



Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

*“ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ
ΧΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ ΣΧΟΛΕΙΟΥ
ΓΩΝΙΑΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ”*

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΜΙΧΑΗΛ-ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΤΕΡΖΑΚΗΣ Α.Μ. 968

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΣΠΥΡΟΣ ΜΠΡΕΖΑΣ

Δρ. ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΜΠΑΚΑΡΕΖΟΣ

Δρ. ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΠΑΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ

ΡΕΘΥΜΝΟ 2011

*Ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντες της
παρούσας πτυχιακής εργασίας για την
πολύτιμη βοήθειά τους, για την
ομαλή διεκπεραίωσή της, καθώς επίσης
και το φίλο μου Αχιλλέα Κάππη.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	9
1 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	10
1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Μέθοδος των Ακτινών (Ray-Tracing Method)	10
1.3 Μέθοδος των Εικονικών Πηγών (Image Source Model).....	13
1.4 Υβριδικό Μοντέλο (Hybrid Model).....	15
1.5 Υπολογιστική Μέθοδος Προγράμματος Προσομοίωσης CATT-Acoustic.....	17
2 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Χρόνος Αντήχησης (Reverberation Time- RTn)	18
2.3 Αρχικός Χρόνος Μείωσης του Ηχητικού Πεδίου (Early Decay Time- EDT)....	19
2.4 Διακριτότητα (Definition- D).....	19
2.5 Ευκρίνεια (Clarity- C)	20
2.6 Κεντρικός Χρόνος (Center Time- T_s)	21
2.7 Ηχηρότητα (Sound Strength- G)	21
2.8 Δείκτης Καταληπτότητας Ομιλίας (Speech Transmission Index- STI).....	22
2.9 Ταχύς Δείκτης Μετάδοσης Λόγου (Rapid Speech Transmission Index- $RASTI$)	22
2.10 Πλευρικά κλάσματα-Λόγος πρώιμης πλευρικής προς τη συνολική ηχητική ενέργεια (Early Lateral Energy Fraction- LF)	23
3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.....	25
3.1 Εισαγωγή.....	25
3.2 Μετρήσεις με Ηχόμετρο	25
3.3 Μετρήσεις με Σύστημα MLSSA	25
3.4 Προσομοίωση με το Πρόγραμμα Προσομοίωσης CATT-Acoustic	27
4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ	28
4.1 Εισαγωγή.....	28
4.2 Περιγραφή του Χώρου	28
4.3 Ακουστικά Προβλήματα Αίθουσας	32
4.4 Ακουστική Βελτίωση Αίθουσας	32
4.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	35

4.5.1. Χρόνος Αντήχησης (RT)	35
4.5.2. Πρώιμος Χρόνος Ανακλάσεων (EDT)	36
4.5.3. Καταληπτότητα (C80).....	36
4.5.4. Διακριτότητα (D50)	37
4.5.5. Κεντρικός χρόνος (Ts).....	37
4.5.6. Στάμθη ηχητικού πεδίου (SPL)	37
4.5.7 Ηχηρότητα (G).....	38
4.5.8 Πλευρικές ανακλάσεις (LF).....	38
4.5.9 Ταχύς Δείκτης Μετάδοσης Λόγου (RASTI).....	39
4.5.10 Δείκτης καταληπτότητας ομιλίας (STI).....	40
4.6 Κοστολόγιο	41
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗ	42
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗ	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.

Σχήμα 1.1: Εκπεμπόμενη ηχητική ακτίνα από σημειακή πηγή.

Σχήμα 1.2: Διάδοση του ήχου με τη μορφή ακτίνων (ray tracing).

Σχήμα 1.3: Επιφάνεια τριγωνικής δέσμης (beam tracing).

Σχήμα 1.4: Φαινόμενα κατά την τυχαία πρόσκρουση μίας ακτίνας σε επίπεδη επιφάνεια.

Σχήμα 1.5: Σχηματική δημιουργία των ειδώλων (image source) για έναν κλειστό χώρο. A_1 : ανάκλαση 1^{ης} τάξης, A_2 : ανάκλαση 2^{ης} τάξης, κ.ο.κ.

Σχήμα 1.6: Μη ακουστή ακτίνα από τον δέκτη.

Σχήμα 1.7: Σχέση ενέργειας με την τάξη των ανακλάσεων σε συνδυασμό με την κατοπτρική (γκρι) και τη διάχυτη (μαύρο) ανάκλαση.

Σχήμα 1.8: Μέτρηση της προσπίπτουσας σε κάποιο δέκτη ενέργειας με τη στοχαστική (αριστερά) και τη ντετερμινιστική (δεξιά) μέθοδος των ακτίνων (ray tracing).

Σχήμα 1.9: Σχέση του υπολογιστικού χρόνου κάθε μεθόδου συναρτήσει της κρουστικής απόκρισης του χώρου.

Σχήμα 1.10: Τρόπος υπολογισμού των πρώτων ανακλάσεων. α) 1^{ης} τάξης κατοπτρική ανάκλαση και διάχυτες ανακλάσεις. β) 1^{ης} τάξης διάχυτες ανακλάσεις. γ) Χρονική αναπαράσταση 1^{ης} τάξης κατοπτρικής ανάκλασης και 1^{ης} τάξεως διάχυτων ανακλάσεων (για τον ακροατή 1). δ) χρονική αναπαράσταση 1^{ης} τάξης διάχυτων ανακλάσεων (για τον ακροατή 2)-ο απευθείας ήχος παραλείπεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.

Σχήμα 2.1: Σχηματικός υπολογισμός χρόνου αντήχησης.

Σχήμα 2.3: Σχηματικός ορισμός της ευκρίνειας (C_{80}).

Σχήμα 2.4: Σχηματικός ορισμός της ηχηρότητας (G).

Πίνακας 2.1: Χαρακτηρισμός καταληπτότητας σχετικά με τις τιμές του STI .

Πίνακας 2.2: Χαρακτηρισμός καταληπτότητας ομιλίας σε σχέση με τις τιμές του $RASTI$.

Σχήμα 2.5: Σχέση STI με την καταληπτότητα: α) αριθμών και γραμμάτων, β) μικρών προτάσεων, γ) προτάσεων με ομοιοκαταληξία και δ) προτάσεων με διάφορα μέτρα.

Σχήμα 2.6: Σχηματικός ορισμός των πλευρικών ανακλάσεων (LEF ή LF).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.

Σχήμα 3.1: Μέτρηση με σύστημα MLSSA.

Φωτογραφία 3.1: Φωτογραφία του συστήματος MLSSA.

Σχήμα 3.2: Πρόγραμμα προσομοίωση CATT-Acoustic.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ.

Σχήμα 4.1: Προτεινόμενοι χρόνοι αντήχησης για μουσική και ομιλία σε σχέση με τον όγκο της αίθουσας.

Φωτογραφία 4.1: Βόρειο μέρος αίθουσας δημοτικού σχολείου Γωνιάς.

Φωτογραφία 4.2: Ανατολικό μέρος αίθουσας δημοτικού σχολείου Γωνιάς.

Φωτογραφία 4.3: Δυτικό μέρος αίθουσας δημοτικού σχολείου Γωνιάς.

Φωτογραφία 4.4: Παρασκήνια της αίθουσας.

Φωτογραφία 4.5: Νότιο μέρος δημοτικού σχολείου Γωνιάς.

Σχήμα 4.2: Τρισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας πριν την μελέτη από το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic.

Σχήμα 4.3: Μέτρηση θορύβου βάθους.

Σχήμα 4.4: Οθόνη με παράθυρα λειτουργίας του προγράμματος προσομοίωσης CATT-Acoustic.

Σχήμα 4.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου μετά την ακουστική τροποποίηση.

Σχήμα 4.6: Χρόνος αντήχησης πριν και μετά τη μελέτη σε σχέση με τον προτεινόμενο χρόνο αντήχησης.

Σχήμα 4.7: Χρόνος αντήχησης και μέση απορρόφηση πριν και μετά την ακουστική επέμβαση (T_{ref} = πειραματικός χρόνος αντήχησης με σύστημα MLSSA).

Σχήμα 4.8: *EDT* πριν και μετά τη μελέτη σε σχέση με τις προτεινόμενες τιμές.

Σχήμα 4.9: Κατανομή της καταληπτότητας πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

Σχήμα 4.10: Κατανομή της διακριτότητας πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

Σχήμα 4.11: Κατανομή του κεντρικού χρόνου πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

Σχήμα 4.12: Κατανομή της στάθμης του ηχητικού πεδίου πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

Σχήμα 4.13: Κατανομή της ηχηρότητας πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη χώρου).

Σχήμα 4.14: Κατανομή των πλευρικών ανακλάσεων πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη χώρου).

Σχήμα 4.15: *RASTI* με θόρυβο βάθους πριν (πάνω αριστερά) και μετά (πάνω δεξιά) τη μελέτη και *RASTI* χωρίς θόρυβο βάθους πριν (κάτω αριστερά) και μετά (κάτω δεξιά) με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

Σχήμα 4.16: *STI* με θόρυβο βάθους πριν (πάνω αριστερά) και μετά (πάνω δεξιά) τη μελέτη και *STI* χωρίς θόρυβο βάθους πριν (κάτω αριστερά) και μετά (κάτω δεξιά) με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

Πίνακας 4.5: Στάθμη θορύβου βάθους για τον υπολογισμό του *STI*.

Πίνακας 4.6: Κοστολόγιο μελέτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗ.

Πίνακας Α.1: Μέτρηση RT_{20} με ηχόμετρο CESVA.

Πίνακας Α.2: Μέτρηση RT_{30} με ηχόμετρο CESVA.

Πίνακας Α.3: Μέτρηση RT_{20} με σύστημα MLSSA.

Πίνακας Α.4: Μέτρηση RT_{30} με σύστημα MLSSA.

Πίνακας Α.5: Μέτρηση EDT με σύστημα MLSSA.

Πίνακας Α.6: Μέτρηση C_{50} με σύστημα MLSSA.

Πίνακας Α.7: Μέτρηση C_{80} με σύστημα MLSSA.

Πίνακας Α.8: Μέτρηση D_{50} με σύστημα MLSSA.

Πίνακας Α.9 Μέτρηση T_s με σύστημα MLSSA.

Σχήμα Α.1: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 1^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.2: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 2^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.3: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 3^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.4: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 4^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.5: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 5^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.6: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 6^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.7: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 7^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.8: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 8^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.9: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 9^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.10: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 10^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.11: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 11^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.12: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 12^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.13: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 13^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.14: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 14^η θέση μέτρησης.

Σχήμα Α.15: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 15^η θέση μέτρησης.

Πίνακας Α.10: Υπολογισμός RT_{20} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.11: Υπολογισμός RT_{30} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.12: Υπολογισμός EDT με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.13: Υπολογισμός C_{80} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.14: Υπολογισμός D_{50} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.15: Υπολογισμός T_s με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.16: Υπολογισμός G με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.17: Υπολογισμός LF με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας Α.18: Υπολογισμός LFC με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας A.19: Υπολογισμός SPL με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας A.20: Υπολογισμός $RASTI$ με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας A.21: Υπολογισμός STI με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΠΕΜΒΑΣΗ.

Πίνακας B.1: Υπολογισμός RT_{20} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.2: Υπολογισμός RT_{30} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.3: Υπολογισμός EDT με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.4: Υπολογισμός C_{80} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.5: Υπολογισμός D_{50} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.6: Υπολογισμός Ts με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.7: Υπολογισμός LF με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.8: Υπολογισμός LFC με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.9: Υπολογισμός G με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.10: Υπολογισμός SPL με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.11: Υπολογισμός $RASTI$ με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πίνακας B.12: Υπολογισμός STI με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ.

Σχήμα Γ.1: Ακουστική οροφή scherff της εταιρίας Knauf.

Σχήμα Γ.2: Διάτρητη γυψοσανίδα της εταιρίας Knauf.

Σχήμα Γ.3: Διάτρητη Γυψοσανίδα slotline της εταιρία Knauf.

Σχήμα Γ.4: Ηχοαπορροφητικά Πάνελ της εταιρίας acoustic hellas.

Πίνακας Γ.1: Απορρόφηση βελούδινη ελαφριά κουρτίνα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ακουστική μελέτη των μεγάλων κλειστών χώρων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και ειδικά των διδαχτικών χώρων σε σχολικά συγκροτήματα, καθώς σχετίζεται τόσο με την ποιότητα του ήχου που λαμβάνει ο δέκτης (ακροατής) όσο και με την επιθυμητή κατανομή της ηχητικής ενέργειας στο χώρο.

Η συγκεκριμένη ακουστική μελέτη χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο της ακουστικής μελέτης που περιλαμβάνει, ακουστικά μοντέλα για την προσομοίωση του ήχου τόσο σε κλειστό όσο και σε ανοιχτό χώρο με σκοπό τον υπολογισμό ειδικών δεικτών που σχετίζονται με την ακουστική ποιότητά του.

Στο δεύτερο μέρος παρατίθεται το πειραματικό υπόβαθρο της ακουστικής μελέτης, όπου αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από μετρήσεις στην αίθουσα, αλλά και των υπολογισμών από την προσομοίωσή της στο πρόγραμμα CATT-Acoustic. Καθώς εξήχθησαν οι απαραίτητες πληροφορίες προτάθηκε λύση κατόπιν προσομοίωσης.

Στο τρίτο και τελευταίο μέρος (παράρτημα) αναφέρονται όλα τα αποτελέσματα πριν και μετά τη διεξαγωγή της ακουστικής μελέτης, καθώς επίσης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

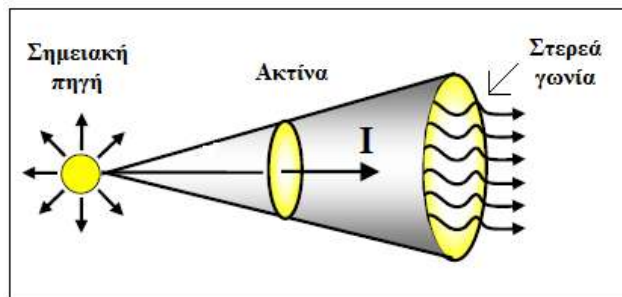
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

1.1 Εισαγωγή

Τα υπολογιστικά μοντέλα τα οποία αναφέρονται παρακάτω αφορούν τον τομέα της γεωμετρικής ακουστικής. Η γεωμετρική ακουστική εξετάζει την ακουστική συμπεριφορά των μεγάλων κλειστών χώρων με τη βοήθεια των νόμων της οπτικής. Τα υπολογιστικά μοντέλα που αναφέρονται είναι των ακτινών (ray tracing model), των εικονικών πηγών (image source model) και το υβριδικό των εικόνων (hybrid image source model).

1.2 Μέθοδος των Ακτινών (Ray-Tracing Method)

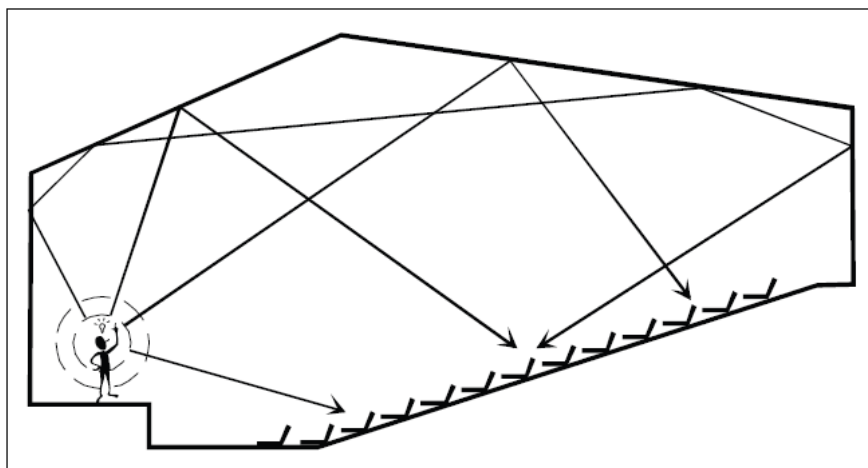
Η μέθοδος ray tracing είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους προσομοίωσης ακουστικής συμπεριφοράς κλειστών χώρων. Το μοντέλο κατά την πάροδο των χρόνων έχει αναπτύξει διάφορες παραλλαγές, παρ' όλα αυτά η βασική ιδέα παραμένει ίδια.



Σχήμα 1.1: Εκπεμπόμενη ηχητική ακτίνα από σημειακή πηγή.

Στο ray-tracing, η ηχητική ενέργεια ταξιδεύει από την πηγή προς το δέκτη με τη μορφή δέσμης ή ακτίνας, όπου κάθε ακτίνα διαδίδεται με την ταχύτητα του ήχου. Η πηγή (σημειακή) εκπέμπει ένα μεγάλο αριθμό ακτινών. Ο τρόπος εκπομπής (κατεύθυνση) και η ενέργεια των ακτινών σχετίζονται άμεσα με τις ιδιότητες της πηγής, δηλαδή την ηχητική της ισχύ και την κατευθυντικότητα της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κατεύθυνση που στοχεύει η πηγή να επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα όταν αυτή παρουσιάζει κατευθυντικότητα, με συνέπεια την πιθανή μη ομοιόμορφη κατανομή των ακτινών ανά στερεά γωνία στο χώρο, γεγονός που καθιστά το μοντέλο ικανό να προσομοιάσει κατευθυντικές πηγές. Λόγω των παραπάνω, μπορεί να πραγματοποιηθεί μελέτη τοποθέτησης των πηγών με σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης συγκεκριμένου συστήματος ηχητικής κάλυψης σε συγκεκριμένο χώρο. Κατά την εκπομπή τους οι ακτίνες διασκορπίζονται στο χώρο μέχρις ότου χτυπήσουν το δέκτη, ο οποίος απεικονίζεται με σφαίρα. Η ακτίνα η οποία προσκρούει σε μία επιφάνεια ανακλάται σύμφωνα με τις ιδιότητες της επιφάνειας (απορρόφηση-διάχυση) (σχήμα 1.3), κατά την πρόσκρουσή της σε άλλη επιφάνεια ανακλάται ξανά σύμφωνα με τις ιδιότητες της επιφάνειας και συνεχίζει την πορεία της μέχρις ότου συναντήσει μια πλήρως απορροφητική επιφάνεια (σχήμα 1.2).

Πρακτικά, ο χρόνος όπου θα «σβήσει» η ακτίνα μπορεί να καθοριστεί, έτσι ώστε η ενέργεια που έχει απομείνει στην ακτίνα να διασκορπιστεί στο χώρο μετά το τέλος της ορισμένης χρονικής περιόδου. Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές όπου στο τελευταίο χτύπημα της ακτίνας σε μία επιφάνεια, δημιουργείται μία νέα πηγή όπου με την σειρά της αυτή εκπέμπει την υπολειπόμενη ενέργεια στο χώρο. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός πλήρως αντηχητικού πεδίου.



Σχήμα 1.2: Διάδοση του ήχου με τη μορφή ακτίνων (ray tracing).

Πρόβλημα παρουσιάζεται, όταν ο δέκτης μοντελοποιηθεί σαν ένα σημείο στο χώρο. Οι ακτίνες έχουν πολύ μικρές πιθανότητες να συναντήσουν το δέκτη. Μία λύση για το πρόβλημα αυτό είναι να προσδώσει κανείς μια δεδομένη επιφάνεια στους δέκτες. Άλλη λύση είναι να αυξηθεί ο αριθμός των ακτινών, ώστε να αυξηθούν και οι πιθανότητες κάποιες ακτίνες να συναντήσουν το δέκτη. Στην περίπτωση αυτή όμως το πρόβλημα έγκειται στο μεγάλο υπολογιστικό χρόνο που θα χρειαστεί το σύστημα να ολοκληρώσει την προσομοίωση. Ο ελάχιστος αριθμός ακτινών N που απαιτούνται για την πρόσκρουση μιας ακτίνας πάνω σε μία επιφάνεια S σε χρόνο t δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$N \geq \frac{8\pi c^2}{S} t^2 \quad (1.1)$$

όπου:

c : η ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε m/sec .

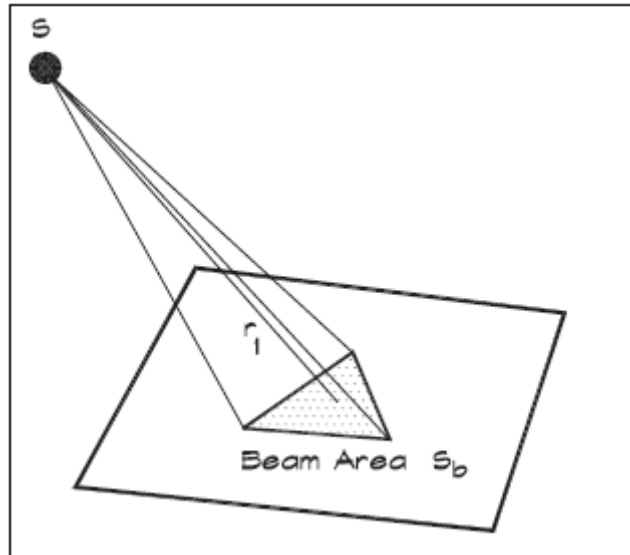
S : η επιφάνεια της αίθουσας σε m^2 .

t : η χρονική διάρκεια της ανάλυσης σε sec .

Για την εξάλειψη του προβλήματος της μεγάλης υπολογιστικής ισχύος εφαρμόστηκε μια μέθοδος μοντελοποίησης των ακτινών, γνωστή ως μέθοδος δεσμών (beam-tracing). Στη μέθοδο αυτή ο ήχος προσομοιάζεται με δέσμη που έχει επιφάνεια ανάλογα με το είδος που επιλέγεται (σχήμα 1.3).

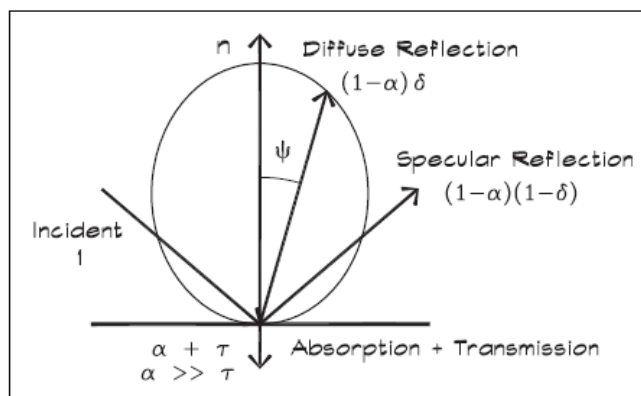
Με αυτό τον τρόπο οι πιθανότητες να χτυπήσει μία δέσμη έναν ακροατή αυξάνονται και η ανάγκη για χρήση μεγάλου αριθμού ακτινών μειώνεται, με άμεσο επακόλουθο τη μείωση της υπολογιστικής ισχύος που απαιτείται.

Τα είδη δεσμών που υπάρχουν είναι: σφαιρική, κυλινδρική, ελλειψοειδής, παραβολική, υπερβολική, κωνική και τριγωνική.



Σχήμα 1.3: Επιφάνεια τριγωνικής δέσμης (beam tracing).

Κατά την πρόσκρουση μιας ακτίνας πάνω σε κάποια επιφάνεια, μέρος της ενέργειάς της απορροφάται, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται πίσω στο χώρο (σχήμα 1.4). Στο ποσοστό της απορροφούμενης ενέργειας συμπεριλαμβάνεται και η ενέργεια που μεταδίδεται μέσω της επιφάνειας σε γειτνιάζοντες χώρους.



Σχήμα 1.4: Φαινόμενα κατά την τυχαία πρόσκρουση μίας ακτίνας σε επίπεδη επιφάνεια.

Σε περίπτωση που δε μελετάται η ηχοαπόλεια, όταν η ακτίνα προσπίπτει σε εξωτερική περατωτική επιφάνεια η μεταδιδόμενη ενέργεια δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον και επομένως συγκαταλέγεται στην αποσβούμενη. Αντιθέτως, όταν η περατωτική επιφάνεια βρίσκεται εσωτερικά του χώρου, η ηχομετάδοση παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς η μεταδιδόμενη ενέργεια θα επιστρέψει τελικά μέσα στο χώρο.

