

## Εφαρμογές Ηχομονωτικών διατάξεων σε Στούντιο Εγγραφών Ήχου

Δημήτρης Κεραμίδας, Νίκος Μπάρκας

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαμόρφωση ενός studio εγγραφών ήχου στο συμβατικό χώρο του υπογείου μιας πολυκατοικίας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης απαιτεί αρχικά μια προσεκτική εκτίμηση των πιθανών εξωτερικών πηγών θορύβου και της στάθμης αυτών, έτσι ώστε η εξασφάλιση των επιβεβλημένων ορίων εσωτερικής ησυχίας να διασφαλίσουν την απαιτούμενη ακουστική λειτουργία. Παράλληλα, απαιτείται η εφαρμογή ισχυρών ηχομονωτικών διατάξεων για να αυξηθεί η ηχομονωτική ικανότητα του κελύφους, ώστε οι αναμενόμενες πρόβες των φιλοξενούμενων μουσικών συγκροτημάτων [με στάθμες δοκιμών και εγγραφών που συνήθως υπερβαίνουν τα 105 dB(A)] να μην ενοχλούν τους ενοίκους της πολυκατοικίας.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι αρχικές ηχομετρήσεις της ηχομονωτικής ικανότητας ενός στούντιο εγγραφών, που κατασκευάστηκε εμπειρικά από ένα συνεργείο εφαρμογής ξηράς δόμησης, καθώς επίσης και οι τελικές ηχομετρήσεις αξιολόγησης του νέου κελύφους, μετά την πλήρη αποξήλωση όλων των αρχικών κατασκευών και την εφαρμογή σύνθετων ακουστικών πετασμάτων, ύστερα από μελέτη και επισταμένη επίβλεψη.

Οι τελικές μετρήσεις έδειξαν μια σημαντική βελτίωση της ηχοπροστασίας του χώρου (ειδικά στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων), εγχείρημα που επιβεβαιώνεται από την διακοπή της ενόχλησης των περιοίκων.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Στούντιο, Ηχομονωτικές διατάξεις, Ηχομετρήσεις.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το studio εγγραφών ήχου REVOLVER κατασκευάστηκε (αρχές έτους 2009), σε υπόγειο παλιάς πολυκατοικίας της οδού Ικτίνου, έναν ήσυχο πεζόδρομο στο κέντρο της Θεσσαλονίκης. Η διαμόρφωσή περιλάμβανε τον κυρίως χώρο studio (επιφάνεια περίπου 38 m<sup>2</sup>), το χώρο ελέγχου, το βοηθητικό χώρο studio, την υποδοχή και χώρο αναμονής, το W.C, το διάδρομο και ένα χώρο αποθήκης.

Το αντικείμενο εργασίας του ήταν οι δοκιμές και ηχογραφήσεις υψηλής ποιότητας, νεανικών κυρίως μουσικών συγκροτημάτων. Κατά την αρχική φάση, οι ιδιοκτήτες εμπιστεύτηκαν τις κατασκευές σε συνεργείο εφαρμογής ξηράς δόμησης, το οποίο τους διαβεβαίωσε για την επιτυχία του όλου εγχειρήματος, χωρίς σχεδίαση και επίβλεψη κάποιου σύμβουλου Ακουστικής. Σύντομα, μετά τις κατασκευές, το studio αναγκάστηκε να αναστείλει τη λειτουργία του, εξαιτίας της ενόχλησης των περιοίκων, από το μεταφερόμενο θόρυβο σε υπερκείμενα καταστήματα και διαμερίσματα.

Οι εμπειρικές προσπάθειες βελτίωσης της ηχομόνωσης δεν έφεραν κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα και αναζητήθηκε η γνώμη σύμβουλου Ακουστικής.

Κατά την σχεδίαση ενός studio συνήθως εκτιμώνται οι εξωτερικές πηγές θορύβου, οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, η επιτρεπόμενη στάθμη θορύβου σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και ορίζεται η ηχομόνωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εκτός από την απαιτούμενη ηχομόνωση μεταξύ των χώρων studio, έπρεπε να προβλεφτεί επίσης ισχυρότερη ηχοπροστασία του κτιρίου, διότι οι στάθμες λειτουργίας των μουσικών οργάνων (κρουστά, μπάσο, ντραμς κ.λ.π.) στο χώρο δοκιμών ήταν πολύ υψηλές.

