



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ

EPIRUS INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ARTA, ZIP CODE : 47100, TEL NUMBER : +30 26810 50000

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

*Τσοπάνογλου Χ. Ιωάννης*  
*Μελέτη ακουστικής στο Studio*  
*του τμήματος Λαϊκής και*  
*Παραδοσιακής Μουσικής*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΜΕΛΕΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥ STUDIO ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

ΤΣΟΠΑΝΟΓΛΟΥ Χ. ΙΩΑΝΝΗΣ, Α.Μ:1212  
ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΚΟΥΛΙΟΣ ΜΑΡΚΟΣ  
ΑΡΤΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	5-13
-----------------------	------

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	15-17
II. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	17-18
III. ΔΟΜΗ ΑΥΤΙΟΥ–ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΚΟΗΣ.....	18-20
IV. ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ.....	20-21
V. ΜΟΥΣΙΚΗ, ΟΜΙΛΙΑ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΣ.....	22

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΕΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	24
II. ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	24-30
III. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ (ΔΩΜΑΤΙΟ).....	30-34

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΣΤΟΥΝΤΙΟ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ

I. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ «ΚΑΛΗΣ» ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ.....	35-37
II. ΘΟΡΥΒΟΣ.....	37-42
III. ΑΘΟΡΥΒΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΣΤΟ ΣΤΟΥΝΤΙΟ.....	43-44
IV. ΑΡΤΙΑ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟ.....	44-48

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ (STUDIO) ΤΟΥ

### ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

I. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ CATT ACOUSTICS.....	48-49
II. ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	50
III. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	50-55

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

I. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	50-81
---	-------

II.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	81-86
-----	---	-------

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΚ ΝΕΟΥ ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ (STUDIO)

### ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

I.	ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ (STUDIO).....	87-93
----	---	-------

	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	93-94
--	--------------------------------------	-------

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	95-97
--	--------------------	-------

	ΓΛΩΣΣΑΡΙ.....	99-101
--	---------------	--------

	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ.....	101-102
--	------------------------	---------

### Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κ<sub>ο</sub> Σκούλιο Μάρκο επόπτη της πτυχιακής μου και καθηγητή στο τμήμα λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής, όπως επίσης και τον Κ<sub>ο</sub> Τσιούτα Κωνσταντίνο για την αμέριστη συμπαράσταση, καθοδήγηση και βοήθειά τους, αλλά και για τον χρόνο που αφιέρωσαν, από την επαγγελματική και προσωπική τους ζωή, για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου.

*Τσοπάνογλου Χ. Ιωάννης*  
*Μελέτη ακουστικής στο Studio*  
*του τμήματος Λαϊκής και*  
*Παραδοσιακής Μουσικής©*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του ήχου απασχολούν εδώ και χιλιάδες χρόνια τον άνθρωπο. Η επιστήμη η οποία μελετά τον ήχο διευρύνεται και αναπτύσσει τις αντιλήψεις της συνεχώς, ακόμα και σήμερα, ονομάζεται ακουστική<sup>1</sup> και είναι η επιστήμη της συμπεριφοράς των ηχητικών κυμάτων, μελετά δε την παραγωγή, τη διάδοση, και την πρόσληψη των εν λόγω κυμάτων από το ανθρώπινο αυτί. Είναι η επιστήμη που ασχολείται με όλα γενικά τα μηχανικά κύματα, τα οποία εκτείνονται πέρα από το ακουστικό φάσμα του ανθρώπινου αυτιού και ως εκ τούτου δεν γίνονται αντιληπτά. Τέτοια κύματα<sup>2</sup> είναι τα χαμηλής συχνότητας<sup>3</sup> κύματα που παράγονται από τους σεισμούς (υποηχητικά κύματα) και τα υψηλής συχνότητας ή υπερηχητικά κύματα καθώς και οι συχνές ταλαντώσεις των ατόμων στα στερεά σώματα. Η ακουστική είναι εξαιρετικά σημαντική στο λόγο και στην ακρόαση (ραδιοφωνικά studio, θεατρικές αίθουσες, συνεδριακοί χώροι) και στη μουσική (παραγωγή και ακρόαση) σε studio ηχογράφησης και αίθουσες συναυλιών.

Μια ιστορική αναδρομή θα μας επιτρέψει να αντιληφθούμε την αξία αυτής της επιστήμης, όπως την πρωτοαντιλήφθηκαν σοφοί σε όλο τον κόσμο. Ο ήχος, για χιλιάδες χρόνια, αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης διαφόρων πολιτισμών, που πίστευαν ότι είναι ένα μονοπάτι που αν το ακολουθήσουμε, μπορούμε να εισχωρήσουμε στα βάθη της ψυχής μας. Οι Αρχαίοι Έλληνες ασχολήθηκαν αρκετά νωρίς με θέματα ήχου και ακουστικής. Ήταν κατά πάσα πιθανότητα γνωστό σε αυτούς ότι ο ήχος είναι ένα κυματικό φαινόμενο, συμπέρασμα στο οποίο προφανώς κατέληξαν μετά από παρατηρήσεις στα υδάτινα κύματα, τα οποία σχηματίζονται αν ρίξουμε πχ μια πέτρα σε ήρεμα νερά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό ομόκεντρων κύκλων, των οποίων η διάμετρος αυξάνεται όσο απομακρύνονται από το σημείο στο οποίο έπεσε η πέτρα, που στην περίπτωση αυτή αποτελεί το ηχητικό σώμα, την ηχογόνα πηγή.<sup>4</sup> Από τους πρώτους που ασχολήθηκαν με θέματα ακουστικής ήταν ο Πυθαγόρας από τη Σάμο (580 π.Χ.-497 π.Χ.), ο οποίος

---

<sup>1</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>2</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>3</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>4</sup> Πρέσβευαν ότι το Σύμπαν δεν μπορεί να περιοριστεί στα σύνορα της αντίληψης, πράγμα που έκαναν μέχρι σήμερα οι άνθρωποι. Απεναντίας, η αντίληψη είναι εκείνη που πρέπει να αναπτυχθεί και να πλατύνει το Σύμπαν.

Russel B. *Ιστορία της Δυτικής Φιλοσοφίας*. Μτφ. Αιμ. Χουρμούζιου. Τόμος Β'. Εκδόσεις Ι.Δ.Αρσενίδης κ ΣΙΑ. Αθήνα.

διατύπωσε την άποψη ότι ο ήχος δημιουργείται από ταλαντούμενα σώματα. Οι μετέπειτα Πυθαγόρειοι προχώρησαν σε πειραματικές έρευνες, για να αποδείξουν τις θεωρίες τους σχετικά με την ταχύτητα δόνησης των σωμάτων και των παραγόμενων ήχων. Ωστόσο αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της θεωρίας των Πυθαγόρειων ότι τα σώματα και τα στοιχεία του υλικού κόσμου είναι αριθμοί και απομιμήσεις αριθμών.<sup>5</sup> Ο σημαντικότερος στοχαστής του μέσου πυθαγορισμού είναι ο Αλκμέωνας ο Κροτωνιάτης, ο οποίος άκμασε περί το 500 π.Χ. Προέβη στην μελέτη των αισθητηρίων οργάνων και ιδιαίτερα του αυτιού και του ματιού, και θεωρείται ο θεμελιωτής της επιστημονικής ιατρικής.<sup>6</sup> Ο ύστερος Πυθαγορισμός αντίθετα έχει να επιδείξει πολλά σημαντικά ονόματα καθώς και σημαντικές πληροφορίες γύρω από το έργο τους. Ο Ξούθος, γνωστός σε μας από τα "Φυσικά" του Αριστοτέλη, υποστήριξε την ύπαρξη κενού στο σύμπαν και διατύπωσε, πρώτος αυτός, μια θεωρία για την αέναη διαστολή και συστολή του σύμπαντος.

Μεγάλη μορφή του πυθαγορισμού που συνέγραψε ικανό αριθμό έργων ήταν ο Αρχύτας ο Ταραντίνος ( 428-365 π.χ.), ο οποίος υπήρξε φίλος του Πλάτωνος<sup>7</sup> και θεμελιωτής της επιστημονικής μηχανικής. Στην πραγματεία του " Περί Αρμονίας" αναφέρεται στους ήχους (κρότοι, θόρυβοι ) που παράγονται από τα σώματα, τα οποία συγκρούονται ενώ βρίσκονται σε κίνηση. Λόγω της απόστασης, της έντασης αλλά και της συχνότητας των ηχητικών κυμάτων στο ανθρώπινο αυτί, δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτά από αυτό. Όσα όμως συλλαμβάνονται, μπορούν να μελετηθούν και να διακριθούν ως προς την οξύτητά τους (που έχει σχέση με την γρήγορη κίνηση) και ως προς την βραδύτητά τους, (που έχει σχέση με την αργή κίνηση).<sup>8</sup>

Στην "Πολιτεία" ο Πλάτωνας, δια στόματος Σωκράτη, δείχνει να ειρωνεύεται τους μουσικούς οι οποίοι "ζητούνε αριθμούς μέσα στις συμφωνίες που ακούγονται με τα αυτιά και δεν ανεβαίνουν σε προβλήματα, για να εξετάσουν και να δουν, ποιοι αριθμοί

---

<sup>5</sup> «Ο Πυθαγόρας έκανε την εμπειρική ανακάλυψη της σχέσης ανάμεσα στα μήκη των τετνωμένων χορδών και το ύψος του ήχου που παράγουν ή με άλλα λόγια ανάμεσα στους λόγους των μηκών και στα αντίστοιχα διαστήματα.- λ.χ., 1:2 η οκτάβα, 2:3 η πέμπτη, 3:4 η τετάρτη»

Monroe, C. Beardsley. *Ιστορία των αισθητικών θεωριών. Μτφ Δημοσθένης Κούρτοβικ και Παύλος Χριστοδουλίδης.* Αθήνα: Εκδόσεις Νεφέλη. 1989. σελ 23.

<sup>6</sup> Βεΐκος Θεόφιλος. *Οι προσωκρατικοί.* Δ έκδοση. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα. 1995. σελ 159.

<sup>7</sup> «Ο Πλάτων (428-347π.Χ.) υπήρξε ένας από τους επιφανέστερους φιλοσόφους της αρχαιότητας, μαθητής του Σωκράτη. Δίδαξε στην Αθήνα και σε μερικά από τα έργα του, τα οποία συνέταξε με την μορφή διαλόγων, ασχολήθηκε με θέματα ακουστικής και μουσικής».

<sup>8</sup>Βεΐκος Θεόφιλος. *Οι προσωκρατικοί.* Δ έκδοση. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα. 1995. σελ 144.

είναι αρμονικοί<sup>9</sup> και ποιοι όχι και γιατί".<sup>10</sup> Ο μεγάλος Σταγειρίτης φιλόσοφος, Αριστοτέλης, ασχολήθηκε με θέματα μουσικής και ήχου, παρατηρώντας τη διαφορά της ταχύτητας του φωτός και του ήχου, δίνοντας εμπειρικά παραδείγματα με τις αστραπές και τις βροντές<sup>11</sup>. Προβληματίστηκε και εξέτασε το λόγο που ο χορός στις αρχαίες τραγωδίες που διδάσκονταν στα αρχαία θέατρα, δεν τραγουδάει το ίδιο δυνατά, όταν η ορχήστρα έχει καλυφθεί με άχυρο για να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο ήχος διαχέεται και δεν υφίσταται ανακλάσεις. Ακόμη, γνώριζε τι γίνεται με τα κύματα και ότι η κίνηση του αέρα γεννιέται από κάποια ηχητική πηγή, ένα ηχογόνο σώμα, το οποίο δονούμενο σπρώχνει τον αέρα που το περιβάλλει, έτσι ώστε ο ήχος ταξιδεύει αναλλοίωτος για μια απόσταση ανάλογη με την διάρκεια της αναταραχής του αέρα. Τέλος παρατήρησε ότι ένα πλήθος ατόμων σε σχέση με ένα άτομο, αν δημιουργήσουν τον ίδιο ήχο, δεν αυξάνουν την ένταση Db ανεβαίνοντας λογαριθμικά.<sup>12</sup>

Τα πρώτα κείμενα που περιγράφουν κάποιους κανόνες κατασκευής και καλής ακουστικής των θεάτρων, είναι αυτά του Ρωμαίου Βιτρούβιου το 25π.Χ. Ο Μάρκος Βιτρούβιος Πολλίων, Ρωμαίος αρχιτέκτων και μηχανικός που άκμασε τον 1ο π.χ. αιώνα (70-15π.Χ.), συνέγραψε το περίφημο έργο "De architectura"<sup>13</sup> το οποίο περιέχει, μεταξύ άλλων, πολύτιμες πληροφορίες για την αρχιτεκτονική και τις μηχανικές κατασκευές της εποχής εκείνης, καθώς και προγενέστερων. Το βιβλίο αυτό ανακαλύφθηκε στο St. Gallen το 1414μ.Χ. και άσκησε μεγάλη επιρροή στην κατασκευή των Αναγεννησιακών θεάτρων, καθώς ο συγγραφέας του αναφέρεται γενικά στις αναλογίες και ακουστικές ιδιότητες των Ελληνιστικών και Ρωμαϊκών θεάτρων. Παραδείγματα κτισμάτων με ύψιστο ενδιαφέρον την ακουστική τους, αποτελούν τα αμφιθεατρικού τύπου θέατρα, με κορυφαίο το αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου, το οποίο φημίζεται για την άριστη ακουστική του, οι Βυζαντινοί ναοί με τα ανεπτυγμένα τους κατασκευαστικά τεχνάσματα (όπως η χρήση πιθαριών στο χτίσιμο τοίχων για καλύτερη ακουστική), τα διάφορα κτί-

---

<sup>9</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>10</sup>Taylor, A.E. (1926). Πλάτων, *Ο άνθρωπος και το έργο του*. Μτφ. Ι. Αρζόγλου. (3η έκδοση). Αθήνα: Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης. 2000. σελ 338.

<sup>11</sup> Έχουμε παρατηρήσει ότι το ένα ακολουθεί το άλλο, πρώτα αστράφτει και μετά βροντάει.

<sup>12</sup>Ross, W. D. (1923). Αριστοτέλης. Μτφ. Μ. Μητσού. (2η έκδοση). Αθήνα: Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης. 1993. σελ 399.

Λογαριθμικά: Καθώς αυξάνεται το πλήθος των ατόμων σε σχέση με ένα άτομο η ένταση παραμένει ίδια. Το μόνο που αλλάζει είναι ο όγκος του ήχου (δηλαδή ήχος που θα έχει όλο το φάσμα των ηχητικών κυμάτων).