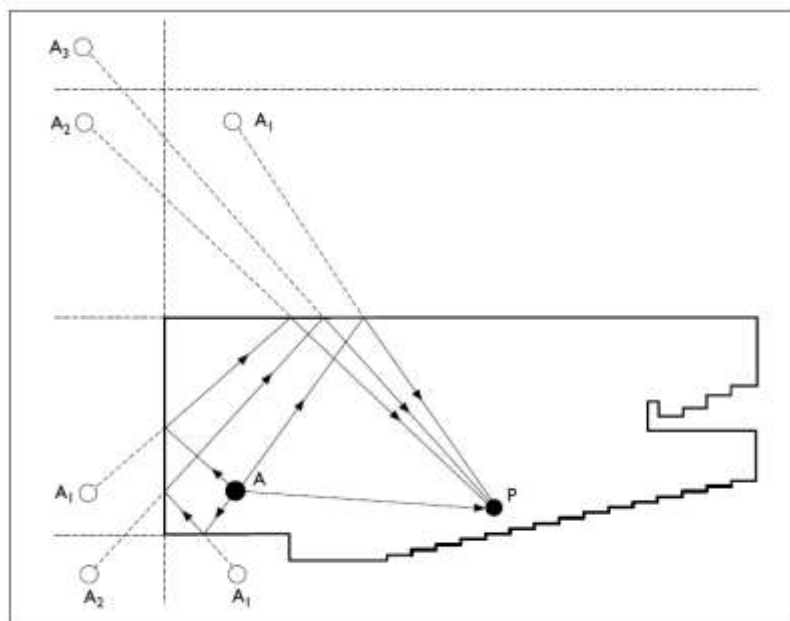
Το ποσοστό της ενέργειας που δεν απορροφάται (ή μεταδίδεται) ανακλάται πίσω στο χώρο. Για να μοντελοποιηθεί η διάχυση αλλάζει η γωνία ανάκλασης. Έχουν προταθεί διάφορες μοντελοποιήσεις, όπως ο νόμος του συνημίτονου του Lambert, πλήρως τυχαία διάχυση (Kuttruff) κ.α. [1], [2], [3], [4]

1.3 Μέθοδος των Εικονικών Πηγών (Image Source Model)

Η μέθοδος των εικονικών πηγών είναι και αυτή μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους μοντελοποίησης χώρων. Σε αντίθεση με τη μέθοδο ray-tracing, η οποία είναι μια στοχαστική μέθοδος, η μέθοδος image source είναι μια απολύτως ντετερμινιστική μέθοδος, η οποία ορίζεται με αυστηρά καθορισμένο τρόπο.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αρκετά καλή χρονική ανάλυση, η οποία χρησιμοποιεί την ταχύτητα του ήχου για τον υπολογισμό του χρονικού σημείου άφιξης της ακτίνας στο δέκτη. Παρ' όλο που είναι απλή στη χρήση της, το μεγάλο της μειονέκτημα είναι η εκθετική αύξηση του υπολογιστικού χρόνου σε αναλογία με την τάξη των ανακλάσεων και τον αριθμό των επιφανειών της αίθουσας.

Κατά την πρόσκρουση μιας ακτίνας, η οποία εκπέμφθηκε από μια πηγή, πάνω σε μία επιφάνεια, η ακτίνα ανακλάται κατοπτρικά από την επιφάνεια και με την σειρά της σε άλλη επιφάνεια κ.ο.κ. Για κάθε ανακλαστική επιφάνεια σχεδιάζεται η εικόνα της πηγής που είναι συμμετρική με αυτήν έχοντας επίπεδο συμμετρίας την ανακλαστική επιφάνεια. Στη συνέχεια, από κάθε εικονική πηγή φέρονται οι ευθείες οι οποίες υποδηλώνουν την κατοπτρική ανάκλαση του ήχου μέσα στον χώρο (σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5: Σχηματική δημιουργία των ειδώλων (image source) για έναν κλειστό χώρο. A_1 : ανάκλαση 1^{ης} τάξης, A_2 : ανάκλαση 2^{ης} τάξης, κ.ο.κ.

Ο αριθμός των κατοπτρικών ανακλάσεων που φτάνουν σε έναν ακροατή μετά από χρονική διάρκεια t μέσα σε έναν κλειστό χώρο με όγκο V , δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$N_{refl} \geq \frac{4\pi c^3}{3V} t^3 \quad (1.2)$$

όπου:

c : η ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε m/sec .

V : ο όγκος της αίθουσας σε m^3 .

t : η χρονική διάρκεια της ανάλυσης σε sec .

Η μέθοδος image source είναι αρκετά ακριβής καθώς δεν παραβλέπεται καμία επιφάνεια, με αποτέλεσμα την τεράστια αύξηση της υπολογιστικής ισχύος. Ο συνολικός αριθμός των εικονικών πηγών δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$N_{sou} \cong (n - 1)^i \quad (1.3)$$

όπου:

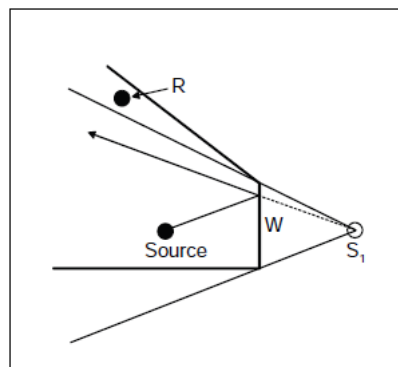
n : ο συνολικός αριθμός των επιφανειών μιας αίθουσας.

i : η τάξη της ανάκλασης.

Συγκεκριμένα το κλασσικό μοντέλο του image source (προτάθηκε από Allen-Berkley - Borish) είναι υπολογιστικά αποδοτικό για:

- Χρονικά μικρές κρουστικές αποκρίσεις.
- Απλές γεωμετρίες.
- Τετράγωνους χώρους.

Για χώρους με περίπλοκο σχήμα, η υπολογιστική ισχύς αυξάνεται εκθετικά καθώς αυξάνεται το πλήθος των εικονικών πηγών. Καθώς αυξάνεται το πλήθος των εικονικών πηγών υπάρχει περίπτωση κάποιες από αυτές τις εικονικές πηγές να μη γίνονται ακουστές από το δέκτη. Για την εύρεση των εικονικών πηγών που γίνονται ακουστές από το δέκτη εφαρμόστηκε ένα τεστ με την ονομασία «τεστ ακουστότητας» (audibility test). Το τεστ αυτό χρησιμοποιεί την αντίστροφη διαδρομή της ακτίνας, δηλαδή τη διαδρομή της ακτίνας από το δέκτη προς την πηγή. [3], [4], [5]



Σχήμα 1.6: Μη ακουστή ακτίνα από τον δέκτη.

1.4 Υβριδικό Μοντέλο (Hybrid Model)

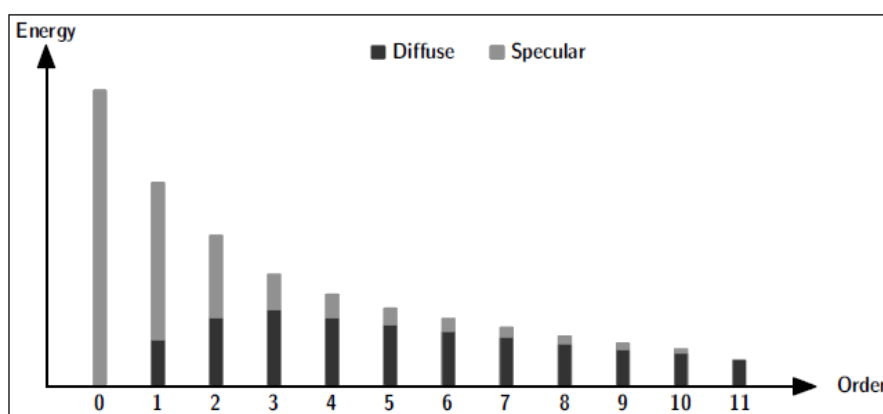
Ο αλγόριθμος του ray-tracing και του image source όπως και κάθε αλγόριθμος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ο κατάλληλος συνδυασμός των δύο αυτών αλγορίθμων ονομάζεται «υβριδική μέθοδος των εικονικών πηγών» και έχει ως αποτέλεσμα:

- Χρονική ανάλυση με ποιότητα ανάλογη της συχνότητα δειγματοληψίας.
- Συνυπολογισμό της διάχυσης.
- Γρήγορη ανάλυση του τεστ ακουστότητας για τις εικονικές πηγές, το οποίο είναι και το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου.

Συγκεκριμένα, στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των πρώτων τάξεων κατοπτρικών ανακλάσεων η μέθοδος των εικονικών πηγών (image source) για το λόγο ότι οι πρώτες ανακλάσεις είναι οι πιο σημαντικές κατά την περιγραφή του χώρου. Για τις υπόλοιπες ανακλάσεις, αλλά και για το αντηχητικό πεδίο χρησιμοποιείται η ντετερμινιστική μέθοδος των ακτίνων (deterministic ray tracing) και όχι η στοχαστική μέθοδος που αναφέρθηκε παραπάνω, με τη διαφορά τους να βρίσκεται στον τρόπο μέτρησης της ενέργειας.

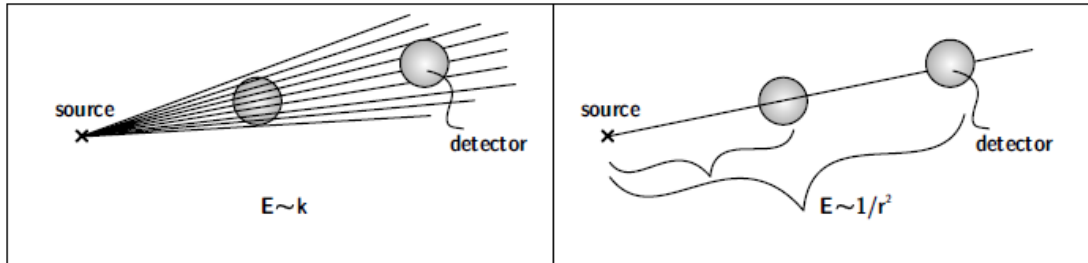
Έχει βρεθεί πως το ποσοστό της ενέργειας που ανακλάται κατοπτρικά μειώνεται όσο αυξάνεται η τάξη της ανάκλασης, ενώ αντίθετα, το ποσοστό της ενέργειας που διαχέεται αυξάνεται. Όπως παρατηρείται και στο σχήμα 1.6, μετά τη δεύτερη ανάκλαση, το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας διαχέεται παρά ανακλάται κατοπτρικά.

Ακολουθώντας τα δεδομένα του σχήματος 1.6, οι πρώτες ανακλάσεις μοντελοποιούνται με τη χρήση του μοντέλου image source, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας των ανακλάσεων αυτών εμπεριέχεται στο κατοπτρικά ανακλώμενο κομμάτι τους. Οι ανακλάσεις μεγαλύτερης τάξης μοντελοποιούνται με την χρήση ντετερμινιστικού ray tracing, το οποίο υποστηρίζει και μοντελοποίηση της διάχυσης που όπως φαίνεται και στο σχήμα, αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας των ανακλάσεων υψηλής τάξης (μεγαλύτερες της 2^{ης} τάξης).



Σχήμα 1.7: Σχέση ενέργειας με την τάξη των ανακλάσεων σε συνδυασμό με την κατοπτρική (γκρι) και τη διάχυτη (μαύρο) ανάκλαση.

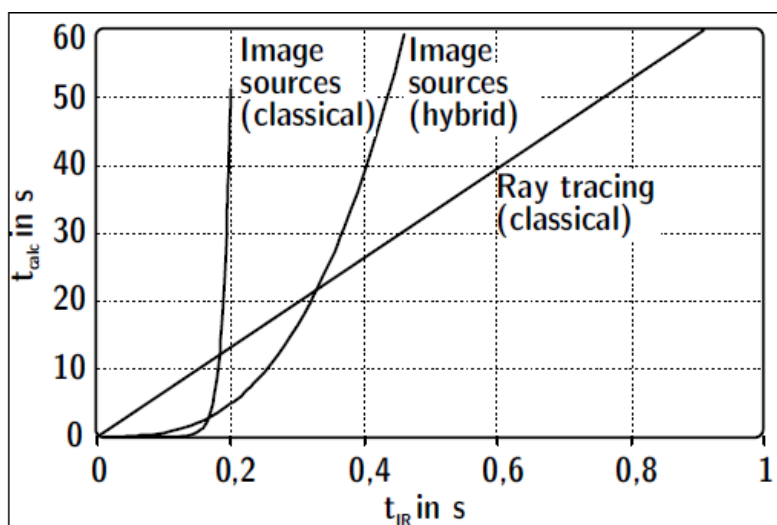
Στη στοχαστική μέθοδο των ακτίνων, η ενέργεια εξαρτάται από το πλήθος των ακτίνων που φτάνουν στο δέκτη, ενώ στη ντετερμινιστική μέθοδο η ενέργεια της ακτίνας που φτάνει στο δέκτη μειώνεται βάσει του τετραγώνου της απόστασης που έχει διανύσει, καθώς και των απωλειών που υφίσταται όταν προσπίπτει σε περατωτικές επιφάνειες (σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.8: Μέτρηση της προσπίπτουσας σε κάποιο δέκτη ενέργειας με τη στοχαστική (αριστερά) και τη ντετερμινιστική (δεξιά) μέθοδος των ακτίνων (ray tracing).

Το σημαντικό σημείο για τη σύνδεση αυτών των δύο μοντέλων είναι η διενέργεια του τεστ ακουστότητας (audibility test) κατά την ορθή κατεύθυνση της εκπεμπόμενης ακτίνας. Εάν μια κατοπτρικά ανακλώμενη ακτίνα χτυπήσει ένα δέκτη, η αντίστοιχη εικονική πηγή πρέπει να είναι ακουστή. Αλγόριθμοι όπως “beam tracing”, “cone tracing”, “pyramid tracing”, κ.ο.κ. αποτελούν τις διάφορες προσεγγίσεις του τεστ ακουστότητας ορθής κατεύθυνσης.

Όπως προαναφέρθηκε, το υβριδικό μοντέλο επωφελείται από τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων για την πιο πιστή μοντελοποίηση των χώρων, ενώ ταυτόχρονα η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς παραμένει σε λογικά πλαίσια. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.8, ο χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό της κρουστικής απόκρισης είναι μικρότερος της κλασικής μεθόδου του image source, ενώ όσο αυξάνεται το μήκος της κρουστικής απόκρισης είναι σχετικά πιο δαπανηρό από το κλασικό (στοχαστικό) ray tracing. [3], [4]

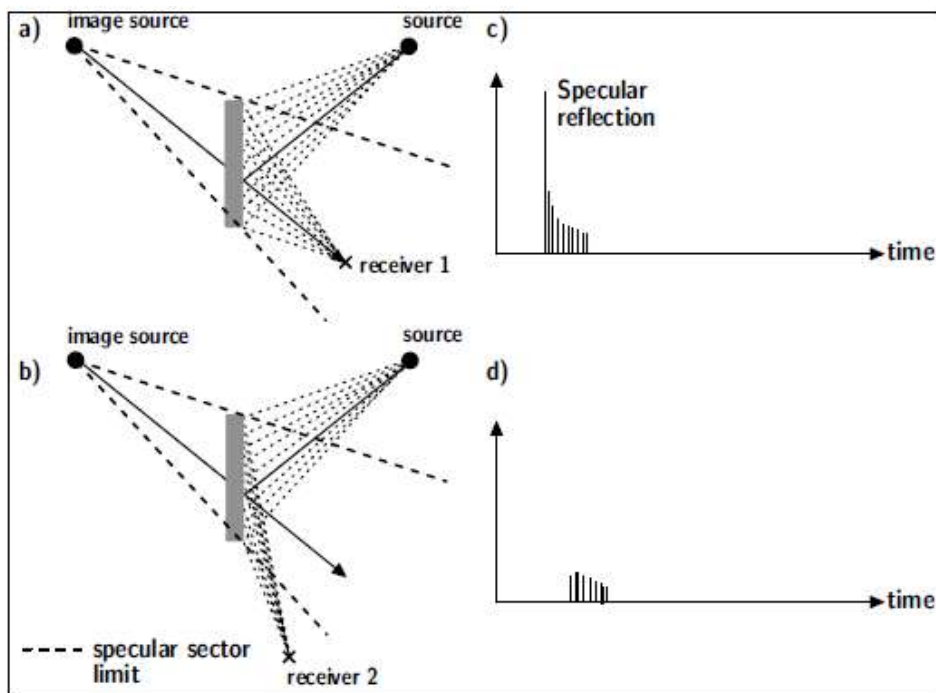


Σχήμα 1.9: Σχέση του υπολογιστικού χρόνου κάθε μεθόδου συναρτήσει της κρουστικής απόκρισης του χώρου.

1.5 Υπολογιστική Μέθοδος Προγράμματος Προσομοίωσης CATT-Acoustic

Στο υβριδικό μοντέλο βασίζεται και το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της ακουστικής μελέτης που θα αναφερθεί αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

Συγκεκριμένα, ο υπολογισμός του απευθείας ήχου, οι πρώτης τάξης κατοπτρικές και διάχυτες ανακλάσεις, όπως επίσης και οι δεύτερης τάξης μοντελοποιούνται με τη μέθοδο image source. Αντιθέτως, για τον υπολογισμό υψηλότερων τάξεων ανακλάσεων εφαρμόζεται η μέθοδος ray/cone-tracing (ντετερμινιστικό ray tracing), λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συχνοτική εξάρτηση (οκταβικά) του συντελεστή διάχυσης κάνοντας χρήση του νόμου του συνημίτονου (νόμος του Lambert). Ο τρόπος υπολογισμού των πρώτων ανακλάσεων (διάχυτων και κατοπτρικών) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 1.8). [4]



Σχήμα 1.10: Τρόπος υπολογισμού των πρώτων ανακλάσεων. α) 1^{ης} τάξης κατοπτρική ανάκλαση και διάχυτες ανακλάσεις. β) 1^{ης} τάξης διάχυτες ανακλάσεις. γ) Χρονική αναπαράσταση 1^{ης} τάξης κατοπτρικής ανάκλασης και 1^{ης} τάξεως διάχυτων ανακλάσεων (για τον ακροατή 1). δ) χρονική αναπαράσταση 1^{ης} τάξης διάχυτων ανακλάσεων (για τον ακροατή 2)-ο απευθείας ήχος παραλείπεται.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι ακουστικοί δείκτες, οι οποίοι κατηγοριοποιούν την καταλληλότητα του χώρου για τη χρήση που επιθυμείται (μουσική, ομιλία, πολλαπλές χρήσεις κ.τ.λ.). Οι δείκτες έχουν σχέση με την ηχητική ενέργεια που προσδίδεται στο χώρο. Οι ακουστικοί δείκτες που αναφέρονται είναι:

1. Ο χρόνος αντήχησης (*Reverberation Time-RT*).
2. Ο αρχικός χρόνος μείωσης του ηχητικού πεδίου (*Early Decay Time-EDT*).
3. Η διακριτότητα (*Definition-D*).
4. Η ευκρίνεια (*Clarity-C*).
5. Ο κεντρικός χρόνος (*Center Time-T_S*).
6. Η ηχηρότητα (*Sound Strength-G*).
7. Ο δείκτης καταληπτότητας ομιλίας (*Speech Transmission Index-STI*).
8. Ο ταχύς δείκτης μετάδοσης λόγου (*Rapid Speech Transmission Index-RASTI*).
9. Πλευρικά κλάσματα-Λόγος πρώιμης πλευρικής προς τη συνολική ηχητική ενέργεια (*Early Lateral Energy Fraction-LF*).

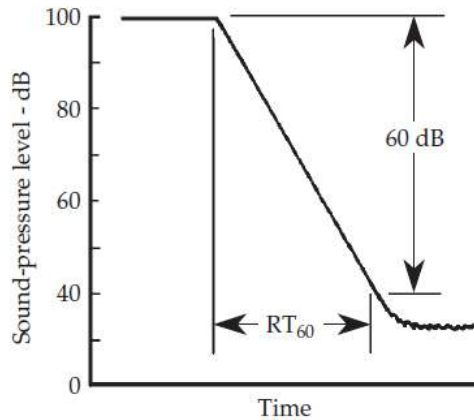
2.2 Χρόνος Αντήχησης (Reverberation Time-RT_n)

Ο χρόνος αντήχησης, είναι αυτός που σε έναν κλειστό χώρο έχει το σπουδαιότερο ρόλο στον τομέα της ακουστικής. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου, όπως ακριβώς και ο συντελεστής απορρόφησης. Για το λόγο αυτό ορίζεται για τις κεντρικές συχνότητες συνήθως κάθε οκτάβας ή τριτοοκτάβας. Οι παράγοντες που τον επηρεάζουν είναι η απορρόφηση και ο όγκος του χώρου. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης έχουν προταθεί τύποι από διάφορους ερευνητές (με γνωστότερο αυτό του Sabine), αναλόγως με τον υπό μελέτη χώρο.

Ο χρόνος αντήχησης ορίζεται ως:

«Ο χρόνος που απαιτείται ώστε η στάθμη θορύβου σε κάποιο σημείο να ελαττωθεί κατά 60dB μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την ηχητική πηγή» [6].

Πολλές φορές είναι δύσκολο να μετρηθεί ο χρόνος αντήχησης για απευθείας μείωση 60dB της ηχητικής ενέργειας και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται οι χρόνοι RT_{10} , RT_{20} , RT_{30} όπου ορίζονται ακριβώς όπως και ο RT_{60} . Συγκεκριμένα, ο RT_{10} ορίζεται ως έξι φορές ο χρόνος που απαιτείται ώστε το ηχητικό πεδίο να ελαττωθεί από $-5dB$ έως $-15dB$, ο RT_{20} ορίζεται ως τρεις φορές ο χρόνος που απαιτείται ώστε το ηχητικό πεδίο να ελαττωθεί από $-5dB$ έως $-25dB$ και ο RT_{30} ορίζεται ως δύο φορές ο χρόνος που απαιτείται ώστε το ηχητικό πεδίο να ελαττωθεί από $-5dB$ έως $-35dB$. [6], [7]



Σχήμα 2.1: Σχηματικός υπολογισμός χρόνου αντήχησης.

2.3 Αρχικός Χρόνος Μείωσης του Ηχητικού Πεδίου (Early Decay Time-EDT)

Ένας άλλος δείκτης χρησιμοποιούμενος για τη διαμόρφωση της ακουστικής ενός κλειστού χώρου είναι ο αρχικός χρόνος μείωσης του ηχητικού πεδίου που λαμβάνει υπ' όψιν του τις πρώτες ανακλάσεις του ήχου μέσα σε έναν κλειστό χώρο.

Ο αρχικός χρόνος μείωσης του ηχητικού πεδίου ορίζεται ως:

«Έξι φορές η χρονική περίοδος που χρειάζεται ώστε ο ήχος να μειωθεί κατά 10dB μετά το μηδενισμό της πηγής» [8].

Ο αρχικός χρόνος μείωσης του ηχητικού πεδίου είναι συνήθως μικρότερος από το χρόνο αντήχησης. Παρατηρείται σαφής συσχετισμός των τιμών του χρόνου αντήχησης και των τιμών του *EDT* (Προτάθηκε από τον Atal [7]). Η σχέση που συνδέει το χρόνο αντήχησης με τον *EDT* φαίνεται παρακάτω:

$$0,8 * RT_{60} \leq EDT < RT_{60} \quad (2.1)$$

Κατ' επέκταση, αν ο λόγος RT_{60}/EDT τείνει προς τη μονάδα τότε προκύπτει ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής ενέργειας στο χώρο. [6],[7], [9]

2.4 Διακριτότητα (Definition-D)

Η διακριτότητα είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια που φτάνει σε ένα σημείο του χώρου από τις πρώτες ανακλάσεις. Ορίζεται, ως η αναλογία σε ένα σημείο της ηχητικής ενέργειας κατά τα πρώτα 50msec προς τη συνολική ενέργεια. Με άλλα λόγια, εκφράζει την αρχή του λόγου του χρήσιμου ήχου, καθώς οι ανακλάσεις που φτάνουν με χρονική καθυστέρηση έως 50msec συμβάλουν στην ενίσχυση του πρωτεύοντος ήχου (direct).

