ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΠΡΟΣΟΨΕΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ· ΔΙΚΕΛΥΦΕΣ ΟΨΕΙΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ Γ. ΚΑΡΝΑΡΗ
Διπλωματούχου Αρχιτέκτονος Μηχανικού Α.Π.Θ.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:
Α. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ
Επίκουρη Καθηγήτρια Αρχιτεκτονικής Σχολής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2012

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΠΡΟΣΟΨΕΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ· ΔΙΚΕΛΥΦΕΣ ΟΨΕΙΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ Γ. ΚΑΡΝΑΡΗ

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονος Μηχανικού Α.Π.Θ.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

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

Γ. Ι. ΠΟΥΛΑΚΟΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σ. ΤΣΙΒΙΛΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2012

……
Καρνάρη Ευαγγελία
Διπλωματούχος Αρχιτέκτων Μηχανικός Α.Π.Θ.

Copyright© Καρνάρη Ευαγγελία,2012
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα για τον προσδιορισμό της ηχομονωτική ικανότητας γυάλινων δικέλυφων όψεων, σε τρία κτίρια στον Νομό Αττικής . Είναι χρήσιμο να προσδιορίσουμε σε τι ποσοστό επιτυγχάνεται η επιθυμητή ηχομόνωση ανάλογα της χρήσης του κτιρίου και επιπλέον τι σφάλματα γίνονται στην κατασκευή.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του χρόνου αντήχησης και της έντασης, στους εν λόγω χώρους, χωρίς ακροατήριο, με όργανα που μας παραχωρήθηκαν από το εργαστήριο ηχοτεχνείας του Ε.Μ.Π.

Και τα τρία κτίρια με βάση τη γεωμετρία τους ανήκουν στις *πολυώροφες συνεχείς όψεις*, ενώ με βάση το μηχανισμό κίνησης της αέριας ανήκει στη κατηγορία της *παθητικής κίνησης*. Τα κτίρια Α και Β βρίσκονται πάνω σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας και μεγάλου αστικού – κυκλοφοριακού. Το κτίριο Γ βρίσκεται μέσα στο αστικό ιστό της Αθήνας, σε κεντρικό σημείο της πόλης.

Με δεδομένο τον σχετικά αυξημένο αστικό κυκλοφοριακό θόρυβο σήμερα όλες οι κατασκευές γυάλινων δικέλυφων όψεων βρέθηκαν μη ικανοποιητικές στην σύγκρισή τους με την ηχομονωτική ικανότητα συμβατικών κουφωμάτων.

Τα ευρήματα παρέχουν στοιχεία ως προς την ικανότητα των γυάλινων δικέλυφων σε σχέση με τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών σε μετρήσεις in situ, ομοειδών κατασκευών. Οι διαφορές που παρουσιάζουν είναι αρκετά μεγάλες και φτάνουν μέχρι και τα 28 dB. Στην σύγκρισή τους με συμβατικές κατασκευές, φαίνεται να μειονεκτούν, με εξαίρεση το κτίριο Α. Οι διαμπερής οπές στο εξωτερικό κέλυφος των προσόψεων, αποτελεί έναν από κυριότερους παράγοντες της μειωμένης ηχομονωτικής ικανότητας των κατασκευών αυτών.

Τέλος διερευνάτε η αντιμετώπιση των επιλογών, των αποφάσεων και των προβλημάτων που ανακύπτουν κατά τη σχεδίαση και υλοποίηση μίας εφαρμογής γυάλινης δικέλυφης όψης με στόχο τη βελτίωση της ηχομονωτικής τους απόδοσης.

Λέξεις Κλειδιά

Γυάλινες δικέλυφες όψεις, Ηχομονωτική ικανότητα, Αερόφερτος ήχος, Πρόσοψη,

Abstract

Experiments were carried out to determine the acoustic capacity of double sided facades in three buildings in Athens. It is useful to determine what percentage achieved the desired insulation, depending on the use of the building and what additional errors made in the construction.

For this reason we performed measurements of reverberation time and equivalent continuous sound levels in these areas, without audience, with our instruments donated by the laboratory of NTUA.

All three buildings based on their geometry belong to the multistory facades, while based on the type of ventilation, they belong to the category of passive motion. Buildings A and B are on freeways and major urban – traffic noise. Building C is located within the urban fabric of Athens, in the center of town.

Given the relatively increased urban traffic noise, the constructions of double sided facades in our research, were found unsatisfactory in comparison with conventional sound-absorbing capacity of frames.

The findings provide evidence of the ability of double skin facades, compared to results from other researchers on measurements in situ, in similar structures. The differences are quite large, reaching up to 28 dB. In comparison with conventional structures, appear to be disadvantaged, with the exception of building A. The holes in the outer shell of the facade, is one of main factors of reduced sound insulation capacity of these structures.

Finally we explore the treatment options, decisions and problems that arise when designing and implementing an application of double sided facades to improve the sound insulation performance.

KeyWords

Double sided facades, Double skin facades, Sound Insulation, Airborne sound, Sound Transmission Loss, Glazing

Ευχαριστώ θερμά:

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τη φοιτήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών, του Διατμηματικού προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών "Επιστήμη και Τεχνολογία υλικών" του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Καρνάρη Ευαγγελία.

Θα ήθελα, λοιπόν, να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα επικ. καθηγήτρια, κυρία Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου, για την ανάθεση και καθοδήγηση, κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Επίσης σημαντική ήταν η βοήθεια που προσέφερε ο καθηγητής του Ε.Μ.Π κ. Γεώργιος Πουλάκος με τις χρήσιμες συμβουλές του, το ενδιαφέρον, την άμεση βοήθεια του και την προσφορά βιβλιογραφικού υλικού κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ, Τηλέμαχο Καρατζά, για την βοήθεια που παρείχε στο πρακτικό σκέλος της εργασίας

Επιπλέον θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στα αρμόδια τμήματα των εταιριών J &P ΑΒΑΞ και συγκεκριμένα στον κ. Άλκη Παπαδόπουλο, στο γραφείο «ΑΕΤΕΡ - Χάρης Μπουγαδέλλης και Συνεργάτες Αρχιτέκτονες Α.Ε.», στην Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Ε/Π Ενίσχυσης της Προσελασιμότητας (ΕΥΔ/ΕΠ-ΕΠ), του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, στον κ. Αδριανό Ρέππα Υπεύθυνο Ανάπτυξης Δικτύου του καταστήματος Ηλεκτρονικής Αθηνών, στον κ. Δ. Παπαζαφειρόπουλο, διευθύνων σύμβουλο της Toi&moi για τις πληροφορίες που μου προσέφεραν.

Ευχαριστίες επίσης εκφράζονται στον Νίκο Παπακώστα, Μηχανικό Ήχου για τις συμβουλές και την βοήθεια που μου προσέφερε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Αλέξανδρο Παπαναστασάτο για την αμέριστη στήριξη που μου παρείχε.

Τέλος, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την ηθική στήριξη και συμπαράσταση καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη **5**

Abstract **7**

Πίνακας Περιεχομένων **11**

Πίνακας Εικόνων και Σχημάτων **14**

1. Εισαγωγή **19**

1.1 Γενικά 19

2. Γυάλινες Δικέλυφες Όψεις **22**

2.1 Γενικά περί γυαλιού 22

2.2 Ορισμός 23

2.3 Λέξεις Κλειδιά 24

2.4 Ιστορική αναδρομή 25

3. Τυπολογία δικέλυφων όψεων **36**

3.1 Κατασκευή της πρόσοψης- Τεχνικά χαρακτηριστικά 36

3.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα 37

3.3 Τυπολογία δικέλυφων όψεων 46

3.4 Παραδειγματα κατασκευων δικελυφων οψεων 49

4. Στοιχεία Ακουστικής **63**

4.1 Γενικά περί ήχου 63

4.1.1 Ακουστικη 63

4.1.2 Ήχος 63

4.2 Φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου 65

4.3 Κλίμακα των ντεσιμπέλ (dB) 67

4.4 Αφαίρεση ακουστικών σταθμών 69

4.5 Είδη ήχων 69

4.6 Ζώνες συχνοτήτων 70

4.7 Φαινόμενα κατά την ηχοδιάδοση 72

4.8 Μέτρηση της ηχητικής έντασης 74

4.9 Ο Ηχος σε κλειστό χώρο 75

4.9.1 Αντήχηση 76

4.9.2 Θόρυβος βάθους 77
4.9.3 Σταθμισμένη Α-ηχοστάθμη 79
4.9.4 Ισοδύναμη συνεχής ηχοστάθμη L_{eq} (Equivalent Continuous Sound Level) 79
4.9.5 Ηχοαπορρόφηση και Ηχοαπορροφητικά υλικά 80
4.9.5.1 Πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά 81
4.9.5.2 Συνηχητές 82
4.10 Χρήση των ηχοαπορροφητικών υλικών 83
4.11 Ηχομόνωση 84
4.11.1 Ηχομόνωση ως προς τον Αερόφερτο ήχο 84
4.12 Περι ηχομόνωσης διαχωριστικών πετασμάτων 86
4.12.1 Απλά διαχωριστικά πετάσματα 86
4.12.2 Διπλά διαχωριστικά πετάσματα 88
4.12.3 Σύνθετα διαχωριστικά πετάσματα 90
4.12.4 Παράθυρα 91
4.13 Επιτόπιες μετρήσεις με το θόρυβο της τροχαίας κίνησης 91
4.14 Αξιολόγηση της ηχομόνωσης ως προς τον αερόφερτο ήχο 93
4.15 Σταθμισμένος Δείκτης Ηχομείωσης Rw 95
4.16 Ηχομόνωση κτυπογενούςς ήχου 95
5. Βιβλιογραφική αναδρομή 97
6. Σχεδιασμός πειραμάτων & μεθοδολογία 100
6.1 Εισαγωγή 100
6.2 Επιλογή κτιρίων 100
6.3 Μετρήσεις στα κτίρια 103
6.4 Μετρητές στάθμης ήχου 104
6.4.1 Σταθμιστικά Κυκλώματα (Φίλτρα) 104
6.5 Πειραματικά όργανα 105
6.6 Διαδικασία εκτέλεσης του πειράματος 106
6.6.1 Τοποθεσία κτιρίων 106
6.6.2 Επιλογή θέσεων μέτρησης 108
6.6.3 Μετρήσεις στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης (L) 110
6.6.4 Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης RT 111
6.6.5 Μετρήσεις θορύβου βάθους 113
6.7 Χαρακτηριστικά κτιρίων 114
6.7.1 Κτίριο Α 114
6.7.2 Κτίριο Β 114
6.7.3 Κτίριο Γ 115
7. Μετρήσεις και αποτελέσματα 117

7.1 Διαδικασία δοκιμής 117
7.2 Κτίριο Α 118
7.2.1 Περιγραφή δικέλυφης όψης στο κτίριο Α 118
7.2.2 Αποτελέσματα πειράματος στο Κτίριο Α 119
7.3 Κτίριο Β 123
7.3.1 Περιγραφή δικέλυφης όψης στο Κτίριο Β 123
7.3.2 Αποτελέσματα πειράματος στο Κτίριο Β 124
7.4 Κτίριο Γ 130
7.4.1 Περιγραφή δικέλυφης όψης στο Κτίριο Γ 130
7.4.2 Αποτελέσματα πειράματος στο Κτίριο Γ 131
8. Εφαρμογές Ηχομόνωσης 135
8.1 Μετατροπή τριτοοκταβικήσ ζώνης σε οκταβικη 135
8.2 Κριτήριο Θορύβου (NC) 135
8.2.1 Αποτελέσματα Κτιρίου Α 136
8.2.2 Αποτελέσματα Κτιρίου Β 137
8.2.3 Αποτελέσματα Κτιρίου Γ 140
8.3 Υπολογιστική – Θεωρητική διερεύνηση γυάλινων δικέλυφων όψεων 141
8.3.1 Κτίριο Α 142
8.3.2 Κτίριο Β 144
8.3.3 Κτίριο Γ 146
9. Σχολιασμός – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων 148
9.1 Συζήτηση των αποτελεσμάτων 148
9.2 Παραδοχές της παρούσας μελέτης 149
9.3 Εκτίμηση των αποτελεσμάτων των κτιρίων Α,Β και Γ 149
9.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες μελέτες ερευνητών 153
9.4.1 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με επιτόπιες μετρήσεις ερευνητών σε Γ.Δ.Ο. 153
9.4.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με επιτοπιες μετρήσεις ερευνητών σε κουφώματα αλουμινίου 154
9.4.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με εργαστηριακες μετρήσεις ερευνητών σε κουφώματα αλουμινίου 154
9.4.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων με επιτοπιες μετρήσεις ερευνητών σε σύνθετα διαχωριστικά πετάσματα 156
10. Συμπεράσματα 159
11. Βιβλιογραφία 161
12. Παράρτημα 161

Παράρτημα α)……..156
Παράρτημα β)……..156
Παράρτημα γ)……..156

Πίνακας Εικόνων και Σχημάτων

Εικόνα 1: Ενδεικτικός μηχανισμός δικέλυφης όψης 23
Εικόνα 2: α) αεροστεγή διπλά τζάμια, β) δικέλυφη όψη 24
Εικόνα 3: Mies van der Rohe, Design Friedrichstrasse, 1919 27
Εικόνα 4: Mies van der Rohe, Maquette Glass Skyscrape,r 1922 27
Εικόνα 5: Εργοστάσιο Steiff 28
Εικόνα 6: Εργοστάσιο Steiff 28
Εικόνα 7: Ταχυδρομικό ταμιευτήριο, Otto Wagner 1903 29
Εικόνα 8: α,β,γ,δ: Κτιριακό συγκρότημα Narkomfin 29
Εικόνα 9: α,β: Le Corbusier, Cite de Refuge,1929, Παρίσι 31
Εικόνα 10: α,β: Le Corbusier, Immeuble Clarte,1930, Παρίσι 31
Εικόνα 11: α,β: Le Corbusier, Villa Schwob,1916,Ελβετία 32
Εικόνα 12: α,β: Alvar Aalto, σανατώριο Paimio Tuberculosis,1929 – 1933 32
Εικόνα 13: α,β: Debis Tower, Βερολίνο, Γερμανία,1998, Renzo Piano Building 34
Εικόνα 14: α,β: City Gate, Dusseldorf, Γερμανία,1998 34
Εικόνα 15: α,β: BBC Scotland New Headquarters, Pacific Quay, Glasgow,Αγγλία,2006 35
Εικόνα 16: α,β: Kadoorie Biological Science Building, Hong Kong,1999 35
Εικόνα 17: Κατηγοριοποίηση μονού κελύφους με διπλό κέλυφος 37
Εικόνα 18: Εναλλάκτης θερμότητας (HRV) 40
Εικόνα 19: Χειμερινή και εαρινή λειτουργία εξαερισμού 41
Εικόνα 20: Καθαρισμός δικέλυφης όψης 44
Εικόνα 21: Κατηγοριοποίηση με βάση τη φορά κίνησης της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό 48
Εικόνα 22: Κατηγοριοποίηση με βάση κλειστή / ανοιχτή κοιλότητα και τη φορά κίνησης της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό 49
Εικόνα 23: Γενική επισκόπηση τυπολογίας δικέλυφων όψεων (VDF αντιστοιχεί στο ΓΔΟ) 49
Εικόνα 24: Βιβλιοθήκη στο Cambringe, Αγγλία α)εσωτερική όψη ,β) εξωτερική όψη 50
Εικόνα 25: Βιβλιοθήκη στο Cambringe, Αγγλία α)εξωτερική όψη, β) στάδια κατασκευής 51
Εικόνα 26: Νοσοκομείο παίδων, Φιλαδέλφεια α)λεπτομέρεια κατασκευής β) εσωτερική όψη , γ) εξωτερική όψη 52
Εικόνα 27: Stadttor κτίριο γραφείων (city gate), Dusseldorf, Γερμανία α) εσωτερική κοιλότητα, β) εσωτερική όψη, γ) εξωτερικές όψεις 53
Εικόνα 28: GSW HQ, Βερολίνο Γερμανία α) τρόπος λειτουργίας ,β) τρισδιάστατη απεικόνιση, γ) κάτοψη ,δ)εξωτερική λεπτομέρεια πρόσοψης, ε)εσωτερική λήψη παραθύρου 55
Εικόνα 29: Seattle Justice Center, Seattle, Washington,United States α) κοιλότητα , β) εσωτερική λεπτομέρεια, γ) τομή, δ)εξωτερική λεπτομέρεια πρόσοψης 56
Εικόνα 30: Occidental Chemical Center (Hooker Building), Niagara Falls, Νέα Υόρκη, USA.α)β)γ)δ) λεπτομέρειες κοιλότητας, ζ)εξωτερική λεπτομέρεια πρόσοψης 57
Εικόνα 31: Victoria Insurance, Dusseldorf, Γερμανία α)τομή, β) κάτοψη, γ)εξωτερική λεπτομέρεια παραθύρων, δ) κοντινή λήψη παραθύρων 58
Εικόνα 32: ARAG Insurance, Dusseldorf, Γερμανία, α,)β)εξωτερικές λήψεις 58
Εικόνα 33: Peking Road, Kowloon, Hong Kong, α)εσωτερική λήψη εστιατορίου, β)εξωτερική λήψη 59
Εικόνα 34: Kraanspoor, Amsterdam, The Netherlands, α) τομή, β) κοιλότητα, γ)κάτοψη, δ)κοντινή όψη, ε)όψη 60
Εικόνα 35: Qatar Science and Technology Park, , Qatar,α) γενική όψη β), γ), δ) 61

εσωτερικές όψεις
Εικόνα 36: Neven-DuMont-Schauberg, , Dusseldorf, Γερμανία,α),γ) γενική όψη β), δ), ε) εξωτερικές όψεις 62
Εικόνα 37: Συχνότητα κυματομορφής 65
Εικόνα 38: Περίοδος μιας κυματογράφος 65
Εικόνα 39: α)μήκος κύματος, β)μήκος κύματος και συχνότητα 66
Εικόνα 40: Οι γραφικές παραστάσεις ενός απλού ήχου (I), ενός σύνθετου ήχου (II), ενός θορύβου (III) όπως και ενός κρότου (IV). 70
Εικόνα 41: Ηχοανάκλαση 72
Εικόνα 42: Περίθλαση (Α.Σωτηροπούλου 1996) 73
Εικόνα 43: Διάχυση (Α.Σωτηροπούλου 1996) 74
Εικόνα 44: Σχήμα με ηχοανάκλαση, ηχοαπορρόφηση καιηχομετάδοση(Α.Σωτηροπούλου 1996) 74
Εικόνα 45: Διάδοση του ήχου μέσα σε κλειστό χώρο (Αιμ.Γ.Κορωναίος & Γ.Ι.Πουλάκος,2005) 75
Εικόνα 46: Διάγραμμα χρόνου αντήχησης 76
Εικόνα 47: Απεικόνιση χρόνου αντήχησης σε δωμάτιο 77
Εικόνα 48: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου (SRL 1976) 78
Εικόνα 49: Κυμαινόμενη με το χρόνο στάθμη ηχητικής πίεσης 79
Εικόνα 50: Αντιπροσωπευτικές τυπικές καμπύλες ηχοαπορροφητικών υλικών (Αιμ.Γ.Κορωναίος & Γ.Ι.Πουλάκος 2005) 80
Εικόνα 51: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης πετροβάμβακα 82
Εικόνα 52: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητής μεμβράνης 83
Εικόνα 53: Πηγές θορύβου 84
Εικόνα 54: Ηχομετάδοση μεταξύ δύο δωματίων ως προς τον αερόφερτο ήχο 85
Εικόνα 55: Ο νόμος της μάζας (Α.Σωτηροπούλου) 87
Εικόνα 56: Συντονισμος-Κυματοσύμπτωση (Α.Σωτηροπούλου) 88
Εικόνα 57: Βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης ΔR δικέλυφου χωρίσματος τοιχοποιίας από γυψοσανίδες πάχους διατομής 12.5mm, ανάλογα με το πάχος του ενδιάμεσου ηχοαπορροφητικού μονωτικού υλικού. 90
Εικόνα 58: Σύνθετο διαχωριστικό πέτασμα 90
Εικόνα 59: Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης Rw, υαλοπίνακα σε σχάση με το πάχος του για ηχητική πρόσπτωση από όλες τις κατευθύνσεις ή με γωνία 45ο 91
Εικόνα 60: Καμπύλη αναφοράς για τον αερόφερτο ήχο 94
Εικόνα 61: α) Πλωτό δάπεδο, β)- γ) κατασκευή πλωτών δαπέδων 96
Εικόνα 62: Κτίριο Α – Toi Moi 101
Εικόνα 63: Κτίριο Β– Κατάστημα Ηλεκτρονικής 101
Εικόνα 64: Κτίριο Γ– Κτίριο γραφείων 101
Εικόνα 65: Αεροφωτογραφία Google Earth 102
Εικόνα 66: Αεροφωτογραφία Google Maps 103
Εικόνα 67: Ηχόμετρο Bruel&kjaer, Hand-held Analyzer, Type 2270 105
Εικόνα 68: Ηχόμετρο Bruel&kjaer, Hand-held Analyzer, Type 2270 με προστατευτικό κάλυμμα ανέμου 106
Εικόνα 69: Κτίριο Α : Εθνική οδό Αθηνών – Λαμίας στο ύψος της Νέας Φιλαδέλφειας 107
Εικόνα 70: Κτίριο Β : Οδός Κηφισίας 16 στο ύψος του Αμαρουσίου 107
Εικόνα 71: Κτίριο Γ : Αθήνα, Κόνιαρη 15 107
Εικόνα 72: Κτίριο Α, Θέσεις μέτρησης 108

Εικόνα 73: Κτίριο Β, Θέσεις μέτρησης 109
Εικόνα 74: Κτίριο Γ, Θέσεις μέτρησης 109
Εικόνα 75: Κτίριο Α, Θέσεις μέτρησης χρόνου αντήχησης 112
Εικόνα 76: Κτίριο Β, Θέσεις μέτρησης χρόνου αντήχησης 112
Εικόνα 77: Κτίριο Γ, Θέσεις μέτρησης χρόνου αντήχησης 113
Εικόνα 78: Φορητή διάταξη μέτρησης χρόνου αντήχησης 113
Εικόνα 79: Κάτοψη κτιρίου Α 118
Εικόνα 80: Οριζόντια τομή κτιρίου Α, Τυπική Λεπτομέρεια επένδυσης όψης Λ1 119
Εικόνα 81: Κάτοψη κτιρίου Β 123
Εικόνα 82: Οριζόντια τομή κτιρίου Β, Τυπική Λεπτομέρεια επένδυσης όψης Λ1 124
Εικόνα 83: Κάτοψη κτιρίου Γ 130
Εικόνα 84: Οριζόντια τομή κτιρίου Γ, Τυπική Λεπτομέρεια επένδυσης όψης Λ1 131
Εικόνα 85: Οριζόντια τομή κατασκευής κτιρίου Α 143
Εικόνα 86: Οριζόντια τομή κατασκευής κτιρίου Β 144
Εικόνα 87: Οριζόντια τομή κατασκευής κτιρίου Γ 146
Εικόνα 88:α,β) Λεπτομέρεια επένδυσης όψης κτιρίου Α 150
Εικόνα 89: α,β) Λεπτομέρεια επένδυσης όψης κτιρίου Β 151
Εικόνα 90: α,β) Λεπτομέρεια επένδυσης όψης κτιρίου Γ 151
Εικόνα 91: α,β,γ,δ) Λεπτομέρεια εξωτερικής θύρας κτιρίου Β 152
Εικόνα 92: α,β,γ) Λεπτομέρεια εξωτερικού κελύφους κτιρίων Α,Β,Γ αντίστοιχα 154
Εικόνα 93: α,β) Λεπτομέρεια εξωτερικού υαλοστασίου κτιρίου Γ 156
Εικόνα 94: α,β) Κατασκευαστική λεπτομέρεια ΜΤΒ και συμβατικής κατασκευής 157

Πίνακας 1: Κατάταξη με βάση τη γεωμετρία των γυάλινων δικέλυφων όψεων 47
Πίνακας 2: Κλίμακα ακουστικών ντεσιμπέλ 68
Πίνακας 3: Πίνακας πρόσθεσης dB , (Α.Σωτηροπούλου 1996) 68
Πίνακας 4: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου (dB (A))(ΤΕΕ,2008α) 70
Πίνακας 5: Οκταβικές και τριτοκταβικές ζώνες (Σωτηροπούλου Α., 1996) 71
Πίνακας 6: Κριτήρια θορύβου (αποδεκτές τιμές θορύβου) ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου. (SRL 1976) 78
Πίνακας 7: Φάσματα ηχοστάθμης για τον υπολογισμό των όρων φασματικής προσαρμογής 93
Πίνακας 8: Τιμές αναφοράς για αερόφερτο ήχο 94
Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της μελέτης των M.Blasco, C Crispin, B. Ingelaere 97
Πίνακας 10: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Α, Μέσος όρος θέσης 1 και θέσης 2 120
Πίνακας 11: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Α, Θέση 3 121
Πίνακας 12: Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Κτιρίου Α 122
Πίνακας 13: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 1 125
Πίνακας 14: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 2 126
Πίνακας 15: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 3 127
Πίνακας 16: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 4 128
Πίνακας 17: Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Κτιρίου Β 129
Πίνακας 18: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Γ, Γραφείο 1 132
Πίνακας 19: Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Γ, Γραφείο 2 133
Πίνακας 20: Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Κτιρίου Γ 134

Πίνακας 21: Αποτελέσματα εσωτερικού θορύβου συναρτήσει της συχνότητας σε 1/1 οκτάβας στο κτίριο Α 135
Πίνακας 22: Αποτελέσματα εσωτερικού θορύβου συναρτήσει της συχνότητας σε 1/1 οκτάβας στο κτίριο Β 138
Πίνακας 23: Αποτελέσματα εσωτερικού θορύβου συναρτήσει της συχνότητας σε 1/1 οκτάβας στο κτίριο Γ 140
Πίνακας 24: Δείκτης ηχομείωσης κατασκευής κτιρίου Α 143
Πίνακας 25: Δείκτης ηχομείωσης κατασκευής κτιρίου Β 145
Πίνακας 26: Δείκτης ηχομείωσης κατασκευής κτιρίου Γ 146
Πίνακας 27: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων 148
Πίνακας 28: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων έρευνας «Acoustical Performances of Double Ventilated Glass Facades» 153
Πίνακας 29: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων έρευνας «Case Study: Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology Building and a Convensional Building» 157

Διάγραμμα 1: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Μ.Ο. θέση 1 &2 120
Διάγραμμα 2: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 3 121
Διάγραμμα 3:Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dtr,2m,n 122
Διάγραμμα 4: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 1 125
Διάγραμμα 5: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 2 126
Διάγραμμα 6: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης R΄, Θέση 3 127
Διάγραμμα 7: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 4 128
Διάγραμμα 8: Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dtr,2m,n 129
Διάγραμμα 9: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Γραφείο 1 132
Διάγραμμα 10: Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Γραφείο 2 133
Διάγραμμα 11: Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dtr,2m,n 134
Διάγραμμα12: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Α, Θέση 1&2 136
Διάγραμμα 13: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Α, Θέση 3 137
Διάγραμμα 14: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 1 138
Διάγραμμα 15: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 2 138
Διάγραμμα 16: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 3 139
Διάγραμμα 17: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 4 139
Διάγραμμα 18: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Γ, Θέση 1 140
Διάγραμμα 19: Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Γ, Θέση 2 141
Διάγραμμα 20: Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης 144
Διάγραμμα 21: Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης 145
Διάγραμμα 22: Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης 147

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην αρχή του 20ου αιώνα ένας από τους πατέρες της σύγχρονης υγιεινολογίας, ο Robert Koch, έγραφε σχετικά με το θόρυβο ότι *"μια μέρα ο άνθρωπος θα αγωνίζεται ενάντια στο θόρυβο με την ίδια επιμονή που παλεύει με τη χολέρα και την πανώλη"*.

Αυτή η μέρα έφθασε και δεν είναι μόνο το αποτέλεσμα μιας μη ορθολογικής οργάνωσης της βιομηχανικής παραγωγής, αλλά και μιας χαώδους πολεοδομικής ανάπτυξης. Η βιομηχανική παραγωγικότητα αναπτύχθηκε παράλληλα με την αύξηση της ταχύτητας των μηχανών και κατά συνέπεια με τη μεγαλύτερη παραγωγή θορύβου. Η μεγάλη αύξηση των μέσων μεταφοράς καθώς και η εγκατάσταση παραγωγικών δραστηριοτήτων ή και δραστηριοτήτων "αναψυχής" στις κατοικήσιμες περιοχές των μεγάλων πόλεων, οξύνουν το πρόβλημα της "ηχητικής ρύπανσης" και των επιδράσεων της στη σωματική και ψυχική υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων.

Όπως έδειξε έρευνα της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (ΠΟΥ) («Burden of disease from environmental noise : Quantification of healthy life years lost in Europe», WHO), η ηχορρύπανση έρχεται δεύτερη (μετά την ατμοσφαιρική ρύπανση) στην κατάταξη των περιβαλλοντικών κινδύνων για την υγεία.

Σύμφωνα με την έρευνα, η έκθεση στον θόρυβο είναι μια ύπουλη διαδικασία της οποίας οι άμεσες και μακροπρόθεσμες συνέπειες δεν είναι ούτε ορατές, ούτε αναγνωρίσιμες, αλλά ωστόσο υποσκάπτουν συστηματικά την υγεία και διογκώνουν τα μη υγιή προσδόκιμα χρόνια ζωής των πολιτών της Ευρώπης. Η διαρκής και μακροχρόνια έκθεση των ανθρώπων σε θορυβώδη περιβάλλοντα προκαλεί σοβαρά καρδιολογικά προβλήματα, πρόσκαιρες ή παραμένουσες βλάβες της ακοής, ενοχλήσεις (ναυτία, ζάλη, πονοκεφάλους), διαταραχές ύπνου και μαθησιακές δυσλειτουργίες. Κατά τις εκτιμήσεις της ΠΟΥ, στη Δυτική Ευρώπη χάνονται κάθε χρόνο συνολικά 1.000.000 υγιή έτη προσδόκιμης ζωής από κυκλοφοριακούς θορύβους.

Οι θόρυβοι του περιβάλλοντος (κυκλοφοριακοί, βιομηχανικοί και πάσης φύσης μηχανολογικοί) οι οποίοι οφείλονται σε ποικίλες δραστηριότητες (οικονομικές, οικιακές, αναψυχής) προκαλούν σοβαρές ενοχλήσεις, η έκταση και η βαρύτητα των οποίων ποικίλλουν ανάλογα με την απόσταση της πηγής, τη συχνότητα και την διάρκεια της όχλησης, καθώς επίσης και από την τοπογραφία, την πολεοδομική οργάνωση μιας περιοχής.

Ως θόρυβος προσδιορίζεται ο ανεπιθύμητος, ενοχλητικός ή και απλά δυσάρεστος για τον άνθρωπο εξωτερικός ήχος.

Στο εργασιακό περιβάλλον η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου έχει συσχετιστεί με σημαντική αύξηση των εργατικών ατυχημάτων ενώ η λεγόμενη «επαγγελματική

θορυβογενής βαρηκοΐα» θεωρείται η πιο συχνή επαγγελματική νόσος. Για το λόγο αυτό η νομοθεσία επιβάλλει την τήρηση ορίων για την έκθεση των εργαζομένων σε θόρυβο, ο οποίος σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπερβαίνει ως μέση τιμή τα 87 ντεσιμπέλ ενώ πάνω από τα 80 ντεσιμπέλ καθίσταται υποχρεωτική η χορήγηση μέσων ατομικής προστασίας (ωτοασπίδες).

Η πρόληψη της έκθεσης στο θόρυβο είναι παράγοντας ζωτικής σημασίας αφού έχει διαπιστωθεί ότι η βλάβη της ακοής που προκαλείται από το θόρυβο δεν είναι αντιστρεπτή.

Το ευρύ κοινωνικό ενδιαφέρον και η ανησυχία των ανθρώπων όλου του κόσμου για τις συνέπειες του θορύβου επέφερε νομοθεσίες ανωτάτων ορίων θορύβου στους χώρους εργαζομένων, κατοικημένων περιοχών, αεροδρομίων, τραίνων, αυτοκινητόδρομων, μηχανημάτων, συσκευών κλπ. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ερευνητικών κέντρων, εταιρειών ακουστικής και άλλων οργανισμών με σκοπό την εξεύρεση λύσεων στο πρόβλημα του θορύβου.

Έχοντας λοιπόν όλα αυτά κατά νου και εξετάζοντας παράλληλα το κόστος και τις επιπτώσεις τις περιβαλλοντικής υποβάθμισης στο τουρισμό, τις εμπορικές και πολιτιστικές σχέσεις με τα άλλα κράτη, την δυσμενή επίδραση σε αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία, την ανθρώπινη υγεία και ποιότητα ζωής. διαπιστώνουμε πως μας είναι αδύνατο να αγνοήσουμε το πρόβλημα της ηχορύπανσης και κατ' επέκταση του αστικού θορύβου. Ήδη στο πλαίσιο της αξιολόγησης και διαχείρισης του περιβαλλοντικού θορύβου, η Κοινοτική Οδηγία (2002/49/ΕΚ. ΦΕΚ 384Β /28.03.2006) υποχρεώνει τις Ευρωπαϊκές πόλεις, να εκπονήσουν ειδικούς χάρτες θορύβου, τα αποτελέσματα των οποίων θα κρίνονται και θα συγκρίνονται ανά τακτά διαστήματα από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ταυτόχρονα, ζούμε σε μία εποχή, που προβάλεται επιτακτικότερα από ποτέ, η οικολογική διαχείριση του αστικού περιβάλλοντος. Η ολοένα και μεγαλύτερη ανησυχία για το περιβάλλον, η αποδοχή της ανάγκης για οικονομικότερη διαβίωση αλλά κι η πρόσφατη οικονομική κρίση, επανέφεραν στην επιφάνεια τις αρχαίες πρακτικές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική βασίζεται στην αντίληψη για εναρμόνιση των κτηρίων με το τοπικό κλίμα και το περιβάλλον, θεωρώντας τα κτήρια και το κλίμα του τόπου ως μια ενότητα αλληλεξαρτώμενη με αμοιβαίες επιδράσεις, και στην απαίτηση για άνετη και υγιεινή διαβίωση του ανθρώπου. Θεωρείται επιβεβλημένη η αξιοποίηση των θετικών παραμέτρων του κλίματος, όπως η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των κτηρίων, οι δροσεροί άνεμοι για τη φυσική τους ψύξη, η βλάστηση για τη σκίαση τόσο των κτηρίων όσο και του περιβάλλοντος χώρου. Έτσι, διασφαλίζονται άνετες συνθήκες διαβίωσης τόσο μέσα στα κτήρια όσο και στον περιβάλλοντα χώρο, περιορίζοντας

παράλληλα την κατανάλωση συμβατικής ενέργειας και την συνεπαγόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι γυάλινες δικέλυφες όψεις (ΓΔΟ) αποτελούν αναμφισβήτητα τα τελευταία χρόνια μία νέα πρόταση και τάση στη σύγχρονη βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Οι κατασκευές αυτού του τύπου υπόσχονται:

- Αντιμετώπιση των συνεχώς αυξανόμενων επιπέδων αστικού θορύβου
- Προστασία του βασικού κελύφους από τις εξωτερικές καιρικές επιδράσεις
- Φυσικό αερισμό των χώρων μέσω του κλωβού μεταξύ των δύο κελυφών, και γενικότερα
- Παθητική θέρμανση, φυσικό δροσισμό και φωτισμό των κτιρίων.

Η μικρή όμως ηλικία των κτιρίων που έχουν ενσωματώσει στο κέλυφός τους δικέλυφες γυάλινες όψεις, δεν επέτρεψε μέχρι στιγμής την πλήρη αξιολόγησή τους ως προς τα παραπάνω υποσχόμενα, με αποτέλεσμα να διατυπώνονται αντικρουόμενες απόψεις μεταξύ των ερευνητών, οι οποίοι και βασίζουν τις θέσεις τους κυρίως σε προσομοιωτικές μεθόδους και λιγότερο συχνά σε πειράματα ή μετρήσεις σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια. Επιπλέον σημειώνεται, ότι θα ήταν επισφαλές να υιοθετήσει κανείς τα αποτελέσματα ξένων μελετητών και να υποθέσει ότι αυτά θα ίσχυαν και για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες. Έτσι με την εργασία αυτή επιδιώκεται να γίνει κατ' αρχάς σαφής ο μηχανισμός λειτουργίας των ΓΔΟ σε σχέση με τη γεωμετρία τους και το μηχανισμό κίνησης της αέριας μάζας, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και κριτική αξιολόγηση, από τη διερεύνηση της ηχομονωτικής συμπεριφοράς των ΓΔΟ.

2. ΓΥΑΛΙΝΕΣ ΔΙΚΕΛΥΦΕΣ ΟΨΕΙΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΥΑΛΙΟΥ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα χρόνων το γυαλί έχει αναχθεί από ένα απλό υλικό πλήρωσης των κενών μιας όψης σε πολυχρηστικό εργαλείο αρχιτεκτονικής. Σ' αυτή την αναβάθμιση συνετέλεσαν η βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού, η σύγχρονη τεχνολογία στην παραγωγή και επεξεργασία του γυαλιού, καθώς και η ποικιλία στα μεγέθη και στα σχήματα των υαλοπινάκων. Οι πρωτοποριακές εφαρμογές γυαλιού σε σύγχρονα κτίρια έγιναν εφικτές χάρη στη χρήση εξελιγμένων λογισμικών, που παρέχουν τη δυνατότητα λεπτομερούς σχεδιασμού και υπολογισμού κάθε επιμέρους τμήματος της σύνθεσης. Οι εφαρμογές από γυαλί στην αρχιτεκτονική, που αναπτύχθηκαν πρόσφατα λόγω των παραπάνω βελτιστοποιήσεων, συνοψίζονται στους εξής τέσσερις τομείς:

• Ελεύθερες φόρμες σε κατασκευές από γυαλί.

• Κατασκευές, στις οποίες το γυαλί χρησιμοποιείται ως βασικό δομικό στοιχείο.

• Το γυαλί ως διαδραστικό μέσο.

• Όψεις κατασκευασμένες εξ ολοκλήρου από γυαλί, σχεδιασμένες να αντέχουν ακόμη και σε φορτία που αναπτύσσονται από εκρήξεις.

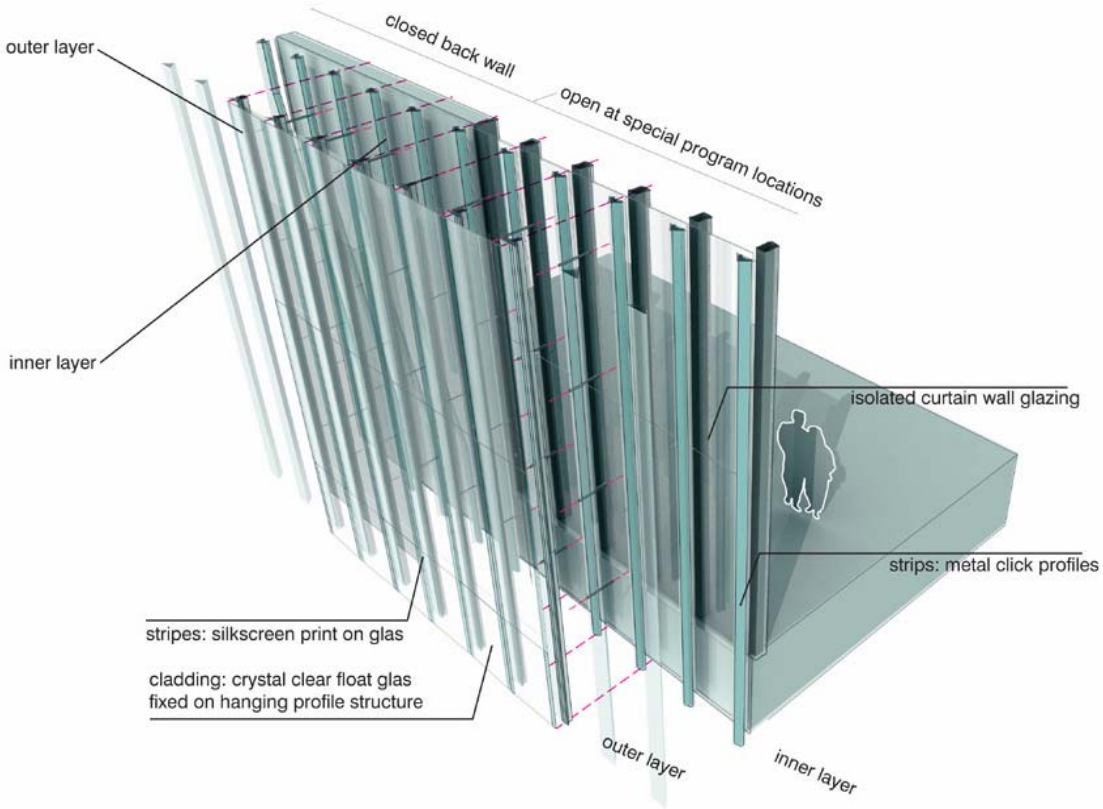
Στη σύγχρονη αρχιτεκτονική παρατηρείται έντονη τάση προς τις διαφανείς κατασκευές, που από τη μια επιτρέπουν το φυσικό φωτισμό του εσωτερικού χώρου και από την άλλη φέρνουν σε επαφή τους χρήστες ενός κτιρίου με το αστικό ή φυσικό τοπίο που το περιβάλλει. Η εφαρμογή του γυαλιού σε προσόψεις κτιρίων μετατρέπει το εσωτερικό του κτιρίου σε έναν ανοιχτό και ευάερο χώρο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται μεγάλοι υαλοπίνακες με λεπτά συστήματα στήριξης, οι οποίοι παρέχουν την αίσθηση της πλήρους διαφάνειας.

Η σύγχρονη τεχνολογία γυαλιού έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα, αναφορικά και με την ενεργειακή απόδοση των προϊόντων της. Διάφοροι τύποι επιχρισμάτων και μονωτικών στρωμάτων που εφαρμόζονται στους υαλοπίνακες επιτρέπουν στις σύγχρονες εφαρμογές γυαλιού να σχεδιαστούν έτσι, ώστε να πληρούν ακόμη και τις πιο αυστηρές και απαιτητικές προδιαγραφές σχετικά με τη θερμομόνωση του κελύφους και συνεπώς τη θερμική άνεση των χρηστών.

2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ

Οι γυάλινες δικέλυφες όψεις συντίθενται γενικά από το βασικό κέλυφος του κτιρίου (εσωτερική όψη) και από μία δεύτερο γυάλινο κέλυφος (εξωτερική όψη). Το εξωτερικό κέλυφος τοποθετείται σε απόσταση από το κτίριο, περίπου 0,20 έως 1,50μ. και μπορεί είτε να είναι γυάλινο είτε να έχει ενσωματωθεί αυτοματοποιημένος εξοπλισμός όπως συσκευές σκίασης, μοτέρ ή ανεμιστήρες.

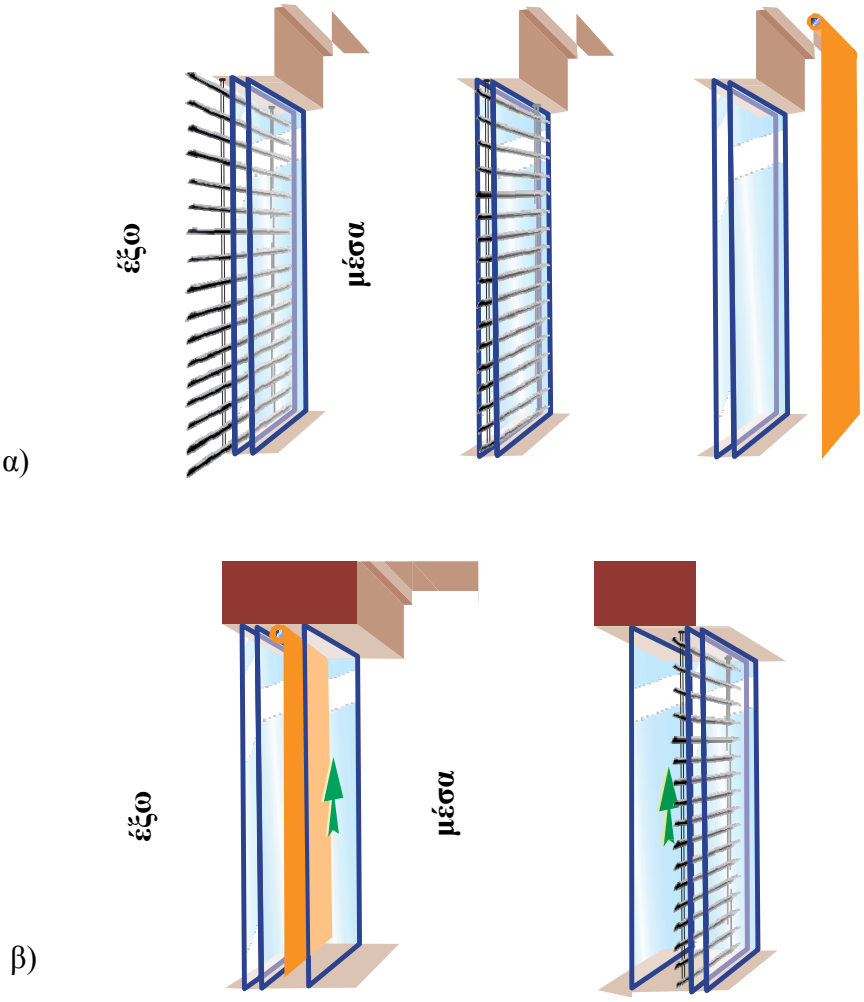
Η δικέλυφες όψεις ουσιαστικά είναι ένα σύστημα που αποτελείται από κελύφη που τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε ο αέρας ρέει στην ενδιάμεση κοιλότητα (κλωβός). Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος στην κορυφή και στη βάση της εξωτερικής όψης υπάρχουν ανοίγματα (θυρίδες) για την εισαγωγή και εξαγωγή του αέρα στον ενδιάμεσο χώρο. Ο αερισμός της κοιλότητας μπορεί να γίνεται φυσικά, με ανεμιστήρα ή να υποστηρίζεται μηχανικά προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη προσαρμογή του συστήματος στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Εκτός από το είδος του εξαερισμού στο εσωτερικό της κοιλότητας, η προέλευση και ο προορισμός του αέρα μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, τη χρήση, τη τοποθεσία, τις ώρες εργασίας του κτιρίου και την στρατηγική για ψύξη και θέρμανση.



Εικόνα 1: Ενδεικτικός μηχανισμός δικέλυφης όψης

Η κύρια διαφορά ανάμεσα στις γυάλινες δικέλυφες όψεις και στα κοινά αεροστεγή διπλά τζάμια, έστω και με την ενσωμάτωση ενός σκιάστρου στην κοιλότητα που

χωρίζει τα τζάμια, βρίσκεται στην πρόθεση και ενδεχομένως στον έλεγχο του αερισμού τις κοιλότητας της διπλής όψης. (BBRI, 2004)



Εικόνα 2: α) αεροστεγή διπλά τζάμια, β) δικέλυφη όψη

2.3 ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Η συλλογή δεδομένων σχετικά με τα συστήματα δικέλυφων όψεων αποκάλυψε ότι, σύμφωνα με την ξένη βιβλιογραφία και ιστοσελίδες, αυτοί οι τύποι συστημάτων ονομάζονται με διάφορους τρόπους. Κάποιες από αυτές είναι:

- Double-Skin Façade
- Active Façade (συνήθως όταν ο εξαερισμός της κοιλότητας γίνεται μηχανικά)
- Passive Façade (συνήθως όταν ο εξαερισμός της κοιλότητας γίνεται με φυσικό τρόπο)
- Double Façade
- Double Envelope (Façade)
- Dual-Layered Glass Façade
- Dynamic Façade
- Wall-Filter Façade

• Environmental Second Skin System
• Energy Saving Façade
• Ventilated Façade
• Double-Leaf Façade
• Energy Saving Façade
• Environmental Façade
• Multiple-Skin Façades
• Intelligent Glass Façade
• Second Skin Façade/System
• Airflow Window
• Supply Air Window
• Exhaust Window/Façade
• Double Skin Curtain Wall
• Twin Skin Facade

2.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Γυρνώντας πίσω στην εξέλιξη του ανθρώπου αλλά και της αρχιτεκτονικής, θα δούμε ότι η πρώτη μορφή στέγασης που προστάτευε τους ανθρώπους από το περιβάλλον ήταν μία σπηλιά που παρείχε ένα βαθμό προστασίας και ασφάλειας. Τα πρώτα κτίρια – κελύφη είχαν σχήμα θόλου όπου πλέον συναντάμε τοίχους και οροφή. Σε ένα πρώιμο στάδιο ωστόσο, οι κυρίαρχες μορφές κατοικίας είχαν διαμορφωθεί ανάλογα με το κλίμα και τα διαθέσιμα υλικά (ξύλινα πλαίσια και τοιχοποιία, πέτρα, πηλός, μπαμπού). Μέχρι σήμερα σε αγροτικές περιοχές σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες εξακολουθούν να κατασκευάζουν αυτές τις μορφές στέγης.

Αν πάρουμε ένα στοιχείο από το κέλυφος, τον τοίχο, θα παρατηρήσουμε ότι οι βασικές απαιτήσεις απόδοσής του, την προστασία του εσωτερικού από τις εξωτερικές συνθήκες και την ασφάλεια για τους διαμένοντες, έχουν παραμείνει οι ίδιες από τους μεσαιωνικούς χρόνους μέχρι και σήμερα. Ωστόσο, οι προσδοκίες μας έχουν αυξηθεί κατά πολύ, όπου η αρχιτεκτονική του κελύφους του κτιρίου επηρεάζεται από την αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων στη προσπάθεια διερεύνησης της δυναμικής σχέσης ανάμεσα στο κτίριο, το κλίμα και τις μηχανικές εγκαταστάσεις. Ανάλογα με την κοινωνική δομή και την οικονομία, ανάγκες όπως ο βαθμός μονιμότητας του εξωτερικού συστήματός μας, η κλίμακα και η αισθητική του καθώς και η επιθυμία να υπάρχει μια ευρεία ποικιλία επιλογών του εξωτερικού κελύφους, μπορούν να ποικίλλουν σημαντικά.

Σε σύγκριση με τα περισσότερα από τα κελύφη σήμερα η μεσαιωνική ή αναγεννησιακή τοιχοποιία ήταν απλή. Αρχικά ο τοίχος ήταν από ένα ενιαίο ομοιογενές υλικό, πέτρα ή τούβλο εκτιθέμενο στο εξωτερικό και εσωτερικό. Τέτοια τείχη

εξακολουθούν να κατασκευάζονται και σήμερα, αν και ο τοίχος είναι πιο πιθανό να συντίθεται από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Μόλις διαφορετικά υλικά βγήκαν στην αγορά, προέκυψε η απαρχή της δυνατότητας μεταβλητής απόδοσης δηλαδή διαχωρισμός της δομής του εξωτερικού τοίχου σε στρώσεις. Έτσι εμφανίζονται κτίρια με ανεξάρτητη κατασκευή της εξωτερικής στρώσης (πρόσοψης) με την εσωτερική δομή, χωρίς να χάνεται η προστασία από τις καιρικές συνθήκες.

Η μεγάλη αλλαγή στην έννοια του τοίχου και την πραγματική αρχή της έννοιας της σημερινής συνέβη με την εφεύρεση του χάλυβα, (και αργότερα, το οπλισμένο σκυρόδεμα) στο πλαίσιο του δέκατου ένατου αιώνα. Ωστόσο, για πολλές δεκαετίες ο χάλυβας θάφτηκε σε τοιχοδομές, και τα κτίρια συνέχισαν να σχεδιάζονται σε γοτθικό στυλ ή αναγεννησιακό. Η αρχιτεκτονική στις αρχές του 20ου αιώνα άλλαξε και στα μέσα του αιώνα ο χάλυβας και το οπλισμένο σκυρόδεμα πλαισίωναν κτίρια γραφείων με ελαφρύ μέταλλο και τα υαλοπετάσματα (**curtain walls**) είχαν μετατραπεί στη νέα παγκόσμια αρχιτεκτονική τάση για τα μεγαλύτερα εμπορικά κτίρια και κτίρια οργανισμών.

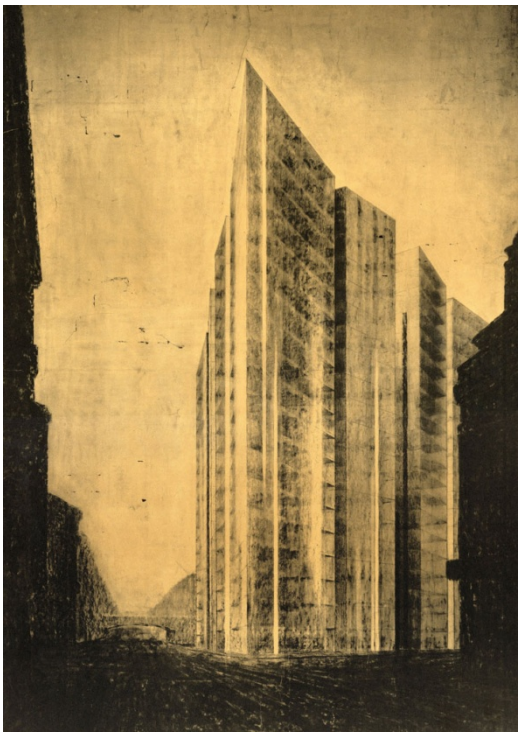
Η εισαγωγή, τον δέκατο ένατο αιώνα, από την πρώτη κατασκευή στην οποία ο εξωτερικός τοίχος που δεν έχει μια λειτουργία φέρουσα, έδωσε τη δυνατότητα να δημιουργηθεί μία νέα αρχιτεκτονική στην οποία αναδύονται μορφές μόνο με γυαλί. Η πιο εντυπωσιακή πρόσοψη από μία πρώιμη μορφή υαλοπετάσματος σχεδιάστηκε από τον Willis Polk για την Hallidee στο Σαν Φρανσίσκο το 1918 που άνοιξε το δρόμο για τη σύγχρονη αρχιτεκτονική από γυαλί. Ο πρώτος ουρανοξύστης με εξωτερική επένδυση από γυαλί σχεδιάστηκε από τον Mies van de Rohe σε κτίριο γραφείων στη Friedrichstrasse στο Βερολίνο το 1919-1921, όπου τότε οι αρχιτέκτονες προσπάθησαν να δημιουργήσουν απλούστερες και καθαρότερες μορφές με τη χρήση του γυαλιού. Αυτό φαίνεται και από την περιγραφή που συνόδευε την πρώτη δημοσίευση της πρότασης Friedrichstrasse:

Στο σχέδιο μου για έναν ουρανοξύστη στη Friedrichstrasse, στο Βερολίνο, χρησιμοποίησα μια πρισματική μορφή, που θεώρησα ότι ήταν η καταλληλότερη για το τριγωνικό οικόπεδο του κτιρίου. Τοποθέτησα τους γυάλινους τοίχους έτσι ώστε να σχηματίζουν γωνίες μεταξύ τους, για να αποφύγω τη μονοτονία των ενιαίων γυάλινων επιφανειών. Δουλεύοντας με πραγματικά γυάλινα μοντέλα, ανακάλυψα ότι το σημαντικότερο στοιχείο είναι το παιχνίδι των αντανακλάσεων και όχι η εντύπωση του φωτός και της σκιάς, όπως συμβαίνει στα συνήθη κτίρια.

Μπορεί κανείς να δει τα αποτελέσματα αυτών των πειραματισμών στο δεύτερο σχέδιο που δημοσιεύω εδώ. Με πρώτη ματιά, το καμπύλο περίγραμμα της κάτοψης φαίνεται αυθαίρετο. Οι καμπύλες αυτές ωστόσο προσδιορίστηκαν με βάση τρεις παράγοντες: τον επαρκή φωτισμό του εσωτερικού, τον όγκο του κτιρίου όπως φαίνεται από τον δρόμο και τέλος, το παιχνίδι των αντανακλάσεων. Με το γυάλινο μοντέλο επαληθεύτηκε ότι οι υπολογισμοί του φωτός και της σκιάς δεν βοηθούν στον σχεδιασμό ενός γυάλινου κτιρίου.

