

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών
www.eee.uniwa.gr

Θηβών 250, Αθήνα-Αιγάλεω 12244
Τηλ. +30 210 538-1225, Fax. +30 210 538-1226



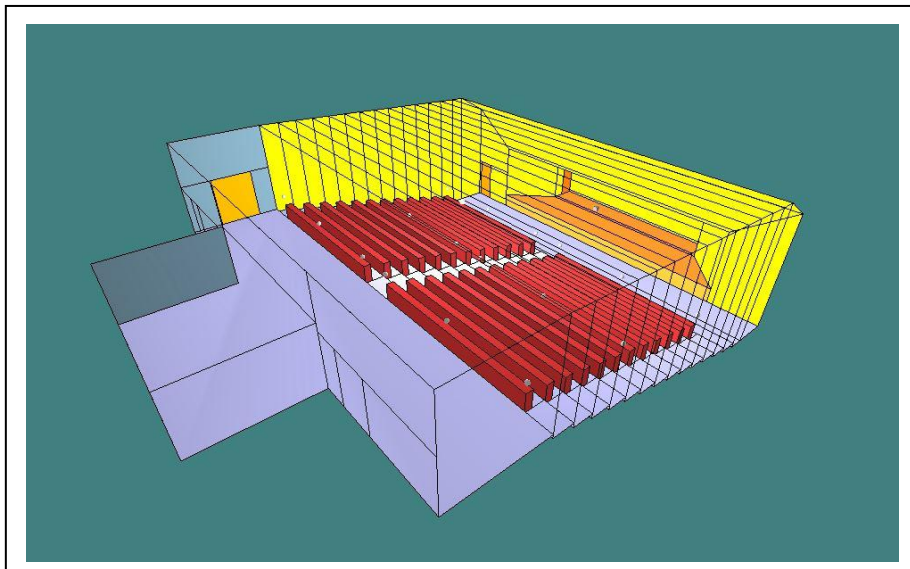
UNIVERSITY of WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
Department of Electrical & Electronics Engineering
www.eee.uniwa.gr
250, Thivon Str., Athens, GR-12244, Greece
Tel:+30 210 538-1225, Fax:+30 210 538-1226

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τεχνολογίες Ήχου, Βίντεο και Μετάδοσης

Master of Science in
Audio, Video and Broadcasting
Engineering

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Μελέτη ακουστικής/ ηλεκτρακουστικής αμφιθεατρικού χώρου
διδασκαλίας. Αμφιθέατρο “Χατζηνικολάου”.»*



Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Συμεωνίδης Ιωάννης, ΑΜ: MSCAVB-0012
Επιβλέπων: Τάτλας Νικόλαος-Αλέξανδρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, 27/09/2023

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών
www.eee.uniwa.gr

Θηβών 250, Αθήνα-Αιγάλεω 12244
Τηλ. +30 210 538-1225, Fax. +30 210 538-1226



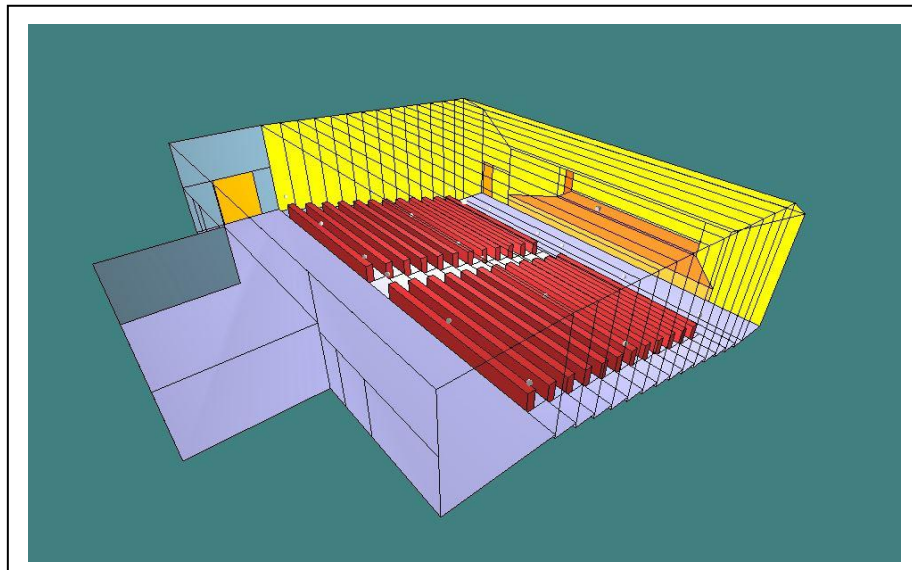
UNIVERSITY of WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
Department of Electrical & Electronics Engineering
www.eee.uniwa.gr
250, Thivon Str., Athens, GR-12244, Greece
Tel:+30 210 538-1225, Fax:+30 210 538-1226

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τεχνολογίες Ήχου, Βίντεο και Μετάδοσης

Master of Science in
Audio, Video and Broadcasting
Engineering

MSc Thesis

« Amphitheater Classroom acoustic / electroacoustic study. Amphitheater “Hatzinikolaou”. »



Student: Symeonidis Ioannis, Registration Number MSCAVB-0012
MSc Thesis Supervisor: Tatlas Nikolaos-Alexandros, Associate Professor

ATHENS-EGALEO, 27/09/2023

Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή, εξετάστηκε και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Επιβλέπων	Μέλος	Μέλος
Τάτλας Νικόλαος - Αλέξανδρος	Καραμπέτσος Σωτήριος	Γαλατά Σωτηρία
Αν. Καθηγητής	Αν. Καθηγητής	Επ. Καθηγήτρια

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Συμεωνίδης Ιωάννης** του **Κωνσταντίνου**, με αριθμό μητρώου **MSCAVB-012** φοιτητής του **Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνολογίες Ήχου, Βίντεο και Μετάδοσης»** του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



(Υπογραφή)

Συμεωνίδης Ιωάννης

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Συμεωνίδης Ιωάννης

Σεπτέμβριος, 2023

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος μέλους ΔΕΠ, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχοι της διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση αμφιθεατρικού χώρου διδασκαλίας (Αμφιθέατρο Χατζηνικολάου – Αρχαίος Ελαιώνας, Κτήριο Α, ΠΑΔΑ) στο περιβάλλον λογισμικού προσομοίωσης ακουστικής/ ηλεκτρακουστικής Catt acoustic και η μελέτη των ακουστικών ιδιοτήτων και βελτιώσεών τους καθώς και μελέτη ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την καταλληλότητα της αμφιθεατρικής αίθουσας του ΠΑΔΑ ως αίθουσα διδασκαλίας - ομιλίες καθώς και η ακριβής πρόβλεψη της ακουστικής συμπεριφοράς της αίθουσας με σκοπό τη βελτίωση της ακουστικής της.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ: Ακουστική μελέτη, αμφιθέατρο Χατζηνικολάου, ηλεκτρακουστική μελέτη, χρόνος αντήχησης, Catt acoustic, πρόγραμμα προσομοίωσης, ΠΑΔΑ

ABSTRACT

The objectives of the diploma thesis are the modeling of an amphitheater teaching space (Amphitheater Hatzinikolaou - Ancient Elaionas, Building A, PADA) in the Catt acoustic simulation software environment and the study of their acoustic properties and improvements as well as a study of an electroacoustic installation.

The purpose of the thesis is to draw useful conclusions about the suitability of the PADA amphitheater as a classroom - speeches, as well as the accurate prediction of the acoustic behavior of the room in order to improve its acoustics.

KEYWORDS: Acoustic study, Hatzinikolaou amphitheater, electroacoustic study, reverberation time, Catt acoustic, simulation program, PADA

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Κ. Τάτλα Νικόλαο-Αλέξανδρο για όλη την στήριξη και την υπομονή που είχε για την περάτωση αυτής της εργασίας. Όλους τους καθηγητές αυτού του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Τέλος την σύντροφό μου Κατερίνα που σε δύσκολες στιγμές σωματικής και πνευματικής κόπωσης δεν σταμάτησε να μου υπενθυμίζει την χρησιμότητα αυτού του μεταπτυχιακού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ: Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας	11
Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:.....	12
Βασικά θεωρητικά χαρακτηριστικά ακουστικής κλειστών χώρων.....	12
1.1 Χρόνος Αντήχησης (Reverberation time) RT_{60}	12
1.2 EDT (early decay time), πρώιμος χρόνος αντήχησης	12
1.3 Χρόνοι T_{10} , T_{20} , T_{30}	13
1.4 Ακουστικές απαιτήσεις χώρων	13
1.5 Ηχώ (Echo).....	13
1.6 Διαύγεια (Clarity, C80)	14
1.7 Διακριτότητα (Definition, D50)	14
1.8 Καταληπτότητα ομιλίας.....	14
1.9 Δείκτης Αντιληπτότητας STI (Speech Transmission Index).....	15
1.10 Παράγοντας στιβαρότητας (Strength factor).....	16
1.11 Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR).....	16
1.12 Εξίσωση Hopkins-Stryker, Κρίσιμη απόσταση (Critical distance, D_c) και	16
Σταθερά δωματίου.....	16
1.13 Συνιστώμενοι χρόνοι αντήχησης για χώρους ομιλίας.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η προτεινόμενη μέθοδος – Θεμελίωση - Λειτουργία.....	18
2.1 Ray Tracing Method	18
2.2 Προσομοίωση ακουστικής/ ηλεκτροακουστικής μελέτης με χρήση προγράμματος Catt acoustic (μέθοδος TUTC)	18
2.3 Λειτουργία Προγράμματος Catt acoustic	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ακουστική μελέτη	20
3.1 Παρουσίαση του Αμφιθεατρικού χώρου	20
3.2 Πρόβλεψη χρόνου αντήχησης βάση όγκου της αίθουσας.....	23
3.3 Θεωρητικός χρόνος αντήχησης Catt acoustic.....	23
3.3.1 Αίθουσα χωρίς ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις.....	24
3.3.2 Αίθουσα γεμάτη με ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις.....	28
3.3.3 Αίθουσα γεμάτη με ακροατές και με ακουστικές παρεμβάσεις.....	33
3.4 Συμπέρασμα ακουστικής μελέτης:	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	38

Ηλεκτροακουστική μελέτη	38
4.1 Μικρόφωνα.....	38
4.2 Ηλεκτροδυναμικά Μεγάφωνα	38
4.3 Ηχεία.....	39
4.4 Επιθυμητή στάθμη Πίεσης	39
4.5 Ενεργός Ακουστική Απόσταση (Effective Acoustical Distance) – EAD	40
4.6 Περιθώριο κέρδους και Απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς.....	40
(Headroom and Electrical Power Required (EPR)	40
4.7 Απαιτούμενο ακουστικό κέρδος (Needed Acoustic Gain) – NAG.....	41
4.8 Μέγιστο θεωρητικό κέρδος.....	42
Potential Acoustic gain κλειστού χώρου (PAG)	42
4.9 Υπολογισμός απευθείας σήματος προς ανακλώμενο,.....	42
Ελάχιστη κατευθυντικότητα, μέγιστη απόσταση πηγής/δέκτη.....	42
4.10 Ηλεκτροακουστική μελέτη	42
4.10.1 Θεωρητικά αποτελέσματα.....	43
4.10.2 Αποτελέσματα ηλεκτροακουστικής μελέτης στο Catt Acoustic.....	44
4.11 Αποτελέσματα προσομοίωσης ηλεκτροακουστικής μελέτης στο Catt Acoustic.....	47
4.11.1 Στάθμη Ηχητικής Πίεσης (SPL).....	47
4.11.2 Χρόνος Αντήχησης.....	48
4.11.2 Ηχόγραμμα	49
4.11.2 Κρουστική απόκριση	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ.....	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	56
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	56

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Αντικείμενο, ερευνητικά ερωτήματα και διάρθρωση της εργασίας

Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων όσο αναφορά τα ακουστικά χαρακτηριστικά του αμφιθεάτρου Χατζηνικολάου καθώς και η ακουστική και ηλεκτρακουστική μελέτη του χώρου όπου στην συνέχεια θα προταθούν παρεμβάσεις ώστε ο συγκεκριμένος χώρος να χρησιμοποιηθεί ως αίθουσα διδασκαλίας αλλά και για ομιλίες.

Η διπλωματική εργασία θα χωριστεί σε 5 Κεφάλαια

- Κεφάλαιο 1: Θα παρουσιαστεί η βασική θεωρία γύρω από την ακουστική κλειστών χώρων έννοιες δηλαδή που θα συναντήσουμε παρακάτω στα αποτελέσματα.
- Κεφάλαιο 2: Θα παρουσιάσουμε την βασική μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για την μελέτη του αμφιθεάτρου Χατζηνικολάου.
- Κεφάλαιο 3: Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παραθέτουμε τα αποτελέσματα της ακουστικής μελέτης μας. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και η πρόταση των κατάλληλων ηχοαπορροφητικών υλικών ώστε να βελτιώσουμε τον χρόνο αντήχησης του αμφιθεάτρου
- Κεφάλαιο 4: Θα παρουσιαστεί η βασική θεωρία ηλεκτροακουστικής κλειστών χώρων. Ηλεκτρακουστική μελέτη και πρόταση του κατάλληλου ηλεκτρακουστικό συστήματος.
- Κεφάλαιο 5: Στο τελευταίο κεφάλαιο θα παραθέσουμε τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης και ότι τυχόν προτάσεις έχουμε να κάνουμε.

Τελειώνοντας θα παραθέσουμε στο παράρτημα Α τον κώδικα του Catt acoustic όπως αυτός δημιουργήθηκε με σκοπό την ακριβή προσομοίωση και ρεαλιστική απεικόνιση του χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

Βασικά θεωρητικά χαρακτηριστικά ακουστικής κλειστών χώρων

1.1 Χρόνος Αντήχησης (*Reverberation time*) RT_{60} .

Ως χρόνο αντήχησης T_{60} ορίζουμε τον χρόνο που απαιτείται ώστε η στάθμη θορύβου L_p σε κάποιο σημείο να ελαττωθεί κατά 60dB μετά τον μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την πηγή.

Ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης παίζει σπουδαίο ρολό στην ακουστική των κλειστών χώρων [1]

Υπολογισμός χρόνου αντήχησης κατά Sabine

Ο χρόνος αντήχησης κατά Sabine υπολογίζεται από την σχέση:

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{A_S} \quad (1)$$

Όπου $A_S = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_4 S_3 + \dots + \alpha_n S_n$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ οι συντελεστές απορρόφησης για την εν λόγω συχνότητα S_1, S_2, S_3 το εμβαδόν κάθε επιμέρους επιφάνειας [1]

Υπολογισμός χρόνου αντήχησης κατά Norris Eyring

Η σχέση Norris Eyring υπολογίζεται από την σχέση:

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{A_N} \quad (2)$$

Όπου $A_N = s \ln(1 - \bar{\alpha})$

Ο τύπος Norris Eyring υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια τον χρόνο αντήχησης των κλειστών χώρων όταν η απορρόφηση όλων των επιφανειών που περικλείουν τον χώρο είναι ίδια.

1.2 EDT (*early decay time*), πρώιμος χρόνος αντήχησης

Η ανακλώμενη ηχητική ενέργεια που συμβάλει στην διαμόρφωση της ακουστικής των κλειστών χώρων αντιστοιχεί στις πρώτες ανακλάσεις του ήχου. Οι καθυστερημένες ανακλάσεις χάνουν αρκετή από την ενέργεια και δεν παίζουν σημαντικό ρολό στην διαμόρφωση της ακουστικής του χώρου. Όταν δεν έχουμε ομαλό ρυθμό πτώσης στάθμης χρησιμοποιούμε τον πρώιμο ρυθμό μείωσης early decay time (EDT). Ο χρόνος αυτός λαμβάνει υπόψη μόνο τις πρώτες ανακλάσεις και ορίζεται ως έξι φορές η χρονική περίοδος

που χρειάζεται ώστε ο ήχος να μειωθεί κατά 10dB μετά τον μηδενισμό της πηγής και ο EDT είναι συνήθως μικρότερος του T60. [1]

1.3 Χρόνοι T_{10} , T_{20} , T_{30}

T₃₀: Δυο φορές ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο ήχος να ελαττωθεί από -5 έως -35dB μετά τον μηδενισμό της πηγής

T₂₀: ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο ήχος να ελαττωθεί από -5 έως -25dB μετά τον μηδενισμό της πηγής.

T₁₀: ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο ήχος να ελαττωθεί από -5 έως -25dB μετά τον μηδενισμό της πηγής.

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε αποτελέσματα με άλλους χρόνους αντίχησης θα χρειαστεί να πολλαπλασιάσουμε με 6 ή 3 αντίστοιχα. [1]

1.4 Ακουστικές απαιτήσεις χώρων

Για να συμφωνήσουμε ότι ένας κλειστός χώρος έχει καλή ακουστική θα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια όπως:

- Δεν έχουμε το φαινόμενο της επικάλυψης
- Ο ήχος φτάνει σε όλα τα σημεία του χώρου χωρίς να παρατηρείτε μεγάλη μείωση
- Δεν παρατηρούνται φαινόμενα όπως: ηχώ, ηχητικές παραμορφώσεις, ηχητικές συγκεντρώσεις, ηχητικές σκιές.
- Έχουμε βέλτιστη μείωση του ήχου

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε διάφορες ποσότητες που έχουν προταθεί για να μας περιγράψουν/ να μας δείξουν με πιο εύκολο τρόπο την καλή ακουστική ενός χώρου.

1.5 Ηχώ (Echo)

Όταν το ανακλώμενο ηχητικό σήμα που έχει εκπεμφθεί από μια πηγή ήχου σ ένα κλειστό χώρο γίνει αντιληπτό από τον ακροατή σαν ξεχωριστό ηχητικό γεγονός τότε αυτό το φαινόμενο το ονομάζουμε ηχώ. Η ηχώ καταστρέφει την ακουστική των χώρων διότι γίνεται δύσκολη η επικοινωνία. Πολλοί παράγοντες μπορούν να δημιουργήσουν ηχώ σ ένα χώρο όπως η κατεύθυνση πρόσπτωσης σε σχέση με την ανακλώμενη ή η χρονική καθυστέρηση των ανακλώμενων ηχητικών ακτινών σε σχέση με τους απ' ευθείας διαδιδόμενους.

Η ηχώ γενικά προκύπτει όταν η ανάκλαση σε σχέση με το απ' ευθείας ηχητικό σήμα έχει καθυστερήσει τουλάχιστον 100ms.

1.6 Διαύγεια (*Clarity, C80*)

Ως δείκτη διαύγειας σε ένα σημείο του χώρου ορίζουμε την αναλογία της ηχητικής ενέργειας κατά την διάρκεια των πρώτων ανακλάσεων (τα πρώτα 80ms) προς την ενέργεια των καθυστερημένων ανακλάσεων. Ο δείκτης C_{80} μετριέται σε decibels. Λαμβάνουμε υπόψη μας συνήθως τα πρώτα 80ms του εκπέμποντος σήματος και έχει μεγάλη σημασία αυτός ο δείκτης για χώρους ομιλίας και μουσικής. Οι συχνότητες των 500, 1000 και 2000Hz έχουν την μεγαλύτερη επίδραση οπότε έχει εισαχθεί ο δείκτης $C_{80,3}$ που είναι η μέση τιμή του C_{80} για τις συχνότητες αυτές. Ο δείκτης C_{80} ορίζεται από την σχέση: [3]

$$C80 = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} \{g(t)^2\} dt}{\int_{80ms}^{\infty} \{g(t)^2\} dt} = 10 \log \frac{E_{0-80}}{E_{80-\infty}} \quad (3)$$

1.7 Διακριτότητα (*Definition, D50*)

Μαζί με τον πρωτογενή ήχο ακούμε και χιλιάδες ανακλάσεις μέσα σε ένα χώρο. Για την ομιλία (που μας ενδιαφέρει σε αυτή την συγκεκριμένη μελέτη) μόνο αυτές που φθάνουν με καθυστέρηση μέχρι 50ms είναι χρήσιμες διότι ενισχύουν τον πρωτογενή ήχο. [3]

1.8 Καταληπτότητα ομιλίας

Ως κατανόηση της ομιλίας ορίζεται το ποσοστό των λέξεων ή συλλαβών που γίνονται κατανοητές κατά την εκφορά λόγου σε έναν κλειστό χώρο.

Για να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα καταληπτότητας της ομιλίας χρησιμοποιούμε το ποσοστό απώλειας κατανόησης συμφώνων (percentage articulation loss of consonants) - $\%AL_{cons}$ Και ορίζεται από την σχέση:

$$\%AL_{cons} = \frac{200r^2RT^2(n+1)}{VQ} \quad (4)$$

Όπου: r , η απόσταση πηγής/δέκτη σε m

V , ο όγκος της αίθουσας σε m^3

RT , ο χρόνος αντήχησης του χώρου σε sec

Q , η κατευθυντικότητα της πηγής

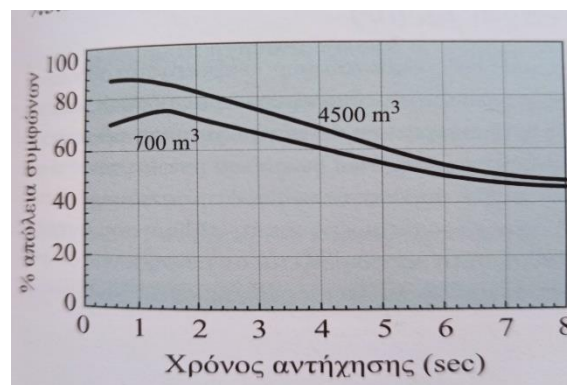
$n+1$ ο αριθμός ηχείων που λειτουργούν ταυτόχρονα στον χώρο

Μπορούμε να συνδέσουμε την καταληπτότητα της ομιλίας με τις τιμές του %AL_{cons} με βάση τον παρακάτω πίνακα:

%AL _{cons}	Υποκειμενική καταληπτότητα
≤ 3%	Ιδανική
3-8%	Καλή
8-11%	Ικανοποιητική
> 11%	Χαμηλή
> 20%	Πολύ χαμηλή

Πίνακας 1: Καταληπτότητα ομιλίας σε σχέση με τις τιμές %AL_{cons}

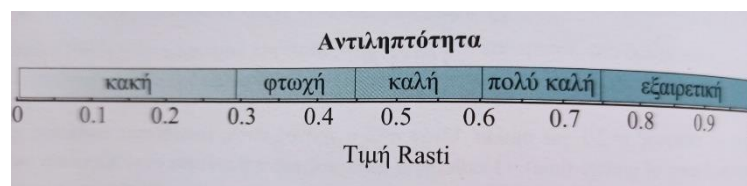
Για μια ικανοποιητική καταληπτότητα το όριο τιμής του %AL_{cons} ορίζεται στο < 15%.



Εικόνα 1: %AL_{cons} και RT₆₀.

1.9 Δείκτης Αντιληπτότητας STI (Speech Transmission Index)

Είναι ένας αντικειμενικός δείκτης που μετρά το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής λαμβάνοντας υπόψη τον θόρυβο βάθους και τον χρόνο αντίχησης. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. [1]



Εικόνα 2: Σχέση Δείκτη RASTI και αντιληπτότητας ομιλίας.

$$STI = 170.5405e^{-5.419STI} \quad (5)$$

1.10 Παράγοντας στιβαρότητας (Strength factor)

Η στάθμη ήχου σε ένα σημείο του χώρου προέρχεται αν προσθέσουμε την απ'ευθείας ήχο και τον ήχο που προέρχεται από τις διάφορες ανακλάσεις, οι ανακλάσεις αυτές ενισχύουν τον ήχο και εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου. Ο παράγοντας σταθερότητας χρησιμοποιείται για να μας δώσει τον ποσοτικό προσδιορισμό την ενίσχυσης των ανακλάσεων και υπολογίζεται από την σχέση:

$$G = 10 \log \frac{T_{60}}{V} + 45dB \quad (6)$$

1.11 Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR)

Ο λόγος SNR (signal to noise ratio) παίζει σημαντικό ρόλο στην αντιληπτότητα της ομιλίας και ισούται με την διαφορά της στάθμης του σήματος μείον την στάθμη του θορύβου βάρους, μπορεί επίσης να παίρνει και θετικές και αρνητικές τιμές (dB). Όταν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 10dB η επικοινωνία είναι ικανοποιητική.

Λόγος σήματος προς θόρυβο (dB)	Αντιληπτότητα ομιλίας
< -6	Ανεπαρκής
-6 έως 3	Μη ικανοποιητική
-3 έως 0	Επαρκής
0 έως 6	Ικανοποιητική
6 έως 12	Καλή
12 έως 18	Πολύ καλή
> 18	Εξαιρετική

Πίνακας 2: Αντιληπτότητα ομιλίας για διάφορους λόγους σήματος προς θόρυβο..

1.12 Εξίσωση Hopkins-Stryker, Κρίσιμη απόσταση (Critical distance, D_c) και Σταθερά δωματίου

Η συνολική στάθμη πίεσης σε μια απόσταση r από την πηγή λαμβάνοντας υπόψη τον απευθείας ήχο και τον ανακλώμενο δίνεται από την σχέση Hopkins - Stryker: [4]

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (7)$$

R: σταθερά δωματίου

Σε πρακτικές εφαρμογές:

$$R = S\bar{a} \quad (8)$$

Ή αν γνωρίζουμε τον χρόνο αντήχησης

$$R = \frac{V}{\left(\frac{T_{60}}{0.16} - \frac{V}{S} \right)} \quad (9)$$

V: ο όγκος του χώρου,

S: το συνολικό εμβαδό των επιφανειών του χώρου.

Ως κρίσιμη απόσταση D_c ορίζουμε την απόσταση από την πηγή όπου η στάθμη του απευθείας ήχου ισούται με την στάθμη του ανακλώμενου και ορίζεται από την σχέση:

$$D_c = \sqrt{\frac{QR}{16\pi}} \quad (10)$$

1.13 Συνιστώμενοι χρόνοι αντήχησης για χώρους ομιλίας

Για ομιλία προτιμώνται χώροι με μεγάλη αντιληπτότητα. Έχοντας αυτό σαν κριτήριο θα πρέπει στον χώρο αυτό με πληρότητα ακροατών 2/3 ο λόγος της ανακλώμενης προς την προσπίπτουσα ενέργεια να είναι ίσος με 4 στα 500Hz. Με βάση όλα τα παραπάνω ο χρόνος αντίχησης υπολογίζεται από την σχέση:

$$T = \frac{4VQ_s}{312L2Q_m} \quad (11)$$

Όπου V ο όγκος του χώρου Q_s , Q_m παράγοντες κατευθυντικότητας πηγής και μικροφώνου και L το μήκος του χώρου.

