



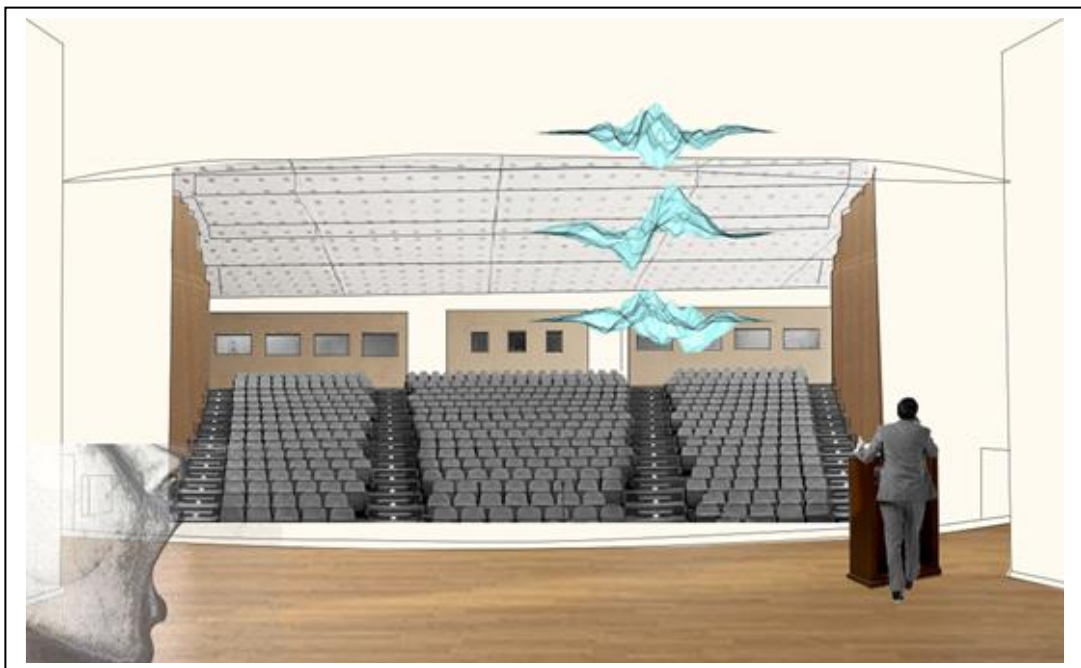
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Ακουστικός και ηλεκτροακουστικός σχεδιασμός κεντρικής αίθουσας  
Συνεδριακού Κέντρου (αμφιθέατρο)**



**Φοιτητής: ΤΡΙΓΩΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΜ: 45551**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**ΠΟΤΗΡΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ**

**Καθηγητής**

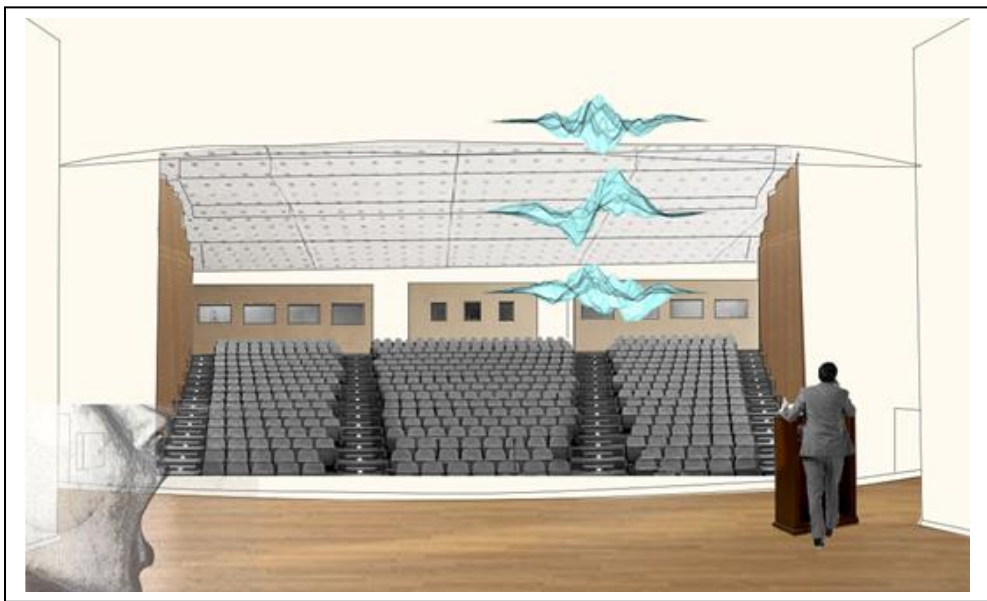
**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

### **Acoustic an Electroacoustic design of a conference center's Central Hall (amphitheatre)**



**Student: TRIGONIDIS DIMITRIOS**  
**Registration Number: 45551**

**Supervisor**

**POTIRAKIS STYLIANOS**  
**Professor**

**ATHENS-EGALEO, SEPTEMBER 2023**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Επιβλέπων

Μέλος

Μέλος

Στυλιανός Ποτηράκης  
Καθηγητής

Νικόλαος-Αλέξανδρος Τάτλας  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Οδυσσέας Τσακιρίδης  
Επίκουρος Καθηγητής

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Δημήτριος Τριγωνίδης,  
Σεπτέμβριος, 2023**

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

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, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Δημήτριος Τριγωνίδης του Θεοδώρου με αριθμό μητρώου 45551 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της 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. Είμαι αποκλειστικά υπεύθυνος για τυχόν θέματα πνευματικής ιδιοκτησίας που σχετίζονται με δημοσιευμένο υλικό στη παρούσα διπλωματική εργασία. 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 διπλώματός μου.»

Ο Δηλών



Δημήτριος Τριγωνίδης

Στον Σταύρο τον Κοσμά και τον Πέτρη.

Ευχαριστώ πολύ τον κ. Ποτηράκη και τον κ. Τάτλα για την βοήθεια και την καθοδήγηση τους, καθώς και το Εργαστήριο Εργαστήριο Τεχνολογιών Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών (Electronics and Computer Technologies Lab, ECTLab), που μου επέτρεψαν την χρήση του CATT-Acoustic που είναι εγκατεστημένο στο workstation Dell Precision 7920 Tower του Εργαστηρίου, για την εκπόνηση της διπλωματικής μου.

Ευχαριστώ επίσης, την Νικολέττα, την Μητέρα μου, την Αδερφή μου και τους φίλους για την βοήθεια και την στήριξη τους.

## Περίληψη

Αυτή η εργασία ασχολείται τη μελέτη της ακουστικής απόκρισης της κεντρικής αίθουσας (αμφιθέατρο) του Συνεδριακού Κέντρου της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και την πρόταση βελτιώσεών της. Η εκπόνησή της βασίστηκε σε μοντέλο ακουστικής προσομοίωσης που δημιουργήθηκε με το λογισμικό CATT-Acoustic. Απαραίτητο για την κατανόηση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων ήταν το θεωρητικό υπόβαθρο ακουστικής κλειστών χώρων, το οποίο και αναλύεται στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αφού περιγραφεί σύντομα ο τρόπος λειτουργίας του CATT-Acoustic, εξηγείται ο τρόπος σχεδίασης του μοντέλου από το μηδέν. Εκεί παρουσιάστηκαν και οι περισσότερες δυσκολίες. Βάσει αυτού του μοντέλου πραγματοποιείται μία πρώτη προσομοίωση και βάση αυτής αξιολογείται η ποιότητα των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται σχεδιαστική πρόταση βελτίωσης της ακουστικής του χώρου. Κατόπιν νέας προσομοίωσης, γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων προ και μετά της παρέμβασης. Η εργασία κλείνει με σύγκριση και αξιολόγηση των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων καθώς και μία αναφορά σε γενικότερα συμπεράσματα.

## Λέξεις – κλειδιά

Ακουστική μελέτη, Ακουστική Σχεδίαση, Συνεδριακό κέντρο, CATT-Acoustic, Ακουστική προσομοίωση, Μοντέλο, Χρόνος Αντήχησης, Καταληπτότητα Ομιλίας, Ακουστική Κλειστών Χώρων, C80, RT60, D50.

## **Abstract**

This work deals with the study of the acoustic response of the central hall (amphitheater) of the Conference Center in the University Campus of Ancient Olive Grove of the University of West Attica and suggests improvements. Its development was based on an acoustic simulation model created with CATT-Acoustic software. Essential for understanding and interpreting the results was the theoretical background of room acoustics, which is analyzed in the first chapter of the thesis. In the second chapter, after a brief description of the operation of CATT-Acoustic, the method of designing the model from scratch is explained. At this stage, most of the challenges were encountered. Based on the developed model, an initial simulation is performed, and the quality of the results is evaluated. Subsequently, a design proposal for improving the acoustics of the space is presented. Following a new simulation, the results before and after the intervention are compared. The work concludes with a comparison and evaluation of the aforementioned results, as well as a reference to more general conclusions.

## **Keywords**

Acoustic study, Acoustic design, Conference Centre, CATT-Acoustic, Acoustic simulation, simulation model, Reverb Time, Speech Intangibility, Closed Room Acoustics, C80, RT60, D50.



## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	10
Κατάλογος Εικόνων .....	10
Κατάλογος Σχημάτων .....	11
Κατάλογος Γραφημάτων .....	12
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>13</b>
<b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Θεωρητικό Υπόβαθρο Ακουστικής Κλειστών Χώρων.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Μικροί, μεγάλοι, πολύ μεγάλοι χώροι.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Παράγοντες Καλής Ακουστικής .....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Συντελεστής Απορρόφησης .....	16
1.2.2 Σταθερά Δωματίου, Κρίσιμη Απόσταση.....	16
1.2.3 Στάθμη Ηχητικής Πίεσης.....	17
1.2.4 Χρόνος Αντήχησης .....	17
1.2.5 Διάχυση .....	20
<b>1.3 Δυσάρεστα Ηχητικά Φαινόμενα.....</b>	<b>21</b>
1.3.1 Ηχώ.....	21
1.3.2 Πολλαπλή Ηχώ.....	21
1.3.3 Φαινόμενο Haas.....	21
1.3.4 Ηχητική Συγκέντρωση .....	22
1.3.5 Ηχητικές Σκιές .....	22
<b>1.4 Καταληπότητα Ομιλίας, Ενεργειακές Ακουστικές Παράμετροι .....</b>	<b>23</b>
1.4.1 Διακριτότητα – D50.....	23
1.4.2 Ευκρίνεια – C80.....	24
1.4.3 Επικάλυψη Συλλαβών.....	24
1.4.4 Δείκτης STI.....	26
<b>1.5 Γεωμετρική Ακουστική.....</b>	<b>26</b>
<b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Μελέτη Συνεδριακού Κέντρου, Πειραματικό .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Τεχνική Αναφορά .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 Το πρόγραμμα CATT-Acoustic .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 Δημιουργία Μοντέλου Προσομοίωσης.....</b>	<b>31</b>
2.3.1 Αρχιτεκτονικά Σχέδια, Υπό μελέτη Χώρος .....	31
2.3.2 Μοντέλο Προσομοίωσης στο CATT-Acoustic .....	34
2.3.3 Παραδοχές Μοντέλου.....	38
<b>2.4 Διαχείριση Δεδομένων, Μεθοδολογία .....</b>	<b>38</b>
<b>2.5 Προσομοίωση Μοντέλου .....</b>	<b>40</b>
2.5.1 Παράμετροι Προγράμματος CATT-Acoustic.....	40
2.5.2 Πρώτες Εντυπώσεις .....	43
2.5.3 Δοκιμές, Πρόταση Παρέμβασης .....	45
<b>2.6 Αποτελέσματα.....</b>	<b>46</b>
2.6.1 Αποτελέσματα αρχικού μοντέλου .....	46
2.6.2 Αποτελέσματα τελικού μοντέλου .....	53
2.6.3 Σύγκριση, σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	60
2.6.4 Απευθείας προς Αντηχητικό Πεδίο (D/R) .....	65
<b>3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>68</b>
<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές .....</b>	<b>69</b>
<b>Παράρτημα Α: Κώδικες CATT_Acoustic .....</b>	<b>70</b>
<b>Παράρτημα Β: Κώδικες MATLAB.....</b>	<b>82</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας (1) Ποσότητα 4m ανά συχνότητα, υγρασία και θερμοκρασία, για υπολογισμό RT60 σύμφωνα με τις σχέσεις (6) και (7). [3]

Πίνακας (2) Συντελεστές απορρόφησης υλικών αίθουσας. [3]

Πίνακας (3) – Συντελεστές Απορρόφησης για τα υλικά της παρέμβασης. [1] [5] [6]

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα (1) Δυσάρεστα Ηχητικά φαινόμενα και εκμετάλλευση γεωμετρίας/ανακλάσεων. [3]

Εικόνα (2) Διάγραμμα εισόδου/εξόδου του CATT-Acoustic. [4]

Εικόνα (3) Υπολογισμοί Κλίσεων σκεπής

Εικόνα (4) Υπολογισμοί γωνίας ακροατηρίου

Εικόνα (5) 3D μοντέλο Autocad

Εικόνα (6) 3D μοντέλο Autocad με τη διαμέριση σε επιμέρους τετράπλευρες και τρίγωνες επιφάνειες.

Εικόνα (7) Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, 3D απεικόνιση.

Εικόνα (8) Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, Κάτοψη

Εικόνα (9) Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, Εμπρόσθια Όψη.

Εικόνα (10) Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, Πλάγια Όψη.

Εικόνα (11) Απόκομμα από το παράθυρο αποτελεσμάτων του Predict SxR.

Εικόνα (12) Απόκομμα από το παράθυρο αποτελεσμάτων του Map Measures.

Εικόνα (13) Preferences CATT.

Εικόνα (14) Ρυθμίσεις Predict SxR.

Εικόνα (15) Ρυθμίσεις Map Direct Sound.

Εικόνα (16) Ρυθμίσεις Map Measures.

Εικόνα (17) Ακουστικές Παράμετροι Θέσης 1, Αποτέλεσμα Προσομοίωσης.

Εικόνα (18) Ακουστικές Παράμετροι Θέσης 4, Αποτέλεσμα Προσομοίωσης.

Εικόνα (19) Ακουστικές Παράμετροι Θέσης 17, Αποτέλεσμα Προσομοίωσης.

Εικόνα (20) Μοντέλο προσομοίωσης μετά τις προτεινόμενες παρεμβάσεις.

Εικόνα (21) Χρόνος Αντήχησης RT60 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (22) Στάθμη Πίεσης πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (23) Speech Transmission Index(STI) πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (24) Χρόνος Αντήχησης T15 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (25) Ευκρίνεια C80 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (26) Διακριτότητα D50 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (27) Χρόνος Αντήχησης EDT πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

Εικόνα (28) Ιστογράμματα Στάθμης Πίεσης SPL ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.

- Εικόνα (29) Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης RT60 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.  
Εικόνα (30) Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης T15 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.  
Εικόνα (31) Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης EDT ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.  
Εικόνα (32) Ιστογράμματα STI (Speech Transmission Index) ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.  
Εικόνα (33) Ιστογράμματα Ευκρίνειας C80 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.  
Εικόνα (34) Ιστογράμματα Διακριτότητας D50 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.  
Εικόνα (35) Χρόνος Αντήχησης T15 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (36) Ευκρίνεια C80 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (37) Διακριτότητα D50 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (38) Χρόνος Αντήχησης EDT μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (39) Χρόνος Αντήχησης RT60 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (40) Στάθμη Πίεσης SPL μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (41) Speech Transmission Index (STI) μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.  
Εικόνα (42) Ιστογράμματα Στάθμης Πίεσης SPL ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (43) Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης RT60 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (44) Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης T15 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (45) Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης EDT ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (46) Ιστογράμματα δείκτη STI ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (47) Ιστογράμματα Ευκρίνειας C80 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (48) Ιστογράμματα Διακριτότητας D50 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (49) Διαφορά Τελικών μείον αρχικών τιμών για κάθε παράμετρο.  
Εικόνα (50) Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A1, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (51) Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A2, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (52) Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A3, μετά την παρέμβαση.  
Εικόνα (53) Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A4, μετά την παρέμβαση.

### **Κατάλογος Σχημάτων**

- Σχήμα (1) - Κρίσιμη Απόσταση. [2]  
Σχήμα (2) – Υπολογισμός RT60 [2]  
Σχήμα (3) – Υπολογισμός EDT, T10, T20, T30 [1]  
Σχήμα (4) – Βέλτιστοι χρόνοι αντήχησης κατά Beranek. [1]  
Σχήμα (5) - Συχνότητα Αποκοπής και Διάχυτο Πεδίο. [2]  
Σχήμα (6) - Φαινόμενο Haas. [2]  
Σχήμα (7) Ενέργειες πρώιμων ανακλάσεων έως 80ms και του συνόλου των ανακλάσεων από 0ms έως 1000ms (θεωρητικά έως το άπειρο), για υπολογισμό D50 σύμφωνα με την Σχέση (10). [1]

Σχήμα (8) Ενέργειες πρώιμων ανακλάσεων έως 80ms και μεταγενέστερων από 80ms έως 1000ms (θεωρητικά έως το άπειρο), για υπολογισμό C80 σύμφωνα με την Σχέση (11). [1]

Σχήμα (9) Επικάλυψη συλλαβής παράδειγμα με την λέξη "την" (α) σε αίθουσα με μεγάλο χρόνο αντήχησης το "ν" καλύπτεται από το "τη" (β) σε αίθουσα με μικρό χρόνο αντήχησης και οι δύο ήχοι είναι διακριτοί. [1]

Σχήμα (10) Τιμές δείκτη STI και αντίστοιχος λεκτικός χαρακτηρισμός διαστημάτων τιμών.

Σχήμα (11) Προσδιορισμός ειδώλων πρώτης (α) Πλάγια τομή, (β) Κάτοψη. [3]

Σχήμα (12) Είδωλα 1ης και 2ης τάξης σε κλειστό ορθογώνιο χώρο. [3]

### **Κατάλογος Γραφημάτων**

Γράφημα (1) Μέση τιμή SPL όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Γράφημα (2) Μέση τιμή RT60 όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Γράφημα (3) Μέση τιμή T15 όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Γράφημα (4) Μέση τιμή EDT όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Γράφημα (5) Μέση τιμή STI όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Γράφημα (6) Μέση τιμή C80 όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Γράφημα (7) Μέση τιμή D50 όλων των θέσεων και μέση τιμή $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της ακουστικής απόκρισης ενός χώρου, ενώ σε πρώτη προσέγγιση μοιάζει να είναι μία εξεζητημένη ανάλυση με εξειδικευμένες εφαρμογές όπως θέατρα, στούντιο ηχογραφήσεων και παρόμοιους χώρους οι οποίοι έχουν άμεση και ξεκάθαρη σχέση με τον ήχο, στην πραγματικότητα συναντάται παντού. Από μια καφετέρια, στην ανάλυση ενός αρχαίου ναού, στον σχεδιασμό μιας αίθουσας συνεδριάσεων ακόμη και στον σχεδιασμό μεγάλων δρόμων λόγω της ηχορύπανσης που προκαλούν στις αστικές περιοχές. Ο ήχος, άλλωστε, είναι ένα μηχανικό κύμα που διαδίδεται στον αέρα, για αυτό και υπάρχει παντού γύρω μας. Ο οποιοσδήποτε, έρχεται σε επαφή με τον ήχο σε πολλές καταστάσεις στην καθημερινότητα του, και η αλληλεπίδραση που έχει με αυτόν δύναται να επηρεάσει την ποιότητα της ζωής του και τη διάθεση του αλλά κάποιες φορές και τη σωματική του υγεία. Μία ακουστική μελέτη δεν έχει αξία μόνο για εφαρμογές σχετιζόμενες με την μουσική, και μέρος του σκοπού αυτής της εργασίας είναι η ανάδειξη της ευρύτερης σημασίας που έχει η ακουστική κατανόηση ενός χώρου. Ωστόσο, άμεσος στόχος και κύριο θέμα της παρούσας διπλωματικής, αποτελεί η μελέτη και αξιολόγηση της ακουστικής ενός κλειστού αμφιθεατρικού χώρου και πιο συγκεκριμένα του Συνεδριακού Κέντρου της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με την βοήθεια ακουστικής/ηλεκτροακουστικής προσομοίωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και συνεπώς του υπό μελέτη χώρου, είναι η θεωρία της ακουστικής κλειστών χώρων, η οποία και περιγράφεται στο πρώτο κεφάλαιο. Κομμάτι αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε και η περαιτέρω εμβάθυνση, άρα και η βελτίωση της προσωπικής γνώσης, στην θεωρία της ακουστικής και των παραμέτρων της μέσω της ανάλυσης των πειραματικών αποτελεσμάτων καθώς και της αναζήτησης περαιτέρω θεωρητικών πηγών.

## 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Θεωρητικό Υπόβαθρο Ακουστικής Κλειστών Χώρων

Είναι πλέον αντιληπτό πως ο τρόπος που μελετάμε τον ήχο εξαρτάται πάρα πολύ από το είδος του χώρου και την προοριζόμενη χρήση του. Βάσει αυτών των παραμέτρων, στην εκάστοτε μελέτη, επιλέγουμε και προσεγγίζουμε την ανάλυση του χώρου, ώστε να προσδιορίσουμε αν τα ακουστικά χαρακτηριστικά του είναι ικανοποιητικά για τη χρήση του, και εάν όχι, πως μπορούν να βελτιστοποιηθούν.

Σε πρώτο στάδιο έχουμε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους κλειστούς χώρους και τους ανοιχτούς χώρους. Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε με την κεντρική αίθουσα (αμφιθέατρο) του συνεδριακού κέντρου της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστήμιου Δυτικής Αττικής το οποίο είναι ένας κλειστός χώρος και συνεπώς θα σταθούμε στην θεωρία των κλειστών χώρων.

### 1.1 Μικροί, μεγάλοι, πολύ μεγάλοι χώροι.

Ο ήχος και η μελέτη του αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα, καθώς οι παράμετροι που έχουν ουσία να εξετασθούν σε κάθε περίπτωση διαφέρουν. Για να διευκολυνθεί η κατάσταση αυτή, στην ακουστική κάθε ευρεία κατηγορία χώρου χωρίζεται σε υποκατηγορίες.

Έτσι όπως οι χώροι χωρίζονται σε κλειστούς και ανοιχτούς, οι κλειστοί χώροι χωρίζονται με την σειρά τους σε τρεις άλλες κατηγορίες. Αυτές είναι, οι μικροί χώροι, οι μεγάλοι χώροι και οι πολύ μεγάλοι χώροι. Αυτές οι κατηγορίες είναι συνδεδεμένες με τις φυσικές διαστάσεις του χώρου συναρτήσει της υπό μελέτη συχνότητας, η ισοδύναμα του μήκους κύματος που μας ενδιαφέρει.

Εάν το μήκος κύματος είναι το πολύ συγκρίσιμο με την μεγαλύτερη διάσταση του χώρου, ο χώρος αυτός θεωρείται μικρός. Εάν, η μικρότερη διάσταση του χώρου είναι τουλάχιστον δυο μήκη κύματος μεγαλύτερη από το μήκος κύματος της συχνότητας που μας ενδιαφέρει, τότε ο χώρος θεωρείται μεγάλος. Ενώ, εάν οι διαστάσεις του χώρου είναι τόσο μεγάλες ώστε η απορρόφηση από τον αέρα να επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά του ήχου, ο χώρος αυτός θεωρείται πολύ μεγάλος.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί η σχέση συχνότητας και διαστάσεων, καθώς ένας χώρος για μία συχνότητα μπορεί να θεωρείται μικρός ενώ για κάποια άλλη ο ίδιος χώρος να θεωρείται μεγάλος. Άρα είναι πολύ βασικό να γνωρίζουμε την προοριζόμενη χρήση του χώρου, προκειμένου να μελετάται η συμπεριφορά του στις συχνότητες που όντως μας ενδιαφέρουν.

Ανάλογα με το είδος του χώρου η προσέγγιση που έχουμε ως προς την μελέτη του είναι διαφορετική. Στους μικρούς χώρους η προσέγγιση που ακολουθείται αφορά κυρίως τα κυματικά φαινόμενα της συμβολής, των στάσιμων κυμάτων και των ιδιοσυntonισμών του χώρου.

Στους μεγάλους και στους πολύ μεγάλους χώρους, όπου τα κυματικά φαινόμενα είναι πολύ σύνθετα, η μελέτη γίνεται με την βοήθεια της στατιστικής και της γεωμετρικής ακουστικής.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής θα ασχοληθούμε κυρίως με τις δύο τελευταίες κατηγορίες, διότι ο υπό μελέτη χώρος εμπίπτει σε αυτές.

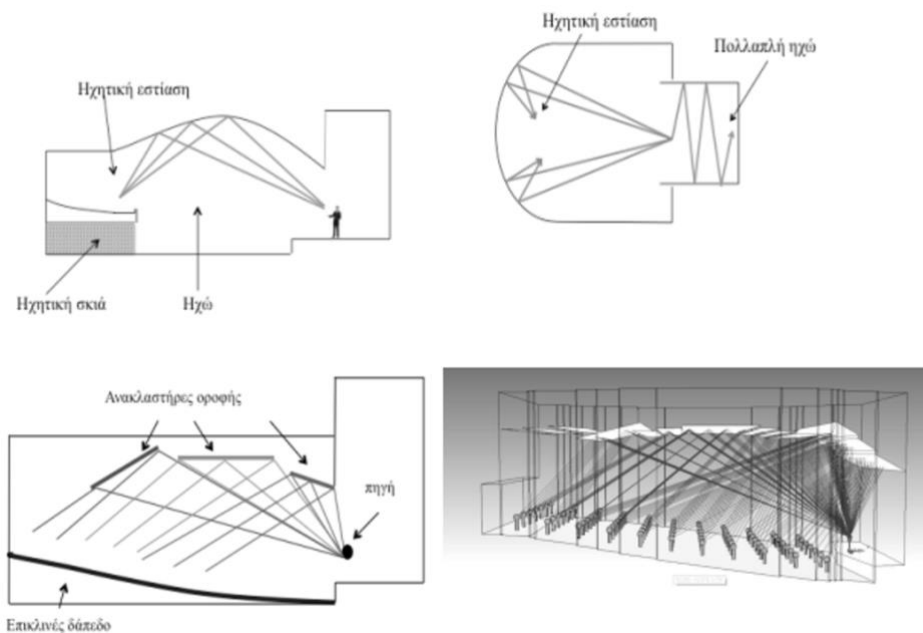
## 1.2 Παράγοντες Καλής Ακουστικής

Ο στόχος μιας μελέτης είναι η αξιολόγηση του χώρου και ο προσδιορισμός των αναγκών του, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα με τους διαθέσιμους πόρους. Κατά αντιστοιχία, στόχος μιας ακουστικής μελέτης είναι σε πρώτο χρόνο να προσδιοριστεί η ακουστική ποιότητα μιας αίθουσας με βάση τη λειτουργική της χρήση.

Σε δεύτερο χρόνο οφείλουν να προσδιοριστούν τα ενδεχόμενα περιθώρια βελτίωσης, ποια είναι αυτά και κατά πόσο είναι εφικτά. Το να έχει μία αίθουσα καλή ακουστική ωστόσο, δεν αφορά κάποια αυθαίρετη υποκειμενική κρίση. Στα πλαίσια της Ακουστικής Κλειστών Χώρων, μία αίθουσα θεωρείται ότι έχει καλή ακουστική όταν ικανοποιεί συγκεκριμένες αντικειμενικά μετρήσιμες προϋποθέσεις.

Αρχική προϋπόθεση αποτελεί η κατά το δυνατόν ισοκατανομή του ήχου παντού. Δηλαδή, κάθε ακροατής, ανεξάρτητα από την θέση του στον χώρο θα πρέπει να εκτίθεται στην ίδια περίπου στάθμη ακουστικής πίεσης.

Ο ήχος πρέπει να φτάνει στον κάθε ακροατή, πέρα από την ικανοποιητική στάθμη, και με τις κατάλληλες παραμέτρους για να είναι καταληπτός ή να προσδίδει την κατάλληλη ατμόσφαιρα. Αυτό για να επιτευχθεί θα πρέπει ο χρόνος αντήχησης, η καθαρότητα, η καταληπτότητα και άλλες ακουστικές παράμετροι που θα αναλυθούν στην συνέχεια, να έχουν τις βέλτιστες τιμές, πάντα με βάση την χρήση για την οποία προορίζεται η αίθουσα. Θα πρέπει να απουσιάζουν δυσάρεστα φαινόμενα όπως ηχώ, ηχητικές σκιές, ηχητικές παραμορφώσεις ή συγκεντρώσεις καθώς και το φαινόμενο της επικάλυψης.



Εικόνα (1) – Δυσάρεστα Ηχητικά φαινόμενα και εκμετάλλευση γεωμετρίας/ανακλάσεων. [3]

### 1.2.1 Συντελεστής Απορρόφησης

Οι συνθήκες καλής ακουστικής όπως προαναφέρθηκε είναι μετρήσιμες, ωστόσο για να υπολογιστούν είναι σημαντικό να γνωρίζουμε κάποια χαρακτηριστικά της αίθουσας.

Ο ήχος σε έναν χώρο είναι ένα μηχανικό κύμα το οποίο διαδίδεται στον αέρα ως μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης. Όταν συναντά κάποιο εμπόδιο, κάποιο ποσοστό του αντανακλάται και κάποιο ποσοστό του απορροφάται από την επιφάνεια του εμποδίου.

Το πρώτο και πολύ βασικό χαρακτηριστικό λοιπόν είναι η ηχοαπορρόφηση που παρουσιάζει η εκάστοτε αίθουσα δηλαδή.

Η απορρόφηση μιας αίθουσας, καθορίζεται από τα υλικά από τα οποία είναι δομημένη αυτή και είναι εν γένει διαφορετική ανά υπό μελέτη συχνότητα. Διαφορετικά υλικά αντιδρούν διαφορετικά στο προσπίπτον ηχητικό κύμα και κάθε υλικό αντιδρά διαφορετικά για κάθε συχνότητα. Με βάση αυτά, προκύπτει ο συντελεστής απορρόφησης και το κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο συντελεστών για ένα εύρος συχνοτήτων.

Συνήθως αυτοί οι συντελεστές δίνονται σε αποστάσεις οκτάβας για κεντρικές συχνότητες από 125 Hz έως 4 kHz. Και αυτό γιατί σχεδόν ποτέ δεν μελετάμε μια αίθουσα αποκλειστικά για μία συχνότητα, αλλά για ένα εύρος συχνοτήτων που αφορά την εφαρμογή που μας ενδιαφέρει.

Γνωρίζοντας το εμβαδόν κάθε επιφάνειας και τον αντίστοιχο συντελεστή απορρόφησης μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο συντελεστή απορρόφησης της αίθουσας με την βοήθεια της Σχέσης (1) [1]:

$$\bar{a} = a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + \dots + a_n S_n, \quad (1)$$

όπου  $S_1, S_2, \dots, S_n$  το εμβαδόν κάθε επιμέρους επιφάνειας και  $a_1, a_2, \dots, a_n$  οι αντίστοιχοι συντελεστές απορρόφησης.

Γνωρίζοντας την απορρόφηση, μπορούμε να υπολογίσουμε άλλες ακουστικές ιδιότητες της αίθουσας οι οποίες μας βοηθούν να την αξιολογήσουμε.

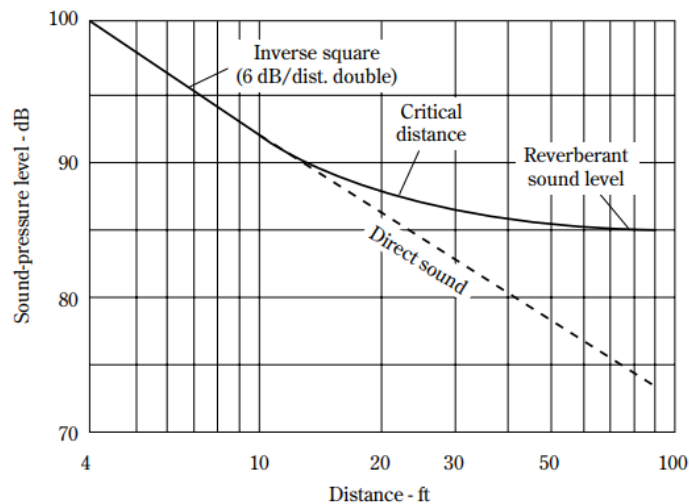
### 1.2.2 Σταθερά Δωματίου, Κρίσιμη Απόσταση.

Η Σχέση (2) [1] εκφράζει την σταθερά δωματίου (Room Constant):

$$R_c = \frac{S\bar{a}}{1 - \bar{a}}. \quad (2)$$

Η σταθερά δωματίου περιγράφει την απορρόφηση ενός χώρου σε σχέση με το συνολικό εμβαδόν των απορροφητικών επιφανειών του. Εξίσου χρήσιμος όρος είναι και η κρίσιμη απόσταση, η οποία εξυπηρετεί τον προσδιορισμό της απόστασης από την πηγή ήχου όπου το ανακλώμενο (αντηχητικό) ηχητικό πεδίο αρχίζει να υπερισχύει του απευθείας πεδίου, πληροφορία πολύ χρήσιμη για τον προσδιορισμό της καταληπτότητας της ομιλίας. Κρίσιμη απόσταση λοιπόν, ορίζεται η απόσταση από την πηγή για την οποία το απευθείας (Direct) πεδίο και το αντηχητικό (Reverberant) πεδίο έχουν την ίδια στάθμη. Στο Σχήμα (1) απεικονίζεται διαγραμματικά ο ορισμός της κρίσιμης απόστασης.





Σχήμα (1) - Κρίσιμη Απόσταση. [2]

### 1.2.3 Στάθμη Ηχητικής Πίεσης

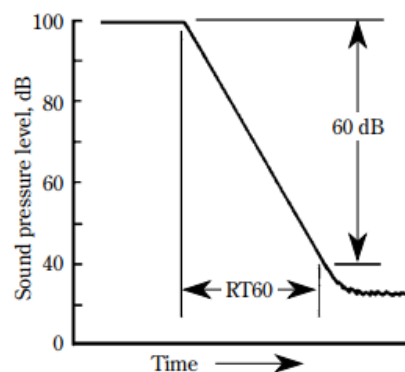
Η στάθμη πίεσης σε κάθε σημείο κλειστού χώρου μπορεί να υπολογιστεί με την εξίσωση Hopkins-Stryker (Σχέση (3) [1]), αν είναι γνωστά η στάθμη ισχύος της πηγής ήχου ( $L_w$ ) και η σταθερά δωματίου ( $R_c$ ):

$$L_p = L_w + \log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_c} \right], \quad (3)$$

όπου  $Q$  η κατευθυντικότητα της πηγής και  $r$  η απόσταση από αυτή.

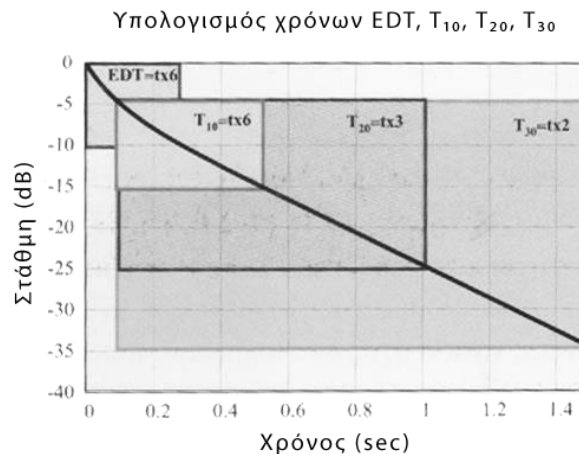
### 1.2.4 Χρόνος Αντήησης

Το σημαντικότερο ίσως χαρακτηριστικό το οποίο προδίδει πολλά για την συμπεριφορά του χώρου είναι ο χρόνος αντήησης. Ο χρόνος αντήησης συνιστά το πρώτο στοιχείο, και επηρεάζει όλες τις υπόλοιπες ακουστικές παραμέτρους ενός κλειστού χώρου. Επομένως ο υπολογισμός του είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Τον χρόνο αντήησης μπορούμε να τον προσεγγίσουμε με διάφορους τρόπους, ανάλογα τα δεδομένα, έτσι οι συντελεστές που προκύπτουν είναι οι EDT, T15, T30, T60.



Σχήμα (2) – Υπολογισμός RT60. [2]

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα (2). Ως χρόνος αντήχησης RT60 ή T60 (Reverberation Time) ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε η στάθμη του πίεσης ( $L_p$ ) σε κάποιο σημείο να ελαττωθεί κατά 60 dB, μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου ήχου από την πηγή. Οι υπόλοιποι συντελεστές προκύπτουν με την ίδια λογική, μετρώντας αρχικά το χρόνο για διαφορετικές ελαττώσεις της στάθμης (και διαφορετική αρχική στάθμη στους περισσότερους), και κάνοντας αναγωγή του χρόνου ελάττωσης στα 60 dB, όπως φαίνεται και στο Σχήμα (3).



Σχήμα (3) – Υπολογισμός EDT, T10,T20,T30. [1]

Σε μεγάλους χώρους ο χρόνος αντήχησης RT60 μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά κατά Sabine σύμφωνα με τη Σχέση (4) [1]:

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{A_s}, \quad (4)$$

όπου  $V$  ο όγκος του χώρου και  $A_s = \bar{a}S$  η συνολική απορρόφηση του χώρου, με το  $S$  να αποτελεί το συνολικό εμβαδόν των επιφανειών της αίθουσας. Αλλιώς μπορεί να υπολογιστεί κατά Norris-Eyring σύμφωνα με τη Σχέση (5) [1]:

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{A_N}, \quad (5)$$

όπου  $A_N = S \ln(1 - \bar{a})^{-1}$ .

Ο τύπος των Norris-Eyring υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια τον χρόνο αντήχησης των κλειστών χώρων, όταν η απορρόφηση όλων των επιφανειών που περικλείουν τον χώρο είναι η ίδια. Στην περίπτωση που υπάρχουν έντονες διαφορές στην απορρόφηση των επιφανειών που περιορίζουν τον χώρο, οι αποκλίσεις από τις μετρούμενες τιμές είναι σημαντικές και για τον λόγο αυτό στις συγκεκριμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τα μοντέλα Sette-Millington, Kuttruf, Sabine-Franklin, Kuttruff-Embleton.

Σε περιπτώσεις που ο χώρος είναι πάρα πολύ μεγάλος, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η απορρόφηση του αέρα άρα ο χρόνος αντήχησης υπολογίζεται από τις Σχέσεις (6) και (7) [1]:

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{A_s + 4mV} , \quad (6)$$

κατά Norris-Erryng και,

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{A_N + 4mV} , \quad (7)$$

κατά Sabine,

όπου  $m$  ο συντελεστής εξασθένησης της ενέργειας, ο οποίος εξαρτάται από την υγρασία και την συχνότητα και υπολογίζεται προσεγγιστικά από την Σχέση (8) [1]:

$$m = 5.5 \left( \frac{50}{h} \right) \left( \frac{f}{1000} \right)^{1.7} 10^{-4} , \quad (8)$$

όπου  $h$  η σχετική υγρασία εκφρασμένη σε ποσοστό επί τις εκατό.