Mies van der Rohe

(Απόσπασμα από το βιβλίο του Kenneth Frampton, Μοντέρνα Αρχιτεκτονική Ιστορία και Κριτική, 1999)[4]

α)  β)

Εικόνα 3,4: *Mies van der Rohe α) Design Friedrichstrasse, 1919 β) Maquette Glass Skyscraper, 1922[109]*

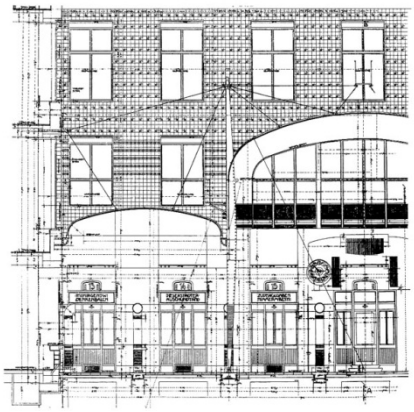
Παρ 'όλα αυτά, στην αρχή, η εκτεταμένη χρήση του γυαλιού στην αρχιτεκτονική εξαρτιόνταν από τη χαμηλή θερμική απόδοση του και από το σχετικό πρόβλημα των εσωτερικών συνθηκών άνεσης. Αυτός είναι ο λόγος όπου τα νέα αυτά κτίρια με την ελαφριά δομή και την γυάλινη πρόσοψη, δεν θα ήταν δυνατά χωρίς την εφεύρεση του Willis Carrier το 1902, του πρώτου ανεμιστήρα αφύγρανσης για την Sackets-Wilhelms εκτυπωτική εταιρεία στη Νέα Υόρκη (ΗΠΑ), που σηματοδότησε την απαρχή του σύγχρονου κλιματισμού. Όλοι οι διάσημοι γυάλινοι ουρανοξύστες που κτίστηκαν αυτή την περίοδο, με την υποστήριξη των μηχανικών αυτών των υπηρεσιών, μπορούσαν να χορηγήσουν καλή θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος, αλλά ταυτόχρονα και υψηλά επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας. Για το λόγο αυτό η ενεργειακή κρίση του 1973 έκανε τους ανθρώπους να προβληματιστούν σχετικά με τη χρήση του γυαλιού στην αρχιτεκτονική και την ανάγκη για αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό και εξαερισμού ενός κτιρίου. Από εκείνη τη στιγμή, η βιομηχανία υάλου είχε αναπτύξει πολλά νέα προϊόντα που θα μπορούσαν να προστατεύσουν τα κτίρια από την υπερβολική αύξηση της θερμότητας το καλοκαίρι, τις ανεπιθύμητες απώλειες θερμότητας το χειμώνα και θα μπορούσε να βελτιστοποιήσει τη χρήση του φωτός της ημέρας. Η ιστορία των δικέλυφων όψεων περιγράφεται σε αρκετά βιβλία, άρθρα και εκθέσεις.

Ο Saelens (2002) αναφέρει ότι το 1849, ο Jean-Baptiste Jobard, εκείνη την εποχή διευθυντής του Βιομηχανικού Μουσείου στις Βρυξέλλες, περιγράφει μια πρώιμη έκδοση μίας μηχανικά αεριζόμενης πολλαπλής όψης. Αναφέρει πως το χειμώνα ο ζεστός αέρας θα πρέπει να κυκλοφορεί μεταξύ δύο υαλοπινάκων, ενώ το καλοκαίρι θα πρέπει να είναι κρύος αέρας. Ο Crespo(1999) και ο Neubert (1999) ισχυρίστηκαν ότι, η πρώτη εμφάνιση των curtain wall έγινε το 1903 με το εργοστάσιο Steiff στη Giengen / Brenz κοντά στο Ulm, στη Γερμανία. Σύμφωνα με αυτούς, οι προτεραιότητες στο σχεδιασμό του εργοστασίου ήταν να μεγιστοποιήσει το φωτισμό την ημέρα, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη το κρύο και τους ισχυρούς ανέμους της περιοχής. Η λύση ήταν ένα τριώροφο οικοδόμημα με ένα ισόγειο για αποθηκευτικό χώρο και δύο ορόφους που χρησιμοποιούνταν για τους χώρους εργασίας. Οι στόχοι πραγματοποιήθηκαν και δύο προσθήκες χτίστηκαν το 1904 και το 1908 με το ίδιο σύστημα αλλά χρησιμοποιώντας ξυλεία αντί του χάλυβα στη κατασκευή, για λόγους προϋπολογισμού. Όλα τα κτίρια είναι ακόμα σε χρήση.

Εικόνα 5: *Εργοστάσιο Steiff ,Το κτίριο στα αριστερά κτίστηκε το1903, τα υπόλοιπα κτίρια κτίστηκαν ανάμεσα στο 1904 και 1908. Εικόνα από τις αρχές του 1920.[45]*

Εικόνα 6: *Εργοστάσιο Steiff [47]*

Το 1903 ο Otto Wagner κέρδισε το διαγωνισμό για το Ταχυδρομικό Ταμιευτήριο στη Βιέννη της Αυστρίας. Το κτίριο, που χτίστηκε σε δύο φάσεις 1904 - 1912 έχει ένα φεγγίτη με δύο στρώσεις υαλοπινάκων στην κύρια αίθουσα.

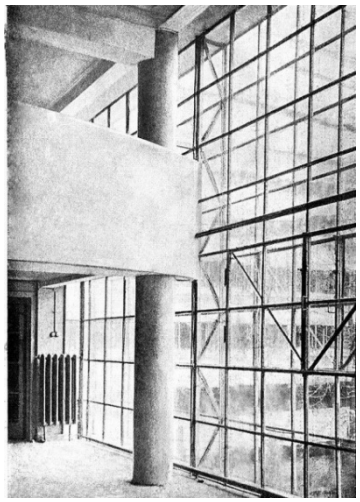


Εικόνα 7: *Ταχυδρομικό ταμιευτήριο, Otto Wagner 1903[54]*

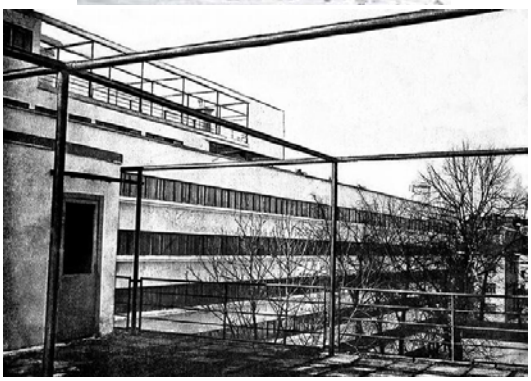
Στο τέλος της δεκαετίας του 1920 οι δικέλυφες όψεις αναπτύχθηκαν με άλλες προτεραιότητες. Στη Ρωσία, ο Moisei Ginzburg πειραματίστηκε με τις γυάλινες δικέλυφες όψεις στο κοινόχρηστο χώρο των πολυκατοικιών στο κτιριακό συγκρότημα Narkomfin το1928.

α)

β)



γ)



δ)

Εικόνα 8 α,β,γ,δ: *Κτιριακό συγκρότημα Narkomfin[44]*

Με την καινοτόμο προσέγγιση του κατοικείν, η δομή των κτιρίων θεωρήθηκε ως ένα σημαντικό βήμα στην μεταμόρφωση της σοβιετικής κοινωνίας για επαναστατικούς τύπους κατοικιών που έπρεπε να εγκριθούν από ολόκληρη τη Ρωσική Δημοκρατία. Ένα αριστούργημα κονστρουβιστικό, το κτίριο Narkomfin πραγματοποίησε ένα σημαντικό στόχο της ευρωπαϊκής Μοντέρνας αρχιτεκτονικής, την επίτευξη της πιο μινιμαλιστικής και ορθολογικής στήριξης της σύγχρονης ζωής, το existenz minimum, και τη διαδικασία της κοινωνικής μεταρρύθμισης μέσω της αρχιτεκτονικής. Πουθενά δεν είναι αυτό τόσο εμφανές όσο το κτίριο του, με τις F-μονάδες, που επηρέασαν τον Le Corbusier στο σχεδιασμό του για μία εικονική κατοίκηση του Unite d Habitation στη Μασσαλία. Χαρακτηριστικό έργο του Le Corbusier στη Μόσχα είναι το Centrosoyus το 1928.

Ένα χρόνο αργότερα θα ξεκινήσει τον σχεδιασμό για την Πόλη του Καταφυγίου (Cite de Refuge,1929) και το Immeuble Clarte (1930) στο Παρίσι όπου και εισήγαγε δύο νέα χαρακτηριστικά για την εξουδετέρωση των θερμικών απωλειών και την υπερθέρμανση. Πρώτα το *"la respiration exacte"* ("... ένα μηχανικά ρυθμιζόμενο σύστημα μηχανικού εξαερισμού που εγγυάται άνετες εσωτερικές συνθήκες διαβίωσης ...") και δεύτερον το *"le mur neutralisant"* ("... οι τοίχοι είναι φτιαγμένοι από πέτρα ή γυαλί ή και από τα δύο. Αποτελούνται από δύο μεμβράνες που σχηματίζουν ένα κενό μερικών εκατοστών. Μέσα από αυτό το κενό που περιβάλλει ολόκληρο το κτίριο, διεξάγεται ο αέρας. Με αυτόν τον τρόπο το εσωτερικό του κτιρίου διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία των 18° C. Το κτίριο είναι σφιγμένο ερμητικά! Στο μέλλον η σκόνη δεν θα βρει το δρόμο της μέσα στα δωμάτια. Ούτε μύγες, ούτε σκνίπες. Και κανένας θόρυβος! ...") (Le Corbusier,1964).

α)

β)

Εικόνα 9 α,β: *Le Corbusier, Cite de Refuge,1929, Παρίσι*

α)
β)

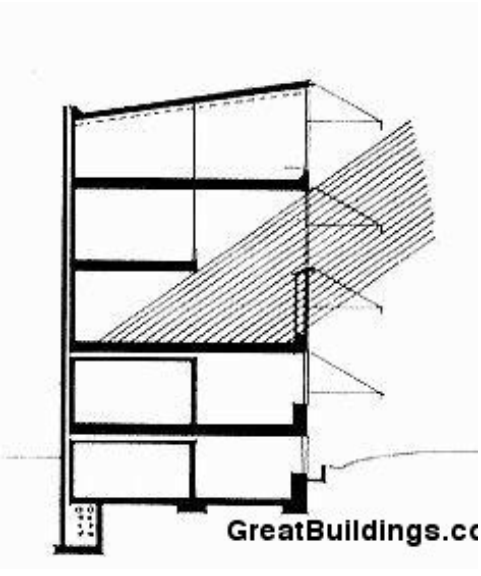
Εικόνα 10 α,β: *Le Corbusier, Immeuble Clarte,1930, Παρίσι[84]*

Ο Le Corbusier είχε ήδη χρησιμοποιήσει το σύστημα των δικέλυφων όψεων στη Villa Schwob στη γενέτειρά του Fonds de La Chaux στην Ελβετία το 1916. Τα πολύ μεγάλα παράθυρα έχουν σχεδιαστεί σε δύο στρώσεις, με σωλήνες θέρμανσης ανάμεσά τους, για την πρόληψη του πτωτικού ρεύματος αέρα που προκύπτει από το πέρασμα του αέρα σε ολόκληρη την επιφάνεια του παραθύρου, που δροσίζει και αυξάνει την πυκνότητα του έτσι ώστε να κινείται προς τα κάτω. Ο Le Corbusier ασχολήθηκε αρκετά με το σύστημα των δικέλυφων όψεων σε αρκετά σχέδια του αλλά δυστυχώς είτε η μη ολοκληρωμένη τεχνική γνώση είτε η μη πραγματοποίησή τους από τους κατασκευαστές δεν έδωσε την ευκαιρία για περεταίρω μελέτη.

α) β)

Εικόνα 11 α,β: *Le Corbusier, Villa Schwob,1916,Ελβετία[90]*

Την δεκαετία του ‘30 και ο Alvar Aalto ασχολήθηκε με τις δικέλυφες όψεις στο σανατώριο Paimio Tuberculosis (1929 - 1933). Η διαμορφωμένη διπλή πρόσοψη των παραθύρων στην πτέρυγα των ασθενών σχεδιάστηκε από τον Aalto εξαιτίας της ανησυχίας του για την ανθρώπινη ζωή και τις ανάγκες των ασθενών. Αυτή η πρώιμη τεχνολογία δικέλυφων προσόψεων του Alto είχε μία μικρή βελτίωση σε σχέση με το συμβατικό Ευρωπαϊκό διπλό σύστημα που επικρατούσε την εποχή εκείνη, αλλά ήταν η σχεδιαστική ουμανιστική φιλοσοφία του Aalto, η οποία τοποθετεί το χρήστη στο κέντρο, κυριαρχώντας στο σχεδιασμό του σανατωρίου.

α) 

β)

Εικόνα 12 α,β: *Alvar Aalto, σανατώριο Paimio Tuberculosis,1929 – 1933[83]*

Μικρή ή καθόλου πρόοδος δεν σημειώθηκε μέχρι την δεκαετία του ’70. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 80 αυτός ο τύπος των προσόψεων άρχισε να αποκτά δυναμική. Οι περισσότερες από αυτές τις όψεις που σχεδιάστηκαν, χρησιμοποίησαν τις περιβαλλοντικές ανησυχίες ως επιχείρημα. Σε άλλες περιπτώσεις το αισθητικό αποτέλεσμα των πολλαπλών επιπέδων του γυαλιού είναι η κύρια ανησυχία. Την δεκαετία του ’90, δύο παράγοντες επηρεάζουν έντονα την εξάπλωση των δικέλυφων όψεων. Οι αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, που επηρεάζουν τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό τόσο από τεχνικής πλευράς, αλλά και η πολιτική επιρροή που μετατρέπει τα "πράσινα κτίρια" σε μια καλή εικόνα για την αρχιτεκτονική.

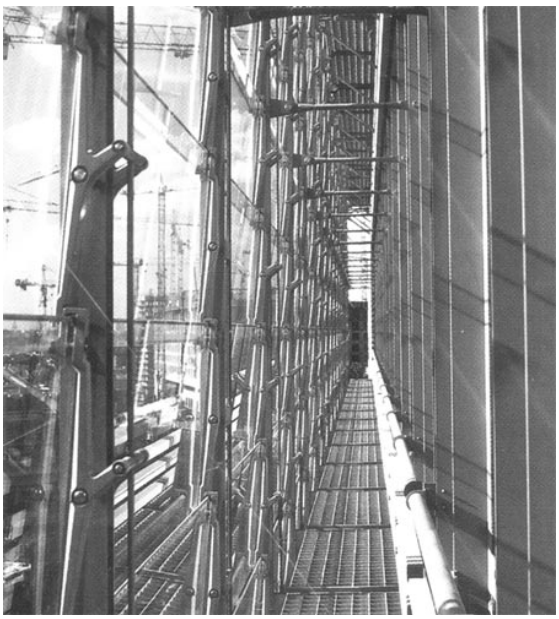
Κατά τα ίδια έτη η ευαισθητοποίηση αυξήθηκε στον τομέα της ηλιακής αρχιτεκτονικής σε σχέση με την καλή εξωτερική σκίαση, τη θερμική μάζα και το ρόλο που διαδραματίζει ο μεταβλητός εξαερισμός. Το 1990, ένα περαιτέρω βήμα για τους υαλοπίνακες είχε επιτευχθεί, με την ανάπτυξη υαλοπινάκων με ειδικά φιλμ, επιτρέποντας τη μετάδοση του ορατού φάσματος, ενώ εμποδίζουν τα άλλα μήκη κύματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Τέτοια υλικά προσφέρουν μια λύση, όπου υψηλής ποιότητας ρυθμιζόμενα σκίαστρα δεν μπορούν να εγκατασταθούν. Άλλες τεχνολογίες, όπως τα ηλεκτρο-χρωμικά, φωτο-χρωμικά και φωτοβολταικά τζάμια είναι πλέον διαθέσιμες και οι οποίες μπορούν να αλλάξουν τους ιδιότητες τους ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Όλες αυτές οι εξελίξεις είναι πολλά υποσχόμενες, αλλά θα πρέπει να περάσει ένα μεγάλο χρονικό διάστημα πριν να είναι διαθέσιμες σε αρκετά μεγάλες ποσότητες ώστε να είναι οικονομικές στη χρήση. Σε αντίθεση, οι δικέλυφες όψεις συνδυάζουν ευέλικτη λειτουργία μέσω ενός συστήματος, που τα συστατικά που χρησιμοποιεί είναι τόσο γνωστά και χρησιμοποιούνται ήδη και ταυτόχρονα επιτρέπουν τη ρύθμιση της θερμότητας, το κρύο, το φως και το θόρυβο με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται άνεση με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Περαιτέρω, παρέχουν ένα επιπλέον επίπεδο ηχομόνωσης και επιτρέπουν τον φυσικό εξαερισμό μέσω εισαγωγής αέρα στην κοιλότητα μεταξύ των δύο στρωμάτων της πρόσοψης – ένας συνδυασμός που μπορεί να προσφέρει το κατάλληλο επίπεδο ασφάλειας που απαιτείται για την εναλλαγή του αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε ορισμένες περιπτώσεις. Η συνειδητοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος αυτού είναι ολοένα και αυξανόμενη και είναι μία απάντηση στα κακοσχεδιασμένα κλιματιστικά συστήματα, τα οποία συχνά αναφέρονται ως μία από τις αιτίες του περιβόητου σύνδρομο του άρρωστου κτιρίου.

Κάποια παραδείγματα εφαρμογών δικέλυφων όψεων παρατίθενται παρακάτω:

α)

β) 

Εικόνα 13 α,β: *Debis Tower, Βερολίνο, Γερμανία,1998, Renzo Piano Building [61][69]*

α)

β)

Εικόνα 14 α,β: *City Gate, Dusseldorf, Γερμανία,1998[42][77]*

α) β)

Εικόνα 15 α,β: *BBC Scotland New Headquarters, Pacific Quay, Glasgow,Αγγλία,2006[95]*

α) β)

Εικόνα 16 α,β: *Kadoorie Biological Science Building, Hong Kong,1999[59][108]*

3. ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΕΛΥΦΩΝ ΟΨΕΩΝ

3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΨΗΣ- ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

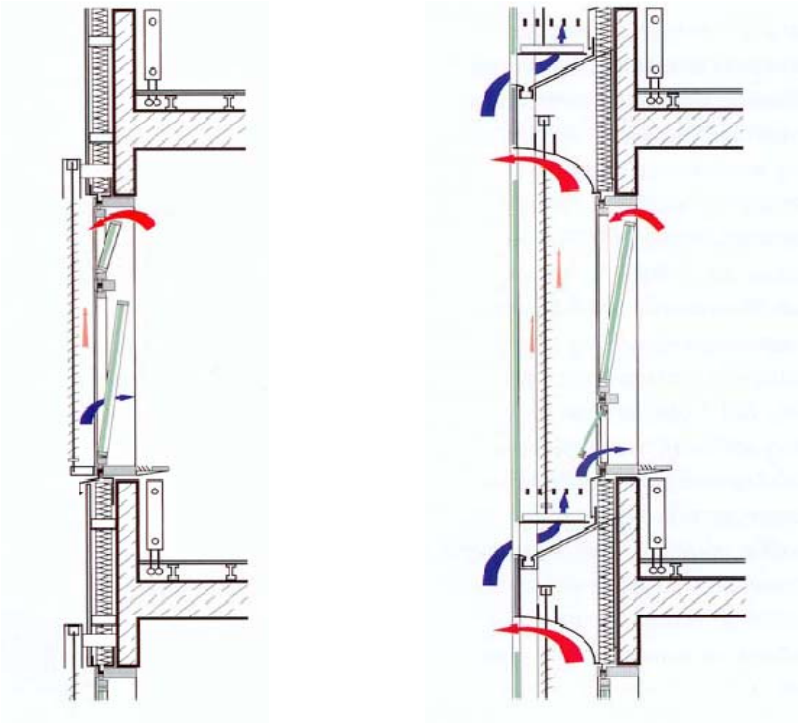
Η επιλογή του τύπου γυαλιού για την εσωτερική και εξωτερική πρόσοψη εξαρτάται από την τυπολογία της. Στην περίπτωση της πρόσοψης, αεριζόμενης με εξωτερικό αέρα, ένα μονωτικό παράθυρο τοποθετείται συνήθως στο εσωτερικό και μία απλή σειρά υαλοπινάκων στην εξωτερική πλευρά. Ωστόσο, στην περίπτωση της πρόσοψης αεριζόμενης με αέρα από τους εσωτερικούς χώρους, το μονωτικό παράθυρο συνήθως τοποθετείται στο εξωτερικό, ενώ απλή σειρά υαλοπινάκων τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά. Για κάποιους συγκεκριμένους τύπους πρόσοψης, ο εσωτερικός υαλοπίνακας μπορεί να ανοιχτεί από τον χρήστη ώστε να επιτρέπει τον φυσικό εξαερισμό του κτιρίου.

Ο αερισμός της κοιλότητας μπορεί να γίνεται με φυσικό τρόπο, να υποστηρίζεται από ανεμιστήρα (υβριδικά) ή μηχανικά. Το πλάτος της κοιλότητας μπορεί να ποικίλει σε συνάρτηση με τον τύπο που εφαρμόζεται, μεταξύ 10 εκατοστών έως 2μ. Το πλάτος επηρεάζει τις φυσικές ιδιότητες του κελύφους και επίσης τον τρόπο διατήρησής της. Για τον καθαρισμό των προσόψεων όλων των παραθύρων πρέπει το πλάτος της κοιλότητας να είναι περίπου 80 εκατοστά ώστε να επιτρέπεται η πρόσβαση στο προσωπικό καθαρισμού.

Σκίαστρα - περσίδες μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στην κοιλότητα για την ηλιακή προστασία. Τα χαρακτηριστικά και η θέση των σκιάστρων έχουν επιρροή στη φυσική συμπεριφορά της κοιλότητας επειδή τα σκίαστρα απορροφούν και αντανακλούν την ενέργεια της ακτινοβολία. Έτσι, η επιλογή της συσκευής σκίασης πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τον κατάλληλο συνδυασμό μεταξύ του τύπου του παραθύρου, τη γεωμετρία και τη στρατηγική για εξαερισμό και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα των εσωτερικών δωματίων. Ανοίγματα στο εξωτερικό και εσωτερικό του κελύφους αλλά και μερικές φορές ανεμιστήρες, επιτρέπουν τον αερισμό της κοιλότητας. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου παραθύρων αλλά των συστημάτων σκίασης είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του συστήματος των δικέλυφων όψεων. Διαφορετικά τζάμια μπορούν να επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα και κατά συνέπεια τη ροή, στην περίπτωση της φυσικά αεριζόμενης κοιλότητας. Η γεωμετρία (κυρίως το πλάτος και το ύψος της κοιλότητας) και οι ιδιότητες των σκιάστρων (απορρόφηση, ανάκλαση και μετάδοση), μπορούν επίσης να επηρεάσουν το είδος της ροής του αέρα μέσα στην κοιλότητα. Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος δικέλυφων όψεων είναι σημαντικό να καθοριστεί το είδος, το μέγεθος και η θέση των εσωτερικών και εξωτερικών ανοιγμάτων της κοιλότητας γιατί αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν το είδος της ροής του αέρα και την ταχύτητά του και επομένως την θερμοκρασία στην κοιλότητα (σημαντικό σε πολυώροφα κτίρια). Ο σχεδιασμός των

εσωτερικών και εξωτερικών ανοιγμάτων είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την εσωτερική ροή του αέρα και κατά συνέπεια για τον ρυθμό αερισμού και τη θερμική άνεση των ενοίκων.

Είναι πραγματικά σημαντικό να καταλάβουμε την απόδοση του συστήματος με τη μελέτη των δικέλυφων όψεων. Η γεωμετρία της πρόσοψης, η επιλογή των υαλοπινάκων και των συστημάτων σκίασης καθώς και το μέγεθος και η θέση των εσωτερικών και εξωτερικών ανοιγμάτων, καθορίσουν τη χρήση των δικέλυφων όψεων, τη θέρμανση, τον εξαερισμό και τον κλιματισμό (HVAC) που πρέπει να ακολουθείται, προκειμένου να επιτευχθεί βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος και μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.



Εικόνα 17 : *Σύγκριση μονού κελύφους με διπλό κέλυφος*

3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Οφέλη από το σύστημα των δικέλυφων όψεων:

- Η ασφάλεια του κτιρίου είναι βελτιωμένη χάρη στα δύο κελύφη.
- Υπάρχει η δυνατότητα, για την προστασία προσόψεων των υφιστάμενων κτιρίων σε εφαρμογές ανακαίνισης.
- Η προστασία της εσωτερικής πρόσοψης από τις καιρικές συνθήκες, μειώνει το κόστος συντήρησης.
- Μείωση των θερμικών γεφυρών μέσω βελτιωμένων κελυφών του κτιρίου.

- Ηχομόνωση

Ακουστική προστασία κτιρίων, κυρίως σε κτίρια που βρίσκονται κοντά σε έντονη κυκλοφορία ή άλλες πηγές θορύβου ακόμα και όταν τα εσωτερικά παράθυρα είναι ανοιχτά αφού λειτουργεί ως προστατευτική ακουστική κουρτίνα.
Σε αυτό το συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, που οι πόλεις αυξάνονται και πληθύνονται διαρκώς, φέρνοντας μαζί ρύπανση που προκαλείται από την κυκλοφορία, τα οδικά έργα, τις βιομηχανίες και τις κατασκευές, υπάρχει ανάγκη αντιμετώπισης αυτού του ζητήματος. Η ηχορύπανση είναι ένας από τους σημαντικότερους ρυπαντές, που πυροδότησε το κίνητρο για την κατασκευή κτιρίων με το σύστημα δικέλυφων όψεων. Από τη στιγμή που η οδική κυκλοφορία είναι ο κύριος λόγος για την ηχορύπανση, κυρίως όταν τα κτίρια είναι χτισμένα στο κέντρο των πόλεων, η μέθοδος των δικέλυφων όψεων ανέλαβε ηγετικό ρολό στο σύγχρονο κλάδο της κατασκευής των κτιρίων σε όλο τον κόσμο. Αυτό το έξυπνο σύστημα είναι αρκετά απλό. Η κοιλότητα - διάκενο μεταξύ των δύο όψεων μονώνει το κτίριο από τον ήχο που προέρχεται από το εξωτερικό.

- Το φυσικό φως

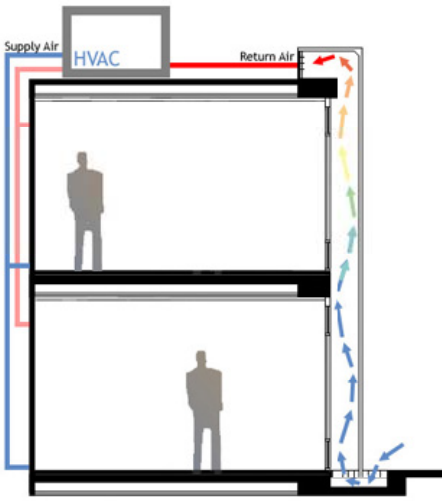
Σήμερα είναι γνωστό ότι η έλλειψη του φυσικού φωτός της ημέρας μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, τόσο ψυχολογικές όσο και σωματικές. Ένα γνωστό θέμα που σχετίζεται με το φως ημέρας-που είναι γνωστό ως εποχιακή συναισθηματική διαταραχή ή ΕΣΔ βιώνεται από πολλούς ανθρώπους κατά τη διάρκεια του χειμώνα και κυρίως στα πιο βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Ακόμη περισσότερο, η έλλειψη επαρκούς φωτός της ημέρας σε κτίρια έχει συνδεθεί επίσης με ανεπάρκεια ασβεστίου, που είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει σε περιπτώσεις οστεοπόρωσης. Στην πραγματικότητα, η φωτοθεραπεία είναι μια συνιστώμενη θεραπεία για αυτές τις ασθένειες. Παρά το γεγονός ότι, το πρόβλημα αυτό έγινε γνωστό πριν από δεκαετίες, είχε κρυφτεί λόγω των πετρελαϊκών κρίσεων της δεκαετίας του 1970, που κατηγόρησε τα μεγάλα παράθυρα ως σπατάλη ενέργειας. Αλλά δεδομένου ότι η τεχνολογία και η γνώση για το γυαλί την δεκαετία του 1970 είχε βελτιωθεί και ως εκ τούτου, η κατανόηση της σπατάλης ενέργειας και η διαφύλαξή της είναι σαφέστερη από πριν. Όπως για παράδειγμα, το γεγονός ότι σε ένα τυπικό κτίριο, ο φωτισμός καταναλώνει το 25-40% της κατανάλωσης ενέργειας. Επιτρέποντας περισσότερο φυσικό φως να διεισδύσει στο κτίριο και με έλεγχο των συστατικών του, η δικέλυφη όψη σε μεγάλη έκταση από γυαλί, θα μπορούσε να δημιουργήσει σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων, σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι και 30%.

- Ο φυσικός αερισμός

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος των δικέλυφων όψεων είναι ο φυσικός εξαερισμός. Περιττό να πούμε, ότι ένα από τα πιο σημαντικό στοιχείο της ανθρώπινης επιβίωσης είναι η παροχή αέρα. Και η έλλειψη του φρέσκου αέρα μπορεί να προκαλέσει κάποιες ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος όπως το άσθμα, αλλεργίες και δερματικές παθήσεις. Ο φυσικός αερισμός καλύπτει τόσο τα θέματα υγείας όσο τα οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Αλλά όσο αφορά το φυσικό αερισμό, για να είναι πραγματικά αποτελεσματικός και λειτουργικός, πρέπει να εξεταστούν τα διάφορα είδη συστημάτων, τα διαφορετικά κλίματα, με βάση τους προσανατολισμούς, την τοποθεσία και τους τύπους, για την ιδανική λύση για κάθε κτίριο ξεχωριστά.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας στην καυτή καλοκαιρινή περίοδο, είναι δυνατόν να αερίζονται φυσικά τα κτίρια και με τον τρόπο αυτό να διατηρεί τα δωμάτια με φρέσκο αέρα καθώς και ψύξη του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στις μέρες του καλοκαιριού, ο θερμός αέρας θα πρέπει να μεταφέρεται με φυσικό ή μηχανικό τρόπο. Στη διάρκεια του χειμώνα, από την άλλη πλευρά, ο φυσικός αερισμός έρχεται με μία μορφή εναλλάκτη θερμότητας. Αυτή η συσκευή ζεσταίνει τον κρύο καθαρό αέρα που εισέρχεται στο δωμάτιο με τον παλιό αέρα που βγαίνει.

Ο εναλλάκτης θερμότητας (HRV) είναι ένα σύστημα εξαερισμού που χρησιμοποιεί έναν μετρητή ροής - εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα. Το σύστημα HRV παρέχει καθαρό αέρα και βελτίωση του ελέγχου του κλίματος, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και με τη μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση ή ψύξη. Στρατηγικές ανάκτησης θερμότητας μπορεί να υλοποιηθούν με τη χρήση δικέλυφων όψεων με τη μείωση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η στρατηγική αυτή είναι άνευ σημασίας και για τις ζεστές χώρες και για τα εμπορικά κτίρια, τα οποία τείνουν να έχουν ψυκτικό φορτίο όλο το χρόνο. Στρατηγικές ανάκτησης θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις Ανατολικές προς Νότιες προσόψεις για να αντισταθμίσουν τις πρώτες πρωινές ώρες την εκκίνηση φορτία που εμφανίζονται συνήθως τις Δευτέρες ή τις περιόδους μετά τις διακοπές, αλλά προσεκτική μελέτη απαιτείται για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση τις πρώτες πρωινές ώρες.



Εικόνα 18 : *Εναλλάκτης θερμότητας (HRV)[3]*

- Έξοδος κινδύνου

Σε ορισμένες προσόψεις διπλού τύπου υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η κοιλότητα μεταξύ των δύο όψεων, για εγκαταστάσεις διαφυγής. Με τον τρόπο αυτό, η διπλή πρόσοψη μπορεί να μειώσει το κόστος κατασκευής αλλά και να εξοικονομήσει πολύτιμο χώρο.

- Εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Δεδομένου ότι το σύστημα των δικέλυφων όψεων έχει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας από ένα αυτοσυντηρούμενο φυσικό σύστημα, παρέχει όλες τις ανέσεις που απαιτούνται εσωτερικά Με τον τρόπο αυτό, επίσης, συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO_2 στην ατμόσφαιρα και συνεπώς οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον μειώνονται ουσιωδώς. Βέβαια αρκετά σημαντική παράμετρος για την εξοικονόμηση ενέργειας είναι ο σωστός σχεδιασμός και η εκτεταμένη μελέτη. Εφόσον σχεδιάζονται σωστά, μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια και στη συνέχεια μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον πλανήτη μας. Η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται όταν η δομή χρησιμοποιεί λιγότερο συμβατικές μεθόδους φωτισμού, θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού του κτιρίου διατηρώντας τους απαιτούμενους ενεργειακούς πόρους στο ελάχιστο.

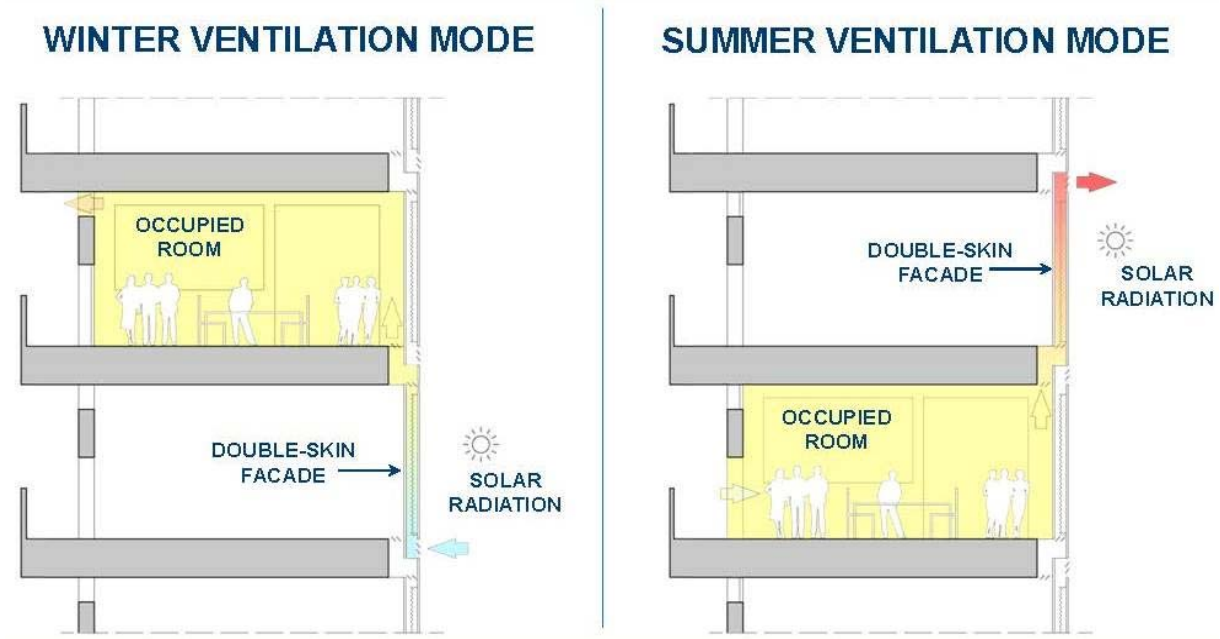
- Μείωση πίεσης από τον άνεμο

Σε ψηλά κτίρια κυρίως, το σύστημα των δικέλυφων όψεων μπορεί να μειώσει την πίεση του αέρα μέσω του εξωτερικού στρώματος που θωρακίζει το κτίριο. Η λύση αυτή είναι πολύ σημαντική, όταν οι ουρανοξύστες γίνονται όλο και ψηλότεροι και κατά συνέπεια η πίεση του αέρα στους πάνω ορόφους είναι υψηλότερη από ποτέ. Επιτρέπει

ταυτόχρονα λιγότερο ακριβά εξωτερικά συστήματα σκίασης λόγω της αποτελεσματικής προστασίας από τον άνεμο.

- Φυσική ψύξη και θέρμανση

Η ψύξη του κτιρίου το καλοκαίρι και η θέρμανση το χειμώνα είναι ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα συστήματος αυτού. Κατά τη διάρκεια των ημερών του χειμώνα αφήνοντας το δροσερό αέρα που είναι παγιδευμένος στην κλειστή κοιλότητα αέρα ώστε να ζεσταθεί από τον ήλιο και τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού, αφήνοντας το ζεστό αέρα στη κοιλότητα με συνέπεια να αερίζεται ο χώρος μεταξύ των δύο στρωμάτων της πρόσοψης. Οι ενέργειες αυτές θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν είτε από τα ανοίγματα αφήνοντάς τα ανοιχτά όλο το χρόνο (παθητικό σύστημα) ή να ανοίγουν και να κλείνουν χειροκίνητα ή μηχανικά (ενεργό σύστημα). Στη τελευταία λύση το σύστημα είναι πιο ακριβό, αφού πρόκειται για μια περίπλοκη κατασκευή που χρειάζεται συντήρηση ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



Εικόνα 19 : *Χειμερινή και εαρινή λειτουργία εξαερισμού*

- Αρχιτεκτονική αισθητική

Κανένα άλλο οικοδομικό υλικό δεν μπορεί να ταιριάξει με τη δημοτικότητά του, όπως το γυαλί ανάμεσα στους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς. Ένας λόγος είναι, ότι μια μεγάλη έκταση από γυαλί μπορεί να αυξήσει τη διαφάνεια, επιτρέποντας έτσι μια πανοραμική θέα από τους χώρους. Από τα πρώτα κιόλας στάδια που εισήχθη, οι αρχιτέκτονες έχουν πειραματιστεί με τις ατελείωτες δυνατότητες που μία διπλή πρόσοψη μπορεί να προσφέρει. Τώρα οι αρχιτέκτονες έχουν την δυνατότητα να σχεδιάσουν κτίρια με διαφορετικά σχήματα και χρώματα που αναζητούν τόσο για τις

προσόψεις όσο και για το κτίριο ως σύνολο. Το σύστημα αυτό έγινε γνωστό ακόμη περισσότερο, από το γεγονός ότι, προκειμένου να οικοδομηθεί ένα ψηλό κτίριο, θα πρέπει οι μηχανικοί να λαμβάνουν υπόψη την πίεση του αέρα στους πάνω ορόφους του κτιρίου.

- Οικονομικά οφέλη

Όταν λαμβάνονται υπόψη όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα του διπλού συστήματος το άμεσο και το έμμεσο οικονομικό όφελος είναι προφανές. Τα υλικά κατασκευής σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, όπως την κατασκευή από ηλεκτρο-χρωμικά, θερμο-χρωμικά ή φωτο-χρωμικά τζάμια, είναι φθηνότερα να κατασκευαστούν. Επιπλέον, εάν λάβουμε υπόψη την ύπαρξη του συστήματος φυσικού αερισμού σε ένα κτίριο, χωρίς τους παραδοσιακούς αεραγωγούς και το χώρο που χρειάζονται, έχουμε εξοικονόμηση σε εξοπλισμό και χώρο στο κτίριο. Τούτου λεχθέντος, είναι ακόμα δύσκολο να εκτιμηθεί το μακροπρόθεσμο κέρδος της διπλής πρόσοψης σε μια ευρεία άποψη για όλα τα κτίρια, ακόμη και όταν ο σχεδιασμός του συστήματος πληροί όλες τις απαιτήσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε περίπτωση πρέπει να αξιολογηθεί και να μελετηθεί ξεχωριστά, δεδομένου ότι κάθε δομή θα αποτελέσει ένα διαφορετικό σύνολο των προκλήσεων και προσεγγίσεων.

Τα πιθανά προβλήματα - *μειονεκτήματα* σε κτίρια με σύστημα δικέλυφων μπορούν να είναι:

- Φτωχότερος διαμπερής αερισμός και ανεπαρκής απομάκρυνση της θερμότητας από τα δωμάτια – γραφεία κατά τη διάρκεια περιόδων χωρίς άνεμο, όταν ο εξαερισμός παρέχεται κυρίως με φυσικό τρόπο.

- Οι σχεδιαστές θα πρέπει να προβούν σε λεπτομερείς προσομοιώσεις σε υπολογιστές για να τεκμηριώσουν την εξοικονόμηση ενέργειας στο μέλλον καθώς και τα αρχιτεκτονικά και εσωτερικά περιβαλλοντολογικά οφέλη.

- Απώλεια θερμότητας

Με τα οφέλη της φυσικής ψύξης και αερισμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της μεγάλης περιοχής από γυαλί, η θερμότητα που χάνεται κατά τη χειμερινή περίοδο είναι σημαντική.
Τα διπλά τζάμια δεν είναι σημαντικά καλύτερα από τα απλά τζάμια όσον αφορά την απώλεια θερμότητας. Τα διπλά τζάμια έχουν αναμφισβήτητα έχουν αυξημένες μονωτικές ιδιότητες από τα απλά τζάμια. Το επίπεδο της μόνωσης που προσφέρεται

από τα διπλά τζάμια εξακολουθεί να είναι έξι φορές μικρότερο από ό, τι προσφέρει ένας τοίχος από τούβλα.
Οι θερμικές ιδιότητες των υαλοπινάκων είναι, από σύμβαση, περιγράφονται από την αξίας του U (η αποτελεσματικότητα των δομικών στοιχείων για τη διεξαγωγή θερμότητας), η οποία είναι κυριολεκτικά το αντίστροφο της τιμής R (η αποτελεσματικότητα των δομικών υλικών για να αντισταθεί τη ροή της θερμότητας). Είναι δυνατή η μετατροπή της τιμής U σε R με τον τύπο 1 / U = R. Η τιμή του U για 3 χιλιοστά υαλοπινάκων είναι 5,9, η οποία μετατρέπεται σε R μόνο 0.17.

- Προβλήματα εξαερισμού στα ανώτερα δάπεδα

Στις χώρες με θερμό κλίμα κλίμα, το σύστημα αυτό δεν θα λειτουργεί σωστά στους πάνω ορόφους, επειδή οι τελευταίοι όροφοι θα λάβουν τον ζεστό αέρα που χρειάζεται να αποβληθεί από το κτίριο από την κορυφή της κοιλότητας.

- Πυροπροστασία

Κάποιοι αναφέρουν ότι υπάρχει η δυνατότητα μετάδοση του καπνού από δωμάτιο σε δωμάτιο σε περίπτωση πυρκαγιάς. Στους διαδρόμους διαφυγής πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή.

- Απώλεια ωφέλιμης επιφάνειας

Το πλάτος της κοιλότητα αέρα σε μια διπλή πρόσοψη μπορεί να είναι από 20 cm έως αρκετά μέτρα, που σημαίνει λιγότερος ωφέλιμος χώρος για γραφεία ή κατοικήσιμους χώρους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το πλάτος της κοιλότητας αέρα επηρεάζει τις ιδιότητες μέσα σε αυτό (όσο βαθύτερο είναι, τόσο λιγότερη θερμότητα μεταδίδεται από τη μεταφορά, όταν η κοιλότητα είναι κλειστή) και περιστασιακά στη βαθύτερη η κοιλότητα, οι καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης, είναι δίπλα στους εξωτερικούς τοίχους. Ως εκ τούτου, είναι αρκετά σημαντικό να μελετηθεί το βέλτιστο βάθος της κοιλότητας ώστε να είναι αρκετά στενά για να μην να χάσει τον ωφέλιμο χώρο και αρκετά βαθιά ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν το χώρο κοντά στην πρόσοψη.

- Θέματα φωτισμού

Μεγάλη έκταση από γυαλί σημαίνει επίσης μεγάλη περιοχή του ηλιακού φωτός που εισέρχεται στο οπτικό πεδίο των επιβατών του κτιρίου. Αυτό θα μπορούσε να αποφευχθεί με σκίαστρα, αλλά στη συνέχεια αποκλείεται το τόσο αναγκαίο φυσικό φως.
Επιπλέον, επειδή το σύστημα αυτό βασίζεται στη δεύτερη όψη, αυτό σημαίνει επίσης

ότι θα υπάρξει μια μείωση του φωτός που εισέρχεται στο δωμάτιο. Το ζήτημα αυτό είναι ιδιαίτερα προβληματικό σε χώρες με ψυχρό κλίμα.

- Κίνδυνος μετάδοσης ήχου

Αν το διπλό σύστημα της πρόσοψης δεν έχει σχεδιαστεί σωστά, θα μπορούσε να υπάρξει ένα πρόβλημα όπου ο ήχος θα μεταδίδεται από δωμάτιο σε δωμάτιο ή από όροφο σε όροφο σε ορισμένα συστήματα δικέλυφων όψεων.

- Χρηματοοικονομικό κόστος

Φυσικά το κόστος κατασκευής δικέλυφης όψης θα είναι πιο υψηλό, τόσο από άποψη υλικών όσο από την κατασκευή, δεδομένου ότι θα προσθέσει ένα επιπλέον βάρος στην δομή. Ταυτόχρονα το κόστος αυξάνεται λόγω του καθαρισμού και της απαραίτητης συντήρησης για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Έχει ψηλότερο κόστος από μία συμβατή κατασκευή κατά τη φάση της μελέτης και της κατασκευής.

Εικόνα 20 : *Καθαρισμός δικέλυφης όψης*

Οι γνωμοδοτήσεις των εμπειρογνωμόνων για τα συστήματα ποικίλλουν από "μια σπατάλη των χρημάτων» σε «οικονομικά βιώσιμες λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας». Οι κύριες διαφωνίες σχετικά με το όφελος των συστημάτων αυτών είναι τα οφέλη σε μακροπρόθεσμη περίοδο, αλλά όταν πρόκειται για την κατασκευή και τη συντήρηση όλοι συμφωνούν ότι το κόστος είναι πολύ υψηλότερο από ό, τι ένα ενιαίο σύστημα πρόσοψης. Ωστόσο, εάν το σύστημα σχεδιαστεί σωστά, τότε υπάρχει πιθανότητα για μείωση του λειτουργικού κόστους για τη θέρμανση, την ψύξη και τον εξαερισμό. Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι για να υπάρχει μείωση του κόστους, θα πρέπει

το κτίριο να σχεδιάζεται λαμβάνοντας υπόψη όλες τις διαφορετικές παραμέτρους που αφορούν τη χρήση του κτιρίου (το σχήμα και τον τύπο, τον προσανατολισμό, το χρονοδιάγραμμα, τη πληρότητα και τον εξοπλισμό) και τη θέση του (κλίμα, θερμοκρασία, εμπόδια, γεωγραφικό πλάτος και ατμοσφαιρικές συνθήκες).

Σύγκριση του κόστους[3].

Εάν προσπαθήσουμε να συγκρίνουμε το κόστος κατασκευής και συντήρησης μεταξύ της συμβατής πρόσοψης και του συστήματος των δικέλυφων όψεων, τα αριθμητικά στοιχεία, σύμφωνα με Jager (2001), θα μοιάζει με αυτό:

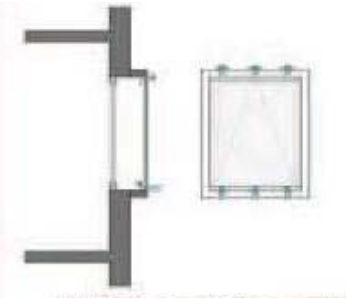
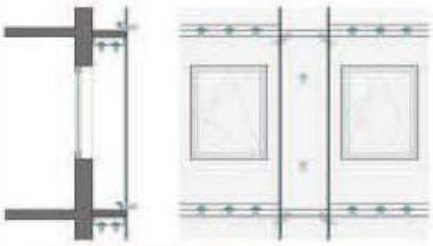
Κατασκευή στην Κεντρική Ευρώπη
1. Πρότυπο πρόσοψης 300 - 500 ευρώ / τ.μ.
2. Πρότυπο δικέλυφου συστήματος 600 - 800 ευρώ / τ.μ.
3. Διπλή πρόσοψη με ρυθμιζόμενο αέρα εισόδου και εξόδου 700 - 1000 ευρώ / τ.μ.
4. Διπλή πρόσοψη με ανοιγόμενα εξωτερικά φύλλα 800 έως 1300 ευρώ / τ.μ.

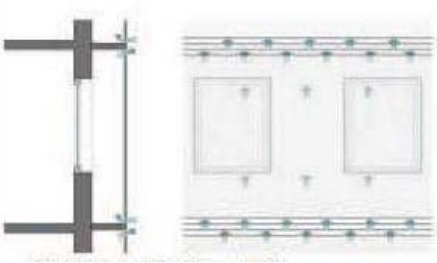
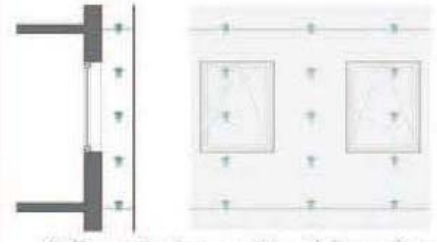
3.3 ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΕΛΥΦΩΝ ΟΨΕΩΝ

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές σχετικά με τη κατηγοριοποίηση των γυάλινων δικέλυφων όψεων. Η επικρατούσα αντίληψη διακρίνει τους τύπους των δικέλυφων όψεων σύμφωνα με τους τρείς πιο βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία τους:

- **τη γεωμετρία του κλωβού**
- **το βασικό μηχανισμό κίνησης της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό και**
- **τη φορά κίνησης**

Με βάση **τη γεωμετρία** των ΓΔΟ διαμορφώνονται οι εξής κατηγορίες[36]:

α. Όψη κιβωτιοειδούς παραθύρου (box window) 	Σε αυτού του τύπου ΓΔΟ η όψη αποτελείται από έναν κάνναβο ο οποίος διαμορφώνει σχετικά μικρά και ανεξάρτητα μεταξύ τους παράθυρα – κουτιά, με δύο γυάλινα φύλλα σε απόσταση μεταξύ τους. Τα εσωτερικά φύλλα είναι συνήθως ανοιγόμενα ή και ανακλινόμενα, ενώ τα εξωτερικά περιλαμβάνουν άνω και κάτω θυρίδες, οι οποίες και επιτρέπουν την ανανέωση του αέρα εξυπηρετώντας με αυτό τον τρόπο τον αερισμό τόσο του ενδιάμεσου χώρου μεταξύ των δύο φύλλων, όσο και των εσωτερικών χώρων. Με τη λύση αυτή αποφεύγεται τόσο η μετάδοση του ήχου από χώρο σε χώρο και εν πολλοίς από το εξωτερικό περιβάλλον, όσο και η μετάδοση του χρησιμοποιημένου αέρα, οσμών κλπ.
β. Όψη τύπου κιβωτιοειδούς αγωγού (shaft box) 	Πρόκειται για ειδική μορφή πρόσοψης κιβωτοειδούς τύπου, η οποία περιλαμβάνει ένα σύστημα από παράθυρα – κουτιά που συνδέονται μέσω πλευρικών θυρίδων με συνεχείς κατακόρυφους αγωγούς αερισμού τοποθετημένων στην εξωτερική όψη. Ο αερισμός στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή του ψυχρού αέρα από τη βάση των παραθύρων και την πλευρική από τα παράθυρα απαγωγή του θερμού αέρα μέσω των κατακόρυφων αγωγών. Στον τύπο αυτό, η διάταξη της όψης αποτελείται από μία εναλλαγή ορθογωνίων παραθύρων και κατακόρυφων αγωγών αερισμού.

γ. Όψη τύπου διαδρόμου (corridor façade) 	Στις όψεις αυτού του τύπου, ο ενδιάμεσος χώρος μεταξύ των δύο κελυφών είναι κλειστός, προσπελάσιμος και έχει συνήθως το ύψος του ορόφου. Ο διάδρομος αυτός μπορεί να διακόπτεται κατά το μήκος του με κατακόρυφα στοιχεία, προκειμένου να βελτιωθεί η ακουστική, η πυροπροστασία και ο αερισμός. Οι θυρίδες αερισμού (είσοδος έξοδος αέρα) στο εξωτερικό κέλυφος είναι συνήθως τοποθετημένες σε εναλλασσόμενη θέση, προκειμένου να παρεμποδίζεται η μεταφορά του εξαγόμενου αέρα από τους χώρους του κάτω ορόφου σε αυτούς του αμέσως επόμενου.
δ. Πολυώροφη συνεχής όψη (multistory façade) 	Στις όψεις αυτού του τύπου ο κλωβός που δημιουργείται μεταξύ των δύο όψεων είναι συνεχής και εκτείνεται σε όλο το ύψος του κτιρίου. Συνεπώς η κίνηση της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό γίνεται απρόσκοπτα (δεν διακόπτεται), η δε εισαγωγή και εξαγωγή του αέρα επιτυγχάνεται μέσω μεγάλων ανοιγμάτων στη βάση και στην οροφή του κτιρίου.

Πίνακας1 : *Κατηγοριοποίηση με βάση τη γεωμετρία των γυάλινων δικέλυφων όψεων*

Με βάση το **μηχανισμό κίνησης της αέριας μάζας** μέσα στον κλωβό, διαμορφώνονται τρεις κατηγορίες [29]:

Παθητική κίνηση (Natural): Η κίνηση της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στο φαινόμενο της θερμικής άνωσης λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών και των ανεμοπιέσεων.

Ενεργητική κίνηση (Mechanical): Στην περίπτωση αυτή η κυκλοφορία και η ανακύκλωση του αέρα μέσα στον κλωβό υποστηρίζεται πλήρως από μηχανικές διατάξεις.

Υβριδική κίνηση (Hubrid): Πρόκειται για ένα συνδυασμό των δύο προηγούμενων περιπτώσεων, όταν δηλαδή ο φυσικός αερισμός του κλωβού ενισχύεται από μηχανικό σύστημα.

Με βάση **τη φορά κίνησης της αέριας μάζας** μέσα στον κλωβό:

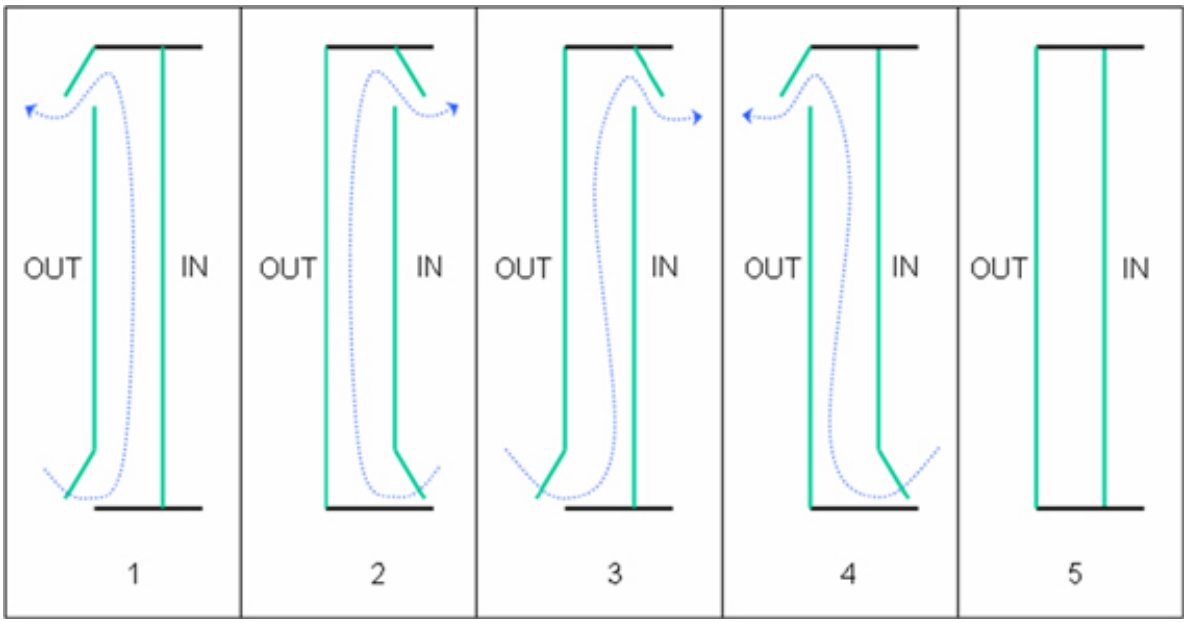
α. Εξωτερικής κυκλοφορίας (Outdoor air curtain).
Ο αέρας εισέρχεται στην κοιλότητα από το εσωτερικό και μπαίνει πάλι μέσα είτε μέσω ανοιγμάτων στην εσωτερική πρόσοψη ή μέσω των αγωγών εξαερισμού

β. Εσωτερικής ανακυκλοφορίας (Indoor air curtain).
Σε αυτή τη λειτουργία αερισμού, ο αέρας έρχεται από έξω και αμέσως μετά βγαίνει έξω πάλι.

γ. Προσαγωγή του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (Air supply).
Σε αυτή τη λειτουργία εξαερισμού, ο αέρας εισέρχεται από το εξωτερικό και στη συνέχεια μπαίνει μέσα στο δωμάτιο από την κοιλότητα

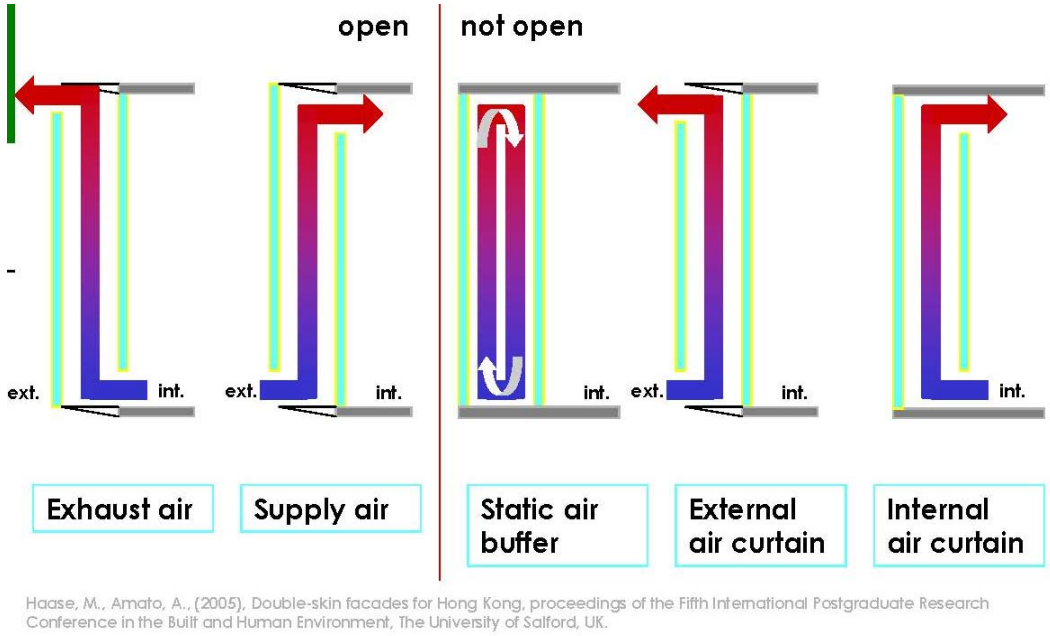
δ. Απαγωγή του αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου (Air exhaust).
Ο αέρας από το δωμάτιο εξέρχεται μέσω της κοιλότητας

ε. Ζώνης ανάσχεσης (Buffer zone).
Η εξωτερική πρόσοψη είναι κλειστή και στα δύο άκρα, προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας κατά τη χειμερινή περίοδο.