Επίσης γενική παραδεκτοί χρόνοι αντήχησης δίνονται πλέον από τον τύπο:

$$T_{60} = A \log V + B \quad (12)$$

Όπου A και B σταθερές που εξαρτώνται από την χρήση του χώρου και V ο όγκος της αίθουσας. [4]

Είδος Χώρου	A	B
Καθολικοί Ναοί – Αίθουσες συναυλιών	0,4	0,22
Ναοί διαμαρτυρομένων	0,35	0,19
Ορθόδοξες εκκλησίες - Όπερες	0,3	0,16
Κινηματογράφοι – Music Hall	0,22	0,11
Χώροι διαλέξεων - Στούντιο	0,20	0,11
Χώροι ελέγχου	0,11	0,148

Πίνακας 3: Τιμές παραμέτρων A,B για διάφορους χώρους ανάλογα την χρήση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

Η προτεινόμενη μέθοδος – Θεμελίωση - Λειτουργία

2.1 Ray Tracing Method

Η ανίχνευση ακτινών είναι μια συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για ακουστικές προσομοιώσεις, η οποία εκτιμάται για την ταχύτητα υπολογισμού και την ευκολία χρήσης της. Αν και είναι γρήγορη, δεν υπάρχουν μέθοδοι ή μηχανές προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο που να βασίζονται σε πλήρη ανίχνευση ακτινών.

Με την μέθοδο ray tracing οι ακτίνες ξεκινούν από την πηγή του ήχου και όλες εκπέμπονται σε ομοιόμορφα τυχαίες κατευθύνσεις ταυτόχρονα ταξιδεύοντας με την ταχύτητα του ήχου. Όταν μια ακτίνα χτυπά μια επιφάνεια που έχουμε ορίσει χάνει μέρος της ενέργειάς της ανάλογα με τις ιδιότητες του υλικού που έχουμε ορίσει. Στην συνέχεια η ακτίνα ανακλάται. Όταν η ακτίνα συναντήσει τον δέκτη (στην δική μας περίπτωση έναν ακροατή) καταγράφεται η ενέργεια και η χρονική καθυστέρηση της ακτίνας. [9]

2.2 Προσομοίωση ακουστικής/ ηλεκτροακουστικής μελέτης με χρήση προγράμματος Catt acoustic (μέθοδος TUTC)

Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα προσομοίωσης χώρων Catt acoustic και ειδικότερα την έκδοση Catt acoustic (V. 9.0) που χρησιμοποιεί την μέθοδο TUTC.

Με τον όρο TUTC (The Universal Cone Tracer) αναφερόμαστε στην μέθοδο με την οποία το πρόγραμμα κάνει την επεξεργασία και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Ειδικότερα η TUTC μέθοδος προβλέπει ηχογράμματα και κρουστικές αποκρίσεις δωματίων προσφέροντας πολλούς διαφορετικούς εσωτερικούς αλγόριθμους ανάλογα με την περίπτωση του χώρου που εξετάζουμε. Οι προβλέψεις και οι ακροάσεις για μεγάλους εσωτερικούς χώρους με μεγάλη απορρόφηση έχουν καλύτερα αποτελέσματα διότι οι βασικοί αλγόριθμοι βασίζονται στη γεωμετρική ακουστική (GA) με διάφορα επίπεδα και συνδυασμούς πραγματικής και τυχαίας διάχυσης ακτίνας/κώνου. Οι ακτίνες διαχωρίζονται σε πολλές μικρότερες διάχυτες υπό-ακτίνες που συνεχίζουν να διαδίδονται στον χώρο.

Τέλος να αναφέρουμε ότι αυτή η μέθοδος εκμεταλλεύεται την ταχύτητα των νέων υπολογιστών και διαλέγει αυτόματα τον αριθμό των ακτινών ή δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει πόσες θέλει να χρησιμοποιήσει για να επεξεργαστεί τα αποτελέσματα του σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η δυνατότητα δίνει στο χρήστη το πλεονέκτημα να μπορεί να βλέπει κατ' εκτίμηση τα αποτελέσματα και να πραγματοποιεί πιο γρήγορες αλλαγές στους συντελεστές που έχει ορίσει ώστε να φέρει την μελέτη στις επιθυμητές τιμές. [7] [8]

2.3 Λειτουργία Προγράμματος Catt acoustic

Το Catt acoustic χρησιμοποιεί τρεις τύπους αρχείων κειμένου για την εισαγωγή μοντέλων:

- ένα ή περισσότερα αρχεία για τη γεωμετρία (. GEO FILE)
- ένα για τις πηγές ήχου (SOURCE. LOC)
- ένα για τις θέσεις των δεκτών/ακροατών (REC. LOC)

Δημιουργώντας το μοντέλο

Ο εικονικός χώρος που θέλουμε να προσομοιώσουμε μπορεί να δημιουργηθεί με ένα απλό αρχείο κειμένου text file. Δημιουργούμε σημεία καρτεσιανών συντεταγμένων που στην συνέχεια ενώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας τις επιφάνειες του χώρου όπως είναι π.χ. οι πόρτες η οροφή οι τοίχοι κλπ.

Απορροφητικές ιδιότητες επιφανειών

Αφού δημιουργήσουμε τον χώρο στην συνέχεια επιλέγουμε την απορρόφηση αλλά και την διάχυση που θα έχει η κάθε επιφάνεια του χώρου ανάλογα με την ιδιότητά της. Έτσι το πρόγραμμα μπορεί να προσδιορίσει πως ο ήχος θα συμπεριφερθεί όταν προσπέσει στην κάθε επιφάνεια του μοντέλου μας.

Ορισμός πηγών και ακροατών

Σε ξεχωριστά txt files δημιουργούμε αρχεία όπου ορίζουμε πηγές και ακροατές αντίστοιχα. Στην πηγές μπορούμε να ορίσουμε φυσικές πηγές και ηλεκτροακουστικές πηγές ακόμα και την χρήση μικροφώνων στο ηλεκτροακουστικό σύστημα. Στο αρχείο πηγών αλλά και ακροατών ορίζουμε την θέση της πηγής και που στοχεύει το ηχείο αλλά και την θέση του ακροατή με την χρήση καρτεσιανών συντεταγμένων στον χώρο.

Θεωρητικά αποτελέσματα

Ύστερα από την διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω το πρόγραμμα μπορεί να μας κάνει πρόβλεψη του θεωρητικού χρόνου αντήχησης βάση των δεδομένων που του έχουμε εισάγει (RT estimation) με βάση τους τύπους Sabine και Eyring.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το πιο σημαντικό κομμάτι του προγράμματος είναι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με την μέθοδο TUTC που αναλύσαμε στο ενότητα 2.2. Με τα αποτελέσματα αυτά μπορούμε να προβλέψουμε με μεγάλη ακρίβεια την πραγματική συμπεριφορά που θα έχει ο χώρος μας και να αντλήσουμε χρήσιμα συμπεράσματα [10]

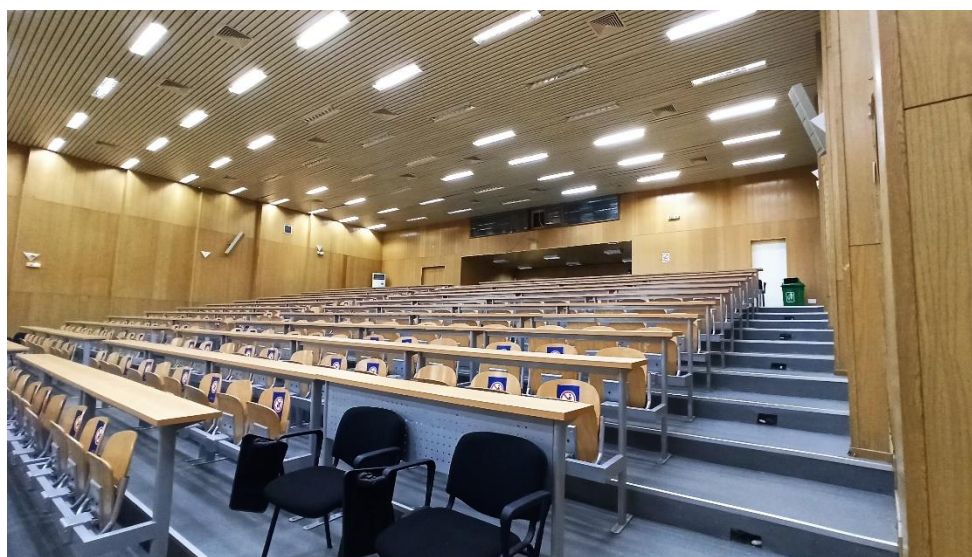
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ακουστική μελέτη

Το συγκεκριμένο αμφιθέατρο που μελετάμε προορίζεται για *αίθουσα διδασκαλίας* δηλαδή θα πραγματοποιούνται κυρίως ομιλίες και παραδόσεις μαθημάτων. Είναι σημαντικό να το γνωρίζουμε αυτό διότι η μελέτη μας θα γίνει με γνώμονα τα συγκεκριμένα ακουστικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ο χώρος.

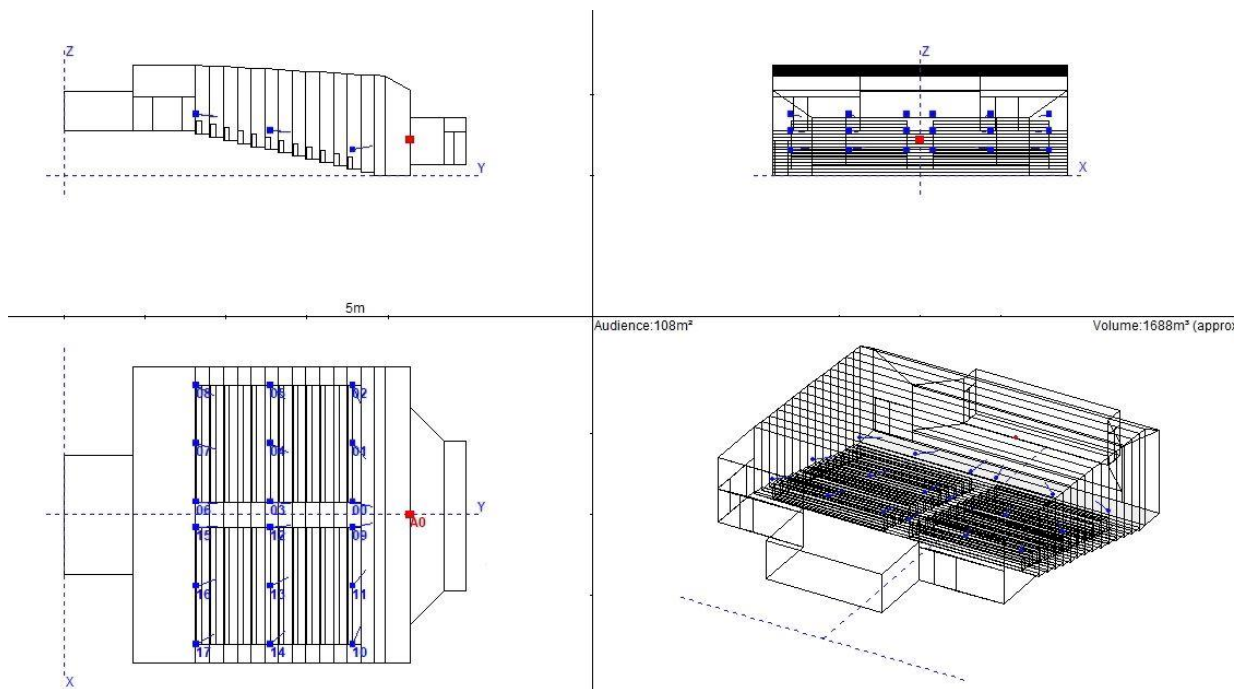
3.1 Παρουσίαση του Αμφιθεατρικού χώρου



Εικόνα 3: Αμφιθέατρο Χατζηνικολάου φωτογραφία από το πίσω μέρος της αίθουσας (είσοδος) προς την σκηνή



Εικόνα 4: Αμφιθέατρο Χατζηνικολάου φωτογραφία από το μπροστά μέρος της αίθουσας (σκηνή) προς τα πίσω.



Εικόνα 5: Το αμφιθέατρο Χατζηνικολάου ύστερα από μοντελοποίηση στο πρόγραμμα Catt Acoustic.

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από τις φωτογραφίες παραπάνω στο αμφιθέατρο Χατζηνικολάου έχουν χρησιμοποιηθεί τα εξής υλικά για την κατασκευή του:

Πάτωμα: Το πάτωμα σε όλο το αμφιθέατρο εκτός από την σκηνή αποτελείται από τσιμέντο που έχει γίνει επένδυση με υλικό βινυλίου (Πάτωμα βινυλίου κολλημένο πάνω στο τσιμέντο).

Τοίχοι: Οι τοίχοι της αίθουσας αποτελούνται από γυαλιστερό ξύλο χωρίς σχισμές κάτι που προσφέρει πλούσιες ανακλάσεις, χρήσιμες στην ενίσχυση της ακουστικής της αίθουσας.

Οροφή: Η οροφή της αίθουσας αποτελείται και αυτή από ξύλο με την διαφορά ότι υπάρχει απόσταση 2-3 εκατοστών στο κάθε φύλο του ξύλου, αυτό μας προσφέρει διάχυση του ακουστικού σήματος στον χώρο.

Πόρτες: Οι πόρτες αποτελούνται από ξύλο τύπου laminate.

Σκηνή: Η σκηνή αποτελείται από γυαλιστερό ξύλο τύπου παρκέ προσφέροντας έντονες ανακλάσεις.

Έδρανα: Τα έδρανα της αίθουσας έχουν μεταλλική βάση (πόδια) ενώ το θρανίο αποτελείται και αυτό από γυαλιστερό ξύλο.

Οι διαστάσεις του κάθε εδράνου είναι:

Μήκος: 7,2m

Πλάτος: 30cm

Ύψος: 76cm

Η αίθουσα έχει 12 σειρές εδράνων και χωρίζονται από ένα διάδρομο συμμετρικά στο κέντρο της αίθουσας σε 2 τμήματα. Κάθε έδρανο χωράει 12 ακροατές οπότε ο μέγιστος αριθμός ακροατών που μπορούν να βρεθούν στην αίθουσα είναι 288.

Δωμάτιο ελέγχου (Control room): Στο πίσω μέρος της αίθουσας και σε ύψος 3,2m υπάρχει δωμάτιο ελέγχου με οπτική επαφή προς την σκηνή. Το δωμάτιο ελέγχου αποτελείται από τζαμένιο παράθυρο διαστάσεων:

Μήκος: 6,6m
Πλάτος: 0,90m

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία θα παραθέσουμε πίνακα με τις θεωρητικές τιμές απορρόφησης των υλικών που χρησιμοποιούνται στην αίθουσα όπως αυτή παρουσιάζεται στην βιβλιογραφία.

Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Πάτωμα Βινυλίου	2	2	3	4	4	5	6	7
Ξύλινοι Τοίχοι και οροφή	10	7	9	6	6	5	4	3
Παρκέ σκηνής	15	11	10	7	6	7	8	9
Ακροατές (ενήλικοι καθιστοί)	33	40	44	45	45	45	-	-
Παράθυρο με τζάμι	20	10	8	6	4	2	0.1	0.1

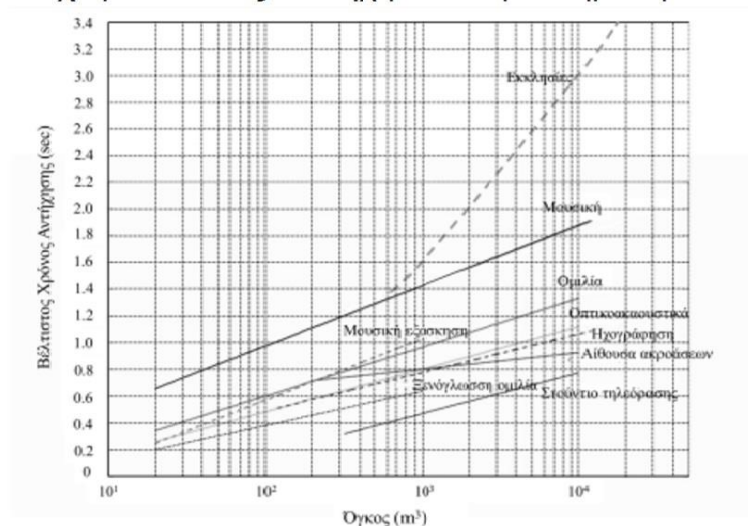
Πίνακας 4: Θεωρητικές τιμές απορρόφησης των υλικών.

3.2 Πρόβλεψη χρόνου αντήχησης βάση όγκου της αίθουσας.

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ

Βέλτιστος χρόνος αντήχησης

➤ Όγκος του χώρου / είδος των ηχητικών δραστηριοτήτων



Εικόνα 6: Βέλτιστος χρόνος αντήχησης βάση του όγκου του χώρου και το είδος των ηχητικών δραστηριοτήτων.

Το αμφιθέατρο βάση των αποτελεσμάτων του catt acoustic έχει όγκο $V = 1728,83 \text{ m}^3$.

Με βάση την σχέση (12), τον Πίνακα 3 και την Εικόνα 3 μπορούμε να υπολογίσουμε ποιος θα πρέπει να είναι ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης για **χρήση ομιλίας**. [4]

- Από την σχέση (12) προκύπτει ότι το ο βέλτιστος χρόνος είναι $RT_{60} = 0,82s$
- Από την Εικόνα 3 για ομιλία βλέπουμε ότι ο χρόνος αντήχησης είναι περίπου $RT_{60} = 1,10s$

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω ο επιθυμητός χρόνος αντήχησης κυμαίνεται περίπου από **0,82s μέχρι 1,10s**

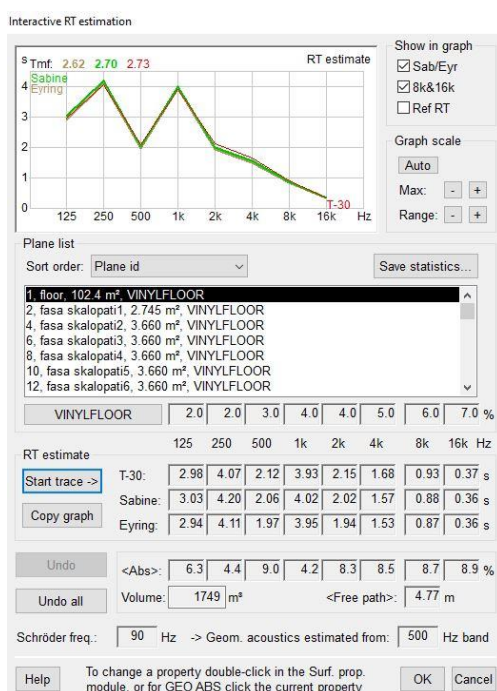
3.3 Θεωρητικός χρόνος αντήχησης Catt acoustic

Παρακάτω παραθέσουμε τον θεωρητικό χρόνο αντήχησης με βάση του υπολογισμού Sabine & Eyring που μας παρουσιάζει το catt acoustic αλλά και τα αποτελέσματα των δεικτών ακουστικής συμπεριφοράς.

Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν χωρίζονται σε 3 κατηγορίες.

1. Αίθουσα χωρίς ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις στον χώρο.
2. Αίθουσα γεμάτη με ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις στον χώρο.
3. Αίθουσα γεμάτη με ακροατές και με ακουστικές παρεμβάσεις στον χώρο.

3.3.1 Αίθουσα χωρίς ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις.

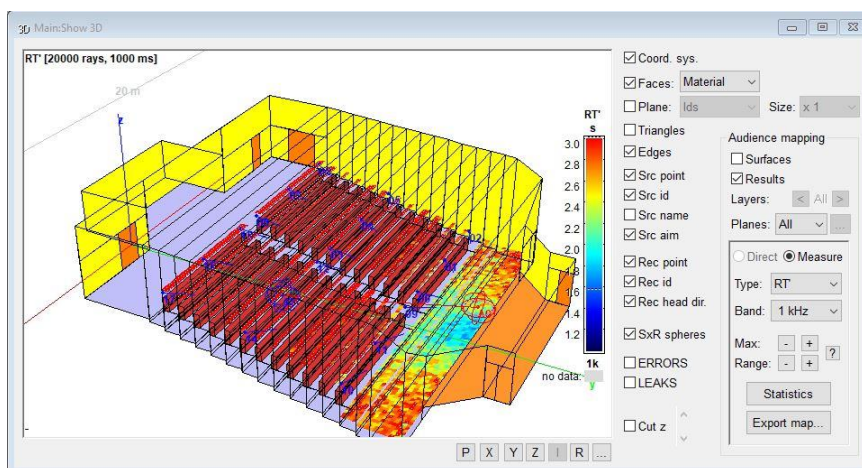


Εικόνα 7: Θεωρητικός υπολογισμός χρόνου αντήχησης αμφιθεάτρου χωρίς ακροατές και ακουστικές παρεμβάσεις.

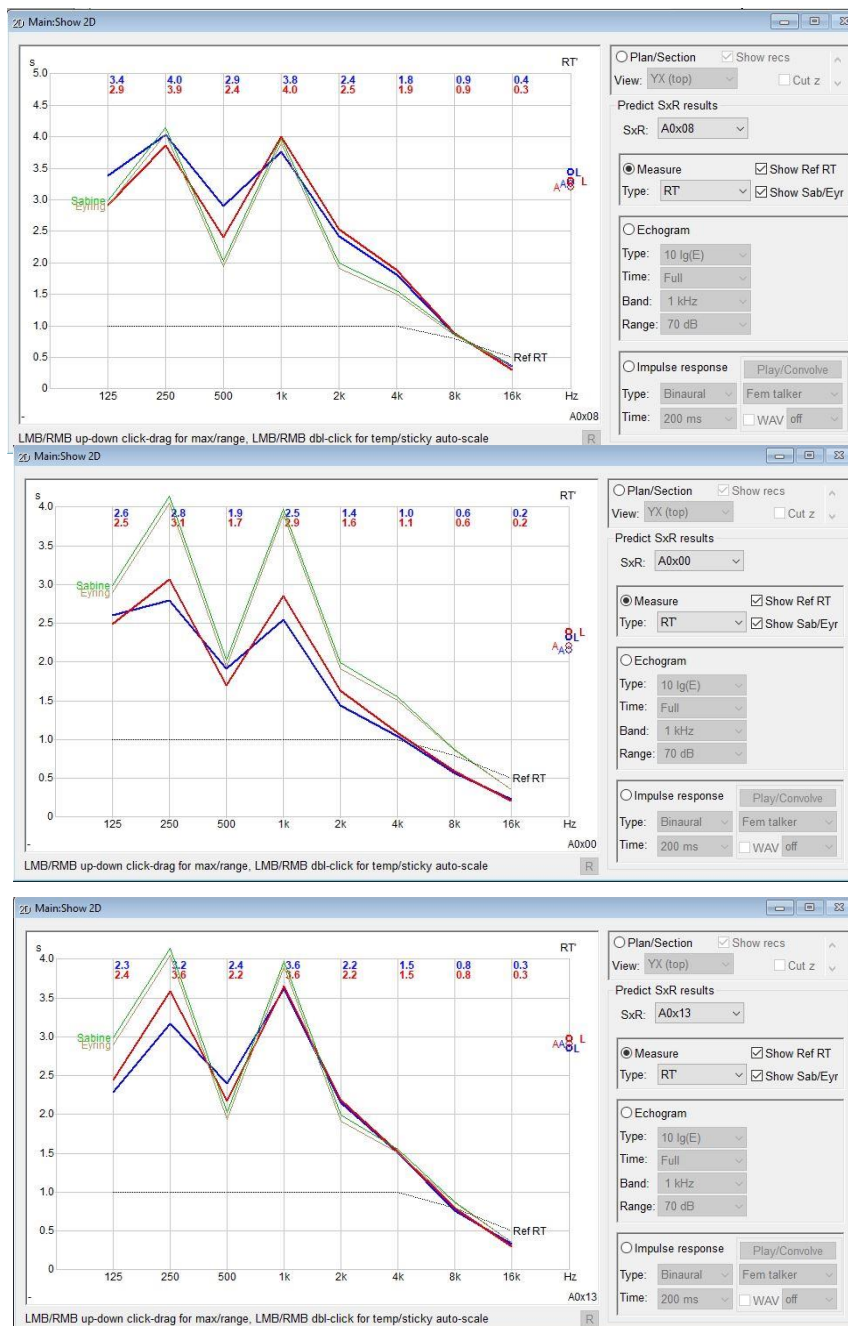
	Μέσος χρόνος αντήχησης
Sabine	2.70s
Eyring	2.62s

Πίνακας 5: Μέσος χρόνος αντήχησης χωρίς ακροατές και παρεμβάσεις.

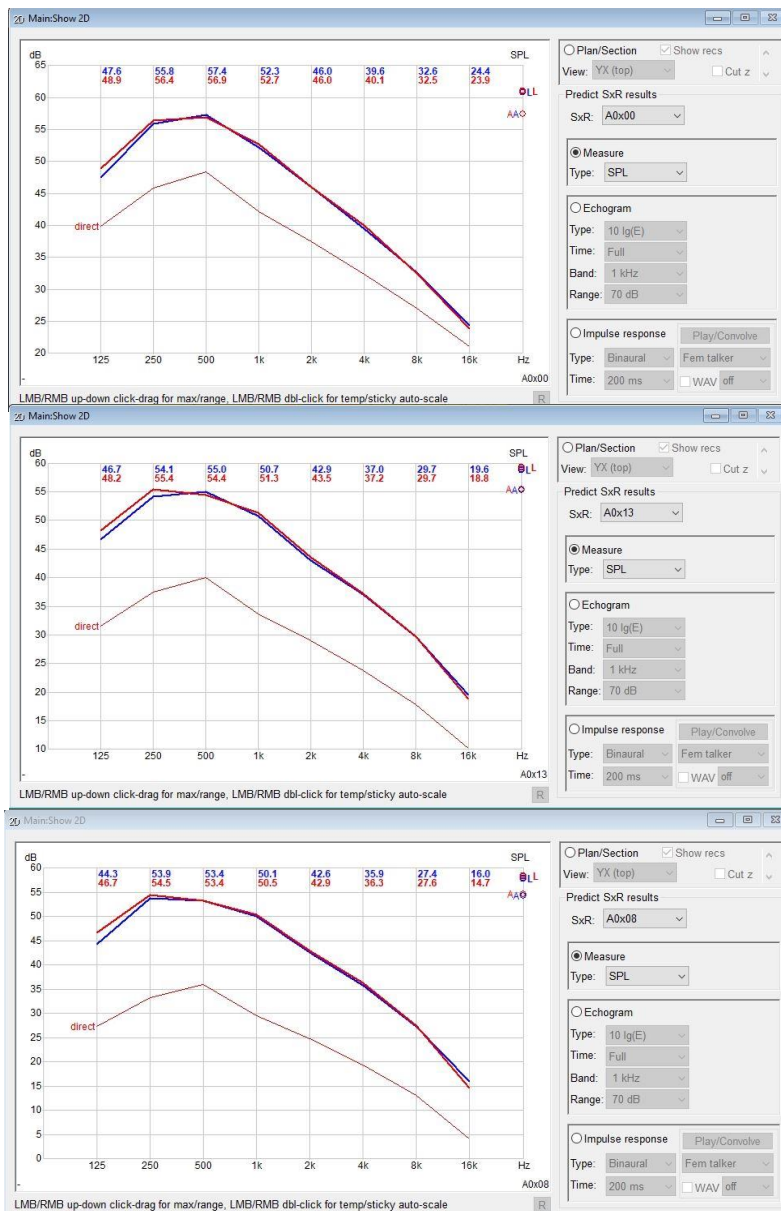
Από τα θεωρητικά αποτελέσματα παρατηρούμε πως ο χώρος χωρίς ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις παρουσιάζει αρκετά μεγάλο χρόνο αντήχησης σε σχέση με την τιμή RT που έχουμε υπολογίσει βάση του όγκου της αίθουσας.