<sup>13</sup> Vitruvius. *Περί αρχιτεκτονικής*. Μτφ Παύλος Λέφας, Βιβλία VI-X. Αθήνα: Πλέθρον.1998. σελ 121

σματα με δομημένους κίονες με σκοπό τη διευκόλυνση της ακουστικής στην Αγορά και στις συνελεύσεις, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εκτεταμένης οχλαγωγίας. Κατά το μεσαιώνα, στην κατασκευή ναών χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια τεχνάσματα που είχαν χρησιμοποιηθεί και κατά την ανέγερση των αρχαίων ελληνικών θεάτρων, δηλαδή οι λεγόμενοι συντονιστές (δοχεία) που διευκόλυναν την εξομολόγηση των αρρώστων από απόσταση.<sup>14</sup> Κατά την άποψή του, πρέπει να προηγηθεί πολύ προσεκτική μελέτη όσον αφορά την επιλογή της τοποθεσίας στην οποία θα κατασκευασθεί το θέατρο και η οποία, όπως ισχυρίζεται, θα επιβραβευθεί από το βελτιωμένο αποτέλεσμα των φωνών των ηθοποιών. Θεωρεί ότι η φωνή κινείται κατά μήκος<sup>15</sup> αμέτρητων κυκλικών κυματισμών, που απλώνονται από το κέντρο και επεκτείνονται κινούμενοι, όχι μόνο οριζόντια, αλλά ταυτόχρονα υψούμενοι κατακόρυφα κατά στάδια. Στο βιβλίο αυτό ασχολήθηκε επίσης με θέματα ηχούς<sup>16</sup> και αντήχησης<sup>17</sup>, ενίσχυσης του ήχου με την εφαρμογή της αρμονικής θεωρίας, καθώς και με την χρήση ηχητικών βάζων στα θέατρα, για μεγαλύτερη καθαρότητα του τόνου του ήχου<sup>18</sup>.

Ένα από τα μεγαλύτερα πνεύματα και ίσως ο πλέον μορφωμένος άνθρωπος της εποχής του ήταν ο Ανίκιος Μάνλιος Σεβερίνος Βοήθιος (470-524 μ.Χ), Ρωμαίος φιλόσοφος και πολιτικός, ο οποίος συνέγραψε το ονομαστό έργο «Περί της παρηγοριάς της φιλοσοφίας». Άριστος γνώστης της Ελληνικής γλώσσας, μετέφρασε και σχολίασε τις Πλατωνικές φιλοσοφίες της εποχής του. Πολύ σημαντική όμως ήταν η συνεισφορά του και στην μελέτη του ήχου και της μουσικής. Στο σύγγραμμα του "De institutione musica", εντοπίζει τις διαφορές μεταξύ των ειδών του ήχου - τόνος/ θόρυβος, θεμελιώδης<sup>19</sup> / αρμονικός<sup>20</sup> - αναφέροντας επίσης ότι η ισορροπία των αρμονικών είναι εκείνη που δίνει στον ήχο ένα ιδιαίτερο χρώμα, την ποιότητα του, και μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε το μουσικό όργανο που ακούγεται, χωρίς να είναι απαραίτητο να το δούμε.<sup>21</sup>

---

<sup>14</sup> Crunelle, M. *Existent-IL une tradition acoustique dans l'architecture occident ale*, 22 Mars 1991 και Colloque International La Qualite Sonore des Espaces Habites, p. 305-318, Grenoble.

<sup>15</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>16</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>17</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>18</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>19</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>20</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>21</sup>Wurburton, Nigel. *Μικρή ιστορία της φιλοσοφίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκης. 2012. σελ 56.

Ο Robert Grosseteste<sup>22/23</sup> (1168-1253 μ.Χ), Άγγλος στην καταγωγή, προσπάθησε με την σειρά του να διατυπώσει μια ικανοποιητική θεωρία για την διάδοση του ήχου και του φωτός. Στα σχόλιά του για τα "Αναλυτικά Ύστερα" αναφέρει τα εξής: "Η κρούση μιας ηχογόνου πηγής την αναγκάζει να πάλλεται για κάποιο χρονικό διάστημα, γιατί η εξαναγκασμένη κίνησή της και μια φυσική δύναμη εναλλάσσονται μεταξύ τους και την ωθούν σε παλινδρομήσεις, μετακινώντας την από την φυσική της θέση που ήταν η κατάσταση ηρεμίας. Η δόνησή της θέτει σε κίνηση τον αέρα, από τον οποίο περιβάλλεται η πηγή αυτή, ο οποίος επεκτείνεται προς όλες τις κατευθύνσεις σε ευθείες γραμμές. Ο Grosseteste μίλησε και για τις ανακλάσεις που υφίσταται ο ήχος όταν προσκρούει σε εμπόδια, λέγοντας χαρακτηριστικά ότι μετά την πρόσκρουση ο ήχος "αναγεννάτε γυρνώντας προς τα πίσω".<sup>24</sup>

Θεμελιωτής της σύγχρονης μηχανικής και της πειραματικής φυσικής, με τεράστια συνεισφορά στην μοντέρνα επιστημονική σκέψη, υπήρξε ο Ιταλός μαθηματικός, αστρονόμος και φυσικός Galileo Galilei<sup>25</sup>, ο οποίος μελέτησε τις παλμικές κινήσεις των ηχογόνων σωμάτων και διατύπωσε νόμους όπως: 1) Το ύψος<sup>26</sup> ενός ήχου εξαρτάται από τον αριθμό των παλμικών κινήσεων που εκτελεί το ηχογόνο σώμα και 2) Το ύψος του ήχου μίας χορδής είναι αντιστρόφως ανάλογο του μήκους της. Ανάλογες παρατηρήσεις, βέβαια, είχαν γίνει και από τον Πυθαγόρα, αλλά ο Γαλιλαίος είναι ο πρώτος που προσπάθησε να συνδέσει τα συμπεράσματα που προέκυπταν από τα πειράματά του με τις μαθηματικές γνώσεις<sup>27</sup>.

Ο Marin Mersenne (1588-1648), Γάλλος φιλόσοφος, θεολόγος και μαθηματικός, που θεωρείται "πατέρας της ακουστικής", υπήρξε υπερασπιστής του Descartes και του Galilei στην αυστηρή κριτική που δέχονταν από τον κλήρο. Συνέχισε το έργο του Γαλι-

---

<sup>22</sup> Hunt F.V. *Origins in Acoustics*. Acoustical Society of America. New York. 1992. σελ 64-67.

<sup>23</sup> Εισήγαγε τα μαθηματικά και τη μελέτη-πείραμα, για να προσδιορίσει καλύτερα και απόλυτα την ακουστική με την οπτική, π.χ. η καθυστέρηση της εικόνας και του ήχου σε μια διαδικτυακή σύνδεση-πρόβα οργάνων.

<sup>24</sup> Grosseteste R. *Posterior Analytics*. βιβ. II. κεφ. IV. σελ 83.

<sup>25</sup> Crombie, A.C. *Από τον Αυγουστίνου στον Γαλιλαίο*. Μτφ Μ.Ιατρίδου-Δ. Κούρτοβικ. Αθήνα: Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής τραπεζίας. 1992. σελ 152.

<sup>26</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>27</sup> Είναι ο εισηγητής της αληθινής επιστημονικής έρευνας. Στο σπουδαίο σύγγραμμά του, "Διάλογοι αφορώντας δύο νέες επιστήμες", ανακεφαλαιώνει τα αποτελέσματα των πρώιμων πειραμάτων του και τους ώριμους συλλογισμούς του, για τις αρχές της μηχανικής. Το σύγγραμμά αυτό αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της σύγχρονης φυσικής και τυπώθηκε στο Leiden το 1648.

λαίου στην ακουστική και σε αυτόν οφείλεται το γεγονός ότι ο Γαλιλαίος έγινε γνωστός εκτός Ιταλίας. Το 1627 εξέδωσε το βιβλίο του "Traite d'harmonie universelle", στο οποίο ασχολήθηκε με την μουσική, τα μουσικά όργανα και την ακουστική. Προσδιόρισε την συχνότητα ενός ακουστού<sup>28</sup> τόνου (84 Hz) και απέδειξε ότι ο απόλυτος λόγος συχνοτήτων δύο υπό δόνηση χορδών, που εκπέμπουν ένα μουσικό τόνο και την οκτάβα του, είναι 1:2<sup>29</sup>.

Το 1635 ο Gassendi μέτρησε την ταχύτητα του ήχου σε 478 m/s<sup>30</sup> και αργότερα ο Newton στο έργο του Principia Mathematica<sup>31</sup> (1687) απέδειξε ότι πράγματι η μετάδοση του ήχου γίνεται από την παλμική πίεση των σωματιδίων με μαθηματικούς όρους. Ωστόσο ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο ακουστική ήταν ο Sauveur το 1701. Μέχρι τον 19ο αιώνα, ωστόσο, δεν δινόταν ιδιαίτερη προσοχή στην ακουστική των κλειστών χώρων. Η πρώτη προσπάθεια βελτίωσης της ακουστικής έγινε από τον Joseph Henry στην αίθουσα διαλέξεων του Smithsonian Institution (Washington), το 1850. Ο Henry ήταν ο πρώτος που επισήμανε την κακή ακουστική συμπεριφορά των χώρων εξαιτίας της ηχούς και της εστίασης του ήχου σε συγκεκριμένα σημεία<sup>32</sup>.

---

<sup>28</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>29</sup> Mersenne Marin. *Traite d'harmonie universelle*. σελ 12.

[www.google.com/.....Traite d'harmonie universelle](http://www.google.com/.....Traite d'harmonie universelle).

Οι νόμοι επίσης, οι οποίοι διέπουν τους ήχους που παράγονται από τους ηχητικούς σωλήνες, βρέθηκαν από τον ίδιο και τον Bernoulli, συνάδελφό του φυσικό. Ισχύουν αποκλειστικά για στενούς και μακρούς σωλήνες, ξύλινους ή μεταλλικούς, με κυκλική ή τετραγωνική διατομή που περικλείουν αέρα, μέσα στον οποίο ύστερα από κατάλληλη διέγερση, αναπτύσσονται στάσιμα κύματα που έχουν σαν συνέπεια την παραγωγή ήχου. Ο πρώτος από τους τρεις νόμους που διατυπώθηκαν από τους δύο φυσικούς είναι ο νόμος των ομοίων σωλήνων, γνωστός και σαν νόμος του Mersenne. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, δύο όμοιοι σωλήνες παράγουν ήχους που οι συχνότητές τους είναι αντιστρόφως ανάλογες προς τα μήκη των σωλήνων. Συνεπώς, ένας σωλήνας ο οποίος έχει διπλάσιο μήκος από ένα κατά τα άλλα όμοιό του σωλήνα, παράγει ήχο δύο φορές βαρύτερο από τον ήχο που παράγει ο μισός σε μήκος σωλήνας.

<sup>30</sup> Λέγοντας ότι η ταχύτητα του ήχου δεν εξαρτάται από το φάσμα των συχνοτήτων αλλά από το μέσο διάδοσής τους.

<sup>31</sup> Newton, I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. *The mathematical principles of natural philosophy*. Μτφ. Ian Bruce. Definition V.σελ 37.

[www.17centurymaths.com/...newton](http://www.17centurymaths.com/...newton)

<sup>32</sup> Με παρατηρήσεις ο Henry διαπίστωσε ότι καθυστέρηση μικρότερη των 53ms δεν προκαλεί την αίσθηση της ηχούς. Η παρατήρηση αυτή οδήγησε αργότερα τον Haas στην διατύπωση του φαινομένου γνωστού ως φαινόμενο Haas (Haas effect).

Εκείνος, όμως, που έφερε "επανάσταση" στην ακουστική κλειστών χώρων<sup>33</sup> ήταν ο Wallace Sabine, καθηγητής στο Harvard University. Ο Sabine αντιλήφθηκε τη σημασία της αντήχησης για την ακουστική ποιότητα των χώρων και την επίδραση της απορρόφησης<sup>34</sup> των υλικών στην αντήχηση των χώρων (1915). Οι μελέτες ωστόσο του Sabine αποδείχτηκαν ανεπαρκείς, διότι η τεχνολογία έχει εξελιχθεί με ταχύτερους ρυθμούς και ο υπολογισμός και οι μέθοδοι μέτρησης γίνονται πλέον με απόλυτη ακρίβεια, τόσο στον τομέα της ακουστικής, όσο και στον τομέα των ηχομονωτικών εγκαταστάσεων. Η επιστήμη της ακουστικής έχει δημιουργήσει παρακλάδια, όπως την Αεροακουστική, την Υποβρύχια ακουστική (sonar), την Ψυχολογία της ακουστικής<sup>35</sup>, την Ακουστική χώρων και άλλα. Οι μετρήσεις των μεγεθών στην Ελλάδα, γίνονται από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ). Όταν δεν υπάρχουν Ελληνικοί κανονισμοί ισχύουν οι τυποποιήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) (International Standard Organization) που ισχύουν γενικά στην Ευρώπη. Ενώ στην Αμερική ισχύουν οι κανονισμοί ASTM, ANSI. Η προαναφερθείσα ιστορική αναδρομή, συνδέεται άμεσα με την παρούσα πειραματική μελέτη, η οποία θα εξετάσει την ακουστική αυτή καθαυτή και πιο στοχευόμενα θα αναφέρεται στην κατασκευή και στην πλήρη αναδημιουργία καθαιρετικά από την αρχή ενός στούντιο ζωντανών ηχογραφήσεων, αλλά και στην εφαρμοσμένη πειραματική ανάπτυξη των φυσικομαθηματικών φορμών της ακουστικής πιστότητας<sup>36</sup>.

Οι κοινωνίες συνεχώς αναπτύσσονται και εξελίσσονται. Μαζί τους αναπτύσσονται, ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις, οι ήχοι. Ο ήχος, πολλές φορές ενοχλεί τον άνθρωπο και αυτό συμβαίνει γιατί τα συστήματα ακοής του ανθρώπου λαμβάνουν την αυξημένη ένταση των ηχητικών κυμάτων (Decibel). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το τύμπανο του ανθρώπου να φτάνει ακόμη και στα όρια του πόνου<sup>37</sup>. Με την έννοια της ακουστικής, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θόρυβος. Έτσι λοιπόν προκύπτει ένα θεμελιώδες ερώτημα: Τι συμβαίνει όταν θέλουμε να απομονώσουμε και να καταργήσουμε όλους τους θορύβους που μας περιβάλλουν και μας ενοχλούν; Για να συμβεί λοιπόν αυτό, θα πρέπει να προβούμε στην κατάλληλη χρήση και κατασκευή χώρου, όπου θα είναι δυνατή με τα

---

<sup>33</sup> Ένας κλειστός χώρος λέμε ότι έχει καλή ακουστική όταν πληροί ορισμένες προϋποθέσεις.

<sup>34</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>35</sup> Το κάθε άτομο ανάλογα με την ψυχολογική του κατάσταση συλλαμβάνει διαφορετικά αυτό που ακούει σε σχέση με κάποιο άλλο.

<sup>36</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>37</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

κατάλληλα μέσα, η απομόνωση των θορύβων και η ηχογράφηση της μουσικής και του λόγου. Το κατάλληλο ακουστικό δωμάτιο ονομάζεται στούντιο.