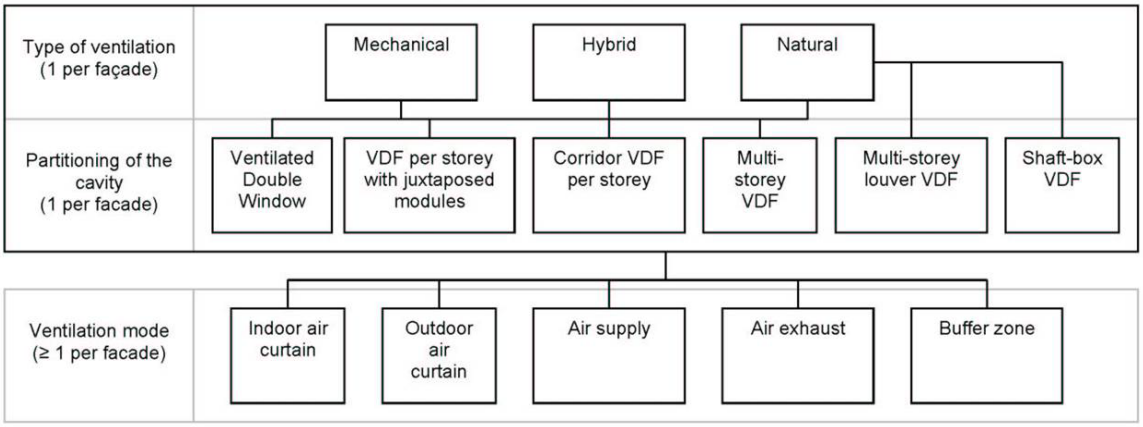


α) β) γ) δ) ε)

Εικόνα 21 : *Κατηγοριοποίηση με βάση τη φορά κίνησης της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό[2]*



Εικόνα 22 : *Κατηγοριοποίηση με βάση κλειστή / ανοιχτή κοιλότητα και τη φορά κίνησης της αέριας μάζας μέσα στον κλωβό[16]*



Εικόνα 23 : *Γενική επισκόπηση τυπολογίας δικέλυφων όψεων (VDF αντιστοιχεί στο ΓΔΟ)[20]*

3.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΔΙΚΕΛΥΦΩΝ ΟΨΕΩΝ

Το σύστημα των γυάλινων δικέλυφων όψεων χρησιμοποιείται πλέον σε πολλές χώρες της Ευρώπης (Αυστρία, Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Πορτογαλία και Σουηδία) και της Αμερικής, και οι τύποι ποικίλουν ανάλογα με τις διαφορετικές κλιματικές περιοχές, τις υπάρχουσες προσομοιώσεις και μετρήσεις, τη θερμική συμπεριφορά, την ποιότητα του εσωτερικού αέρα, την άνεση, τον χρήστη αποδοχής, τη ζήτηση ενέργειας και την κατανάλωση, τις στρατηγικές ελέγχου, της τεχνολογίας δόμησης, το κόστος (των επενδύσεων, συντήρησης και λειτουργίας), τη διατήρηση των πόρων, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σε σύγκριση με τις συμβατικές γυάλινες προσόψεις την

ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύστημα των ΓΔΟ, καθώς και μη συνδεόμενα με την ενέργεια θέματα, όπως την ακουστική, την αισθητική, την πυροπροστασία, την υγρασία, τη διάβρωση, την αντοχή, τη συντήρηση και την επισκευή.

Τα περισσότερα από τα κτίρια με το σύστημα αυτό είναι κτίρια γραφείων καθώς και σχολεία και νοσοκομεία. Σχεδόν όλα τα κτίρια έχουν μηχανικά συστήματα εξαερισμού, και η θέρμανση και η ψύξη εκτελούνται ως επί το πλείστον από τα συστήματα του αέρα θέρμανσης/ψύξης. Δυστυχώς, τα δεδομένα στην ενεργειακή ζήτηση και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων, σπάνια μετρώνται και είναι σπάνια διαθέσιμα.

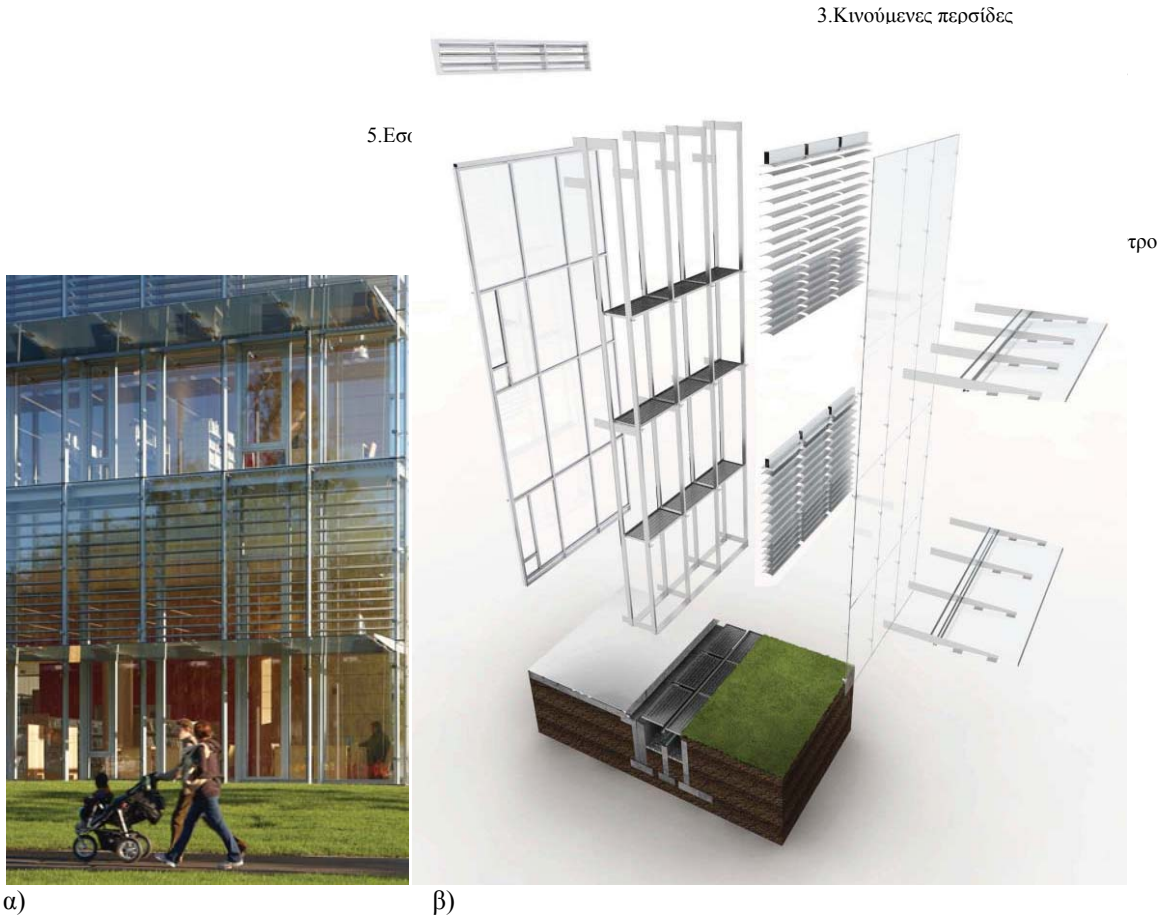
Στην συνέχεια παρατίθενται διάφορα παραδείγματα συστημάτων γυάλινων δικέλυφων όψεων που έχουν πραγματοποιηθεί σε αρκετές χώρες, με διαφορετική τυπολογία και κλίμα.

1.	Κτίριο	Βιβλιοθήκη	
	Διεύθυνση	Cambridge, US	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	William Rawn Associates, Architects Inc.	
	Εμβαδόν	104,000 SF	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Παθητική κίνηση (Natural)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη συνεχής όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Εσωτερικοί υαλοπίνακες • 3΄-0΄΄ βάθος κοιλότητας • Κινούμενες περσίδες 1΄-0΄΄ βάθος • Εξωτερικοί υαλοπίνακες	

α)

β)

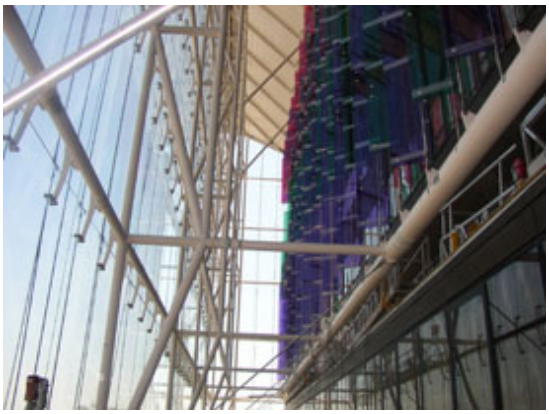
Εικόνα 24 : *Βιβλιοθήκη στο Cambringe, Αγγλία α)εσωτερική όψη, β) εξωτερική όψη[25]*



Εικόνα 25 : *Βιβλιοθήκη στο Cambringe, Αγγλία α)εξωτερική όψη, β) στάδια κατασκευής*

2.	Κτίριο	Νοσοκομείο παίδων	
	Διεύθυνση	Φιλαδέλφεια, Πενσυλβανία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	KPF Design Architect, Ballinger	
	Εμβαδόν	3,000 m^2 ΓΔΟ	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Παθητική κίνηση (Natural)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη συνεχής όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Εσωτερικοί υαλοπίνακες • Κινούμενες περσίδες • Εξωτερικοί υαλοπίνακες	

α)



β)

γ)

Εικόνα 26 : *Νοσοκομείο παίδων, Φιλαδέλφεια α)λεπτομέρεια κατασκευής, β) εσωτερική όψη ,γ) εξωτερική όψη[43][66][97]*

3.	Κτίριο	Stadttor κτίριο γραφείων	
	Διεύθυνση	Dusseldorf, Γερμανία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Overdiek, Petzinka & Partners	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Παθητική κίνηση (Natural)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη συνεχής όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Κοιλότητα 1,4μ. • Προσαγωγή του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (Air supply). • Απαγωγή του αέρα από το εσωτερικό του κτιρίου (Air exhaust). • Εξωτερικής κυκλοφορίας (Outdoor air curtain).	

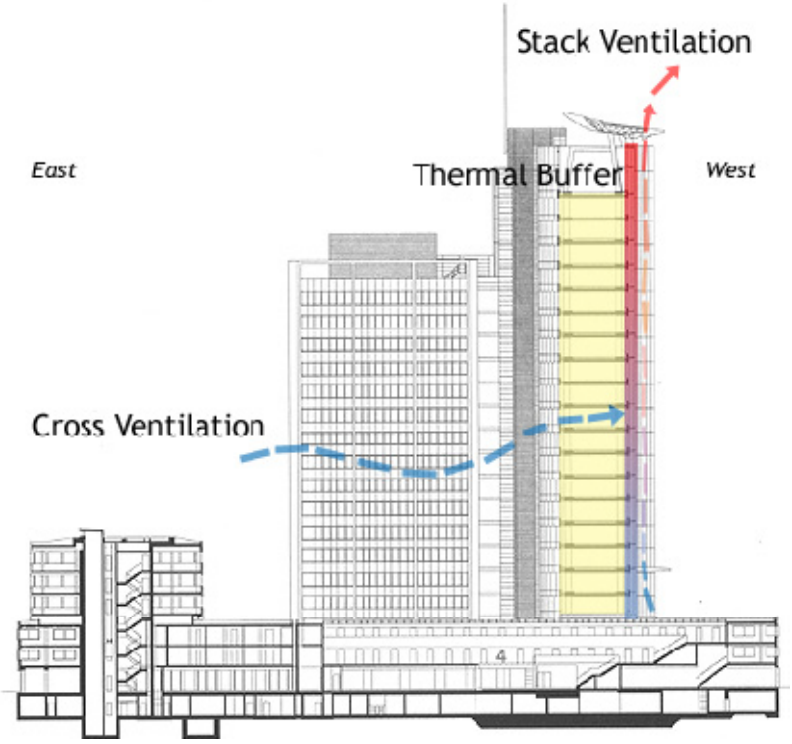
α)

β)

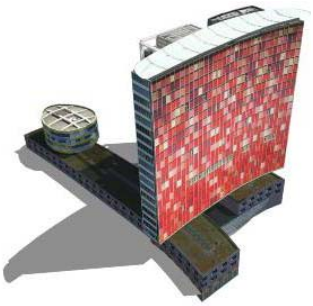
γ)

Εικόνα 27 : *Stadttor κτίριο γραφείων (city gate), Dusseldorf, Γερμανία α) εσωτερική κοιλότητα, β) εσωτερική όψη, γ) εξωτερικές όψεις[81][77][42]*

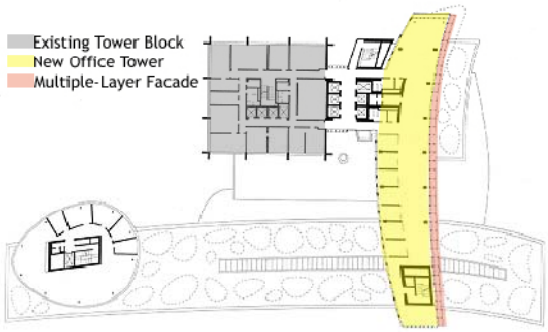
4.	Κτίριο	GSW Head Quarters	
	Διεύθυνση	Kochstrasse 22, Βερολίνο, Γερμανία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Sauerbruch Hutton Architects	
	Εμβαδόν	515,000 sf	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Παθητική κίνηση (Natural) – Ενεργητική κίνηση (Mechanical)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Προσαγωγή του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (Air supply) • Κοιλότητα 1μ.	



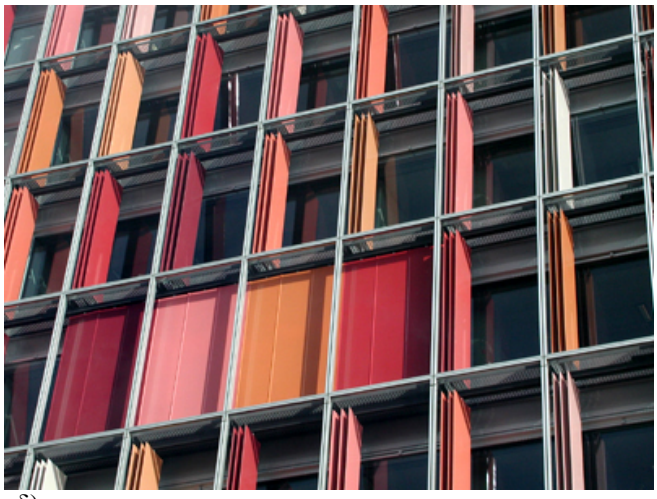
α)



β)



γ)

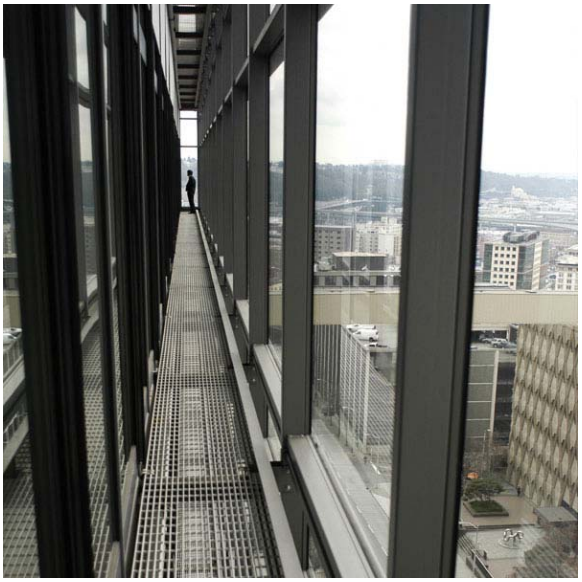


δ)

ε)

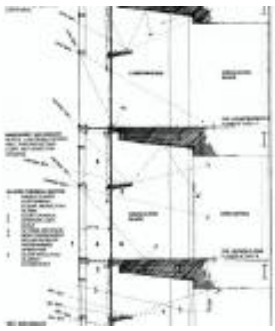
Εικόνα 28 : *GSW HQ, Βερολίνο Γερμανία α) τρόπος λειτουργίας, β) τρισδιάστατη απεικόνιση, γ) κάτοψη, δ)εξωτερική λεπτομέρεια πρόσοψης, ε)εσωτερική λήψη παραθύρου[49][72]*

5.	Κτίριο	Seattle Justice Center	
	Διεύθυνση	Seattle, Washington,	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Kerry Hegedus	
	Εμβαδόν	288,000 SF	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Υβριδική κίνηση (Hubrid)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Εξωτερικής κυκλοφορίας (Outdoor air curtain). • Κοιλότητα 1μ.	



α)

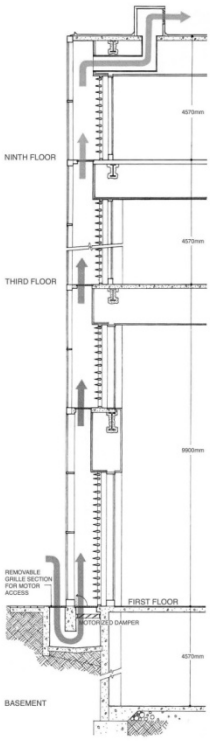
β)



γ) δ)

Εικόνα 29 : *Seattle Justice Center, Seattle, Washington,United States α) κοιλότητα, β) εσωτερική λεπτομέρεια, γ) τομή, δ)εξωτερική λεπτομέρεια πρόσοψης[76] [39]*

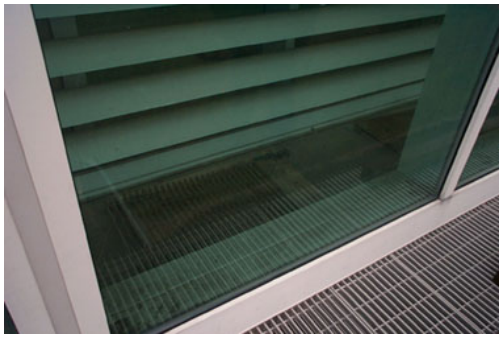
6.	Κτίριο	Occidental Chemical Center (Hooker Building)	
	Διεύθυνση	Niagara Falls, Νέα Υόρκη, ΗΠΑ	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Cannon Design, Inc., 1980	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Παθητική κίνηση (Natural)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Εξωτερικής κυκλοφορίας (Outdoor air curtain). • Κοιλότητα 1.2μ. • Κινούμενα σκίαστρα • Ζώνης ανάσχεσης (Buffer zone)	



α)

β)

γ)

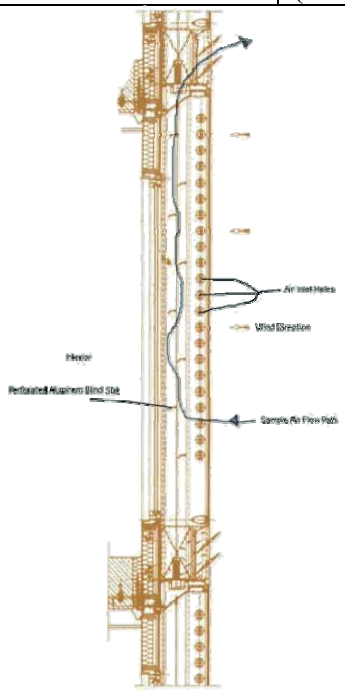


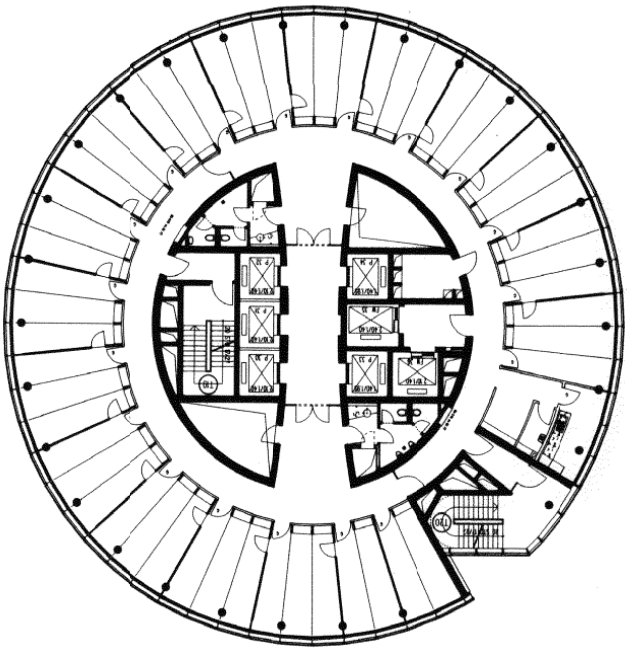
δ)

ε) ζ)

Εικόνα 30 : *Occidental Chemical Center (Hooker Building), Niagara Falls, Νέα Υόρκη, USA.α)β)γ)δ) λεπτομέρειες κοιλότητας, ζ)εξωτερική λεπτομέρεια πρόσοψης [1]*

7.	Κτίριο	Victoria Insurance	
	Διεύθυνση	Dusseldorf, Γερμανία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Hentrich, Petschnigg and Partners (HPP)	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Υβριδική κίνηση (Hybrid)	
	Διαχωρισμός	Όψη κιβωτοειδούς παραθύρου	
	Λειτουργία εξαερισμού	• Εξωτερικής κυκλοφορίας (Outdoor air curtain). • Προσαγωγή του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (Air supply)	

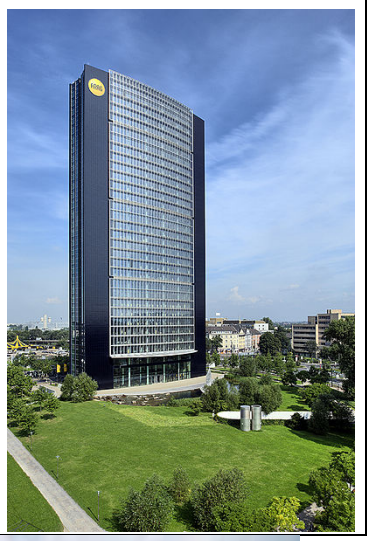


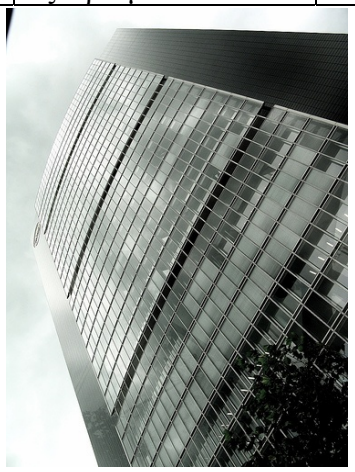


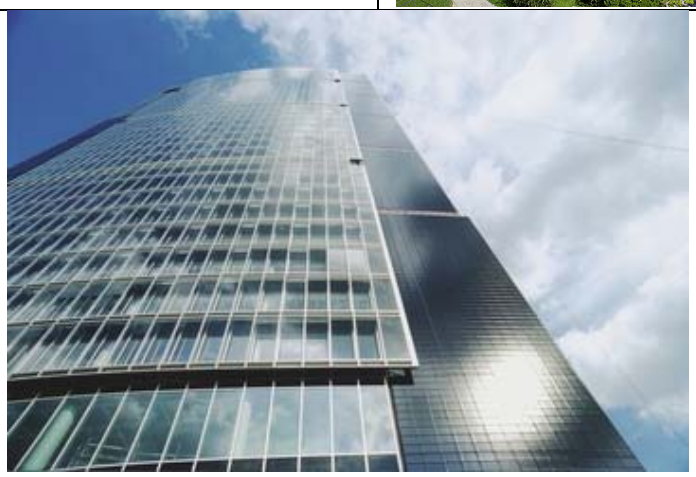
α) β)

γ) δ)

Εικόνα 31 : *Victoria Insurance, Dusseldorf, Γερμανία α)τομή, β) κάτοψη, γ)εξωτερική λεπτομέρεια παραθύρων δ) κοντινή λήψη παραθύρων [92]*

8.	Κτίριο	ARAG Insurance	
	Διεύθυνση	Dusseldorf, Γερμανία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Architekten Rhode Kellermann Wawrosky and Partners (RKW) in cooperation with Foster and Partners	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Ενεργητική κίνηση (Mechanical)	
	Διαχωρισμός	Όψη τύπου κιβωτιοειδούς αγωγού (shaft box)	
	Λειτουργία εξαερισμού	-	





α) β)

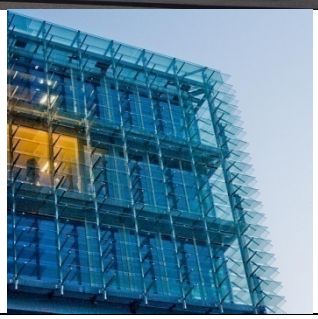
Εικόνα 32 : *ARAG Insurance, Dusseldorf, Γερμανία, α,)β)εξωτερικές λήψεις [98][75][40][55]*

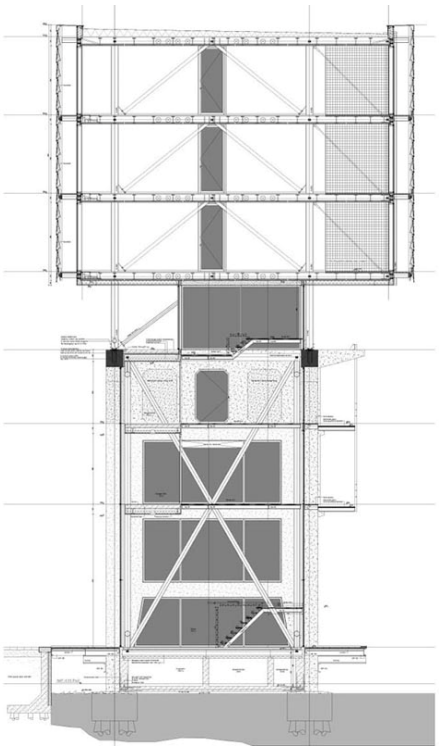
9.	Κτίριο	Peking Road	
	Διεύθυνση	Kowloon, Χονγκ Κονγκ	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Rocco Yim Design	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Ενεργητική κίνηση (Mechanical)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	Εσωτερικής ανακυκλοφορίας (Indoor air curtain)	

α)

β)

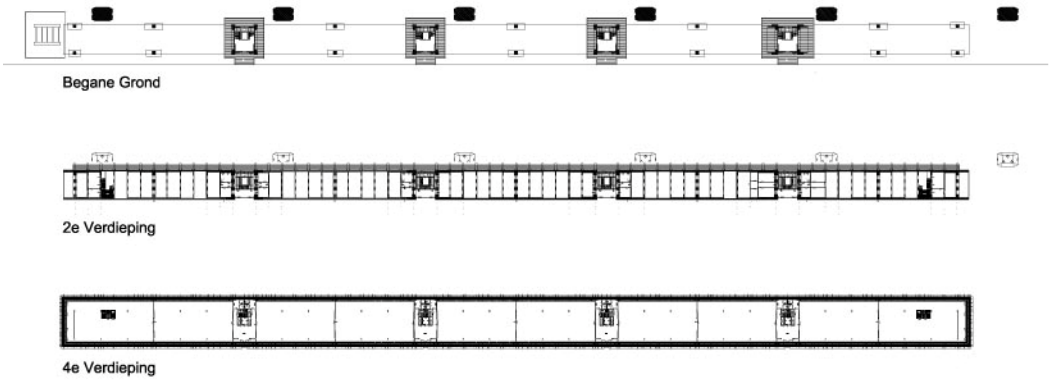
Εικόνα 33 : *Peking Road, Kowloon, Hong Kong, α) εσωτερική λήψη εστιατορίου, β) εξωτερική λήψη [60][85]105]*

10.	Κτίριο	Kraanspoor	
	Διεύθυνση	Amsterdam, Ολλανδία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	OTH, Ontwerpgroep Trude Hooykaas	
	Εμβαδόν	12.500 m^2	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Ενεργητική κίνηση (Mechanical)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	Ζώνης ανάσχεσης (Buffer zone)	



α)

β)



γ)

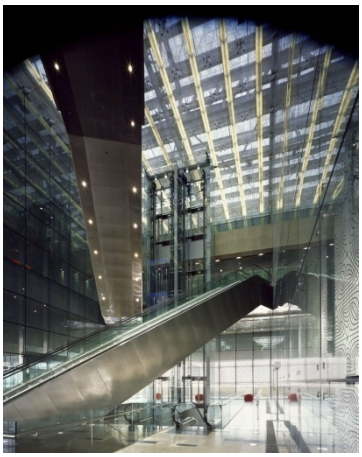
δ)

ε)

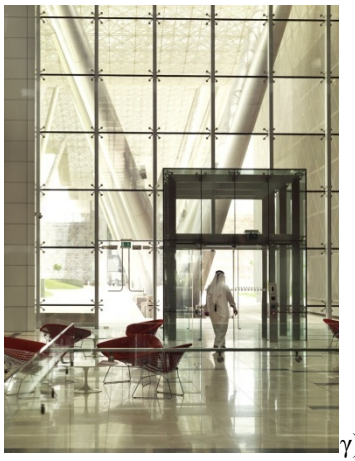
Εικόνα 34 : *Kraanspoor, Amsterdam, The Netherlands,α) τομή, β) κοιλότητα,γ)κάτοψη, δ)κοντινή όψη, ε)όψη[37][74][91]*

11.	Κτίριο	Qatar Science and Technology Park	
	Διεύθυνση	Doha, Κατάρ	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Woods Bagot	
	Εμβαδόν	123 ha of land	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού	Ενεργητική κίνηση (Mechanical)	
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού		

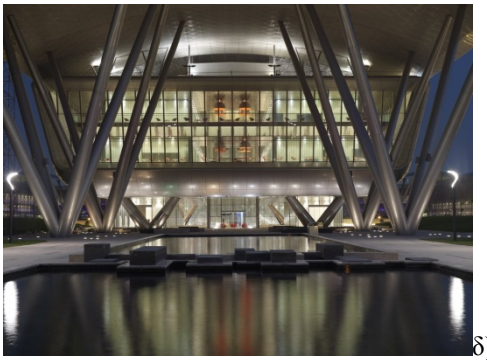
α)



β)



γ)



δ)

Εικόνα 35 *: Qatar Science and Technology Park, , Qatar,α) γενική όψη β), γ), δ) εσωτερικές όψεις [57][58]*

12.	Κτίριο	Neven-DuMont-Schauberg	
	Διεύθυνση	Dusseldorf, Γερμανία	
	Αρχιτεκτονικό γραφείο	Hentrich Petschnigg und Partner	
	Τύπος ΓΔΟ		
	Τύπος εξαερισμού		
	Διαχωρισμός	Πολυώροφη όψη (multistory façade)	
	Λειτουργία εξαερισμού	Φράγμα ελέγχου του ήχου	

α)

β)

γ)

δ)

ε)

Εικόνα 36: *Neven-DuMont-Schauberg, , Dusseldorf, Γερμανία,α),γ) γενική όψη β), δ), ε) εξωτερικές όψεις [41][52][64][71][80]*

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΗΧΟΥ

4.1.1 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

Ακουστική είναι η επιστήμη της συμπεριφοράς των ηχητικών κυμάτων. Μελετά την παραγωγή , διάδοση , και λήψη των εν λόγω κυμάτων από το ανθρώπινο αυτί . Είναι επίσης η επιστήμη που ασχολείται επισταμένως με όλα γενικά τα μηχανικά κύματα , τα οποία εκτείνονται πέρα από το ακουστικό φάσμα του ανθρώπινου αυτιού και ως εκ τούτου δεν γίνονται αντιληπτά. Τέτοια κύματα είναι :

α) τα χαμηλής συχνότητας κύματα που παράγονται από τους σεισμούς (υποηχητικά κύματα) και

β) τα υψηλής συχνότητας ή υπερηχητικά κύματα καθώς και οι υψίσυχνες ταλαντώσεις των ατόμων στα στερεά σώματα .

Η Ακουστική είναι εξαιρετικά σημαντική

α) στον λόγο και στην ακρόαση (ραδιοφωνικά studios, θεατρικές αίθουσες, συνεδριακούς χώρους) και

β) στην μουσική (παραγωγή και ακρόαση) σε studios ηχογράφησης και αίθουσες συναυλιών.

4.1.2 ΉΧΟΣ

Ήχος είναι μια μηχανική τοπική διαταραχή, η οποία μεταδίδεται δια μέσου ενός ελαστικού στερεού, υγρού ή αερίου και διεγείρει την ανθρώπινη ακοή στις συχνότητες μεταξύ περίπου 20 Hz και 20.000 Hz.

Ηχητικό κύμα είναι η μηχανική διαταραχή, πχ. της πίεσης, της τάσης, της πυκνότητας, που διαδίδεται μέσα σε ένα ελαστικό μέσο με ορισμένη ταχύτητα. Η πιο κοινή περίπτωση είναι το ηχητικό κύμα που διαδίδεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε αυτήν την περίπτωση η εξεταζόμενη διαταραχή είναι η μεταβολή της πίεσης του αέρα γύρω από τη βαρομετρική της τιμή.

Ο ήχος ορίζεται με δυο διαφορετικούς τρόπους, έναν σχετικό με τη φυσική και έναν σχετικό με τη φυσιολογική του σημασία :

1) Μηχανική διαταραχή που διαδίδεται μέσα σε ένα ελαστικό μέσο, με ορισμένη ταχύτητα και έχει τέτοιο χαρακτήρα, ώστε να μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

2) Το ακουστικό αίσθημα που προκαλείται όταν διεγείρεται το αισθητήριο της ακοής το αυτί.

Συνοψίζοντας λοιπόν, οι κύριες προϋποθέσεις για την παραγωγή και στην συνέχεια διάδοση του ήχου καθώς και βασικές ιδιότητες του ήχου είναι:

- Η ύπαρξη μιας ηχητικής πηγής
- Η ύπαρξη ενός ελαστικού μέσου διάδοσης
- Η ταχύτητα διάδοσης είναι συνάρτηση της φύσης του υλικού στο οποίο διαδίδεται ο ήχος, αλλά και των υπόλοιπων συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση, κλπ).

Συγκεκριμένα ,η ταχύτητα διάδοσης στον αέρα είναι ανεξάρτητη από την πυκνότητά του, τη συχνότητα, το πλάτος ή τη μορφή ταλαντώσεως του ηχητικού κύματος, ενώ εξαρτάται από τη θερμοκρασία και είναι μμικρότερη στον ξηρό παρά στον υγρό αέρα.

- Ο ήχος διέπεται από κυματικά φαινόμενα (συμβολή, ανάκλαση, περίθλαση κ.α.).
- Ο ήχος στα μεν υγρά και αέρια διαδίδεται ως διαμήκη κύματα, ενώ στα στερεά διαδίδεται και ως διαμήκη και ως εγκάρσια κύματα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου κατηγοριοποιούνται σε δυο βασικές κατηγορίες:
α) τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά και
β) τα αντικειμενικά.

Μιλώντας για τα *αντικειμενικά* χαρακτηριστικά των ήχων , ουσιαστικά αναφερόμαστε στα φυσικά χαρακτηριστικά τους, δηλ. εκείνα που, μπορούν να περιγραφούν και να μελετηθούν από τη Φυσική επιστήμη (Μηχανική , Ακουστική , Ηλεκτρολογία) και να προσδιοριστούν ποσοτικά και ποιοτικά επακριβώς μέσω μετρήσεων, που γίνονται από εξειδικευμένα όργανα και συσκευές.

Αντίστοιχα, τα *υποκειμενικά* χαρακτηριστικά του ήχου, αφορούν στις αισθήσεις και τις ψυχολογικές εντυπώσεις που δημιουργούνται στον ακροατή, οι οποίες σχετίζονται με την ποιος ακούει τον ήχο και την ποσότητα του ήχου που γίνεται αντιληπτός.

Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά δε μπορούν να μετρηθούν με συμβατικό τρόπο, δηλαδή με όργανα μετρήσεων. Η μελέτη και ανάλυσή τους γίνεται μέσω ελέγχου-δοκιμασίας (τεστ) ομάδων ακροατών.

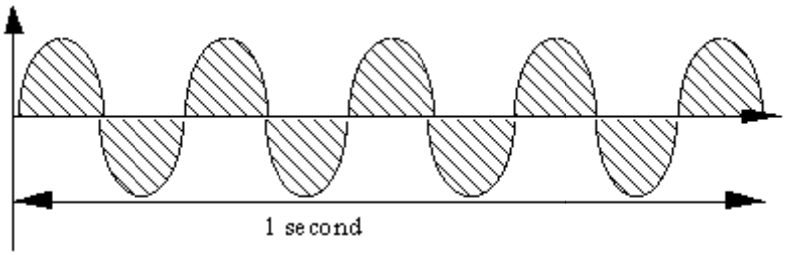
Οι παράγοντες τώρα, που προσδιορίζουν πλήρως ένα *ηχητικό κύμα* είναι η *διάρκεια, η συχνότητα, το φάσμα συχνοτήτων και η έντασή του*, ενώ άλλα χαρακτηριστικά μικρότερης σημασίας είναι η *φάση* (που περιγράφει τη στιγμιαία κατάσταση του σήματος), το *μήκος κύματος* (που εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα) και τέλος, η *δυναμική*, που σχετίζεται με την εξέλιξη της έντασης (την κατανομή της ενέργειας) στο χρόνο.

Αναφορικά με τα υποκειμενικά και αντικειμενικά χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν, τα *υποκειμενικά* είναι *το ύψος, η ακουστικότητα και η χροιά,* ενώ τα *αντικειμενικά* είναι *η συχνότητα, η ένταση και το φάσμα συχνοτήτων*.

4.2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Συχνότητα

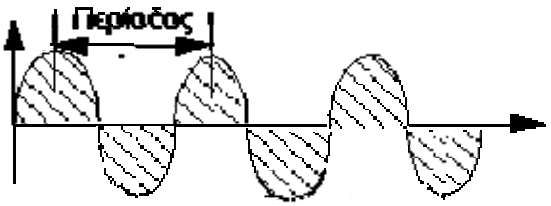
Ως ***συχνότητα f*** του ηχητικού κύματος ορίζεται το πλήθος των περιόδων ανά δευτερόλεπτο. Μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hertz). Το ακουστό φάσμα συχνοτήτων κυμαίνεται μεταξύ 20Hz και 20kHz. Ήχοι με συχνότητα κάτω από 16Hz δεν είναι ακουστοί και ονομάζονται υπόηχοι, ενώ ήχοι με συχνότητα πάνω από 20kHz δεν είναι επίσης ακουστοί και ονομάζονται υπέρηχοι. Το φάσμα συχνοτήτων της κτιριακής ακουστικής είναι από 100Hz έως 3.15kHz. Η συχνότητα μετράται σε Χερτζ (Hz). Είναι 1Hz =1s^{-1}.



Εικόνα 37 : *Συχνότητα κυματομορφής*

Περίοδος

Ως ***περίοδος T*** του ηχητικού κύματος ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένα ηχητικό κύμα για να πραγματοποιήσει ένα πλήρη κύκλο, μετριέται σε s(δευτερόλεπτα), και είναι το αντίστροφο της συχνότητας.



Εικόνα *38* : *Περίοδος μιας κυματογράφος*

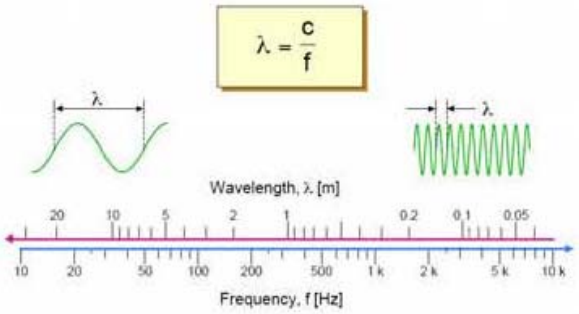
Ταχύτητα του ήχου

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

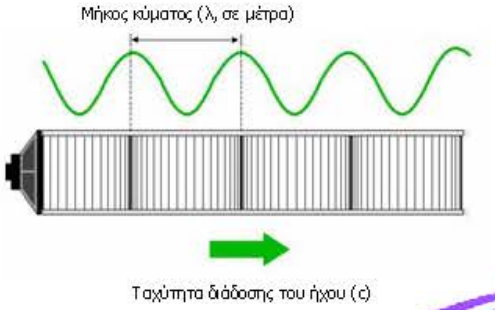
λαμβάνεται γύρω στους 20° C, είναι ίδια για όλες στις συχνότητες και ισούται με 344m/s.

Μήκος κύματος του ήχου

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, περίοδος, συχνότητα) συνδέονται με τη σχέση c=λ/T ή c=λ*f. Οι ήχοι, που γίνονται ακουστοί από το ανθρώπινο αφτί, έχουν μήκη κύματος από 14 cm μέχρι 21,25 cm. Τα μήκη κύματος τα μικρότερα από 14 cm ονομάζονται υπερηχητικά κύματα..



α)



β)

Εικόνα *39*: *α)μήκος κύματος, β)μήκος κύματος και συχνότητα*

Ηχητική ένταση, ηχητική ενέργεια , ηχητικό πεδίο

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:

$$I = \frac{E}{S * t}$$

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 $\frac{W}{m^2}$ (Watt 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. ***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. 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_o είναι η ηχητική πίεση αναφοράς (στον αέρα $p_o = 20\mu Pa$ ή $0{,}00002\, N/m^2$). Ως μονάδα μέτρησης χρησιμοποιείται το dB(ντεσιμπέλ).

4.3 ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΩΝ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ

Έχει προσδιοριστεί πειραματικά ότι ο λόγος της μέγιστης έντασης Imax , των ήχων, που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος χωρίς να αισθανθεί δυσαρέσκεια ή ενόχληση, προς την ελάχιστη ένταση Imin πρέπει να έχει ένας ήχος για να γίνει ακουστός, είναι της τάξης μεγέθους του 10^{12}. Παρατηρείται ότι η γραμμική περιοχή των ακουστών ήχων ηχητικών εντάσεων είναι πάρα πολύ μεγάλη. Γι' αυτό στην πράξη χρησιμοποιείται μια λογαριθμική κλίμακα μέτρησης της ηχητικής έντασης, η κλίμακα των ντεσιμπέλ (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.

$$dB = 10\log I/I_0 = 20 \log P/P_0$$

όπου I = η ηχητική ένταση σε w/m^2

I_0 = η ηχητική ένταση αναφοράς, η οποία λαμβάνεται ως 10^{-12} w/m^2

P = η ηχητική πίεση σε Pa

P_0 = η ηχητική πίεση αναφοράς, η οποία λαμβάνεται ως 20 μPa

Η λογαριθμική κλίμακα των decibel υποδιαιρείται σε 120 διαστήματα που κυμαίνονται από το επίπεδο της αντίληψης, έως το επίπεδο πόνου στο τύμπανο.

Το ντεσιμπέλ, 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 της I_0. Γι' αυτό ορίστηκε ως ηχητική ένταση αναφοράς I_0, η ελάχιστη ακουστή ηχητική ένταση στη συχνότητα 1000Hz η οποία είναι:

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

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

Στάθμη ηχητικής πίεσης L_p[1], σε ντεσιμπέλ (dB)	Ηχητική πίεση σε μικροπασκάλ (μPa)	Συνθήκες περιβάλλοντος
0	20	Κατώφλιο της ακοής
10	63	Θρόισμα των φύλλων των δέντρων
20	200	Στούντιο ηχογραφήσεων
30	630	Υπνοδωμάτιο τη νύχτα
40	2.000	Βιβλιοθήκη
50	6.300	Ήσυχο γραφείο
60	20.000	Συνομιλία (1 m από το στόμα του ομιλούντος)
70	63.000	Μέση ένταση ραδιοφώνου
74	100.000	Ελαφρά τροχαία κίνηση
80	200.000	Τυπικό εργοστάσιο
90	630.000	Μετρό
100	2.000.000	Συμφωνική ορχήστρα (fortissimo)
110	6.300.000	Ορχήστρα ροκ
120	20.000.000	Απογείωση αεροσκάφους (στα 25 m)
140	200.000.000	Όριο του πόνου

[1] $L_p = 20 \lg(p/p_0)$ όπου $p_0 = 20$ μPa $= 20 \times 10^{-6}$ Pa (1 Pa = 1 N/m^2)

Πίνακας 2 : *Κλίμακα ακουστικών ντεσιμπέλ*

Τα dB δεν προστίθενται αλγεβρικά. Πρέπει πρώτα να προσθέσουμε τα αντίστοιχα τετράγωνα των πιέσεων και μετά να λογαριθμίσουμε το άθροισμα και να πάρουμε dB.

Αριθμητική διαφορά στάθμων dB	Πρόσθεσε στην υψηλότερη στάθμη*, dB
0 ή 1	3
2 ή 3	2
4 ~ 9	1
10 ή περισσότερο	0

*ακρίβεια αποτελέσματος ικανοποιητική (±1 dB)

Πίνακας 3: *Πίνακας πρόσθεσης dB* , (Α.Σωτηροπούλου 1996)

4.4 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Η αφαίρεση ηχητικών σταθμών ενδιαφέρει κυρίως στην περίπτωση που πρόκειται να μετρηθεί η στάθμη ενός ηχητικού σήματος παρουσία θορύβου. Έτσι αν είναι L η στάθμη του σήματος, Ln η στάθμη του θορύβου, Ls +n η στάθμη του σήματος μαζί με τη στάθμη του θορύβου και ΔL=Ls+n–Ln,τότε η διαφορά δL =Ls +n–Ls προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\Delta l = 10\log\left[\frac{1}{1-10^{-\Delta L/10}}\right]$$

Στην πράξη όταν ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο είναι μεγαλύτερος από 10 dB τότε η επίδραση του θορύβου στη μέτρηση είναι ασήμαντη.

4.5 ΕΙΔΗ ΗΧΩΝ

Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες ήχων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά για κάθε κατηγορία: οι απλοί ήχοι ή φθόγγοι, οι σύνθετοι ήχοι ή τόνοι, οι θόρυβοι και οι κρότοι.

Απλός ήχος: Οι απλοί ήχοι παράγονται από ορισμένα μόνο εργαστηριακά όργανα, όπως είναι η γεννήτρια ακουστών συχνοτήτων και το διαπασών. Οι ήχοι αυτοί έχουν μια μόνο χαρακτηριστική συχνότητα και είναι ότι απλούστερο (από πλευράς ανάμιξης διαφορετικών συχνοτήτων) μπορεί να υπάρξει σαν είδος ήχου. 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 μια μόνο γραμμή.

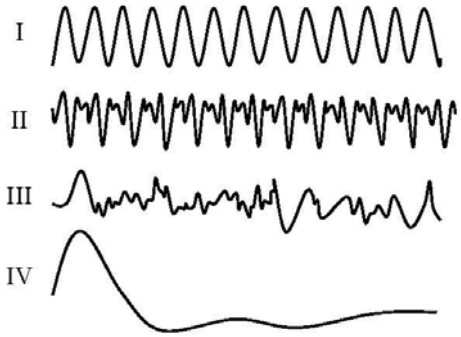
Σύνθετος ήχος: Οι σύνθετοι ήχοι είναι οι ήχοι των διαφόρων μουσικών οργάνων, της φωνής των ανθρώπων και ζώων κλπ. Οι ήχοι αυτοί θα λέγαμε ότι είναι ένα ηχητικό "κοκτέιλ" απλών ήχων. Ο σύνθετος ήχος είναι μια περιοδική διαταραχή στην οποία η μεταβολή της ηχητικής έντασης δεν είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου. Αναλύεται μαθηματικά σε δυο ή περισσότερους απλούς ήχους.

Θόρυβος: Ως θόρυβος ορίζεται κάθε ακανόνιστος απεριοδικός ήχος του οποίου η στιγμιαία τιμή αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο. 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 είναι ο ήχος που δέχονται τα αυτιά μας καθώς διασχίζουμε ένα πολυσύχναστο δρόμο ή το θρόισμα των φύλλων από τον άνεμο, το κελάρυσμα του νερού κλπ. Τα ηχητικό φάσμα του θορύβου είναι συνεχές, δηλαδή οι συνιστώσες του έχουν συνεχή κατανομή σε όλη την περιοχή των συχνοτήτων.

>81	Απαράδεκτη κατάσταση
81	
80	Πολύ θορυβώδης κατάσταση
79	
78	
77	θορυβώδης κατάσταση
76	
75	
74	Σχεδόν ανεκτή κατάσταση
73	
72	
71	Καλή κατάσταση
70	
69	
68	Άνετη κατάσταση
<68	

Πίνακας 4 : *Επιτρεπόμενα όρια θορύβου (dB (A))(ΤΕΕ,2008α)*

Κρότος: Ο κρότος παράγεται από μια ξαφνική και βίαια ταλάντωση των μορίων του μέσου διάδοσης του ήχου. Οι κρότοι χαρακτηρίζονται από μεγάλη ένταση και μικρή διάρκεια. Κρότος είναι ο ήχος που παράγεται από ένα πυροβολισμό ή από το σκάσιμο μιας παραφουσκωμένης μπάλας.



Εικόνα 40 : *Οι γραφικές παραστάσεις ενός απλού ήχου (I), ενός σύνθετου ήχου (II), ενός θορύβου (III) όπως και ενός κρότου (IV).*[1]

4.6 ΖΩΝΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Οι περισσότεροι ήχοι αποτελούνται από διάφορες συχνότητες, χαμηλές, μεσαίες, υψηλές. 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 ογδόης ή οκτάβα.Οκτάβα είναι κάθε ζώνη συχνοτήτων, που ο λόγος της αρχικής της συχνότητας f_1 προς την τελική f_2 ισούται με 2, δηλαδή $f_2 / f_1 = 2$

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 ,

[1] Ήχος : Μελέτη χαρακτηριστικών, προσδιορισμός ταχύτητας, Αραβαντινός Α.

1.250, 2.500 ,5.000, 10.000, 20.000 Hz και οι κεντρικές συχνότητες από τις οκτάβες που χρησιμοποιούνται για την ακουστική χώρου είναι οι 125, 250 , 500, 1.000, 2.000 , 4.000 Hz .

Για λεπτομερέστερη ανάλυση των ακουστικών μεγεθών, η περιοχή συχνοτήτων χωρίζεται σε ζώνες μικρότερου ζωνικού εύρους, τις ζώνες τρίτων ογδόης ή τριτοοκτάβα.

Στην τριτοοκτάβα, ισχύει $f_2 / f_1 = 2^{1/3}$

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, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000 , 2.500 , 3.150, 4.000 , 5.000, 6.300 , 8.000, 10.000, 12.500, 16.000, 20.000 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, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000 , 2.500 , 3.150 Hz.

Φάσμα Συχνοτήτων Κτιριακής Ακουστικής

Τριτοκταβικές ζώνες	Οκταβικές ζώνες
20k	16k
16k	
12,5k	
10k	8k
8k	
6,3k	
5k	4k
4k	
3,15k	
2,5k	2k
2k	
1,6k	
1,25k	1k
1k	
800	
630	500
500	
400	
315	250
250	
200	
160	125
125	
100	
80	63
63	
50	
40	31,5
31,5	
25	

Πίνακας 5 : *Οκταβικές και τριτοκταβικές ζώνες (Σωτηροπούλου Α., 1996)*

4.7 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΗΧΟΔΙΑΔΟΣΗ

Ο ήχος, σαν διαμήκης κύμα, παρουσιάζει όλα τα φαινόμενα που γνωρίζουμε στη κυματική, εκτός από τη πόλωση. Από αυτά τα φαινόμενα, ιδιαίτερης σημασίας για τη διάδοση του θορύβου είναι η ανάκλαση, η περίθλαση, η διάχυση η διάθλαση και η ηχοαπορρόφηση.

Ανάκλαση

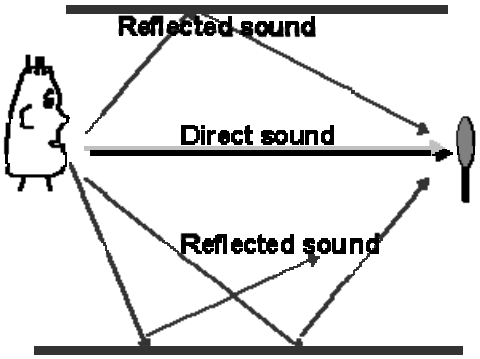
Στην πιο απλή μορφή της, ένα ηχογόνο σώμα εκπέμπει ηχητικά κύματα, τα οποία όταν προσπίπτουν σε εμπόδιο, ανακλώνται. Η ανάκλαση, αλλά και τα υπόλοιπα φαινόμενα (απορρόφηση, διάθλαση, περίθλαση), εξαρτώνται από τη συχνότητα του ήχου, τη γωνία πρόσκρουσης (ισχύει όπως και στην οπτική, ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης, αλλά και το υλικό του μέσου διάδοσης. 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.

Το φαινόμενο της ηχοανάκλασης χαρακτηρίζεται από το συντελεστή ηχοανάκλασης. Ως συντελεστής ηχοανάκλασης r, μιας επιφάνειας ή ενός υλικού, ορίζεται ο λόγος της ανακλώμενης ηχητικής ισχύος, P_r, προς την προσπίπτουσα ηχητική ισχύ, P_ι :

$$r=\frac{P_r}{P_i}$$

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



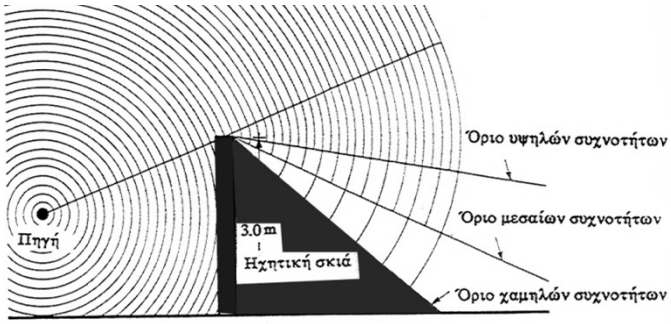
Εικόνα *41* : *Ηχοανάκλαση [50]*

Διάθλαση

Για τη διάδοση του ήχου απαραίτητο είναι να υπάρχει ένα μέσον, στη περίπτωση μας ο αέρας. Όταν ο ήχος κατά τη διάδοση του συναντήσει διαφορετική πυκνότητα του υλικού μέσω του οποίου διαδίδεται τότε αλλάζει η διεύθυνση διάδοσης του. Σε ένα κλειστό χώρο, λόγο της σταθερής θερμοκρασίας η πυκνότητα του αέρα είναι δεδομένη άρα η *διάθλαση* δε μας απασχολεί για κλειστούς χώρους αλλά μόνο για ανοιχτούς.

Περίθλαση

Όταν κατά τη διάδοσή του το ηχητικό κύμα συναντήσει ένα εμπόδιο τότε στα άκρα του εμποδίου το ηχητικό κύμα αλλάζει κατεύθυνση διάδοσης και έτσι διαδίδεται και πίσω από το εμπόδιο. Ακριβώς πίσω από το εμπόδιο σχηματίζεται μία ασαφής «ηχητική σκιά». Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηχοπερίθλαση. Για συχνότητες πάνω από 125Hz, τις οποίες μελετάμε σε στην ακουστική χώρου, η περίθλαση είναι σημαντική. Τ ο φαινόμενο αυτό εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου. Αν το μήκος κύματος του ήχου είναι μικρό σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου, ο ήχος δεν θα λυγίσει.

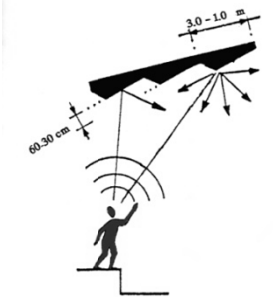


Εικόνα *42*: *Περίθλαση (Α.Σωτηροπούλου 1996)*

Διάχυση

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.

Η διάχυση του ήχου επιβάλλεται στις αίθουσες μουσικής, για να έχει το ακροατήριο την αίσθηση ότι ο ήχος έρχεται από όλες τις κατευθύνσεις με την ίδια ένταση. Αντίθετα ένα πολύ μικρό ποσοστό διάχυσης ήχου επαρκεί σε χώρους ακρόασης ομιλίας και μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και με τη χρήση εναλλάξ απορροφητικού και ανακλαστικού υλικού.