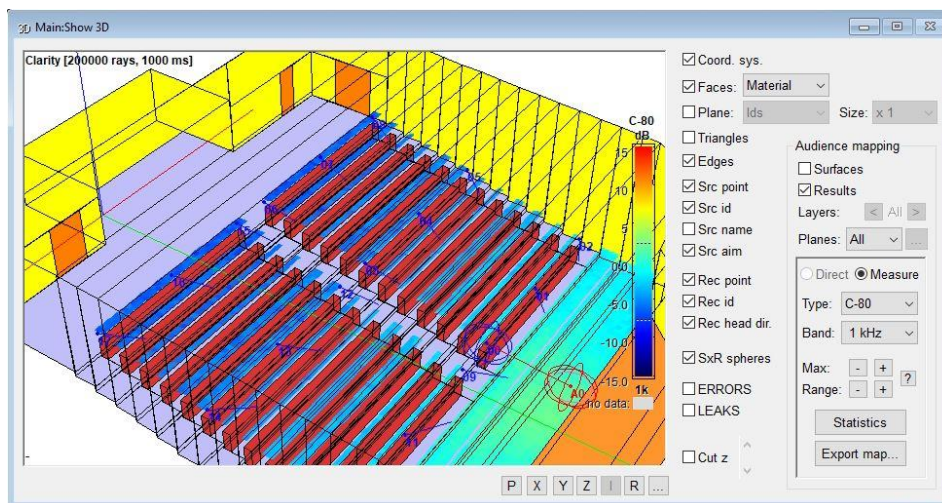
Εικόνα 8: Κατανομή του χρόνου αντήχησης στο ακροατήριο χωρίς ακροατές και χωρίς παρεμβάσεις.

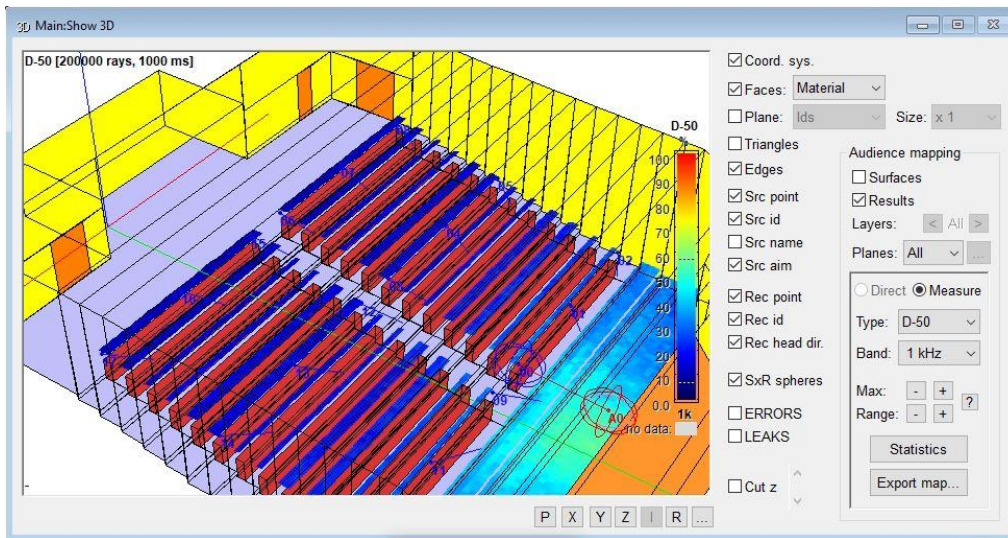


Εικόνα 9: Υπολογισμένοι χρόνοι αντήχησης σε διάφορα σημεία ακροατών του χώρου (χωρίς ακροατές - χωρίς παρεμβάσεις).

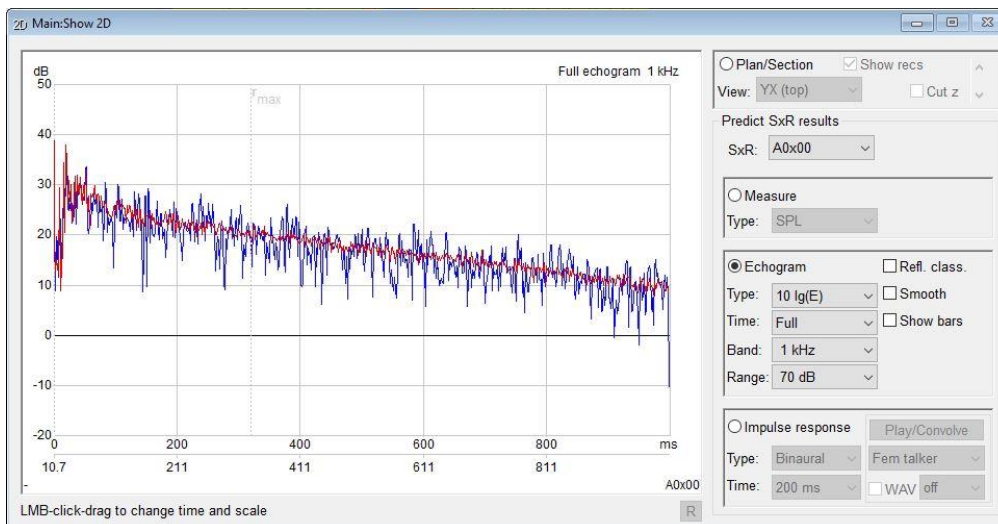


Εικόνα 10: Ηχητική στάθμη πίεσης για διάφορες θέσεις χωρίς ακροατές χωρίς παρεμβάσεις





Εικόνα 11: Κατανομή στο χώρο δείκτη διαύγειας C80 και δείκτη διακριτότητας D50 αντίστοιχα χωρίς ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.



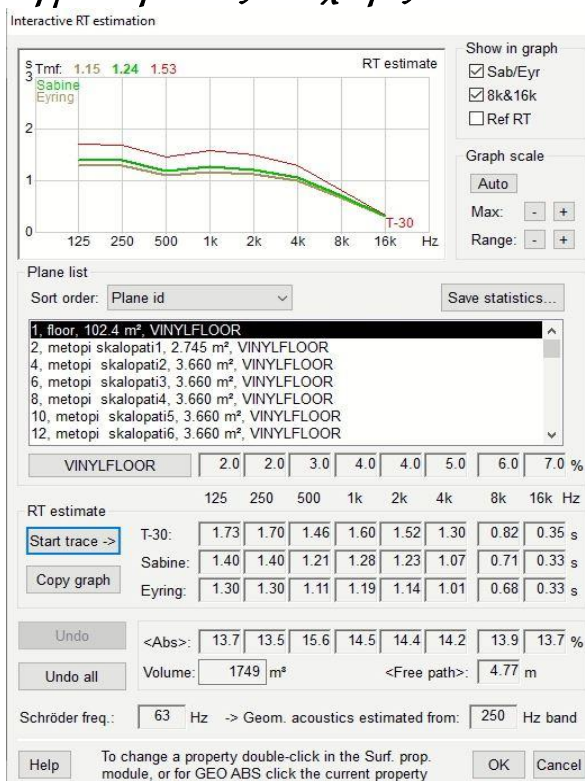
Εικόνα 12: Ηχόγραμμα στην μπροστινή σειρά κέντρο.

Από τις παραπάνω εικόνες του χρόνου αντήρησης σε διάφορα σημεία ακροατών παρατηρούμε ότι ο χώρος παρουσιάζει έντονες καθυστερημένες ανακλάσεις που προέρχονται κυρίως από την πίσω μεριά του χώρου (απέναντι από την σκηνή) προκαλώντας έτσι μεγάλο και έντονο πρόβλημα στην σωστή κατανομή και του χρόνου αντήρησης και της καταληπτότητας της ομιλίας. Επίσης η στάθμη ηχητικής πίεσης στον χώρο είναι πολύ χαμηλή γύρω στα 57dB_{SPL} .

Να αναφέρουμε πως για αίθουσα άδεια χωρίς ακροατές οι τιμές απορρόφησης των υλικών του κοινού υπολογίστηκαν ως ξύλινα έδρανα άδεια με μεταλλικές καρέκλες και οι τιμές απορρόφησης ανά συχνότητα δίνονται παρακάτω.

Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Ξύλινα έδρανα χωρίς ακροατήριο	0,8	0	15	0	18	20	-	-

3.3.2 Αίθουσα γεμάτη με ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις.

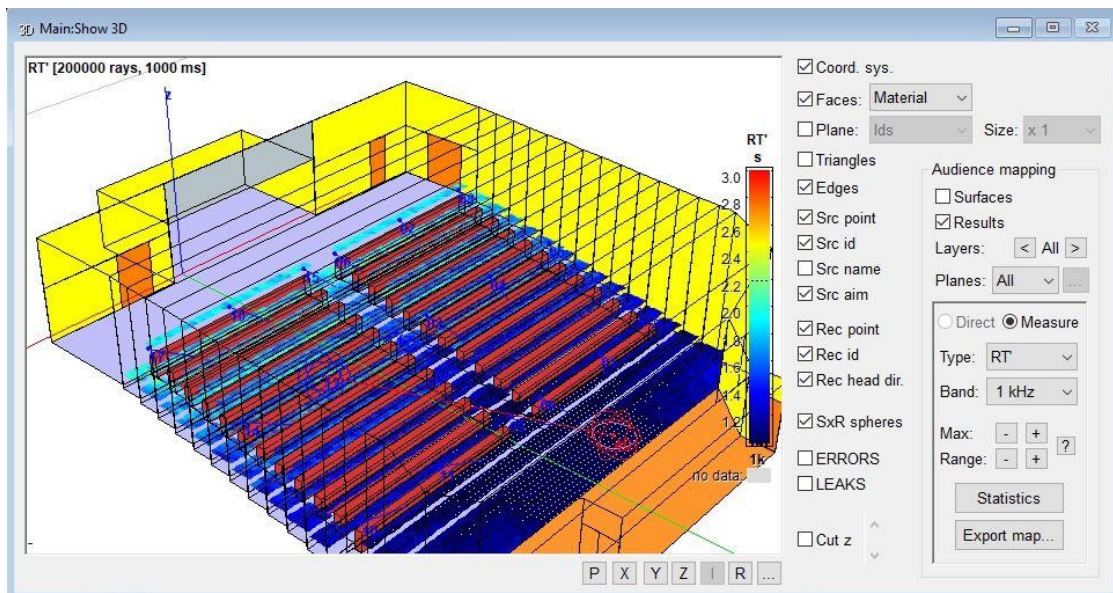


Εικόνα 13: Θεωρητικός υπολογισμός (catt acoustic) χρόνου αντήησης αμφιθεάτρου με ακροατές χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις.

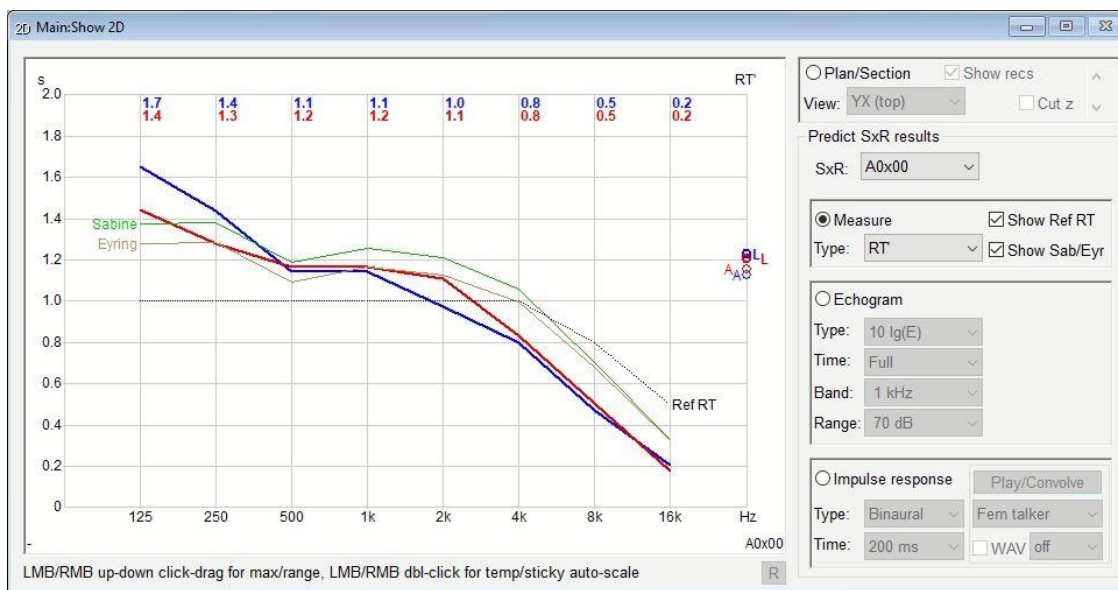
	Μέσος χρόνος αντήησης
Sabine	1.24s
Eyring	1.15s

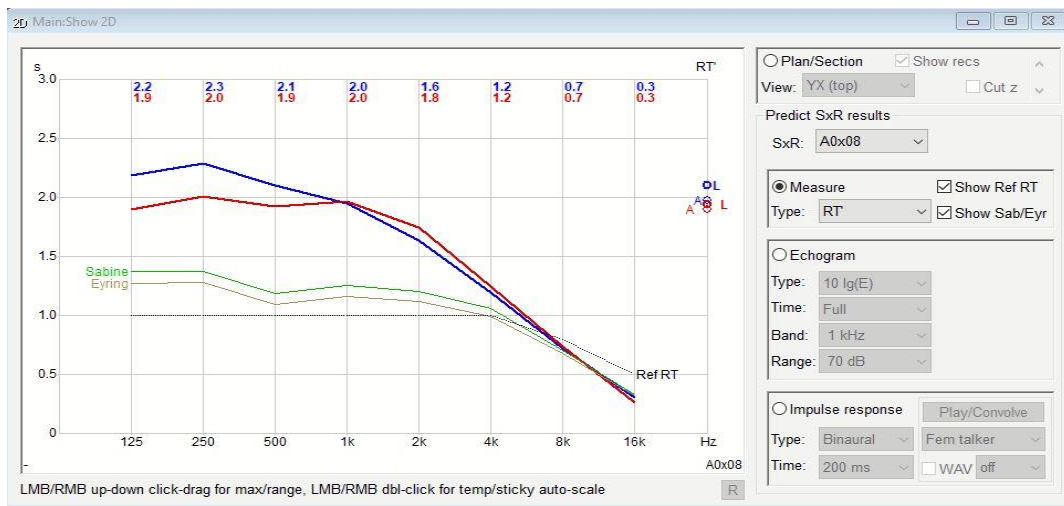
Πίνακας 6: Μέσος χρόνος αντήησης με ακροατές και χωρίς ακουστικές παρεμβάσεις.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε όταν η αίθουσα είναι γεμάτη με ακροατές είναι πολύ διαφορετικά. Αμέσως ο χρόνος αντήησης βελτιώνεται κατά πολύ και τείνει να προσεγγίζει την θεωρητική υπολογισμένη τιμή της αίθουσας βάση του όγκου της που είναι από 0,82sec μέχρι 1,15sec.

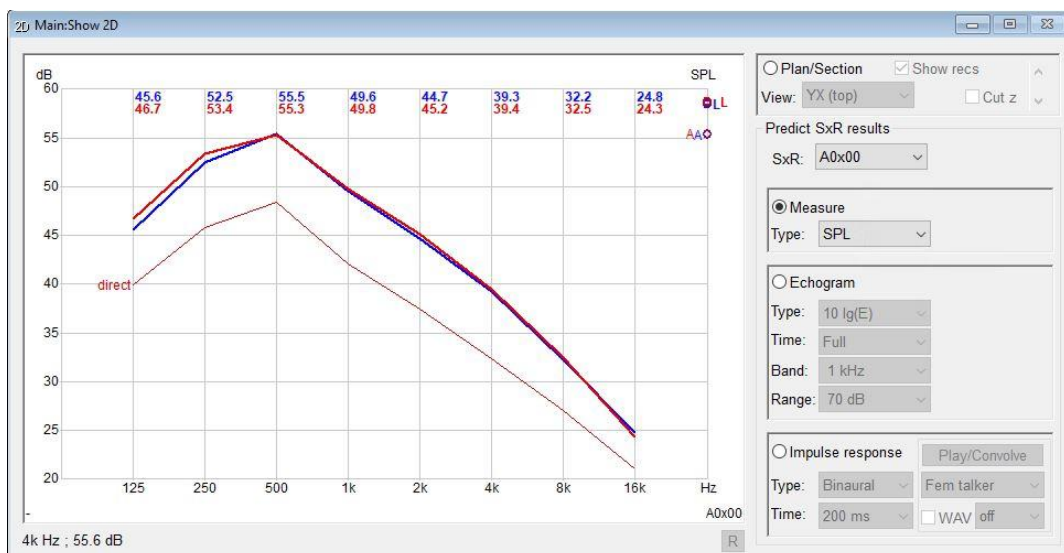


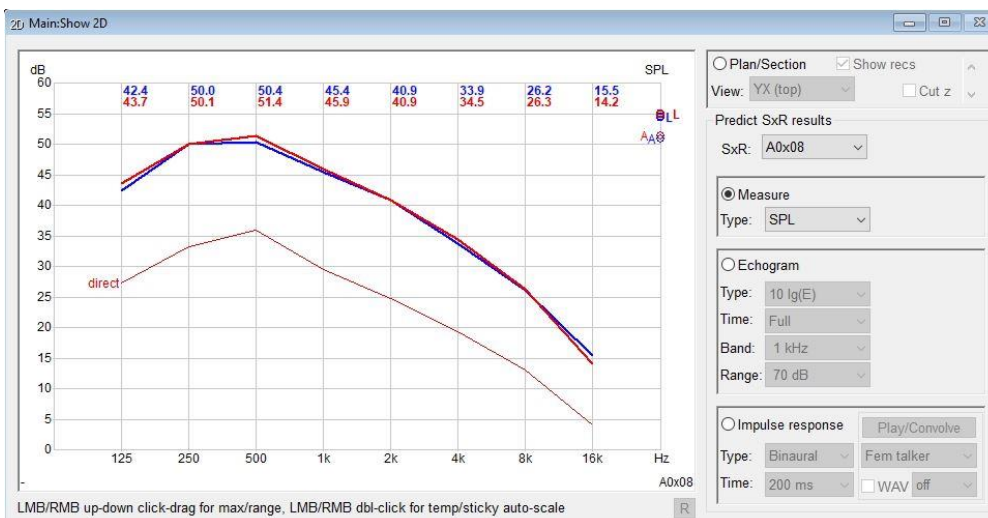
Εικόνα 14: Χρόνος αντήχησης στο ακροατήριο ύστερα από προσομοίωση στο catt acoustic με ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.



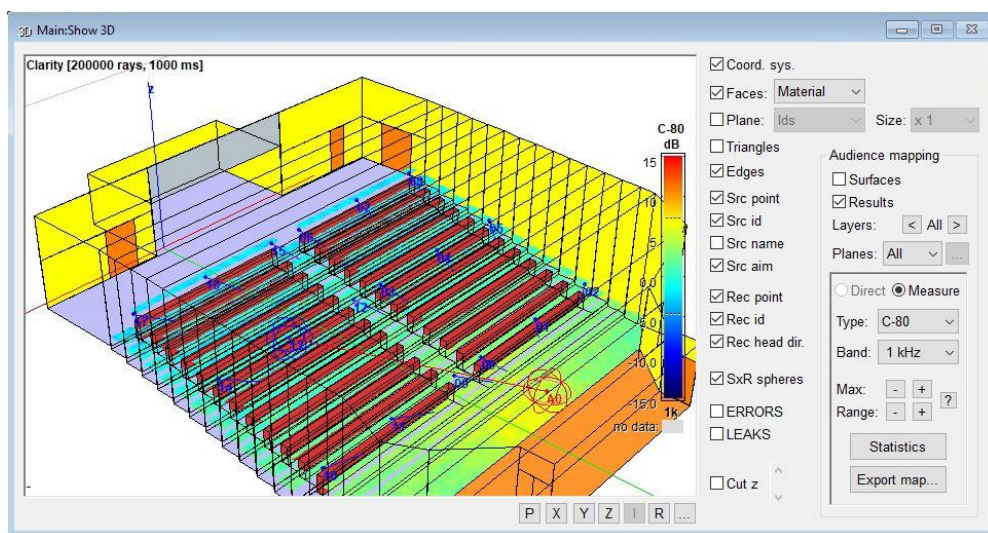


Εικόνα 15: Χρόνος αντήησης σε διάφορα σημεία με ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.

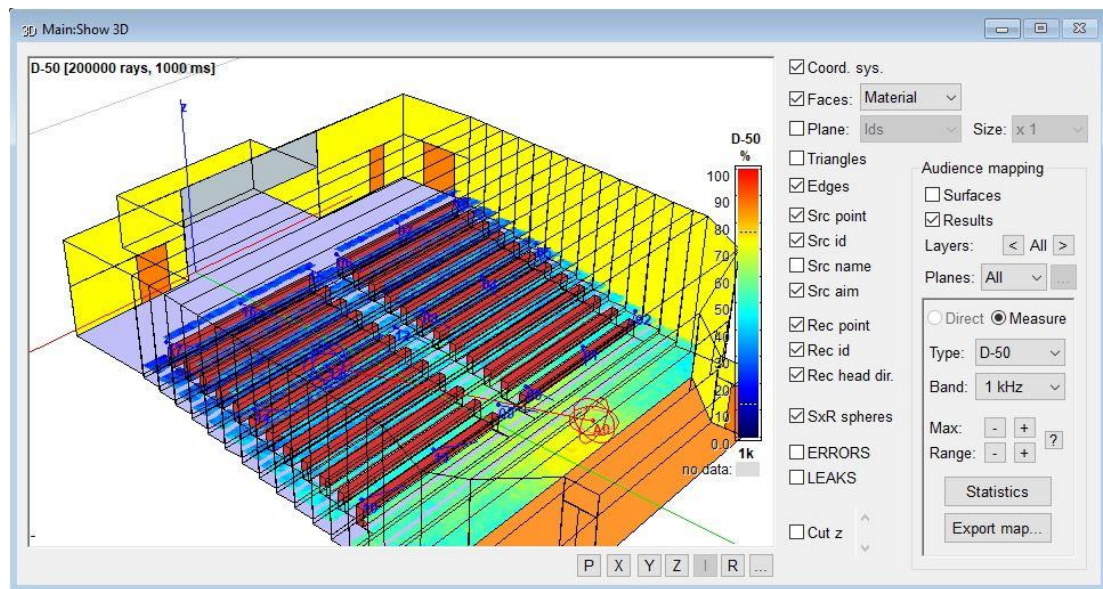




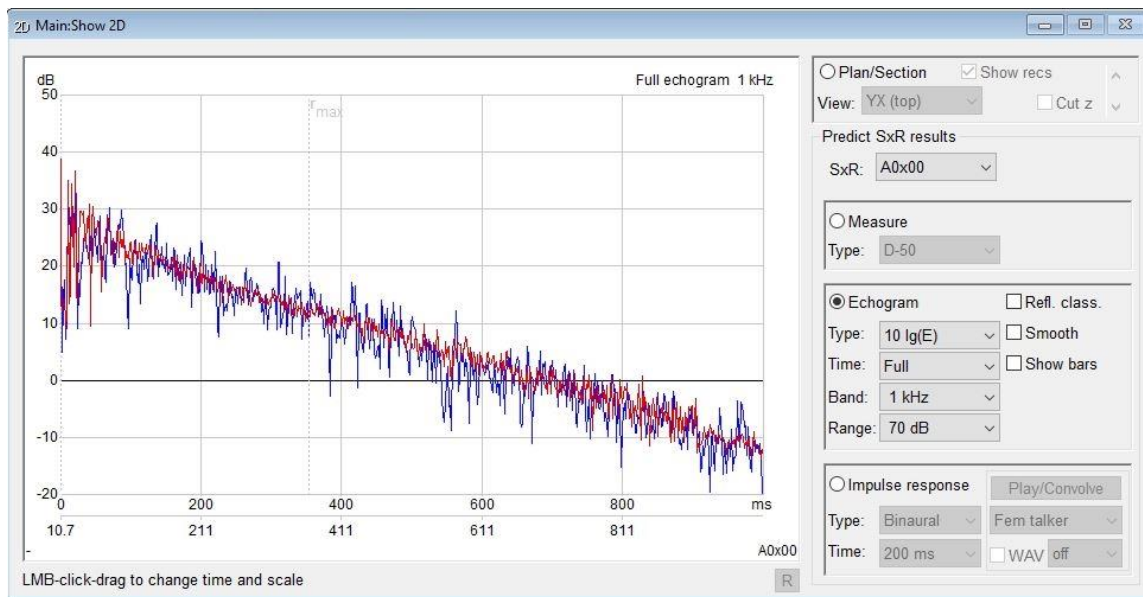
Εικόνα 16: Ηχητική στάθμη πίεσης για διάφορες θέσεις με ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.



Εικόνα 17: Δείκτης διαύγειας C80 με ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.

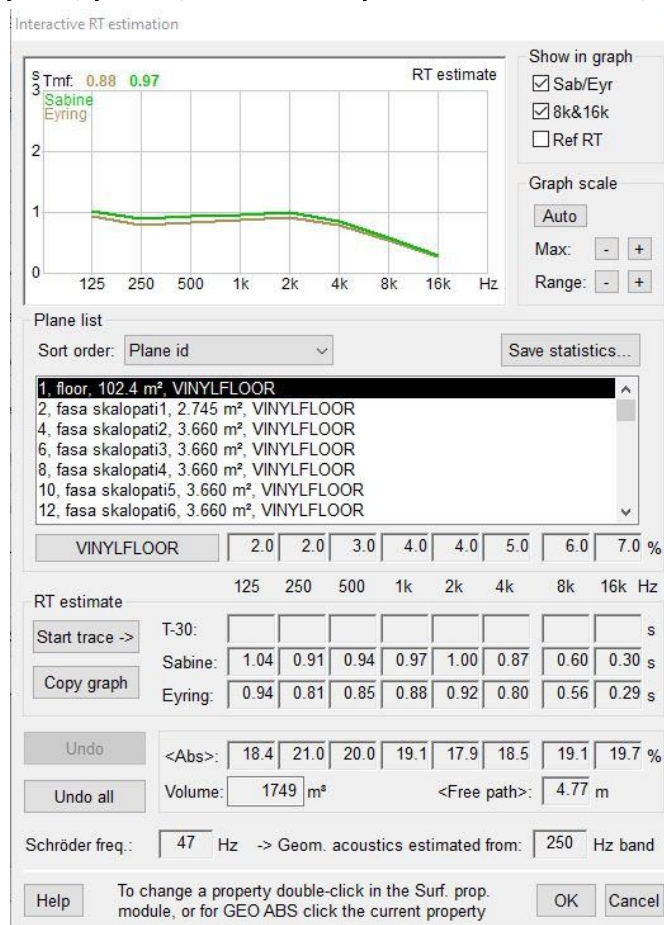


Εικόνα 18: Δείκτης διακρίτωσης D50 με ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.