Ο λόγος αυτό είναι χρήσιμος όσον αφορά την ποιότητα της ομιλίας σε ένα χώρο και εκφράζεται είτε ως δεκαδικός αριθμός είτε συνηθέστερα, ως ποσοστό επί τοις εκατό. [7], [10]

Παρακάτω φαίνεται η μαθηματική σχέση υπολογισμού της διακριτότητας:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} P^2(t)dt}{\int_0^{\infty} P^2(t)dt} * 100\% \quad (2.2)$$

όπου:

$P(t)$ η στιγμιαία ηχητική πίεση σε Pa .

2.5 Ευκρίνεια (Clarity-C)

Η ευκρίνεια, όπως και η διακριτότητα, είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ενέργεια που φτάνει σε ένα σημείο του χώρου από τις πρώτες ανακλάσεις. Ορίζεται, ως η αναλογία σε ένα σημείο της ηχητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια των πρώτων $80ms$ (για μουσική) ή $50ms$ (για ομιλία) προς την ενέργεια των καθυστερημένων ανακλάσεων και μετριέται σε dB . Η μαθηματική έκφραση της ευκρίνειας για μουσική και ομιλία είναι:

για μουσική:

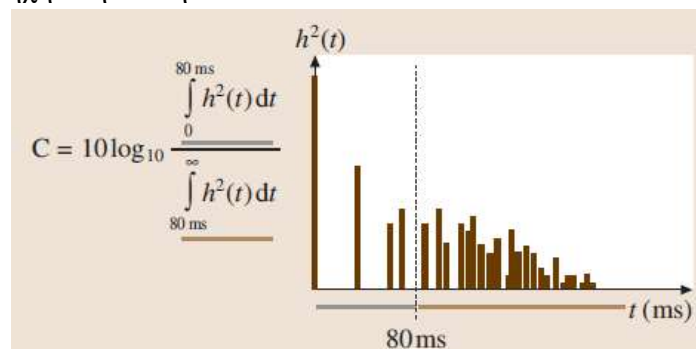
$$C_{80} = \frac{\int_0^{80ms} P^2(t)dt}{\int_{80ms}^{\infty} P^2(t)dt} \quad (2.3)$$

για ομιλία:

$$C_{50} = \frac{\int_0^{50ms} P^2(t)dt}{\int_{50ms}^{\infty} P^2(t)dt} \quad (2.4)$$

όπου:

$P(t)$ η στιγμιαία ηχητική πίεση σε Pa .



Σχήμα 2.3: Σχηματικός ορισμός της ευκρίνειας (C_{80}).

2.6 Κεντρικός Χρόνος (Center Time- T_s)

Ο κεντρικός χρόνος προτάθηκε από τους Dietscher και Kraak για τον αντικειμενικό προσδιορισμό της καταληπτότητας της ομιλίας. Μια χαμηλή τιμή του κεντρικού χρόνου υποδεικνύει τη σαφήνεια του ήχου, ενώ μια υψηλότερη τιμή την “κυριαρχία” που προσδίδει το αντηχητικό πεδίο. Η μαθηματική έκφραση για τον κεντρικό χρόνο είναι:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot P(t) dt}{\int_0^{\infty} P(t) dt} \quad (2.5)$$

όπου:

$P(t)$ η στιγμιαία ηχητική πίεση σε Pa .

Οι παραπάνω τρεις δείκτες (C_{50} , C_{80} και D_{50}) επηρεάζονται σημαντικά από τη θέση της πηγής, τη θέση των ακροατών καθώς και από τη διαμόρφωση του χώρου από τις ηχητικές πηγές. Επίσης, έχουν νόημα μόνο για κανονική μείωση της στάθμης του ήχου, διότι κάθε μορφή ενεργειακής ανωμαλίας επηρεάζει σημαντικά τη μέτρησή τους, προσδίδοντας αποτελέσματα τα οποία δεν είναι συμβατά με την υποκειμενική αντίληψη.

Ο κεντρικός χρόνος είναι ο δείκτης, ο οποίος είναι ο πιο σημαντικός για το λόγο ότι δεν επικεντρώνεται σε ένα μικρό χρονικό διάστημα όπως ο D_{50} , C_{50} και C_{80} , όπου μπορεί να υπάρξει μεγάλη συγκέντρωση ενέργειας σε χρονικό εύρος μικρότερο από αυτό που επιθυμείται, με αποτέλεσμα οι τιμές αυτές να μην είναι συμβατές με την υποκειμενική αντίληψη. [6], [7], [10]

2.7 Ηχηρότητα (Sound Strength- G)

Ηχηρότητα είναι ο λόγος της ηχητικής ενέργειας που φτάνει σε μια θέση της αίθουσας από την πηγή προς την ηχητική ενέργεια από την ίδια πηγή σε απόσταση $10m$ σε ελεύθερο πεδίο. Η ηχηρότητα εξαρτάται από τη συχνότητα και δημιουργεί το υποκειμενικό αίσθημα της έντασης του ήχου. Ορίζεται ως ο δεκαδικός λογάριθμος του λόγου του τετραγώνου της ηχητικής πίεσης ως προς το τετράγωνο της ηχητικής πίεσης μετρούμενης σε ελεύθερο πεδίο, σε απόσταση $10m$ από την πηγή. [10], [11]

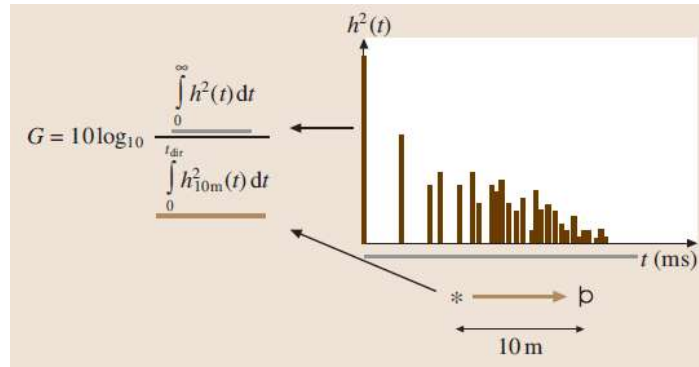
Η μαθηματική έκφραση της ηχηρότητας είναι:

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} P^2(t) dt}{\int_0^{\infty} P_{10m}^2(t) dt} \quad (5.7)$$

όπου:

$P(t)$: η στιγμιαία ηχητική πίεση σε Pa .

$P_{10m}(t)$: η ηχητική πίεση σε Pa όταν η πηγή και ο δέκτης έχουν απόσταση 10 μέτρων μεταξύ τους.



Σχήμα 2.4: Σχηματικός ορισμός της ηχηρότητας (G).

2.8 Δείκτης Καταληπτότητας Ομιλίας (Speech Transmission Index-STI)

Ο δείκτης καταληπτότητας ομιλίας είναι ένας αντικειμενικός δείκτης που μετρά το ποσοστό των ανεπηρέαστων συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής, λαμβάνοντας υπ' όψιν του ταυτόχρονα το θόρυβο βάθους αλλά και το χρόνο αντήχησης. Οι τιμές του *STI* κυμαίνονται από 0 έως 1 και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε ζώνες εύρους οκτάβας δηλαδή, στις συχνότητες από 125Hz έως 8kHz. Οι μεγαλύτερες τιμές *STI* δείχνουν καλύτερη αντιληπτότητα ενώ οι χαμηλές τιμές χαμηλή αντιληπτότητα. Θεωρείται ο *STI* ως ένα στιβαρό μέσο εκτίμησης της καταληπτότητας. [6], [7]

Χαρακτηρισμός καταληπτότητας	Τιμές <i>STI</i>
Εξαιρετική	$1 > STI > 0,75$
Πολύ καλή	$0,75 \geq STI > 0,6$
Μέτρια	$0,6 \geq STI > 0,45$
Φτωχή	$0,45 \geq STI > 0,32$
Κακή	$0,32 \geq STI > 0$

Πίνακας 2.1: Χαρακτηρισμός καταληπτότητας σχετικά με τις τιμές του *STI*.

2.9 Ταχύς Δείκτης Μετάδοσης Λόγου (Rapid Speech Transmission Index-RASTI)

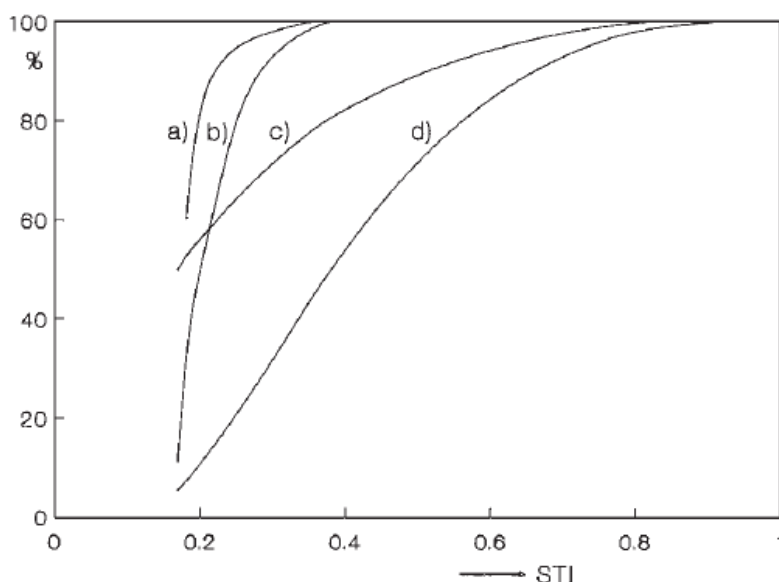
Ο δείκτης *RASTI* προέκυψε από την απλοποίηση του δείκτη *STI* και χρησιμοποιείται για ευκολότερο και γρηγορότερο υπολογισμό της καταληπτότητας ομιλίας. Η διαφορά του από την μέθοδο *STI* είναι ότι χρησιμοποιεί σήμα εύρους οκτάβας, γύρω από δύο μόνο κεντρικές συχνότητες, τα 500Hz και τα 2000Hz. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται έχει εύρος από 0 μέχρι 1.

Τόσο ο *STI* όσο και ο *RASTI* χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Η ακολουθία πηγή-χώρος-ακροατήριο αντιμετωπίζεται σαν ένα κανάλι μετάδοσης, στο οποίο μετράται η μεταβολή του πλάτους διαμόρφωσης αργά μεταβαλλόμενων σημάτων κατά μήκος αυτής της ακολουθίας.

Κατά την πρώτη εμφάνισή τους χρησιμοποιείτο για τη μέτρηση αυτών των δεικτών ένα ειδικό σήμα που είχε χαρακτηριστικά της ανθρώπινης ομιλίας, αλλά στα σύγχρονα πλέον συστήματα οι μετρήσεις γίνονται μέσα από την κρουστική απόκριση του χώρου. [6], [7], [11]

Χαρακτηρισμός καταληπτότητας	<i>RASTI</i>
Κακή	< 0,32
Φτωχή	0,32 – 0,45
Καλή	0,45 – 0,6
Πολύ καλή	0,6 – 0,75
Εξαιρετική	> 0,75

Πίνακας 2.2: Χαρακτηρισμός καταληπτότητας ομιλίας σε σχέση με τις τιμές του *RASTI*.



Σχήμα 2.5: Σχέση STI με την καταληπτότητα: a) αριθμών και γραμμάτων, b) μικρών προτάσεων, c) προτάσεων με ομοιοκαταληξία και d) προτάσεων με διάφορα μέτρα.

2.10 Πλευρικά κλάσματα-Λόγος πρώιμης πλευρικής προς τη συνολική ηχητική ενέργεια (Early Lateral Energy Fraction-LF)

Ο λόγος πρώιμης πλευρικής προς τη συνολική ηχητική ενέργεια εκφράζει το ποσοστό των πλευρικών ηχητικών κυμάτων που φτάνουν στον ακροατή στα πρώτα 80msec προς το συνολικό ηχητικό πεδίο που εκπέμπει η πηγή. Ως δείκτης έχει μεγάλη βαρύτητα για τον απλούστατο λόγο ότι είναι ο μοναδικός συντελεστής υπολογισμού των ανακλάσεων μιας αίθουσας. Λόγω της ιδιομορφίας του χρησιμοποιούνται δύο μικρόφωνα για τον υπολογισμό του, ένα παντοκατευθυντικό για τη μέτρηση του απευθείας ήχου και ένα διπολικό (figure of eight) για τη μέτρηση των ανακλάσεων στον χώρο. [6], [10]

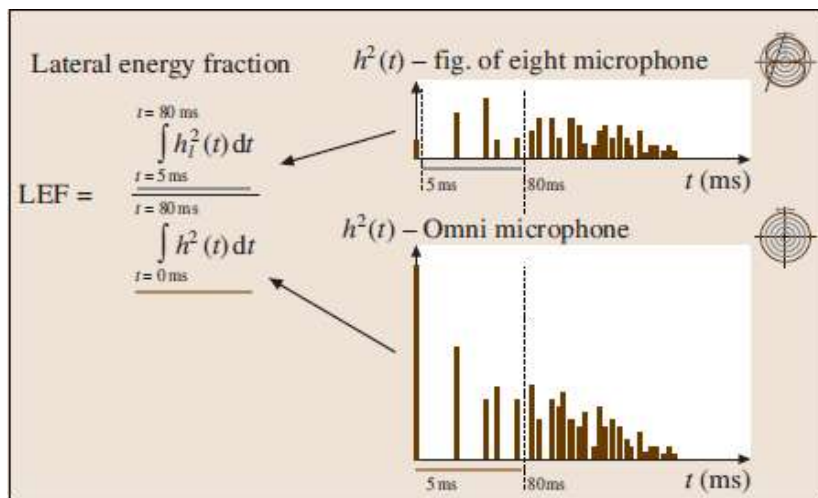
Η μαθηματική έκφραση για το δείκτη αυτό είναι:

$$LF = \frac{\int_{5ms}^{80ms} P_L^2(t) dt}{\int_0^{80ms} P^2(t) dt} \quad (5.8)$$

όπου:

$P(t)$: η στιγμιαία ηχητική πίεση σε Pa μετρούμενη με παντοκατευθυντικό μικρόφωνο.

$P_L(t)$: η ηχητική πίεση σε Pa που μετρήθηκε με μικρόφωνο κατευθυντικότητας σχήματος 8 (figure-of-eight), με τον άξονα του μικροφώνου στραμμένο προς την πηγή.



Σχήμα 2.6: Σχηματικός ορισμός των πλευρικών ανακλάσεων (LEF ή LF).

Μια άλλη έκφραση για το LF είναι το LFC το οποίο είναι πιο δύσκολο να μετρηθεί για το λόγο ότι λαμβάνεται υπ' όψιν και ο χώρος:

$$LFC = \frac{\int_{5ms}^{80ms} P_L^2(t) |\cos(\theta)| dt}{\int_0^{80ms} P^2(t) dt} \quad (5.9)$$

όπου:

θ : η γωνία ανάκλασης του ήχου που φτάνει στα αυτιά του ακροατή, ο οποίος κοιτάζει προς την πηγή σε σχέση με τον άξονα του κεφαλιού του δέκτη. [13]

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο δημοτικό σχολείο Γωνιάς στην αίθουσα πολλαπλών χρήσεων στις 17 Φεβρουαρίου 2011. Οι μετρήσεις έγιναν με ηχόμετρο υψηλής ακρίβειας (τύπου 1) και το σύστημα MLSSA. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε εικονικός σχεδιασμός της αίθουσας αλλά και υπολογισμός των ακουστικών δεικτών με σκοπό την ακουστική τροποποίηση της αίθουσας με το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic (demo version).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τον προς μελέτη χώρο συνοπτικά είναι:

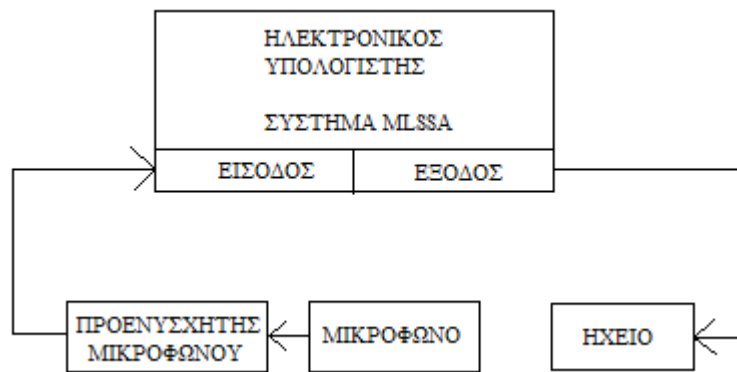
- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1. Μικρόφωνο: | Earthworks M30 |
| 2. Αυτοενισχυόμενο ηχείο: | RCF ART325A |
| 3. Προενισχυτής μικροφώνου: | Earthworks Preamp 1021 |
| 4. Ηχόμετρο: | CESVA SC310 (Type 1) |
| 5. Η/Υ με λογισμικό: | MLSSA Version 10WI |
| 6. Βαθμονομητής: | Cirrus CR511E |
| 7. Πηγή Θορύβου: | Minirator MR2 / MR-PRO |

3.2 Μετρήσεις με Ηχόμετρο

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση στο ηχόμετρο με καθαρό τόνο στο 1kHz σε στάθμη 94dB και γραμμική μέτρηση του θορύβου βάθους ανά οκτάβα. Οι μετρήσεις έγιναν σε 12 σημεία της αίθουσας.

3.3 Μετρήσεις με Σύστημα MLSSA

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το σύστημα MLSSA μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Πριν τη λήψη μετρήσεων πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του προγράμματος με βρόγχο επανάληψης του ίδιου του συστήματος (συνδέοντας δηλαδή την είσοδο με την έξοδο). Έπειτα τοποθετήθηκε το ηχείο (αυτοενισχυόμενο) στο κέντρο της σκηνής και σε ύψος 1.83m από το έδαφος, ενώ το μικρόφωνο τοποθετήθηκε σε 15 θέσεις μεταξύ του ακροατηρίου και σε ύψος 1.36m από το έδαφος (ύψος αυτιού ενός μέσου καθημένου ακροατή). Η συνδεσμολογία που πραγματοποιήθηκε φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 3.1: Μέτρηση με σύστημα MLSSA.

Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζεται το σύστημά MLSSA.



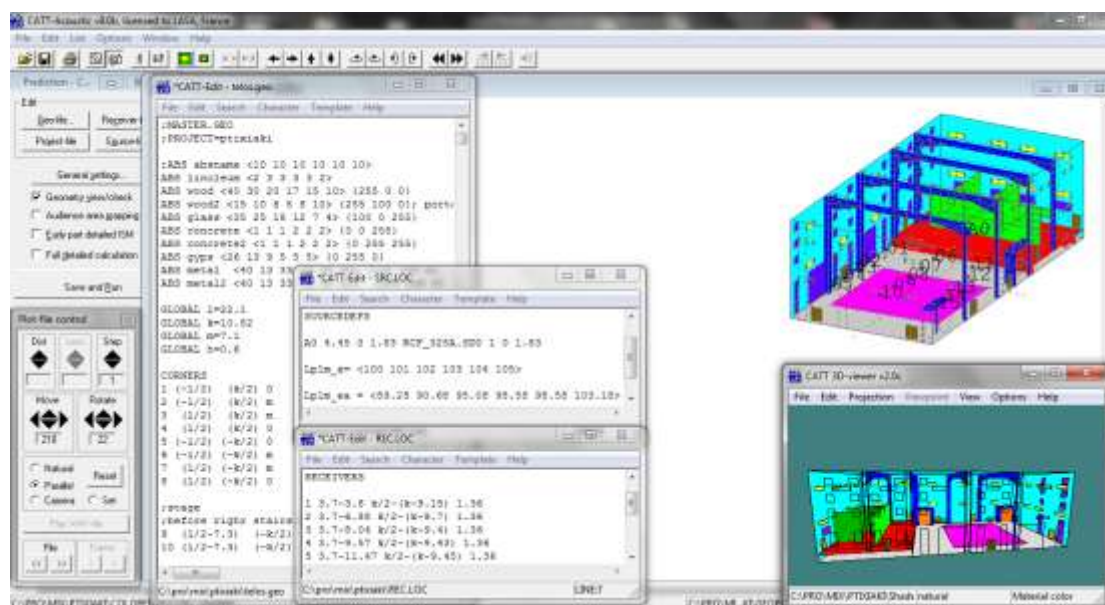
Φωτογραφία 3.1: Φωτογραφία του συστήματος MLSSA.

3.4 Προσομοίωση με το Πρόγραμμα Προσομοίωσης CATT-Acoustic

Μετά το πέρας των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε καταγραφή, των ακριβών διαστάσεων της αίθουσας, των υλικών αλλά και των ιδιοτήτων τους, καθώς υπήρχαν όπως αποδείχθηκε και στην πράξη αποκλίσεις από τις αντίστοιχες τιμές που αναφέρονται στα αρχιτεκτονικά σχέδια του χώρου. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε προσομοίωση του χώρου, με τα αντίστοιχα υλικά που καταγράφηκαν, στο πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic (demo version) όσον αφορά το χώρο, την πηγή ήχου (ηχείο) αλλά και τις θέσεις των ακροατών (μικρόφωνο).

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών που εξήχθησαν σε συνδυασμό με την χρήση των παραπάνω δεδομένων στο πρόγραμμα προσομοίωσης έδωσαν μικρές αποκλίσεις από τις μετρήσεις που διεξήχθησαν στον χώρο.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ο τρόπος διεξαγωγής των υπολογισμών μέσω του προσομοιωτή CATT-Acoustic.



Σχήμα 3.2: Πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic.

Εφ' όσον, μεταξύ των τριών τρόπων υπολογισμού αποτελεσμάτων υπήρχε ικανοποιητική ταύτιση, η μελέτη προχώρησε στο στάδιο της ακουστικής μετατροπής του χώρου για τη χρήση που επιθυμείται.

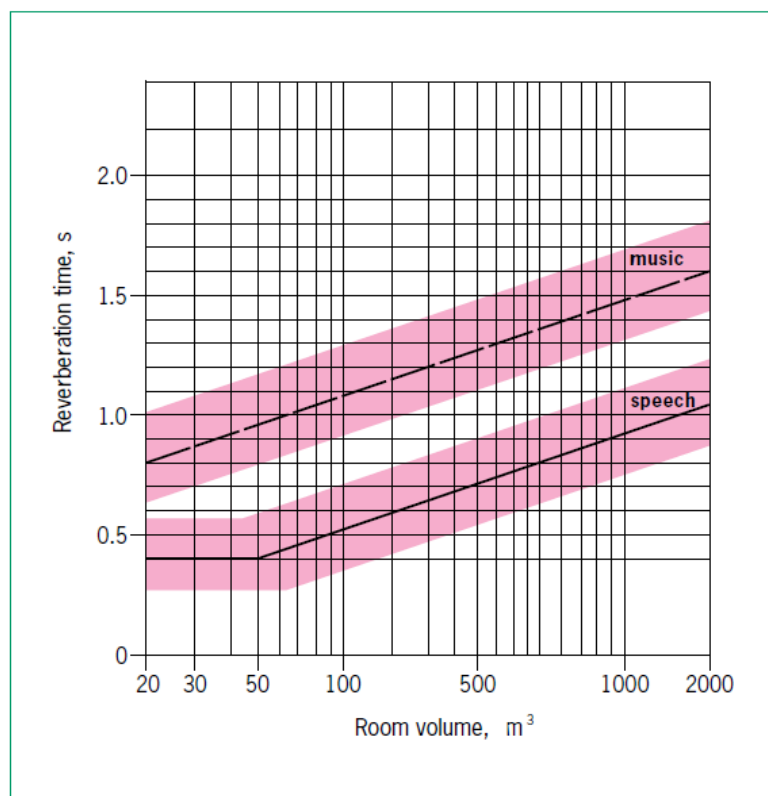
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην ακουστική επέμβαση (μελέτη) της αίθουσας πολλαπλών χρήσεων του δημοτικού σχολείου Γωνιάς. Αρχικά διαχωρίστηκε ο πρωταρχικός ρόλος της αίθουσας που είναι η χρήση της για μουσική και ο δεύτερος ρόλος της που είναι η χρήση της για ομιλία. Επομένως, οι τιμές του χρόνου αντήχησης κυμαίνονται βάση του σχήματος 4.1 που παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 4.1: Προτεινόμενοι χρόνοι αντήχησης για μουσική και ομιλία σε σχέση με τον όγκο της αίθουσας.

