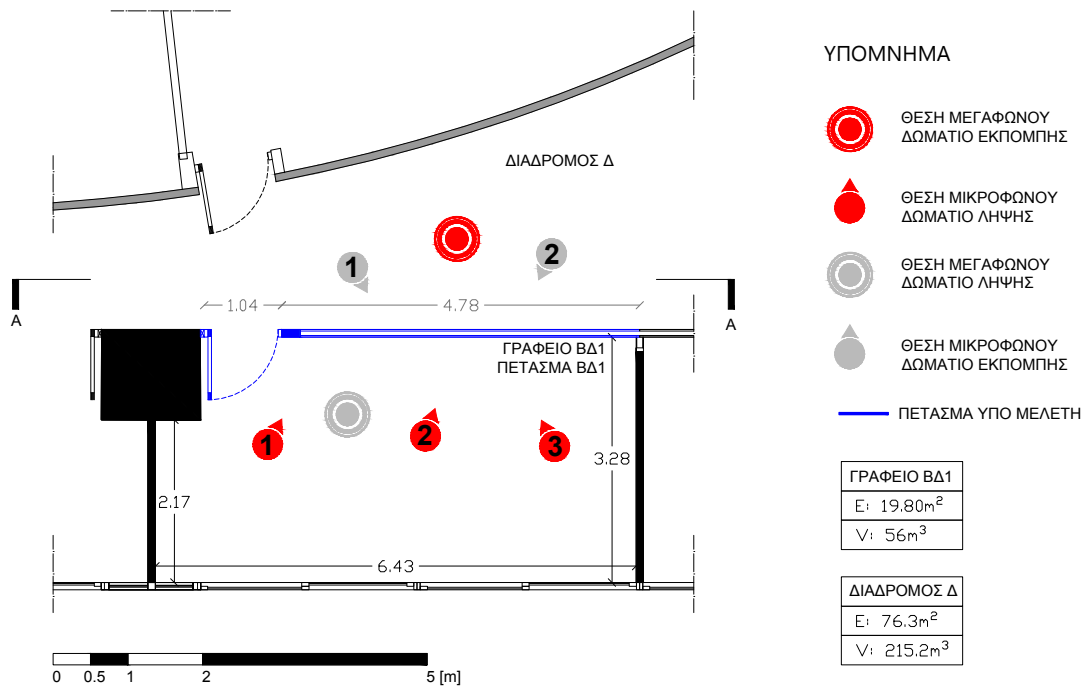


Εικόνα 5.5.2- Γενική άποψη διαδρόμου Δ.

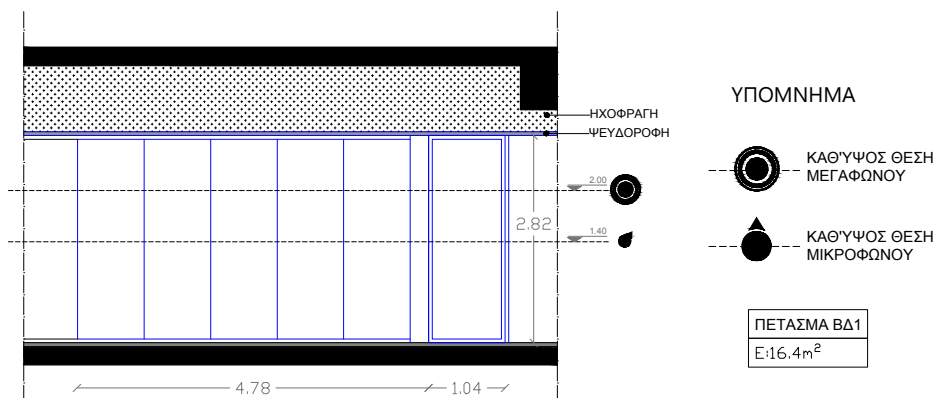


Εικόνα 5.5.3- Λεπτομέρεια κατακόρυφου αρμού υαλοπετάσματος τύπου Γ.

5.5.4 ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΔ1- ΓΡΑΦΕΙΟ ΒΔ1

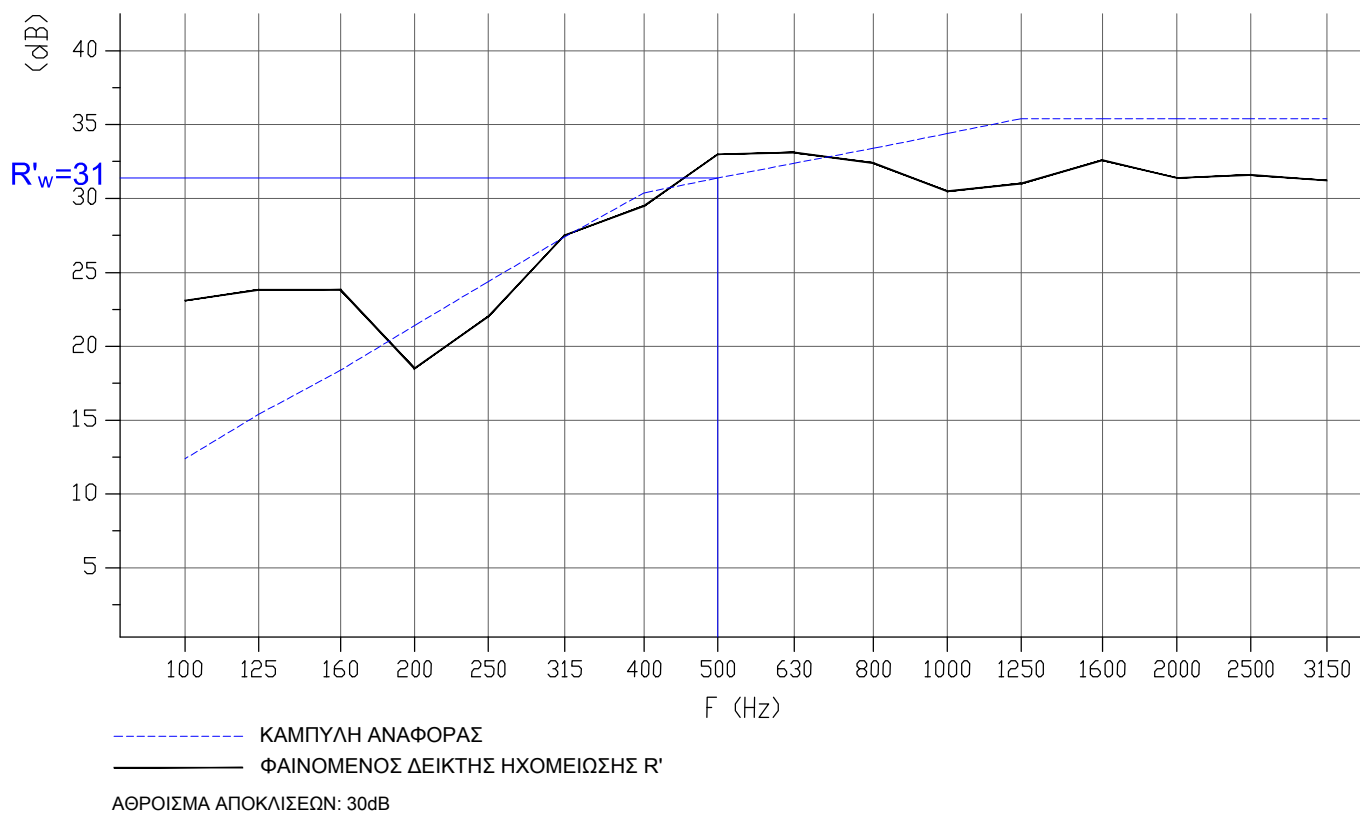


Σχήμα 5.5.4 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΒΔ1, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



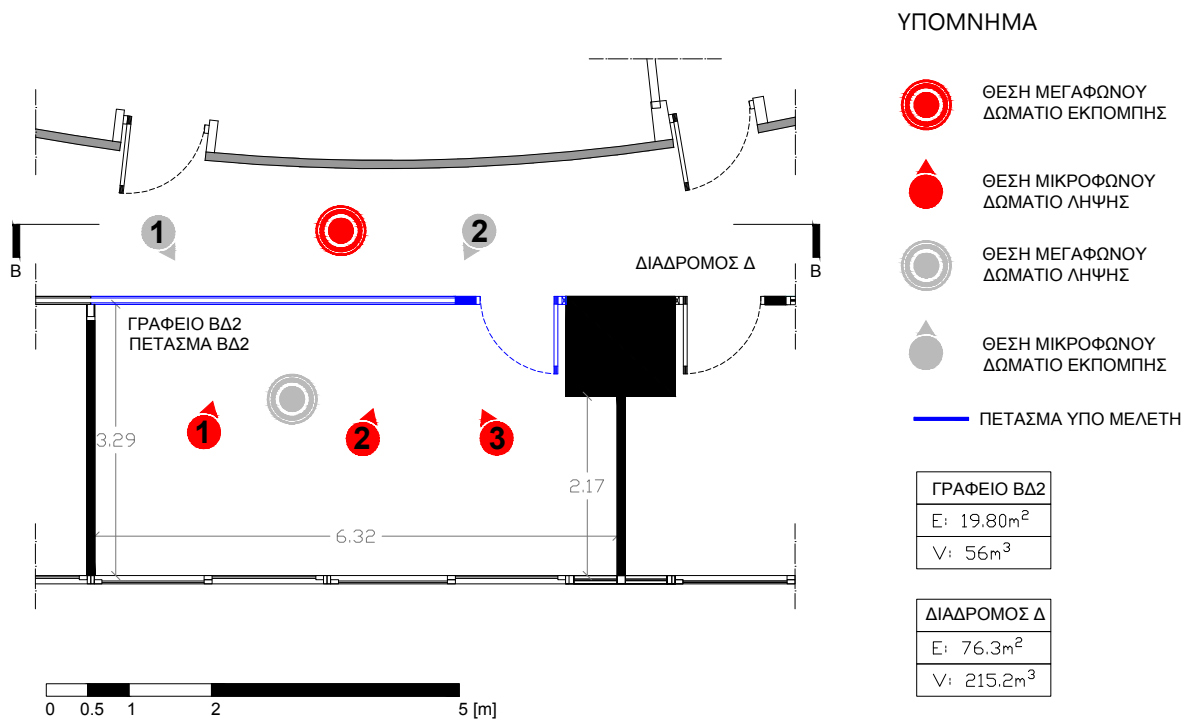
Σχήμα 5.5.6 ΤΟΜΗ Α-Α ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος ΒΔ1. Καθ΄ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.5.1 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΒΔ1.	
F	R'
-Hz-	-dB-
100	23,1
125	23,8
160	23,8
200	18,5
250	22
315	27,5
400	29,5
500	33
630	33,1
800	32,4
1000	30,5
1250	31
1600	32,6
2000	31,4
2500	31,6
3150	31,2

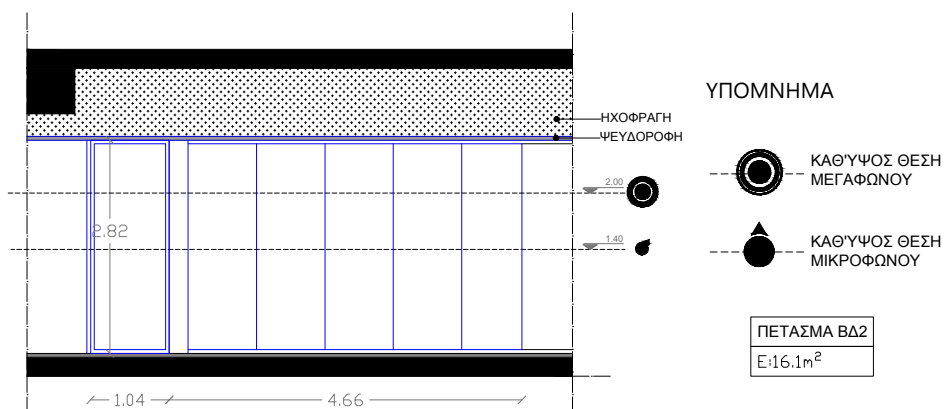


Σχήμα 5.5.7 Μετρήσεις του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΔ1.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R'_w=31dB$.

5.5.4 ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΔ2- ΓΡΑΦΕΙΟ ΒΔ2

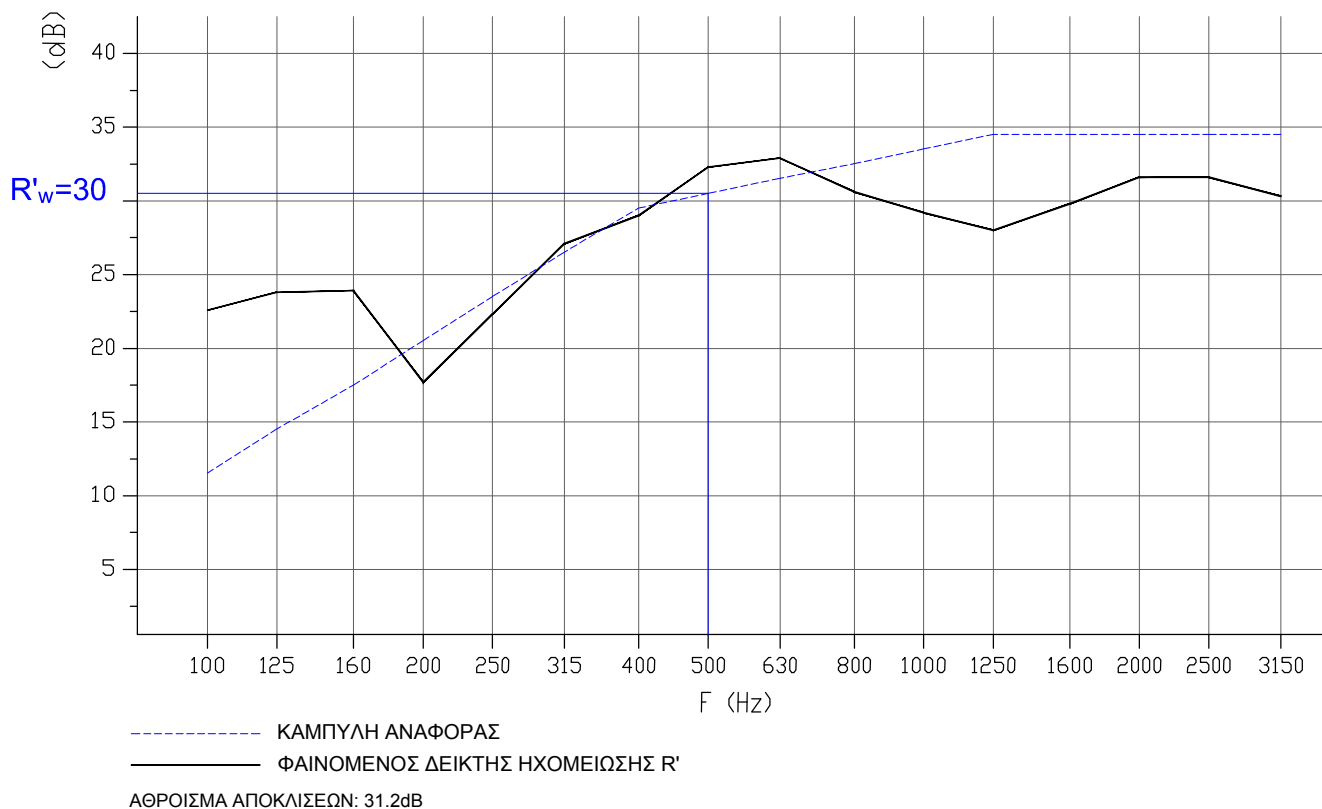


Σχήμα 5.5.8 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΒΔ2, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



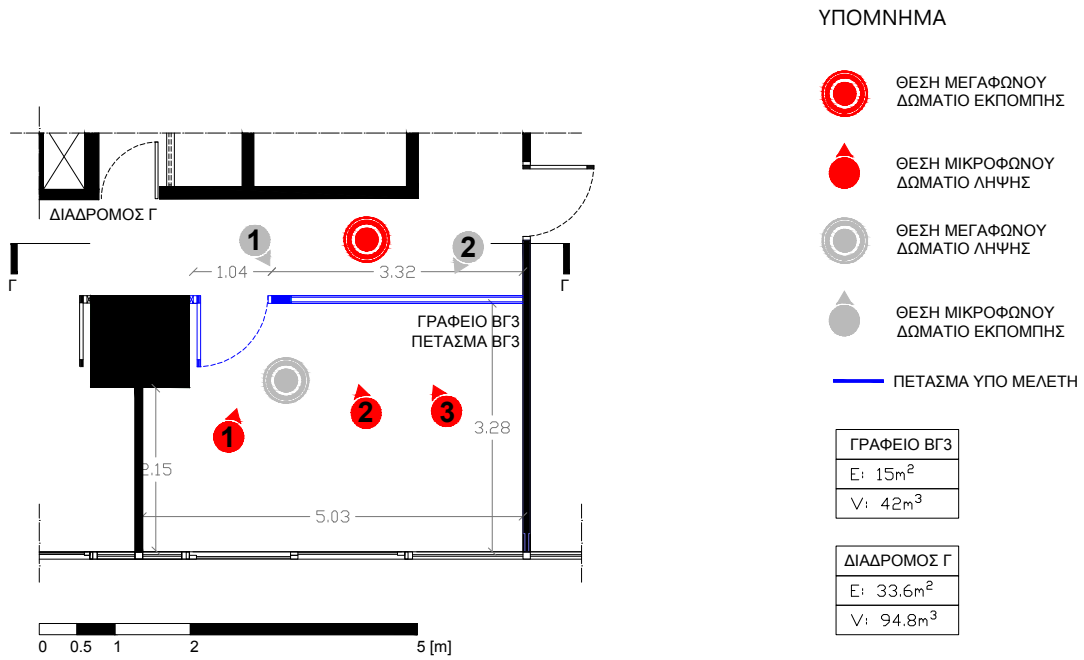
Σχήμα 5.5.9 ΤΟΜΗ Β-Β ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος ΒΔ2. Καθ'ύψος θέση μέτρησης της ηχομονωσης.

Πίνακας 5.5.2 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΒΔ2.	
F	R'
-Hz-	-dB-
100	22,6
125	23,8
160	23,9
200	17,7
250	22,3
315	27,1
400	29
500	32,3
630	32,9
800	30,6
1000	29,2
1250	28
1600	29,8
2000	31,6
2500	31,6
3150	30,3

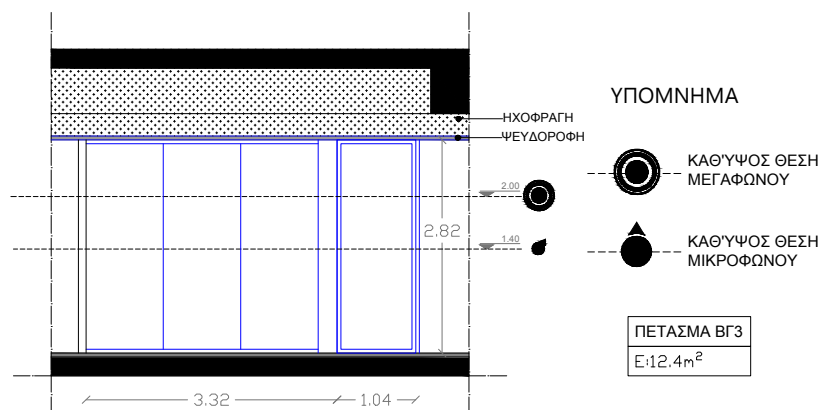


Σχήμα 5.5.10 Μετρήσεις του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΔ2.
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'_w=30dB.

5.5.4 ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΓ3- ΓΡΑΦΕΙΟ ΒΓ3

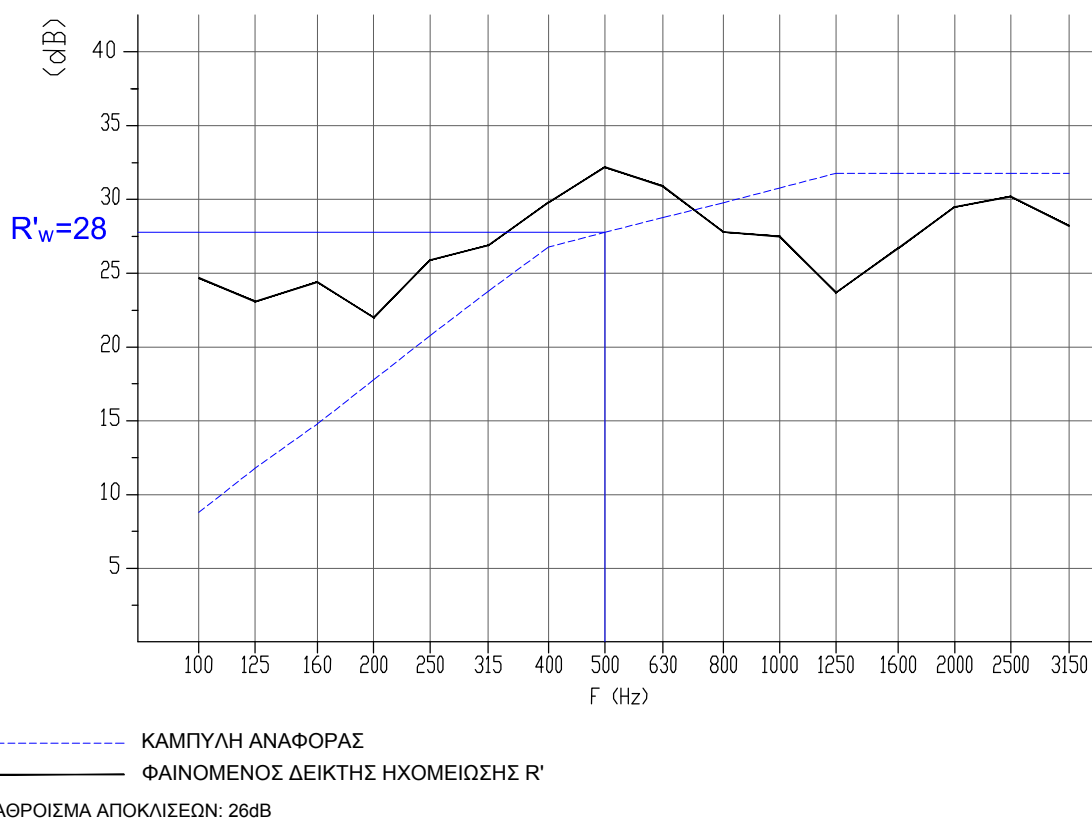


Σχήμα 5.5.11 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΒΓ3, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



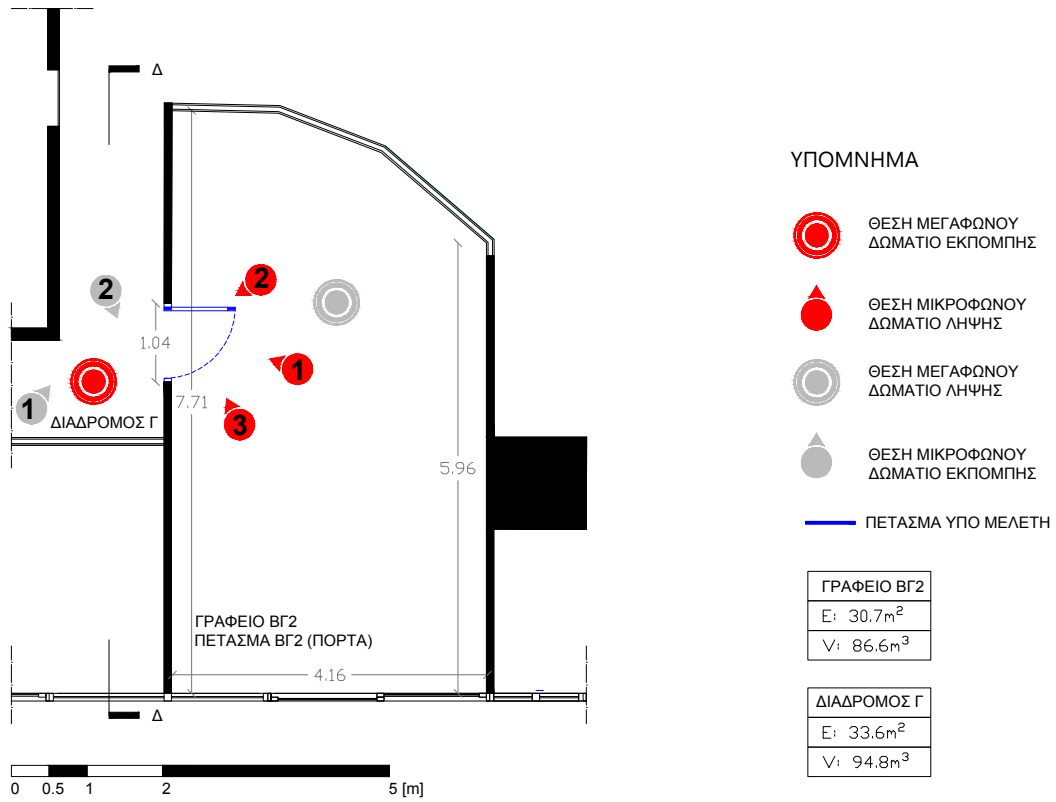
Σχήμα 5.5.12 ΤΟΜΗ Γ-Γ ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος ΒΓ3. Καθ΄ ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.5.3 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΒΓ3.	
F	R'
-Hz-	-dB-
100	24,7
125	23,1
160	24,4
200	22
250	25,9
315	26,9
400	29,8
500	32,2
630	30,9
800	27,8
1000	27,5
1250	23,7
1600	26,7
2000	29,5
2500	30,2
3150	28,2

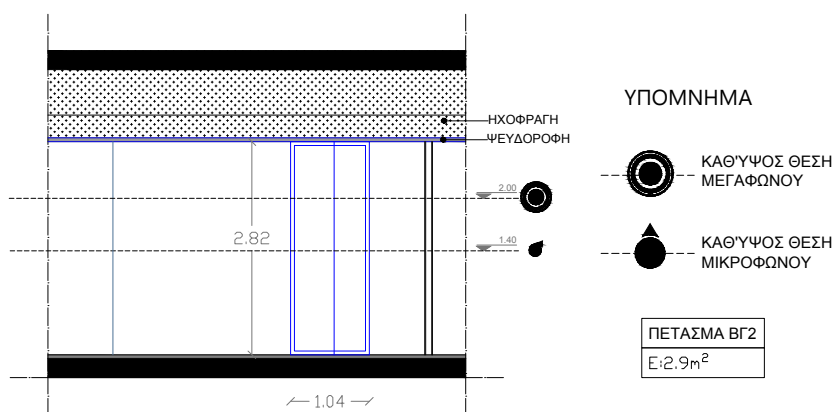


Σχήμα 5.5.13 Μετρήσεις του φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑΒΓ3.
Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'w=28dB.

5.5.4 ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΓ2 (ΠΟΡΤΑ) - ΓΡΑΦΕΙΟ ΒΓ2

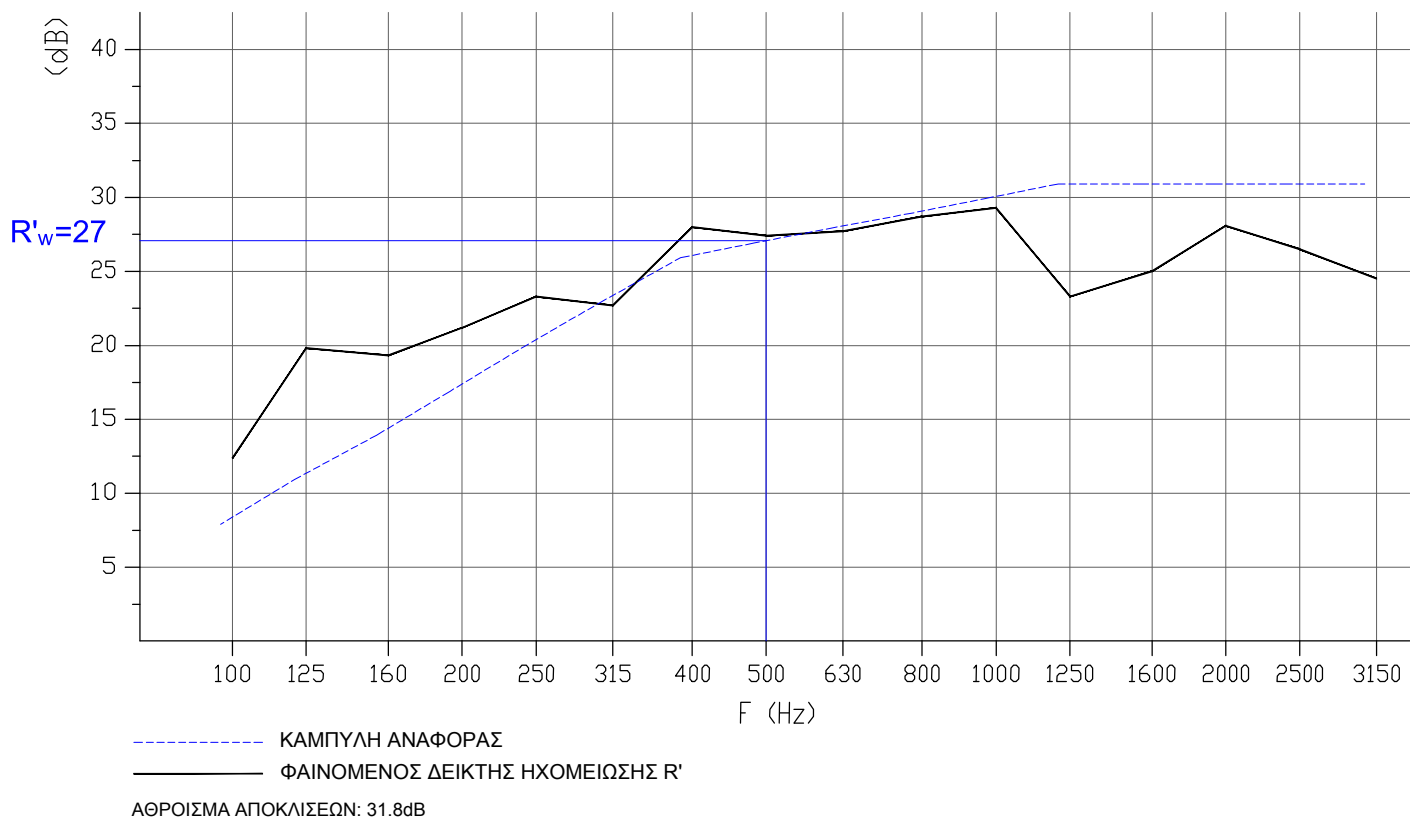


Σχήμα 5.5.14 ΚΑΤΟΨΗ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΒΓ2, ΚΛΙΜΑΚΑ 1-100.
Διάταξη θέσεων μέτρησης της ηχομόνωσης.



Σχήμα 5.5.15 ΤΟΜΗ Δ-Δ ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.
Όψη πετάσματος ΒΓ2. Καθ' ύψος θέση μέτρησης της ηχομόνωσης.

Πίνακας 5.5.4 Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΒΓ2.	
F	R'
-Hz-	-dB-
100	12,4
125	19,8
160	19,3
200	21,2
250	23,3
315	22,7
400	28
500	27,4
630	27,7
800	28,7
1000	29,3
1250	23,3
1600	25
2000	28,1
2500	26,5
3150	24,5



Σχήμα 5.5.16 Μετρήσεις του φαινομένου δείκτη ηχομείωσης R', ΠΕΤΑΣΜΑ ΒΓ2 (ΠΟΡΤΑ).
 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης $R'_w=27dB$.