Εικόνα 19: Ηχόγραμμα σε μπροστινή θέση κεντρικά με ακροατές χωρίς παρεμβάσεις.

3.3.3 Αίθουσα γεμάτη με ακροατές και με ακουστικές παρεμβάσεις.



Εικόνα 20: Θεωρητικός υπολογισμός Catt acoustic χρόνου αντήχησης για αίθουσα γεμάτη με ακροατές και ακουστικές παρεμβάσεις.

	Μέσος χρόνος αντήχησης
Sabine	0.97s
Eyring	0.88s

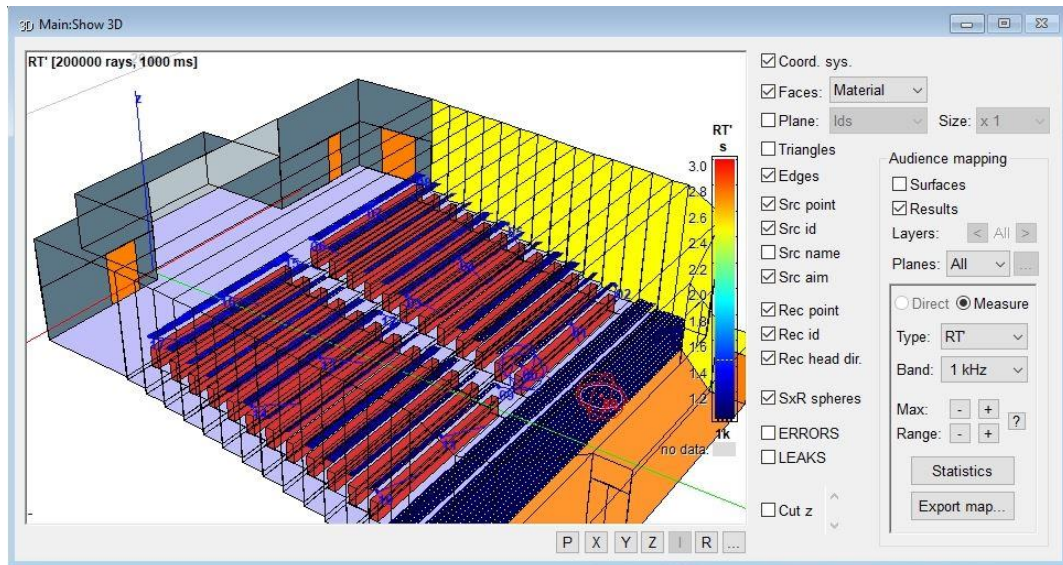
Πίνακας 7: Μέσος χρόνος αντήχησης με ακροατές και ακουστικές παρεμβάσεις.

Οι ακουστικές παρεμβάσεις σε υλικά έγιναν κυρίως στο πίσω μέρος της αίθουσας όπου παρουσιάζονται φαινόμενα έντονων καθυστερημένων ανακλάσεων (>50ms) προς το ακροατήριο κυρίως στις τελευταίες 3 με 4 σειρές ακροατών. Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε στους τοίχους και την οροφή στο πίσω μέρος της αίθουσας ήταν διάτρητη γυψοσανίδα. Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τις τιμές απορρόφησης ανά συχνότητα του υλικού που χρησιμοποιήσαμε.

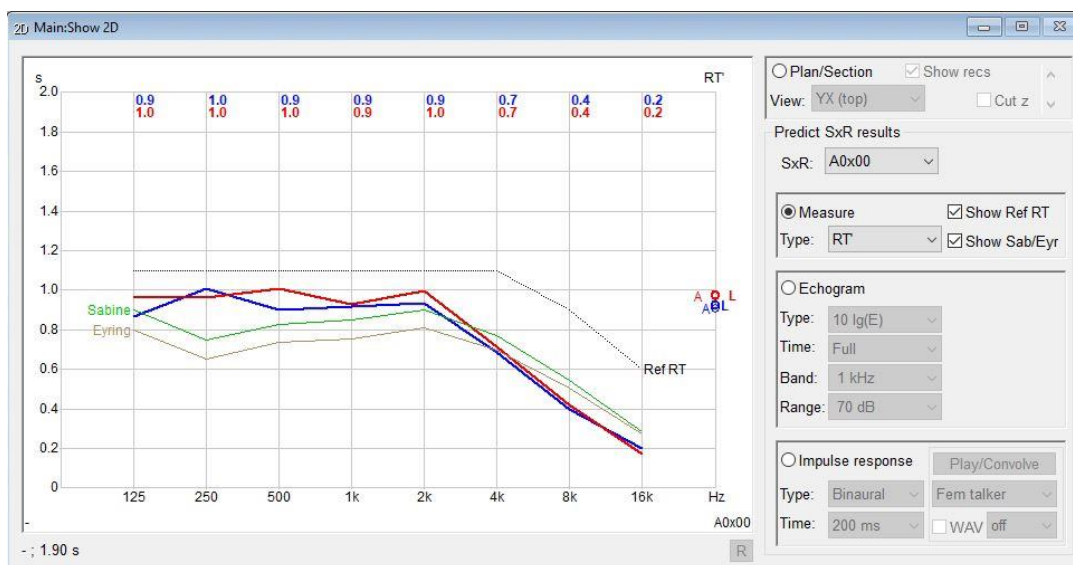
Συχνότητα (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Διάτρητη Γυψοσανίδα	60	87	56	56	43	51	-	-

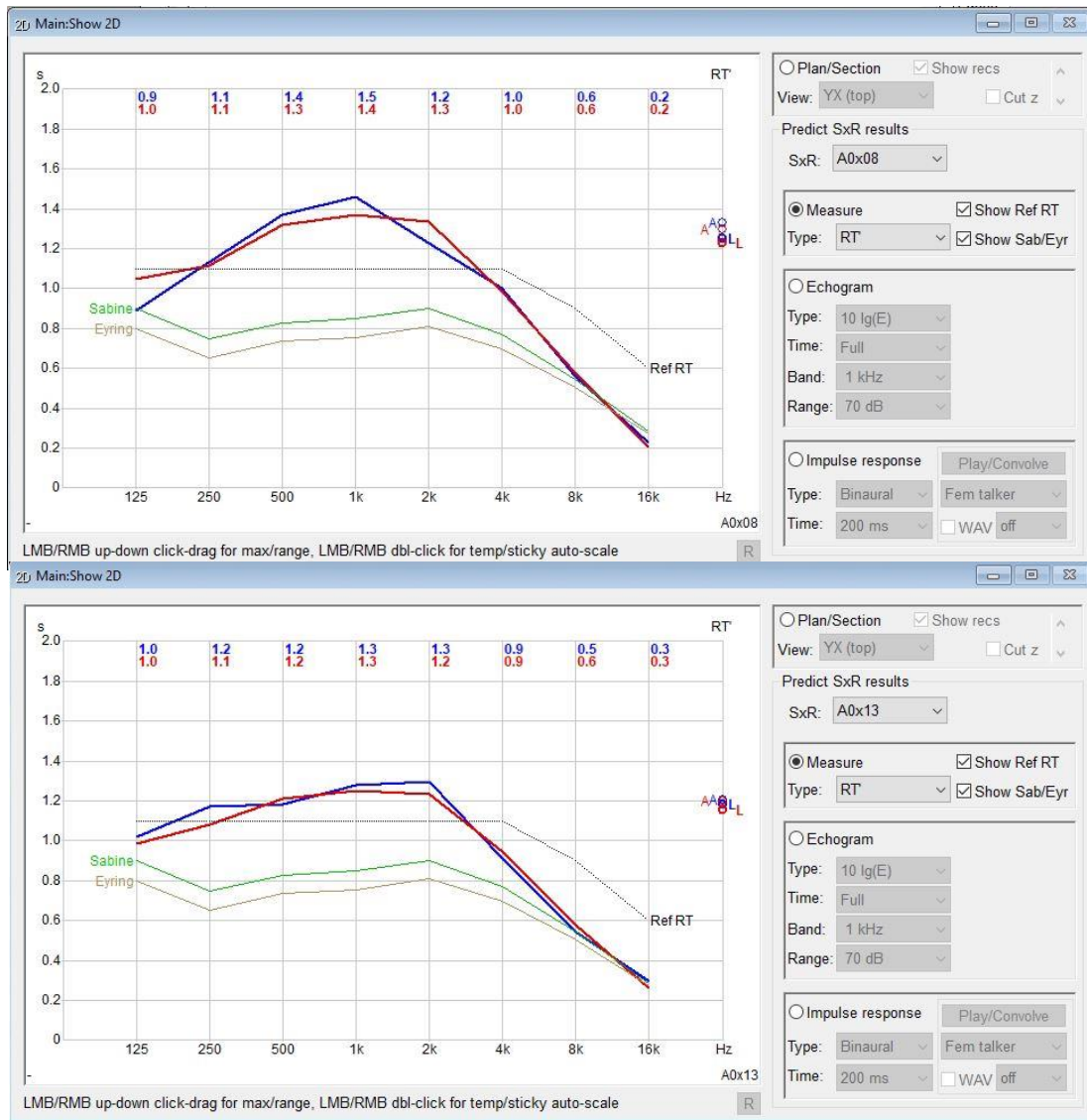
Πίνακας 8: Τιμές απορρόφησης ανά συχνότητα διάτρητης γυψοσανίδας.

Να προσθέσουμε ακόμα ότι οι ξύλινες επενδύσεις στους τοίχους της αίθουσας υπολογίστηκαν και με συντελεστές διάχυσης διότι κατασκευαστικά οι πλαϊνοί τοίχοι της αίθουσας έχουν πριονωτή μορφή με σκοπό να διαχέουν το ακουστικό σήμα στον χώρο. Οι συγκεκριμένες παρεμβάσεις ισορρόπησαν τον χρόνο αντήχησης όπως επίσης έχουμε ικανοποιητικές τιμές στο δείκτης καταληπτότητας του χώρου.

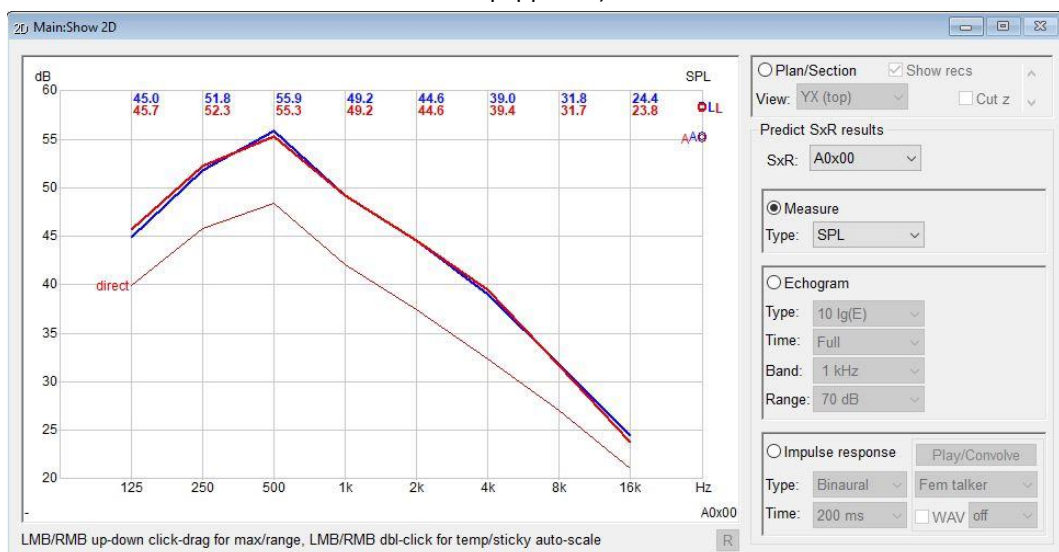


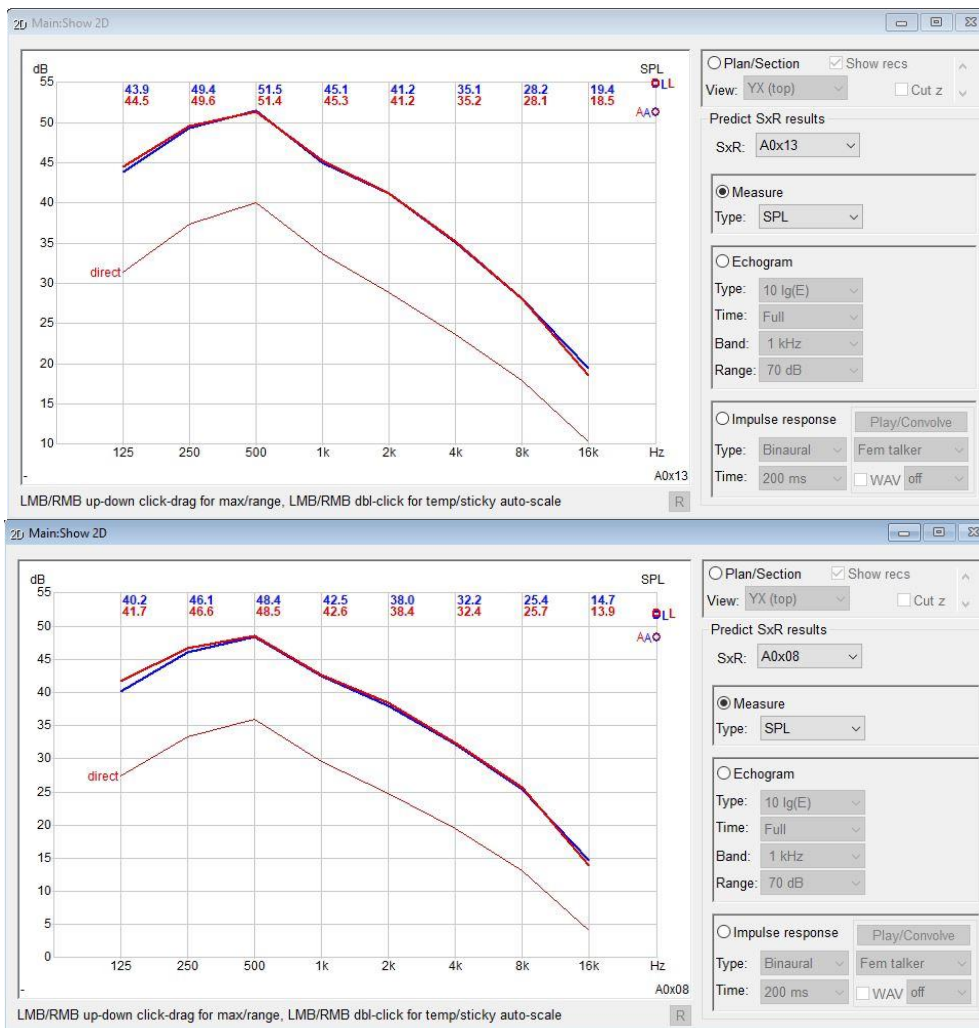
Εικόνα 21: Κατανομή χρόνου αντήχησης με ακροατές και ακουστικές παρεμβάσεις.



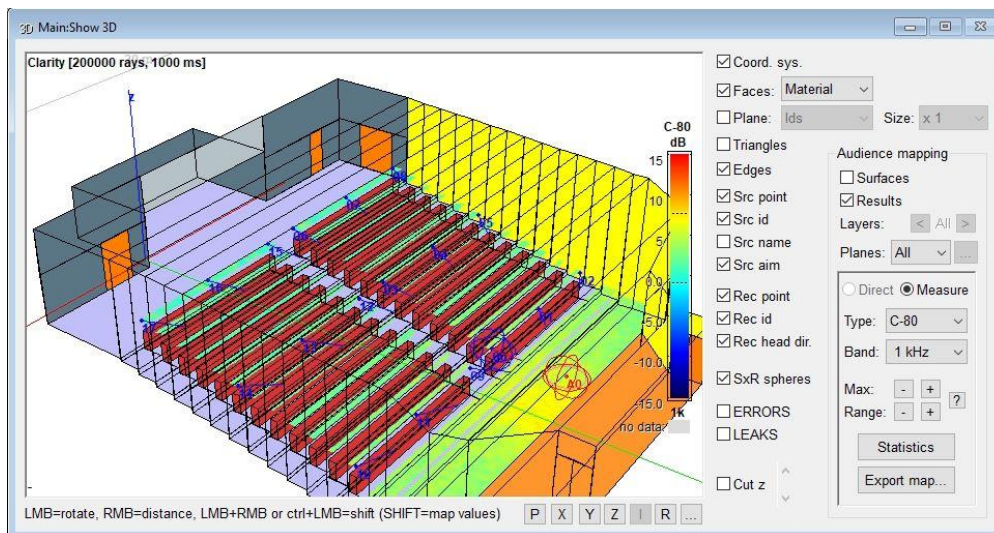


Εικόνα 22: Τιμές χρόνου αντήχησης ύστερα από προσομοίωση στο Catt acoustic με ακροατές και παρεμβάσεις.

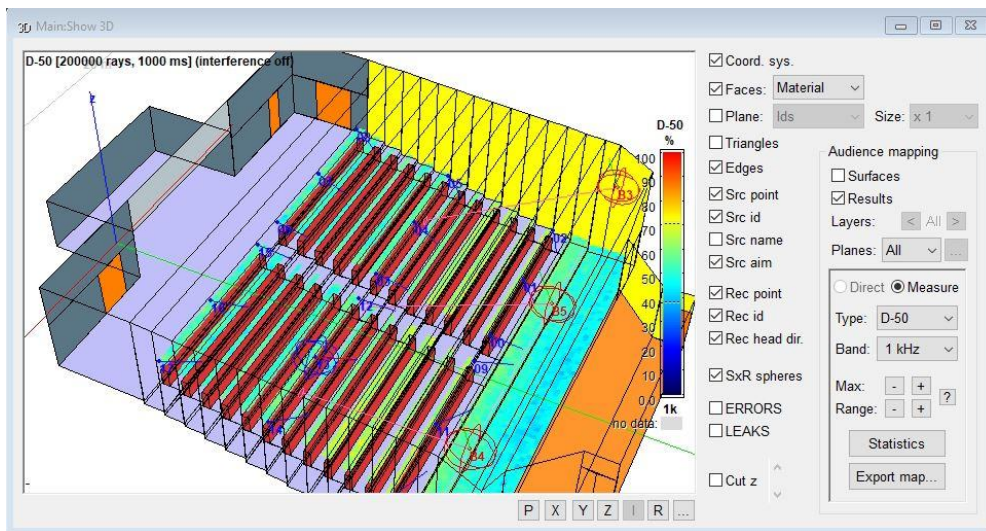




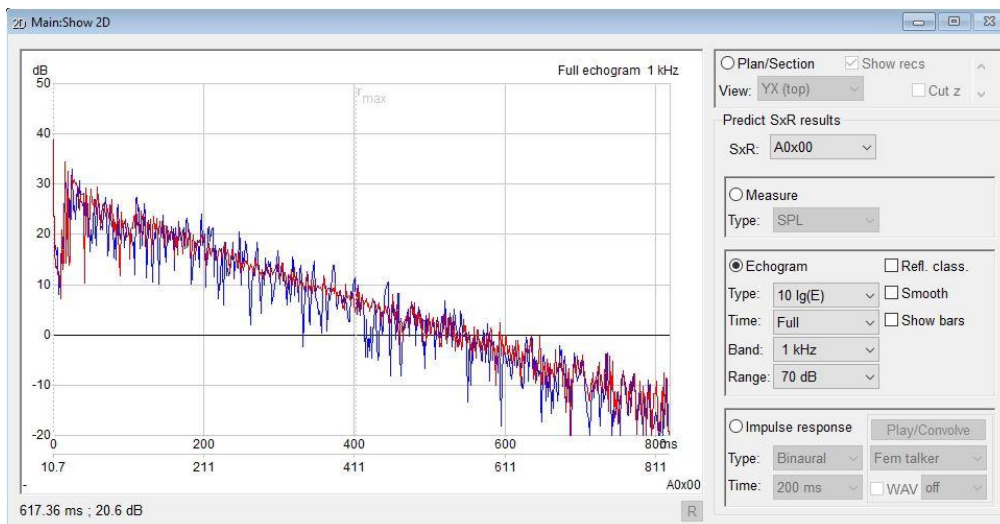
Εικόνα 23: Στάθμη ηχητικής πίεσης για διάφορες θέσεις με ακροατές και παρεμβάσεις.



Εικόνα 24: Κατανομή δείκτη διαύγειας C80 με ακροατές και παρεμβάσεις.



Εικόνα 25: Κατανομή δείκτη διακρίτοτητας D50 με ακροατές και παρεμβάσεις.



Εικόνα 26: Ηχόγραμμα στην μπροστινή θέση κεντρικά με ακροατές και παρεμβάσεις

3.4 Συμπέρασμα ακουστικής μελέτης:

Σκοπός μας είναι να βελτιώσουμε την ακουστική του χώρου με όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος προτείνοντας αλλαγές που είναι ρεαλιστικές και μπορούν να γίνουν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Δεν επιχειρήσαμε να ανακαινίσουμε τον χώρο από την αρχή. Με την παρέμβαση να αλλάξουμε υλικό μόνο στο πίσω μέρος της αίθουσας με την χρήση διάτρητης γυψοσανίδας (για την απορρόφηση των καθυστερημένων ανακλάσεων) και ταυτόχρονα να εκμεταλλευτούμε τις ξύλινες επιφάνειες σε όλο το υπόλοιπο μέρος της αίθουσας (οροφή και τοίχοι) κυρίως για τις πρώτες ανακλάσεις <30ms παρατηρούμε μεγάλη αλλαγή στην ακουστική συμπεριφορά. Ο χρόνος αντήχησης βελτιώνεται σημαντικά και έρχεται κοντά στην επιθυμητή τιμή. Ακόμα βλέπουμε πως οι ακουστικοί δείκτες διαύγειας C80 και διακρίτοτητας D50 βελτιώνονται σημαντικά βελτιώνοντας έτσι την κατανόηση της ομιλίας στο ακροατήριο. Η ηχητική στάθμη και στις 3 περιπτώσεις παραμένει χαμηλή κάτι που μας οδηγεί στο πρώιμο συμπέρασμα πως θα χρειαστούμε ενίσχυση του ηχητικού σήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ηλεκτροακουστική μελέτη

4.1 Μικρόφωνα

Το μικρόφωνο είναι ένας μετατροπέας που μετατρέπει τα ηχητικά κύματα σε ηλεκτρικά σήματα. Τα μικρόφωνα βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα επικοινωνίας, ηχητικές εγκαταστάσεις και σε studio ηχογράφησης.

Οι σύγχρονοι τύποι μικροφώνων χωρίζονται σε **δυναμικά** και **πυκνωτικά**. [2]

- **Δυναμικό μικρόφωνο:** Βασίζει την λειτουργία του στην κίνηση ενός πηνίου που βρίσκεται μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο.
- **Πυκνωτικό μικρόφωνο:** Είναι ένας πυκνωτής με το διάφραγμα να αποτελεί τον κινητό οπλισμό του. Από την στιγμή που το διάφραγμα μετακινείται πραγματοποιείται μεταβολή στην χωρητικότητα του πυκνωτή με αποτέλεσμα την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος ανάλογου της μεταβολής των ηχητικής πίεσης.

Χαρακτηριστικά μικροφώνων

- **Ευαισθησία:** Ορίζεται ως η τάση εξόδου ανά μονάδα πίεσης. Εκφράζεται σε V/Pa ή mV/Pa. Για δυναμικά μικρόφωνα οι τυπικές τιμές ευαισθησίας είναι από 1 έως 5mV/Pa ενώ για πυκνωτικά μικρόφωνα από 5 έως 50mV/Pa.
- **Κατευθυντικότητα – Πολική απόκριση:** Η κατευθυντικότητα ενός μικροφώνου ορίζεται ως η συνάρτηση ευαισθησίας $M(\theta)$ προς την μέγιστη ευαισθησία M_0 .

$$D = \frac{M(\theta)}{M_0}$$

- **Πανκατευθυντικό μικρόφωνο:** αν $M/M_0 = 1$
- **Μονοκατευθυντικό μικρόφωνο:** τάξης n αν $M/M_0 = (1-\beta+\beta\cos\theta)(\cos\theta)^{n-1}$, $0<\beta<1$
- **Καρδιοειδές** με $\beta=0.5$, όπου $M/M_0 = 1/2 + 1/2\cos\theta$
- **Υπερκαρδιοειδές** με $\beta=0.75$, όπου $M/M_0 = 1/4 + 3/4\cos\theta$ [2]

4.2 Ηλεκτροδυναμικά Μεγάφωνα

Το μεγάφωνο είναι ο μετατροπέας της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική στην μορφή ακουστικών κυμάτων. Ένα μεγάφωνο αποτελείται από το πηνίο φωνής, ένα μόνιμο μαγνήτη και το διάφραγμα που όλα αυτά περικλείονται σε ένα μεταλλικό σκελετό. Ένα μεγάφωνο είναι αδύνατο να αποδώσει όλο το εύρος συχνοτήτων από 20Hz μέχρι 20KHz. Όποτε για την

κατασκευή ενός ηχείου που θα καλύπτει όλο το φάσμα συχνοτήτων χρειάζονται τουλάχιστον 2 μεγάφωνα.

4.3 Ηχεία

Τα ηχεία είναι ο τελικός μετατροπέας το ηλεκτρικού σήματος σε ηχητικά κύματα. Ένα ηχείο αναφέρεται με την ονομαστική του ευαισθησία σε dB/W/m, την ονομαστική τιμή αντίστασης που είναι συνήθως 4, 8 ή 16Ω και τέλος την μέγιστη ισχύ που μπορεί να αντέξει.

Η περιοχή που μπορεί να καλύψει ένα ηχείο υπολογίζεται με βάση τις γωνίες κάλυψης στον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα. Αυτή είναι η συνολική γωνία για την οποία η στάθμη έχει ελαττωθεί κατά 6dB σε σχέση με την στάθμη στον κατακόρυφο άξονα.