Κατά την διαδικασία των ηχητικών μετρήσεων (πριν και μετά τις νέες επεμβάσεις) χρησιμοποιήθηκε ένα ηχείο (EV 300W RMS), ένας ενισχυτής, μια φορητή γεννήτρια με σήματα θορύβου (pink noise) και όργανο μέτρησης στάθμης θορύβου (SLM, CASTLE GA 112, type 1). Σε μια γωνία του κυρίως studio τοποθετήθηκε το ηχείο εκπομπής, ακολούθησαν ρυθμίσεις ενίσχυσης στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων, στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αναλυτικές ηχομετρήσεις στα διαφορετικά σημεία παρατήρησης και ο μέσος όρος των δεδομένων καταγράφεται στους αντίστοιχους πίνακες και διαγράμματα.

Η ίδια διαδικασία ηχομετρήσεων επαναλήφθηκε με σημεία παρατήρησης στους δύο γειτονικούς χώρους (τον εσωτερικό διάδρομο και το χώρο ελέγχου), και στους υπερκείμενους χώρους του κτιρίου (την είσοδο της πολυκατοικίας και το κατάστημα).

Πριν από κάθε σειρά μετρήσεων, πραγματοποιήθηκαν καταμετρήσεις του θορύβου βάθους και των διαφόρων αστικών θορύβων του κτιρίου (χωρίς τη λειτουργία της πηγής).

## 2. Η ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης περιελάμβανε ηχομετρήσεις, με την πηγή στον κυρίως χώρο studio και επιμέρους σημεία μέτρησης στους γειτονικούς και υπερκείμενους χώρους. Επίσης αναγνωριστικές τομές των κατασκευών στον περιμετρικό φλοιό, στη ψευδοροφή και στο δάπεδο. Όπως φάνηκε, όλη η κατασκευή είχε σημαντικές ατέλειες και κατασκευαστικά λάθη, τα οποία δεν επιδεχόταν τοπικές ενισχύσεις και βελτιώσεις μικρής κλίμακας.

Συγκεκριμένα δεν υπήρχε πλωτό δάπεδο, αλλά ανάμεσα στην πλάκα του δαπέδου και τη πρόσθετη σκυροκονία επίστρωσης είχε παρεμβληθεί ένα πολύ λεπτό ελαστικό φύλλο (χωρίς περιμετρική αναδίπλωση). Η ψευδοροφή αποτελούνταν από απλό πέτασμα ξηράς δόμησης (δύο στρώσεις γυψοσανίδων, σχετικά μικρό υπερκείμενο διάστημα και απευθείας ανάρτηση του μεταλλικού σκελετού στην πλάκα της οροφής). Ο περιμετρικός φλοιός αποτελούνταν επίσης από απλό πέτασμα ξηράς δόμησης (διπλή γυψοσανίδα, απευθείας στερέωση του μεταλλικού σκελετού στο δάπεδο και την οροφή με βύσματα).

Όπως έδειξαν οι ηχομετρήσεις, η παρενόχληση των περιοίκων στους γειτονικούς χώρους του κτιρίου ήταν μεγάλη, με υψηλές στάθμες ιδίως στις χαμηλές συχνότητες. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 1.

*Πίνακας 1 Μετρήσεις στάθμης θορύβου με την αρχική ηχομόνωση (dB)*

Οκταβική Περιοχή	31,5	63..	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	Lin.	dBA
Studio	95	100	102	102	98	98	97	93	110	105
Προθάλαμος Studio	79	74	68	66	51	41	41	32	74	58

Χώρος Ελέγχου	80	75	70	67	51	43	42	33	84	59
Είσοδος πολυκατοικίας	63	65	52	44	34	30	-	-	66	42
Υπερκεείμενο κατάστημα	62	61	48	43	32	30	-	-	69	38
Θόρυβος περιβάλλοντος	52	44	38	33	29	28	-	-	52	31

Στον Πίνακα 2, εμφανίζονται οι τιμές της κανονικοποιημένης διαφοράς στάθμης θορύβου D υπολογισμένα σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, λαμβάνοντας υπόψη και το θόρυβο του περιβάλλοντος.