Εικόνα *43*: *Διάχυση (Α.Σωτηροπούλου 1996)*

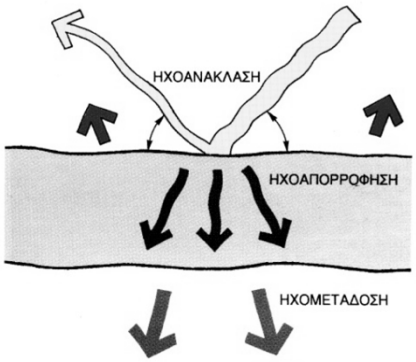
Ηχοαπορρόφηση

Κατά τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων μέσα σ' 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). Το φαινόμενο της ηχοαπορρόφησης χαρακτηρίζεται από το συντελεστή ηχοαπορρόφησης.

Ως συντελεστής ηχοαπορρόφησης, α, μιας επιφάνειας ή ενός υλικού ορίζεται ο λόγος της απορροφούμενης ηχητικής ισχύος, Pα, προς την προσπίπτουσα ηχητική ισχύ $P_{I.}$ Είναι: $\alpha = P_{\alpha} / P_{i}$. Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης είναι αδιάστατο μέγεθος και η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Η ηχοαπορρόφηση εξαρτάται από τη συχνότητα, τη φύση του υλικού και τη γωνία ηχοπρόσπτωσης.



Εικόνα *44*: *Σχήμα με ηχοανάκλαση, ηχοαπορρόφηση και ηχομετάδοση.(Α.Σωτηροπούλου 1996)*

4.8 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 :

$$I = \frac{P^2}{2P_S C} \text{ σε } \frac{W}{m^2}$$

Όπου είναι :

P η ηχητική πίεση του αέρα σε (N/mm^2),

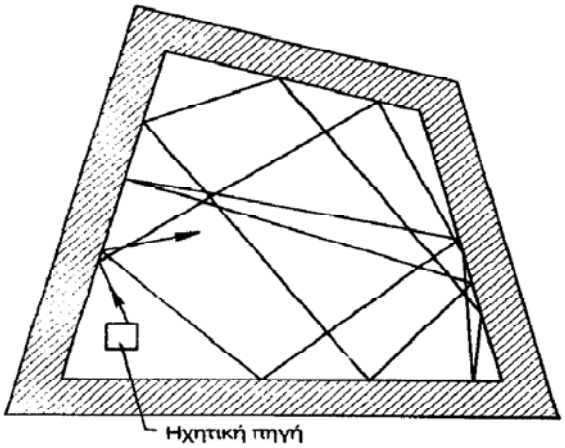
ρ η πυκνότητα του αέρα σε (Kg/m^2)

c η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα σε (m^2/s)

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

4.9 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.



Εικόνα 45: *Διάδοση του ήχου μέσα σε κλειστό χώρο [30]*

Συνεπώς, σχεδόν αμέσως, 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.

4.9.1 ΑΝΤΗΧΗΣΗ

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.

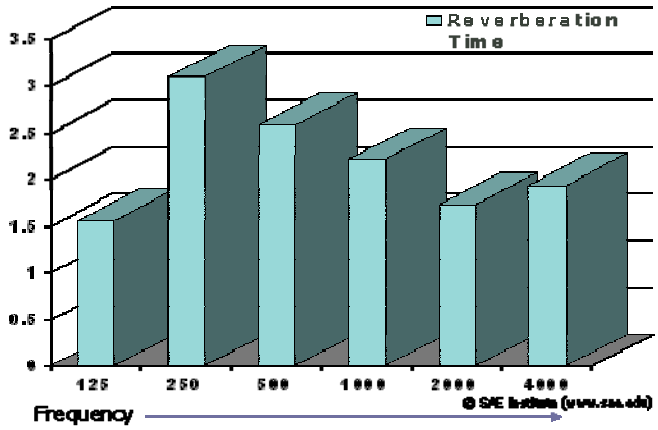
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***αντήχηση*** και χαρακτηρίζεται από τον χρόνο αντήχησης. Ο ***χρόνος αντήχησης*** (ανά συχνότητα) είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος, από τη στιγμή της διακοπής παραγωγής του μέσα σε ένα χώρο, για να χάσει 60dB από την αρχική του ένταση. Ο χρόνος αντήχησης μετράται σε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

Γνωρίζοντας το βέλτιστο χρόνο αντήχησης ενός χώρου έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε με βάση το τύπο του Sabine το εμβαδόν των ηχοαπορροφητικών επιφανειών.

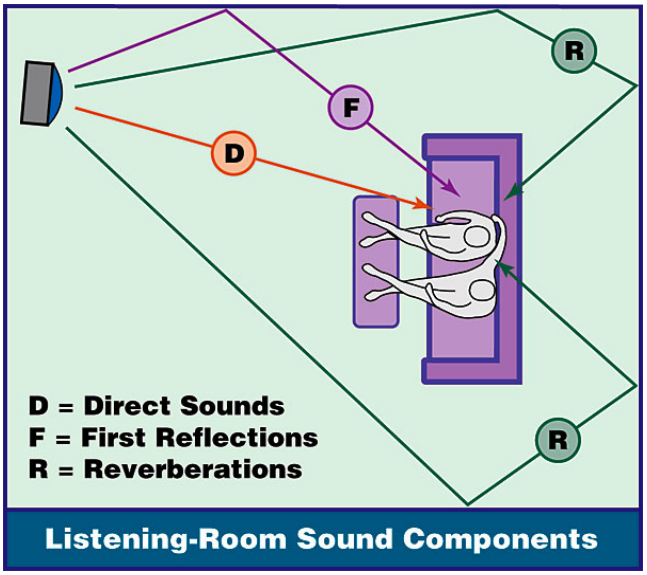
τύπος του Sabine: $$R.T. = \frac{0.16V}{\sum_1^v F_i a_i + Vx}$$

όπου

- R.T [s] είναι ο χρόνος αντήχησης
- V [m^3] είναι ο όγκος του χώρου
- F_i [m^2] είναι η επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου
- α_i [Sab] είναι ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού του χώρου
- x [m^2Sab/m^3] είναι η απορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου
- ν είναι το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών του χώρου



Εικόνα 46: *Διάγραμμα χρόνου αντήχησης [94]*



Εικόνα 47: *Απεικόνιση χρόνου αντήχησης σε δωμάτιο [62]*

4.9.2 ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ

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

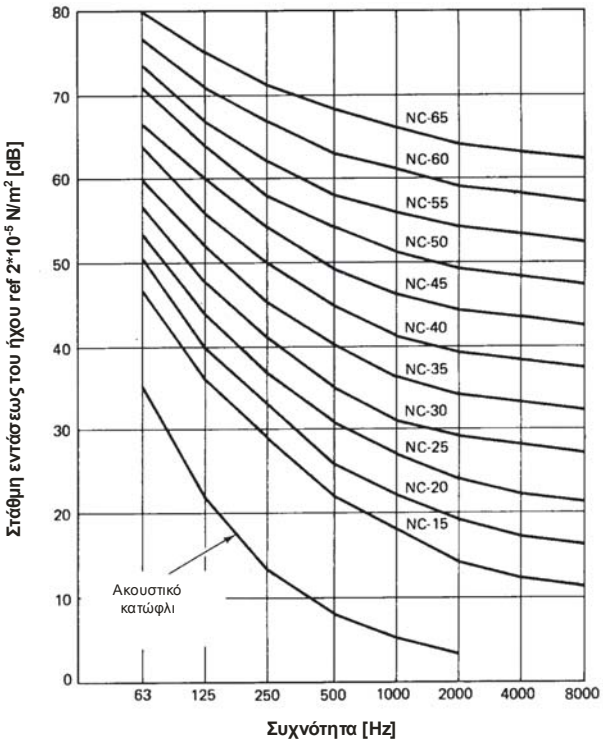
Για τη σωστή λειτουργία ενός χώρου διδασκαλίας θεωρείται επιτακτική η λήψη μέτρων σχετικών με την ελαχιστοποίηση του θορύβου βάθους στο εσωτερικό του χώρου, η μελέτη των οποίων δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Η εκτίμηση της ανεκτής στάθμης θορύβου δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη, διότι σημαντικό ρόλο στο θέμα αυτό παίζει ο υποκειμενικός παράγοντας. Βέβαια, έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία τιμές ανεκτής στάθμης θορύβου σε συνάρτηση με τη χρήση του χώρου και ονομάζονται κριτήρια θορύβου (Noise Criteria - NC).

Έχει καθιερωθεί το διάγραμμα καμπύλων κριτηρίων θορύβου, στο οποίο τοποθετούμε τις μετρήσεις του θορύβου βάθους συναρτήσει της συχνότητας, έτσι ώστε να βρούμε την καμπύλη, που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χώρο διδασκαλίας 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,για να διαπιστώσουμε αν την υπερβαίνει ή όχι.

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

Πίνακας 6 :*Κριτήρια θορύβου (αποδεκτές τιμές θορύβου) ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου. (SRL 1976)*



Εικόνα *48*: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου.(SRL 1976)*

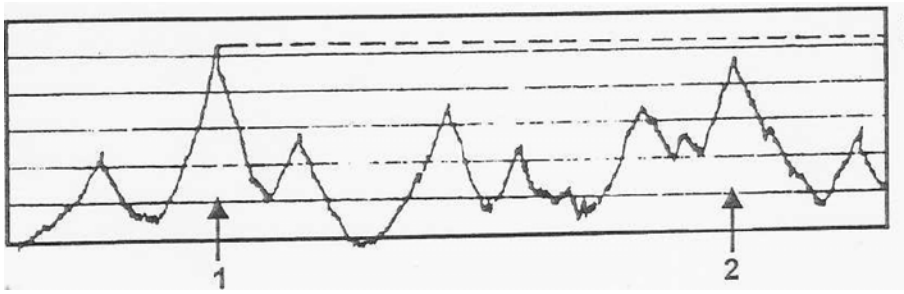
4.9.3 ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ Α-ΗΧΟΣΤΑΘΜΗ

Όπως προαναφέρθηκε το ανθρώπινο αισθητήριο της ακοής λειτουργεί στην περιοχή από 16Hzμέχρι 20KHz. Η ευαισθησία του όμως δεν είναι η ίδια σ' όλες τις συχνότητες. Συγκεκριμένα, το ανθρώπινο αυτί έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεσαίες συχνότητες και τη μέγιστη ευαισθησία στη συχνότητα των 1000Hz.

Για το λόγο αυτό και για να προσαρμοστεί ο μετρούμενος θόρυβος στον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου αυτιού χρησιμοποιείται το φίλτρο Α. Το φίλτρο αυτό δίνει διαφορετική βαρύτητα σε κάθε περιοχή συχνοτήτων και προσεγγίζει σε μορφή τις ιδιομορφίες της ανθρώπινης ακοής σε διάφορες συχνότητες. Η στάθμη ηχητικής πίεσης που προκύπτει από τις μετρήσεις με φίλτρο Α ονομάζεται σταθμισμένη Α-Ηχοστάθμη L_A και μετριέται σε dB (A). Σχεδόν όλες οι μετρήσεις που αφορούν αστικό θόρυβο γίνονται σε dBA).

4.9.4 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΗΧΟΣΤΑΘΜΗ L_{EQ} (EQUIVALENT CONTINUOUS SOUND LEVEL)

Όλες οι πηγές αστικού θορύβου (π.χ. κυκλοφοριακός θόρυβος) προκαλούν μια κυμαινόμενη με το χρόνο στάθμη ηχητικής πίεσης. Επομένως ο θόρυβος αυτός δεν μπορεί να περιγραφεί και να αξιολογηθεί με τη βοήθεια της στάθμης ηχητικής πίεσης Lp. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιείται η ισοδύναμη συνεχής ηχοστάθμη Leq (Equivalent Continuous Sound Level) που σ' ένα ορισμένο χρονικό διάστημα έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο μ' αυτό του πραγματικού θορύβου. Συνεπώς η στάθμη Leq αντιπροσωπεύει την ηχοστάθμη ενός αμετάβλητου θορύβου που προκαλεί την ίδια ενόχληση με τον κυμαινόμενο θόρυβο.



Εικόνα 49: *Κυμαινόμενη με το χρόνο στάθμη ηχητικής πίεσης.*

Η ισοδύναμη συνεχής ηχοστάθμη Leq ορίζεται από τη σχέση

$$L_{eq} = 10 * \log\left[\frac{1}{T}\int^{T} 10^{0.1 L_{A(t)}}\, dt\right] \qquad \text{σε dB(A)}$$

όπου T η χρονική διάρκεια της μέτρησης και LA(t) η κυμαινόμενη χρονικά Αηχοστάθμη.

Ο δείκτης Leq δεν πρέπει να συγχέεται με την αριθμητική μέση τιμή γιατί παίρνει υπόψη και τις υψηλές στάθμες μικρής διάρκειας (π.χ. πέρασμα ενός φορτηγού) οι

οποίες αν και είναι μικρής διάρκειας επηρεάζουν σημαντικά την στάθμη λόγω της λογαριθμικής εξάρτησης.

4.9.5 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

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 :

$$\alpha = P_\alpha / P_i \quad \text{και} \quad P_\alpha + P_r = P_i$$

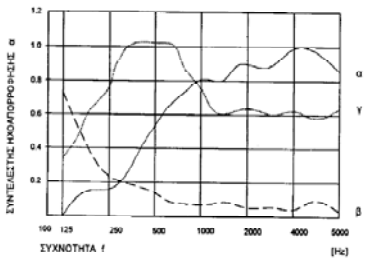
Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης είναι αδιάστατο μέγεθος και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

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.

Σημαντικό ρόλο παίζει η θέση, στην οποία τοποθετούμε τα ηχοαπορροφητικά υλικά, για να μη μας δημιουργήσουν πρόβλημα αλλά να συμβάλλουν όντως στην καλύτερη ακουστική του χώρου. Συνήθως, προτιμάμε να τα τοποθετούμε στα τμήματα του χώρου με τη σειρά προτεραιότητας που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα. Στους χώρους ακρόασης ομιλίας με αποδεκτό ύψος, έτσι ώστε να μη δημιουργείται ηχώ, αποφεύγουμε την τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών στην οροφή, διότι είναι επιθυμητές οι ανακλάσεις, από την οροφή, του ήχου, που προέρχεται από τον ομιλητή.

Ηχοαπορροφητικά υλικά ονομάζονται τα υλικά με σχετικά μεγάλη ικανότητα ηχοαπορρόφησης και ορισμένα από αυτά είναι ο αέρας, που υπάρχει σε κάθε χώρο και οι επενδύσεις των περατωτικών επιφανειών του, τα άτομα, τα καθίσματα, οι κουρτίνες, τα χαλιά και οι οπές εξαερισμού, που περιλαμβάνει. Τα ηχοαπορροφητικά υλικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το μηχανισμό ηχοαπορρόφησής τους. Στα :

- πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά
- συνηχητές μεμβράνης



Εικόνα 50: *Αντιπροσωπευτικές τυπικές καμπύλες ηχοαπορροφητικών υλικών [30]*

4.9.5.1 Πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά

Η ηχοαπορρόφηση στα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά οφείλεται στην ύπαρξη πόρων στο υλικό, οι οποίοι επικοινωνούν με τον εξωτερικό αέρα και μεταξύ τους. Τα ηχητικά κύματα κατά την πρόσπτωσή τους στο υλικό εισέρχονται στους πόρους του και εκεί χάνουν μέρος της ηχητικής ενέργειάς τους, που μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, λόγω εσωτερικής τριβής και θερμικών διεργασιών. Τα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά παρουσιάζουν σημαντική ηχοαπορρόφηση στην περιοχή των *υψηλών συχνοτήτων, μέτρια στις μεσαίες και μικρή στις χαμηλές συχνότητες*.

Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης των υλικών εξαρτάται από την αντίσταση ροής του κάθε υλικού, το πάχος του στρώματος και την απόστασή του από τη σκληρή επιφάνεια, στην οποία είτε αναρτάται είτε τοποθετείται.

Η αντίσταση ροής των υλικών εξαρτάται από τον αριθμό των πόρων, το μέγεθός τους, τη διάταξή τους και το πάχος του στρώματος.

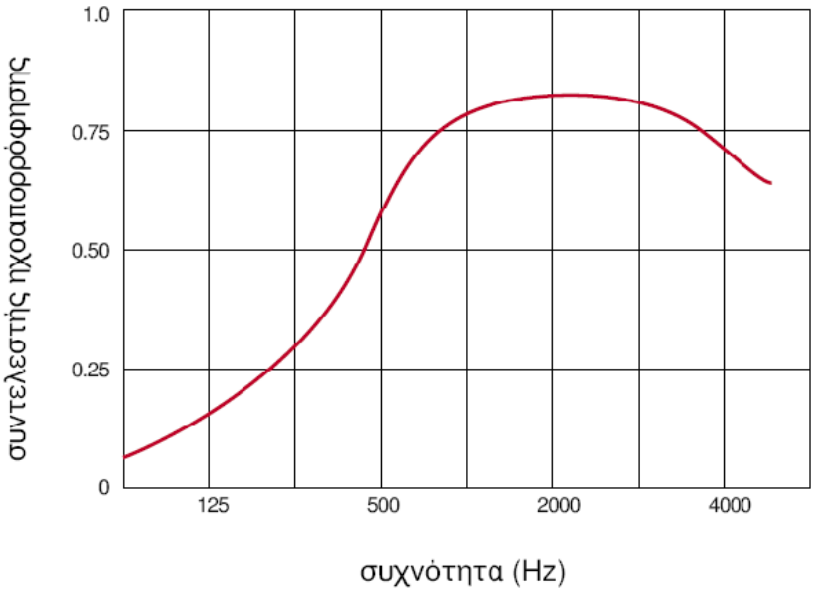
Γενικά, όσο πιο μεγάλο είναι το πάχος του στρώματος του υλικού τόσο πιο αποτελεσματικό είναι, αλλά αυτό συμβαίνει μέχρι ενός σημείου, μετά από το οποίο η ηχοαπορρόφηση δεν είναι εφικτή, αφού λόγω της έντονης αύξησης της αντίστασης ροής, ο ήχος δε μπορεί να διαπεράσει όλο το στρώμα του υλικού, και τα ηχητικά κύματα θα ανακλώνται σαν από έναν συμπαγή τοίχο.

Με την αύξηση της απόστασης του υλικού από τη σκληρή επιφάνεια, στην οποία τοποθετείται, η ηχοαπορρόφηση επεκτείνεται όλο και περισσότερο στις χαμηλές συχνότητες. Πιο συγκεκριμένα ένα αποτελεσματικό πορώδες ηχοαπορροφητικό σχηματίζεται από λεπτό ελεύθερα αναρτημένο υλικό σε απόσταση ¼ του μήκους κύματος από τη συμπαγή ανακλώμενη επιφάνεια. Τέτοιας μορφής διάταξη δίνει 100% απορρόφηση σε δεδομένη συχνότητα μόνο όμως όταν η ρέουσα αντίσταση είναι στο σωστό μέγεθος.

Το πλέον ευρέως διαδεδομένο σε ευρωπαϊκό επίπεδο πορώδες ηχοαπορροφητικό υλικό που χρησιμοποιείται στις κατασκευές είναι ο *πετροβάμβακας*. Η βασική ακουστική λειτουργία του πετροβάμβακα είναι η απορρόφηση του ήχου μέσα από την μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα μέσα στους πόρους. Ο πετροβάμβακας παρουσιάζει μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις υψηλές συχνότητες δηλαδή σε ήχους με μικρό μήκος κύματος. Σε ένα ηχητικό κύμα που προσπίπτει σε μια επιφάνεια το μέγιστο πλάτος εμφανίζεται στο 1/4 ή τα 3/4 του μήκους κύματος. Επομένως, για αποτελεσματική ηχοαπορρόφηση σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, θα πρέπει το πάχος του ηχοαπορροφητικού υλικού να είναι συγκρίσιμο με το 1/4 του μήκους κύματος στη συχνότητα αυτή. Σε αντίθετη περίπτωση η ηχοαπορρόφηση είναι χαμηλή.

Για την αύξηση της ηχοαπορρόφησης σε χαμηλότερες συχνότητες απαιτείται είτε αύξηση του πάχους του υλικού, είτε αύξηση της απόστασης του πορώδους υλικού από

την σταθερή επιφάνεια τοποθέτησης. Στα συστήματα ηχομόνωσης τοποθετούνται πορώδη απορροφητικά υλικά εκτός από τον πετροβάμβακα και υλικά όπως είναι: υαλοβάμβακας, ορυκτοβάμβακας, φελλός, διογκωμένο πολυαιθυλένιο κλειστών κυψελών και ξυλόμαλλο.



Εικόνα *51*: *Συντελεστής ηχοαπορρόφησης πετροβάμβακα*

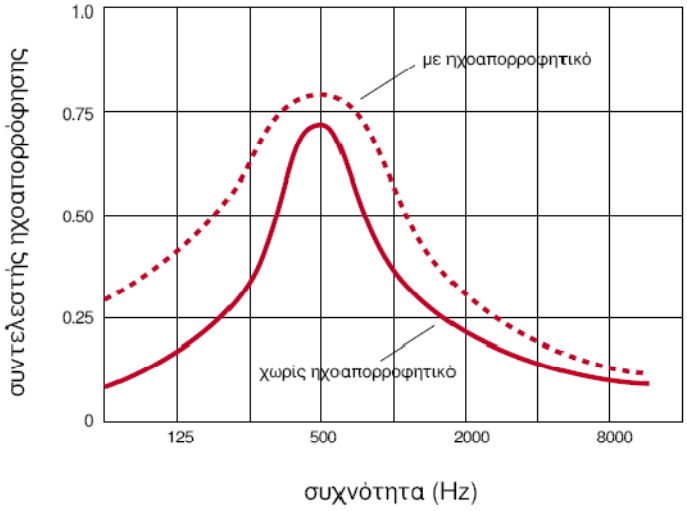
4.9.5.2 Συνηχητές

Οι συνηχητές διακρίνονται σε *ταλαντούμενες πλάκες* και σε *διάτρητες ταλαντούμενες πλάκες*. Οι ταλαντούμενες πλάκες είναι φύλλα υλικού, τα οποία τοποθετούνται σε απόσταση από την επιφάνεια στήριξης και, καθώς προσπίπτουν πάνω τους τα ηχητικά κύματα, πάλλονται. Η ηχοαπορρόφηση οφείλεται στη λειτουργία του συστήματος μάζας ελατηρίου. Το φύλλο του υλικού ενεργεί ως μάζα και το στρώμα του αέρα μεταξύ του φύλλου και της επιφάνειας στήριξης ως ελατήριο. Η ηχοαπορρόφηση οφείλεται κυρίως στη δόνηση του φύλλου του υλικού και είναι μεγαλύτερη για συχνότητες κοντά στην συχνότητα συντονισμού του συστήματος.

Οι *ταλαντούμενες πλάκες* παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις περιοχές των χαμηλών συχνοτήτων, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η ηχοαπορρόφηση είναι μικρή.

Οι *διάτρητες ταλαντούμενες πλάκες* είναι φύλλα υλικού διάτρητα με οπές ή σχισμές, τα οποία τοποθετούνται σε απόσταση από την επιφάνεια στήριξης. Η ηχοαπορρόφηση οφείλεται, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, στη λειτουργία του συστήματος μάζας-ελατηρίου. Πάλι το στρώμα του αέρα, που βρίσκεται μεταξύ του διάτρητου φύλλου και της επιφάνειας στήριξης, λειτουργεί ως ελατήριο, αλλά ως μάζα λειτουργεί βασικά η μάζα του αέρα, ο οποίος βρίσκεται μέσα στις οπές ή στις σχισμές. Οι διάτρητες ταλαντούμενες πλάκες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ηχοαπορρόφηση στην

περιοχή των μεσαίων συχνοτήτων, μέτρια στις υψηλές και μικρή στις χαμηλές συχνότητες.



Εικόνα 52: *Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητής μεμβράνης*

4.10 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα ηχοαπορροφητικά υλικά χρησιμοποιούνται όταν πρέπει να μειωθεί η στάθμη της ηχητικής έντασης του ήχου, ο οποίος παράγεται μέσα στον ίδιο το χώρο ή όταν πρέπει να ρυθμιστεί η συνολική απορρόφηση του χώρου για τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ακρόασης.

Στους βιομηχανικούς χώρους ισχυρά ηχοαπορροφητικά χώρου αναρτώνται από την οροφή και συνήθως πάνω από τις θορυβώδεις συσκευές ή και στις παράπλευρες επιφάνειες σε διάφορες αποστάσεις από το έδαφος ανάλογα με τη περίπτωση.

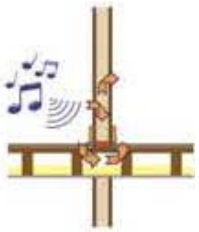
Για τη σωστή επιλογή ενός ηχοαπορροφητικού υλικού, πρέπει να αντιμετωπιστούν και να ληφθούν υπόψη ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης, η εμφάνιση (μέγεθος, γωνίες, συνδέσεις, χρώμα, υφή υλικού), η πυραντοχή και πυραντίσταση του υλικού, το κόστος και η ευκολία εγκατάστασης, οι μμηχανικές αντοχές, η ανακλαστικότητα στο φως, η συντήρηση, το καθάρισμα, η επίπτωση του βαψίματος στην ηχοαπορρόφηση, το κόστος συντήρησης, οι συνθήκες εργασίας (θερμοκρασία, σχετική υγρασία κατά την τοποθέτηση και η ποιότητα της επιφάνειας υποστρώματος), ο συσχετισμός των στοιχείων του χώρου με τα φινιρίσματα της ακουστικής (πόρτες, παράθυρα, φωτιστικά, θερμαντικά σώματα κ.ά.), το πάχος, το βάρος, η υγρασία, η αντίσταση στη συμπύκνωση υδρατμών του χώρου που βρίσκεται σε λειτουργία, καθώς και οι θερμομονωτικές ιδιότητες.

4.11 ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ

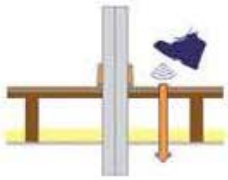
Όταν σ' ένα διαχωριστικό πέτασμα προσπίπτουν ηχητικά κύματα, ένα τμήμα της ηχητικής ισχύος τους ανακλάται ή απορροφάται από το πέτασμα και το υπόλοιπο τμήμα της διέρχεται στην άλλη πλευρά του. Η ιδιότητα του διαχωριστικού πετάσματος να εμποδίζει την ηχομετάδοση από τη μια πλευρά του στην άλλη ονομάζεται **ηχομόνωση**. Επίσης, ως ηχομόνωση αναφέρονται και όλα τα μέτρα που λαμβάνονται για τη μείωση της ηχομετάδοσης. Σε σχέση με την ηχομόνωση ο ήχος διακρίνεται σε αερόφερτο και κτυπογενή ήχο.

Αερόφερτος ήχος - Δημιουργείται στον αέρα ενός χώρου, μεταδίδεται δια του αέρα, προσβάλει τις διαχωριστικές επιφάνειες του χώρου, τις διαπερνά και εν συνεχεία μεταδίδεται και πάλι δια του αέρα, στους γειτονικούς χώρους.

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



Αερόφερτος ήχος

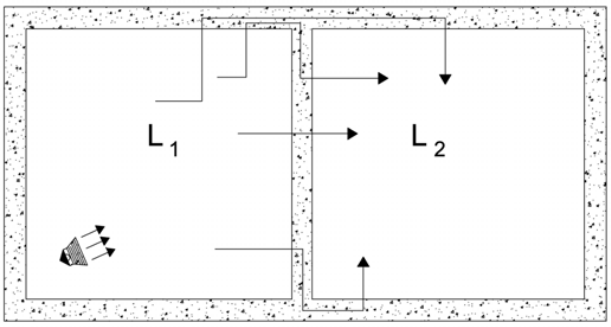


Κτυπογενής ήχος

Εικόνα 53: *Πηγές θορύβου[87]*

4.11.1 ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ

Ο αερόφερτος ήχος προέρχεται από πηγές όπως ομιλία, μουσική, λειτουργία οικιακών συσκευών κλπ και διαδίδεται στον διπλανό χώρο μέσω του αέρα. Είναι φανερό ότι ο αερόφερτος ήχος αποτελεί το κύριο πρόβλημα ηχομόνωσης μεταξύ γειτονικών χώρων συνήθως του ίδιου ορόφου και κατά συνέπεια αφορά περισσότερο τους τοίχους.



Εικόνα *54*: *Ηχομετάδοση μεταξύ δύο δωματίων ως προς τον αερόφερτο ήχο*

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:

$$D = L_1 - L_2 \text{ σε } (dB)$$

Όπου:

L_1: η ισοδύναμη στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο ηχητικής εκπομπής σε ντεσιμπέλ (dB) και

L_2: η ισοδύναμη στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης στο δωμάτιο ηχητικής λήψης σε ντεσιμπέλ (dB).

Τυποποιημένη διαφορά στάθμης (standardized level difference):

$$D_{nT} = D + 10\log\frac{T}{T_0} \quad \text{(dB)}$$

Είναι η διαφορά στάθμης, που αντιστοιχεί σε μια τιμή αναφοράς του χρόνου αντήχησης στο δωμάτιο λήψης.

T : Χρόνος αντήχησης στο δωμάτιο λήψης.

T_0 : Χρόνος αντήχησης αναφοράς =0,16V/A_0

V : Όγκος του δωματίου λήψης σε κυβικά μέτρα.

A_0 : Ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης στο δωμάτιο λήψης σε τετραγωνικά μέτρα.

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

$$R = D + 10\log S/A \text{ σε } (dB)$$

Όπου:

S: το εμβαδόν του διαχωριστικού πετάσματος σε m^2 και

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 κανότητα του διαχωριστικού πετάσματος εκφράζεται με το φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης, R΄, ο οποίος προσδιορίζεται ακριβώς όπως και ο R.

Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R΄ (apparent sound reduction index):

$$R' = L_1 - L_2 + 10\log \text{S/A dB} = \text{D} + 10\log \text{S/A dB}$$

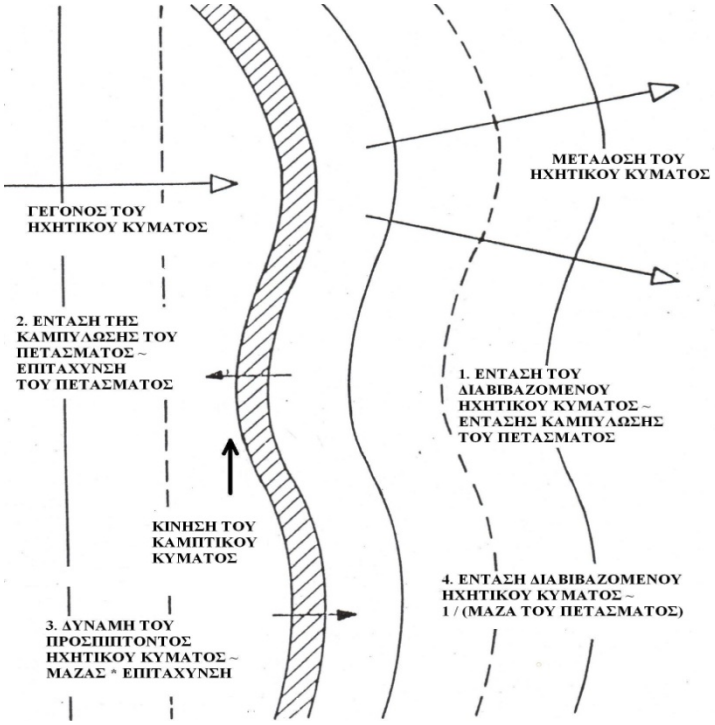
Περιγράφει την συνολική μείωση του θορύβου, συμπεριλαμβανομένων και των πλευρικών δρόμων μετάδοσης του ήχου.
S: Επιφάνεια δοκιμίου σε τετραγωνικά μέτρα.
A: $A = 0.16V/T$
Ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης ενός δοκιμίου ή η τυποποιημένη διαφορά στάθμης ή και τα δύο πρέπει να δίνονται σε όλες τις συχνότητες μέτρησης με τη μορφή πίνακα τιμών ή με τη μορφή γραφικής παράστασης ή και με τα δύο. Στην περίπτωση της γραφικής παράστασης η κλίμακα συχνοτήτων πρέπει να είναι λογαριθμική.

4.12 ΠΕΡΙ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ

4.12.1 ΑΠΛΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη απλών διαχωριστικών πετασμάτων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις ιδιότητες των διαχωριστικών στοιχείων. Ο δείκτης ηχομείωσης ενός απλού διαχωριστικού στοιχείου εξαρτάται από την συχνότητα του ηχητικού κύματος, τη μάζα του, τη διαπερατότητα του αέρα, καθώς και την ακαμψία του. Η ηχομονωτική ικανότητα των απλών πετασμάτων είναι δυνατόν να προσδιοριστεί θεωρητικά από το **νόμο της μάζας**.

Σύμφωνα με το νόμο της μάζας η ηχητική ισχύς που μεταδίδεται μέσα από το πέτασμα, όταν η προσπίπτουσα ηχητική ισχύς είναι σταθερή, ελαττώνεται κατά 10log(2)=6dB για κάθε διπλασιασμό του επιφανειακού βάρους του πετάσματος ή της συχνότητας μέτρησης. Αφού όμως η μεταδιδόμενη ηχητική ισχύς μειώνεται, αυξάνει ο δεόικτης ηχομείωσης R, κατά 6 dB/ οκτάβα. Επομένως όσο μεγαλύτερο βάρος έχει ένα απλό πέτασμα τόσο υψηλότερος είναι ο δείκτης ηχομείωσής του. Επίσης η ηχομονωτική ικανότητα αυξάνεται με την αύξηση της συχνότητας μέτρησης.



Εικόνα 55: *Ο νόμος της μάζας (Α.Σωτηροπούλου)*

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.

Στο **φαινόμενο του συντονισμού** το πέτασμα κατά την πρόσπτωση των ηχητικών κυμάτων ταλαντεύεται 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, πρακτικά, η πιο σημαντική, ονομάζεται **συχνότητα συντονισμού** και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F_{RES} = K\sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}}h[(\frac{n_x}{L_x})^2 + (\frac{n_y}{L_y})^2], (Hz)$$

Όπου:

K: σταθερά που εξαρτάται από τη στήριξη του πετάσματος

E: το μέτρο ελαστικότητας του υλικού

ρ: η πυκνότητα του υλικού

μ: ο λόγος Poisson πετάσματος

h: το πάχος πετάσματος

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, fc**.

$$F_c = \frac{c^2}{1.8\sin^2\theta}\frac{1}{h}\sqrt{\frac{\rho(1-\mu^2)}{E}},(Hz)$$

Όπου:

c: η ταχύτητα του ήχου

θ: η γωνία πρόσπτωσης στο πέτασμα

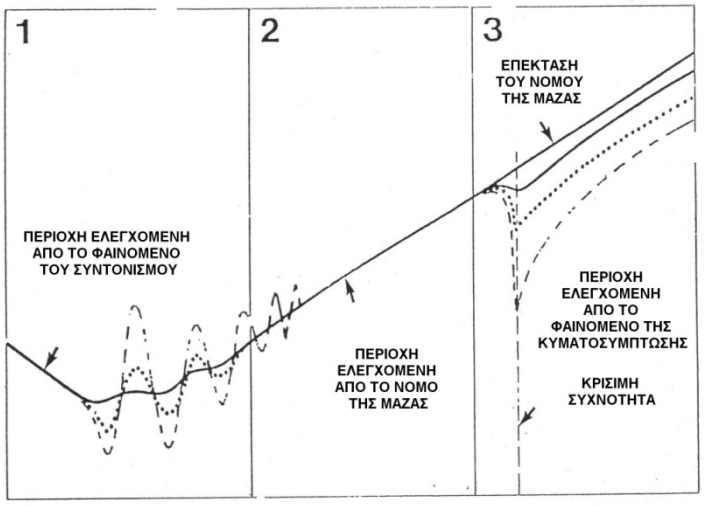
h: το πάχος του πετάσματος

ρ: η πυκνότητα του πετάσματος

μ: ο λόγος Poisson πετάσματος

Ε: το μέτρο ελαστικότητας του υλικού

Το φαινόμενο της κυματοσύμπτωσης εμφανίζεται, κατά κανόνα, 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.



Εικόνα 56: *Συντονισμος-Κυματοσύμπτωση (Α.Σωτηροπούλου)*

4.12.2 ΔΙΠΛΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Ως δικέλυφα ή διπλά θεωρούνται τα χωρίσματα που αποτελούνται από δύο πλάκες ή κελύφη που χωρίζονται μεταξύ τους με διάκενο στο οποίο υπάρχει αέρας ή

τοποθετείται ηχοαπορροφητικό υλικό. Για το νόμο **της μάζας για διπλά χωρίσματα** ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$T.L. = TL_1 + TL_2 - 20\log(\frac{k}{fd}), (dB)$$

Όπου:
k: c/2π
f: η συχνότητα
d: το πάχος του διακένου
c: η ταχύτητα του ήχου στον αέρα = 340 m/s (17°C)

Για αξιοσημείωτα αποτελέσματα το πάχος του διακένου πρέπει να ξεπερνά τα 5cm και όσο μεγαλύτερο είναι τόσο καλύτερη η ηχομόνωση. Με την αύξηση όμως του διακένου, αυξάνεται κι η πιθανότητα στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων, να σχηματιστούν στάσιμα ηχητικά κύματα στο διάκενο οπότε λόγω του συντονισμού να προκύψει μείωση της ηχομόνωσης του διπλού πετάσματος. Η συχνότητα συντονισμού βρίσκεται από τον τύπο:

$$f_{RES} = 60\sqrt{(\frac{1}{m_1 + m_2})\frac{1}{d}}, (Hz)$$

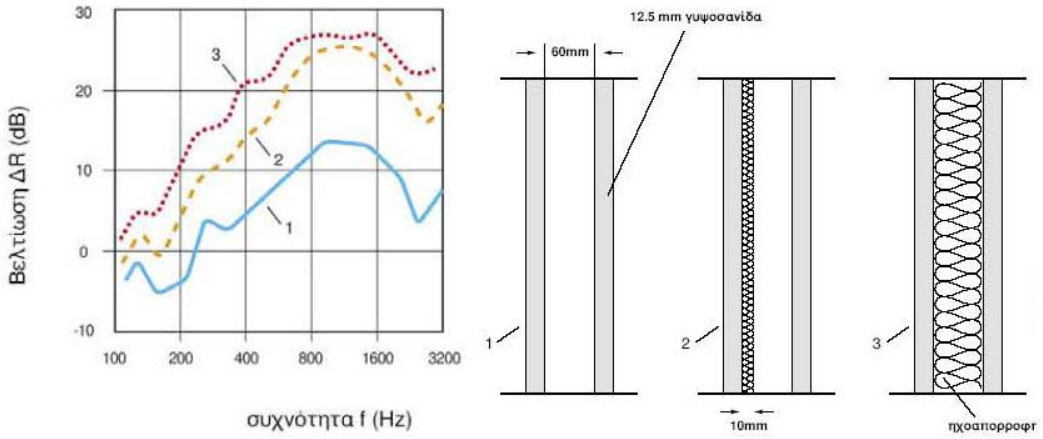
Όπου:
m_1: βάρος ανά μονάδα επιφανείας πετάσματος 1
m_2: βάρος ανά μονάδα επιφανείας πετάσματος 2
d: πάχος του διακένου

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω τύπο όσο μεγαλώνει η μάζα των πετασμάτων ή το διάκενο, σε τόσο χαμηλότερη συχνότητα εμφανίζεται το φαινόμενο του συντονισμού.

Η ηχομονωτική ικανότητα του διπλού διαχωριστικού πετάσματος μειώνεται στην περιοχή του χαμηλών συχνοτήτων λόγω του φαινόμενου του συντονισμού στις ιδιοσυχνότητες των δυο φύλλων και στις υψηλές λόγω του φαινόμενου της κυματοσύμπτωσης.

Το φαινόμενο του συντονισμού αποφεύγεται με την τοποθέτηση στρώματος από πορώδες ηχοαπορροφητικό υλικό στο ενδιάμεσο, ενώ επιτυγχάνεται και βελτίωση της ηχομόνωσης.

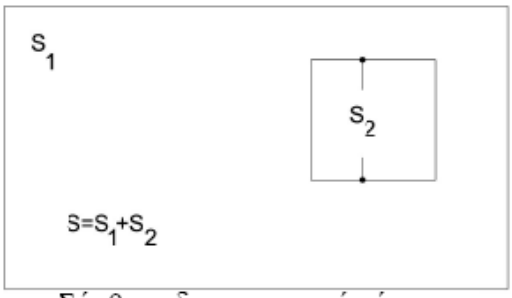
Το πάχος του ηχοαπορροφητικού υλικού στο διάκενο ενός διπλού χωρίσματος προκύπτει από τον συνδυασμό κόστους και απαιτούμενης ηχομόνωσης. Βέλτιστη λύση στην πράξη μπορεί να θεωρηθεί η πλήρωση των 2/3 του διάκενου με ηχοαπορροφητικό. (*Εικόνα 57*).



Εικόνα 57: *Βελτίωση του δείκτη ηχομείωσης ΔR δικέλυφου χωρίσματος τοιχοποιίας από γυψοσανίδες πάχους διατομής 12.5mm, ανάλογα με το πάχος του ενδιάμεσου ηχοαπορροφητικού μονωτικού υλικού.*

4.12.3 ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Σύνθετα διαχωριστικά ονομάζονται τα πετάσματα των οποίων ένα ή περισσότερα τμήματα έχουν σημαντικά μικρότερο δείκτη ηχομείωσης από τον αντίστοιχο του υπόλοιπου ηχοπετάσματος. Περίπτωση σύνθετου πετάσματος αποτελεί η περίπτωση ενός πετάσματος στο οποίο υπάρχουν πόρτες ή και παράθυρα. Η συνολική ηχομόνωση ολόκληρου του πετάσματος εξαρτάται από το δείκτη ηχομείωσης κάθε τμήματος ξεχωριστά και από το λόγο των εμβαδών τους. Δυσμενή επίδραση στην ηχομόνωση του πετάσματος έχουν οι αρμοί και οι χαραμάδες των κουφωμάτων.



Σύνθετο διαχωριστικό πέτασμα

Εικόνα 58: *Σύνθετο διαχωριστικό πέτασμα*

Η τιμή του δείκτη ηχομείωσης R_C σύνθετου διαχωριστικού πετάσματος προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$R_c = R_1 - 10 * \log \left[1 + \frac{S_2}{S} * \left(10^{\frac{R_1 - R_2}{10}} - 1 \right) \right] \quad \text{σε (dB)}$$

Όπου είναι:

R_1 η τιμή του δείκτη ηχομείωσης του τοίχου του σύνθετου διαχωριστικού πετάσματος σε ντεσιμπέλ

R_2 η τιμή του δείκτη ηχομείωσης της πόρτας ή του παραθύρου σε ντεσιμπέλ

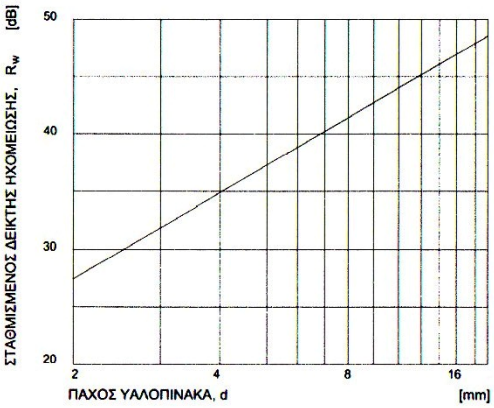
S το ολικό εμβαδόν του σύνθετου διαχωριστικού πετάσματος σε τετραγωνικά μέτρα (m^2)

S_2 το ολικό εμβαδόν της πόρτας ή του παραθύρου σε τετραγωνικά μέτρα.

4.12.4 ΠΑΡΑΘΥΡΑ

Η ηχομονωτική ικανότητα των απλών παραθύρων, τα οποία αποτελούνται από έναν υαλοπίνακα, ακολουθεί το νόμο της μάζας και εξαρτάται από το πάχος του υαλοπίνακα και από τη γωνία πρόσπτωσης του ηχητικού κύματος. Η ύπαρξη παραθύρων σε μία εξωτερική τοιχοποιία προκαλεί μείωση της συνολικής ηχομονωτικής ικανότητας της τοιχοποιίας. Η μείωση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερος είναι ο δείκτης ηχομείωσης του παραθύρου και όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν του.

Στην εικόνα 58 δίνεται ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης Rw υαλοπίνακα με καλή σφράγιση των αρμών του σε συνάρτηση με το πάχος του υαλοπίνακα.



Εικόνα 59: *Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης Rw, υαλοπίνακα σε σχέση με το πάχος του για ηχητική πρόσπτωση από όλες τις κατευθύνσεις ή με γωνία 45°*

Ακόμα υψηλότερες τιμές ηχομόνωσης λαμβάνονται με τη χρησιμοποίηση παραθύρων με διπλούς υαλοπίνακες. Η ηχομόνωσή τους αυξάνεται με την αύξηση του πάχους του διακένου μεταξύ των δύο υαλοπινάκων.

4.13 ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΘΟΡΥΒΟ ΤΗΣ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Στις μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ηχομόνωσης των στοιχείων προσόψεων κτιρίων με το θόρυβο της τροχαίας κίνησης προσδιορίζεται ο δείκτης ηχομείωσης για το θόρυβο της τροχαίας κίνησης σε όλες της συχνότητες Rtr(f).

Σε αυτή τη περίπτωση αν ο ήχος φτάνει στο δοκίμιο από διάφορες διευθύνσεις και με κυμαινόμενη ένταση όπως π.χ. ο θόρυβος που προέρχεται από τη τροχαία κίνηση σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας, ο δείκτης ηχομείωσης προσδιορίζεται από τις ισοδύναμες στάθμες ηχητικής πίεσης που μετρούνται και από τις δύο πλευρές του

δοκιμίου ως συναρτήσεις της συχνότητας. Ο δείκτης ηχομείωσης που προσδιορίζεται με το θόρυβο της τροχαίας κίνησης Rtr δίνεται από το τύπο:

$$Rtr = Leq,1 - Leq,2 + 10 \log \frac{S}{A}, \text{ σε dB}$$

Όπου:

Leq,1 είναι η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης σε 2m απόσταση από το δοκίμιο και προς την εξωτερική πλευρά του (η στάθμη αυτή περιλαμβάνει και τις επιδράσεις από τη ανάκλαση του ήχου στο δοκίμιο)

Leq,2 είναι η ισοδύναμη στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης μέσα στο δωμάτιο λήψης

A είναι η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης του δωματίου λήψης

S είναι το εμβαδό της επιφάνειας (πρόσοψης)

Σταθμισμένη κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης (normalized level difference)

$$D_{tr,2m,n} = L_1 - L_2 - 10\log\left(\frac{A}{Ao}\right) \text{ dB}$$

Όπου:

Leq,1 είναι η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης σε 2m απόσταση από το δοκίμιο και προς την εξωτερική πλευρά του (η στάθμη αυτή περιλαμβάνει και τις επιδράσεις από τη ανάκλαση του ήχου στο δοκίμιο)

Leq,2 είναι η ισοδύναμη στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης μέσα στο δωμάτιο λήψης

Ao $=10m^2$

Υπολογισμός των όρων φασματικής προσαρμογής

Οι όροι φασματικής προσαρμογής Cj σε dB πρέπει να υπολογίζονται με τα ηχητικά φάσματα που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Συχνότητα Hz	**Ηχοστάθμες Lij, dB**	
	Φάσμα Αρ.1 για τον υπολογισμό του C (τριτοκταβικό)	**Φάσμα Αρ. 2 για τον υπολογισμό του C_{tr} (τριτοκταβικό)**
100	-29	-20
125	-26	-20
160	-23	-18
200	-21	-16
250	-19	-15
315	-17	-14
400	-15	-13
500	-13	-12
630	-12	-11
800	-11	-9
1000	-10	-8
1250	-9	-9

1600	-9	-10
2000	-9	-11
2500	-9	-13
3150	-9	-15

Πίνακας 7: *Φάσματα ηχοστάθμης για τον υπολογισμό των όρων φασματικής προσαρμογής*

Οι όροι φασματικής προσαρμογής Cj σε dB πρέπει να υπολογίζονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$Cj = X_{Ai} - X_w$

Όπου:

J : είναι ο δείκτης που αντιστοιχεί στα ηχητικά φάσματα Αρ. 1 και Αρ.2

X_w : είναι το μονότιμο μέγεθος που υπολογίζεται από τις τιμές των R΄ ή DnT

$X_{Ai}: = -10\log\Sigma\ 10^{(L - Xi)/10}$

Όπου

i :είναι ο δείκτης για τις τριτοκταβικές ζώνες 100Hz έως 3150Hz

Lij :είναι οι στάθμες όπως δίνονται στον πίνακα 7 στη συχνότητα i για το φάσμα j

Xi : είναι ο δείκτης ηχομείωσης Ri ή ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R΄i ή η κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης Dn,i ή η τυποποιημένη διαφορά στάθμης DnT, στη συχνότητα μέτρησης i και δίνονται στο πλησιέστερο 0,1 dB.

Υπολογίζεται ο όρος φασματικής προσαρμογής με ακρίβεια 0,1 dB και στρογγυλεύεται σε ακέραια τιμή.

C όταν υπολογίζεται με το φάσμα Αρ.1(Α-σταθμισμένος ροζ θόρυβος)

Ctr όταν υπολογίζεται με το φάσμα Αρ.2(Α-σταθμισμένος θόρυβος αστικής τροχαίας κίνησης).

4.14 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ

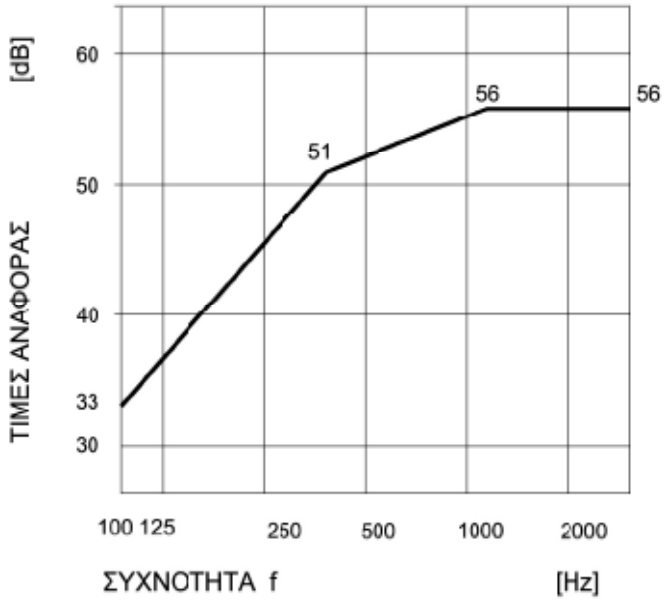
Τα μεγέθη τα οποία προσδιορίζουν την ηχομονωτική ικανότητα των διαχωριστικών πετασμάτων, δίνονται με τη μορφή πίνακα τιμών ή και με τη μορφή καμπύλης. Όμως, όπως παρουσιάζονται αυτά τα στοιχεία δεν είναι δυνατόν να γίνει μία γρήγορη και ακριβής εκτίμηση της ηχομόνωσης κάποιου πετάσματος. Ακόμα περισσότερο δεν είναι δυνατόν να γίνει εύκολα η 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.

Συχνότητα, Hz	**Τιμές αναφοράς, dB**
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45

315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

Πίνακας 8: *Τιμές αναφοράς για αερόφερτο ήχο*

Το μονότιμο μέγεθος προσδιορίζεται από τη σύγκριση της φασματικής καμπύλης του μετρούμενου μεγέθους με τη καμπύλη αναφοράς για τον αερόφερτο ήχο, σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 6. Για τη διαδικασία 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 τη καμπύλη των μετρήσεων με βήματα του 1 dB, ωσότου 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.



Εικόνα 60: *Καμπύλη αναφοράς για τον αερόφερτο ήχο*

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 500 Hz, μετά τη μετατόπιση της σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, είναι το αντίστοιχο μονότιμο μέγεθος του μετρούμενου μεγέθους.

Για την αξιολόγηση της ηχομόνωσης των διαχωριστικών πετασμάτων ως προς τον αερόφερτο ήχο, όταν το μετρούμενο μέγεθος είναι ο δείκτης ηχομείωσης, R, τότε το προσδιοριζόμενο μονότιμο μέγεθος είναι ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης, R_w, ενώ όταν το μετρούμενο μέγεθος είναι ο φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R΄, τότε το προσδιοριζόμενο μονότιμο μέγεθος είναι ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης R_w ΄.

Η μετατόπιση, η οποία χρειάζεται να γίνει η 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.

4.15 ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ R_w

Ο δείκτης ηχομείωσης R_w περιγράφει την μείωση του θορύβου σε δυο δωμάτια, κατά την οριζόντια ή κατακόρυφη διεύθυνση, χωρίς την μετάδοση του ήχου από πλευρικούς δρόμους. Η αξιολόγηση του γίνεται με βάση τη σύγκριση της καμπύλης δοκιμών και μιας καμπύλης αναφοράς που δίνεται παρακάτω. Για να γίνει η παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να έχουμε προμηθευτεί τα πιστοποιητικά δοκιμών, τα οποία περιέχουν τα διαγράμματα δοκιμών και τα τεχνικά στοιχεία του υπό εξέταση δομικού στοιχείου. Η ανάλυση μπορεί να γίνει ανά ζώνη 1/3 οκτάβας με φάσμα συχνοτήτων από 125 Hz έως 3150 Hz ή ανά ζώνη οκτάβας με φάσμα συχνοτήτων από 125 Hz έως 2000 Hz.

4.16 ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΚΤΥΠΟΓΕΝΟΥΣ ΗΧΟΥ

Ο κτυπογενής (στερεόφερτος) ήχος προέρχεται από εφαρμογή κτυπημάτων (δυνάμεων) πάνω σε δομικά στοιχεία. Στην πράξη κτυπογενής ήχος προκαλείται από βηματισμό κατοίκων, μετακίνηση επίπλων, πτώση αντικειμένων στο δάπεδο κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές, το δομικό στοιχείο που δέχεται την διέγερση (συνήθως το πάτωμα) ταλαντώνεται και εκπέμπει αερόφερτο ήχο στους γειτονικούς χώρους. Ο κτυπογενής ήχος μεταφέρεται μέσω του φέροντος οργανισμού του κτιρίου σε μεγάλες αποστάσεις με μικρή απόσβεση και συνεπώς ο έλεγχός του είναι σημαντικός για την επιδιωκόμενη ηχομόνωση. Επειδή η βελτίωση που επιτυγχάνεται με ελαστικά επιστρώματα είναι περιορισμένη, είναι απαραίτητη στην πράξη η κατασκευή πλωτών δαπέδων για υψηλή ηχομόνωση σε κτυπογενή ήχο. Με τον όρο πλωτό εννοεί κανείς ένα δάπεδο που δεν βρίσκεται σε απ' ευθείας επαφή με την πλάκα (και τους παράπλευρους τοίχους) αλλά μεταξύ τους παρεμβάλλεται ελαστικό, αντικραδασμικό στρώμα κατάλληλου υλικού.

α)

β)

γ)

Εικόνα *61*: *α) Πλωτό δάπεδο, β)- γ) κατασκευή πλωτών δαπέδων[50]*

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα τελευταία χρόνια εκδηλώνεται ένα συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα προβλήματα που αφορούν την ηχομόνωση των κτιρίων. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες με σκοπό την έρευνα, την βελτίωση και την εξέλιξη της ηχομονωτικής ικανότητας των κτιρίων.

Ένας ολόκληρος επιστημονικός κλάδος έχει αναπτυχθεί για την μελέτη της ηχομόνωσης και ακουστικής των χώρων. Στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες σχετικά με την ηχομόνωση χώρων από θορύβους που προέρχονται από γειτονικούς χώρους αλλά και από τον κυκλοφοριακό θόρυβο. Σκοπός αυτών των μελετών είναι η βελτίωση της απομόνωσης του κάθε χώρου από εξωγενείς θορύβους.

Η μικρή όμως ηλικία των κτιρίων που έχουν ενσωματώσει στο κέλυφός τους δικέλυφες γυάλινες όψεις, δεν επέτρεψε μέχρι στιγμής την πλήρη αξιολόγησή τους ως προς τα παραπάνω υποσχόμενα, με αποτέλεσμα να διατυπώνονται αντικρουόμενες απόψεις μεταξύ των ερευνητών, οι οποίοι και βασίζουν τις θέσεις τους κυρίως σε προσομοιωτικές μεθόδους - όσον αφορά την θερμομονωτική συμπεριφορα των γυάλινων δικέλυφων όψεων - και λιγότερο συχνά σε πειράματα ή μετρήσεις σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια. Επιπλέον σημειώνεται, ότι θα ήταν επισφαλές να υιοθετήσει κανείς τα αποτελέσματα ξένων μελετητών και να υποθέσει ότι αυτά θα ίσχυαν και για τις ελληνικές κλιματικές συνθήκες.

Παρακάτω θα παραθέσουμε ενδεικτικά κάποιες παλαιότερες μελέτες που το αντικείμενο τους έχει άμεση σχέση με το αντικείμενο της παρούσης εργασίας και θα μας βοηθήσει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Οι M.Blasco, C Crispin, B. Ingelaere το 2004 [4]στη μελέτη τους έκαναν σύγκριση μεταξύ τριών τύπων γυάλινων δικέλυφων όψεων σε τρία διαφορετικά κτίρια, καθώς και σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με την ηχομονωτική ικανότητα συμβατικών προσόψεων.