5.6 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Βάσει των θεωρητικών μοντέλων του νόμου της μάζας, Sharp, Cremer και Crocker, υπολογίστηκαν οι σταθμισμένοι δείκτες ηχομείωσης των απλών υαλοπετασμάτων των υπό έξεταση τύπων. [Παραρτήματα 3.1, 3.2]

5.6.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΟΝΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

Περίπτωση υαλοπίνακα τύπου A:

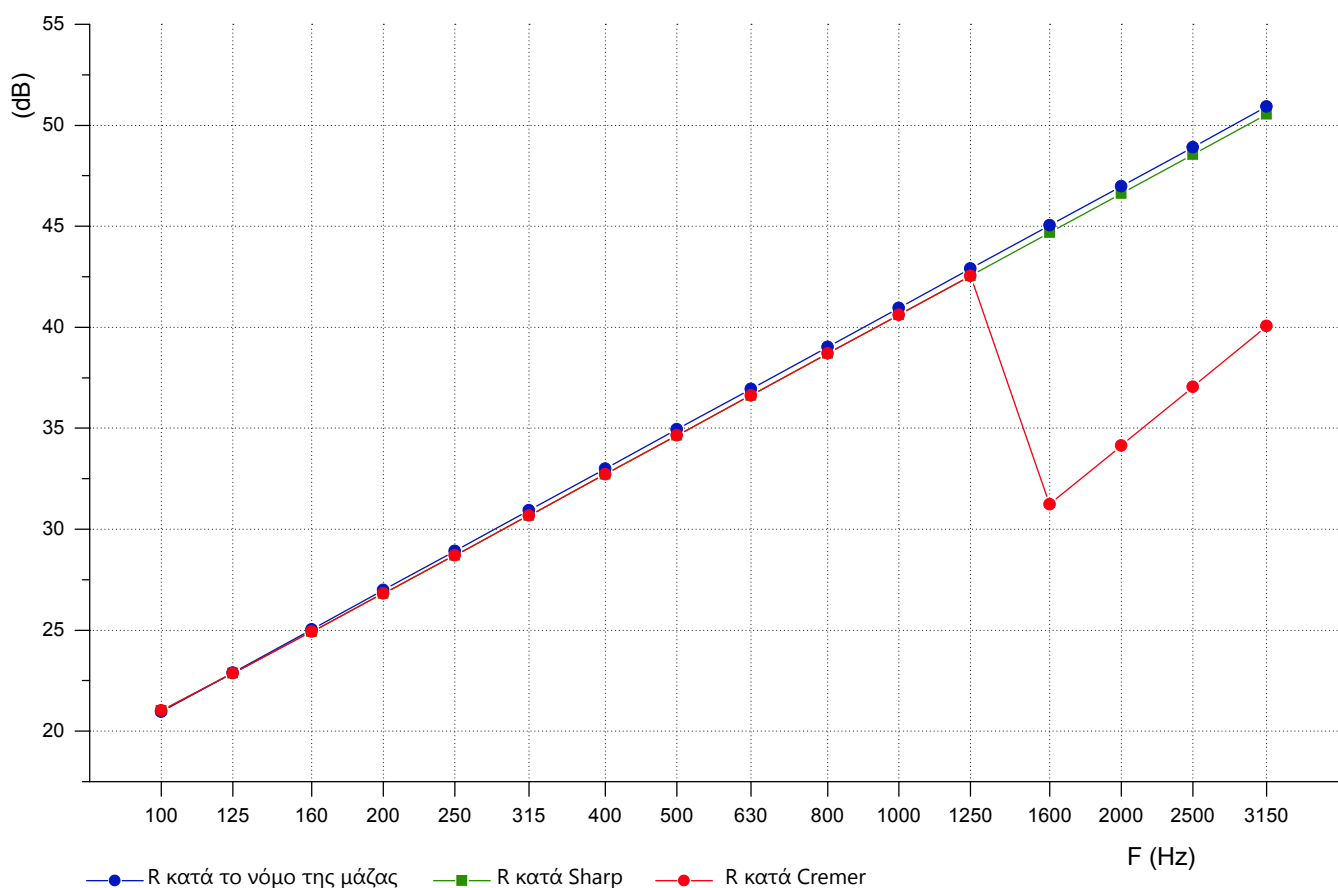
$R_w^M = 39 \text{ dB}$	$R_w^{SH} = 39 \text{ dB}$	$R_w^{CR} = 35 \text{ dB}$	$R_w^{CO} = 36.4 \text{ dB}$
-------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------

R_w^M : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά το νόμο μάζας

R_w^{SH} : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Sharp

R_w^{CR} : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Cremer

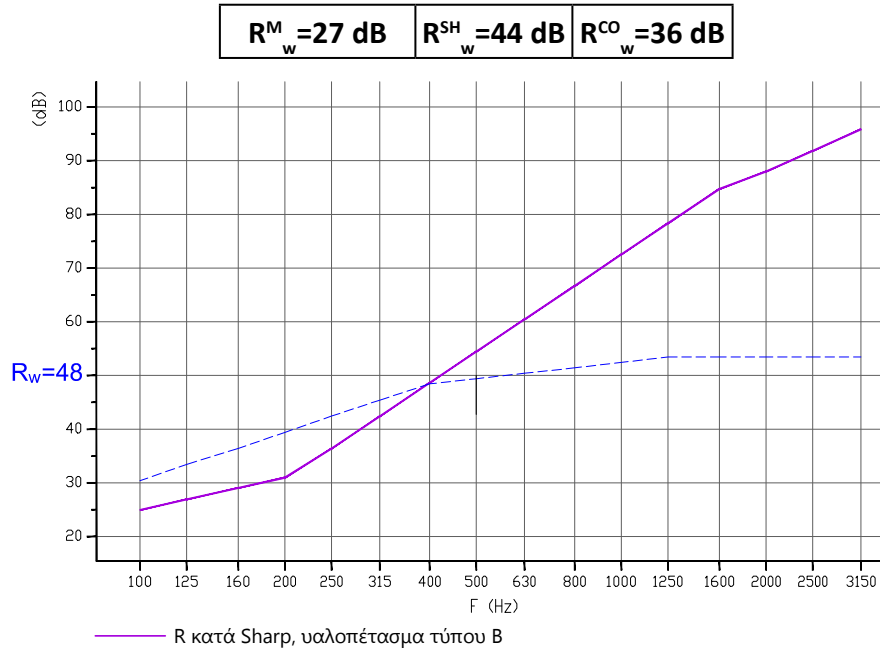
R_w^{CO} : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Crocker



Σχήμα 5.6.1 Θεωρητικοί δείκτες ηχομείωσης για υαλοπίνακα τύπου A.

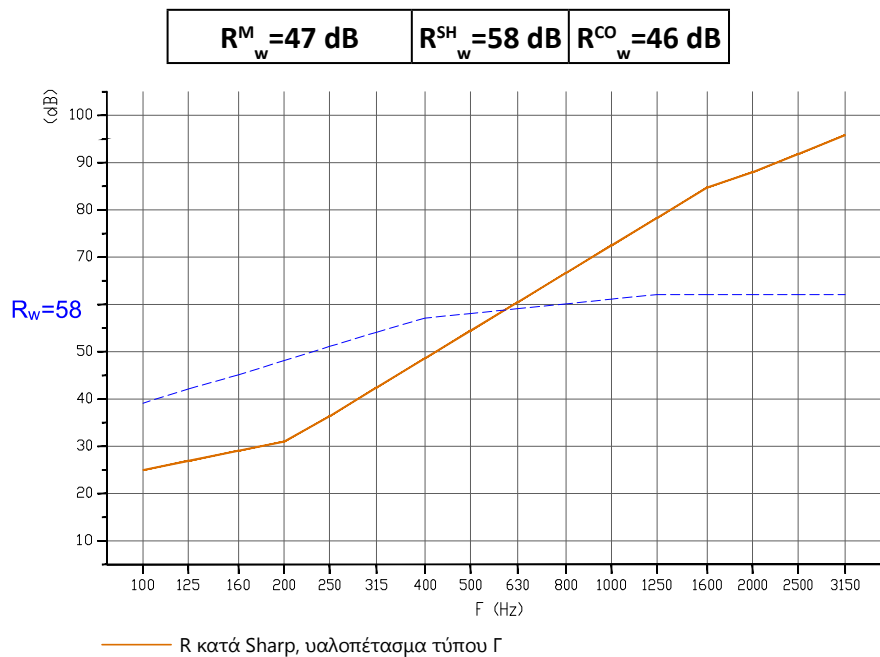
5.6.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

Περίπτωση υαλοπίνακα τύπου Β:



Σχήμα 5.6.2 Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης κατά το μοντέλο του Sharp.

Περίπτωση υαλοπίνακα τύπου Γ:



Σχήμα 5.6.3 Υπολογισμός σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης κατά το μοντέλο του Sharp.

R_w^M : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά το νόμο μάζας

R_w^{SH} : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Sharp

R_w^{CO} : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Crocker

5.6.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΠΛΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ

Βάσει της θεωρίας για τον υπολογισμό του συντελεστή ηχοπερατότητας (transmission coefficient) του σύνθετου πετάσματος μέσω των συντελεστών των επιμέρους στοιχείων [Παράρτημα 3.3], διερευνάται η δυνατότητα πρόβλεψης του σταθμισμένου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης του απλού υαλοπετάσματος για τους τύπους Β και Γ.

Περίπτωση υαλοπίνακα τύπου Β:

Πίνακας 5.6.1 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης απλού υαλοπετάσματος τύπου Β.				
ΔΕΔΟΜΕΝΑ		ΣΥΝΘΕΤΟ ΠΕΤΑΣΜΑ		C(ΠΟΡΤΑ)
		A		
	R'_w [dB]		22	
S [m ²]		8.9		2.65
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΑΠΛΟ ΠΕΤΑΣΜΑ			
	$R'_w \Theta$ [dB]		26	

Περίπτωση υαλοπίνακα τύπου Γ:

Πίνακας 5.6.2 Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης απλού υαλοπετάσματος τύπου Γ.					
ΔΕΔΟΜΕΝΑ		ΣΥΝΘΕΤΟ ΠΕΤΑΣΜΑ			ΒΓ2 (ΠΟΡΤΑ)
		ΒΔ1	ΒΔ2	ΒΓ3	
	R'_w [dB]		31	30	28
S [m ²]		16.4	16.1	12.4	2.9
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΑΠΛΟ ΠΕΤΑΣΜΑ				
	$R'_w \Theta$ [dB]		32	33	28

R'_w : σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης [dB]

$R'_w \Theta$: θεωρητικός σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης απλού πετάσματος [dB]

S : επιφάνεια πετάσματος [m²]

5.6.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΤΥΠΟΥ Γ

Βάσει της θεωρίας για τον υπολογισμό του συντελεστή ηχοπερατότητας (transmission coefficient) του σύνθετου πετάσματος μέσω των συντελεστών των επιμέρους στοιχείων [Παράρτημα 3.3], δεδομένων των εργαστηριακών τιμών δείκτη ηχομείωσης του απλού υαλοπετάσματος και της πόρτας τύπου Γ, υπολογίζεται ο αναμενόμενος δείκτης ηχομείωσης του σύνθετου πετάσματος.

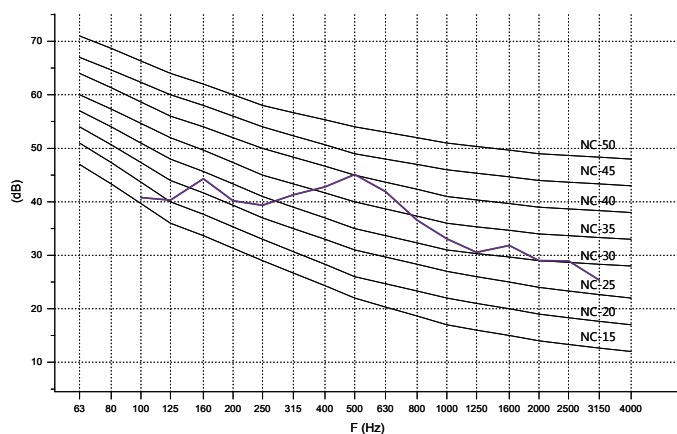
Πίνακας 5.6.3 Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης σύνθετου υαλοπετάσματος τύπου Γ.			
ΔΕΔΟΜΕΝΑ		ΑΠΛΟ ΠΕΤΑΣΜΑ	ΠΟΡΤΑ
	R_w [dB]	46	35
	S [m ²]	6.25	2.9
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	R_w [dB]	ΣΥΝΘΕΤΟ ΠΕΤΑΣΜΑ	
		40	

R_w : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης [dB]

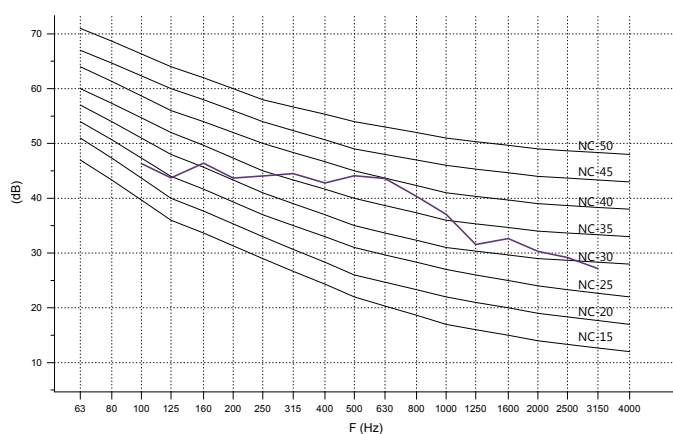
S : επιφάνεια πετάσματος [m²]

5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ

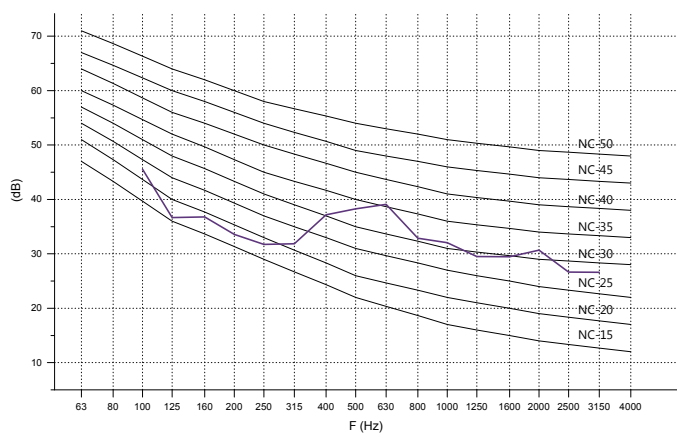
Δεδομένης της ηχομόνωσης που παρέχει κάθε διαχωριστικό πέτασμα, όπως μετρήθηκε στην κατασκευή, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου βάθους, για κάθε κτίριο, στο χώρο που είχε οριστεί ως δωμάτιο εκπομπής, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του χώρου, με σκοπό να προσδιοριστεί η στάθμη θορύβου βάθους για κάθε δωμάτιο λήψης σε τιμή NC [Παραρτήματα 1.6, 5.2].



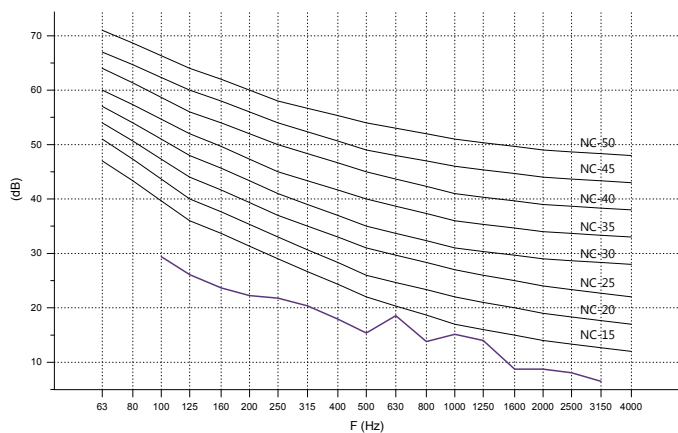
Σχήμα 5.7.1 Γραφείο F211, κτίριο Cosmote. **NC=40**



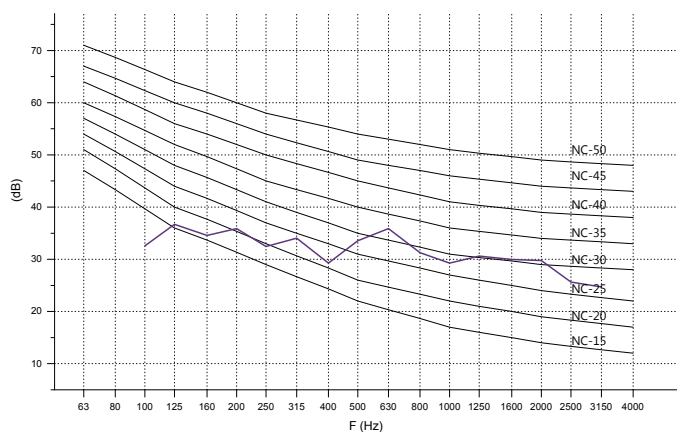
Σχήμα 5.7.2 Γραφείο F212, κτίριο Cosmote. **NC=40**



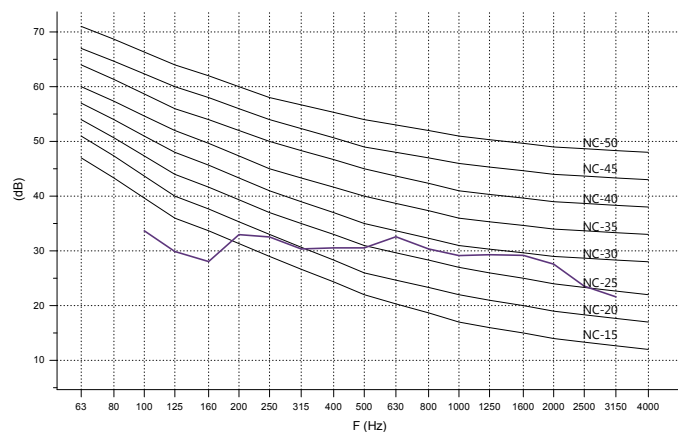
Σχήμα 5.7.3 Γραφείο F212.2, κτίριο Cosmote. **NC=35**



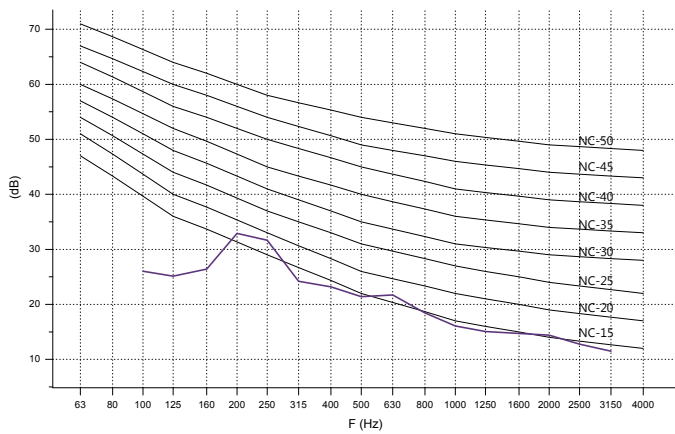
Σχήμα 5.7.4 Γραφείο E211, κτίριο Cosmote. **NC=15**



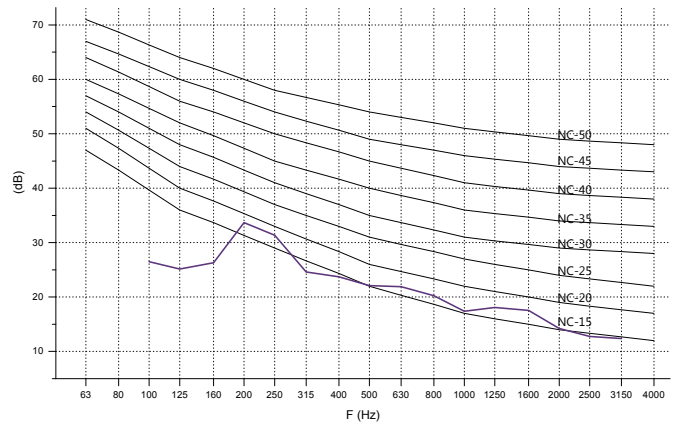
Σχήμα 5.7.5 Γραφείο Α, κτίριο BMS. **NC=35**



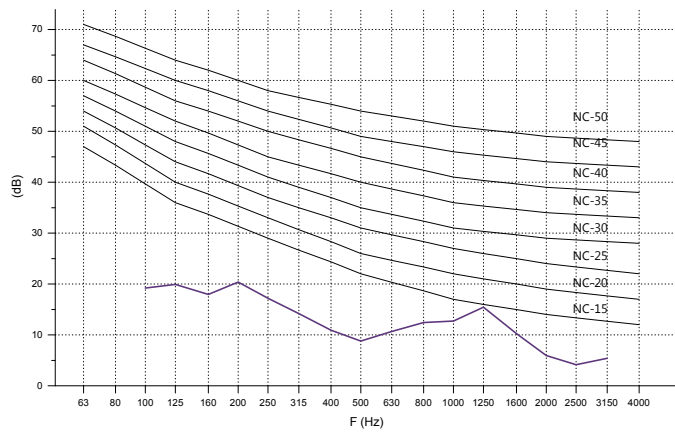
Σχήμα 5.7.6 Γραφείο Β, κτίριο BMS. **NC=30**



Σχήμα 5.7.7¹ Γραφείο ΒΔ1, κτίριο ΟΤΕ. **NC=20**



Σχήμα 5.7.8 Γραφείο ΒΔ2, κτίριο ΟΤΕ. **NC=20**



Σχήμα 5.7.9 Γραφείο ΒΓ3, κτίριο ΟΤΕ. **NC=15**

5.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακας 5.8.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

ΚΤΙΡΙΟ	ΔΩΜΑΤΙΟ				ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΟ ΠΕΤΑΣΜΑ	ΕΜΒΑΔΟΝ [m ²]	R' _w [dB]	R _w [dB]	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ [dB]				R' _w Θ [dB]
	ΕΚΠΟΜΠΗΣ	ΟΓΚΟΣ [m ³]	ΛΗΨΗΣ	ΟΓΚΟΣ [m ³]					R ^M _w	R ^{SH} _w	R ^{CR} _w	R ^{CO} _w	
COSMOTE	ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ F	86.8	F211	210.8	A	23.6	35	35	39	39	35	36.4	
				133.1									
				65.2									
				62.7									
BMS	OPEN SPACE ΓΡΑΦΕΙΑ	327	A	58	B	8.9	37	37	27	44	36	26	
				60									
QF	ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ Δ	215.2	BΔ1	19.4	ΕΙΣΟΔΟΣ	3.3	40	46	47	58	46	46	32
				56									
				56									
				42									
				86.6									
				98									
QF	ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ Γ	98	BΓ2	16.4	Γ	16.1	35	35	27	27	27	27	28
				16.1									
				12.4									
				2.9									
				2.9									
				2.9									

R'_w : σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης (μέτρηση στην κατασκευή)

R_w : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης (μέτρηση στο εργαστήριο)

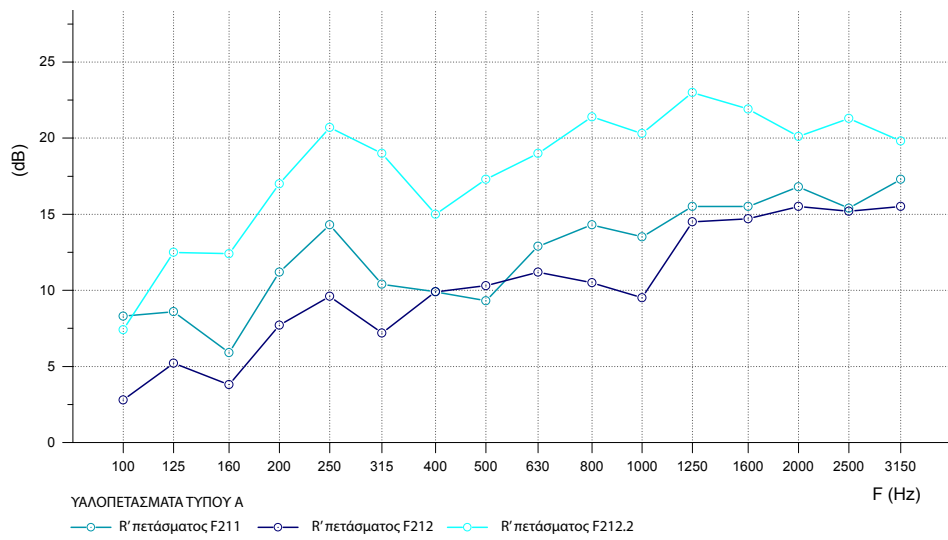
R^M_w : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά το νόμο μάζας

R^{SH}_w : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Sharp

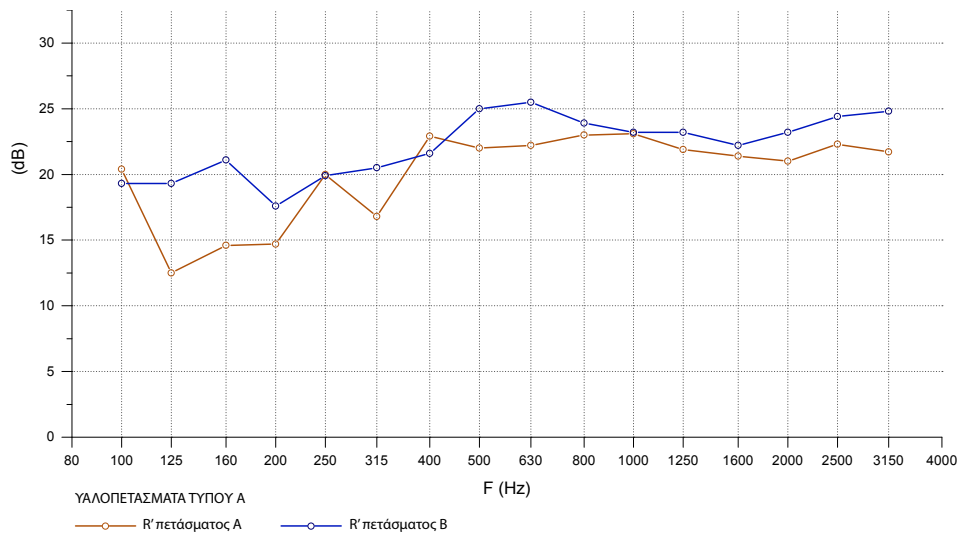
R^{CR}_w : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Cremer

R^{CO}_w : σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης κατά Crocker

R'_wΘ : σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης απλού πετάσματος (βάσει υπολογισμού)



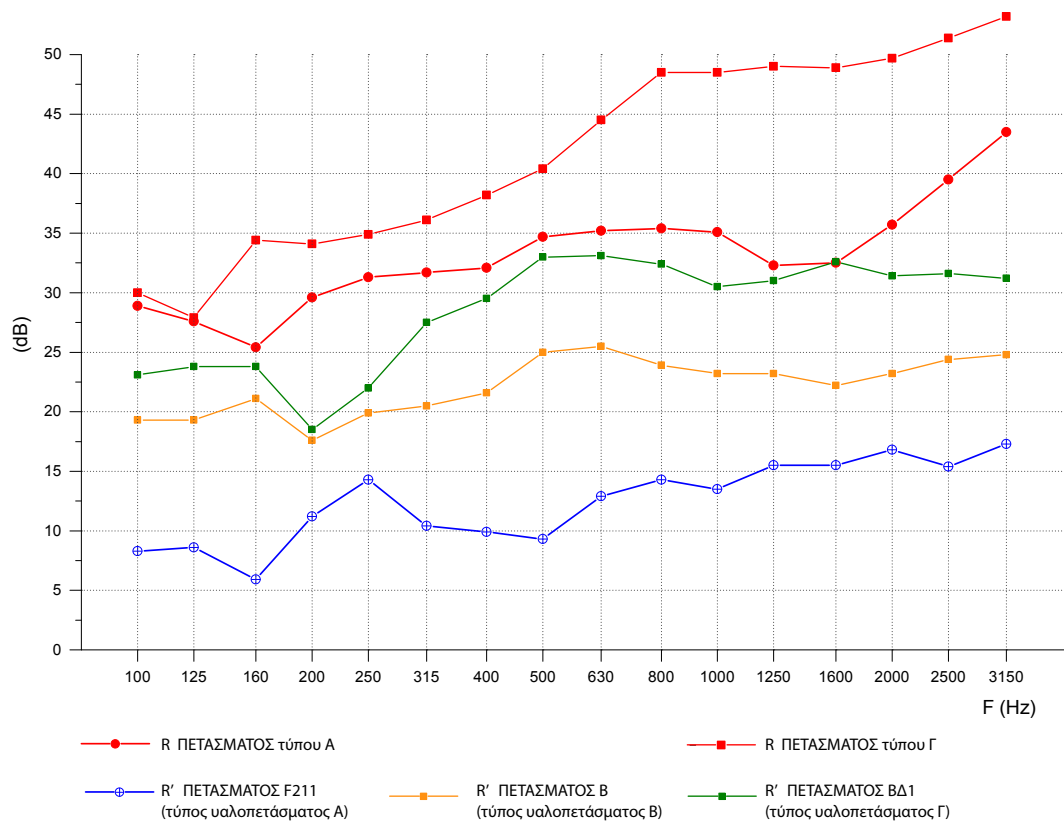
Σχήμα 5.8.1 Φαινόμενοι δείκτες ηχομείωσης R', υαλοπετάσματα τύπου Α.



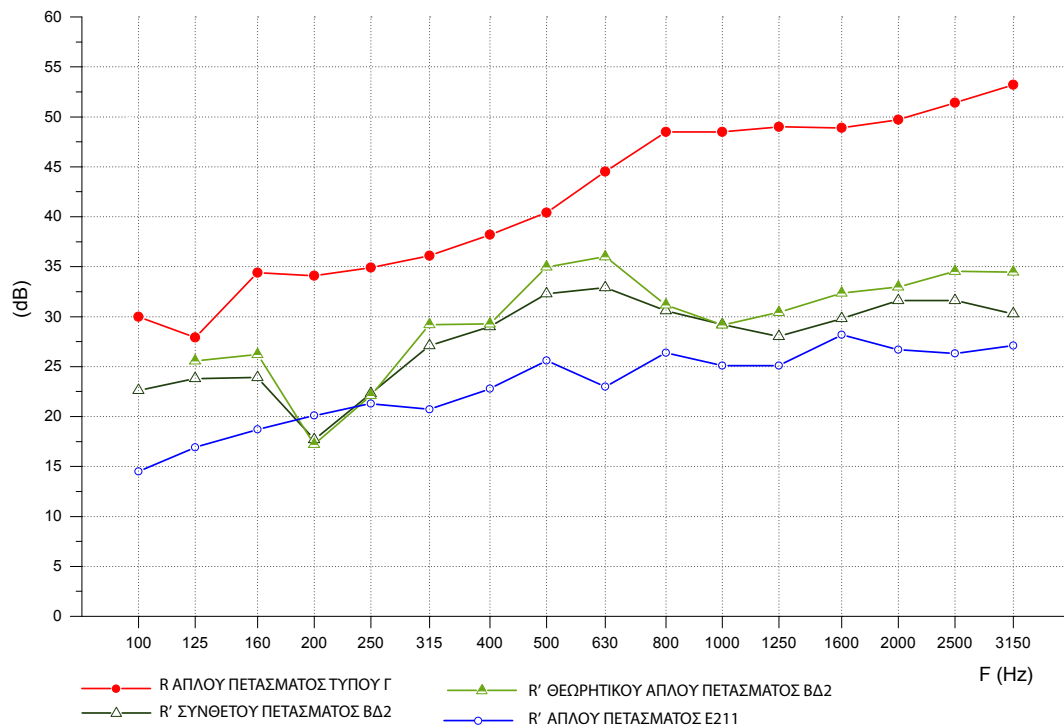
Σχήμα 5.8.2 Φαινόμενοι δείκτες ηχομείωσης R', υαλοπετάσματα τύπου Β.



Σχήμα 5.8.3 Φαινόμενοι δείκτες ηχομείωσης R', υαλοπετάσματα τύπου Γ.



Σχήμα 5.8.4 Φαινόμενοι δείκτες ηχομείωσης R' και δείκτες ηχομείωσης R υαλοπετασμάτων τύπου Α, Β, Γ και .



Σχήμα 5.8.5 Απλό και σύνθετο υαλοπέτασμα τύπου Γ. Φαινόμενοι δείκτες ηχομείωσης R' και δείκτης ηχομείωσης R.

6.ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η γνώση της ηχομονωτικής ικανότητας ενός διαχωριστικού πετάσματος, προτού αυτό τοποθετηθεί στην κατασκευή είναι απαραίτητο εργαλείο για την επιλογή των κατασκευαστικών στοιχείων και το σχεδιασμό. Αυτή, μπορεί να προβλεφθεί με θεωρητικά μοντέλα όπως αυτό του νόμου της μάζας, να προσδιοριστεί εργαστηριακά, και τέλος να μετρηθεί στην κατασκευή. Μεταξύ της θεωρητικής και της εργαστηριακής ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων παρατηρούνται διαφορές. Το ίδιο συμβαίνει μεταξύ του ίδιου τύπου πετασμάτων στις επιτόπιες μετρήσεις στην κατασκευή, και μεταξύ επιτόπιων και εργαστηριακών μετρήσεων. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να αναλυθούν οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτές τις διαφορές.

6.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Μέσω των εφαρμογών (Παράγραφος 5.7) θελήσαμε να ελέγξουμε αν υπάρχει πρόβλημα όχλησης στα κλειστά γραφεία λόγω θορύβου στους συγκεκριμένους κοινόχρηστους χώρους. Βάσει των απαιτήσεων για χώρους γραφείων, με τις αποδεκτές τιμές NC να κυμαίνονται μεταξύ 30-35 [Παράρτημα 1.6], δεν διαπιστώθηκε ύπαρξη προβλήματος θορύβου βάρους στα γραφεία όπου μετρήθηκαν τα υαλοπέτασματα τύπου Β και Γ, ενώ για τα γραφεία όπου εξετάστηκαν τα υαλοπέτασματα τύπου Α δεν πληρούνται τα κριτήρια θορύβου.

6.2 ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΜΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Οι θεωρητικές και εργαστηριακές τιμές του δείκτη ηχομείωσης αφορούν στο απλό πέτασμα των εξεταζόμενων τύπων πετάσματος.

ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Α (μονό υαλοπέτασμα)

Στην περίπτωση triplex (5+5 mm) υαλοπίνακα οι θεωρητικοί υπολογισμοί σύμφωνα με το νόμο της μάζας και το μοντέλο του Sharp δίνουν μεγαλύτερες τιμές για την ηχομονωτική ικανότητα των πετασμάτων σε σχέση με τις εργαστηριακές μετρήσεις κατά 4dB. Με τον τύπο του Crocker ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης που προβλέπεται πλησιάζει πολύ την εργαστηριακή τιμή (θετική διαφορά 1.5 dB) και με τον τύπο του Cremer επιτυγχάνεται ακριβώς (Παράγραφος 5.6.1, Σχήμα 5.6.1).

Ο νόμος της μάζας δεν είναι αξιόπιστος για να εκτιμηθεί η ηχομονωτική ικανότητα ενός πετάσματος και μπορεί να χρησιμεύσει μόνο για μια κατ' αρχήν εκτίμηση της. Αυτό συμβαίνει γιατί ο συγκεκριμένος νόμος δε λαμβάνει υπ' όψιν του τις συχνότητες συντονισμού και κυματοσύμπτωσης και τις συνθήκες στήριξης.

Το ίδιο ισχύει και με το μοντέλο του Sharp, το οποίο συμφωνεί με το νόμο της μάζας. Ο τύπος του Cremer κάνει μια διόρθωση στο μοντέλο του Sharp και εισάγει την παράμετρο του συντελεστή απωλειών ανά συχνότητα (η), η οποία λαμβάνει υπόψιν την κρίσιμη συχνότητα f_c και δίνει καλύτερα αποτελέσματα για την περιοχή συχνοτήτων πάνω από αυτή, με αποτέλεσμα ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης που προκύπτει να συμφωνεί πλήρως με την εργαστηριακή μέτρηση. Ο τύπος του Crocker επιτυγχάνει, επίσης, καλύτερη πρόβλεψη, καθώς αφορά συγκεκριμένα σε πολυστρωματικούς υαλοπίνακες και λαμβάνει υπόψη και το πάχος της ενδιάμεσης μεμβράνης.

ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ Β / Γ (διπλό υαλοπέτασμα)

Στην περίπτωση του διπλού υαλοπετάσματος τύπου Β ο νόμος της μάζας προβλέπει πολύ μικρότερη απόδοση για το διπλό υαλοπίνακα, συγκριτικά με την εργαστηριακή τιμή που δίνεται για το μονό υαλοπίνακα (Παραγράφος 5.6.2, Σχήμα 5.6.2). Αυτό συμβαίνει γιατί δε λαμβάνει υπόψη τη συνεισφορά της ασυμμετρίας του πάχους των δυο υαλοπινάκων στην απόδοση του πετάσματος, ενώ στην περίπτωση του διπλού υαλοπίνακα τύπου Γ, που υπάρχει συμμετρική κατανομή του πάχους των υαλοπινάκων, ο νόμος της μάζας συμφωνεί με πολύ μικρή απόκλιση με την εργαστηριακή μέτρηση (Παράγραφος 5.6.2, Σχήμα 5.6.3). Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις διπλών υαλοπινάκων, το μοντέλο του Sharp δε δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς και οι δύο προβλεπόμενοι σταθμισμένοι δείκτες ηχομείωσης είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι από τους αντίστοιχους δείκτες ηχομείωσης των αντίστοιχων μετρήσεων. Ο τύπος του Crocker κάνει πολύ καλή πρόβλεψη του προβλεπόμενου σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης, καθώς αφορά συγκεκριμένα σε διπλούς υαλοπίνακες.

Σε κάθε περίπτωση ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης αποτελεί ενδεικτική τιμή της ηχομόνωσης του πετάσματος και χρησιμεύει για την αρχική εκτίμηση και σύγκριση. Ωστόσο δεν εκπροσωπεί πλήρως την απόδοση του πετάσματος στο πλήρες φάσμα συχνοτήτων.

6.3 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΞΥ ΙΔΙΩΝ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ

Κατά τον προσδιορισμό της ηχομονωτικής ικανότητας, διαχωριστικών πετασμάτων, που επετεύχθη στην κατασκευή, παρατηρούμε αποκλίσεις στα αποτελέσματα μεταξύ των ίδιων πετασμάτων (Σχήμα 5.8.1/2/3). Σημειώνεται ότι για κάθε περίπτωση κτιρίου, τα δομικά υλικά κατασκευής των γραφείων σε ότι αφορά την οροφή, το δάπεδο και τους τοίχους είναι τα ίδια. Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να αναλυθούν οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτές τις αποκλίσεις.

•ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΗΧΟΜΕΤΑΔΟΣΗ

Η πλευρική μετάδοση του ήχου δύναται να πραγματοποιηθεί μέσω τριχοειδών ή μεγαλύτερων οπών στο ίδιο το διαχωριστικό πέτασμα ή στα σημεία συναρμογής του με την υπόλοιπη κατασκευή. Τέτοιου είδους οπές μπορεί να είναι εμφανείς, μπορεί όμως και όχι λόγω μικρών διαστάσεων τους. Επομένως, διαφορές του σταθμισμένου φαινόμενου δείκτη ηχομείωσης μεταξύ των πετασμάτων τύπου Α και Β μπορεί να οφείλονται σε πλευρική διάδοση του ήχου που οφείλονται στην τοποθέτηση και συναρμογή τους με τα υπόλοιπα μέλη της κατασκευής.

Στην περίπτωση των πετασμάτων τύπου Α, μικρότερη απόδοση παρατηρείται στα δύο υαλοπετάσματα με το μεγαλύτερο εμβαδόν. Μεγαλύτερο εμβαδόν πετάσματος σημαίνει και μεγαλύτερο μήκος περιμέτρου και συνεπάγεται μεγαλύτερη πλευρική ηχομετάδοση. Πλευρικές διαρροές πιθανόν να οφείλονται και σε αστοχία της αεροστεγανότητας των κατακόρυφων αρμών μεταξύ των υαλοπινάκων του ίδιου πετάσματος (Εικόνα 5.3.3).

Στα πετάσματα τύπου Γ δεν σημειώνεται σημαντική διαφορά στα δύο γραφεία ίδιων διαστάσεων χώρου και πετασμάτων.

•ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΟΣΥΜΠΤΩΣΗΣ

Για τα υαλοπετάσματα τύπου Α η θεωρητική τιμή της κρίσιμης συχνότητας f_c αντιστοιχεί στα 1283 Hz, για τα υαλοπετάσματα τύπου Β η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ 1283 Hz και 2566 Hz για τους διαφορετικούς τύπους υαλοπίνακα, και για τα υαλοπετάσματα τύπου Γ η κρίσιμη συχνότητα του υαλοπίνακα υπολογίζεται στα 1069 Hz. Ωστόσο, η πτώση της καμπύλης σε σημεία γύρω από αυτές τις τιμές (Σχήμα 5.8.1/2/3), το οποίο σημαίνει την παρουσία του φαινομένου της κυματοσύμπτωσης, παρατηρείται σχετικά μετατοπισμένη για κάθε πέτασμα. Οι διαφοροποιήσεις των σημείων κρίσιμης συχνότητας μεταξύ των ίδιων πετασμάτων σημαίνουν και τη διαφορετική τους ηχομονωτική απόδοση.

6.4 ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

•ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΜΕΣΩ ΘΥΡΩΝ

Κατά τον προσδιορισμό της ηχομονωτικής ικανότητας, διαχωριστικών πετασμάτων, που επετεύχθη στην κατασκευή, καταλήγουμε σε αποτελέσματα που αποκλίνουν από τις εργαστηριακές μετρήσεις. Στην παρούσα μελέτη, αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι οι τιμές του σταθμισμένου δείκτη αφορούν σε εργαστηριακές μετρήσεις απλών πετασμάτων, ενώ οι μετρήσεις στην κατασκευή αφορούν σύνθετα πετάσματα του αντίστοιχου τύπου υαλοπετάσματος. Η ύπαρξη πόρτας σε ένα διαχωριστικό πέτασμα, με ηχομονωτική ικανότητα μικρότερη από εκείνη του απλού πετάσματος έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της συνολικής ηχομονωτικής ικανότητας. Σε όλες τις πόρτες έχει γίνει σχεδιασμός για την ελαχιστοποίηση των περιμετρικών αρμών με την κάσα, είτε με τοποθέτηση λάστιχου, είτε με αλληλοεπικάλυψη των κουφωμάτων κάσας και πόρτας. Ωστόσο, η επιτόπια παρατήρηση, στα υαλοπετάσματα τύπου Α, έδειξε ότι το σφράγισμα της πόρτας με το λάστιχο της κάσας δεν έχει αεροστεγή εφαρμογή. Σε σχέση με το δάπεδο, στην περίπτωση των υαλοπετασμάτων τύπου Α και Β, υπάρχει ικανό διάκενο (μικρότερο του 1cm). Τα υαλοπετάσματα τύπου Γ διαθέτουν ειδικό σύστημα σφράγισης με το δάπεδο κατά το κλείσιμο της πόρτας, για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, επομένως δε θεωρούμε ότι έχουμε πλευρική διάδοση από τον αρμό πόρτας και δαπέδου.

Πέρα όμως από τη σημαντική επίδραση της πόρτας στο πέτασμα, υπάρχουν και άλλοι λόγοι οι οποίοι συντρέχουν για τη μειωμένη ηχομονωτική απόδοση των πετασμάτων. Αυτό γίνεται κατανοητό και από την απόκλιση του αναμενόμενου δείκτη ηχομείωσης του σύνθετου πετάσματος τύπου Γ (Παράγραφος 5.6.4) και του αντίστοιχου φαινομένου δείκτη ηχομείωσης. Στη συνέχεια αναλύονται οι λόγοι που μπορεί να οδήγησαν σε αυτές τις αποκλίσεις.

•ΔΙΑΧΥΤΟ ΗΧΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Το ηχητικό πεδίο στο εργαστήριο επιλέγεται να είναι διάχυτο στο χώρο εκπομπής και στο χώρο λήψης, με την κατάλληλη κατασκευή του χώρου, αντίθετα στην κατασκευή συνήθως το πεδίο δεν είναι διάχυτο.

Στα κτίρια όπου μετρήσαμε τα πετάσματα τύπου Α και Γ, η οροφή των υπό εξέταση χώρων είναι καλυμμένη με ηχοαπορροφητικές πλάκες που μειώνουν την διάχυση του ηχητικού πεδίου εντός αυτών, καθώς τα ηχητικά κύματα που προσπίπτουν σε αυτές απορροφούνται άμεσα. Αν σε αυτή την απορρόφηση προστεθεί και η ηχοαπορρόφηση των υφασμάτων των επίπλων, τότε σίγουρα η απορρόφηση του χώρου είναι μεγαλύτερη από την ενδεδειγμένη και οι παραδοχές που κάναμε για διάχυτο ηχητικό πεδίο είναι λιγότερο ρεαλιστικές.

•ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΧΩΡΩΝ

Οι διαστάσεις των εργαστηριακών χώρων μπορούν να διατηρήσουν το διάχυτο ηχητικό πεδίο ακόμα και στις χαμηλές συχνότητες του χρησιμοποιούμενου φάσματος συχνοτήτων (100 Hz), ενώ οι υπό εξέταση χώροι είναι πολύ μικροί ακόμα και για τη συχνότητα των 125 Hz. Συγκεκριμένα κάτω από τα 125Hz οι μετρήσεις είναι ανακριβείς λόγω της μη ύπαρξης διάχυτου ηχητικού πεδίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μικρό όγκο των εξεταζόμενων χώρων, και ιδιαίτερα στους χώρους των υαλοπετασμάτων τύπου Α και Γ, όπου ο χώρος εκπομπής ήταν διάδρομος μικρού όγκου.

•ΣΤΑΣΙΜΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Το μεγαλύτερο μήκος κύματος στις μετρήσεις μας αντιστοιχεί στα 100Hz, επομένως το μεγαλύτερο μήκος κύματος ισούται με 3.4m. Για τη σωστή μέτρηση της στάθμης ηχητικής πίεσης πρέπει το μικρόφωνο να τοποθετείται σε απόσταση μεγαλύτερη από το μισό μήκος κύματος, δηλαδή μεγαλύτερη από 1.7m, ώστε αυτή να μην επηρεάζεται από τα ηχητικά κύματα που ανακλώνται από τις περιμετρικές επιφάνειες του εξεταζόμενου χώρου. Αυτό ήταν αδύνατο σε ορισμένους χώρους λόγω των μικρών τους διαστάσεων και ειδικά στη μέτρηση στάθμης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο εκπομπής, όταν ως δωμάτιο εκπομπής ορίστηκε ο διάδρομος του γραφείου, όπως στο κτίριο των υαλοπετασμάτων τύπου Α όπου ο διάδρομος μπροστά από τα πετάσματα έχει πλάτος 1.70 m. Επομένως, πρέπει να θεωρήσουμε ότι οι μετρήσεις μας στις χαμηλές συχνότητες (100,125,160Hz) είναι λιγότερο αξιόπιστες.

•ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΗΧΟΜΕΤΑΔΟΣΗ

ΜΕΣΩ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

Ένας σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού, στα κτίρια γραφείων, είναι το πολύπλοκο σύστημα εξαερισμού, κλιματισμού και άλλων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, οι οποίες για να καλύψουν τις ανάγκες των διαδοχικών χώρων γραφείων, αναπτύσσονται ως δίκτυα στην οροφή και καλύπτονται με ψευδοροφή. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, επίσης, αναπτύσσονται και στο δάπεδο. Οι κεντρικές μονάδες κλιματισμού και εξαερισμού αποτελούν διακλαδώσεις κοινών καναλιών προσαγωγής και απαγωγής για όλους τους χώρους. Αυτά μπορεί να επιτρέψουν την πλευρική μετάδοση του ήχου από το δωμάτιο εκπομπής στο δωμάτιο λήψης.

Η περίπτωση αυτή απαντάται στα κτίρια που μελετήθηκαν τα υαλοπετάσματα τύπου Α και Γ [Παράρτημα 6.1, 6.3] στα οποία έχει γίνει προσπάθεια να περιοριστεί ο συγκεκριμένος παράγοντας με τη χρήση ηχοφραγής με γυψοσανίδα μεταξύ ψευδοροφής και τελικής πλάκας οροφής πάνω από όλα τα κατακόρυφα διαχωριστικά πετάσματα [Παράρτημα 7]. Στο κτίριο όπου μετρήθηκαν τα υαλοπετάσματα τύπου Β υπάρχει επίσης ηχοφραγή με γυψοσανίδα επάνω από τα υαλοπετάσματα. Στα δωμάτια λήψης δεν υπάρχει ψευδοροφή και ο κλιματισμός γίνεται με ένα σύστημα εμφανούς αγωγού, ο οποίος διατρέχει τον κοινόχρηστο χώρο γραφείων, διακλαδίζεται στα γραφεία Α και Β και επιτρέπει τη μετάδοση του ήχου από τον κοινόχρηστο χώρο στο εσωτερικό των γραφείων [Παράρτημα 6.2]. Επίσης πλευρική διαρροή πιθανό να υπάρχει στα σημεία που ο αγωγός διαπερνά το μέτωπο της γυψοσανίδας πάνω από τα υαλοπετάσματα.

ΜΕΣΩ ΑΡΜΩΝ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ

Και στην περίπτωση των αποκλίσεων μεταξύ εργαστηριακών και επιτόπιων μετρήσεων σημαντική παράμετρος είναι το αεροστεγές σφράγισμα των αρμών. Αυτό αφορά στο σφράγισμα των αρμών του ίδιου του υαλοπετάσματος, στη σύνδεση δηλαδή του υαλοπίνακα με το πλαίσιο στήριξης και των υαλοπινάκων μεταξύ

τους. Επίσης, αφορά στο αεροστεγές σφράγισμα των αρμών συναρμογής του υαλοπετάσματος με την υπόλοιπη κατασκευή και ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου το υαλοπέτασμα σταματά σε ψευδοροφή και δεν φτάνει στην πλάκα της οροφής, όπως συμβαίνει και στα εξεταζόμενα δείγματα. Συνήθως η έλλειψη αεροσταγονότητας των αρμών οφείλεται, πέρα από κατασκευαστικό λάθος, στη φθορά του υλικού με την πάροδο του χρόνου, το οποίο όμως δεν εισέρχεται ως παράμετρος στις εν λόγω κατασκευές, οι οποίες είναι πρόσφατες.

6.5 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΛΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η προβλεπόμενη ηχομονωτική απόδοση των απλών υαλοπετασμάτων τύπου Α και Β στην κατασκευή, δεδομένων των μετρήσεων του σύνθετου πετάσματος και της πόρτας, υπολογίζεται μεγαλύτερη του σύνθετου πετάσματος και μειωμένη σε σχέση με τις εργαστηριακές μετρήσεις και τα θεωρητικά μοντέλα (Σχήμα 5.8.5). Βάσει των παραμέτρων που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους κάτι τέτοιο θα ήταν αναμενόμενο.

Παρατήρηση: Στο γραφείο Β, όπου μετρήθηκε το υαλοπέτασμα τύπου Β, δεν κατέστη δυνατό να υπολογιστεί η ηχομονωτική ικανότητα του αντίστοιχου απλού υαλοπετάσματος, διότι αποτελεί μέρος σύνθετου πετάσματος αποτελούμενου από τρία τμήματα, με ένα τμήμα γυψοσανίδας άγνωστης ηχομονωτικής απόδοσης.

6.6 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ ΤΥΠΟΥ Γ

Στην περίπτωση του υαλοπετάσματος τύπου Γ, δεδομένου του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης του απλού πετάσματος και της πόρτας όπως έχουν μετρηθεί στο εργαστήριο, γίνεται υπολογισμός του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης του σύνθετου πετάσματος. Βάσει των μετρήσεων ο φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του σύνθετου υαλοπετάσματος υπολείπεται αυτού που προβλέπεται και οι λόγοι είναι οι ίδιοι που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 6.4.

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την παρούσα εργασία παρατηρούμε ότι επιβεβαιώνονται οι κλασσικές αρχές της ηχομονωτικής απόδοσης των υαλοπινάκων, σύμφωνα με τις οποίες οι διπλοί υαλοπίνακες έχουν καλύτερη απόδοση από τους μονούς και η απόδοση αυτή βελτιώνεται επιπλέον με την αύξηση του βάθους του διακένου. Καθοριστικό ρόλο παίζουν οι συνθήκες στήριξης με το μέγεθος των απωλειών να αυξάνεται καθώς αυξάνεται το μήκος της περιμέτρου στήριξης.

Ως προς την πρόβλεψη του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης μέσω μαθηματικών μοντέλων, επιτυγχάνεται σχεδόν ακριβής συμφωνία με το δείκτη, όπως αυτός υπολογίζεται από εργαστηριακές μετρήσεις, με τους τύπους του M.J.Crocker [8], οι οποίοι αφορούν συγκεκριμένα σε υαλοπίνακες.

Η σύγκριση της ηχομονωτικής ικανότητας του σύνθετου πετάσματος στην κατασκευή δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα με την ηχομονωτική ικανότητα του απλού πετάσματος που εξετάζεται στο εργαστήριο. Όταν όμως ένας μηχανικός καλείται να επιλέξει υαλοπέτασμα είτε πρόκειται για τη χρήση του ως σύνθετου, είτε ως απλού, επιλέγει βάσει των εργαστηριακών προδιαγραφών. Σε αυτή την περίπτωση, η απόδοση της ηχομονωτικής ικανότητας του σύνθετου πετάσματος στην κατασκευή αναμένεται να είναι, κατά μέσο όρο, 15 dB μικρότερη από την εργαστηριακή.

Τα υαλοπετάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κλειστούς χώρους γραφείων όπου υπάρχουν απαιτήσεις ηχοπροστασίας, καθώς καλύπτονται οι απαιτήσεις των κριτηρίων θορύβου. Ωστόσο, πρέπει δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή της ψευδοροφής, η οποία αποτελεί συνήθη επιλογή σε επαγγελματικούς χώρους. Ο αρμός του υαλοπετάσματος με την ψευδοροφή και με την επέκταση του κατακόρυφου πετάσματος μέχρι την πλάκα οροφής (ηχοφραγή) αποτελεί ευαίσθητο σημείο, καθώς αποτελεί σημαντική οδό πλευρικής ηχομετάδοσης.

8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Marsh J., (1970). The airborne sound insulation of glass part 1 (part 2/ part3). Applied Acoustics 4, 1971.
- [2] Utley W.A., Fletcher B.L., (1969). Influence of edge conditions on the sound insulation of windows. Applied Acoustics 2, 1969.
- [3] Utley W.A., Fletcher B.L., (1972). The effect of edge conditions on the sound insulation of double windows. Journal of Sound and Vibration 26, 1973.
- [4] Ford R.D.(1993). Predicting the sound reduction index of laminated glass. Applied Acoustics 43,1994.
- [5] Schimmelpenningh J., (2012). Acoustic interlayers for laminated glass-what makes them different and how to estimate performance. Glass Performance Days 2012.
- [6] Tadeu A., Mateus D., (2000). Sound transmission through single, double, and triple glazing. Experimental evaluation. Applied Acoustics 62,2001.
- [7] Miskinis K., (2014). Comparison of sound insulation of windows with double glass unit. Applied Acoustics 92, 2015.
- [8] Crocker M.J., (2007). Handbook of Noise and Vibration Control, New Jersey, John Wiley & Sons.
- [9] Smith B.J. , Peters R.J., Owen S., (1996). Acoustics and Noise Control, United Kingdom, Pearson Longman.
- [10] Grueneisen P., (2003). SOUNDSPACE Architecture for sound and vision, Basel, Birkhäuser.
- [11] Πουλάκος Γ., (2006). Τεχνολογία Δομικών Υλικών: Συμπεριφορά των δομικών υλικών σε σχέση με τον ήχο. Αθήνα, ΕΜΠ, 2006.
- [12] Πουλάκος Γ., Κορωναίος Α., (1992).Τεχνικά Υλικά Τόμος 2, Αθήνα ,ΕΜΠ, 2005, <http://www.ntua.gr/vitruvius/2005/ty2.pdf>
- [13]Σωτηροπούλου Α.,(1996).Ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών ακροατηρίου.Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015, <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5850>.
- [14] Σωτηροπούλου Α., Noise and Vibration Transmission in Buildings, Σημειώσεις μαθήματος 'Τεχνολογία Δομικών Υλικών', Δ.Π.Μ.Σ 'Επιστήμη και τεχνολογία Υλικών', ΕΜΠ.
- [15] SRL, (1976). Practical Building Acoustics. Sound Research Laboratories Ltd, Suffolk, United Kingdom.
- [16] Σαμούρη Ζ., (2009). Συγκριτική μελέτη μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στο κτίριο της ηχομονωτικής ικανότητας διαχωριστικών πετασμάτων, Διπλωματική εργασία, επιβλέπων καθηγητής: Σωτηροπούλου Α., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
- [17] Ράπτης Κ. Σημειώσεις μαθήματος "Επιστήμη γυαλιών και νανοσυνθέτων υλικών", Δ.Π.Μ.Σ 'Επιστήμη και τεχνολογία Υλικών',ΕΜΠ.
- [18] Κακαβός Ν., Δελήχα Α., Λιακατής Ε., (2011). Γυαλί ως δομικό υλικό 7ο Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών 2011, Εταιρεία Ερευνών Μεταλλικών Έργων (ΕΕΜΕ), Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. <http://eeme.ntua.gr/7th-conference.html>
- [19] Οικονομου Ν., Στεφανιδου Μ., Μαυρίδου Σ. Ειδικά θέματα δομικών υλικών. Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. opencourses.auth.gr
- [20] Ρηγα Α., (2011).Το γυαλί στις κατασκευές. Διπλωματική εργασία, επιβλέπων καθηγητής: Πουλάκος Γ., τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, τομέας Τεχνικών Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [21] Lyons A., (1997). Materials for Architects and Builders. Third edition, Elsevier, 2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

1.ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ	73
1.1 ΗΧΟΣ.....	73
1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	73
1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	74
1.4 ΕΙΔΗ ΗΧΩΝ	75
1.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ.....	76
1.6 Ο ΗΧΟΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ.....	79
1.7 ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ.....	83
1.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ	85
1.9 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R'	86
1.10 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ	87
2. ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ	88
2.1 ΑΠΛΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	88
2.2 ΔΙΠΛΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	90
2.3 ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	90
2.4 ΠΟΡΤΕΣ.....	90
3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ	91
3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΟΝΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ. 91	
3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ ...	92
3.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΠΛΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ [11]	93
4. ΓΥΑΛΙ	94
4.1 ΥΑΛΩΔΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗ.....	94
4.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	95
4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	95
4.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ (FLOAT)	96
4.5 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ	96
4.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	97
5.ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	99
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	99
5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ.....	105
6.ΣΧΕΔΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΡΟΦΗΣ	107
6.1 ΚΤΙΡΙΟ COSMOTE	107
6.2 ΚΤΙΡΙΟ BMS UNITED BUNKERS	108
6.3 ΚΤΙΡΙΟ ΟΤΕ	109
7.ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΗΧΟΦΡΑΓΗΣ ΨΕΥΔΟΡΟΦΗΣ	111
8.ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ	113
8.1 ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Α	113
8.2 ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Β.....	114
8.3 ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Γ	115

1.1 ΗΧΟΣ

Ο ήχος είναι μια μηχανική τοπική διαταραχή, η οποία διαδίδεται σε ένα ελαστικό μέσο με συγκεκριμένη ταχύτητα και με ορισμένη συχνότητα διεγείροντας το αισθητήριο της ακοής προκαλώντας ακουστικό αίσθημα.

Ο ήχος μεταδίδεται με την μορφή ηχητικών κυμάτων και μπορεί να περιλαμβάνει κάθε διαταραχή, που μπορεί να διαδοθεί μέσα σε ένα ελαστικό μέσο.

Εμείς θα ασχοληθούμε με τον ήχο, ο οποίος διαδίδεται μέσα από ένα υλικό. Η διαταραχή, που εξετάζεται, είναι η ηχητική πίεση P , δηλαδή η μεταβολή της ηχητικής πίεσης γύρω από τη βαρομετρική τιμή της.

1.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

• ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Η ταχύτητα του ήχου είναι η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το ηχητικό κύμα μέσα σε ένα ελαστικό μέσο, συμβολίζεται με c και μετριέται σε [m/s] (μέτρα ανά δευτερόλεπτο). Η ταχύτητα του ήχου στα στερεά και τα υγρά διαφέρει από αυτή στον αέρα και εξαρτάται από το υλικό του μέσου. Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει τη συγκεκριμένη παράμετρο είναι η θερμοκρασία. Στην ακουστική χώρων χρησιμοποιούμε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου που λαμβάνεται γύρω στους 20 °C, είναι ίδια για όλες στις συχνότητες και ισούται με 343 m/s.

• ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Ως περίοδος T του ηχητικού κύματος ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένα ηχητικό κύμα για να πραγματοποιήσει ένα πλήρη κύκλο, μετριέται σε [s] (δευτερόλεπτα).

• ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

Ως συχνότητα f του ηχητικού κύματος ορίζεται το πλήθος των περιόδων ανά δευτερόλεπτο. Μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hertz). Η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της περιόδου:

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

Το ακουστό φάσμα συχνοτήτων για τους ανθρώπους κυμαίνεται μεταξύ 20Hz και 20kHz. Ήχοι με συχνότητα κάτω από 20Hz δεν είναι ακουστοί και ονομάζονται υπόηχοι (infrasonic), ενώ ήχοι με συχνότητα πάνω από 20kHz δεν είναι επίσης ακουστοί και ονομάζονται υπέρηχοι (ultrasonic). Το φάσμα συχνοτήτων της κτιριακής ακουστικής είναι από 100Hz έως 3.15kHz.

• ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Το μήκος κύματος του ήχου αποτελεί την απόσταση που διανύει το ηχητικό κύμα μέχρι να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος, συμβολίζεται με λ , και μετριέται σε [m] (μέτρο). Οι ηχητικοί παράμετροι (μήκος κύματος, ταχύτητα, συχνότητα) συνδέονται με τη σχέση:

$$c = \lambda f$$

• ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ, ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ , ΗΧΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Ως ηχητική ένταση I , του ηχητικού κύματος προς μία κατεύθυνση, ορίζεται η ενέργεια E , η οποία διέρχεται από τη μονάδα επιφανείας S , όταν αυτή είναι τοποθετημένη κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του ηχητικού κύματος στη μονάδα του χρόνου. Ισχύει:

$$I = \frac{E}{St}$$

Επειδή η ισχύς W , του ηχητικού κύματος είναι:

$$W = \frac{E}{t}$$

Η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$I = \frac{W}{S}$$

Η ηχητική ένταση μετριέται σε $\frac{W}{m^2}$ (βατ ανά τετραγωνικό μέτρο).

Η ηχητική ενέργεια είναι η ενέργεια που περιέχει ένα ελαστικό μέσο, λόγω της παρουσίας ηχητικού πεδίου, συμβολίζεται με W και μετριέται σε J (τζάουλ). Ηχητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος, όπου υφίστανται ηχητικά κύματα, καθώς και η ηχητική κατάσταση, που δημιουργείται από τα εν λόγω κύματα.

Ηχητική πίεση σε συγκεκριμένο σημείο του ηχητικού πεδίου είναι η διαφορά της στατικής πίεσης του μέσου από την ολική πίεση που υπάρχει σε αυτό το σημείο. Συμβολίζεται με p και μετριέται σε Pa (πασκάλ). Η στάθμη της ηχητικής πίεσης είναι το μέγεθος :

$$10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

όπου p είναι η ενεργός τιμή της ηχητικής πίεσης και p_0 είναι η ηχητική πίεση αναφοράς (στον αέρα $p_0 = 20 \mu Pa$). Ως μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται το [dB] (ντεσιμπέλ).

1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Κατά τη διάδοση του ήχου σε κλειστούς χώρους παρατηρούνται φαινόμενα όπως η ανάκλαση, η διάχυση, η περίθλαση και η ηχοαπορρόφηση, τις ιδιότητες των οποίων προσπαθούμε να εκμεταλλευτούμε και να αξιοποιήσουμε κατά τον ακουστικό σχεδιασμό.

• ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Όταν κατά τη διάδοσή του το ηχητικό κύμα συναντήσει λεία και άκαμπτη επιφάνεια, ανακλάται. Όταν η γωνία πρόσπτωσης του ήχου είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης έχουμε την κατοπτρική ανάκλαση.

Το φαινόμενο της ηχοανάκλασης συμβαίνει όταν το μήκος κύματος του προσπίπτοντος ηχητικού κύματος είναι πολύ μικρότερο από τις γεωμετρικές διαστάσεις της επιφάνειας, η οποία προκαλεί την ηχοανάκλαση.

• ΔΙΑΧΥΣΗ

Διάχυση ονομάζεται ο σκεδασμός μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής και υφίσταται όταν το μήκος κύματος λ του ήχου ισούται με το μέγεθος της ανακλαστικής επιφάνειας.

• ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Η περίθλαση είναι η αλλαγή της διεύθυνσης διάδοσης του ήχου, λαμβάνει χώρα κοντά στις ασυνέχειες του μέσου διάδοσης και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ασαφούς ηχητικής σκιάς, δηλαδή μείωση της στάθμης του ήχου. Για συχνότητες πάνω από 125Hz, τις οποίες μελετάμε στην ακουστική χώρου, η περίθλαση είναι σημαντική. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου.

• ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΥΜΒΟΛΗ

Όταν σε κάποιο σημείο του χώρου συναντιούνται δύο ή περισσότερα ηχητικά κύματα, η κίνηση των μορίων του αέρα στο σημείο αυτό θα εξαρτάται από τη σύνθεση των επιμέρους ηχητικών κυμάτων.

• ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Κατά τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων σε ένα μέσο ή κατά την πρόσπτωσή τους σε επιφάνειες ή αντικείμενα παρατηρείται μείωση της ηχητικής ενέργειάς τους, η οποία οφείλεται σε απορρόφηση μέρους της ηχητικής ενέργειας, συνήθως θερμική. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηχοαπορρόφηση.

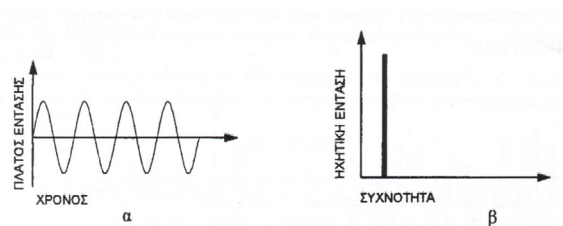
Πιο συγκεκριμένα κατά την πρόσπτωση του ήχου σε κάποιο πέτασμα του χώρου, ένα ποσό του ανακλάται και ένα άλλο απορροφάται. Ένα μέρος της ενέργειας που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμότητα εντός του υλικού και το υπόλοιπο μεταδίδεται ως ηχητική ενέργεια στο μέσο που υπάρχει πίσω από το πέτασμα (ηχομετάδοση).

1.4 ΕΙΔΗ ΗΧΩΝ

• ΑΠΛΟΣ ΗΧΟΣ Ή ΑΠΛΟΣ (ΚΑΘΑΡΟΣ) ΤΟΝΟΣ

Ο απλός ήχος ή απλός τόνος είναι μια περιοδική διαταραχή στην οποία η μεταβολή ενός χαρακτηριστικού μεγέθους του ήχου, όπως π.χ. της ηχητικής έντασης, είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου και η αντίστοιχη γραφική παράσταση της ημιτονοειδής καμπύλη (Σχήμα 1.1 α).

Ο ήχος αυτός παράγεται μόνο τεχνητά για μετρητικούς σκοπούς. Η γραφική παράσταση της ηχητικής έντασης σε συνάρτηση με τη συχνότητα ονομάζεται φασματική κατανομή ή ηχητικό φάσμα. Στην περίπτωση του απλού ήχου το ηχητικό φάσμα είναι γραμμικό και μάλιστα αποτελείται από μία μόνο γραμμή (Σχήμα 1.1 β).

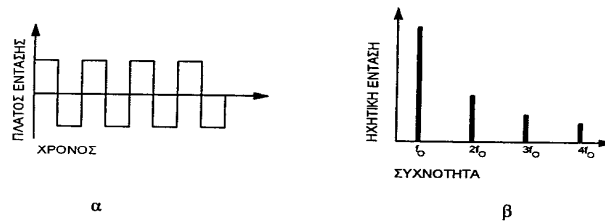


Σχήμα 1.1 Απλος ήχος. [12]

• ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΗΧΟΣ

Ο σύνθετος ήχος είναι μια περιοδική διαταραχή, στην οποία η μεταβολή της ηχητικής έντασης δεν είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου (Σχήμα 1.2 α). Ο σύνθετος ήχος αναλύεται μαθηματικά σε δύο ή περισσότερους απλούς ήχους. Από αυτούς εκείνος ο οποίος έχει τη μεγαλύτερη περίοδο T_1 , η οποία είναι ίση με τη περίοδο T του σύνθετου ήχου, και επομένως τη μικρότερη συχνότητα f_1 , ονομάζεται θεμελιώδης ή πρώτος αρμονικός του σύνθετου ήχου.

Το ηχητικό φάσμα του σύνθετου ήχου είναι γραμμικό και αποτελείται από ένα σύνολο γραμμών (Σχήμα 1.2 β). Σύνθετοι ήχοι είναι οι ήχοι των μουσικών οργάνων και της φωνής.