*Πίνακας 2 Διαφορά στάθμης θορύβου D με την αρχική ηχομόνωση (dB)*

Καταβική Περιοχή	31,5	63..	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	Lin	dBA
Προθάλαμος Studio	16	26	34	36	47	57	56	61	36	47
Χώρος Ελέγχου	15	25	32	35	47	55	55	60	26	46
Είσοδος πολυκατοικίας	32	35	50	58	65	70	-	-	44	63
Υπερκεείμενο κατάστημα	33	39	54	59	68	70	-	-	41	68

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις, αποφασίστηκε η ολική αποξήλωση των εφαρμογών στο κυρίως studio και η επανακατασκευή του. Η πλήρης ανακατασκευή του συμπλέγματος (δηλαδή του χώρου ελέγχου και του βοηθητικού studio) απορρίφθηκε από τους ιδιοκτήτες κυρίως για οικονομικούς λόγους.

### **3. ΟΙ ΝΕΕΣ ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ**

Η προσεκτική εκτίμηση των αναμενόμενων οχλήσεων και του προβλεπόμενου συχνοτικού φάσματος λειτουργίας του studio οδήγησε στην υιοθέτηση και σχεδίαση του μοντέλου «θάλαμος μέσα σε θάλαμο», προσπαθώντας να εξαιρεθούν οι κατασκευαστικές επαφές και οι ηχογέφυρες του νέου κελύφους με τους περιμετρικούς τοίχους και την οροφή του υπογείου. Ο μεταλλικός σκελετός του νέου κελύφους εδράζεται αποκλειστικά στο νέο πλωτό δάπεδο του θαλάμου και συντίθεται από κοιλοδοκούς, δικτυώματα και σωλήνες μορφής, όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Τα επιμέρους στοιχεία της κατασκευής έχουν ως εξής:

#### *3.1. ΔΑΠΕΔΟ*

Πλωτό δάπεδο από τραπεζοειδή λαμαρίνα πάχους 1mm και σπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 11cm με πλέγμα Φ10/15.

Το πλωτό δάπεδο εδράζεται σε ελαστικά αντικραδασμικά εφέντρα, διαστάσεων 125x125 mm και πάχους 25 mm σε δύο στρώσεις με παρεμβολή χαλυβδοελάσματος. Τα ελαστικά εφέντρα τοποθετήθηκαν σε ορισμένες μεταξύ τους αποστάσεις, κάτω από μεταλλικό στρωτήρα σχήματος Π, έτσι ώστε το άνοιγμα στήριξης της τραπεζοειδούς λαμαρίνας να είναι 125 cm.

Η ιδιοσυχνότητα όλου του δωματίου, συνολικού φορτίου 18630 kg περίπου, υπολογίστηκε στα 7 – 8 Hz.

#### *3.2. ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ*

Διπλή στρώση γυψοσανίδων (πάχους 12,5 mm), στερεωμένων πάνω σε σωλήνες μορφής, με την ενδιάμεση παρεμβολή φύλλου μολύβδου (πάχους 1 mm), όπως

φαίνεται στην εικόνα 6. Στο διάκενο του μεταλλικού σκελετού τοποθετήθηκαν δύο στρώσεις πλακών πετροβάμβακα (συνολικού πάχους 10 cm), πυκνότητας 75 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.3. ΨΕΥΔΟΡΟΦΗ

Διπλή στρώση γυψοσανίδων (πάχους 12,5 mm), στερεωμένων πάνω σε σωλήνες μορφής, με την ενδιάμεση παρεμβολή ασφαλιτόπανου βάρους 4 kg/m<sup>2</sup>. Στο διάκενο μεταξύ οροφής και ψευδοροφής τοποθετήθηκαν τρεις στρώσεις πλακών πετροβάμβακα (συνολικού πάχους 15 cm), πυκνότητας 75 kg/m<sup>3</sup>.