Πίνακας 9: *Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της μελέτης των M.Blasco, C Crispin, B. Ingelaere*

Μονοώροφη, με ενεργητική κίνηση, εσωτερικής ανακυκλοφορίας	Εσωτερικά: μόνος υαλοπίνακας 6mm Διάκενο: 12.5cm Εξωτερικά: διπλός υαλοπίνακας 6/12/8	43(-2,-5) (C,Ctr)dB (Dls,2m.n(T),w)
Διπλοί υαλοπίνακες με ενεργητική κίνηση, εσωτερικής ανακυκλοφορίας	Εσωτερικά: μόνος υαλοπίνακας 7mm Διάκενο: 7cm Εξωτερικά: διπλός υαλοπίνακας 6/12/8	47(-2,-5) (C,Ctr)dB (Dls,2m.n(T),w)
Πολυώροφη συνεχής όψη με παθητική κίνηση	Εσωτερικά :διπλός υαλοπίνακας 6/12/8 Διάκενο: 70cm Εξωτερικά: διπλός υαλοπίνακας 6/12/8	53(-1,-2(C,Ctr))dB (Dls,2m.n(T),w)

Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι γυάλινες δικέλυφες όψεις έχουν καλύτερη ηχομονωτική ικανότητα (πάνω από 10 dB) σε σχέση με συμβατικές προσόψεις (κτίρια γραφείων). Από την άλλη πλευρά η ηχομονωτική τους ικανότητα όσον αφορά τη μεταφορά του ήχου μέσω της κοιλότητας (διάκενου) της διπλής όψης, μεταξύ των δωματίων (για διαφορετικούς ορόφους) που βρίσκονται στη πλευρά της Γ.Δ.Ο. είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα κτίρια με την ίδια εσωτερική κατασκευή, αλλά χωρίς κοιλότητα (τιμές έως 8 dB), κυρίως όταν δεν ληφθούν ιδιαίτερα μέτρα για την πρόληψη της εναέριας μετάδοσης του ήχου.

Οι Wei –Hwa Chiang, Yi-Nuo Chao και Chi –Jeh Wu [11] στη μελέτη τους εξετάζουν τρία κτίρια στην Ταιβάν σε σχέση με εργαστηριακές μετρήσεις. Στην έρευνά τους συμπεριέλαβαν τα απορροφητικά υλικά, τη γωνία πρόσπτωσης και τη συχνότητα. Λόγω του θορύβου από στρατιωτικά αεροπλάνα, που είναι το κύριο μέλημα αυτής της μελέτης, η γωνία ανύψωσης του ήχου από τη πηγή ήταν της τάξεως των 30° έως 90° προς τα πάνω. Ο δείκτης ηχομείωσης κυμαίνεται ανάμεσα στα 5-19 dB. Το μέγεθος της κοιλότητας παίζει σημαντικό ρόλο όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη των 30°. Αυξάνοντας την γωνία πρόσπτωσης (0-75°)παρατηρείται μία μείωση του R κατά 9 dB. Στις μεσαίες συχνότητες παρατηρείται ότι η ηχομονωτική ικανότητα είναι στα 20 dB.

Στη συνέχεια θα παραθέσουμε ενδεικτικά κάποιες παλαιότερες μελέτες που το αντικείμενο τους αφορά την ηχομονωτική ικανότητα μονών και διπλών πετασμάτων και θα μας βοηθήσει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Ο J.D. Quirt το 1988 μελέτησε την μετάδοση του ήχου διαμέσου των τζαμιών. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι σε περιπτώσεις που απαιτείται ουσιαστική μείωση θορύβου η λογικότερη επιλογή είναι τα διπλά τζάμια με επαρκές διάκενο. Επίσης επισήμανε ότι η χρησιμοποίηση διαφορετικών παχών τζαμιών είναι αποτελεσματικότερες καθώς οι κρίσιμες συχνότητες συντονισμού είναι διαφορετικές για κάθε κρύσταλλο. Μια αναλογία 2 : 1 στα πάχη των τζαμιών είναι η ιδανικότερη.

Οι Antonio Tadeau, Julieta Antonio και Diogo Mateus το 2004[27] στην μελέτη τους έκαναν σύγκριση μεταξύ αναλυτικών υπολογισμών και πειραματικών αποτελεσμάτων σχετικά με την ηχομονωτική ικανότητα μονών και διπλών πετασμάτων από διάφορα υλικά όπως γυαλί, ατσάλι κτλ. Οι διαφορές μεταξύ πειραματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων προέκυψαν στις χαμηλές συχνότητες εξαιτίας των στάσιμων κυμάτων και της εγκάρσιας μετατόπισης των διαχωριστικών πετασμάτων.

Μια ακόμη μελέτη είναι των L. Godinho, A. Tadeau, A. Santos, οι οποίοι σύγκριναν πειραματικά και θεωρητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ηχομονωτική ικανότητα στρωματοποιημένων διαχωριστικών. Από την σύγκριση αυτή προέκυψε μέγιστη διαφορά 2 dB.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο από την Ζ. Σαμούρη υπό την επίβλεψη της κ. Α. Σωτηροπούλου,[32] η οποία είχε σκοπό τη σύγκριση μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στην κατασκευή για ελαφρού τύπου πετάσματα, προέκυψαν διαφορές από 4 – 10 dB.

Μία ακόμη μελέτη των Χ. Ταγάρα και Δ. Πίγκου [35] η οποία είχε σκοπό τη σύγκριση μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στη κατασκευή της ηχομονωτικής ικανότητας κουφωμάτων αλουμινίου. Στη σύγκριση με τις εργαστηριακές προδιαγραφές αντίστοιχα κάθε μιας κατηγορίας κουφώματος έδειξε, σε όλες τις περιπτώσεις, απόκλιση της τάξεως των 10 dB.

Τέλος σε πολύ πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε επίσης στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο από τους, Π. Στασινόπουλο και Ν. Σακελλαρόπουλο [33] υπό την επίβλεψη της κ. Α. Σωτηροπούλου με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στην κατασκευή για βαρέως τύπου πετάσματα, προέκυψαν διαφορές από 2 – 9 dB.

Η βιβλιογραφία αποδεικνύει ότι ηχομονωτική ικανότητα των διάφορων κτιριακών στοιχείων αποτελεί αντικείμενο μελέτης και έρευνας εδώ και πολλά χρόνια. Όλες οι μελέτες έχουν ως απώτερο σκοπό τους να διαπιστώσουν και να προτείνουν τρόπους αντιμετώπισης των σφαλμάτων στην ηχομόνωση που οφείλονται σε κατασκευαστικές και λειτουργικές παραμέτρους των στοιχείων.

Η έλλειψη επαρκών μελετών πάνω στην ηχομονωτική ικανότητα των γυάλινων δικέλυφων όψεων καθώς και τα παραπάνω στοιχεία αποτέλεσαν το έναυσμα για εμάς στην κατάστρωση της παρούσας εργασίας. Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό την σύγκριση της ηχομονωτικής ικανότητας των γυάλινων δικέλυφων όψεων μετά την τοποθέτηση τους στο κτίριο, σύγκριση των αποτελεσμάτων με μετρήσεις άλλων ερευνών στη κατασκευή αλλά και σύγκριση της ηχομονωτικής ικανότητας σε σχέση με συμβατικές κατασκευές. Από τη σύγκριση αυτή θα προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα, για την βελτίωση της ηχομονωτικής ικανότητας των γυάλινων δικέλυφων όψεων στις κατασκευές.

6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να μελετήσουμε την ηχομονωτική ικανότητα των *γυάλινων δικέλυφων όψεων* και να συγκρίνουμε τις εργαστηριακές μετρήσεις, τις οποίες παίρνουμε ως δεδομένες, με τις επιτόπιες μετρήσεις στην κατασκευή. Όταν στην τοιχοποιία (δοκίμιο) προσπίπτουν ηχητικά κύματα, ένα ποσοστό της ηχητικής ενέργειας χάνεται, με αποτέλεσμα ένα μέρος μόνο να διέρχεται στην άλλη πλευρά. Η ιδιότητα αυτή του δοκιμίου να εμποδίζει την μετάδοση του ήχου, λέγεται ηχομόνωση.

Ο ήχος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες όσον αφορά την ηχομόνωση, τον αερόφερτο ήχο και τον κρυπτογενή ήχο. Αερόφερτος είναι ο ήχος που φθάνει στο δέκτη διαδιδόμενος μέσω του αέρα. Αφορά τόσο τους τοίχους όσο και τα δάπεδα. Η ηχομόνωση από αερόφερτο ήχο μετριέται με τους δείκτες ηχομείωσης R και R_{tr} (ο R' παίρνει υπόψη και τις πλευρικές μεταδόσεις και καλείται φαινόμενος), καθώς και τους αντίστοιχους R_W και $Rtr,_W$ που είναι σταθμισμένοι δείκτες και επιτρέπουν την εύκολη αξιολόγηση της ηχομονωτική ικανότητας των χωρισμάτων καθώς και συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών χωρισμάτων. Κτυπογενής είναι ο ήχος που παράγεται κρουστικά στο εξεταζόμενο δοκίμιο. Στην παρούσα εργασία θα μας απασχολήσει μόνο ο *αερόφερτος* ήχος.

6.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στην Ελλάδα, τα κτίρια που έχουν ενσωματώσει στο κέλυφός τους δικέλυφες γυάλινες όψεις, έχουν μικρή ηλικία και η διερεύνησή τους υστερεί συγκριτικά με την ταχύτητα ανάπτυξης αυτού του τύπου όψεων και τις αντίστοιχες εφαρμογές σε πολυάριθμα κτίρια στον ευρωπαϊκό χώρο.

Αν και στην Ελλάδα οι δικέλυφες γυάλινες όψεις δεν έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό είτε λόγω κόστους είτε λόγω έλλειψης γνώσης των πλεονεκτημάτων του συστήματος αυτού, ύστερα από έρευνα και αξιολόγηση διαφόρων κτιρίων, για την εργασία επιλέχθηκαν τρία κτίρια, τα οποία βρίσκονται στο Νομό Αττικής, δίπλα στον αστικό ιστό της πόλης.

Τα τρία αυτά κτίρια είναι τα εξής:

- **ΚΤΙΡΙΟ Α : Κεντρικά γραφεία του καταστήματος Toi Moi**, Εθνική οδός Αθηνών – Λαμίας, Νέα Φιλαδέλφεια

Εικόνα 62: *Κτίριο Α – Toi Moi*

- **ΚΤΙΡΙΟ Β : Κατάστημα Ηλεκτρονικής,** Μαρούσι

Εικόνα 63: *Κτίριο Β– Κατάστημα Ηλεκτρονικής*

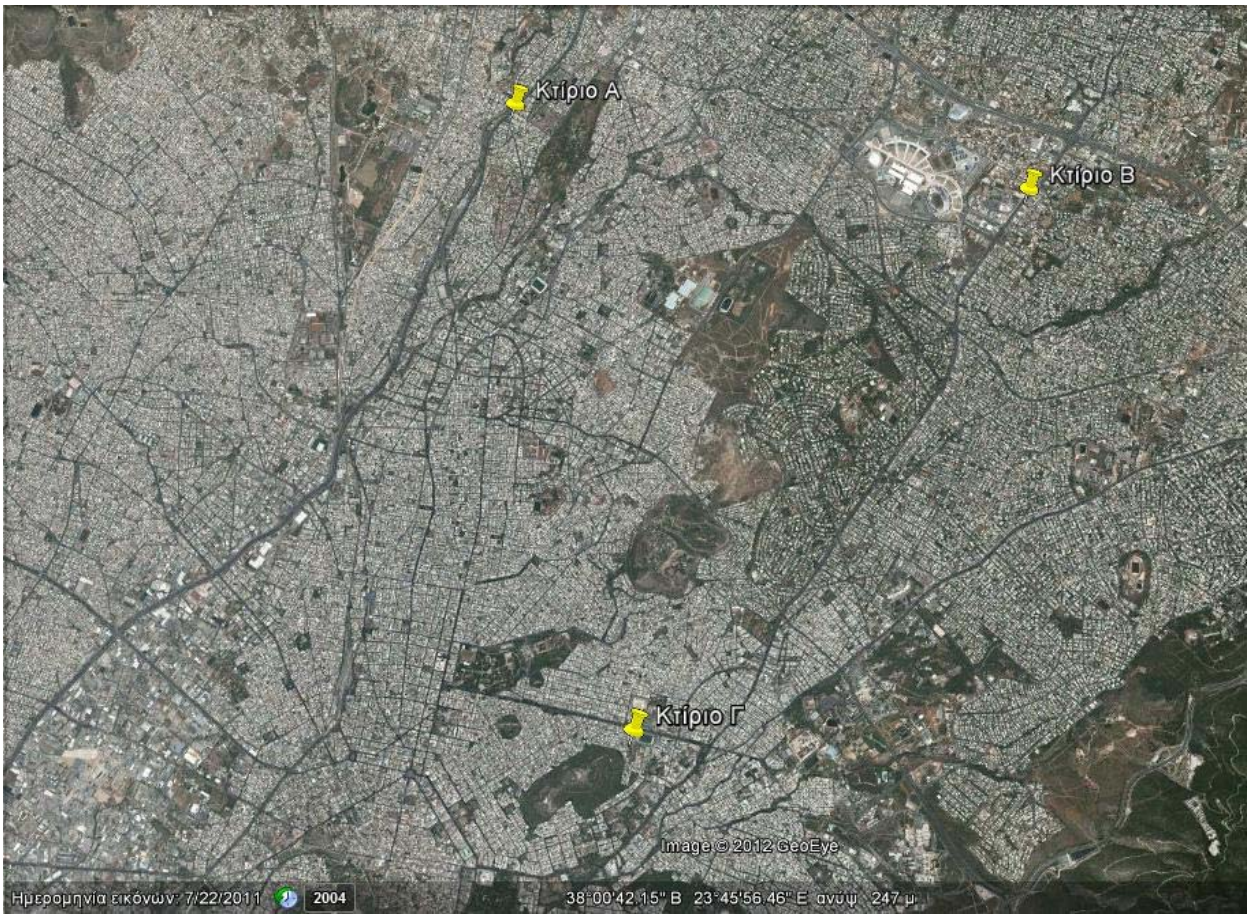
- **ΚΤΙΡΙΟ Γ: Κτίριο γραφείων του υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων,** Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Ε/Π Ενίσχυσης της Προσελασιμότητας (ΕΥΔ/ΕΠ-ΕΠ), Αθήνα

Εικόνα 64: *Κτίριο Γ– Κτίριο γραφείων*

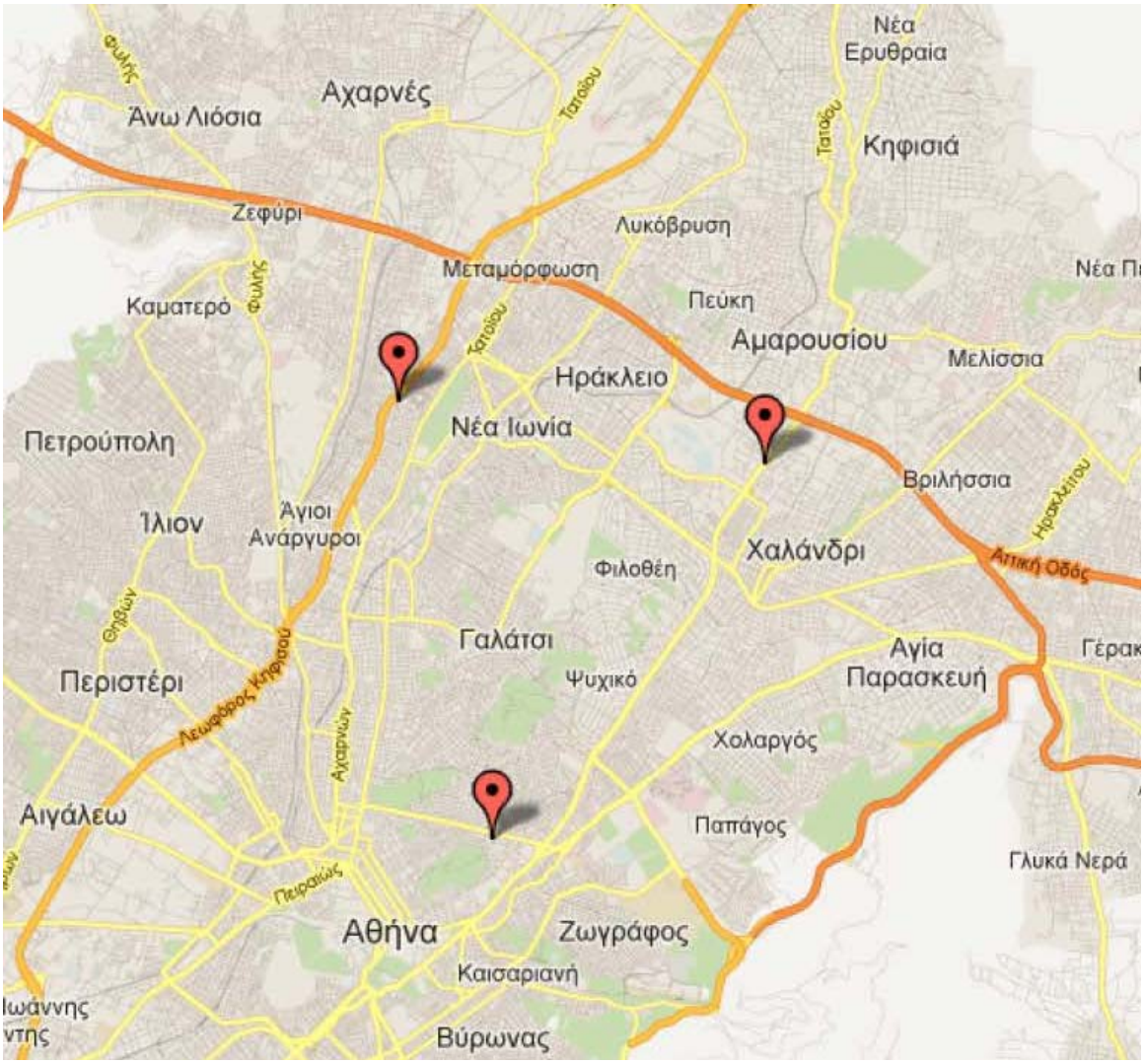
Και τα τρία κτίρια με βάση τη γεωμετρία τους ανήκουν στις *πολυώροφες συνεχείς όψεις*, ενώ με βάση το μηχανισμό κίνησης της αέριας μάζας ανήκει στη κατηγορία της *παθητικής κίνησης*. Τα κτίρια Α και Β βρίσκονται δίπλα σε δρόμους με ταχεία κυκλοφορία και συγκεκριμένα το κτίριο Α βρίσκεται στην Εθνική οδό Αθηνών – Λαμίας στο ύψος της Νέας Φιλαδέλφειας ενώ το κτίριο Β βρίσκεται στην οδό Κηφισίας στο ύψος του Αμαρουσίου.

Το κτίριο Γ βρίσκεται μέσα στο αστικό ιστό της Αθήνας, σε κεντρικό σημείο της πόλης, κοντά στη Λεωφόρο Αλεξάνδρας και στο γήπεδο «Απόστολος Νικολαίδης».

Ακολουθούν αεροφωτογραφίες πάνω στις οποίες αναγράφονται τα χαρακτηριστικά σημεία μετρήσεως.



Εικόνα 65: Αεροφωτογραφία Google Earth



Εικόνα 66: Αεροφωτογραφία Google Maps

6.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Για τον προσδιορισμό της ηχομόνωσης των γυάλινων δικέλυφων όψεων στα κτίρια, πρέπει να πραγματοποιηθούν μια σειρά μετρήσεων :

α) μετρήσεις **«θορύβου βάθους»** στις αίθουσες των κτιρίων, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι οι συνθήκες είναι κατάλληλες για τις υπόλοιπες μετρήσεις (δηλαδή, για να είναι δυνατόν να μετρηθεί η στάθμη του ήχου στην αίθουσα 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).

β) μετρήσεις του **χρόνου αντήχησης RT** στην αίθουσα ηχητικής λήψης.

γ) μετρήσεις της χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης σε ορισμένες θέσεις στο εξωτερικό του κτιρίου $\mathbf{L_1}$ (κυκλοφοριακός - περιβαλλοντικός θόρυβος)

δ) μετρήσεις της χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης σε ορισμένες θέσεις στο εσωτερικό χώρο κάθε κτιρίου $\mathbf{L_2}$

6.4 ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΗΧΟΥ

Οι μετρητές στάθμης ήχου *(ηχόμετρα)* μετρούν τα επίπεδα - στάθμες της πίεσης του ήχου και χρησιμοποιούνται συνήθως στις μελέτες ηχορύπανσης για το προσδιορισμό της έντασης του αστικού, κυκλοφοριακού, περιβαλλοντικού και βιομηχανικού θορύβου καθώς επίσης χρησιμοποιούνται για την μελέτη ηχομόνωσης μεμονωμένων και μη κατασκευών.

Το τρέχον διεθνές πρότυπο για τα ηχόμετρα είναι το IEC 61672:2003. Συμφώνα με το πρότυπο αυτό τα ηχόμετρα διαιρούνται σε *κλάση 1* και *κλάση 2* ανάλογα με την ακρίβεια τους. Συγκεκριμένα τα *κλάσης 1* είναι πιο ακριβή στις μετρήσεις με ανοχή σφάλματος +/- 0.7 dB ενώ τα *κλάσης 2* με ανοχή +/- 1.0 dB. Η κλάση του ηχομέτρου που θα χρειαστεί κάποιος, εξαρτάται από τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζεται αυτό να χρησιμοποιηθεί και από τους κανονισμούς τους οποίους επιβάλλεται να ικανοποιεί.

Για παράδειγμα, οι περισσότεροι κανονισμοί μέτρησης εργασιακού θορύβου αναφέρουν, ότι τα ηχόμετρα *κλάσης 2* ή *τύπου 2,* τα οποία είναι και χαμηλότερου κόστους, είναι επαρκή για τις μετρήσεις αυτές. Αναμφίβολα όμως, μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει και ηχόμετρα *κλάσης 1* για τις συγκεκριμένες μετρήσεις. Επιπλέον, τα ηχόμετρα *κλάσης 1,* πέρα από την χρήση τους στις μελέτες περιβαλλοντικού θορύβου, προορίζονται για χρήση και σε περιπτώσεις εργαστηριακών ερευνών καθώς και σε σχετικές έρευνες περί εφαρμογής του νόμου όπως θέσπιση ορίων θορύβου, κ.ο.κ.

6.4.1 ΣΤΑΘΜΙΣΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ (ΦΙΛΤΡΑ)

Οι περισσότεροι μετρητές στάθμης ήχου *(ηχόμετρα),* επιλέγουν τα φίλτρα που θα χρησιμοποιήσουν ώστε να πάρουν εκείνες τις συχνότητες που επιθυμούν. Το υφιστάμενο διεθνές πρότυπο για τη λειτουργία των ηχομέτρων είναι το IEC-61672, το οποίο θεωρεί καταλληλότερο για μετρήσεις το σταθμιστικό κύκλωμα A. Το πρότυπο αυτό περιγράφει επίσης και άλλα σταθμιστικά κυκλώματα όπως τα C και Z. Τα παλαιότερα, B και D, έχουν πλέον εγκαταλειφθεί και συνεπώς δεν περιγράφονται στο πρότυπο.

Συγκεκριμένα, όλα τα ηχόμετρα είναι εφοδιασμένα με τα φίλτρα (frequency weightings) A και C, ενώ τα πιο εξελιγμένα και ακριβά μοντέλα είναι εφοδιασμένα και με το φίλτρο Z. Το εύρος των μετρήσεων τους κυμαίνονται από 0 έως 140 dB(A), ενώ η στάθμη αιχμής, η οποία εξ' ορισμού μετριέται με τη χρήση φίλτρου C ή Z, μπορεί να μετρηθεί για μέγιστες τιμές της στάθμης της στο διάστημα από 140- 143 dB(C). Βέβαια, δεν έχουν όλα τα ηχόμετρα τη δυνατότητα να μετρούν στάθμες ήχου σε όλο το

παραπάνω εύρος. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όμως, το εύρος τους κυμαίνεται από την κατώτερη τιμή των 20-25 dB μέχρι και την τιμή των 130-140 dB, ανάλογα με το φίλτρο A, B και C που έχει επιλεγεί.

6.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

Στο πείραμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ηχόμετρο, της εταιρίας Bruel&Kjaer, type 2270. Το Type 2270 vibration analyzer της Bruel&Kjaer, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών μέτρησης δόνησης, με μια σειρά από επιταχυνσιόμετρα εξαρτώμενα από το επίπεδο, τη θέση και το περιβάλλον στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις. Επιπλέον, ο συνδυασμός της μονάδας λογισμικού με το καινοτόμο υλικό, το καθιστά ως την ιδανικότερη λύση για υψηλής ακρίβειας μέτρησης σε περιβαλλοντικά, επαγγελματικά και βιομηχανικά πεδία εφαρμογής. Παρατίθενται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των οργάνων :

■ *Sound Level Meter*

Bruel&kjaer, Hand-held Analyzer, Type 2270 with Sound Level Meter Software BZ-7222, Frequency Analysis Software BZ-7223, Logging Software BZ-7224, Enhanced Logging Software BZ-7225, Sound Recording Option BZ-7226, Reverberation Time Software BZ-7227 and Tone Assessment Option BZ- 7231

■ *Measurement Microphone*

Type 4189 : Prepolarized Free-field V**2"** Microphone Nominal Open-circuit Sensitivity,: 50 mV/Pa Capacitance : 14 pF (at 250 Hz) MICROPHONE PREAMPLIFIER ZC-0032 Nominal Preamplifier Attenuation : 0.25 dB Connector : 10-pin LEMO

■ *Calibrator* : Sound Calibrator Type 4231

Εικόνα 67: Ηχόμετρο Bruel&kjaer, Hand-held Analyzer, Type 2270

Εκτός από το ηχόμετρο και τον ακουστικό καλιμπραριστή, υφίστανται και άλλα σύνεργα, τα οποία είναι απαραίτητα για την επιτυχή διεξαγωγή των μετρήσεων θορύβου. Τα παρελκόμενα αυτά σύνεργα είναι τα ακόλουθα:

■ *Προστατευτικό κάλυμμα ανέμου:* Χρησιμοποιείται ώστε να καλύπτει το μικρόφωνο σε περιπτώσεις όπου στη θέση μέτρησης πνέουν δυνατοί άνεμοι. Με το κάλυμμα αυτό επιτυγχάνεται η μείωση θορύβου λόγω των ισχυρών ανεμών που πιθανώς να επιφέρουν μεγάλες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών.

Εικόνα 68: Ηχόμετρο Bruel&kjaer, Hand-held Analyzer, Type 2270 με προστατευτικό κάλυμμα ανέμου

■ *Βαλίτσα μεταφοράς:* Είναι απαραίτητη για την μεταφορά του ηχομέτρου και των υπόλοιπων οργάνων με ασφάλεια, μειώνοντας σε σημαντικό βαθμό τις πιθανότητες πρόκλησης φθορών στον εξοπλισμό κατά την μεταφοράς του στις θέσεις μετρήσεων.

■ *Τρίποδας στήριξης:* Είναι απαραίτητος για τη στήριξη του ηχομέτρου κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

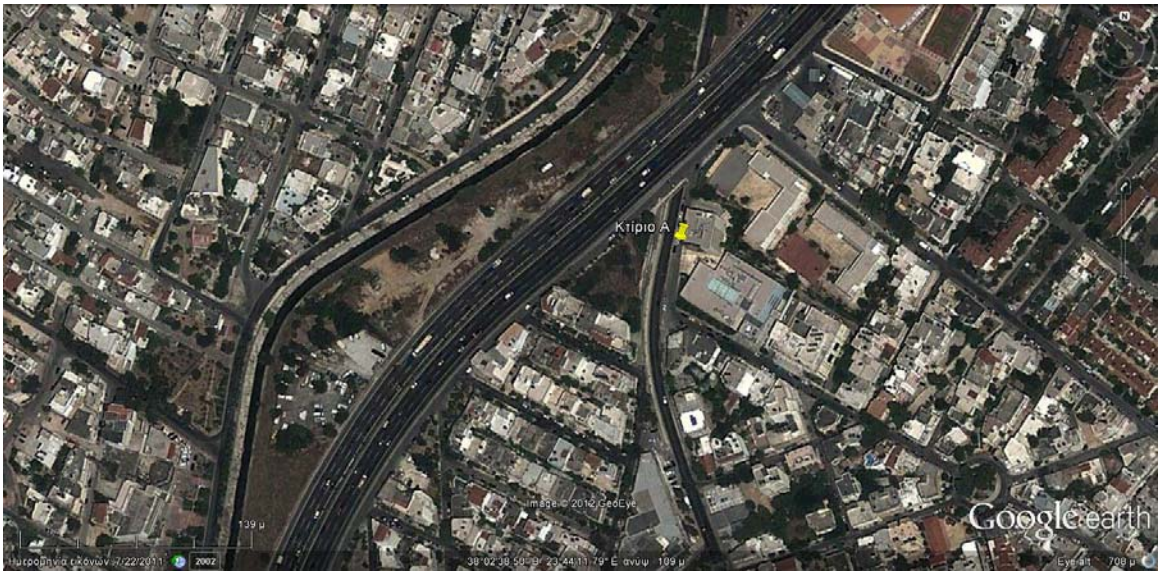
■ *Λογισμικό πρόγραμμα:* Συνοδεύει κάθε ηχόμετρο και παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς του ηχομέτρου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για πιο άνετη επεξεργασία των μετρούμενων μεγεθών

6.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

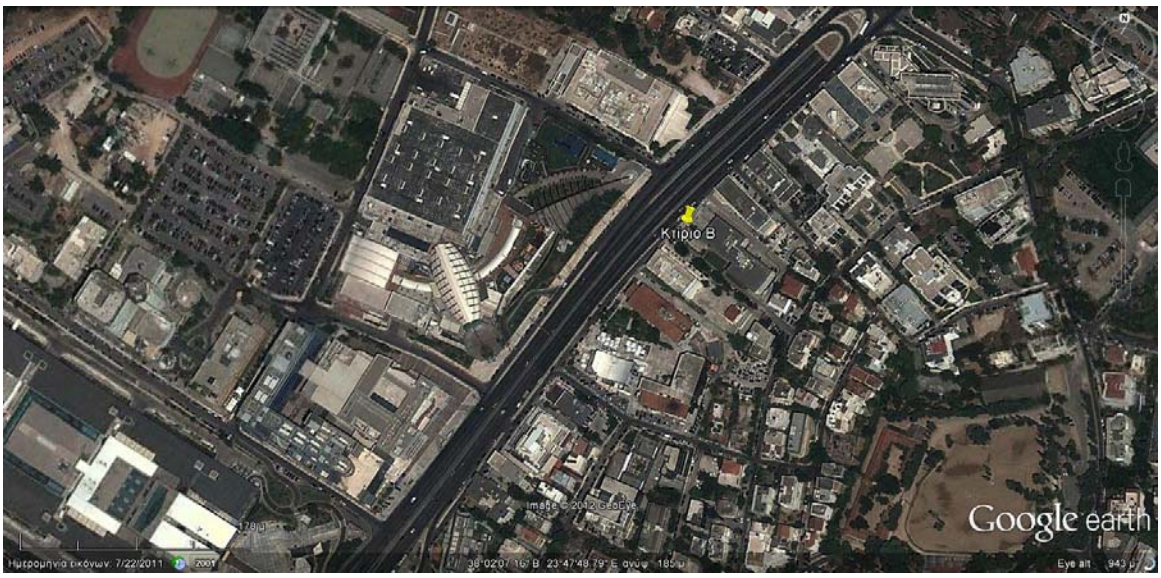
6.6.1 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα για κάθε κτίριο ξεχωριστά στις περιοχές:

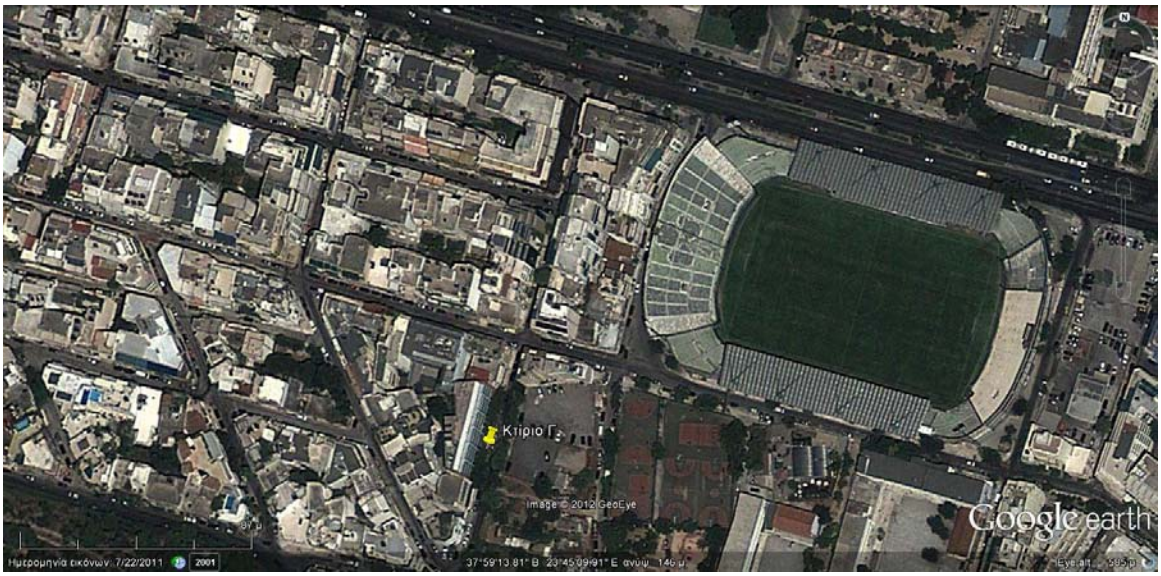
- Κτίριο Α : Εθνική οδό Αθηνών – Λαμίας στο ύψος της Νέας Φιλαδέλφειας
- Κτίριο Β : οδό Κηφισίας 16 στο ύψος του Αμαρουσίου
- Κτίριο Γ : Αθήνα, Κόνιαρη 15



Εικόνα 69:Κτίριο Α:Εθνική οδό Αθηνών – Λαμίας στο ύψος της Νέας Φιλαδέλφειας



Εικόνα 70:Κτίριο Β:Οδός Κηφισίας 16 στο ύψος του Αμαρουσίου



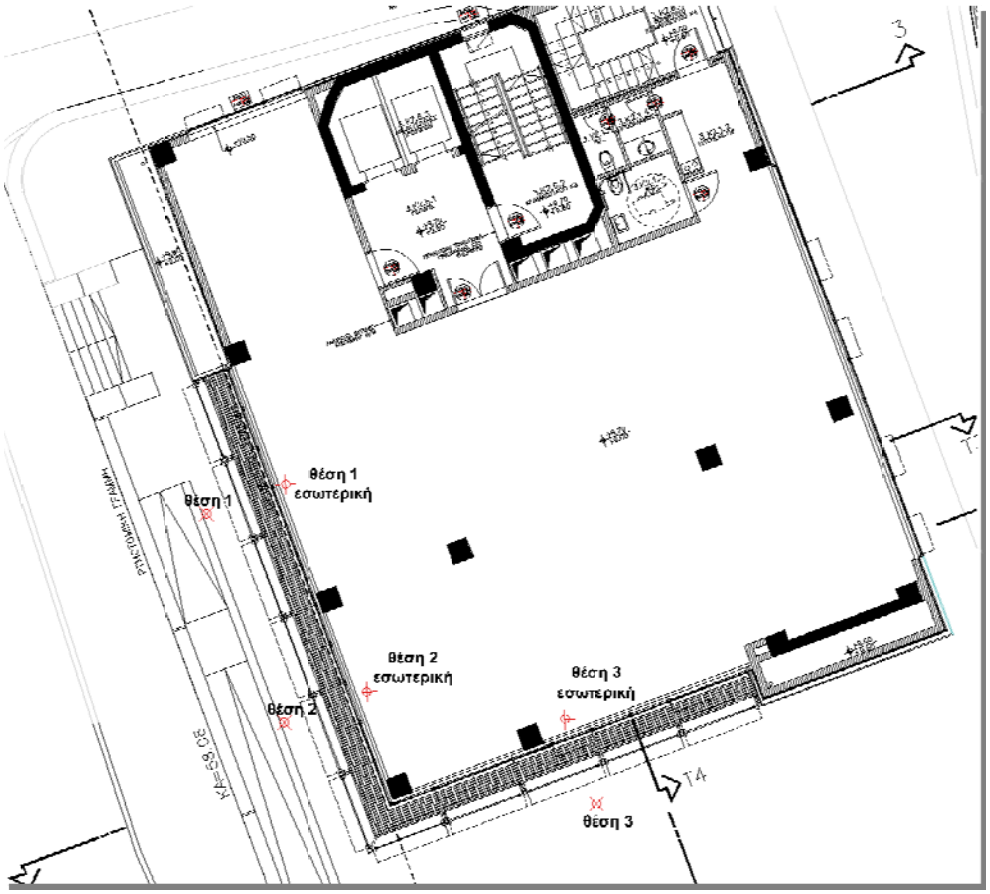
Εικόνα 71: Κτίριο Γ:Αθήνα, Κόνιαρη 15

6.6.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΕΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

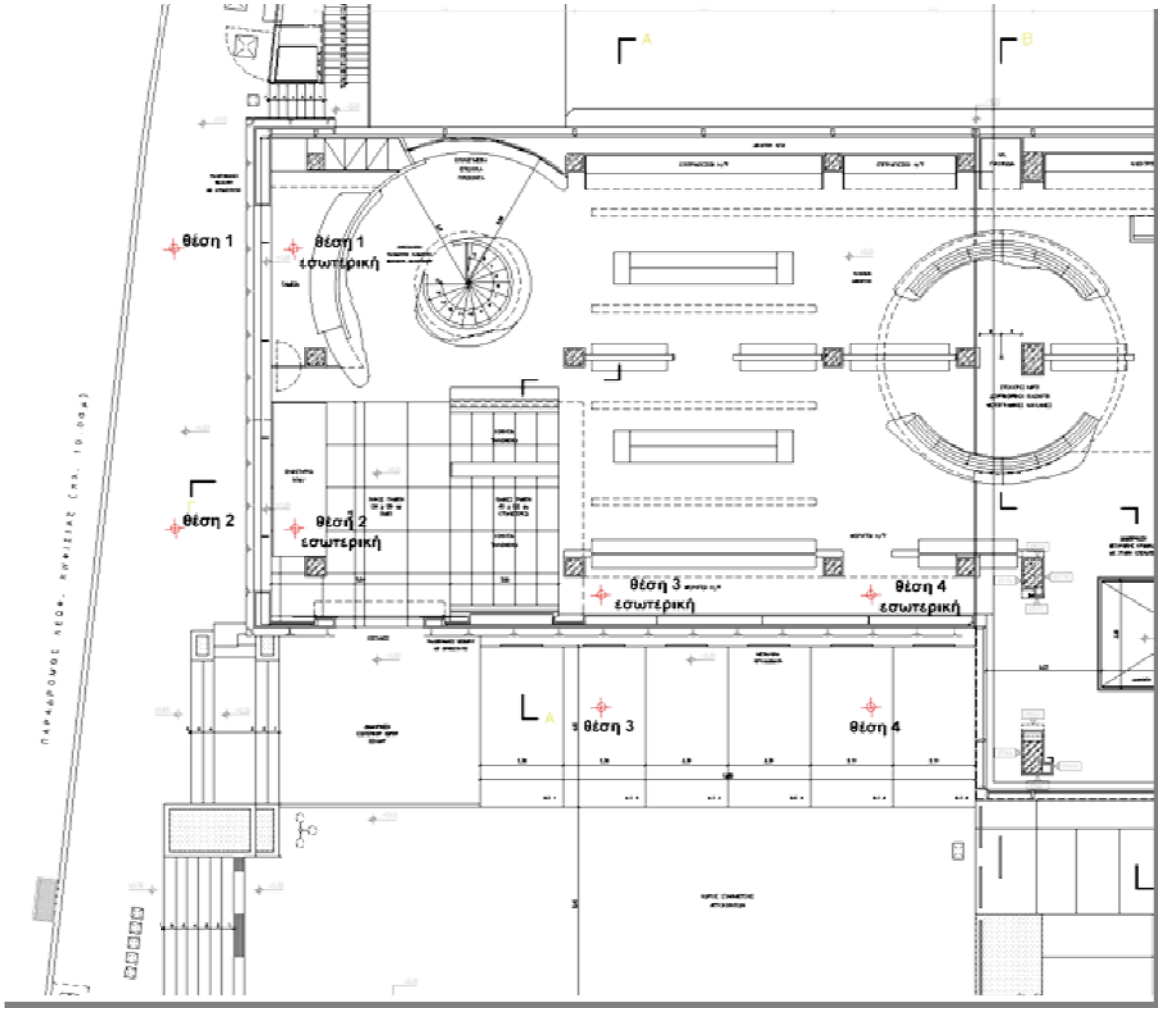
Πριν την πραγματοποίηση των προαπαιτούμενων μετρήσεων, έγινε επιλογή των χαρακτηριστικών σημείων μέτρησης σε κάθε κτίριο ξεχωριστά.

- Για το **κτίριο Α** επιλέχθηκαν 3 θέσεις στο εξωτερικό του κτιρίου και τρεις θέσεις στο εσωτερικό του κτιρίου στις αντίστοιχες θέσεις.
- Για το **κτίριο Β** επιλέχθηκαν 4 θέσεις στο εξωτερικό του κτιρίου και τρεις θέσεις στο εσωτερικό του κτιρίου στις αντίστοιχες θέσεις.
- Για το **κτίριο Γ** επιλέχθηκαν 2 θέσεις στο εξωτερικό του κτιρίου και τρεις θέσεις στο εσωτερικό του κτιρίου στις αντίστοιχες θέσεις.

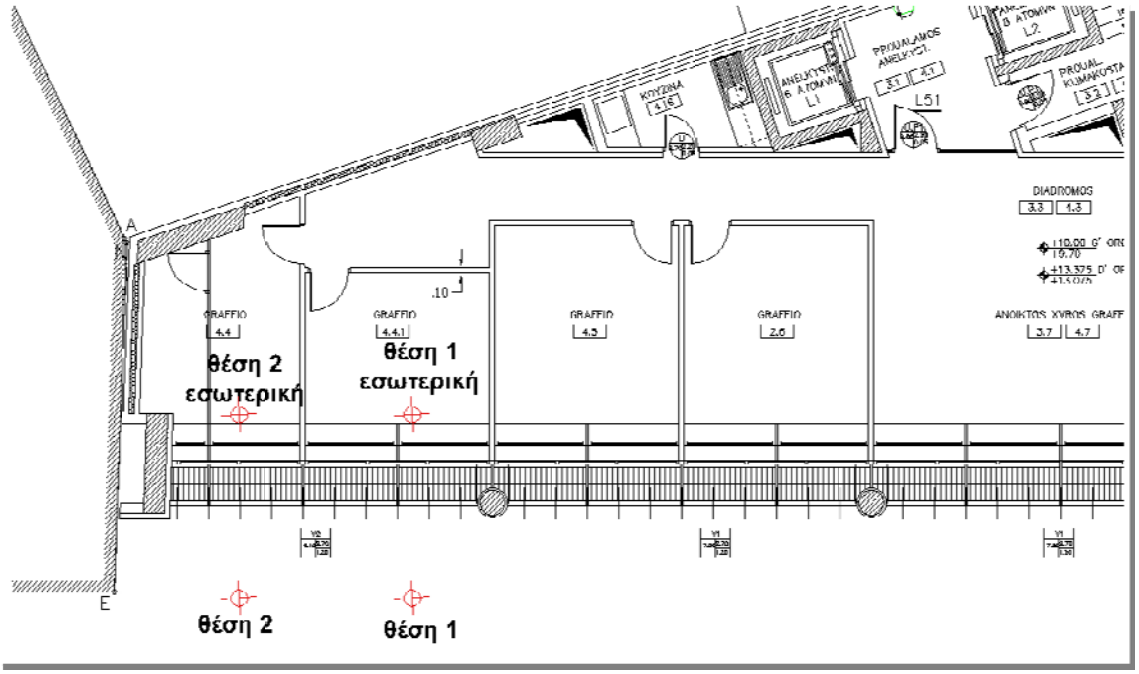
Τα σημεία επιλέχτηκαν ώστε να δίνουν μιαν όσο το δυνατό πλησιέστερη εικόνα του αστικού θορύβου που επικρατεί τόσο στο εσωτερικό όσο και περιμετρικά των κτιρίων καθώς επίσης και μια τάξη μεγέθους της εξασθένισης του ήχου που συντελείται από την απομάκρυνση του από τον δρόμο ταχείας κυκλοφορίας. Οι μετρήσεις διήρκησαν δυο ημέρες και είχαν την χρονική διάρκεια των 15 λεπτών ανά χαρακτηριστικό σημείο μέτρησης, με σκοπό την επίτευξη ενός μεγάλου εύρους τιμών και της ενίσχυσης της αξιοπιστίας του εγχειρήματος.



Εικόνα 72: Κτίριο Α, Θέσεις μέτρησης



Εικόνα 73: Κτίριο Β, Θέσεις μέτρησης



Εικόνα 74: Κτίριο Γ, Θέσεις μέτρησης

Εξαιτίας της χρήσης του κτιρίου Β οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις πρωινές ώρες 08:00 πμ έως 09:30 την Τρίτη 15/5/2012 όπου το κατάστημα παρέμεινε κλειστό κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Στα κτίρια Α και Γ οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις απογευματινές ώρες κατά τη χρονική περίοδο 16:00 μμ έως 19:00 μμ, την Παρασκευή 11/5/2012, θέτοντας σαν αρχή την παραδοχή ότι οι στάθμες θορύβου είναι σταθερές κατά το τρίωρο των μετρήσεων όπου αστικές και μη δραστηριότητες βρίσκονται σε πλήρη δράση. Τέλος, οι τιμές των προαπαιτούμενων μεγεθών πάρθηκαν με την χρήση ηχομέτρου της εταιρίας Bruel&Kjaer, Type 2270, το οποίο κατά την διάρκεια των μετρήσεων, ήταν τοποθετημένο κατά 1.20 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Όσο αφορά τις καιρικές συνθήκες, στις περιοχές μέτρησης επικρατούσε επί των πλείστων αραιή συννεφιά, ενώ κατά διαστήματα σε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά σημεία μέτρησης επικρατούσε ηλιοφάνεια.

Ο υπολογισμός της ηχομόνωσης των γυάλινων δικέλυφων όψεων με βάση τις μετρήσεις γίνεται σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ‘ISO ΕΛΟΤ Ν 140-05 (1978).
Η ηχομονωτική ικανότητα του κτιριακού στοιχείου, το οποίο μετρήθηκε εκφράζεται με το δείκτη ηχομείωσης, Rtr, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$R_{tr} = L_{eq,1} - L_{eq,2} + 10\log \frac{S}{A} \text{dB}$$

$$A = \frac{0.163V}{T_R}$$

ο δείκτης ηχομείωσης R_{tr}, δίνεται σε όλες τις συχνότητες μέτρησης με τη μορφή πίνακα τιμών ή γραφικής παράστασης ή και με τα δύο.
Σκοπός αυτού του προτύπου είναι:
1. 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 και,
2. να δώσει τρόπους μέτρησης της ηχομόνωσης μεταξύ δυο δωματίων σε κτίρια έτσι, ώστε να μπορεί να ελέγχεται αν έχουν πραγματοποιηθεί οι επιθυμητές ακουστικές συνθήκες.

6.6.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (L)

Για τον προσδιορισμό **της ισοδύναμης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, L_1,** μετρήθηκε ο θόρυβος στα εξωτερικά σημεία κάθε κτηρίου ξεχωριστά, στα σημεία που είχαν οριστεί (επιλεγμένες θέσεις: εικόνες 72,73,74) και το ηχόμετρο τοποθετήθηκε στα 2.00 μ. από την πρόσοψη του κτιρίου. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν

τριτοοκταβικά φίλτρα με κεντρικές συχνότητες των 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150Hz.

Για τον προσδιορισμό **της ισοδύναμης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, L_2, στο εσωτερικό του κτιρίου**, το ηχόμετρο τοποθετείται στις αίθουσες κάθε κτιρίου στα αντίστοιχα σημεία με αυτά των εξωτερικών σημείων σε απόσταση 20 εκ. από την εσωτερική πλευρά της πρόσοψης (επιλεγμένες θέσεις: εικόνες 72,73,74). Και για αυτές τις μετρήσεις χρησιμοποιούμε τριτοοκταβικά φίλτρα.

Τα χαρακτηριστικά σημεία μέτρησης καθώς και η σειρά των μετρήσεων παρέμεινε ίδια σε όλα τα κτίρια. Η κοινή αυτή επιλογή μέτρησης έγινε με σκοπό η επεξεργασία των αποτελεσμάτων ανά σημείο και η αξιολόγηση τους να είναι όσο το δυνατό πιο εύκολη και αποτελεσματική, έτσι ώστε τελικά να μπορεί να υπάρξει ένα σαφές μέτρο σύγκρισης μεταξύ των υφιστάμενων αποτελεσμάτων.

6.6.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ RT

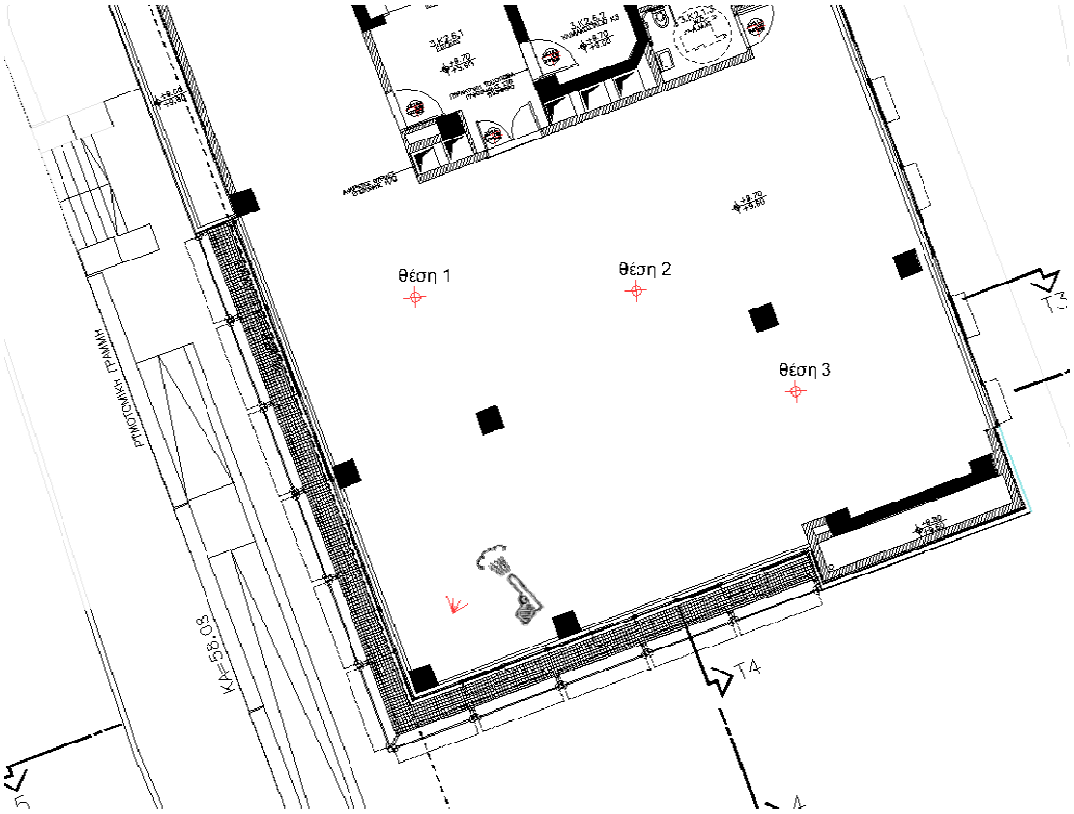
Η ακουστική ενός χώρου χαρακτηρίζεται από το χρόνο αντήχησης που επικρατεί εντός αυτού, κάνουμε δε την παραδοχή ότι είναι σταθερός μέσα στο χώρο, υπό την προϋπόθεση ότι έχουμε διάχυτο ηχητικό πεδίο. Με στόχο την καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής τιμής του χρόνου αντήχησης πήραμε μετρήσεις σε παραπάνω από μία θέσεις ανά χώρο. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στις χαμηλές συχνότητες, όπου εξαιτίας της δημιουργίας στάσιμων κυμάτων, παρατηρείται έντονη διακύμανση τιμών.

Συγκεκριμένα στο κτίριο Α εξαιτίας του μεγάλου όγκου της αίθουσας, έγινε καταγραφή σε τρία σημεία (εικόνα 75) και παρομοίως στο κτίριο Β 4 σημεία (εικόνα 76).Στο κτίριο Γ έγιναν μετρήσεις σε δύο γραφεία όπου σε κάθε γραφείο έγινε καταγραφή 2 σημείων, δηλαδή συνολικά 4 σημεία (εικόνα 77). Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στις χαμηλές συχνότητες, που υπάρχει σχετικά αυξημένη διακύμανση τιμών, λόγω των στάσιμων κυμάτων.

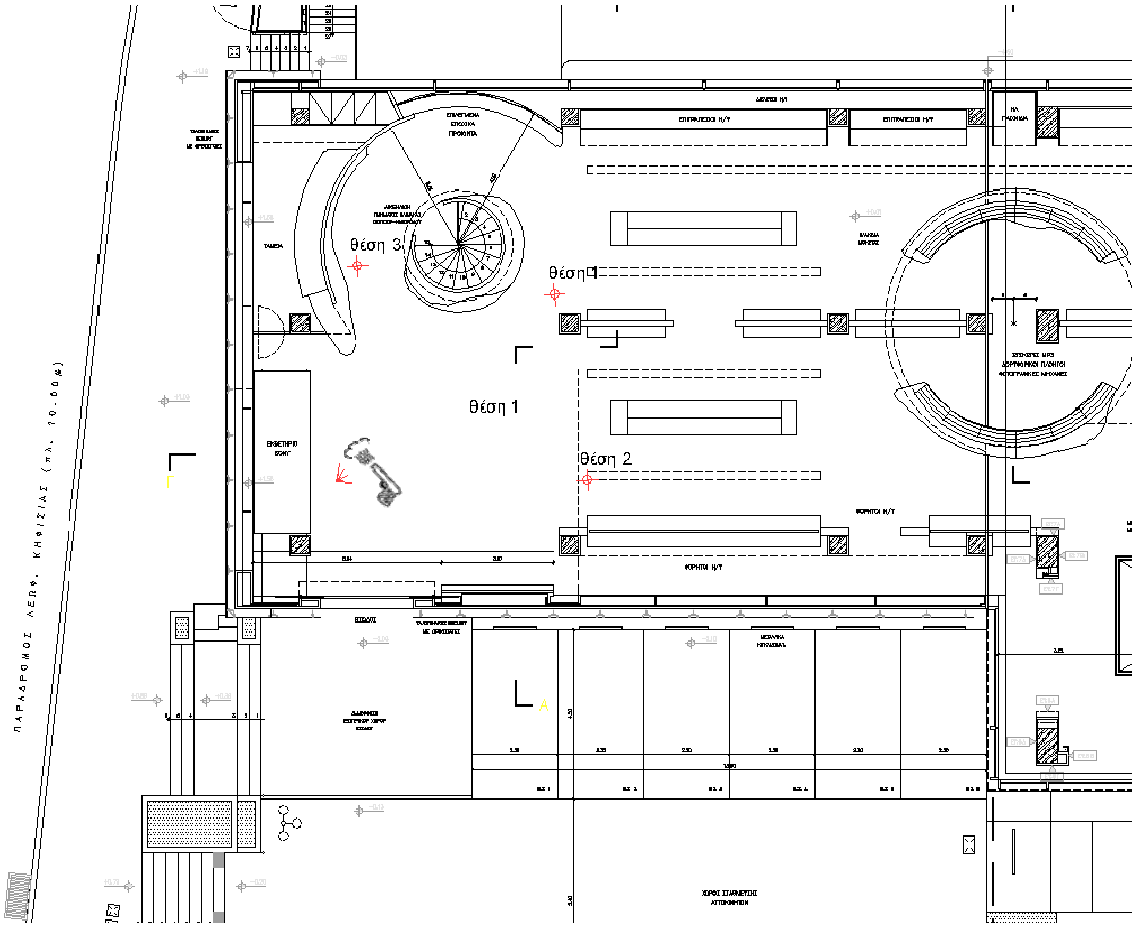
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη:

1. Το ένα άτομο με το πιστόλι στο χέρι είναι όρθιο σε μια από τις γωνίες της αίθουσας.
2. Το άλλο άτομο κρατάει στο χέρι του το ηχόμετρο, το οποίο έχει ενσωματωμένο φίλτρο συχνοτήτων και μετράει αυτόματα το χρόνο αντήχησης στις διάφορες θέσεις.