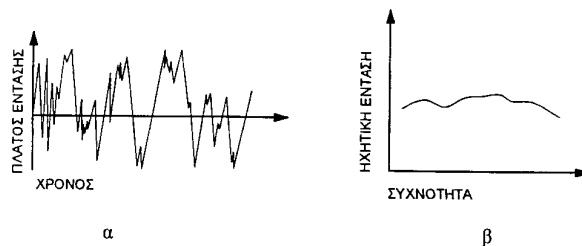


Σχήμα 1.2 Σύνθετος ήχος. [12]

• ΘΟΡΥΒΟΣ

Ως θόρυβος ορίζεται κάθε ακανόνιστος απεριοδικός ήχος του οποίου η στιγμιαία τιμή αυξομειώνεται, γενικά, με τυχαίο τρόπο (Σχήμα 1.3 α). Από τη μαθηματική ανάλυση του θορύβου αποδεικνύεται ότι αποτελείται από άπειρους απλούς ήχους των οποίων οι συχνότητες δεν συνδέονται με καμία σχέση μεταξύ τους. Τέτοιος ήχος είναι π.χ. ο ήχος ο οποίος παράγεται από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων.

Το ηχητικό φάσμα του θορύβου είναι συνεχές, δηλαδή οι συνιστώσες του έχουν συνεχή κατανομή σε όλη την περιοχή των συχνοτήτων (Σχήμα 1.3 β).



Σχήμα 1.3 Θόρυβος.[12]

Από την άποψη της ηχοπροστασίας ως θόρυβος καθορίζεται κάθε ανεπιθύμητος ήχος. Ο ήχος, δηλαδή, ο οποίος προξενεί ενόχληση σε κάποιον, ανεξάρτητα από την φύση του.

1.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

Η ηχητική ένταση δεν μετράται εύκολα, σε αντίθεση με την ηχητική πίεση. Τα δύο αυτά μέθη συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση :

$$I = \frac{P^2}{2\rho c} \quad , \quad \frac{W}{m^2}$$

Όπου είναι :

P: ηχητική πίεση του αέρα, [N/mm²],

ρ: πυκνότητα αέρα, [Kg/m³]

c: ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα, [m²/s]

Συνεπώς μετράται η ηχητική πίεση και από την παραπάνω σχέση υπολογίζεται η ηχητική ένταση.

• ΖΩΝΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Τα ακουστικά προβλήματα αντιμετωπίζονται σε συνάρτηση με τη συχνότητα, αφού οι περισσότεροι ήχοι αποτελούνται από διάφορες συχνότητες, χαμηλές, μεσαίες, υψηλές.

Λόγω του χαρακτήρα του θορύβου δεν έχει νόημα να προσδιοριστεί η στάθμη της ηχητικής έντασης σε συγκεκριμένες συχνότητες. Για τη περιγραφή του θορύβου μετράται η στάθμη της ηχητικής έντασης σε καθορισμένες περιοχές συχνοτήτων, οι οποίες ονομάζονται ζώνες συχνοτήτων ή φασματικές ζώνες.

Στην ακουστική, η περιοχή συχνοτήτων χωρίζεται σε ζώνες ογδός ή οκτάβα. Οκτάβα είναι κάθε ζώνη συχνοτήτων, που ο λόγος της αρχικής της συχνότητας προς την τελική ισούται με 2. Η οκτάβα είναι μονάδα μέτρησης διαστήματος συχνοτήτων και λαμβάνει την ονομασία της από την κεντρική συχνότητα του κάθε διαστήματος. Ο λόγος των κεντρικών συχνοτήτων σε δύο διαδοχικές οκτάβες ισούται με δύο. Οι κεντρικές συχνότητες του ακουστού ηχητικού φάσματος είναι οι 20, 40, 80, 160, 315, 630, 1250, 2500, 5000, 10000, 20000 Hz και οι κεντρικές συχνότητες από τις οκτάβες που χρησιμοποιούνται για την ακουστική χώρου είναι οι 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz.

Για πιο λεπτομερή ανάλυση των ακουστικών μεγεθών, η περιοχή συχνοτήτων χωρίζεται σε ζώνες μικρότερου ζωνικού εύρους, τις ζώνες τρίτων ογδός ή τριτοοκτάβα. Στην τριτοοκταβική ζώνη συχνοτήτων ο λόγος της αρχικής της συχνότητας προς την τελική ισούται με 2^{1/3}. Οι κεντρικές συχνότητες του ακουστού ηχητικού φάσματος είναι οι 20, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000 Hz και οι κεντρικές συχνότητες από τις τριτοοκτάβες που χρησιμοποιούνται για την ακουστική χώρου είναι οι 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 Hz.

• Η ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΩΝ DECIBELS

Έχει προσδιοριστεί πειραματικά ότι ο λόγος της μέγιστης έντασης $I_{\text{μεγ}}$ των ήχων, που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος χωρίς να αισθανθεί δυσαρέσκεια ή ενόχληση, προς την ελάχιστη ένταση $I_{\text{ελαχ}}$ που πρέπει να έχει ένας ήχος για να γίνει ακουστός, είναι της τάξης μεγέθους 10¹². Παρατηρείται ότι η γραμμική περιοχή των ακουστών ηχητικών εντάσεων είναι πάρα πολύ μεγάλη. Γι' αυτό στην πράξη χρησιμοποιείται μια λογαριθμική κλίμακα μέτρησης της ηχητικής έντασης, η κλίμακα των decibels [dB].

Η τιμή της ηχητικής έντασης σε dB ορίζεται ως το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογαρίθμου της ηχητικής έντασης, I, προς την ηχητική ένταση αναφοράς, I_0 . Είναι :

$$dB = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Το decibel, από τον ορισμό του, είναι μια σχετική μονάδα και η τιμή του εξαρτάται από την τιμή της I_0 . Πρέπει, επομένως, να καθοριστεί μια σταθερή τιμή I_0 . Γι' αυτό ορίστηκε ως ηχητική ένταση αναφοράς η ελάχιστη ακουστή ηχητική ένταση στη συχνότητα των 1000Hz, η οποία είναι :

$$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

Όταν η ηχητική ένταση εκφράζεται σε dB, ονομάζεται στάθμη ηχητικής έντασης και συμβολίζεται με L.

Λογω της λογαριθμικής τους φύσης, οι τιμές σε dB δεν μπορούν απλώς να προστεθούν. Για να προβλεφθεί αλλαγή του επιπέδου ηχητικής πίεσης όταν προστίθενται επιπλέον πηγές ήχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής κανόνες [14] :

Διαφορά μεταξύ δύο ηχητικών επιπέδων:

0-1dB → προστίθενται 3dB στην υψηλότερη τιμή

2-3dB → προστίθενται 2dB στην υψηλότερη τιμή

4-8dB → προστίθεται 1dB στην υψηλότερη τιμή

>8dB → υπερισχύει η υψηλότερη τιμή

Άνθρωπινη ευαισθησία στις αλλαγές ηχητικού επιπέδου:

1dB: μη αντιληπτή αλλαγή

3dB: ελάχιστα αντιληπτή αλλαγή

6dB: σαφής αντιληπτή αλλαγή

10dB: ο ήχος γίνεται αντιληπτός ως διπλάσια δυνατός

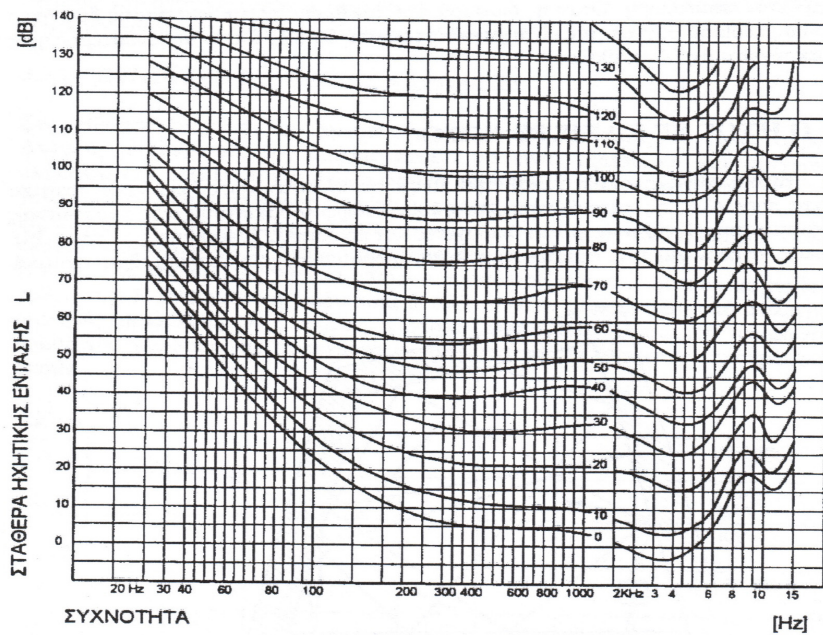
20dB: τέσσερις φορές πιο δυνατός ήχος

• ΙΣΟΑΚΟΥΣΤΟΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Το ανθρώπινο αυτί έχει την ικανότητα να κάνει μια μορφή ηχοανάλυσης των διαφόρων ήχων που ακούει και να διακρίνει τις διαφορετικές συχνότητες, όπως επίσης και να συσχετίζει τις συχνότητες μεταξύ τους. Έτσι ξεχωρίζει τις φωνές των ανθρώπων και τους ήχους από τα διάφορα μουσικά όργανα.

Η αντίληψη της στάθμης ενός ήχου με υποκειμενικά κριτήρια, υπό την προϋπόθεση θεώρησης φυσιολογικού ακροατή, είναι ορισμένη ως ακουστότητα και μετριέται σε sone (σον).

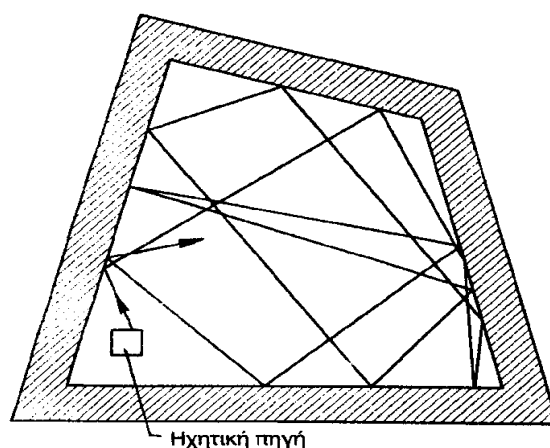
Το ανθρώπινο αυτί δεν παρουσιάζει την ίδια ευαισθησία στον ήχο σε όλη την περιοχή συχνοτήτων, και το φαινόμενο αυτό περιγράφεται από το διάγραμμα ισοακουστοτικών καμπυλών, στο οποίο δίνεται η στάθμη ηχητικής έντασης σε συνάρτηση με τη συχνότητα (Σχήμα 1.4). Η κάθε καμπύλη συνδέει σημεία που αντιπροσωπεύουν καθαρούς τόνους με ίσες στάθμες ακουστότητας. Δηλαδή, κατά μήκος αυτών των καμπύλων, το ανθρώπινο αυτί ακούει το ίδιο καλά. Η ισοακουστοτική καμπύλη 0, η οποία δίνει σε κάθε συχνότητα την ελάχιστη στάθμη έντασης, που πρέπει να έχει ένας ήχος για να γίνει ακουστός, ονομάζεται κατώφλι ακουστότητας, ενώ η αντίστοιχη καμπύλη 120, ονομάζεται, όριο πόνου, γιατί στις υψηλότερες περιοχές δημιουργείται στο αυτί το αίσθημα του πόνου.



Σχήμα 1.4 Ισοακουστοτικές καμπύλες. [12]

1.6 Ο ΗΧΟΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

Μια ηχητική πηγή η οποία λειτουργεί μέσα σε κλειστό χώρο, εκπέμπει ηχητικά κύματα προς όλες τις κατευθύνσεις, τα οποία καθώς προσπίπτουν στις περατωτικές επιφάνειες του χώρου υφίστανται διαδοχικές και πολλαπλές ανακλάσεις. Σε κάθε σημείο του χώρου υπάρχουν πολυάριθμα ηχητικά κύματα, τα οποία δημιουργούνται από τις ηχοανακλάσεις και διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε κάθε ηχοανάκλαση, τα ηχητικά κύματα χάνουν μέρος της ηχητικής τους ενέργειας ανάλογα με τα ηχοαπορροφητικά των διάφορων επιφανειών του χώρου.

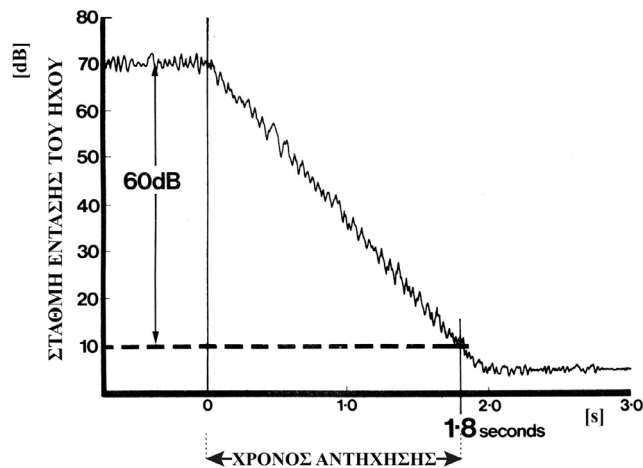


Σχήμα 1.6 Διάδοση του ήχου σε κλειστό χώρο. [12]

• ANΤΗΧΗΣΗ

Όταν η ηχητική πηγή, η οποία λειτουργεί μέσα σε κλειστό χώρο, σταματήσει σε κάποια χρονική στιγμή να εκπέμπει ήχο, το ηχητικό πεδίο του χώρου δεν θα σταματήσει να υπάρχει απότομα. Αντίθετα, λόγω των πολλαπλών ηχοανακλάσεων στις περατωτικές επιφάνειες θα εξακολουθήσει να διατηρείται για κάποιο χρονικό διάστημα ανάλογα με την ηχοαπορροφητικότητα των επιφανειών.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντήχηση και χαρακτηρίζεται από τον χρόνο αντήχησης. Ο χρόνος αντήχησης (ανά συχνότητα) είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος, από τη στιγμή της διακοπής παραγωγής του μέσα σε ένα χώρο για να χάσει 60dB από την αρχική του ένταση.



Σχήμα 1.7 Σχηματική απεικόνιση της απόσβεσης του ήχου σε κλειστό χώρο. Ο χρόνος που αντιστοιχεί σε απόσβεση του ήχου κατά 60 dB είναι ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας. [15]

Γνωρίζοντας το βέλτιστο χρόνο αντήχησης του χώρου που ελέγχουμε ή σχεδιάζουμε, έχουμε τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε σε μια πρώτη προσέγγιση το εμβαδόν των ηχοαπορροφητικών επιφανειών, χρησιμοποιώντας τον τύπο του Sabine:

$$R.T. = \frac{0.16V}{\sum_1^n F_i a_i + Vx}$$

R.T : χρόνος αντήχησης [s]

V : όγκος του χώρου [m³]

F_i: είναι η επιφάνεια του ν-ιστού υλικού του χώρου [m²]

a_i: συντελεστής ηχοαπορρόφησης του ν-ιστού υλικού του χώρου [Sab]

x: απορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου [m²Sab/m³]

v: το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών του χώρου

Για να ισχύει ο τύπος του χρόνου αντήχησης, όπως διατυπώθηκε από τον Sabine, απαιτείται επαρκής ηχοδιάχυση στο χώρο.

Ο χρόνος αντήχησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά τον υπολογισμό της ηχοαπορρόφησης.

• ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ

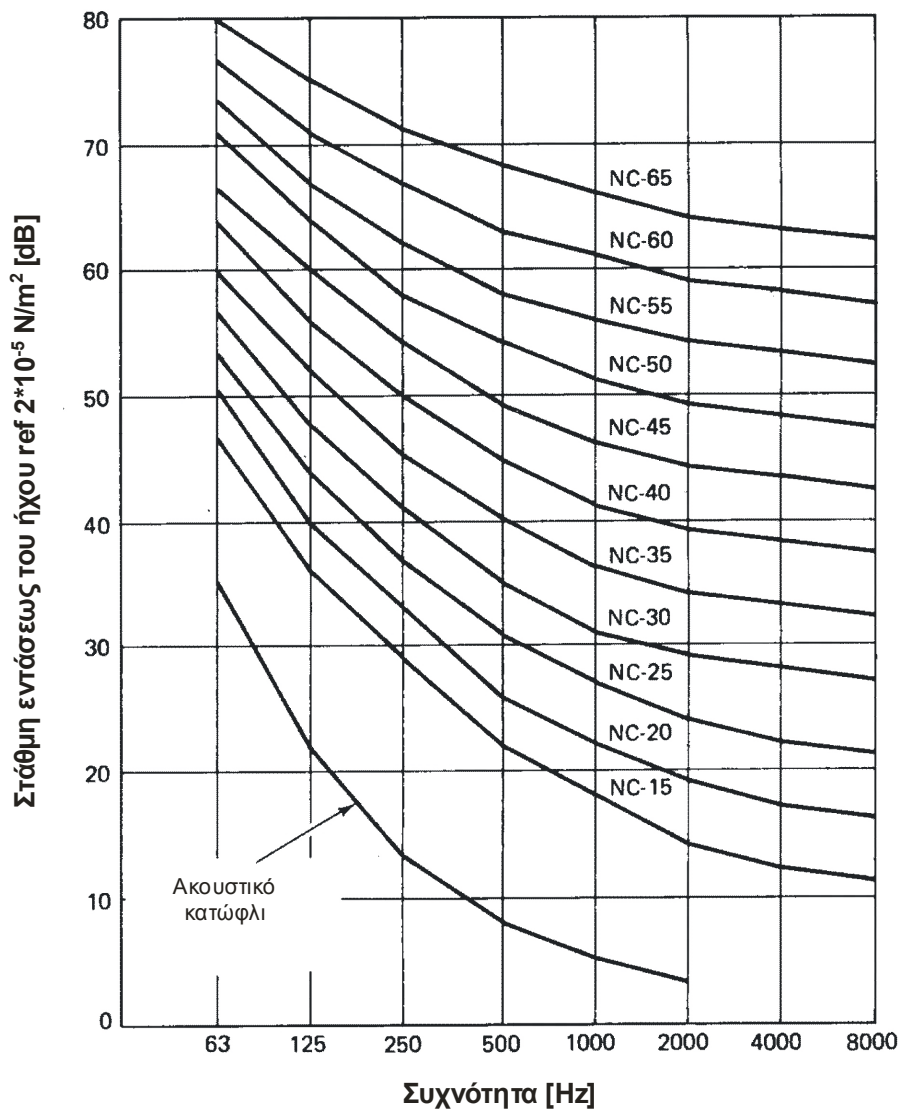
Ο θόρυβος βάθους (Background noise) προέρχεται είτε από εξωτερικούς παράγοντες, όπως τα μεταφορικά μέσα, ο άνεμος, η βροχή, το χαλάζι, η συγκέντρωση ανθρώπων είτε από εσωτερικούς, όπως το σύστημα κλιματισμού, τα φώτα, το ακροατήριο του χώρου.

Για τη σωστή λειτουργία ενός χώρου είναι απαραίτητη η ελαχιστοποίηση του θορύβου βάθους στο εσωτερικό του χώρου. Το βέλτιστο περιβάλλον θορύβου εξαρτάται από υποκειμενικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Για να βρεθούν οι απαιτήσεις των ανθρώπων πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις παράγοντες: το επίπεδο θορύβου, το άτομο και η δραστηριότητά του. Είναι πιθανό να γίνονται παραδοχές για τις ατομικές διαφορές και τα κριτήρια πρέπει να είναι αυστηρά τόσο ώστε να εξασφαλίζουν ότι σχεδόν όλοι είναι ικανοποιημένοι. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί τιμές ανεκτής στάθμης θορύβου σε συνάρτηση με τη χρήση του χώρου και ονομάζονται κριτήρια θορύβου (Noise Criteria - NC) (Σχήμα 1.8).

Δραστηριότητα	NC
Αποδεκτές συνθήκες εργασίας με την ελάχιστη λεκτική παρέμβαση. (Βιομηχανικές περιοχές, εμπορικές περιοχές, όπως γκαράζ, κλειστά πάρκινγκ αυτοκινήτων, πλυντήρια, κ.τ.λ.)	45 - 55
Αποδεκτές οι μέτριες συνθήκες ακουστικής. (Χώροι με μηχανήματα γραφείου, καφετέριες, χώροι εργοστασίων, διάδρομοι, μπάνια, κ.τ.λ.)	40 - 45
Απαιτούμενες οι σχετικά καλές συνθήκες ακουστικής. (Μεγάλα γραφεία, εστιατόρια, κ.τ.λ.)	35 - 40
Απαιτούμενες οι καλές συνθήκες ακουστικής. (Ιδιωτικά γραφεία, τάξεις, βιβλιοθήκες, κ.τ.λ.)	30 - 35
Ύπνος, ξεκούραση. (Σπίτια, διαμερίσματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.τ.λ.)	20 - 30
Απαιτούμενες οι πολύ καλές συνθήκες ακουστικής. (Αμφιθέατρα, θέατρα, εκκλησίες, κ.τ.λ.)	25
Απαιτούμενες οι άριστες συνθήκες ακουστικής. (Αίθουσες συναυλιών, τηλεοπτικά στούντιο.)	20
Απαιτούμενες οι εξειδικευμένες συνθήκες ακουστικής. (Πειραματικά ακουστικά εργαστήρια, κ.τ.λ.)	15

Σχήμα 1.8 Κριτήρια θορύβου ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου.[15]

Έχει καθιερωθεί το διάγραμμα καμπύλων κριτηρίων θορύβου (Σχήμα 1.9), στο οποίο τοποθετούμε τις μετρήσεις του θορύβου βάθους συναρτήσει της συχνότητας, έτσι ώστε να βρούμε την καμπύλη που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χώρο γραφείου και είναι αυτή με τη χαμηλότερη τιμή, την οποία δεν ξεπερνά το φάσμα θορύβου βάθους. Έπειτα, συγκρίνουμε την τιμή NC στο χώρο με την αποδεκτή τιμή θορύβου (Σχήμα 1.8), για να διαπιστώσουμε αν την υπερβαίνει ή όχι.



Σχήμα 1.9 Καμπύλες κριτηρίων θορύβου. [15]

• ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Το φαινόμενο της ηχοαπορρόφησης χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή ηχοαπορρόφησης. Ως συντελεστής ηχοαπορρόφησης α , μιας επιφανείας ή ενός υλικού ορίζεται ο λόγος της απορροφούμενης ηχητικής ισχύος, P_α , προς την προσπίπτουσα ηχητική ισχύ P_i :

$$\alpha = P_\alpha / P_i$$

Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης είναι αδιάστατο μέγεθος και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

Η ηχοαπορρόφηση ενός συγκεκριμένου υλικού εξαρτάται από τη συχνότητα, τη φύση του υλικού και τη γωνία ηχοπροσπτώσεως. Η ολική ηχοαπορρόφηση ενός χώρου εξαρτάται από την ποσότητα και τη θέση των ηχοαπορροφητικών υλικών.

1.7 ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ

Όταν σε ένα διαχωριστικό πέτασμα προσπίπτουν ηχητικά κύματα, ένα τμήμα της ηχητικής ισχύος τους ανακλάται ή απορροφάται από το πέτασμα και το υπόλοιπο τμήμα της διέρχεται στην άλλη πλευρά του. Η ιδιότητα του διαχωριστικού πετάσματος να εμποδίζει την ηχομετάδοση από την μια πλευρά του στην άλλη ονομάζεται ηχομόνωση. Επίσης, ως ηχομόνωση αναφέρονται και όλα τα μέτρα που λαμβάνονται για την μείωση της ηχομετάδοσης.

Η ηχομόνωση αναφέρεται στην ικανότητα ενός σώματος να μειώνει την ενέργεια του ήχου που περνά από μέσα του.

Σε σχέση με την ηχομόνωση ο ήχος διακρίνεται σε αερόφερτο και κτυπογενή.

Αερόφερτος ήχος είναι ο ήχος ο οποίος φτάνει στο εξεταζόμενο κτιριακό στοιχείο μέσω του αέρα. Η ηχομόνωση σ' αυτή τη περίπτωση ονομάζεται αερόφερτη ηχομόνωση και αφορά τα μονοπάτια εκείνα της κατασκευής που συμμετέχουν στην διάδοση του αερόφερτου ήχου.

Κτυπογενής ήχος είναι ο ήχος που παράγεται με κτυπήματα πάνω στο εξεταζόμενο κτιριακό στοιχείο. Στα κτίρια, ο κτυπογενής ήχος δημιουργείται στο πάτωμα από την πτώση ή την κρούση διαφόρων αντικειμένων πάνω σ' αυτό ή από τον κραδασμό μηχανημάτων. Η ηχομόνωση σ' αυτή τη περίπτωση ονομάζεται κτυπογενής ηχομόνωση, και αφορά τα μονοπάτια εκείνα της κατασκευής που συμμετέχουν στην διάδοση του κτυπογενούς ήχου.

Στην πράξη δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των στοιχείων του κτιρίου, αφού μπορεί να συμμετέχουν εξίσου στην αερόφερτη και στη κτυπογενή μετάδοση του ήχου. Διαφοροποίηση εμφανίζεται στις τεχνικές μέτρησης της ηχομόνωσης ή στη θεωρητική διερεύνηση του φαινομένου της μετάδοσης του ήχου.

Η αερόφερτη ηχομόνωση είναι περισσότερο σημαντική στα συνεχόμενα δωμάτια, αφού η παρείσδυση του αερόφερτου θορύβου από το ένα δωμάτιο στο άλλο μπορεί να είναι πολύ ενοχλητική.

• ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΜΕΣΩ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ [9]

Ας υποθέσουμε δύο συνεχόμενα δωμάτια που χωρίζονται με διαχωριστικό πέτασμα. Στο ένα δωμάτιο υπάρχει μια ηχητική πηγή που εκπέμπει ήχο και ονομάζεται δωμάτιο ηχητικής εκπομπής, ενώ το άλλο στο οποίο φτάνει ο ήχος ονομάζεται δωμάτιο λήψης, ο ήχος φτάνει στο δωμάτιο ηχητικής λήψης μέσω διάφορων διαδρομών (Σχήμα 1.10):

ΑΜΕΣΗ/ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΜΕΤΑΔΟΣΗ :

Ο αερόφερτος ήχος στο δωμάτιο εκπομπής θέτει το διαχωριστικό πέτασμα σε ταλάντωση, το οποίο άμεσα εκπέμπει τον ήχο στο δωμάτιο λήψης, τότε έχουμε άμεση ή απευθείας ηχομετάδοση (Σχήμα 1.10 Α).

Το ποσό της απόσβεσης εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου, τη μάζα, τις συνθήκες στήριξης και τις συχνότητες συντονισμού του διαχωριστικού.

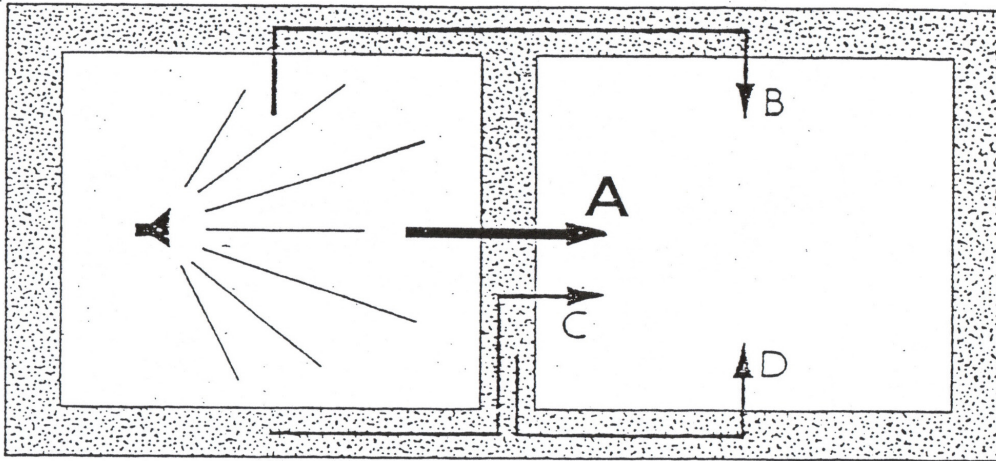
ΕΜΜΕΣΗ/ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΗΧΟΜΕΤΑΔΟΣΗ:

1.Ο αερόφερτος ήχος στο δωμάτιο εκπομπής διεγείρει τους υπόλοιπους τοίχους πέραν του διαχωριστικού. Η ενέργεια μεταδίδεται μέσω της κατασκευής και επανεκπέμπεται από άλλο πέτασμα στο χώρο λήψης (Σχήμα 1.10 Β, C).

2.Κάθε τοίχος διεγείρεται. Ο ήχος μεταδίδεται στο διαχωριστικό τοίχο και εκπέμπεται από αυτόν (Σχήμα 1.10 D).

3.Ο ήχος μεταδίδεται μέσω κενών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων (πχ.αεραγωγών) στην οροφή και στο δάπεδο.

Αυτό σημαίνει ότι οι εργαστηριακές μετρήσεις της ηχητικής μόνωσης που παρέχει ένα χώρισμα, το οποίο στερεώνεται σε τεράστιους τοίχους θα δώσει διαφορετικά αποτελέσματα από αυτά που επιτυγχάνονται σε πραγματικές κατασκευές. Υπάρχει ένα όριο στη μόνωση που επιτυγχάνεται βελτιώνοντας τη στήριξη του πετάσματος. Όταν ένα πέτασμα έχει χαμηλή ηχομονωτική αξία της τάξης των 35dB ή λιγότερο, η πλευρική ηχομετάδοση έχει μικρή επίδραση, ενώ όταν επιτυγχάνονται τιμές ηχομόνωσης 50dB είναι περιορισμένη η δυνατή βελτίωση από έλεγχο των έμμεσων διαδρομών διάδοσης του ήχου.



Σχήμα 1.10 Διαδρομές ηχομετάδοσης αερόφερτου ήχου.[14]

Οι ιδιότητες ηχομετάδοσης ενός πετάσματος μπορούν να διακριθούν σε τρεις περιοχές:

1. Η περιοχή όπου είναι σημαντικές οι συνθήκες συντονισμού και η ακαμψία.
2. Η περιοχή που ελέγχεται από το νόμο της μάζας.
3. Η περιοχή πάνω από την κρίσιμη συχνότητα όπου το πέτασμα ελέγχεται από την ακαμψία.

Τα περισσότερα οικοδομικά υλικά συμφωνούν με τη δεύτερη περίπτωση.

Η ηχομονωτική ικανότητα ενός πετάσματος σχετίζεται με τη συχνότητα και το μήκος κύματος του ήχου. Υψηλότερες συχνότητες απαιτούν μεγαλύτερη δύναμη για να δονήσουν ένα πέτασμα, ενώ χαμηλότερες συχνότητες μεταδίδονται με μικρότερη δύναμη. Ένα βαρύ πέτασμα απαιτεί περισσότερη δύναμη για να δονηθεί.

Για ομοιογενή οικοδομικά υλικά, κάθε διπλασιασμός της μάζας προσθέτει περίπου 6dB ηχομείωσης σε δεδομένη συχνότητα. Για ομοιογενή οικοδομικά υλικά διπλασιασμός της μεταδιδόμενης συχνότητας αυξάνει την ηχομείωση περίπου κατά 6dB.

Γενικά ένα πέτασμα έχει καλύτερη ηχομονωτική απόδοση σε υψηλές συχνότητες από ότι στις χαμηλές. Υλικά με την ίδια μάζα μπορεί να έχουν διαφορετικές συχνότητες συντονισμού λόγω της διαφορετικής ακαμψίας κάθε υλικού ή του διαφορετικού τρόπου σύνδεσης και στερέωσης.

Βελτιώσεις σε ομοιογενείς κατασκευές επιτυγχάνονται διαιρώντας την ίδια συνολική μάζα σε στρώσεις, ή με σύνθετες κατασκευές διαφορετικών υλικών.

Σύζευξη λόγω άκαμπτων συνδέσμων μεταξύ στρώσεων μειώνει την απόδοση των πανέλων πολλαπλών στρώσεων. Σύζευξη μέσω κενού με αέρα μπορεί να μειωθεί ελέγχοντας τον ήχο αντήχησης στο κενό με ηχοαπορροφητικά υλικά. Σύνθετες κατασκευές με διαφορετικές συχνότητες συντονισμού για τις διαφορετικές στρώσεις αυξάνουν την ηχομόνωση.

Μέσω του διαχωρισμού της κατασκευής επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της ηχομόνωσης, αν και τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο και ιδιαίτερα ακριβό. Η συνολική ηχομόνωση είναι μεγαλύτερη με ίση μάζα εάν η κατασκευή είναι ασυνεχής και έχει λίγες ή καθόλου συνδέσεις.

1.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ

Το πεδίο μέτρησης προκύπτει παράγοντας έναν κατάλληλο ήχο στη μια πλευρά του πετάσματος και μετρώντας τη μείωση του επιπέδου ηχητικής πίεσης στην άλλη πλευρά. Ιδανικά απαιτείται διάχυτο ηχητικό πεδίο στο δωμάτιο εκπομπής.

Όταν λειτουργεί η ηχητική πηγή σε συνθήκες διάχυτου ηχητικού πεδίου και άμεσης ηχομετάδοσης, η διαφορά ηχοστάθμης, D , μεταξύ των δύο δωματίων δίνεται από τη σχέση :

$$D=L_1- L_2 , [\text{dB}]$$

Όπου:

L_1 : η ισοδύναμη στάθμη μέσης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο ηχητικής εκπομπής [dB]

L_2 : η ισοδύναμη στάθμη μέσης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο ηχητικής λήψης [dB]

Το μέτρο της ηχομονωτικής ικανότητας του διαχωριστικού πετάσματος εκφράζεται με το δείκτη ηχομείωσης, R , ο οποίος δίνεται από τη σχέση :

$$R=D+10\log \frac{S}{A} , [\text{dB}]$$

Όπου:

S : το εμβαδόν του διαχωριστικού πετάσματος [m^2]

A : η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης στο δωμάτιο ηχητικής λήψης που προσδιορίζεται από το νόμο του Sabine.