Αν γνωρίζουμε τις γωνίες κάλυψης μπορούμε να υπολογίσουμε τον παράγοντα κατευθυντικότητας Q. [2]

$$Q = \frac{180^\circ}{\sin^{-1}(\sin\frac{\varphi}{2}\sin\frac{\theta}{2})} \quad (13)$$

Όπου:

φ γωνία κάλυψης στον οριζόντιο άξονα

θ γωνία κάλυψης στον κάθετο άξονα

Για αίθουσες με χρόνο αντίχησης μικρότερη των 2s η μέγιστη απόσταση d μεγάλων με ακροατή δίνεται από την σχέση

$$d \cong 0.1 \sqrt{\frac{QV}{T}} \quad (14)$$

Όπου: Q, η κατευθυντικότητα του ηχείου

V, ο όγκος της αίθουσας (m³)

T, ο χρόνος αντίχησης (sec)

4.4 Επιθυμητή στάθμη Πίεσης

Η επιθυμητή στάθμη πίεσης δίνεται από την σχέση:

$$L_{pd} = L_N + 25dB \quad (15)$$

Όπου L_N η στάθμη θορύβου του χώρου. [5]

4.5 Ενεργός Ακουστική Απόσταση (Effective Acoustical Distance) – EAD

Με τον όρο ενεργός ακουστική απόσταση EAD ορίζουμε την μέγιστη απόσταση από τον ομιλητή στην οποία ένας ακροατής θα κατανοεί άνετα την ομιλία και υπολογίζεται από τον τύπο [5]

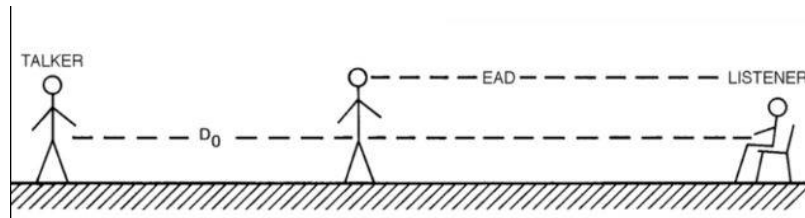
$$EAD = D_{ref} 10^{\frac{L_{pt} - L_{pd}}{20}} \quad (16)$$

Όπου: D_{ref} , Η απόσταση αναφοράς (πχ το 1m)

L_{pd} , Η επιθυμητή στάθμη ($L_{pd} = LN + 25dB$)

L_{pt} , Η στάθμη αναφοράς ενός ομιλητή σε κάποιο σημείο αναφοράς D_{ref}

Το ηλεκτρακουστικό σύστημα σ' ένα χώρο είναι απαραίτητο αν $D_o > EAD$.



4.6 Περιθώριο κέρδους και Απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς (Headroom and Electrical Power Required (EPR))

Το πρώτο που λαμβάνουμε υπόψη μας σ' ένα ηλεκτροακουστικό σχεδιασμό είναι τα εξής

- Η στάθμη θορύβου
- Η στάθμη του σήματος ήχου
- Η ευαισθησία ενός ηχείου ($dB_{SPL}/W/m$)
- Η ευαισθησία του μικροφώνου (mV/Pa)
- Η ισχύς εξόδου του ενισχυτή
- Η ενίσχυση του ενισχυτή

Τα ηχητικά σήματα που εκπέμπονται σ' ένα χώρο δεν έχουν την ίδια τιμή πλάτους με αποτέλεσμα κάποια σήματα να απαιτούν μεγαλύτερο δυναμικό εύρος. Μέτρο του δυναμικού εύρους είναι ο παράγοντας κορυφής (crest factor) και ορίζεται από τον τύπο

$$C = 20 \log \frac{|x_{peak}|}{x_{rms}} \quad (dB) \quad (17)$$

Για τους παραπάνω λόγους πρέπει να ληφθεί υπόψη στην σχεδίαση ικανοποιητικό περιθώριο κέρδους (H) για να μην έχουμε ψαλίδισμα του ηχητικού σήματος. Το headroom (H) εξαρτάται από το είδος του σήματος.

- Για φωνή απαιτείται, $H: 10 - 12dB$
- Για μουσική απαιτείται, $H: 18 - 20dB$

Για ένα κλειστό χώρο η ελάχιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς (EPR) ορίζεται από τον τύπο: [5]

$$EPR_{room} = 10 \frac{L_{pd} + H - L_{sens} + \Delta D^2 - \Delta(1m)}{10} \quad (18)$$

$$\text{Όπου: } \Delta\chi = -10 \log \left(\frac{Q}{4\pi x^2} + \frac{4}{R} \right)$$

4.7 Απαιτούμενο ακουστικό κέρδος (Needed Acoustic Gain) – NAG

Με τον όρο απαιτούμενο ακουστικό κέρδος ορίζουμε πόσο πρέπει να ενισχύσουμε την φωνή του ομιλητή ώστε η στάθμη στη θέση ενός ακροατή να είναι επαρκής για άνετη κατανόηση. Αυτή η ενίσχυση θα πρέπει τουλάχιστον να πλησιάζει στην EAD. Η NAG για ένα κλειστό χώρο υπολογίζεται από τον τύπο: [5]

$$NAG = 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi EAD^2} + \frac{4}{R} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi D_o^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (19)$$

$$\text{Όπου R η σταθερά δωματίου:} \quad R = \frac{V}{\left(\frac{T60}{0.16} - \frac{V}{S} \right)} \quad (20)$$

Q η κατευθυντικότητα του ηχείου δίνεται από το παραπάνω τύπο
Ενώ η κατευθυντικότητα σε dB δίνεται από τον τύπο [5]

$$DI = 10 \log \left[\frac{180^\circ}{\sin^{-1}(\sin \frac{\varphi}{2} \sin \frac{\theta}{2})} \right] \quad (21)$$

4.8 Μέγιστο θεωρητικό κέρδος

Potential Acoustic gain κλειστού χώρου (PAG)

Λίγο πριν την ανάδραση το μέγιστο θεωρητικό κέρδος υπολογίζεται από τον τύπο: [5]

$$PAG = 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi D_S^2} + \frac{4}{R} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi D_2^2} + \frac{4}{R} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi D_0^2} + \frac{4}{R} \right) - 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi D_1^2} + \frac{4}{R} \right) + L_{Mpol} + L_{Lspol} - 10 \log_{10} Nm - FSM \quad (22)$$

- Αν οι πολικές αποκρίσεις ηχείων και μικροφώνων δεν είναι γνωστές τότε συνηθίζεται να θεωρείται το $L_{Mpol} + L_{Lspol} \leq 6dB$
- Τέλος εισάγεται ένα επιπλέον περιθώριο ευστάθειας (feedback stability margin) με την περεταίρω μείωση του PAG και μία στάθμη $FSM \geq 6dB$.

4.9 Υπολογισμός απευθείας σήματος προς ανακλώμενο,

Ελάχιστη κατευθυντικότητα, μέγιστη απόσταση πηγής/δέκτη.

Απευθείας σήμα προς ανακλώμενο: $\frac{D}{R} 10 \log \left(\frac{QR}{16\pi r^2} \right) \quad (23)$

Ελάχιστη κατευθυντικότητα: $Q_{min} = \frac{200D^2 \max RT^2(n+1)}{15V} \quad (24)$

Μέγιστη απόσταση πηγής/δέκτη σε m καταληπτής ομιλίας

$$r_{max} = \sqrt{\frac{15VQ}{200RT^2(n+1)}} \quad (25)$$

Όπου n ο αριθμός των επιπλέον ηχείων. [5]

4.10 Ηλεκτρακουστική μελέτη

- Η κατανομή του ηχητικού πεδίου στο χώρο ακρόασης πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο ομοιόμορφη
- Το μέγιστο θεωρητικό κέρδος να είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο ακουστικό κέρδος $PAG > NAG$

- Ο ήχος πρέπει να φτάνει στον κάθε δέκτη με στάθμη 25 dB (τουλάχιστον) πάνω από τη στάθμη του θορύβου ($SNR \geq 25 \text{ dB}$)
- Η καταληπτότητα της ομιλίας πρέπει να διασφαλίζεται σε χώρους με αντήχηση
- Το φάσμα του σήματος στον δέκτη πρέπει να προσεγγίζει αυτό της πηγής

Είναι φανερό ότι ένα επιτυχημένο ηλεκτρακουστικό σύστημα πρέπει:

- Να επιτυγχάνει επαρκή στάθμη για άνετη κατανόηση στη θέση του (πιο απομακρυσμένου) ακροατή & απαραμόρφωτη παραγωγή ήχου
- Να μην παρουσιάζει σε καμία περίπτωση ακουστική ανάδραση

Για το λόγο αυτό πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένα τα κέρδη (ακουστικά και ηλεκτρικά). [5]

4.10.1 Θεωρητικά αποτελέσματα

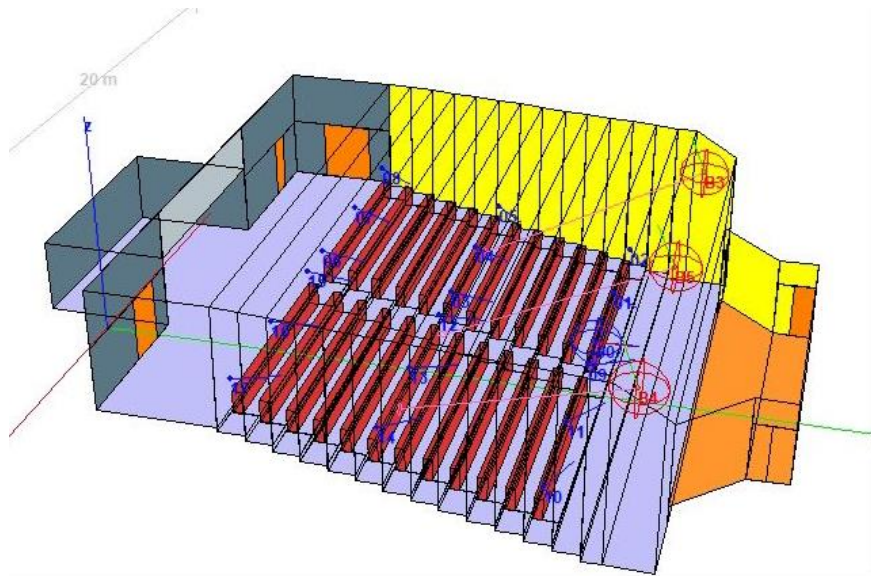
- Η στάθμη του ήχου που πρέπει να φτάνει σε κάθε ακροατή πρέπει να είναι 25dB (τουλάχιστον) πάνω από τη στάθμη θορύβου του χώρου ($SNR \geq 25 \text{ dB}$). Σχέση (15) Η στάθμη θορύβου που μας δίνει το πρόγραμμα προσομοίωσης Catt acoustic για το αμφιθέατρο είναι $L_N = 35,8 \text{ dB}$, έτσι υπολογίζουμε ότι στον κάθε ακροατή θα πρέπει να φτάνει στάθμη ήχου $L_{pd} = L_N + 25 \text{ dB} = 60,8 \text{ dB}$.
- Η κρίσιμη απόσταση για χρήση ομιλίας με βάση την σχέση (10) είναι $D_c = 5,8 \text{ m}$
- Η ενεργός ακουστική απόσταση (EAD) για ομιλία στάθμης $L_{pt} = 65 \text{ dB}_A$ στο 1m υπολογίζεται από την σχέση (16) και είναι $EAD = 1,62 \text{ m}$.
- Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να βρεθεί ένας ακροατής από τον ομιλητή είναι $D_0 = 15,80 \text{ m}$ οπότε $D_0 > EAD$ άρα είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης.
- Στην μελέτη που κάνουμε για το αμφιθέατρο θα χρησιμοποιηθούν τρία ηχεία σε διάταξη (LCR). Τα θεωρητικά αποτελέσματα θα υπολογιστούν για το κεντρικό ηχείο του χώρου (Center) ως προς τον πιο απομακρυσμένο ακροατή.
 - ✓ Απόσταση ομιλητή από τον πιο απομακρυσμένο ακροατή $D_0 = 15,80 \text{ m}$
 - ✓ Απόσταση μικροφώνου με πιο κοντινό ηχείο (Center) $D_1 = 3,16 \text{ m}$
 - ✓ Απόσταση ηχείου από πιο απομακρυσμένο ακροατή $D_2 = 14,68 \text{ m}$
 - ✓ Απόσταση ομιλητή – μικροφώνου $D_s = 0,3 \text{ m}$
 - ✓ Ο όγκος της αίθουσας όπως μας τον δίνει το Catt acoustic βάση της προσομοίωσης είναι $V = 1728,83 \text{ m}^3$.
 - ✓ Το συνολικό εμβαδόν είναι $S_{o\lambda} = 1468 \text{ m}^2$
 - ✓ Από την σχέση (9) υπολογίστηκε η σταθερά δωματίου που είναι $R = 364 \text{ m}^2$
 - ✓ Η μέση υπολογισμένη τιμή χρόνου αντήχησης είναι $RT60_{\text{Sabine}} = 0,95 \text{ s}$ για ομιλία.
 - ✓ Το περιθώριο κέρδους (Headroom) για χρήση ομιλίας $H = 12$
 - ✓ Επιπλέον περιθώριο ευαισθησίας $FSM = 6 \text{ dB}$

- ✓ Αριθμός μικροφώνων $NOM = 1$
- ✓ Αν κινούνται τα μικρόφωνα και δε ξέρουμε το DI τότε $LL_{spol} + L_{mpol} = 6dB$
- ✓ Ευαισθησία ηχείου (Community V2-1264) [6], $L_{sens} = 98dB$ με οριζόντια γωνία κάλυψης $\alpha = 60^\circ$ και κάθετη γωνία κάλυψης $\beta = 40^\circ$. Από τις σχέσεις (13), (21) υπολογίζουμε τον παράγοντα κατευθυντικότητας του ηχείου $Q = 18,28$ και τον δείκτη κατευθυντικότητας $DI = 12,65dB$.
- ✓ Η ελάχιστη κατευθυντικότητα για $D_{max} = 15,80m$ υπολογίζεται από την σχέση (24) και είναι $Q_{min} = 5,77$
- ✓ Η ελάχιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για κλειστό χώρο υπολογίζεται από την σχέση (18) και είναι $ERP_{room} = 0,25watt$
- ✓ Το Απαιτούμενο Ακουστικό Κέρδος για κλειστό χώρο υπολογίζεται από την σχέση (19) και ισούται με $NAG = 15,28dB$
- ✓ Με βάση τα παραπάνω στοιχεία το Δυνητικό Ακουστικό Κέρδος για κλειστό χώρου σχέση (22) ισούται με $PAG = 20,37dB$
- ✓ Οπότε $PAG > NAG$ το ηλεκτροακουστικό μας σύστημα είναι ευσταθές χωρίς *Larsenn Efekt (Feedback)*
- ✓ Τέλος η καταληπτότητα ομιλίας για τον πιο απομακρυσμένο ακροατή υπολογίζεται από την σχέση (4) και είναι $\%Alcons = 5\%$ (αποδεκτή $< 15\%$)

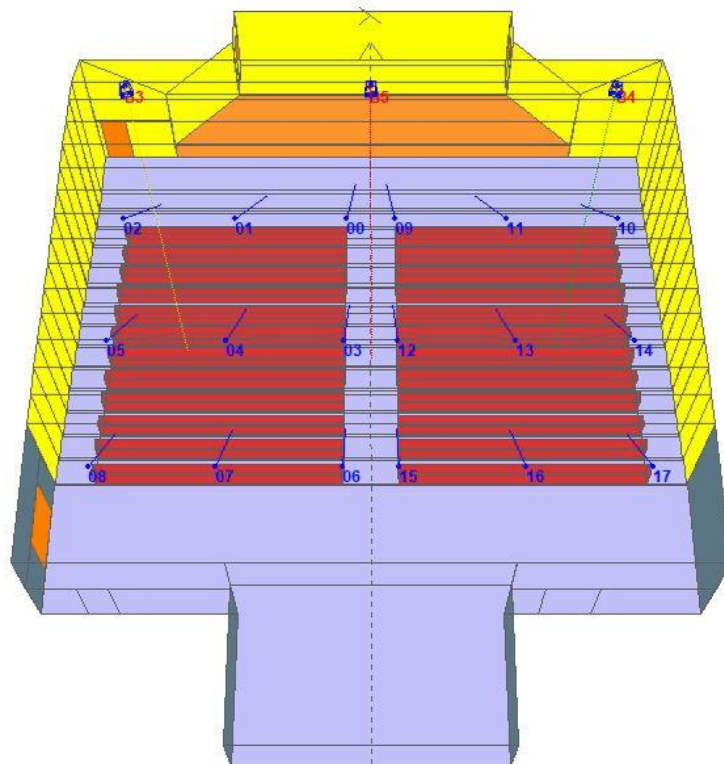
4.10.2 Αποτελέσματα ηλεκτροακουστικής μελέτης στο *Catt Acoustic*

Για το ηλεκτροακουστικό σύστημα στο αμφιθέατρο χρησιμοποίησαμε:

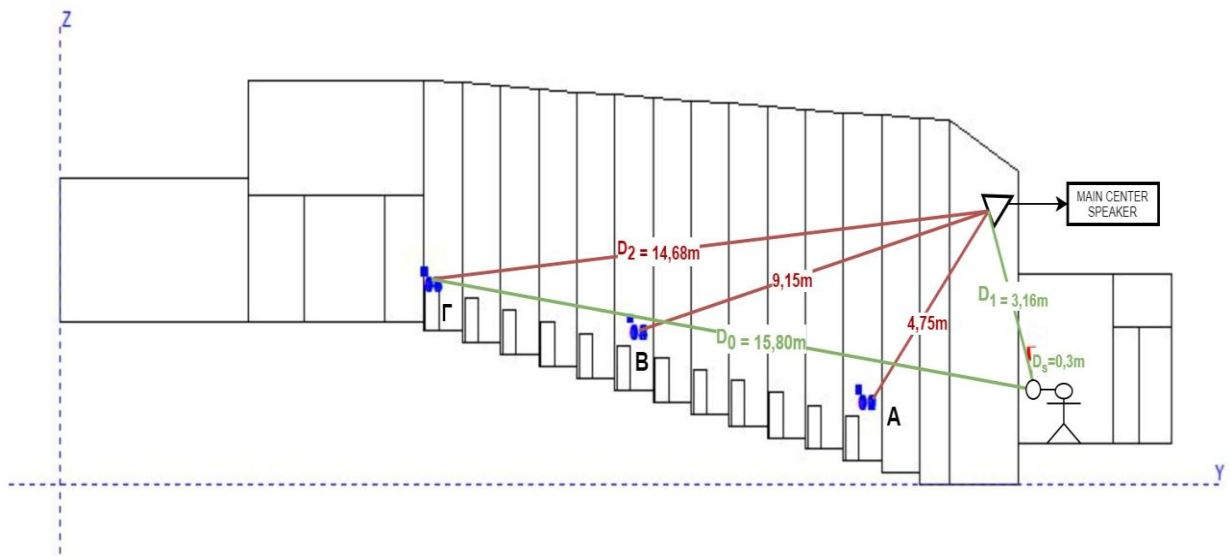
- 1 μικρόφωνο σε απόσταση 30cm από τον ομιλητή. Το *catt acoustic* μας δίνει την δυνατότητα ρύθμισης της ευαισθησίας του μικροφώνου (MICSENSITIVITY).
- 3 ηχεία Community V2-1264 σε διάταξη Left – Center – Right (LCR). Χρησιμοποίησαμε 3 ηχεία διότι παρατηρήσαμε κατά την διάρκεια της μελέτης ότι τα κεντρικά σημεία του χώρου δεν είχαν καλή ηχητική κάλυψη (ηχητική σκίαση) από τα δυο ηχεία (LR) όποτε προσθέσαμε άλλο ένα ηχείο στο κέντρο για να ελέγξουμε καλύτερα αυτή την περιοχή.
- Για κάθε ηχητική πηγή στο *catt acoustic* μπορούμε να ορίσουμε την τοποθεσία που βρίσκεται στον χώρο (POS), πού στοχεύει στον χώρο το ηχείο (AIMPOS/AIMANGLES) την ενίσχυση που μπορεί να έχει το ηχείο (GAIN) και αν χρειαστεί μπορούμε να ορίσουμε την καθυστέρηση (DELAY).



Εικόνα 27: Θέσεις ηχείων στον χώρο και τρόπος στόχευσης στο ακροατήριο.



Εικόνα 28: Τρόπος στόχευσης και θέσης των ηχείων στο ακροατήριο.



Εικόνα 29: Σημεία υπολογισμού ηλεκτροακουστικής μελέτης (θεωρητικής αλλά και προσομοίωσης).

4.11 Αποτελέσματα προσομοίωσης ηλεκτροακουστικής μελέτης στο Catt Acoustic

Πριν προχωρήσουμε να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα που παρουσιάζουμε παρακάτω είναι μετά από ακουστικές παρεμβάσεις στον χώρο του αμφιθεάτρου και γεμάτο με ακροατές.

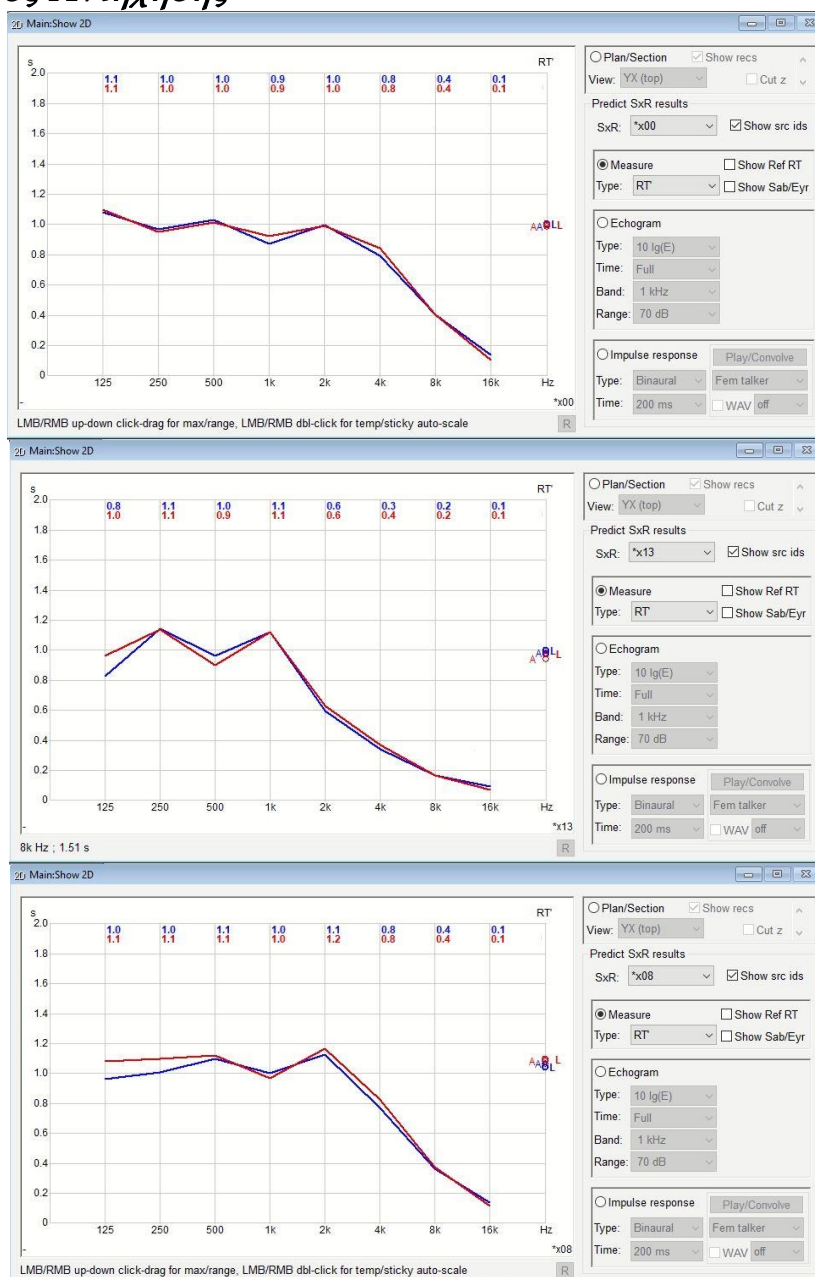
4.11.1 Στάθμη Ηχητικής Πίεσης (SPL)



Εικόνα 30: Στάθμη ακουστικής πίεσης (SPL) στις θέσεις ακροατών Α,Β,Γ αντίστοιχα μετά από ηλεκτροακουστική μελέτη.

Με βάση την Εικόνα 30 (αποτελέσματα στάθμης ακουστικής πίεσης) στις θέσεις ακροατών Α, Β, Γ, παρατηρούμε ότι ύστερα από προσθήκη ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης στον χώρο καταφέραμε όχι μόνο να έχουμε την επιθυμητή στάθμη πίεσης που υπολογίσαμε στην ηλεκτροακουστική μελέτη ($L_{pd} = L_N + 25 \text{ dB} = 60,8 \text{ dB}$) σε κάθε σημείο ακρόασης αλλά να την ξεπεράσουμε σχεδόν 30dB. Πιο συγκεκριμένα στην θέση Α (μπροστά κεντρικά) βλέπουμε ότι έχουμε στάθμη πίεσης **94,5dB** ενώ στην πιο απομακρυσμένη θέση Γ (πίσω δεξιά) έχουμε στάθμη πίεσης περίπου **90,2dB**. Η διαφορά αυτών των δύο σημείων είναι της τάξης των **4,3dB (αποδεκτή τιμή)** διότι η διαφορά στάθμης ηχητικής πίεσης της πιο κοντινής θέσης σε σχέση με την πιο απομακρυσμένη δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 6dB.