Ο προσεγγιστικός αυτός τύπος έχει καλύτερα αποτελέσματα για  $20\% < h < 70\%$  και  $1.5 \text{ kHz} < f < 10 \text{ kHz}$ .

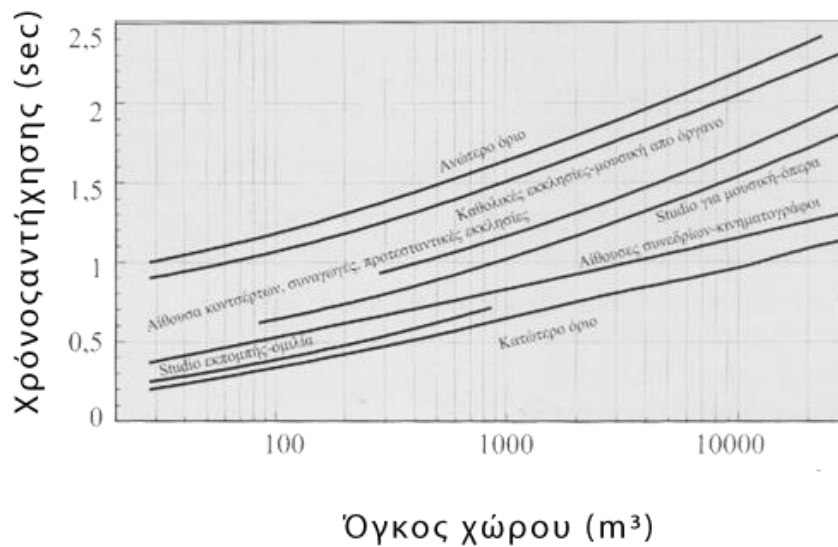
Για ευκολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας (1), ο οποίος δίνει την τιμή  $4m$ .

Σχετική Υγρασία %	Θερμοκρασία	Συχνότητα (Hz)			
		2000	4000	6300	8000
30%	15	0.0143	0.0486	0.1056	0.1360
	20	0.01190	0.0379	0.0840	0.1360
	25	0.0114	0.0313	0.685	0.1360
	30	0.0281	0.0281	0.0564	0.1360
50%	15	0.0099	0.0286	0.0626	0.0860
	20	0.0096	0.0244	0.0503	0.0860
	25	0.0095	0.0235	0.0444	0.0860
	30	0.0092	0.0233	0.0426	0.0860
70%	15	0.0088	0.0223	0.0454	0.0600
	20	0.0085	0.0213	0.0399	0.0600
	25	0.0084	0.0211	0.0388	0.0600
	30	0.0082	0.0207	0.0383	0.0600

Πίνακας (1) – Ποσότητα  $4m$  ανά συχνότητα, υγρασία και θερμοκρασία, για υπολογισμό  $RT_{60}$  σύμφωνα με τις σχέσεις (6) και (7). [3]

Η μεγάλη αντήχηση γενικά είναι μη θεμιτή, εκτός ίσως από πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις, ωστόσο ανάλογα την χρήση και τον όγκο του χώρου υπάρχουν βέλτιστες τιμές, όπως φαίνονται στο Σχήμα (4), που εξασφαλίζουν καλή ακουστική.

### Βέλτιστοι χρόνοι αντήχησης



Σχήμα (4) – Βέλτιστοι χρόνοι αντήχησης κατά Beranek. [1]

#### 1.2.5 Διάχυση

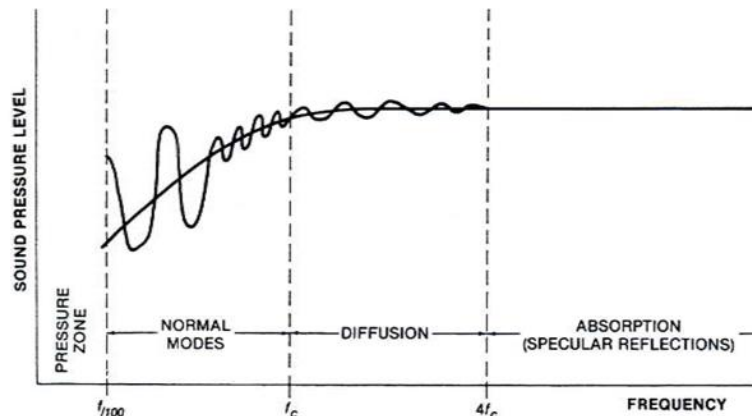
Ο χρόνος αντήχησης είναι σημαντικός γιατί αφενός αποκτούμε μία πρώτη εικόνα για την συμπεριφορά της αίθουσας, αφετέρου αποτελεί μία βάση για να υπολογίσουμε και άλλες ακουστικές παραμέτρους και χαρακτηριστικά που βοηθούν να κατανοήσουμε και να κρίνουμε καλύτερα την συμπεριφορά της.

Ο βαθμός διάχυσης του χώρου, αποτελεί ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά και ορίζεται έμμεσα από την συχνότητα αποκοπής. Αυτή η συχνότητα ορίζει την κατώτερη συχνότητα που το αντηχητικό πεδίο θεωρείται αξιόπιστο. Όσο αυξάνει η συχνότητα τόσο το διάχυτο πεδίο επικρατεί (Σχήμα 5).

Με βάση τον χρόνο αντήχησης και με την βοήθεια του παρακάτω τύπου του Schroeder (Σχέση (9) [1]), μπορεί να υπολογιστεί η συχνότητα αποκοπής,

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{RT_{60}}{V}} \quad (9)$$

Ο βαθμός διάχυσης και ο χρόνος αντήχησης αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην ακουστική του χώρου. Μάλιστα, δεν υπάρχει κάποια κοινά τέλεια τιμή η οποία εξασφαλίζει τέλεια ακουστική. Μεγάλος χρόνος αντήχησης, προκαλεί φαινόμενα επικάλυψης στην αίθουσα, τα οποία καθιστούν δύσκολη την καταληπτότητα της ομιλίας καθώς “χάνονται” συλλαβές. Από την άλλη, ένας πολύ μικρός χρόνος αντήχησης συνεπάγεται έναν χώρο “ξερό” και “άχρωμο”, γεγονός που αφαιρεί την απόδοση των μελωδικών κυρίως στοιχείων στον χώρο. Είναι για ακόμη μία φορά αντιληπτό πως η επιλογή της καταλληλότερης τιμής εξαρτάται από την συχνότητα, τον χώρο και την λειτουργική χρήση του. Συνηθίζεται ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης να γίνεται για την συχνότητα των 500 ή 1000 Hz. Σημειώνεται ότι στα 500 Hz η ανθρώπινη ομιλία περικλείει την μέγιστη της ενέργεια.



Σχήμα (5) - Συχνότητα Αποκοπής και Διάχυτο Πεδίο. [2]

### 1.3 Δυσάρεστα Ηχητικά Φαινόμενα

Όπως έχει εξηγηθεί τα γεωμετρικά και δομικά χαρακτηριστικά ενός χώρου επηρεάζουν βασικά τον τρόπο που διαδίδεται ο ήχος σε αυτόν και κατ' επέκταση και τις ακουστικές ιδιότητές του. Καλή ακουστική έχει ένας χώρος, όπως ορίσαμε στην αρχή του θεωρητικού μέρους, όταν οι ακουστικές παράμετροι βρίσκονται στις επιθυμητές τιμές και απουσιάζουν δυσάρεστα ηχητικά φαινόμενα.

#### 1.3.1 Ηχώ

Η ηχώ είναι ίσως το πιο εύκολα αντιληπτό δυσάρεστο ηχητικό φαινόμενο. Συμβαίνει όταν ένας εκπεμπόμενος ήχος ανακλάται και φτάνει στα αυτιά ενός ακροατή σαν δεύτερο ξεχωριστό ηχητικό γεγονός. Η ηχώ δεν πρέπει να συγχέεται με την αντήχηση, καθώς στην αντήχηση το ανακλώμενο και το απευθείας κύμα είναι ένα ολοκληρωμένο ηχητικό γεγονός, και όχι δύο διακριτά. Η ηχώ, λόγω της φύσης της, είναι σχεδόν πάντα μη επιθυμητή καθώς αλλοιώνει τον αρχικά εκπεμπόμενο ήχο καθιστώντας τον μη κατανοητό από τον ακροατή.

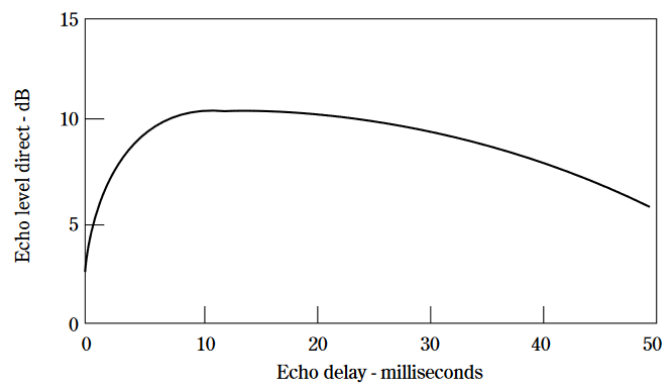
#### 1.3.2 Πολλαπλή Ηχώ

Όταν στον χώρο υπάρχουν παράλληλες επιφάνειες με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης τότε ήχοι μικρής διάρκειας (παλμοί) όπως χειροκροτήματα, βηματισμοί στο δάπεδο προκαλούν επαναλαμβανόμενη ηχώ. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πολλαπλή ηχώ.

#### 1.3.3 Φαινόμενο Haas

Το ψυχοακουστικό φαινόμενο Haas (ή φαινόμενο ή προτεραιότητας) αναφέρεται στο τρόπο με τον οποίο η αμφιωτική ανθρώπινη αντίληψη του ήχου (ακόη και με τα δυο αυτιά) εντοπίζει τη θέση μιας ηχητικής πηγής, αλλά και πως αντιλαμβανόμαστε τον ανακλώμενο σε σχέση με τον απ' ευθείας ήχο σε ένα κλειστό χώρο. Αν η στάθμη του ανακλώμενου δεν είναι τόσο μεγάλη, απλώς ενισχύει τον αρχικό ήχο. Για να μην “μπερδεύεται” ο εγκέφαλος από το καθυστερημένο σήμα (π.χ. που φτάνει στο πιο απομακρυσμένο αντί ή αποτελεί την ανάκλαση) αγνοεί ως διακριτή πηγή το σήμα που

έρχεται καθυστερημένο 5 – 35 ms μετά το αρχικό σήμα. Αν ο καθυστερημένος ήχος φτάσει μέχρι και 5 ms μετά τον αρχικό είναι πολύ πιθανό (εξαρτάται από τη σχετική στάθμη) να οδηγήσει σε μετατόπιση της εικόνας της πηγής, αν φτάσει μετά από 35 ms πολύ πιθανά εκλαμβάνεται ως ηχώ, αν ο αρχικός ήχος προηγείται κατά 10 – 20 ms ο καθυστερημένος πολύ πιθανά εκλαμβάνεται ως ενίσχυση του αρχικού και όχι ως διακριτή πηγή. Αν ο καθυστερημένος ήχος φτάνει από 5 έως 35 ms μετά τον αρχικό, για να είναι διακριτός ως ηχώ θα πρέπει να έχει στάθμη γύρω στα 10 dB μεγαλύτερη από τον αρχικό.



Σχήμα (6) - Φαινόμενο Haas. [2]

### 1.3.4 Ηχητική Συγκέντρωση

Ακόμα ένα φαινόμενο που μπορεί να προκύψει λόγω της γεωμετρίας του χώρου είναι αυτό της ακουστικής ή ηχητικής συγκέντρωσης. Συμβαίνει όταν πολλά ηχητικά κύματα συγκεντρώνονται σε ένα σημείο με αποτέλεσμα την ενισχυτική συμβολή τους και κατά συνέπεια την αύξηση της ηχητικής στάθμης σε εκείνο το σημείο. Πιο συγκεκριμένα, όταν το ηχητικό κύμα πέσει σε μια κοίλη επιφάνεια που η καμπυλότητα της είναι μεγάλη σε σύγκριση με το μήκος κύματος τότε ο ήχος εστιάζεται σε ορισμένα σημεία με αποτέλεσμα στα σημεία αυτά η στάθμη πίεσης να παίρνει μεγάλες τιμές. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ακουστική συγκέντρωση. Αντίθετα, σε ορισμένα σημεία η στάθμη να παίρνει εξαιρετικά μικρές τιμές που είναι δυνατόν να μην ακούγεται καθόλου. Τα σημεία αυτά ονομάζονται νεκρά σημεία (dead spots). Για το λόγο αυτό, πρέπει να εφίσταται ιδιαίτερη προσοχή κατά τον σχεδιασμό χώρων με κοίλες επιφάνειες.

### 1.3.5 Ηχητικές Σκιές

Ένα ακόμη φαινόμενο που επηρεάζει την ακουστική ενός χώρου είναι αυτό της ηχητικής σκιάς. Για την κατανόησή του, είναι χρήσιμη μια αναλογία της συμπεριφοράς του ήχου με αυτή του φωτός. Όπως το φως, το οποίο όταν συναντά μεγάλα αντικείμενα αφήνει πίσω από αυτά σκιά, έτσι και ο ήχος, όταν συναντά εμπόδια με μέγεθος πολύ μεγαλύτερο από το μήκος κύματος, αφήνει πίσω από αυτά την γεωμετρική σκιά του με συνέπεια στις περιοχές αυτές να παρουσιάζεται μειωμένη ηχητική στάθμη.

## 1.4 Καταληπτότητα Ομιλίας, Ενεργειακές Ακουστικές Παράμετροι

Η μέτρηση των παραμέτρων αυτών απαιτεί την χρήση μιας κρουστική απόκρισης που λαμβάνεται από μια ισότροπη ηχητική πηγή και ένα ισότροπο μικρόφωνο.

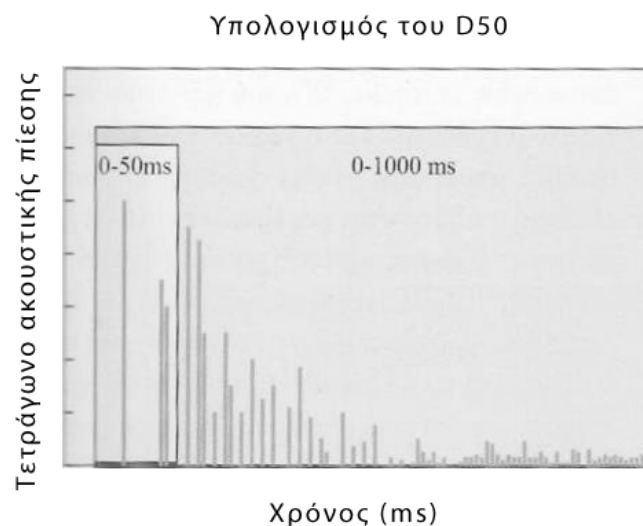
### 1.4.1 Διακριτότητα – D50

Οι ανακλάσεις αποτελούν τον επικρατέστερο παράγοντα επιρροής της ακουστικής των χώρων και αυτό είναι γνωστό από το 1850. Ένας πρώτος συντελεστής που επιτρέπει την αξιολόγηση της καταληπτότητας της ομιλίας, είναι ο η ακουστική παράμετρος D50 και είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις ανακλάσεις του ήχου στον χώρο, ειδικά με τις πρώτες ανακλάσεις. Μαζί με τον απ' ευθείας ήχο ακούμε χιλιάδες ανακλάσεις, ωστόσο για την ομιλία μόνο αυτές που φτάνουν με χρονική καθυστέρηση μέχρι 50 ms είναι χρήσιμες. Αυτό γιατί οι συγκεκριμένες ανακλάσεις συμβάλλουν ενισχυτικά στον απ' ευθείας ήχο και καθορίζουν τον ακουστικό «χαρακτήρα» του χώρου (το πως διαφορετικοί χώροι ακούγονται διαφορετικά). Η σημασία τους συνεπώς είναι μεγάλη.

Ο Thiele, ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο D (Definition, Διακριτότητα) στην προσπάθεια να ορίσει ένα αντικειμενικό μετρήσιμο κριτήριο. Το D50 ορίζεται από την Σχέση (10) [1]:

$$D50 = \frac{E_{0-50\text{ ms}}}{E_{0-\infty}} 100\% , \quad (10)$$

όπου  $E_{t_a-t_b} = \int_{t_a}^{t_b} |h(t)|^2 dt$  και  $h(t)$  η κρουστική απόκριση του χώρου.



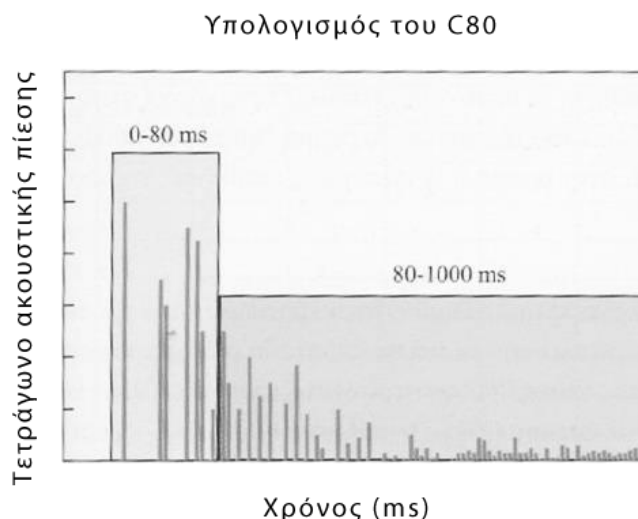
Σχήμα (7) – Ενέργειες πρώιμων ανακλάσεων έως 50 ms και του συνόλου των ανακλάσεων από 0 ms έως 1000 ms (θεωρητικά έως το άπειρο), για υπολογισμό D50 σύμφωνα με την Σχέση (10). [1]

### 1.4.2 Ευκρίνεια – C80

Μαζί με την διακριτότητα, μια ακόμα παράμετρος που χαρακτηρίζει τη καθαρότητα της ομιλίας και τη διαφάνεια της μουσικής είναι η ευκρίνεια (clarity). Πρόκειται για το μέγεθος που θα καθορίσει τη δυνατότητα του ακροατή να αντιληφθεί όλες τις λεπτομέρειες της ομιλίας και της μουσικής. Συμβολίζεται C80 και υπολογίζεται από την Σχέση (11):

$$C80 = 10 \log \frac{E_{0-80 \text{ ms}}}{E_{80 \text{ ms} - \infty}} \quad (11)$$

Όπως φαίνεται από την σχέση, η ευκρίνεια είναι ανάλογη με τον λογάριθμο του λόγου του ήχου που φθάνει τα πρώτα 80 ms, προς αυτόν που φθάνει μετά τα 80 ms. Όσο μεγαλύτερος ο χρόνος αυτός τόσο καλύτερη και η αντιληπτότητα της ομιλίας. Όταν ο χρόνος ολοκλήρωσης είναι 50 ms τότε συμβολίζεται C50.



Σχήμα (8) – Ενέργειες πρώιμων ανακλάσεων έως 80 ms και μεταγενέστερων από 80 ms έως 1000 ms (θεωρητικά έως το άπειρο), για υπολογισμό C80 σύμφωνα με την Σχέση (11). [1]

Για αίθουσες που προορίζονται για χρήση ομιλίας προσπαθούμε να πετύχουμε ευκρίνεια γύρω στα +9 dB.

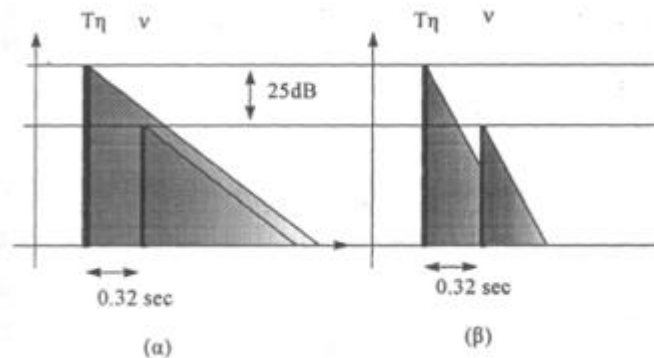
### 1.4.3 Επικάλυψη Συλλαβών

Η επικάλυψη συλλαβών αποτελεί μία ακόμα δυσάρεστη συνθήκη για τον ακροατή. Όταν συναντάται αυτό το φαινόμενο ο ακροατής «χάνει» πληροφορία (συλλαβές) από τον ήχο της εκάστοτε πηγής, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την καταληπτότητα της ομιλίας.



Επικάλυψη συλλαβών έχουμε όταν ο χρόνος αντήχησης είναι αρκετά μεγάλος για να “πνίξει” π.χ. κάποιο σύμφωνο που ακολουθεί ένα φωνήεν, όταν αυτό το σύμφωνο έχει αρκετά μικρότερη στάθμη ώστε η ενέργεια από το φωνήεν να υπερτερήσει.

Στον επόμενο σχήμα φαίνεται παράδειγμα με την λέξη “την” όπου επειδή το “ν” έχει στάθμη 25 dB μικρότερη από την προηγούμενη συλλαβή στην περίπτωση (α) που ο χρόνος αντήχησης είναι μεγάλος επικαλύπτεται, σε αντίθεση με την περίπτωση (β) όπου ο χρόνος αντήχησης είναι κατάλληλος και το φαινόμενο αυτό αποφεύγεται.



Σχήμα (9) – Επικάλυψη συλλαβής παράδειγμα με την λέξη ”την” (α) σε αίθουσα με μεγάλο χρόνο αντήχησης το “ν” καλύπτεται από το “τη” (β) σε αίθουσα με μικρό χρόνο αντήχησης και οι δύο ήχοι είναι διακριτοί. [1]

Γενικότερα λοιπόν όσο μικρότερος ο χρόνος αντήχησης τόσο πιο καταληπτή γίνεται η ομιλία.

Για την ποσοτικοποίηση της καταληπτότητας της ομιλίας χρησιμοποιούνται συντελεστές όπως η εμπειρική σχέση του Reutz (Σχέσεις (12) και (13) [3]), η οποία μετρά το ποσοστό των συμφώνων που δεν αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής (ποσοστό απώλειας συμφώνων):

$$\%AL_{cons} = \frac{200r^2RT_{60}^2(n+1)}{VQ}, \quad (12)$$

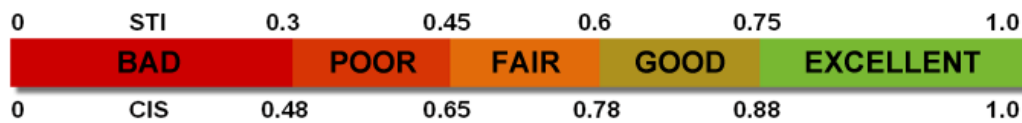
για  $r > 3D_c$  και,

$$\%AL_{cons} = 9RT_{60}, \quad (13)$$

για  $r < 3D_c$ ,

όπου  $r$  η απόσταση πηγής/δέκτη σε m,  $D_c$  η κρίσιμη απόσταση,  $V$  ο όγκος του χώρου,  $RT_{60}$  ο χρόνος αντήχησης,  $Q$  η κατευθυντικότητα της πηγής και  $(n+1)$  ο αριθμός όμοιων πηγών, επιπλέον της κύριας πηγής αν αυτές λειτουργούν ταυτόχρονα.

#### 1.4.4 Δείκτης STI



Σχήμα (10) – Τιμές δείκτη STI και αντίστοιχος λεκτικός χαρακτηρισμός διαστημάτων τιμών.

Ο δείκτης STI (Speech Transmission Index), είναι ένας αντικειμενικός δείκτης που μετρά το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής, λαμβάνοντας υπόψη του ταυτόχρονα τον θόρυβο βάθους (Background noise) και τον χρόνο αντήχησης. Χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για την αξιολόγηση της ομιλίας. Εκφράζεται σαν καθαρή ποσότητα (χωρίς μονάδες) και παίρνει τιμές από 0 έως 1. STI ίσο με 1 αποτελεί την άριστη τιμή (Σχήμα (10)).

#### 1.5 Γεωμετρική Ακουστική

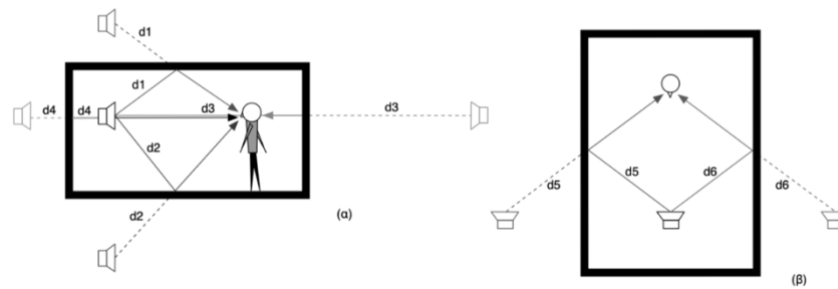
Η γεωμετρική ακουστική αναφέρεται, όπως και το όνομα της προδίδει, στο πως γεωμετρικά μπορούμε να προβλέψουμε την κίνηση του ήχου στον χώρο. Τον τρόπο δηλαδή, που το ηχητικό κύμα ανακλάται σε επιφάνειες και ξαναφτάνει στον ακροατή με δυνητικά διαφορετική ισχύ. Αυτή η εκτίμηση της κίνησης του ήχου επιτυγχάνεται με την μέθοδο των εικόνων ή ειδώλων.

Θέτοντας μια πηγή στον ελεύθερο χώρο, με ακουστική ισχύ  $w$ , χωρίς να βρίσκονται αντικείμενα ή γενικότερα εμπόδια σε κοντινή της απόσταση. Σε αυτή την περίπτωση η ένταση του ήχου δίνεται από την Σχέση (14) [1].

$$I_{\theta} = \frac{wQ_{\theta}}{4\pi r^2}, \quad (14)$$

όπου  $r$  η απόσταση από την από την πηγή και  $Q_{\theta}$  η κατευθυντικότητα συναρτήσει της γωνίας από τον άξονα της πηγής.

Η ύπαρξη ανακλαστικής επιφάνειας πλησίον της πηγής συνεπάγεται την άφιξη στο σημείο λήψης δύο ηχητικών κυμάτων, ένα το οποίο διαδίδεται απευθείας από την πηγή και ένα ο οποίο διαδίδεται έμμεσα από την ανακλαστική επιφάνεια. Η ένταση του ήχου στο σημείο λήψης θα προέρχεται από την άθροιση της ισχύος των δυο αυτών κυμάτων. Η ανακλώμενη ισχύς μπορεί να θεωρηθεί ότι εκπέμπεται από μια εικονική πηγή, που ουσιαστικά συνιστά το είδωλο της πηγής, και το οποίο συντίθεται όπως ακριβώς το είδωλο μιας εικόνας από ένα καθρέπτη. Η ακουστική ισχύς του ειδώλου της πηγής είναι  $(1 - a)w$ , όπου  $a$  ο συντελεστής απορρόφησης. Το είδωλο αυτό ονομάζεται είδωλο πρώτης τάξης. Τα είδωλα μπορεί να σχηματίσουν νέα είδωλα από άλλες επιφάνειες οπότε ονομάζονται είδωλα δεύτερης, τρίτης τάξης κλπ. Η μέθοδος αυτή προσδιορισμού της θέσης των ειδώλων της πηγής ονομάζεται μέθοδος των εικόνων ή ειδώλων.

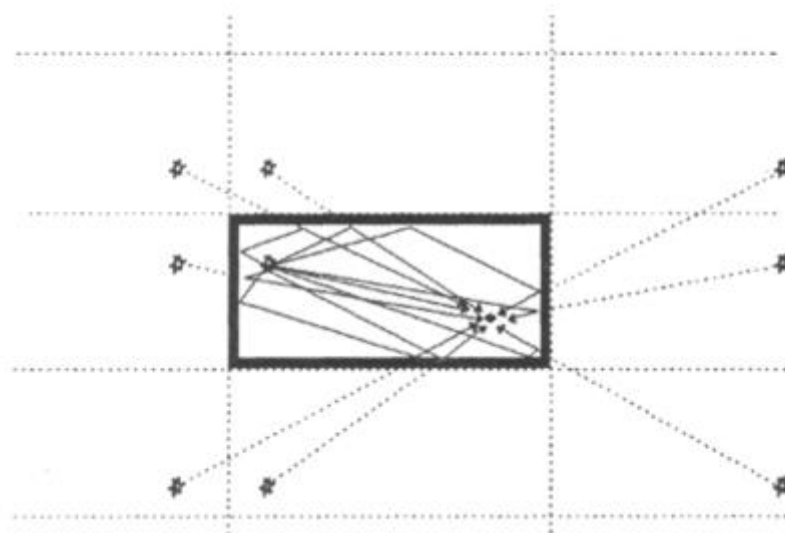


Σχήμα (11) - Προσδιορισμός ειδώλων πρώτης (α) Πλάγια τομή, (β) Κάτοψη. [3]

Η έκφραση για την ανακλώμενη ηχητική ενέργεια από είδωλο πρώτης τάξης δίνεται από την Σχέση (15):

$$I_r = \frac{w(1 - a)Q_r}{4\pi r^2} \quad (15)$$

Οι κλειστοί χώροι αποτελούν μία σύνθετη περίπτωση για τον υπολογισμό της στάθμης πίεσης, καθώς οι τοίχοι που τους περικλείουν προκαλούν διαδοχικές ανακλάσεις των ηχητικών κυμάτων, με αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλαπλά είδωλα ανώτερης τάξης. Για να υπολογιστεί η έκφραση της στάθμης πίεσης σε ένα σημείο του κλειστού χώρου υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι. Ο πρώτος και πιο αναλυτικός αξιοποιεί υπολογιστικά προγράμματα, γεγονός όμως που προϋποθέτει μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Ο δεύτερος τρόπος, επικαλείται την βοήθεια της στατιστικής ακουστικής και αποτελεί έναν εύκολο αλλά και ακριβή υπολογισμό.



Σχήμα (12) – Είδωλα 1ης και 2ης τάξης σε κλειστό ορθογώνιο χώρο. [3]

Στο Σχήμα (12) φαίνεται η συμβολή των ηχητικών πηγών σε ορθογώνιο κλειστό χώρο με τη μέθοδο των ειδώλων. Εφαρμόζοντας την τελευταία, μπορούμε να υπολογίσουμε την πυκνότητα της

ενέργειας στη θέση του δέκτη. Έστω λοιπόν, ένας πολυεδρικός κλειστός χώρος που περικλείεται από  $N_w$  επιφάνειες (τοιίχους), από αυτές προκύπτουν διαδοχικές ανακλάσεις στο χώρο, δημιουργώντας έτσι είδωλα πολλαπλής τάξης. Ο αριθμός των ειδώλων  $N_{im.s}$  αυτών μέχρι την ανάκλαση της  $k$  τάξης δίνεται από την Σχέση (16) [7]:

$$N_{im.s}(k) = N_w \frac{(N_w - 1)^k - 1}{N_w - 2}. \quad (16)$$

Σε ένα κλειστό χώρο που ορίζεται από 8 επιφάνειες θα χρειαζόταν 156864 είδωλα για να συμπεριλάβει κανείς ανακλάσεις μέχρι και 6<sup>ης</sup> τάξης.

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Μελέτη Συνεδριακού Κέντρου, Πειραματικό

Όπως έχει προαναφερθεί, η ακουστική μελέτη αφορά το συνεδριακό κέντρο της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Το πειραματικό μέρος εστιάζει στη μελέτη του χώρου, στην ακουστική αξιολόγηση του και εάν κριθεί απαραίτητο, στην πρόταση παρέμβασης ή παρεμβάσεων για την ακουστική βελτίωση του. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι ακολουθήθηκαν μία σειρά από διαδικασίες, συναντήθηκαν προβλήματα και χρειάστηκαν συμβιβασμοί.

Περίληπτικά, τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν, αρχικά η επιμέτρηση του χώρου για την δημιουργία κατόψεων και τομών. Στη συνέχεια η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου στο Autocad και τελικώς η δημιουργία μοντέλου προσομοίωσης στο CATT-Acoustic και η εκτέλεση της προσομοίωσης.

Αφού πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα και εντοπίστηκαν οι ακουστικές αδυναμίες της αίθουσας, έγιναν τροποποιήσεις/προτάσεις με σκοπό την ακουστική βελτίωση της και πραγματοποιήθηκε εκ νέου προσομοίωση.

Στην συνέχεια αυτού του μέρους θα επικεντρωθούμε στις διαδικασίες πιο αναλυτικά.

### 2.1 Τεχνική Αναφορά

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται συνοπτικά το υλισμικό και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

Προγράμματα:

- CATT-Acoustic
- Autocad
- MS Word
- MS Excell
- Matlab R2023a

Υλισμικό:

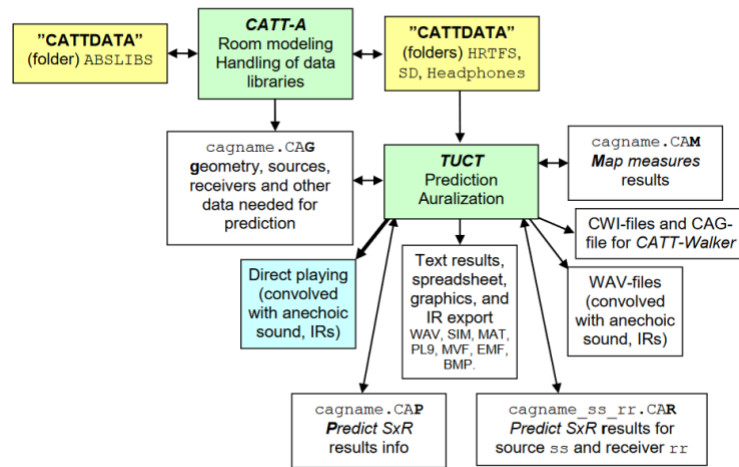
- UNI-T Laser Distance Calculator LM40

### 2.2 Το πρόγραμμα CATT-Acoustic

Το βασικό εργαλείο που διατέθηκε από το Εργαστήριο Εργαστήριο Τεχνολογιών Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών (Electronics and Computer Technologies Lab) για την ανάλυση/μελέτη του χώρου είναι το πρόγραμμα CATT-Acoustic v9.1. Το CATT-Acoustic είναι μια συλλογή προγραμμάτων ακουστικής ανάλυσης αποτελούμενο από το βασικό πρόγραμμα (CATT9.exe) το οποίο χειρίζεται το μοντέλο, την γεωμετρία, τις ιδιότητες των επιφανειών και τις βιβλιοθήκες κατευθυντικότητας, και το TUCT.exe που χειρίζεται το κομμάτι της ακουστικής προσομοίωσης (Εικόνα (2)). Το CATT-Acoustic αντιμετωπίζει τον ήχο σαν επίπεδο κύμα και χρησιμοποιώντας την μέθοδο της γεωμετρικής ακουστικής και την υπολογιστική μέθοδο του Ray-Cone Tracing ακολουθεί την πορεία του ηχητικού κύματος στον χώρο, ξεκινώντας από τις πηγές με τελικό προορισμό τις θέσεις ακρόασης, περνώντας στο ενδιάμεσο από όλες τις ανακλάσεις στις επιφάνειες του χώρου. Έτσι το τελικό αποτέλεσμα

αφορά το ηχητικό κύμα που φτάνει στους επιλεγμένους ακροατές με τα χαρακτηριστικά του να έχουν μεταβληθεί κατά τον τρόπο που οι ίδιες ιδιότητες της αίθουσας όρισαν.

An overview of input/output-files in CATT-Acoustic:



Εικόνα (2) - Διάγραμμα εισόδου/εξόδου του CATT-Acoustic. [4]

Χρειάζεται λοιπόν ένα αρχιτεκτονικό μοντέλο το οποίο θα είναι ανάλογο του υπό μελέτη χώρου και στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση ώστε το CATT-Acoustic να επιστρέψει τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα αφορούν ακουστικές παραμέτρους και δίνονται σε μορφή γραφικών παραστάσεων, χαρτών χρωματικής απεικόνισης και αρχείων κειμένου με «πίνακες». Η προσομοίωση χωρίζεται σε τρία μέρη: Predict SxR, Map Direct Sound και Map Measures. Το Predict SxR δίνει αναλυτικά ηχογράμματα και auralization σε συσχέτιση Πηγής-Ακροατή και εμφανίζει αποτελέσματα σε μορφή γραφικών διαγραμμάτων. Το Map Direct Sound υπολογίζει/προσομοιώνει το απευθείας πεδίο και δίνει αποτελέσματα σε μορφή χάρτη χρωματικής απεικόνισης ενώ το Map Measures προσομοιώνει την συνολική απόκριση της αίθουσας και δίνει αποτελέσματα σε μορφή χρωματικού χάρτη.

Το μοντέλο στο CATT-Acoustic δεν σχεδιάζεται με κινήσεις του χεριού που χειρίζεται το ποντίκι του Η/Υ, ως συνήθως συμβαίνει με κοινά σχεδιαστικά προγράμματα, αλλά δημιουργείται με εντολές στο αρχείο master.geo. Οι εντολές αυτές έχουν την μορφή ορισμών. Σε πρώτο στάδιο εισάγονται οι συντεταγμένες των σημείων που χρησιμοποιούνται για το διανυσματικό ορισμό των επιφανειών που συντελούν τον χώρο. Με τον ορισμό των επιφανειών ορίζονται και τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένη η εκάστοτε επιφάνεια (από την πλευρά που μας ενδιαφέρει, δηλ. προς το εσωτερικό του κλειστού χώρου). Το κάθε υλικό συνοδεύεται από συντελεστές ανάκλασης και απορρόφησης (προαιρετικά) τους οποίους ορίζουμε στην αρχή του project.