Στις επιτόπιες μετρήσεις, όπου υπάρχει και πλευρική ηχομετάδοση, η ηχομονωτική ικανότητα του διαχωριστικού πετάσματος εκφράζεται με το φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης, R' .

1.9 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R'

Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R' ενός δοκιμίου είναι το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογαρίθμου του λόγου της προσπίπτουσας στο δοκίμιο ηχητικής ισχύος P₁ προς την ολική ηχητική ισχύ P₃ που μεταδίδεται στο δωμάτιο λήψης:

$$R' = 10 \log \frac{P_1}{P_3} \text{ , [dB]}$$

Με την προϋπόθεση ότι το ηχητικό πεδίο μέσα στα δύο δωμάτια είναι διάχυτο, ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης μπορεί να προσδιοριστεί με τον τύπο:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ , [dB]}$$

Όπου:

S: επιφάνεια του δοκιμίου [m²]

A: είναι η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης στο δωμάτιο λήψης ,

$$A = \frac{0.16 V}{T}$$

V: είναι ο όγκος του δωματίου λήψης [m³]

T: είναι ο χρόνος αντήχησης, [s]

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στο φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης η ηχητική ενέργεια που μεταδίδεται στο δωμάτιο λήψης σχετίζεται με την ηχητική ενέργεια που προσπίπτει στο κοινό χώρισμα, ανεξάρτητα από τις πραγματικές συνθήκες μετάδοσης.

Για τον προσδιορισμό της ηχομόνωσης πετασμάτων στην κατασκευή, πρέπει να πραγματοποιηθούν μια σειρά φυσικών ακουστικών μετρήσεων :

• **Μέτρηση της ισοδύναμης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης L_1 , L_2 .**

Το διαχωριστικό πέταμα χωρίζει δύο συνεχόμενα δωμάτια. Το δωμάτιο όπου τοποθετείται και λειτουργεί η ηχητική πηγή, ονομάζεται δωμάτιο ηχητικής εκπομπής και το άλλο δωμάτιο ηχητικής λήψης.

Για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, L_1 , στο δωμάτιο ηχητικής εκπομπής, το ηχητικό πεδίο δημιουργείται από το σύστημα ηχητικής εκπομπής μέσα στο δωμάτιο αυτό. Χρησιμοποιείται ροζ θόρυβος, ο οποίος παράγεται από γεννήτρια τυχαίου σήματος. Στην αίθουσα ηχητικής εκπομπής τοποθετείται το μεγάφωνο και το μικρόφωνο και αρχίζει η παραγωγή ηχητικού σήματος. Το ηχητικό σήμα διέρχεται από τον ενισχυτή και διαβιβάζεται στο μεγάφωνο για την δημιουργία διάχυτου ηχητικού πεδίου στην αίθουσα ηχητικής εκπομπής. Το μεγάφωνο τοποθετείται έτσι ώστε να παράγει όσο το δυνατό πιο διάχυτο ηχητικό πεδίο και σε τέτοια απόσταση από το δοκίμιο, ώστε να μην επικρατεί η άμεση ηχητική ακτινοβολία που προσπίπτει στο δοκίμιο. Το ηχητικό σήμα συλλέγεται από το σύστημα ηχητικής λήψης.

Για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, L_2 , στην αίθουσα ηχητικής λήψης, το μικρόφωνο τοποθετείται στην αίθουσα ηχητικής λήψης, ενώ το μεγάφωνο παραμένει στην αίθουσα ηχητικής εκπομπής.

• **Μέτρηση θορύβου βάθους.**

Για να είναι δυνατόν να μετρηθεί η στάθμη του ήχου στο δωμάτιο ηχητικής λήψης, πρέπει η στάθμη του θορύβου περιβάλλοντος να είναι μικρότερη από τη στάθμη του ήχου, τουλάχιστον κατά 10 dB σε κάθε ζώνη των συχνοτήτων μέτρησης.

• **Μέτρηση χρόνου αντήχησης T_R .**

Ο χρόνος αντήχησης αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος της ακουστικής ενός χώρου και για τη μέτρηση του κάνουμε την παραδοχή ότι ο χρόνος αντήχησης είναι σταθερός μέσα στο χώρο, υπό την προϋπόθεση ότι έχουμε διάχυτο ηχητικό πεδίο. Ο προσδιορισμός του χρόνου αντήχησης T_R είναι χρήσιμος για το δωμάτιο λήψης, επομένως τα συστήματα εκπομπής και λήψης (μεγάφωνο και μικρόφωνο), τοποθετούνται στο δωμάτιο ηχητικής λήψης.

1.10 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ

Τα μεγέθη, τα οποία προσδιορίζουν την ηχομονωτική ικανότητα των διαχωριστικών πετασμάτων, δίδονται με τη μορφή πίνακα τιμών ή και με τη μορφή καμπύλης. Όμως, όπως παρουσιάζονται αυτά τα στοιχεία δεν είναι δυνατόν να γίνει μια γρήγορη και ακριβής εκτίμηση της ηχομόνωσης κάποιου πετάσματος. Ακόμα περισσότερο δεν είναι δυνατόν να γίνει εύκολα σύγκριση της ηχομονωτικής ικανότητας διαφόρων πετασμάτων και συνεπώς η σωστή επιλογή κάθε φορά. Για τους λόγους αυτούς έχουν ορισθεί κατάλληλα μονότιμα μεγέθη για την αξιολόγηση της ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων.

Το μονότιμο μέγεθος προσδιορίζεται από τη σύγκριση της φασματικής καμπύλης του μετρούμενου μεγέθους με την καμπύλη αναφοράς για τον αερόφερτο ήχο, η οποία δίνεται και με τη μορφή πίνακα τιμών σε τριτοοκτάβες στην περιοχή συχνοτήτων από 100Hz μέχρι 3150 Hz (Σχήμα 1.11).

f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ [dB]	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

Σχήμα 1.11 Τιμές αναφοράς για αερόφερτο ήχο.

Για τη διαδικασία της σύγκρισης γίνεται αρχικά η γραφική παράσταση του μετρούμενου μεγέθους. Ακολούθως, στο ίδιο διάγραμμα τοποθετείται και η καμπύλη αναφοράς για τον αερόφερτο ήχο και μετατοπίζεται προς την καμπύλη των μετρήσεων με βήματα του 1dB, ωστόσο η μέση δυσμενής απόκλιση, η οποία ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος των δυσμενών αποκλίσεων δια του συνολικού αριθμού των συχνοτήτων μέτρησης, γίνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, όχι όμως μεγαλύτερη από 2,0.

Δυσμενής απόκλιση σε ορισμένη συχνότητα υπάρχει, όταν το αποτέλεσμα των μετρήσεων είναι μικρότερο από την αντίστοιχη τιμή της μετατοπισμένης καμπύλης αναφοράς. Τονίζεται ότι μόνο οι δυσμενείς αποκλίσεις λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό. Η τιμή σε dB της καμπύλης αναφοράς στα 500Hz, μετά την μετατόπισή της σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, είναι το αντίστοιχο μονότιμο μέγεθος του μετρούμενου μεγέθους.

Για κάθε συχνότητα μέτρησης πρέπει να καταγράφεται η τιμή της δυσμενούς απόκλισης, όταν υπερβαίνει τα 8,0 dB.

Για την αξιολόγηση της ηχομόνωσης των διαχωριστικών πετασμάτων ως προς τον αερόφερτο ήχο όταν το μετρούμενο μέγεθος είναι ο δείκτης ηχομείωσης R , για εργαστηριακές μετρήσεις, τότε το προσδιοριζόμενο μονότιμο μέγεθος είναι ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης, R_w , ενώ όταν το μετρούμενο μέγεθος είναι ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R' , για επιτόπιες μετρήσεις στη κατασκευή, τότε το προσδιοριζόμενο μονότιμο μέγεθος είναι ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R'_w .

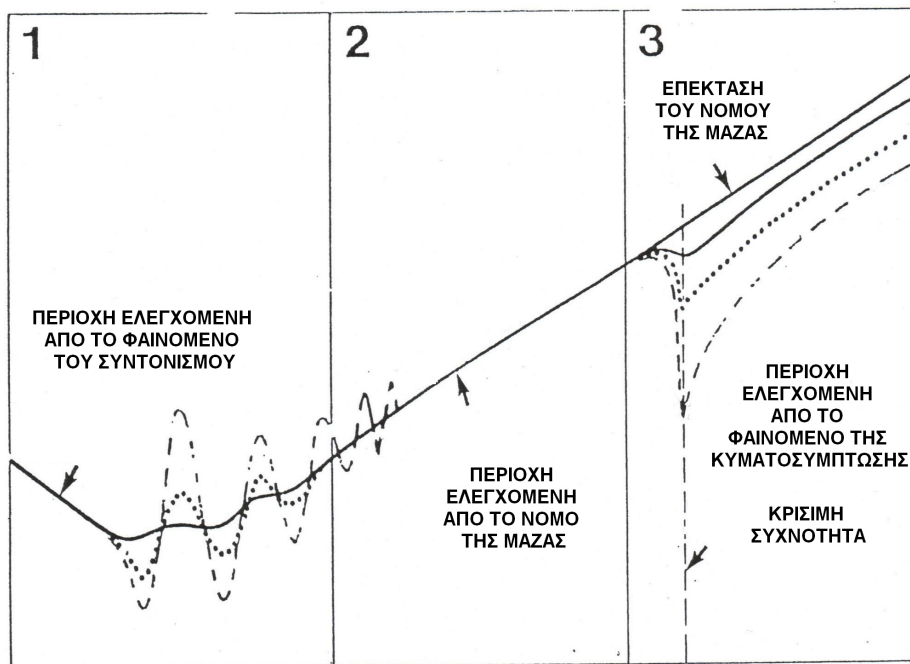
Η μετατόπιση, η οποία χρειάζεται να γίνει στην καμπύλη αναφοράς, ώστε να ικανοποιηθεί η απαίτηση απόκλισης για τον προσδιορισμό του μονότιμου μεγέθους, ονομάζεται περιθώριο ηχομόνωσης. Αυτό εκφράζεται σε dB και είναι θετικό, όταν η μετατόπιση της καμπύλης αναφοράς γίνεται προς τα πάνω, και αρνητικό όταν η μετατόπιση γίνεται προς τα κάτω.

2. ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ [16]

2.1 ΑΠΛΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Απλά διαχωριστικά πετάσματα από την άποψη της ηχομόνωσης δεν είναι μόνο εκείνα που αποτελούνται από ένα υλικό, αλλά και κάθε άλλη κατασκευή που αποτελείται από επάλληλες συμπαγείς στρώσεις δύο ή περισσότερων υλικών.

Η ηχομονωτική ικανότητα των απλών πετασμάτων είναι δυνατόν να προσδιοριστεί θεωρητικά από το νόμο της μάζας. Σύμφωνα με το νόμο αυτό ο δείκτης ηχομείωσης R των απλών πετασμάτων είναι ανάλογος της συχνότητας και του επιφανειακού τους βάρους. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερο βάρος έχει ένα απλό πέτασμα, τόσο υψηλότερος είναι ο δείκτης ηχομείωσής του. Κατά την ηχομετάδοση διαμέσου των απλών πετασμάτων εμφανίζεται το φαινόμενο του συντονισμού και το φαινόμενο της κυματοσύμπτωσης, τα οποία προκαλούν σε ορισμένες συχνότητες μείωση των αναμενόμενων τιμών του δείκτη ηχομείωσης του πετάσματος (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Συντονισμός-Κυματοσύμπτωση.[15]

Στο φαινόμενο του συντονισμού, το πέτασμα κατά την πρόσπτωση των ηχητικών κυμάτων ταλαντώνεται και συντονίζεται στην περιοχή των ιδιοσυχνοτήτων του, οι οποίες εξαρτώνται από τη μάζα, το υλικό και την ακαμψία του πετάσματος, καθώς και από τον τρόπο που έχει στερεωθεί στα άκρα του. Η ιδιοσυχνότητα με την μικρότερη τιμή είναι η πιο σημαντική και ονομάζεται συχνότητα συντονισμού.

Στις περισσότερες περιπτώσεις το υλικό και το μέγεθος του απλού πετάσματος είναι τέτοιο, ώστε η τιμή της συχνότητας συντονισμού να είναι μικρότερη από τη χαμηλότερη ζώνη των συχνοτήτων μέτρησης. Συνεπώς, το φαινόμενο του συντονισμού δεν επηρεάζει ουσιαστικά την ηχομονωτική ικανότητα των απλών πετασμάτων.

Το φαινόμενο της κυματοσύμπτωσης παρουσιάζεται όταν το προβαλλόμενο μήκος κύματος του προσπίπτοντος ηχητικού κύματος στο πέτασμα είναι ίσο με το μήκος κύματος του καμπτικού κύματος που αναπτύσσεται στο πέτασμα. Η συχνότητα, όπου συμβαίνει το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κρίσιμη συχνότητα, f_c .

Το φαινόμενο της κυματοσύμπτωσης εμφανίζεται στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων και μειώνει σημαντικά την ηχομόνωση του απλού πετάσματος στην περιοχή γύρω από την κρίσιμη συχνότητα. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και τη συχνότητα του ηχητικού κύματος και από το υλικό, το πάχος, την επιφανειακή πυκνότητα και την ακαμψία του πετάσματος.

Η εφαρμογή του νόμου της μάζας δείχνει ότι υπάρχει κάποιο αξιόπεραστο ανώτατο όριο στις τιμές του δείκτη ηχομείωσης που λαμβάνονται με τη χρησιμοποίηση απλών πετασμάτων. Αυξημένες τιμές ηχομόνωσης επιτυγχάνονται με τη χρησιμοποίηση διπλών πετασμάτων.

2.2 ΔΙΠΛΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Διπλά διαχωριστικά πετάσματα ονομάζονται οι κατασκευές, οι οποίες αποτελούνται από δύο ξεχωριστά φύλλα μεταξύ των οποίων υπάρχει διάκενο αέρα.

Για αξιοσημείωτα αποτελέσματα πρέπει το κενό να είναι μεγάλο (μικρότερο των 50mm δε έχει σημαντική συνεισφορά), τα δύο πετάσματα να έχουν διαφορετικό επιφανειακό βάρος, το κενό να περιέχει ηχοαπορροφητικό υλικό και να μην συνδέονται κατασκευαστικά τα δύο πετάσματα.

Με την αύξηση του διακένου αυξάνεται και η πιθανότητα, κυρίως στη περιοχή των υψηλών συχνοτήτων, να σχηματιστούν στάσιμα ηχητικά μέσα στο διάκενο, οπότε λόγω συντονισμού να προκύψει μείωση της ηχομόνωσης του διπλού πετάσματος.

Η ηχομονωτική ικανότητα του διπλού διαχωριστικού πετάσματος μειώνεται στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων λόγω φαινομένου συντονισμού που οφείλεται στη διέγερση των ιδιοσυχνοτήτων των δύο φύλλων και οι οποίες εξαρτώνται από το βάρος τους και από την μεταξύ τους σύζευξη και στις υψηλές συχνότητες λόγω του φαινομένου της κυματοσύμπτωσης.

Η αρνητική επίδραση των φαινομένων αυτών στην ηχομόνωση των διπλών πετασμάτων περιορίζεται σημαντικά, όταν τα δύο φύλλα είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά και με μεγάλη διαφορά στο επιφανειακό βάρος τους, οπότε αποφεύγεται η σύμπτωση τόσο των συχνοτήτων συντονισμού, όσο και των συχνοτήτων κυματοσύμπτωσης των δύο φύλλων του πετάσματος.

Επίσης, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στον τρόπο με τον οποίο στερεώνονται τα άκρα του διπλού πετάσματος και κυρίως στη στεγανότητα των αρμών του, οι οποίοι πρέπει να αποφράσσονται πάρα πολύ καλά με κατάλληλα υλικά.

2.3 ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Σύνθετα διαχωριστικά πετάσματα ονομάζονται τα πετάσματα εκείνα των οποίων ένα ή περισσότερα τμήματα έχουν σημαντικά μικρότερο δείκτη ηχομείωσης από τον αντίστοιχο του υπόλοιπου πετάσματος. Στην πράξη αυτό συμβαίνει σε ένα διαχωριστικό όταν υπάρχουν παράθυρα ή και πόρτες.

Η ύπαρξη του τμήματος με μικρότερη ηχομόνωση μειώνει τη συνολική ηχομονωτική ικανότητα του σύνθετου πετάσματος, η οποία εξαρτάται από την ηχομόνωση κάθε τμήματος ξεχωριστά και από το λόγο των εμβαδών τους. Η αρνητική επίδραση στη συνολική ηχομόνωση του πετάσματος γίνεται εντονότερη λόγω των αρμών των παραθύρων και των χαραμάδων ή και των μικρών διακένων, που παρατηρούνται στις πόρτες.

2.4 ΠΟΡΤΕΣ [11]

Για τις απλές πόρτες ο δείκτης ηχομείωσής τους μπορεί να προσδιοριστεί από το νόμο της μάζας. Επομένως η ηχομονωτική τους ικανότητα εξαρτάται από το επιφανειακό βάρος και από τις σχισμές που δημιουργούνται γύρω από τα άκρα τους και κυρίως στο κάτω μέρος προς το δάπεδο. Ο δεύτερος παράγοντας στις περισσότερες περιπτώσεις είναι και ο πιο αποφασιστικός. Η μείωση της ηχητικής ενέργειας που διέρχεται από τις περιμετρικές σχισμές επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ελαστικών παρεμβυσμάτων σε αυτές, ώστε να κλείνουν σχεδόν αεροστεγώς. Ειδικά, στο κάτω μέρος της πόρτας, αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ειδικών μονωτικών λωρίδων που καταλήγουν σε διάταξη με τη μορφή βούρτσας ώστε να προσαρμόζονται στις ανωμαλίες του δαπέδου.

3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

3.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΟΝΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

Ο θεωρητικός υπολογισμός για το μονό υαλοπίνακα πραγματοποιείται:

1. με το νόμο της μάζας, σύμφωνα με τη σχέση (1)

$$R = 10 \log (m^2 f^2) + K \quad (1)$$

R : δείκτης ηχομείωσης [dB]

m: επιφανειακό βάρος [kg/m²]

f: συχνότητα [Hz]

K= 20 log(π/ρc) + α, όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, c η ταχύτητα του αέρα, α: χαρακτηριστικός δείκτης του ηχητικού πεδίου

2. με το μοντέλο του Sharp για πρόβλεψη των μετρήσεων στο πεδίο, σύμφωνα με τη σχέση (2)

$$R_{FIELD} = 20 \log \left[1 + \left(\frac{\omega \rho_s}{2\rho c} \right) \right] - 5 \quad (2)$$

R_{FIELD}: δείκτης ηχομείωσης [dB]

ρ_s: επιφανειακό βάρος [kg/m²]

ω: γωνιακή συχνότητα [Hz]

ρ: πυκνότητα του αέρα [kg/m³]

c: ταχύτητα του ήχου στον αέρα [m/s]

3. με το μοντέλο του Cremer, το οποίο χρησιμοποιεί το μοντέλο του Sharp αλλά εισάγει τον παράγοντα της κρίσιμης συχνότητας f_c για την περιοχή συχνοτήτων πάνω από την κρίσιμη συχνότητα και χρησιμοποιεί τον τύπο της σχέσης (3)

$$R = 20 \log_{10} \pi f m / (\rho c) + 10 \log_{10} [2\eta f / (\pi f_c)] \quad (3)$$

R : δείκτης ηχομείωσης [dB]

m: επιφανειακό βάρος [kg/m²]

f: συχνότητα [Hz]

f_c: κρίσιμη συχνότητα [Hz]

ρ: πυκνότητα του αέρα [kg/m³]

c: ταχύτητα του ήχου στον αέρα [m/s]

η: συντελεστής απωλειών ανά συχνότητα (frequency dependent loss factor)

4. με τον τύπο για υπολογισμό του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης που προτείνει ο Crocker [8, Παράγραφος 2.12, σ.1262] ειδικά για την περίπτωση πολυστρωματικού υαλοπίνακα, σύμφωνα με τη σχέση (4)

$$STC=0.47t + 31.5 \quad (4)$$

STC: σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης [dB]

t: συνολικό πάχος υαλοπίνακα, συμπεριλαμβανομένου του ενδιάμεσου στρώματος [mm]

3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΠΛΟΥ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

Ο θεωρητικός υπολογισμός για το διπλό υαλοπίνακα πραγματοποιείται:

1. με το νόμο της μάζας ,σύμφωνα με τη σχέση (5)

$$T.L=20 \log (md)+ 34 \quad (5)$$

T.L: σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης [dB]

m: συνολικό επιφανειακό βάρος [kg/m²]

d: το βάθος του διακένου [m]

2. με το μοντέλο του Sharp για διπλά πετάσματα, σύμφωνα με τη σχέση (6)

$$\begin{aligned} R &= 20 \log(f(m_1 + m_2)) - 47 & f < f_0 \\ R &= R_1 + R_2 + 20 \log(fd) - 29 & f_0 < f < f_1 \\ R &= R_1 + R_2 + 6 & f > f_1 \end{aligned} \quad (6)$$

R: δείκτης ηχομείωσης [dB]

m₁, m₂: επιφανειακό βάρος κάθε μονού πετάσματος[kg/m²]

f: συχνότητα [Hz]

d: το βάθος του διακένου [m]

R₁,R₂: δείκτης ηχομείωσης κάθε μονού πετάσματος ξεχωριστά [dB]

f₀: συχνότητα συντονισμού του διακένου [Hz]

f₁= 55 / d [Hz]

3. με τον τύπο για υπολογισμό του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης που προτείνει ο Crocker [8, Παράγραφος 2.12, σ.1262] ειδικά για την περίπτωση διπλών υαλοπινάκων, σύμφωνα με τη σχέση (7)

$$STC = 12.4 + 10.8 \log t + 10.7 \log d \quad (7)$$

STC: σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης [dB]

t: συνολικό πάχος υαλοπίνακα, συμπεριλαμβανομένου του ενδιάμεσου στρώματος [mm]

d: βάθος διακένου [mm]

3.3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΠΛΟΥ ΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ [11]

Βάσει της θεωρίας, οι συντελεστές ηχοπερατότητας (transmission coefficient) των επιμέρους στοιχείων ενός σύνθετου διαχωριστικού πετάσματος συνδέονται μεταξύ τους και με τον συντελεστή ολόκληρου του σύνθετου πετάσματος με τη σχέση:

$$T_{av} = \frac{T_1 S_1 + T_2 S_2 + \dots}{S_1 + S_2 + \dots}$$

T_{av} : ο σταθμισμένος συντελεστής ηχοπερατότητας του σύνθετου διαχωριστικού.

T_1, T_2 : οι σταθμισμένοι συντελεστές ηχοπερατότητας των επιμέρους στοιχείων του σύνθετου διαχωριστικού.

S_1, S_2 : τα εμβαδά των επιφανειών που καταλαμβάνουν τα επιμέρους στοιχεία του σύνθετου διαχωριστικού.

Ο τύπος που συνδέει τον σταθμισμένο δείκτη ηχομείωσης και τον σταθμισμένο συντελεστή ηχοπερατότητας ενός στοιχείου είναι ο εξής:

$$R_w = 10 \log \frac{1}{T}$$

R_w : ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του στοιχείου [dB]

T : ο σταθμισμένος συντελεστής ηχοπερατότητας του στοιχείου

4. ΓΥΑΛΙ [20]

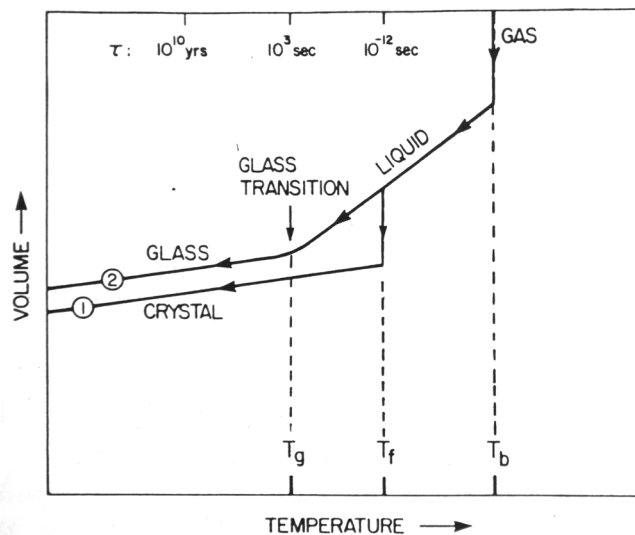
Ο όρος "γυαλί" αναφέρεται στα άμορφα υλικά που επιδεικνύουν υαλώδη μετάβαση. Έχει επικρατήσει όμως, να ονομάζονται γυαλιά τα άμορφα υλικά που παρασκευάζονται από το τήγμα μετά από ψύξη. Ως άμορφα υλικά αναφέρονται τα στερεά στα οποία απουσιάζει η τάξη (περιοδικότητα) μακράς εμβέλειας στη διάταξη των ατομικών ή μοριακών μονάδων τους.

Κατά ASTM (1978, C 162- 71) με τον όρο «γυαλί» ορίζεται ένα ανόργανο προϊόν τήξης, το οποίο έχει στερεοποιηθεί με ψύξη χωρίς να κρυσταλλωθεί.

4.1 ΥΑΛΩΔΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗ [17]

Ένα υγρό μπορεί να στερεοποιηθεί με δύο τρόπους (Σχήμα 4.1):

1. Ασυνεχώς προς μια κρυσταλλική φάση,
2. Συνεχώς προς μια άμορφη φάση (γυαλί).



Σχήμα 4.1 Οι δύο διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει κατά την ψύξη ένα σύνολο ατόμων προς τη στερεοποίηση. [17]

Για μεγάλους ρυθμούς ψύξης dT/dt , τα περισσότερα υλικά ακολουθούν τη διαδρομή 2. Η θερμοκρασία T_f παρακάμπτεται και το υλικό διατηρείται σε μια εύπλαστη φάση (υπέρψυκτο υγρό) μέχρι μια θερμοκρασία T_g ($<T_f$), τη θερμοκρασία υαλώσεως.

4.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ

Για την παρασκευή του γυαλιού χρησιμοποιούνται υλικά, βιομηχανικά ή φυσικά, που περιέχουν τα παρακάτω συστατικά σε διάφορες αναλογίες (Σχήμα 4.2):

- Το οξείδιο του πυριτίου (SiO_2), το οποίο λαμβάνεται από πυριτική ή χαλαζιακή άμμο.
- Ανθρακική σόδα (οξείδιο του νατρίου).
- Ασβεστόλιθος.
- Δολομίτης.
- Για κρύσταλλα: οξείδιο καλίου και οξείδιο μολύβδου.

Γυαλί	Σύνθεση %							
	SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	PbO	B_2O_3	Al_2O_3
Χαλαζία	99,5	-	-	-	-	-	-	-
96% SiO_2	96,3	<0,2	<0,2	-	-	-	2,9	0,4
Ασβεστούχου νατρίου για πλάκες	71-73	12-14	-	10-12	1-4	-	-	0,5- 1,5
Μολύβδου	63	7,6	6	0,3	0,2	21	0,2	0,6
Με μεγάλο ποσοστό μολύβδου	35	-	7,2	-	58	58	-	-
Βοριοπυριτικό (PYREX)	80,5	3,8	0,4	-	-	-	12,9	2
Αλουμιναϊκό πυριτικό	57	1	-	5,5	12	-	4	20,5

Σχήμα 4.2 Χημική σύσταση γυαλιού, αναλογίες συστατικών. [19]

4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι πρώτες ύλες που αναφέρθηκαν κονιοποιούνται και μεταφέρονται σε ειδικά καμίνια που φτάνουν τους 1600°C .

Το λειωμένο μίγμα είναι μια παχύρρευστη διαυγής μάζα που ονομάζεται υαλόμαζα ή υαλοζύμη.

Στη συνέχεια, η υαλόμαζα υφίσταται διάφορες κατεργασίες για κατάλληλη μορφοποίηση. Οι συνηθέστερες μέθοδοι μορφοποίησης είναι η εμφύσηση, η χύτευση σε συνδυασμό με πίεση, η κυλίνδρωση και η έλξη.

Η διαδικασία κατά την οποία έχουμε αλλαγή από την υαλώδη κατάσταση σε δημιουργία λεπτοκρυστάλλων, κατά την διάρκεια κατασκευής του γυαλιού ονομάζεται αφυάλωση. Θεωρείται σημαντικό το γυαλί να ψύχεται αρκετά γρήγορα όπως π.χ. με ρυθμό της τάξης των $17\mu\text{m}/\text{min}$ στην θερμοκρασία των 995°C . Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αφυάλωση και το προϊόν της δεν υπάρχει στην φύση σαν ορυκτό.

4.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ (FLOAT)

Η παραγωγή του επίπεδου γυαλιού γίνεται πλέον με την μέθοδο "float". Σε πρώτη φάση ζυγίζονται και αναμιγνύονται οι πρώτες ύλες με ακρίβεια και ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα. Στην συνέχεια το χαρμάνι αδειάζεται μέσα στον φούρνο τήξης (50 x 9 m περίπου), όπου λιώνουν τα υλικά σε θερμοκρασία 1.500 - 1.600 °C. Η καύσιμη ύλη είναι συνήθως φυσικό αέριο. Το λιωμένο γυαλί, ρέει στο μπάνιο (45 x 5 m περίπου) με τον λιωμένο κασσίτερο (1.000 °C), επί του οποίου επιπλέει (floats) ως ελαφρύτερο και πιο παχύρρευστο, απλώνει σε όλη την επιφάνεια του μπάνιου και αυτοεπιπεδώνεται (με την βαρύτητα) σχηματίζοντας ένα στρώμα πάχους 6 – 7 mm, το οποίο όσο πηγαίνει προς την έξοδο του μπάνιου κρύνει, γίνεται στερεό, αποκτά στιλπνότητα και το επιθυμητό πάχος.

Στην έξοδο του μπάνιου η σχηματισμένη ταινία γυαλιού με θερμοκρασία 600 °C πλέον, οδηγείται με σύστημα αντίθετα κινούμενων γραναζιών, στον θάλαμο ψύξης, κυλιόμενη επάνω σε οριζόντιους κυλίνδρους (ράουλα). Η ταχύτητα κύλισης κυμαίνεται από 7 έως 20 m/min ανάλογα με το πάχος του γυαλιού. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα «τραβήγματος» του γυαλιού, τόσο λιγότερη ποσότητα συσσωρεύεται μέσα στο μπάνιο, άρα τόσο μικρότερο είναι το πάχος του φύλλου. Αυξομειώνοντας κατά συνέπεια την ταχύτητα εξόδου, ρυθμίζεται το πάχος του παραγόμενου γυαλιού. Η συνεχόμενη γυάλινη ταινία οδηγείται μέσα στον θάλαμο ψύξης όπου γίνεται η ελεγχόμενη και ομοιόμορφη ψύξη με ηλεκτρικούς ανεμιστήρες οι οποίοι φυσούν αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας (θερμότερο στα πρώτα μέτρα) ώστε μέχρι να διανύσει το γυαλί τον θάλαμο (μήκους 100 μέτρων περίπου) να έχει πέσει η θερμοκρασία του από τους 600 °C στους 280 °C.

Η ψύξη του γυαλιού γίνεται βαθμιαία και κατά τρόπο απόλυτα ελεγχόμενο προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία εσωτερικών τάσεων μέσα στην μάζα του γυαλιού. Η ταινία γυαλιού συνεχίζει την κίνησή της προς το ψυχρό μέρος της γραμμής παραγωγής.

4.5 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

•ΙΞΩΔΕΣ

Τα γυαλιά είναι περισσότερο ρευστά από άλλα συνήθη υγρά και ένα χαρακτηριστικό του ιξώδους τους είναι η μεγάλη έκταση των τιμών που μπορεί να έχει εξαιτίας της σύνθεσης του γυαλιού και της θερμοκρασίας στην οποία το ιξώδες μετριέται.

Το γυαλί αναφέρεται με ιξώδες 40-100Nt.sec.m⁻² όπου 1Nt.sec.m⁻²=10 poise.

Κατά την διάρκεια της τήξης του γυαλιού ο συντελεστής ιξώδους του τήγματος μπορεί να μειωθεί και κάτω από 10² poise. Για το φορμάρισμα του γυαλιού ο συντελεστής ιξώδους θα πρέπει να είναι από 10³ έως 10⁷ poise, ενώ η μάζα του γυαλιού μπορεί να δουλευτεί σε φλόγα οπότε ο συντελεστής ιξώδους κυμαίνεται από 10⁶ έως 10⁹ poise. Τέλος, κατά την ψύξη του γυαλιού ο συντελεστής ιξώδους κυμαίνεται από 10¹³ έως 31.6 10¹³ poise.

• ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΨΥΞΗ

Όταν ένα πρόσφατα κατασκευασμένο φύλλο γυαλιού (τζάμι) ψύχεται απότομα, η εξωτερική επιφάνεια σκληραίνει αρκετά, πριν η εσωτερική του ψυχθεί και συσταλεί. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τζαμιού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά του βαθμού ψύξης μεταξύ των δύο επιφανειών. Η εσωτερική συστολή συμπιέζει τις επιφάνειες και το εσωτερικό με εφελκυσμό, με αποτέλεσμα να προκύπτει μία σταθερή κατάσταση. Επομένως, αν το γυαλί ψύχεται σταδιακά κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες στερεοποίησης, θα αναπτυχθούν εσωτερικές καταπονήσεις που μπορούν να προκαλέσουν απότομα σπάσιμο του γυαλιού.

• ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Τα περισσότερα υλικά διαστέλλονται όταν θερμαίνονται και συστέλλονται όταν ψύχονται. Για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών η μεταβολή του όγκου που ορίζεται ως συντελεστής κυβικής διαστολής (CVE), είναι κανονική. Όμως, για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιείται ο συντελεστής γραμμικής διαστολής, δηλαδή η αύξηση του μήκους του υλικού ανά μονάδα μήκους, όταν αυξάνει η θερμοκρασία κατά 1°C. Οι τιμές των συντελεστών γραμμικής διαστολής των γυαλιών είναι της τάξης από 5.0 μέχρι $10 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$. Η τιμή του συντελεστή θερμικής διαστολής ενός συγκεκριμένου γυαλιού μπορεί να μετρηθεί με διάφορες τεχνικές ή να υπολογισθεί από την χημική του σύνθεση ανάλογα με τον συντελεστή γραμμικής διαστολής των συστατικών που αποτελούν το γυαλί.

• ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η πυκνότητα, η μάζα ανά μονάδα όγκου των γυαλιών, η οποία μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 2400-5900 kg/m³, εξαρτάται από τη σύστασή τους. Σχετικά με τη μεταβολή της πυκνότητας του γυαλιού, αυτή μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

• ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΣΕ ΕΓΧΑΡΑΞΗ

Η ιδιότητα της σκληρότητας δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια επειδή εξαρτάται από μερικές άλλες ιδιότητες ανάλογα με την φύση του υλικού που εξετάζεται. Για παράδειγμα αν είναι εύθραυστο, πλαστικό, ελαστικό κτλ. Η κλίμακα σκληρότητας Mohs βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε ορυκτό στη λίστα είναι λιγότερο σκληρό, δηλαδή χαράσσεται, απ' όλα τα προηγούμενά του στην κλίμακα. Τα γυαλιά, ανάλογα με την σύνθεσή τους, καταλαμβάνουν θέσεις μεταξύ 4.5 και 6.5 της κλίμακας Mohs.

• ΕΥΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑ

Το γυαλί δεν παρουσιάζει ελαστικότητα και απορροφά ενέργεια όταν δονείται. Με την ελαφρά κρούση μιας γυάλινης επιφάνειας, τα τοιχώματά της πάλλονται παράγοντας ήχους. Οι παλμικές δονήσεις αποσβένονται επειδή έχουμε απορρόφηση ενέργειας παράγοντας τριβή λόγω εσωτερικών κρούσεων.

4.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΥΑΛΙΟΥ

• ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Το γυαλί είναι ένα τελείως ελαστικό υλικό. Δεν παρουσιάζει μόνιμη παραμόρφωση, μέχρι να σπάσει. Όμως είναι εύθραυστο και σπάει χωρίς προειδοποίηση εάν εκτεθεί σε υπέρμετρη τάση. Έχει βαθμό ελαστικότητας 70.000 N/mm² και βαθμό δυσκαμψίας 29.166N/mm².

• ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Όταν κάμπτεται ένας υαλοπίνακας, έχει την μία του πλευρά υπό σύνθλιψη (την εσωτερική) και την άλλη (την εξωτερική) υπό εφελκυσμό. Αν και η αντίσταση του γυαλιού στην σύνθλιψη (συμπίεση) είναι πολύ υψηλή, η αντίστασή του στις τάσεις εφελκυσμού, είναι σημαντικά χαμηλότερη. Η αντίσταση σε θραύση λόγω κάμψης έχει τις εξής τιμές: 40 Newton/mm² (= 40MPa) για το κοινό γυαλί, 120 - 200 Newton/mm² (= 120MPa) για το «ψημένο» γυαλί, ανάλογα με το πάχος του, το τρόχισμα, τις τρύπες, εγχοπές κλπ.

• ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΣΥΝΘΛΙΨΗ

Η αντοχή στην σύνθλιψη του γυαλιού είναι εξαιρετικά υψηλή: 1.000 Newton/mm² ή 1.000 MPa. Αυτό σημαίνει ότι για τον θρυμματισμό ενός κύβου γυαλιού ενός εκατοστού (1cm), χρειάζεται ένα βάρος 10 τόνων περίπου.

5. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: A ΚΤΙΡΙΟ: COSMOTE ΠΕΤΑΣΜΑ: F211												Όγκος δωματίου λήψης V=210.8 m³ Εμβαδόν πετάσματος S=23.6 m² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T₂₀ [s]				ΘΟΥΡΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	77,97	80,57	79,46	73,06	73,66	77,63	75,29	0,47	0,39	0,42	0,4	30,18	29,14	36,77	33,43	8,3
125	88,46	90,75	89,75	75,2	77,43	77,52	76,84	0,53	0,50	0,56	0,53	34,85	31,03	39,51	36,45	8,6
160	91,36	94,67	93,32	82,76	82,37	81,23	82,17	0,35	0,51	0,36	0,42	32,78	38,37	32,35	35,43	5,9
200	98,08	99,67	98,95	83,62	80,54	82,8	82,5	0,50	0,33	0,41	0,43	29,86	28,04	28,82	28,97	11,2
250	108,2	106,42	107,4	86,25	89,17	87,73	87,88	0,42	0,48	0,45	0,43	33,99	33,99	37,84	35,68	14,3
315	104,18	104,51	104,35	88,55	88,15	87,23	88,01	0,36	0,36	0,44	0,36	32,07	29,68	29,73	30,64	10,4
400	100,25	102,85	101,74	85,79	83,62	87,98	86,15	0,34	0,43	0,38	0,39	29,7	28,75	26,97	28,62	9,9
500	97,92	98,9	98,44	83,24	81,99	84,9	83,54	0,42	0,36	0,35	0,39	28,78	25,81	27,01	27,37	9,3
630	100,38	100,31	100,35	81,51	81,01	82,45	81,7	0,36	0,37	0,40	0,38	26,98	23,21	25,17	25,39	12,9
800	98,34	100,27	99,41	79,42	78,12	81,14	79,74	0,43	0,40	0,42	0,41	27,01	23,1	26,19	25,73	14,3
1000	95,46	99,4	97,86	78,48	79,6	78,45	78,88	0,39	0,45	0,42	0,4	30,9	28,08	29,57	29,67	13,5
1250	97,68	96,92	97,32	76,45	77,77	76,63	76,99	0,45	0,44	0,49	0,47	26,73	25,04	25,6	25,85	15,5
1600	99,55	99,65	99,6	78,38	79,32	79,59	79,13	0,45	0,48	0,49	0,45	23,6	20,7	21,65	22,16	15,5
2000	100,12	101,25	100,72	79,6	79,87	78,35	79,32	0,53	0,51	0,51	0,5	20,66	16,87	17,96	18,8	16,8
2500	96,16	97,43	96,84	76,98	77,95	76,28	77,12	0,52	0,55	0,58	0,53	18,84	15,08	15,59	16,84	15,4
3150	94,44	96,76	95,75	73,88	74,5	73,98	74,13	0,56	0,55	0,54	0,53	18,53	12,89	15	16,11	17,3

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: A ΚΤΙΡΙΟ: COSMOTE ΠΕΤΑΣΜΑ: F212												Όγκος δωματίου λήψης V=133.1 m³ Εμβαδόν πετάσματος S=19.1 m² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T₂₀ [s]				ΘΟΥΡΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	78,58	80,43	79,6	72,68	73,87	73,83	73,49	0,65	0,40	0,44	0,52	38,35	36,2	31,17	36,13	2,8
125	84,81	87,67	86,47	78,15	78,54	74,4	77,39	0,57	0,37	0,44	0,46	40,86	38,38	39,57	39,72	5,2
160	90,15	94,23	92,65	84,05	88	82,43	85,48	0,55	0,42	0,39	0,52	35,1	37,03	34,81	35,76	3,8
200	94,02	97,66	96,21	80,99	88,1	84,51	85,46	0,46	0,57	0,38	0,55	34,22	35,78	36,85	35,75	7,7
250	97,83	102,2	100,54	83,53	87,66	85,91	86,02	0,38	0,46	0,35	0,36	34,23	33,65	37,35	35,4	9,6
315	95,25	98,97	97,5	83,15	86,48	83,66	84,69	0,35	0,33	0,32	0,31	32,16	32,96	32,16	32,44	7,2
400	93,26	102,52	100	82,86	85,1	87,02	85,32	0,36	0,40	0,28	0,37	30,31	30,06	30,13	30,17	9,9
500	98,22	100,93	99,78	82,39	87,06	82,87	84,65	0,36	0,36	0,39	0,37	28,35	29,48	28,72	28,88	10,3
630	97,5	100,18	99,04	77,74	84,01	84,04	82,75	0,31	0,35	0,37	0,35	27,26	26,31	28	27,24	11,2
800	90,86	97,49	95,33	77,09	81,86	79,22	79,83	0,35	0,37	0,38	0,35	25,37	26,45	25,9	25,93	10,5
1000	92,64	94,42	93,62	75,55	81,87	78,64	79,43	0,37	0,40	0,36	0,38	23,93	25,6	23,98	24,58	9,5
1250	93,82	97,64	96,14	74,3	77,14	79,44	77,44	0,37	0,39	0,39	0,42	22,06	23,97	22,64	22,97	14,5
1600	94,95	99,29	97,64	76,3	81,05	78,11	78,93	0,46	0,40	0,40	0,44	20,04	21,22	20,63	20,66	14,7
2000	95,83	99,6	98,11	76,24	80,04	79,2	78,77	0,43	0,46	0,46	0,46	18,22	19,2	18,84	18,77	15,5
2500	94,77	95,74	95,28	73,7	77,5	76,95	76,34	0,49	0,50	0,50	0,47	15,52	15,97	16,32	15,95	15,2
3150	91,39	93,33	92,47	71,45	73,55	74,83	73,49	0,50	0,54	0,49	0,5	15,13	15,43	16,27	15,64	15,5

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Α												Όγκος δωματίου λήψης $V=65.2 \text{ m}^3$ Εμβαδόν πετάσματος $S=9 \text{ m}^2$ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
ΚΤΙΡΙΟ: COSMOTE																
ΠΕΤΑΣΜΑ: F212.2																
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L_1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L_2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T_{20} [s]				ΘΟΥΡΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	84,02	85,23	84,67	73,83	72,66	71,48	72,76	0,44	0,49	0,45	0,41	31,52	41,04	32,92	36,8	7,4
125	86,29	91,66	89,76	73,25	73,09	73,39	73,25	0,48	0,55	0,42	0,46	40,28	46,57	37,62	42,06	12,5
160	97,19	93,79	95,81	80,49	78,35	79,04	79,39	0,45	0,46	0,43	0,45	35,73	44,66	37,39	40,04	12,4
200	101,91	100,49	101,26	80,35	78,76	81,13	80,19	0,53	0,35	0,48	0,46	47,80	44,73	29,20	43,61	17
250	108,11	106,81	107,51	83,18	78,87	83,60	82,34	0,49	0,40	0,49	0,42	48,56	45,29	31,04	44,31	20,7
315	101,90	104,45	103,36	80,97	77,51	82,97	81,02	0,45	0,52	0,50	0,53	35,73	49,55	30,43	43,79	19
400	99,59	101,24	100,49	83,71	78,19	82,65	82,09	0,54	0,50	0,45	0,53	40,96	57,89	26,56	51,96	15
500	98,41	103,01	101,29	79,25	77,95	81,39	79,77	0,38	0,43	0,44	0,44	43,64	49,34	26,51	44,38	17,3
630	99,78	98,00	98,98	76,26	72,36	77,28	75,76	0,37	0,47	0,45	0,44	34,62	43,74	22,72	38,3	19
800	99,59	97,61	98,71	73,64	69,63	74,51	73,05	0,40	0,48	0,48	0,43	33,69	36,49	21,44	32,57	21,4
1000	97,65	97,13	97,4	71,48	69,96	74,93	72,64	0,44	0,42	0,40	0,42	31,11	39,58	20,69	34,3	20,3
1250	94,96	99,70	97,95	70,39	68,84	72,21	70,7	0,49	0,47	0,44	0,44	28,48	37,03	19,46	31,98	23
1600	97,49	99,21	98,43	71,23	70,55	74,98	72,72	0,48	0,47	0,43	0,48	32,26	41,88	18,33	36,42	21,9
2000	98,14	98,59	98,37	73,25	72,25	76,31	74,3	0,51	0,50	0,51	0,46	30,14	42,68	16,14	36,97	20,1
2500	99,16	95,78	97,79	71,49	70,66	75,00	72,81	0,52	0,50	0,55	0,5	26,59	34,44	15,22	29,51	21,3
3150	95,06	93,16	94,21	68,43	68,40	73,84	71,04	0,57	0,51	0,53	0,53	26,77	38,25	14,44	32,66	19,8

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Γ												Όγκος δωματίου λήψης $V=62.7 \text{ m}^3$ Εμβαδόν πετάσματος $S=16 \text{ m}^2$ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
ΚΤΙΡΙΟ: COSMOTE																
ΠΕΤΑΣΜΑ: E211																
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L_1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L_2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T_{20} [s]				ΘΟΥΡΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	65,75	78,82	76,02	61,52	58,93	62,27	61,13	0,60	0,42	0,51	0,57	28,14	27,11	22,17	26,47	14,5
125	80,29	84,99	83,25	63,62	67,66	64,21	65,55	0,49	0,35	0,44	0,52	26,94	33,09	26,87	30,03	16,9
160	84,26	90,57	88,47	66,82	70,86	69,03	69,21	0,58	0,49	0,48	0,55	22,88	25,76	26,12	25,14	18,7
200	92,07	94,78	93,63	71,14	73,79	73,5	72,96	0,49	0,64	0,52	0,55	22,29	24,01	24,43	23,67	20,1
250	93,64	97,67	96,11	72,91	71,43	74,9	73,31	0,43	0,46	0,46	0,44	17,23	21,03	19,78	19,62	21,3
315	88,34	96,7	94,28	69,57	71,2	74,99	72,54	0,36	0,44	0,45	0,49	21,21	22,3	22	21,86	20,7
400	90,3	95,42	93,57	67,95	70,18	70,37	69,63	0,41	0,47	0,50	0,48	15,74	19,34	19,48	18,49	22,8
500	92,41	94,52	93,59	66,47	65,26	65,79	65,87	0,38	0,38	0,43	0,39	13,39	16,95	15,04	15,37	25,6
630	87,82	90,24	89,2	64,93	64,8	65,32	65,02	0,47	0,47	0,49	0,47	13,24	17,71	14,66	15,62	23
800	88,11	92,16	90,59	63,36	62,89	63,14	63,13	0,46	0,54	0,44	0,49	14,12	17,28	16,72	16,24	26,4
1000	85,62	90,77	88,92	62,77	61,7	62,59	62,38	0,43	0,48	0,46	0,45	15,44	16,99	15,99	16,19	25,1
1250	85,12	89,6	87,91	61,51	61,75	62,18	61,82	0,47	0,52	0,47	0,5	13,53	16,12	14,42	14,83	25,1
1600	88,98	93,68	91,94	62,09	62,45	63,22	62,61	0,50	0,53	0,51	0,48	12,98	16,59	13,82	14,75	28,2
2000	91,47	94,09	92,97	66,26	64,74	64,13	65,14	0,53	0,50	0,48	0,49	11,49	15,12	11,92	13,16	26,7
2500	86,31	91,93	89,97	63,49	62,79	61,73	62,73	0,51	0,55	0,51	0,51	10,43	13,11	10,56	11,55	26,3
3150	84,39	89,95	88	60,54	59,83	58,7	59,75	0,48	0,51	0,50	0,48	10,35	12,03	9,8	10,83	27,1

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Β ΚΤΙΡΙΟ: BMS UNITED BUNKERS ΠΕΤΑΣΜΑ: Α												Όγκος δωματίου λήψης V=58 m³ Εμβαδόν πετάσματος S=8.9 m² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T ₂₀ [s]				ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	73,48	74,42	73,98	54,67	56,57	50,44	54,56	1,24	1,34	1,41	1,28	26,88	30,95	35,53	32,48	20,4
125	80,02	80,06	80,04	62,44	67,3	68,95	66,98	1,05	1,08	0,91	0,9	30,13	29,19	35,79	32,75	12,5
160	79,73	86,09	83,98	71,45	70,28	70,17	70,67	1,63	1,27	1,46	1,4	35,44	28,87	35,33	34,08	14,6
200	85,5	87,71	86,74	72,93	75,17	73,11	73,86	1,64	1,28	1,64	1,55	33,34	30,24	31,5	31,88	14,7
250	90,05	93,57	92,16	73,41	72,95	74,04	73,49	1,35	1,32	1,49	1,4	30,46	29,3	31,04	30,33	20
315	91,08	90,79	90,94	74,16	75,3	74,02	74,53	1,13	1,11	1,20	1,13	29,12	27,64	27,66	28,2	16,8
400	93,52	90,16	92,16	69,7	69,17	70,77	69,93	1,29	1,18	1,22	1,2	26,57	27,47	27,02	27,04	22,9
500	88,85	90,99	90,05	67,77	69,08	69,98	69,04	1,31	1,25	1,14	1,28	24,69	27,71	29,31	27,63	22
630	87,11	89,19	88,27	66,56	66,51	68,15	67,14	1,27	1,26	1,24	1,33	23,69	26,7	27,12	26,08	22,2
800	88,04	87,32	87,69	64,93	65	65,45	65,13	1,22	1,27	1,21	1,13	24,13	29,5	27,2	27,47	23
1000	88,53	86,99	87,83	64,87	65,25	65,13	65,09	1,16	1,08	1,13	1,12	24,36	30,25	26,76	27,8	23,1
1250	88,38	86,88	87,69	66,57	64,84	65,75	65,78	1,06	1,09	1,09	1,03	24,66	27,31	26,24	26,2	21,9
1600	87,62	87,93	87,78	65,78	66,24	66,29	66,11	1,00	1,03	0,97	0,96	23,39	25,62	25,1	24,8	21,4
2000	88,89	88,69	88,79	67,37	67,28	67,52	67,39	0,94	0,96	0,90	0,94	19,92	22,36	21,75	21,46	21
2500	86,71	86,97	86,84	64,55	64,02	63,94	64,18	0,90	0,96	0,92	0,95	18,02	20,39	19,93	19,56	22,3
3150	83,88	83,83	83,86	62,37	61,08	61,84	61,8	0,94	0,92	0,94	0,94	15,84	16,91	17,67	16,87	21,7

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Β ΚΤΙΡΙΟ: BMS UNITED BUNKERS ΠΕΤΑΣΜΑ: Β												Όγκος δωματίου λήψης V=60 m³ Εμβαδόν πετάσματος S=8.9 m² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T ₂₀ [s]				ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	77,08	70,47	74,93	51,63	47,78	57,04	53,75	0,76	0,67	0,76	0,7	28,93	27,05	32,1	29,87	19,3
125	79,39	80,51	79,99	62,39	56,15	57,57	59,57	0,75	0,73	0,94	0,82	29,1	23,27	32,29	29,57	19,3
160	86,55	85,68	86,14	63,74	64,02	66,59	64,98	1,02	0,94	1,20	1,06	26,17	22,99	29,04	26,74	21,1
200	87,81	87,93	87,87	69,88	69,81	68,6	69,47	0,95	0,92	0,91	0,88	29,46	25,93	28,3	28,13	17,6
250	91,64	90,43	91,08	71,72	69,37	71,49	70,98	0,97	0,75	1,00	1,01	29,51	25,62	26,11	27,45	19,9
315	94,29	87,17	92,05	70,36	69,13	69,08	69,56	0,68	0,76	0,78	0,67	24,94	22,12	23,29	23,61	20,5
400	91,47	90,23	90,89	68,91	66,44	69,29	68,38	0,88	0,90	0,84	0,87	21,42	20,77	21,94	21,4	21,6
500	90,07	90,82	90,46	65,07	64,19	65,06	64,79	0,80	0,95	0,86	0,92	22,44	21,21	20,63	21,49	25
630	90,95	88,31	89,83	63,35	64,31	63,09	63,62	0,81	0,92	0,87	0,9	21,98	20,22	20,49	20,97	25,5
800	86,68	87,44	87,08	62,78	62,35	61,52	62,25	0,82	0,91	0,80	0,87	21,45	20,2	19,31	20,41	23,9
1000	87,79	87,54	87,67	63,74	63,58	62,56	63,32	0,82	0,87	0,83	0,83	22,27	19,64	19,28	20,61	23,2
1250	86,41	87,81	87,17	64,11	61,9	61,75	62,73	0,93	0,88	0,85	0,81	22,38	18,25	20,02	20,55	23,2
1600	87,96	86,89	87,46	64,5	63,83	64,04	64,13	0,85	0,85	0,84	0,83	20,22	16,09	18,27	18,51	22,2
2000	90,24	88,03	89,27	65,61	64,2	65,07	65	0,90	0,86	0,81	0,84	19,67	16,59	15,58	17,64	23,2
2500	88,34	86,3	87,44	62,39	61,32	61,57	61,78	0,80	0,79	0,79	0,8	17,09	16,41	13,45	15,91	24,4
3150	86,21	83,57	85,09	59,55	59,25	58,63	59,16	0,81	0,80	0,80	0,82	14,29	19,98	11,89	16,75	24,8

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Β ΚΤΙΡΙΟ: BMS UNITED BUNKERS ΠΕΤΑΣΜΑ: C (ΠΟΡΤΑ)												Όγκος δωματίου λήψης V=19.4 m³ Εμβαδόν πετάσματος S=3.3 m² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T₂₀ [s]				ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	73,10	76,57	75,17	56,23	59,98	55,64	57,74	1,81	3,56	2,00	2,22	15,62	25,48	18	21,79	21,6
125	73,49	78,3	76,53	60,95	62,39	61,99	61,82	0,96	1,16	0,98	0,95	18,23	16,21	21,46	19,18	15,2
160	79,05	84,45	82,54	71,47	75,66	71,43	73,34	1,37	1,63	1,20	1,36	15,64	23,1	17,08	19,88	11,3
200	84,54	90,7	88,63	77,74	75,65	78,14	77,31	1,16	1,59	1,27	1,33	20,03	20,06	21,86	20,74	13,3
250	86,22	92,94	90,77	80,93	80,64	81,69	81,11	1,25	1,66	1,13	1,24	19,9	18,19	16,51	18,42	11,3
315	84,6	93,6	91,1	77,41	78,99	77,31	77,97	1,36	1,15	1,39	1,33	31,04	25,46	16,59	27,45	15,1
400	85,51	91,59	89,54	75,47	74,28	75,96	75,29	1,38	1,17	1,41	1,23	21,53	19,53	29,61	25,82	15,9
500	83,59	90,61	88,39	74,53	73,48	72,44	73,57	1,30	1,26	1,28	1,23	15,21	15,11	15,66	15,33	16,5
630	84,63	88,03	86,65	70,28	70,34	70,03	70,22	1,15	1,24	1,20	1,08	13,29	13,49	11,79	12,92	17,5
800	81,62	86,72	84,88	68,96	69,18	69,25	69,13	1,07	1,01	1,14	1,14	13,12	13,16	13,57	13,29	17,1
1000	79,59	86,83	84,57	69,65	69,91	69,25	69,61	1,12	1,06	1,03	1,04	15,75	13,53	11,66	13,97	15,8
1250	80,82	86,94	84,88	67,7	69,21	68,04	68,37	0,97	0,98	0,96	0,92	12,88	9,23	9,3	10,83	16,9
1600	81,84	87,43	85,48	69,42	70,07	69,26	69,6	1,01	0,91	1,04	0,91	13,64	8,72	8,64	11,01	16,2
2000	82,62	88,42	86,42	71,52	72,26	70,71	71,54	0,83	0,84	0,86	0,76	14,4	12,87	12,2	13,26	14,4
2500	80,34	86,82	84,69	68,92	69,16	67,61	68,61	0,80	0,81	0,88	0,76	12,11	7,75	8,67	9,94	15,6
3150	77,52	83,76	81,68	65,24	66,16	64,99	65,49	0,77	0,78	0,80	0,78	10,76	7,85	8,26	9,16	15,8

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Γ ΚΤΙΡΙΟ: ΟΤΕ ΠΕΤΑΣΜΑ: ΒΔ1												Όγκος δωματίου λήψης V=56 m ³ Εμβαδόν πετάσματος S=16.4 m ² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T ₂₀ [s]				ΘΟΥΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	75,45	67,78	73,13	55,15	50,98	51,84	53,05	0,96	0,92	0,94	0,97	42,77	36,99	41,58	41,06	23,1
125	81,68	83,51	82,69	59,38	61,51	66,71	63,66	0,86	0,74	0,69	0,74	47,34	39,43	48,47	46,48	23,8
160	86,63	88,61	87,73	65,41	71,01	71,25	69,92	0,80	0,86	0,84	0,83	37,57	38,32	36,35	37,49	23,8
200	91,23	94,24	92,99	70,4	69,98	71,5	70,67	0,95	1,14	0,93	1,03	33,36	33,33	32,2	33	18,5
250	87,69	95,41	93,08	67,87	67,83	69,26	68,37	0,97	1,10	1,14	1,09	28,5	30,24	28,68	29,21	22
315	88,02	89,66	88,92	63,57	65,46	65,92	65,1	1,09	1,02	1,15	1,05	24,95	26,96	23,53	25,38	27,5
400	90,78	91,23	91,01	61,13	61,05	61,29	61,16	1,34	1,27	1,36	1,22	24,28	25,45	22,63	24,27	29,5
500	88,75	89,79	89,3	58,85	58,26	59,92	59,07	1,35	1,37	1,49	1,4	22,34	24,35	22,74	23,23	33
630	82,34	89,11	86,93	52,22	54,7	54,14	53,81	1,42	1,37	1,52	1,36	21,59	20,96	21,69	21,43	33,1
800	80,52	82,59	81,68	53,28	53,17	52,2	52,91	1,13	1,20	1,12	0,94	22,35	20,67	22,23	21,81	32,4
1000	81,14	84,94	83,44	52,93	53,6	52,13	52,93	0,89	0,84	0,84	0,81	21,62	21,61	22,14	21,8	30,5
1250	83,96	85,3	84,68	55,75	56,08	54,96	55,62	0,99	0,99	1,01	0,96	17,78	18,28	19,58	18,61	31
1600	85,48	87,68	86,72	58,14	56,51	54,36	56,6	0,96	1,05	0,97	1	14,91	14,74	16,38	15,41	32,6
2000	87,2	88,1	87,67	58,15	55,42	52,91	56,01	0,88	0,89	0,83	0,81	11,9	11,44	14,47	12,82	31,4
2500	83,38	84,78	84,14	53,24	53,14	51,85	52,79	0,79	0,77	0,81	0,75	10,06	8,52	10,27	9,68	31,6
3150	80,19	83,08	81,87	53,17	50,73	51,04	51,79	0,76	0,75	0,80	0,73	10,74	9,01	9,73	9,89	31,2

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Γ ΚΤΙΡΙΟ: ΟΤΕ ΠΕΤΑΣΜΑ: ΒΔ2												Όγκος δωματίου λήψης V=56 m ³ Εμβαδόν πετάσματος S=16.1 m ² ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T ₂₀ [s]				ΘΟΥΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	79,21	79,07	79,14	58,26	57,82	55,91	57,44	0,73	0,63	0,61	0,68	39,73	39,51	41,63	40,4	22,6
125	88,03	84,59	86,64	64,68	63,08	63,53	63,82	0,64	0,59	0,70	0,7	38,54	43,72	39,3	41,16	23,8
160	86,19	88,82	87,7	64,62	64,4	67,12	65,56	0,84	0,81	1,00	0,84	35,94	35,46	36,58	36,02	23,9
200	93,5	86,78	91,33	74,08	76,96	76,3	75,94	1,00	0,92	0,96	0,95	34,99	28,8	33,55	33,14	17,7
250	93,83	89,79	92,26	73,04	73,39	72,14	72,89	1,16	1,10	1,03	1,1	28,68	27,41	28,78	28,33	22,3
315	93,11	89,71	91,73	66,86	66,49	67,73	67,06	1,07	0,94	0,99	0,97	27,37	23,48	26,05	25,92	27,1
400	86,13	91,94	89,94	65,56	63,39	63,51	64,27	1,27	1,21	1,04	1,2	32,26	18,37	22,11	28,05	29
500	87,5	88,98	88,3	59,42	60,59	58,51	59,59	1,47	1,23	1,26	1,27	27,65	17,13	20,23	23,92	32,3
630	89,58	86,47	88,3	59,7	59,57	57,99	59,15	1,28	1,34	1,35	1,34	28,79	15,31	18,33	24,57	32,9
800	85	83,95	84,51	57,06	57,43	56,22	56,93	1,25	1,12	1,11	1,13	22,14	18,36	20,03	20,45	30,6
1000	84,04	82,76	83,45	56,12	56,73	55,61	56,18	0,96	0,97	1,01	0,87	22,97	19,68	21,75	21,67	29,2
1250	86,55	82,6	85,01	60,25	59,87	56,89	59,24	0,92	0,90	0,90	0,93	23,24	17,1	19,86	20,78	28
1600	88,75	85,79	87,52	60,54	60,01	58,39	59,74	0,90	0,94	0,92	0,89	18,78	12,05	16,56	16,59	29,8
2000	89,32	87,24	88,4	59,09	58,64	58,85	58,86	0,94	0,88	0,87	0,89	14,05	8,94	15,2	13,45	31,6
2500	87,73	83,34	86,07	56,96	56,29	55,58	56,31	0,86	0,93	0,89	0,84	11,82	7,59	12,75	11,23	31,6
3150	84,42	82,79	83,68	56,06	55,03	55,59	55,58	0,92	0,95	0,97	0,93	11,28	8,02	10,49	10,14	30,3

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Γ ΚΤΙΡΙΟ: ΟΤΕ ΠΕΤΑΣΜΑ: ΒΓ3												Όγκος δωματίου λήψης $V=42 \text{ m}^3$ Εμβαδόν πετάσματος $S=12.4 \text{ m}^2$ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T ₂₀ [s]				ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	78,34	77,65	78,01	53,38	56,08	54,42	54,77	0,45	0,47	0,57	0,4	35,08	32,44	41,63	38,14	24,7
125	92,81	92,51	92,66	64,99	64,64	63,9	64,53	0,70	0,65	0,65	0,71	32,54	32,03	37,05	34,5	23,1
160	94,13	92,75	93,49	67,64	67,22	65,43	66,86	0,73	0,84	0,81	0,89	33,78	33,93	35,37	34,42	24,4
200	99,04	97,59	98,38	72,5	67,98	68,59	70,18	1,01	0,80	0,98	0,96	26,67	27,89	30,69	28,75	22
250	99,72	99,76	99,74	70,41	70,63	68,05	69,84	1,08	0,96	1,08	1,05	23,53	22,3	26,58	24,52	25,9
315	99,47	101,13	100,38	71,23	70,98	69,88	70,74	0,96	0,98	0,94	0,96	26,09	19,93	21,04	23,24	26,9
400	95,79	99,73	98,19	62,89	64,57	65,34	64,38	1,38	1,26	1,26	1,26	24,11	18,97	20,54	21,76	29,8
500	92,56	93,65	93,14	62,31	60,83	59,34	60,99	1,61	1,59	1,58	1,61	20,66	16,45	20,96	19,78	32,2
630	91,27	89,24	90,37	58,39	59,1	57,25	58,31	1,79	1,81	1,69	1,76	19,59	15,66	18,25	18,12	30,9
800	89,75	90,91	90,37	58,37	55,88	56,27	56,98	1,63	1,76	1,65	1,63	19,39	14,75	16,78	17,39	27,8
1000	93,07	90,14	91,85	57,69	57,25	56,29	57,12	1,40	1,52	1,44	1,38	18,58	14,55	18,34	17,5	27,5
1250	89,37	89,4	89,39	60,36	60,63	58,68	59,97	1,24	1,28	1,25	1,17	16,37	12,77	14,48	14,79	23,7
1600	91,74	94,02	93,03	62,14	63,3	60,02	62,02	1,15	1,18	1,13	1,19	15,33	12,34	11,44	13,37	26,7
2000	95,58	95,55	95,57	59,97	62,16	59,71	60,76	1,10	1,10	1,05	1,03	13,63	10,43	9,45	11,56	29,5
2500	91,74	91,28	91,52	58,36	58,23	57,19	57,96	0,99	0,96	0,97	0,93	10,95	9,75	7,62	9,65	30,2
3150	89,47	90,41	89,97	58,29	58,43	57,7	58,15	0,92	0,94	0,92	0,89	11,65	8,41	7,78	9,63	28,2

ΤΥΠΟΣ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΟΣ: Γ ΚΤΙΡΙΟ: ΟΤΕ ΠΕΤΑΣΜΑ: ΒΓ2 (ΠΟΡΤΑ)												Όγκος δωματίου λήψης $V=86.6 \text{ m}^3$ Εμβαδόν πετάσματος $S=2.9 \text{ m}^2$ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.9 $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$, [dB]				
F [Hz]	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L1 [dB]			ΔΩΜΑΤΙΟ ΛΗΨΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΤΑΘΜΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ L2 [dB]				ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ T ₂₀ [s]				ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B [dB]				ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R' [dB]
	1	2	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	1	2	3	M.O	
100	77,35	73,7	75,9	55,30	50,70	52,57	53,27	0,86	0,66	0,95	0,87	37,92	43,81	34,25	40,4	12,4
125	92,17	89,59	91,07	70,23	69,16	67,57	69,12	0,73	0,75	0,63	0,71	39,19	46,68	36,94	43	19,8
160	93,87	90,48	92,5	70,26	68,61	70,51	69,87	0,76	0,85	0,77	0,82	36,68	39,87	36,31	37,93	19,3
200	99,39	94,15	97,52	71,71	75,97	81,07	77,84	0,94	0,90	0,76	0,92	32,81	35,03	34,58	34,24	21,2
250	99,46	97,21	98,48	72,87	73,74	75,1	74	0,92	0,90	0,78	0,76	27,71	29,81	30,09	29,33	23,3
315	99,25	95,02	97,63	71,66	73,08	70,1	71,78	0,85	0,74	0,96	0,69	30,83	28,25	27,44	29,09	22,7
400	97,07	91,32	95,08	67,65	67,08	68,59	67,82	1,07	1,12	1,06	0,98	27,4	27,13	27,59	27,38	28
500	93,39	93,91	93,66	65,85	64,42	62,37	64,44	1,21	1,22	1,20	1,08	27,17	29,06	24,79	27,34	27,4
630	91,96	87,43	90,26	62,54	63,29	62,55	62,81	1,22	1,33	1,31	1,21	23,44	25,79	21,77	23,98	27,7
800	87,47	88,03	87,76	63,75	61,76	62,78	62,84	1,13	1,23	0,95	1,04	21,34	26,16	19,72	23,31	28,7
1000	89,42	87,7	88,64	63,9	62,29	62,75	63,03	1,00	0,78	0,77	0,84	21,52	29,59	18,94	25,76	29,3
1250	88,69	88,94	88,82	66,42	66,79	66,87	66,7	0,80	0,88	0,79	0,78	18,52	28,75	17,76	24,68	23,3
1600	90,71	91,7	91,23	66,89	66,69	64,09	66,06	0,82	0,80	0,80	0,78	15,89	26,83	16,57	22,76	25
2000	93,68	90,72	92,45	66,67	63,71	63,69	64,93	0,85	0,85	0,84	0,85	13,09	23,89	13,34	19,81	28,1
2500	92,44	89,95	91,37	63,05	62,37	62,9	62,78	0,79	0,83	0,81	0,79	10,65	24,64	11,29	20,23	26,5
3150	90,09	85,92	88,49	63,13	60,74	61,78	61,99	0,84	0,83	0,82	0,8	10,7	23,22	11,61	18,96	24,5

5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

B_R : η μέση τιμή μετρήσης θορύβου βάθους διάρκειας μιας ώρας, σε διαφορετικές θέσεις του δωματίου εκμπομπής, σε ώρα λειτουργίας των γραφείων.