Σε απόσταση 14 cm κάτω από τον εσωτερικό φλοιό των γυψοσανίδων, με την ανάρτηση ενός συνόλου από τυποποιημένα μεταλλικά ελάσματα σχήματος Π σε κατάλληλο κάναβο, τοποθετήθηκε ένας δεύτερος φλοιός στερεωμένος σε κανάλι ψευδοροφής, αποτελούμενος από επίσης διπλή στρώση γυψοσανίδων (πάχους 12,5 mm), με την ενδιάμεση παρεμβολή φύλλου μολύβδου (πάχους 1 mm). Ανάμεσα στους δύο φλοιούς γυψοσανίδων τοποθετήθηκαν δύο στρώσεις πλακών πετροβάμβακα (συνολικού πάχους 10 cm), πυκνότητας 75 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.4. ΠΟΡΤΕΣ

Κατασκευάστηκε προθάλαμος στην είσοδο του κυρίως studio (διαστάσεων 1,5x1 m), με δυο πόρτες από συνθετικό κούφωμα και διπλή υάλωση τύπου triplex (διατομής 6mm και 10mm και διάκενο ανάμεσα στα κρύσταλλα 12 mm, με προσθήκη αερίου αργόν) και τρεις (3) επάλληλες σειρές ελαστικών σφραγισμάτων.

Ίδιου τύπου πόρτες τοποθετήθηκαν και στο άνοιγμα του θαλάμου προς το χώρο του βοηθητικού studio.

### 3.5. ΠΑΡΑΘΥΡΑ

Στις θέσεις ελέγχου προβλέφθηκαν από δυο (2) επάλληλα, ξύλινα κουφώματα (από ένα στο άνοιγμα κάθε φλοιού, σε απόσταση 10 cm), με διπλή υάλωση τύπου triplex διατομής 6mm και 10mm.

### 3.6. ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

Στο δίκτυο αεραγωγών προσαγωγής και απαγωγής παρεμβλήθηκαν δύο (2) ηχοπαγίδες, κυκλικής διατομής μήκους 80cm, πριν από το studio, και εν σειρά ακόμη δύο (2) ηχοπαγίδες ορθογωνικής διατομής (μήκη 130cm και 100cm), εντός του studio.

### 3.7. ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ

Ο χώρος προσωρινά έχει επενδυθεί στην οροφή και στους περιμετρικούς τοίχους με ηχοαπορροφητικό υλικό τύπου RICOFON, ενώ στο δάπεδο έχει τοποθετηθεί μοκέτα σημαντικού πάχους και βάρους. Για το προσεχές μέλλον έχει προγραμματιστεί η τοποθέτηση διαχυτών καθώς και ηχοαπορροφητικών επενδύσεων από πετάσματα χαμηλών και μεσαίων - υψηλών συχνοτήτων..

#### 4.

### 5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των ηχομετρήσεων, μετά τις νέες κατασκευαστικές διατάξεις καταγράφονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3.

*Πίνακας 3 Μετρήσεις στάθμης θορύβου μετά την ανακατασκευή (dB)*

Οκταβική Περιοχή	31,5	63	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	Lin.	dBA
Studio	103	109	114	111	109	96	91	84	117	105
Προθάλαμος Studio	52	61	61	54	41	-	-	-	65	48
Χώρος Ελέγχου	62	65	59	54	41	-	-	-	67	47
Είσοδος πολυκατοικίας	54	52	50	40	34	-	-	-	59	42
Υπερκείμενο κατάστημα	53	45	44	39	34	-	-	-	54	35
Θόρυβος περιβάλλοντος	53	44	40	36	33	30	-	-	53	34

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις υπολογίστηκε η κανονικοποιημένη διαφορά στάθμης θορύβου D, λαμβάνοντας υπόψη και τη στάθμη θορύβου περιβάλλοντος.

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού εμφανίζονται στον Πίνακα 4.