Για την κατασκευή ενός στούντιο, απαραίτητες κρίνονται ορισμένες μεταβλητές, όπως για παράδειγμα ο εσωτερικός θόρυβος<sup>38</sup> του στούντιο, - λόγω του κλιματισμού και των παραθύρων-, και οι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την ηχογράφηση στο χώρο αυτό. Όταν οι δυνατότητες του στούντιο δεν αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των υλικών, τότε το πρόβλημα έγκειται στη λάθος προσαρμογή τους. Το κλειδί ωστόσο στην επιτυχία μιας απόλυτης ηχογράφησης σε ένα χώρο, όπου θα επικρατεί το περιβάλλον ενός π.χ. «λευκού θορύβου»<sup>39</sup>, είναι η σωστή τοποθέτηση των υλικών, αλλά και η εφαρμοσμένη καθόλα σωστή εφαρμογή των μετρήσεων σε αυτόν τον κλειστό χώρο.

Το συγκεκριμένο «πρόβλημα- ζήτημα», αποτελεί το ερέθισμα της ενασχόλησής μου με το θέμα της ακουστικής και ιδιαίτερα της μελέτης και επισκευής του στούντιο του τμήματος λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής του ΤΕΙ ηπείρου. Για να γίνει κατανοητή η διαδικασία του πειράματός μου και συγκεκριμένα της μελέτης μου, θα πρέπει να εξηγήσω την κάθε έννοια βήμα προς βήμα, αρχίζοντας από τον ορισμό των βασικών εννοιών του ήχου για να καταλήξω στην εξήγηση της διαδικασίας του πειράματος παραθέτοντας αναλυτικά σε γραφήματα τα προβλήματα που θα προκύψουν κατά τη διάρκεια της έρευνας αλλά και τις διαδικασίες επίλυσης αυτών των προβλημάτων.

Περίληπτικά ακολουθούν τα εξής κεφάλαια:

**Κεφάλαιο 1:** αναφορά στον ήχο, στα ηχητικά κύματα, στη δομή του αυτιού, στα όργανα και στα συστήματα ακοής, στην ψυχοακουστική, στη μουσική, την ομιλία και το θόρυβο.

**Κεφάλαιο 2:** αναφορά στα υλικά κατασκευής (ηχομονωτικά τοιχώματα), στις συμπεριφορές των ηχητικών κυμάτων σε κλειστούς χώρους (δωμάτιο).

**Κεφάλαιο 3:** στα κριτήρια της «καλής ακουστικής» (υποκειμενικά) και στις λειτουργίες του ακουστικού δωματίου, με έμφαση στην άρτια δόμηση του ακουστικού δωματίου

---

<sup>38</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>39</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

για τη μέγιστη διάχυση του ήχου, στην αθόρυβη ατμόσφαιρα μέσα στο στούντιο, καθώς και στην άρτια δόμηση και την αναλογία του δωματίου.

**Κεφάλαιο 4:** ακολουθεί η εκπόνηση της μελέτης του ακουστικού δωματίου (στούντιο) του τμήματος λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής. Αναλυτικά, θα γίνει αναφορά στην προηγούμενη κατασκευή, στην καταγραφή των κατασκευαστικών ζημιών, στο πρόγραμμα CATT ACOUSTICS και τέλος στον υπολογισμό του χώρου και την καταγραφή των νέων δεδομένων.

**Κεφάλαιο 5:** υπολογισμός χώρου και καταγραφή αποτελεσμάτων της μελέτης.

**Κεφάλαιο 6:** δίνεται εκ νέου η πρόταση σχεδίασης του ακουστικού δωματίου.

**Συμπεράσματα της εργασίας.**

**Παράρτημα.**

*Ισοκάνουγλου Χ. Ιωάννης*  
*Μελέτη ακουστικής στο Studio*  
*του τμήματος Λαϊκής και*  
*Παραδοσιακής Μουσικής©*

*«...Έχω τη γνώμη ότι υπάρχει μια επιστήμη γενικότερη από την μουσική την οποία αποκαλώ ακουστική. Σαν αντικείμενο έχει γενικά τον ήχο ενώ η μουσική τους ήχους που φτάνουν στο αυτί».*

*Joseph Sauveur (1701)*

*Μελέτη ακουστικής στο Studio  
του τμήματος Λαϊκής και  
Παραδοσιακής Μουσικής©*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ο ήχος για να το εξηγήσουμε πιο εκλαϊκευμένα θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η συνάρτηση μιας μηχανικής διαταραχής-λειτουργίας, η οποία μεταδίδεται δια μέσου των στερεών (το οποίο δεν είναι τελειώς συμπαγές αλλά έχει και κάποια ελαστικότητα), υγρών και αερίων με κύματα. Η εξέταση του ήχου γίνεται μέσω δύο προσεγγίσεων πάντα της φυσικής προσέγγισης (ηχητικά κύματα που βγαίνουν απο μία πηγή) και της ψυχοφυσικής προσέγγισης (πώς ακούει το κάθε άτομο ξεχωριστά βρισκόμενο σε μια πηγή). Η συχνότητα του ήχου και πιο συγκεκριμένα των περιοδικών ηχητικών κυμάτων υπολογίζονται σε Hertz («Ερτζιανά»). Τα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου είναι η ταχύτητα, η ισχύς, η διάρκεια, το φάσμα συχνοτήτων, η κατεύθυνση, η φάση.

- i. **ΤΑΧΥΤΗΤΑ:** Είναι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (ηχητικά κύματα) μέσα στον χώρο από όπου και εξαρτάται από τους απρόβλεπτους παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία και η πίεση. Για παράδειγμα ο ήχος σε σταθερή θερμοκρασία του αέρα 21°C είναι 343m/sec ενώ στο νερό είναι 1480m/sec. Η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την συχνότητα απλά πέρα από τους αστάθμητους παράγοντες εξαρτάται και στο μέσο που προσπίπτει το ηχητικό κύμα.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ		
Μέσο διάδοσης	Ταχύτητα (m/sec)	Μήκος κύματος στο 1kHz (m)
Κενό	0	-
Αέρας (21°C)	344,42	0,34
Νερό, πόσιμο	1.480	1,48
Πάγος	3.240	3,24
Μάρμαρο	3.800	3,8
Ανθρώπινο σώμα	1.558	1,56
Ατσάλι	5.050	5,05
Αλουμίνιο	4.850-5.200	4,85-5,2
Τούβλο	4.200	4,2
Ξύλο	3.350-3.950	3,35
Γυαλί	3.950-6.000	3,95-6
Μόλυβδος	1.150	1,15
Φελλός	360-520	0,36-0,52
Σκυρόδεμα	3.400	3,4
Λάστιχο	40-150	0,04-0,15
Χαλκός	3.900	3,9
Γυψοσανίδα	6.800	6,8

Σχήμα 1.1: Πίνακας μέτρησης της συμπεριφοράς των ηχητικών κυμάτων ακουστικού τύπου στα διάφορα μέσα διάδοσης.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΗΜΑΤΩΝ AUDIO*		
Μέσο διάδοσης	Ταχύτητα (m/sec)	Μήκος κύματος στο 1kHz (m)
Αέρας	299.388.000	299.338
Μέσο υψηλής ποιότητας	241.402.000	241.402
Απλό καλώδιο	22.551.000	22.551

\*audio: η ηλεκτρική μορφή του ακουστού ήχου

Σχήμα 1.2: Πίνακας μέτρησης της ταχύτητας των ηχητικών κυμάτων ηλεκτρικής ενέργειας (audio\*) αναλόγως της πυκνότητας των υλικών.

<sup>40</sup>Η εξίσωση που συνδέει τα μεγέθη, ταχύτητας, συχνότητας και μήκος κύματος είναι:

$$C = \lambda \times f$$

Όπου C είναι η ταχύτητα<sup>41</sup> λ μήκος κύματος<sup>42</sup> και f είναι η συχνότητα<sup>43</sup>.

- ii. **ΦΑΣΗ:** Είναι η καμπύλη εκείνη που επεξηγεί αναλυτικά την πορεία ενός μήκος κύματος. Σε ένα φασματογράφο<sup>44</sup> το μήκος κύματος ξεκινάει από την τιμή 0 και αφού δημιουργήσει μια κορυφή συνεχίζει κάνοντας μία κοιλία και ξανά το ίδιο μέχρι την πλήρη ανάλυση του σε σχέση πάντα με τον χρόνο. Υπάρχουν τριών ειδών φάσεις ανάμεσα σε δύο κύματα: τα κύματα που λέμε ότι βρίσκονται σε φάση δηλαδή οι κορυφές τους συμβάλλονται και δημιουργούν ένα νέο κύμα με μεγαλύτερο πλάτος. Η περίπτωση που ένα μήκος κύματος σε σχέση με ένα άλλο είναι τελείως διαφορετικά και δεν τέμνονται πουθενά είναι εκτός φάσης και όταν τα δύο κύματα έχουν το ίδιο πλάτος τότε αλληλοεξουδετερώνονται (παραδείγματος χάριν το reverb-αντιστροφή).
- iii. **ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ:** Είναι η συγκεκριμένη πορεία που πηγαίνει ο ήχος χωρίς και αφού ανακλαθεί από ένα υλικό.
- iv. **ΔΙΑΡΚΕΙΑ:** Είναι η ποσοστιαία σε χρόνο μέτρηση του ηχητικού κύματος από την πηγή πριν εξασθενήσει<sup>45</sup> και μηδενίσει τελείως στον χώρο.

<sup>40</sup>Τζαμαλούκας, Γ. Χ. Περιοδικό Hi-tech. *Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround*. 2001.σελ 8.

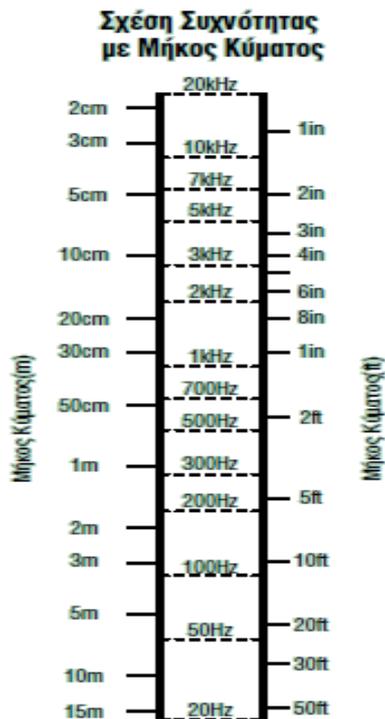
<sup>41</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>42</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>43</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>44</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>45</sup>Βλ. Γλωσσάρι.



ν. **ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ** : Είναι το φάσμα των συχνοτήτων που κατέχουν τα ηχητικά κύματα το οποίο μπορούμε να το διακρίνουμε και να το αναλύσουμε μέσω ενός φασματογράφου.

Σχήμα 1.3: Σχέση συχνότητας με μήκος κύματος.<sup>46</sup>

vi. **ΙΣΧΥΣ**: Είναι η ένταση που εκλύει το ηχητικό κύμα μέσα σε ένα χώρο από μια ηχητική πηγή. Η ισχύς ενός ηχητικού κύματος ασχέτως αν είναι τα dB (μονάδα μέτρησης της ηχητικής ισχύς) είναι ίδια μπορεί να ακουστεί το ένα ηχητικό κύμα δυνατότερα από το άλλο εξαιτίας της κατανομής των υλικών αλλά και της έκτασης και διάταξης του ίδιου του χώρου. Οι μεταβλητές αυτές θα δώσουν ένα «σπρώξιμο» παραπάνω στο ένα κύμα και στο άλλο με αποτέλεσμα να ακουστεί δυνατότερα.

### I. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ<sup>47</sup>

Τα ηχητικά κύματα χωρίζονται σε κατηγορίες για να γίνουν αντιληπτά και για να διαδοθεί γενικότερα ο ήχος. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

- ✓ Επιφανειακά ή καμπτικά κύματα (Bending, Surface, Rayleigh waves): Είναι τα κύματα που διαδίδονται στην ελεύθερη επιφάνεια των στερεών, τα οποία δημιουργούν ταλάντωση των μορίων-σωματιδίων του εκάστοτε υλικού. Καθώς προχωρούν προς τα ενδότερα του υλικού αυτού τότε το πλάτος της ταλάντωσης των

<sup>46</sup> Τζαμαλούκας, Γ. Χ. Περιοδικό Hi-tech. *Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround*. 2001. σελ 7

<sup>47</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 40.

μορίων μειώνεται εκθετικά.

- ✓ Εγκάρσια: Είναι τα κύματα στα οποία η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης του σωματιδίου του μέσου είναι κάθετες.
- ✓ Διαμήκη κύματα (Longitudinal waves): Είναι τα κύματα τα οποία φεύγοντας από μία ηχητική πηγή και προσπίπτοντας σε ένα μέσο με μια συγκεκριμένη ταχύτητα δημιουργούν ταλαντώσεις των μορίων του μέσου οι οποίες ποσοτικά είναι παράλληλες σε κάθε πιθαμή του.

## II. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΥΤΙΟΥ ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΚΟΗΣ<sup>48/49</sup>

Το ανθρώπινο αυτί αποτελείται από τρία τμήματα: το εξωτερικό (έξω ους), το μέσο και το εσωτερικό μέρος. Το εξωτερικό τμήμα<sup>50</sup> του αυτιού αποτελείται από το περύγιο<sup>51</sup> και το ακουστικό κανάλι<sup>52</sup> τα οποία συλλέγουν και μεταφέρουν τον ήχο μέσα από τον ακουστικό πόρο στο τύμπανο σε μία απόσταση 27 mm. Το ακουστικό κανάλι τελειώνει στο τύμπανο. Το περύγιο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ακοή και στην συλλογή των υψηλών συχνοτήτων<sup>53</sup>, όπως επίσης και τα τριχίδια που υπάρχουν μέσα στον λαβύρινθο του αυτιού. Και αυτό γίνεται λόγω της συγκεκριμένης δομής του περυγίου και των τριχιδίων, όπου μας βοηθάει να καταλάβουμε από πού προέρχεται ο ήχος. Οι λεγόμενες στερεοβλεφαρίδες (τριχίδια) που υπάρχουν μέσα στον ακουστικό σωλήνα δημιουργούν μια αλυσιδωτή αντίδραση δυαδικού χαρακτήρα που είναι υπεύθυνη αυτή η αντίδραση στην αντίληψη των ηχητικών κυμάτων. Περίπου 15000 εξωτερικά κύτταρα και 140 μικροσκοπικές τρίχες το κάθε κύτταρο ξεχωριστά<sup>54</sup>. Γι' αυτό πολλές φορές ακούμε διαφορετικά κάποιους ήχους μέσα σ' ένα δωμάτιο, αυτό γίνεται γιατί το περύγιο την συγκεκριμένη χρονική στιγμή συλλέγει από διαφορετική γωνία τα ηχητικά

<sup>48</sup>Eargle, John M. (1990). *Μουσική Ακουστική Τεχνολογία*. Μτφ. Ε. Συμεωνίδη (2<sup>η</sup> έκδοση). Αθήνα: Ιων. 1999. σελ 57-59 σχ. (a-b).