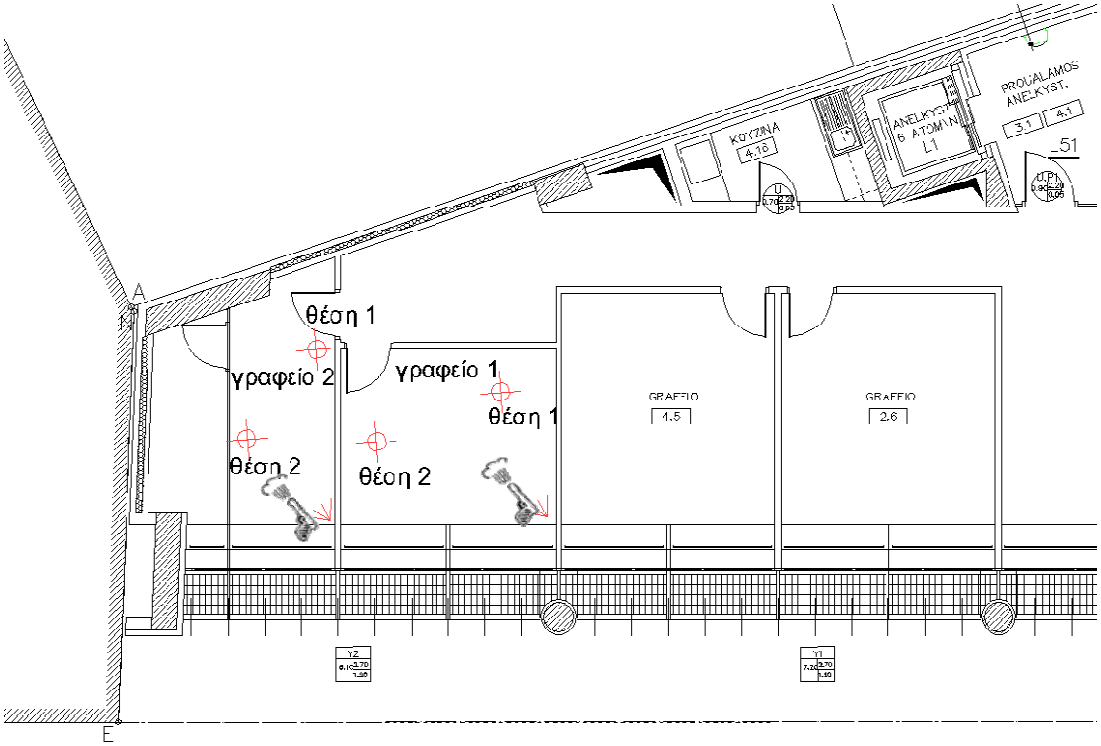
Με το που εκπυρσοκροτεί το όπλο παράγεται ήχος. Ο ήχος αυτός συλλέγεται από το ηχόμετρο και φιλτράρεται από το τριτοοκταβικό του φίλτρο. Στη συνέχεια ο υπολογιστής του ηχομέτρου μας δίνει τιμές του χρόνου αντήχησης στο φάσμα συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει.



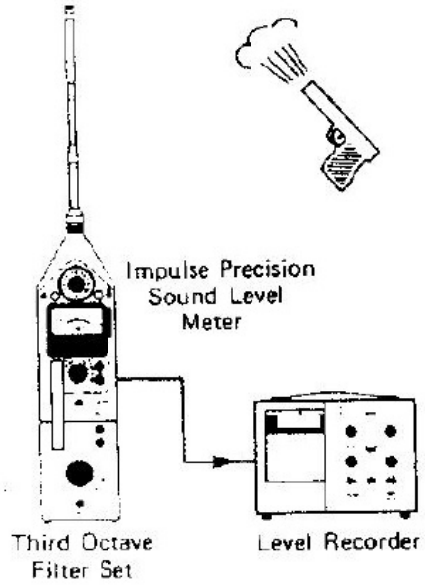
Εικόνα 75: Κτίριο Α, Θέσεις μέτρησης χρόνου αντήχησης



Εικόνα 76: Κτίριο Β, Θέσεις μέτρησης χρόνου αντήχησης



Εικόνα 77: Κτίριο Γ, Θέσεις μέτρησης χρόνου αντήχησης



Εικόνα 78: Φορητή διάταξη μέτρησης χρόνου αντήχησης

6.6.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

Η μέτρηση του θορύβου βάθους γίνεται σε ορισμένες από τις θέσεις μέτρησης, που είχαμε επιλέξει για τη διεξαγωγή των μετρήσεων του χρόνου αντήχησης και της στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης, με τη χρήση μόνο του ηχόμετρου με το τριτοοκταβικό φίλτρο. Οι συχνότητες, που μας ενδιαφέρουν, είναι οι ίδιες συχνότητες που ενδιέφεραν και για την στάθμη χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης.

Η τιμή του θορύβου βάθους δίνεται σε κάθε συχνότητα από το ηχόμετρο σε dB ενώ τη συχνότητα τη ρυθμίζουμε από το φίλτρο.

6.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

6.7.1 ΚΤΙΡΙΟ Α

Το κτίριο Α συνορεύει με την Εθνική οδό Αθηνών –Λαμίας, βρίσκεται δηλαδή σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας με έντονο κυκλοφοριακό θόρυβο. Η αρχιτεκτονική μελέτη έγινε από το γραφείο «ΑΕΤΕΡ - Χαρης Μπουγαδέλλης και Συνεργάτες Αρχιτέκτονες Α.Ε.» και η κατασκευή από την εταιρία J&P ΑΒΑΞ.

Το κτίριο διαθέτει ιδιαιτέρα μεγάλο κάνναβο (μεγάλους υαλοπίνακες), ενώ για τη στήριξη των μεγάλων υαλοπινάκων έγινε χρήση νέου ενισχυμένου προφίλ. Η διπλοκέλυφη πρόσοψη στηρίζεται σε (και αποκαλύπτει) εξαιρετικά προηγμένες τεχνολογίες. Η κίνηση των εξωτερικών περσίδων επιτρέπει την εκμετάλλευση του διάκενου μεταξύ υαλοπετάσματος και γυάλινης περσίδας ποικιλοτρόπως. Συγκεκριμένα, κατά τη χειμερινή περίοδο, οι περσίδες παραμένουν κλειστές, με αποτέλεσμα να συλλέγεται θερμότητα εντός του διάκενου. Με αυτόν τον τρόπο, περιορίζονται σημαντικά οι ενεργειακές καταναλώσεις του κτιρίου. Αντίθετα, κατά την θερινή περίοδο, ο φλοιός των περσίδων ανοίγει και παρέχει την απαραίτητη σκίαση για τον περιορισμό της ηλίασης του κτιρίου. Παράλληλα, το διάκενο παύει να λειτουργεί ως θερμοσυσσωρευτής, διότι υπάρχουν πλέον ανοίγματα. Έτσι, επιτυγχάνεται εκ νέου σημαντικό ενεργειακό όφελος.

6.7.2 ΚΤΙΡΙΟ Β

Το κτίριο Β βρίσκεται στη Λεωφόρο Κηφισίας στο ύψος του Αμαρουσίου όπου σήμερα αποτελεί έναν από τους πιο εμπορικούς και πολυσύχναστους οδικούς άξονες των Αθηνών και της Ελλάδος. Η μεγάλη ανάπτυξη που γνώρισε ο οδικός άξονας, παράλληλα με την παραμέληση των γειτονικών αξόνων, υπερφόρτωσε τη Λεωφόρο Κηφισίας που επωμίστηκε το κυκλοφοριακό βάρος σχεδόν ολόκληρου του βορειοανατολικού λεκανοπεδίου.

Είναι λογικό λοιπόν, ο θόρυβος που εισέρχεται στα καταστήματα να είναι αρκετά δυνατός και συνάμα ενοχλητικός. Το κτίριο Β έχει επενδυθεί με γυάλινη δικέλυφη όψη στη βορειοδυτική και νοτιοδυτική πλευρά του.

6.7.3 ΚΤΙΡΙΟ Γ

Το κτίριο Γ βρίσκεται στον αστικό ιστό της Αθήνας, στην περιοχή των Αμπελοκήπων. Απέχει δύο λεπτά από την Λεωφόρο Αλεξάνδρας και συνορεύει με το γήπεδο «Απόστολος Νικολαίδης». Το κτίριο στεγάζει τμήμα του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, και συγκεκριμένα την Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Ε/Π Ενίσχυσης της Προσελασιμότητας (ΕΥΔ/ΕΠ-ΕΠ).

Η αρχιτεκτονική μελέτη έγινε από το γραφείο «Μελετητική – Γραφείο Μελετών Αλέξανδρου Ν. Τομπάζη Ε.Π.Ε» το 1993και η κατασκευή από την εταιρία ΑΒΑΞ το 1998. Το μικτό εμβαδόν του είναι 3.050μ^2, και κατανέμεται σε τρία υπόγεια επίπεδα, ισόγειο και πέντε ορόφους με φυτεμένο δώμα. Ο σχεδιασμός του περιλαμβάνει αρχές και τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού, οι οποίες καλύπτουν μέρος των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και δημιουργούν ένα ευχάριστο και άνετο περιβάλλον για τους χρήστες του.

Στην πρόσοψη κυριαρχούν πέντε κολόνες από μπετόν ύψους 16μ, οι οποίες χαρακτηρίζουν τη δομή του κτιρίου, καθώς και τα ηλιακά σκίαστρα. Πρόκειται για κατακόρυφα γυάλινα πετάσματα με μεταξοτυπία που παρέχει συντελεστή σκίασης 70%. Τα πετάσματα αυτά ελέγχονται από το κεντρικό σύστημα ενεργειακής διαχείρισης ώστε να περιστρέφονται αυτόματα, ανταποκρινόμενα στην θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Το σύστημα σκίασης συμπληρώνεται σε κάθε όροφο από μία σειρά σταθερών κιγκλιδωμάτων με οριζόντιες λευκές μεταλλικές εσχάρες που εξασφαλίζουν και πρόσβαση για συντήρηση. Ο τελευταίος όροφος και ο ημιώροφος σκιάζονται από κλασικές εξωτερικές περσίδες που ελέγχονται επίσης από κεντρικό σύστημα.

Η ανατολική πρόσοψη σχεδιάστηκε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να δρα σαν μια διπλή επιδερμίδα, ένα διάφραγμα που προστατεύει την ενδότερη όψη, μέσω επιλεκτικού ελέγχου του θερμικού κέρδος και του φυσικού φωτός. Αποτελούνται από διπλούς laminated υαλοπίνακες με εντυπωμένη επιφάνεια, που προσφέρει σκίαση κατά 70%. Οι περσίδες περιστρέφονται περί κατακόρυφου άξονα, έτσι ώστε ο ηλιασμός και η σκίαση να εναλλάσσονται απόλυτα ελεγχόμενα. Οι περιστροφή των περσίδων, ανάλογα με το φωτισμό, δημιουργεί μια συνεχώς μεταβαλλόμενη εικόνα της πρόσοψης, ανατρέποντας έτσι τη συνηθισμένη στατικότητα της όψης που έχουμε συνηθίσει στα περισσότερα κτίρια. Αυτό το διπλό στοιχείο, χρησιμοποιήθηκε εκτός από λόγους ογκοπλαστικούς, και ως στρατηγική δροσισμού του κτιρίου. Η βιοκλιματική λειτουργία του συνίσταται στο ότι η όψη σκιάζεται και οι ηλιακές πρόσοδοι ελαχιστοποιούνται τόσο στα ανοίγματα, όσο και σε όλα τα στοιχεία πληρώσεως, ταυτόχρονα δε δροσίζεται, μιας και επιτρέπεται η κυκλοφορία ρεύματος - αέρα ανάμεσα. Όλοι οι κύριοι χώροι βρίσκονται κατά μήκος αυτής της διπλής γυάλινης πρόσοψης και χωρίζονται από τους δευτερεύοντες χώρους με ένα χώρο κυκλοφορίας.

Χάρη στο σχεδιασμό, τον προσανατολισμό και το μικρό βάθος του κτιρίου, όλοι οι εσωτερικά χώροι έχουν ικανοποιητική πρόσβαση στο φυσικό *φως* αλλά και στον φυσικό αερισμό. Δόθηκε έμφαση στην ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός, που διεισδύει από τα παράθυρα της ανατολικής πρόσοψης για οπτική άνεση αλλά και αποφυγή θάμβωσης, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται παντού φυσικό φώς.

7. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετρήσεις ηχομονωτικής ικανότητας γυάλινων δικέλυφων όψεων στα κτίρια έγιναν στις εξωτερικές πλευρές των κτιρίων στα επιλεγμένα σημεία σε ώρες με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο.

7.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 140-05(1978).

Για τον προσδιορισμό της ηχομονωτικής ικανότητας των γυάλινων δικέλυφων όψεων και συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό του Φαινόμενου Δείκτη Ηχομείωσης R_{tr} χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$R_{tr} = Leq_1 - Leq_2 + 10\log (S/A) \text{ σε dB}$$

όπου:

Leq_1 : η ηχοστάθμη στον εξωτερικό χώρο σε dB

Leq_2 : η ηχοστάθμη στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων σε dB

S : η επιφάνεια των γυάλινων δικέλυφων όψεων σε m^2

A : η ηχοαπορρόφηση της αίθουσας που προκύπτει από την σχέση:

$$A = 0{,}163\ (V/T) \text{ σε } m^2$$

όπου :

V = ο όγκος της αίθουσας σε m^3

T = ο χρόνος αντήχησης RT της αίθουσας σε s

Τα αποτελέσματα της δοκιμής στις ζώνες συχνοτήτων από 100 μέχρι 3150 Hz (σε τριτοοκτάβες) χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του Φαινόμενου Δείκτη Ηχομείωσης των προσόψεων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 717-3(1982).

Τα αποτελέσματα της δοκιμής στις ζώνες συχνοτήτων από 100 μέχρι 3150 Hz (σε τριτοοκτάβες) χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της Κανονικοποιημένη τυποποιημένης διαφοράς στάθμης των προσόψεων σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 717-1(1996).

7.2 ΚΤΙΡΙΟ Α

7.2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΕΛΥΦΗΣ ΟΨΗΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Α

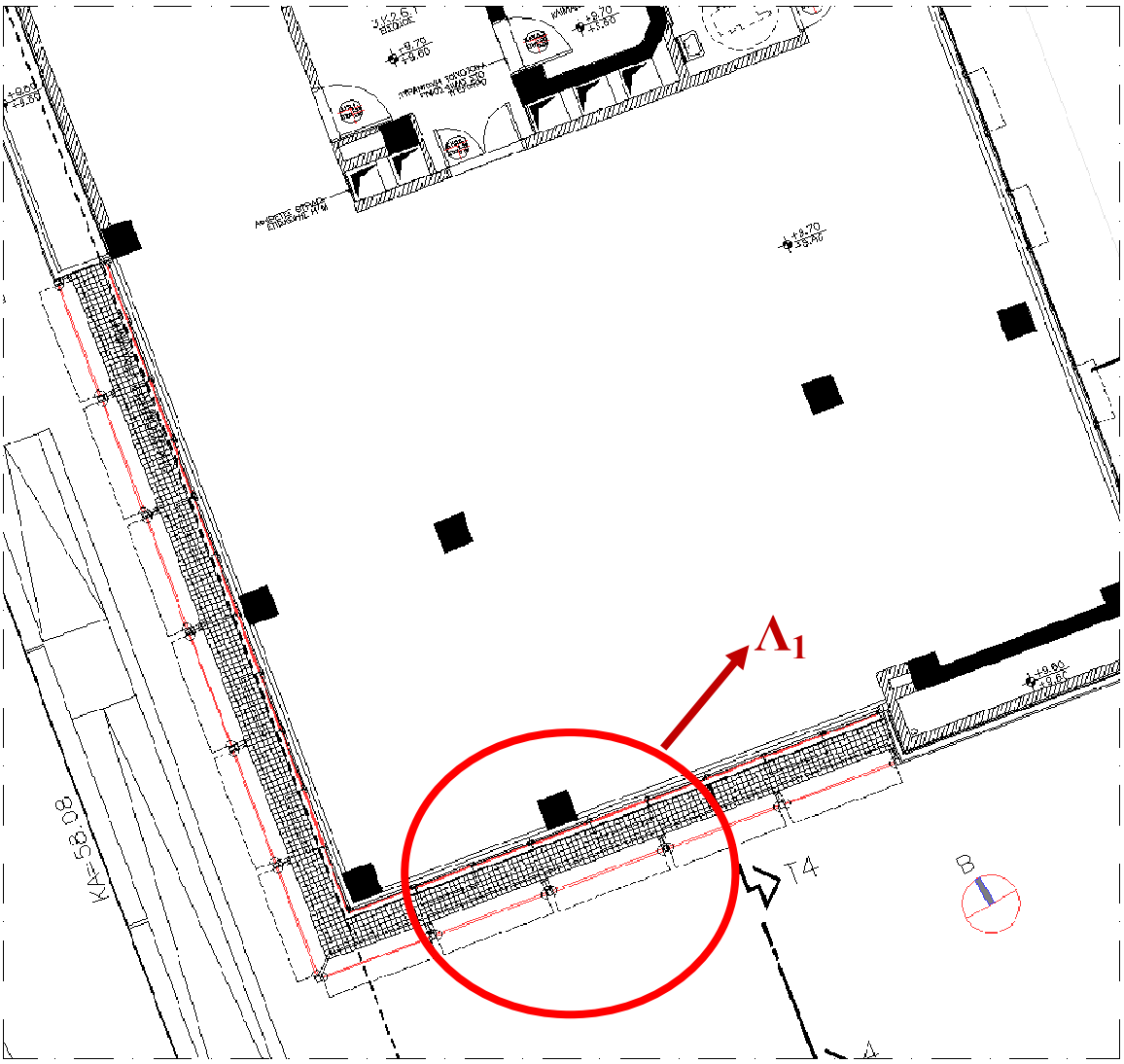
Κτίριο: Κτίριο Γραφείων Καταστημάτος Toi –Moi

Θέση: Εθνική οδός Αθηνών – Λαμίας, Νέα Φιλαδέλφεια

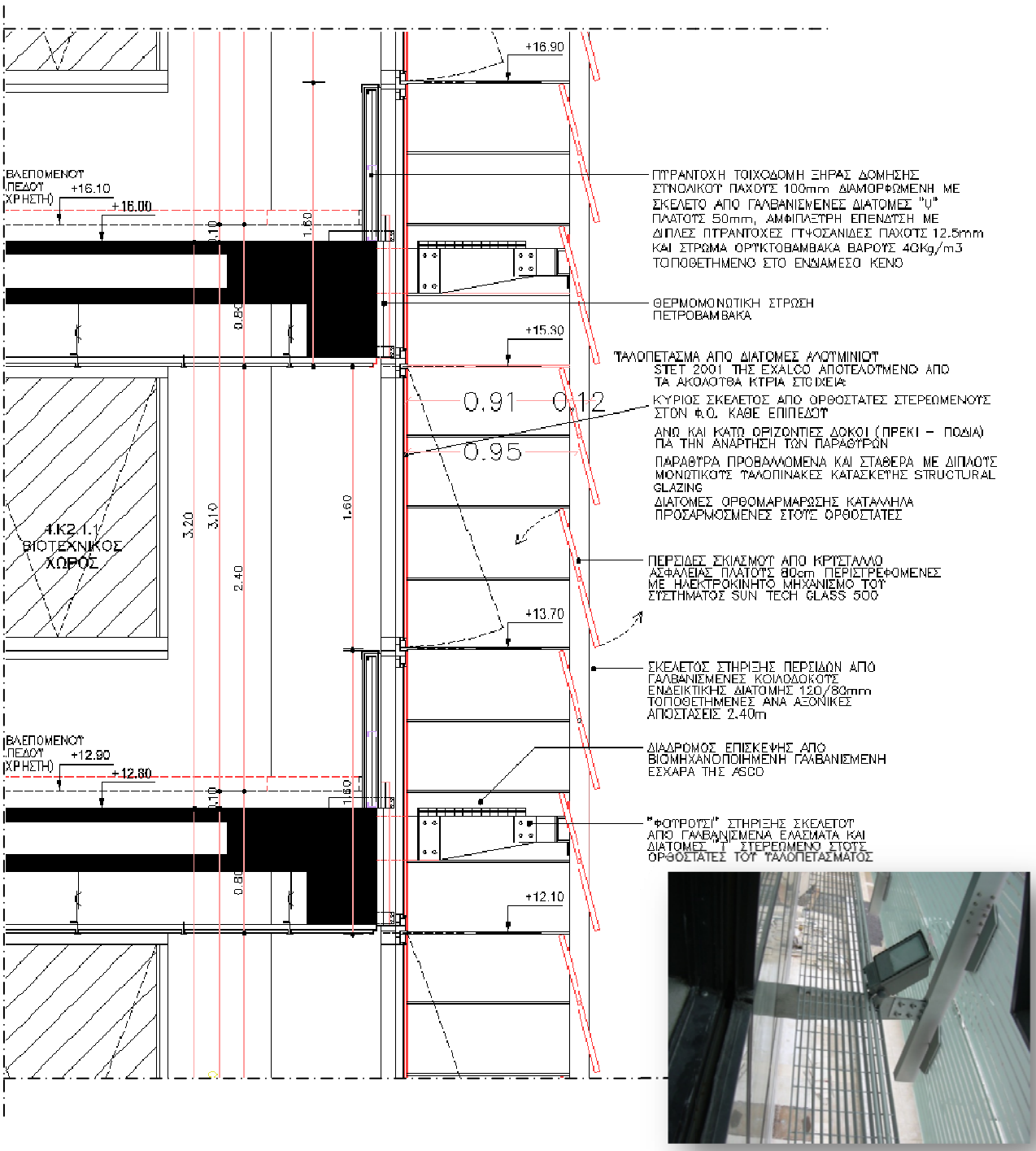
Προσανατολισμός όψεων: Δυτική όψη και Νότια όψη

Κατασκευή:

- Παράθυρα με διπλούς μονωτικούς υαλοπίνακες 6/12/6 (κατά προσέγγιση)
- Εσωτερικό διάκενο 0.95 εκ., με διάδρομο μη βατό από γαλβανισμένη σχάρα
- Περσίδες σκιασμού από κρύσταλλο 5mm(περιστρέφονται περί οριζόντιου άξονα)



Εικόνα 79: Κάτοψη κτιρίου Α



Εικόνα 80: Οριζόντια Τομή κτιρίου Α, τυπική λεπτομέρεια επένδυσης όψης $Λ_1$

7.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Α

Τα αποτελέσματα του πειράματος δίνονται στις ζώνες συχνοτήτων από 100 Hz μέχρι 3150Hz σε πίνακα και διάγραμμα. Στη συνέχεια γίνεται η αξιολόγηση του Φαινόμενου Δείκτη Ηχομείωσης.

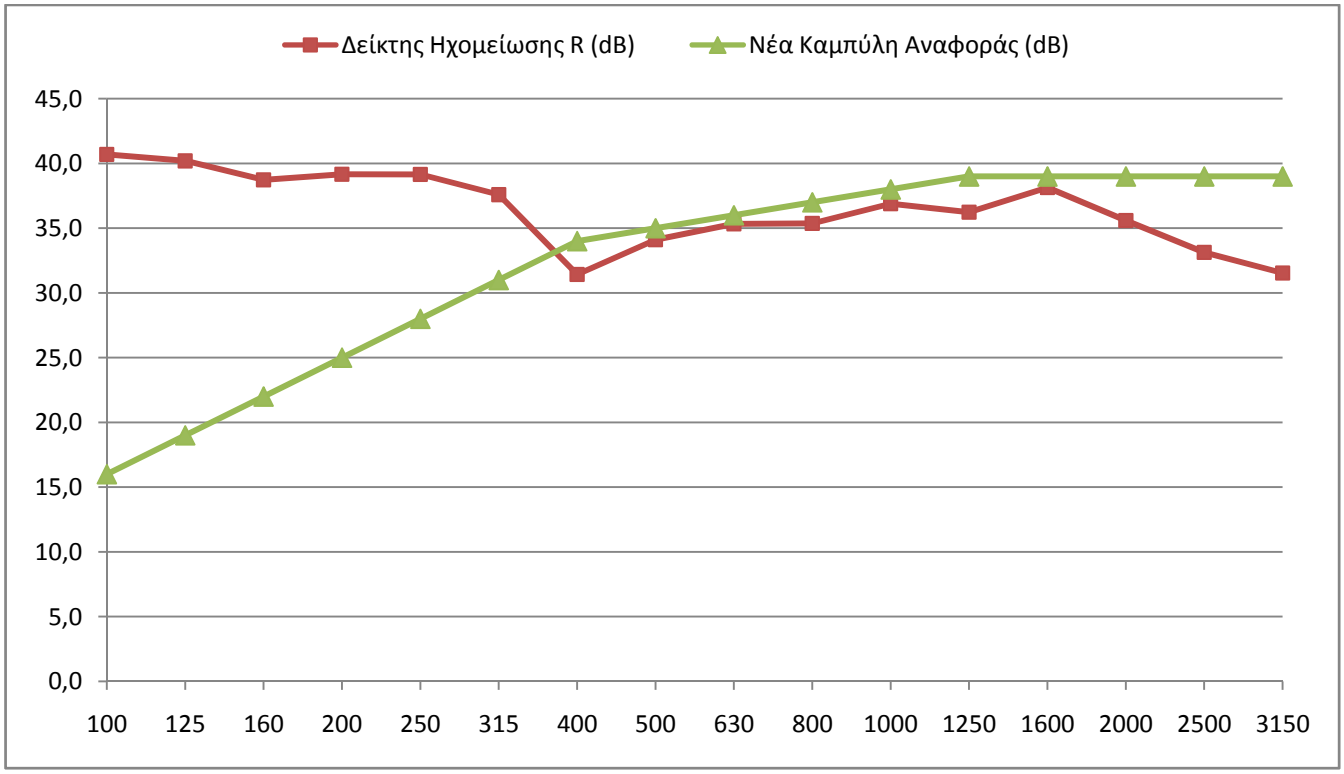
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (Μ.Ο. θέση 1&θέση 2) (dB)**
100	40,69
125	40,20
160	38,73
200	39,16
250	39,15
315	37,59
400	31,43
500	34,11
630	35,34
800	35,37
1000	36,89
1250	36,24
1600	38,14
2000	35,59
2500	33,13
3150	31,54

Πίνακας 10: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Α, Μέσος όρος θέσης 1 και θέσης 2*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log (S/A)$



Διάγραμμα 1: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Μ.Ο. θέση 1 &2*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,w}$= 35dB

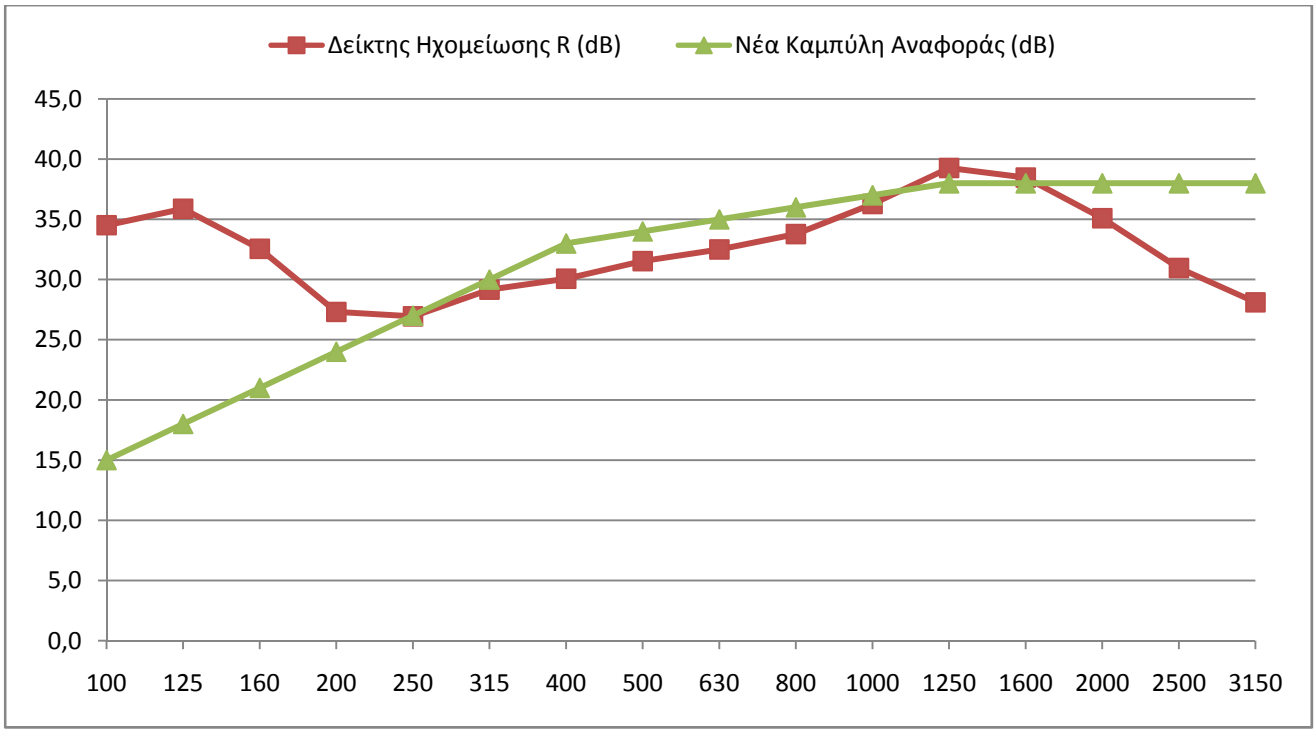
Συχνότητα f (Hz)	Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (θέση 3) (dB)
100	34,51
125	35,87
160	32,55
200	27,31
250	26,94
315	29,16
400	30,06
500	31,53
630	32,50
800	33,78
1000	36,27
1250	39,27
1600	38,47
2000	35,09
2500	30,95
3150	28,10

Πίνακας 11: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Α, Θέση 3*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log (S/A)$



Διάγραμμα 2: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 3*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,w}$= 34dB

Συχνότητα f (Hz)	Dtr,2m,n (dB)
100	31,1
125	31,9
160	29,1
200	24,6
250	24,3
315	26,1
400	27,1
500	27,0
630	28,1
800	28,8
1000	32,8
1250	31,6
1600	32,5
2000	29,6
2500	26,2
3150	23,9

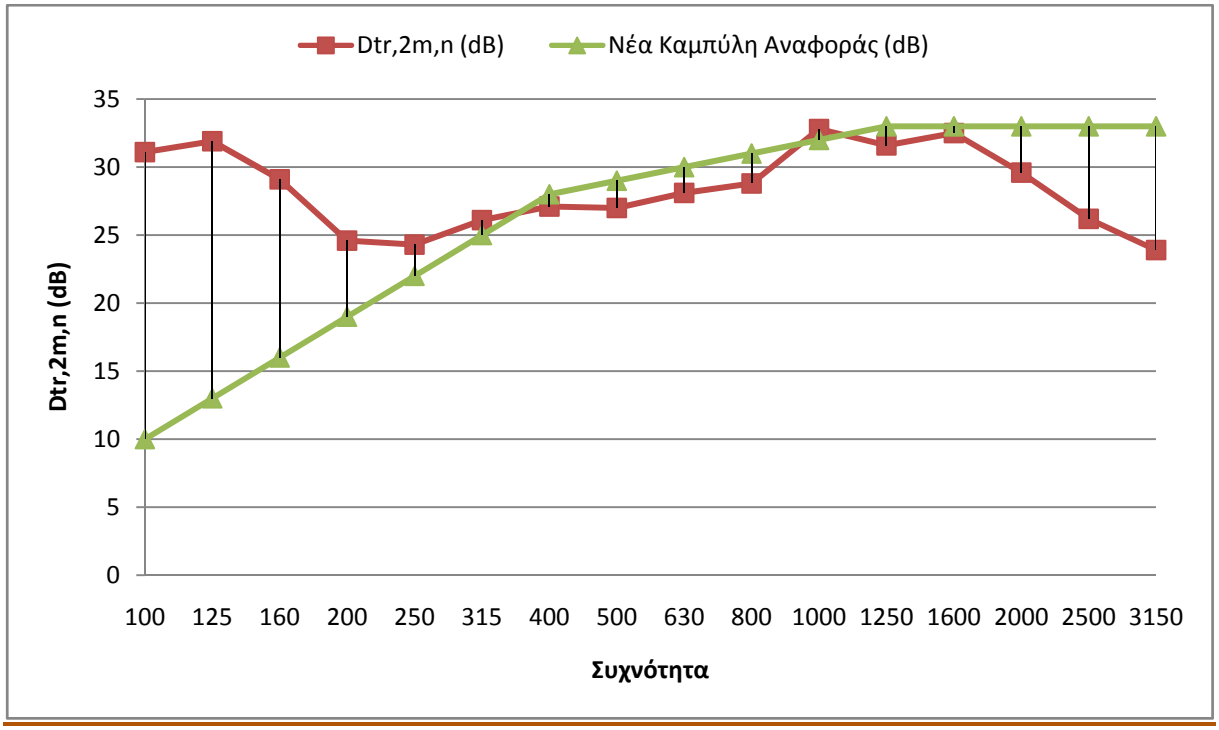
Πίνακας 12: *Κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης Κτιρίου Α*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

D tr,2m,n : Κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης

Όπου: D tr,2m,n = $L_1 - L_2 + 10\log(A/A_o)$

$A_o = 10m^2$



Διάγραμμα 3:*Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dtr,2m,n*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ

Dtr,2m,n,w(C,Ctr)= 29(-1,0)dB

7.3 ΚΤΙΡΙΟ Β

7.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΕΛΥΦΗΣ ΟΨΗΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Β

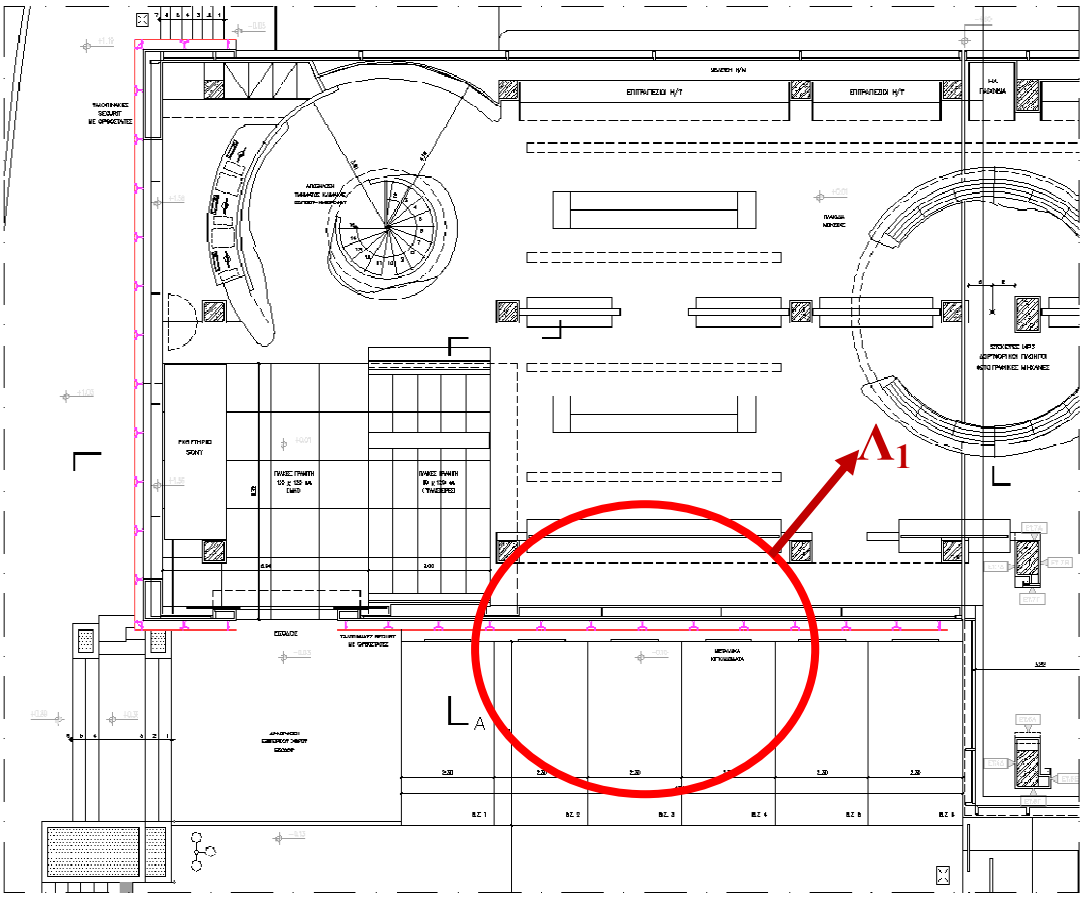
Κτίριο: Κατάστημα Ηλεκτρονικής

Θέση: Οδός Κηφισίας 16, ύψος του Αμαρουσίου

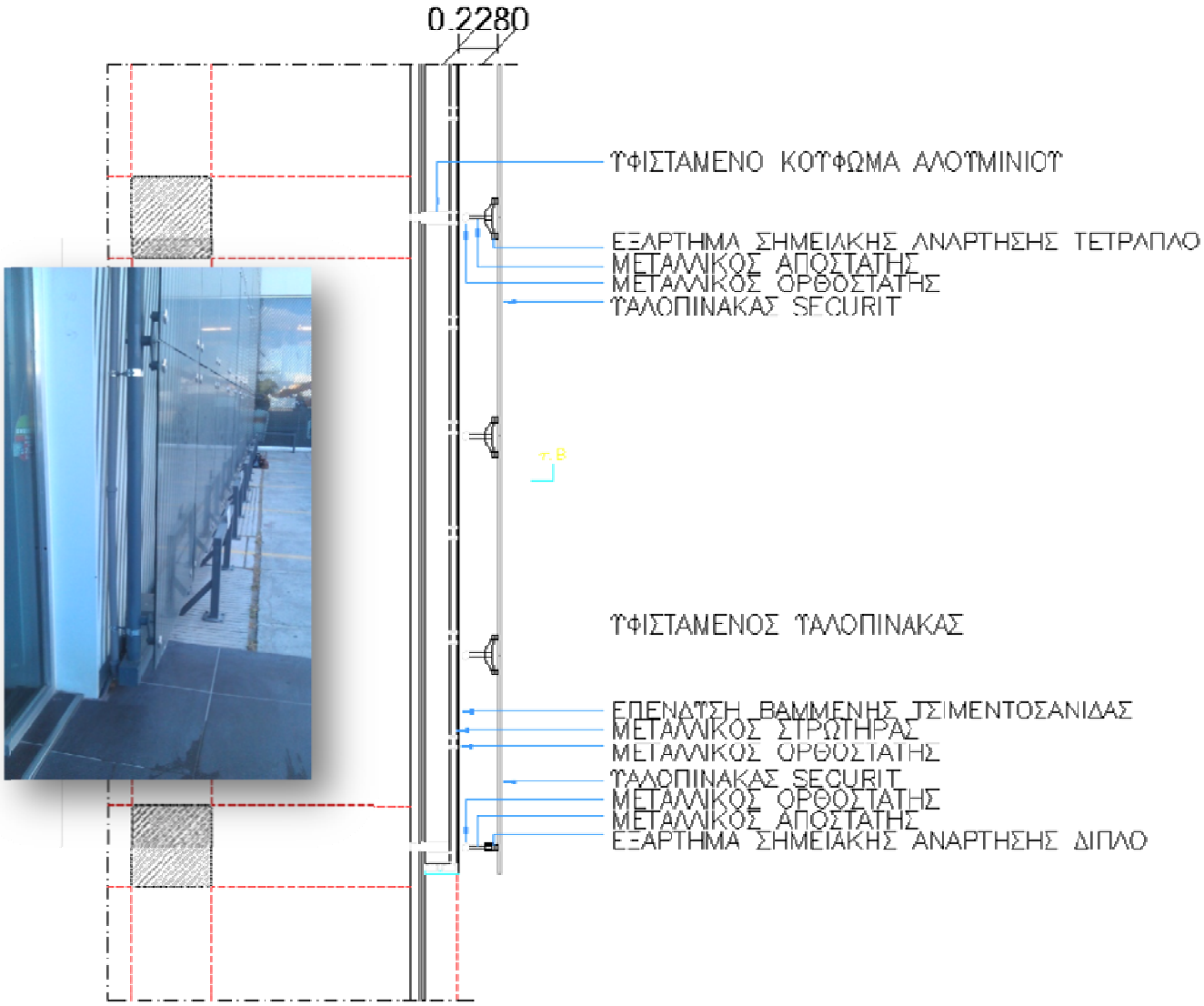
Προσανατολισμός όψεων: Βορειοδυτική και Νοτιοδυτική όψη

Κατασκευή:

- Διπλοί υαλοπίνακες πάχους 5+5mm triplex
- Μεταλλικοί ορθοστάτες 4mm
- Βαμμένη τσιμεντοσανίδα πάχους 10mm
- Εσωτερικό διάκενο 0.228 εκ., με εξαρτήματα σημειακής ανάρτησης τετραπλό
- Υαλοπίνακες 10mm



Εικόνα 81: Κάτοψη κτιρίου Β



Εικόνα 82: Οριζόντια Τομή κτιρίου Β, τυπική λεπτομέρεια επένδυσης όψης $Λ_1$

7.3.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Β

Τα αποτελέσματα του πειράματος δίνονται στις ζώνες συχνοτήτων από 100 Hz μέχρι 3150Hz σε πίνακα και διάγραμμα. Στη συνέχεια γίνεται η αξιολόγηση του Φαινόμενου Δείκτη Ηχομείωσης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 4 σημεία, 2 σημεία στη Βορειοδυτική όψη και 2 σημεία στη Νοτιοδυτική όψη.

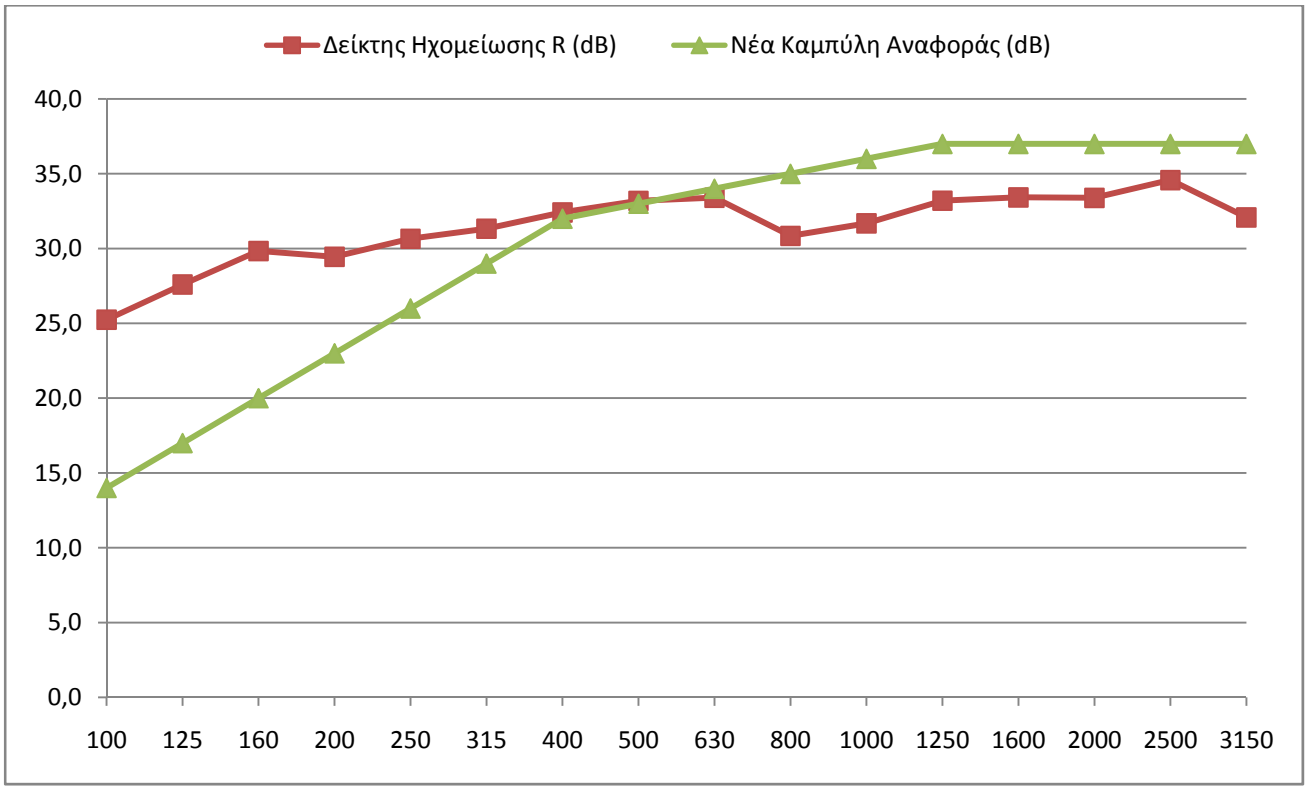
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (θέση 1) (dB)**
100	25,24
125	27,60
160	29,84
200	29,45
250	30,65
315	31,33
400	32,42
500	33,19
630	33,40
800	30,85
1000	31,69
1250	33,20
1600	33,42
2000	33,39
2500	34,58
3150	32,08

Πίνακας 13: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 1*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log(S/A)$



Διάγραμμα 4: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 1*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,W}$= 33dB

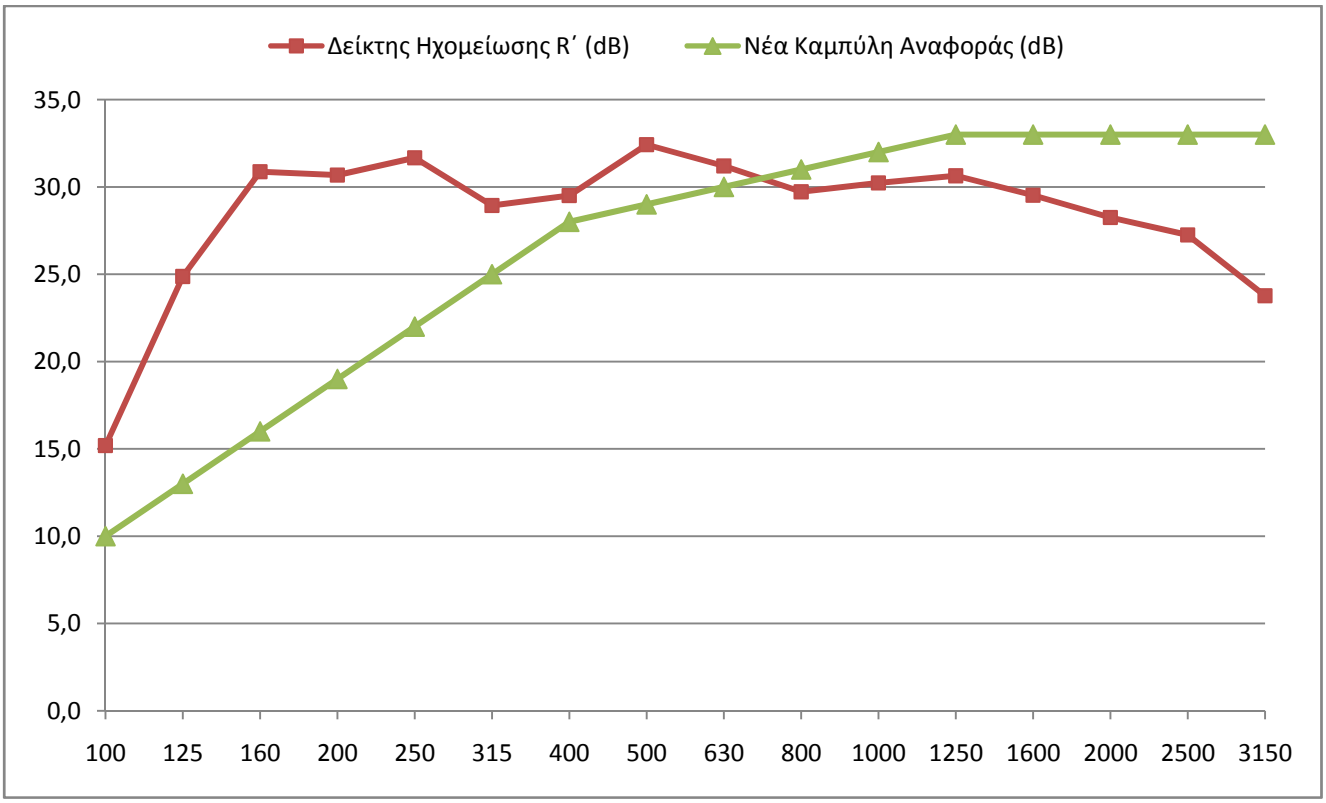
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (Θέση 2) (dB)**
100	15,2
125	24,9
160	30,9
200	30,7
250	31,7
315	28,9
400	29,5
500	32,4
630	31,2
800	29,7
1000	30,2
1250	30,6
1600	29,5
2000	28,3
2500	27,2
3150	23,8

Πίνακας 14: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 2*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log(S/A)$



Διάγραμμα 5: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 2*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,w}$= 29dB

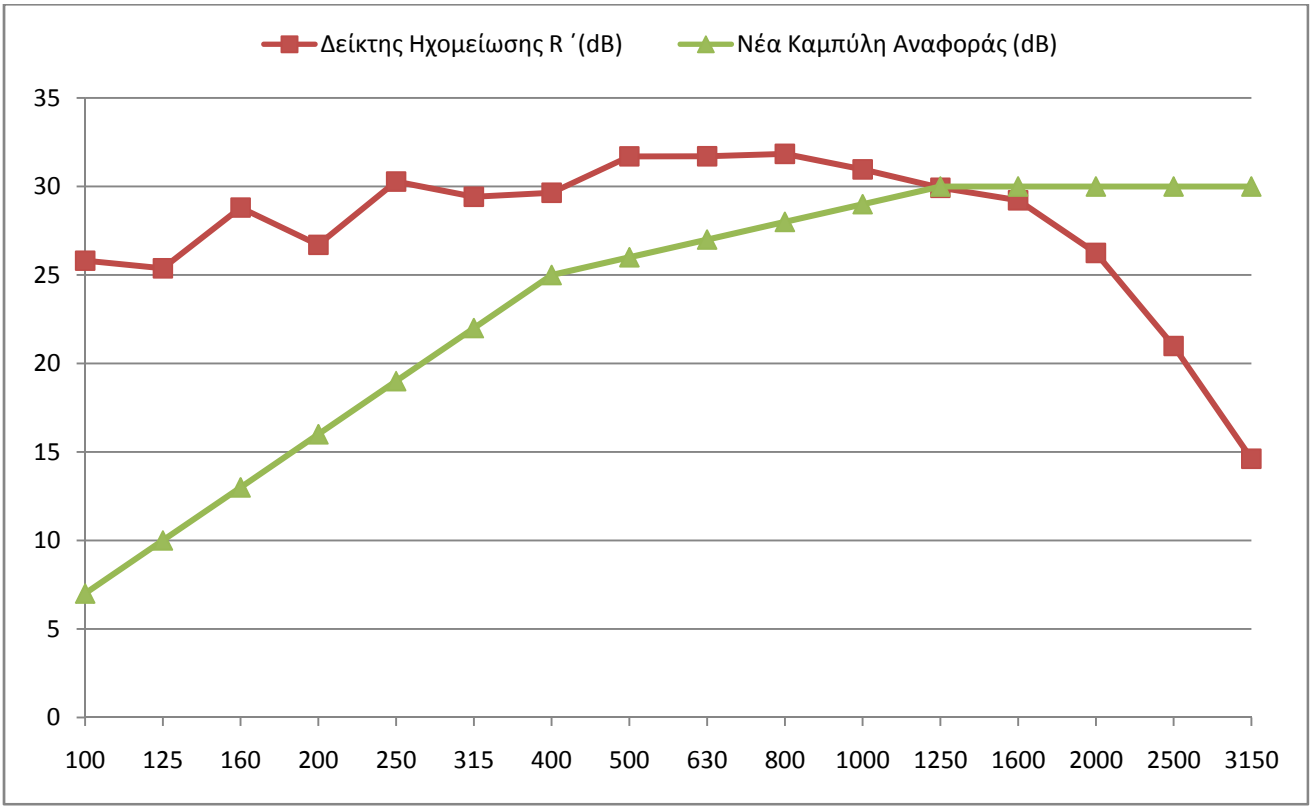
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (Θέση 3) (dB)**
100	25,8
125	25,4
160	28,8
200	26,7
250	30,3
315	29,4
400	29,6
500	31,7
630	31,7
800	31,8
1000	31,0
1250	29,9
1600	29,2
2000	26,2
2500	21,0
3150	14,6

Πίνακας 15: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 3*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log(S/A)$



Διάγραμμα 6: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης R΄, Θέση 3*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,w}$= 26dB

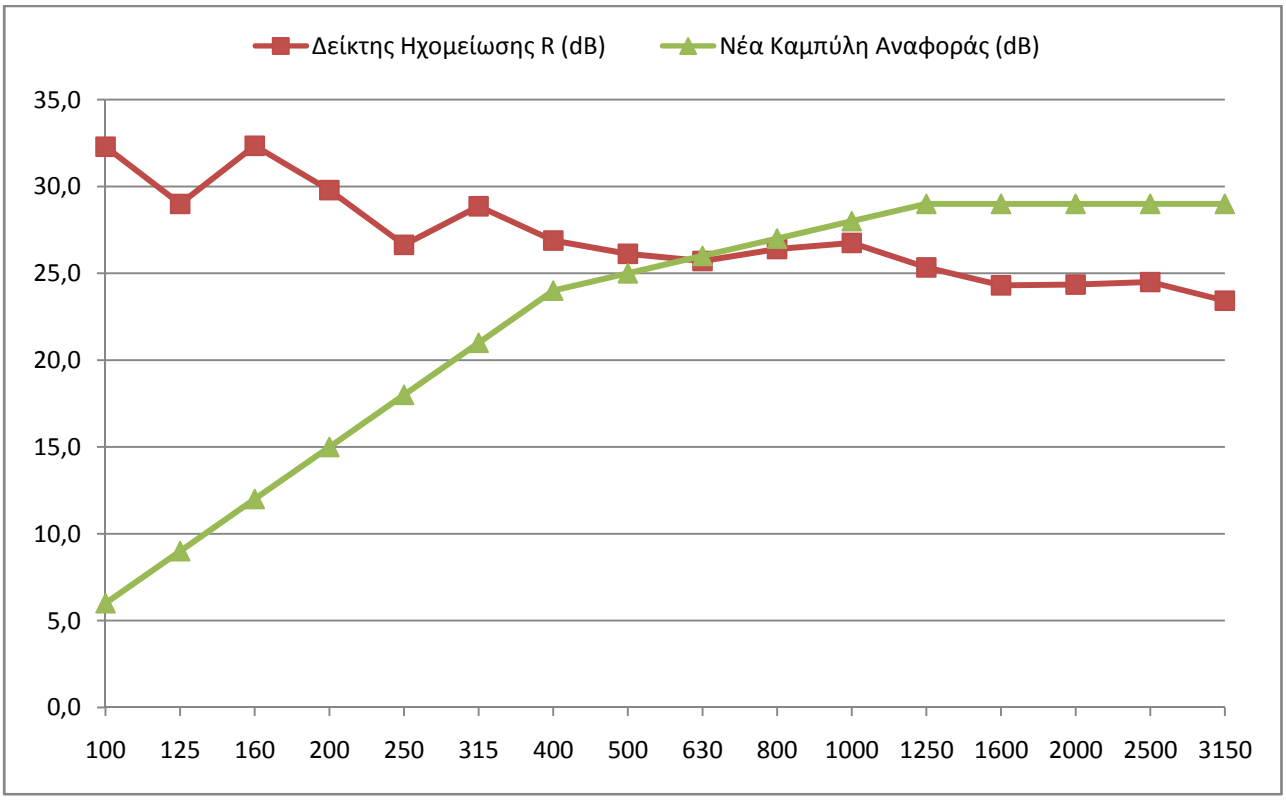
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (Θέση 4) (dB)**
100	32,3
125	29,0
160	32,3
200	29,8
250	26,6
315	28,9
400	26,9
500	26,1
630	25,7
800	26,4
1000	26,8
1250	25,3
1600	24,3
2000	24,4
2500	24,5
3150	23,4

Πίνακας 16: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Β, Θέση 4*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log (S/A)$



Διάγραμμα 7: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Θέση 4*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,w}$= 25dB

Συχνότητα f (Hz)	Dtr,2m,n (dB)
100	11,64
125	17,07
160	20,86
200	19,31
250	19,70
315	20,06
400	19,57
500	20,07
630	19,68
800	19,62
1000	19,84
1250	19,04
1600	18,15
2000	17,23
2500	14,77
3150	9,66