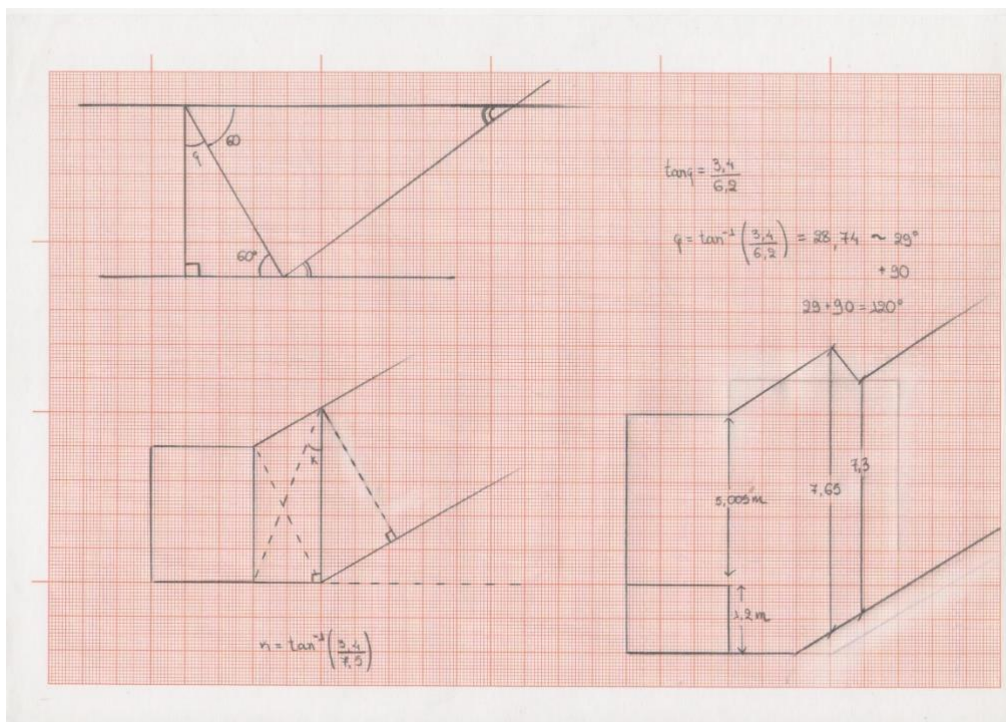
Όπως ήδη αναφέρθηκε οι επιφάνειες ορίζονται διανυσματικά στο CATT-Acoustic (κάθε επιφάνεια μπορεί να έχει 2 όψεις). Έτσι θέλει προσοχή να δηλωθεί με τέτοιο τρόπο η σειρά των σημείων που ορίζουν την επιφάνεια, ώστε το διάνυσμα να έχει φορά προς το εσωτερικό του χώρου (με τον κανόνα του δεξιού χεριού, όπου τα δάκτυλα ακολουθούν την ορισμένη σειρά των σημείων και ο αντίχειρας ορίζει τη φορά του διανύσματος). Τότε η γεωμετρία είναι κλειστή. Το CATT-Acoustic δίνει μία πληθώρα ακουστικών παραμέτρων και δεδομένων για την αξιολόγηση του χώρου. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, θα ασχοληθούμε με τις παραμέτρους D50, C80, RT(T60), T15, SPL, STI.

Γίνεται αντιληπτό ότι το μοντέλο που θα δημιουργηθεί για την προσομοίωση και η πιστότητά του στον πραγματικό χώρο επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης.

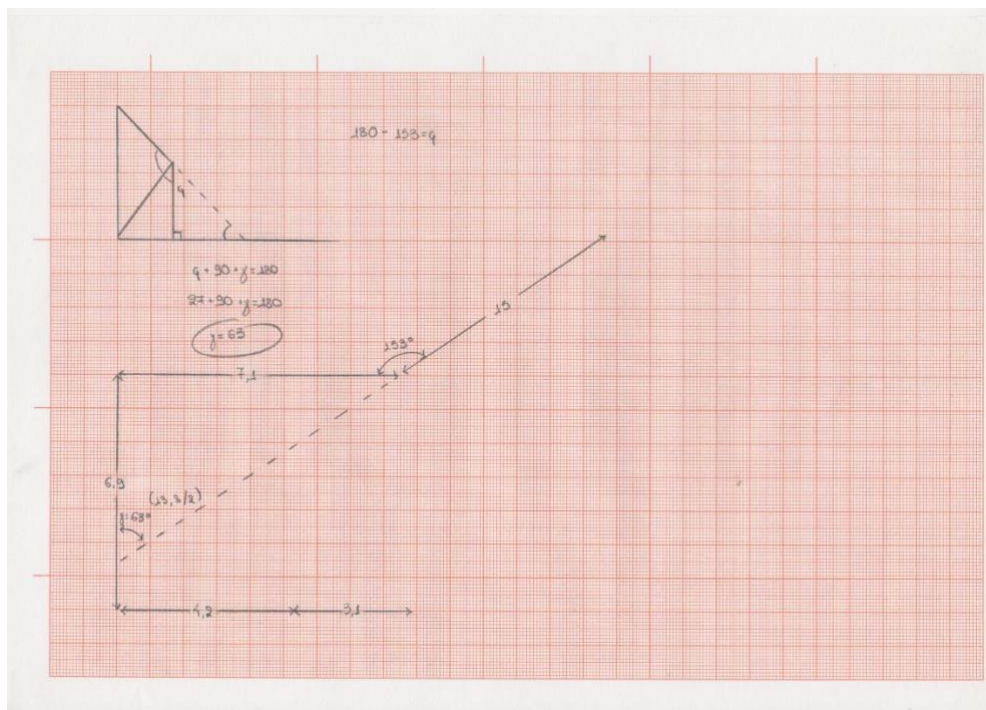
## **2.3 Δημιουργία Μοντέλου Προσομοίωσης**

### **2.3.1 Αρχιτεκτονικά Σχέδια, Υπό μελέτη Χώρος**

Το πρώτο βήμα ήταν η επίσκεψη του υπό μελέτη χώρου, για να υπάρξει μία καλύτερη ιδέα και αντίληψη αυτού. Έπειτα ξεκίνησε η αναζήτηση των αρχιτεκτονικών σχεδίων (κατόψεις, τομές), των τεχνικών χαρακτηριστικών του ηλεκτροακουστικού εξοπλισμού (ηχεία, μικρόφωνα, ενισχυτές) και των συγκριμένων υλικών με τις αντίστοιχες ακουστικές τους ιδιότητες (συντελεστές ανάκλασης, απορρόφησης) που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του χώρου. Αυτά είναι απαραίτητα, καθώς αποτελούν την βάση για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης στο CATT-Acoustic. Σε αυτό το σημείο συναντήθηκε το πρώτο εμπόδιο. Κατόπιν επικοινωνίας με την αρμόδια υπηρεσία, οι πληροφορίες ήταν ελλιπείς καθώς δόθηκαν μία σειρά από αρχιτεκτονικά σχέδια εκ των οποίων κανένα δεν ανταποκρινόταν επαρκώς και πιστά στον χώρο όπως εντέλει έχει υλοποιηθεί. Άρα, η δημιουργία των αρχιτεκτονικών σχεδίων έπρεπε να γίνει από την αρχή. Για γίνει αυτό έγινε προμήθεια μετρητή αποστάσεων laser και ύστερα από αρκετές επισκέψεις στον χώρο, οι οποίες συντονίστηκαν με την καλή εξυπηρέτηση του προσωπικού, και με την βοήθεια τριγωνομετρίας (Εικόνες (3) και (4)) δημιουργήθηκαν ορθές κατόψεις και τομές. Με βάση αυτά τα σχέδια και κατόπιν σκέψης, ορίστηκε πως θα διαμεριστεί ο χώρος σε τετράπλευρα και τρίγωνα. Έπειτα με την χρήση του προγράμματος Autocad της Autodesk, για το οποίο άδεια χρήσης παρέχει το Πανεπιστήμιο, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο τρισδιάστατης απεικόνισης του χώρου, όπως φαίνεται στην Εικόνα (5) βάση των ορθών σχεδίων. Σε 2ο Layer στο Autocad, απεικονίστηκε η διαμέριση του χώρου, όπως φαίνεται στην Εικόνα (6). Τέλος, με την βοήθεια της εντολής “ID” του Autocad, η οποία επιστρέφει τις συντεταγμένες X, Y, Z για οποιοδήποτε επιλεγμένο σημείο, λήφθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν τις επιμέρους επιφάνειες.

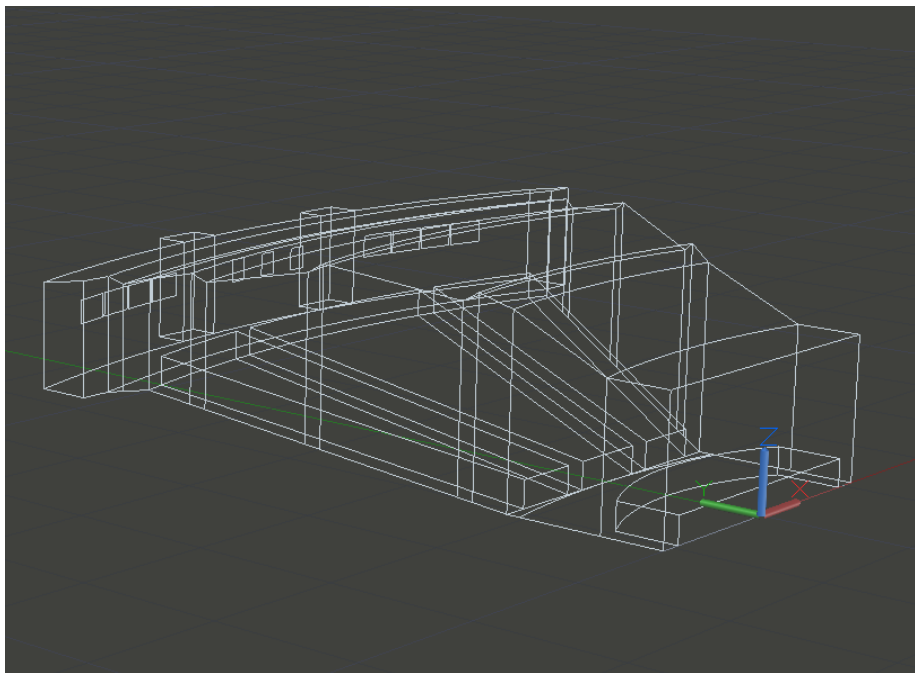


Εικόνα (3) – Υπολογισμοί Κλίσεων σκεπής.

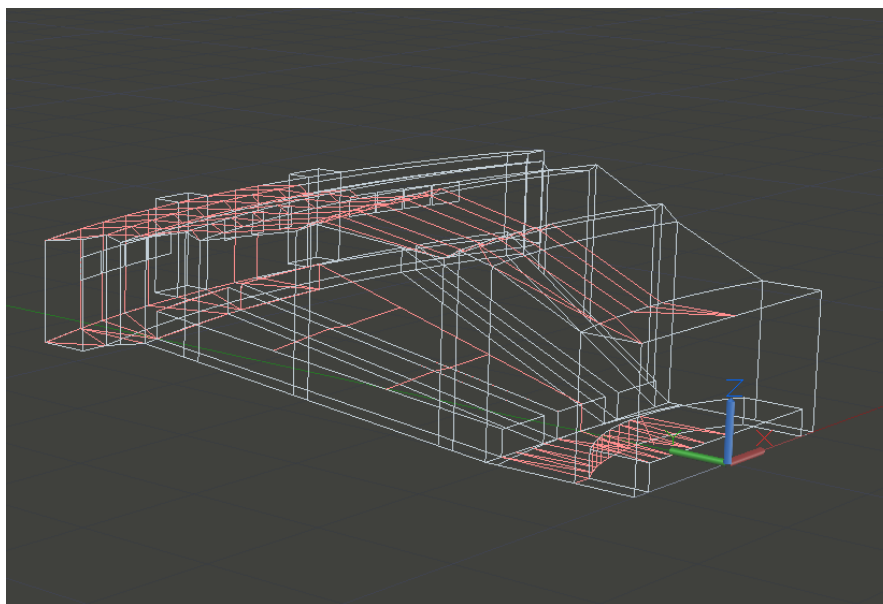


Εικόνα (4) – Υπολογισμοί γωνίας ακροατηρίου.





Εικόνα (5) – 3D μοντέλο Autocad.



Εικόνα (6) – 3D μοντέλο Autocad με τη διαμέριση σε επιμέρους τετράπλευρες και τρίγωνα επιφάνειες.

Θα παρατηρήσει κανείς στην Εικόνα (6) ότι η διαμέριση έχει γίνει μόνο στο μισό σχήμα. Αυτό γιατί το CATT-Acoustic δίνει την δυνατότητα, αν χώρος είναι συμμετρικός, να ορίσουμε επιφάνειες και με την εντολή «mirror» να ορίσει αυτόματα με τον ίδιο τρόπο τον άλλο μισό χώρο.

Όσον αφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή της αίθουσας, δεν βρέθηκε κάποιο έγγραφο που να τα περιγράφει με τις ακουστικές τους ιδιότητες. Άρα για την τιμή των συντελεστών απορρόφησης έγινε πάλι επίσκεψη στον χώρο προκειμένου να γίνει μία προσεγγιστική εκτίμηση των υλικών. Μετά την επίσκεψη και κατόπιν συνομιλίας με το τεχνικό προσωπικό, που γνωρίζει τον

χώρο, καταλήξαμε στα εξής: Το πάτωμα ως επί το πλείστο είναι καλυμμένο με μοκέτα, εκτός από το πάλκο το οποίο είναι λουστραρισμένο ξύλο. Από το ίδιο υλικό, είναι κατασκευασμένοι οι τοίχοι και οι πόρτες της αίθουσας. Η οροφή αποτελείται από γυψοσανίδα, με εξαίρεση το σημείο της σκηνής που είναι πάλι λουστραρισμένο ξύλο. Επίσης, στο πίσω μέρος της σκηνής υπάρχει παχιά κουρτίνα, η οποία χρησιμοποιείται για να μικρύνει ή να μεγαλώσει την σκηνή. Οι θέσεις του ακροατηρίου είναι αναδιπλούμενες υφασμάτινες με αφρολέξ, και σε αυτές θεωρούμε καθημένους ακροατές. Τέλος, στο πίσω μέρος του συνεδριακού κέντρου υπάρχουν διπλά τζάμια, τα οποία χωρίζουν τον χώρο από τα Δωμάτια Ελέγχου (Control Room). Οι συντελεστές απορρόφησης που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τα παραπάνω υλικά, και φαίνονται στον Πίνακα (2).

		Οκταβική Ζώνη					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Υλικό	Ξύλο	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
	Μοκέτα	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
	Παχιά Κουρτίνα	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
	Γυψοσανίδα	0,30	0,12	0,07	0,06	0,07	0,09
	Τζάμι	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
	Άνθρωπος	0,37	0,45	0,52	0,56	0,58	0,57

Πίνακας (2) – Συντελεστές απορρόφησης υλικών αίθουσας. [3].

### 2.3.2 Μοντέλο Προσομοίωσης στο CATT-Acoustic

Σε αυτό το σημείο, όλα τα στοιχεία (σημεία, επιφάνειες, συντελεστές ανάκλασης) για την δημιουργία του βασικού γεωμετρικού μοντέλου ήταν διαθέσιμα. Έτσι, ξεκίνησε η δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης στο CATT-Acoustic η οποία έγινε σε μορφή κώδικα, ορίζοντας στο αρχείο master.geo πρώτα τα σημεία και έπειτα, με την βοήθεια αυτών των σημείων, τις επιφάνειες με τους αντίστοιχους συντελεστές απορρόφησης, πάντα έχοντας υπόψιν την διανυσματική διάσταση των επιφανειών.

Δείγμα κώδικα για ορισμό σημείων, συντελεστή απορρόφησης και επιφάνειας από το master.geo:

**Αρχή δείγματος.**

ABS Wood = <4 4 7 6 6 7> { 199 126 31}

CORNERS

0005 -6.9 7.1 0

0006 -5.8 7.1 0

0049 x(0507) y(0507) 0.4

PLANES

[33 il\_1 / 0005 0006 0049 / carpet]

**τέλος δείγματος.**

Το μοντέλο δεν έτρεξε με την πρώτη προσπάθεια. Με την χρήση του αρχείου debug.txt, το οποίο δημιουργείται αυτόματα από το CATT-Acoustic κάθε φορά που προκύπτει σφάλμα, παρατηρήθηκε ότι ορισμένες επιφάνειες παρουσίαζαν στρεβλώσεις. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται κενά στη γεωμετρία του μοντέλου, οπότε η γεωμετρία να είναι ανοιχτή (να μη δημιουργείται μια συνολική κλειστή επιφάνεια που να καθορίζει τα όρια του κλειστού χώρου και το μοντέλο να μην εκτελείται. Παρατηρήθηκε ότι αυτό συνέβαινε στις περισσότερες τετράπλευρες επιφάνειες, πιθανότατα λόγω μικρών αποκλίσεων από τη στρογγυλοποίηση των συντεταγμένων. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, η κάθε επιφάνεια που δημιουργούσε αυτό το θέμα μετατράπηκε από μία τετράπλευρη επιφάνεια σε δύο τρίγωνα.

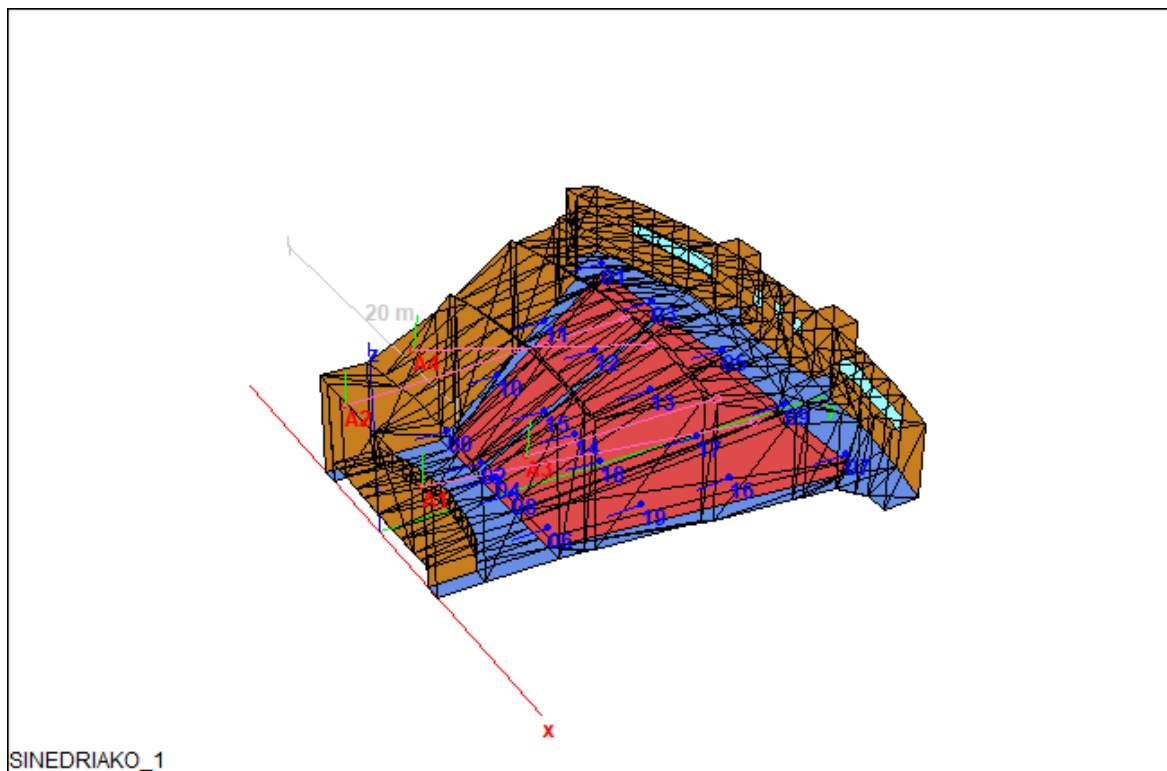
Αφού το γεωμετρικό μοντέλο διορθώθηκε, επόμενα βήματα αποτέλεσαν ο ορισμός συγκεκριμένων θέσεων ακροατών, και ο ορισμός των πηγών.

Πηγές στην προκειμένη περίπτωση είναι τα τέσσερα ηχεία που διαθέτει η αίθουσα. Πάλι, οι πληροφορίες για την ηλεκτροακουστική εγκατάσταση του χώρου ήταν λιγοστές, οπότε έγινε εκ νέου επίσκεψη στον χώρο, με σκοπό να αντληθούν πληροφορίες για τον τύπο και την τοποθέτηση των ηχείων. Από φωτογραφίες και με την χρήση του google lens, προσδιορίστηκε ότι τα ηχεία είναι τα KEMPTON GT12A. Ο προσδιορισμός του ακριβούς μοντέλου των ηχείων είναι σημαντικός, καθώς στο CATT-Acoustic οι πηγές ορίζονται με βάση ένα μοντέλο κατευθυντικότητας μορφής CF2, το οποίο συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή. Αυτό το μοντέλο περιέχει πληροφορίες για τον τρόπο κατά τον οποίο η πηγή εκπέμπει τον ήχο στο χώρο. Ωστόσο, για τα συγκεκριμένα ηχεία δεν βρέθηκε τέτοιο μοντέλο παρά μόνο κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά από διάφορους μεταπωλητές. Με βάση αυτά, επιλέχθηκε από την ιστοσελίδα clfgroup.com ένα μοντέλο κατευθυντικότητας με όσο το δυνατόν πλησιέστερα χαρακτηριστικά. Το μοντέλο που εντέλει χρησιμοποιήθηκε είναι του ηχείου V2-1264 της Community, το οποίο είναι ένα δίδρομο full range ηχείο 12” με γωνίες κάλυψης: (H×V) = (60°×40°). Τα σημεία τοποθέτησης των ηχείων ορίστηκαν με την βοήθεια του μετρητή αποστάσεων laser, και ο προσανατολισμός τους έγινε με την χρήση σημείου «στόχευσης» (Εντολή AIMPOS).

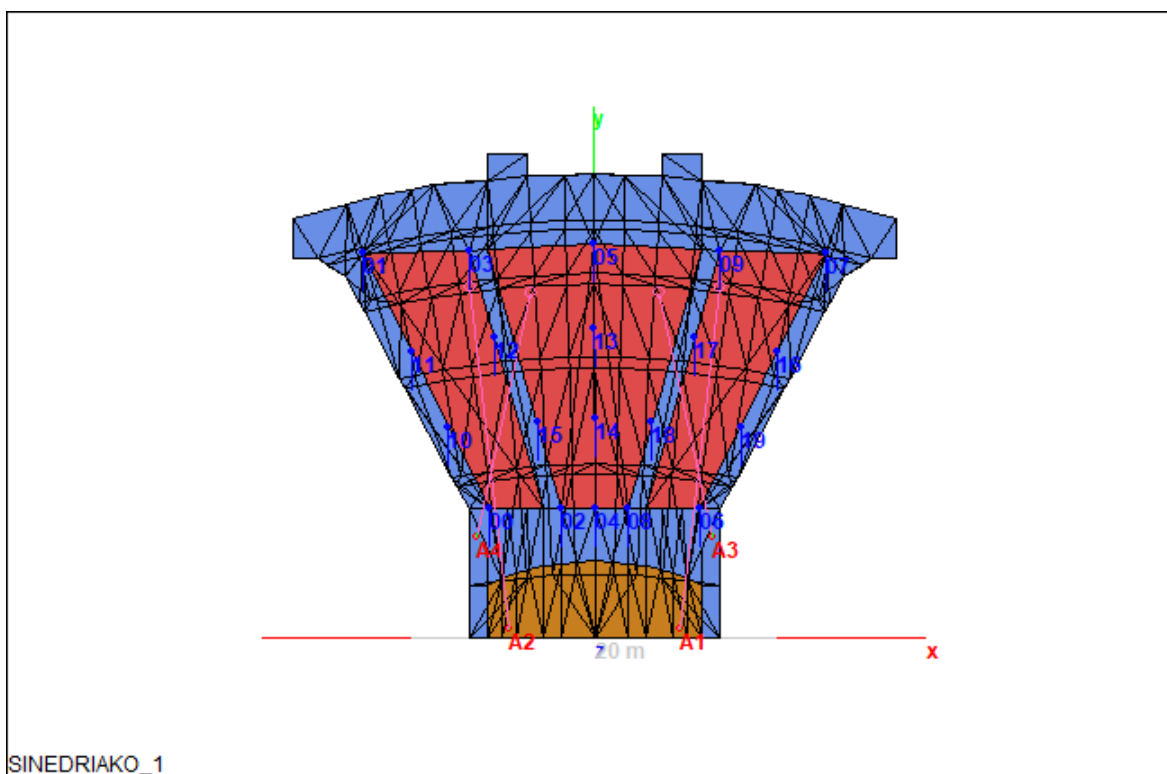
Αν από την επιλογή διαφορετικού μοντέλου ηχείου επηρεάζονται τα αποτελέσματα για την ακουστική της αίθουσας, αυτή η επίδραση αναμένεται να είναι μόνο θετική καθώς, τα ηχεία Community V2-1264 είναι πανομοιότυπα αλλά πολύ καλύτερης ποιότητας και αναγνωρισιμότητας σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα.

Οι θέσεις των ακροατών επιλέχθηκαν με την λογική να «καλυφθούν» οι διακυμάνσεις της συμπεριφοράς του ήχου κατά μήκος και πλάτος του ακροατηρίου. Έτσι επιλέχθηκαν συνολικά 20 θέσεις, μοιρασμένες σε 4 σειρές.

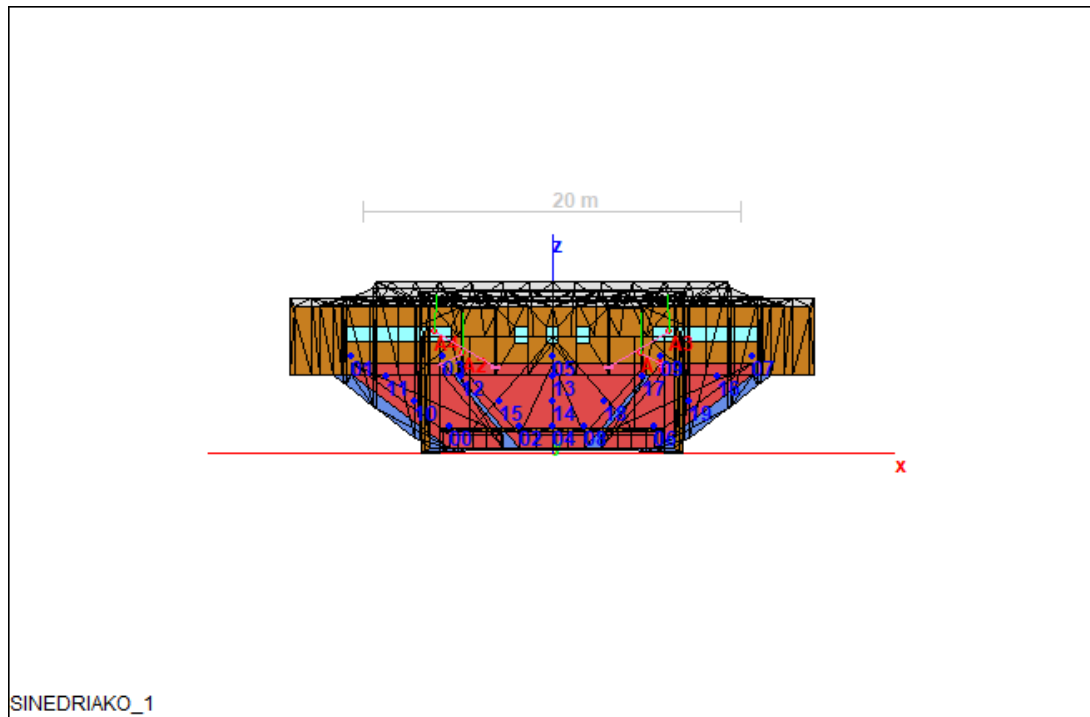
Με βάση αυτές τις πληροφορίες γράφτηκε ο κώδικας στα αρχεία src.loc και rec.loc που αφορούν την δήλωση των πηγών και των ακροατών αντίστοιχα. Έτσι ολοκληρώθηκε η δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης. Τα master.geo, src.loc, rec.loc φαίνονται στο Παράρτημα Α.



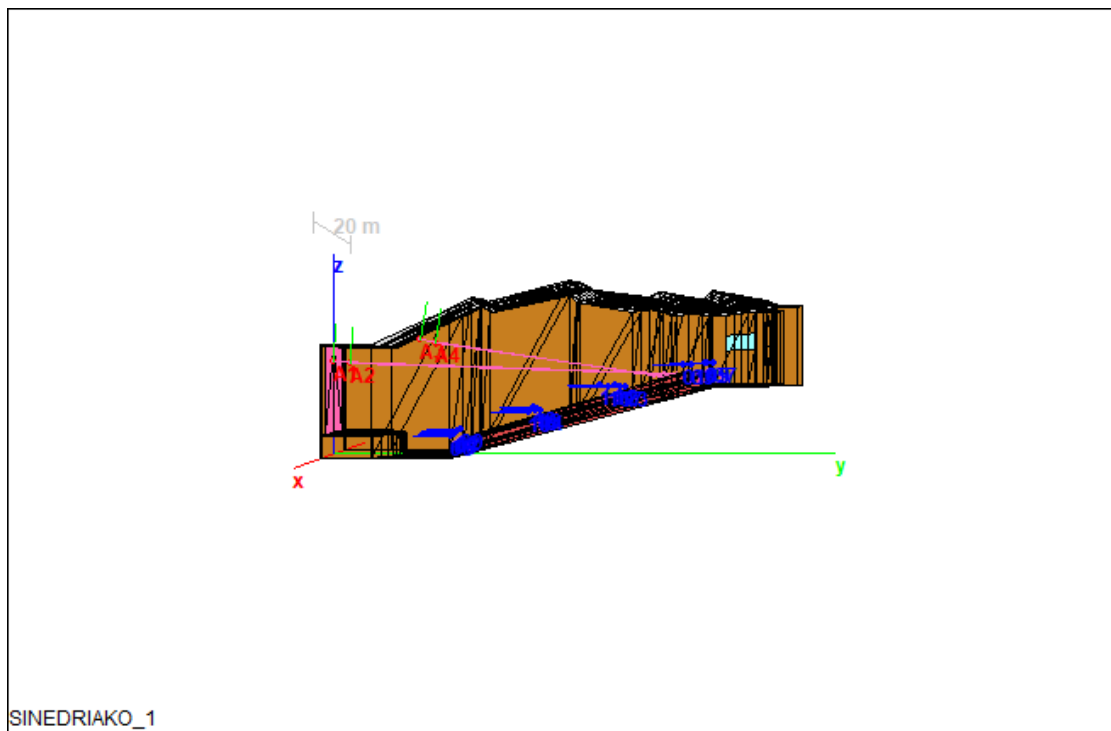
Εικόνα (7) - Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, 3D απεικόνιση.



Εικόνα (8) - Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, Κάτοψη.



Εικόνα (9) - Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, Εμπρόσθια Όψη.



Εικόνα (10) - Μοντέλο Προσομοίωσης CATT-Acoustic, Πλάγια Όψη.

### 2.3.3 Παραδοχές Μοντέλου

Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας του χώρου έγιναν κάποιες παραδοχές απλούστευσης της γεωμετρίας στην δημιουργία του μοντέλου, οι οποίες όπως είναι λογικό επηρέασαν τα αποτελέσματα, αλλά σε αμελητέο βαθμό. Η γενικότερη εικόνα των αποτελεσμάτων θεωρούμε πως είναι ικανή να δώσει μια πολύ καλή αντίληψη του πως δρα ο χώρος.

Για αρχή η αίθουσα ελέγχθηκε μόνο με κλειστή την κουρτίνα στο πίσω μέρος της σκηνής, καθώς ως επί το πλείστον έτσι χρησιμοποιείται. Όσον αφορά στις σκάλες, δεν έγινε μοντελοποίηση των σκαλοπατιών ένα προς ένα, αλλά προσεγγίστηκαν ως ράμπα. Όσον αφορά στο ακροατήριο, δεν μοντελοποιήθηκε θέση προς θέση, αλλά θεωρήθηκε ένας ενιαίος όγκος κοινού όπου υπήρχαν καθίσματα, με ύψος αυτό του μέσου ανθρώπου σε καθιστή θέση. Αριστερά και δεξιά του ακροατηρίου υπάρχει δομή με κάτοψη τεθλασμένης γραμμής (ζιγκ-ζαγκ) που πιθανότατα αποσκοπεί στην διάχυση κάποιων συχνοτήτων στο κοινό. Στο πλαίσιο της εργασίας, η κάτοψη της συγκεκριμένης δομής προσεγγίστηκε ως ευθεία.

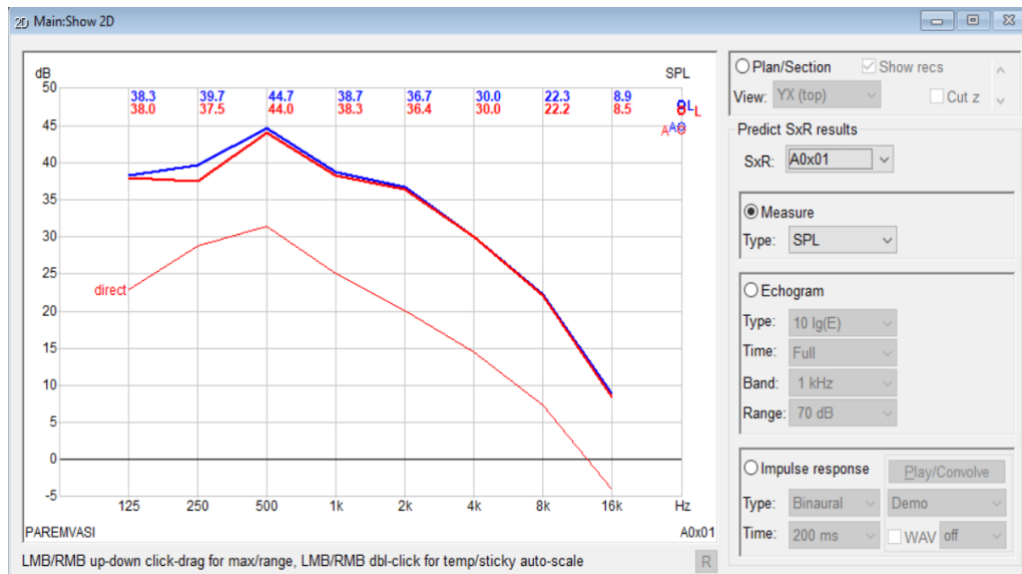
Εφόσον οι πόρτες και οι τοίχοι δεν διαφοροποιούνται ως προς το υλικό τους, τα ανοίγματα των κασωμάτων δεν σχεδιάστηκαν ως ξεχωριστές δομές στο μοντέλο.

## 2.4 Διαχείριση Δεδομένων, Μεθοδολογία

Με το μοντέλο προσομοίωσης πλέον έτοιμο, υπήρχε η δυνατότητα πειραματισμού με τον χώρο με διαδοχικές προσομοιώσεις ποικίλων αλλαγών κάθε φορά. Μετά το πέρας κάθε προσομοίωσης, το CATT-Acoustic δίνει γραφικές και διαγραμματικές απεικονίσεις, για να βοηθήσουν στην αξιολόγηση του χώρου. Ωστόσο για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων, προτιμήθηκε να δημιουργηθούν τα διαγράμματα από το μηδέν. Το μοντέλο μας έχει τέσσερις πηγές ήχου. Το CATT-Acoustic υπολογίζει ξεχωριστά δεδομένα, για κάθε ακροατή, από κάθε πηγή καθώς και για το σύνολο των πηγών. Εμάς μας αφορά μόνο το σύνολο των πηγών. Από το dropdown menu SxR (Source x Receiver), όπως φαίνεται στη Εικόνα (11), επιλέγουμε την θέση συναρτήσεως πηγής θέλουμε να δούμε τα αποτελέσματα, π.χ. με A1x01, A2x01, A3x01, A4x01 ορίζεται η καθεμιά από τις τέσσερις μεμονωμένες πηγές για την θέση 01, ενώ με \*x01 το σύνολο των πηγών για την θέση 01. Οπότε στην περίπτωση μας επιλέχθηκαν SxR από \*x00 έως \*x19, για τις είκοσι θέσεις ακροατών. Από το μενού «Measure, Type:» επιλέγουμε τις ακουστικές παραμέτρους.

Τα «ωμά» δεδομένα (raw data) των αποτελεσμάτων ελήφθησαν με τη μορφή εγγράφου κειμένου «.txt», επιλέγοντας από την γραμμή εντολών την επιλογή «Utilites» και στην συνέχεια «SxR Measure» και τέλος «Export to file», για την κάθε θέση. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά μεταφέρθηκαν στο MS Excel. Εκεί με την βοήθεια των φίλτρων του excel διαχωρίστηκαν τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν. Για κάθε ακουστική παράμετρο το CATT-Acoustic παρουσιάζει δύο σειρές δεδομένων μία τύπου h και μία τύπου E. Η h παρουσιάζει αποτελέσματα για κρουστικές αποκρίσεις, ενώ η E για ενεργειακά ηχογράμματα. Επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα τύπου h για τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, τα οποία είναι τα D50, C80, SPL, RT60, EDT, T15, STI. Τέλος, τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο Matlab R2023a, σε μεταβλητές τύπου cell array και αποθηκεύτηκαν σε αρχεία τύπου «.mat». Το Matlab, με συγγραφή κώδικα (Παράρτημα Β),

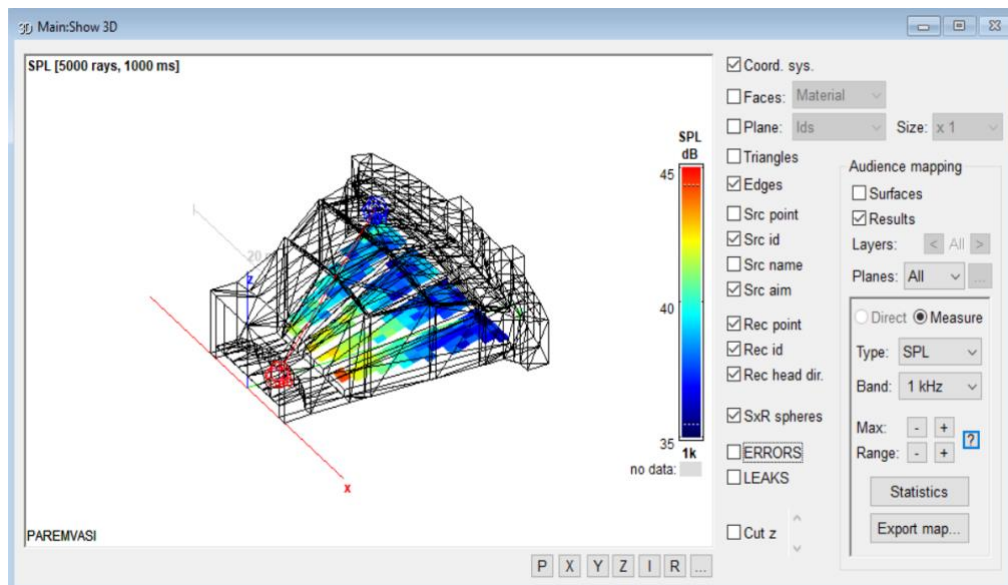
αποτέλεσε το βασικό πρόγραμμα επεξεργασίας των δεδομένων/αποτελεσμάτων και δημιουργίας γραφικών απεικονίσεων τους.



Εικόνα (11) – Απόκομμα από το παράθυρο αποτελεσμάτων του Predict SxR.

Για το κομμάτι του Map Measures, στο υποπρόγραμμα TUCT.exe του CATT-Acoustic ορίζεται ένας χάρτης auralization (όπως αναφέρεται στο CATT-Acoustic) στην περιοχή του κοινού. Σε αυτόν τον χάρτη, απεικονίζονται χρωματικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Ο χάρτης αυτός ορίστηκε στο μέσο ύψος του αυτιού ενός καθιστού ακροατή, πάνω από την άνω επιφάνεια του όγκου του κοινού και για τις ίδιες διαστάσεις, με βήμα (step) μισό μέτρο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα (12) από το πεδίο type επιλέχθηκε η εκάστοτε παράμετρος και επιλέγοντας από την γραμμή εντολών την επιλογή «Edit» και στην συνέχεια «Copy 3D» και τέλος «as Bitmap» αποθηκεύτηκαν οι αντίστοιχες εικόνες. Στην επιλογή Band επιλέχθηκε το sum, που παρουσιάζει τον χάρτη χρωματικής απεικόνισης για όλες τις συχνότητες.