*Πίνακας 4 Διαφορά στάθμης θορύβου D μετά την ανακατασκευή (dB)*

Οκταβική Περιοχή	31,5	63..	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	Lin	dBA
Προθάλαμος Studio	51	48	53	57	68	-	-	-	52	57
Χώρος Ελέγχου	41	44	55	57	68	-	-	-	50	58
Είσοδος πολυκατοικίας	52	58	64	72	78	-	-	-	59	64
Υπερκείμενο κατάστημα	53	67	71	74	78	-	-	-	66	73

Όπως αποδεικνύεται από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των υπολογισμών, αλλά όπως φάνηκε από την εμπειρία της καθημερινής λειτουργίας του studio, μετά την περιορισμένη ανακατασκευή του χώρου διαπιστώθηκε σημαντική βελτίωση της ηχομόνωσης. Άξιο παρατήρησης είναι ότι στην οκταβική περιοχή των 63Hz, ανέρχεται στα 28 dB. Στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων δεν υπάρχουν θεαματικές τιμές, επειδή ούτως ή άλλως ο θόρυβος περιβάλλοντος κυμαίνεται σε ανώτερες στάθμες από τις στάθμες μέτρησης, ενώ στην πραγματικότητα οι δείκτες ηχομονωτικής ικανότητας λαμβάνουν υψηλότερες τιμές.

Σχηματικά, οι διαφορές στάθμης θορύβου D, πριν και μετά τις νέες ηχομονωτικές επεμβάσεις, στις θέσεις παρατήρησης του προθαλάμου, του χώρου ελέγχου, στην είσοδο της πολυκατοικίας και στο υπερκείμενο κατάστημα, εμφανίζονται συγκριτικά στις εικόνες 1, 2, 3 και 4.

Γίνεται λοιπόν φανερό πως με συστηματικές παρεμβάσεις, έστω μικρής έκτασης και κόστους, είναι εφικτή η ηχομόνωση ενός επαγγελματικού studio, στο υπόγειο μιας παλιάς πολυκατοικίας. Και είναι ενόητο πως, εάν ο προϋπολογισμός του έργου, δεν είχε επιβαρυνθεί με τις αρχικές, άχρηστες εφαρμογές, η συνολική ηχομονωτική ικανότητα του studio (συμπεριλαμβανομένου του χώρου ελέγχου και του βοηθητικού studio) θα μπορούσε να επιφέρει σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα και θεαματικά υψηλότερους δείκτες ηχομονωτικής ικανότητας, σε όλες τις θέσεις παρατήρησης..

Έχουν περάσει 32 χρόνια από την ίδρυση της πρώτης ακουστικής εταιρείας στην Ελλάδα. Σε αυτά τα χρόνια έχουν γίνει πολλές αποτελεσματικές κατασκευές ηχομόνωσης και έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία, ενώ προσφέρονται στην αγορά πληθώρα εξειδικευμένων υλικών.

Παρόλα αυτά δεν έχουμε κατορθώσει ακόμη να πείσουμε την πολιτεία και γενικά την κοινωνία, ότι στις περισσότερες δομικές κατασκευές είναι απαραίτητη η συνεργασία με σύμβουλο Ακουστικής.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

-**BBC Engineering**, Architectural and Civil Engineering Department, Guide to Acoustic Practice, BBC, London 1990.

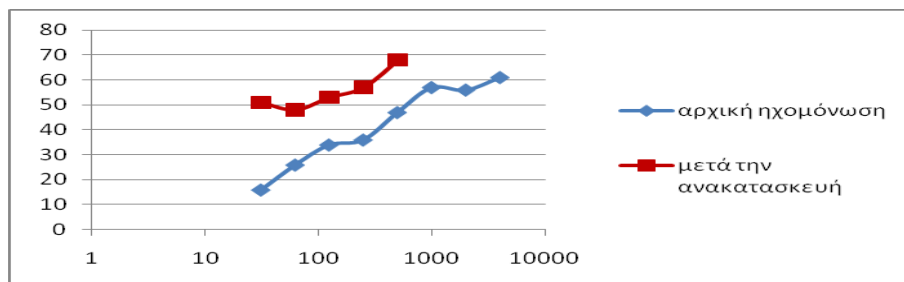
-**F. Alton Everest**, The Master Handbook of Acoustics, TAB Books, McGraw-Hill Inc. 1994