<sup>49</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβρηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003.σελ 49-51 σχ. 3.1

<sup>50</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>51</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

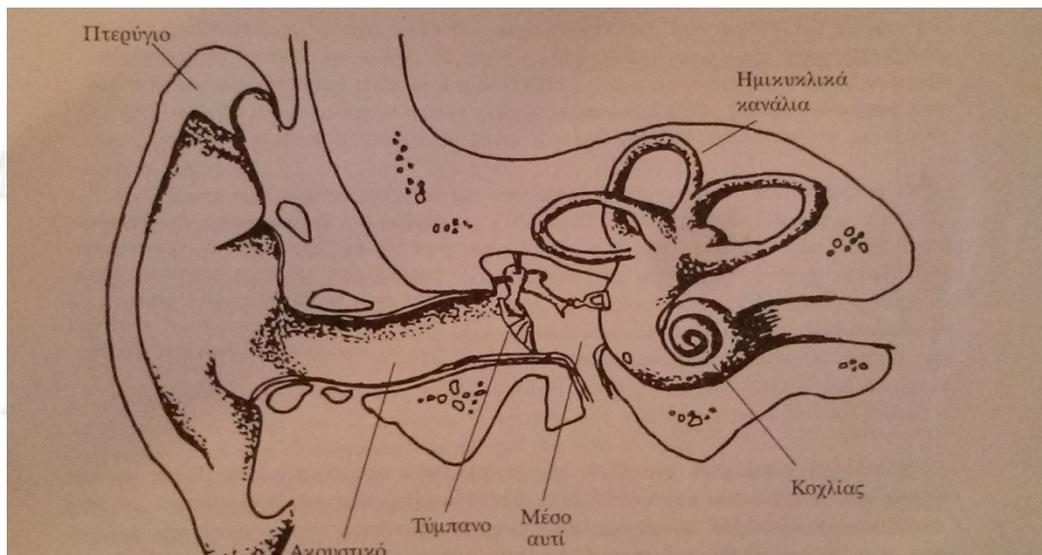
<sup>52</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>53</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>54</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβρηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 56

κύματα. Το δεύτερο από τα τρία τμήματα είναι το λεγόμενο μέσο<sup>55</sup>. Ουσιαστικά ξεκινάει από την μεμβράνη και μετά στην δομή του υπάρχουν τρία μικροσκοπικά οστά: η σφύρα, ο άκμονας, και ο αναβολέας τα οποία υπάρχουν για να μεταφέρουν τις δονήσεις στο εσωτερικό του αυτιού. Μέσα στο εσωτερικό του αυτιού υπάρχει η ευσταχιανή σάλπιγγα<sup>56</sup> της οποίας ο ρόλος είναι να αντισταθμίζει την διαφορά πίεσης μεταξύ της ατμόσφαιρας και του εσωτερικού του αυτιού. Τέλος στο τρίτο τμήμα του αυτιού βρίσκονται 30.000 νευρικές απολήξεις που όλες καταλήγουν στα νεύρα του εγκεφάλου για να καταλήξουν στην συνέχεια στον εγκέφαλο και στα κατάλληλο αισθητήριο όργανο. Όσο αναφορά τον συντονισμό της μεμβράνης<sup>57</sup> κάποια σημεία της συντονίζονται. Όλος αυτός ο συντονισμός ονομάζεται θεωρία του τοπικού συντονισμού<sup>58</sup>. Πιο αναλυτικά η ανατομία του αυτιού στο σχήμα που ακολουθεί:

### Η ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΑΥΤΙΟΥ



Σχήμα 1.3: Η ανατομία του ανθρώπινου αυτιού.

<sup>55</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>56</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>57</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>58</sup> Σπυρίδης, Χ. Χ. (1989). *Μια Εισαγωγή στη Φυσική της Μουσικής*. Θεσσαλονίκη: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.

<sup>59</sup>Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβρηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 51 σχ. 3.1

### A. ΤΟ ΑΥΤΙ ΩΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΑΝΑΛΥΤΗΣ<sup>60</sup>

Το ανθρώπινο αυτί έχει την ικανότητα να απομονώνει τους διάφορους ήχους που ακούει ο άνθρωπος γύρω του. Η συνεργασία του αυτιού και του εγκεφάλου γίνεται σε κλάσματα του δευτερολέπτου, με αποτέλεσμα ο άνθρωπος να έχει την δυναμική εκείνη την χρονική στιγμή να μπορεί να ξεχωρίζει και να απομονώνει από του πολύπλοκους και πολυσύνθετους θορύβους τον ήχο που θέλει να ακούσει. Όταν ένας μουσικός με εκπαιδευμένο αυτί μπαίνει στην διαδικασία να ακούσει μία συμφωνική ορχήστρα μπορεί να ακούσει τα βιολιά, μετά να εστιάσει την προσοχή του στα μαντολίνα, μετά κάπου αλλού. Με αρκετή εξάσκηση μπορεί να αντιληφθεί μέχρι και τις βασικές συγχορδίες αλλά και τον τόνο που παίζει το κάθε όργανο εκείνη την στιγμή. Σε αντίθεση παραδείγματος χάριν με τα μάτια όπου δεν μπορούν να ξεχωρίσουν τα πραγματικά χρώματα των λουλουδιών όταν πέφτει από διαφορετική γωνία το φως. Ούτε επίσης την διαφορά των θερμών και των ψυχρών αέριων μαζών στη φύση, σε αντίθεση με το αυτί που αντιλαμβάνεται την πηγή των αόρατων ηχητικών κυμάτων.

Η ακοή μας είναι ένα από τα πιο σημαντικά πράγματα που έχουμε. Ένα δώρο ανεκτίμητης αξίας το οποίο αποτελεί μια από τις πέντε αισθήσεις μας και γι' αυτό οφείλουμε να την προστατέψουμε. Η μέγιστη ένταση ακοής στο αυτί μας είναι μέχρι 120 Db δηλαδή αυτό με απλά μαθηματικά είναι σε κλίμακα 1.000.000/1. Η πιο μπάσα<sup>61</sup> συχνότητα είναι και το λεγόμενο κατώφλι ακοής<sup>62</sup> μας (δηλαδή ουσιαστικά ίσα που ακούμε) την συγκεκριμένη συχνότητα ενώ η υψηλότερη συχνότητα είναι και η πιο πρίμα και λέγεται όριο πόνου ακοής, όταν τα Db ξεπεράσουν το επιτρεπόμενο όριο τότε αισθανόμαστε ένα σφύριγμα στο αυτί, που αυτό εξηγείται σε μόνιμη βλάβη τυμπάνου ή ότι την συγκεκριμένη υψηλή συχνότητα το αυτί μας παύει να την ακούει στο μέλλον.

### III. ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ<sup>63</sup>

Η ψυχοακουστική<sup>64</sup> ένας ακόμα κλάδος της ψυχολογίας που αφορά καθαρά την αντίληψη της ακοής του ανθρώπου, παίρνοντας ως μεταβλητή κινητή πάντα της

---

<sup>60</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 75.

<sup>61</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

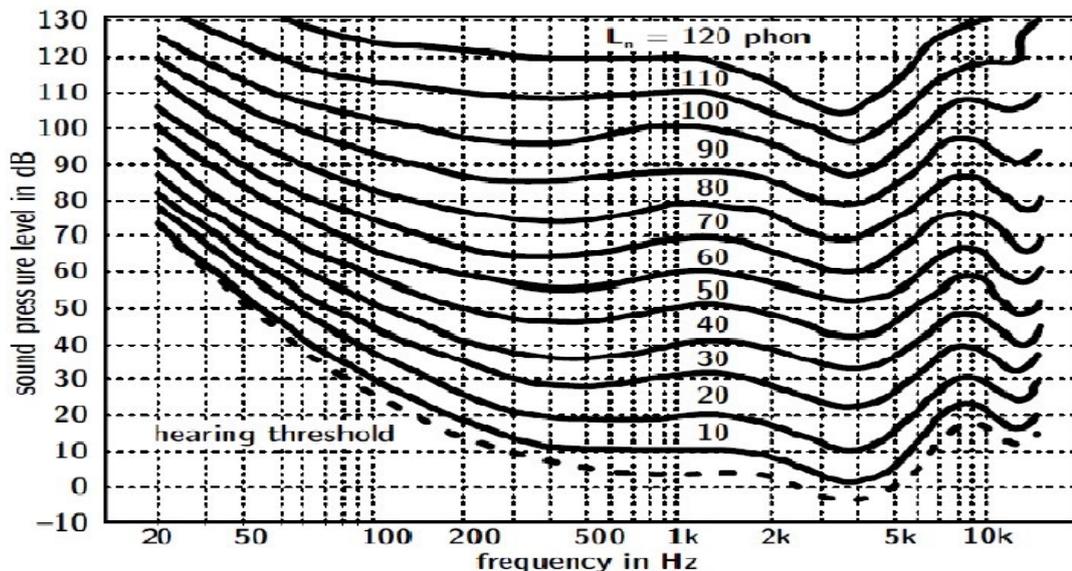
<sup>62</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>63</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 57-63.

<sup>64</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

ψυχολογία του ανθρώπου, αλλά και πώς αντιλαμβάνεται τα ηχητικά κύματα γύρω του δια μέσου των αυτιών του. Ο βασικός όρος που χρησιμοποιείται στην ψυχοακουστική, για να εκφραστεί το μέγεθος της έντασης της ακουστικής των ηχητικών κυμάτων είναι η ακουστότητα (loudness). Η μονάδα μέτρησης της ακουστότητας<sup>65</sup> είναι το phon. Η τιμή του phon είναι τα dB spl (sound pressure level-ηχητική στάθμη έντασης). Στο παρακάτω σχήμα που ακολουθεί διακρίνεται η ανταπόκριση του αυτιού στις υψηλές, μεσαίες και χαμηλές συχνότητες. Το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται όλες τις συχνότητες ξεχωριστά. Έχει την ικανότητα με την εντολή του εγκεφάλου αλλά και την βοήθεια των μικροοργάνων που υπάρχουν στον έξω ους, μεσαίο και εσωτερικό μέρος του οργάνου να αντιδράει ξεχωριστά στις διακυμάνσεις των ηχητικών κυμάτων. Αυτό γιατί: Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα το ανθρώπινο αυτί είναι πιο ευαίσθητο στις μεσαίες συχνότητες των ηχητικών κυμάτων, ενώ στις υψηλές και στις χαμηλές συχνότητες η ευαισθησία του αυτιού πέφτει σε ανταπόκριση στον πραγματικό χρόνο. Τα ποσά των ηχητικών κυμάτων στις διάφορες στάθμες ακουστότητας του αυτιού είναι αντιστρόφως ανάλογα. Όσο πιο μεγάλη είναι η ένταση των ηχητικών κυμάτων τόσο πιο επίπεδες γίνονται οι καμπύλες επίπεδης ακουστότητας. Όλη αυτή η διαδικασία στα κανάλια των μερών του αυτιού γίνεται για την αντίληψη της έντασης.

Σχήμα 1.4: Καμπύλες ακουστότητας του αυτιού στις ψηλές, μεσαίες και χαμηλές συχνότητες και στις συχνότητες ίσης ακουστότητας Fletcher-Munson.



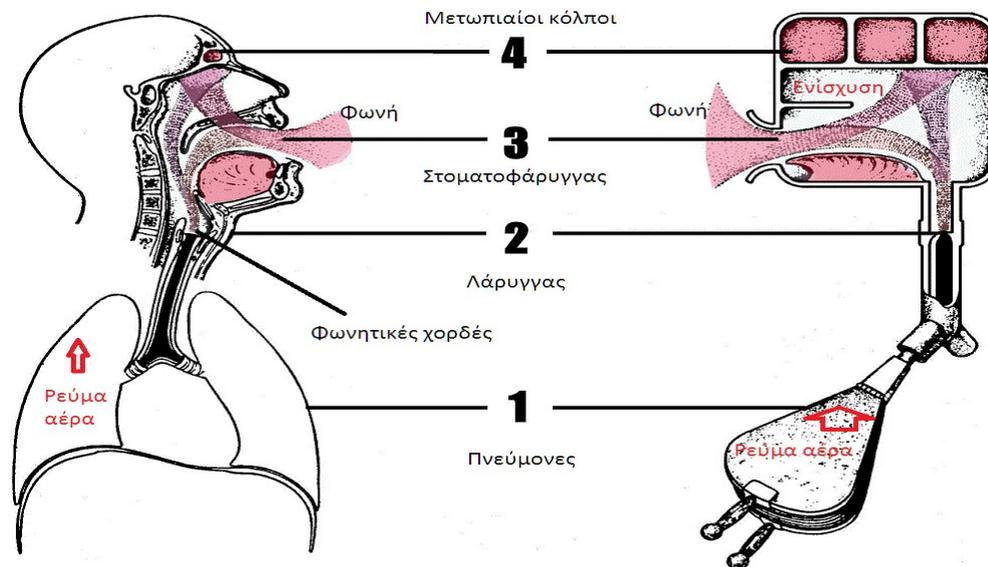
<sup>65</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

IV. ΟΜΙΛΙΑ, ΜΟΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΣ, ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΝΗΣ, ΛΑΡΥΓΓΑΣ, ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΗΧΩΝ

Πέρα του συστήματος ακοής που αποτελεί μία από τις πέντε αισθήσεις μας, υπάρχει και το σύστημα της ομιλίας αλλά και της διαχείρισης του εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα. Το σύστημα φωνής και η αλληλουχία του λάρυγγα και της στοματικής κοιλότητας θα μπορούσε να πει κανείς ότι συνεργάζονται με μαθηματική ακρίβεια (παραδείγματος χάριν μπορούμε να τρώμε να αναπνέουμε και να μιλάμε ταυτόχρονα, αλλά όπως και σε κάθε υπολογιστικό σύστημα έτσι και εδώ όταν αυτό γίνεται για πολύ ώρα, ουσιαστικά μηδενίζεται η όλη διαδικασία για ένα απειροελάχιστο χρονικό διάστημα με κίνδυνο για την υγεία μας). Όσον αφορά την διαχείριση του αέρα αλλά και την παραγωγή φωνής, υπάρχουν τρεις πηγές. Η πρώτη πηγή είναι οι ήχοι φωνής που εξέρχονται από τις φωνητικές μας χορδές. Αυτοί οι ήχοι μετατρέπονται σε ήχους φωνής όπου με την κατάλληλη διαμόρφωση της σχισμής των φωνητικών χορδών μετατρέπονται σε ήχο. Πρόκειται για μια περιοδική παραγωγή ήχου λόγω το ότι δεν είναι συνεχόμενη και αυτό γιατί ακολουθεί ένα άλλο ρεύμα αέρα. Η δεύτερη πηγή αφορά τους δασείς ήχους δηλαδή την στοματική κοιλότητα, την γλώσσα τα δόντια και τα χείλη. Όπου για να δημιουργηθούν οι λέξεις ή ακόμα και τα σύμφωνα πρέπει να περάσουν με πολύ μεγάλη ταχύτητα μέσα από την διαμορφωμένη στοματική κοιλότητα για να δημιουργηθεί ο κατάλληλος στροβιλισμός αέρα, έτσι ώστε να σχηματιστούν οι ήχοι της ομιλίας. Η τρίτη πηγή ήχου αφορά τους κροτικούς ήχους δηλαδή τους ήχους εκείνους που μετατρέπονται από το απότομο σταμάτημα αέρα. Για να υπάρξει η δυνατότητα της παραγωγής σύμφωνων όπως κ,π,τ λόγω του κατάλληλου στροβιλισμού αέρα μέσα στην στοματική κοιλότητα.<sup>67</sup>

<sup>66</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 58

<sup>67</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 92-95.