Εικόνα (12) - Απόκομμα από το παράθυρο αποτελεσμάτων του Map Measures.

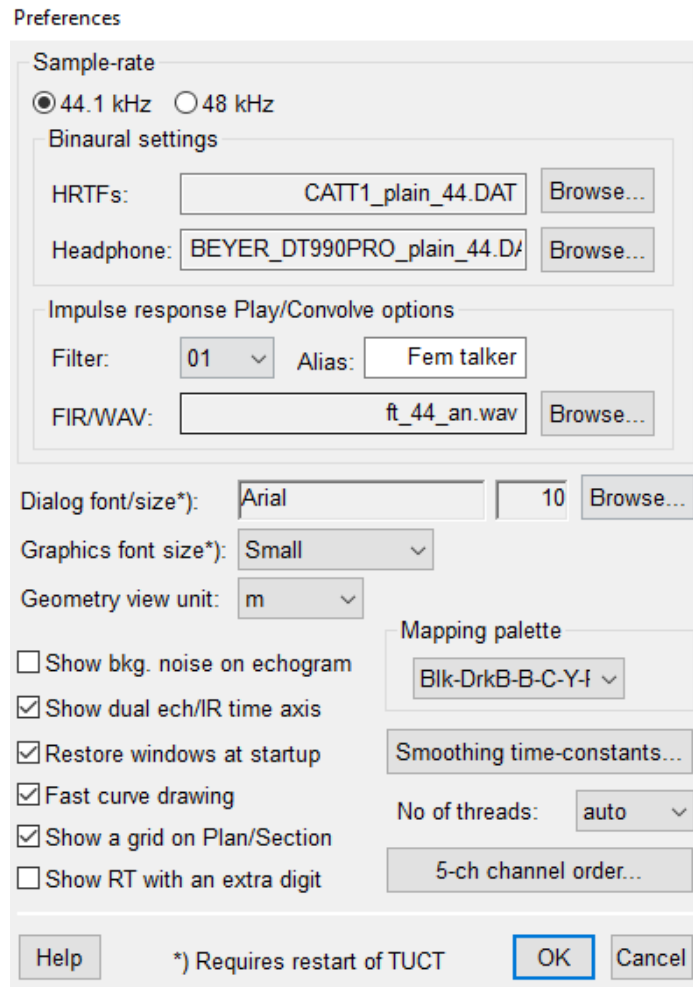
Στο τελικό μοντέλο μετά την τροποποίηση που προτάθηκε (η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2.5.3), υπήρχε η ανάγκη να δειχθούν και τα αποτελέσματα του απευθείας πεδίου προς το αντηχητικό (D/R). Αυτό επιτυγχάνεται εάν τρέξουμε το Map Direct και σε αντιπαραβολή με τα δεδομένα από το Map Measures απεικονίζεται το D/R με την μορφή χρωματικού χάρτη. Δυστυχώς, το CATT-Acoustic δίνει την δυνατότητα για αυτή την μέτρηση μόνο για μία πηγή και όχι για το σύνολο και των τεσσάρων. Συνεπώς, έγιναν τέσσερις διαφορετικές προσομοιώσεις με ενεργοποιημένη μία διαφορετική πηγή από τις τέσσερις κάθε φορά. Με το κουμπί «Export Map», πήραμε τα αποτελέσματα σε raw data σε ένα αρχείο τύπου «.txt» με την κάτοψη του ακροατηρίου. Με την βοήθεια των συντεταγμένων, βρέθηκαν οι τιμές των είκοσι θέσεων. Τα αποτελέσματα περάστηκαν στο excel και ύστερα στο Matlab, για να επιτευχθεί η γραφική τους απεικόνιση.

## 2.5 Προσομοίωση Μοντέλου

### 2.5.1 Παράμετροι Προγράμματος CATT-Acoustic

Αφότου έχουν οριστεί οι διαδρομές εξόδου του προγράμματος, πριν τρέξουμε την προσομοίωση έπρεπε πρώτα να οριστούν και οι παράμετροι της. Πρώτα στις γενικές ρυθμίσεις (Preferences) του CATT-Acoustic και έπειτα για τα πεδία Predict SxR, Map Direct Sound και Map Measures. Οι ρυθμίσεις που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στις Εικόνες (13) έως (16).





Εικόνα (13) – Preferences CATT.

Predict SxR settings

Algorithm

Closed room

1: Short calculation, basic auralization ?

Max split-order: 0 E averages: 1 ?

Closed or open room

2: Longer calculation, detailed auralization ?

3: Even longer calculation, detailed auraliz. ?

Calculation parameters

Number of rays/cones

Primary: 3500000  Suggest

Echogram/Impulse response

Length: 1000.0 ms  Suggest

One processing thread  Air absorption

Shut down when done  Diffraction

Create ITU 5-ch IRs

B-format order: 1st

Help Run OK Cancel

Εικόνα (14) – Ρυθμίσεις Predict SxR.

Map direct sound settings

Map data

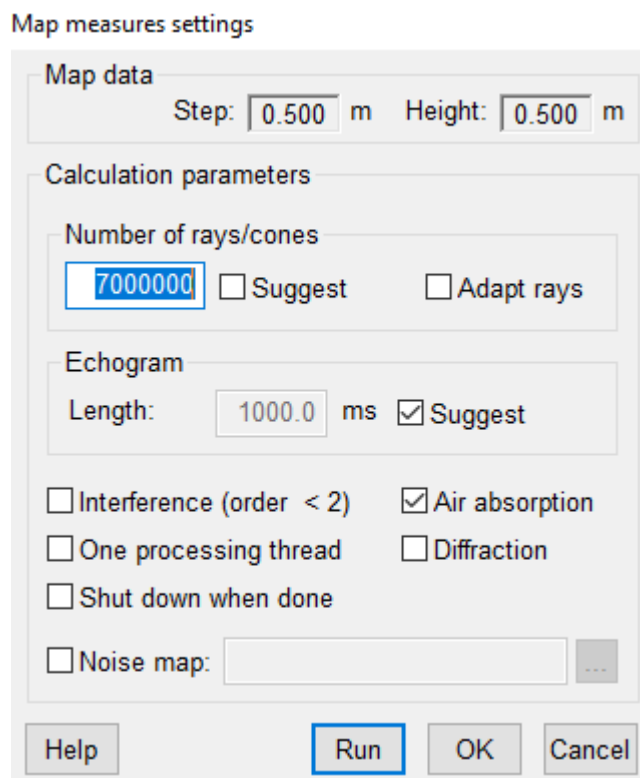
Step: 0.500 m Height: 0.500 m

Calculation parameters

Interference  Air absorption

Help Run OK Cancel

Εικόνα (15) – Ρυθμίσεις Map Direct Sound.

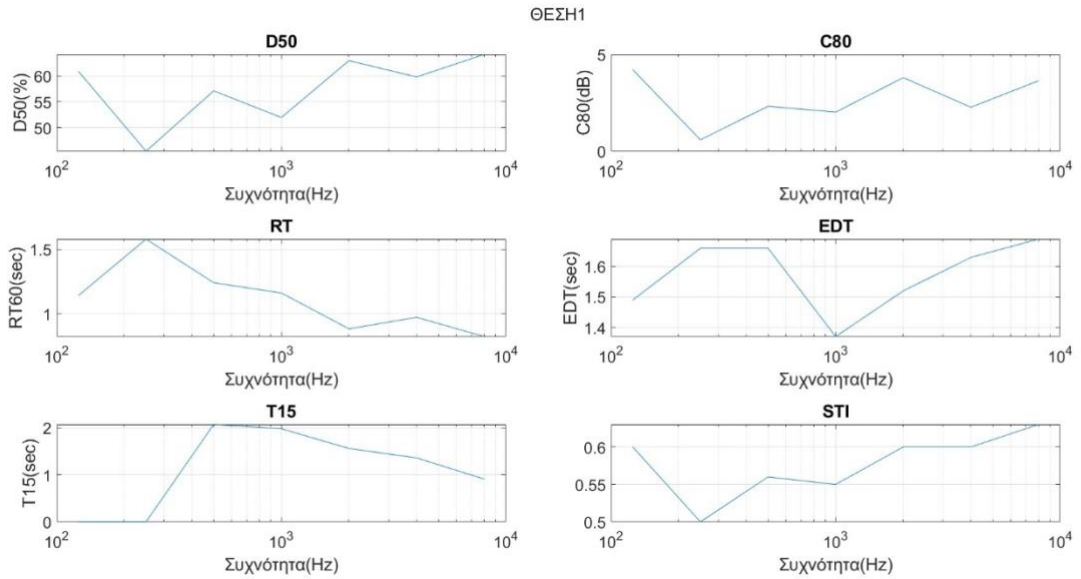


Εικόνα (16) – Ρυθμίσεις Map Measures.

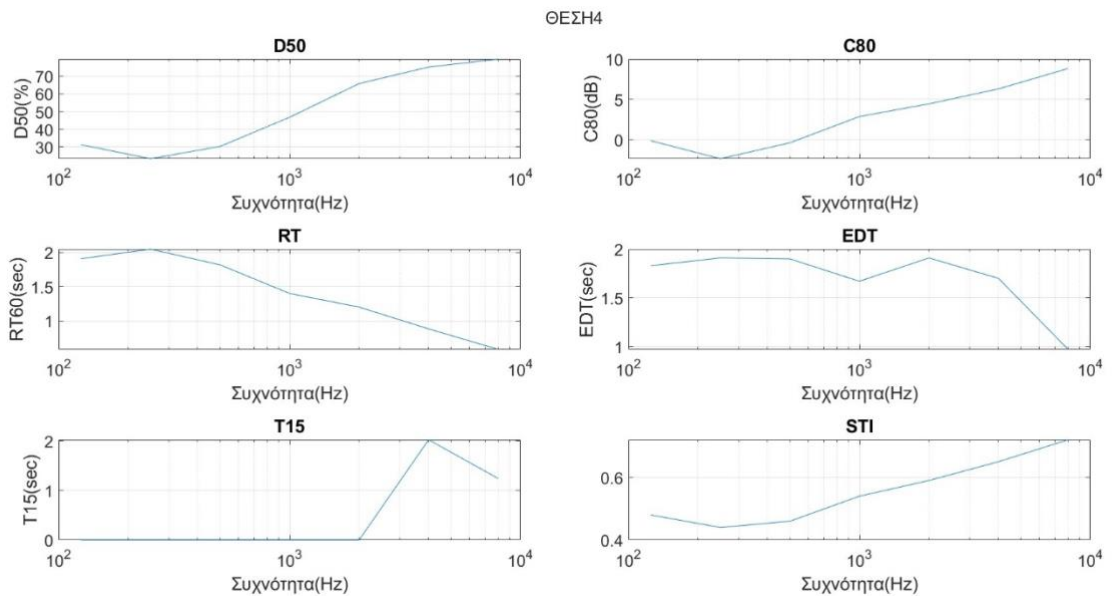
Με τον προσδιορισμό των ρυθμίσεων επιτυγχάνεται ομοιομορφία στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε το workstation Dell Precision 7920 Tower του ECTLab, όπου και υπάρχει αγορασμένη άδεια για το CATT. Η πολυπλοκότητα των υπολογισμών της προσομοίωσης σε ένα μοντέλο τέτοιας γεωμετρικής πολυπλοκότητας απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Λόγω αυτού, ο χρόνος κάθε προσομοίωσης ήταν περίπου τέσσερις με έξι μέρες και όπως γίνεται αντιληπτό αποτέλεσε μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία.

### 2.5.2 Πρώτες Εντυπώσεις

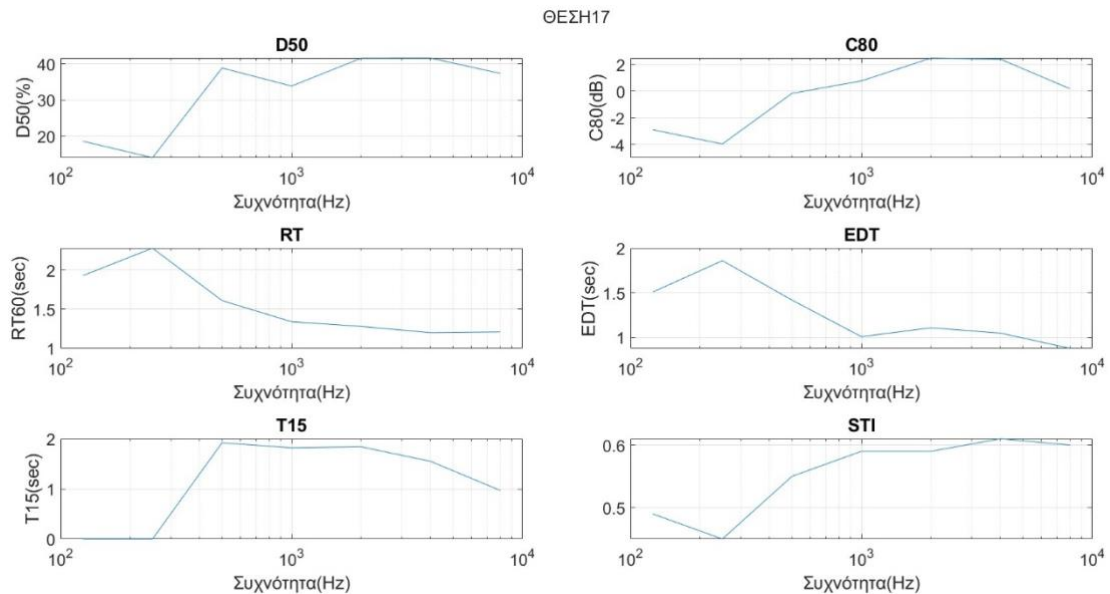
Το αμφιθέατρο του συνεδριακού κέντρου σαν χώρος προορίζεται σχεδόν αποκλειστικά για χρήσεις ομιλίας. Τα αποτελέσματα λοιπόν που θα περιμέναμε να δούμε, θα έπρεπε να ανταποκρίνονται σε αντίστοιχες προδιαγραφές. Όμως τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των πρώτων προσομοιώσεων όπως θα φανεί και αναλυτικότερα στο επόμενο κομμάτι της μελέτης, δεν ήταν ικανοποιητικά. Στις Εικόνες (17), (18), (19) παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα για τρεις τυχαίες θέσεις.



Εικόνα (17) – Ακουστικές Παράμετροι Θέσης 1, Αποτέλεσμα Προσομοίωσης.



Εικόνα (18) – Ακουστικές Παράμετροι Θέσης 4, Αποτέλεσμα Προσομοίωσης.



Εικόνα (19) – Ακουστικές Παράμετροι Θέσης 17, Αποτέλεσμα Προσομοίωσης.

### 2.5.3 Δοκιμές, Πρόταση Παρέμβασης

Ο μέσος συντελεστής ανάκλασης και ο όγκος της αίθουσας, αποτελούν δύο βασικά στοιχεία που καθορίζουν την ακουστική κάθε κλειστού χώρου, οπότε αλλαγές σε αυτά είναι η πρώτη προσέγγιση για τη βελτίωση της ακουστικής απόκρισης του χώρου. Έτσι, αλλάζοντας υλικά από διάφορες επιφάνειες στην αίθουσα, μπορούμε να αυξήσουμε την απορρόφηση της αίθουσας και επηρεάζοντας την γεωμετρία της, μπορούμε να μειώσουμε τον όγκο, βελτιώνοντας έτσι την ακουστική της ποιότητα. Για επιτευχθεί αυτό, εξετάστηκαν διάφορες αλλαγές στα υλικά (πάνελ φελλού, συμπιεσμένο χώμα, χοντρές κουρτίνες) ή και την γεωμετρία του χώρου (προσθήκη επιφανειών), η αποδοτικότητα των οποίων ελέγχθηκε με επαναπροσομοιώσεις στο μοντέλο. Με αυτή την διαδικασία καταλήξαμε στην πρόταση της προσθήκης αιωρούμενης κατασκευής με διάτρητα πάνελ γυψοσανίδας στην οροφή πάνω από το ακροατήριο και της αντικατάστασης των τοίχων, εκτός αυτών της σκηνής, με διάτρητα ξύλινα πάνελ.

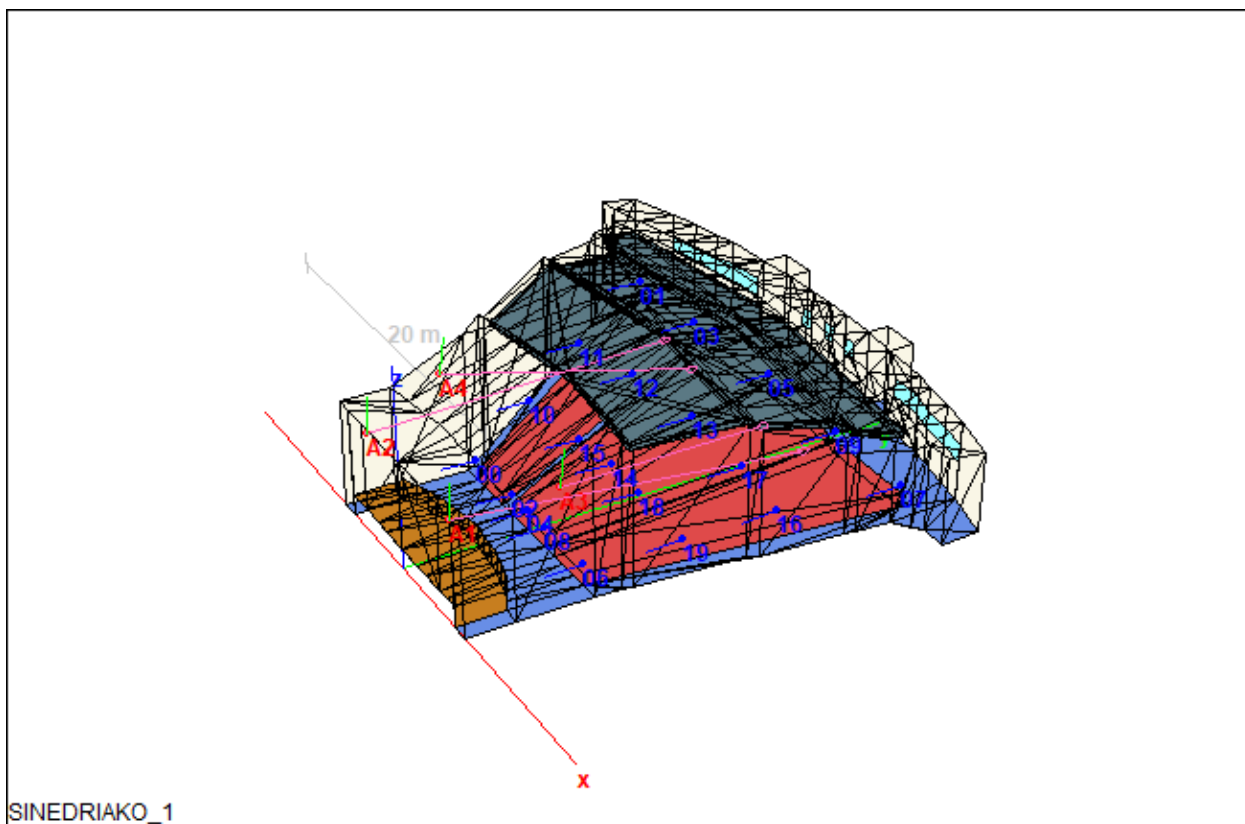
Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν πάνελ διάτρητης γυψοσανίδας της εταιρίας KNAUFF [6] και διάτρητα ξύλινα πάνελ της εταιρίας ALPHA Ακουστική [5]. Οι συντελεστές απορρόφησης τους είναι φαίνονται στον Πίνακα (3).

#### Οκταβική Ζώνη

		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Υλικό	Διάτρητη γυψοσανίδα	0,60	0,87	0,52	0,56	0,43	0,51
	Διάτρητο ξύλινο πάνελ	0,39	0,86	0,58	0,29	0,15	0,10

Πίνακας (3) – Συντελεστές Απορρόφησης για τα υλικά της παρέμβασης. [1] [5] [6]

Τα υλικά αυτά επιλέχθηκαν διότι η αίθουσα παρουσίαζε το μεγαλύτερο πρόβλημα στις χαμηλές και τις μεσαίες συχνότητες.



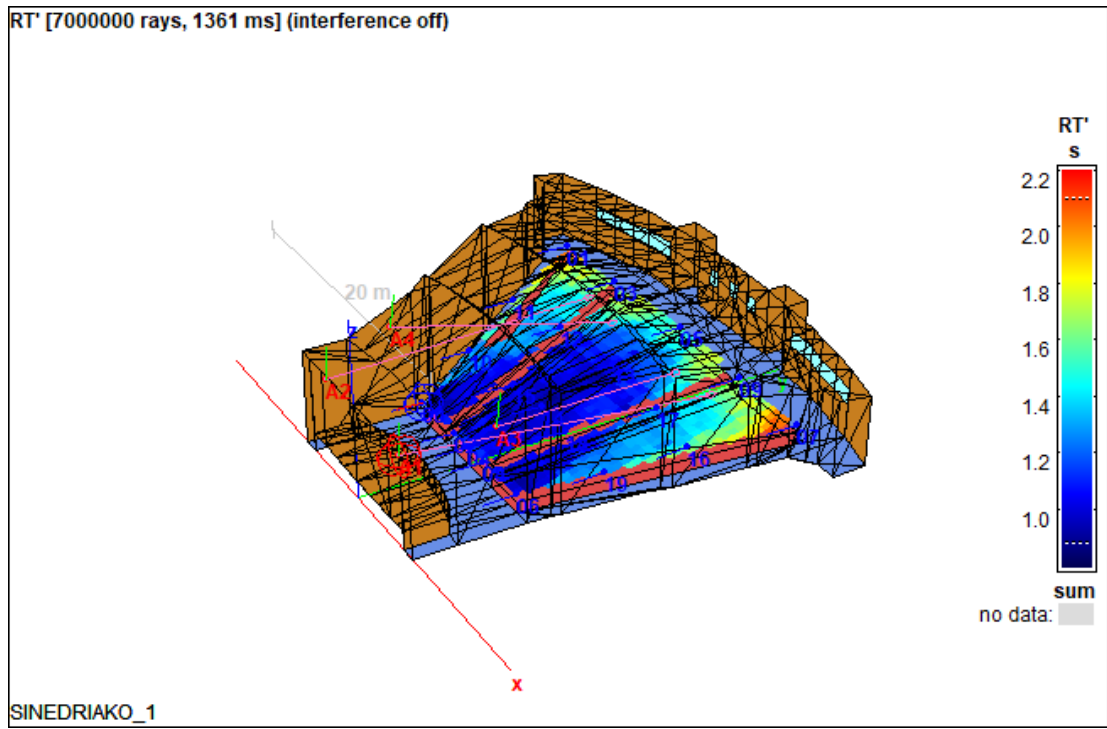
Εικόνα (20) – Μοντέλο προσομοίωσης μετά τις προτεινόμενες παρεμβάσεις.

Ο τελικός κώδικας του μοντέλου βρίσκεται στο Παράρτημα Α της εργασίας.

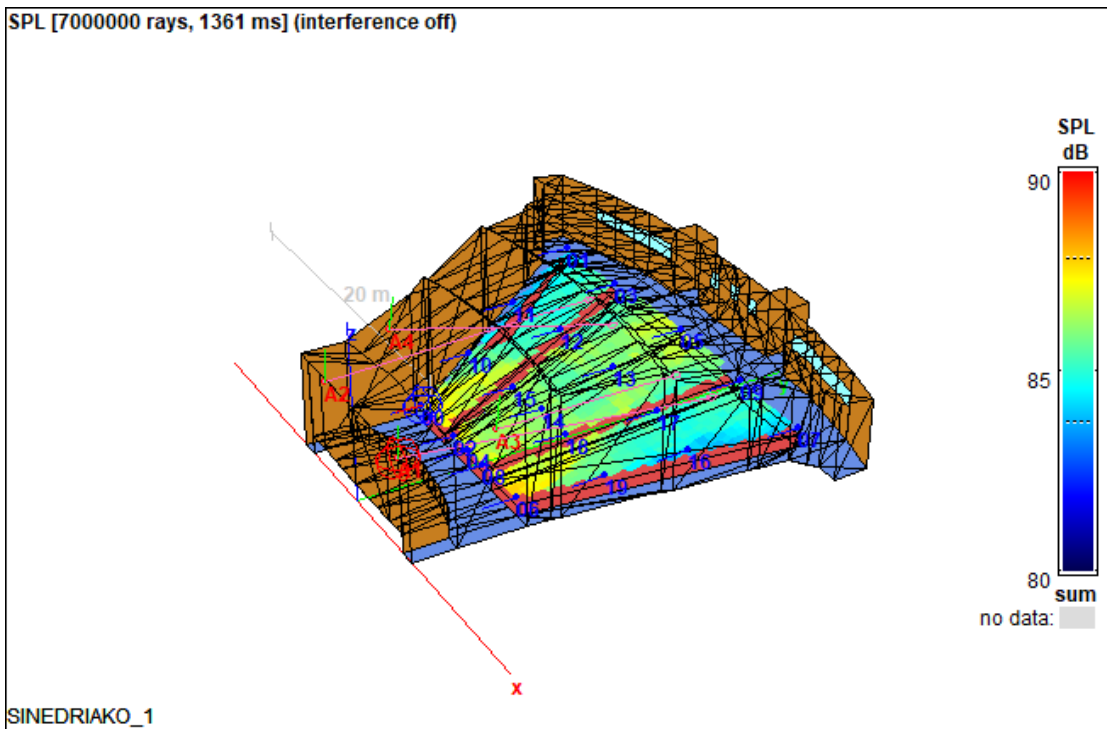
## 2.6 Αποτελέσματα

### 2.6.1 Αποτελέσματα αρχικού μοντέλου

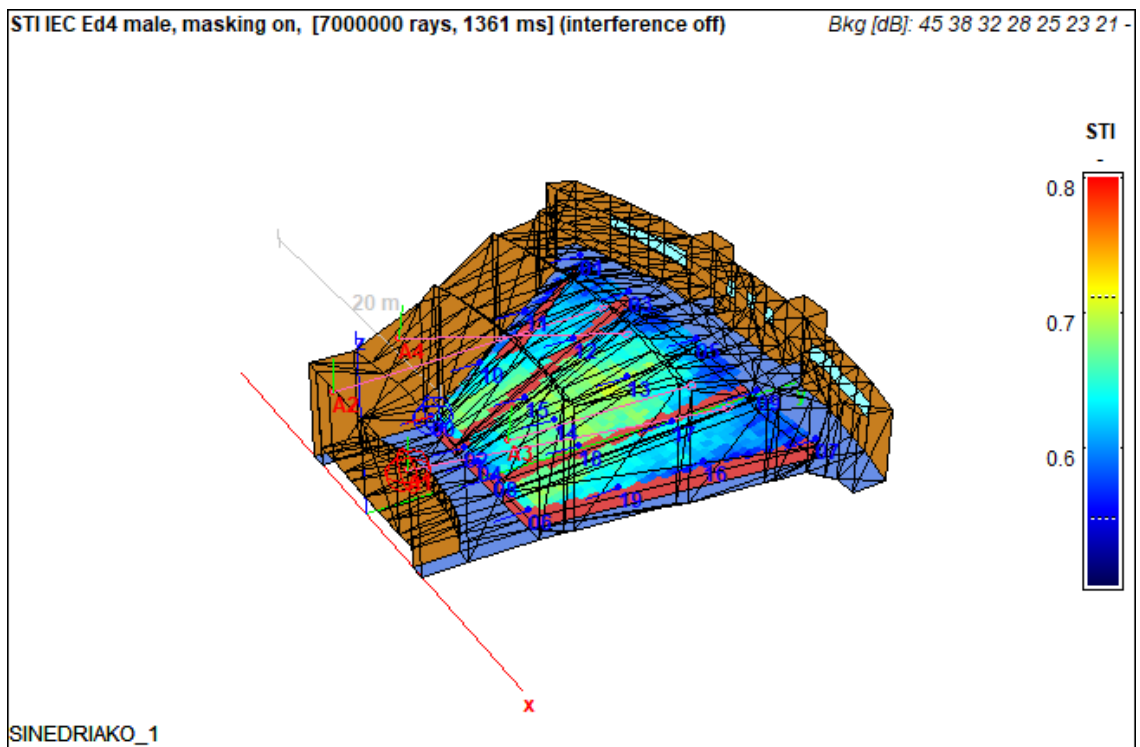
Σε αυτή την παράγραφο, παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της αίθουσας, όπως αυτή υφίσταται, με τη μορφή χαρτών θερμικής απεικόνισης και με τη μορφή ιστογραμμάτων.



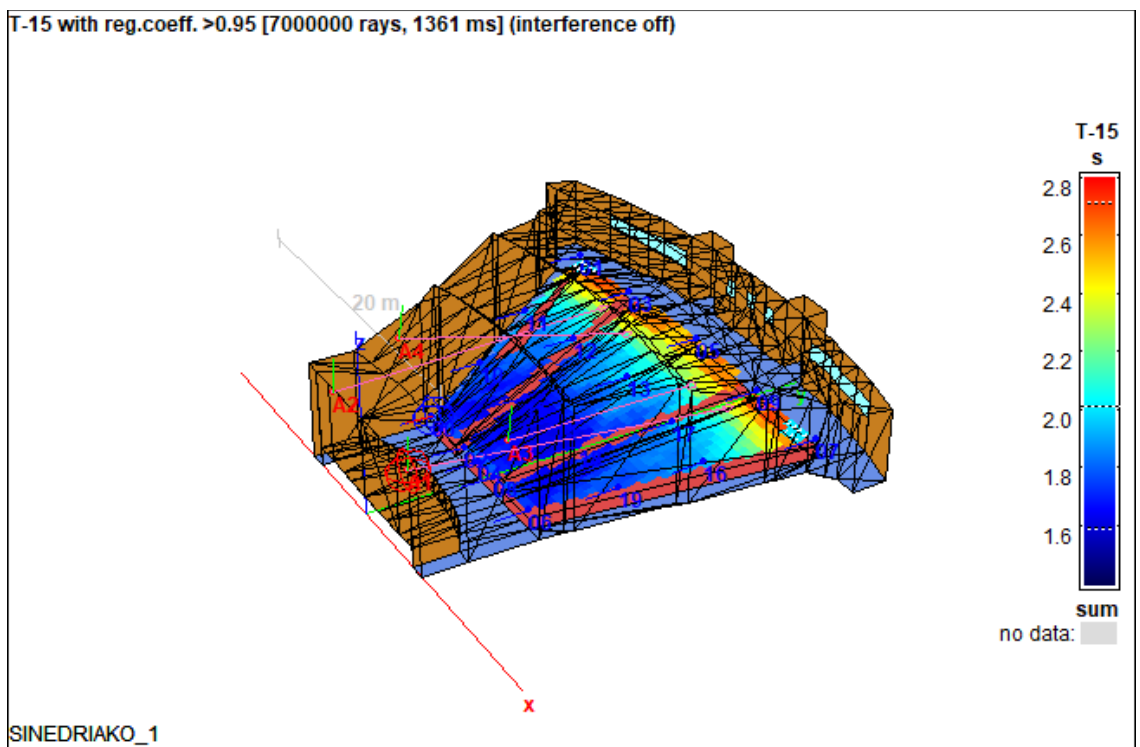
Εικόνα (21) – Χρόνος Αντήλησης RT60 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



Εικόνα (22) – Στάθμη Πίεσης πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

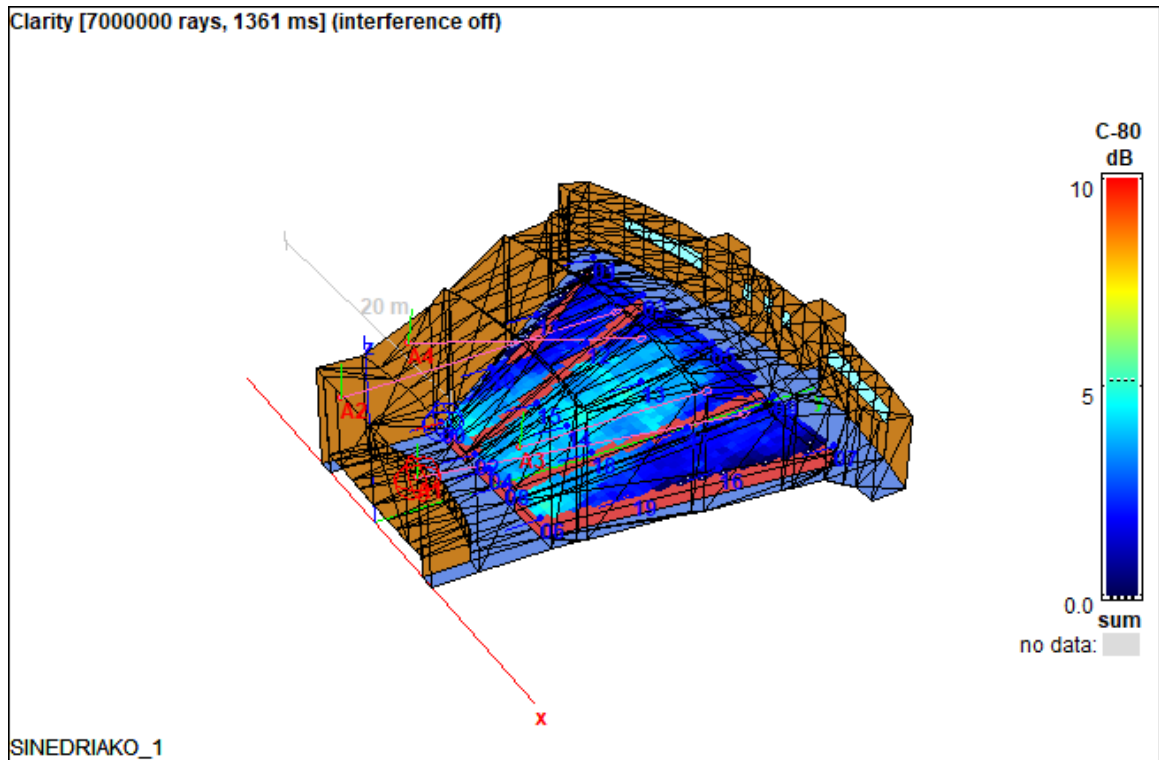


Εικόνα (23) – Speech Transmission Index(STI) πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

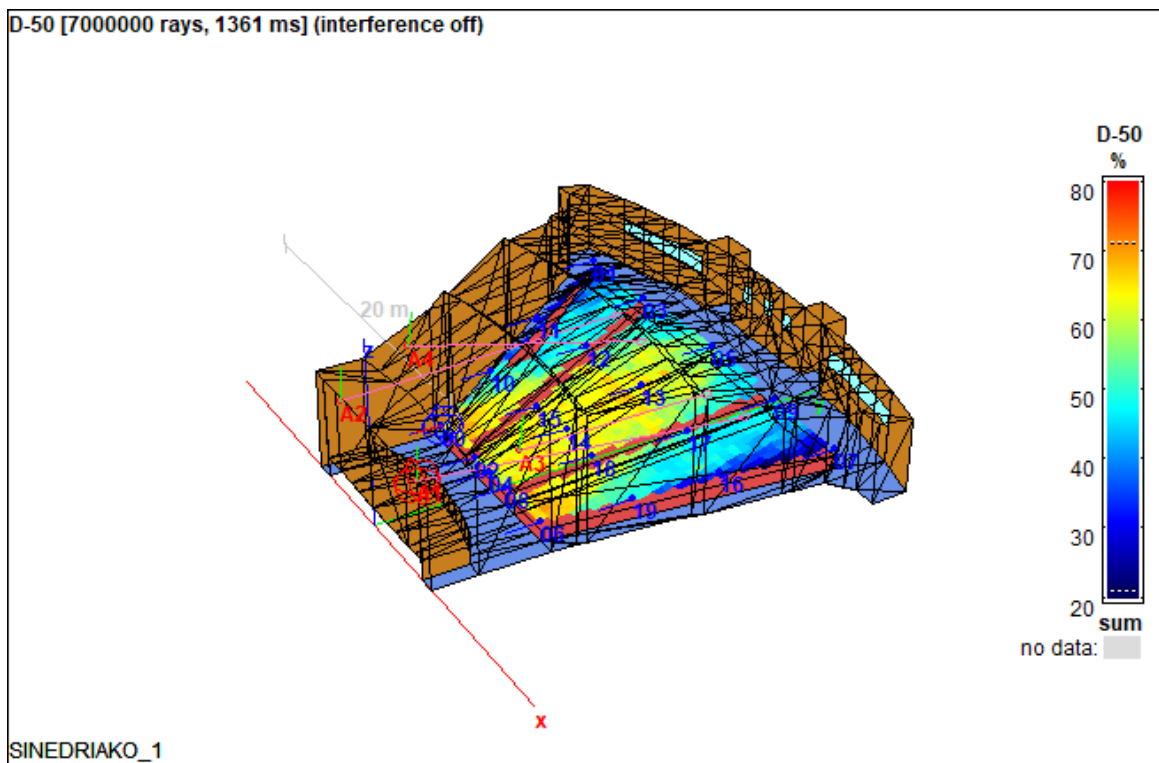


Εικόνα (24) – Χρόνος Αντήχησης T15 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