ΚΤΙΡΙΟ: COSMOTE							ΣΤΑΘΜΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ = $B_R - R'$			
F [Hz]	ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B_R [dB]		R' [dB]				ΣΤΑΘΜΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ [dB]			
	ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΚΠΟΜΠΗΣ		ΠΕΤΑΣΜΑ				ΓΡΑΦΕΙΟ			
	F	E213-4	F211	F212	F212.2	E211	F211/F	F212/F	F212.2/F	E211/E213-4
100	49,1	43,91	8,3	2,8	7,4	14,5	40,8	46,3	41,7	29,4
125	48,9	43,02	8,6	5,2	12,5	16,9	40,3	43,7	36,4	26,1
160	50,2	42,35	5,9	3,8	12,4	18,7	44,3	46,4	37,8	23,7
200	51,4	42,36	11,2	7,7	17	20,1	40,2	43,7	34,4	22,3
250	53,7	43,09	14,3	9,6	20,7	21,3	39,4	44,1	33,0	21,8
315	51,7	41,07	10,4	7,2	19	20,7	41,3	44,5	32,7	20,4
400	52,7	40,74	9,9	9,9	15	22,8	42,8	42,8	37,7	17,9
500	54,4	40,99	9,3	10,3	17,3	25,6	45,1	44,1	37,1	15,4
630	54,8	41,56	12,9	11,2	19	23	41,9	43,6	35,8	18,6
800	50,8	40,22	14,3	10,5	21,4	26,4	36,5	40,3	29,4	13,8
1000	46,6	40,23	13,5	9,5	20,3	25,1	33,1	37,1	26,3	15,1
1250	46,1	39,12	15,5	14,5	23	25,1	30,6	31,6	23,1	14,0
1600	47,3	36,94	15,5	14,7	21,9	28,2	31,8	32,6	25,4	8,7
2000	45,8	35,44	16,8	15,5	20,1	26,7	29,0	30,3	25,7	8,7
2500	44,4	34,35	15,4	15,2	21,3	26,3	29,0	29,2	23,1	8,1
3150	42,7	33,59	17,3	15,5	19,8	27,1	25,4	27,2	22,9	6,5

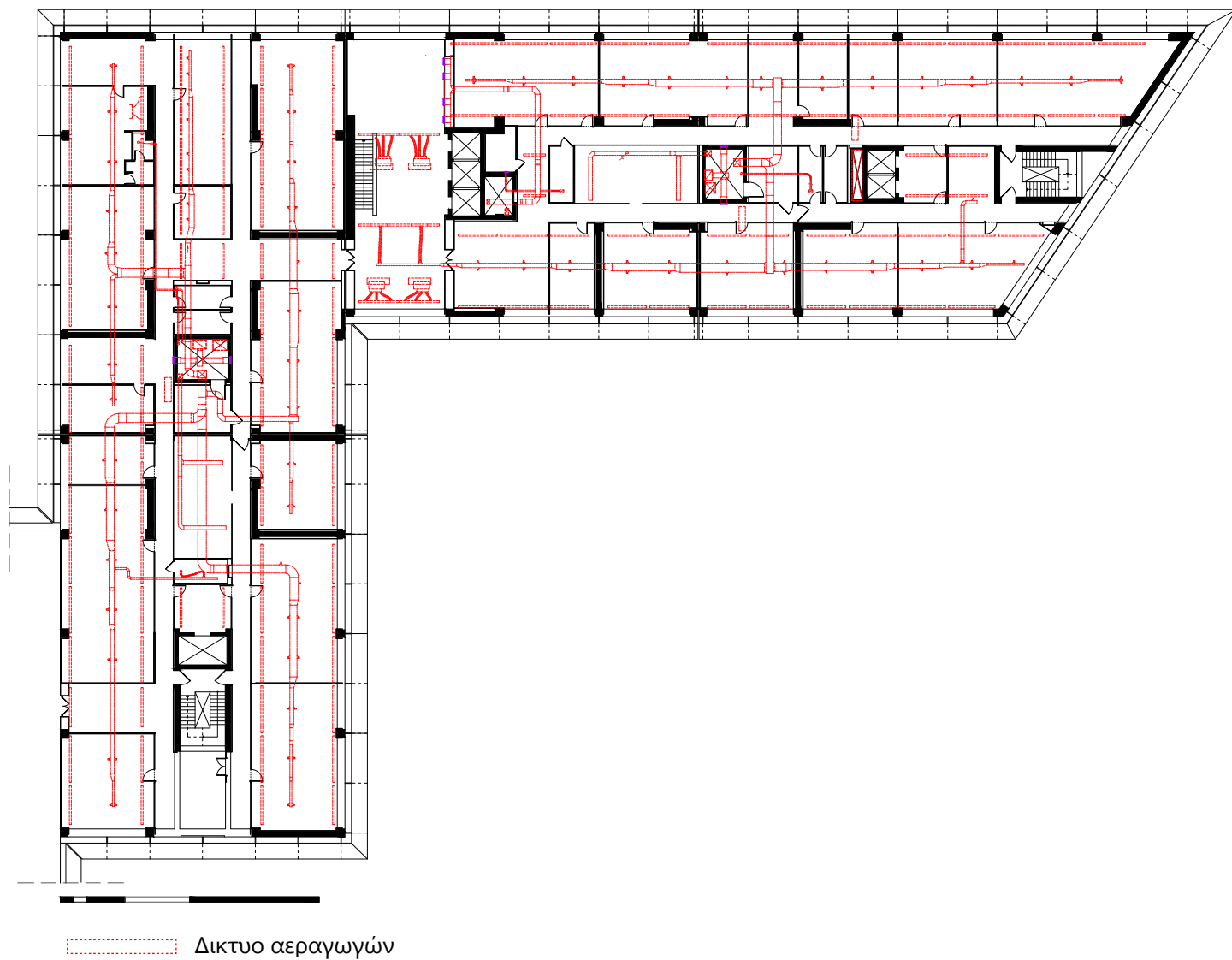
ΚΤΙΡΙΟ: BMS UNITED BUNKERS				ΣΤΑΘΜΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ = $B_R - R'$	
F [Hz]	ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B_R [dB]	R' [dB]		ΣΤΑΘΜΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ [dB]	
		ΠΕΤΑΣΜΑ Α	ΠΕΤΑΣΜΑ Β	ΓΡΑΦΕΙΟ Α	ΓΡΑΦΕΙΟ Β
100	52,97	20,4	19,3	32,57	33,67
125	49,18	12,5	19,3	36,68	29,88
160	49,17	14,6	21,1	34,57	28,07
200	50,58	14,7	17,6	35,88	32,98
250	52,44	20	19,9	32,44	32,54
315	50,85	16,8	20,5	34,05	30,35
400	52,17	22,9	21,6	29,27	30,57
500	55,56	22	25	33,56	30,56
630	58,08	22,2	25,5	35,88	32,58
800	54,28	23	23,9	31,28	30,38
1000	52,36	23,1	23,2	29,26	29,16
1250	52,51	21,9	23,2	30,61	29,31
1600	51,38	21,4	22,2	29,98	29,18
2000	50,78	21	23,2	29,78	27,58
2500	47,95	22,3	24,4	25,65	23,55
3150	46,42	21,7	24,8	24,72	21,62

ΚΤΙΡΙΟ: ΟΤΕ					ΣΤΑΘΜΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ = BR - R'		
F [Hz]	ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ B _r [dB]	R' [dB]			ΣΤΑΘΜΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ [dB]		
		ΠΕΤΑΣΜΑ			ΓΡΑΦΕΙΟ		
		BΔ1	BΔ2	BΓ3	BΔ1	BΔ2	BΓ3
100	49,1	23,1	22,6	24,7	26,0	26,5	19,2
125	48,9	23,8	23,8	23,1	25,1	25,1	19,9
160	50,2	23,8	23,9	24,4	26,4	26,3	18,0
200	51,4	18,5	17,7	22	32,9	33,7	20,4
250	53,7	22	22,3	25,9	31,7	31,4	17,2
315	51,7	27,5	27,1	26,9	24,2	24,6	14,2
400	52,7	29,5	29	29,8	23,2	23,7	10,9
500	54,4	33	32,3	32,2	21,4	22,1	8,8
630	54,8	33,1	32,9	30,9	21,7	21,9	10,7
800	50,8	32,4	30,6	27,8	18,4	20,2	12,4
1000	46,6	30,5	29,2	27,5	16,1	17,4	12,7
1250	46,1	31	28	23,7	15,1	18,1	15,4
1600	47,3	32,6	29,8	26,7	14,7	17,5	10,2
2000	45,8	31,4	31,6	29,5	14,4	14,2	5,9
2500	44,4	31,6	31,6	30,2	12,8	12,8	4,2
3150	42,7	31,2	30,3	28,2	11,5	12,4	5,4

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Για τον υπολογισμό της στάθμης θορύβου βάθους στα γραφεία του κτιρίου ΟΤΕ χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του πραγματικού θορύβου βάθους του κτιρίου της Cosmote, καθώς τη δεδομένη στιγμή των μετρήσεων δεν είχε αρχίσει η λειτουργία του χώρου γραφείων.

6.ΣΧΕΔΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΡΟΦΗΣ

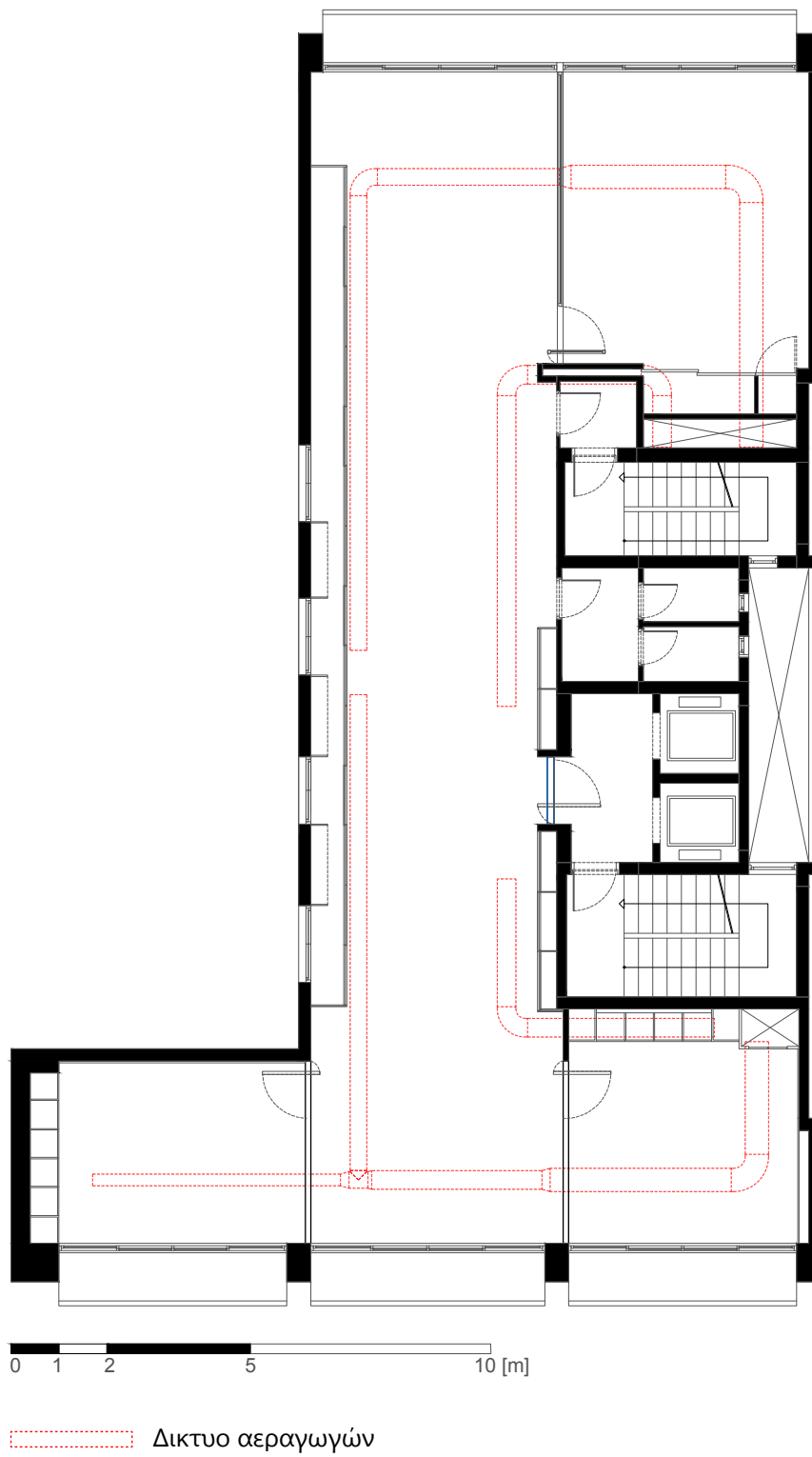
6.1 ΚΤΙΡΙΟ COSMOTE



ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ Β' ΟΡΟΦΟΥ, ΠΤΕΡΥΓΑ Ε, F, δίκτυο αεραγωγών οροφής.

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:500

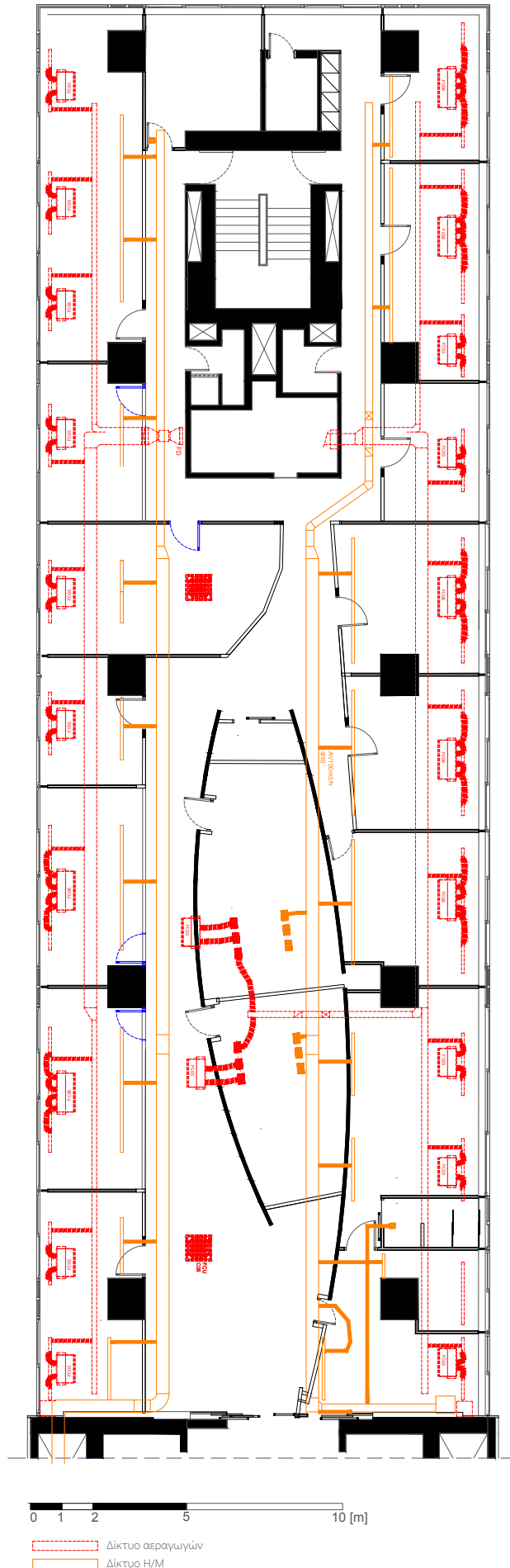
6.2 ΚΤΙΠΙΟ BMS UNITED BUNKERS



ΚΑΤΟΨΗ 6^{ου} ΟΡΟΦΟΥ, δίκτυο αεραγωγών οροφής.

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:150

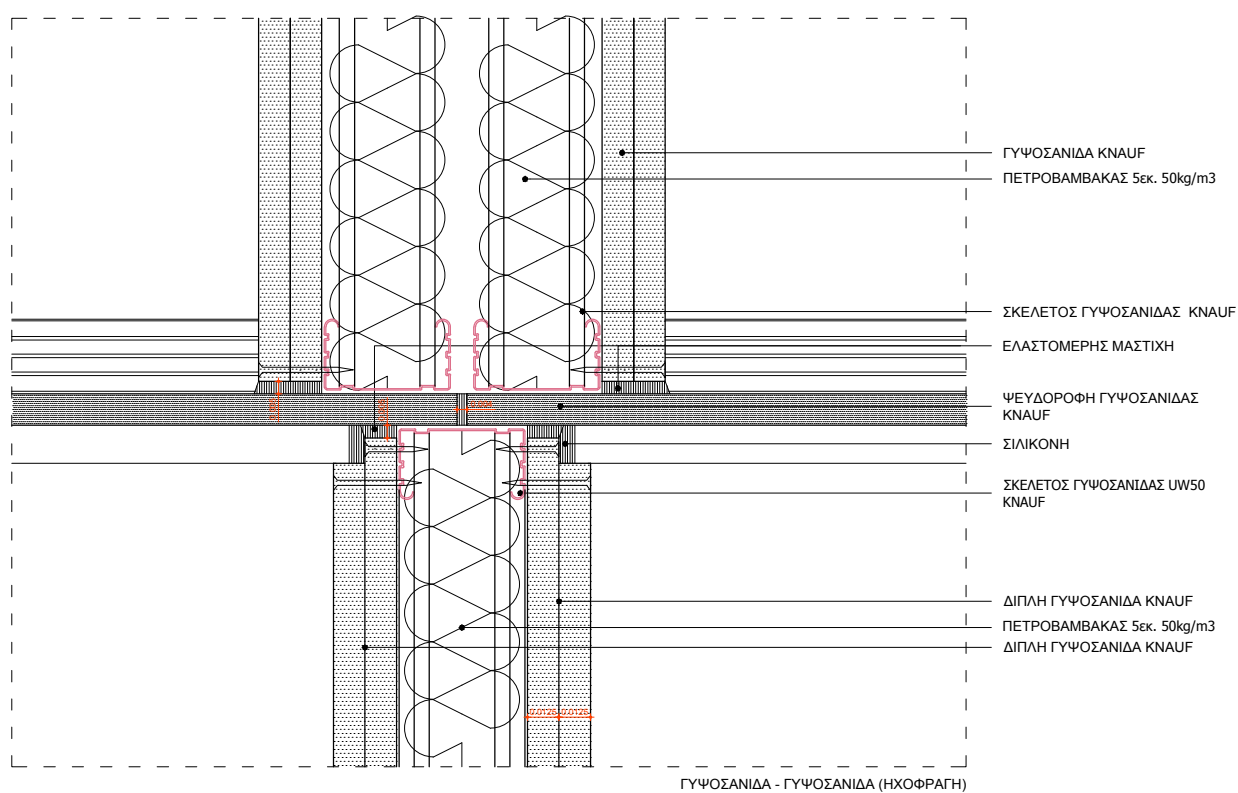
6.3 ΚΤΙΠΙΟ ΟΤΕ



ΚΑΤΟΨΗ 1^{ου} ΟΡΟΦΟΥ,
δίκτυο αεραγωγών και
Η/Μ εγκαταστάσεων
οροφής.

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:250

7.ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΗΧΟΦΡΑΓΗΣ ΨΕΥΔΟΡΟΦΗΣ ΚΤΙΡΙΟ COSMOTE



Κατασκευαστική λεπτομέρεια σύνδεσης πετάσματος -ψευδοροφής, με πέτασμα ηχοφραγής μεταξύ ψευδοροφής και τελικής πλάκας οροφής. ΤΟΜΗ, ΚΛΙΜΑΚΑ 1:3.

Παρατήρηση: Στο σχέδιο το πέτασμα κάτω από την ψευδοροφή είναι από γυψοσανίδα. Το ίδιο σύστημα ηχοφραγής εφαρμόζεται και στις περιπτώσεις που το πέτασμα είναι υαλοπίνακας.

8. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ

8.1 ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Α

CERTIFICAZIONI

Come per NITOR anche per VELOX gli standard qualitativi relativi al livello di fonoisolamento sono decisamente elevati. La cura del sistema di livellamento e l'insieme di tutte le guarnizioni presenti sulla parete garantiscono gli ottimi risultati ottenuti in laboratorio

The qualitative soundproofing standards for both NITOR and VELOX are extremely high. Paying attention to the levelling system and all the seals in the partition will guarantee reproduction of the excellent laboratory results in real-life settings

Pour NITOR comme pour VELOX, les standards de qualité relatifs au niveau d'isolation acoustique sont résolument élevés. Le soin porté au système de nivellement et l'ensemble de tous les joints présents sur la paroi garantissent les excellents résultats obtenus en laboratoire

Wie bei NITOR sind auch bei VELOX die Qualitätsstandards hinsichtlich des schallisierungsgrades unzweifelhaft sehr hoch. Die pflege des ausgleichssystems und die gesamtheit aller auf der wand vorhandenen dichtungen garantieren optimale im labor erhaltene ergebnisse

Como para NITOR, también para VELOX los estándares cualitativos correspondientes al nivel aislamiento son decididamente elevados. El cuidado dedicado al sistema de nivelación y el conjunto de las juntas presentes en la pared garantizan los excelentes resultados obtenidos en laboratorio

MISURA DEL POTERE FONOIOLANTE R UNI EN ISO 140-3 UNI EN ISO 717-1

Committente **ADAM srl**
Elemento in prova **Parete Velox singolo vetro**
Caratteristiche **55.1 interno profil polycarbonato**
Data della prova **19/6/2009**

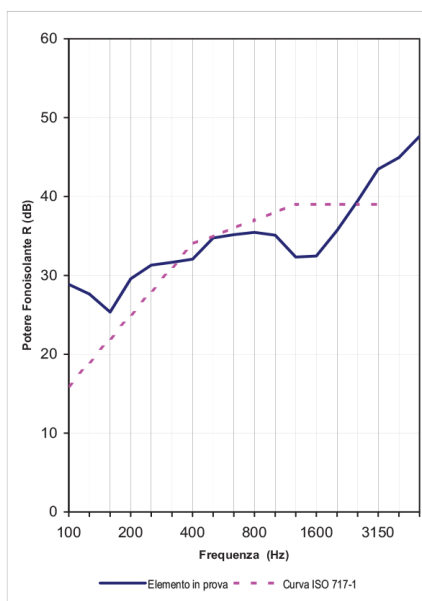
L1 = Livello medio di pressione sonora nella camera emittente
L2 = Livello medio di pressione sonora nella camera ricevente
T = Tempo medio di riverbero nella camera ricevente
R = Potere fonoisolante = $L1 - L2 + 10 \text{ LOG } ((S \times T) / (0,16 \times V))$
Suono di prova: rumore bianco

Condizioni ambientali **25 °C 75% UR**
Area del campione **S = 13,44 m²**
Volume della camera ricevente **V = 85 m³**
Volume della camera emittente **97 m³**

FREQ. Hz	R dB
100	28,9
125	27,6
160	25,4
200	29,6
250	31,3
315	31,7
400	32,1
500	34,7
630	35,2
800	35,4
1000	35,1
1250	32,3
1600	32,5
2000	35,7
2500	39,5
3150	43,5
4000	44,9
5000	47,6

Valutazione secondo ISO 717-1 (100 + 3150 Hz)
basata su misurazioni ottenute in laboratorio

Rw = 35 dB
C = -1 dB
Ctr = -2 dB




8.2 ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Β

AGC		ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ		L E	
Αριθ. / Μοναδικός κωδικός ταυτοποίησης του τύπου του προϊόντος					
εμπορικό σήμα					
44.2 Stratophone 2x Planibel Clearlite					
Προβλεπόμενη(-ες) χρήση(-εις)					
Γυαλί από συγκολλημένα φύλλα (τρίπλεξ) και γυαλί ασφαλείας Προοριζόμενα για κτίρια και κατασκευές					
Κατασκευαστής					
AGC Glass Europe - Avenue Jean Monnet 4 - 1348 Louvain-la-Neuve - Belgium					
Εναρμονισμένα πρότυπα					
EN 14449:2005 + AC:2005					
Κοινοποιημένος(-οι) οργανισμός(-οι)					
1136 1154 1174 1343 1394 1694 1717					
Δηλωθείσα(-ες) επίδοση(-εις)					
Ουσιώδη χαρακτηριστικά		AVCP systems	Απόδοση		
Πυρασφάλεια					
Αντίσταση στη φωτιά		1	NPD		
Αντίδραση στη φωτιά		3, 4	NPD		
Εξωτερική επίδοση πυρκαγιάς		3, 4	NPD		
Ασφάλεια χρήσης					
Αντίσταση σφαίρας		1	NPD		
Αντίσταση έκρηξης		1	NPD		
Αντίσταση διάρρηξης		3	P1A - P2A		
Εκκρεμές σώμα αντίστασης μετά από κρούση		3	1B1		
Αντίσταση στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας και τις διαφορές της θερμοκρασίας		4	NPD		
Άνεμος, χιόνι, σταθερή και επιβληθείσα αντίσταση φορτίου		4	NPD		
Προστασία κατά του θορύβου					
Ηχομόνωση από άμεσο θόρυβο αέρος		3	37 (0; -2)		
Energy economy and heat retention					
Declared emissivity		3	NPD		
Θερμικές ιδιότητες (EN 673): Συντελεστής θερμοαγωγιμότητας (W/(m ² .K))		3	5.5		
Διαπερατότητα φωτός		3	0.89		
Αντανάκλαση φωτός		3	0.08		
Διαπερατότητα ηλιακής ενέργειας		3	0.76		
Αντανάκλαση ηλιακής ενέργειας		3	0.07		
Ηλιακός συντελεστής		3	0.8		

NPD = No Performance Determined (Μη προκαθορισμένες επιδόσεις)

Η επίδοση του προϊόντος που ταυτοποιείται ανωτέρω είναι σύμφωνη με τη (τις) δηλωθείσα(-ες) επίδοση(-εις). Η δήλωση αυτή των επιδόσεων συντάσσεται, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 305/2011, με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται ανωτέρω. Υπογραφή για λογαριασμό και εξ ονόματος του κατασκευαστή από:

Όνομα και ιδιότητα	Τόπος και ημερομηνία έκδοσης	Υπογραφή
E. Ceriani Primary Sales & Strategic Marketing Director Building	Louvain-la-Neuve 06/06/2016	

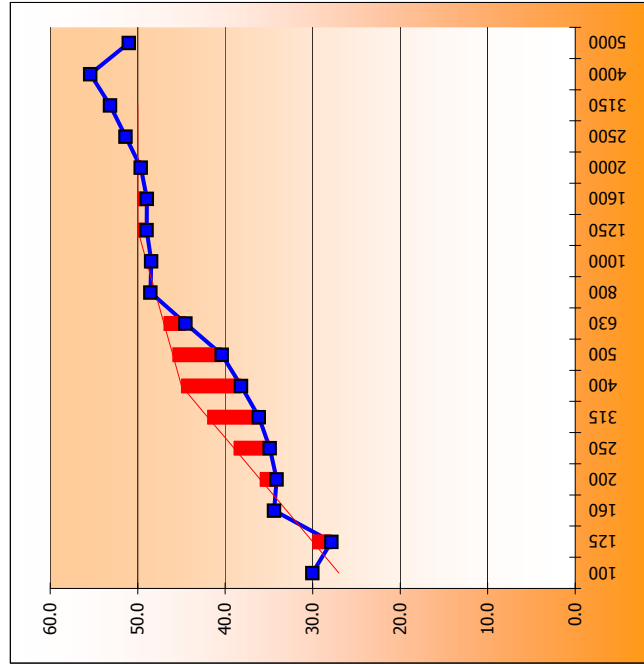
8.3 ΥΑΛΟΠΕΤΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ Γ

Peticionario: DYNAMOBEL, S.A.

Fecha de ensayo: 27-mar-12

Informe nº: 12/4674-572

Aislamiento acústico al ruido aéreo según UNE-EN ISO 10140-2:2011



Frecuencia Hz	R
100	30.0
125	27.9
160	34.4
200	34.1
250	34.9
315	36.1
400	38.2
500	40.4
630	44.5
800	48.5
1000	48.5
1250	49.0
1600	48.9
2000	49.7
2500	51.4
3150	53.2
4000	55.4
5000	51.0

Frecuencia Hz	R (Octavas)
125	30.0
250	35.0
500	40.3
1000	48.6
2000	49.9
4000	52.8

Descripción de la muestra:

MAMPRA 1:10 2V a base de doble acristalamiento 6+6 Acústico y estructura autoportante de perfiles de acero y de aluminio. Uniones entre los vidrios con junta enrasada PMMA. Espesor total de 90mm. Todos los junquillos verticales se sellan por ambos extremos con masilla tipo Perennator.



ÍNDICE GLOBAL DE REDUCCIÓN ACÚSTICA, R_w (C; C _{tr})	46 (-2; -5) dB
ÍNDICE GLOBAL DE REDUCCIÓN ACÚSTICA PONDERADO A, R_A	44.8 dB(A)
ÍNDICE GLOBAL DE REDUCCIÓN ACÚSTICA PONDERADO A, para ruido exterior dominante de automóviles, R_{Atr}	40.6 dB(A)

Sound insulation performance of glass partitions in office buildings

A.Merkourea¹, I.Karagiannis², A.G.Sotiropoulou³

School of Chemical Engineering NTUA, Postgraduate student, Architect, artemis.merkourea@gmail.com

School of Architecture NTUA, PhD candidate, Laboratory of Acoustics NTUA, mediumswing@hotmail.com

School of Architecture NTUA, Associate Professor, Head of Laboratory of Acoustics NTUA, alexiasotirop@gmail.com

Abstract

Speech privacy is a significant design parameter that determines detailing in the office workplace. For closed offices, it is essential to reach adequate ratings of sound insulation for walls and ceilings, and control flanking transmission paths. Glass panels are commonly used as partitions in contemporary offices where a physical but not a visual barrier is needed as they offer improved lighting conditions, visual comfort and transparency of the work process.

The scope of this study is to determine the sound insulation performance of composite glass panels for interior spaces.

The sample of the research consists of three different glass panel types found in three different buildings. For each panel in situ measurements are realized, the laboratory standards are collected and the expected sound insulation is calculated using prediction models. The specification of these ratings aims to assess the rate of the achieved sound insulation.

Analysis of the results leads to useful conclusions concerning the performance of in situ application of composite glass panels and the efficiency of prediction models. Compared with the prediction models, the sound insulation of glazing as determined by M.Crocker's model agrees with great accuracy with the sound insulation capacity of these panels as measured in the laboratory. Concerning the application of composite glass panels in buildings, the expected sound insulation performance tends to be 15dB less than the laboratory. It is considered that the glass panels can effectively be used in interior spaces where there are sound insulation requirements. However, particular attention should be paid to sealing systems and especially in the connection with suspended ceiling.

Keywords: glass panel, interior partition wall, architectural acoustics, sound insulation, field measurements.

1. Introduction

Acoustic design does not concern only the obvious applications, such as a concert hall, but it also applies to more conventional premises. Architectural acoustics can be distinguished in two main categories, room acoustics and noise control. The subject of this study falls under the second category. In acoustic design there are several methods of noise control such as positioning critical areas at a distance, reducing the acoustic energy in the source room, reducing noise in the receiving room and the most common method in building acoustics, which is sound insulation, i.e. with a sound barrier between the path of the source and the critical area through structural elements.

Among the various types of building construction systems, the drywall systems are of particular interest. They are based on the idea of standardization and prefabrication and respond to various aspects of construction such as time, cost, space, versatility, aesthetic requirements etc. Glass partitions fall under this

category. The term glass partition is used to describe the system which consists of the glass panel and the framing. Its performance is affected by various design parameters.

In modern times, glass panel was promoted by Pilkington brothers in the United Kingdom in 1959 and it is widely used since then. Nowadays it is possible to produce high quality glass panels of large dimensions with low cost. Technological development and continuous improvement of production line helped to improve the mechanical properties of glass, thus expanding their applicability as structural elements.

The sound insulation performance of glass partition remains a topic of scientific interest as it tends to be sensitive to sound, due to the flanking transmission paths and the constraints posed by the small thickness of glass panel.

This experimental study seeks to answer the issues: what is the average sound insulation performance of glass partitions as interior structural elements in buildings and how can it be compared to the laboratory standards?