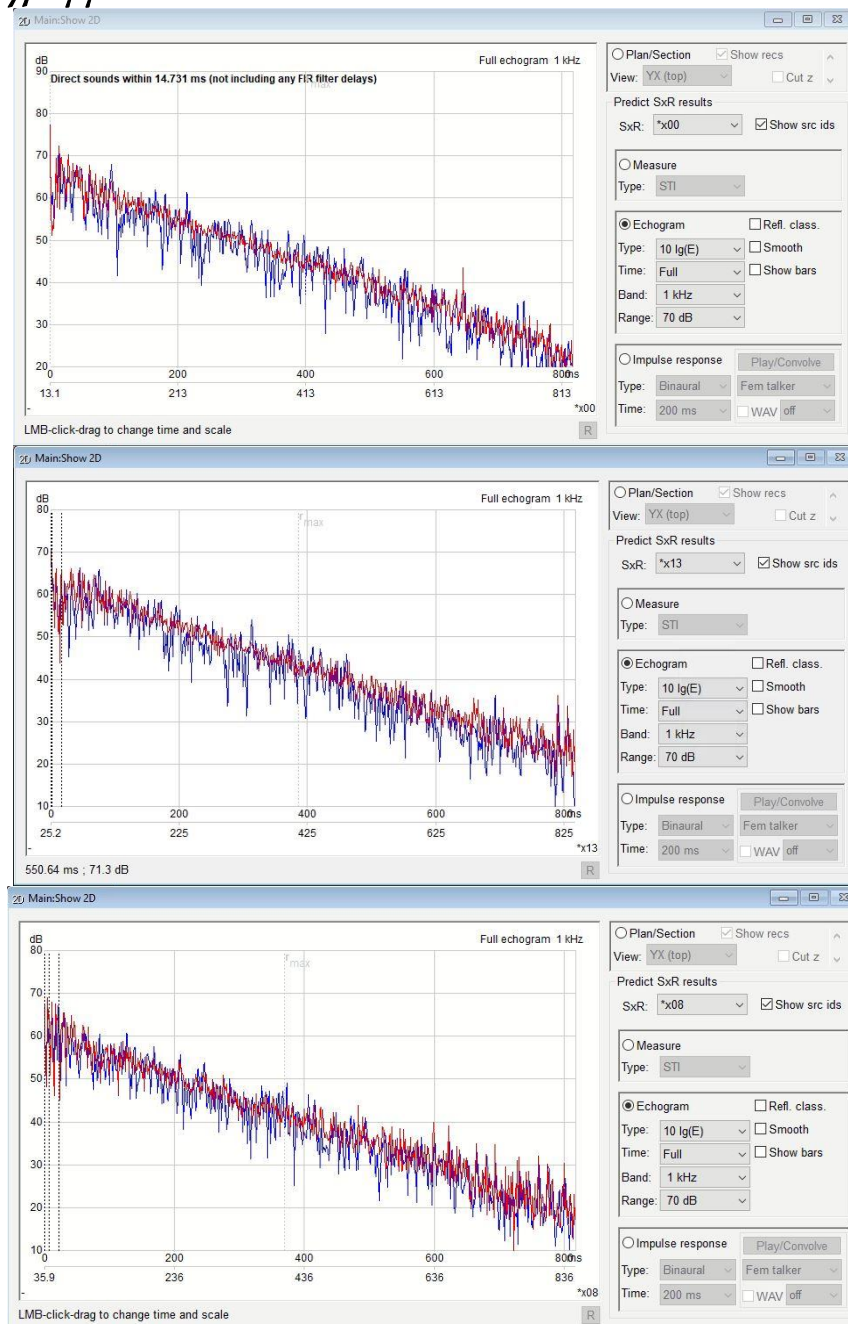
4.11.2 Χρόνος Αντήρησης



Εικόνα 31: Χρόνος αντήρησης (RT_{60}) στις θέσεις ακροατών Α, Β, Γ αντίστοιχα μετά από ηλεκτροακουστική μελέτη.

Παρατηρώντας την Εικόνα 31 με τα αποτελέσματα των χρόνων αντήησης για τις θέσεις ακροατών Α,Β,Γ μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι καταφέραμε να προσεγγίσουμε την θεωρητικά υπολογισμένη τιμή. Για τον χώρο μας (χρήση ομιλίας) ήταν περίπου από 0,82s έως 1,10s. Βλέπουμε η καμπύλη του χρόνου αντήησης στα γραφήματα να κυμαίνεται περίπου στο 1sec και να έχει μια ομοιόμορφη κατανομή στις μπάντες συχνοτήτων που μας ενδιαφέρουν (500Hz-1KHz-2KHz-4KHz). Επίσης δεν παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις στις διαφορετικές θέσεις ακροατών εκτός από την μεσαία-κεντρική (θέση Β) όπου υπάρχει μια πιο απότομη πτώση από τα 2KHz και πάνω

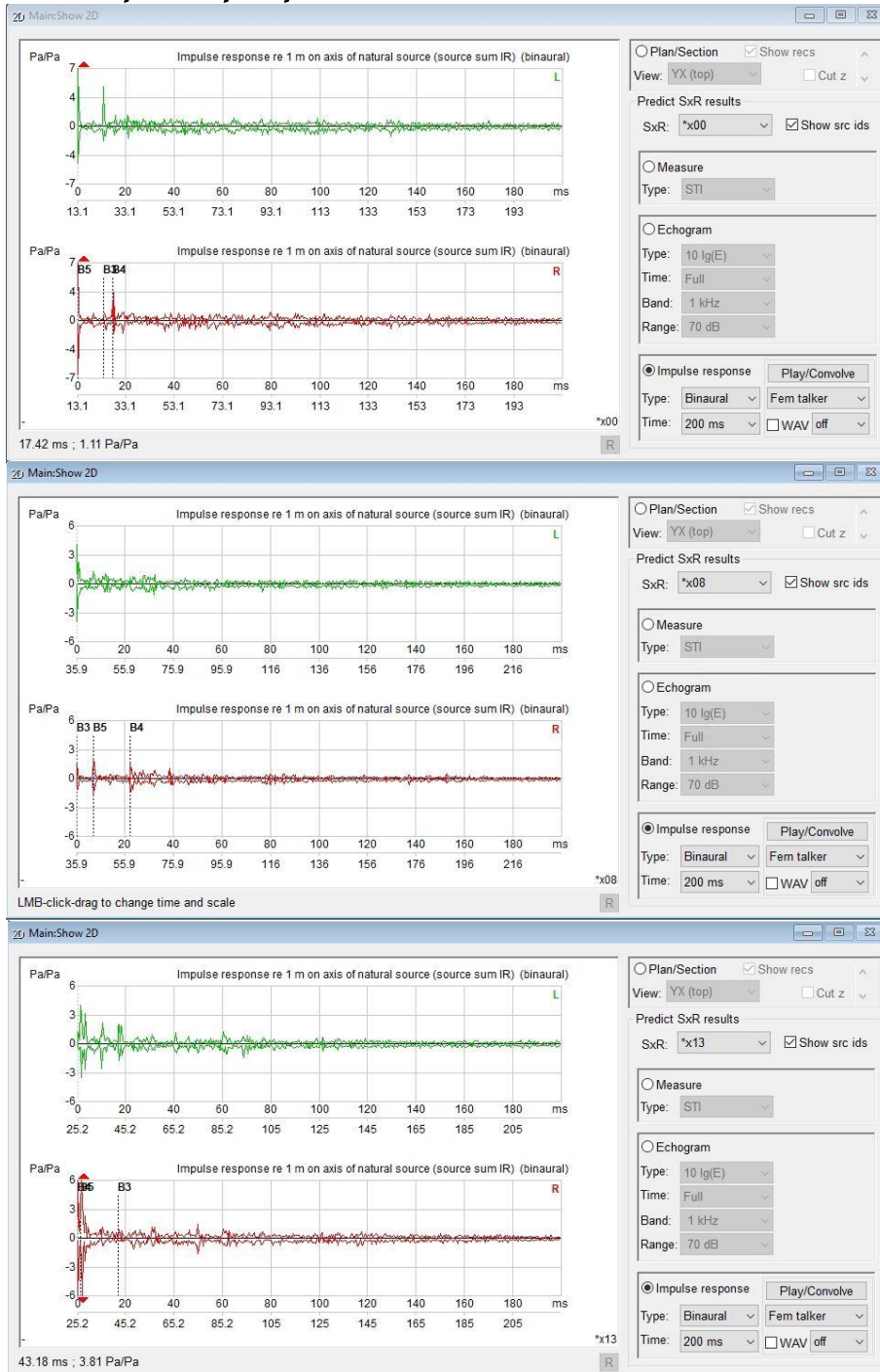
4.11.2 Ηχόγραμμα



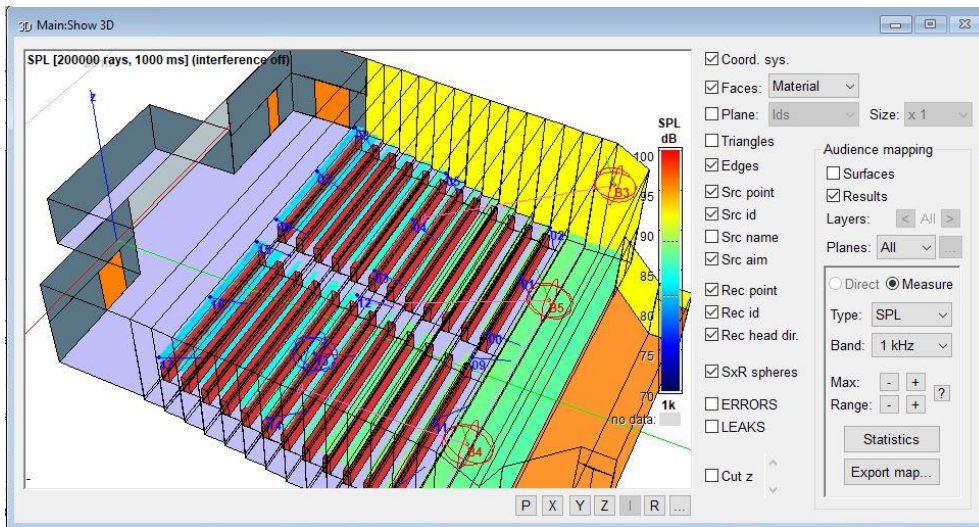
Εικόνα 32: Ηχόγραμμα στις θέσεις ακρόασης Α,Β,Γ αντίστοιχα.

Όπως και με τον χρόνο αντήρησης έτσι και με τα αποτελέσματα των ηχογραμμάτων και κρουστικής απόκρισης (Εικόνες 32-33) για τις θέσεις Α,Β,Γ παρατηρούμε ομοιόμορφη πτώση της στάθμης του ηχητικού σήματος μετά την διακοπή της πηγής. Στις θέσεις ακρόασης που μελετάμε δεν παρατηρείται το φαινόμενο της ηχούς (που προκύπτει λόγω των έντονων καθυστερημένων ανακλάσεων >60ms) και είναι κάτι που θα βλέπαμε σαν έντονες εξάρσεις στα γραφήματα των Εικόνων 32-33.

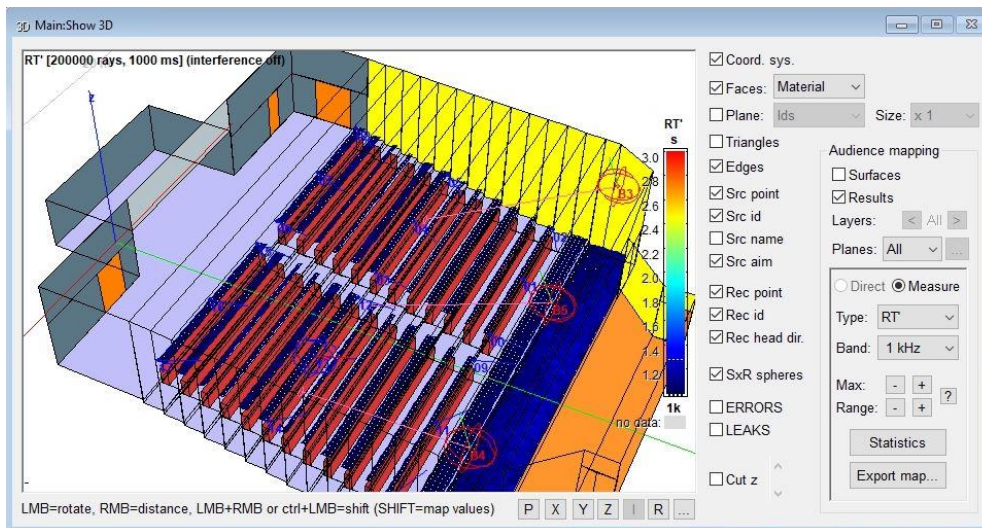
4.11.2 Κρουστική απόκριση



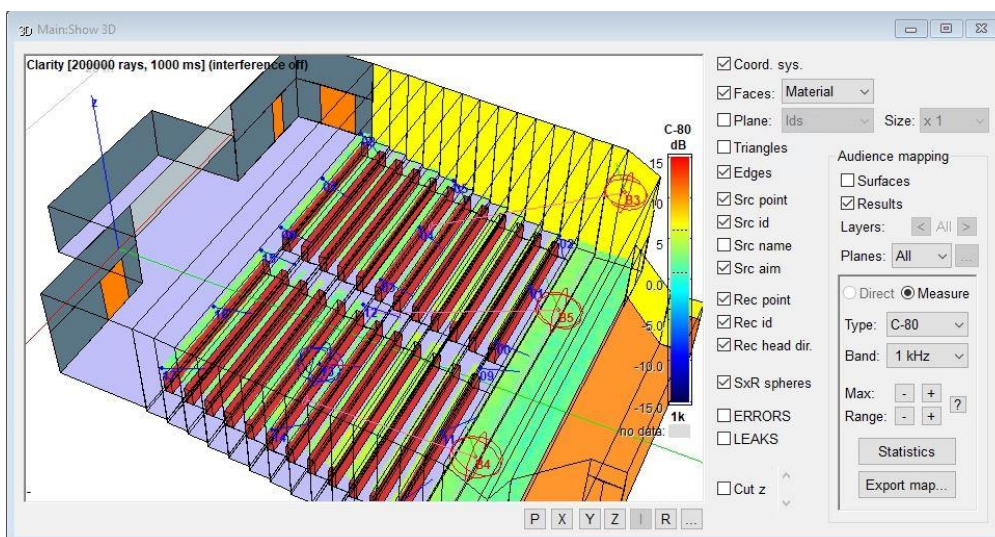
Εικόνα 33: Η κρουστική απόκριση στις θέσεις ακρόασης Α, Β, Γ αντίστοιχα.



Εικόνα 34: Κατανομή ηχητικής πίεσης (SPL) στο χώρο του αμφιθεάτρου.



Εικόνα 35: Κατανομή χρόνου αντήχησης (RT60) στο χώρο του αμφιθεάτρου.

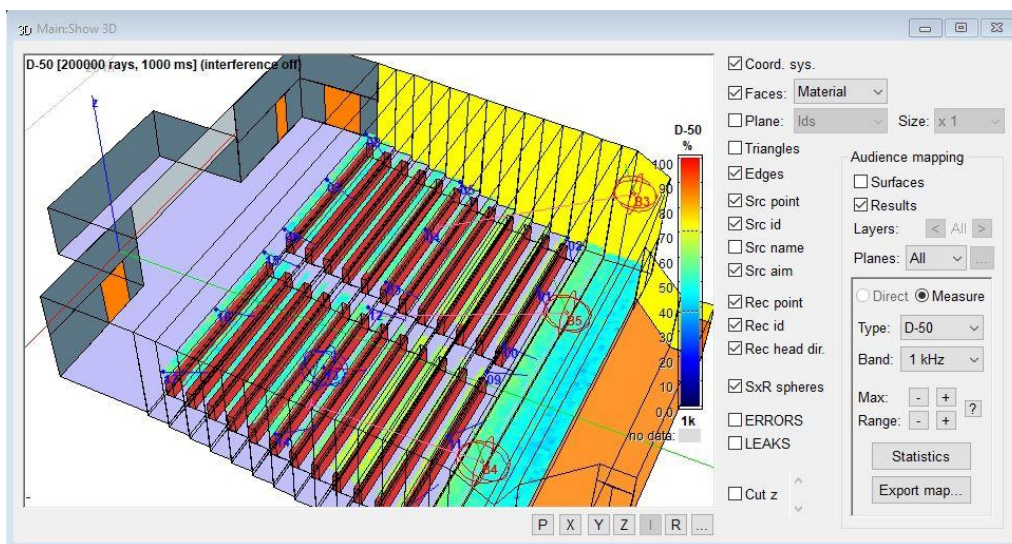


Εικόνα 36: Κατανομή δείκτη διαύγειας C80 στο χώρο του αμφιθεάτρου.

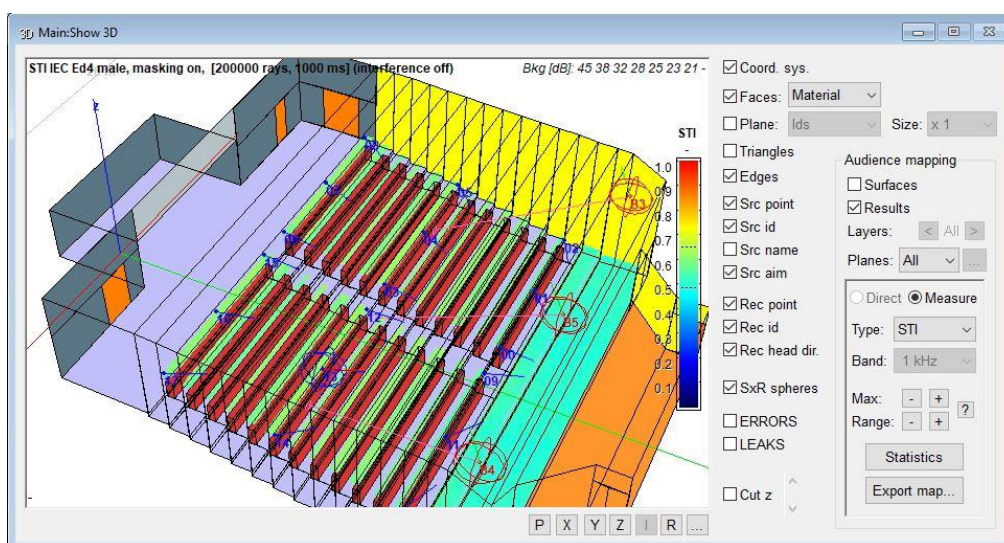
Ότι αναλύσαμε παραπάνω για την στάθμη ηχητικής πίεσης και χρόνο αντήχησης ύστερα από την ηλεκτροακουστική μελέτη μπορούμε να το δούμε και σαν κατανομή στον χώρο από τις Εικόνες 34-35 για κάθε θέση ακρόασης.

Από την Εικόνα 36 μπορούμε να δούμε την κατανομή του δείκτη διαύγειας C80. Βάση του χρωματισμού αλλά και των Πινάκων 9-10-11 βλέπουμε πως τα αποτελέσματά μας είναι πολύ ικανοποιητικά για την καταληπτότητα της ομιλίας. Κυμαίνομαστε από 1,5dB έως 8dB για τις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν πολύ πιο κάτω δηλαδή από τον όριο των 15dB. Μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι η καταληπτότητα ομιλίας στον χώρο είναι από καλή έως ικανοποιητική

Τα ίδια επιβεβαιώνουν και οι Εικόνες 37-38 με τους δείκτες διακριτότητας D50 και STI να κυμαίνονται από 40% έως 75% και 0,5 έως 0,7 αντίστοιχα, κάτι που φανερώνει την καλή καταληπτότητα ομιλίας που έχει το αμφιθέατρο.



Εικόνα 37: Κατανομή δείκτη διακριτότητας D50 στο χώρο του αμφιθέατρου



Εικόνα 38: Κατανομή δείκτη αντιληπτότητας STI στο χώρο του αμφιθέατρου.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε συγκεντρωτικά και πιο αναλυτικά πίνακες με τους ακουστικούς δείκτες ανά συχνότητα για τις θέσεις ακρόασης Α,Β,Γ όπου αναφερθήκαμε και παραπάνω.

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	16000Hz
D-50 (%)	47,76	50,01	45,32	61,15	54,54	60,82	78,50	95,20
C-80 (dB)	1,42	2,44	2,57	4,02	2,23	4,07	7,37	17,29
RT (sec)	1,08	0,97	1,03	0,87	1,00	0,79	0,40	0,14
SPL (dB)	86,55	92,37	94,51	87,26	76,98	68,64	64,47	56,54

Πίνακας 9: Αποτελέσματα ακουστικών δεικτών βάση συχνότητας για θέση ακρόασης Α (κάτω κεντρικά).

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	16000Hz
D-50 (%)	62,24	44,51	51,84	42,92	72,23	83,18	92,69	97,51
C-80 (dB)	4,23	2,56	2,67	2,14	6,00	9,01	13,11	18,71
RT (sec)	0,83	1,15	0,97	1,12	0,59	0,34	0,17	0,09
SPL (dB)	86,43	89,53	92,81	83,78	77,26	70,55	68,30	56,88

Πίνακας 10: Αποτελέσματα ακουστικών δεικτών βάση συχνότητας για θέση ακρόασης Β (κέντρο κεντρικά).

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	16000Hz
D-50 (%)	48,93	54,72	49,57	57,20	59,23	66,80	85,41	98,13
C-80 (dB)	2,94	4,09	2,93	3,26	1,92	4,65	9,62	19,45
RT (sec)	0,96	1,01	1,10	1,00	1,13	0,77	0,36	0,14
SPL (dB)	84,49	88,85	90,21	82,30	72,58	64,49	61,31	54,09

Πίνακας 11: Αποτελέσματα ακουστικών δεικτών βάση συχνότητας για θέση ακρόασης Γ (πάνω κεντρικά).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η συγκεκριμένη μελέτη είχε σκοπό να βελτιώσει την ακουστική του χώρου με όσο τον δυνατόν λιγότερες παρεμβάσεις. Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάσαμε παραπάνω καταφέραμε να επιτύχουμε αυτή την βελτίωση και στον χρόνο αντήχησης και στην στάθμη ηχητικής πίεσης με την χρήση ηλεκτροακουστικού συστήματος αλλά και στους δείκτες αντιληπτότητας της ομιλίας. Όλοι αυτοί οι ακουστικοί παράγοντες είναι άρρητα συνδεδεμένοι μεταξύ τους και μετά από πολλές δοκιμές υλικών, στόχευσης και θέσης των ηχείων στο χώρο καταφέραμε να τους φέρουμε σε μία ισορροπία.

Τα αποτελέσματα της θεωρητικής ηλεκτροακουστικής μελέτης έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στο πως πραγματοποιήσαμε της προσομοίωση στο catt acoustic διότι είχαμε τα αποτελέσματα της επιθυμητής στάθμης πίεσης των ακροατών, τα απαιτούμενα ακουστικά κέρδη, το μέγιστο θεωρητικό κέρδος, την ελάχιστη κατευθυντικότητα που θα πρέπει να είχαν τα ηχεία που χρησιμοποιήσαμε στον χώρο αλλά και την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ που θα πρέπει να είχε στο σύστημα μας. Με όλο αυτά τα στοιχεία τοποθετήσαμε τα ηχεία στην κατάλληλη θέση στον χώρο για να έχουμε την μέγιστη κάλυψη του ακροατηρίου με την ανάλογη ηχητική στάθμη.

Για το αμφιθέατρο θα μπορούσαμε να προτείνουμε στο μέλλον έναν νέο σχεδιασμό και ριζική ανακαίνιση από την αρχή. Θα ήταν καλό να σχεδιαστεί όπως ένα σύγχρονος συνεδριακός χώρος όπου η οροφή είναι κατασκευασμένη κατοπτρικά με ανακλαστικά υλικά για να ενισχύει τον ήχο σε ορισμένες κατευθύνσεις και οι χαράξεις των ανακλαστήρων των πλαϊνών τοίχων έχουν κατασκευαστεί με περασιές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

- [1] Σκαρλάτος Δημήτρης (2008). *Εφαρμοσμένη Ακουστική* (Γ Έκδοση) Πάτρα: GOTSIS Εκδόσεις. ISBN: 960-87710-1-3
- [2] Λουτρίδης Σπύρος (2009). *Ηλεκτροακουστική & Ηχητικές Εγκαταστάσεις*. Αθήνα, Εκδόσεις ΙΩΝ. ISBN: 978-960-411-687-4
- [3] Ευθυμιάτος Διονύσιος (2007). *Ακουστική και Κτιριακές Εφαρμογές*. Αθήνα: Παπασωτηρίου Εκδόσεις. ISBN: 978-960-7530-94-3
- [4] Ποτηράκης Σ, Τάτλας Ν-Α (2019). *Εφαρμοσμένη Ακουστική* [Πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Χειμερινό Εξάμηνο 2019-2020. Αιγάλεω.
- [5] Ποτηράκης Σ, (2019). *Ηλεκτροακουστική* [Πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Χειμερινό Εξάμηνο 2019-2020. Αιγάλεω.
- [6] Community V2-1264 Loudspeaker Specifications. https://downloads.biamp.com/assets/docs/default-source/discontinued/biamp_data_sheets_community_v2-1264_two-way_12-inch_loudspeaker_jun21.pdf?sfvrsn=5be96fcb_4
- [7] Catt-A v9.1f:1 User's Manual Catt Acoustic™ v9.1f:1
- [8] Catt TUTC overview. <https://www.catt.se/TUCT/TUCToverview.html>
- [9] Hanna Autio, Nikolaos-Goergios Vardaxis, Delphine Bard Hagberg. "An Iterative Ray Tracing Algorithm to Increase Simulation Speed While Maintaining Overall Precision". Division of Engineering Acoustics, Lund University, P.O. Box 118, 221 00 Lund, Sweden. Acoustics 2023. <https://www.mdpi.com/2624-599X/5/1/19>
- [10] https://www.catt.se/synaudcon_catt-a.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

GEO FILE

LOCAL h = 6.18 ;geniko ypsos

LOCAL w = 18.3 ;main width

LOCAL d = 24.8 ;hall depth

;ABS audience = <40 50 60 70 80 80> L <30 40 50 60 70 80> { 255 0 0 }

;ABS paintedwall = <10 5 6 7 9 8> { 120 0 50 }

ABS ceramictiles = <1 1 1 2 2 2> { 0 100 160 }

ABS wood = < 10.0 7.0 9.0 6.0 6.0 5.0 : 4.0 3.0> L < 13 56 95 95 95 95 : 20 20 > { 255 255 0 }

*Wood, 25 mm with airspace

ABS wooddoor = <14.0 10 6.0 8.0 10.0 10.0 : 10.0 10.0> { 255 128 0 } *massive wooden door

ABS CARPET < 2 4 8 20 35 40 : 45 50 > { 192 192 192 } * CARPET THIN CEMENTED TO CONCRETE

ABS WOODFLOOR < 15 11 10 7 6 7 : 8 9 > { 255 150 45 } * WOODEN FLOOR ON JOISTS

ABS PLYWOOD1 = < 42 21 10 8 6 6 : 6 6 > { 156 191 195 } * THIN PLYWOOD PANELING

ABS RUBBERFLOOR = < 4 4 8 12 10 10 : 10 10 > { 160 146 241 } * 5MM RUBBER CARPET ON CONCRETE

ABS PLASTERBOARD = < 30.0 12.0 7.0 6.0 7.0 9.0 : 11 13 > { 156 191 195 }

ABS AUDIENCE = < 33.0 40.0 44.0 45.0 45.0 45.0> { 222 52 52 }

;ABS PERPLASTER = < 60 87 52 56 43 51 > { 0 255 255 }

ABS PERGYPSUM = < 60 87 56 56 43 51 >

ABS VINYL FLOOR = < 2.0 2.0 3.0 4.0 4.0 5.0 : 6.0 7.0 > { 192 192 250 } *vinyl glued to concrete

ABS WINDOW EXOSTIS = < 20 10 8.0 6.0 4.0 2.0 : 0.1 0.1 >

CORNERS

;mainfloor

16 -3.7 0 2.75

15 -3.7 4.2 2.75

14 -w/2 4.2 2.75

34 -w/2 8.1 2.75

13 -w/2 19.85 0

12 -w/2 21.38 0

1011 -w/2+2.49 21.38 0.7

11 -w/2+2.49 21.38 0

10 -w/2+4.57 d-1.32 0.7

9 -w/2+4.57 d 0.7
8 w/2-4.45 d 0.7
7 w/2-4.45 d-1.32 0.7
1006 w/2-2.37 21.38 0.7
6 w/2-2.37 21.38 0
5 w/2 21.38 0
4 w/2 19.85 0
33 w/2 8.1 2.75
3 w/2 4.2 2.75
2 3.7 4.2 2.75
1 3.7 0 2.75