4.2 Περιγραφή του Χώρου

Η αίθουσα πολλαπλών χρήσεων βρίσκεται στο δημοτικό σχολείο Γωνιάς το οποίο ανήκει στο νομό Ρεθύμνης. Το μεγάλο πλεονέκτημα της αίθουσας είναι ότι βρίσκεται αποκομμένη από τον αστικό θόρυβο. Τα μειονεκτήματα της αίθουσας είναι ότι έχει ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο σχήμα με κάποιες ακανόνιστες διατάξεις, αλλά και το μεγάλο ύψος της αίθουσας. Το τελευταίο, σε συνάρτηση με το μεγάλο όγκο της αίθουσας, έχει ως αποτέλεσμα τον πολύ υψηλό χρόνο αντήχησης.

Οι παράλληλες επιφάνειες στην αίθουσα δημιουργούν το μεγαλύτερο πρόβλημα σε συνδυασμό με την αναλογία των διαστάσεων που δεν εμπίπτουν στο διάγραμμα Bolt.

Εφ' όσον, το ύψος της αίθουσας είναι $7,1m$ σύμφωνα με τους προτεινόμενους λόγους διαστάσεων του Sempeyer, το μέγιστο μήκος της αίθουσας έπρεπε είναι $16,54m$ και το μέγιστο πλάτος της αίθουσας θα έπρεπε να είναι $11,36m$, το οποίο δεν ισχύει.

Οι μέγιστες διαστάσεις της αίθουσας σύμφωνα με την ακριβή καταγραφή που πραγματοποιήθηκε είναι: $22.1 \times 10.82 \times 7.1$ ($M(m) \times \Pi(m) \times \Upsilon(m)$) και ο όγκος της αίθουσας είναι περίπου $1698m^3$. Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται η υπό μελέτη αίθουσα.



Φωτογραφία 4.1: Βόρειο μέρος αίθουσας δημοτικού σχολείου Γωνιάς.



Φωτογραφία 4.2: Ανατολικό μέρος αίθουσας δημοτικού σχολείου Γωνιάς.



Φωτογραφία 4.3: Δυτικό μέρος αίθουσας δημοτικού σχολείου Γωνιάς.



Φωτογραφία 4.4: Παρασκήνια της αίθουσας.

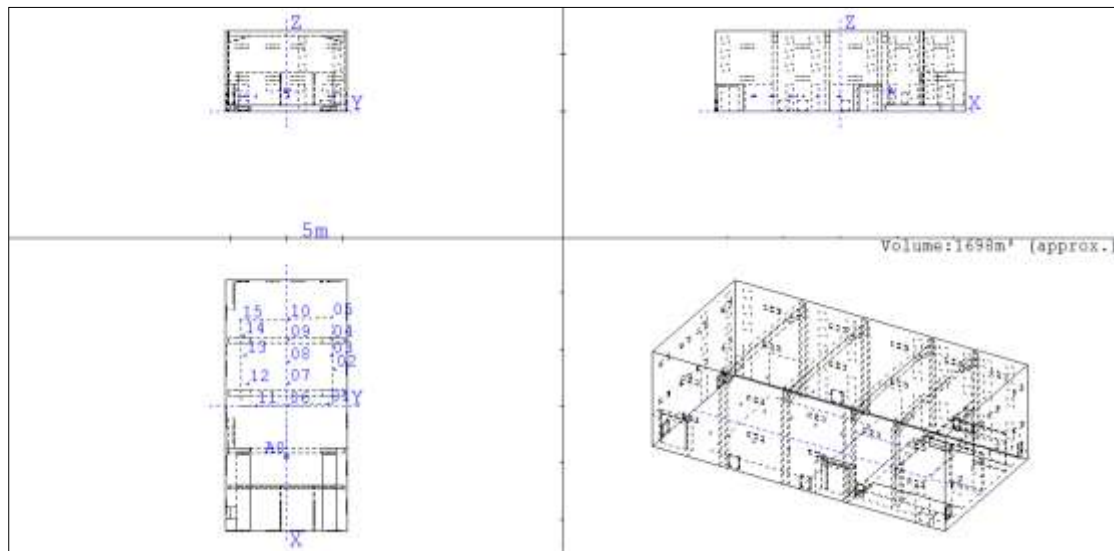


Φωτογραφία 4.5: Νότιο μέρος δημοτικού σχολείου Γωνιάς.

Τα υλικά κατασκευής της αίθουσας είναι:

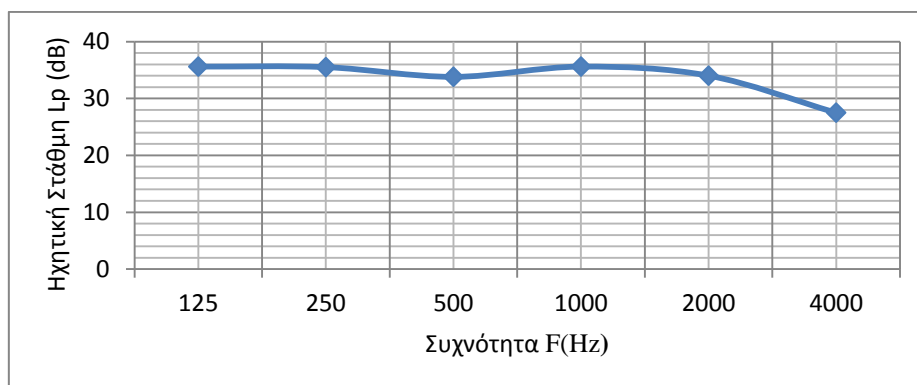
1. Δάπεδο: Linoleum
 2. Σοβατεπί: Ξύλο
 3. Τοίχοι: Τριπτό επίχρισμα επί τοίχου – Σκυροδέματος
 4. Χωρίσματα: Χρωματισμένη Γυψοσανίδα
 5. Οροφή: Επίχρισμα
 6. Χρώματα: Πλαστικό Σπατουλαριστό
 7. Δάπεδο Σκηνής: Ξύλο
 8. Σοβατεπί Σκηνής: Ξύλο
- (πηγή αρχιτεκτονικό σχέδιο χώρου.)

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το σχήμα της αίθουσας πριν την ακουστική παρέμβαση μέσα από το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic.



Σχήμα 4.2: Τρισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας πριν την μελέτη από το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο θόρυβος βάθους της αίθουσας όπως μετρήθηκε με το ηχόμετρο.



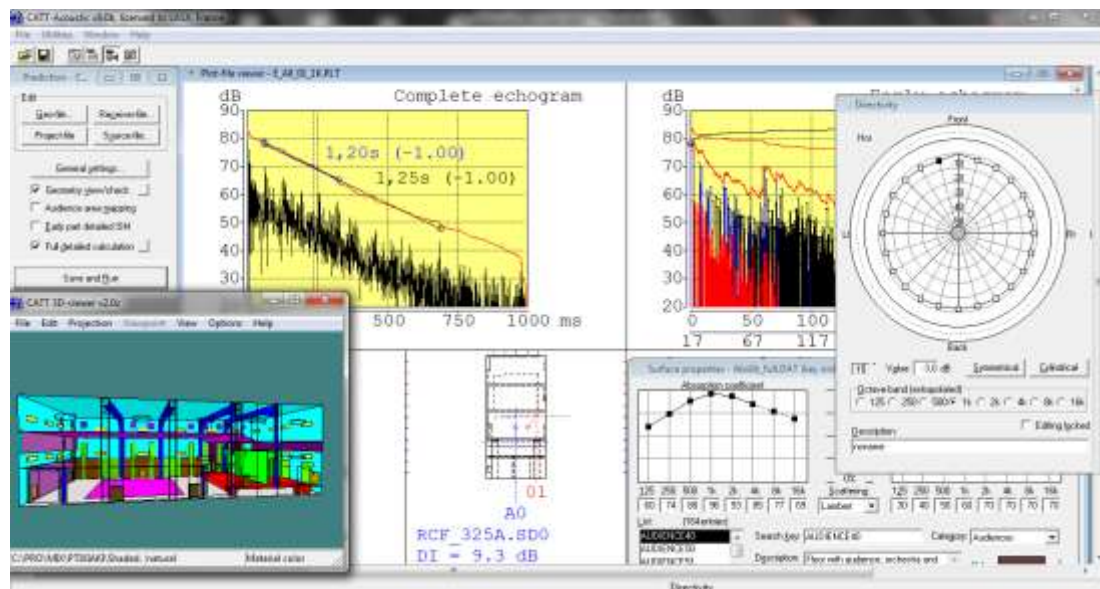
Σχήμα 4.3: Μέτρηση θορύβου βάθους.

4.3 Ακουστικά Προβλήματα Αίθουσας

Σύμφωνα με τις πειραματικές τιμές αλλά και βάσει των αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic, η αρχική μορφή της αίθουσας κρίνεται ακατάλληλη για τη χρήση της ως «αίθουσα πολλαπλών χρήσεων», καθώς τόσο ο χρόνος αντήχησης όσο και οι δείκτες οι οποίοι σχετίζονται με την καλή ακουστική βρίσκονται σε αρκετά χαμηλά, μη ικανοποιητικά επίπεδα. Οι τιμές των ακουστικών δεικτών της αίθουσας πριν την ακουστική επέμβαση παρατίθενται στο Παράρτημα Α. Επίσης, η καταληπτότητα είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα τόσο στις απομακρυσμένες θέσεις από την πηγή όσο και κοντά στην πηγή.

4.4 Ακουστική Βελτίωση Αίθουσας

Η ακουστική βελτίωση της αίθουσας πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος προσομοίωσης CATT-Acoustic όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι τιμές των ακουστικών δεικτών της αίθουσας μετά την ακουστική επέμβαση, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν παρατίθενται αντίστοιχα στο Παράρτημα Β και στο Παράρτημα Γ.



Σχήμα 4.4: Οθόνη με παράθυρα λειτουργίας του προγράμματος προσομοίωσης CATT-Acoustic.

Αναλυτικά στα σημεία που πραγματοποιήθηκε η μελέτη αλλά και τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι:

α. Οροφή αίθουσας

Σε ύψος χαμηλότερο από την κεντρική οροφή τοποθετήθηκε ειδική ακουστική οροφή shcerff με ειδική διάτρητη γυψοσανίδα της εταιρίας knauf με ποσοστό διάτρησης 23,04%. Η τοποθέτησή της έγινε με συγκεκριμένη κλίση μεταξύ των δοκαριών της σκηνής και προς τη μεριά των ακροατών, με σκοπό τη βέλτιστη ακρόαση. Περαιτέρω αύξηση κλίσεων κατά μήκος όλης της επιφάνειας της ψευδοροφής, με σκοπό την αύξηση των χρήσιμων ανακλάσεων ακόμα και στις απομακρυσμένες αλλά και τη μείωση των στάσιμων κυμάτων, δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί λόγω των μικρών αποστάσεων μεταξύ των παραθύρων. Η επιλογή της έγινε με προσεκτικό τρόπο με στόχο την μέγιστη απορρόφηση στα 250, 500, 1000 και στα 2000Hz.

β. Βόρεια και νότια πλευρά αίθουσας

Στη βόρεια και νότια πλευρά της αίθουσας τοποθετήθηκε ειδική ακουστική διάτρητη γυψοσανίδα της εταιρίας knauf με ποσοστό διάτρησης 23,04%. Η τοποθέτηση των διατάξεων έγινε κατά μήκος των δοκαριών της αίθουσας (παράλληλα με τους υπάρχοντες τοίχους). Όπως στην ψευδοροφή έτσι και στους πλευρικούς τοίχους δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί ακανόνιστη διάταξη (διάταξη με συγκεκριμένες κλίσεις) με σκοπό την περαιτέρω μείωση του φαινομένου flutter echo, των στάσιμων κυμάτων αλλά και την αύξηση της καταληπτότητας της ομιλίας βάσει των χρήσιμων ανακλάσεων λόγω του μεγάλου αριθμού των παραθύρων, των σωμάτων θέρμανσης αλλά και των ακανόνιστων διατάξεων που υπάρχουν στις πόρτες. Για περαιτέρω μείωση μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πετροβάμβακας πίσω από τις διατάξεις, αλλά λόγω της παρουσίας παιδιών εντός της αίθουσας, προτιμήθηκε οι διατάξεις να παραμείνουν κενές από πίσω. Η επιλογή έγινε με στόχο τη μέγιστη απορρόφηση στα 500Hz και την μέση απορρόφηση στις υπόλοιπες συχνότητες.

Επίσης, στη βόρεια και νότια πλευρά, αλλά και στο πίσω μέρος του χωρίσματος της σκηνής τοποθετήθηκαν ηχοαπορροφητικά πάνελ της εταιρίας acoustic hellas με σκοπό την απορρόφηση όλων των συχνοτήτων και κυρίως των 2000Hz.

Τέλος, σε όλα τα παράθυρα και τις γυάλινες πόρτες τοποθετήθηκαν ελαφριές βελούδινες κουρτίνες για μερική απορρόφηση των ψηλών συχνοτήτων.

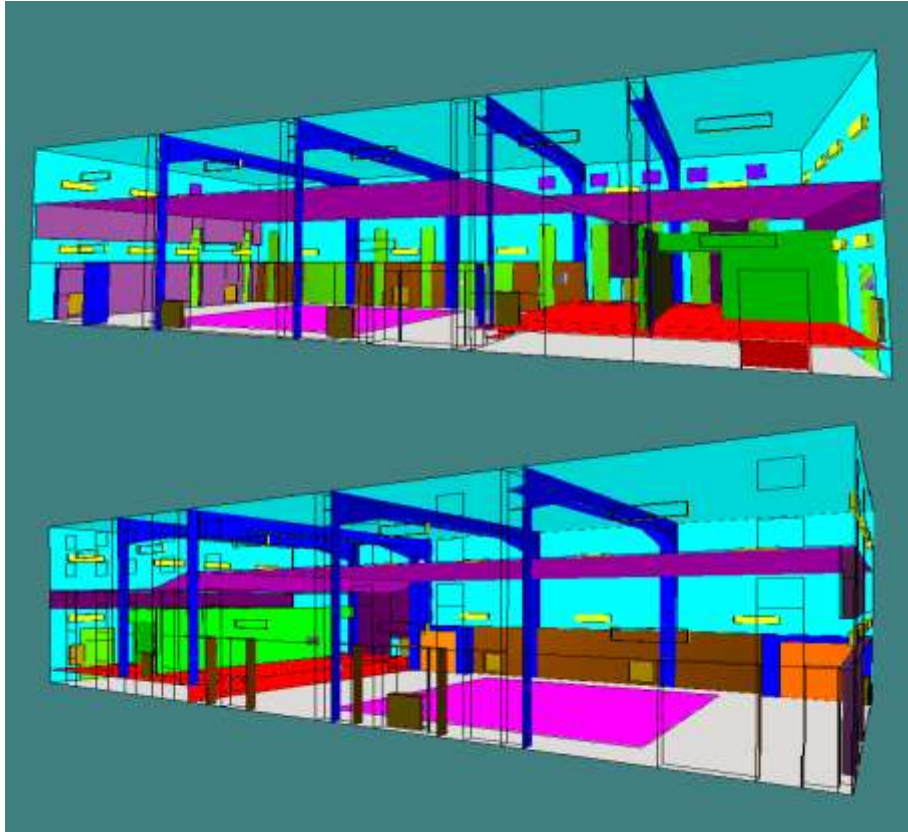
γ. Ανατολική πλευρά αίθουσας

Κατά μήκος αλλά και ύψος όλης της επιφάνειας της ανατολικής πλευράς τοποθετήθηκε ειδική ακουστική διάτρητη γυψοσανίδα της εταιρίας knauf, με ποσοστό διάτρησης 18,9%, εκτός από την περιοχή των φωτιστικών συσκευών και των παραθύρων που υπάρχουν στην αίθουσα. Όπως στη βόρεια και νότια πλευρά έτσι και στην ανατολική πλευρά, δεν τοποθετήθηκε πετροβάμβακας πίσω από τις διατάξεις για αυξημένη απορρόφηση. Η επιλογή της απορρόφησης έγινε με προσεκτικό τρόπο με σκοπό τη μέγιστη απορρόφηση στα 250Hz και τη μέση απορρόφηση στις υπόλοιπες περιοχές συχνοτήτων.

δ. Δυτική πλευρά αίθουσας

Στο ύψος της δυτική πλευρά και στο ύψος της τομής του με την ψευδοροφή τοποθετήθηκαν ηχοαπορροφητικά πάνελ της εταιρίας Acoustic Hellas. Η επιλογή τους έγινε με στόχο τη μέγιστη απορρόφηση όλων των συχνοτήτων και κυρίως των 2000Hz που υπήρχε έντονο πρόβλημα.

Το σχέδιο της αίθουσας μετά την ακουστική επέμβαση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

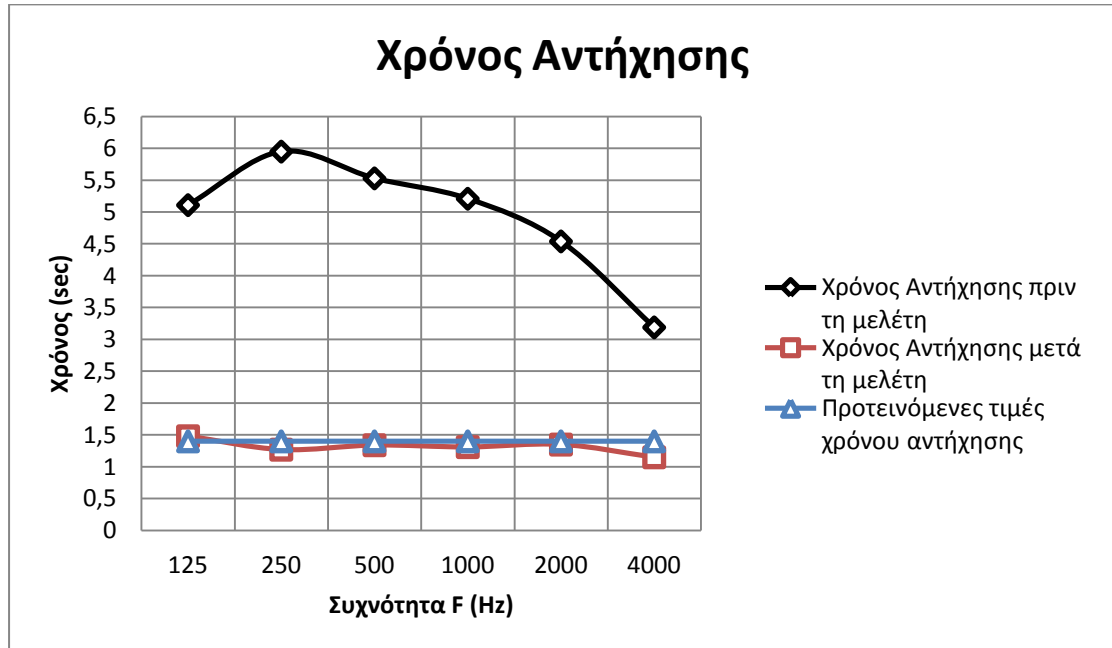


Σχήμα 4.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου μετά την ακουστική τροποποίηση.

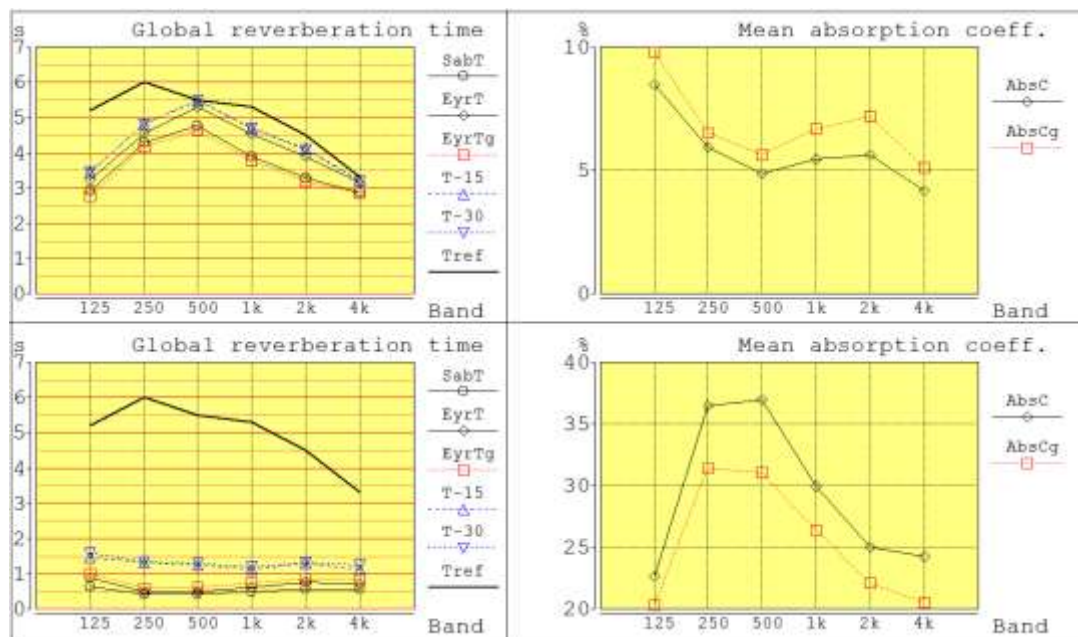
4.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

4.5.1. Χρόνος Αντήχησης (RT)

Ο χρόνος αντήχησης κυμαίνεται πριν την ακουστική μελέτη σε πολύ υψηλά επίπεδα και πιο συγκεκριμένα, από 3,19 έως 5,95s. Μετά την ακουστική μελέτη στον χώρο οι τιμές του χρόνου αντήχησης κυμαίνονται από 1,15 έως 1,48s. Η προτεινόμενη τιμή του RT_{60} για την χρήση που επιθυμείται είναι 1,4 σύμφωνα με την προβλεπόμενη διεθνή βιβλιογραφία. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε συχνότητα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



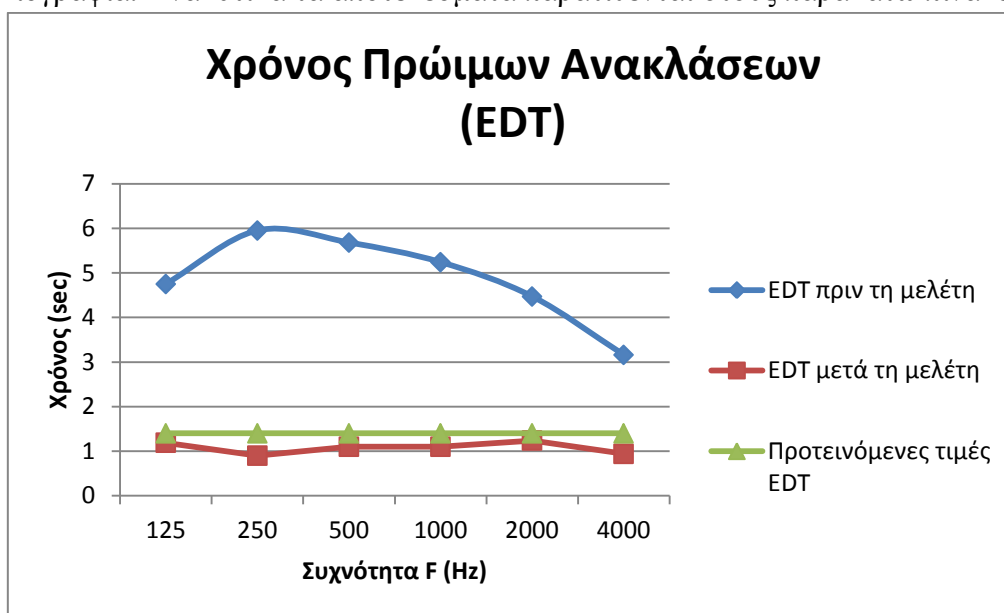
Σχήμα 4.6: Χρόνος αντήχησης πριν και μετά την ακουστική επέμβαση σε σχέση με τον προτεινόμενο χρόνο αντήχησης.