2. Review of past work

Extended interest in the sound insulation performance of glass panels was noticed during the 60s in the United Kingdom. Since then many designers and researchers are attempting to optimize and achieve the highest possible sound reduction index value of glass partitions by trying several combinations of glass types, interlayer materials, frame systems, and intermediate distance [1-8]. Specifically:

Jacqueline's A.Marsh study [1] consists of three successive articles which summarize the results of previous studies, from 1952 to 1969, concerning the sound reduction index of glass panels studied as part of a window and concludes that detailed investigation is required regarding the edge conditions, the frame construction, the dimensions of the glass panel and the accuracy of measurements.

Regarding the topic of edge conditions in windows, W.A.Utley and B.L.Fletcher explore the effect of damping in the edge of the glass panel in two successive studies about single and double glazing [2, 3]. It has been confirmed that the method of mounting used influences significantly the sound transmission loss of a single window, especially close to the resonant frequency. It has also been shown that the mounting has a greater effect in double windows. In both single and double windows the effect is greater for thick than for thin glass, and the results are better when a resilient mounting is used.

According to R.D.Ford [4] the topic of sound insulation performance of monolithic glass is well-documented, so it is more essential the study of laminated glass. In a more recent work about the performance of laminated glass, J.Schimmelpenningh [5] points to the significance of interlayer (PVB film). According to the study, it is possible to achieve better sound reduction index values (36-47 dB) with thinner glass panels and improved thin interlayer films and save up to 25mm, leading to dead loads optimization in the building.

Another study that is based in the contribution of interlayer films is that of K.Miskinis et al. [7], which presents an improvement of 5dB of sound insulation by reducing the stiffness of the glass through the use of two superimposed interlayer films in the glass panels of a double partition.

About the comparative performance of single, double and triple glazing, A.J.B.Tadeu and D.M.R.Mateus [6] conclude that double glazing performs better than single glazing when the intermediate space is more than 50mm and that triple glazing does not offer considerable improvement. They also highlight that better results are expected by using separate frames for each side of the

double glazing.

Finally, as for predicting the sound insulation capacity of glass partitions, M.J.Crocker [8] is taking into account the importance of the critical frequency and he proposes three calculation models. These models apply to single monolithic glass pane, laminated glass pane, which takes into account the thickness of the interlayer film, and double glazing with intermediate air/gas space.

3. Architectural glass

The basic types of glass are soda-lime glass (common glass), lead glass, barium glass (known as 'Pyrex') and fiberglass. There are also more specialized types of glass like alkali-barium silicate glass, aluminum glass, ceramic glass and optical glass. The building sector is interested in the soda-lime glass, particularly the float glass, used as glass panel. There are several types of glass panels. In this paper, monolithic panels, double panels (Figure 1.a), laminated panels (Figure 1.b) and insulated glass units (Figure 1.c) are studied.

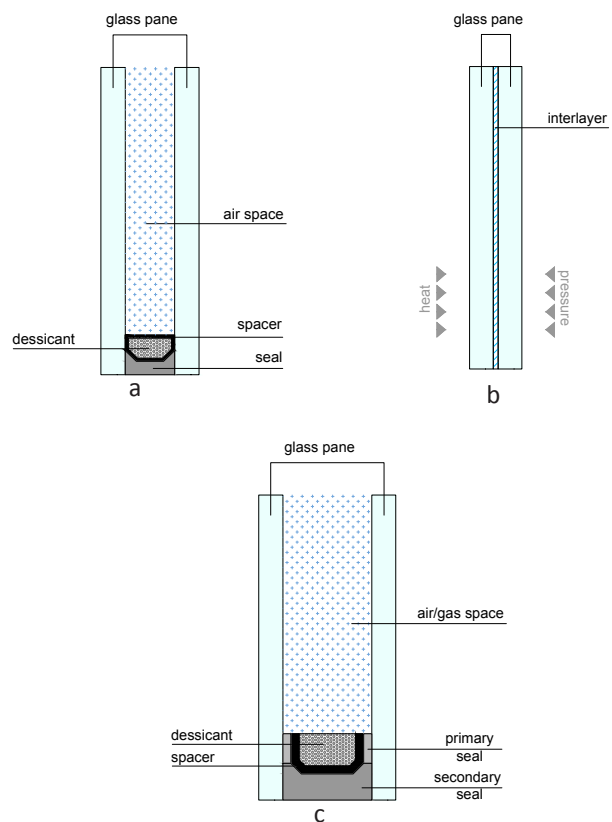


Figure 1. Glass panel types: a. double panel, b. laminated panel, c. insulated glass unit

Propagation of sound through glass comes with resonance and coincidence effects in certain frequencies. Simple monolithic glass has a specific critical frequency, which is shifted to lower values as glass thickness is increased. Although critical frequency has a specific value, it affects a frequency range in which sound transmission is realized and it includes the audible frequencies.

The characteristics of sound propagation in structure are defined by three main parameters: mass, stiffness and damping. In architectural glass, mass and stiffness are associated with the thickness of the glass, while damping is accomplished by insulating elements, such as the air/gas space in insulating glass units or the interlayer films (PVB, PMMA, resin) in laminated glass.

4. Methodology, equipment and samples

4.1 Field Measurements

Measurements of airborne sound insulation were realized in three types of glass partitions, as presented in Table 1, in three different office buildings.

Table 1. Types of glass partitions and number of samples.

BUILDING	GLASS PARTITION		SAMPLES
	TYPE		
A	A	Composite single glass partition, Velox system. Glass panel: triplex 5+5 mm, PVB interlayer film 0.38mm. (Figure 2)	F211
			F212 F212.2
	C		E.211
B	B	Composite double glass partition. Glass panel: triplex 5+5mm - air space 12mm - single pane 5mm, AGC Glass Europe. Frame: aluminum frame, Alumil M9400 series. (Figure 2)	A
			B C (DOOR)
C	C	Composite insulated glass unit, 1:10 Movinord system. Glass panel: triplex 6+6mm - air space 76mm - triplex 6+6 mm. (Figure 2)	BD1
			BD2
			BG3
			BG2 (DOOR)

Examination of sound insulation performance lies to the comparative study between field measurements and sound insulation laboratory measurements. Furthermore, the expected sound insulation is calculated through prediction models and it is compared with the results derived from field and laboratory measurements.

The selection of the specific types of glass partitions, to form the study samples, was determined by the availability and accessibility of sites and the cohesion of use and requirements of the space. An important parameter is time of construction in order to eliminate the possibility of reduced performance due to aging of the construction over time.

The field measurements of the experimental study were done in 1/3 octave bands from 100 Hz to 3150 Hz according to ISO 140/4-1978 standard part 4.

Every examined glass partition is a permanent composite¹ partition in an interior space, which isolates a private closed office from a public area (i.e. corridor or open plan offices). For the partition types B and C, it is also measured separately the in situ sound insulation of the corresponding door. In each building, the sound source is placed in the public area which is defined as the source room and the closed office space is defined as the reception room (Figure 3).

Sound pressure level measurements are performed in three positions in the reception room and in two positions in the source room (Figures 4 and 5). In the reception room, background noise and the reverberation time were measured at the same positions. During field measurements all lighting and HVAC systems were off.

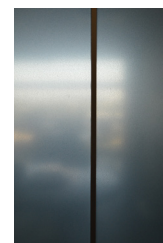
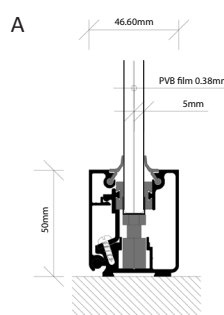


Photo 1. Vertical joint detail, glass partition type A.

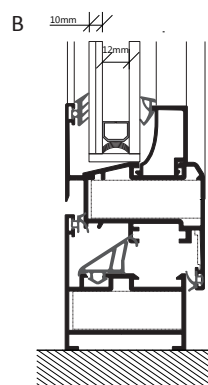


Photo 2. Profile detail, glass partition type B.

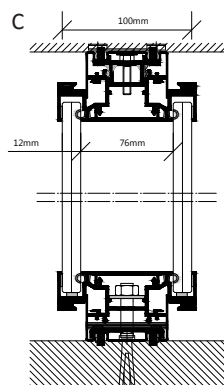


Photo 3. Vertical joint detail, glass partition type C.

Figure 2. Sections of glass partitions types: A, B, C.

1. Composite partition is the partition which consists of elements with different sound reduction index and one of them has significantly lower index than the other. Practically, this occurs when the partition contains a window or a door.

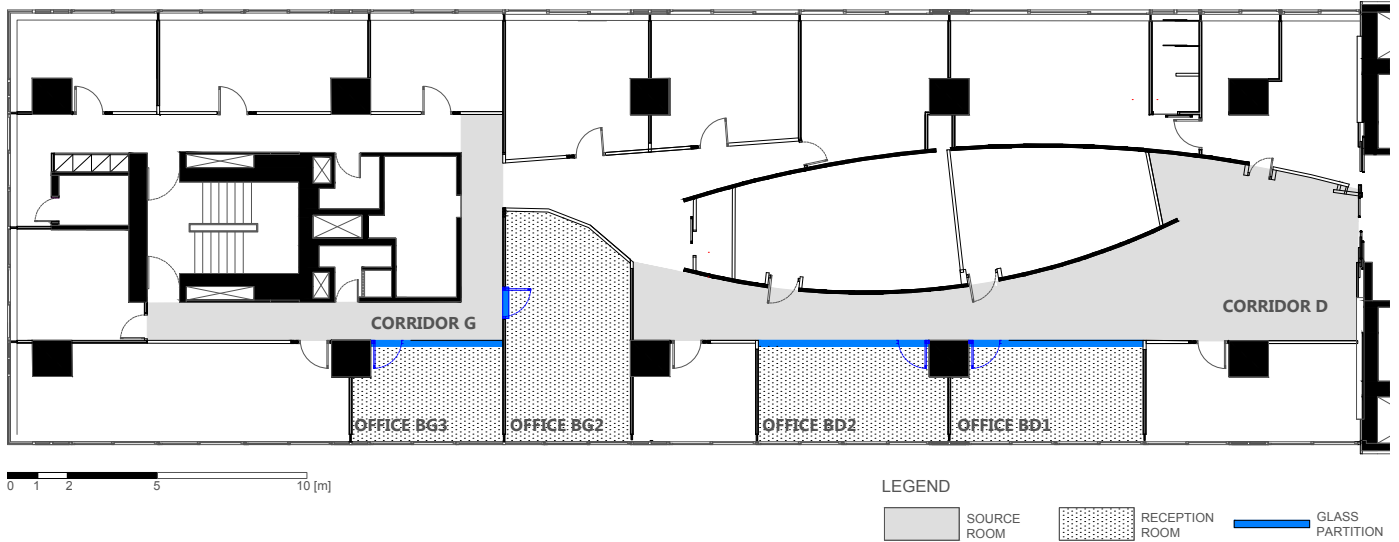


Figure 3. General plan, Building C. Scale 1:250.

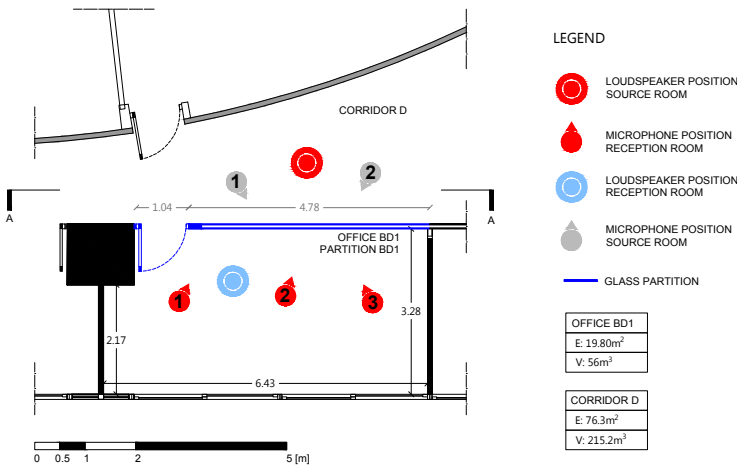


Figure 4. Plan, Office BD1. Scale 1:150. Measurements positions.

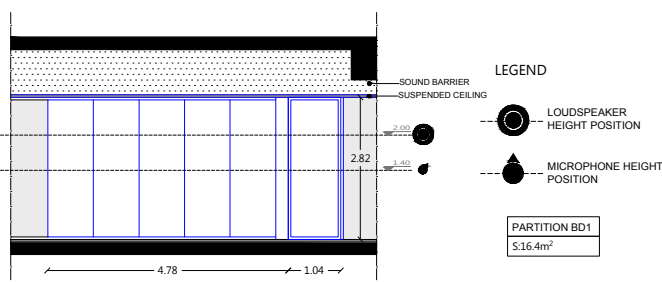


Figure 5. Section A-A, Scale 1:150. Front view of glass partition BD1. Measurements height positions.

Field measurements were performed with a sound level meter 'Hand-held Analyzer Type 2270', a microphone '4189', a loudspeaker 'Omni Power 4296' and a sound amplifier 'LAB.GRUPPEN 2716' (all by Brüel & Kjær). The equipment was provided by the 'Laboratory of Acoustics Communication and Mass Media Technology', school of Electrical and Computer Engineering, NTUA and 'Laboratory of Acoustics', school of Architecture, NTUA.

4.2 Prediction Models

The expected sound insulation for single and double glass partitions is calculated through the prediction models of mass law, Sharp, Cremer and Crocker according to the following equations:

A. Single glazing:

1. Mass Law Model

$$R = 10 \log (m^2 f^2) + K$$

R: sound reduction index [dB], m: surface density [kg/m²], f: frequency [Hz], $K = 20 \log(\pi/\rho c) + \alpha$, where p: air density, c: speed of sound in air (20°C), α : sound field index

2. Sharp's model

$$R_{FIELD} = 20 \log \left[1 + \left(\frac{\omega \rho_s}{2\rho c} \right)^2 \right] - 5 \text{ dB}$$

R_{FIELD} : sound reduction index [dB], ρ_s : surface density [kg/m²], ω : angular frequency [Hz], p: air density [kg/m³], c: speed of sound in air (20°C) [m/s]

3. Cremer's model

$$R = 20 \log_{10} \pi f m / (\rho c) + 10 \log_{10} [2\eta f / (\pi f_c)]$$

R: sound reduction index [dB], m: surface density [kg/m²], f: frequency [Hz], f_c : critical frequency [Hz], p: air density [kg/m³], c: speed of sound in air (20°C) [m/s], η : frequency dependent loss factor

4. Crocker's model [8, Paragraph 2.12, p.1262]

$$STC = 0.47t + 31.5$$

STC: sound transmission class [dB], t: total thickness of laminated glass panel and interlayer film [mm]

B. Double glazing:

1. Mass Law Model

$$R_w = 20 \log(md) + 34$$

R_w : weighted sound reduction index [dB], m : surface density [kg/m²], f : frequency [Hz], d : depth of air/gas space[m]

2. Sharp's model

$$\begin{aligned} R &= 20 \log(f(m_1 + m_2)) - 47 & f < f_0 \\ R &= R_1 + R_2 + 20 \log(fd) - 29 & f_0 < f < f_l \\ R &= R_1 + R_2 + 6 & f > f_l \end{aligned}$$

R : sound reduction index [dB], m_1, m_2 : surface density [kg/m²], f : frequency [Hz], d : depth of air/gas space[m], R_1, R_2 : sound reduction index of each glass panel [dB], f_0 : resonant frequency of air space [Hz], $f_l = 55/d$ [Hz]

3. Crocker's model [8, Paragraph 2.12, p.1262]

$$STC = 12.4 + 10.8 \log t + 10.7 \log d$$

STC: sound transmission class [dB], t : total thickness of glass panel [mm], d : depth of air/gas space[mm]

The results of prediction models are presented in Tables 2,3 and 4.

According to theory concerning calculation of transmission coefficient of composite partitions [9] the expected weighted apparent reduction index R'_w of simple glass partitions type B and C, were calculated, as well as the expected weighted reduction index R_w of composite glass partition type C, given the weighted reduction indexes of the simple partition and the door. (Results are presented in Tables 5,6 and 7).

4.3 Sound insulation applications.

Given the sound insulation provided by each glass partition as measured on the field, background noise measurements were performed in each source room during office hours in order to evaluate the background noise level in each office according to noise criteria [11] and determine the NC value. (Results are presented in Table 9).

5. Results

Prediction models:

Table 2. Single glazing. Glass partition type A.

$R_w^M = 39 \text{ dB}$	$R_w^{SH} = 39 \text{ dB}$	$R_w^{CR} = 35 \text{ dB}$	$R_w^{CO} = 36.4 \text{ dB}$
-------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------

Table 3. Double glazing. Glass partition type B.

$R_w^M = 27 \text{ dB}$	$R_w^{SH} = 44 \text{ dB}$	$R_w^{CO} = 36 \text{ dB}$
-------------------------	----------------------------	----------------------------

Table 4. Double glazing. Glass partition type C.

$R_w^M = 47 \text{ dB}$	$R_w^{SH} = 58 \text{ dB}$	$R_w^{CO} = 46 \text{ dB}$
-------------------------	----------------------------	----------------------------

R_w^M : weighted sound reduction index according to mass law

R_w^{SH} : weighted sound reduction index according to Sharp

R_w^{CR} : weighted sound reduction index according to Cremer

R_w^{CO} : weighted sound reduction index according to Crocker

Expected weighted apparent reduction index, R'_w , of simple glass partition:

Table 5. Glass partition type B.

DATA		COMPOSITE PARTITION		C (DOOR)
		A		
	R'_w [dB]	22		16
	S [m ²]	8.9		2.65
RESULTS		SIMPLE PARTITION		
		R'_w Th [dB]	26	

Table 6. Glass partition type C.

DATA		COMPOSITE PARTITION			BΓ2 (DOOR)
		BΔ1	BΔ2	BΓ3	
	R'_w [dB]	31	30	28	27
	S [m ²]	16.4	16.1	12.4	2.9
RESULTS		SIMPLE PARTITION			
		R'_w Th [dB]	32	33	

Expected weighted reduction index, R_w , of composite glass partition:

Table 7. Glass partition type C.

DATA		SIMPLE PARTITION	DOOR
		R_w [dB]	46
	S [m ²]	6.25	2.9
RESULTS		COMPOSITE PARTITION	
		R_w [dB]	40

R'_w : weighted apparent sound reduction index[dB]

R'_w Th: theoretical weighted apparent sound reduction index of simple partition[dB]

R_w : weighted sound reduction index[dB]

S : surface area [m²]

Table 8. Results overview.

BUILDING	ROOM				GLASS PARTITION		R'_w [dB]	R_w [dB]	THEORETICAL WEIGHTED SOUND REDUCTION INDEX [dB]				$R'_w Th$ [dB]			
	SOURCE	V [m³]	RECEPTION	V [m³]	TYPE	S [m²]			R^M_w	R^{SH}_w	R^{CR}_w	R^{CO}_w				
A	CORRIDOR F	86.8	F211	210.8	A	23.6	15	35	39	39	35	36.4				
			F212	133.1		19.1							9	20		
			F212.2	65.2		9										
	OFFICE E213-4	262.88	E.211	62.7		16							26			
B	OPEN PLAN OFFICES	327	A	58	B	8.9	22	37	27	44	36	26				
			B	60		8.9							16			
			HALL	19.4		DOOR								3.3		
C	CORRIDOR D	215.2	BD1	56	C	16.4	31	46	40	47	58	46	32			
			BD2	56		16.1							30	33		
	CORRIDOR G	98	BG3	42		12.4							28	27	35	28
			BG2	86.6		DOOR										

R'_w : weighted apparent sound reduction index
 R_w : weighted sound reduction index
 R^M_w : weighted sound reduction index according to mass law
 R^{SH}_w : weighted sound reduction index according to Sharp
 R^{CR}_w : weighted sound reduction index according to Cremer
 R^{CO}_w : weighted sound reduction index according to Crocker
 $R'_w Th$: theoretical weighted apparent sound reduction index of simple partition
V: volume
S: surface area

Sound insulation applications:

Table 9. Noise criteria evaluation.

BUILDING	OFFICE	NC
A	F211	40
	F212	40
	F212.2	35
	E.211	15
B	A	35
	B	30
C	BD1	20
	BD2	20
	BG3	15

Figure 6. Apparent sound reduction index, glass partitions type A.

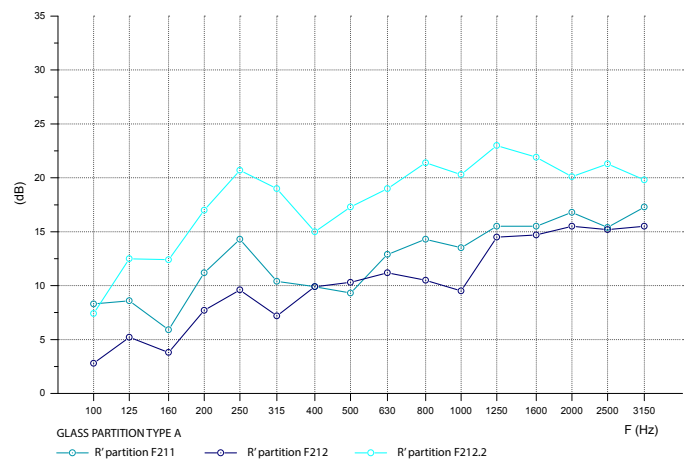


Figure 7. Apparent sound reduction index, glass partitions type B.

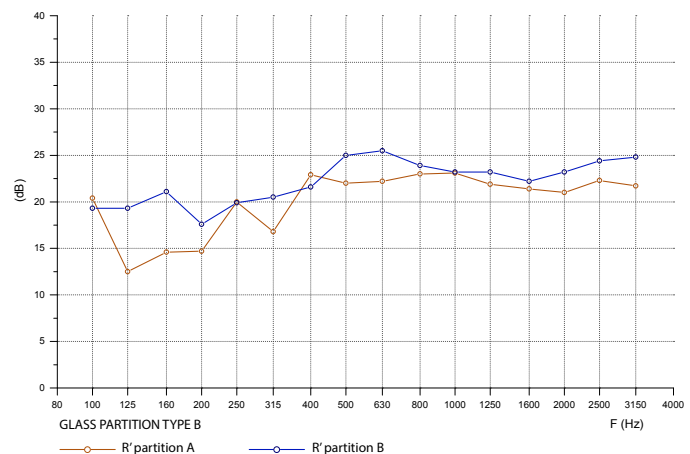


Figure 8. Apparent sound reduction index, glass partitions type C.

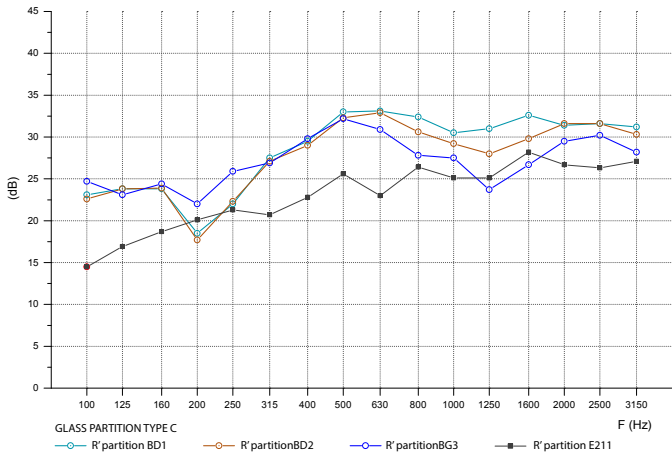


Figure 9. Apparent sound reduction index R' and sound reduction index R, glass partitions types A, B, C.

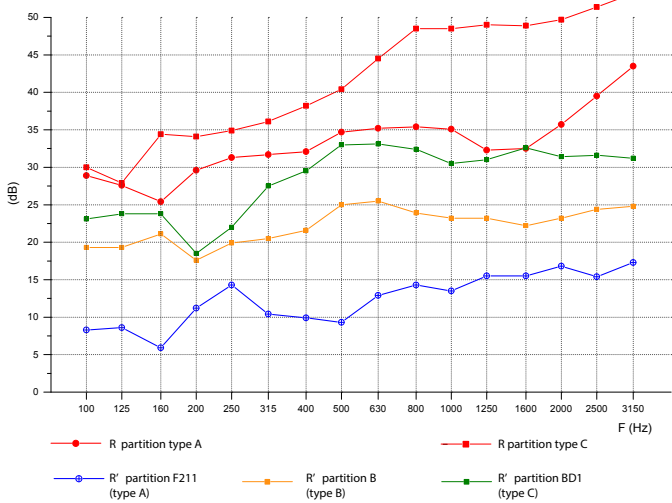
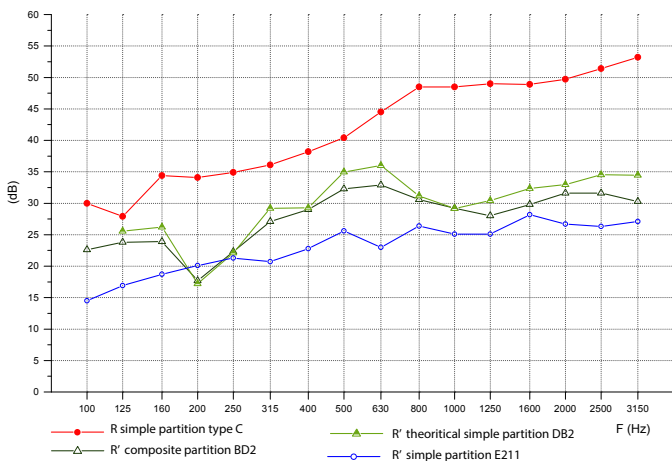


Figure 10. Simple and composite glass partition type C. Apparent sound reduction index R' and sound reduction index R.



6. Discussion

6.1 Evaluation of sound insulation applications

The disturbance in closed office spaces caused by the public areas was checked through the applications (paragraph 4.3). According to the requirements for office spaces, which are described by NC values of 30 and 35 [12], there was no problem of background noise noted in glass partitions of type B and C, whilst the offices with the glass partitions of type A didn't meet the noise criteria.

6.2 Deviations between theoretical and laboratory sound insulation.

Theoretical and laboratory values of sound reduction index refer to the simple partitions of the examined types of glass partitions.

•Glass partition type A

Theoretical calculations according to mass law and Sharp's model derive higher sound insulation values by 4dB compared to the laboratory measurements, whilst the results based on Crocker's and Cremer's models are pretty accurate. Cremer's model is based on Sharp's model, but it introduces the frequency dependent loss factor (η) and it takes into account the critical frequency and the frequency range above this point. Crocker's model takes into account the exact thickness of glass panel including the interlayer film and is applied specifically on laminated glass panels.

•Glass partition type B and C

In the case of double partition type B, the mass law theory predicts significantly lower performance than the laboratory measurements, due to the fact that it does not include the contribution of the glass panels' thickness asymmetry to the partition's actual performance, whereas in the case of double partition type C, which is characterized by symmetric glass panes the mass law derives almost acute results. Crocker's model has accurate prediction values, as it is specialized to double glass partitions.

6.3 Deviations of field measurements among partitions of the same type.

•FLANKING TRANSMISSION PATHS

Flanking transmission can occur through tiny holes, which might not be visible, and be part of the partition itself or of the joints with the main structure (floor, ceiling, walls). Therefore, deviations of the weighted sound reduction index among partitions of type A and B can result from the installation and assembly with the structure.

Concerning the partitions of type A, lower performance is measured in the partitions of larger surface area. Larger

area implies longer perimeter, which leads to extended flanking transmission paths. Also, flanking transmission occurs by the vertical joints between the glass panels of the same partition (Photo 1).

•COINCIDENCE EFFECT

The theoretical value of critical frequency, f_c , for type A glass partition corresponds to 1283Hz, for type B, it ranges from 1283 to 2566 Hz, and for type C, it is 1069 Hz. However, the curve dip in range around these points (Figures 6, 7, 8), which means the occurrence of the coincidence effect, is noted to be shifted in each partition. The critical frequency points' variations among the partitions suggest their different performance.

6.4 Deviations between field and laboratory measurements.

•FLANKING TRANSMISSION THROUGH DOOR

In the current experimental study, field measurements are performed on composite glass partitions whilst laboratory measurements describe the performance of simple glass partitions. The parameter of having a door in the partition, with sound insulation lower than that of the simple partition, results to significant reduce of the composite partition's sound insulation. Each door is designed in a way to minimize the sound transmission through its perimeter, either by rubber sealing or by overlapping frames. However, through in situ observation it was noted that in type A partitions the sealing, between the door and the frame, was not airtight. Regarding the floor, doors in type A and B partitions form a gap (<1cm). Doors in type C partitions feature a special sealing mechanism which is triggered when closing the door, so in this sound transmission through the door-floor joint was not taken into consideration.

Besides the significant impact of doors, there are several other parameters which lead to decrease of sound insulation performance of glass partitions. This is perceived by the deviation of the expected weighted sound reduction index of the composite panel type C and the corresponding weighted apparent sound reduction index (Table 7).

•DIFFUSE SOUND FIELD

In the laboratory, in both the source and reception room, there is a diffuse sound field, due to the appropriate constructions of the facilities, on the contrary, in a common building sound field cannot be diffuse. In the buildings where type A and type C partitions were measured, the ceiling was covered with sound absorbing panels which decrease the diffusion of the sound as the incident sound waves are absorbed. Adding to this effect

the sound absorption caused by the linings of furniture, then the total adsorption of the space is higher than the estimated and the assumption that there is diffuse sound field is less realistic.

•FLANKING TRANSMISSION

-THROUGH HVAC SYSTEMS

HVAC system is an important design parameter in office spaces and it is usually organized as channels over a suspended ceiling. This ramified system of adduction and abduction channels creates sound transmission paths between adjacent rooms. This is system applies to the office buildings where type A and C partitions were measured. In these cases this parameter is taken into account and there is sound barrier partition between suspended ceiling and ceiling plate along all the partition walls.

In the building where the type B partition was measured, the HVAC system is apparent and there is also a sound barrier partition above glass partitions. However sound transmission can occur through defects at spots where the ducts cross the sound barrier partitions.

-THROUGH JOINTS

Airtight sealing of joints is a significant parameter in the case of deviations between field and laboratory measurements as well. Concerning joints between glass panels of the same partition, glass panels and frame and frame and structure.

6.5 Prediction of sound insulation performance of simple partition on field.

The expected sound insulation of simple partitions of types A and B, given the field measurements of composite partitions and corresponding doors, is calculated to be higher than the composite panel and lower than the laboratory standards and prediction models. This outcome is expected, given the parameters analyzed in previous paragraphs.

6.6 Prediction of sound insulation performance of composite partition type C.

In the case of type C partition, given the weighted sound reduction indexes of simple partition and door as measured in the laboratory, the expected weighted sound reduction index of the composite partition is calculated. The field measurements of the composite type C partition derive lower results than the expected and this deviation is attributed to the reasons outlined in paragraph 6.4

7. Conclusions

The current experimental study confirms the classical principals of sound insulation performance of glass panels,

whereby double glass partitions have better performance than single glass partitions and the performance is higher when the depth of the intermediate air is increased. Edge conditions are of significant importance and loss increases with the support perimeter increment.

As far as the prediction of the weighted sound reduction index through mathematical models is concerned, M.J.Crocker's models [8] achieve great agreement with the index measured in laboratory conditions.

The sound insulation performance of a composite partition in the building cannot be directly compared to the sound insulation performance of a simple partition measured in the laboratory. But when required to select a glass partition, either composite or simple, the engineer relies on the laboratory standards. In this case, the in situ sound insulation performance of a composite partition is expected to be, on average, 15 dB below the laboratory standards of the equivalent simple partition.

Glass partitions are considered to meet the requirements for closed office spaces, where noise control is required, as noise criteria requirements are derived to be fulfilled. However, special attention must be drawn to the construction of suspended ceiling, which is a common choice for professional spaces. The joint of partition wall to the ceiling and its extension to the ceiling plate is a sensitive part of the construction, as it forms an important path of flanking transmission.

8. References

- [1] **Marsh J., (1970)**. The airborne sound insulation of glass part 1 (part 2/ part3). *Applied Acoustics* 4, 1971.
- [2] **Utley W.A., Fletcher B.L., (1969)**. Influence of edge conditions on the sound insulation of windows. *Applied Acoustics* 2, 1969.
- [3] **Utley W.A., Fletcher B.L., (1972)**. The effect of edge conditions on the sound insulation of double windows. *Journal of Sound and Vibration* 26, 1973.
- [4] **Ford R.D.(1993)**. Predicting the sound reduction index of laminated glass. *Applied Acoustics* 43,1994.
- [5] **Schimmelpenninck J., (2012)**. Acoustic interlayers for laminated glass-what makes them different and how to estimate performance. *Glass Performance Days 2012*.
- [6] **Tadeu A., Mateus D., (2000)**. Sound transmission through single, double, and triple glazing. Experimental evaluation. *Applied Acoustics* 62,2001.
- [7] **Miskinis K., (2014)**. Comparison of sound insulation of windows with double glass unit. *Applied Acoustics* 92, 2015.
- [8] **Crocker M.J., (2007)**. *Handbook of Noise and Vibration Control*, New Jersey, John Wiley & Sons.

[9] **Πουλάκος Γ., (2006)**. *Τεχνολογία Δομικών Υλικών: Συμπεριφορά των δομικών υλικών σε σχέση με τον ήχο*. ΕΜΠ, 2006.

[10] **Σωτηροπούλου Α., (1996)**. *Ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών ακροατηρίου. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα*, Εκδόσεις Κάλλιπος, 2015, <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5850>.

[11] **Σωτηροπούλου Α.** *Noise and Vibration Transmission in Buildings, Σημειώσεις μαθήματος 'Τεχνολογία Δομικών Υλικών'*, Δ.Π.Μ.Σ 'Επιστήμη και τεχνολογία Υλικών', ΕΜΠ.

[12] **SRL, (1976)**. *Practical Building Acoustics*. Sound Research Laboratories Ltd, Suffolk, United Kingdom.