;mainceiling

116 -3.7 0 5.2
1155 -3.7 4.2 6.85
11555 -3.7 4.2 4.87
115 -3.7 4.2 5.2
11444 -w/2 4.2 4.87
114 -w/2 4.2 6.85
113 -w/2 19.85 6.18
1256 -w/2 21.38 2.14
112 -w/2 21.38 5.3
1267 -w/2+2.49 21.38 2.14
111 -w/2+2.49 21.38 3.58
110 -w/2+4.57 d-1.32 3.58
109 -w/2+4.57 d 3.58
108 w/2-4.45 d 3.58
107 w/2-4.45 d-1.32 3.58
106 w/2-2.37 21.38 3.58
105 w/2 21.38 5.3
104 w/2 19.85 6.18
10333 w/2 4.2 4.89
103 w/2 4.2 6.85
10222 3.7 4.2 4.89
1022 3.7 4.2 6.85
102 3.7 4.2 5.2
101 3.7 0 5.2

;main toixos dexia

1085 w/2 19.18 6.20
1081 w/2 18.33 6.25
1077 w/2 17.48 6.30
1073 w/2 16.63 6.35
1069 w/2 15.78 6.40
1065 w/2 14.93 6.45
1061 w/2 14.08 6.50

1057 w/2 13.23 6.55
1053 w/2 12.38 6.60
1049 w/2 11.53 6.65
1045 w/2 10.68 6.70
1041 w/2 9.83 6.75
1037 w/2 8.98 6.80
1033 w/2 8.1 6.85

;main toixos aristera

1086 -w/2 19.18 6.20
1082 -w/2 18.33 6.25
1078 -w/2 17.48 6.30
1074 -w/2 16.63 6.35
1070 -w/2 15.78 6.40
1066 -w/2 14.93 6.45
1062 -w/2 14.08 6.50
1058 -w/2 13.23 6.55
1054 -w/2 12.38 6.60
1050 -w/2 11.53 6.65
1046 -w/2 10.68 6.70
1042 -w/2 9.83 6.75
1038 -w/2 8.98 6.80
1034 -w/2 8.1 6.85

;SKALOPATIA

;skalopati 1

37 w/2 8.98 2.60
38 -w/2 8.98 2.60

;skalopati 2

41 w/2 9.83 2.40
42 -w/2 9.83 2.40

;skalopati 3

45 w/2 10.68 2.20
46 -w/2 10.68 2.20

;skalopati 4

49 w/2 11.53 2.00
50 -w/2 11.53 2.00

;skalopati 5

53 w/2 12.38 1.80
54 -w/2 12.38 1.80

;skalopati 6

57 w/2 13.23 1.60
58 -w/2 13.23 1.60

;skalopati7

61 w/2 14.08 1.40
62 -w/2 14.08 1.40

;skalopati 8
65 w/2 14.93 1.20
66 -w/2 14.93 1.20
;skalopati 9
69 w/2 15.78 1.00
70 -w/2 15.78 1.00
;skalopati10
73 w/2 16.63 0.80
74 -w/2 16.63 0.80
;skalopati11
77 w/2 17.48 0.60
78 -w/2 17.48 0.60
;skalopati12
81 w/2 18.33 0.40
82 -w/2 18.33 0.40
;skalopati13
85 w/2 19.18 0.20
86 -w/2 19.18 0.20

;FASES SKALOPATION

;fasa 1
35 w/2 8.1 2.60
36 -w/2 8.1 2.60
;fasa 2
39 w/2 8.98 2.40
40 -w/2 8.98 2.40
;fasa 3
43 w/2 9.83 2.20
44 -w/2 9.83 2.20
;fasa 4
47 w/2 10.68 2.00
48 -w/2 10.68 2.00
;fasa 5
51 w/2 11.53 1.80
52 -w/2 11.53 1.80
;fasa 6
55 w/2 12.38 1.60
56 -w/2 12.38 1.60
;fasa 7
59 w/2 13.23 1.40
60 -w/2 13.23 1.40
;fasa 8
63 w/2 14.08 1.20
64 -w/2 14.08 1.20
;fasa 9

67 w/2 14.93 1.00
68 -w/2 14.93 1.00
;fasa 10
71 w/2 15.78 0.80
72 -w/2 15.78 0.80
;fasa 11
75 w/2 16.63 0.60
76 -w/2 16.63 0.60
;fasa 12
79 w/2 17.48 0.40
80 -w/2 17.48 0.40
;fasa 13
83 w/2 18.33 0.20
84 -w/2 18.33 0.20
;fasa 14
87 w/2 19.18 0
88 -w/2 19.18 0

;portes

;porta_aristera eisodos
144 -w/2+1.33 4.2 2.75
1444 -w/2+1.33 4.2 4.87
155 -w/2+2.19 4.2 2.75
1555 -w/2+2.19 4.2 4.87

;porta deksia eisodos
22 4.65 4.2 2.75
222 4.65 4.2 4.89
333 6.09 4.2 2.75
3333 6.09 4.2 4.89

;porta aristera kato
125 -w/2+0.15 21.38 0
1255 -w/2+0.15 21.38 2.14
126 -w/2+0.99 21.38 0
1266 -w/2+0.99 21.38 2.14

;porta skini aristera
1099 -w/2+4.57 d 2.68
1098 -w/2+4.57 d-0.72 2.68
1097 -w/2+4.57 d-0.72 0.7
1096 -w/2+4.57 d-1.32 2.68

;porta skini dexia
10888 w/2-4.45 d 2.68

10877 w/2-4.45 d-0.72 2.68
10866 w/2-4.45 d-0.72 0.7
10855 w/2-4.45 d-1.32 2.68

;porta kiria eisodos

14555 -w/2 5.45 2.75
14556 -w/2 5.45 4.90
14557 -w/2 7.25 4.90
14558 -w/2 7.25 2.75
14559 -w/2 4.2 4.90
14560 -w/2 8.1 4.90

;EDRANA ARISTERA

;EDRANO 1

3666 -w/2+1.15 8.15 2.60
3888 -w/2+1.15 8.45 2.60
3777 -w/2+8.35 8.15 2.60
3999 -w/2+8.35 8.45 2.60

3667 -w/2+1.15 8.15 3.36
3889 -w/2+1.15 8.45 3.36
3778 -w/2+8.35 8.15 3.36
4000 -w/2+8.35 8.45 3.36

;EDRANO 2

4001 -w/2+1.15 9.03 2.40
4201 -w/2+1.15 9.33 2.40
4002 -w/2+8.35 9.03 2.40
4202 -w/2+8.35 9.33 2.40

4101 -w/2+1.15 9.03 3.16
4301 -w/2+1.15 9.33 3.16
4102 -w/2+8.35 9.03 3.16
4302 -w/2+8.35 9.33 3.16

;EDRANO 3

4401 -w/2+1.15 9.88 2.20
4601 -w/2+1.15 10.18 2.20
4402 -w/2+8.35 9.88 2.20
4602 -w/2+8.35 10.18 2.20

4501 -w/2+1.15 9.88 2.96
4701 -w/2+1.15 10.18 2.96

4502 -w/2+8.35 9.88 2.96
4702 -w/2+8.35 10.18 2.96

;EDRANO 4

4801 -w/2+1.15 10.73 2.00
5001 -w/2+1.15 11.03 2.00
4802 -w/2+8.35 10.73 2.00
5002 -w/2+8.35 11.03 2.00

4901 -w/2+1.15 10.73 2.76
5101 -w/2+1.15 11.03 2.76
4902 -w/2+8.35 10.73 2.76
5102 -w/2+8.35 11.03 2.76

;EDRANO 5

5201 -w/2+1.15 11.58 1.80
5401 -w/2+1.15 11.88 1.80
5202 -w/2+8.35 11.58 1.80
5402 -w/2+8.35 11.88 1.80

5301 -w/2+1.15 11.58 2.56
5501 -w/2+1.15 11.88 2.56
5302 -w/2+8.35 11.58 2.56
5502 -w/2+8.35 11.88 2.56

;EDRANO 6

5601 -w/2+1.15 12.43 1.60
5801 -w/2+1.15 12.73 1.60
5602 -w/2+8.35 12.43 1.60
5802 -w/2+8.35 12.73 1.60

5701 -w/2+1.15 12.43 2.36
5901 -w/2+1.15 12.73 2.36
5702 -w/2+8.35 12.43 2.36
5902 -w/2+8.35 12.73 2.36

;EDRANO 7

6001 -w/2+1.15 13.28 1.40
6201 -w/2+1.15 13.58 1.40
6002 -w/2+8.35 13.28 1.40
6202 -w/2+8.35 13.58 1.40

6101 -w/2+1.15 13.28 2.16
6301 -w/2+1.15 13.58 2.16
6102 -w/2+8.35 13.28 2.16
6302 -w/2+8.35 13.58 2.16

;EDRANO 8

6401 -w/2+1.15 14.13 1.20
6601 -w/2+1.15 14.43 1.20
6402 -w/2+8.35 14.13 1.20
6602 -w/2+8.35 14.43 1.20

6501 -w/2+1.15 14.13 1.96
6701 -w/2+1.15 14.43 1.96
6502 -w/2+8.35 14.13 1.96
6702 -w/2+8.35 14.43 1.96

;EDRANO 9

6801 -w/2+1.15 14.98 1.00
7001 -w/2+1.15 15.28 1.00
6802 -w/2+8.35 14.98 1.00
7002 -w/2+8.35 15.28 1.00

6901 -w/2+1.15 14.98 1.76
7101 -w/2+1.15 15.28 1.76
6902 -w/2+8.35 14.98 1.76
7102 -w/2+8.35 15.28 1.76

;EDRANO 10

7201 -w/2+1.15 15.83 0.80
7401 -w/2+1.15 16.13 0.80
7202 -w/2+8.35 15.83 0.80
7402 -w/2+8.35 16.13 0.80

7301 -w/2+1.15 15.83 1.56
7501 -w/2+1.15 16.13 1.56
7302 -w/2+8.35 15.83 1.56
7502 -w/2+8.35 16.13 1.56

;EDRANO 11

7601 -w/2+1.15 16.68 0.60
7801 -w/2+1.15 16.98 0.60
7602 -w/2+8.35 16.68 0.60

7802 -w/2+8.35 16.98 0.60

7701 -w/2+1.15 16.68 1.35

7901 -w/2+1.15 16.98 1.35

7702 -w/2+8.35 16.68 1.35

7902 -w/2+8.35 16.98 1.35

;EDRANO 12

8001 -w/2+1.15 17.53 0.40

8201 -w/2+1.15 17.83 0.40

8002 -w/2+8.35 17.53 0.40

8202 -w/2+8.35 17.83 0.40

8101 -w/2+1.15 17.53 1.16

8301 -w/2+1.15 17.83 1.16

8102 -w/2+8.35 17.53 1.16

8302 -w/2+8.35 17.83 1.16

;EDRANA DEKSIA

;EDRANO 1

3501 w/2-1.15 8.15 2.60

3701 w/2-1.15 8.45 2.60

3502 w/2-8.35 8.15 2.60

3702 w/2-8.35 8.45 2.60

3601 w/2-1.15 8.15 3.36

3801 w/2-1.15 8.45 3.36

3602 w/2-8.35 8.15 3.36

3802 w/2-8.35 8.45 3.36

;EDRANO 2

39001 w/2-1.15 9.03 2.40

41001 w/2-1.15 9.33 2.40

39002 w/2-8.35 9.03 2.40

41002 w/2-8.35 9.33 2.40

40001 w/2-1.15 9.03 3.16

42001 w/2-1.15 9.33 3.16

40002 w/2-8.35 9.03 3.16

42002 w/2-8.35 9.33 3.16

;EDRANO 3

43001 w/2-1.15 9.88 2.20
45001 w/2-1.15 10.18 2.20
43002 w/2-8.35 9.88 2.20
45002 w/2-8.35 10.18 2.20

44001 w/2-1.15 9.88 2.96
46001 w/2-1.15 10.18 2.96
44002 w/2-8.35 9.88 2.96
46002 w/2-8.35 10.18 2.96

;EDRANO 4

47001 w/2-1.15 10.73 2.00
49001 w/2-1.15 11.03 2.00
47002 w/2-8.35 10.73 2.00
49002 w/2-8.35 11.03 2.00

48001 w/2-1.15 10.73 2.76
50001 w/2-1.15 11.03 2.76
48002 w/2-8.35 10.73 2.76
50002 w/2-8.35 11.03 2.76

;EDRANO 5

51001 w/2-1.15 11.58 1.80
53001 w/2-1.15 11.88 1.80
51002 w/2-8.35 11.58 1.80
53002 w/2-8.35 11.88 1.80

52001 w/2-1.15 11.58 2.56
54001 w/2-1.15 11.88 2.56
52002 w/2-8.35 11.58 2.56
54002 w/2-8.35 11.88 2.56

;EDRANO 6

55001 w/2-1.15 12.43 1.60
57001 w/2-1.15 12.73 1.60
55002 w/2-8.35 12.43 1.60
57002 w/2-8.35 12.73 1.60

56001 w/2-1.15 12.43 2.36
58001 w/2-1.15 12.73 2.36
56002 w/2-8.35 12.43 2.36
58002 w/2-8.35 12.73 2.36

;EDRANO 7

59001 w/2-1.15 13.28 1.40
61001 w/2-1.15 13.58 1.40
59002 w/2-8.35 13.28 1.40
61002 w/2-8.35 13.58 1.40

60001 w/2-1.15 13.28 2.16
62001 w/2-1.15 13.58 2.16
60002 w/2-8.35 13.28 2.16
62002 w/2-8.35 13.58 2.16

;EDRANO 8

63001 w/2-1.15 14.13 1.20
65001 w/2-1.15 14.43 1.20
63002 w/2-8.35 14.13 1.20
65002 w/2-8.35 14.43 1.20

64001 w/2-1.15 14.13 1.96
66001 w/2-1.15 14.43 1.96
64002 w/2-8.35 14.13 1.96
66002 w/2-8.35 14.43 1.96

;EDRANO 9

67001 w/2-1.15 14.98 1.00
69001 w/2-1.15 15.28 1.00
67002 w/2-8.35 14.98 1.00
69002 w/2-8.35 15.28 1.00

68001 w/2-1.15 14.98 1.76
70001 w/2-1.15 15.28 1.76
68002 w/2-8.35 14.98 1.76
70002 w/2-8.35 15.28 1.76

;EDRANO 10

71001 w/2-1.15 15.83 0.80
73001 w/2-1.15 16.13 0.80
71002 w/2-8.35 15.83 0.80
73002 w/2-8.35 16.13 0.80

72001 w/2-1.15 15.83 1.56
74001 w/2-1.15 16.13 1.56
72002 w/2-8.35 15.83 1.56

74002 w/2-8.35 16.13 1.56

;EDRANO 11

75001 w/2-1.15 16.68 0.60

77001 w/2-1.15 16.98 0.60

75002 w/2-8.35 16.68 0.60

77002 w/2-8.35 16.98 0.60

76001 w/2-1.15 16.68 1.35

78001 w/2-1.15 16.98 1.35

76002 w/2-8.35 16.68 1.35

78002 w/2-8.35 16.98 1.35

;EDRANO 12

79001 w/2-1.15 17.53 0.40

81001 w/2-1.15 17.83 0.40

79002 w/2-8.35 17.53 0.40

81002 w/2-8.35 17.83 0.40

80001 w/2-1.15 17.53 1.16

82001 w/2-1.15 17.83 1.16

80002 w/2-8.35 17.53 1.16

82002 w/2-8.35 17.83 1.16

;NEA SKALOPATIA

;skalopati1

36666 -w/2+1.15 8.10 2.60

37777 -w/2+8.35 8.10 2.60

38888 -w/2+1.15 8.98 2.60

39999 -w/2+8.35 8.98 2.60

35002 w/2-8.35 8.10 2.60

35001 w/2-1.15 8.10 2.60

37001 w/2-1.15 8.98 2.60

37002 w/2-8.35 8.98 2.60

;skalopati2

4011 -w/2+1.15 8.98 2.40

4012 -w/2+8.35 8.98 2.40

4211 -w/2+1.15 9.83 2.40

4212 -w/2+8.35 9.83 2.40

39011 w/2-1.15 8.98 2.40

39012 w/2-8.35 8.98 2.40

41011 w/2-1.15 9.83 2.40

41012 w/2-8.35 9.83 2.40

;skalopati 3

4411 -w/2+1.15 9.83 2.20

4412 -w/2+8.35 9.83 2.20

4611 -w/2+1.15 10.68 2.20

4612 -w/2+8.35 10.68 2.20

43011 w/2-1.15 9.83 2.20

43012 w/2-8.35 9.83 2.20

45011 w/2-1.15 10.68 2.20

45012 w/2-8.35 10.68 2.20

;skalopati 4

4811 -w/2+1.15 10.68 2.00

4812 -w/2+8.35 10.68 2.00

5011 -w/2+1.15 11.53 2.00

5012 -w/2+8.35 11.53 2.00

47011 w/2-1.15 10.68 2.00

47012 w/2-8.35 10.68 2.00

49011 w/2-1.15 11.53 2.00

49012 w/2-8.35 11.53 2.00

;skalopati 5

5211 -w/2+1.15 11.53 1.80

5212 -w/2+8.35 11.53 1.80

5411 -w/2+1.15 12.38 1.80

5412 -w/2+8.35 12.38 1.80

51011 w/2-1.15 11.53 1.80

51012 w/2-8.35 11.53 1.80

53011 w/2-1.15 12.38 1.80

53012 w/2-8.35 12.38 1.80

;skalopati 6

5611 -w/2+1.15 12.38 1.60
5612 -w/2+8.35 12.38 1.60
5811 -w/2+1.15 13.23 1.60
5812 -w/2+8.35 13.23 1.60

55011 w/2-1.15 12.38 1.60
55012 w/2-8.35 12.38 1.60
57011 w/2-1.15 13.23 1.60
57012 w/2-8.35 13.23 1.60

;skalopati 7

6011 -w/2+1.15 13.23 1.40
6012 -w/2+8.35 13.23 1.40
6211 -w/2+1.15 14.08 1.40
6212 -w/2+8.35 14.08 1.40

59011 w/2-1.15 13.23 1.40
59012 w/2-8.35 13.23 1.40
61011 w/2-1.15 14.08 1.40
61012 w/2-8.35 14.08 1.40

;skalopati 8

6411 -w/2+1.15 14.08 1.20
6412 -w/2+8.35 14.08 1.20
6611 -w/2+1.15 14.93 1.20
6612 -w/2+8.35 14.93 1.20

63011 w/2-1.15 14.08 1.20
63012 w/2-8.35 14.08 1.20
65011 w/2-1.15 14.93 1.20
65012 w/2-8.35 14.93 1.20

;skalopati 9

6811 -w/2+1.15 14.93 1.00
6812 -w/2+8.35 14.93 1.00
7011 -w/2+1.15 15.78 1.00
7012 -w/2+8.35 15.78 1.00

67011 w/2-1.15 14.93 1.00
67012 w/2-8.35 14.93 1.00
69011 w/2-1.15 15.78 1.00
69012 w/2-8.35 15.78 1.00

;skalopati 10

7211 -w/2+1.15 15.78 0.80
7212 -w/2+8.35 15.78 0.80
7411 -w/2+1.15 16.63 0.80
7412 -w/2+8.35 16.63 0.80

71011 w/2-1.15 15.78 0.80
71012 w/2-8.35 15.78 0.80
73011 w/2-1.15 16.63 0.80
73012 w/2-8.35 16.63 0.80

;skalopati 11

7611 -w/2+1.15 16.63 0.60
7612 -w/2+8.35 16.63 0.60
7811 -w/2+1.15 17.48 0.60
7812 -w/2+8.35 17.48 0.60

75011 w/2-1.15 16.63 0.60
75012 w/2-8.35 16.63 0.60
77011 w/2-1.15 17.48 0.60
77012 w/2-8.35 17.48 0.60

;skalopati 12

8011 -w/2+1.15 17.48 0.40
8012 -w/2+8.35 17.48 0.40
8211 -w/2+1.15 18.33 0.40
8212 -w/2+8.35 18.33 0.40

79011 w/2-1.15 17.48 0.40
79012 w/2-8.35 17.48 0.40
81011 w/2-1.15 18.33 0.40
81012 w/2-8.35 18.33 0.40

;kremasto panel orofis

90001 -w/2+1.15 8.1 6.50
90002 w/2-1.15 8.11 6.50
90003 -w/2+1.15 17.48 6.00
90004 w/2-1.15 17.48 6.00
90005 -w/2+1.15 8.1 6.85
90006 w/2-1.15 8.1 6.85
90007 -w/2+1.15 17.48 6.30
90008 w/2-1.15 17.48 6.30

PLANES

;[1 floor /9 10 11 12 13 14 15 16 1 2 3 4 5 6 7 8/ ceramictiles]
[1 floor /1 2 3 33 34 14 15 16 / VINYL FLOOR]
[2 fasa skalopati1/ 33 35 36 34/ VINYL FLOOR]
;[3 skalopati1/ 35 37 38 36/ ceramictiles]
[4 fasa skalopati2 / 37 39 40 38/ VINYL FLOOR]
;[5 skalopati2 / 39 41 42 40/ ceramictiles]
[6 fasa skalopati3 / 41 43 44 42/ VINYL FLOOR]
;[7 skalopati 3 / 43 45 46 44 / ceramictiles]
[8 fasa skalopati4 / 45 47 48 46 / VINYL FLOOR]
;[9 skalopati4 / 47 49 50 48 / ceramictiles]
[10 fasa skalopati5 / 49 51 52 50 / VINYL FLOOR]
;[11 skalopati5 / 51 53 54 52 / ceramictiles]
[12 fasa skalopati6 / 53 55 56 54 / VINYL FLOOR]
;[13 skalopati6 / 55 57 58 56 / ceramictiles]
[14 fasa skalopati7 / 57 59 60 58 / VINYL FLOOR]
;[15 skalopati7 / 59 61 62 60 / ceramictiles]
[16 fasa skalopati8 / 61 63 64 62 / VINYL FLOOR]
;[17 skalopati8 / 63 65 66 64 / ceramictiles]
[18 fasa skalopati9 / 65 67 68 66 / VINYL FLOOR]
;[19 skalopati9 / 67 69 70 68 / ceramictiles]
[20 fasa skalopati10 / 69 71 72 70 / VINYL FLOOR]
;[21 skalopati10 / 71 73 74 72 / ceramictiles]
[22 fasa skalopati11 / 73 75 76 74 / VINYL FLOOR]
;[23 skalopati11 / 75 77 78 76 / ceramictiles]
[24 fasa skalopati12 / 77 79 80 78 / VINYL FLOOR]
;[25 skalopati12 / 79 81 82 80 / ceramictiles]
[26 fasa skalopati13 / 81 83 84 82 / VINYL FLOOR]
[27 skalopati13 / 83 85 86 84 / VINYL FLOOR]
[28 fasa skalopati14 / 85 87 88 86 / VINYL FLOOR]
[29 skalopati14 / 87 4 13 88 / VINYL FLOOR]
[30 xol skinis / 4 5 6 11 12 13 / VINYL FLOOR]
[31 skini brosta / 10 1011 1006 7 / WOOD FLOOR]
[32 skini piso / 7 8 9 10 / WOOD FLOOR]
[34 orofi esoxis /102 101 116 115/ PERGYPSUM]
[35 toixos1 esoxis /116 16 15 115/ PERGYPSUM]
[36 toixos2 esoxis /102 2 1 101/ PERGYPSUM]
[37 toixos2 esoxis /101 1 16 116/ PERGYPSUM]
[38 exostis / 1022 102 115 1155/ WINDOW EXOSTIS]
[39 mainceiling1 /103 114 1034 1033/ PERGYPSUM]
[40 orofi_klisi /104 113 112 105/ wood]
[41 ceiling / 111 110 109 108 107 106/ wood]
;[42 toixos_dexia / 103 3 2 1022/ wood]
;[43 toixos_aristera / 1155 15 14 114/ wood]
[44 toixos_dexia_klisi / 105 5 4 104 / wood]
[45 toixos_aristera_klisi / 113 13 12 112 / wood]

[46 toixos_dexia_piso / 1033 33 3 103 / PERGYPSUM]
 [47 1os kathetos dexia/ 1037 37 35 1033/ wood]
 [48 2os kathetos dexia/ 1041 41 39 1037/ wood]
 [49 3os kathetos dexia/ 1045 45 43 1041/ wood]
 [50 4os kathetos dexia/ 1049 49 47 1045/ wood]
 [51 5os kathetos dexia/ 1053 53 51 1049/ wood]
 [52 6os kathetos dexia/ 1057 57 55 1053/ wood]
 [53 7os kathetos dexia/ 1061 61 59 1057/ wood]
 [54 8os kathetos dexia/ 1065 65 63 1061/ wood]
 [55 9os kathetos dexia/ 1069 69 67 1065/ wood]
 [56 10os kathetos dexia/ 1073 73 71 1069/ wood]
 [57 11os kathetos dexia/ 1077 77 75 1073/ wood]
 [58 12os kathetos dexia/ 1081 81 79 1077/ wood]
 [59 13os kathetos dexia/ 1085 85 83 1081/ wood]
 [60 14os kathetos dexia/ 104 4 87 1085/ wood]
 ;[61 toixos_aristera_piso / 114 14 34 1034 / wood]
 [62 1os kathetos aristera/ 1034 36 38 1038/ wood]
 [63 2os kathetos aristera/ 1038 40 42 1042/ wood]
 [64 3os kathetos aristera/ 1042 44 46 1046/ wood]
 [65 4os kathetos aristera/ 1046 48 50 1050/ wood]
 [66 5os kathetos aristera/ 1050 52 54 1054/ wood]
 [67 6os kathetos aristera/ 1054 56 58 1058/ wood]
 [68 7os kathetos aristera/ 1058 60 62 1062/ wood]
 [69 8os kathetos aristera/ 1062 64 66 1066/ wood]
 [70 9os kathetos aristera/ 1066 68 70 1070/ wood]
 [71 10os kathetos aristera/ 1070 72 74 1074/ wood]
 [72 11os kathetos aristera/ 1074 76 78 1078/ wood]
 [73 12os kathetos aristera/ 1078 80 82 1082/ wood]
 [74 13os kathetos aristera/ 1082 84 86 1086/ wood]
 [75 14os kathetos aristera/ 1086 88 13 113/ wood]
 ;[76 mainceiling2/ 1033 1034 1038 1042 1046 1050 1054
 ;1058 1062 1066 1070 1074 1078 1082 1086 113 104
 ;1085 1081 1077 1073 1069 1065 1061 1057 1053 1049 1045 1041 1037/ wood]
 [77 skiki metopi/ 1011 11 6 1006/ WOODFLOOR]
 [78 klisimo orofis/ 112 111 106 105/ wood]
 [79 1os toixos skinis/ 109 9 8 108/ wood]
 ;[80 dexia toixos mikros skinis/ 108 8 7 107/ wood]
 ;[81 aristera toixos mikros skinis/ 110 10 9 109/ wood]
 [82 loksos aristera toixos skinis/111 1011 10 110/ wood]
 [83 loksos deksia toixos skinis/107 7 1006 106/ wood]
 ;[84 aristera main toixos piso/ 112 12 11 111/ wood]
 [85 deksia main toixos piso/ 106 6 5 105/ wood]
 [86 porta aristera/ 1555 155 144 1444/ woodendoor]
 [87 toixos1 aristera eisodos/ 11555 15 155 1555/ PERGYPSUM]
 [88 toixos2 aristera eisodos/ 1444 144 14 11444/ PERGYPSUM]
 [89 toixos3 aristera eisodos/ 1155 11555 11444 114/ PERGYPSUM]