-**Χ. Αθανασόπουλος**, Προστασία Κτιρίων, Αθήνα 1991

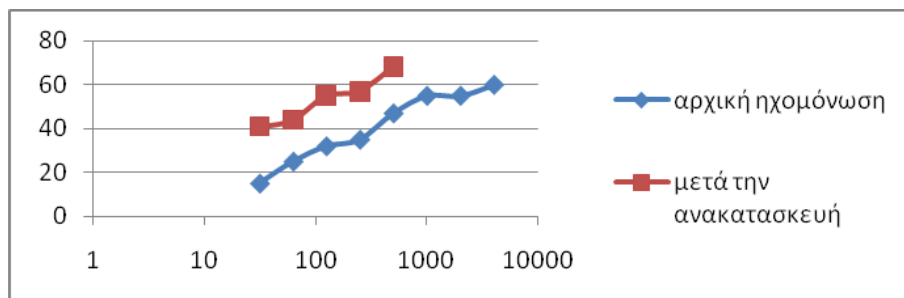
-**Sound Research Laboratories Limited**, Practical Building Acoustics, F. N. Spon, London, 1976.

-**V. S. Mankovsky**, Acoustics of Studios and Auditoria, Focal Press, London, 1971

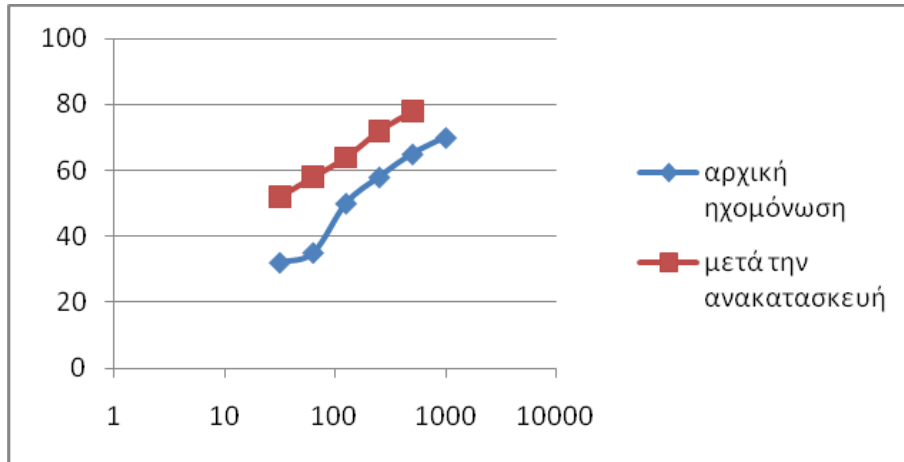
## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΕΣ



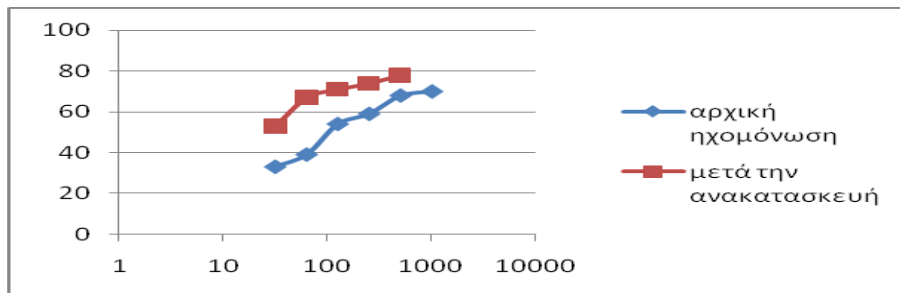
Εικόνα 1 : Διαφορά στάθμης θορύβου  $D$  (dB), στον προθάλαμο studio



Εικόνα 2 Διαφορά στάθμης θορύβου  $D$  (dB), στον χώρο ελέγχου



Εικόνα 3 Διαφορά στάθμης θορύβου  $D$  (dB), στην είσοδο πολυκατοικίας



Εικόνα 4 Διαφορά στάθμης θορύβου  $D$  (dB), στο υπερκείμενο κατάστημα



*Εικ. 5: Μεταλλική κατασκευή δωματίου μέσα σε δωμάτιο*



*Εικ. 6: Εσωτερικός φλοιός γυψοσανίδων*