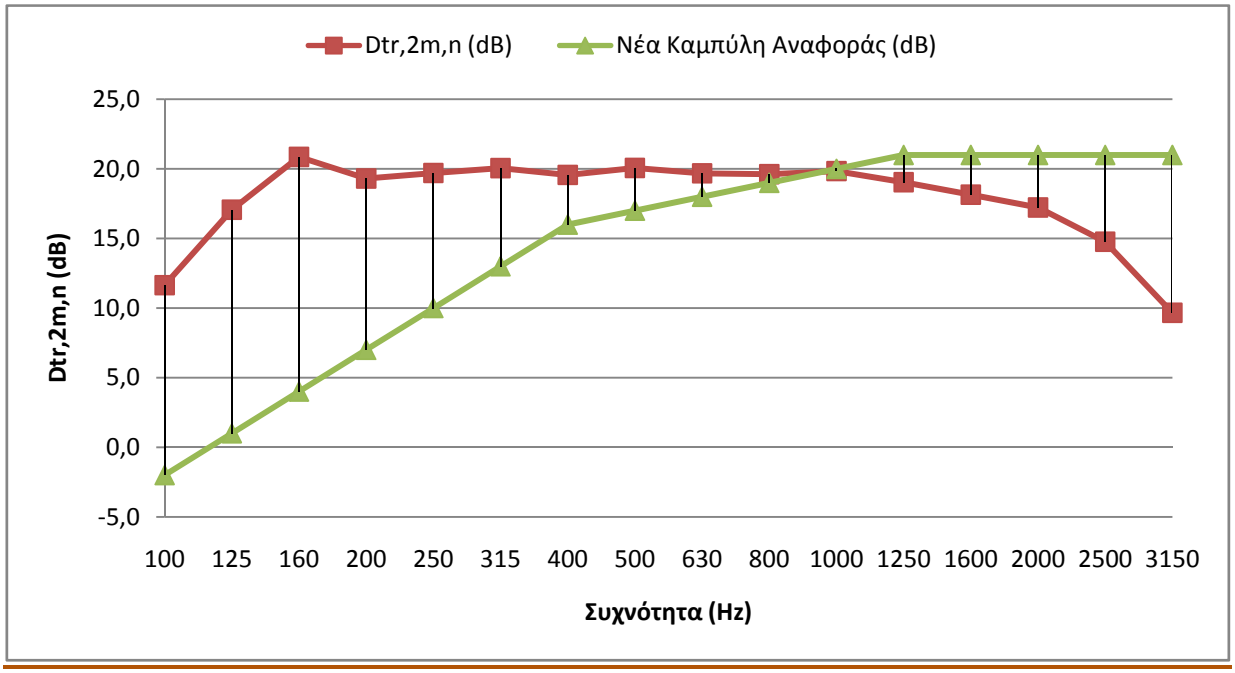
Πίνακας 17: *Κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης Κτιρίου Β*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

D tr,2m,n : Κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης

Όπου: D tr,2m,n = $L_1 - L_2 + 10\log(A/A_o)$

$A_o = 10m^2$



Διάγραμμα 8:*Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dtr,2m,n*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ

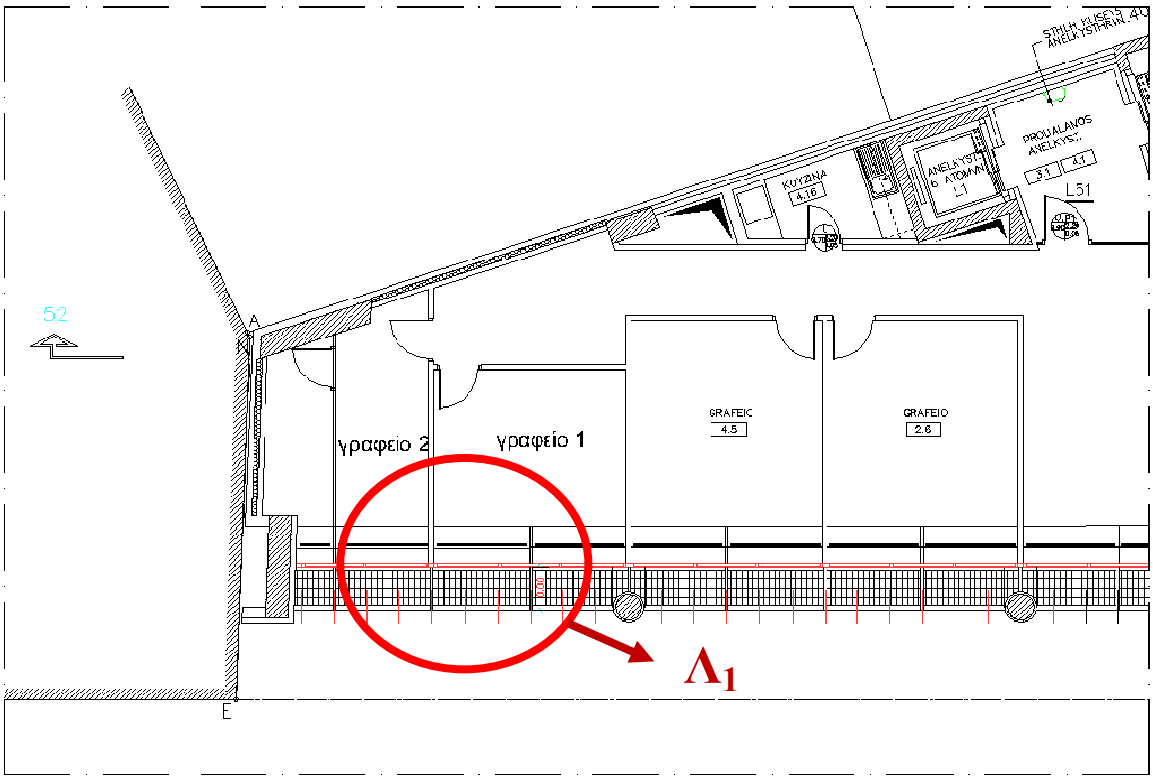
Dtr,2m,n,w(C,Ctr)= 17(-1,1)dB

7.4 ΚΤΙΡΙΟ Γ

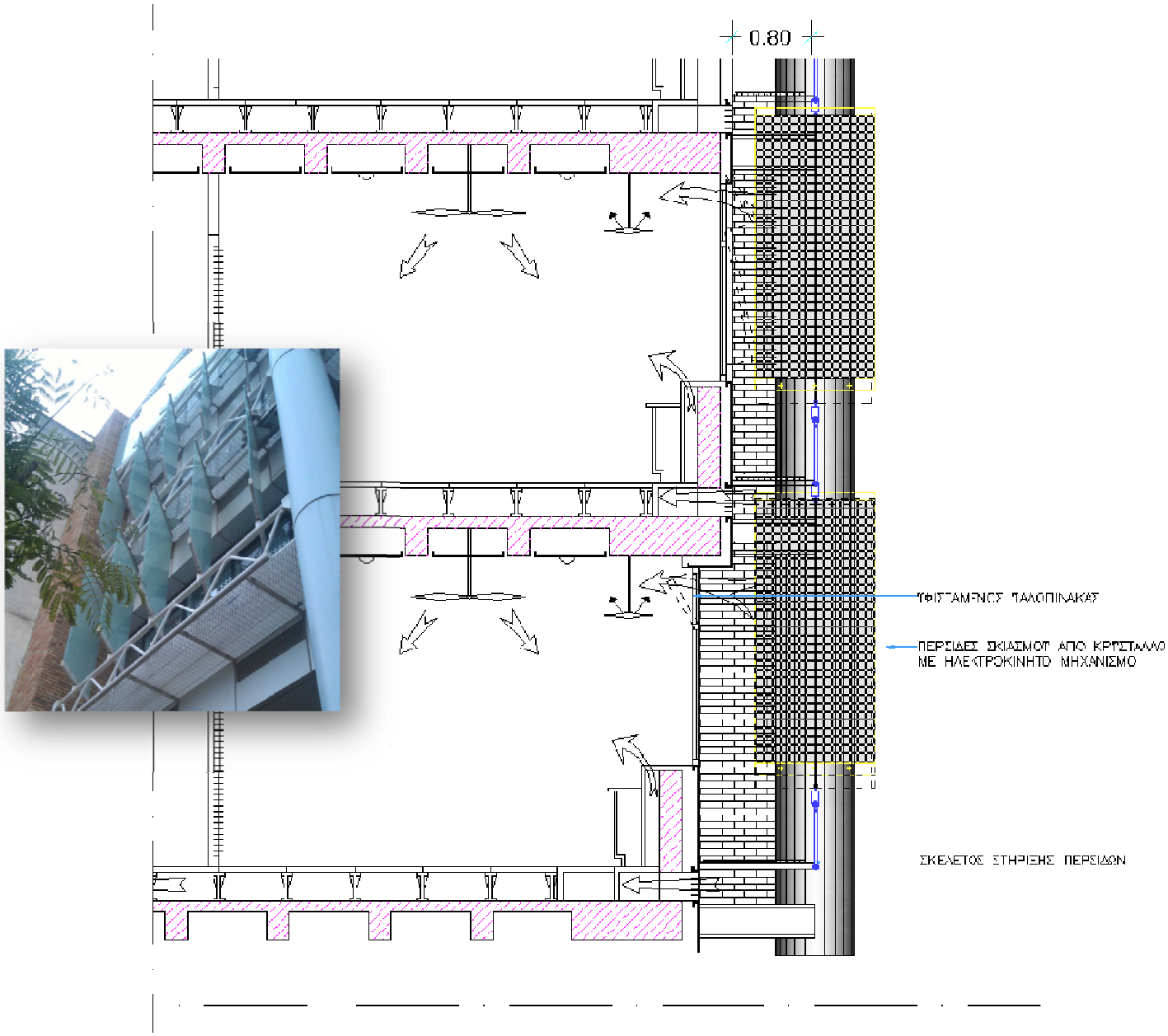
7.4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΕΛΥΦΗΣ ΟΨΗΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Γ

Κτίριο: Κτίριο γραφείων του υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Ε/Π Ενίσχυσης της Προσελασιμότητας (ΕΥΔ/ΕΠ-ΕΠ),
Θέση: Οδός Κόνιαρη 15, Αθήνα
Προσανατολισμός όψεων: Ανατολική όψη
Κατασκευή:

- Διπλοί υαλοπίνακες 4/12/4 (κατά προσέγγιση)
- Εσωτερικό διάκενο 0.80εκ., με σταθερά κιγκλιδωμάτα με οριζόντιες λευκές μεταλλικές εσχάρες
- Περσίδες σκιασμού με διπλούς ελασματοποιημένους υαλοπίνακες συνολικού πάχους 10mm (περιστρέφονται περί κατακόρυφου άξονα)



Εικόνα 83: Κάτοψη κτιρίου Γ



Εικόνα 84: Οριζόντια Τομή κτιρίου Γ, τυπική λεπτομέρεια επένδυσης όψης $Λ_1$

7.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ Γ

Τα αποτελέσματα του πειράματος δίνονται στις ζώνες συχνοτήτων από 100 Hz μέχρι 3150Hz σε πίνακα και διάγραμμα. Στη συνέχεια γίνεται η αξιολόγηση του Φαινόμενου Δείκτη Ηχομείωσης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 2 σημεία, στο γραφείο 1 και στο γραφείο 2.

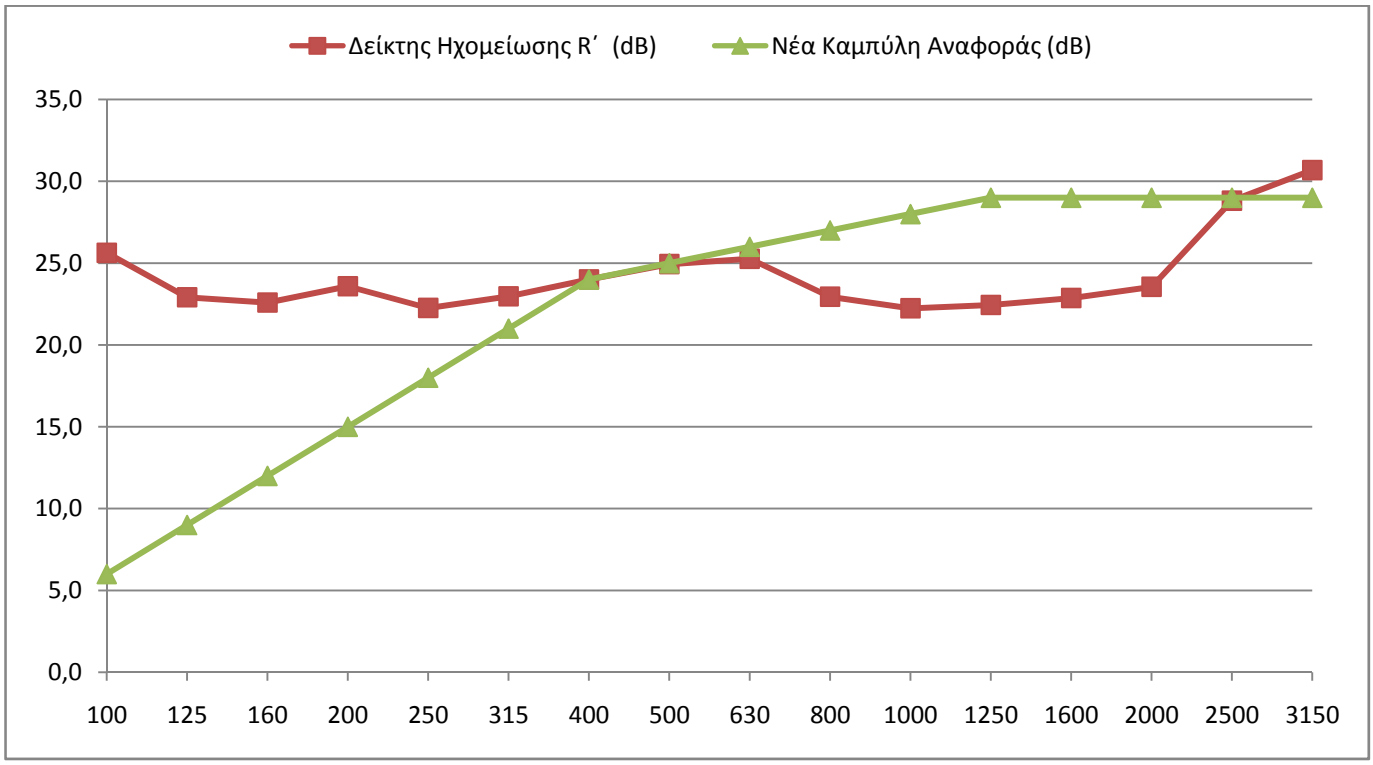
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (Γραφείο 1) (dB)**
100	25,6
125	22,9
160	22,6
200	23,6
250	22,3
315	23,0
400	24,0
500	24,9
630	25,3
800	22,9
1000	22,2
1250	22,4
1600	22,9
2000	23,6
2500	28,8
3150	30,7

Πίνακας 18: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Γ, Γραφείο 1*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log (S/A)$



Διάγραμμα 9: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Γραφείο 1*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,w}$= 25dB

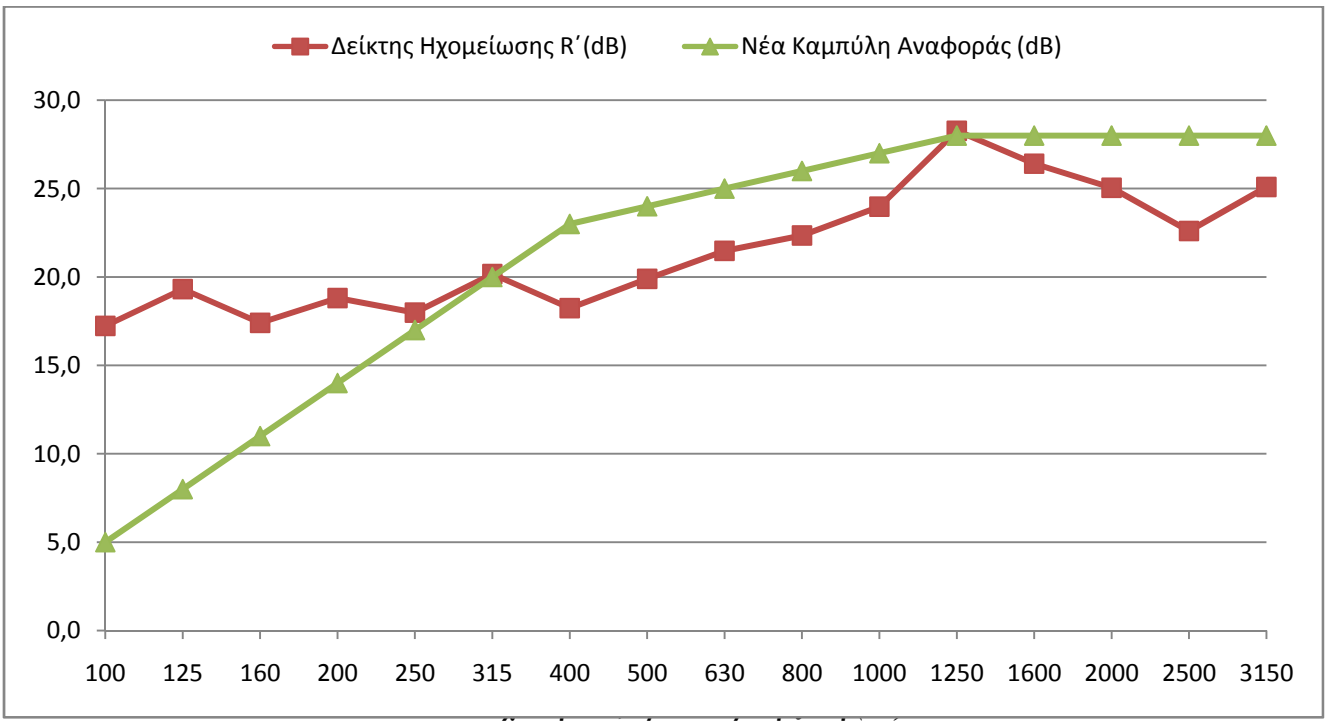
Συχνότητα f (Hz)	**Δείκτης Ηχομείωσης R_{tr} (Γραφείο 2)(dB)**
100	17,2
125	19,3
160	17,4
200	18,8
250	18,0
315	20,2
400	18,2
500	19,9
630	21,5
800	22,4
1000	24,0
1250	28,3
1600	26,4
2000	25,0
2500	22,6
3150	25,1

Πίνακας 19: *Δείκτης ηχομείωσης Κτιρίου Γ, Γραφείο 2*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

R_{tr} : Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης

Όπου: $R_{tr} = L_1 - L_2 + 10\log(S/A)$



Διάγραμμα 10: *Φαινόμενος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr, Γραφείο 2*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

$Rtr_{,W}$= 24dB

Συχνότητα f (Hz)	Dtr,2m,n (dB)
100	20,69
125	21,48
160	20,11
200	21,39
250	20,40
315	22,01
400	21,11
500	22,56
630	23,71
800	23,11
1000	23,29
1250	24,44
1600	24,42
2000	24,53
2500	25,59
3150	27,92

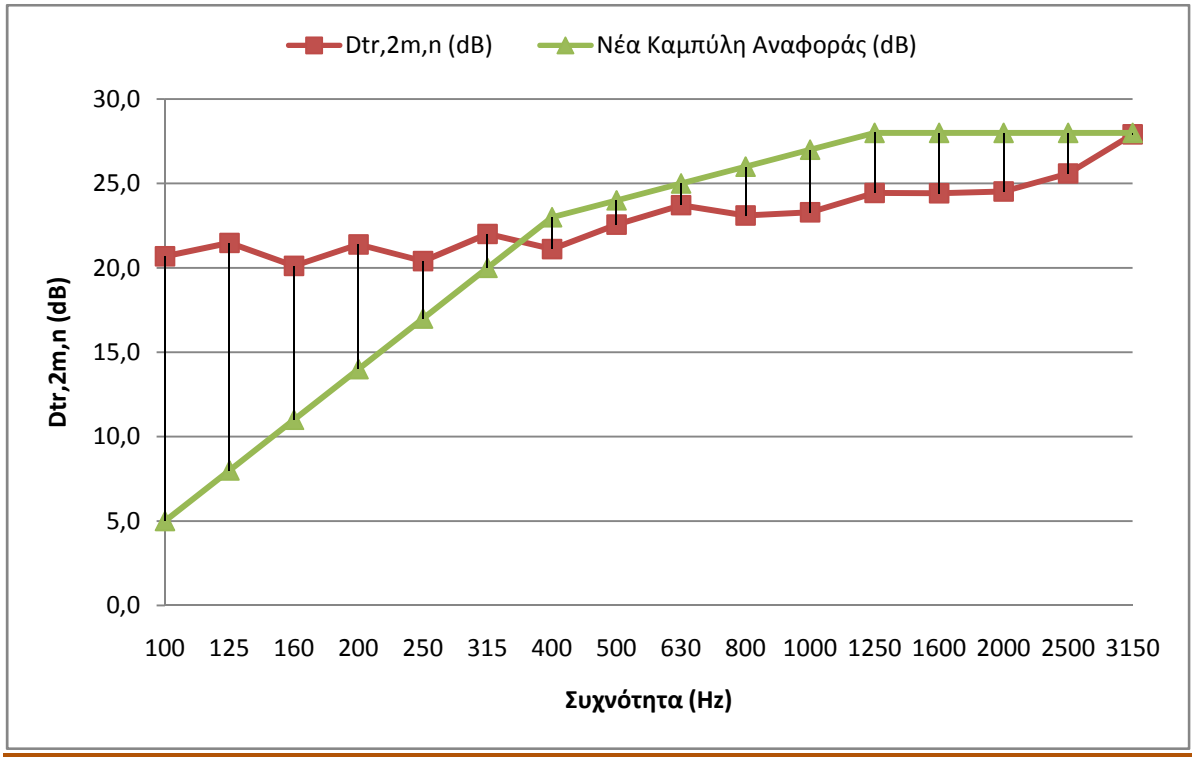
Πίνακας 20: *Κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης Κτιρίου Γ*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

D tr,2m,n : Κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης

Όπου: D tr,2m,n = $L_1 - L_2 + 10\log(A/A_o)$

$A_o = 10m^2$



Διάγραμμα 11:*Τυποποιημένη διαφορά στάθμης Dtr,2m,n*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ

Dtr,2m,n,w(C,Ctr)= 24(0,-1)dB

8. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ

8.1 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΡΙΤΟΟΚΤΑΒΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΕ ΟΚΤΑΒΙΚΗ

Οι μετρήσεις της ισχύς της ανθρώπινης φωνής δίνονται σε οκτάβες, διότι δεν έχει νόημα η περαιτέρω ανάλυσή της σε τριτοοκτάβες. Για το λόγω αυτό θα πρέπει να μετατρέψουμε τις μετρήσεις μας από τριτοοκταβική σε οκταβική ζώνη. Η διαδικασία αυτή έχει ως εξής : α) για τον φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης παίρνουμε τον μέσο όρο των αποτελεσμάτων των συχνοτήτων της τριτοοκταβικής ζώνης που αντιστοιχούν στην οκταβική ζώνη. Δηλαδή, οι τριτοοκταβικές ζώνες των 100Hz,125Hz και 160Hz, αντιστοιχούν στην οκταβική ζώνη των 125Hz ομοίως των 200 Hz, 250 Hz και 315Hz, αντιστοιχούν στην οκταβική ζώνη των 250Hz κ.τ.λ. β) για τον χρόνο αντήχησης όμοια με τον φαινόμενο δείκτη ηχομείωσης παίρνουμε τον μέσο όρο. Και γ) για τον θόρυβο βάθους προσθέτουμε στάθμες του ήχου σε dB.

8.2 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΘΟΡΥΒΟΥ (NC)

Με την απαίτηση καλών συνθηκών ακουστικής (πίνακας 6) για μεγάλα γραφεία, οι απαιτούμενες καλές συνθήκες ακουστικής είναι οι αποδεκτές τιμές NC 35-40. Στα καταστήματα με χώρους με μηχανήματα γραφείου οι αποδεκτές τιμές είναι NC 40-45. Το κτίριο Α και το κτίριο Γ ανήκουν στη πρώτη κατηγορία και το κτίριο Β ανήκει στη δεύτερη κατηγορία. Εφαρμόζουμε λοιπόν το κριτήριο θορύβου ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία.

Για να αξιολογήσουμε την μετρηθείσα ηχομονωτική απόδοση των κουφωμάτων, σε σχέση αφενός με τον αστικό κυκλοφοριακό θόρυβο σύγχρονων ελληνικών πόλεων και αφετέρου σε σχέση με το είδος χρήσης των χώρων διαβίωσης διεξάγουμε τους κάτωθι υπολογιστικούς προσδιορισμούς.

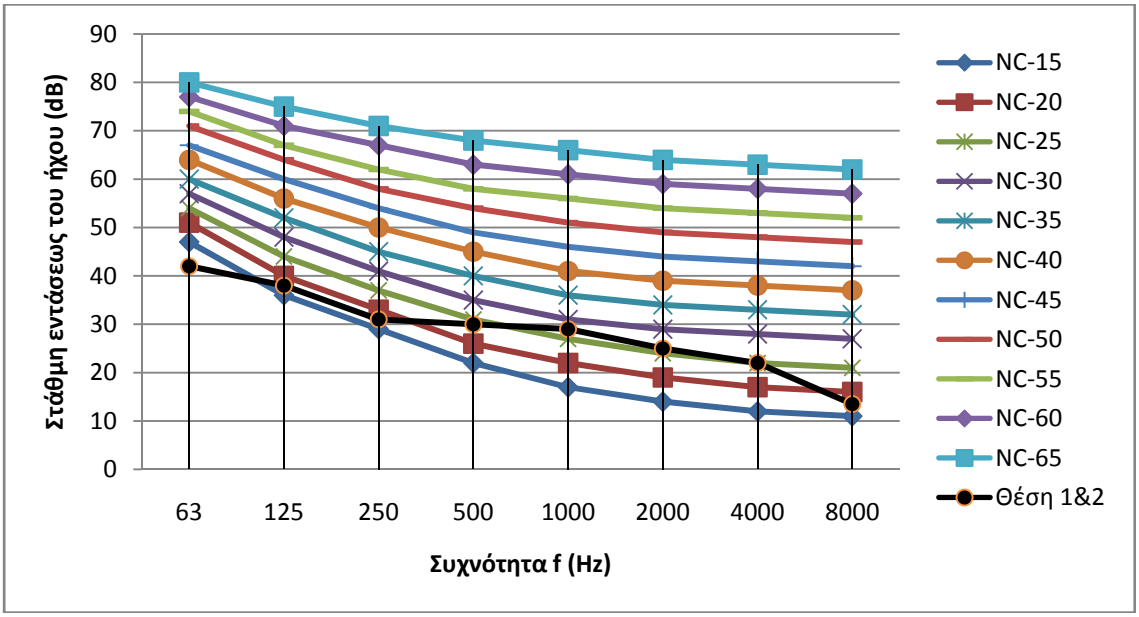
Τοποθετούμε τις μετρήσεις του εσωτερικού θορύβου που προσδιορίσαμε συναρτήσει της συχνότητας, έτσι ώστε να βρούμε την καμπύλη, που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χώρο και είναι αυτή με τη χαμηλότερη τιμή, την οποία δεν ξεπερνά το φάσμα θορύβου βάθους (εικόνα 48). Έπειτα, συγκρίνουμε την τιμή NC στο χώρο με την αποδεκτή τιμή θορύβου, για να διαπιστώσουμε αν την υπερβαίνει ή όχι.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται παρακάτω για κάθε σημείο που μετρήθηκε ο εσωτερικός θόρυβος σε κάθε κτίριο ξεχωριστά.

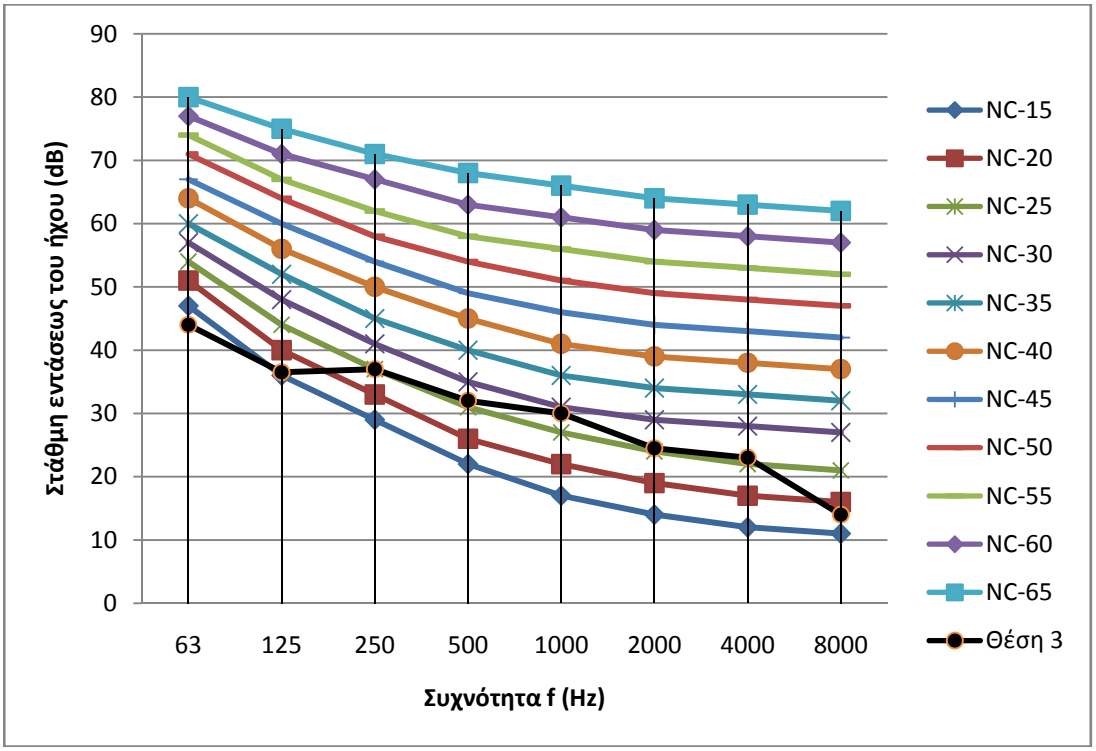
8.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ Α

Συχνότητα f (Hz)	*Θέση 1&2*		*Θέση 3*	
	L_2		L_2	
	1/3 oct	**1/1 oct**	**1/3 oct**	**1/1 oct**
50	37,1	42	32,8	44
63	38,7		42,8	
80	36,5		37,6	
100	32,7	38	32,6	36,5
125	34,3		32,0	
160	32,5		30,4	
200	27,2	31	34,7	37
250	26,2		32,3	
315	25,9		28,3	
400	22,7	30	27,4	32
500	27,3		27,1	
630	25,1		26,7	
800	26,1	29	26,9	30
1000	20,5		26,0	
1250	24,6		21,4	
1600	20,6	25	19,7	24,5
2000	20,5		19,9	
2500	19,3		19,4	
3150	17,7	22	17,7	23
4000	17,9		20,3	
5000	17,2		17,1	
6300	8,4	13,5	6,9	14
8000	10,2		11,7	
10000	6,7		8,9	

Πίνακας 21: *Αποτελέσματα εσωτερικού θορύβου συναρτήσει της συχνότητας σε 1/1 οκτάβας στο κτίριο Α*



Διάγραμμα12: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Α, Θέση 1&2*



Διάγραμμα 13: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Α, Θέση 3*

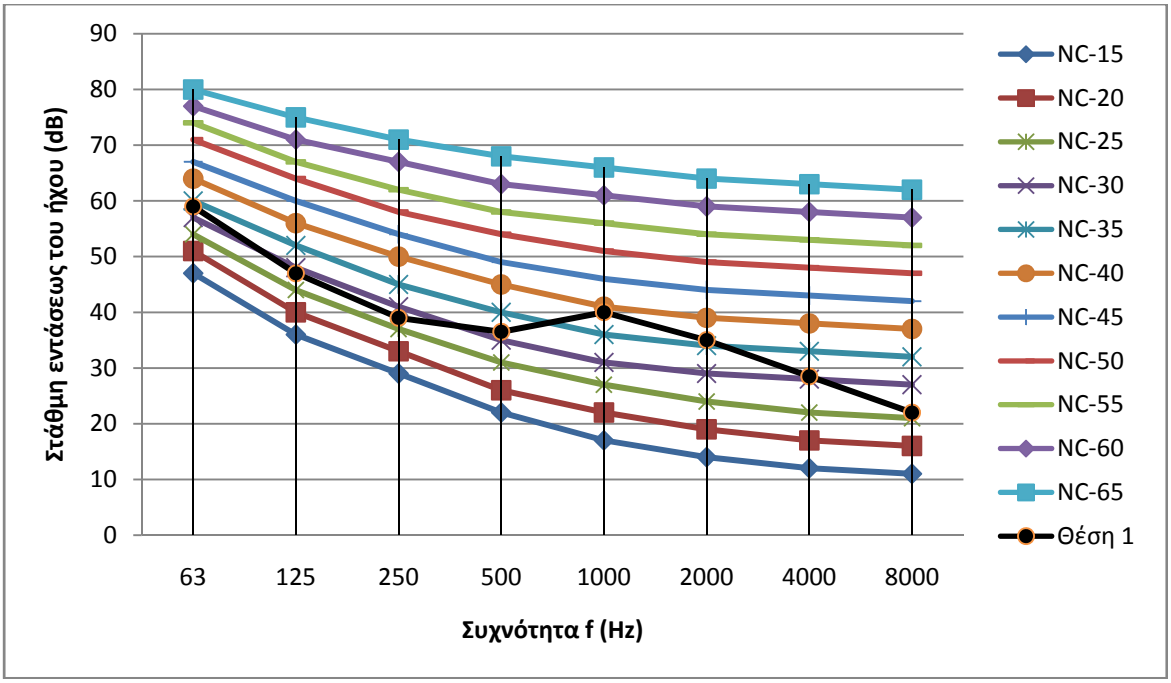
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η καμπύλη του θορύβου στην αίθουσα στη Θέση 1&2 και στη Θέση 3 βρίσκεται κάτω από τα όρια του κριτηρίου θορύβου NC 30-35, επομένως το κριτήριο του εσωτερικού θορύβου στην αίθουσα του κτιρίου Α, *πληρείται*.

8.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ Β

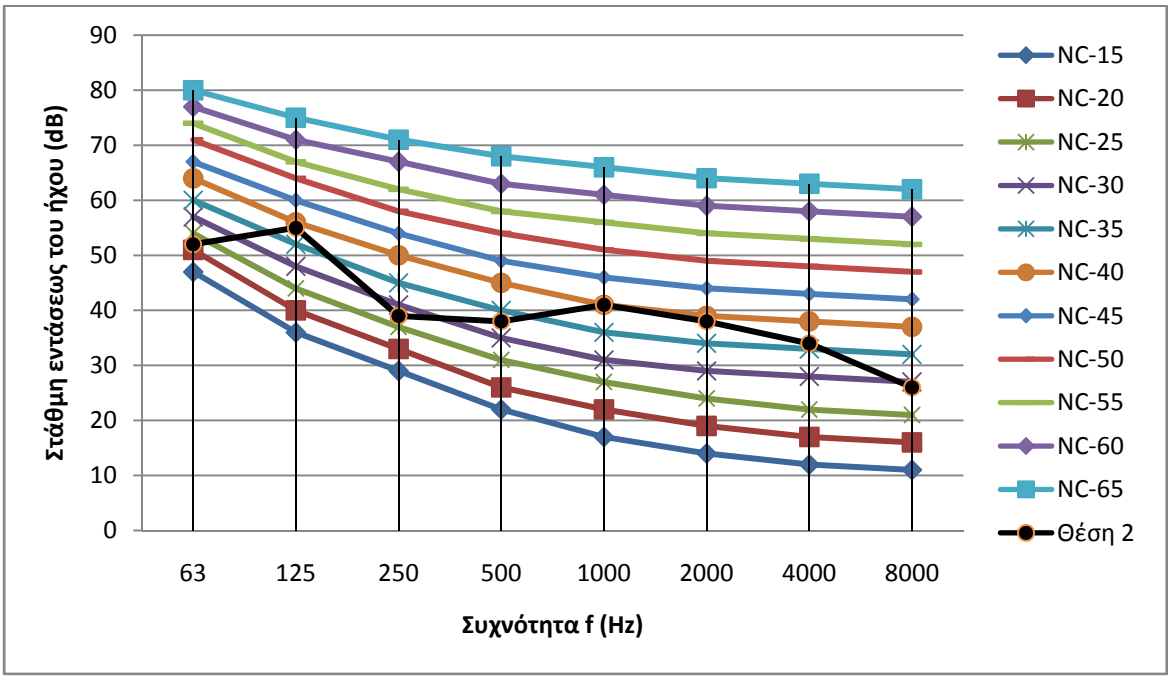
Συχνότητα f (Hz)	Θέση 1		Θέση 2		Θέση 3		Θέση 4	
	L_2		L_2		L_2		L_2	
	1/3 oct	1/1 oct	1/3 oct	1/1 oct	1/3 oct	1/1 oct	1/3 oct	1/1 oct
50	54,5	59	42,0	52	47,1	52	39,2	49,5
63	56,6		49,7		48,8		46,9	
80	50,9		47,3		46,7		45,1	
100	44,8	47	54,4	55	41,7	45	39,6	43,5
125	41,2		42,8		40,8		40,2	
160	38,5		38,0		36,1		35,2	
200	36,3	39	35,0	39	34,3	36	35,1	39
250	33,2		32,2		29,1		35,3	
315	32,9		34,1		27,6		31,2	
400	31,7	36,5	34,0	38	26,8	30	31,6	36
500	31,5		32,1		23,9		31,7	
630	32,0		33,3		24,2		31,5	
800	35,9	40	36,6	41	26,5	34	31,5	38
1000	37,5		38,4		29,6		33,2	
1250	35,1		36,8		30,0		34,1	

1600	32,5	35	35,4	38	27,8	33	32,4	35
2000	30,0		34,3		28,1		29,6	
2500	25,1		31,7		29,5		25,8	
3150	24,3	28,5	32,5	34	32,6	40,5	23,8	28
4000	24,2		27,2		36,1		22,6	
5000	22,5		25,9		37,4		23,0	
6300	19,8	22	24,1	26	38,2	40,5	20,7	25
8000	16,1		20,5		34,5		18,5	
10000	12,8		18,4		32,9		21,3	

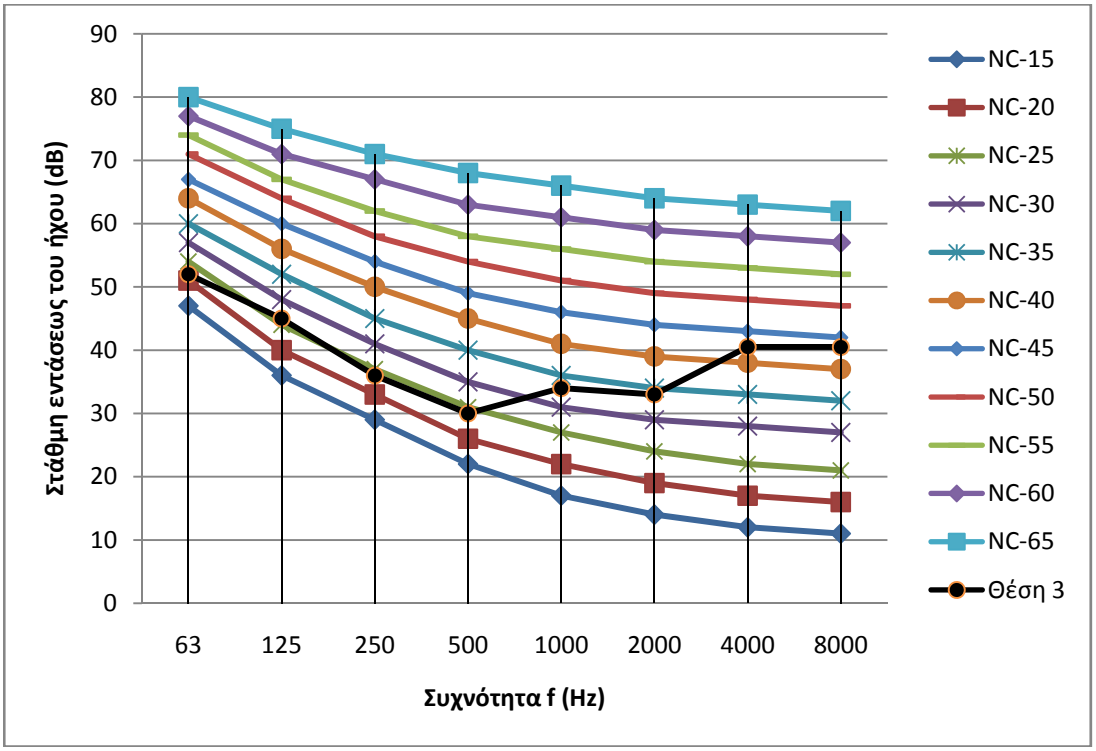
Πίνακας 22: *Αποτελέσματα εσωτερικού θορύβου συναρτήσει της συχνότητας σε 1/1 οκτάβας στο κτίριο Β*



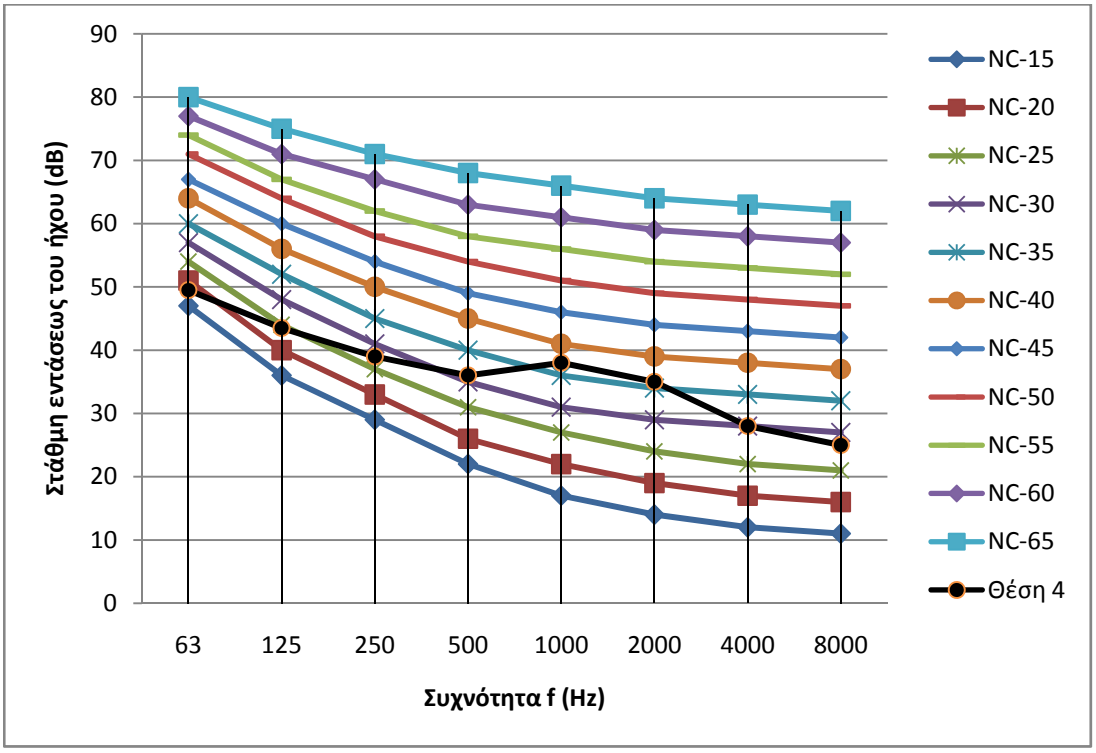
Διάγραμμα 14: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 1*



Διάγραμμα 15: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 2*



Διάγραμμα 16: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 3*



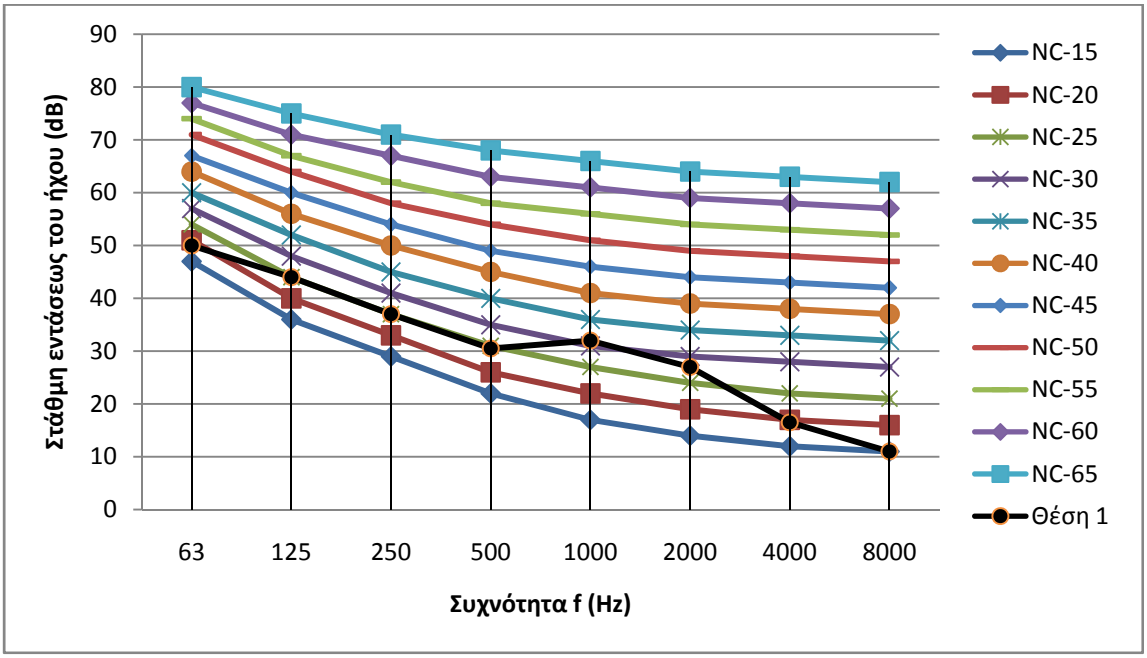
Διάγραμμα 17: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Β, Θέση 4*

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η καμπύλη του θορύβου σε όλες τις θέσεις βρίσκονται κάτω από τα όρια του κριτηρίου θορύβου NC45. Στο κτίριο λειτουργεί κατάστημα με αρκετά εσωτερικά μηχανήματα, τηλεοράσεις, ηλεκτρικές συσκευές, Η/Υ κ.α. και οι επιτρεπτές τιμές θορύβου είναι NC40-45. Επομένως το κριτήριο του εσωτερικού θορύβου στην αίθουσα του κτιρίου Β, *πληρείται.*

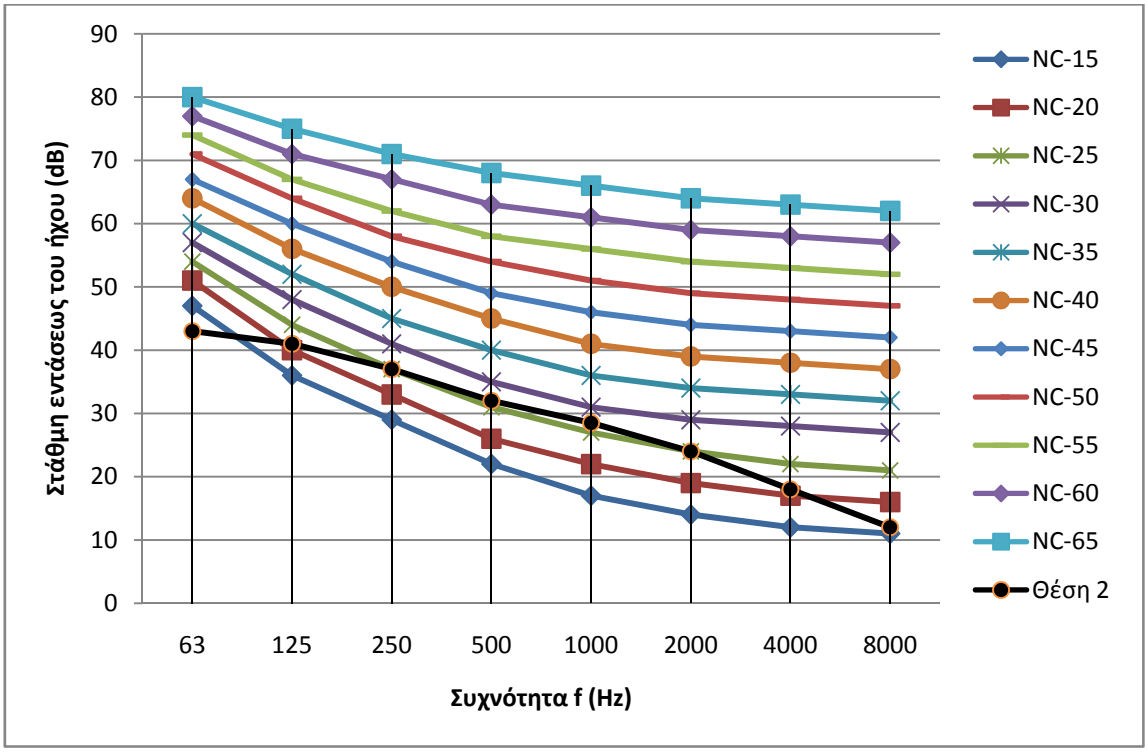
8.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ Γ

Συχνότητα f (Hz)	Θέση 1		Θέση 2	
	L_2		L_2	
	1/3 oct	1/1 oct	1/3 oct	1/1 oct
50	46,5	50	39,9	43
63	43,1		37,3	
80	44,8		38,4	
100	40,2	44	35,5	41
125	38,2		35,3	
160	38,0		37,0	
200	31,0	37	32,9	37
250	33,6		33,1	
315	30,6		29,6	
400	27,3	30,5	28,5	32
500	25,6		26,9	
630	24,2		25,5	
800	27,1	32	26,0	28,5
1000	27,7		24,0	
1250	26,7		18,4	
1600	24,4	27	19,1	24
2000	22,5		18,7	
2500	15,1		19,0	
3150	11,9	16,5	16,0	18
4000	12,8		10,0	
5000	10,3		10,4	
6300	0,6	11	8,7	12
8000	9,8		7,2	
10000	2,9		6,0	

Πίνακας 23: *Αποτελέσματα εσωτερικού θορύβου συναρτήσει της συχνότητας σε 1/1 οκτάβας στο κτίριο Γ*



Διάγραμμα 18: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Γ, Θέση 1*



Διάγραμμα 19: *Καμπύλες κριτηρίων θορύβου NC, Κτίριο Γ, Θέση 2*

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η καμπύλη του θορύβου στο γραφείο 1 στη Θέση 1 βρίσκεται κάτω από τα όρια του κριτηρίου θορύβου NC 35, και στο γραφείο 2 στη θέση 2 βρίσκεται κάτω από τα όρια του NC30. Το κτίριο στεγάζει γραφεία του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και οι απαιτούμενες καλές συνθήκες ακουστικής είναι οι αποδεκτές τιμές NC 35-40. Επομένως τα κριτήρια του εσωτερικού θορύβου στη θέση 1 και στη θέση 2, *πληρούνται.*

8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΥΑΛΙΝΩΝ ΔΙΚΕΛΥΦΩΝ ΟΨΕΩΝ

Θα προσπαθήσουμε να προσδιορίσουμε τις θεωρητικές τιμές ηχομόνωσης των κατασκευών σύμφωνα με το νόμο της μάζας για τις περιπτώσεις απουσίας συζεύξεων μεταξύ των υάλων.

Για το νόμο **της μάζας για μονά χωρίσματα** ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$T.L = 20\log mf - 48 (dB)$$

Όπου:
f: η συχνότητα
m:επιφανειακό βάρος kg/m^2
Για το νόμο **της μάζας για διπλά χωρίσματα** ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$T.L = TL_1 + TL_2 - 20\log\left(\frac{k}{fd}\right) (dB)$$

Όπου:
k: c/2π
c: η ταχύτητα του ήχου στον αέρα = 340 m/s (17°C)
d: το πάχος του διακένου
f: η συχνότητα

Παραδοχές:

1)Πετάσματα άπειρου μεγέθους

i)Δεν υπάρχουν συνδέσεις μεταξύ των δύο στρωμάτων

ii)Απουσία συντονισμών κοιλότητας

2)Κάθετη πρόσπτωση ηχητικών κυμάτων

Για τις κατασκευές αυτές κάνουμε επίσης την παραδοχή ότι, το εξωτερικό κέλυφος αποτελεί σύνθετο πέτασμα αποτελούμενο από ύαλο και κενό.