Σχήμα 4.7: Χρόνος αντήχησης και μέση απορρόφηση πριν και μετά την ακουστική επέμβαση (Tref = πειραματικός χρόνος αντήχησης με σύστημα MLSSA).

4.5.2. Πρώιμος Χρόνος Ανακλάσεων (EDT)

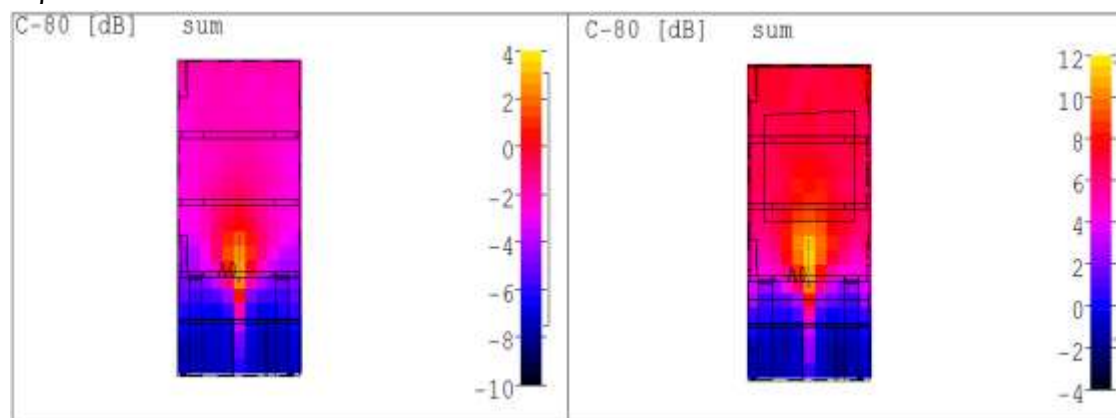
Ο χρόνος των πρώιμων ανακλάσεων πριν την ακουστική μελέτη κυμαίνεται και αυτός σε υψηλά επίπεδα όπως και ο χρόνος αντήχησης, με τον οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένοι σύμφωνα με τη σχέση (2.1). Συγκεκριμένα, ο EDT κυμαίνεται πριν την ακουστική μελέτη από 3,16 έως 5,95s. Ο EDT μετά την ακουστική μελέτη έχει μειωθεί κατά πολύ και πλέον κυμαίνεται από 0,9 έως 1,24s. Η προτεινόμενη τιμή του EDT για τη χρήση που επιθυμείται είναι 1,4, σύμφωνα με την προβλεπόμενη διεθνή βιβλιογραφία. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες.



Σχήμα 4.8: EDT πριν και μετά τη μελέτη σε σχέση με τις προτεινόμενες τιμές.

4.5.3. Καταληπτότητα (C_{80})

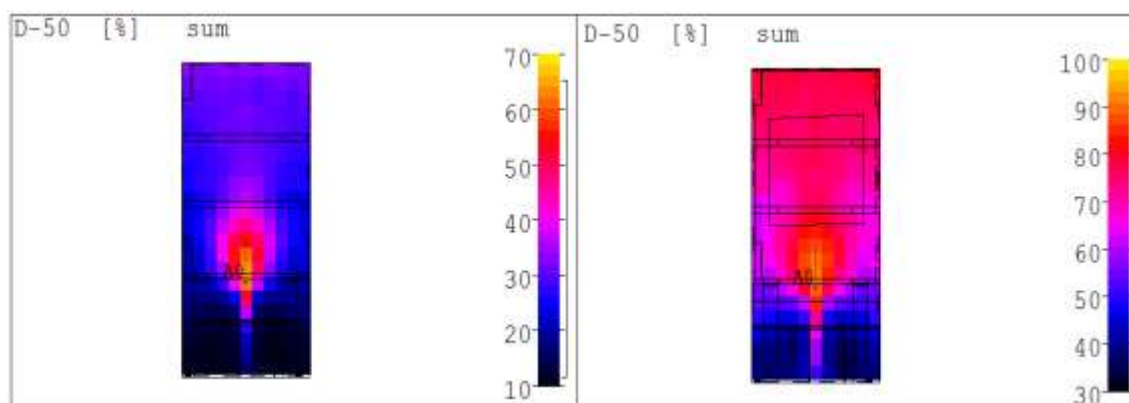
Η καταληπτότητα του χώρου με βάση το χρόνο αντήχησης είναι σε πολύ χαμηλές τιμές ειδικά στις πίσω θέσεις. Μετά την ακουστική επέμβαση στο χώρο επετεύχθη καταληπτότητα σε αρκετά καλά επιθυμητά επίπεδα. Η προτεινόμενη τιμή του C_{80} για τη χρήση που επιθυμείται πρέπει να είναι τουλάχιστον 4dB, σύμφωνα με την προβλεπόμενη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα παρατίθενται σχηματικά παρακάτω.



Σχήμα 4.9: Κατανομή της καταληπτότητας πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

4.5.4. Διακριτότητα (D_{50})

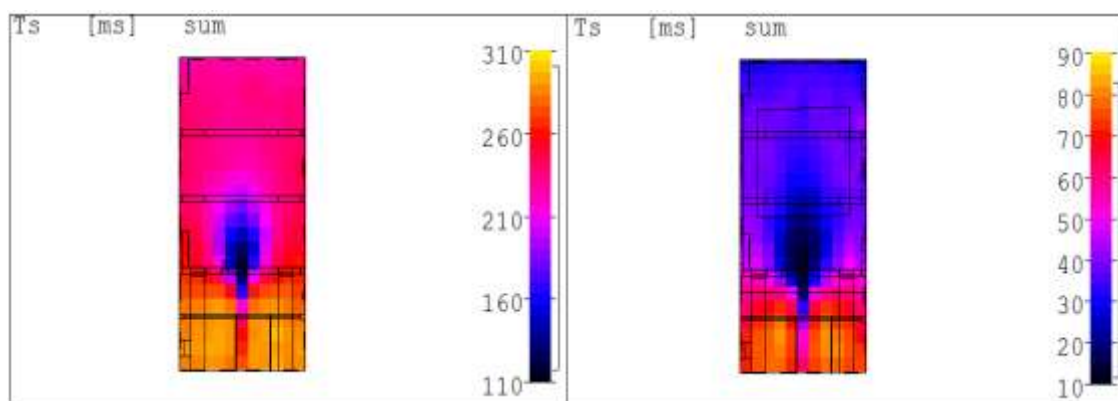
Η διακριτότητα όπως και η καταληπτότητα που αναφέρθηκε παραπάνω πριν την ακουστική μελέτη ήταν στα ίδια χαμηλά επίπεδα. Μετά την ακουστική μελέτη οι τιμές της διακριτότητας έφτασαν σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα. Η προτεινόμενη τιμή του D_{50} για τη χρήση που επιθυμείται πρέπει να είναι τουλάχιστον 50, σύμφωνα με την προβλεπόμενη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα πριν και μετά τη μελέτη φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.10: Κατανομή της διακριτότητας πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

4.5.5. Κεντρικός χρόνος (T_c)

Ο κεντρικός χρόνος πριν την ακουστική μελέτη βρισκόταν σε πάρα πολύ υψηλά επίπεδα. Μετά την ακουστική επέμβαση στο χώρο οι τιμές του κεντρικού χρόνου μειώθηκαν σε αρκετά ικανοποιητικές τιμές. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο κεντρικός χρόνος πριν και μετά τη μελέτη.



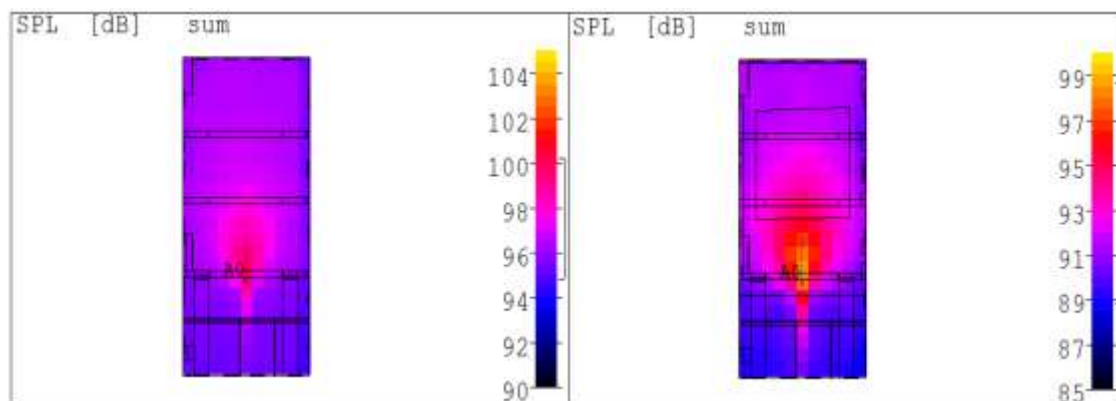
Σχήμα 4.11: Κατανομή του κεντρικού χρόνου πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

4.5.6. Στάθμη ηχητικού πεδίου (SPL)

Η στάθμη του ηχητικού πεδίου κρίνεται ικανοποιητική βάσει του όγκου της αίθουσας. Παρατηρείται ότι μετά την ακουστική μελέτη και την προσθήκη των ηχοαπορροφητικών διατάξεων στο χώρο, υπάρχει προφανής μείωση του ηχητικού πεδίου χωρίς όμως να δυσχεραίνει τα επίπεδα ακρόασης.

Στις πίσω θέσεις της αίθουσας η μείωση του ηχητικού πεδίου είναι πιο εμφανής λόγω της μεγάλης απόστασης της πηγής αλλά και πολλών διατάξεων απορρόφησης.

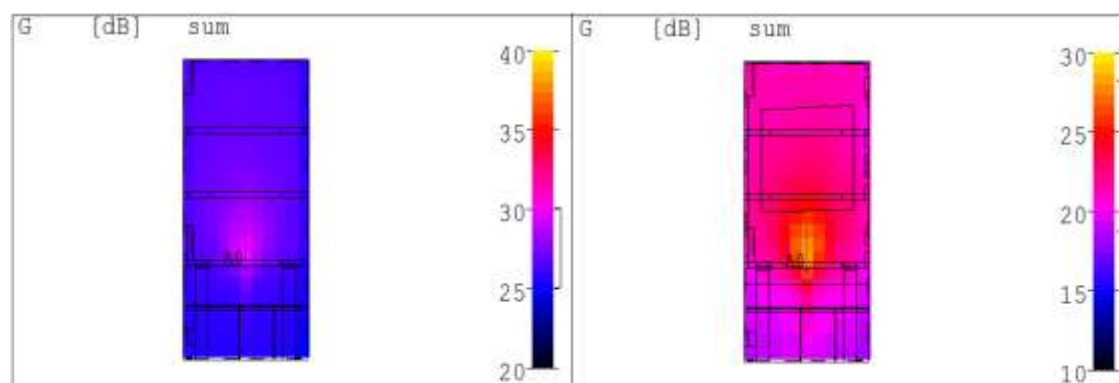
Για το λόγο αυτό προτείνεται τοποθέτηση ηλεκτρακουστικού συστήματος στο πίσω μέρος της αίθουσας. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η στάθμη του ηχητικού πεδίου πριν και μετά τη μελέτη.



Σχήμα 4.12: Κατανομή της στάθμης του ηχητικού πεδίου πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

4.5.7 Ηχηρότητα (G)

Όπως η στάθμη του ηχητικού πεδίου έτσι και η ηχηρότητα βρισκόταν πριν τη μελέτη σε ικανοποιητικά επίπεδα. Μετά τη μελέτη και την προσθήκη των ηχοαπορροφητικών διατάξεων η ηχηρότητα της πηγής δεν επηρεάστηκε σχεδόν καθόλου, ακόμα και στις απομακρυσμένες περιοχές. Η τιμή του G (βάσει της βιβλιογραφίας) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $10dB$, σύμφωνα με την προβλεπόμενη διεθνή βιβλιογραφία. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η ηχηρότητα της πηγής πριν και μετά τη μελέτη.



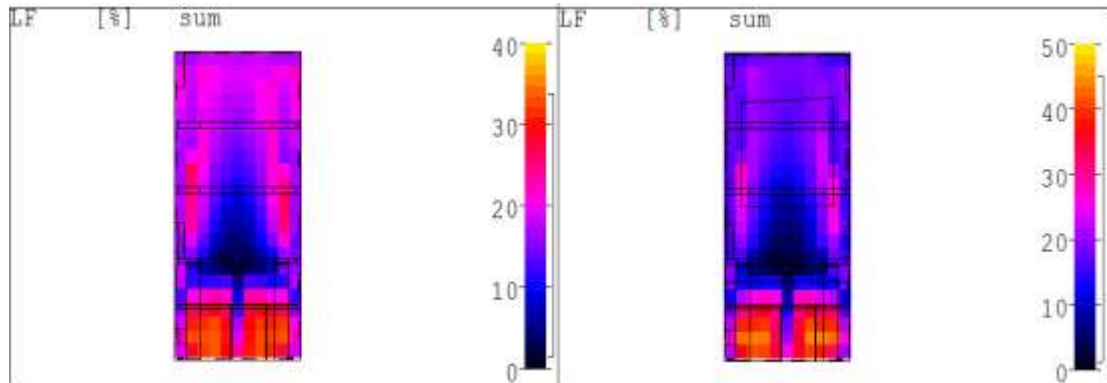
Σχήμα 4.13: Κατανομή της ηχηρότητας πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη χώρου).

4.5.8 Πλευρικές ανακλάσεις (LF)

Οι πλευρικές ανακλάσεις πριν την ακουστική παρέμβαση ήταν αρκετές για την επιδείνωση της καταληπτότητας των ακροατών ακόμα και στις μπροστινές θέσεις.

Κατά την ακουστική μελέτη παρατηρείται μείωση των ανακλάσεων με σκοπό την καλή καταληπτότητα των ακροατών σε όλες τις θέσεις της αίθουσας. Η τιμή του LF δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 15% με 20%, σύμφωνα με την προβλεπόμενη διεθνή βιβλιογραφία.

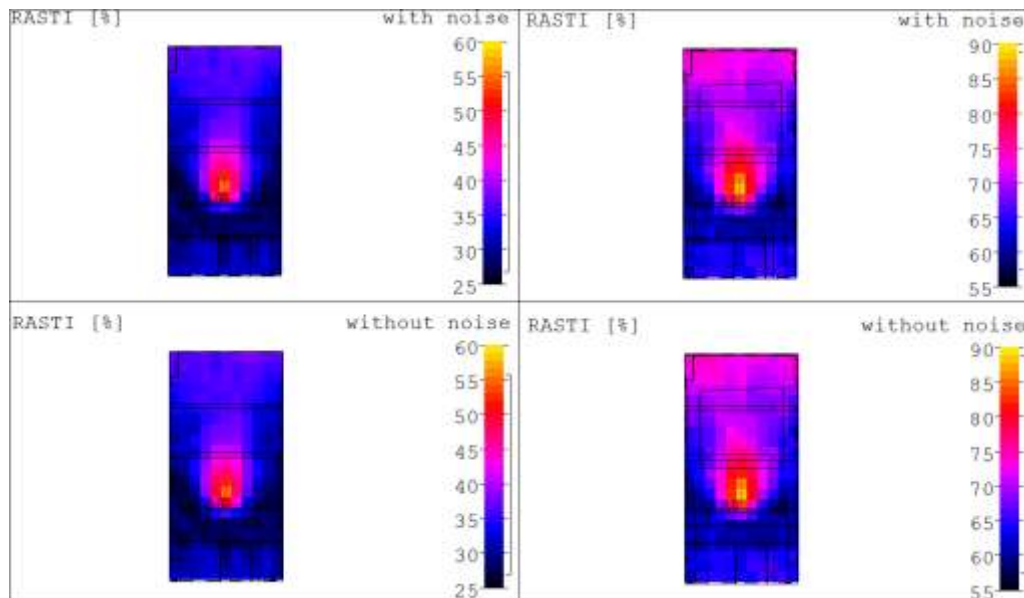
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι πλευρικές ανακλάσεις πριν και μετά την ακουστική παρέμβαση.



Σχήμα 4.14: Κατονομή των πλευρικών ανακλάσεων πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) τη μελέτη με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη χώρου).

4.5.9 Ταχύς Δείκτης Μετάδοσης Λόγου ($RASTI$)

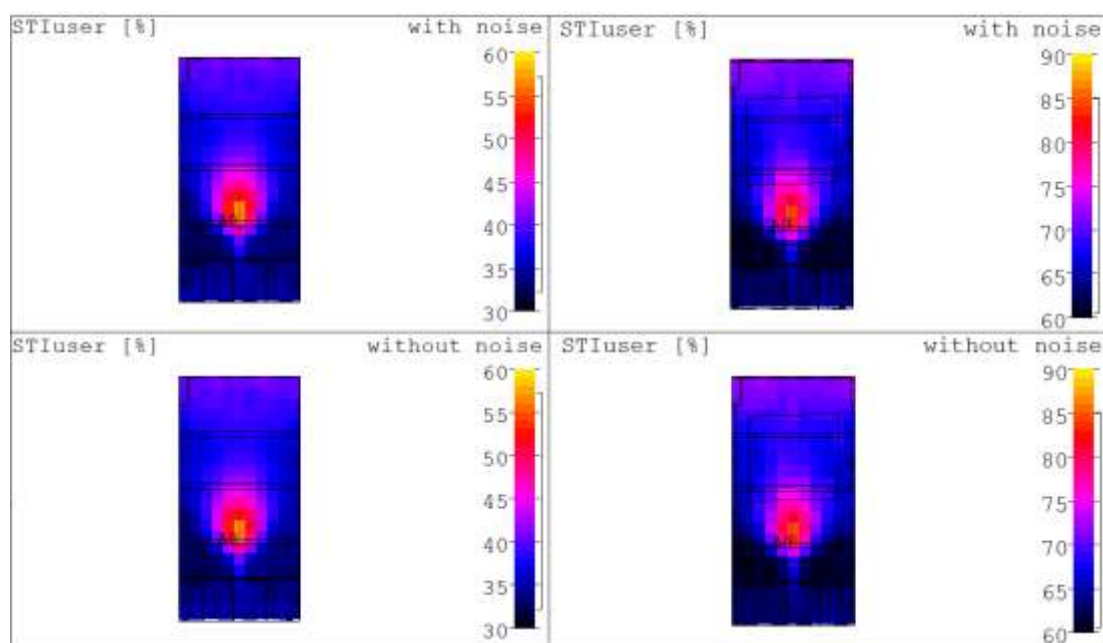
Ο ταχύς δείκτης μείωσης λόγου είναι ένας από τους σημαντικότερους δείκτες ο οποίος κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα πριν από τη μελέτη. Μετά το πέρας της μελέτης ο $RASTI$ κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα για τη χρήση του χώρου που επιθυμείται. Παρακάτω απεικονίζεται ο $RASTI$ πριν και μετά τη μελέτη με χρήση θορύβου βάθους, αλλά και χωρίς. Ο θόρυβος κυμαίνεται από $-25dB$ έως $-35dB$.



Σχήμα 4.15: $RASTI$ με θόρυβο βάθους πριν (πάνω αριστερά) και μετά (πάνω δεξιά) τη μελέτη και $RASTI$ χωρίς θόρυβο βάθους πριν (κάτω αριστερά) και μετά (κάτω δεξιά) με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

4.5.10 Δείκτης καταληπτότητας ομιλίας (STI)

Ο δείκτης καταληπτότητας ομιλίας είναι και αυτός ένας από τους σπουδαιότερους δείκτες αφού όπως αναφέρθηκε είναι ο αυτός που μετρά το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ένας μέσος ακροατής. Πριν τη μελέτη ο *STI* κυμαινόταν σε πολύ χαμηλές τιμές, όμως μετά το πέρας της μελέτης ο δείκτης *STI* κυμαίνεται σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα στο χώρο, για τη χρήση που επιθυμείται. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο *STI* πριν και μετά τη μελέτη με χρήση θορύβου αλλά και χωρίς. Ο θόρυβος για κάθε εύρος συχνοτήτων φαίνεται στον πίνακα 4.5.



Σχήμα 4.16: STI με θόρυβο βάθους πριν (πάνω αριστερά) και μετά (πάνω δεξιά) τη μελέτη και STI χωρίς θόρυβο βάθους πριν (κάτω αριστερά) και μετά (κάτω δεξιά) με το πρόγραμμα CATT-Acoustic (κάτοψη του χώρου).

F (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	45	38	32	28	25	23

Πίνακας 4.5: Στάθμη θορύβου βάθους για τον υπολογισμό του STI.

4.6 Κοστολόγιο

Το αναλυτικό κόστος της ακουστικής μελέτης παρατίθεται παρακάτω, με κάθε επιφύλαξη λόγω αλλαγής των τιμών.

Είδος	Τοποθέτηση	Επιφάνεια (m ²)	Κόστος επιφάνειας ανά m ² (€)	Κόστος υλικών ανά m ² (€)	Κόστος τοποθέτησης ανά m ² (€)	Κόστος (€)
Ακουστική οροφή Knauf-Scherff διάτρητης γυψοσανίδας 12/20/66 R	Οροφή	240,26	18	13	11	10090,92
Διάτρητη γυψοσανίδα Knauf-12/25Q σχέδιο B6.	Βόρειος και Νότιος Τοίχος.	50,86	19,5	15	14	2466,71
Διάτρητη γυψοσανίδα Knauf-Slotline σχέδιο B6.	Ανατολικός Τοίχος	41,83	18	15	14	1966,01
Ηχοαπορροφητικά πάνελ Acoustic Hellas	Δυτικός Τοίχος - Βόρειος και Νότιος Τοίχος Σκηνής - Πίσω από Χώρισμα Σκηνής	52,18	125	-	-	6522,5
Βελούδινη Κουρτίνα	Παράθυρα - Γυάλινες Πόρτες	47,91	70	-	-	3353,7
Συνολικό Κόστος	-	-	-	-	-	24399,84

Πίνακας 4.6: Κοστολόγιο μελέτης.

Οι τιμές είναι ενδεικτικές. Στις τιμές συμπεριλαμβάνεται Φ.Π.Α.

Σημείωση: Για την πραγματοποίηση της προτεινόμενης ακουστικής μετατροπής μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά και από άλλες κατασκευάστριες εταιρίες με την προϋπόθεση να έχουν παρόμοια ακουστικά χαρακτηριστικά με τα προτεινόμενα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ
ΕΠΕΜΒΑΣΗ

Μετρήσεις με ηχόμετρο CESVA:

Χρόνος Αντήχησης RT_{20} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητες (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4.43	6.63	5.92	4.58	4.14	2.97
2	3.85	5.37	5.65	4.58	4.27	3.01
3	4.07	5.37	5.67	4.78	4.18	2.95
4	4.48	5.45	5.55	4.84	4.11	2.97
5	4.25	5.4	5	4.75	4.34	3.06
6	4.57	5.42	5.35	4.78	4.33	2.92
7	4.3	5.06	5.42	4.59	4.37	3.04
8	5.02	6.7	5.4	4.48	4.19	3.02
9	5.72	4.26	5.49	4.66	4.03	2.91
10	4.11	4.95	5.11	5.11	4.22	3.09
11	4.58	5.93	5.26	4.78	4.16	2.98
12	4.65	5.94	5.23	4.72	4.16	2.99
M.O	5.03	5.54	5.42	4.72	4.21	2.99

Πίνακας Α.1: Μέτρηση RT_{20} με ηχόμετρο CESVA.

Χρόνος Αντήχησης RT_{30} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητες (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4.82	5.62	5.51	4.86	4.24	3.06
2	5.09	5.85	5.43	4.69	4.2	3.08
3	4.25	6.15	5.6	4.89	4.19	3.07
4	5.38	6.14	5.67	4.99	4.24	3.13
5	4.71	6.04	5.18	4.72	4.28	3.09
6	5.29	5.36	5.43	4.88	4.2	3.04
7	5.66	5.81	5.41	4.79	4.28	3.03
8	4.62	5.86	5.31	4.79	4.24	3.01
9	5.21	5.46	5.51	4.78	4.22	3.03
10	4.87	5.5	5.34	4.91	4.29	3.06
11	4.71	5.8	5.22	4.7	4.23	2.99
12	3.99	5.82	5.49	4.71	4.18	3.04
M.O	4.88	5.78	5.43	4.81	4.23	3.05

Πίνακας Α.2: Μέτρηση RT_{30} με ηχόμετρο CESVA.