[90 porta dexia/ 3333 333 22 222/ woodendoor]
[91 toixos1 dexia/ 10333 3 333 3333/ PERGYPSUM]
[92 toixos2 dexia/ 22 2 10222 222/ PERGYPSUM]
[93 toixos3 dexia/ 103 10333 10222 1022/ PERGYPSUM]
[94 porta aristera kato/ 1255 125 126 1266/ woodendoor]
[95 toixos1 aristera kato/ 1256 12 125 1255/ wood]
[96 toixos2 aristera kato/ 1266 126 11 1267/ wood]
[97 toixos3 aristera kato/ 112 1256 1267 111/ wood]
[98 porta aristera skini/ 1099 1098 1097 9/ woodendoor]
[99 toixos1 aristera porta skini/ 1098 1096 10 1097/ wood]
[100 toixos2 aristera porta skini/ 1099 109 110 1096/ wood]
[101 porta dexia skini/ 10877 10888 8 10866/ woodendoor]
[102 toixos1 dexia porta skini/ 10855 10877 10866 7/ wood]
[103 toixos2 dexia porta skini/ 107 108 10888 10855/ wood]
[104 porta kiria eisodos/ 14558 14557 14556 14555/ woodendoor]
[105 toixos1 kiria eisodos/ 14556 14559 14 14555/ PERGYPSUM]
[106 toixos2 kiria eisodos/ 14560 14557 14558 34/ PERGYPSUM]
[107 toixos3 kiria eisodos/ 1034 114 14559 14560/ PERGYPSUM]
[108 edrano1_aristera pagkos/ 3667 3778 4000 3889/ AUDIENCE]
[109 edrano1_aristera plagia1/ 3889 3888 3666 3667/ AUDIENCE]
[110 edrano1_aristera plagia2/ 3778 3777 3999 4000/ AUDIENCE]
[111 edrano1_aristera plati/ 4000 3999 3888 3889/ AUDIENCE]
;[112 edrano1_aristera vasi/ 3888 3666 3777 3999/ AUDIENCE]
[113 edrano2_aristera pagkos/ 4101 4102 4302 4301/ AUDIENCE]
[114 edrano2_aristera plagia1/ 4301 4201 4001 4101/ AUDIENCE]
[115 edrano2_aristera plagia2/ 4102 4002 4202 4302/ AUDIENCE]
[116 edrano2_aristera plati/ 4302 4202 4201 4301/ AUDIENCE]
;[117 edrano2_aristera vasi/ 4002 4202 4201 4001/ AUDIENCE]
[118 edrano3_pagkos/ 4501 4502 4702 4701/ AUDIENCE]
[119 edrano3_aristera plagia1/ 4701 4601 4401 4501/ AUDIENCE]
[120 edrano3_aristera plagia2/ 4502 4402 4602 4702/ AUDIENCE]
[121 edrano3_aristera plati/ 4702 4602 4601 4701/ AUDIENCE]
;[122 edrano3_aristera vasi/ 4402 4602 4601 4401/ AUDIENCE]
[123 edrano4_aristera pagkos/ 4901 4902 5102 5101/ AUDIENCE]
[124 edrano4_aristera plagia1/ 5101 5001 4801 4901/ AUDIENCE]
[125 edrano4_aristera plagia2/ 4902 4802 5002 5102/ AUDIENCE]
[126 edrano4_aristera plati/ 5102 5002 5001 5101/ AUDIENCE]
;[127 edrano4_aristera vasi/ 4802 5002 5001 4801/ AUDIENCE]
[128 edrano5_aristera pagkos/ 5301 5302 5502 5501/ AUDIENCE]
[129 edrano5_aristera plagia1/ 5501 5401 5201 5301/ AUDIENCE]
[130 edrano5_aristera plagia2/ 5302 5202 5402 5502/ AUDIENCE]
[131 edrano5_aristera plati/ 5502 5402 5401 5501/ AUDIENCE]
;[132 edrano5_aristera vasi/ 5202 5402 5401 5201/ AUDIENCE]
[133 edrano6_aristera pagkos/ 5701 5702 5902 5901/ AUDIENCE]
[134 edrano6_aristera plagia1/ 5901 5801 5601 5701/ AUDIENCE]
[135 edrano6_aristera plagia2/ 5702 5602 5802 5902/ AUDIENCE]

[136 edrano6_aristera plati/ 5902 5802 5801 5901/ AUDIENCE]
;[137 edrano6_aristera vasi/ 5602 5802 5801 5601/ AUDIENCE]
[138 edrano7_aristera pagkos/ 6101 6102 6302 6301/ AUDIENCE]
[139 edrano7_aristera plagia1/ 6301 6201 6001 6101/ AUDIENCE]
[140 edrano7_aristera plagia2/ 6102 6002 6202 6302/ AUDIENCE]
[141 edrano7_aristera plati/ 6302 6202 6201 6301/ AUDIENCE]
;[142 edrano7_aristera vasi/ 6002 6202 6201 6001/ AUDIENCE]
[143 edrano8_aristera pagkos/ 6501 6502 6702 6701/ AUDIENCE]
[144 edrano8_aristera plagia1/ 6701 6601 6401 6501/ AUDIENCE]
[145 edrano8_aristera plagia2/ 6502 6402 6602 6702/ AUDIENCE]
[146 edrano8_aristera plati/ 6702 6602 6601 6701/ AUDIENCE]
;[147 edrano8_aristera vasi/ 6402 6602 6601 6401/ AUDIENCE]
[148 edrano9_aristera pagkos/ 6901 6902 7102 7101/ AUDIENCE]
[149 edrano9_aristera plagia1/ 7101 7001 6801 6901/ AUDIENCE]
[150 edrano9_aristera plagia2/ 6902 6802 7002 7102/ AUDIENCE]
[151 edrano9_aristera plati/ 7102 7002 7001 7101/ AUDIENCE]
;[152 edrano9_aristera vasi/ 6802 7002 7001 6801/ AUDIENCE]
[153 edrano10_aristera pagkos/ 7301 7302 7502 7501/ AUDIENCE]
[154 edrano10_aristera plagia1/ 7501 7401 7201 7301/ AUDIENCE]
[155 edrano10_aristera plagia2/ 7302 7202 7402 7502/ AUDIENCE]
[156 edrano10_aristera plati/ 7502 7402 7401 7501/ AUDIENCE]
;[157 edrano10_aristera vasi/ 7202 7402 7401 7201/ AUDIENCE]
[158 edrano11_aristera pagkos/ 7701 7702 7902 7901/ AUDIENCE]
[159 edrano11_aristera plagia1/ 7901 7801 7601 7701/ AUDIENCE]
[160 edrano11_aristera plagia2/ 7702 7602 7802 7902/ AUDIENCE]
[161 edrano11_aristera plati/ 7902 7802 7801 7901/ AUDIENCE]
;[162 edrano11_aristera vasi/ 7602 7802 7801 7601/ AUDIENCE]
[163 edrano12_aristera pagkos/ 8101 8102 8302 8301/ AUDIENCE]
[164 edrano12_aristera plagia1/ 8301 8201 8001 8101/ AUDIENCE]
[165 edrano12_aristera plagia2/ 8102 8002 8202 8302/ AUDIENCE]
[166 edrano12_aristera plati/ 8301 8302 8202 8201/ AUDIENCE]
;[167 edrano12_aristera vasi/ 8002 8202 8201 8001/ AUDIENCE]
[168 edrano1_deksia pagkos/ 3601 3801 3802 3602/ AUDIENCE]
[169 edrano1_deksia plagia1/ 3601 3501 3701 3801/ AUDIENCE]
[170 edrano1_deksia plagia2/ 3802 3702 3502 3602/ AUDIENCE]
[171 edrano1_deksia plati/ 3801 3701 3702 3802/ AUDIENCE]
;[172 edrano1_deksia vasi/ 3501 3701 3702 3502/ AUDIENCE]
[173 edrano2_deksia pagkos/ 40001 42001 42002 40002/ AUDIENCE]
[174 edrano2_deksia plagia1/ 40001 39001 41001 42001/ AUDIENCE]
[175 edrano2_deksia plagia2/ 42002 41002 39002 40002/ AUDIENCE]
[176 edrano2_deksia plati/ 42001 41001 41002 42002/ AUDIENCE]
;[177 edrano2_deksia vasi/ 39001 41001 41002 39002/ AUDIENCE]
[178 edrano3_deksia pagkos/ 44001 46001 46002 44002/ AUDIENCE]
[179 edrano3_deksia plagia1/ 44001 43001 45001 46001/ AUDIENCE]
[180 edrano3_deksia plagia2/ 46002 45002 43002 44002/ AUDIENCE]
[181 edrano3_deksia plati/ 46001 45001 45002 46002/ AUDIENCE]

;[182 edrano3_deksia vasi/ 43001 45001 45002 43002/ AUDIENCE]
[183 edrano4_deksia pagkos/ 48001 50001 50002 48002/ AUDIENCE]
[184 edrano4_deksia plagia1/ 48001 47001 49001 50001/ AUDIENCE]
[185 edrano4_deksia plagia2/ 50002 49002 47002 48002/ AUDIENCE]
[186 edrano4_deksia plati/ 50001 49001 49002 50002/ AUDIENCE]
;[187 edrano4_deksia vasi/ 47001 49001 49002 47002/ AUDIENCE]
[188 edrano5_deksia pagkos/ 52001 54001 54002 52002/ AUDIENCE]
[189 edrano5_deksia plagia1/ 52001 51001 53001 54001/ AUDIENCE]
[190 edrano5_deksia plagia2/ 54002 53002 51002 52002/ AUDIENCE]
[191 edrano5_deksia plati/ 54001 53001 53002 54002/ AUDIENCE]
;[192 edrano5_deksia vasi/ 51001 53001 53002 51002/ AUDIENCE]
[193 edrano6_deksia pagkos/ 56001 58001 58002 56002/ AUDIENCE]
[194 edrano6_deksia plagia1/ 56001 55001 57001 58001/ AUDIENCE]
[195 edrano6_deksia plagia2/ 58002 57002 55002 56002/ AUDIENCE]
[196 edrano6_deksia plati/ 58001 57001 57002 58002/ AUDIENCE]
;[197 edrano6_deksia vasi/ 55001 57001 57002 55002/ AUDIENCE]
[198 edrano7_deksia pagkos/ 60001 62001 62002 60002/ AUDIENCE]
[199 edrano7_deksia plagia1/ 60001 59001 61001 62001/ AUDIENCE]
[200 edrano7_deksia plagia2/ 62002 61002 59002 60002/ AUDIENCE]
[201 edrano7_deksia plati/ 62001 61001 61002 62002/ AUDIENCE]
;[202 edrano7_deksia vasi/ 59001 61001 61002 59002/ AUDIENCE]
[203 edrano8_deksia pagkos/ 64001 66001 66002 64002/ AUDIENCE]
[204 edrano8_deksia plagia1/ 64001 63001 65001 66001/ AUDIENCE]
[205 edrano8_deksia plagia2/ 66002 65002 63002 64002/ AUDIENCE]
[206 edrano8_deksia plati/ 66001 65001 65002 66002/ AUDIENCE]
;[207 edrano8_deksia vasi/ 63001 65001 65002 63002/ AUDIENCE]
[208 edrano9_deksia pagkos/ 68001 70001 70002 68002/ AUDIENCE]
[209 edrano9_deksia plagia1/ 68001 67001 69001 70001/ AUDIENCE]
[210 edrano9_deksia plagia2/ 70002 69002 67002 68002/ AUDIENCE]
[211 edrano9_deksia plati/ 70001 69001 69002 70002/ AUDIENCE]
;[212 edrano9_deksia vasi/ 67001 69001 69002 67002/ AUDIENCE]
[213 edrano10_deksia pagkos/ 72001 74001 74002 72002/ AUDIENCE]
[214 edrano10_deksia plagia1/ 72001 71001 73001 74001/ AUDIENCE]
[215 edrano10_deksia plagia2/ 74002 73002 71002 72002/ AUDIENCE]
[216 edrano10_deksia plati/ 74001 73001 73002 74002/ AUDIENCE]
;[217 edrano10_deksia vasi/ 71001 73001 73002 71002/ AUDIENCE]
[218 edrano11_deksia pagkos/ 76001 78001 78002 76002/ AUDIENCE]
[219 edrano11_deksia plagia1/ 76001 75001 77001 78001/ AUDIENCE]
[220 edrano11_deksia plagia2/ 78002 77002 75002 76002/ AUDIENCE]
[221 edrano11_deksia plati/ 78001 77001 77002 78002/ AUDIENCE]
;[222 edrano11_deksia vasi/ 75001 77001 77002 75002/ AUDIENCE]
[223 edrano12_deksia pagkos/ 80001 82001 82002 80002/ AUDIENCE]
[224 edrano12_deksia plagia1/ 80001 79001 81001 82001/ AUDIENCE]
[225 edrano12_deksia plagia2/ 82002 81002 79002 80002/ AUDIENCE]
[226 edrano12_deksia plati/ 82001 81001 81002 82002/ AUDIENCE]
;[227 edrano12_deksia vasi/ 79001 81001 81002 79002/ AUDIENCE]

[228 skalopati1 kommati1/ 3999 39999 38888 3888/ VINYL FLOOR]
[229 skalopati1 kommati2/ 38888 38 36 36666/ VINYL FLOOR]
[230 skalopati1 kommati3/ 3666 36666 37777 3777/ AUDIENCE]
[231 skalopati1 kommati4/ 37777 35002 37002 39999/ VINYL FLOOR]
[232 skalopati1 kommati5/ 3701 37001 37002 3702/ VINYL FLOOR]
[233 skalopati1 kommati6/ 35001 3501 3502 35002/ AUDIENCE]
[234 skalopati1 kommati7/ 35 37 37001 35001/ VINYL FLOOR]
[235 skalopati2 kommati1/ 4202 4212 4211 4201/ VINYL FLOOR]
[236 skalopati2 kommati2/ 4011 4211 42 40/ VINYL FLOOR]
[237 skalopati2 kommati3/ 4012 4002 4001 4011/ AUDIENCE]
[238 skalopati2 kommati4/ 39012 41012 4212 4012/ VINYL FLOOR]
[239 skalopati2 kommati5/ 41001 41011 41012 41002/ VINYL FLOOR]
[240 skalopati2 kommati6/ 39011 39001 39002 39012/ AUDIENCE]
[241 skalopati2 kommati7/ 39 41 41011 39011/ VINYL FLOOR]
[242 skalopati3 kommati1/ 4602 4612 4611 4601/ VINYL FLOOR]
[243 skalopati3 kommati2/ 4411 4611 46 44/ VINYL FLOOR]
[244 skalopati3 kommati3/ 4412 4402 4401 4411/ AUDIENCE]
[245 skalopati3 kommati4/ 43012 45012 4612 4412/ VINYL FLOOR]
[246 skalopati3 kommati5/ 45001 45011 45012 45002/ VINYL FLOOR]
[247 skalopati3 kommati6/ 43011 43001 43002 43012/ AUDIENCE]
[248 skalopati3 kommati7/ 43 45 45011 43011/ VINYL FLOOR]
[249 skalopati4 kommati1/ 5002 5012 5011 5001/ VINYL FLOOR]
[250 skalopati4 kommati2/ 4811 5011 50 48/ VINYL FLOOR]
[251 skalopati4 kommati3/ 4812 4802 4801 4811/ AUDIENCE]
[252 skalopati4 kommati4/ 47012 49012 5012 4812/ VINYL FLOOR]
[253 skalopati4 kommati5/ 49001 49011 49012 49002/ VINYL FLOOR]
[254 skalopati4 kommati6/ 47011 47001 47002 47012/ AUDIENCE]
[255 skalopati4 kommati7/ 47 49 49011 47011/ VINYL FLOOR]
[256 skalopati5 kommati1/ 5402 5412 5411 5401/ VINYL FLOOR]
[257 skalopati5 kommati2/ 5211 5411 54 52/ VINYL FLOOR]
[258 skalopati5 kommati3/ 5212 5202 5201 5211/ AUDIENCE]
[259 skalopati5 kommati4/ 51012 53012 5412 5212/ VINYL FLOOR]
[260 skalopati5 kommati5/ 53001 53011 53012 53002/ VINYL FLOOR]
[261 skalopati5 kommati6/ 51011 51001 51002 51012/ AUDIENCE]
[262 skalopati5 kommati7/ 51 53 53011 51011/ VINYL FLOOR]
[263 skalopati6 kommati1/ 5802 5812 5811 5801/ VINYL FLOOR]
[264 skalopati6 kommati2/ 5611 5811 58 56/ VINYL FLOOR]
[265 skalopati6 kommati3/ 5612 5602 5601 5611/ AUDIENCE]
[266 skalopati6 kommati4/ 55012 57012 5812 5612/ VINYL FLOOR]
[267 skalopati6 kommati5/ 57001 57011 57012 57002/ VINYL FLOOR]
[268 skalopati6 kommati6/ 55011 55001 55002 55012/ AUDIENCE]
[269 skalopati6 kommati7/ 55 57 57011 55011/ VINYL FLOOR]
[270 skalopati7 kommati1/ 6202 6212 6211 6201/ VINYL FLOOR]
[271 skalopati7 kommati2/ 6011 6211 62 60/ VINYL FLOOR]
[272 skalopati7 kommati3/ 6012 6002 6001 6011/ AUDIENCE]
[273 skalopati7 kommati4/ 59012 61012 6212 6012/ VINYL FLOOR]

[274 skalopati7 kommati5/ 61001 61011 61012 61002/ VINYL FLOOR]
[275 skalopati7 kommati6/ 59011 59001 59002 59012/ AUDIENCE]
[276 skalopati7 kommati7/ 59 61 61011 59011/ VINYL FLOOR]
[277 skalopati8 kommati1/ 6602 6612 6611 6601/ VINYL FLOOR]
[278 skalopati8 kommati2/ 6411 6611 66 64/ VINYL FLOOR]
[279 skalopati8 kommati3/ 6412 6402 6401 6411/ AUDIENCE]
[280 skalopati8 kommati4/ 63012 65012 6612 6412/ VINYL FLOOR]
[281 skalopati8 kommati5/ 65001 65011 65012 65002/ VINYL FLOOR]
[282 skalopati8 kommati6/ 63011 63001 63002 63012/ AUDIENCE]
[283 skalopati8 kommati7/ 63 65 65011 63011/ VINYL FLOOR]
[284 skalopati9 kommati1/ 7002 7012 7011 7001/ VINYL FLOOR]
[285 skalopati9 kommati2/ 6811 7011 70 68/ VINYL FLOOR]
[286 skalopati9 kommati3/ 6812 6802 6801 6811/ AUDIENCE]
[287 skalopati9 kommati4/ 67012 69012 7012 6812/ VINYL FLOOR]
[288 skalopati9 kommati5/ 69001 69011 69012 69002/ VINYL FLOOR]
[289 skalopati9 kommati6/ 67011 67001 67002 67012/ AUDIENCE]
[290 skalopati9 kommati7/ 67 69 69011 67011/ VINYL FLOOR]
[291 skalopati10 kommati1/ 7402 7412 7411 7401/ VINYL FLOOR]
[292 skalopati10 kommati2/ 7211 7411 74 72/ VINYL FLOOR]
[293 skalopati10 kommati3/ 7212 7202 7201 7211/ AUDIENCE]
[294 skalopati10 kommati4/ 71012 73012 7412 7212/ VINYL FLOOR]
[295 skalopati10 kommati5/ 73001 73011 73012 73002/ VINYL FLOOR]
[296 skalopati10 kommati6/ 71011 71001 71002 71012/ AUDIENCE]
[297 skalopati10 kommati7/ 71 73 73011 71011/ VINYL FLOOR]
[298 skalopati11 kommati1/ 7802 7812 7811 7801/ VINYL FLOOR]
[299 skalopati11 kommati2/ 7611 7811 78 76/ VINYL FLOOR]
[300 skalopati11 kommati3/ 7612 7602 7601 7611/ AUDIENCE]
[301 skalopati11 kommati4/ 75012 77012 7812 7612/ VINYL FLOOR]
[302 skalopati11 kommati5/ 77001 77011 77012 77002/ VINYL FLOOR]
[303 skalopati11 kommati6/ 75011 75001 75002 75012/ AUDIENCE]
[304 skalopati11 kommati7/ 75 77 77011 75011/ VINYL FLOOR]
[305 skalopati12 kommati1/ 8202 8212 8211 8201/ VINYL FLOOR]
[306 skalopati12 kommati2/ 8011 8211 82 80/ VINYL FLOOR]
[307 skalopati12 kommati3/ 8012 8002 8001 8011/ AUDIENCE]
[308 skalopati12 kommati4/ 79012 81012 8212 8012/ VINYL FLOOR]
[309 skalopati12 kommati5/ 81001 81011 81012 81002/ VINYL FLOOR]
[310 skalopati12 kommati6/ 79011 79001 79002 79012/ AUDIENCE]
[311 skalopati12 kommati7/ 79 81 81011 79011/ VINYL FLOOR]
[312 edrano1_aristera plati2/ 3667 3666 3777 3778/ AUDIENCE]
[313 edrano2_aristera plati2/ 4101 4001 4002 4102/ AUDIENCE]
[314 edrano3_aristera plati2/ 4501 4401 4402 4502/ AUDIENCE]
[315 edrano4_aristera plati2/ 4901 4801 4802 4902/ AUDIENCE]
[316 edrano5_aristera plati2/ 5301 5201 5202 5302/ AUDIENCE]
[317 edrano6_aristera plati2/ 5701 5601 5602 5702/ AUDIENCE]
[318 edrano7_aristera plati2/ 6101 6001 6002 6102/ AUDIENCE]
[319 edrano8_aristera plati2/ 6501 6401 6402 6502/ AUDIENCE]

[320 edrano9_aristera plati2/ 6901 6801 6802 6902/ AUDIENCE]
[321 edrano10_aristera plati2/ 7301 7201 7202 7302/ AUDIENCE]
[322 edrano11_aristera plati2/ 7701 7601 7602 7702/ AUDIENCE]
[323 edrano12_aristera plati2/ 8101 8001 8002 8102/ AUDIENCE]
[324 edrano1_deksia plati2/ 3602 3502 3501 3601/ AUDIENCE]
[325 edrano2_deksia plati2/ 40002 39002 39001 40001 / AUDIENCE]
[326 edrano3_deksia plati2/ 44002 43002 43001 44001/ AUDIENCE]
[327 edrano4_deksia plati2/ 48002 47002 47001 48001/ AUDIENCE]
[328 edrano5_deksia plati2/ 52002 51002 51001 52001/ AUDIENCE]
[329 edrano6_deksia plati2/ 56002 55002 55001 56001/ AUDIENCE]
[330 edrano7_deksia plati2/ 60002 59002 59001 60001/ AUDIENCE]
[331 edrano8_deksia plati2/ 64002 63002 63001 64001/ AUDIENCE]
[332 edrano9_deksia plati2/ 68002 67002 67001 68001/ AUDIENCE]
[333 edrano10_deksia plati2/ 72002 71002 71001 72001/ AUDIENCE]
[334 edrano11_deksia plati2/ 76002 75002 75001 76001/ AUDIENCE]
[335 edrano12_deksia plati2/ 80002 79002 79001 80001/ AUDIENCE]
[336 cealing1 / 1034 1038 1037 1033/ wood]
[337 cealing2 / 1038 1042 1041 1037/ wood]
[338 cealing3 / 1042 1046 1045 1041/ wood]
[339 cealing4 / 1046 1050 1049 1045/ wood]
[340 cealing5 / 1050 1054 1053 1049/ wood]
[341 cealing6 / 1054 1058 1057 1053/ wood]
[342 cealing7 / 1058 1062 1061 1057/ wood]
[343 cealing8 / 1062 1066 1065 1061/ wood]
[344 cealing9 / 1066 1070 1069 1065/ wood]
[345 cealing10 / 1070 1074 1073 1069/ wood]
[346 cealing11 / 1074 1078 1077 1073/ wood]
[347 cealing12 / 1078 1082 1081 1077/ wood]
[348 cealing13 / 1082 1086 1085 1081/ wood]
[349 cealing14 / 1086 113 104 1085/ wood]
;[350 kremasto panel / 90003 90004 90002 90001/ PERPLASTER]
;[351 kremasto panel1 / 90005 90001 90002 90006/ PERPLASTER]
;[352 kremasto panel2 / 90006 90002 90004 90008/ PERPLASTER]
;[353 kremasto panel3 / 90005 90007 90003 90001/ PERPLASTER]
;[354 kremasto panel4 / 90008 90004 90003 90007/ PERPLASTER]
;[355 cealingnew / 90007 90005 1034 1078/ PLASTERBOARD]
;[356 cealingnew / 1033 90006 90008 1077/ PLASTERBOARD]

RECEIVER FILE

;PROJECT=

RECEIVERS

0 -0.8 17.83 1.6
2 -8 17.83 1.6
1 -4.4 17.83 1.6
3 -0.8 12.73 2.8
4 -4.4 12.73 2.8
5 -8 12.73 2.8
6 -0.8 8.15 3.8
7 -4.4 8.15 3.8
8 -8 8.15 3.8
9 0.8 17.83 1.6
10 8 17.83 1.6
11 4.4 17.83 1.6
12 0.8 12.73 2.8
13 4.4 12.73 2.8
14 8 12.73 2.8
15 0.8 8.15 3.8
16 4.4 8.15 3.8
17 8 8.15 3.8

SOURCE FILE

```
; ;natural source
SOURCE A0
DIRECTIVITY = "omni"
POS = 0.0 21.78 2.2
;AIMPOS = 0.0 21.38 1
AIMANGLES = 0 0
Lp1m_a = Lp_voice_normal ;speech input
END
```

```
SOURCE B3
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"
POS = -7.66 20.38 5.20
AIMANGLES = 165 22
Lp1m_a = Lp_voice_normal
MICSSENSITIVITY = -30
GAIN = <78 78 78 78 78 78 : 78 78>
END
```

```
SOURCE B4
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"
POS = 7.66 20.38 5.20
AIMANGLES = -165 22
Lp1m_a = Lp_voice_normal
MICSSENSITIVITY = -30
GAIN = <78 78 78 78 78 78 : 78 78>
END
```

```
SOURCE B5
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"
POS = 0 20.38 5.20
AIMANGLES = -180 25
Lp1m_a = Lp_voice_normal
MICSSENSITIVITY = -30
GAIN = <78 78 78 78 78 78 : 78 78>
END
```

RETURN