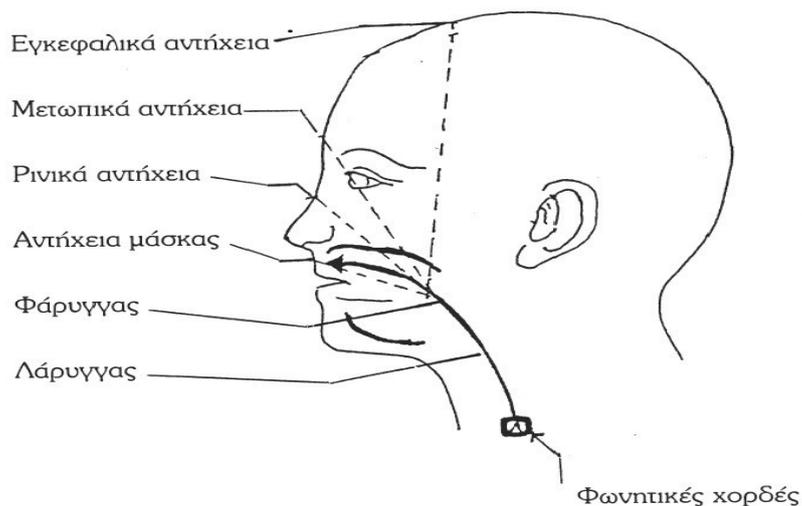


Σχήμα 1.5: Στροβιλισμός αέρα και ενίσχυση φωνής για την παραγωγή ήχου μέσω της στοματικής κοιλότητας.

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνουμε την παραγωγή φωνής και την διάσπαση ήχου (συνήθως στους δασείς και κροτικούς ήχους).

Στο παρακάτω σχήμα διακρίνουμε τον ήχο της φωνητικής χορδής, του φίλτρου του φωνητικού σωλήνα την λειτουργία του σαν ακουστικό σωλήνα και την δράση του ώστε να δημιουργηθεί ο ήχος της φωνής. Χρησιμοποιώντας τα αντηχεία για την καλύτερη διάδοση του ήχου δια μέσου της στοματικής κοιλότητας.

ΚΕΝΤΡΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΝΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΗΧΕΙΑ ΤΟΥ ΦΩΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



Σχήμα 1.5: Αντηχεία και εργαλεία του φωνητικού συστήματος και τοποθέτηση της φωνής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΕΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

#### ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

##### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Η καρτελογράφηση των διάφορων ηχομονωτικών διαδικασιών παλαιότερα γίνονταν με κώδικα αριθμημένα ονόματα για την πλήρη ευκολία χρήσης (παραδείγματος χάριν η τοποθέτηση υλικού σε απόσταση 40 cm από σκληρή επιφάνεια με διάκενο αέρα ενδιάμεσα λέγονταν Α, ενώ πλέον λέγεται Ε-405). Η κατανομή και τοποθέτηση υλικών θα πρέπει να γίνει με απόλυτη ακρίβεια και μελέτη. Ο τρόπος τοποθέτησης στον χώρο ενός υλικού αλλάζει και την δυναμική του (παραδείγματος χάριν η τοποθέτηση απορροφητικών υλικών και πορωδών υλικών είναι πολύ μεγαλύτερη με διάκενο αέρα μεταξύ τοίχου και υλικού τοποθέτησης). Στην συνέχεια παραθέτονται με την σειρά τα υποκεφάλαια, ξεκινώντας από τα ηχομονωτικά-ηχοαπορροφητικά<sup>68</sup> υλικά και οι λειτουργίες των συγκεκριμένων υλικών, η συμπεριφορά των κυμάτων σε κλειστούς χώρους και τέλος η άρτια δόμηση ακουστικού δωματίου για πλήρη διάχυση ηχητικών κυμάτων.

##### I. ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά ένα ακουστικό δωμάτιο ηχογράφησης ήχου πρέπει να χρησιμοποιηθούν σωστά, ηχοαπορροφητικά υλικά. Ηχοαπορροφητικά υλικά όπως: ινόπλακες ή ορυκτές ίνες, πορώδες υλικό (παραδείγματος χάριν σαν σφουγγάρι), υαλονήματα (δομική μόνωση, ταμπλό), ακουστικό πλακίδιο, αφροί ηχομόνωσης (πολυουρεθάνη), κουρτίνες όπως επίσης χαλιά, ινόπλακες ψευδοροφών, μοκέτες, πλάκες πετροβάμβακα αλλά και συνηχητές ήχου<sup>69</sup> για την απορρόφηση του. Όλα αυτά σε συνάρτηση με το ύψος τοποθέτησης, το πάχος, τον σκελετό, την ακαμψία του υλικού ή αλλιώς το μέτρο ελαστικότητας του.<sup>70</sup> Ο τρόπος συγκόλλησης παίζει από τους πιο σημαντικούς λόγους ύστερα από τον υπολογισμό της απόστασης της τοποθέτησης των υλικών. Ωστόσο η συγκόλληση των υλικών γίνεται είτε με απευθείας κάρφωμα σε

---

<sup>68</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>69</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>70</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 28-29.

κάποια στερεά υλικά (τοίχο, ξύλινη επιφάνεια, μεταλλικό σκελετό) είτε με βίδωμα, είτε με κόλλα ειδική αλλά και με τοποθέτηση ειδικών αναρτήρων όταν αφορά ψευδοροφές. Υπάρχουν ωστόσο υλικά με διάτρητες επιφάνειες (κοινές οπές). Με μορφολογία κανονική, τυχαία, μικτή και με σχισμές. Είναι μια συγκεκριμένη μορφολογία υλικών που λειτουργούν ως συντονιστές. Χρησιμοποιούνται τόσο σε ανοιχτούς όσο και σε κλειστούς χώρους. Είναι κατασκευασμένα από υλικά όπως λαμαρίνες, κόντρα πλακέ. Κάθε οπή έχει είτε το σχήμα κύκλου, είτε το σχήμα σχισμής. Για την μέγιστη απορρόφηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά διάτρητων επιφανειών της ίδιας κατασκευής (παραδείγματος χάριν κυκλικής οπής) ή συνδυασμός αυτών (παραδείγματος χάριν κυκλική, σχισμή κάθετη, σχισμή οριζόντια, κυκλική).

- i. *Ψευδοροφές*: Οι ψευδοροφές παίζουν σημαντικό ρόλο μέσα σ'ένα ακουστικό κλειστό χώρο. Τόσο όσο η ψευδοροφή όσο και τα ηχοαπορροφητικά υλικά της σε συνδυασμό με την σωστή τοποθέτησή τους (από το στέρεο υλικό) δίνουν το άρτιο αποτέλεσμα που επιθυμεί κάποιος για την απορρόφηση και αποφυγή θορύβου των ηχητικών κυμάτων αντίστοιχα. Για να μπορέσουν να συνυπάρξουν στο χώρο με άλλα υλικά πρέπει να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένο σημείο αλλά και να περιλαμβάνουν ειδικές οπές για την τοποθέτηση του φωτισμού του χώρου γενικότερα.
- ii. *Ηλεκτρονικοί Απορροφητές*<sup>71</sup>: Οι απορροφητές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στους παθητικούς<sup>72</sup> και στους ενεργητικούς. Οι ηλεκτρονικοί απορροφητές ανήκουν στους ενεργητικούς απορροφητές οι οποίοι δεν απορροφούν το ηχητικό κύμα (λόγω του υλικού τους), αλλά το μηδενίζουν με αντιστροφή φάσης<sup>73</sup> (reverb). Τοποθετούνται πάντα μπροστά από τα ευαίσθητα υλικά παραγωγής θορύβου με την περίπτωση της ανάκλασης. Πολλές φορές συνδέονται με έναν μεταλλικό σιδηρόδρομο για να μεταφέρονται όπου επιθυμεί ο μελετητής μέσα στον χώρο.

---

<sup>71</sup>Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 139

<sup>72</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>73</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

- iii. *Πορώδες υλικό*<sup>74</sup>: Υλικά που στην σύστασή τους διαθέτουν ίνες, είναι πολύ χρήσιμα για την τοποθέτησή τους για την απορρόφηση ήχου. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατασκευή των συγκεκριμένων υλικών είναι τέτοια ώστε να αποτελείται από πολλές μικροσκοπικές ίνες. Όταν εισχωρούν τα ηχητικά κύματα μέσα στο συγκεκριμένο υλικό τότε αμέσως δημιουργούνται μια αλληλουχία κινήσεων των συγκεκριμένων ινών με αποτέλεσμα όσο εισχωρούν τα ηχητικά κύματα μέσα στον χώρο να απορροφούνται όλο και πιο πολύ. Η συγκεκριμένη διαδικασία πέρα από την απορρόφηση των μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων, δημιουργεί και θερμότητα άσχετα και κατά πόσο περιοδικά συχνή και μεγάλη είναι η αλληλεπίδραση των ηχητικών κυμάτων στις ίνες.
- iv. *Υλικά τύπου μεμβράνης*<sup>75</sup>: Είναι υλικά τα οποία είναι κατασκευασμένα από ύφασμα και έχουν μεγάλη απορρόφηση ιδιαίτερα σε συχνότητες χαμηλές. Τοποθετούνται σε μικρή απόσταση μπροστά από τον συμπαγή τοίχο. Η λειτουργία της μεμβράνης ορίζεται έτσι: όταν τα ηχητικά κύματα προσπίπτουν στην επιφάνεια της μεμβράνης τότε τα μόρια του υλικού ταλαντώνονται και δημιουργείται ουσιαστικά τριβή εσωτερική. Ανεξάρτητα το πόσο συχνός είναι ο «βομβαρδισμός» των ηχητικών κυμάτων στο συγκεκριμένο υλικό.
- v. *Υαλονήματα*<sup>76</sup>: Τα υαλονήματα χρησιμοποιούνται περισσότερο στην δημιουργία ακουστικών δωματίων. Όπως ορίζει και η ετυμολογία της λέξης είναι ένα κράμα ύαλου (γυαλί) και ινών. Το συγκεκριμένο υλικό είναι έτσι κατασκευασμένο ώστε να έχει συγκεκριμένη μόνωση και τοποθετείται πάντα σε ορθοστάτες. Η πυκνότητα του είναι συνήθως 1 λίβρα ανά κυβικό πόδι (0,42 κιλά ανά κυβικό μέτρο) και η καρτελογράφηση του είναι R-11. Η συμπεριφορά του υαλονήματος δεν αυξάνει σύμφωνα με την ακρίβεια του υλικού. Για να γίνει πλήρης και αποτελεσματική στην απορρόφηση των ηχητικών κυμάτων η όλη διαδικασία των υαλονημάτων θα πρέπει να γίνει σε συνάρτηση με την δομή του τοίχου (πάχος,

---

<sup>74</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 261.

<sup>75</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 279.

<sup>76</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 184.

σύσταση τούβλων υλικών κτλ). Ενός άλλου τύπου υαλονήματος είναι το ταμπλό τα οποία ως επί το πλείστον είναι πιο απορροφητικά στον ήχο ειδικότερα αν σκεπαστούν με ύφασμα.<sup>77</sup>

- vi. *Ακουστικό πλακίδιο*<sup>78</sup>: Πρόκειται για ένα πολύ παλιό υλικό το οποίο διαχρονικά χρησιμοποιείται ακόμα απο τους κατασκευαστές των ακουστικών δωματίων. Είναι απορροφητικό και αν χρησιμοποιηθεί πλήρως αναλόγως των δυνατοτήτων του μπορεί να προσφέρει πολλά. Αποτελείται απο συνθέσεις οπών και σχισμών. Συνηθισμένες σειρές απο διάφορες ακουστικές εταιρίες ήταν σε διαστάσεις 12 x 12 ιντσών ( περίπου 30 x 30 εκατοστών).
- vii. *Πολυουρεθάνη (Αφρός ηχομονωτικών τοιχωμάτων)*<sup>79</sup>: Πρόκειται για ένα είδος αφρού που χρησιμοποιείται τόσο στην βαριά βιομηχανία (εργοστάσια, βιοτεχνίες) όσο και στην μικρή βιομηχανία (ακουστικά δωμάτια). Για να χρησιμοποιηθούν πλήρως οι δυναμικές του συγκεκριμένου υλικού πρέπει να τοποθετηθούν σε υγροποιημένη μορφή σε καλούπια αρσενικά (δηλαδή χωρίς κοίλωμα εισαγωγής) ή θηλυκά (με κοίλωμα εισαγωγής αφρού). Ένα απο τα πιο γνωστά προϊόντα αφρού είναι ο αφρός sonex. Το συγκεκριμένο υλικό μπορεί να εφαρμοστεί, καρφωθεί, κολληθεί πάνω σε τσιμέντο η οποιοδήποτε διαφορετικό στερεό υλικό.
- viii. *Συνηχητές ή συντονιστές*<sup>80</sup>: Η τοποθέτηση των διάφορων ηχοαπορροφητικών υλικών είναι ουσιαστικά το πιο σημαντικό που οφείλει να ελέγξει ένας μελετητής για την ηχοαπορρόφηση. Αυτό γιατί τα ηχοαπορροφητικά υλικά εγγυούνται την ηχοαπορρόφηση τόσο των υψηλών συχνοτήτων παρά την ηχοαπορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων. Στην ηχοαπορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων πρέπει ο μελετητής να τοποθετήσει συνηχητές. Οι συνηχητές είναι ηχοαπορροφητικές διατάξεις και λειτουργούν μέσω της παλμικότητας όταν τα ηχητικά κύματα

<sup>77</sup> <http://www.jm.com/>. Στην καρτελογράφηση των υλικών χρησιμοποιείται με τον κωδικό όνομα Type 703 της Owens-Corning και το Spin-Glass 1000 Series της Johns-Manville.

<sup>78</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Λ. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 184.

<sup>79</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Λ. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003.σελ 187.

<sup>80</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 136.

πέσουν πάνω τους. Έτσι βασική μεταβλητή είναι το πάχος του, το υλικό που είναι φτιαγμένος ο συνηχητής, αλλά και οι διαστάσεις του. Τα υλικά που είναι φτιαγμένοι οι συνηχητές είναι: υποπροϊόντα ξύλου, μοριοσανίδες (νοβοπάν) αντικολλητικά φύλλα (κόντρα πλακέ και κόντρα πλακάτζ), ξύλα μικρού και μεγάλου πάχους, πλάκες από ινοσανίδες και γυψοσανίδες.