Μετρήσεις με σύστημα MLSSA:

Χρόνος Αντήλησης RT_{20} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4,902	5,938	5,597	5,267	4,773	3,313
2	5,309	5,933	5,643	5,34	4,674	3,254
3	5,12	6,099	5,753	5,306	4,587	3,219
4	5,194	5,863	5,587	5,291	4,664	3,263
5	5,152	6,051	5,53	5,279	4,479	3,15
6	4,917	5,982	5,482	5,156	4,589	3,152
7	5,173	5,781	5,575	5,096	4,572	3,103
8	5,449	5,788	5,378	5,022	4,529	3,149
9	4,6	5,96	5,428	5,045	4,308	3,116
10	5,112	5,919	5,408	5,209	4,577	3,245
11	5,049	6,159	5,854	5,281	4,559	3,225
12	5,388	6,091	5,507	5,222	4,374	3,162
13	5,225	5,647	5,339	4,95	4,423	3,136
14	4,741	5,875	5,389	5,337	4,555	3,184
15	5,327	6,147	5,4	5,179	4,384	3,179
M.O	5,11	5,95	5,53	5,2	4,53	3,2

Πίνακας Α.3: Μέτρηση RT_{20} με σύστημα MLSSA.

Χρόνος Αντήλησης RT_{30} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	5,009	5,654	5,578	5,171	4,654	3,095
2	5,281	6,095	5,552	5,156	4,534	2,995
3	4,945	5,905	5,659	5,266	4,471	3,011
4	5,064	5,821	5,461	5,221	4,677	3,065
5	4,913	5,743	5,559	5,432	4,377	2,958
6	4,951	5,861	5,466	5,03	4,531	2,912
7	5,213	5,713	5,359	5,03	4,358	2,891
8	5,333	5,763	5,151	4,798	4,41	2,901
9	4,993	5,669	5,291	4,811	4,122	2,88
10	5,236	5,817	5,275	5,062	4,474	2,992
11	5,267	5,974	5,416	5,152	4,458	3,003
12	4,953	5,634	5,437	5,082	4,239	2,898
13	5,21	5,543	5,026	5,064	4,275	2,877
14	4,945	5,79	5,194	5,236	4,416	2,937
15	5,25	5,924	5,099	5,141	4,219	2,939
M.O	5,11	5,95	5,37	5,11	4,41	2,96

Πίνακας Α.4: Μέτρηση RT_{30} με σύστημα MLSSA.

Χρόνος Πρώιμων Ανακλάσεων-EDT (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητες (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4,982	5,825	5,972	5,322	4,555	3,273
2	4,851	6,136	5,778	5,241	4,345	3,272
3	4,478	5,741	5,629	5,355	4,647	3,264
4	4,478	6,263	5,639	5,21	4,683	3,251
5	4,935	6,539	5,598	4,876	4,563	3,23
6	4,242	5,828	5,819	5,113	4,597	3,255
7	4,691	5,737	5,67	5,393	4,432	3,247
8	4,723	6,295	5,744	5,414	4,481	3,184
9	4,3	5,504	5,874	5,179	4,371	3,155
10	5,001	6,068	5,472	5,291	4,711	3,436
11	4,533	6,272	5,658	5,461	4,576	2,939
12	4,617	5,921	5,632	4,935	4,187	2,957
13	4,984	5,745	5,807	4,981	4,298	2,999
14	5,261	5,905	5,381	5,257	4,307	3,009
15	5,233	5,514	5,578	5,518	4,249	2,947
M.O	4,75	5,95	5,68	5,24	4,47	3,16

Πίνακας Α.5: Μέτρηση EDT με σύστημα MLSSA.

Καταληπτότητα C ₅₀ (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	-10,63	-9,23	-7,43	-7,13	-8,91	-8,12
2	-10,11	-6,65	-7,51	-6,06	-6,38	-4,26
3	-6,97	-10,08	-8,54	-5,29	-5,16	-4,08
4	-6,88	-10,59	-9,02	-6,86	-5,88	-3,48
5	-6,03	-9,33	-7,1	-5,36	-5,32	-2,69
6	-6,6	-5,11	-5,56	-2,39	-2,5	0,94
7	-8,48	-8,94	-5,94	-3,28	-3,6	-0,53
8	-6,95	-10,82	-7,96	-4,31	-3,66	-1,35
9	-8,2	-9,32	-7,8	-4,28	-4,02	-1,44
10	-3,48	-8,63	-8,4	-4,26	-3,83	-0,66
11	-5,79	-5,1	-4,95	-3,61	-4,48	1,96
12	-7,8	-8,95	-7,07	-3,98	-3,33	-0,64
13	-4,27	-9,08	-6,99	-2,84	-3,18	-1,17
14	-5,43	-7,55	-8,69	-3,47	-3,21	-0,9
15	-8,88	-9,47	-7,46	-4,22	-3,31	-2,12
M.O	-6,68	-8,22	-7,20	-4,29	-4,20	-1,36

Πίνακας Α.6: Μέτρηση C₅₀ με σύστημα MLSSA.

Καταληπτότητα- C_{80} (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	-9,12	-6,74	-5,56	-5,25	-5,08	-4,62
2	-7,67	-5,09	-4,93	-4,16	-3,62	-2,24
3	-5,09	-7,9	-7,06	-3,61	-3,67	-2,42
4	-4,63	-6,47	-5,57	-5,66	-4,25	-1,81
5	-3,95	-6,75	-5,75	-4,22	-3,9	-1,74
6	-3,94	-4,13	-4,4	-1,73	-1,36	1,76
7	-2,93	-6,78	-4,2	-2,06	-1,8	0,97
8	-3,69	-7,63	-6,2	-2,53	-2,44	-0,2
9	-5,78	-6,51	-6,19	-3,43	-3,15	-0,47
10	-2,7	-5,62	-7,15	-3,55	-2,88	0,25
11	-5,66	-3,5	-4,11	-2,44	-2,39	-0,49
12	-6,51	-7,37	-5,45	-2,21	-2,09	0,64
13	-3,17	-7,11	-5,67	-1,91	-1,73	-0,16
14	-3,69	-6,52	-6,72	-2,38	-2,33	-0,08
15	-5,74	-6,95	-5,07	-2,98	-2,36	-1,13
M.O	-4,63	-6,15	-5,50	-3,06	-2,75	-0,53

Πίνακας Α.7: Μέτρηση C_{80} με σύστημα MLSSA.

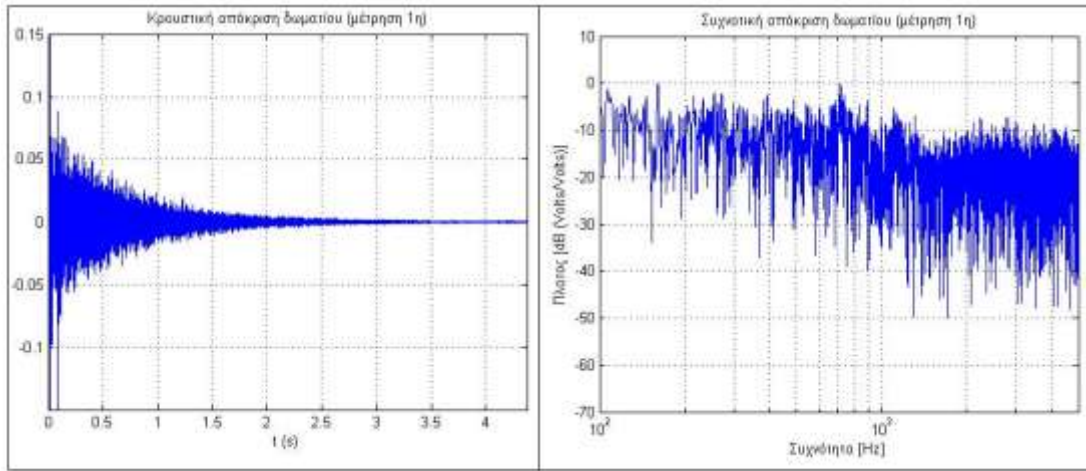
Διακριτότητα- D_{50} (%)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	8	10,7	15,3	16,2	11,4	13,3
2	8,9	17,8	15,1	19,8	18,7	27,3
3	16,7	8,9	12,3	22,8	23,4	28,1
4	17	8	11,1	17,1	20,5	31
5	20	10,4	16,3	22,5	22,7	35
6	18	23,6	21,8	36,6	36	55,4
7	12,4	11,3	20,3	32	30,4	47
8	16,8	7,6	13,8	27	30,1	42,3
9	13,1	10,5	14,2	27,2	28,4	41,8
10	31	12,1	12,6	27,3	29,3	46,2
11	20,9	23,6	24,2	30,4	26,3	38,9
12	14,2	11,3	16,4	28,6	31,7	46,3
13	27,2	11	16,7	34,2	32,5	43,4
14	22,3	14,9	11,9	31	32,3	44,8
15	11,5	10,2	15,2	27,4	31,8	38,1
M.O	17,2	12,79	15,81	26,67	27,03	38,59

Πίνακας Α.8: Μέτρηση D_{50} με σύστημα MLSSA.

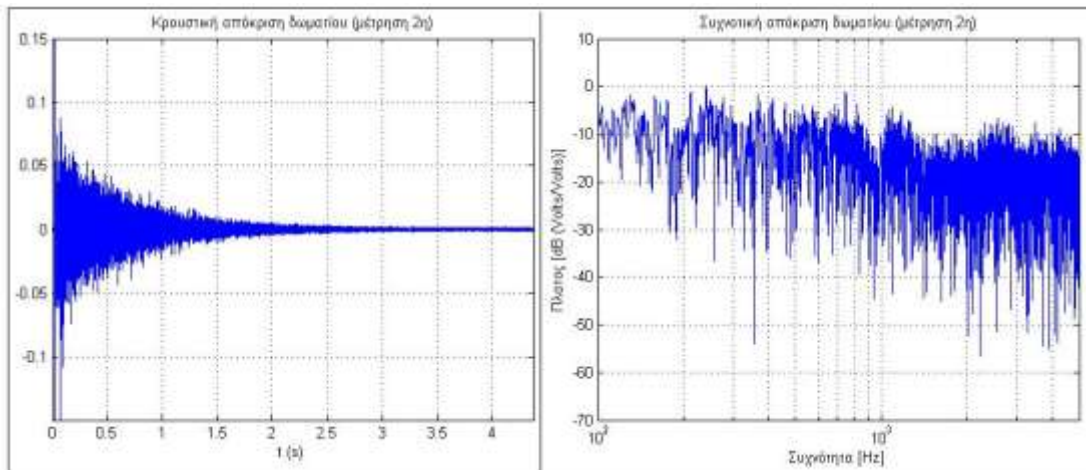
Κεντρικός Χρόνος- T_s (msec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	381,2	437,2	404,8	373,3	324,2	241,1
2	379,3	398,4	384,5	341,4	291,7	208
3	315,4	427,7	415,1	340,4	303,1	215,5
4	312,6	426,1	402	362,9	318	205,6
5	336,6	434,8	388,1	333,4	299,2	196,2
6	301,3	345	354,6	264,5	246,2	127,7
7	308,7	397,6	366,7	296,9	251,1	146
8	284,5	436,7	388,4	310,1	259,4	163
9	306,6	386,3	404,5	317	274,6	170,7
10	299,1	428,6	397,9	334,2	286,5	165,4
11	328,6	378,1	348,5	307,8	266,2	163,1
12	332,1	451,9	374,2	284,4	250,4	144,3
13	317,5	444,4	391,9	282,2	252,1	164,5
14	322,3	424,3	378,9	301,6	259,9	159,2
15	358,8	414,1	380,7	322,2	252,4	171,2
M.O	325,64	415,42	385,39	318,15	275,67	176,1

Πίνακας Α.9 Μέτρηση T_s με σύστημα MLSSA.

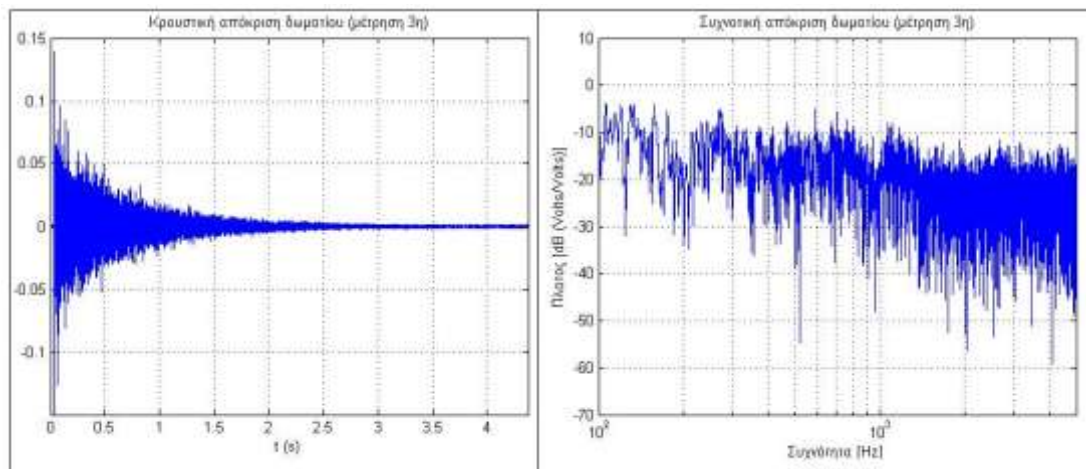
Κρουστικές και συχνοτικές αποκρίσεις για κάθε θέση μέτρησης με το σύστημα MLSSA:



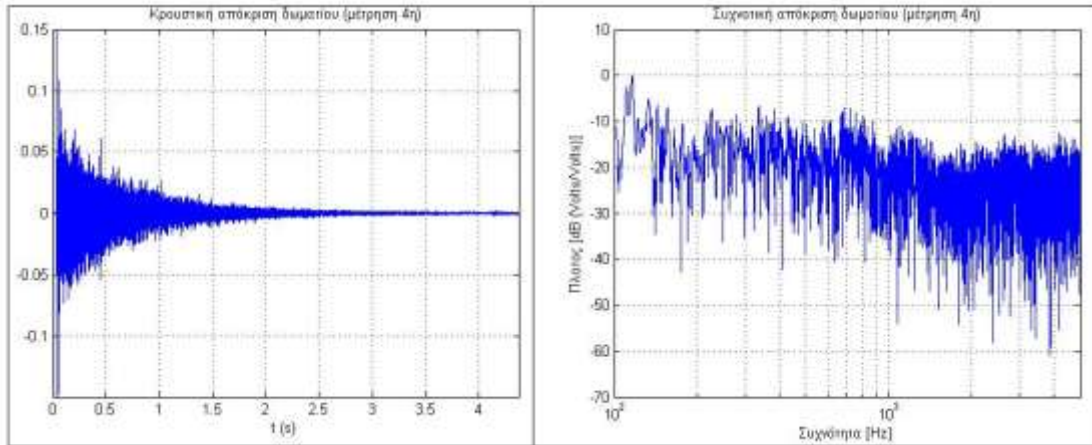
Σχήμα A.1: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 1^η θέση μέτρησης.



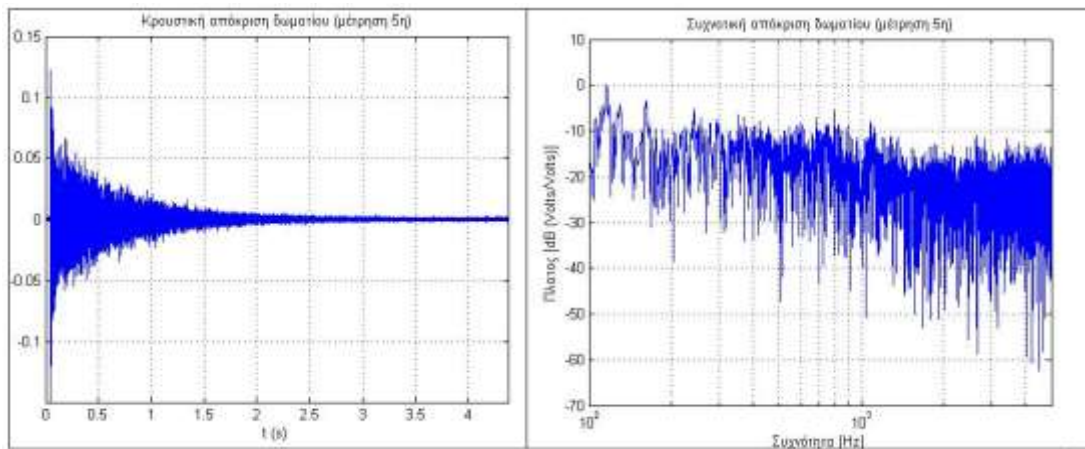
Σχήμα A.2: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 2^η θέση μέτρησης.



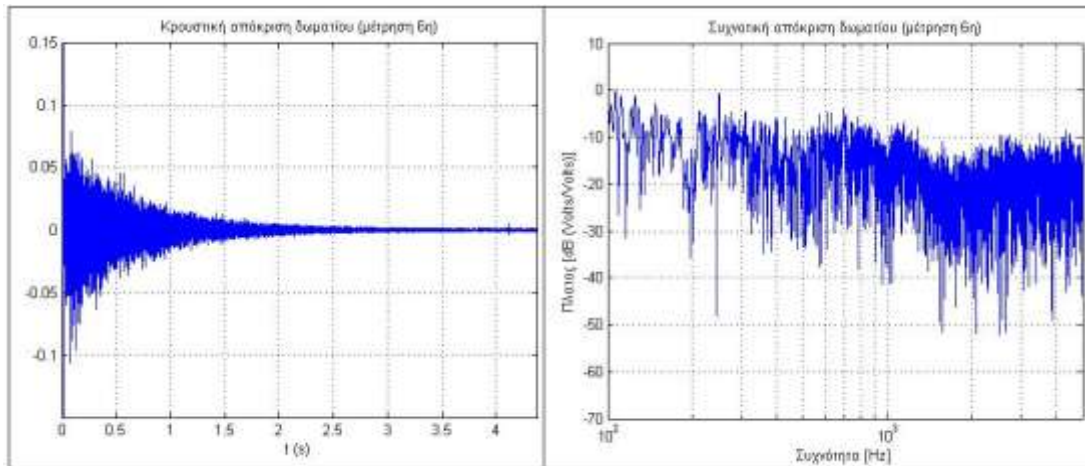
Σχήμα A.3: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 3^η θέση μέτρησης.



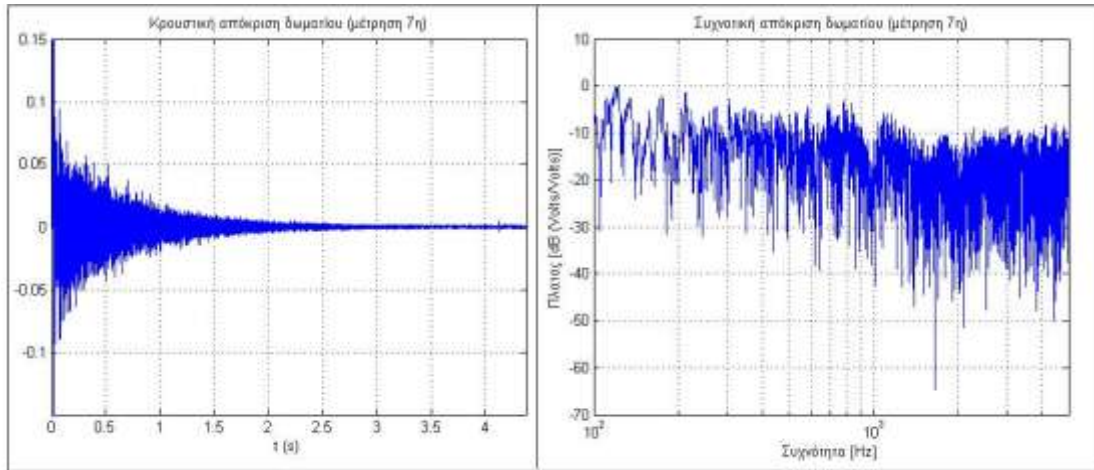
Σχήμα A.4: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 4^η θέση μέτρησης.



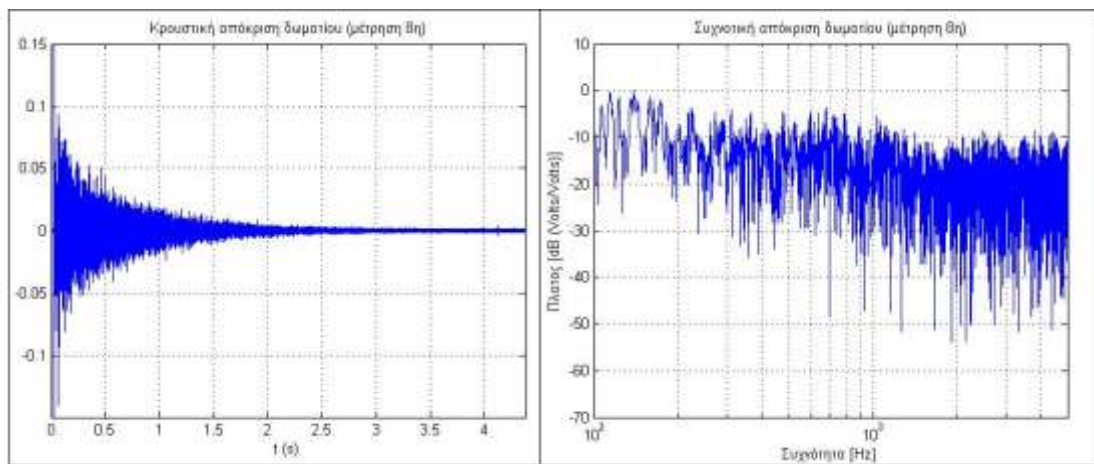
Σχήμα A.5: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 5^η θέση μέτρησης.



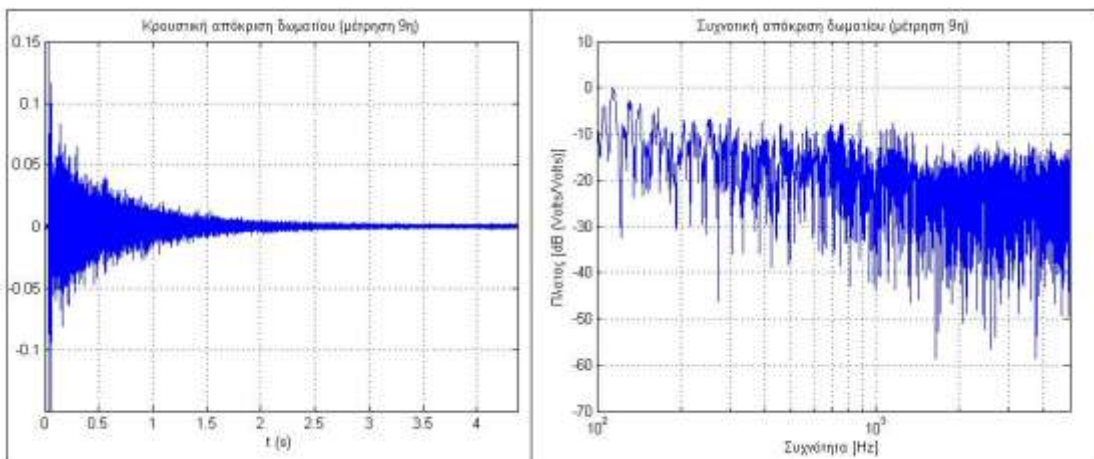
Σχήμα A.6: Κρουστική και συχνοτική απόκριση χώρου στη 6^η θέση μέτρησης.