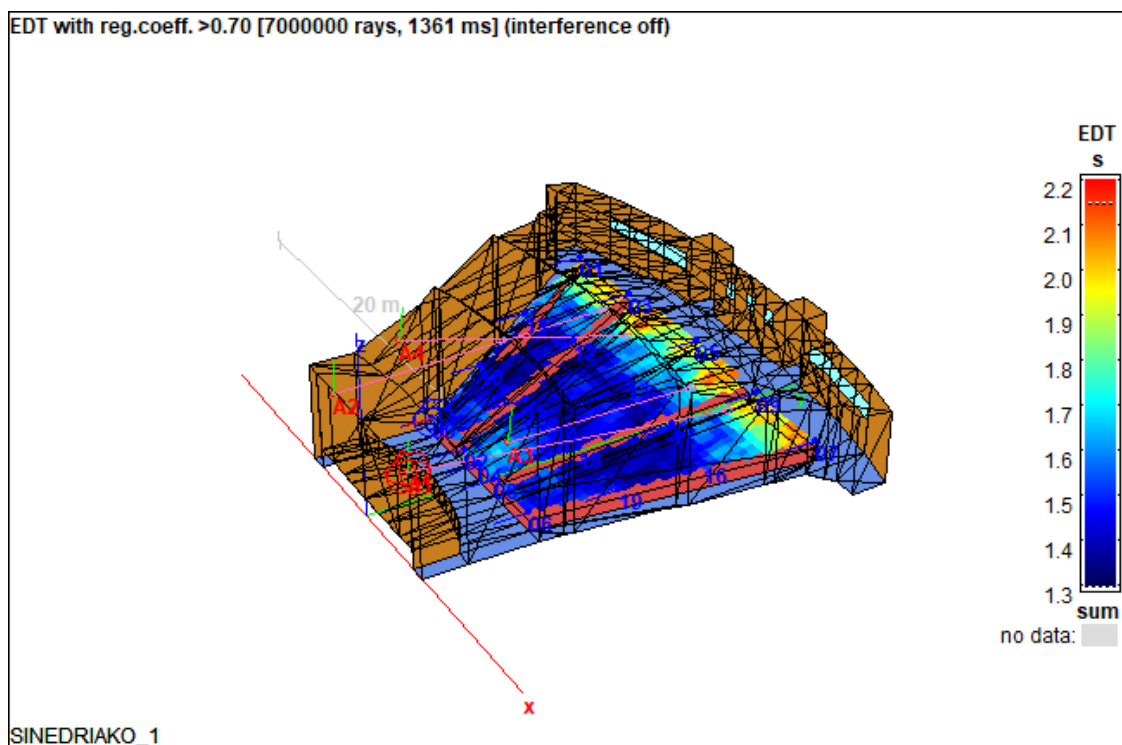




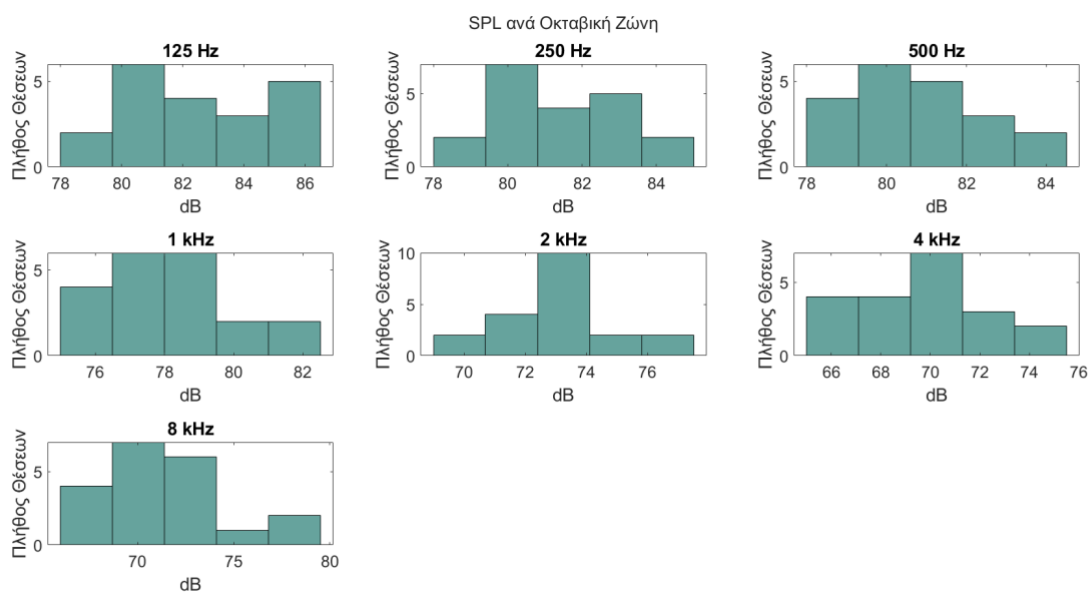
Εικόνα (25) – Ευκρίνεια C80 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



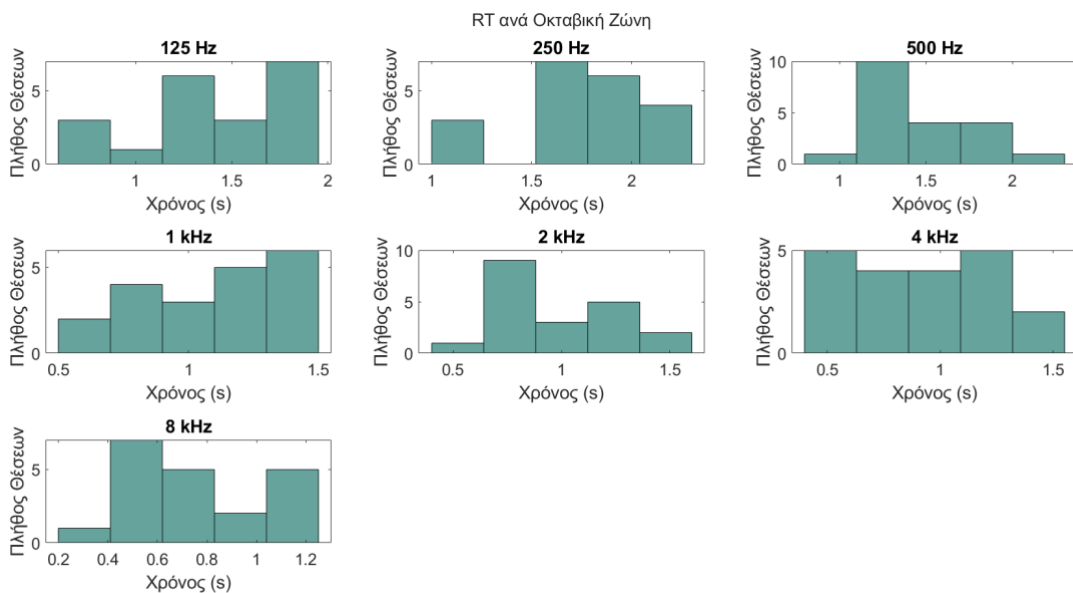
Εικόνα (26) – Διακριτότητα D50 πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



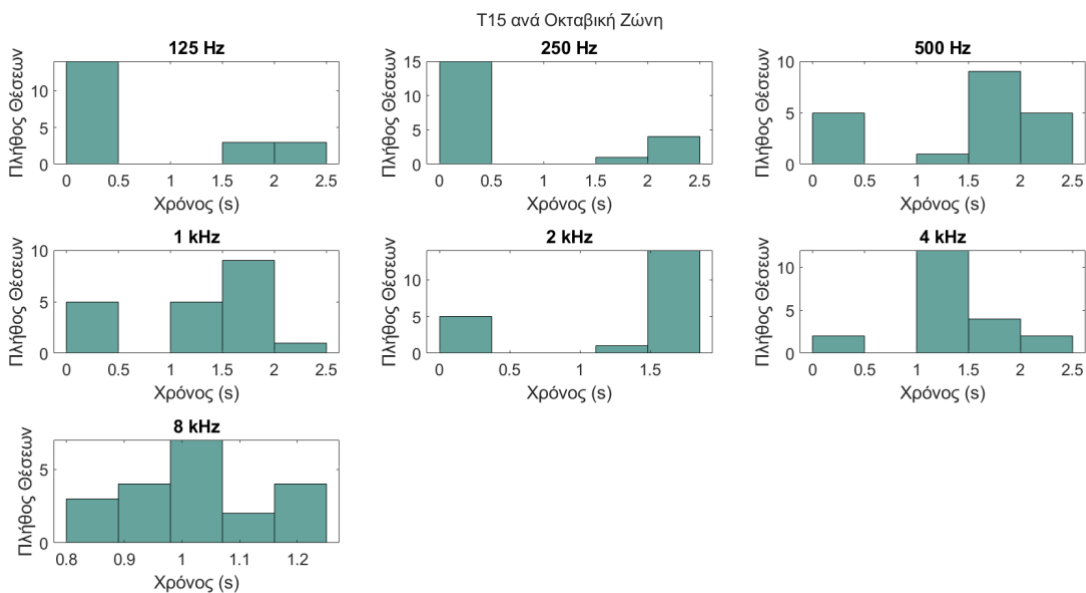
Εικόνα (27) – Χρόνος Αντήχησης EDT πριν την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



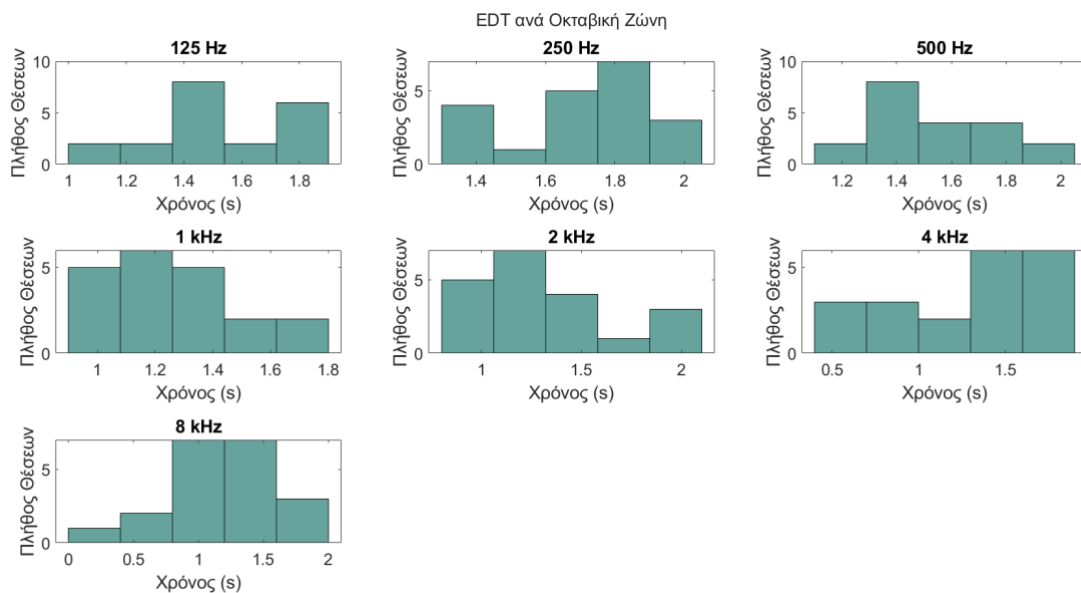
Εικόνα (28) – Ιστογράμματα Στάθμης Πίεσης SPL ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.



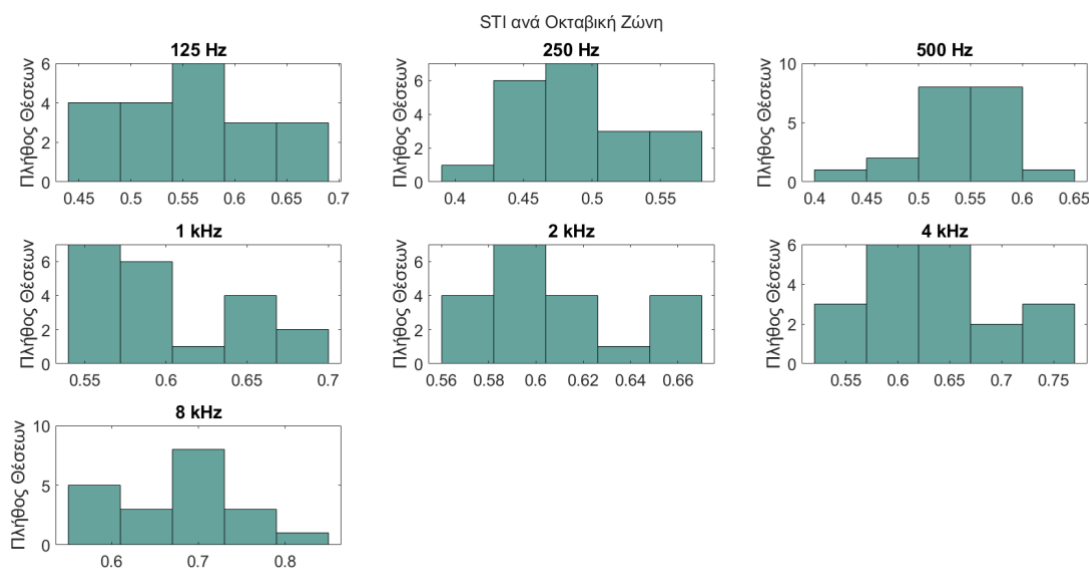
Εικόνα (29) – Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης RT60 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.



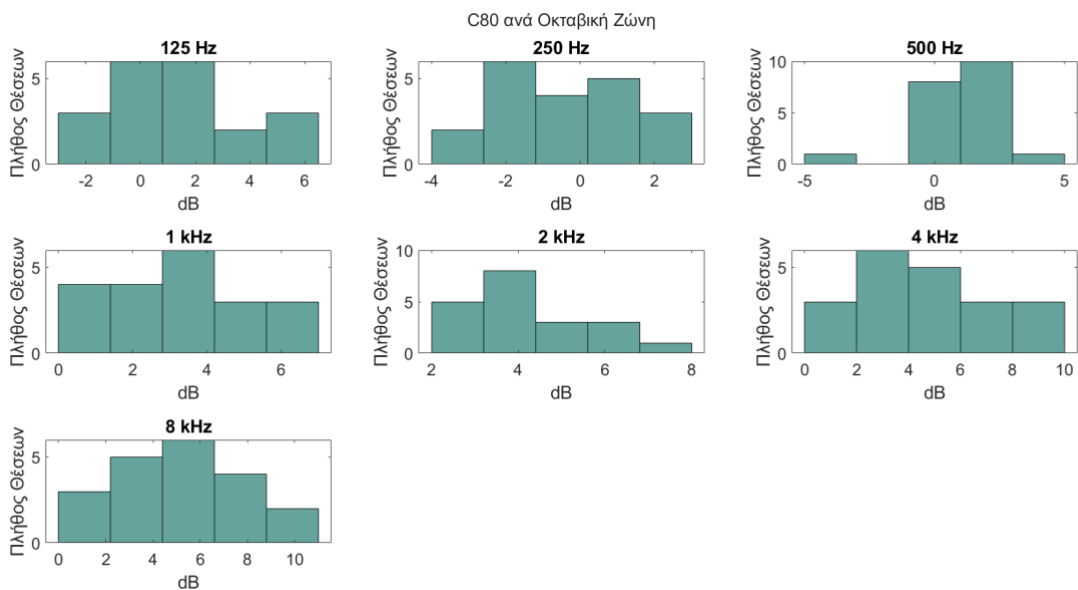
Εικόνα (30) – Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης T15 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.



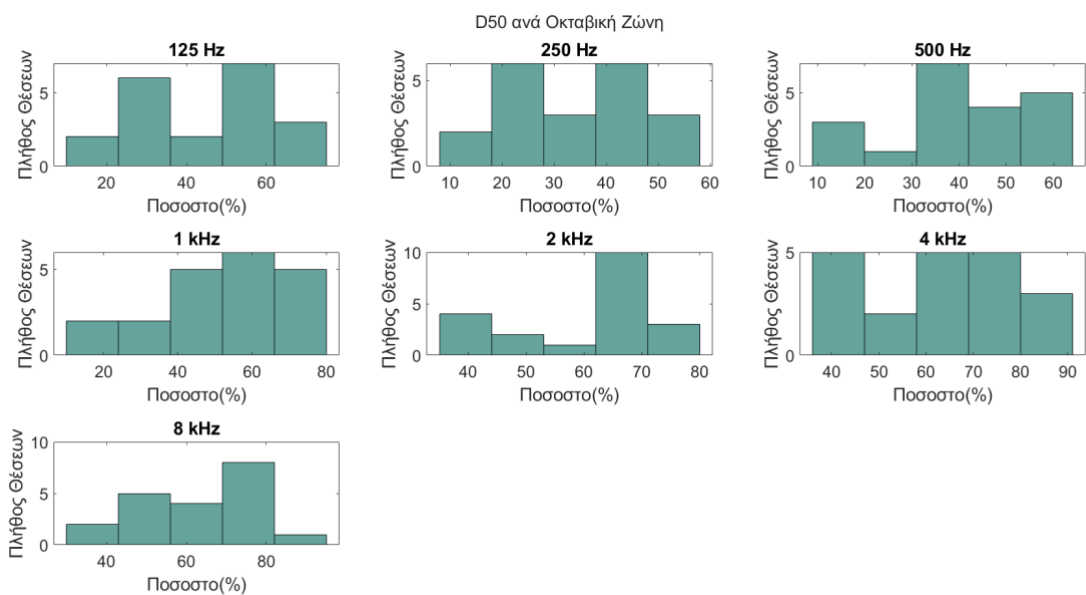
Εικόνα (31) – Ιστογράμματα Χρόνου Αντήρησης EDT ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.



Εικόνα (32) – Ιστογράμματα STI (Speech Transmission Index) ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.



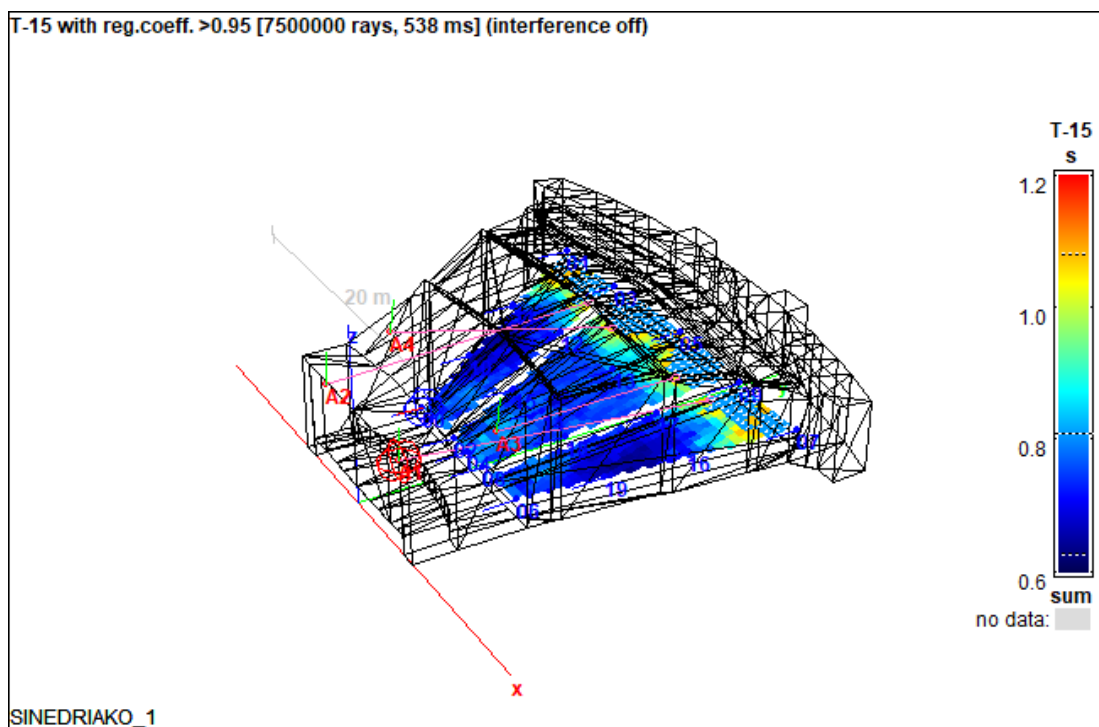
Εικόνα (33) – Ιστογράμματα Ευκρίνειας C80 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.



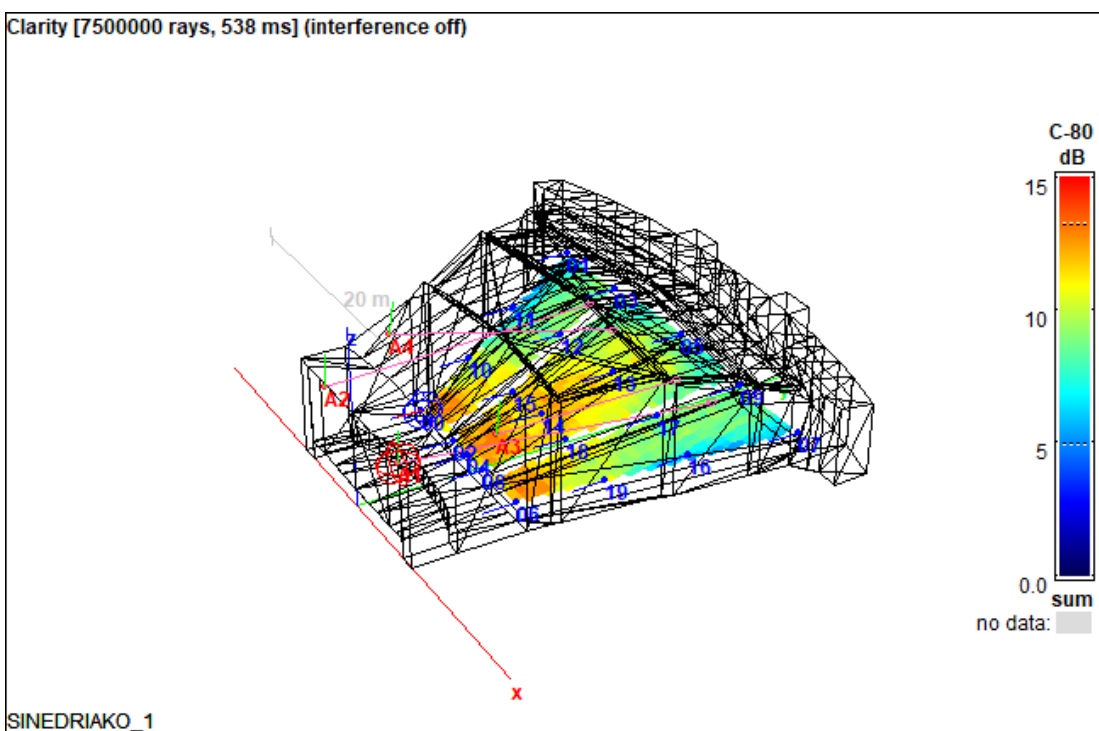
Εικόνα (34) – Ιστογράμματα Διακριτότητας D50 ανά οκταβική ζώνη, πριν την παρέμβαση.

### 2.6.2 Αποτελέσματα τελικού μοντέλου

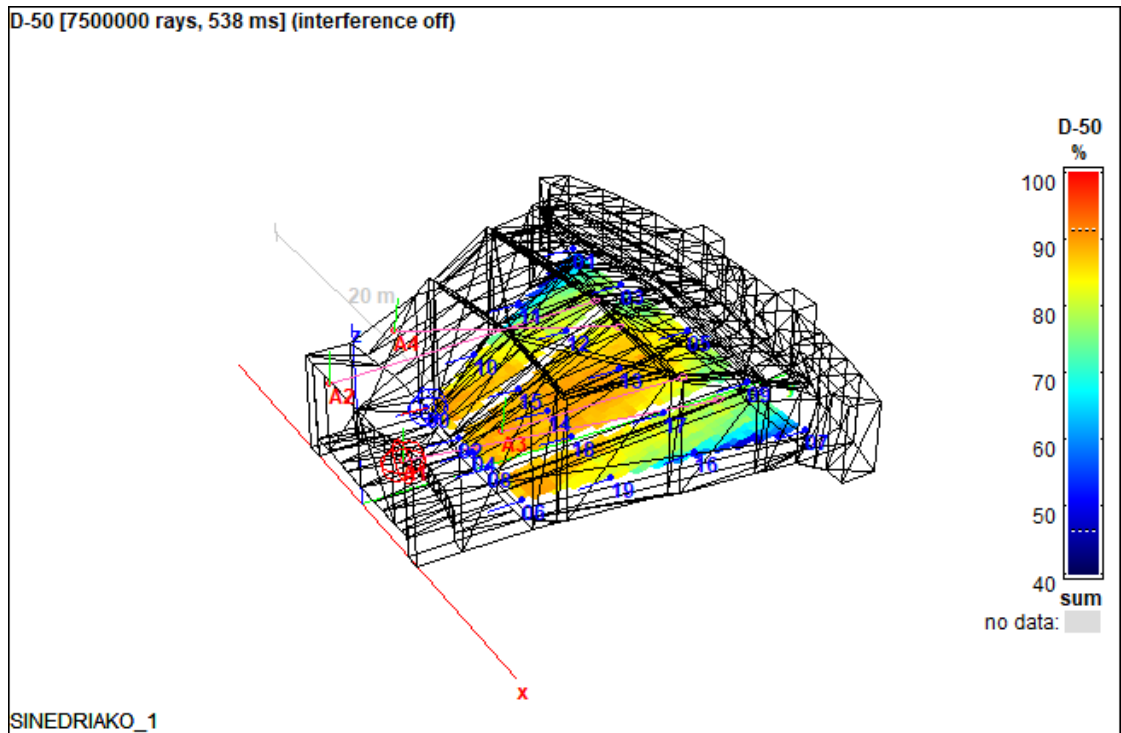
Σε αυτή την παράγραφο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της αίθουσας μετά τις προτεινόμενες παρεμβάσεις στον χώρο με τη μορφή χαρτών θερμικής απεικόνισης και με τη μορφή ιστογραμμάτων.



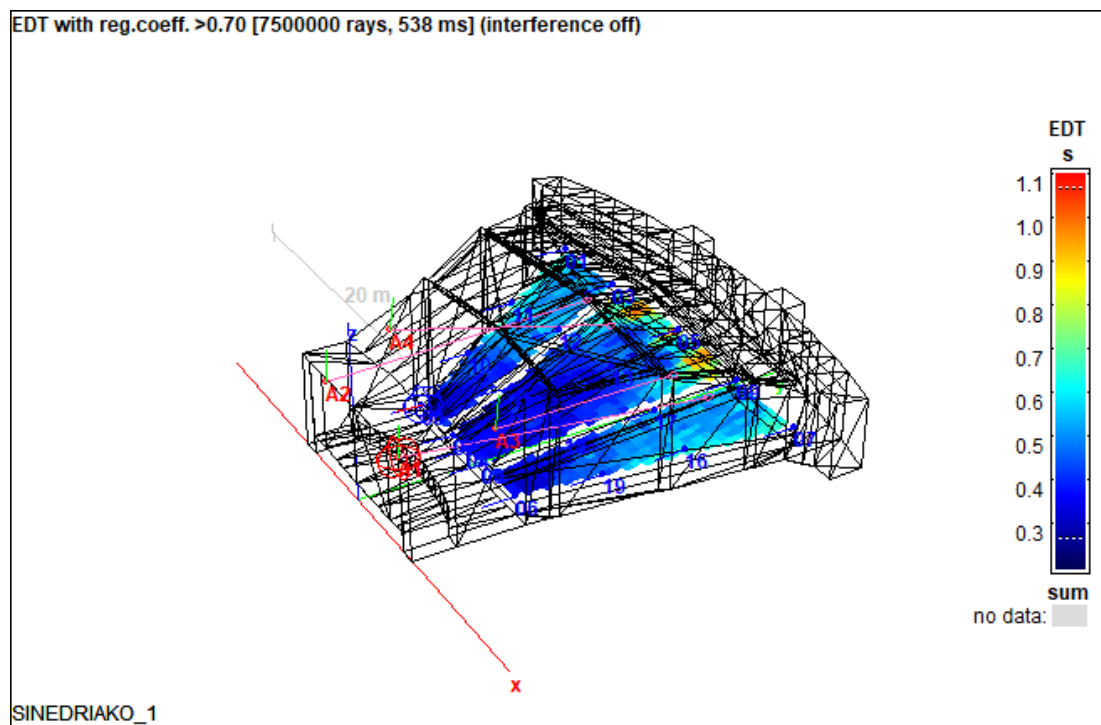
Εικόνα (35) – Χρόνος Αντήχησης T15 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



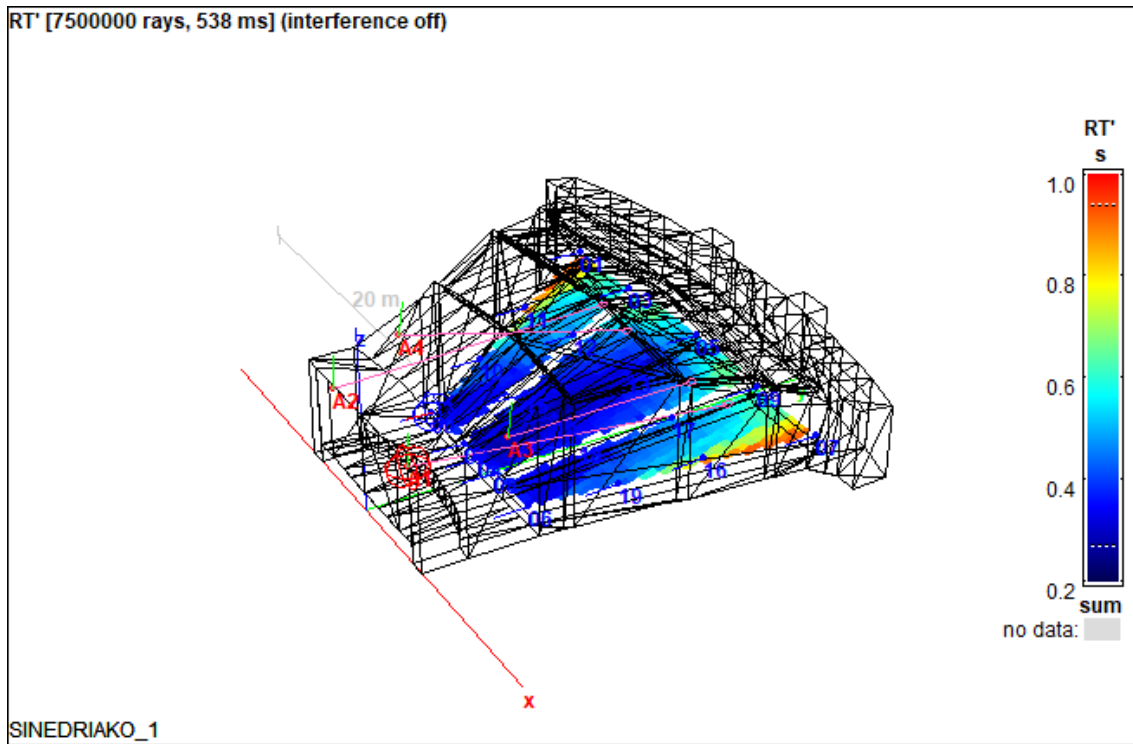
Εικόνα (36) – Ευκρίνεια C80 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



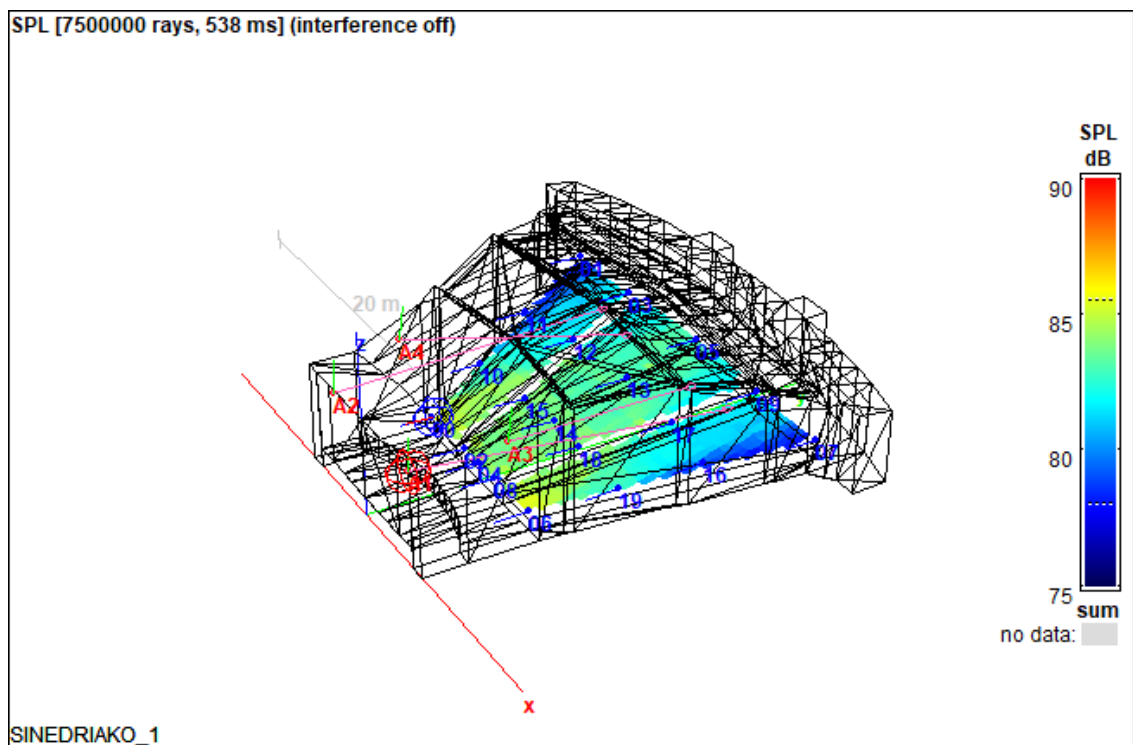
Εικόνα (37) – Διακρίττητα D50 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



Εικόνα (38) – Χρόνος Αντήχησης EDT μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

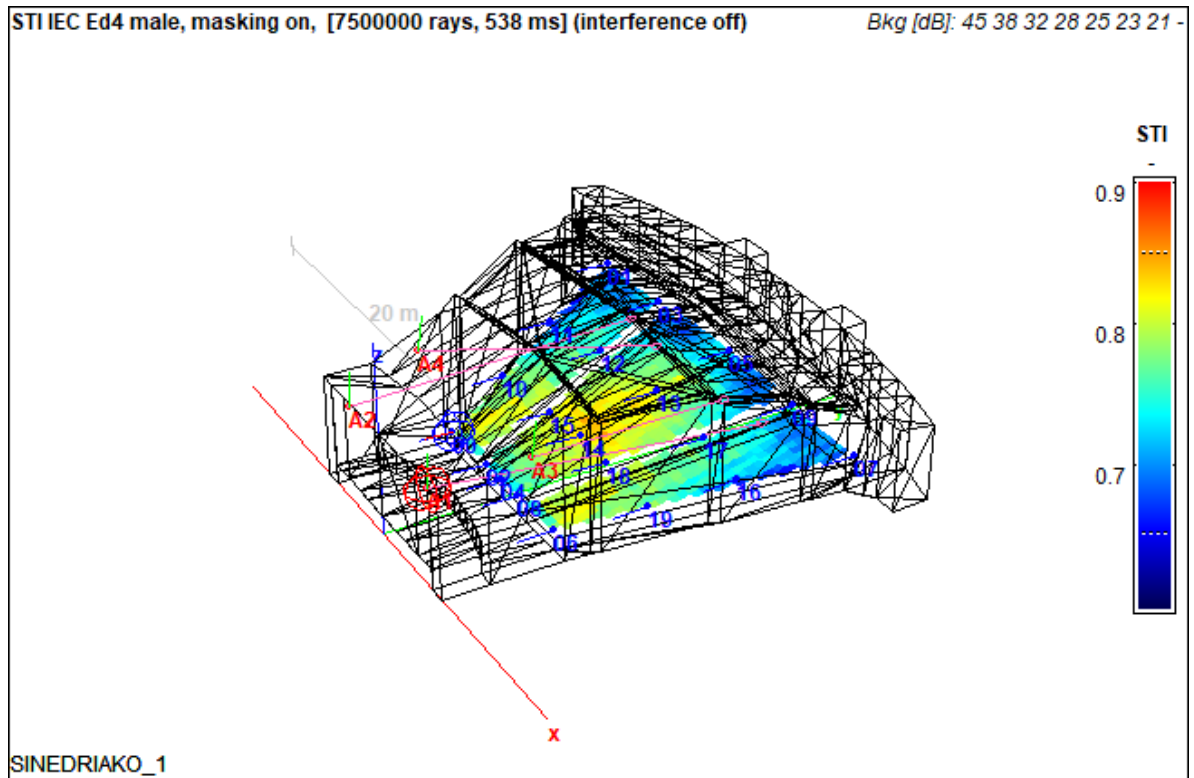


Εικόνα (39) – Χρόνος Αντήρησης RT60 μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

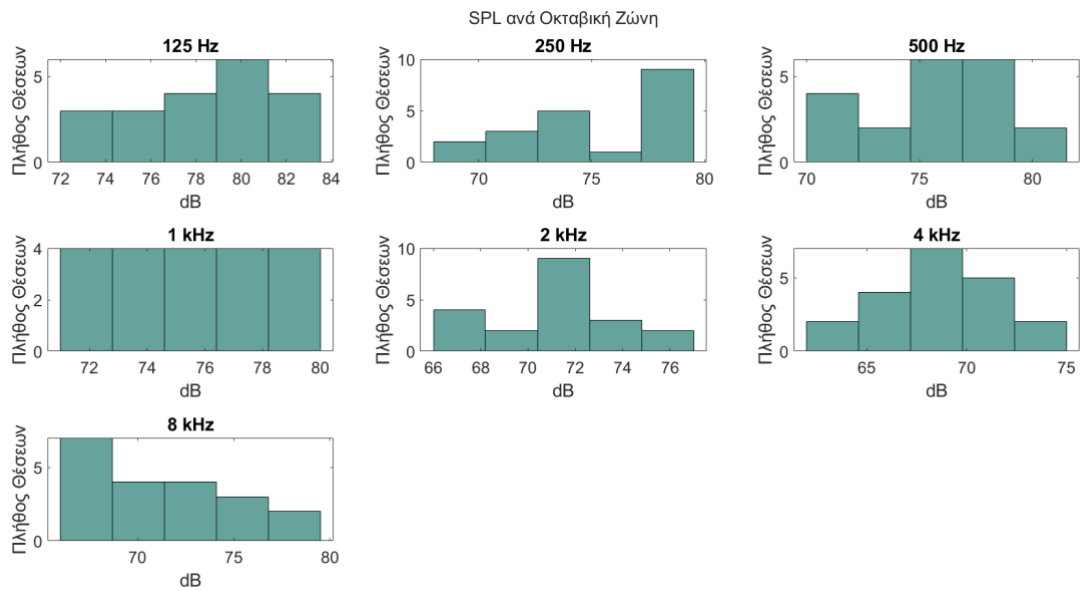


Εικόνα (40) – Στάθμη Πίεσης SPL μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.