Όπως είναι γνωστό, οι **συντελεστές ηχοπερατότητας (transmition coefficient)** των επιμέρους στοιχείων ενός σύνθετου διαχωριστικού πετάσματος συνδέονται μεταξύ τους και με τον συντελεστή ολόκληρου του σύνθετου πετάσματος με τον παρακάτω τύπο :

$$\mathcal{T}_{av} = \frac{\mathcal{T}_1 \, s_1 + \mathcal{T}_2 \, s_2}{s_1 + s_2}$$

Όπου

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

T_1, T_2: οι 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 **δείκτη ηχομείωσης (transmition loss)** και τον **συντελεστή ηχοπερατότητας ενός στοιχείου (transmition coefficient)** ενός στοιχείου είναι ο εξής:

$$T.L = R_W = 10 \log \frac{1}{\mathcal{T}}$$

Όπου

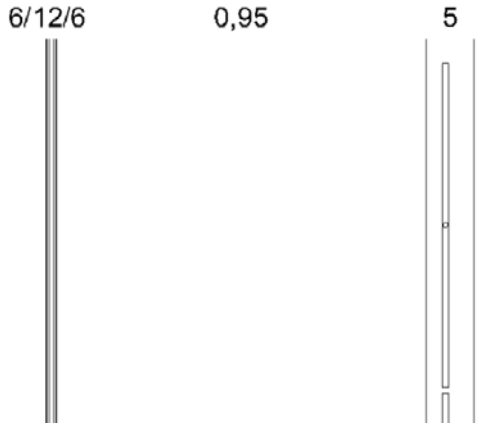
T.L= R :ο δείκτης ηχομείωσης του στοιχείου

T :ο συντελεστής ηχοπερατότητας του στοιχείου

8.3.1 ΚΤΙΡΙΟ Α

Χαρακτηριστικά Γ.Δ.Ο. ΚΤΙΡΙΟ Α

- Παράθυρα με διπλούς μονωτικούς υαλοπίνακες 6/12/6
- Εσωτερικό διάκενο 0.95 εκ., με διάδρομο μη βατό από γαλβανισμένη σχάρα
- Περσίδες σκιασμού από κρύσταλλο 5mm(περιστρέφονται περί οριζόντιου άξονα)



Εικόνα 85: Οριζόντια Τομή κατασκευής κτιρίου Α

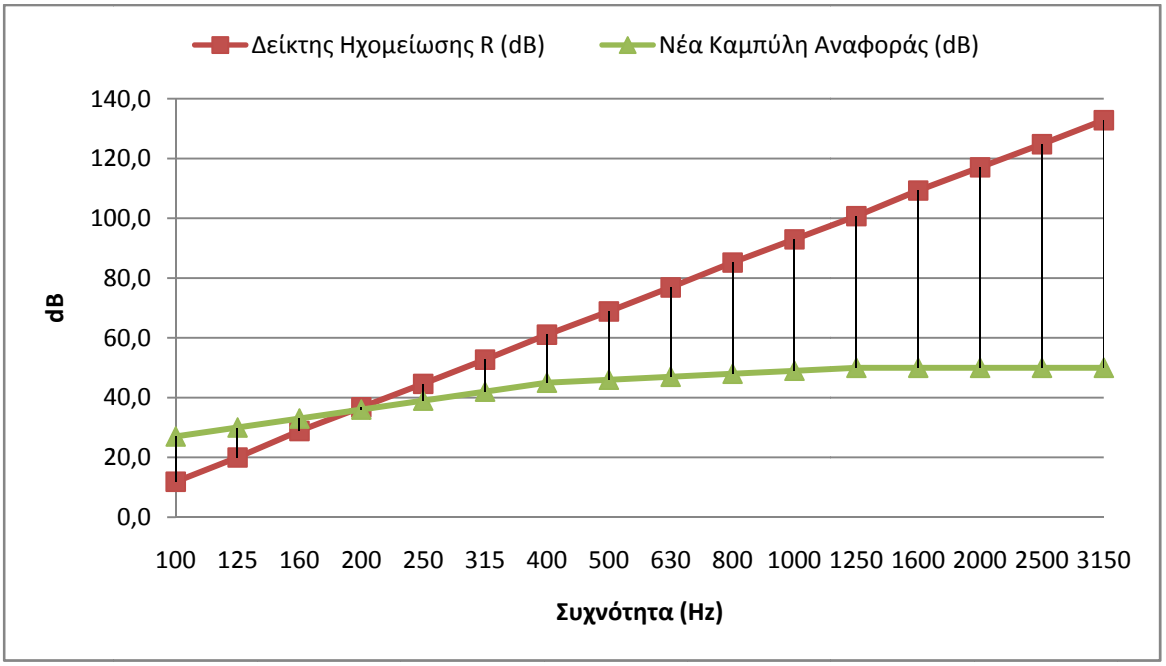
Συχνότητα f (Hz)	TL ΚΟΥΦΩΜΑΤΟΣ 6/12/6	TL ΣΥΝΘΕΤΟΥ 5mm -κενό	TL (dB)
100	-1,36	8,4	11,9
125	4,45	8,7	20,0
160	10,89	9,0	28,8
200	16,70	9,2	36,8
250	22,51	9,3	44,6
315	28,54	9,3	52,7
400	34,76	9,4	61,1
500	40,58	9,4	68,9
630	46,60	9,4	76,9
800	52,82	9,4	85,2
1000	58,64	9,5	93,0
1250	64,45	9,5	100,7
1600	70,89	9,5	109,3
2000	76,70	9,5	117,1
2500	82,51	9,5	124,8
3150	88,54	9,5	132,9

Πίνακας 24: *Δείκτης ηχομείωσης κατασκευής Κτιρίου Α,*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπου: TL= R =TL1 +TL2 -20LOG(k/fd)

TL= R: Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης



Διάγραμμα 20: *Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης*

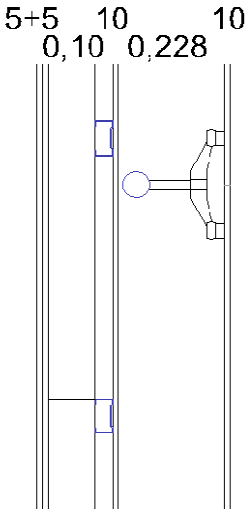
ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΦΙΑΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ

Rw = STC = 46 dB

8.3.2 ΚΤΙΡΙΟ Β

Χαρακτηριστικά Γ.Δ.Ο. ΚΤΙΡΙΟ Β

- Διπλοί υαλοπίνακες πάχους 5+5mm triplex
- Μεταλλικοί ορθοστάτες 4mm
- Βαμμένη τσιμεντοσανίδα πάχους 10mm
- Εσωτερικό διάκενο 0.228 εκ., με εξαρτήματα σημειακής ανάρτησης τετραπλό
- Υαλοπίνακας 10mm



Εικόνα 86: Οριζόντια Τομή κατασκευής κτιρίου Β

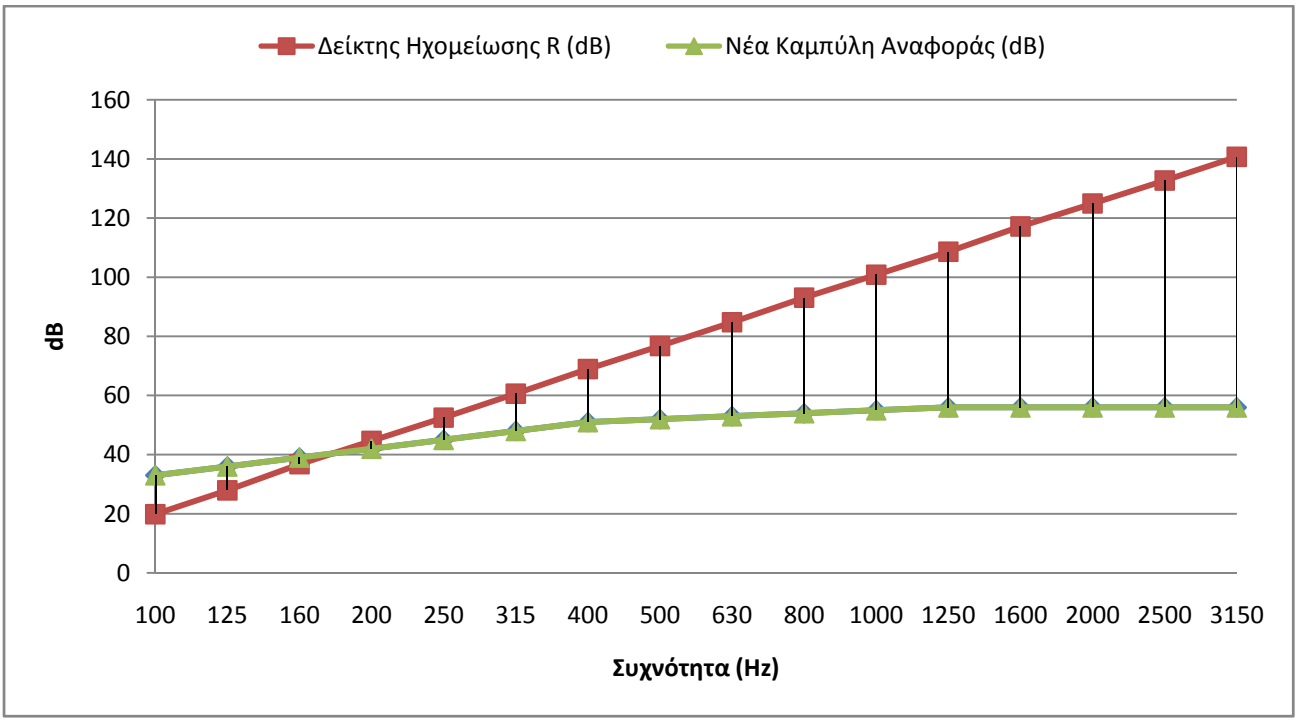
Συχνότητα f (Hz)	TL 5+5triplex	TL 10mm τσιμεντοσανίδα	TL ΣΥΝΘΕΤΟΥ 10mm -κενό	TL (dB)
100	14,3	14,1	13,6	19,9
125	16,2	16,1	13,9	27,9
160	18,4	18,2	14,2	36,8
200	20,3	20,2	14,3	44,7
250	22,2	22,1	14,4	52,5
315	24,2	24,1	14,5	60,6
400	26,3	26,2	14,5	69,0
500	28,3	28,1	14,6	76,7
630	30,3	30,1	14,6	84,8
800	32,3	32,2	14,6	93,1
1000	34,3	34,1	14,6	100,8
1250	36,2	36,1	14,6	108,6
1600	38,4	38,2	14,6	117,2
2000	40,3	40,2	14,6	124,9
2500	42,2	42,1	14,6	132,7
3150	44,2	44,1	14,6	140,7

Πίνακας 25: *Δείκτης ηχομείωσης κατασκευής Κτιρίου Β*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπου: TL= R =TL1 +TL2 -20LOG(k/fd)

TL= R: Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης



Διάγραμμα 21: *Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης*

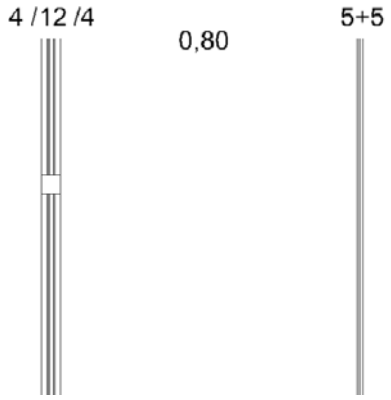
ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ

Rw = STC = 52 dB

8.3.3 ΚΤΙΡΙΟ Γ

Χαρακτηριστικά Γ.Δ.Ο. ΚΤΙΡΙΟ Γ

- Διπλοί υαλοπίνακες 4/12/4
- Εσωτερικό διάκενο 0.80εκ., με σταθερά κιγκλιδωμάτα με οριζόντιες λευκές μεταλλικές εσχάρες
- Περσίδες σκιασμού με διπλούς ελασματοποιημένους υαλοπίνακες συνολικού πάχους 10mm (περιστρέφονται περί κατακόρυφου άξονα)



Εικόνα 87: Οριζόντια Τομή κατασκευής κτιρίου Γ

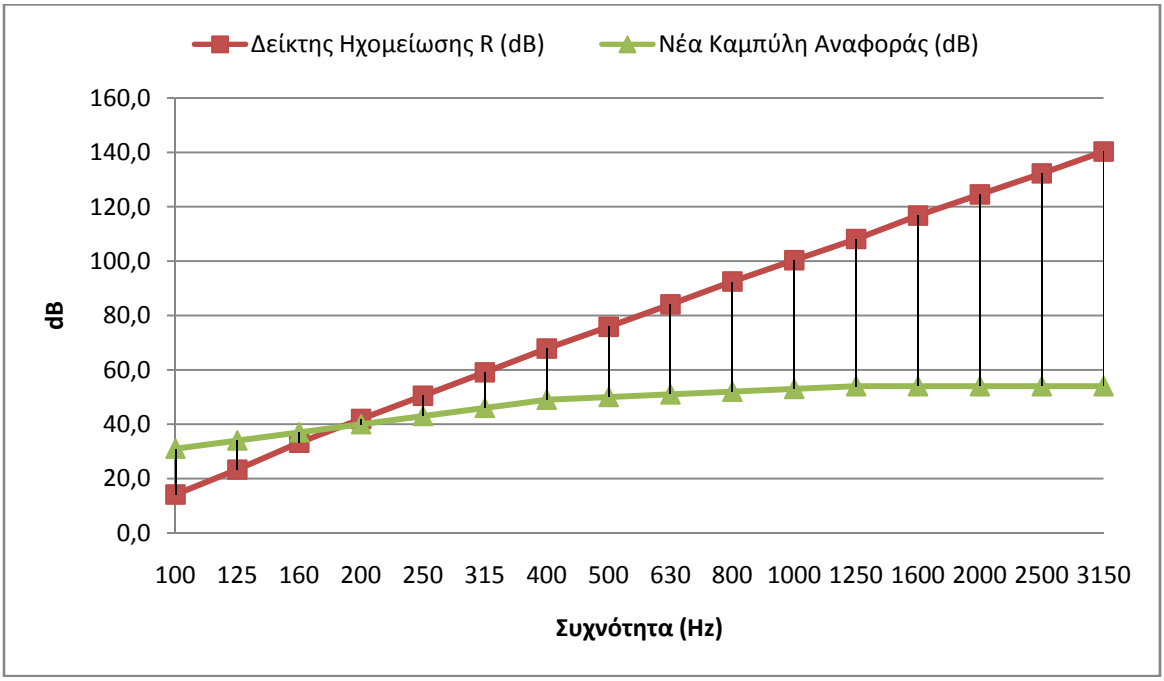
Συχνότητα f (Hz)	TL 4/12/4	TL ΣΥΝΘΕΤΟΥ 5+5mm -κενό	TL (dB)
100	-8,4	19,2	14,1
125	-2,6	20,6	23,3
160	3,8	21,9	33,2
200	9,7	22,9	42,0
250	15,5	23,7	50,5
315	21,5	24,2	59,1
400	27,7	24,7	67,8
500	33,5	25,0	75,9
630	39,6	25,1	84,1
800	45,8	25,3	92,5
1000	51,6	25,4	100,3
1250	57,4	25,4	108,1
1600	63,8	25,4	116,8
2000	69,7	25,5	124,5
2500	75,5	25,5	132,3
3150	81,5	25,5	140,3

Πίνακας 26: *Δείκτης ηχομείωσης κατασκευής Κτιρίου Γ*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Όπου: TL= R =TL1 +TL2 -20LOG(k/fd)

TL= R: Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης



Διάγραμμα 22: *Φαινόμενος Δείκτης ηχομείωσης*

ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ

Rw = STC = 50 dB

Παρατηρείται ότι η ηχομονωτική ικανότητα των δικέλυφων προσόψεων , αυξάνεται όταν δεν υπάρχουν συζεύσεις – ενώσεις μεταξύ των κελυφών. Συγκεκριμένα, η ηχομονωτική ικανότητα ενός διπλού πετάσματος, όπου στην περίπτωση μας διπλό πέτασμα θεωρείται το κούφωμα, μειώνεται στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων λόγω φαινομένων συντονισμού στις ιδιοσυχνότητες των δύο φύλλων.

Στο διάκενο των δύο φύλλων υπάρχει η πιθανότητα να σχηματιστούν στάσιμα κύματα (όσο μεγαλύτερο το διάκενο τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα εμφάνισης στάσιμων κυμάτων) κυρίως στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων, οπότε λόγω συντονισμού προκύπτει μείωση της ηχομόνωσης του διπλού πετάσματος.

Όταν δύο ανεξάρτητα φύλλα του πετάσματος ενωθούν μεταξύ τους π.χ. με καδρόνια, δημιουργείται ηχογέφυρα που μειώνει την ηχομόνωση του πετάσματος.

Για τους παραπάνω λόγους παρατηρείται αύξηση της ηχομονωτικής ικανότητας των κατασκευών, αφού η θεωρητική έλλειψη συζεύξεων μεταξύ των κελυφών, προσδίδει θεαματικά καλύτερη απόδοση ηχομόνωσης.

9. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

		Χαρακτηριστικά Γ.Δ.Ο.	*Όγκος αιθουσών μ^3*	*Εμβαδόν Γ.Δ.Ο μ^2*	*Σταθμισμένος Δείκτης Ηχομείωσης Rtr,w (dB)*	*Dtr,2m,n,w (C,Ctr) (dB)*
Κτίριο Α	Θέση 1&2	• Παράθυρα με διπλούς μονωτικούς υαλοπίνακες 6/12/6 • Εσωτερικό διάκενο 0.95 εκ., με διάδρομο μη βατό από γαλβανισμένη σχάρα • Περσίδες σκιασμού από κρύσταλλο 5mm(περιστρέφονται περί οριζόντιου άξονα)	656,24	41,10	35	29(-1,0)
	Θέση 3			34,29	34	
Κτίριο Β	Θέση 1	• Διπλοί υαλοπίνακες πάχους 5+5mm triplex • Μεταλλικοί ορθοστάτες 4mm • Βαμμένη τσιμεντοσανίδα πάχους 10mm • Εσωτερικό διάκενο 0.228 εκ., με εξαρτήματα σημειακής ανάρτησης τετραπλό • Υαλοπίνακας 10mm	581,10	72,50	33	17(-1,1)
	Θέση 2			72,50	29	
	Θέση 3			101,85	26	
	Θέση 4			101,85	25	
Κτίριο Γ	Θέση 1	• Διπλοί υαλοπίνακες 4/12/4 • Εσωτερικό διάκενο 0.80εκ., με σταθερά κιγκλιδωμάτα με οριζόντιες λευκές μεταλλικές εσχάρες • Περσίδες σκιασμού με διπλούς ελασματοποιημένους υαλοπίνακες συνολικού πάχους 10mm (περιστρέφονται περί κατακόρυφου άξονα)	38,15	10,675	25	24(0,-1)
	Θέση 2		24,58	7,49	24	

Πίνακας 27: *Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων*

9.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ο αυξημένος αστικός θόρυβος σήμερα απαιτεί ολοένα και αυξανόμενες επιδόσεις στις προσόψεις των κτιρίων είτε αυτές αποτελούνται από απλά ή διπλά πετάσματα είτε από κουφώματα. Στη σύγκριση των αποτελεσμάτων, με μετρήσεις άλλων ερευνητών σε κτίρια με γυάλινες δικέλυφες όψεις, δείχνουν μία μείωση της ηχομονωτικής ικανότητας των δικέλυφων όψεων στα κτίρια Α, Β και Γ. Στη συνέχεια αναλύονται οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτές τις διαφορές.

9.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην εκτίμηση της απόδοσης των γυάλινων δικέλυφων όψεων θεωρούμε ότι είναι εκτεθειμένες στις συνήθεις υψηλές στάθμες κυκλοφοριακού θορύβου. Ευνόητο είναι ότι οι ίδιες όψεις αν χρησιμοποιηθούν σε κτίρια π.χ. ήσυχου προαστίου τότε η απόδοσή τους θα είναι περισσότερο αποδεκτή.

Και τα τρία κτίρια δεν βρίσκουν μπροστά τους ηχητικό εμπόδιο π.χ. άλλα κτίρια, ηχοπετάσματα κ.α. Οι μετρήσεις στο κτίριο Α και στο κτίριο Γ πραγματοποιήθηκαν στον πρώτο όροφο και στον δεύτερο όροφο αντίστοιχα. Στην εκτίμηση της απόδοσης θεωρούμε ότι το μέτωπο κύματος δεν είναι σφαιρικό αλλά επίπεδο. Η παραδοχή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το εύρος του δρόμου και του πεζοδρομίου είναι αρκετά μεγάλο, και όποια απόσβεση πραγματοποιείται στο ισόγειο, πραγματοποιείται και στους υπόλοιπους ορόφους.

9.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ Α,Β ΚΑΙ Γ

Από τα αποτελέσματα (πίνακας 27) παρατηρούμε ότι η γυάλινη δικέλυφη όψη του κτιρίου Α παρουσιάζει μεγαλύτερη ηχομονωτική ικανότητα σε σύγκριση με αυτήν του κτιρίου Β& Γ. Στο κτίριο Α έχουν τοποθετηθεί υαλοπίνακες με διατομές κρυστάλλων 6mm και εσωτερικό διάκενο 12mm, που σε σχέση με τα υπόλοιπα κτίρια συνδυάζει μεγαλύτερο πάχος υάλωσης και ικανοποιητική απόσταση μεταξύ των δύο υάλων. Γνωρίζουμε ότι οι κατασκευές και των τριών κτιρίων είναι ελαφριές, με μικρό επιφανειακό βάρος. Καθοριστικός, λοιπόν, παράγοντας που επηρεάζει την ηχομονωτική ικανότητα των κουφωμάτων (εσωτερικό κέλυφος) αλλά και του εξωτερικού κελύφους είναι ο υαλοπίνακας. Το γυαλί είναι ένα δομικό υλικό που λειτουργεί από άποψη ηχομόνωσης μέσα στα πλαίσια του νόμου της μάζας και της κυματοσύμπτωσης με αποτέλεσμα η μονή υάλωση να παρουσιάζει μικρή αύξηση της ηχομόνωσής της με την αύξηση του πάχους.

Στο κτίριο Β έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό κέλυφος, υαλοπίνακες 5+5mm triplex[2], και στο εξωτερικό κέλυφος 10mm. Στο διάκενο ανάμεσα στα δύο κελύφη παρεμβάλλεται τσιμεντοσανίδα 10mm, η οποία συγκαταλέγεται ανάμεσα στα ελαφριά δομικά υλικά. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν έδειξαν κάποια ιδιαίτερη αύξηση της ηχομονωτικής ικανότητας της διπλοκέλυφης όψης παρά τη τσιμεντοσανίδα και της σχετικά μεγάλης διατομής του εξωτερικού υάλου.

Το κτίριο Γ είναι το παλαιότερο κτίριο εκ των τριών, χωρίς αυτό να στερείται ερευνητικό ενδιαφέρον. Στο κτίριο Γ έχουν τοποθετηθεί για το εσωτερικό κέλυφος,

[2] Τα triplex τζάμια είναι το αποτέλεσμα της συνένωσης 2 ή περισσότερων τζαμιών με μεμβράνη διάφανη, ημιδιαφανή, η έγχρωμη και η συνένωση αυτή επιφέρει αύξηση της αντοχής σε κρούση.

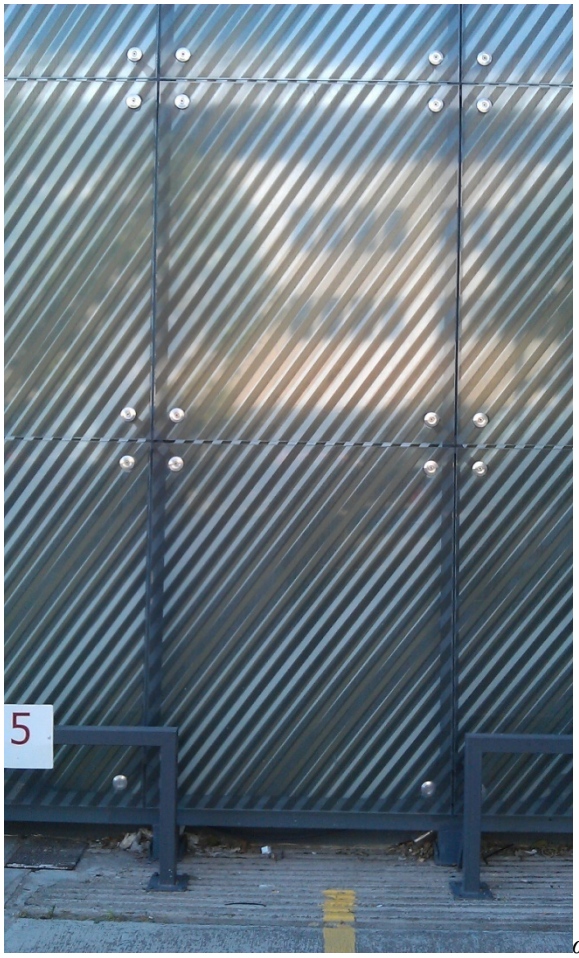
κουφώματα με διατομές 4/12/4 και το εξωτερικό κέλυφος αποτελείται από διπλούς αντεπικολλητούς υαλοπίνακες 5+5mm. Οι διατομές του εσωτερικού αλλά και του εξωτερικού κελύφους είναι αρκετά ικανοποιητικές από θεωρητικής προσέγγισης, αλλά η ηχομονωτική ικανότητα που παρουσιάζει είναι η χαμηλότερη εκ των τριών.

Στη σύγκριση με τις αποδεκτές τιμές θορύβου NC, για κάθε κατηγορία κτιρίου – χρήσης τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά για όλα τα κτίρια, πληρώντας κάθε φορά το κριτήριο θορύβου. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος στην περιοχή των κτιρίων Α και Β είναι της τάξης των 65-75 dB ενώ στο κτίριο Γ είναι της τάξεως των 60-70 dB.

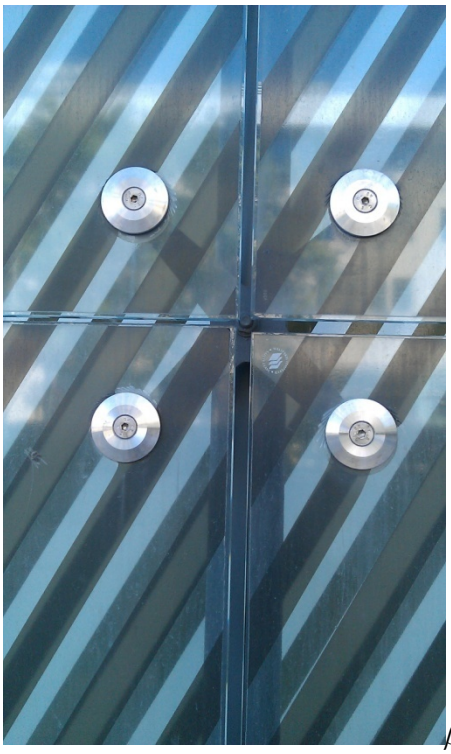
Και στα τρία κτίρια, το εξωτερικό κέλυφος αποτελείται από ορθογώνια τμήματα υάλου, σχηματίζοντας ένα νοητό κάνναβο, με ενδιάμεσο κενό αέρα. Στο κτίριο Α τα τμήματα αυτά συνδέονται με μεταλλικούς κάθετους ορθοστάτες, επιτρέποντάς τα να κινούνται κατά τον οριζόντιο άξονα. Στο κτίριο Β τα τμήματα υάλου είναι σταθερά και ενώνονται με την τσιμεντοσανίδα μέσω εξαρτημάτων σημειακής ανάρτησης τετραπλό. Στο κτίριο Γ τα τμήματα υάλου κινούνται κατά τον κατακόρυφο άξονα. Παρατηρείται λοιπόν μία ασυνέχεια της εξωτερικής κατασκευής με αρκετά διάκενα που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα και επομένως προβάλλουν μικρή αντίσταση στους ανεπιθύμητους αερόφερτους θορύβους, κυρίως όταν οι περσίδες αυτές είναι ανοιχτές. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων μας τόσο το εξωτερικό, όσο και το εξωτερικό κέλυφος παρέμειναν κλειστά.

α) *β)*

Εικόνα 88: α),β) Λεπτομέρειες επένδυσης όψης κτιρίου Α



α)



β)

Εικόνα 89: α),β) Λεπτομέρειες επένδυσης όψης κτιρίου Β

α)

β)

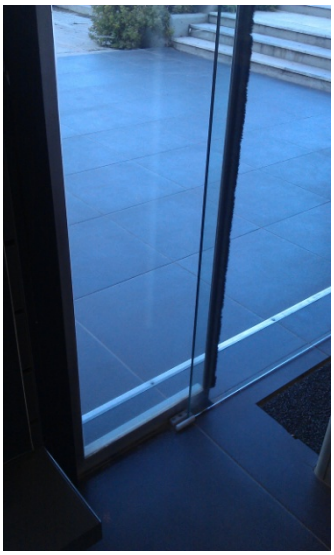
Εικόνα 90: α),β) Λεπτομέρειες επένδυσης όψης κτιρίου Γ

Στο κτίριο Β η ύπαρξη αυτόματης συρόμενης πόρτας παίζει αρκετά σημαντικό παράγοντα στη μείωση της ηχομόνωσης του κτιρίου.

α)

β)

γ)



δ)

Εικόνα 91: α),β),γ)δ) Λεπτομέρειες εξωτερικής θύρας κτιρίου Β

Στην εξωτερική θύρα του κτιρίου Β παρατηρούνται διαμπερής οπές δεξιά και αριστερά στην ένωσή τους με το κούφωμα στήριξης. Στα φύλλα της θύρας παρατηρούνται βουρτάκια για καλύτερο σφράγισμα αλλά εκατέρωθεν της εισόδου υπάρχει έλλειψη εξαρτημάτων απόφραξης αρμών της θύρας.

9.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ

9.4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΣΕ Γ.Δ.Ο.

Σύγκριση με άλλη μελέτη στο ίδιο αντικείμενο (*«Acoustical Performances of Double Ventilated Glass Facades» των M. Blasco, C. Crispin, B. Ingelaere,2004*) δεν επιβεβαιώνει την μικρή ηχομονωτική ικανότητα των Γ.Δ.Ο των κτιρίων Α ,Β και Γ, σε σχέση με τις επιτόπιες μετρήσεις της έρευνας με χρήση πηγής θορύβου. Σύμφωνα με το EN ISO 140-5(1996) είναι επιτρεπτές οι συγκρίσεις των δύο μεθόδων (πηγή θορύβου και τροχαίας κίνησης) αφού τα αποτελέσματα διαφέρουν ελάχιστα.

Στις προσόψεις της έρευνας παρατηρούμε ότι το εσωτερικό ή το εξωτερικό κέλυφος των τριών δειγμάτων μέτρησης αποτελείται από ασύμμετρα πάχη τζαμιών. Η χρήση αυτών των υαλοπινάκων δρα αποτελεσματικότερα στην ηχομόνωση αφού αποφεύγεται το φαινόμενο του συντονισμού.

Μονοώροφη, με ενεργητική κίνηση, εσωτερικής ανακυκλοφορίας	Εσωτερικά: μονός υαλοπίνακας 6mm Διάκενο: 12.5cm Εξωτερικά: διπλός υαλοπίνακας 6/12/8	43(-2,-5) (C,Ctr)dB (Dls,2m.n(T),w)
Διπλοί υαλοπίνακες με ενεργητική κίνηση, εσωτερικής ανακυκλοφορίας	Εσωτερικά: μονός υαλοπίνακας 7mm Διάκενο: 7cm Εξωτερικά: διπλός υαλοπίνακας 6/12/8	47(-2,-5) (C,Ctr)dB (Dls,2m.n(T),w)
Πολυώροφη συνεχής όψη με παθητική κίνηση	Εσωτερικά :διπλός υαλοπίνακας 6/12/8 Διάκενο: 70cm Εξωτερικά: διπλός υαλοπίνακας 6/12/8	53(-1,-2)(C,Ctr)dB (Dls,2m.n(T),w)

Πίνακας 28: *Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων έρευνας «Acoustical Performances of Double Ventilated Glass Facades»*

Τα τρία είδη Γ.Δ.Ο που εξετάστηκαν ήταν: α) δικέλυφη όψη ενεργητικής κίνησης, εσωτερικής ανακυκλοφορίας, β) όψη κιβωτιοειδούς παραθύρου, εσωτερικής ανακυκλοφορίας και γ) όψη τύπου διαδρόμου. Τα κτίρια Α, Β και Γ με βάση τη γεωμετρία τους ανήκουν στις *πολυώροφες συνεχείς όψεις*, ενώ με βάση το μηχανισμό κίνησης της αέριας μάζας ανήκει στη κατηγορία της *παθητικής κίνησης*. Οι προσόψεις των κτιρίων Α, Β, Γ λόγω της γεωμετρίας τους και του σχεδιασμού τους δεν έχουν φραγμούς σε κανένα σημείο. Ο παράγοντας αυτός συμβάλει καθοριστικά στην απόκλιση των αποτελεσμάτων με άλλες μελέτες, αφού ο αέρας μεταφέρεται ανάμεσα από τα διάκενα. Έχουμε επομένως *πλευρικές διαρροές* λόγω διαμπερών οπών επί της πρόσοψης.

α) *β)* *γ)*

Εικόνα 92: α),β),γ) Λεπτομέρειες εξωτερικού κελύφους κτιρίων Α, Β, Γ αντίστοιχα

9.4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΣΕ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Στην σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη μελέτη των *Χ. Ταγαρά και Δ. Πίγκου «Συγκριτική μελέτη μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στο κτίριο της ηχομονωτικής ικανότητας κουφωμάτων αλουμινίου»* παρατηρείται μεγαλύτερη ηχομονωτική ικανότητα των Γ.Δ.Ο. από αυτή των ανοιγόμενων κουφωμάτων αλουμινίου νέου τύπου με διατομές 4/12/4. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε 5 διαφορετικά διαμερίσματα και ο μέσος όρος του σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης είναι Μ.Ο. R΄w =23dB,με τις τιμές να κυμαίνονται από 18 -27 dB.

Η ηχομονωτική ικανότητα των όψεων των κτιρίων Β και Γ δεν διαφέρει από αυτήν ενός κουφώματος αλουμινίου. Η δικέλυφη όψη του κτιρίου Γ υπερτερεί ενός κουφώματος αλουμινίου κατά 12 dB.

9.4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΣΕ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Για να πραγματοποιηθεί μία σύγκριση των αποτελεσμάτων των κτιρίων θα χρησιμοποιήσουμε εργαστηριακές μετρήσεις που έγιναν από το εργαστήριο Αρχιτεκτονικής Τεχνολογίας του Τμήματος Αρχιτεκτόνων του Α.Π.Θ.

Η δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακές συνθήκες, χωρίς πλευρικές μεταδόσεις, σύμφωνα με το ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 370.3.

Τα δοκίμια εφαρμόστηκαν στους θαλάμους μέτρησης. Για τον προσδιορισμό της ηχομονωτικής ικανότητας των δοκιμίων και συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό του Δείκτη Ηχομείωσης R χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$R = L_1 - L_2 + 10\log (S/A) \text{ σε dB}$$

όπου:

L_1 : η ηχοστάθμη στον θάλαμο εκπομπής σε dB

L_2: η ηχοστάθμη στον θάλαμο λήψης σε dB

S : η επιφάνεια του δοκιμίου σε m^2

A : η ηχοαπορρόφηση του θαλάμου δοκιμής που προκύπτει από την σχέση:

A = 0,163 (V/T) σε m^2

V = ο όγκος του θαλάμου σε m^3

T = ο χρόνος αντήχησης του θαλάμου σε s

- τύπος κουφώματος: Δίφυλλο ανοιγόμενο κούφωμα αλουμινίου με συνολικό πάχος υάλωσης 20 mm. Το διπλό τζάμι αποτελείται από 2 φύλλα τζαμιού πάχους 4 mm έκαστο, με διάκενο 12 mm μεταξύ τους. **Rw= 34 dB**

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η κατασκευή της δικέλυφης όψης του κτιρίου Γ έχει την ίδια ηχομονωτική ικανότητα με αυτή ενός δίφυλλου κουφώματος αλουμινίου μετρημένη στο εργαστήριο.

Οι αποκλίσεις της εργαστηριακής μέτρησης με αυτή των αποτελεσμάτων της μελέτης των *Χ. Ταγαρά και Δ. Πίγκου* είναι της τάξεως των 10 dB. Είναι φανερό ότι, στην κατασκευή δεν λαμβάνονται πάντα προστατευτικά μέτρα αεροστεγάνωσης του κουφώματος όπως π.χ. στα σημεία συναρμογής κάσας – τοίχου, τυχόν μη τήρηση των κανόνων εφαρμογής των ελαστικών ταινιών και λοιπών εξαρτημάτων απόφραξης αρμών του κουφώματος, μη τήρηση των κανόνων ποιότητας των υαλοστασίων και των υαλοπινάκων και από πλευράς επιλογής υλικών και από πλευράς ενσωμάτωσης των υαλοπινάκων στα υαλοστάσια.

Οι κατασκευές στα κτίρια Β και Γ εμφανίζουν μειωμένη ηχομονωτική ικανότητα παρόλο που ενισχύονται με δεύτερο κέλυφος υάλου και τα αποτελέσματα μειονεκτούν και όσο αφορά τις εργαστηριακές μετρήσεις όσο και τις επιτόπιες.

Στο κτίριο Γ παρατηρείται η μικρότερη ηχομονωτική ικανότητα της πρόσοψης. Εμφανίζονται αλλοιώσεις των συνθετικών μεμβρανών των εξωτερικών υαλοπινάκων εξαιτίας των συμπυκνώσεων υδρατμών (θρομβώματα) στους υαλοπίνακες λόγω παρουσίας νερού στην κάτω πατούρα τοποθέτησής τους (εικόνες 93α,β). Στις εικόνες αυτές παρατηρείται μία έλλειψη συντήρησης του εξωτερικού κελύφους.

α)

β)

Εικόνα 93: α),β) Λεπτομέρειες εξωτερικού υαλοστασίου κτιρίου Γ

Άξιο σημείωσης είναι βέβαια, ότι αν κάποιος επιθυμεί να υπολογίσει την ηχομονωτική ικανότητα μιας πρόσοψης και στην συνέχεια να τις συγκρίνει με εργαστηριακές μετρήσεις, βασίζεται στις μετρήσεις που εκτελούνται στο εργαστήριο για υαλοπίνακες που έχουν τοποθετηθεί σε κομμάτι τοίχου. Ωστόσο, η μόνωση των υαλοπινάκων αυτών μετριέται στο εργαστήριο για ειδικές (στάνταρ) διαστάσεις σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 140-3 (1995). Οι διαστάσεις του υαλοπίνακα είναι: 1,23 μ x 1,48 μ. Το δοκίμιο αυτό είναι μικρό, αν συγκρίνει κανείς αυτό, με τις διαστάσεις που χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Το γεγονός της χρησιμοποίησης των μεγαλύτερων διαστάσεων, στην πράξη, συνεπάγεται ήδη μια μείωση της ηχομονωτικής ικανότητας.

Άλλες παράμετροι - όπως η στεγανότητα αέρα της πρόσοψης, η κοιλότητα απορρόφησης και ούτω καθεξής - θα καθορίσουν επίσης τις τελικές επιδόσεις στην κατασκευή.

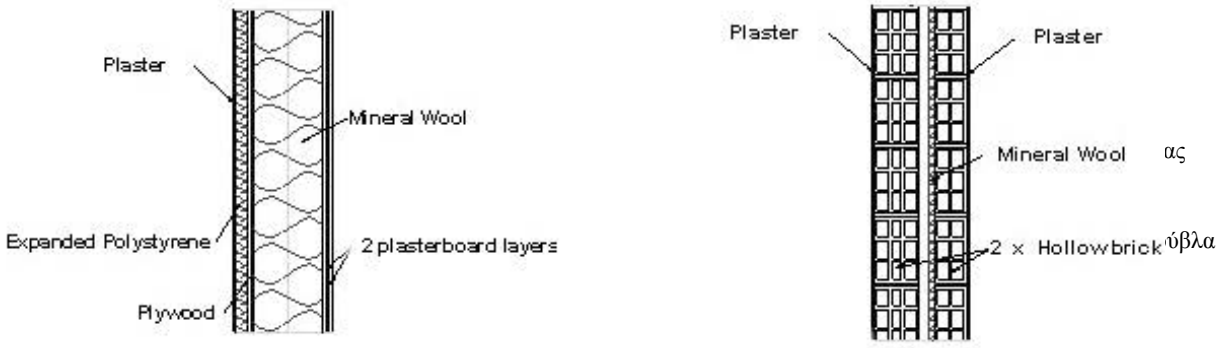
9.4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΤΟΠΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Για να πραγματοποιηθεί μία σύγκριση των αποτελεσμάτων των κατασκευών των κτιρίων με σύνθετα διαχωριστικά πετάσματα, θα χρησιμοποιήσουμε επιτόπιες μετρήσεις που έγιναν από τους *Χ. Ταγαρά και Δ. Πίγκο.* Τα σύνθετα διαχωριστικά πετάσματα που εξετάστηκαν είναι έξι στο σύνολο και απαρτίζονται από εξωτερική μπατική τοιχοποιία 30εκ και δίφυλλα ανοιγόμενα κουφώματα αλουμινίου με συνολικό πάχος υάλωσης 20 mm. Το διπλό τζάμι αποτελείται από 2 φύλλα τζαμιού πάχους 4 mm έκαστο, με διάκενο 12 mm μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι κατά Μ.Ο. 31 dB και οι τιμές τους κυμαίνονται από 26 -36 dB.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η κατασκευή των δικέλυφων όψων των κτιρίων Α και Β έχουν κατά προσέγγιση, ηχομονωτική ικανότητα όπως αυτή ενός σύνθετου πετάσματος συμβατικής κατασκευής.

Η κατασκευές και των τριών κτιρίων συνεπώς, δεν βελτιώνουν την ηχομόνωση των κτιρίων σε σύγκριση με μία συμβατική κατασκευή σε κτίρια γραφείων.

Μία μελέτη που ενισχύει την εκτίμηση αυτή, είναι η έρευνα των Luis Braganca και Jorge Patricio, «Case Study: Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology Building and a Convensional Building»[6]. Στην έρευνα αυτή γίνεται σύγκριση μεταξύ συμβατικών κατασκευών και της "τεχνολογίας μικτού κτίσματος " in situ. Σε γενικές γραμμές, στα κτίρια αυτά οι εξωτερικοί και εσωτερικοί τοίχοι είναι παχύτεροι από αυτών των συμβατικών κατασκευών, και χρησιμοποιούν υλικά υψηλής απορρόφησης στην κοιλότητα των ελαφριών πετασμάτων. Στις συμβατικές λύσεις το κτίριο περιλαμβάνει μόνο μικρά πάχη ορυκτοβάμβακα στην κοιλότητα ανάμεσα στα τούβλα. Οι βελτιώσεις είναι αποτέλεσμα της ευνοϊκής σχέσης μεταξύ βάρους / πάχους και της ηχομονωτικής ικανότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους.



Mixed Technology Building *Convenional Building*

Εικόνα 94: Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες ΜΤΒ και Συμβατικής κατασκευής

Στην κατασκευή του ΜΤΒ υφίστανται υαλοπίνακες αλουμινίου, με διατομή 6/12/6 και στην συμβατική κατασκευή 6/12/6. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τα EN ISO 140, Parts 4,5,7[3,4,5] και EN ISO 717 Parts 1,2[6,7].

Κατασκευή	$D_{2m,n,w,w}$
ΜΒΤ	
Νότια όψη (90% υαλοπίνακες + 10% συμπαγής τοίχος)	29.9 (34)
Ανατολική/Δυτική όψη (0% υαλοπίνακες + 100% συμπαγής τοίχος)	50.4 (60)
Βόρεια όψη (19% υαλοπίνακες + 81% συμπαγής τοίχος)	40.0 (41)
Συμβατική κατασκευή	
Νότια όψη (26% υαλοπίνακες + 74% συμπαγής τοίχος)	33.1 (39)
Ανατολική/Δυτική όψη (9% υαλοπίνακες + 91% συμπαγής τοίχος)	35.2 (43)
Βόρεια όψη (19% υαλοπίνακες + 81% συμπαγής τοίχος)	33.9 (40)

Πίνακας 29: *Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων έρευνας «Case Study: Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology Building and a Convensional Building»*

Παρατηρούμε σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας όπου το ποσοστό των υαλοπινάκων στο εσωτερικό κέλυφος, κυμαίνεται από 50-65% και στο εξωτερικό κέλυφος το ποσοστό υάλου είναι 90-95% (λόγω των διακένων αέρα), ότι η συμβατική κατασκευή υπερτερεί ανεξαρτήτως του ποσοστού υάλου. Τα αποτελέσματα συγκλίνουν με την μικτή κατασκευή όταν το ποσοστό των υαλοπινάκων είναι 90%, όπου και σε αυτή τη περίπτωση μόνο το κτίριο Α μας δίνει τέτοιο αποτέλεσμα. Το κτίριο Β παρόλη τη χρήση της τσιμεντοσανίδας, δεν μας δίνει ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Η χρήση τσιμεντοσανίδας με μεγαλύτερο επιφανειακό βάρος ή τοποθέτηση διπλής τσιμεντοσανίδας ενδεχομένως να βελτίωνε την ηχομονωτική ικανότητα της κατασκευής. Οι συμβατικές κατασκευές ακόμα και με τη χρήση υαλοπινάκων παρουσιάζουν μία ικανοποιητική ηχομονωτική ικανότητα με τιμές οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 33 και 34 dB. Βλέπουμε λοιπόν ότι το κτίριο Α παρουσιάζει ηχοπροστασία τέτοια όπως ένας τοίχος ελαφρού τύπου νέας τεχνολογίας, με 26% υαλοπίνακες και 74% συμβατική τοιχοποιία.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετήσαμε την ηχομονωτική ικανότητα τριών κατασκευών γυάλινων δικέλυφων όψεων σε τρία διαφορετικά κτίρια στην Αθήνα. Το κτίριο Α παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα κτίρια Β και Γ. Και τα τρία κτίρια δεν παρουσιάζουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς την ηχομονωτική τους ικανότητα, αλλά ταυτόχρονα πληρούν τις προϋποθέσεις των αποδεκτών τιμών θορύβου (Noise Criteria).

Από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί in situ σε συμβατικές κατασκευές (μπατική τοιχοποιία με κούφωμα αλουμινίου) προκύπτει σταθμισμένη κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης που κυμαίνεται μεταξύ 33 και 36dB. Τα αποτελέσματα αυτά υπερτερούν των μετρήσεών μας, οι οποίες κυμαίνονται από 17 έως 29dB.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις μας με μετρήσεις in situ άλλων δικέλυφων όψεων, τα αποτελέσματα δείχνουν μειωμένη ηχομονωτική ικανότητα. Αυτή οφείλεται μεταξύ άλλων στην ύπαρξη διάκενων αέρα στο εξωτερικό κέλυφος και των τριών κατασκευών και στην έλλειψη φραγμών περιμετρικά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού κελύφους. Γενικά, κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ηχομονωτική ικανότητα των γυάλινων δικέλυφων όψεων είναι η τήρηση των βέλτιστων πρακτικών στην κατασκευή, η ύπαρξη διάκενων στο εξωτερικό κέλυφος, οι πλευρικές απώλειες, τα υλικά ηχοαπορρόφησης της κατασκευής, η γεωμετρία της κοιλότητας κ.ά. Το μεγάλο εύρος in situ αποτελεσμάτων των γυάλινων δικέλυφων όψεων οφείλεται στη μεταβολή των παραπάνω παραγόντων.

Οι γυάλινες δικέλυφες όψεις των κτιρίων Α, Β και Γ συγκαταλέγονται στις ελαφριές κατασκευές. Αυξάνοντας το επιφανειακό βάρος των επιμέρους στοιχείων της πρόσοψης δύναται μια βελτίωση της ηχομόνωσης. Βελτίωση μπορεί επίσης να επιφέρει η χρήση ηχοαπορροφητικών υλικών είτε στο εσωτερικό της κοιλότητας είτε στο εσωτερικό κέλυφος της κατασκευής. Μια διάταξη που θα μπορούσε να επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα είναι η τοποθέτηση των κινούμενων γυάλινων πετασμάτων στο εσωτερικό της κοιλότητας μιας δικέλυφης όψης, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερο επιφανειακό βάρος της κατασκευής αλλά, ταυτόχρονα, συμβάλλοντας και στο φυσικό αερισμό του κτιρίου.

Για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι οι προσόψεις των κτιρίων Α και Γ σχεδιάστηκαν εξ αρχής με βάση το βιοκλιματικό σχεδιασμό, δίνοντας μεγαλύτερη βάση στον περιορισμό των ενεργειακών καταναλώσεων, στον έλεγχο του θερμικού κέρδους και του δροσισμού, καθώς και στο φυσικό φωτισμό.

Η παραδοσιακή σχεδιαστική αντίληψη αντιμετωπίζει την ηχομόνωση και τη θερμομόνωση ως δύο ξεχωριστούς στόχους. Στη σημερινή κοινωνία, τόσο ο αστικός-κυκλοφοριακός θόρυβος όσο και η ενεργειακή κατανάλωση αποτελούν προκλήσεις για το σχεδιαστή. Αυτό λοιπόν που απαιτείται είναι μια ολιστική αντιμετώπιση των σχετικών φαινομένων με σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και στους δύο τομείς.

Συμπερασματικά, η επιλογή μιας γυάλινης δικέλυφης όψης οφείλει να προκύψει ύστερα από λεπτομερή μελέτη του κλίματος της περιοχής, της χρήσης του κτιρίου, της τοποθεσίας και του προσανατολισμού του. Στη συνέχεια, πρέπει να μελετηθούν οι διάφορες δυνατές διατάξεις δικέλυφων όψεων για την ορθή επιλογή αυτής που είναι κατάλληλη για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης κάθε φορά εφαρμογής.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Boake Terri Meyer, *" The Tectonics of the Double Skin: Green Building or Just more Hi-Tech Hi-Jinx? What are double skin facades and how do they work? ",* School of Architecture, University of Waterloo
2. BBRI, Double ventiladed Facades project website, www.bbri.be/activefacades/
3. Benedetto Alessi, 2008, *Double Skin Facade and the its benefits*, Dissertation Report, 7th J, International line 13-October, Copenhagen Technical Academy
4. Blasco M. , C. Crispin και B. Ingelaere, 2004, *"Acoustical Performances of Double Ventilated Glass Facades"* Inter Noise
5. Blumenberg J., M. Spinnler και T. Sattelmayer, *Double skin facade systems - A comprehensive Review on Thermal and Energetic Behavior*, Lehrstuhl fur Thermodynamik, Technische Universitat Munchen, Germany
6. Braganca Luis και Jorge Patricio, 2004, *"Case Study: Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology Building and a Convensional Building*",Building Acoustics, Vol.11, N. 1, Pages 79-90
7. CEN 1978 EN ISO standard 140/V: Acoustics - Measurements of sound insulation in buildings and of building emelments - Part V: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades
8. CEN 1982 EN ISO standard 717/3 : Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Airborne sound insulation of facade elements and facades
9. CEN 1996 EN ISO standard 140-5: Acoustics - Measurements of sound insulation in buildings and of building elements- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades [Revision of first edition(ISO 140-5:1978)]
10. CEN 1997 EN ISO standard 717-1 : Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation
11. Chiang Wei -Hwa, Yi-Nuo Chao και Chi -Jeh WU, *"Sound Insulation Of Double Skin Facade"*
12. Dickson A., Modelling Double Skin Facades, *A thesis submitted for the Degree*:MSc Energy Systems & the Environment, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow UK
13. DR.Arch. Guilia Andreotti, *"From single to double skin facades"*
14. Framton Kenneth,1999, *Μοντέρνα αρχιτεκτονική -Ιστορία και Κριτική*, Θεμέλιο, β΄έκδοση
15. Gelesz A., A. Reith,Mertek Architectural studio, 2011, *Classification and Re-evaluation of Double Skin Facades*, 17th, Building Services, mechanical and Building Industry Days,Urban Energy Conference,13-14 October, Debrecen, Hungary
16. Haase,M. Amato, A., 2005, *Double skin facades for Hong Kong*, Proceedings of the Fifth International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment, The University of Salford, UK
17. Hendriksen Oje J. και Henrik Sorensen, "Double skin facades - Fashion or astep towards sustainable buildings"
18. Hilmarsson Jon Gunnar, 2008*, Double skin facade- Evaluating the viability of the Component*, Copenhagen Technical Academy
19. Kragh Mikkel, 2001*, Monitoring of Advanced Facades and Environmental Systems, The whole-life performance of facades*,University of Bath, CWCT,

18/19 April, Bath, UK

20. Loncour X., A. Deneyer, M. Blasco, G. Flamant, P. Wouters: *Ventilated Double Skin Facades - Classification & illustration of facade concepts*, BBRI – Department of Buildings Physics, Indoor Climate & Building Services, 2005
21. Loncour X. M.S., P.Wouters Ph.D.,G.Flamant M.S. M.BlascoM.S. *"Impact of double ventiladed facades in buildings"*
22. Long Marsall, 2006 *Architectural Acoustics*, Elsevier Academic Press, Amsterdam, Boston, Heidelberg ,London ,New York ,Oxford, Paris ,San Diego San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo
23. Poirazis Harris, 2004, *"Double Skin Facades for Office Buildings -Literature Review"*, Division of Energy and Building Design ,Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology
24. Quirt J.D.,1983, *"Sound transmission througt windows II Double and Triple glazing*", Acoust Am, 74(2):534-42
25. Rawn William Associates, Architects, Inc., *Case study: a double-skin glass wall, Cambridge public library Cambridge*, MA,Boston
26. Streicher W., R. Heimrath, H. Hengsberger, T. Mach, R. Waldner, G. Flamant, X. Loncour, G. Guarracino, H. Erhorn, H. Erhorn-Kluttig, M. Santamouris, I. Farou, S. Zerefos, M. Assimakopoulos, R. Duarte, ke Blomsterberg, L. Sjcberg και C.Blomquist, 2007, "*On the Typology, Costs, Energy Performance, Environmental Quality and Operational Characteristics of Double Skin Facades in European Buildings"*, advances in building energy research, Vol. 1 , Pages 1-28
27. Tadeu, A.J., Mateus D., 2004, *"Sound insulation provided by single and double panel walls – a comparison of analytical solutions versus experimental results",*Applied Acoustics,Vol 65,pages 15-29
28. Tadeu, A. B., Mateus D. M. R., 2001, *"Sound transmittion through single, double and triple glazing. Experimental evaluation",* Applied Acoustics, Vol 62, pages 307-325
29. Καραούλη, Α. (2010, 02), *Γυάλινες δικέλυφες όψεις-Τυπολογία & οικονομική βιωσιμότητα*. ΚΤΙΡΙΟ , σσ. 86-92.
30. Κορωναίος ΑΙΜ. Γ. και Γ.Ι. Πουλάκος, 2005, Τεχνικά υλικά, Τόμος 2, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,
31. Πουλάκος Γ.Ι. , 2006, *"Συμπεριφορά των δομικών υλικών σε σχέση με τον ήχο",* Αθήνα
32. Σαμούρη Π.Ζ., 2007, Διπλωματική εργασία: "Συγκριτική μελέτη μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στο κτίριο της ηχομονωτικής ικανότητας διαχωριστικών πετασμάτων", Αθήνα, Νοέμβριος
33. Σακελαρρόπουλος Ν., Στασινόπουλος Π., 2009, Διπλωματική εργασία: "Συγκριτική μελέτη μεταξύ μετρήσεων στο κτίριο και εργαστηριακών προδιαγραφών της ηχομονωτικής ικανότητας διαχωριστικών πετασμάτων βαρέως τύπου", Αθήνα, Μάρτιος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
34. Σωτηροπούλου Α., 1996, *"Εμβάθυνση στο σχεδιασμό χώρων ακρόασης"*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
35. Ταγαρά Χ. και Δ. Πίγκο, 2009, *"Συγκριτική μελέτη μεταξύ εργαστηριακών προδιαγραφών και μετρήσεων στο κτίριο της ηχομονωτικής ικανότητας κουφωμάτων αλουμινίου",* Αθήνα, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
36. Χρυσομαλλίδου Ν., Α. Καραούλης και Θ.Θεοδοσίου, 2005, "Θερμική απόκριση κτιρίων με γυάλινη δικέλυφη όψη: σύντομη επισκόπηση", HELECO '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005

37. http://architecturerevived.blogspot.com/2010/05/kraanspoor-amsterdam-netherlands.html
38. http://atriumwindowsystems.com/index.php?xNav=products6b&PHPSESSID=7200e405bb15fef598a15c2f68e28bf2
39. http://cdiengineers.com/work/other_projects
40. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ARAG-Tower.jpg
41. http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Neven_DuMont_Haus_Koeln.jpg
42. http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Stadttor_D%C3%BCsseldorf_-_Stadtansicht.jpg
43. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Children%27s_Hospital_of_Philadelphia.jpg
44. http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Edificio_Narkomfin
45. http://facadesconfidential.blogspot.com/2011/11/steiff-factory-and-birth-of-curtain.html
46. http://koufomata-expert.blogspot.gr/2011/02/blog-post_16.html
47. http://mysteifflife.blogspot.com/2010_11_01_archive.html
48. http://projects.vanartgallery.bc.ca/publications/Hotel/is-a-hotel-just-a-hotel-lessons- from-le-corbusier/
49. http://sketchup.google.com/3dwarehouse/details?mid=a17271fdde2679b15c1eb973c84dff
50. http://spirit16.blogspot.com/2009/02/blog-post_24.html
51. http://totalfitness-christos.blogspot.com/2011/07/2_13.html
52. http://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Neven-DuMont-Haus_K%C3%B6ln.jpg
53. http://tvxs.gr/news
54. http://www.all-art.org/Architecture/25-2.htm
55. http://www.archined.nl/oem/reportages/kraanspoor/Kraanspoor_eng.html
56. http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/hooker.html
57. http://www.architecturelist.com/2011/03/14/qatar-science-and-technology-park-doha-by-woods-bagot/
58. http://www.architecturelist.com/2011/03/14/qatar-science-and-technology-park-doha-by-woods-bagot/
59. http://www.archsd.gov.hk/english/reports/env_report1999/14e.htm
60. http://www.asia-bars.com/2012/04/aqua-aqua-spirit-spectacular-hong-kong-restaurant-and-bar-revitalised-with-glamorous-interior-re-design/
61. http://www.aviewoncities.com/gallery/showpicture.htm?key=kvege1664
62. http://www.avsite.gr
63. http://www.bbri.be/activefacades/images/schema/ventilation-modes-ADE-001.jpg
64. http://www.boulevard-baden.de/ueberregionales/unterhaltung/2010/04/15/ auch-dumont-verzichtet-auf-neue-zeitung-in-berlin-178593/
65. http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=205&catid=184&artId=816&pg=2
66. http://www.differentdream.com/2011/06/childrens-hospital-of-philadelphia-hope-lives-here/
67. http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=59511295488015
68. http://www.econews.gr/2011/04/26/ixorypansi-ygeia-akoustiki/
69. http://www.ecosensual.net/drm/thesis/zdebis2.html
70. http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/_Thoryvos.1113227425503.pdf
71. http://www.fc-koeln.de/partner/business/branchenbuch/inhaber/m-dumont-schauberg/
72. http://www.floornature.com/projects-buildings-and-public-places/project-sauerbruch-hutton-gsw-headquarters-berlin-1999-4128/
73. http://www.garch.gr/?p=233

74. http://www.glastec-louvers.com/cms/front_content.php?idcat=74
75. http://www.hochtief.com/hochtief_en/6004.jhtml
76. http://www.hoffmancorp.com/selectedprojects/selected-project.aspx?title=Seattle+Justice+Center&cat=Office
77. http://www.illusion-factory.de/fotografie/architekturfotografie.html
78. http://www.josef-gartner.de/referenzen/referenzen2e.htm
79. http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher7_9.html
80. http://www.koeln-nachrichten.de/medien/printverlage/print-verlage-
81. http://www.mech.hku.hk/sbe/case_study/case/ger/Dusseldorfer_Stadttor/Das-Building.htm
82. http://www.medialab.ntua.gr/acoustics/greek_reg.html
83. http://www.meldrenachapin.com/blog/wordpress/2011/10/21/alvar-aalto-groundbreaking-healthcare-design-in-the-1930s/
84. http://www.mimoa.eu/projects/France/Paris/Cit%E9%20de%20Refuge
85. http://www.mimoa.eu/projects/Netherlands/Amsterdam/Kraanspoor
86. http://www.minenv.gr/1/13/131/13108/g13108355.html
87. http://www.monoiso.gr/ixomonosi.html
88. http://www.nutri-care.gr/index.php?page_id=5&prod_id=250
89. http://www.pedia.gr/corner/acousticsg.html
90. http://www.pixelcreation.fr/nc/galerie/voir/le_corbusier/le_corbusier/villa_schwob
91. http://www.pluimers.nl/nl/zakelijk/pluimers-in-de-praktijk/utiliteitsbouw/kraanspoor
92. http://www.profimedia.si/picture/office-building-of-victoria-insurance/0047960378/
93. http://www.rockwool.gr/acoustic/sounds+and+noises
94. http://www.sae.edu/reference_material/audio/pages/Reverb.htm
95. http://www.sasint.co.uk/bbc-scotland-hcp.php
96. http://www.scribd.com/
97. http://www.sgh.com/what-we-do/services/
98. http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=100289
99. http://www.spectratech.gr/gr/articles.php?id=6
100. http://www.stacoroosters.nl/nl-nl/roosters-traptreden-projecten/vloerroosters-% 28overige-toepassingen%29/kraanspoor-amsterdam.aspx
101. http://www.tee.gr/online/epikaira/1999/2035/pg018.shtml
102. http://www.teleteaching.gr/w2/text-7-2-3.htm
103. http://www.vita.gr/html/ent/428/ent.10428.asp
104. http://www.vrahokipos.net/old/against/arts/sam.htm
105. http://www.webscout.com/office/974/kowloon/
106. http://www.window.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=77&Itemid=142
107. http://www.window.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=79&Itemid=141
108. http://www3.hku.hk/photos/index.php/gallery/media/detail/666/191news/article/koelner-mediengruppe-und-wesaarbach-beschliessen-kooperation.html
109. http://www.eikongraphia.com/?p=111

12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παράρτημα περιλαμβάνει

α) αεροφωτογραφίες,

β) αναλυτική παρουσίαση του υπολογισμού της ηχομονωτικής ικανότητας των πετασμάτων βάση των μετρήσεων, υπό μορφή πινάκων.

γ) αρχιτεκτονικά σχέδια παρουσίασης των θέσεων μέτρησης στάθμης χωρικής μέσης ηχητικής πίεσης L, αρχιτεκτονικά σχέδια παρουσίασης των θέσεων μέτρησης του χρόνου αντήχησης, τομές