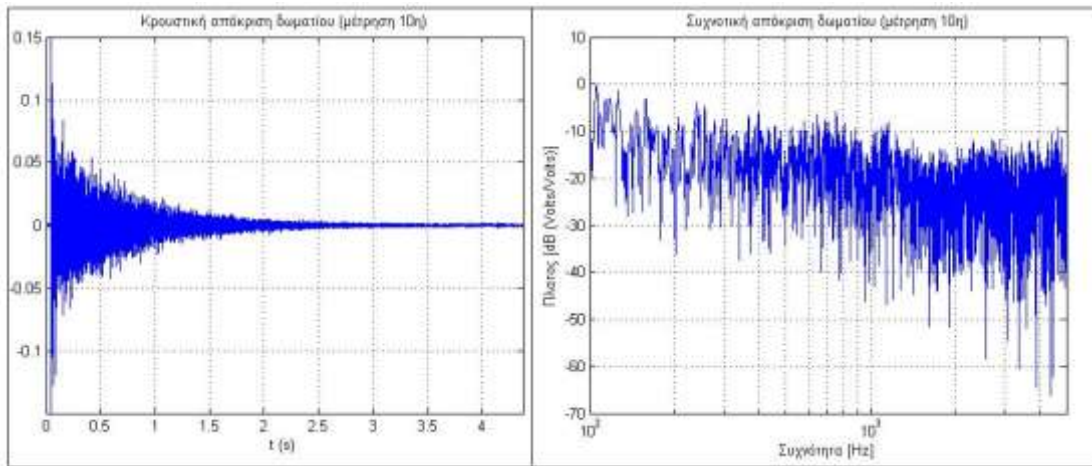
Σχήμα A.7: Κρουστική και συχνωτική απόκριση χώρου στη 7^η θέση μέτρησης.



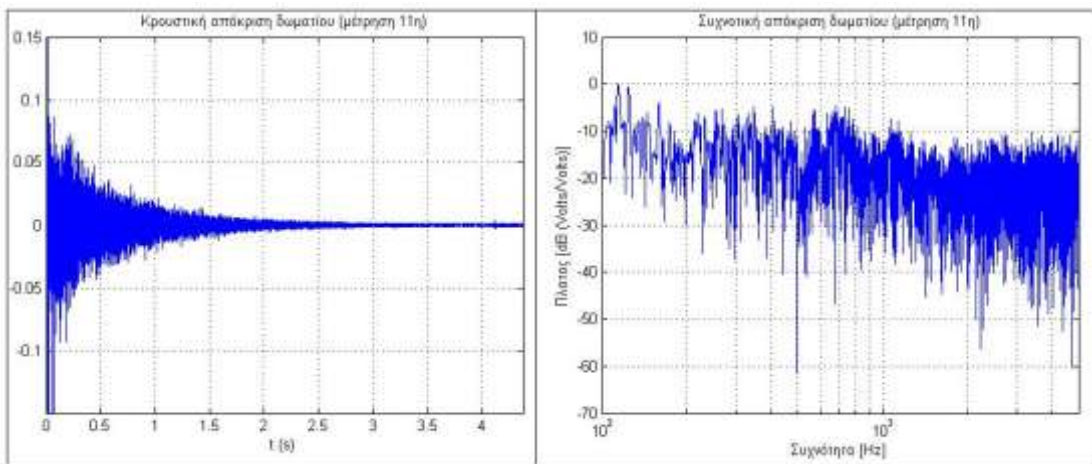
Σχήμα A.8: Κρουστική και συχνωτική απόκριση χώρου στη 8^η θέση μέτρησης.



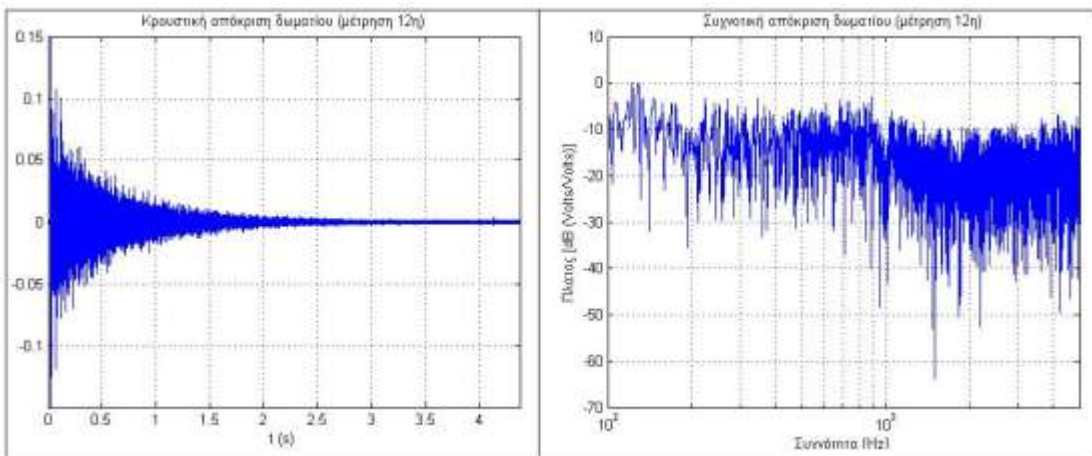
Σχήμα A.9: Κρουστική και συχνωτική απόκριση χώρου στη 9^η θέση μέτρησης.



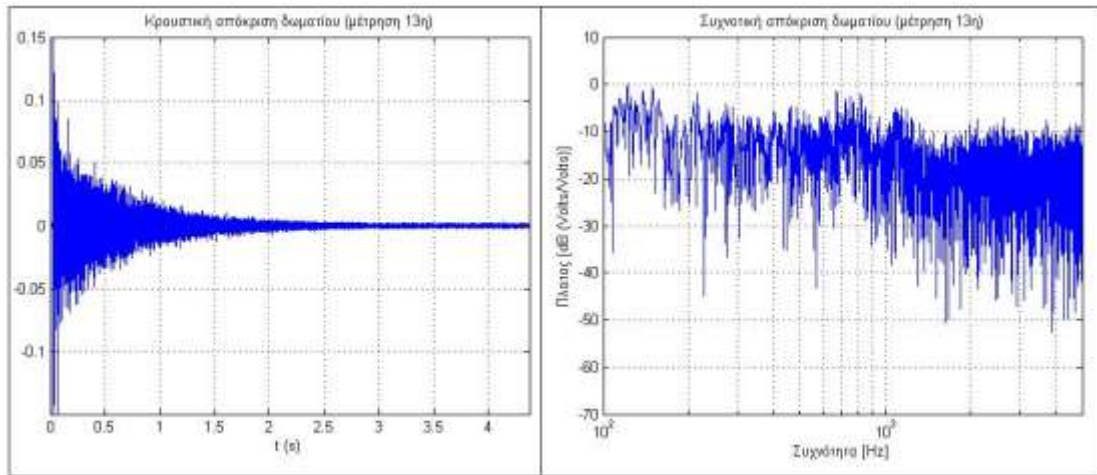
Σχήμα A.10: Κρουστική και συχνотική απόκριση χώρου στη 10^η θέση μέτρησης.



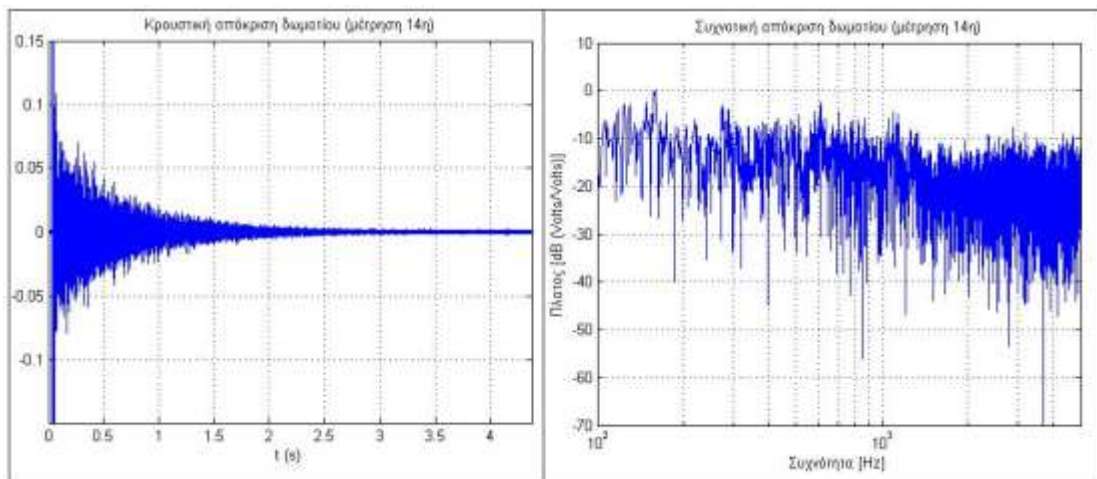
Σχήμα A.11: Κρουστική και συχνотική απόκριση χώρου στη 11^η θέση μέτρησης.



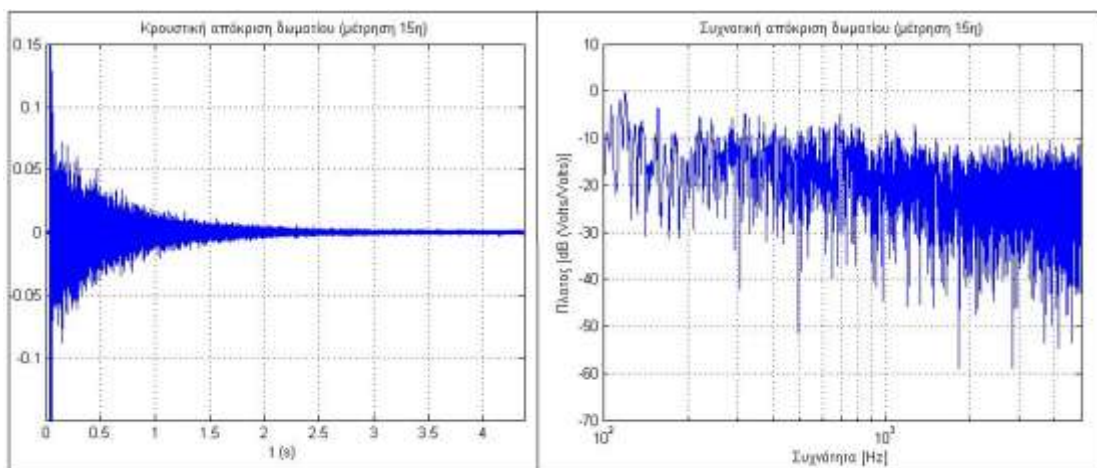
Σχήμα A.12: Κρουστική και συχνотική απόκριση χώρου στη 12^η θέση μέτρησης.



Σχήμα A.13: Κρουστική και συχνωτική απόκριση χώρου στη 13^η θέση μέτρησης.



Σχήμα A.14: Κρουστική και συχνωτική απόκριση χώρου στη 14^η θέση μέτρησης.



Σχήμα A.15: Κρουστική και συχνωτική απόκριση χώρου στη 15^η θέση μέτρησης.

Υπολογισμός δεικτών με το πρόγραμμα προσομοίωσης CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση

Χρόνος Αντήχησης RT_{20} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4,65	5,28	5,66	4,84	4,56	3,04
2	4,68	5,29	5,65	4,81	4,48	3,07
3	4,7	5,34	5,64	4,96	4,52	3,08
4	4,7	5,34	5,64	4,96	4,52	3,08
5	4,68	5,37	5,69	4,86	4,51	3,05
6	4,68	5,24	5,64	4,83	4,46	3,04
7	4,65	5,32	5,68	4,85	4,45	3,05
8	4,65	5,31	5,66	4,88	4,52	3,05
9	4,63	5,34	5,62	4,89	4,51	3,04
10	4,67	5,38	5,67	4,83	4,48	3,05
11	4,62	5,33	5,6	4,81	4,48	3,02
12	4,65	5,29	5,62	4,86	4,49	3,05
13	4,7	5,34	5,67	4,86	4,59	3,1
14	4,67	5,34	5,63	4,88	4,47	3,07
15	4,65	5,34	5,73	4,87	4,54	3,06
M.O	4,67	5,32	5,65	4,87	4,51	3,07

Πίνακας Α.10: Υπολογισμός RT_{20} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Χρόνος Αντήχησης RT_{30} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4,67	5,35	5,7	4,86	4,51	3,04
2	4,69	5,3	5,64	4,79	4,45	3,05
3	4,71	5,35	5,68	4,93	4,48	3,06
4	4,67	5,35	5,68	4,82	4,47	3,06
5	4,65	5,34	5,72	4,88	4,46	3,05
6	4,7	5,32	5,67	4,88	4,47	3,04
7	4,7	5,32	5,67	4,88	4,47	3,04
8	4,68	5,34	5,69	4,88	4,45	3,04
9	4,7	5,35	5,63	4,92	4,47	3,03
10	4,66	5,36	5,69	4,78	4,48	3,04
11	4,64	5,35	5,66	4,82	4,46	3,04
12	4,64	5,35	5,68	4,86	4,45	3,04
13	4,65	5,32	5,69	4,87	4,56	3,06
14	4,68	5,34	5,64	4,88	4,5	3,06
15	4,67	5,34	5,7	4,88	4,45	3,05
M.O	4,67	5,34	5,7	4,88	4,45	3,05

Πίνακας Α.11: Υπολογισμός RT_{30} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Χρόνος Πρώιμων Ανακλάσεων-EDT (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4,58	5,28	5,63	4,85	4,53	3
2	4,65	5,3	5,7	4,84	4,52	2,99
3	4,62	5,35	5,68	4,9	4,63	2,95
4	4,65	5,33	5,71	4,97	4,58	3,08
5	4,7	5,39	5,71	4,84	4,57	2,98
6	4,61	5,26	5,57	4,81	4,28	2,98
7	4,59	5,24	5,66	4,87	4,58	2,99
8	4,63	5,27	5,67	4,95	4,63	3,03
9	4,52	5,31	5,65	4,84	4,54	2,98
10	4,6	5,28	5,67	4,86	4,52	3
11	4,6	5,3	5,66	4,84	4,49	2,98
12	4,62	5,26	5,63	4,93	4,56	3,04
13	4,66	5,31	5,62	4,84	4,5	2,96
14	4,6	5,31	5,75	4,86	4,49	2,96
15	4,63	5,29	5,72	4,93	4,56	2,99
M.O	4,62	5,3	5,67	4,88	4,53	3

Πίνακας Α.12: Υπολογισμός EDT με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Καταληπτότητα-C ₈₀ (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	-4	-4,7	-4,4	-3,8	-3,9	-2,1
2	-4,5	-4,4	-4,8	-3	-2,6	-1,8
3	-4,3	-4,6	-4,7	-3,3	-3	-1,3
4	-4,1	-4,4	-4,4	-3,4	-2,7	-1
5	-4,1	-4,4	-4,5	-3,2	-2,8	-0,7
6	-2,8	-3,1	-2,7	-1,2	1,7	0,8
7	-3,8	-4,2	-3,5	-2,7	-0,1	-0,5
8	-4,2	-4,2	-4,7	-3,3	-1,3	-1,2
9	-4,1	-4,4	-4,7	-3,3	-1,8	-1,2
10	-3,9	-4,4	-4,7	-3,9	-2	-1,1
11	-4	-4,2	-4,4	-2,7	-2,8	-1,2
12	-4,2	-4,3	-4,7	-3,2	-2,9	-1,3
13	-4,1	-4,7	-4,7	-3,2	-2,3	-1,7
14	-4,1	-4,5	-4,5	-3,3	-2,5	-1,2
15	-4,1	-4,5	-4,6	-3,4	-3,1	-1,2
M.O	-4,00	-4,31	-4,36	-3,08	-1,89	-1,06

Πίνακας Α.13: Υπολογισμός C₈₀ με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Διακρητικότητα D_{50} (%)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	19,6	18,3	19,9	20,6	17,3	25
2	18,1	18,4	18,1	23,7	24,8	28
3	19	17,1	17,2	24,2	27,7	31,3
4	19,5	19,8	21,2	24,8	29,8	34
5	21	20	20,1	26,7	31,4	37,6
6	28,4	27,1	29,9	36,8	53,4	46,7
7	21,5	20,3	23	26,7	41	35,6
8	18,8	19,33	18,7	24,6	37,9	32,3
9	20,3	19,5	18,7	26,5	35,1	33,4
10	20,4	20,1	20,6	23,4	35,7	35,4
11	22,3	21,6	20,9	26,6	25,8	32,3
12	18,6	19,5	18,1	22,6	23,1	28,7
13	19,6	18,7	18,5	23,8	30,5	30,1
14	19,9	19	19,2	26,7	32,1	34
15	20,2	19,5	20,4	26	29,9	34,1
M.O	20,2	19,5	20,4	26	29,9	34,1

Πίνακας Α.14: Υπολογισμός D_{50} με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Κεντρική Συχνότητα T_s (msec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	303,8	350,6	367,3	310,9	302	197,4
2	316	350,2	378,9	300,5	281,6	191,3
3	312,5	359,3	378,9	312,2	286,6	187,8
4	310,1	357	374,6	313,2	281,2	187,1
5	312	354,4	380,4	309,7	283,2	178,2
6	277,4	318,5	322,3	249,3	169	145,2
7	299,6	343,1	349,2	288,8	220,7	170
8	310,1	347,5	374,7	315,2	251,5	184,8
9	307,8	355,3	379,7	310,7	261,3	187,5
10	309,5	355,9	380,8	320,3	264,9	185,2
11	299,2	354,4	366,9	291,1	275,2	179,6
12	307	345,6	370	311,2	279,7	188
13	310,2	358	376,3	307,7	272,1	188,9
14	308,9	353,6	377,6	307,9	274,6	186
15	310	354,7	379,1	314,6	283,6	184,8
M.O	306,27	350,54	370,45	304,22	265,81	182,79

Πίνακας Α.15: Μέτρηση T_s με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Ηχηρότητα- G (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	19,5	20,1	20,5	19,9	19,7	17,8
2	19,2	20	20,2	19,9	19,5	17,6
3	19,4	20	20,3	19,7	19,5	17,8
4	19,2	20	20,3	19,7	19,5	17,6
5	19,1	20	20,2	19,7	19,4	17,8
6	20	20,6	21,1	21	22,2	19,3
7	19,6	20,3	20,8	20,2	20,8	18,4
8	19,4	20,3	20,4	19,8	20,2	18
9	19,4	20	20,3	19,8	20,1	17,8
10	19,3	20	20,2	19,7	19,9	17,7
11	19,6	20,3	20,6	20,3	20	18,4
12	19,4	20,2	20,4	19,9	19,7	17,9
13	19,5	20,1	20,4	19,9	19,9	17,8
14	19,4	20	20,2	19,8	19,7	17,7
15	19,3	20	20,2	19,6	19,6	17,7
M.O	19,43	20,13	20,41	19,94	20,04	17,98

Πίνακας Α.16: Υπολογισμός G με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Πλευρικές Ανακλάσεις- LF (%)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	27,8	29,3	25,4	24,4	25,2	22,6
2	24	25	22,8	22,3	21,5	20
3	25,8	23,9	22,1	19,9	17,8	18,1
4	22,2	23,4	19,3	16,7	14,2	17
5	23,4	23,6	21,7	19,2	14,4	17,2
6	13,5	14,8	11,3	7,5	3,3	5,4
7	18,1	19,5	15,2	12,8	5,5	7,9
8	21,2	24,8	19,5	15,7	7,5	12,4
9	23,8	22,4	19,7	17,5	11,3	15,2
10	24,3	22,9	21,7	20	12,5	16,3
11	21,8	24,9	17,5	16,6	13,6	12,6
12	27,3	27,5	24,7	22,3	21	19,3
13	27,3	28,6	26,9	23,9	22,1	20,3
14	23,4	26,2	22,3	17,9	17,8	17,3
15	21,4	22,4	21,8	18,4	15,5	16,5
M.O	23,02	23,95	20,79	18,34	14,88	15,87

Πίνακας Α.17: Υπολογισμός LF με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

<i>LFC (%)</i>						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	37,5	38,2	34,4	33,7	35	31,3
2	35,2	35,7	34	33	31,7	30,4
3	37,9	35,7	33,6	30	27,8	29,5
4	34,7	35,5	31,1	27,2	24,1	27,7
5	35,9	36,2	34,8	30,2	24,6	28,9
6	18,5	20,2	15,2	10,6	5,2	8,6
7	26,1	27,9	22,9	18,4	8,8	13,7
8	32	36,1	28,9	24,6	11,9	20,1
9	36,5	35,5	31,7	28,7	18,3	25,4
10	38,1	37	35	31,2	20,8	28,2
11	29,1	32,5	24,7	23,4	20,8	20
12	37,4	38,9	34,7	30,8	29,8	29,1
13	39,8	40,7	39,4	34,5	33,1	31,4
14	37	39,1	35,3	28,8	28,9	28,7
15	34,8	35,4	34,7	30	26,1	28
M.O	34,03	34,97	31,36	27,67	23,13	25,4

Πίνακας Α.18: Υπολογισμός *LFC* με το Catt-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Ένταση-SPL (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	84,5	85,9	89,7	89,2	86,9	92,1
2	84,2	85,8	89,4	89,2	86,7	91,9
3	84,4	85,8	89,5	89	86,7	92,1
4	84,2	85,8	89,5	89	86,8	91,9
5	84,1	85,8	89,4	89,1	86,6	92,1
6	85	86,4	90,3	90,3	89,4	93,6
7	84,6	86,1	90	20,2	20,8	18,4
8	84,3	86,1	89,6	89,1	87,4	92,3
9	84,3	85,8	89,5	89,2	87,3	92,1
10	84,3	85,8	89,4	89	87,1	92
11	84,6	86,1	89,8	89,6	87,3	92,7
12	84,4	86,1	89,6	89,2	86,9	92,2
13	84,5	85,9	89,6	89,2	87,2	92,1
14	84,4	85,8	89,4	89,1	86,9	92
15	84,3	85,8	89,4	88,9	86,8	92
M.O	84,41	85,94	89,61	88,94	86,90	91,95

Πίνακας Α.19: Υπολογισμός *SPL* με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Ταχύς Δείκτης Μετάδοσης Ομιλίας- <i>RASTI</i> (%)		
Μέτρηση	Με Θόρυβο	Χαρακτηρισμός
1	30,5	Bad/Poor
2	30,3	Bad/Poor
3	31,1	Poor
4	33,2	Poor
5	34,3	Poor
6	45,1	Poor/Fair
7	39,2	Poor
8	35,2	Poor
9	34,3	Poor
10	35,2	Poor
11	33,9	Poor
12	32,1	Poor
13	31,3	Poor
14	33,7	Poor
15	33,9	Poor

Πίνακας Α.20: Υπολογισμός *RASTI* με το Catt-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

Δείκτης Καταληπτότητας ομιλίας- <i>STI</i> (%)		
Μέτρηση	Με Θόρυβο	Χαρακτηρισμός
1	36,2	Bad/Poor
2	35,9	Poor
3	35,5	Poor
4	36,8	Poor
5	38,4	Poor
6	47,3	Fair
7	41,8	Poor
8	38,5	Poor
9	37,9	Poor
10	38,9	Poor
11	38,9	Poor
12	36,9	Poor
13	36	Poor
14	37	Poor
15	37,7	Poor

Πίνακας Α.21: Υπολογισμός *STI* με το CATT-Acoustic πριν την ακουστική επέμβαση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ
ΕΠΕΜΒΑΣΗ

Χρόνος Αντήχησης- RT_{20} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	1,45	1,26	1,37	1,39	1,37	1,1
2	1,53	1,4	1,37	1,44	1,32	1,16
3	1,55	1,36	1,35	1,36	1,44	1,21
4	1,48	1,31	1,45	1,4	1,37	1,17
5	1,54	1,32	1,48	1,53	1,49	1,17
6	1,43	1,15	1,22	1,22	1,32	1,07
7	1,43	1,14	1,23	1,23	1,31	1,11
8	1,48	1,25	1,4	1,25	1,3	1,16
9	1,45	1,2	1,41	1,28	1,36	1,17
10	1,46	1,23	1,33	1,25	1,41	1,17
11	1,41	1,2	1,23	1,18	1,21	1,07
12	1,47	1,25	1,22	1,26	1,25	1,13
13	1,49	1,36	1,34	1,25	1,37	1,16
15	1,5	1,27	1,43	1,29	1,39	1,19
M.O	1,48	1,28	1,34	1,31	1,35	1,15