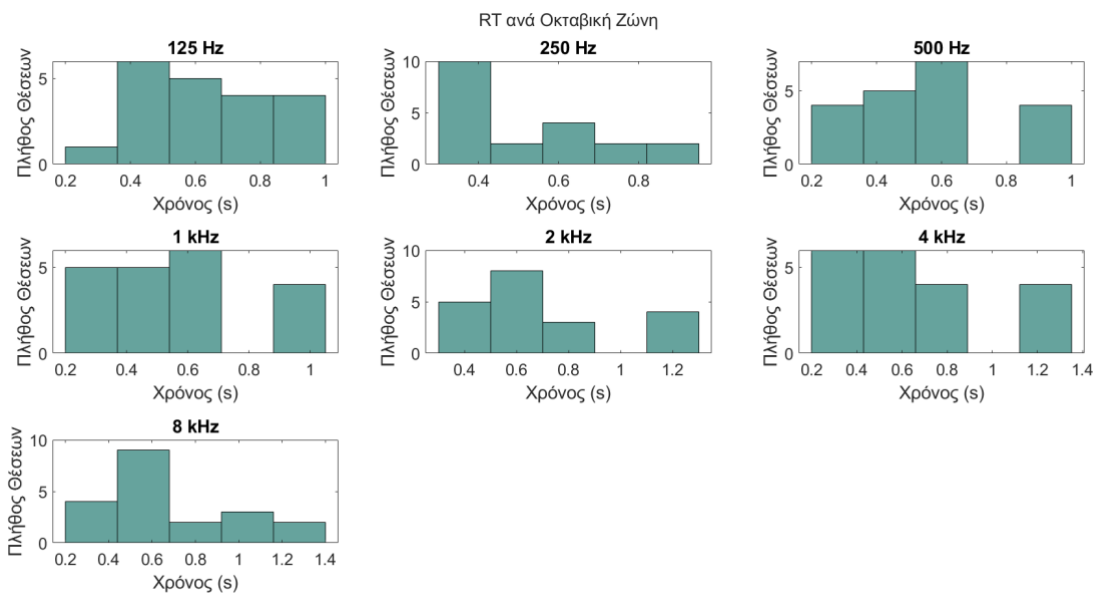




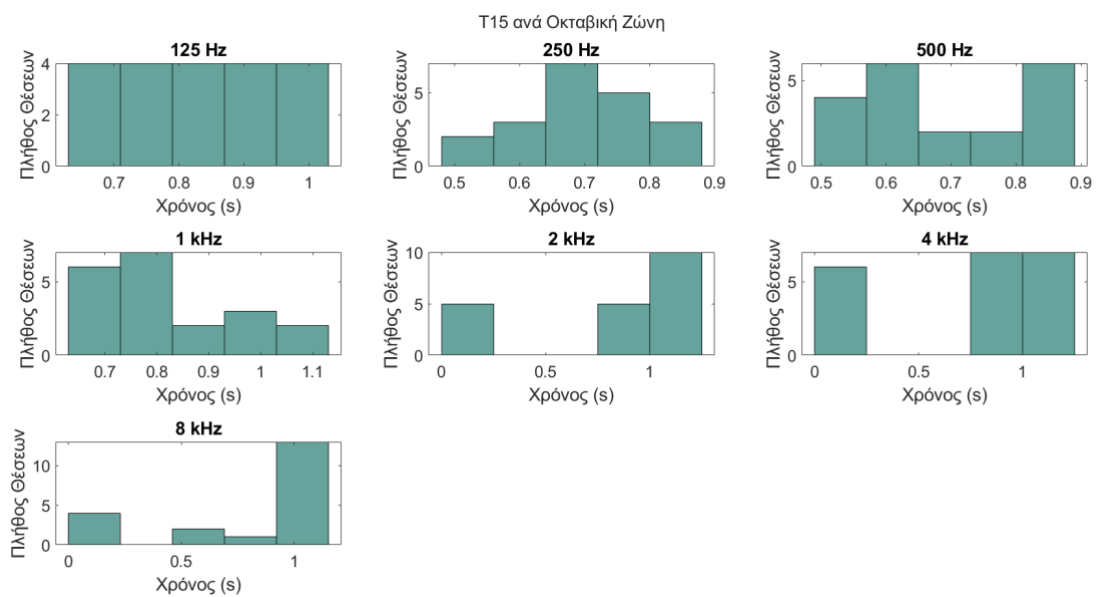
Εικόνα (41) – Speech Transmission Index (STI) μετά την παρέμβαση, χάρτης χρωματικής απεικόνισης.



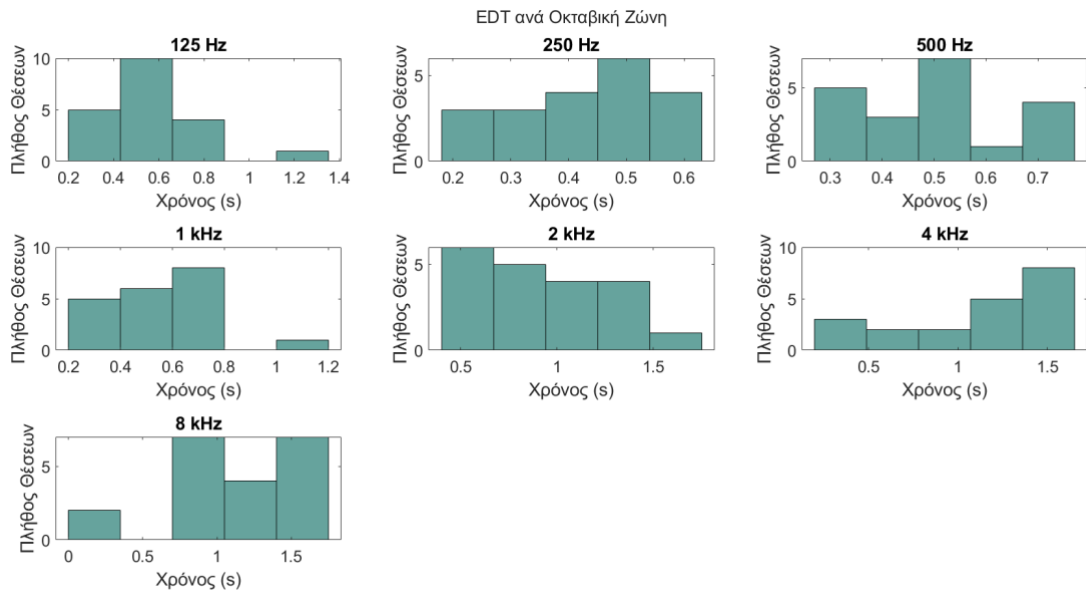
Εικόνα (42) – Ιστογράμματα Στάθμης Πίεσης SPL ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.



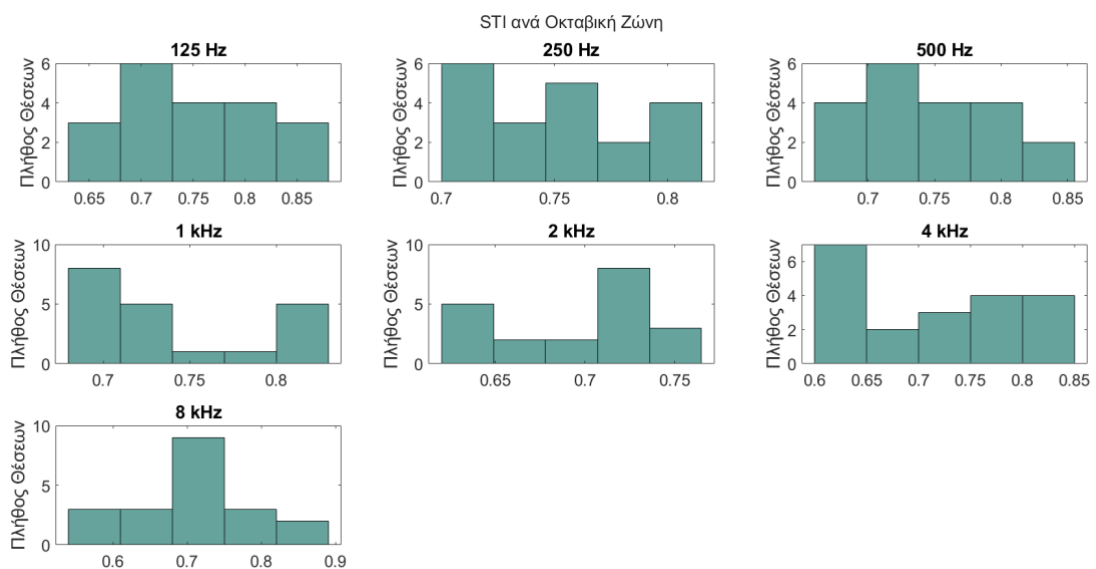
Εικόνα (43) – Ιστογράμματα Χρόνου Αντήρησης RT60 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.



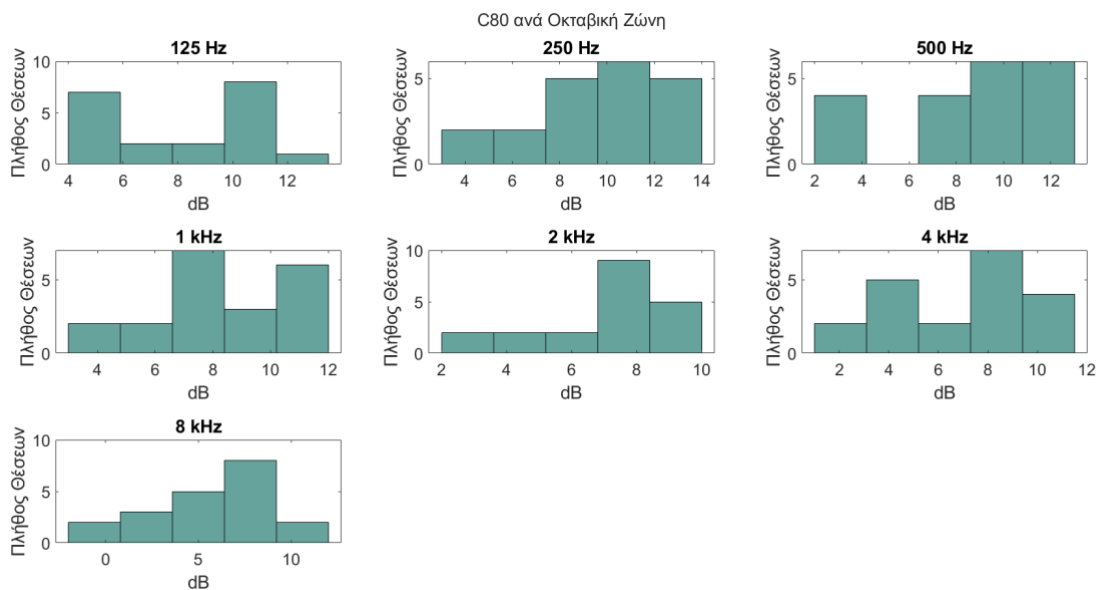
Εικόνα (44) – Ιστογράμματα Χρόνου Αντήρησης T15 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.



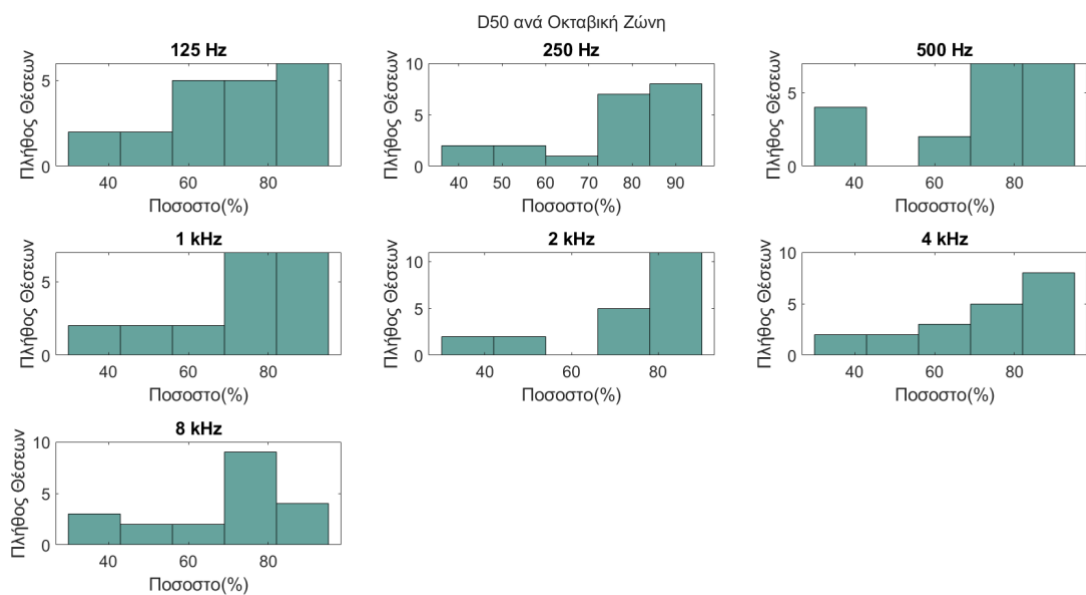
Εικόνα (45) – Ιστογράμματα Χρόνου Αντήχησης EDT ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.



Εικόνα (46) – Ιστογράμματα δείκτη STI ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.



Εικόνα (47) – Ιστογράμματα Ευκρίνειας C80 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.

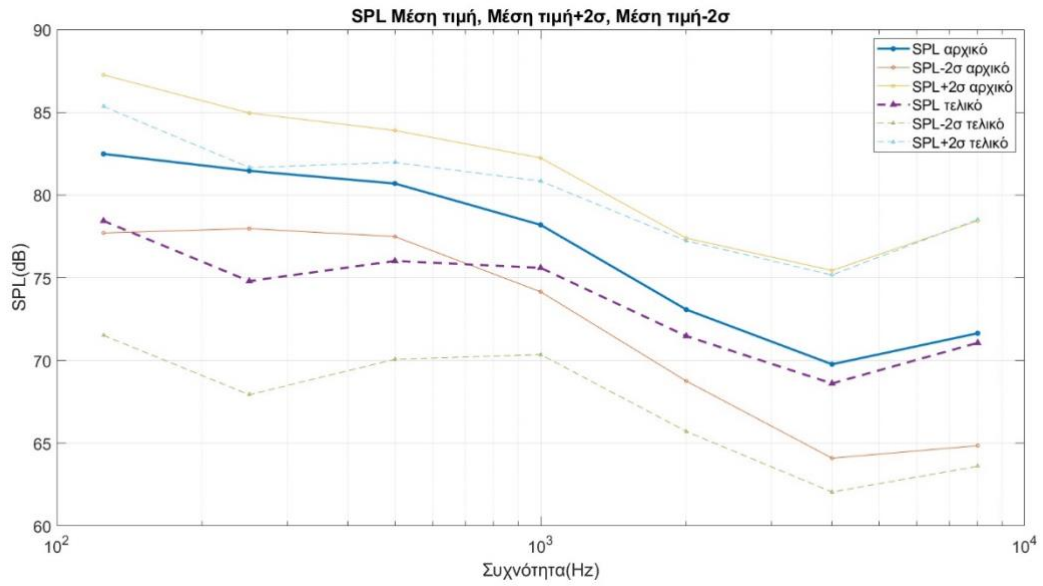


Εικόνα (48) – Ιστογράμματα Διακριτότητας D50 ανά οκταβική ζώνη, μετά την παρέμβαση.

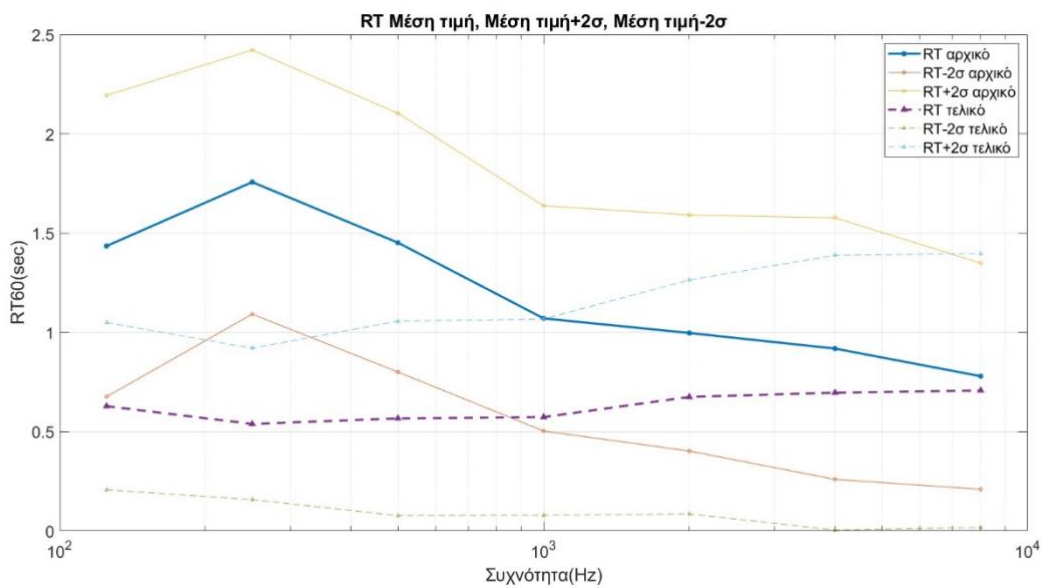
### 2.6.3 Σύγκριση, σχολιασμός αποτελεσμάτων

Με την βοήθεια του Matlab έγινε υπολογισμός της μέσης τιμής κάθε παραμέτρου για όλες τις θέσεις και υπολογίστηκε και η τυπική απόκλιση. Το διπλάσιο της τυπικής απόκλισης ( $2\sigma$ ) προστέθηκε και αφαιρέθηκε από τη μέση τιμή για κάθε συχνότητα. Έτσι μπορούμε να κρίνουμε καλύτερα που κυμαίνονται οι τιμές. Στα επόμενα διαγράμματα βλέπουμε τις καμπύλες της μέσης τιμής, καθώς και τα όρια  $\pm 2\sigma$  πάνω και κάτω από αυτή.

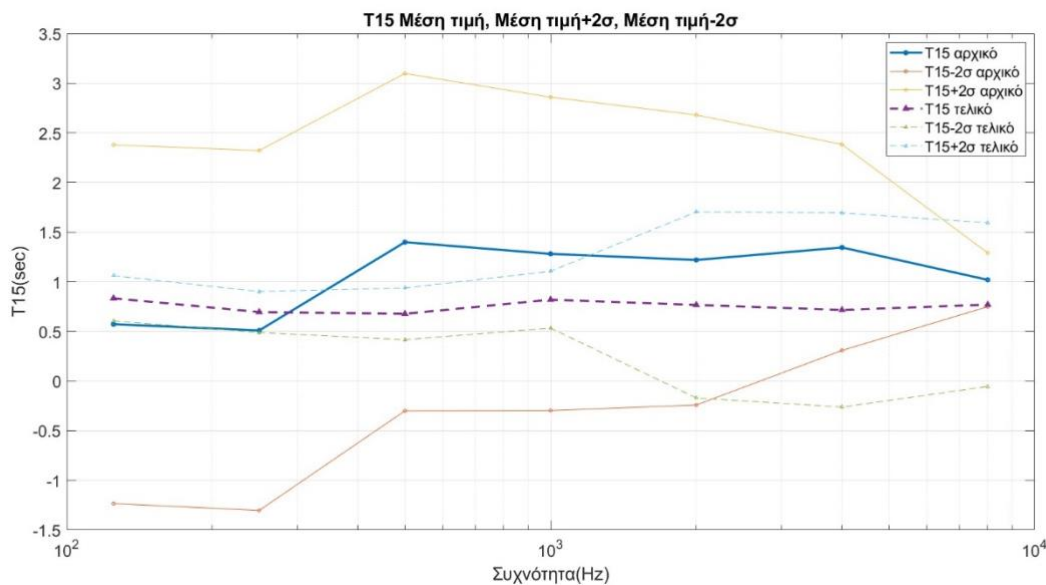
Το κάθε γράφημα περιέχει αυτές τις καμπύλες εις διπλούν, και για το αρχικό μοντέλο, για τον χώρο ως έχει δηλαδή, αλλά και για το μοντέλο με τις προτεινόμενες παρεμβάσεις.



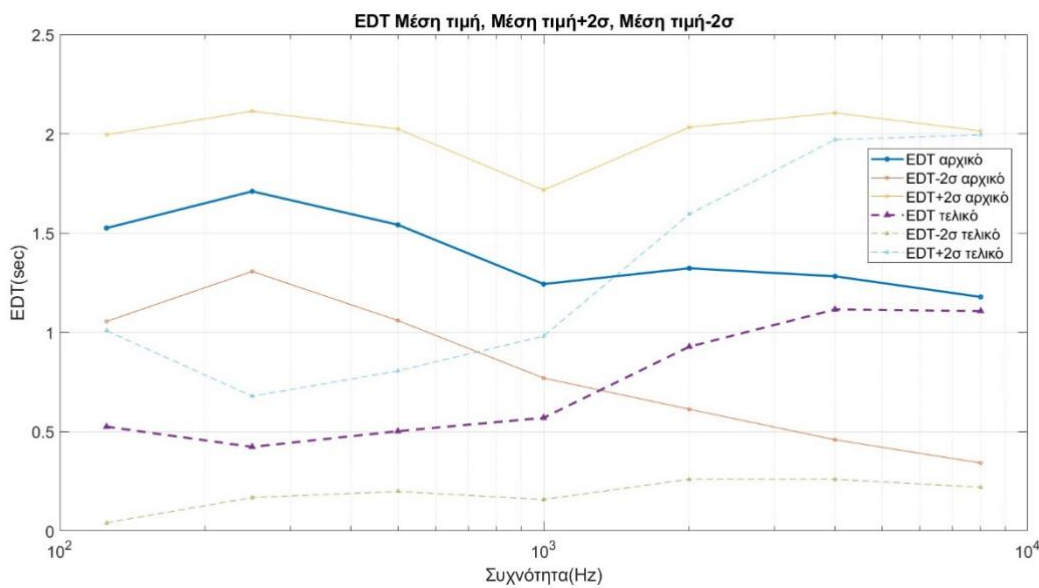
Γράφημα (1) – Μέση τιμή SPL όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.



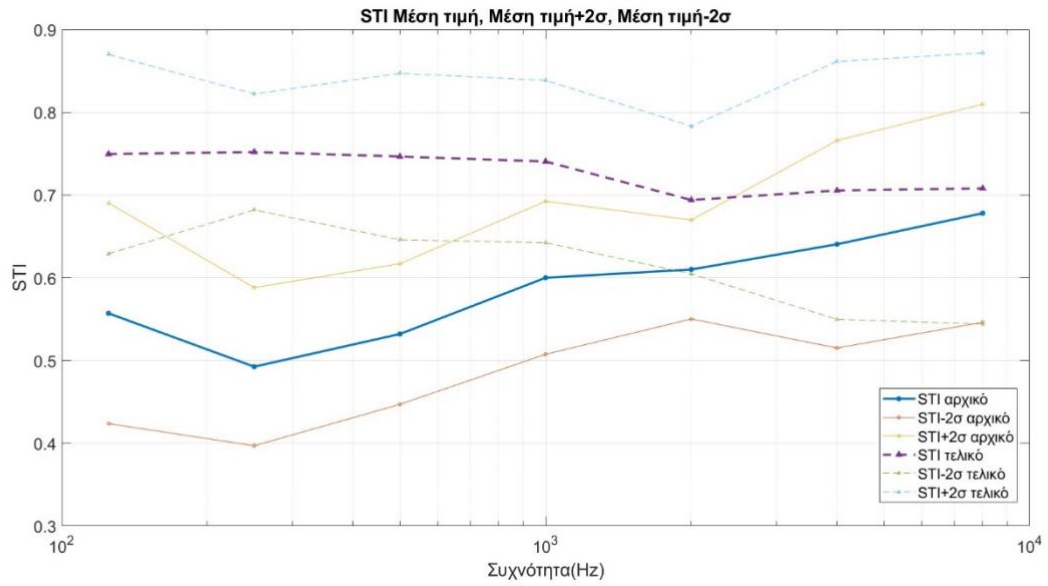
Γράφημα (2) – Μέση τιμή RT60 όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.



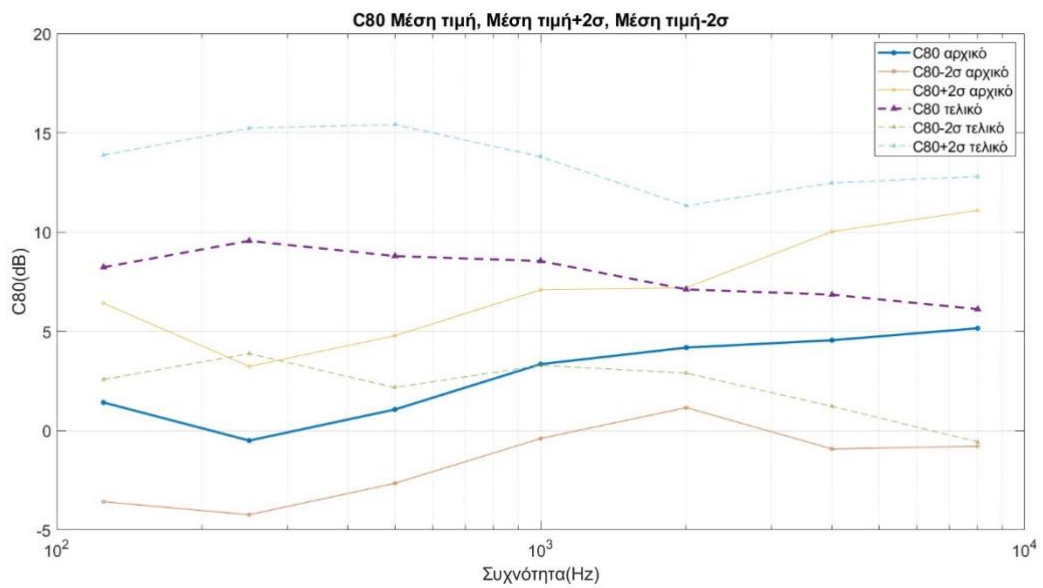
Γράφημα (3) – Μέση τιμή T15 όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.



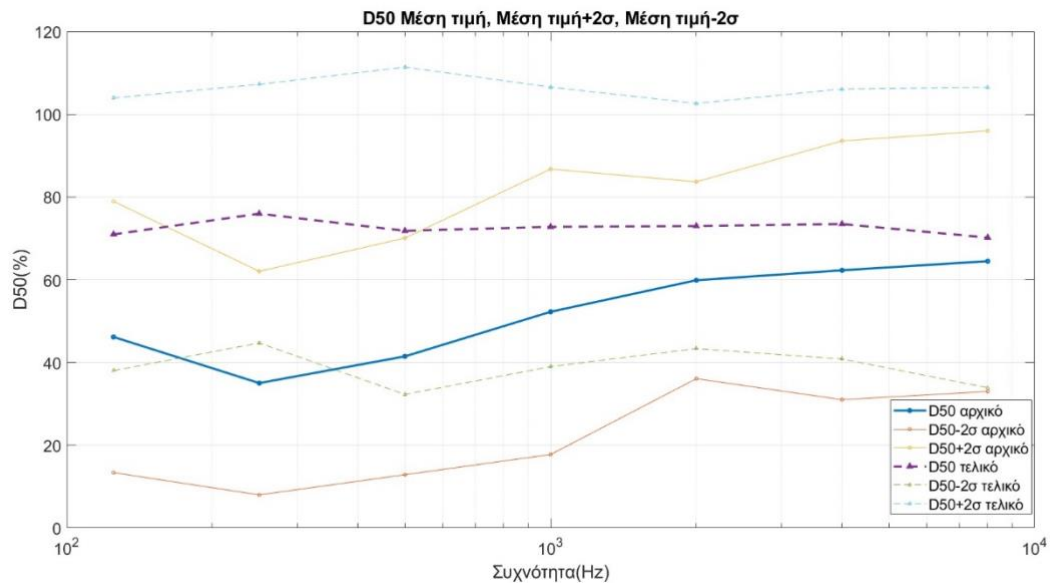
Γράφημα (4) – Μέση τιμή EDT όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.



Γράφημα (5) – Μέση τιμή STI όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.



Γράφημα (6) – Μέση τιμή C80 όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.



Γράφημα (7) – Μέση τιμή D50 όλων των θέσεων και μέση τιμή  $\pm 2\sigma$ , ανά συχνότητα, πριν και μετά την παρέμβαση.

Βάσει των Γραφημάτων (1) έως (7) και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του υπό μελέτη χώρου ως υφίσταται, τα οποία παρουσιάζονται στις Εικόνες (21) έως (34), οι αδυναμίες της αίθουσας, ως έχει σήμερα, είναι εμφανείς. Ο χρόνος αντήχησης, ενώ σύμφωνα με το Σχήμα (4) του Κεφαλαίου 1, για όγκο 3000 m<sup>3</sup>, θα έπρεπε να είναι περίπου 1 sec, φτάνει τιμές σχεδόν διπλάσιες. Με 1,7 sec υψηλότερη μέση τιμή, και 2,1 sec υψηλότερη τιμή γενικότερα. Η αντήχηση λοιπόν της αίθουσας είναι πολύ έντονη.

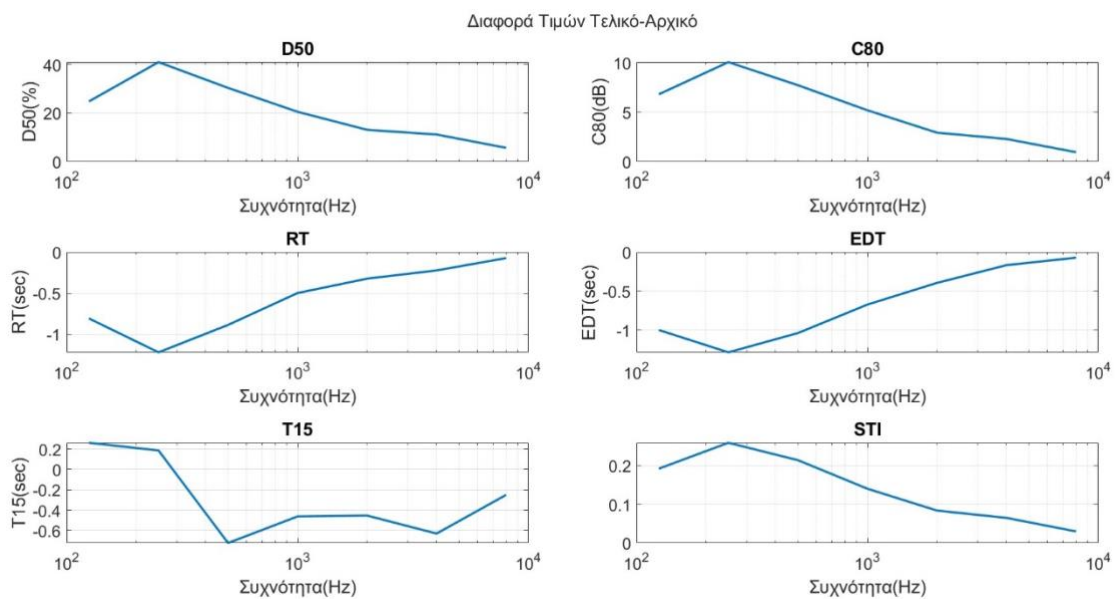
Το D50, όσο υψηλότερο τόσο το καλύτερο, από 50% και κάτω συνεπάγεται την απώλεια πολλής πληροφορίας από την ομιλία και ο χώρος θεωρείται ακατάλληλος. Στην περίπτωση μας παρατηρούμε ότι η μέση τιμή του D50 είναι μετά βίας 60%. Το C80, είναι πάλι μία παράμετρος που όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της, τόσο πιο καλό το αποτέλεσμα. Γενικά, C80 κοντά στα +10 dB, θεωρείται μία καλή τιμή. Το C80 στην παρούσα κατάσταση της αίθουσας φτάνει να αποκτά μέχρι και αρνητικές τιμές, δεδομένο πολύ κακό για την ποιότητα αναπαραγωγής της ομιλίας, αλλά και της μουσικής, εντός της αίθουσας αίθουσα. Ο δείκτης STI, έρχεται να επιβεβαιώσει πως η ομιλία στην αίθουσα ως έχει παρουσιάζει προβλήματα, καθώς κυμαίνεται περίπου στο 0,5 με 0,6. Ιδανικά, με βάση το Σχήμα (11) του Κεφαλαίου 1, θα θέλαμε τιμές πάνω από 0,7. Τα προβλήματα της αίθουσας φαίνεται ότι είναι πολύ πιο έντονα στις χαμηλότερες συχνότητες (έως 1 kHz), με μια κορύφωση περίπου στα 500 Hz. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τους χάρτες χρωματικής απεικόνισης παρατηρούμε πως δεν παρουσιάζουν όλες οι θέσεις τις ίδιες αδυναμίες. Οι πιο πίσω και πιο πλάγιες θέσεις παρουσιάζουν πιο έντονο πρόβλημα, και από τις εικόνες βλέπουμε ότι η ηχητική στάθμη δεν παρουσιάζει την ομοιομορφία που θα θέλαμε.

Βάσει των Γραφημάτων (1) έως (7) και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μετά από τις προτεινόμενες παρεμβάσεις που παρουσιάζονται στις Εικόνες (21) έως (34), η βελτίωση της ακουστικής του χώρου είναι ξεκάθαρη. Ο χρόνος αντήχησης διατηρείται κοντά και κάτω του 1 sec σε όλο το φάσμα. Αυτό είναι άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης του μέσου συντελεστή απορρόφησης της αίθουσας αλλά και της μείωσης του όγκου, λόγω προσθήκης ακουστικών πάνελ. Ο καλύτερος



χρόνος αντήχησης επιτρέπει καλύτερη καταληπτότητα στην ομιλία, και αυτό φαίνεται από τις παραμέτρους D50, C80, STI. Το D50 είναι κατά μέσο όρο πάνω από 75-80%, ενώ το C80 κυμαίνεται στα +10 dB. Το STI βρίσκεται κατά μέσο όρο στο 0,75 που σύμφωνα με το σχήμα, σημαίνει ότι η καταληπτότητα της ομιλίας είναι εξαιρετική στην αίθουσα. Το SPL φαίνεται να είναι ελάχιστα μειωμένο και πιο ομοιόμορφο. Αυτό, συνδυαστικά με τον μειωμένο χρόνο αντήχησης, πιθανότατα συμβαίνει διότι η ισχύς του αντηχητικού πεδίου είναι μειωμένη.

Σε γενικές γραμμές, η βελτίωση της ακουστικής της αίθουσας είναι εμφανής, και οι προτεινόμενες παρεμβάσεις φαίνεται να λειτούργησαν όπως έπρεπε. Στην Εικόνα (49), το οποίο προκύπτει από την αφαίρεση της αρχικής τιμής από την τελική τιμή κάθε παραμέτρου, φαίνεται ποσοτικά, η βελτίωση των παραμέτρων της αίθουσας.



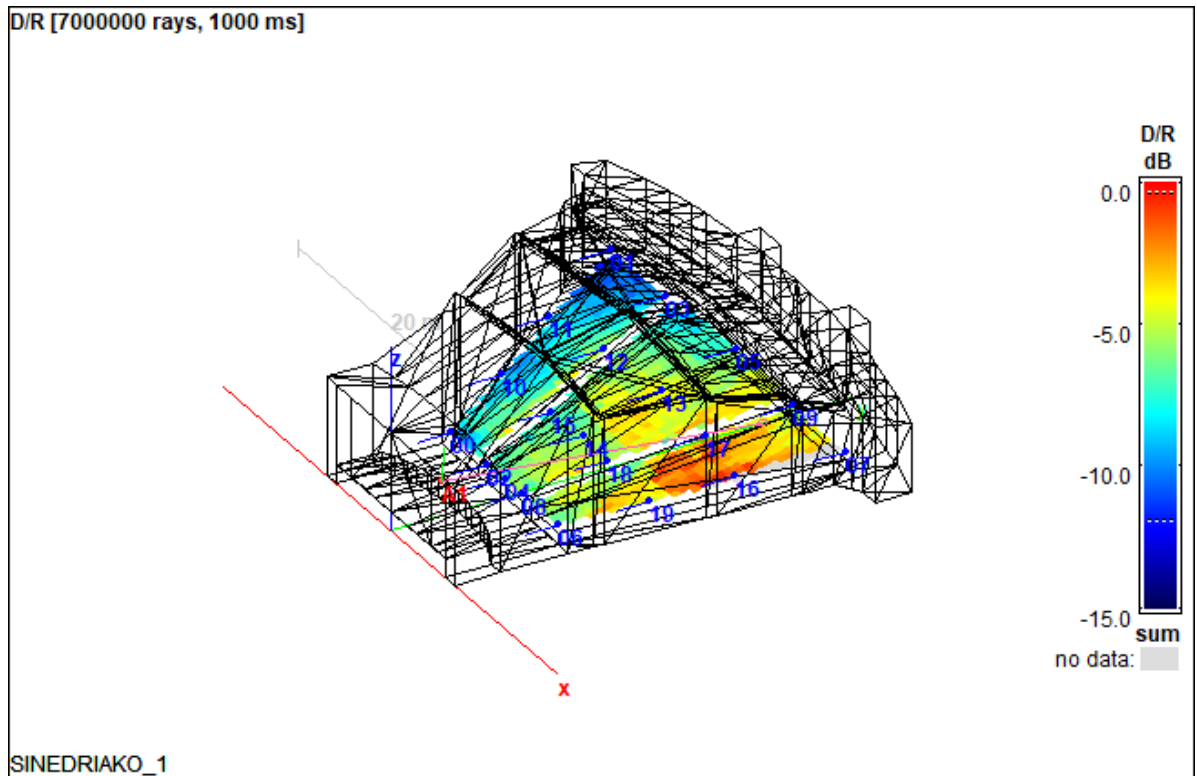
Εικόνα (49) – Διαφορά Τελικών μείον αρχικών τιμών για κάθε παράμετρο.

#### 2.6.4 Απευθείας προς Αντηχητικό Πεδίο (D/R)

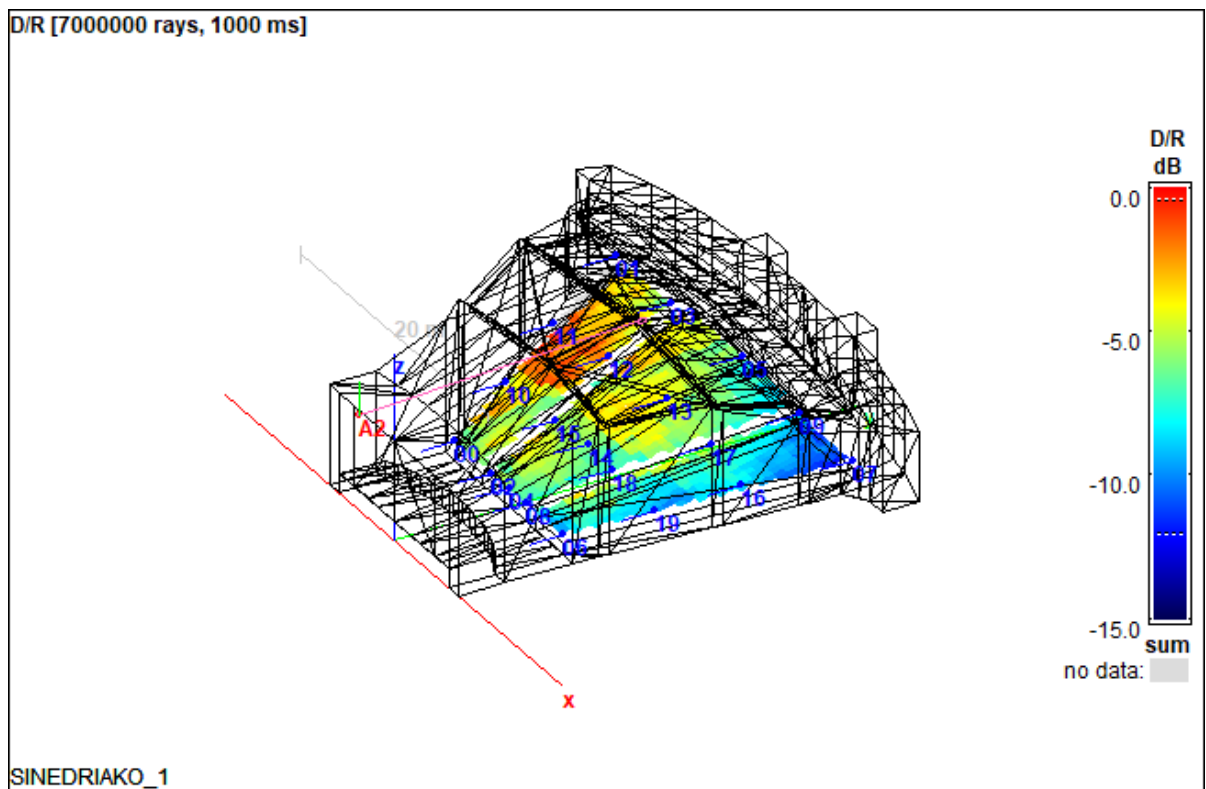
Ο υπολογισμός του λόγου του απευθείας πεδίου προς το αντηχητικό πεδίο (D/R) έγινε για κάθε πηγή ξεχωριστά, σε σχέση με όλους τους ακροατές, καθώς το CATT-Acoustic δεν επέτρεπε άλλο υπολογισμό.