- ix. *Συνηχητές ή συντονιστές Helmholtz*<sup>81</sup>: Οι συντονιστές ή συνηχητές Helmholtz είναι κοιλότητες που έχουν ένα στενό άνοιγμα. Για την απλούστερη μορφή συνηχητής κοιλότητας παίρνουμε ένα γυάλινο δοχείο (μπουκάλι). Ο λαιμός ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του γυάλινου δοχείου είναι και η είσοδος των ηχητικών κυμάτων. Αν τοποθετήσουμε αφρώδες και ηχοαπορροφητικό υλικό γύρω από την περιοχή του λαιμού αμέσως το συγκεκριμένο υλικό δουλεύει ηχομονωτικά. Αν όχι τότε έχουμε ανάκλαση των κυμάτων και δημιουργία θορύβου μέχρι η πηγή να σταματήσει να παράγει ηχητικά κύματα<sup>82</sup>.
- x. *Κουρτίνες σαν απορροφητές ήχου*:<sup>83</sup> Ένα ακόμα μέσο για την απορρόφηση του ήχου σε ένα ακουστικό δωμάτιο. Η διαφορά της απορρόφησης της κάθε κουρτίνας έγκειται το υλικό. Για παράδειγμα οι κουρτίνες κατασκευασμένες απο βελούδο είναι πιο απορροφητικές απο τις απλές κουρτίνες. Όσο πιο βαριά είναι η κουρτίνα τόσο πιο απορροφητική είναι στα ηχητικά κύματα. Το επόμενο ακριβώς βήμα για την πλήρη χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων του υλικού είναι η απόσταση που θα πρέπει να τοποθετηθούν πρώτα απο τον τοίχο (όπου και εκεί πρέπει να προσέξουμε πάλι αν ο τοίχος είναι κεκλιμένος ή επίπεδος) και έπειτα απο την πηγή των ηχητικών κυμάτων. Η πηγή των ηχητικών κυμάτων είναι ένας απο τους σημαντικότερους παράγοντες και αυτό γιατί:
- Όσο πιο κοντά είναι η κουρτίνα στην ηχητική στην πηγή τόσο ασθενής είναι η απορρόφηση των ηχητικών κυμάτων.
  - Όσο πιο μακριά είναι η κουρτίνα απο την ηχητική πηγή τόσο πάλι πιο ασθενής θα είναι η απορρόφηση των ηχητικών κυμάτων.

<sup>81</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. Σελ 290-293.

<sup>82</sup> Ευθυμιάτος, Δ. (2007). *Ακουστική και κτιριακές εφαρμογές θεωρία και πράξη*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου. σελ 212

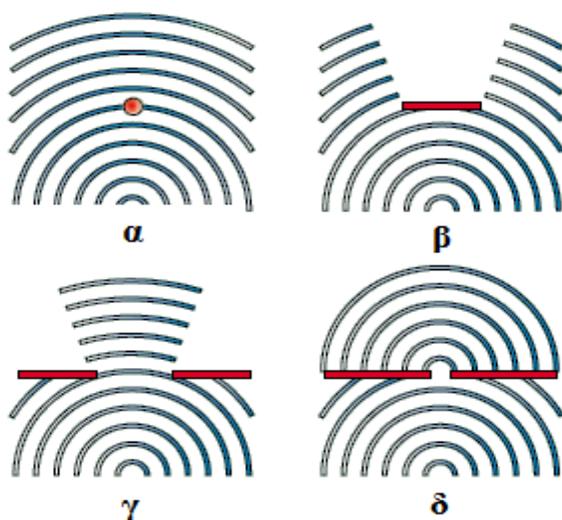
<sup>83</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 270-273.

Για να εκμεταλλευτεί κάποιος μελετητής τις δυνατότητες της κουρτίνας ως μέσο απορρόφησης των ηχητικών κυμάτων τότε θα πρέπει να τοποθετήσει την κουρτίνα σε περιττό αριθμό ενός τετάρτου μήκους κύματος απο την πηγή.

Άρα σε περίπτωση που κάποιος τοποθετήσει την κουρτίνα στο μισό της απόστασης του ηχητικού κύματος απο την πηγή τότε μπορούμε να πούμε ότι θα έχει την μισή απορρόφηση, ενώ αν τοποθετήσει την κουρτίνα σε απόσταση  $\frac{1}{4}$  απο την υποτιθέμενη πηγή τότε θα έχει την διπλάσια απορρόφηση. Έτσι τα ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα και αυτό διότι το μυστικό της απορρόφησης έγκειτε πρώτα στο υλικό και κατά βάση στην ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων.

## II. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ (ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΔΩΜΑΤΙΟ)

### ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ



<sup>84</sup> Σχ.2.2: Συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων ανάλογα την συχνότητα και τα εμπόδια μπροστά τους.

ι. *Περίθλαση(Diffraction):* <sup>85</sup>

Πρόκειται για το φαινόμενο που παθαίνουν τα ηχητικά κύματα όταν συναντούν ένα υλικό μπροστά τους το οποίο είτε είναι πολύ μικρό, σε σχέση με τον χώρο είτε έχει τρύπες, είτε είναι ανοιχτό (με κενό ενδιάμεσα). (Γ) Αν το κενό που

υπάρχει ανάμεσα είναι κανονικό σε άνοιγμα και τα ηχητικά κύματα είναι χαμηλών συχνοτήτων (μπάσα) τότε τα ηχητικά κύματα καλύπτουν την πίσω μεριά των εμποδίων. (Δ) Αν υπάρχει ένα διάκενο μικρό ανάμεσα απο δύο εμπόδια και το

<sup>84</sup> Τζαμαλούκας, Γ. Χ. Περιοδικό Hi-tech. *Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround*. 2001.σελ 15.

<sup>85</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 23.

ηχητικό κύμα πέσει πάνω τότε δημιουργείται εκ νέου ένα εξασθενημένο πλην όμως καινούργιο κύμα.

(B) Αν το εμπόδιο που προσπίπτει το κύμα βρίσκεται πολύ κοντά και είναι μεγαλύτερο από το ίδιο το κύμα, τότε δημιουργείται από πίσω μια σκιά [φαινόμενο της σκίασης (περιοχή με μειωμένη ένταση)].

(A) Αν το εμπόδιο που συναντά το ηχητικό κύμα είναι πολύ μικρό τότε το ηχητικό κύμα το προσπερνά όπου και συνεχίζει την πορεία του μέχρι να εξασθενήσει εντελώς.

ii. *Διέλευση*:<sup>86</sup> Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπέσει σε ένα εμπόδιο (όπου η μάζα του είναι μικρής πυκνότητας) τότε το ηχητικό κύμα θα περάσει από την άλλη μεριά αλλά θα απορροφηθεί ένα μικρό μέρος της. Αυτό συμβαίνει διότι το υλικό δεν είναι συμπαγές (δηλαδή η σύσταση του δεν έχει πυκνότητα). Για να το μετατρέψουμε σε πυκνό (συμπαγές) υλικό πρέπει να αυξήσουμε την μάζα του (πυκνή διάταξη μορίων στην ύλη).

iii. *Διάθλαση*:<sup>87</sup> Η διάθλαση του ήχου πέρα της σύνδεσης που έχει με τα υλικά είναι ωστόσο και συνδεδεμένη με την θερμοκρασία που υπάρχει μέσα στον χώρο. Όταν τα ηχητικά κύματα συναντήσουν μέσα στον χώρο ψυχρά και θερμά αέρια τότε τα εν λόγω ηχητικά κύματα αποκτούν την λεγόμενη κλίση καμπυλότητας<sup>88</sup> λόγω της εναλλαγής της θερμοκρασίας, αλλά και των ρευμάτων από ψυχρό σε θερμό. Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβεί και σε κλειστούς χώρους και στη ατμόσφαιρα δίχως την διάταξη εμποδίων σε αυτήν.

iv. *Αντανάκλαση (Antireflection)-Ανάκλαση (Reflection)*:<sup>89</sup> Πρόκειται για το άμεσο αποτέλεσμα της πρόσκρουσης των ηχητικών κυμάτων σε μια επιφάνεια οποιουδήποτε υλικού. Αποτελεί ένα από τα τρία βασικά χαρακτηριστικά αποτελέσματα. Στην περίπτωση όπου το υλικό είναι πλήρως συμπαγές (τα μόρια

---

<sup>86</sup> Τζαμαλούκας, Γ. Χ. Περιοδικό Hi-tech. *Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround*. 2001. σελ 7.

<sup>87</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 172.

<sup>88</sup> Βλ. Γλωσσάρι

<sup>89</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 18.

απο τα οποία αποτελείται δεν έχουν χώρο μεταξύ τους για την ταλάντωση λόγω του ηχητικού κύματος), τότε το ηχητικό κύμα θα προσκρούσει στην επιφάνεια και θα γυρίσει ολοκληρωτικά πίσω πιο αδύναμο όμως (λόγω της πρόσκρουσης που έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας). Μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνία (που θα δημιουργηθεί απο την πρόσκρουση) του μήκους κύματος<sup>90</sup> πολύ εύκολα διότι η γωνία πρόσκρουσης είναι ίδια με την γωνία ανάκλασης της επιστροφής του κύματος (πάντα σε λείες επιφάνειες). Αυτό ισχύει για τις μεσσαίες και υψηλές συχνότητες που εκπέμπονται απο μία πηγή οι μπάσες συχνότητες είναι τελείως διαφορετικές και συμπεριφέρονται τυχαία στον χώρο και η γωνία ανάκλασης είναι ένα αποτέλεσμα απρόσμενο.

<b>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ*</b>						
<b>Είδος υλικού και κατασκευής</b>	<b>Κεντρική συχνότητα (Hz)</b>					
	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1.000</b>	<b>2.000</b>	<b>4.000</b>
Νερό (π.χ. πισίνα)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Βαμβακερή κουρτίνα μέσου βάρους	0,03	0,12	0,15	0,27	0,37	0,42
Κουρτίνα μέσου βάρους από μέτριο βελούδο με πτύχωση στο μισό του μήκους	0,07	0,31	0,49	0,75	0,7	0,6
Κουρτίνα μέσου βάρους από βαρύ βελούδο με πτύχωση στο μισό του μήκους	0,14	0,35	0,55	0,72	0,7	0,65
Χαλί	0,01	0,05	0,1	0,2	0,45	0,65
Χαλί βαρύ σε τσιμέντο	0,02	0,06	0,14	0,37	0,6	0,65
Χαλί δαπέδου με μακριά τρίχα	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,4
Μοκέτα 5mm σε δάπεδο	0,04	0,04	0,15	0,3	0,5	0,6
Μοκέτα 8mm ελεύθερη	0,04	0,12	0,26	0,5	0,28	0,29
Τσιμεντόλιθος σκέτος	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Τσιμεντόλιθος σφραγισμένος	0,1	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Τσιμέντο άβαφο (μπετόν)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Μάρμαρο ή πλακάκι σε τσιμέντο	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Πάτωμα από ξύλο παρκέ καλλημένο	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Πάτωμα από ξύλο παρκέ με κενό	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Πάτωμα από ξύλο άγριο με κενό	0,4	0,3	0,2	0,17	0,15	0,1
Τοίχος με μονό τούβλο	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Τοίχος με διπλό τούβλο	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Τοίχος με διπλό τούβλο βαμμένο	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Τοίχος με διπλό τούβλο σφραγισμένο, στοκαρισμένο, βαμμένο	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Κόντρα πλακέ 4mm	0,28	0,22	0,17	0,09	0,1	0,11
Κόντρα πλακέ 6mm	0,58	0,22	0,07	0,04	0,03	0,07
Ξύλο συμπαγές 5cm	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Τζάμι απλό	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Τζάμι χοντρό	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Αφρολέξ πολυουραιθάνης 2,5cm	0,16	0,25	0,45	0,84	0,97	0,87
Φελλός 2,5cm	0,25	0,55	0,7	0,75	0,75	0,75
Κάθισμα ξύλινο	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Κάθισμα με μαξιλάρι	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Κάθισμα με μαξιλάρι και ταπετσαρία	0,15	0,25	0,35	0,4	0,45	0,35
Ακροστής σε κάθισμα απλό ή με μαξιλάρι	0,15	0,35	0,4	0,45	0,45	0,4
Ακροστής σε κάθισμα με ταπετσαρία	0,25	0,4	0,55	0,65	0,65	0,6
Μεγάλο ακροστήριο (ανά m <sup>2</sup> ). Συμπεριλαμβάνεται και διάδρομος έως 1m.	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8

Σχήμα 2.6: Συντελεστές απορροφητικότητας στα διάφορα υλικά κατασκευής του ακουστικού δωματίου.<sup>91</sup>

\*τα μεγέθη στην παραπάνω εικόνα είναι ενδεικτικά, δεν πρέπει να εκλαμβάνει ο μηχανικός-μελετητής τα συγκεκριμένα μεγέθη ως απόλυτα. Διότι εξαρτάται απο τον χώρο, την σύσταση των υλικών και την εταιρία κατασκευής.

<sup>90</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>91</sup>Τζαμαλούκας, Γ. Χ. Περιοδικό Hi-tech. *Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround*. 2001. σελ 24.

- v. <sup>92</sup>*Απορρόφηση (Absorption)*: Όταν τα ηχητικά κύματα θα φύγουν από μια ηχητική πηγή αυτά τα κύματα που θα δημιουργηθούν θα εισχωρήσουν σε ένα εμπόδιο-υλικό όπου κάποια ηχητικά κύματα θα απορροφηθούν λόγω των τριβών και των συντονισμών των συχνοτήτων που θα δημιουργηθούν μέσα στο υλικό (ανάλογα την γωνία πρόσπτωσης) , κάποια θα περάσουν το υλικό απο την άλλη μεριά από όπου θα συνεχίσουν την διέλευση τους και κάποια θα απορροφηθούν. Όταν τα ηχητικά κύματα θα εισχωρήσουν σε ένα υλικό (συνήθως πορώδες) θα χάσουν ενέργεια και αυτό γίνεται λόγω των τριβών με το υλικό. Μετατρέπεται δηλαδή η ηχητική ενέργεια σε θερμική (λόγω της αυξημένης ταλάντωσης των μορίων του ίδιου του υλικού). Σημαντικό είναι ιδιαίτερα όταν θέλουμε να αναφερθούμε στην δημιουργία αλλά και στην ηχομόνωση ενός ακουστικού (κλειστού) χώρου τότε μας ενδιαφέρει περισσότερο η απορρόφηση, η διέλευση και η αντήχηση.
- vi. *Διάχυση*<sup>93</sup>: Είναι η συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο όταν φεύγουν απο μια πηγή παραγωγής ηχητικών κυμάτων (χωρίς να συναντήσουν κάποιο εμπόδιο) όπου και διασκορπίζονται σε αυτόν. Το θέμα της διάχυσης είναι πολύ σημαντικό στους κλειστούς χώρους. Ειδικότερα για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να εξεταστεί έτσι ο χώρος όπου δεν θα έχουμε παραγωγή εκ νέου νέων ειδώλων (δηλαδή εκ νέου ηχητικά κύματα) εξαιτίας της διάθλασης και της ανάκλασης. Δηλαδή διάχυτος ένας ήχος ονομάζεται όταν η άσκηση πίεσης ενός (παραδείγματος χάριν υψηλής συχνότητας) ηχητικού κύματος είναι η ίδια προς οποιαδήποτε κατεύθυνση μέσα σένα κλειστό χώρο. Αυτό θα συμβεί μόνο όταν το ηχητικό κύμα δεν θα χάσει κάποια από την ενέργεια του λόγω πρόσπτωσης σε στερεό ή υγρό υλικό.
- vii. *Ηχητική ηρεμία: Προσωπικός ορισμός* Αν και η συγκεκριμένη ορολογία δεν υφίσταται στην πραγματική έννοια της, ορίζεται ως θεωρητικός ορισμός: η ηχητική ηρεμία είναι η μηδενική ακουστική ηχηρότητα μέσα σε ένα χώρο ακόμα και κάτω απο το όριο ακοής πχ της νυχτερίδας (λόγω το ότι επικοινωνεί μόνο με συχνότητες), σε συνθήκες κανονικές (όχι σε απόλυτο κενό). Ακόμα και αν υπάρξει

---

<sup>92</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 20.