Πίνακας Β.1: Υπολογισμός RT_{20} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Χρόνος Αντήχησης- RT_{30} (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	1,65	1,29	1,29	1,37	1,31	1,13
2	1,67	1,35	1,34	1,36	1,27	1,14
3	1,76	1,32	1,28	1,37	1,49	1,13
4	1,74	1,32	1,49	1,24	1,47	1,16
5	1,67	1,28	1,26	1,46	1,34	1,23
6	1,62	1,25	1,41	1,31	1,45	1,11
7	1,6	1,23	1,34	1,18	1,38	1,18
8	1,59	1,45	1,37	1,26	1,47	1,24
9	1,63	1,26	1,4	1,36	1,36	1,19
10	1,58	1,23	1,38	1,21	1,32	1,17
11	1,61	1,16	1,28	1,26	1,38	1,21
12	1,66	1,31	1,31	1,22	1,48	1,21
13	1,69	1,5	1,36	1,49	1,55	1,2
15	1,73	1,34	1,49	1,34	1,43	1,2
M.O	1,65	1,31	1,35	1,31	1,40	1,17

Πίνακας Β.2: Υπολογισμός RT_{30} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Χρόνος Πρώιμων Ανακλάσεων-EDT (sec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	1,22	1,03	1,15	1,13	1,32	1,06
2	1,17	0,97	0,89	1,06	1,27	0,92
3	1,27	0,87	1,14	1,2	1,37	1,12
4	1,21	0,86	1,01	1,17	1,18	0,83
5	1,16	0,95	1,05	1,19	1,34	0,95
6	1,23	0,84	0,77	0,96	1,16	0,79
7	1,17	0,81	0,88	1,1	1,17	0,98
8	1,15	0,81	0,99	0,98	1,13	0,86
9	1,16	0,98	1,17	1,17	1,34	0,92
10	1,16	0,92	1,1	1,13	1,33	1,01
11	1,21	0,92	0,86	1,04	1,24	0,94
12	1,21	0,94	1,03	1,11	1,15	1,02
13	1,19	0,9	1,05	0,99	1,2	0,97
15	1,19	0,85	0,97	1,01	1,23	0,85
M.O	1,19	0,9	1,008	1,08	1,23	0,94

Πίνακας Β.3: Υπολογισμός EDT με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Καταληπτότητα-C ₈₀ (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	4,1	7,1	6,4	3,8	6,2	
2	4	7,4	7,8	6,6	4,6	6,6
3	3,7	7,8	7,8	6,6	4,9	6,1
4	3,9	7,6	7,2	6,4	6,2	7,7
5	4,5	7,2	7,2	6,5	5,8	7,3
6	5,6	9,2	10,1	9	9,8	9,1
7	4,1	8,3	8,7	7,5	8,4	7,5
8	4,4	7,8	7,6	7,6	7,2	7,8
9	4,1	6,4	6,9	6,6	6,6	7,2
10	4,6	7,7	7,7	6,8	6,9	7,3
11	4,3	8,2	9,1	7,6	5,5	7,5
12	4	7,5	6,6	6,6	5,1	6,4
13	3,9	7	7,1	7	5,4	6,9
14	4,3	7,1	6,4	6,6	6	7,6
15	4,3	7,2	7,8	7,4	6	8
M.O	4,38	7,66	7,79	7,01	6,59	7,22

Πίνακας Β.4: Υπολογισμός C₈₀ με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Διακριτικότητα- D_{50} (%)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	58,1	77,4	74,1	66,1	53,1	65,6
2	57,7	76,7	77,3	74,3	66,9	72,4
3	54,5	73,5	79	74,8	67,9	71
4	58	78,2	78,6	75	74,9	77,8
5	61,6	78,7	90	77	75,4	77,8
6	68,5	83,2	86,6	81	83,3	82,3
7	59,1	76,6	77	72,5	76,8	70,6
8	58,5	77,6	78,9	74,4	76	74,9
9	60,4	71,6	77,1	76	76,6	75,1
10	60,4	78,7	82,5	77,4	79,2	77,7
11	61,7	77,2	81,4	74,3	61,9	73,4
12	56,3	73,6	69,8	65	55,9	63,7
13	57,1	72	75,6	74,2	70,6	74
14	59,7	76,2	76,8	77	71,33	78,6
15	62,2	75,6	81,3	79,3	75,9	77,8
M.O	59,58	76,45	79,06	74,55	71,04	74,18

Πίνακας Β.5: Υπολογισμός D_{50} με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Κεντρικός Χρόνος- T_s (msec)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	66,6	36,1	40,8	50	68,8	48,7
2	70,2	42,1	40,3	48,4	61,8	48,1
3	74,6	42,4	40,5	49,7	61,8	49,3
4	72,9	42,7	45,5	49,3	52	43,2
5	69,7	44,6	45,2	49,8	53,4	43,2
6	51,6	25,8	21,6	27,9	23,3	27,3
7	64,6	36,1	34,3	38,2	32,1	38,9
8	68,9	39,8	40,5	43,7	41	41,6
9	71,7	48,2	44,4	48	46,2	44,5
10	69,2	42,3	40,6	47,3	44,9	43,5
11	62,8	34,5	30	37	52,5	39,5
12	68,2	38,7	42,1	45,8	55,5	47,1
13	71,6	47,4	45,4	46,8	57,5	46,2
14	69,7	44,8	47,5	48,3	54,1	42,9
15	67,8	41,8	40,4	42,3	49,3	41
M.O	68	40,48	39,94	44,83	50,28	43

Πίνακας Β.6: Υπολογισμός T_s με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Πλευρικές Ανακλάσεις-LF (%)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	28,5	28,8	25,5	25,8	25,8	21,1
2	27,2	23,8	21,6	19,2	20,5	18,2
3	26,6	25,1	21,9	19,6	18,8	17
4	19	20,4	15,6	13,7	14,5	15,4
5	26,7	22,9	23,3	20,3	18,6	17,5
6	15,2	12,2	10,5	8,3	3	5,9
7	21,3	22,9	16	11,6	6,4	8,8
8	23,8	22,8	19	15,3	7,9	12,4
9	26,1	23,2	19,5	16,7	10,7	14,1
10	24,9	24,5	20,6	19,5	11,2	15,6
11	23,7	22,3	16,4	14	12,8	12,3
12	27,1	31,9	25,8	20,3	21,8	19,8
13	30,6	33	30,2	16,2	22	22,2
14	23,4	23	18	17,6	18,7	16,8
15	21,7	20,4	19,8	16,4	15	18,8
M.O	24,38	23,81	20,24	16,96	15,18	15,72

Πίνακας Β.7: Υπολογισμός LF με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

LFC (%)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	36,4	33,7	30,5	31,9	32,8	28,9
2	37,7	31,2	29,4	27,2	29,4	27,2
3	37	32,8	29,9	27,6	28,1	25,1
4	29,8	29	23,2	21,9	23,6	25,8
5	39,8	34,9	33,7	30,8	29,3	29,5
6	19,4	14,5	12,1	10,6	4,3	8,4
7	28,6	28,6	20,8	15,7	9,1	13,6
8	33,8	30,7	25	22,6	12,5	19,5
9	37,9	33,1	27,3	24,8	16	22,1
10	38,2	35,7	29,8	29,9	18,6	25,4
11	30,9	27	20,5	18,6	18,5	18,2
12	36,9	37,9	31,6	26,8	28,8	27,3
13	41,7	42,8	39,3	35,8	31,8	31,5
14	35,4	31,9	28	26,7	27,6	26,4
15	33,4	29,3	28,6	25,7	24,4	28,1
M.O	34,46	31,54	25,28	25,10	22,32	23,8

Πίνακας Β.8: Υπολογισμός LFC με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Ηχηρότητα- <i>G</i> (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	15,3	13,1	13,6	14,6	14,9	13,9
2	14,9	12,3	12,8	14,6	15,3	13,9
3	14,5	21,1	12,4	14,3	15,3	13,4
4	14,5	12,1	12,1	14,1	15,4	14
5	14,4	12	12	13,7	15,3	13,7
6	16,7	15,2	16,2	17,6	20,2	17,1
7	15,7	14,1	14,6	15,8	18,2	15,5
8	15,3	13	13,3	15,1	17,2	14,6
9	14,8	12,1	12	14,2	16,3	13,6
10	14,7	12,3	12,5	14,6	16,2	13,4
11	15,9	14,1	14,2	15,7	16,2	15,1
12	27,1	31,9	25,8	20,3	21,8	19,8
13	14,8	12,7	12,6	14,8	15,8	13,9
14	14,8	12,2	12,3	14,3	15,8	13,9
15	14,6	12,3	12,4	14,4	15,8	13,9
M.O	18,09	21,11	16,53	15,60	17,17	15,06

Πίνακας Β.9: Υπολογισμός *G* με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

Ένταση- <i>SPL</i> (dB)						
Μέτρηση	Συχνότητα (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
1	80,2	78,9	82,9	83,9	82,8	88,2
2	79,8	78,1	82,1	83,9	82,5	88,2
3	79,5	77,9	81,6	83,7	82,5	87,7
4	79,4	77,9	81,3	83,4	82,6	88,3
5	79,3	77,8	81,2	83	82,5	88
6	81,6	81	85,4	87	87,4	91,4
7	80,6	79,9	83,8	85,2	85,4	89,8
8	80,3	78,8	82,5	84,4	84,4	88,9
9	79,8	77,9	81,2	83,5	83,6	87,9
10	79,7	78,2	81,7	83,9	83,5	87,7
11	80,9	79,9	83,4	85	83,4	89,4
12	80,3	78,9	82,6	84,3	83	88,5
13	79,8	78,5	81,8	84,1	83	88,2
14	79,8	78	81,5	83,7	83	88,2
15	79,6	78,1	81,6	83,7	83	88,2
M.O	80,08	78,76	82,47	84,29	83,74	88,69

Πίνακας Β.10: Υπολογισμός *SPL* με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

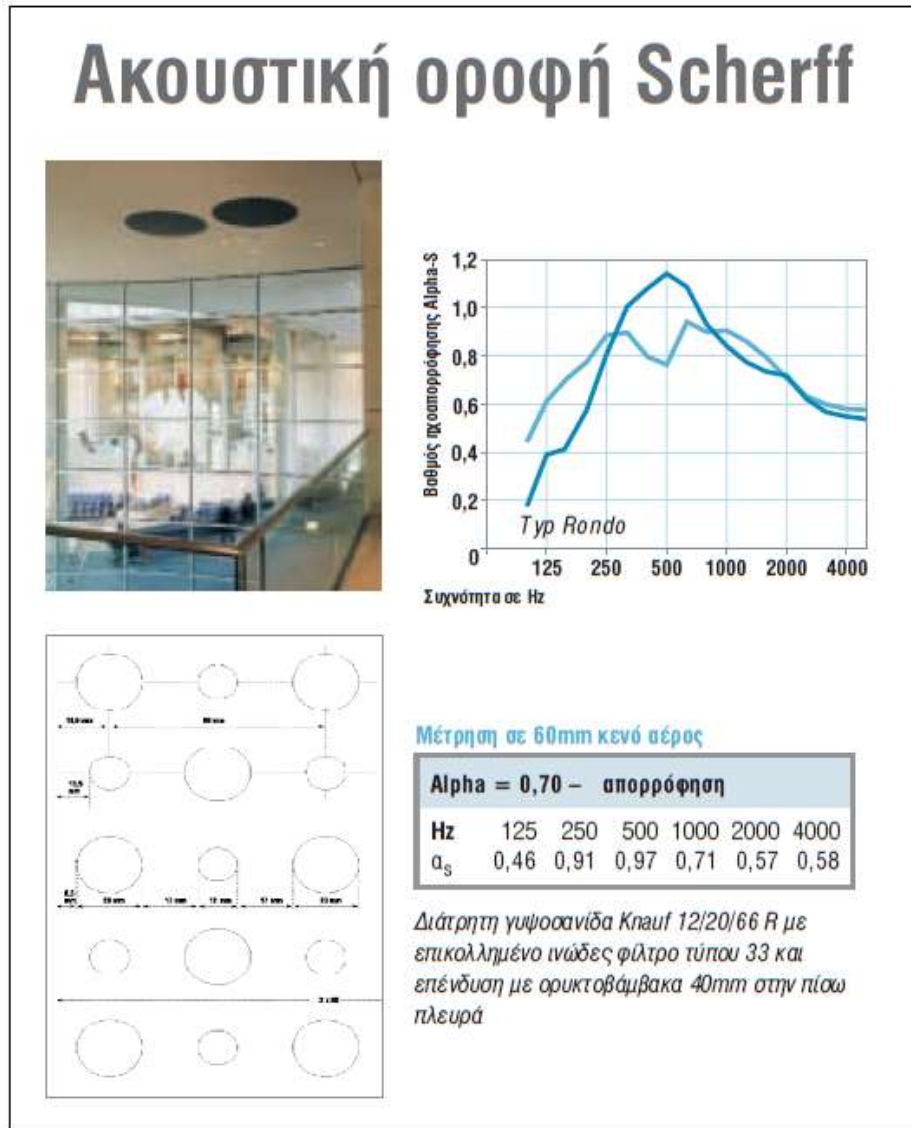
Ταχύς Δείκτης Μετάδοσης Λόγου- <i>RASTI</i> (%)		
Μέτρηση	Με θόρυβο	Χαρακτηρισμός
1	62,3	GOOD
2	62,5	GOOD
3	63,5	GOOD
4	65,2	GOOD
5	67,4	GOOD
6	78,3	EXCELENT
7	71,3	GOOD
8	67,6	GOOD
9	66,5	GOOD
10	69,4	GOOD
11	67,6	GOOD
12	63,6	GOOD
13	62,9	GOOD
14	64,7	GOOD
15	68,4	GOOD

Πίνακας Β.11: Υπολογισμός *RASTI* με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

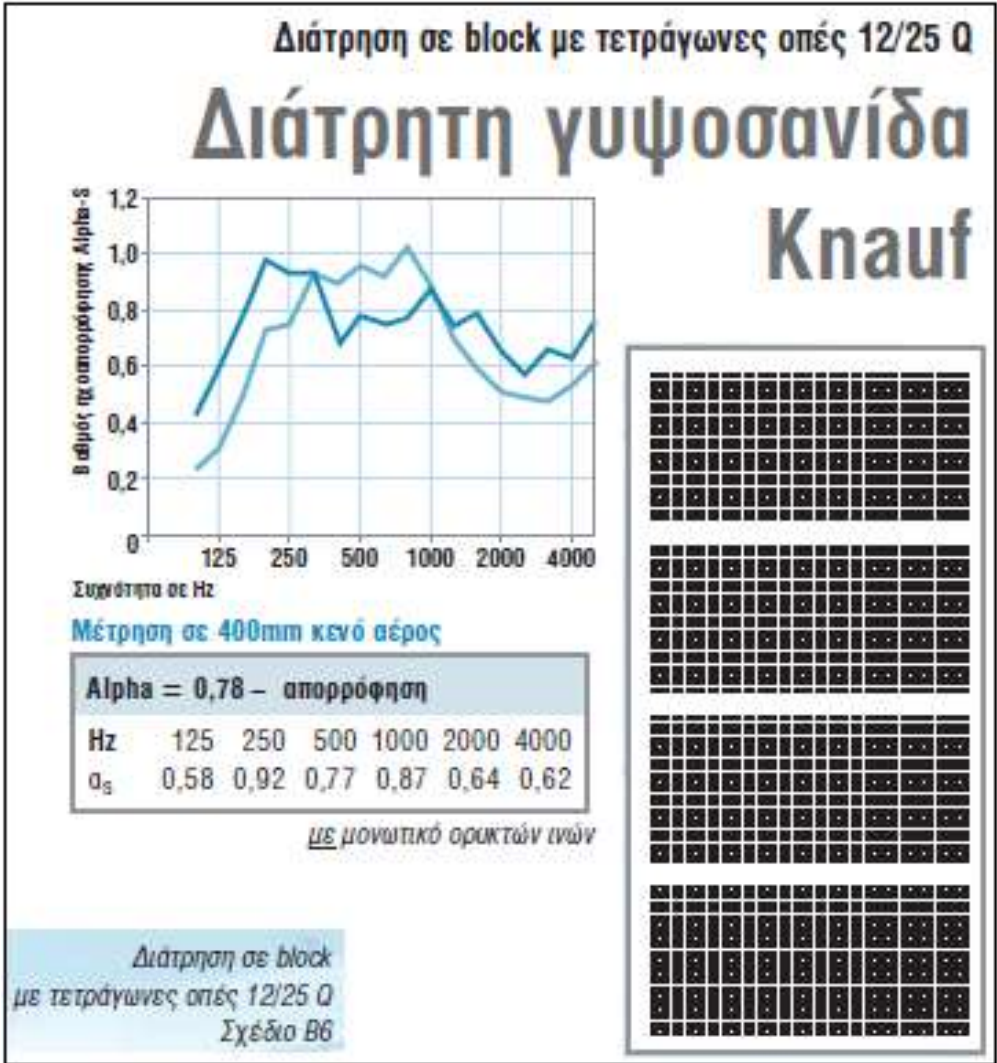
Δείκτης Καταληπτότητας Λόγου- <i>STI</i> (%)		
Μέτρηση	Με θόρυβο	Χαρακτηρισμός
1	64,7	GOOD
2	64	GOOD
3	64	GOOD
4	65,5	GOOD
5	67,3	GOOD
6	75,4	GOOD/EXCELENT
7	69,5	GOOD
8	67,1	GOOD
9	66,2	GOOD
10	68,6	GOOD
11	67,8	GOOD
12	64,8	GOOD
13	63,9	GOOD
14	65,6	GOOD
15	68,2	GOOD

Πίνακας Β.12: Υπολογισμός *STI* με το CATT-Acoustic μετά την ακουστική επέμβαση.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ**



Σχήμα Γ.1: Ακουστική οροφή scherff της εταιρίας Knauf.

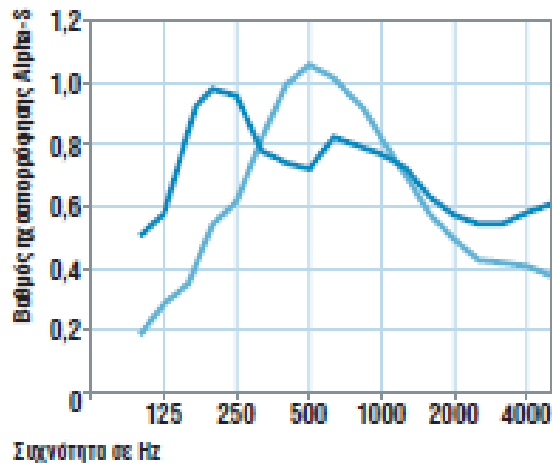


Σχήμα Γ.2: Διάτρητη γυψοσανίδα της εταιρίας Knauf.

Διάτρητη γυψοσανίδα

Knauf

Slotline B6

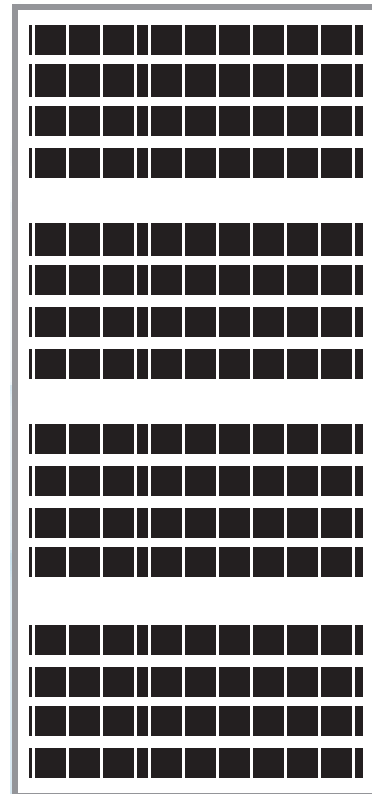


Μέτρηση σε 400mm κενό αέρος

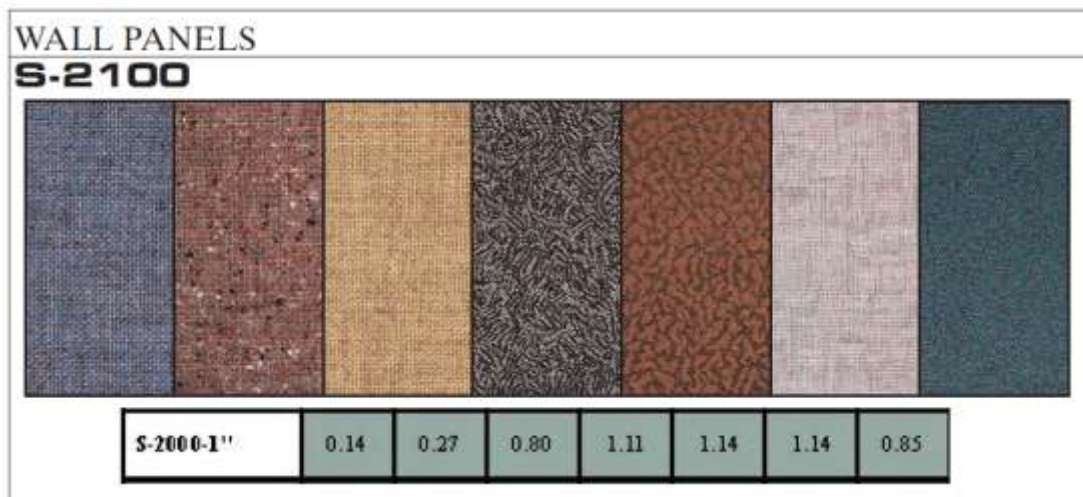
Alpha = 0,63 – απορρόφηση

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
α_s	0,56	0,94	0,71	0,76	0,56	0,57

με μονωτικό ορυκτών ινών



Σχήμα Γ.3: Διάτρητη Γυψοσανίδα slotline της εταιρία Knauf.



Σχήμα Γ.4: Ηχοαπορροφητικά Πάνελ της εταιρίας acoustic hellas.

F (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
α (Sabines)	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35

Πίνακας Γ.1: Απορρόφηση βελούδινη ελαφριά κουρτίνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tor Eric Vigran, *Building Acoustic*, 1^η Έκδοση, Taylor & Francis Group, USA 2008, ISBN: 978-0-415-42853-8.
2. Marshall Long, *Architectural Acoustics*, 1^η Έκδοση, Elsevier Academic Press, UK 2006, ISBN: 978-0-12-455551-8.
3. Vorlander M, *Auralization*, 1^η Έκδοση, Εκδόσεις SPRINGER, Berlin Germany 2008, ISBN: 978-3-540-48829-3.
4. Κωνσταντίνα Καπλάνη, *Ακουστική Μεγάλων Κλειστών Χώρων (θεάτρων, αιθουσών συναυλιών, συνεδριακών χώρων)*, πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Κρήτης, Ρέθυμνο 2008.
5. Heinrich Kuttruff, *Acoustics: An Introduction*, Εκδόσεις Taylor & Francis Group, USA 2007, ISBN: 0-203-97089-6.
6. Δημήτριος Σκαρλάτος, *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, Εκδόσεις Φιλομάθεια, Πάτρα 2003, Τρίτη Έκδοση, ISBN: 960-87710-1-3.
7. Διονύσιος Ευθυμιάτος, *Ακουστική & Κτιριακές Εφαρμογές*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2007, ISBN: 978-960-7530-3.
8. Σηφάκης Μηνάς, *Σημειώσεις θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής I*, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, 1^η έκδοση, Ρέθυμνο 2007.
9. Ντακοβάνος Γεώργιος, Καλαποθάκης Αλέξανδρος και Βογιατζής Ορέστης, *Ακουστική Αιθουσών Διδασκαλίας και Πολλαπλών Χρήσεων*, πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Κρήτης, Ρέθυμνο 2010.
10. F. Alton Everest & Ken C. Polhman, *Master Handbook of Acoustics*, 5^η Έκδοση, The McGraw-Hill companies, USA 2009, ISBN: 978-0-07-160333-1.
11. Thomas D. Rossing, *Springer Handbook of Acoustics*, 1^η έκδοση, Springer, 2007, ISBN: 0-387-30425-0.
12. Building Bulletin `93, Υπουργείο παιδείας Ηνωμένου Βασιλείου.
13. CATT-Acoustic, Εγχειρίδιο χρήσης.