Από τους χάρτες χρωματικής απεικόνισης των Εικόνων (50) έως (54) βλέπουμε ότι ο λόγος D/R, που αφορά στο τελικό σχέδιο, είναι σαφώς καλύτερος για τις θέσεις που στοχεύονται άμεσα από την εκάστοτε ηχητική πηγή. Βοηθώντας τον ήχο να φτάσει χωρίς την επικάλυψη της αντήχησης.

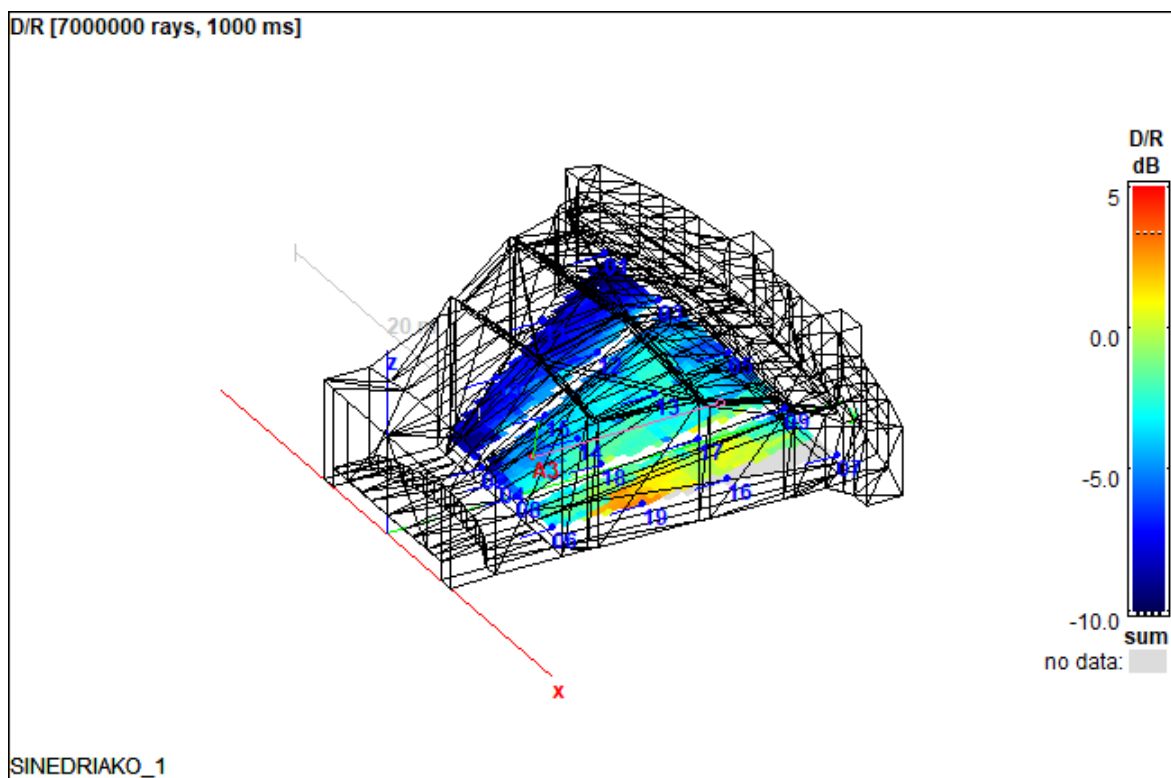
Συνολικά το D/R βρίσκεται σε καλά επίπεδα σχεδόν σε όλη την έκταση του ακροατηρίου.



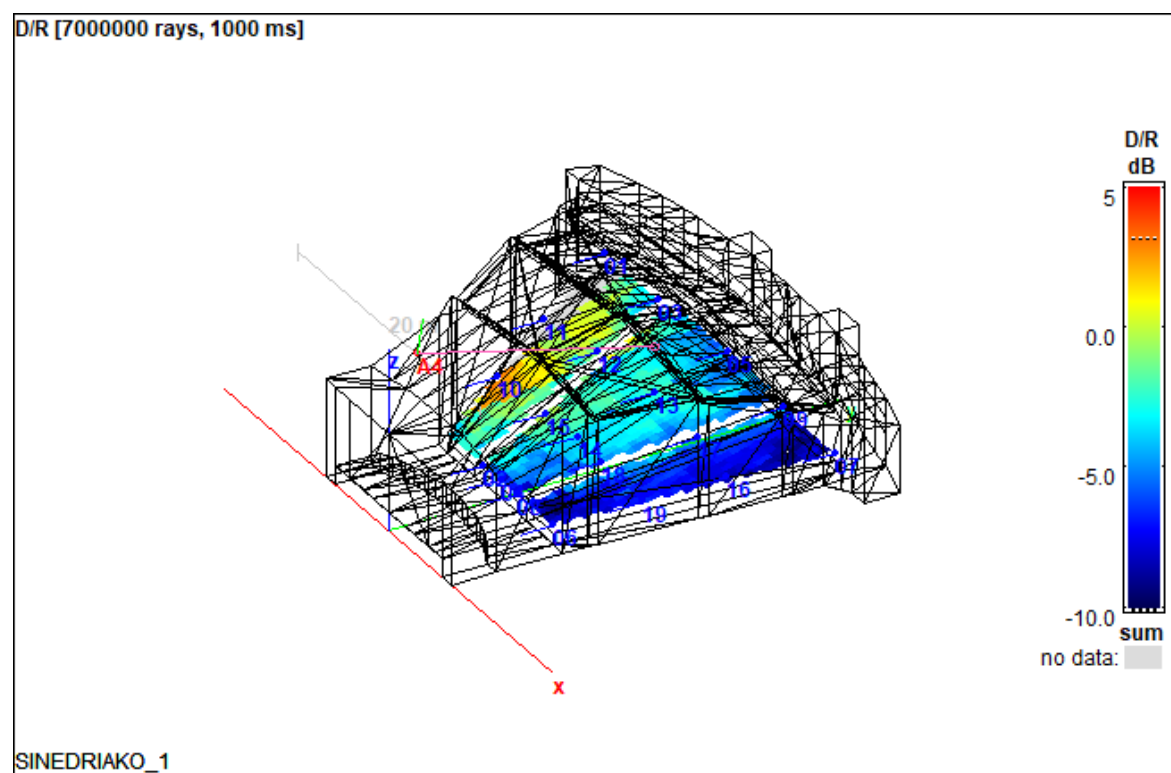
Εικόνα (50) – Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A1, μετά την παρέμβαση.



Εικόνα (51) – Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A2, μετά την παρέμβαση.



Εικόνα (52) – Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A3, μετά την παρέμβαση.



Εικόνα (53) – Χρωματικός χάρτης απεικόνισης D/R για την πηγή A4, μετά την παρέμβαση.

### 3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το πέρας αυτής της διπλωματικής, περάσαμε από όλα τα στάδια μίας ακουστικής μελέτης. Όλες οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εργασίας απέδειξαν ότι πρόκειται για ένα πολυσύνθετο θέμα, αφού η ακουστική μιας αίθουσας επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους. Ακόμα και μικρές αλλαγές μπορούν να κάνουν την διαφορά, όπως μία κλίση σε κάποια επιφάνεια ή η αντικατάσταση ενός δομικού υλικού κ.α. Μέσα από την διαδικασία εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής διαπιστώθηκε τόσο η δυσκολία όσο και η σημασία μιας ακουστικής μελέτης, ειδικά σε χώρους με πολύπλοκες γεωμετρίες. Η επιλογή κατάλληλων υλικών και η αλλαγή της γεωμετρίας ενός χώρου, για να διορθωθεί ένα πρόβλημα, είναι μία σίγουρα χρονοβόρα και δυνητικά ακριβή διαδικασία, αν λάβουμε υπόψιν μας και το κατασκευαστικό κομμάτι.

Τέτοιες διαδικασίες μπορούν να αποφευχθούν, εάν η ακουστική μελέτη πραγματοποιηθεί έγκαιρα, πριν την κατασκευή ενός χώρου. Έτσι, μπορούν να επιτευχθούν και καλύτερα ακουστικά αποτελέσματα και χαμηλότερο συγκριτικά με μια παρέμβαση κόστος.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Δ. Σκαρλάτος, Εφαρμοσμένη Ακουστική, Πάτρα: GOTSIS, 2015.
- [2] K. C. P. F. Alton Everest, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ, Θεσσαλονίκη: ΤΖΙΟΛΑ, 2020.
- [3] Σ. Ποτηράκης, Σημειώσεις Ηλεκτροακουστικής II, Αθήνα, 2019.
- [4] CATT-Acoustic, *TUCT User's Manual*, CATT-Acoustic, 2018.
- [5] «Alpha Acoustiki,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://alphacoustic.com/en/architectural-acoustics/wooden-perforated-panels/>. [Πρόσβαση ΜΑΙΟΣ 2023].
- [6] «Knauf,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.knauf.gr/epidoseis/akoystiki/diatrites-gypsosanides/index.php?t=3#vp1923129>. [Πρόσβαση ΜΑΙΟΣ 2023].
- [7] H. Kuttruff, *Room Acoustics*, London: Applied Science Publishers LTD, 1973.

## Παράρτημα Α: Κώδικες CATT\_Acoustic

### ΚΩΔΙΚΑΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΧΩΡΟΥ

```
;MASTER.GEO
;PROJECT=test diplomatiki
;INCLUDE
;OFFSETCO
;OFFSETPL

MIRROR 10000 1000

;Constant Declarations
LOCAL h_stg = 1.2 ;stage height in meters
LOCAL h_enc = 4 ;entrance level height
GLOBAL h_aud_l = 0.7 ;audience heght low
GLOBAL h_aud_h = 4.7 ;audience height high
LOCAL h_win_l = 6.1 ;windows height low
LOCAL h_win_h = 7.1 ;windows height high

;PAREMVASI
LOCAL fx = 0.1 ;floating distance from side walls
LOCAL fz= 0.4 ;floating distance from ceiling
LOCAL t = 0.3 ;thickness

;absorption and scattering coefficients 125Hz to 4kHz [%], optional RGB-color
ABS audience = <37 45 52 56 58 57 > { 223 74 74 }
ABS Wood = <4 4 7 6 6 7> { 199 126 31 }
ABS carpet = <2 6 14 37 60 65> { 104 142 230 }
ABS glass = <35 25 18 12 7 4> { 153 255 255 }
ABS plasterboard = <30 12 7 6 7 9> { 224 224 224 }
ABS curtain = <14 35 55 72 70 65> { 255 102 178 }
ABS cork = <15 40 65 35 35 30> { 196 164 132 } ;corkboard
ABS ultrab = <80 80 80 80 80 80> { 196 180 50 }
ABS alfa = <39 86 58 29 15 10 > { 249 246 230 }
ABS perfplaster = <60 87 52 56 43 51>

CORNERS
;floor coners(x y z)
0001 -6.9 0 0
0002 -5.9 0 0
0003 -5.9 2.8 0
0004 -6.9 2.8 0
0005 -6.9 7.1 0
0006 -5.8 7.1 0
0007 -5.1 3.2 0
0008 -4.8 7.1 0
0009 -4.3 3.5 0
0010 -3.7 7.1 0
0011 -3.6 3.7 0
0012 -2.8 3.9 0
0013 -2.8 7.1 0
0014 -1.8 7.1 0
0015 -1.8 4 0
0016 -0.9 4.1 0
0017 0 4.2 0
0018 0 7.1 0

;Stage corners
0102 x(0002) y(0002) h_stg
0103 x(0003) y(0003) h_stg
```

```
0104 -5.1 0 h_stg
0106 -4.3 0 h_stg
0108 -2.8 0 h_stg
0110 -1.8 0 h_stg
0118 0 0 h_stg
0107 x(0007) y(0007) h_stg
0109 x(0009) y(0009) h_stg
0111 x(0011) y(0011) h_stg
0112 x(0012) y(0012) h_stg
0115 x(0015) y(0015) h_stg
0116 x(0016) y(0016) h_stg
0117 x(0017) y(0017) h_stg
```

;Entrance level corners

```
0019 0 21.6 h_enc
0020 -5.9 21.3 h_enc
0021 -6.9 21.2 h_enc
0022 -12.7 21.1 h_enc
0023 -13.7 19.8 h_enc
0024 -15.1 20.8 h_enc
0025 -16.5 20.8 h_enc
0026 -16.5 23 h_enc
0027 -13.6 23.8 h_enc
0029 -11.8 24.2 h_enc
0031 -10 24.5 h_enc
0033 -8.8 24.8 h_enc
0035 -5.9 25 h_enc
0036 -3.7 25.3 h_enc
0038 -1.6 25.3 h_enc
0040 0 25.4 h_enc
0041 -3.7 26.5 h_enc
0042 -5.9 26.5 h_enc
```

;Audience corners

```
0206 x(0006) y(0006) h_aud_l
0213 x(0013) y(0013) h_aud_l
0214 x(0014) y(0014) h_aud_l
0218 x(0018) y(0018) h_aud_l
0219 x(0019) y(0019) h_aud_h
0220 x(0020) y(0020) h_aud_h
0221 x(0021) y(0021) h_aud_h
0222 x(0022) y(0022) h_aud_h
```

;roof corners

;roof1

```
0501 x(0001) y(0001) 6.2
0502 -5.1 3.1 6.2
0503 -3.7 3.2 6.2
0504 x(0004) y(0004) 6.2
0505 x(0005) y(0005) 8.2
0506 -2.3 3.4 6.2
0507 -7.5 8.3 8.8
0508 -5.9 8.6 8.8
0509 -4.2 8.8 8.8
0510 -2.6 8.9 8.8
0511 -1.2 9 8.8
0512 0 9 8.8
0513 -1 3.4 6.2
0514 0 3.4 6.2
```

0518 x(0118) y(0118) 6.2  
0519 x(0002) y(0002) 6.2  
0520 x(0106) y(0106) 6.2

;roof2

0601 -7.8 8.8 8.4  
0602 -7.3 8.9 8.4  
0603 -5.9 9.1 8.4  
0604 -4.3 9.3 8.4  
0605 -2.7 9.5 8.4  
0609 -1.2 9.5 8.4  
0610 0 9.6 8.4  
0611 -10.4 13.7 9.6  
0612 -9.7 13.8 9.6  
0613 -8.2 14.1 9.6  
0614 -6.7 14.3 9.6  
0615 -4.8 14.6 9.6  
0616 -2.9 14.7 9.6  
0617 -1.3 14.8 9.6  
0618 0 14.8 9.6

;roof3

0701 -10.7 14.2 9.2  
0702 -9.8 14.4 9.2  
0703 -8.3 14.7 9.2  
0704 -6.8 14.9 9.2  
0705 -4.9 15.2 9.2  
0706 -3 15.3 9.2  
0707 -1.4 15.4 9.2  
0708 0 15.4 9.2  
0709 -12.6 17.8 8.6  
0710 -10.6 18.3 8.6  
0711 -8.9 18.6 8.6  
0712 -7.3 18.8 8.6  
0714 -5.3 19.1 8.6  
0715 -3.3 19.3 8.6  
0716 -1.5 19.3 8.6  
0717 0 19.4 8.6

;roof4

0801 -12.9 18.3 8.9  
0802 -12.3 18.5 8.9  
0803 -10.7 18.9 8.9  
0804 -9.1 19.2 8.9  
0805 -7.4 19.4 8.9  
0806 -5.3 19.7 8.9  
0807 -3.3 19.8 8.9  
0808 -1.5 19.9 8.9  
0809 0 20 8.9  
0810 -12.9 20.9 8.4  
0811 -11.2 21.3 8.4  
0812 -9.5 21.6 8.4  
0813 -7.8 21.9 8.4  
0814 -5.6 22.1 8.4  
0815 -3.5 22.3 8.4  
0816 -1.6 22.4 8.4  
0817 0 22.4 8.4  
0818 -14.6 20.4 8.4  
0819 x(0023) y(0023) 8.6

;roof5



```

0901  0      22.9  8.8
0902 -1.6    22.9  8.8
0903 -3.5    22.8  8.8
0904 -5.6    22.6  8.8
0905 -7.8    22.3  8.8
0906 -9.6    22    8.8
0907 -11.3   21.7  8.8
0908 -13.2   21.3  8.8
0924 -15.1   20.8  8.8
0925 -16.5   20.8  8.8
0926 x(0026) y(0026) 8.4
0927 x(0027) y(0027) 8.4
0929 x(0029) y(0029) 8.4
0931 x(0031) y(0031) 8.4
0933 x(0033) y(0033) 8.4
0935 x(0035) y(0035) 8.4
0936 x(0036) y(0036) 8.4
0938 x(0038) y(0038) 8.4
0940 x(0040) y(0040) 8.4
0941 x(0041) y(0041) 8.4
0942 x(0042) y(0042) 8.4

;widnows corners
;bottom
0327 x(0027) y(0027) h_win_l
0329 x(0029) y(0029) h_win_l
0331 x(0031) y(0031) h_win_l
0333 x(0033) y(0033) h_win_l
0334 -6.5    25    h_win_l
0337 -2.4    25.3  h_win_l
0338 x(0038) y(0038) h_win_l
0339 -0.4    25.4  h_win_l
0340 x(0040) y(0040) h_win_l

;top
0427 x(0027) y(0027) h_win_h
0429 x(0029) y(0029) h_win_h
0431 x(0031) y(0031) h_win_h
0433 x(0033) y(0033) h_win_h
0434 -6.5    25    h_win_h
0437 -2.4    25.3  h_win_h
0438 x(0038) y(0038) h_win_h
0439 -0.4    25.4  h_win_h
0440 x(0040) y(0040) h_win_h

;Extra floor corners
0049 x(0507) y(0507) 0.4
0048 x(0601) y(0601) 0.5
0047 x(0611) y(0611) 2.1
0046 x(0701) y(0701) 2.2
0045 x(0709) y(0709) 3.4
0044 x(0801) y(0801) 3.5
0043 x(0818) y(0818) 4

;PAREMVASI corners
1601 x(0601)+fx y(0601) z(0601)-fz
1602 x(0602)      y(0602) z(0602)-fz
1603 x(0603)      y(0603) z(0603)-fz
1604 x(0604)      y(0604) z(0604)-fz
1605 x(0605)      y(0605) z(0605)-fz
1609 x(0609)      y(0609) z(0609)-fz

```

1610 x(0610) y(0610) z(0610)-fz  
1611 x(0611)+fx y(0611) z(0611)-fz  
1612 x(0612) y(0612) z(0612)-fz  
1613 x(0613) y(0613) z(0613)-fz  
1614 x(0614) y(0614) z(0614)-fz  
1615 x(0615) y(0615) z(0615)-fz  
1616 x(0616) y(0616) z(0616)-fz  
1617 x(0617) y(0617) z(0617)-fz  
1618 x(0618) y(0618) z(0618)-fz

;roof3

1701 x(0701)+fx y(0701) z(0701)-fz  
1702 x(0702) y(0702) z(0702)-fz  
1703 x(0703) y(0703) z(0703)-fz  
1704 x(0704) y(0704) z(0704)-fz  
1705 x(0705) y(0705) z(0705)-fz  
1706 x(0706) y(0706) z(0706)-fz  
1707 x(0707) y(0707) z(0707)-fz  
1708 x(0708) y(0708) z(0708)-fz  
1709 x(0709)+fx y(0709) z(0709)-fz  
1710 x(0710) y(0710) z(0710)-fz  
1711 x(0711) y(0711) z(0711)-fz  
1712 x(0712) y(0712) z(0712)-fz  
1714 x(0714) y(0714) z(0714)-fz  
1715 x(0715) y(0715) z(0715)-fz  
1716 x(0716) y(0716) z(0716)-fz  
1717 x(0717) y(0717) z(0717)-fz

;roof4

1801 x(0801)+fx y(0801) z(0801)-fz  
1802 x(0802) y(0802) z(0802)-fz  
1803 x(0803) y(0803) z(0803)-fz  
1804 x(0804) y(0804) z(0804)-fz  
1805 x(0805) y(0805) z(0805)-fz  
1806 x(0806) y(0806) z(0806)-fz  
1807 x(0807) y(0807) z(0807)-fz  
1808 x(0808) y(0808) z(0808)-fz  
1809 x(0809) y(0809) z(0809)-fz  
1810 x(0810) y(0810) z(0810)-fz  
1811 x(0811) y(0811) z(0811)-fz  
1812 x(0812) y(0812) z(0812)-fz  
1813 x(0813) y(0813) z(0813)-fz  
1814 x(0814) y(0814) z(0814)-fz  
1815 x(0815) y(0815) z(0815)-fz  
1816 x(0816) y(0816) z(0816)-fz  
1817 x(0817) y(0817) z(0817)-fz  
1818 x(0818)+fx y(0818) z(0818)-fz  
1819 x(0819)+fx y(0819) z(0819)-fz

2602 x(1602) y(1602) z(1602)+t  
2610 x(1610) y(1610) z(1610)+t  
2612 x(1612) y(1612) z(1612)+t  
2618 x(1618) y(1618) z(1618)+t  
2702 x(1702) y(1702) z(1702)+t  
2708 x(1708) y(1708) z(1708)+t  
2710 x(1710) y(1710) z(1710)+t  
2717 x(1717) y(1717) z(1717)+t  
2802 x(1802) y(1802) z(1802)+t  
2809 x(1809) y(1809) z(1809)+t  
2810 x(1810) y(1810) z(1810)+t  
2817 x(1817) y(1817) z(1817)+t

PLANES

;Floor

[1 floor\_BL / 0001 0002 0003 0004 / carpet]  
 [2 floor\_TL / 0006 0005 0004 0003 / carpet]  
 [3 floor\_ML / 0010 0011 0012 0013 / carpet]  
 [4 floor\_MR / 0015 0014 0013 0012 / carpet]  
 [5 floor\_TR\_1 / 0007 0006 0003 / carpet]  
 [6 floor\_TR\_2 / 0006 0007 0008 / carpet]  
 [7 floor\_TR\_3 / 0009 0008 0007 / carpet]  
 [8 floor\_TR\_4 / 0008 0009 0010 / carpet]  
 [9 floor\_TR\_5 / 0011 0010 0009 / carpet]  
 [10 floor\_TR\_6 / 0014 0015 0016 / carpet]  
 [11 floor\_TR\_7 / 0014 0016 0018 / carpet]  
 [12 floor\_TR\_8 / 0016 0017 0018 / carpet]

;Stage

[13 stage\_TR\_1 / 0107 0103 0102 / wood]  
 [14 stage\_TR\_2 / 0107 0102 0104 / wood]  
 [15 stage\_TR\_3 / 0107 0104 0109 / wood]  
 [16 stage\_TR\_4 / 0109 0104 0106 / wood]  
 [17 stage\_TR\_5 / 0109 0106 0111 / wood]  
 [18 stage\_TR\_6 / 0111 0106 0108 / wood]  
 [19 stage\_TR\_7 / 0111 0108 0112 / wood]  
 [20 stage\_TR\_8 / 0112 0108 0115 / wood]  
 [21 stage\_TR\_9 / 0115 0108 0110 / wood]  
 [22 stage\_TR\_10 / 0115 0110 0116 / wood]  
 [23 stage\_TR\_11 / 0116 0110 0118 / wood]  
 [24 stage\_TR\_12 / 0116 0118 0117 / wood]  
 [25 stage\_side\_1 / 0002 0102 0103 0003 / wood]  
 [26 stage\_side\_2 / 0003 0103 0107 0007 / wood]  
 [27 stage\_side\_3 / 0007 0107 0109 0009 / wood]  
 [28 stage\_side\_4 / 0009 0109 0111 0011 / wood]  
 [29 stage\_side\_5 / 0011 0111 0112 0012 / wood]  
 [30 stage\_side\_6 / 0012 0112 0115 0015 / wood]  
 [31 stage\_side\_7 / 0015 0115 0116 0016 / wood]  
 [32 stage\_side\_8 / 0116 0117 0017 0016 / wood]

;Audience

;isles

[33 il\_1 / 0005 0006 0049 / carpet]  
 [34 il\_2 / 0006 0048 0049 / carpet]  
 [35 il\_3 / 0006 0047 0048 / carpet]  
 [36 il\_4 / 0006 0022 0046 / carpet]  
 [236 il\_4b / 0006 0046 0047 / carpet]  
 [37 il\_5 / 0022 0045 0046 / carpet]  
 [38 il\_6 / 0022 0044 0045 / carpet]  
 [39 il\_7 / 0022 0023 0044 / carpet]  
 [40 il\_centre / 0013 0014 0020 / carpet]  
 [240 il\_centreb / 0013 0020 0021 / carpet]  
 [41 audLeft\_L / 0206 0222 0022 0006 / audience]  
 [42 audLeft\_R / 0013 0021 0221 0213 / audience]  
 [43 audLeft\_F / 0013 0213 0206 0006 / audience]  
 [44 audLeft\_B / 0222 0221 0021 0022 / audience]  
 [45 audLeft\_T / 0213 0221 0222 / audience]  
 [245 audLeft\_Tb / 0213 0222 0206 / audience]  
 [46 audCentre\_L / 0014 0214 0220 0020 / audience]  
 [47 audCentre\_F / 0014 0018 0218 0214 / audience]  
 [48 audCentre\_B / 0220 0219 0019 0020 / audience]  
 [49 audCentre\_T / 0214 0218 0219 / audience]  
 [249 audCentre\_Tb / 0214 0219 0220 / audience]

```
;Entrance Level
[50 entr_1 / 0026 0025 0024 / carpet]
[51 entr_2 / 0027 0026 0024 / carpet]
[52 entr_3 / 0027 0024 0023 / carpet]
[53 entr_4 / 0027 0023 0022 / carpet]
[54 entr_5 / 0029 0027 0022 / carpet]
[55 entr_6 / 0031 0029 0022 / carpet]
[58 entr_9 / 0036 0035 0020 / carpet]
[60 entr_11 / 0040 0038 0019 / carpet]
[56 entr_7a / 0033 0031 0022 / carpet]
[57 entr_8a / 0035 0033 0021 / carpet]
[59 entr_10a / 0038 0036 0020 / carpet]
[61 entr_12a / 0035 0036 0041 / carpet]
[256 entr_7b / 0033 0022 0021 / carpet]
[257 entr_8b / 0035 0021 0020 / carpet]
[259 entr_10b / 0038 0020 0019 / carpet]
[261 entr_12b / 0035 0041 0042 / carpet]

;windows
[62 winLeft_1 / 0327 0329 0429 0427 / glass]
[63 winLeft_2 / 0329 0331 0431 0429 / glass]
[64 winLeft_3 / 0331 0333 0433 0431 / glass]
[65 winLeft_4 / 0333 0334 0434 0433 / glass]
[66 winCentre_1 / 0337 0338 0438 0437 / glass]
[67 winCentre_2 / 0339 0340 0440 0439 / glass]

;roof
;roof1
[68 r1_tr_1 / 0501 0504 0502 / plasterboard]
[69 r1_tr_2 / 0501 0502 0503 / plasterboard]
[70 r1_sq_3 / 0501 0503 0519 / plasterboard]
[270 r1_sq_3b / 0519 0503 0506 0518 / plasterboard]
[71 r1_tr_4 / 0506 0513 0518 / plasterboard]
[72 r1_tr_5 / 0513 0514 0518 / plasterboard]
[73 r1_tr_6 / 0502 0504 0505 / plasterboard]
[74 r1_tr_7 / 0502 0505 0508 / plasterboard]
[75 r1_sq_8 / 0502 0508 0509 / plasterboard]
[76 r1_sq_9 / 0503 0509 0510 / plasterboard]
[77 r1_sq_10 / 0506 0510 0511 / plasterboard]
[275 r1_sq_8b / 0502 0509 0503 / plasterboard]
[276 r1_sq_9b / 0503 0510 0506 / plasterboard]
[277 r1_sq_10b / 0506 0511 0513 / plasterboard]
[78 r1_sq_11 / 0513 0511 0512 0514 / plasterboard]
[79 r1_tr_12 / 0507 0601 0602 / plasterboard]
[80 r1_sq_13 / 0507 0602 0603 / plasterboard]
[81 r1_sq_14 / 0508 0603 0604 / plasterboard]
[82 r1_sq_15 / 0509 0604 0605 / plasterboard]
[83 r1_sq_16 / 0510 0605 0609 / plasterboard]
[84 r1_sq_17 / 0511 0609 0610 / plasterboard]
[279 r1_sq_13b / 0507 0603 0508 / plasterboard]
[280 r1_sq_14b / 0508 0604 0509 / plasterboard]
[281 r1_sq_15b / 0509 0605 0510 / plasterboard]
[282 r1_sq_16b / 0510 0609 0511 / plasterboard]
[283 r1_sq_17b / 0511 0610 0512 / plasterboard]
[85 r1_tr_18 / 0505 0507 0508 / plasterboard]

;roof2
[86 r2_tr_1 / 0601 0611 0612 / plasterboard]
[87 r2_sq_2 / 0601 0612 0613 0602 / plasterboard]
```

[88 r2\_sq\_3 / 0602 0613 0614 / plasterboard]  
[89 r2\_sq\_4 / 0603 0614 0615 / plasterboard]  
[90 r2\_sq\_5 / 0604 0615 0616 / plasterboard]  
[91 r2\_sq\_6 / 0605 0616 0617 / plasterboard]  
[92 r2\_sq\_7 / 0609 0617 0618 / plasterboard]  
[93 r2\_sq\_8 / 0611 0701 0702 / plasterboard]  
[288 r2\_sq\_3b / 0602 0614 0603 / plasterboard]  
[289 r2\_sq\_4b / 0603 0615 0604 / plasterboard]  
[290 r2\_sq\_5b / 0604 0616 0605 / plasterboard]  
[291 r2\_sq\_6b / 0605 0617 0609 / plasterboard]  
[292 r2\_sq\_7b / 0609 0618 0610 / plasterboard]  
[293 r2\_sq\_8b / 0611 0702 0612 / plasterboard]  
[94 r2\_sq\_9 / 0612 0702 0703 0613 / plasterboard]  
[95 r2\_sq\_10 / 0613 0703 0704 0614 / plasterboard]  
[96 r2\_sq\_11 / 0614 0704 0705 0615 / plasterboard]  
[97 r2\_sq\_12 / 0615 0705 0706 0616 / plasterboard]  
[98 r2\_sq\_13 / 0616 0706 0707 0617 / plasterboard]  
[99 r2\_sq\_14 / 0617 0707 0708 0618 / plasterboard]

;roof3

[100 r3\_sq\_1 / 0701 0709 0710 / plasterboard]  
[101 r3\_sq\_2 / 0702 0710 0711 / plasterboard]  
[102 r3\_sq\_3 / 0703 0711 0712 / plasterboard]  
[103 r3\_sq\_4 / 0704 0712 0714 / plasterboard]  
[104 r3\_sq\_5 / 0705 0714 0715 / plasterboard]  
[105 r3\_sq\_6 / 0706 0715 0716 / plasterboard]  
[106 r3\_sq\_7 / 0707 0716 0717 / plasterboard]  
[300 r3\_sq\_1b / 0701 0710 0702 / plasterboard]  
[301 r3\_sq\_2b / 0702 0711 0703 / plasterboard]  
[302 r3\_sq\_3b / 0703 0712 0704 / plasterboard]  
[303 r3\_sq\_4b / 0704 0714 0705 / plasterboard]  
[304 r3\_sq\_5b / 0705 0715 0706 / plasterboard]  
[305 r3\_sq\_6b / 0706 0716 0707 / plasterboard]  
[306 r3\_sq\_7b / 0707 0717 0708 / plasterboard]  
[107 r3\_tr\_8 / 0709 0801 0802 / plasterboard]  
[108 r3\_tr\_9 / 0709 0802 0710 / plasterboard]  
[109 r3\_tr\_10 / 0710 0802 0803 / plasterboard]  
[110 r3\_sq\_11 / 0710 0803 0804 / plasterboard]  
[111 r3\_sq\_12 / 0711 0804 0805 / plasterboard]  
[112 r3\_sq\_13 / 0712 0805 0806 / plasterboard]  
[113 r3\_sq\_14 / 0714 0806 0807 / plasterboard]  
[114 r3\_sq\_15 / 0715 0807 0808 / plasterboard]  
[310 r3\_sq\_11b / 0710 0804 0711 / plasterboard]  
[311 r3\_sq\_12b / 0711 0805 0712 / plasterboard]  
[312 r3\_sq\_13b / 0712 0806 0714 / plasterboard]  
[313 r3\_sq\_14b / 0714 0807 0715 / plasterboard]  
[314 r3\_sq\_15b / 0715 0808 0716 / plasterboard]  
[115 r3\_sq\_16 / 0716 0808 0809 0717 / plasterboard]

;roof4

[116 r4\_tr\_1 / 0819 0818 0810 / plasterboard]  
[117 r4\_tr\_2 / 0802 0819 0810 / plasterboard]  
[118 r4\_tr\_18 / 0801 0819 0802 / plasterboard]  
[119 r4\_sq\_3 / 0802 0810 0811 / plasterboard]  
[120 r4\_sq\_4 / 0803 0811 0812 / plasterboard]  
[121 r4\_sq\_5 / 0804 0812 0813 / plasterboard]  
[122 r4\_sq\_6 / 0805 0813 0814 / plasterboard]  
[123 r4\_sq\_7 / 0806 0814 0815 / plasterboard]  
[124 r4\_sq\_8 / 0807 0815 0816 / plasterboard]  
[125 r4\_sq\_9 / 0808 0816 0817 / plasterboard]  
[319 r4\_sq\_3b / 0802 0811 0803 / plasterboard]

[320 r4\_sq\_4b / 0803 0812 0804 / plasterboard]  
[321 r4\_sq\_5b / 0804 0813 0805 / plasterboard]  
[322 r4\_sq\_6b / 0805 0814 0806 / plasterboard]  
[323 r4\_sq\_7b / 0806 0815 0807 / plasterboard]  
[324 r4\_sq\_8b / 0807 0816 0808 / plasterboard]  
[325 r4\_sq\_9b / 0808 0817 0809 / plasterboard]  
[126 r4\_sq\_10 / 0818 0924 0908 / plasterboard]  
[127 r4\_sq\_11 / 0810 0908 0907 / plasterboard]  
[128 r4\_sq\_12 / 0811 0907 0906 / plasterboard]  
[129 r4\_sq\_13 / 0812 0906 0905 / plasterboard]  
[130 r4\_sq\_14 / 0813 0905 0904 / plasterboard]  
[326 r4\_sq\_10b / 0818 0908 0810 / plasterboard]  
[327 r4\_sq\_11b / 0810 0907 0811 / plasterboard]  
[328 r4\_sq\_12b / 0811 0906 0812 / plasterboard]  
[329 r4\_sq\_13b / 0812 0905 0813 / plasterboard]  
[330 r4\_sq\_14b / 0813 0904 0814 / plasterboard]  
[131 r4\_sq\_15 / 0814 0904 0903 0815 / plasterboard]  
[132 r4\_sq\_16 / 0815 0903 0902 0816 / plasterboard]  
[133 r4\_sq\_17 / 0816 0902 0901 0817 / plasterboard]

;roof5

[134 r5\_tr\_1 / 0924 0925 0926 / plasterboard]  
[135 r5\_sq\_2 / 0924 0926 0927 / plasterboard]  
[136 r5\_sq\_3 / 0908 0927 0929 / plasterboard]  
[137 r5\_sq\_4 / 0907 0929 0931 / plasterboard]  
[138 r5\_sq\_5 / 0906 0931 0933 / plasterboard]  
[139 r5\_sq\_6 / 0905 0933 0935 / plasterboard]  
[140 r5\_sq\_7 / 0904 0935 0936 / plasterboard]  
[335 r5\_sq\_2b / 0924 0927 0908 / plasterboard]  
[336 r5\_sq\_3b / 0908 0929 0907 / plasterboard]  
[337 r5\_sq\_4b / 0907 0931 0906 / plasterboard]  
[338 r5\_sq\_5b / 0906 0933 0905 / plasterboard]  
[339 r5\_sq\_6b / 0905 0935 0904 / plasterboard]  
[340 r5\_sq\_7b / 0904 0936 0903 / plasterboard]  
[141 r5\_sq\_8 / 0935 0942 0941 0936 / plasterboard]  
[142 r5\_sq\_9 / 0903 0936 0938 / plasterboard]  
[342 r5\_sq\_9b / 0903 0938 0902 / plasterboard]  
[143 r5\_sq\_10 / 0902 0938 0940 / plasterboard]  
[343 r5\_sq\_10b / 0902 0940 0901 / plasterboard]