<sup>93</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 139-141.

μηδενική ηχηρότητα μέσα στο χώρο τότε τα ίδια τα υλικά μπορούν να δώσουν τις συχνότητες εκείνες, που αν και ανεπαίσθητες στο φάσμα τους, μπορούν να αναιρέσουν τον συγκεκριμένο ορισμό.

- viii. *Αντήχηση*:<sup>94</sup> Είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο ο ήχος που παράχθηκε από μία πηγή συνεχίζει να υφίσταται ακόμα και όταν η πηγή πάψει να δημιουργεί τον συγκεκριμένο ήχο. Αυτό το οποίο καθορίζει τον βαθμό αντήχησης ενός δωματίου από ένα άλλο (όταν τα δωμάτια είναι ίδια σε μέγεθος) είναι τα υλικά κατασκευής του κάθε δωματίου ξεχωριστά. Για να μπορέσουμε να κάνουμε συγκρίσεις χρησιμοποιούμε ένα μέγεθος μέτρησης που είναι γνωστό ως RT60 (Reverb Time). Το RT60 (χρόνος αντήχησης) είναι ο χρόνος που κάνει να σβήσει ο ήχος από την στιγμή που η ίδια η πηγή έπαψε να βγάζει ήχο. Έτσι για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τον χρόνο της αντήχησης (RT60) θα πρέπει να πάρουμε την εξίσωση του Sabine η οποία είναι:

$$RT60 = 0,161 * \frac{V}{S\alpha}$$

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τον χρόνο αντήχησης θα πρέπει να ξέρουμε τον όγκο του δωματίου (V) που μετριέται σε m<sup>3</sup> την συνολική επιφάνεια του χώρου (S) και το (α) τον συντελεστή απορρόφησης της επιφάνειας. Σε περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε πολλές επιφάνειες μαζί τότε ο τύπος είναι:  $S \times \alpha = (S_1 \times \alpha_1) + (S_2 \times \alpha_2) \dots$  εις την νιοστή (n).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΣΤΟΥΝΤΙΟ ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ

#### I. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ «ΚΑΛΗΣ» ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ<sup>95</sup>

Η σωστή τοποθέτηση των ηχοαπορροφητικών υλικών είναι το βασικότερο κομμάτι στην δημιουργία ενός χώρου, όπου θα επικρατούν συνθήκες απόλυτης ακουστότητας και μείωσης θορύβου είτε εξωτερικών είτε εσωτερικών παραγόντων. Η σωστή

<sup>94</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 211-219.

<sup>95</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 185. και Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 26.

τοποθέτηση μαζί με τον υπολογισμό των ηχητικών κυμάτων αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα της μελέτης, ενώ το υπόλοιπο μέρος της είναι κάποια υποκειμενικά χαρακτηριστικά, όπως:

- i. **Προσδιορισμός του ήχου - Διακριτότητα (Definition)**:<sup>96</sup> Είναι η τιμή (ποσοτικό μέγεθος) που αφορά την αναλογία της (πρώιμης) «χρήσιμης» ακουστικής ενέργειας που φθάνει στα αυτιά του ακροατή με καθυστέρηση 50 κλάσματα (ms) του δευτερολέπτου, σε σχέση με τη συνολική ηχητική ενέργεια των ηχητικών κυμάτων που φθάνει στον ακροατή από την ηχητική πηγή. Έχει παρατηρηθεί ότι οι ανακλάσεις που καθυστερούν από 10 μέχρι 20 ms είναι ισχυρότερες σε ακουστική ισχύ από τον πρωτογενή ήχο. Η πρώτη απόπειρα για τον ορισμό ενός μετρήσιμου κριτηρίου, που λαμβάνει υπόψιν τις ανακλάσεις και όπου θα ορίζονταν ως Διακριτότητα, ορίστηκε από τον Thiele.
- ii. **Ηχητική συγκέντρωση- «Νεκρόσημείο» (Sound Focus-dead spot)**:<sup>97</sup> Είναι η συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων που πέφτουν σε μια καμπύλη επιφάνεια με αποτέλεσμα στα σημεία αυτά (της καμπύλης) η στάθμη πίεσης να παίρνει μεγάλες τιμές. Και τα νεκρά σημεία είναι τα σημεία όπου το ηχητικό κύμα δεν ακούγεται σχεδόν καθόλου, ή ακούγεται πάρα πολύ χαμηλά όσο αναφορά την ηχητική στάθμη έντασης.
- iii. **Ξηρότητα (Dryness)**:<sup>98</sup> Είναι το χαρακτηριστικό εκείνο το οποίο αφορά μικρές αίθουσες, όπου ο χρόνος αντήχησης (RT) των ηχητικών κυμάτων είναι μικρότερος από τον χρόνο αντήχησης των ηχητικών κυμάτων μιας αίθουσας κανονικών διαστάσεων.
- iv. **Διαύγεια-Ευκρίνεια (Clarity)**:<sup>99</sup> Είναι ουσιαστικά η πρώτη ακουστική επαφή του

<sup>96</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 191 και Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 26.

<sup>97</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 191.

<sup>98</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 27.

<sup>99</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990.

ακροατή σε σχέση με την διαφάνεια (κατά πόσο καθαρά ακούγεται η μουσική) της μουσικής (που δίνεται από τον «λογάριθμο της ηχητικής ενέργειας») τα πρώτα 80 κλάσματα του δευτερολέπτου (ms), πριν διαχυθεί στον χώρο η υπόλοιπη ηχητική ενέργεια από την πηγή. Όσο μεγαλύτερος ο χρόνος αυτός τόσο καλύτερη η αντιληπτικότητα της μουσικής και της ομιλίας αλλά και η διαδραστικότητα των ενεργειών αυτών μέσα στον χώρο.

- v. **Ζεστασιά (Warmth)**: Η ηχητική ζεστασιά ενός χώρου εξαρτάται από την σχετική τιμή του χρόνου αντήχησης των χαμηλών και μεσαίων συχνοτήτων (RT). Όταν ένας χώρος προορίζεται για μουσική τότε το reverberation time (χρόνος αντήχησης) θα πρέπει να είναι μικρός για τις ψηλότερες συχνότητες και μεγάλος για τις χαμηλές συχνότητες. Είναι η αύξηση της ακουστικής ισχύς (πλήρη ακουστότητα) του χαμηλού και ψηλού τόνου σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες.<sup>100</sup>
- vi. **Ζωντάνια (Liveness)**:<sup>101</sup> Σε αντίθεση με την ζωντάνια όπου οι μεσαίες και ψηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερη ακουστική ισχύ από τις χαμηλότερες συχνότητες. Όταν αυτό αφορά ένα μουσικό σύνολο η ζωντάνια προέρχεται από τις δυναμικές του συνόλου. Έτσι στην περίπτωση αυτή για να υπάρξει οικειότητα και ζωντάνια θα πρέπει η καθυστέρηση της ανάκλασης να είναι μικρότερη των 25 ms.
- vii. **Λαμπρότητα (Brilliance)**:<sup>102</sup> Είναι η ιδιότητα εκείνη της αίθουσας (εξαιτίας κατασκευής και εμβαδού) που δίνει τη δυνατότητα στον ακροατή να ακούει καθαρό ήχο με τις αρμονικές του στις υψηλές συχνότητες.
- viii. **Ισοστάθμιση και μίξη (Balance and Blend)**:<sup>103</sup> Ορίζει τη διάταξη των μουσικών

---

σελ 27 και Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 192.

<sup>100</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 190 και Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 27.

<sup>101</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 27.

<sup>102</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 27

<sup>103</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 27 και Σκαρλάτος, Δ. (2008). *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. σελ

οργάνων της ορχήστρας και τη μίξη (πρόσθεση πολλών οργάνων και φωνών) τους. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψιν και το είδος της μουσικής αλλά και η ακουστική της αίθουσας.

- ix. **Σύνολο (Ensemble)**:<sup>104</sup> Είναι ουσιαστικά η ομοιομορφία του ήχου που παράγουν τα όργανα των μουσικών και το υπόλοιπο σύνολο στην εκτέλεση ενός μουσικού έργου. Καθορίζεται από το σχήμα του χώρου, τους ανακλαστήρες της οροφής και τις πλευρικές επιφάνειες.

## II. ΘΟΡΥΒΟΣ

*Όπου κι αν βρισκόμαστε, αυτό που ακούμε είναι κυρίως θόρυβος. Αν τον αγνοήσουμε, μας ενοχλεί. Αν τον ακούσουμε, γίνεται συναρπαστικός.*

*John Cage, 1912-1992,*

*(Αμερικανός συνθέτης & μουσικολόγος)*

Ο θόρυβος είναι ένα υποκειμενικό στοιχείο για όλους μας. Θόρυβος μπορεί να θεωρηθεί μια πολύ όμορφη ερμηνεία τραγουδιού (υποκειμενικό κριτήριο) από μια τραγουδίστρια της όπερας ή ακόμα και μια εξαιρετική σύνθεση κλασσικής μουσικής ιδιαίτερα όταν παιχτούν στις ώρες κοινής ησυχίας παραδείγματος χάριν στις 3 η ώρα το πρωί.<sup>105</sup> Όσον αφορά αυτή καθαυτή την έννοια του θορύβου σε γενική ορολογία, αντικειμενικά θα μπορούσε να θεωρηθεί η εξής: Η μη αναμενόμενη σύνθεση ηχητικών κυμάτων που διαμορφώνεται σε ένα περιβάλλον και δημιουργεί προβλήματα βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα στην ακοή, στην επικοινωνία, στην ομιλία και στη φυσιολογική λειτουργία όλων των ζωντανών οργανισμών. Στον πίνακα που ακολουθεί οι τιμές είναι ενδεικτικές ξεκινώντας από τον λευκό θόρυβο τιμή 0 (σχετική) σε dB, μέχρι και τον πιο επώδυνο θόρυβο από την έκθεση της ανθρώπινης ακοής στην εκτόξευση ενός πυράυλου. Ωστόσο στον πίνακα διακρίνεται η διαφορά ηχητικής

---

191.

<sup>104</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 190. και Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 27.

<sup>105</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ121-122.

έντασης σε διάφορες μη αναμενόμενες πηγές θορύβου:

Κοινοί ήχοι	Ηχητική στάθμη σε dB	Ισχύς του ήχου
Ο πιο ασθενής ήχος που μπορεί να ακουστεί	0	1
Θρόισμα φύλλων	20	100
Ήσυχος στίπι	40	10.000
Θορυβώδες κατάστημα	60	1.000.000
Κινητήρας αυτοκινήτου μεγάλης ισχύος	80	100.000.000
Κεραυνός κοντά	100	10.000.000.000
Επώδυνος ήχος	120	1.000.000.000.000

Σχ.3.1: Διαφορά ηχητικής έντασης σε μη αναμενόμενες πηγές θορύβου.

#### A. ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΟ STUDIO

Ο θόρυβος είναι ένα φαινόμενο το οποίο είναι τελείως υποκειμενικό όταν αναφορά τον ανθρώπινο παράγοντα και τις φυσιολογικές και φυσικές λειτουργίες του. Εκπέμπεται σε ένα περιβάλλον κλειστού ακουστικού δωματίου (studio) από μηχανήματα, διαφράγματα, από τον ίδιο τον αέρα, από ανθρώπους που βρίσκονται σε διπλανούς χώρους ή ακόμα και σε διαδρόμους, όπως επίσης και η φασαρία που προέρχεται από τους δρόμους. Πολλές φορές όμως η δημιουργία θορύβου γίνεται από εσωτερικές πηγές. Συγκεκριμένα από τρεις διαφορετικές διακρίσεις: αερόφερτος, στερεόφερτος αλλά και κτυπογενής<sup>106</sup>. Η μεταφορά των ηχητικών κυμάτων από αέρα έχει μεγαλύτερη απόσβεση από την μεταφορά ηχητικών κυμάτων από στερεά σώματα λόγω της συνοχής των μορίων τους. Αυτή η μετάδοση μπορεί να γίνει μέσα στον εσωτερικό χώρο του ακουστικού δωματίου είτε μέσω των τοιχωμάτων (να περάσει δηλαδή μέσα από τα στερεά σώματα-τοίχος), με διέγερση των κοντινών στερεών-τοιχών (ταλάντωση των μορίων του στερεού) αλλά και με την μεταφορά των ηχητικών κυμάτων από διάφορες σχισμές και οπές, όπου υπάρχουν πάνω στα ηχοαπορροφητικά υλικά τα οποία είναι τοποθετημένα σε άρτια απόσταση μπροστά από τα στερεά υλικά. Μπαίνοντας στην διαδικασία να εξετάσουμε από πού μπορεί να προέρχεται ο θόρυβος μέσα σε ένα στούντιο (studio) θα αντιληφθούμε ότι οι βασικές αιτίες άφησης ή ενδεχομένως και δημιουργίας θορύβου είναι αυτοί οι τρόποι. Ξεκινώντας από τον αέρα μπορούμε να πούμε ότι ο αέρας σε απόλυτη θερμοκρασία μεταφέρει τα ηχητικά κύματα 340m/sec

<sup>106</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 275-276.