;Walls

;Wall Side Left

[144 sq\_1 / 0001 0004 0504 0501 / alfa]  
[145 sq\_2a / 0004 0005 0505 / alfa]  
[146 sq\_3a / 0005 0049 0507 / alfa]  
[147 sq\_4a / 0049 0048 0601 / alfa]  
[148 sq\_5a / 0048 0047 0611 / alfa]  
[149 sq\_6a / 0047 0046 0701 / alfa]  
[150 sq\_7a / 0046 0045 0709 / alfa]  
[151 sq\_8a / 0045 0044 0801 / alfa]  
[152 sq\_9a / 0044 0023 0819 / alfa]  
[153 sq\_10a / 0023 0043 0818 / alfa]  
[154 sq\_11a / 0043 0024 0924 / alfa]  
[155 sq\_12a / 0024 0025 0925 / alfa]  
[156 sq\_13a / 0025 0026 0926 / alfa]  
[345 sq\_2b / 0004 0505 0504 / alfa]  
[346 sq\_3b / 0005 0507 0505 / alfa]  
[347 sq\_4b / 0049 0601 0507 / alfa]  
[348 sq\_5b / 0048 0611 0601 / alfa]  
[349 sq\_6b / 0047 0701 0611 / alfa]  
[350 sq\_7b / 0046 0709 0701 / alfa]

```
[351 sq_8b / 0045 0801 0709 / alfa]
[352 sq_9b / 0044 0819 0801 / alfa]
[353 sq_10b / 0023 0818 0819/ alfa]
[354 sq_11b / 0043 0924 0818 / alfa]
[355 sq_12b / 0024 0925 0924 / alfa]
[356 sq_13b / 0025 0926 0925 / alfa]

;Wall back_entrance
[157 sq_1 / 0026 0027 0927 0926 / alfa]
[158 sq_2 / 0427 0429 0929 0927 / alfa]
[159 sq_3 / 0027 0029 0329 0327 / alfa]
[160 sq_4 / 0429 0431 0931 0929 / alfa]
[161 sq_5 / 0029 0031 0331 0329 / alfa]
[162 sq_6 / 0431 0433 0933 0931 / alfa]
[163 sq_7 / 0031 0033 0333 0331 / alfa]
[164 sq_8 / 0433 0434 0935 / alfa]
[165 sq_9 / 0033 0035 0334 / alfa]
[364 sq_8b / 0433 0935 0933 / alfa]
[365 sq_9b / 0033 0334 0333 / alfa]
[166 sq_10 / 0035 0935 0434 0334 / alfa]
[170 sq_15 / 0035 0042 0942 0935 / alfa]
[171 sq_16 / 0042 0041 0941 0942 / alfa]
[172 sq_17 / 0036 0936 0941 0041 / alfa]
[173 sq_18 / 0036 0337 0437 0936 / alfa]
[174 sq_19 / 0437 0438 0938 0936 / alfa]
[175 sq_20 / 0036 0038 0338 0337 / alfa]
[176 sq_21 / 0038 0339 0439 0938 / alfa]
[177 sq_22 / 0439 0440 0940 / alfa]
[178 sq_23 / 0038 0040 0340 / alfa]
[377 sq_22b / 0439 0940 0938 / alfa]
[378 sq_23b / 0038 0340 0339 / alfa]

;Wall front_stage
[179 sq_1 / 0106 0520 0518 / curtain]
[379 sq_1b / 0106 0518 0118 / curtain]
[180 sq_2 / 0001 0501 0519 0002 / alfa]
[181 sq_2 / 0106 0102 0519 0520 / wood]

;PAREMVASI
;Aioroumeno uliko pano apo to koino
;aiwroumeno uliko 1 metro kato apo tin stegi
;roof2
[500 r2_bottom_a / 1610 1602 1612 / perfplaster]
[501 r2_bottom_b / 1610 1612 1618 / perfplaster]
[502 r2_bottom_c / 1618 1612 1702/ perfplaster]
[503 r2_bottom_d / 1618 1702 1708 / perfplaster]

;roof3
[504 r3_bottom_a / 1708 1702 1710 / perfplaster]
[505 r3_bottom_b / 1708 1710 1717 / perfplaster]
[506 r3_bottom_c / 1717 1710 1802 / perfplaster]
[507 r3_bottom_d / 1717 1802 1809 / perfplaster]

;roof4
[508 r4_bottom_a / 1809 1802 1810 / perfplaster]
[509 r4_bottom_b / 1809 1810 1817 / perfplaster]

;TOP
;roof2
[510 r2_top_a / 2610 2612 2602 / perfplaster]
[511 r2_top_b / 2610 2618 2612 / perfplaster]
```

```
[512 r2_top_c / 2618 2702 2612 / perfplaster]
[513 r2_top_d / 2618 2708 2702 / perfplaster]

;roof3
[514 r3_top_a / 2708 2710 2702 / perfplaster]
[515 r3_top_b / 2708 2717 2710 / perfplaster]
[516 r3_top_c / 2717 2802 2710 / perfplaster]
[517 r3_top_d / 2717 2809 2802 / perfplaster]

;roof4
[518 r4_top_a / 2809 2810 2802 / perfplaster]
[519 r4_top_b / 2809 2817 2810 / perfplaster]

;side
[520 sidefront_a / 1610 2610 2602 / perfplaster]
[521 sidefront_b / 1610 2602 1602 / perfplaster]
[522 sideback_a / 1817 2810 2817 / perfplaster]
[523 sideback_b / 1817 1810 2810 / perfplaster]
[524 r2_side_a / 1602 2602 2612 / perfplaster]
[525 r2_side_b / 1602 2612 1612 / perfplaster]
[526 r2_side_c / 1612 2612 2702 / perfplaster]
[527 r2_side_d / 1612 2702 1702 / perfplaster]
[528 r3_side_a / 1702 2702 2710 / perfplaster]
[529 r3_side_b / 1702 2710 1710 / perfplaster]
[530 r3_side_c / 1710 2710 2802 / perfplaster]
[531 r3_side_d / 1710 2802 1802 / perfplaster]
[532 r4_side_a / 1802 2802 2810 / perfplaster]
[533 r4_side_b / 1802 2810 1810 / perfplaster]
```

## ΚΩΔΙΚΑΣ ΟΡΙΣΜΟΥ ΑΚΡΟΑΤΩΝ

```
REC.LOC
RECEIVERS
0 -5.8 7.1 1.2
1 -12.7 21.1 5.2
2 -1.8 7.1 1.2
3 -6.9 21.2 5.2
4 0 7.1 1.2
5 0 21.6 5.2
6 5.8 7.1 1.2
7 12.7 21.1 5.2
8 1.8 7.1 1.2
9 6.9 21.2 5.2
10 -8 11.5 2.5
11 -10 15.7 3.9
12 -5.5 16.5 3.9
15 -3.1 11.8 2.5
13 0 16.9 3.9
14 0 12 2.5
16 10 15.7 3.9
17 5.5 16.5 3.9
18 3.1 11.8 2.5
19 8 11.5 2.5
```



## ΚΩΔΙΚΑΣ ΟΡΙΣΜΟΥ ΠΗΓΩΝ

```
SCR.LOC  
SOURCE A1  
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"  
POS = 4.7 0.5 5.3  
AIMPOS = 6.7 18 4.7  
LvIn = <0 0 0 0 0 0>  
END
```

```
;kEPMPPTON  
SOURCE A2  
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"  
POS = -4.7 0.5 5.3  
AIMPOS = -6.7 18 4.7  
LvIn = <0 0 0 0 0 0>  
END
```

```
;kEPMPPTON  
SOURCE A3  
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"  
POS = 6.5 5.5 6.5  
AIMPOS = 3.5 19 4.5  
LvIn = <0 0 0 0 0 0>  
END
```

```
;kEPMPPTON  
SOURCE A4  
DIRECTIVITY = "V2-1264.CF2"  
POS = -6.5 5.5 6.5  
AIMPOS = -3.5 19 4.5  
LvIn = <0 0 0 0 0 0>  
END
```

## Παράρτημα Β: Κώδικες MATLAB

### SCRIPT 1

```
%useful data and constant declarations
%ss_template = [D50; C80; RT; EDT; T15; STI; SPL]
fs = 15;
f = [125 250 500 1000 2000 4000 8000];
f1 = [125 250 500 1000 2000 4000];
i=1;
y=1;
g=1;

%INITIAL DATA FROM PREDICT S*R GIA OLES TIS THESEIS

%list to array convert
ss00 = cell2mat(ss00);
ss01 = cell2mat(ss01);
ss02 = cell2mat(ss02);
ss03 = cell2mat(ss03);
ss04 = cell2mat(ss04);
ss05 = cell2mat(ss05);
ss06 = cell2mat(ss06);
ss07 = cell2mat(ss07);
ss08 = cell2mat(ss08);
ss09 = cell2mat(ss09);
ss10 = cell2mat(ss10);
ss11 = cell2mat(ss11);
ss12 = cell2mat(ss12);
ss13 = cell2mat(ss13);
ss14 = cell2mat(ss14);
ss15 = cell2mat(ss15);
ss16 = cell2mat(ss16);
ss17 = cell2mat(ss17);
ss18 = cell2mat(ss18);
ss19 = cell2mat(ss19);

ssxx = {ss00; ss01; ss02; ss03; ss04; ss05; ss06; ss07; ss08; ss09; ss10; ss11; ss12; ss13; ss14; ss15;
ss16; ss17; ss18; ss19};

%PROPOSAL DATA FROM PREDICT S*R GIA OLES TIS THESEIS

%list to array convert
ss00pr = cell2mat(ss00pr);
ss01pr = cell2mat(ss01pr);
ss02pr = cell2mat(ss02pr);
ss03pr = cell2mat(ss03pr);
ss04pr = cell2mat(ss04pr);
ss05pr = cell2mat(ss05pr);
ss06pr = cell2mat(ss06pr);
ss07pr = cell2mat(ss07pr);
ss08pr = cell2mat(ss08pr);
ss09pr = cell2mat(ss09pr);
ss10pr = cell2mat(ss10pr);
ss11pr = cell2mat(ss11pr);
ss12pr = cell2mat(ss12pr);
ss13pr = cell2mat(ss13pr);
ss14pr = cell2mat(ss14pr);
ss15pr = cell2mat(ss15pr);
ss16pr = cell2mat(ss16pr);
```

```
ss17pr = cell2mat(ss17pr);  
ss18pr = cell2mat(ss18pr);  
ss19pr = cell2mat(ss19pr);
```

```
ssxxpr = {ss00pr; ss01pr; ss02pr; ss03pr; ss04pr; ss05pr; ss06pr; ss07pr; ss08pr; ss09pr; ss10pr; ss11pr;  
ss12pr; ss13pr; ss14pr; ss15pr; ss16pr; ss17pr; ss18pr; ss19pr};
```

```
%DIFFERENCE BETWEEN PROPOSAL AND INITIAL DATA FROM PREDICT S*R GIA OLES TIS  
THESEIS
```

```
%METATROPI LIST SE ARRAY
```

```
ssxxdif = cellfun(@minus, ssxxpr, ssxx, 'Un', 0);
```

## SCRIPT 2

```
%PLOT ΘΕΣΗΣ 00
```

```
for i=1:1:20
```

```
s = ssxx{i};
```

```
D50 = s(1, :);
```

```
C80 = s(2, :);
```

```
RT = s(3, :);
```

```
EDT = s(4, :);
```

```
T15 = s(5, :);
```

```
SPL = s(6, :);
```

```
STI = s(7, :);
```

```
sp = figure(i)
```

```
sp = tiledlayout(3,2)
```

```
title(sp, ['ΘΕΣΗ', num2str(i)], 'FontSize', 16)
```

```
nexttile
```

```
semilogx(f,D50)
```

```
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
```

```
ylabel('Ποσοστό(%)' )
```

```
title('D50')
```

```
ax = gca;
```

```
ax.FontSize = fs;
```

```
grid on
```

```
nexttile
```

```
semilogx(f,C80)
```

```
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
```

```
ylabel('Στάθμη(dB)' )
```

```
title('C80')
```

```
ax = gca;
```

```
ax.FontSize = fs;
```

```
grid on
```

```
nexttile
```

```
semilogx(f,RT)
```

```
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
```

```
ylabel('Χρόνος(s)' )
```

```
title('RT')
```

```
ax = gca;
```

```
ax.FontSize = fs;
```

```
grid on
```

```
nexttile  
semilogx(f,EDT)  
xlabel('Συχνότητα(Hz)')  
ylabel('Χρόνος(s)')  
title('EDT')  
ax = gca;  
ax.FontSize = fs;  
grid on
```

```
nexttile  
semilogx(f,T15)  
xlabel('Συχνότητα(Hz)')  
ylabel('Χρόνος(s)')  
title('T15')  
ax = gca;  
ax.FontSize = fs;  
grid on
```

```
nexttile  
semilogx(f,STI)  
xlabel('Συχνότητα(Hz)')  
title('STI')  
ax = gca;  
ax.FontSize = fs;  
grid on  
end
```

### SCRIPT 3

```
y = i+1  
%histogram plots  
for histoplots = 1  
nbins=5;  
%D50  
for i=1:1:20  
  
s = ssxx{i};  
  
t = s(1 , 1);  
D50_125(i) = t;  
t = s(1 ,2);  
D50_250(i) = t;  
t = s(1 ,3);  
D50_500(i) = t;  
t = s(1 , 4);  
D50_1000(i) = t;  
t = s(1 ,5);  
D50_2000(i) = t;  
t = s(1 ,6);  
D50_4000(i) = t;  
t = s(1 ,7);  
D50_8000(i) = t;  
end
```

```
d50h= figure(y)
d50h = tiledlayout(3,3)
title(d50h, 'D50 ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)
```

```
nexttile
h=histogram(D50_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(D50_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(D50_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(D50_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(D50_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(D50_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(D50_8000, nbins)
```

```
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%C80
for i=1:1:20

s = sxx{i};

t = s(2 , 1);
C80_125(i) = t;
t = s(2 , 2);
C80_250(i) = t;
t = s(2 , 3);
C80_500(i) = t;
t = s(2 , 4);
C80_1000(i) = t;
t = s(2 , 5);
C80_2000(i) = t;
t = s(2 , 6);
C80_4000(i) = t;
t = s(2 , 7);
C80_8000(i) = t;
end

y=y+1
c80h= figure(y)
c80h = tiledlayout(3,3)
title(c80h, 'C80 ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(C80_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(C80_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(C80_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_8000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
%RT
```

```
for i=1:1:20
```

```
s = sxx{i};
```

```
t = s(3 , 1);
```

```
RT_125(i) = t;
```

```
t = s(3 , 2);
```

```
RT_250(i) = t;
```

```
t = s(3 , 3);
```

```
RT_500(i) = t;
```

```
t = s(3 , 4);
```

```
RT_1000(i) = t;
```

```
t = s(3 , 5);
```

```
RT_2000(i) = t;
```

```
t = s(3 , 6);
```

```
RT_4000(i) = t;
```

```
t = s(3 , 7);
```

```
RT_8000(i) = t;
```

```
end
```

```
y=y+1
```

```
RTh= figure(y)
```

```
RTh = tiledlayout(3,3)
title(RTh, 'RT ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)
```

```
nexttile
h=histogram(RT_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(RT_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(RT_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(RT_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(RT_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(RT_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(RT_8000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
```



```
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%EDT
for i=1:1:20

s = sxx{i};

t = s(4 , 1);
EDT_125(i) = t;
t = s(4 , 2);
EDT_250(i) = t;
t = s(4 , 3);
EDT_500(i) = t;
t = s(4 , 4);
EDT_1000(i) = t;
t = s(4 , 5);
EDT_2000(i) = t;
t = s(4 , 6);
EDT_4000(i) = t;
t = s(4 , 7);
EDT_8000(i) = t;
end

y=y+1
EDTh= figure(y)
EDTh = tiledlayout(3,3)
title(EDTh, 'EDT ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(EDT_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(EDT_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(EDT_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
```

```
h=histogram(EDT_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(EDT_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(EDT_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(EDT_8000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%T15
for i=1:1:20

s = sxx{i};

t = s(5 , 1);
T15_125(i) = t;
t = s(5 , 2);
T15_250(i) = t;
t = s(5 , 3);
T15_500(i) = t;
t = s(5 , 4);
T15_1000(i) = t;
t = s(5 , 5);
T15_2000(i) = t;
t = s(5 , 6);
T15_4000(i) = t;
t = s(5 , 7);
T15_8000(i) = t;
end

y=y+1
T15h= figure(y)
T15h = tiledlayout(3,3)
title(T15h, 'T15 ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)
```

```
nexttile
h=histogram(T15_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(T15_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(T15_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(T15_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(T15_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(T15_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(T15_8000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
```

```
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%STI
for i=1:1:20

s = sxx{i};

t = s(7 , 1);
STI_125(i) = t;
t = s(7 , 2);
STI_250(i) = t;
t = s(7 , 3);
STI_500(i) = t;
t = s(7 , 4);
STI_1000(i) = t;
t = s(7 , 5);
STI_2000(i) = t;
t = s(7 , 6);
STI_4000(i) = t;
t = s(7 , 7);
STI_8000(i) = t;
end

y=y+1
STIh= figure(y)
STIh = tiledlayout(3,3)
title(STIh, 'STI ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(STI_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
```

```
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_8000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%SPL
for i=1:1:20

s = sxx{i};

t = s(6 , 1);
SPL_125(i) = t;
t = s(6 , 2);
SPL_250(i) = t;
t = s(6 , 3);
SPL_500(i) = t;
t = s(6 , 4);
SPL_1000(i) = t;
t = s(6 , 5);
SPL_2000(i) = t;
t = s(6 , 6);
SPL_4000(i) = t;
t = s(6 , 7);
SPL_8000(i) = t;
end

y=y+1
SPLh= figure(y)
SPLh = tiledlayout(3,3)
title(SPLh, 'SPL ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(SPL_125, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(SPL_250, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(SPL_500, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(SPL_1000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(SPL_2000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(SPL_4000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(SPL_8000, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
end
```

## SCRIPT 4

```
y = i+1
%histogram plots
for histoplots = 1
nbins=5;
%D50
for i=1:1:20

s = ssxxpr{i};

t = s(1 , 1);
D50_125pr(i) = t;
t = s(1 ,2);
D50_250pr(i) = t;
t = s(1 ,3);
D50_500pr(i) = t;
t = s(1, 4);
D50_1000pr(i) = t;
t = s(1 ,5);
D50_2000pr(i) = t;
t = s(1 ,6);
D50_4000pr(i) = t;
t = s(1 ,7);
D50_8000pr(i) = t;
end

d50prh= figure(y)
d50prh = tiledlayout(3,3)
title(d50prh, 'D50 ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(D50_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(D50_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(D50_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(D50_1000pr, nbins)
```

```
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(D50_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(D50_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(D50_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Ποσοστο(%)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%C80
for i=1:1:20

s = sxxpr{i};

t = s(2 , 1);
C80_125pr(i) = t;
t = s(2 ,2);
C80_250pr(i) = t;
t = s(2 ,3);
C80_500pr(i) = t;
t = s(2 ,4);
C80_1000pr(i) = t;
t = s(2 ,5);
C80_2000pr(i) = t;
t = s(2 ,6);
C80_4000pr(i) = t;
t = s(2 ,7);
C80_8000pr(i) = t;
end

y=y+1
c80prh= figure(y)
c80prh = tiledlayout(3,3)
title(c80prh, 'C80 ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)
```



```
nexttile
h=histogram(C80_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_1000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(C80_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
```

```
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%RT
for i=1:1:20

s = ssxxpr{i};

t = s(3 , 1);
RT_125pr(i) = t;
t = s(3 ,2);
RT_250pr(i) = t;
t = s(3 ,3);
RT_500pr(i) = t;
t = s(3 ,4);
RT_1000pr(i) = t;
t = s(3 ,5);
RT_2000pr(i) = t;
t = s(3 ,6);
RT_4000pr(i) = t;
t = s(3 ,7);
RT_8000pr(i) = t;
end

y=y+1
RTprh= figure(y)
RTprh = tiledlayout(3,3)
title(RTprh, 'RT ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(RT_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(RT_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(RT_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(RT_1000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
```

```
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(RT_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(RT_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(RT_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%EDT
for i=1:1:20

s = ssxxpr{i};

t = s(4 , 1);
EDT_125pr(i) = t;
t = s(4 ,2);
EDT_250pr(i) = t;
t = s(4 ,3);
EDT_500pr(i) = t;
t = s(4 , 4);
EDT_1000pr(i) = t;
t = s(4 ,5);
EDT_2000pr(i) = t;
t = s(4 ,6);
EDT_4000pr(i) = t;
t = s(4 ,7);
EDT_8000pr(i) = t;
end

y=y+1
EDTprh= figure(y)
EDTprh = tiledlayout(3,3)
title(EDTprh, 'EDT ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
```

```
h=histogram(EDT_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(EDT_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(EDT_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(EDT_1000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(EDT_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(EDT_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
nexttile
h=histogram(EDT_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
```

```
ax.FontSize = fs;

%T15
for i=1:1:20

s = sxxpr{i};

t = s(5 , 1);
T15_125pr(i) = t;
t = s(5 ,2);
T15_250pr(i) = t;
t = s(5 ,3);
T15_500pr(i) = t;
t = s(5 ,4);
T15_1000pr(i) = t;
t = s(5 ,5);
T15_2000pr(i) = t;
t = s(5 ,6);
T15_4000pr(i) = t;
t = s(5 ,7);
T15_8000pr(i) = t;
end

y=y+1
T15prh= figure(y)
T15prh = tiledlayout(3,3)
title(T15prh, 'T15 ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(T15_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(T15_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(T15_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(T15_1000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
```

```
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(T15_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(T15_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(T15_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('Χρόνος (s)')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%STI
for i=1:1:20

s = ssxxpr{i};

t = s(7 , 1);
STI_125pr(i) = t;
t = s(7 ,2);
STI_250pr(i) = t;
t = s(7 ,3);
STI_500pr(i) = t;
t = s(7 ,4);
STI_1000pr(i) = t;
t = s(7 ,5);
STI_2000pr(i) = t;
t = s(7 ,6);
STI_4000pr(i) = t;
t = s(7 ,7);
STI_8000pr(i) = t;
end

y=y+1
STIprh= figure(y)
STIprh = tiledlayout(3,3)
title(STIprh, 'STI ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(STI_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
```

```
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_1000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(STI_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

%SPL
for i=1:1:20

s = sxxpr{i};

t = s(6 , 1);
SPL_125pr(i) = t;
```

```
t = s(6 ,2);
SPL_250pr(i) = t;
t = s(6 ,3);
SPL_500pr(i) = t;
t = s(6 ,4);
SPL_1000pr(i) = t;
t = s(6 ,5);
SPL_2000pr(i) = t;
t = s(6 ,6);
SPL_4000pr(i) = t;
t = s(6 ,7);
SPL_8000pr(i) = t;
end

y=y+1
SPLprh= figure(y)
SPLprh = tiledlayout(3,3)
title(SPLprh, 'SPL ανά Οκταβική Ζώνη', 'FontSize' , 16)

nexttile
h=histogram(SPL_125pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('125 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(SPL_250pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('250 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(SPL_500pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('500 Hz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(SPL_1000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('1 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(SPL_2000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
```



```

title('2 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(SPL_4000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('4 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

nexttile
h=histogram(SPL_8000pr, nbins)
h(1).FaceColor = [0 .4 .36];
xlabel('dB')
ylabel('Πλήθος Θέσεων')
title('8 kHz')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
end

```

## SCRIPT 5

```

g = y+1
%mean value, stadnard deviation
%D50
D50all = [mean(D50_125) mean(D50_250) mean(D50_500) mean(D50_1000) mean(D50_2000)
mean(D50_4000) mean(D50_8000)]
D50_std = 2*[std(D50_125) std(D50_250) std(D50_500) std(D50_1000) std(D50_2000) std(D50_4000)
std(D50_8000)];
D50min = D50all-D50_std;
D50max = D50all+D50_std;
%D50pr
D50prall = [mean(D50_125pr) mean(D50_250pr) mean(D50_500pr) mean(D50_1000pr) mean(D50_2000pr)
mean(D50_4000pr) mean(D50_8000pr)]
D50pr_std = 2*[std(D50_125pr) std(D50_250pr) std(D50_500pr) std(D50_1000pr) std(D50_2000pr)
std(D50_4000pr) std(D50_8000pr)];
D50prmin = D50prall-D50pr_std;
D50prmax = D50prall+D50pr_std;

%plot D50 mean, min, max/before and after
D50all_p= figure(g);
D50all_p= semilogx(f,D50all, '-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",2,"DisplayName" , "D50 αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Ποσοστο(%)')
title('D50 Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,D50min,'-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName" , "D50-2σ αρχικό")
semilogx(f,D50max,'-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName" , "D50+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,D50prall, '--^',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",2,"DisplayName" , "D50 τελικό")
semilogx(f,D50prmin, '--^',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName" , "D50-2σ τελικό")
semilogx(f,D50prmax, '--^',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName" , "D50+2σ τελικό")
grid on

```

```

hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

g=g+1
%mean value, stadnard deviation
%C80
C80all = [mean(C80_125) mean(C80_250) mean(C80_500) mean(C80_1000) mean(C80_2000)
mean(C80_4000) mean(C80_8000)]
C80_std = 2*[std(C80_125) std(C80_250) std(C80_500) std(C80_1000) std(C80_2000) std(C80_4000)
std(C80_8000)];
C80min = C80all-C80_std;
C80max = C80all+C80_std;
%C80pr
C80prall = [mean(C80_125pr) mean(C80_250pr) mean(C80_500pr) mean(C80_1000pr) mean(C80_2000pr)
mean(C80_4000pr) mean(C80_8000pr)]
C80pr_std = 2*[std(C80_125pr) std(C80_250pr) std(C80_500pr) std(C80_1000pr) std(C80_2000pr)
std(C80_4000pr) std(C80_8000pr)];
C80prmin = C80prall-C80pr_std;
C80prmax = C80prall+C80pr_std;

%plot C80 mean, min, max/before and after
C80all_p= figure(g);
C80all_p= semilogx(f,C80all, '-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName" , "C80 αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Στάθμη(dB)')
title('C80 Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,C80min,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName" , "C80-2σ αρχικό")
semilogx(f,C80max,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName" , "C80+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,C80prall, '-^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName" , "C80 τελικό")
semilogx(f,C80prmin, '-^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName" , "C80-2σ τελικό")
semilogx(f,C80prmax, '-^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName" , "C80+2σ τελικό")
grid on
hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

g=g+1
%mean value, stadnard deviation
%RT
RTall = [mean(RT_125) mean(RT_250) mean(RT_500) mean(RT_1000) mean(RT_2000) mean(RT_4000)
mean(RT_8000)]
RT_std = 2*[std(RT_125) std(RT_250) std(RT_500) std(RT_1000) std(RT_2000) std(RT_4000)
std(RT_8000)];
RTmin = RTall-RT_std;
RTmax = RTall+RT_std;
%RTpr
RTprall = [mean(RT_125pr) mean(RT_250pr) mean(RT_500pr) mean(RT_1000pr) mean(RT_2000pr)
mean(RT_4000pr) mean(RT_8000pr)]
RTpr_std = 2*[std(RT_125pr) std(RT_250pr) std(RT_500pr) std(RT_1000pr) std(RT_2000pr)
std(RT_4000pr) std(RT_8000pr)];
RTprmin = RTprall-RTpr_std;
RTprmax = RTprall+RTpr_std;

%plot RT mean, min, max/before and after
RTall_p= figure(g);
RTall_p= semilogx(f,RTall, '-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName" , "RT αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')

```

```

ylabel('Στάθμη(dB)')
title('RT Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,RTmin,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "RT-2σ αρχικό")
semilogx(f,RTmax,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "RT+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,RTprall, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName", "RT τελικό")
semilogx(f,RTprmin, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "RT-2σ τελικό")
semilogx(f,RTprmax, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "RT+2σ τελικό")
grid on
hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

g=g+1
%mean value, stadnard deviation
%EDT
EDTall = [mean(EDT_125) mean(EDT_250) mean(EDT_500) mean(EDT_1000) mean(EDT_2000)
mean(EDT_4000) mean(EDT_8000)]
EDT_std = 2*[std(EDT_125) std(EDT_250) std(EDT_500) std(EDT_1000) std(EDT_2000) std(EDT_4000)
std(EDT_8000)];
EDTmin = EDTall-EDT_std;
EDTmax = EDTall+EDT_std;
%EDTpr
EDTprall = [mean(EDT_125pr) mean(EDT_250pr) mean(EDT_500pr) mean(EDT_1000pr)
mean(EDT_2000pr) mean(EDT_4000pr) mean(EDT_8000pr)]
EDTpr_std = 2*[std(EDT_125pr) std(EDT_250pr) std(EDT_500pr) std(EDT_1000pr) std(EDT_2000pr)
std(EDT_4000pr) std(EDT_8000pr)];
EDTprmin = EDTprall-EDTpr_std;
EDTprmax = EDTprall+EDTpr_std;

%plot EDT mean, min, max/before and after
EDTall_p= figure(g);
EDTall_p= semilogx(f,EDTall, '-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName", "EDT αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Στάθμη(dB)')
title('EDT Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,EDTmin,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "EDT-2σ αρχικό")
semilogx(f,EDTmax,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "EDT+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,EDTprall, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName", "EDT τελικό")
semilogx(f,EDTprmin, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "EDT-2σ τελικό")
semilogx(f,EDTprmax, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "EDT+2σ τελικό")
grid on
hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

g=g+1
%mean value, stadnard deviation
%T15
T15all = [mean(T15_125) mean(T15_250) mean(T15_500) mean(T15_1000) mean(T15_2000)
mean(T15_4000) mean(T15_8000)]
T15_std = 2*[std(T15_125) std(T15_250) std(T15_500) std(T15_1000) std(T15_2000) std(T15_4000)
std(T15_8000)];
T15min = T15all-T15_std;
T15max = T15all+T15_std;
%T15pr

```

```
T15prall = [mean(T15_125pr) mean(T15_250pr) mean(T15_500pr) mean(T15_1000pr) mean(T15_2000pr)
mean(T15_4000pr) mean(T15_8000pr)]
T15pr_std = 2*[std(T15_125pr) std(T15_250pr) std(T15_500pr) std(T15_1000pr) std(T15_2000pr)
std(T15_4000pr) std(T15_8000pr)];
T15prmin = T15prall-T15pr_std;
T15prmax = T15prall+T15pr_std;
```

```
%plot T15 mean, min, max/before and after
```

```
T15all_p= figure(g);
T15all_p= semilogx(f,T15all, '-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",2,"DisplayName", "T15 αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Στάθμη(dB)')
title('T15 Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,T15min,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "T15-2σ αρχικό")
semilogx(f,T15max,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "T15+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,T15prall, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName", "T15 τελικό")
semilogx(f,T15prmin, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "T15-2σ τελικό")
semilogx(f,T15prmax, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "T15+2σ τελικό")
grid on
hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```
g=g+1
```

```
%mean value, stadnard deviation
```

```
%SPL
```

```
SPLall = [mean(SPL_125) mean(SPL_250) mean(SPL_500) mean(SPL_1000) mean(SPL_2000)
mean(SPL_4000) mean(SPL_8000)]
SPL_std = 2*[std(SPL_125) std(SPL_250) std(SPL_500) std(SPL_1000) std(SPL_2000) std(SPL_4000)
std(SPL_8000)];
SPLmin = SPLall-SPL_std;
SPLmax = SPLall+SPL_std;
%SPLpr
SPLprall = [mean(SPL_125pr) mean(SPL_250pr) mean(SPL_500pr) mean(SPL_1000pr)
mean(SPL_2000pr) mean(SPL_4000pr) mean(SPL_8000pr)]
SPLpr_std = 2*[std(SPL_125pr) std(SPL_250pr) std(SPL_500pr) std(SPL_1000pr) std(SPL_2000pr)
std(SPL_4000pr) std(SPL_8000pr)];
SPLprmin = SPLprall-SPLpr_std;
SPLprmax = SPLprall+SPLpr_std;
```

```
%plot SPL mean, min, max/before and after
```

```
SPLall_p= figure(g);
SPLall_p= semilogx(f,SPLall, '-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",2,"DisplayName", "SPL αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Στάθμη(dB)')
title('SPL Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,SPLmin,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "SPL-2σ αρχικό")
semilogx(f,SPLmax,'-o',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "SPL+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,SPLprall, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",2,"DisplayName", "SPL τελικό")
semilogx(f,SPLprmin, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "SPL-2σ τελικό")
semilogx(f,SPLprmax, '--^',"MarkerSize" , 3 , "LineWidth",0.5,"DisplayName", "SPL+2σ τελικό")
grid on
hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
```

```

g=g+1
%mean value, stadnard deviation
%STI
STIall = [mean(STI_125) mean(STI_250) mean(STI_500) mean(STI_1000) mean(STI_2000)
mean(STI_4000) mean(STI_8000)]
STI_std = 2*[std(STI_125) std(STI_250) std(STI_500) std(STI_1000) std(STI_2000) std(STI_4000)
std(STI_8000)];
STImin = STIall-STI_std;
STImax = STIall+STI_std;
%STIpr
STIprall = [mean(STI_125pr) mean(STI_250pr) mean(STI_500pr) mean(STI_1000pr) mean(STI_2000pr)
mean(STI_4000pr) mean(STI_8000pr)]
STIpr_std = 2*[std(STI_125pr) std(STI_250pr) std(STI_500pr) std(STI_1000pr) std(STI_2000pr)
std(STI_4000pr) std(STI_8000pr)];
STIprmin = STIprall-STIpr_std;
STIprmax = STIprall+STIpr_std;

%plot STI mean, min, max/before and after
STIall_p= figure(g);
STIall_p= semilogx(f,STIall, '-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",2,"DisplayName", "STI αρχικό")
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Στάθμη(dB)')
title('STI Μέση τιμή, Μέση τιμή+2σ, Μέση τιμή-2σ')
hold on
semilogx(f,STImin,'-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName", "STI-2σ αρχικό")
semilogx(f,STImax,'-o',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName", "STI+2σ αρχικό")
%proposal
semilogx(f,STIprall, '-^',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",2,"DisplayName", "STI τελικό")
semilogx(f,STIprmin, '-^',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName", "STI-2σ τελικό")
semilogx(f,STIprmax, '-^',"MarkerSize" , 3 ,"LineWidth",0.5,"DisplayName", "STI+2σ τελικό")
grid on
hold off
ax = gca;
ax.FontSize = fs;

```

## SCRIPT 6

```

for i=1:1:20
s = ssxxdif{i};
D50 = s(1, :);
C80 = s(2, :);
RT = s(3, :);
EDT = s(4, :);
T15 = s(5, :);
SPL = s(6, :);
STI = s(7, :);
end

for i=1:1:20
s = ssxxdif{i};

t = s(1 , 1);
D50_125dif(i) = t;
t = s(1 ,2);

```

D50\_250dif(i) = t;  
t = s(1 ,3);  
D50\_500dif(i) = t;  
t = s(1 ,4);  
D50\_1000dif(i) = t;  
t = s(1 ,5);  
D50\_2000dif(i) = t;  
t = s(1 ,6);  
D50\_4000dif(i) = t;  
t = s(1 ,7);  
D50\_8000dif(i) = t;

t = s(2 , 1);  
C80\_125dif(i) = t;  
t = s(2 ,2);  
C80\_250dif(i) = t;  
t = s(2 ,3);  
C80\_500dif(i) = t;  
t = s(2 ,4);  
C80\_1000dif(i) = t;  
t = s(2 ,5);  
C80\_2000dif(i) = t;  
t = s(2 ,6);  
C80\_4000dif(i) = t;  
t = s(2 ,7);  
C80\_8000dif(i) = t;

t = s(3 , 1);  
RT\_125dif(i) = t;  
t = s(3 ,2);  
RT\_250dif(i) = t;  
t = s(3 ,3);  
RT\_500dif(i) = t;  
t = s(3 ,4);  
RT\_1000dif(i) = t;  
t = s(3 ,5);  
RT\_2000dif(i) = t;  
t = s(3 ,6);  
RT\_4000dif(i) = t;  
t = s(3 ,7);  
RT\_8000dif(i) = t;

t = s(4 , 1);  
EDT\_125dif(i) = t;  
t = s(4 ,2);  
EDT\_250dif(i) = t;  
t = s(4 ,3);  
EDT\_500dif(i) = t;  
t = s(4 ,4);  
EDT\_1000dif(i) = t;  
t = s(4 ,5);  
EDT\_2000dif(i) = t;  
t = s(4 ,6);  
EDT\_4000dif(i) = t;  
t = s(4 ,7);  
EDT\_8000dif(i) = t;

t = s(5 , 1);  
T15\_125dif(i) = t;  
t = s(5 ,2);

```
T15_250dif(i) = t;  
t = s(5 ,3);  
T15_500dif(i) = t;  
t = s(5 ,4);  
T15_1000dif(i) = t;  
t = s(5 ,5);  
T15_2000dif(i) = t;  
t = s(5 ,6);  
T15_4000dif(i) = t;  
t = s(5 ,7);  
T15_8000dif(i) = t;
```

```
t = s(6 , 1);  
SPL_125dif(i) = t;  
t = s(6 ,2);  
SPL_250dif(i) = t;  
t = s(6 ,3);  
SPL_500dif(i) = t;  
t = s(6 ,4);  
SPL_1000dif(i) = t;  
t = s(6 ,5);  
SPL_2000dif(i) = t;  
t = s(6 ,6);  
SPL_4000dif(i) = t;  
t = s(6 ,7);  
SPL_8000dif(i) = t;
```

```
t = s(7 , 1);  
STI_125dif(i) = t;  
t = s(7 ,2);  
STI_250dif(i) = t;  
t = s(7 ,3);  
STI_500dif(i) = t;  
t = s(7 ,4);  
STI_1000dif(i) = t;  
t = s(7 ,5);  
STI_2000dif(i) = t;  
t = s(7 ,6);  
STI_4000dif(i) = t;  
t = s(7 ,7);  
STI_8000dif(i) = t;  
end
```

```
g = y+1
```

```
%mean value, stadnard deviation
```

```
%D50dif
```

```
D50alldif = [mean(D50_125dif) mean(D50_250dif) mean(D50_500dif) mean(D50_1000dif)  
mean(D50_2000dif) mean(D50_4000dif) mean(D50_8000dif)];
```

```
%C80dif
```

```
C80alldif = [mean(C80_125dif) mean(C80_250dif) mean(C80_500dif) mean(C80_1000dif)  
mean(C80_2000dif) mean(C80_4000dif) mean(C80_8000dif)];
```

```
%RTdif
```

```
RTalldif = [mean(RT_125dif) mean(RT_250dif) mean(RT_500dif) mean(RT_1000dif) mean(RT_2000dif)  
mean(RT_4000dif) mean(RT_8000dif)];
```

```
%EDTdif
```

```
EDTalldif = [mean(EDT_125dif) mean(EDT_250dif) mean(EDT_500dif) mean(EDT_1000dif)  
mean(EDT_2000dif) mean(EDT_4000dif) mean(EDT_8000dif)];
```

```
%SPLdif
```

```
SPLalldif = [mean(SPL_125dif) mean(SPL_250dif) mean(SPL_500dif) mean(SPL_1000dif)
mean(SPL_2000dif) mean(SPL_4000dif) mean(SPL_8000dif)];
%T15dif
T15alldif = [mean(T15_125dif) mean(T15_250dif) mean(T15_500dif) mean(T15_1000dif)
mean(T15_2000dif) mean(T15_4000dif) mean(T15_8000dif)];
%STIdif
STIalldif = [mean(STI_125dif) mean(STI_250dif) mean(STI_500dif) mean(STI_1000dif) mean(STI_2000dif)
mean(STI_4000dif) mean(STI_8000dif)];
```

```
DIF = figure(1)
DIF = tiledlayout(3,2)
title(DIF, 'Διαφορά Τιμών Τελικό-Αρχικό', "FontSize" , 16)
```

```
nexttile
semilogx(f,D50alldif, LineWidth=2)
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Ποσοστό(%)')
title('D50')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
grid on
```

```
nexttile
semilogx(f,C80alldif, LineWidth=2)
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Στάθμη(dB)')
title('C80')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
grid on
```

```
nexttile
semilogx(f,RTalldif, LineWidth=2)
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Χρόνος(s)')
title('RT')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
grid on
```

```
nexttile
semilogx(f,EDTalldif, LineWidth=2)
xlabel('Σ [1]υχνότητα(Hz)')
ylabel('Χρόνος(s)')
title('EDT')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
grid on
```

```
nexttile
semilogx(f,T15alldif, LineWidth=2)
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
ylabel('Χρόνος(s)')
title('T15')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
grid on
```



```
nexttile
semilogx(f,STIalldif, LineWidth=2)
xlabel('Συχνότητα(Hz)')
title('STI')
ax = gca;
ax.FontSize = fs;
grid on
```