επομένως και τον θόρυβο. Ο χώρος ενός ακουστικού δωματίου (studio), αποτελείται από πόρτες, παράθυρα, πρίζες και άλλα μέσα και υλικά που βοηθούν την εξομάλυνση και φέρουν εις πέρας τη διαδικασία της ηχογράφησης και της εύρυθμης λειτουργίας του χώρου. Τέσσερις είναι οι περιπτώσεις που μπορούν να μονωθούν για την απορρόφηση αλλά και τη μεταφορά του θορύβου οι οποίες είναι: i) η περίπτωση του αέρα ii) η περίπτωση της μεταφοράς και δημιουργίας θορύβου από κατασκευές<sup>107</sup> και iii) η μεταφορά θορύβου από διαφράγματα και iv) η μεταφορά θορύβου από ανεμιστήρες, [HVAC- {heating, ventilation, air conditioning}-(θέρμανση, εξαερισμός, κλιματισμός)].<sup>108</sup>

- i. Μεταφορά θορύβου από αέρα:<sup>109</sup> Σε περίπτωση όμως που το προστατευτικό πλαστικό μιας πρίζας χαλάσει, μπορεί να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα από την υγρασία, έτσι αυτό που πλήγεται άμεσα είναι η μόνωση της συσκευής, που θα τοποθετηθεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία θορύβου (λόγω αλλαγής της τάσης του ρεύματος) όπου ουσιαστικά θα «περνάει» στον χώρο και ενδεχομένως στην ηχογράφηση. Η περίπτωση της χαραμάδας κάτω από την πόρτα αλλά και η περίπτωση ενός παλαιού παραθύρου είναι δυο από τα εκατοντάδες προβλήματα που μπορούν να δημιουργήσουν εισροή θορύβου από εξωτερικούς παράγοντες φασαρία εξωτερικού διαδρόμου, ομιλίες μουσικών και άλλα. Μια ρωγμή επίσης διαμέτρου 3cm δημιουργεί αμέσως μία ασυνέχεια του στέρεου υλικού όπου πολύ εύκολα μπορούν να περάσουν ηχητικά κύματα. Όλα αυτά τα προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν έμεσσα από τον αέρα. Έτσι στην περίπτωση αυτή η λύση βρίσκεται στην αεροστεγανοποίηση του χώρου.
- ii. Μεταφορά θορύβου από κατασκευές<sup>110</sup>: Η περίπτωση της κατασκευής του χώρου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διαδικασία της ηχογράφησης σε ένα στούντιο. Είναι ουσιαστικά ο θεμέλιος λίθος για την δημιουργία ενός ηχοπροστατευμένου χώρου. Σημαντικές συσκευές θέρμανσης-ψύξης (για την δημιουργία ιδανικής

<sup>107</sup>R.E, Jones., *How to design Walls of Desired STC Ratings*, Sound and Vibration, 1978

<sup>108</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Λ. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003.σελ 163 και 361-363.

<sup>109</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Λ. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003.163

<sup>110</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Λ. Γαβριηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003.σελ 163

θερμοκρασίας), υλικά όπως καρέκλες, τραπέζια, αναλόγια και υποπόδια διαφόρων αναλογιών και υλικών είναι κάποια από τα δεδομένα που θα δημιουργήσουν μικρές πλην σημαντικές ηχορυπάνσεις όπου μπορεί να είναι κάτω από το κατώφλι ακοής του ανθρώπινου παράγοντα αλλά στα μέσα ηχογράφησης θα καταγραφούν ως μικρός θόρυβος. Για την αντιμετώπιση των ανεπαίσθητων προβληματισμών θα πρέπει να τοποθετηθούν χαλιά και απορροφητές ήχου (καπάκια) στα πόδια της καρέκλας και των υποποδίων όπως επίσης και στα γραφεία. Όσο αναφορά τις κατασκευές αυτές καθαυτές στην δημιουργία θορύβου είναι πολύ δύσκολο να υπάρξει μεταβολή υλικού (στερεού) από ηχητικά κύματα (λόγω της πυκνότητάς του). Στην προκειμένη περίπτωση ο μελετητής του στούντιο, για την καλύτερη ηχομόνωση πρέπει να δώσει βάση στην διάχυση των ηχητικών κυμάτων όπως επίσης στην απορρόφηση και στις ανακλάσεις. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων σε διάφορα μέσα διάδοσης:

Μέσο διάδοσης	Ταχύτητα (m/sec)	Μήκος κύματος στο 1kHz (m)
Κενό	0	-
Αέρας (21°C)	344,42	0,34
Νερό, πόσιμο	1.480	1,48
Πάγος	3.240	3,24
Μάρμαρο	3.800	3,8
Ανθρώπινο σώμα	1.558	1,56
Ατσάλι	5.050	5,05
Αλουμίνιο	4.850-5.200	4,85-5,2
Τούβλο	4.200	4,2
Ξύλο	3.350-3.950	3,35
Γυαλί	3.950-6.000	3,95-6
Μόλυβδος	1.150	1,15
Φελλός	360-520	0,36-0,52
Σκυρόδεμα	3.400	3,4
Λάστιχο	40-150	0,04-0,15
Χαλκός	3.900	3,9
Γυψοσανίδα	6.800	6,8

<sup>111</sup> Σχ.3.2: Συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων σε διάφορα μέσα διάδοσης.

- iii. Μεταφορά θορύβου από διαφράγματα:<sup>112</sup> Η μετάδοση του θορύβου ή ακόμα και των ηχητικών κυμάτων μεταφερόμενη από τον αέρα μπορεί να δημιουργήσει την

<sup>111</sup> Τζαμαλούκας, Γ. Χ. Περιοδικό Hi-tech. *Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround*. 2001.σελ 8.

<sup>112</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Λ. Γαβρηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 163.

ταλάντωση στερεών υλικών και στην συγκεκριμένη περίπτωση την ταλάντωση των μορίων ενός τοίχου. Όταν έχουν τοποθετηθεί διαφράγματα ως απορροφητές αλλά και διάφορα υλικά υαλονήματος αλλά και υλικά απορρόφησης ήχου τότε είναι μεγάλος ο κίνδυνος κάποια από τα ηχητικά κύματα να περάσουν τα συγκεκριμένα υλικά. Με αποτέλεσμα να δημιουργήσουν μια αλληλουχία ταλαντώσεων και αντιδράσεων των στερεών υλικών που βρίσκονται πίσω από αυτά. Έτσι ο θόρυβος που θα ταξιδέψει μέσα στο στούντιο από τον αέρα θα είναι μια ακόμα από τις μεταβλητές που θα πρέπει να ελέγξει ένας μελετητής μέσα στον χώρο αυτόν.

- iv. Μεταφορά θορύβου από ανεμιστήρες:<sup>113</sup> (HVAC-heating, ventilation, air conditioning): Ο κλιματισμός, η θέρμανση αλλά και τα συστήματα εξαερισμού σένα κλειστό χώρο είναι κάποιες από τις απαραίτητες λειτουργίες για την εύρυθμη λειτουργία μέσα σ' αυτόν. Ειδικότερα όταν υπάρχει συγκέντρωση πολλών μουσικών και ατόμων γενικότερα. Υπάρχουν δύο ειδών ανεμιστήρες οι φυγοκεντρικοί και οι ανεμιστήρες με φυσητήρες πίεσης. Οι ανεμιστήρες φυγοκεντρικού τύπου με αεροτομή είναι πιο αθόρυβοι από άλλους ανεμιστήρες. Τα δεδομένα που πρέπει να εκλάβει υπόψιν κάποιος είναι το ύψος τοποθέτησης στον χώρο, ο αριθμός των φύλλων του ανεμιστήρα αλλά και η στροφές ανά δευτερόλεπτο. Η απόσταση παίζει ρόλο γιατί όσο πιο μακριά είναι από το πάτωμα (ύψος ταβανιού) τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απόσβεση των ηχητικών κυμάτων μέχρι την επαφή με τα στερεά υλικά του πατώματος για να έχουμε αντανάκλαση του θορύβου. Όσο αναφορά την πληθώρα φύλλων του ανεμιστήρα και τις στροφές ανά δευτερόλεπτο τότε μιλάμε για ποσά αντιστρόφως ανάλογα και αυτό γιατί όσο λιγότερα φύλλα και περισσότερες στροφές τόσο μεγαλύτερη η εκροή αέρα από το συγκεκριμένο μηχάνημα άρα και ο θόρυβος. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο λιγότερες είναι οι στροφές με αναλογία πολλών φύλλων τότε το αποτέλεσμα είναι λιγότερος θόρυβος. Αυτό βέβαια ισχύει πάντα και αυτό γιατί η παραγωγή θορύβου δημιουργείται από τις στροφές ανά δευτερόλεπτο. Για να εξεταστεί ο θόρυβος των ανεμιστήρων θα πρέπει να πάρουμε την εξίσωση:

$$(στροφές \text{ ανά δευτερόλεπτο}) \times (\text{πλήθος πτερυγίων})$$

---

<sup>113</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 423-426.

Ο πιο βασικός παράγοντας για την παραγωγή θορύβου είναι ο ίδιος κατασκευαστής και η ίδια εταιρία παραγωγής ανεμιστήρων. Κάθε ανεμιστήρας λειτουργεί με συγκεκριμένη συχνότητα<sup>114</sup>, οπότε είναι και διαφορετική η προσέγγιση του θορύβου όσο αναφορά τον μελετητή. Για την καλύτερη τοποθέτηση των ανεμιστήρων με αεροτομή και πτερύγια αλλά και γενικότερα την καλύτερη τοποθέτηση των μηχανημάτων ψύξης, θέρμανσης αλλά και κλιματισμού πρέπει ο μηχανικός να συμβουλευτεί εγχειρίδια της ASHRAE<sup>115</sup> (εταιρία Ψύξης, Θέρμανσης και Κλιματισμού). Εταιρία η οποία έχει την δυναμική σύμφωνα με τις μελέτες της να πετυχαίνει όσο είναι δυνατόν στάθμη θορύβου κατάλληλη για τις λειτουργίες του χώρου. Έλεγχος θορύβου για εσωτερικούς κλιματισμούς, μόνωση και έλεγχο ταλαντώσεων και ανίχνευση βλαβών σε προβλήματα θορύβου και ταλαντώσεων. Πρόκειται για εταιρία η οποία εξετάζει καθαρά τους κλιματισμούς πάσης φύσεως.

### III. ΑΘΟΥΡΥΒΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΣΤΟ ΣΤΟΥΝΤΙΟ, ΑΡΤΙΑ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

#### *ΑΘΟΥΡΥΒΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΣΤΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΔΩΜΑΤΙΟ (STUDIO)<sup>116</sup>*

Για να υπάρξει η δυνατότητα απόλυτης (άνευ θορύβου) εγγραφής αλλά και ακρόασης μελωδιών και μουσικών σχημάτων πρέπει ο μηχανικός-μελετητής να δημιουργήσει στον χώρο του ακουστικού δωματίου συνθήκες αθόρυβου περιβάλλοντος. Ουσιαστικά για την ομαλή διεξαγωγή των διεργασιών πρέπει να υπάρχει εκμηδένιση (σχετικό-υποκειμενικό ποσό) θορύβου και γενικότερα των ηχητικών κυμάτων που προέρχονται από τις διάφορες πηγές. Οι πηγές εκπομπής ηχητικών κυμάτων σε μεγέθη ηχηρότητας θορύβου μπορεί να είναι εξωτερικές αλλά και εσωτερικές.

- ✓ Εξωτερικές πηγές θορύβου όπως: βροντές, ένα αεροπλάνο που περνάει, αυτοκίνητα που κορνάρουν, εξωτερικά μηχανήματα που έχουν τοποθετηθεί για τον κλιματισμό της συγκεκριμένης αίθουσας όπως και πολλές φορές γανγίσματα σκύλων.

---

<sup>114</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

<sup>115</sup> Anon., *Sound and Vibration Control*, ASHRAE Handbook, 1984, κεφάλαιο 32 Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβρηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 372

<sup>116</sup> Everest, F. Alton. (1982). *Εγχειρίδιο ακουστικής*. Μτφ. Α. Γαβρηλίδης. (3<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003. σελ 358-360.

- ✓ Εσωτερικές πηγές όπως: Συστήματα εξαερισμού, συστήματα κλιματισμού, ένας θόρυβος που θα προέλθει από το σύρσιμο μιας καρέκλας, θόρυβοι που θα προέλθουν από την λειτουργία των ίδιων των μηχανημάτων ηχογράφησης, από την εγκατάσταση μικροφωνικής στον χώρο αλλά και από τα ίδια τα στηρίγματα των μικροφώνων<sup>117</sup>.

Έτσι η δημιουργία ενός χώρου όπου ουσιαστικά θα επικρατεί μέσα ένα περιβάλλον «απόλυτης ηχητικής ηρεμίας» θα δημιουργήσει και τις κατάλληλες συνθήκες ηχογράφησης μέσα σ' αυτόν. Το μυστικό της δημιουργίας τέτοιου χώρου αλλά και της δημιουργίας αθόρυβου περιβάλλοντος βρίσκεται στην προσεγμένη κατασκευή αυτού καθαυτού χώρου. Στα προηγούμενα υποκεφάλαια αναφέρθηκαν και εξηγήθηκαν λεπτομερώς τόσο οι πηγές θορύβου στο ακουστικό δωμάτιο (studio), όσο και τα υλικά και τοιχώματα ηχομόνωσης. Επίσης αναλύθηκαν οι τρόποι δημιουργίας θορύβου όπως και οι πηγές θορύβου γενικότερα. Έτσι για να δημιουργηθεί περιβάλλον ηχομείωσης θορύβου αλλά και ηχομόνωσης πρέπει ο μηχανικός-μελετητής να τοποθετήσει ηχομονωτικά τοιχώματα. Το ακουστικό δωμάτιο πρέπει όσο είναι δυνατόν να τοποθετηθεί σε μέρος το οποίο δεν θα επικοινωνεί με άλλες αίθουσες μεγάλης οχλαγωγίας. Όπως είναι αίθουσες διαλέξεων, αλλά και χώροι πρόβας με τα όργανα. Η τοποθέτηση του ακουστικού δωματίου ή και χώρου γενικότερα πρέπει να γίνεται με απόλυτη ακρίβεια και όσο το δυνατόν μακριά από εξωτερικές πηγές θορύβου. Τα τοιχώματα πρέπει να είναι από υλικό συμπαγές και ανακλαστικό από έξω. Ενώ από μέσα το υλικό του τοίχου πρέπει να είναι απορροφητικό. Παίρνοντας ως σταθερές μεταβλητές αυτά τα στοιχεία, για την άρτια δόμηση ακουστικού δωματίου προβαίνουμε στο συμπέρασμα ότι:

- ❖ *Η μελέτη και σωστή δόμηση του χώρου ενός κλειστού ακουστικού δωματίου δίνει την δυνατότητα καλύτερης διάχυσης των ηχητικών κυμάτων μέσα σε αυτόν.*
- ❖ *Η διαφορετικότητα ηχομονωτικών υλικών αλλά και τοιχωμάτων χρησιμοποιείται σε μοναδικές συνθήκες θορύβου κάθε φορά.*

---

<sup>117</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

- ❖ *Η εξέταση του χώρου είναι αναγκαία για την τοποθέτηση των εν λόγω ηχομονωτικών υλικών.*
- ❖ *Η εξέταση τόσο των εξωτερικών όσο και των εσωτερικών πηγών θορύβου είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός αθόρυβου περιβάλλοντος.*
- ❖ *Η δημιουργία κλιματισμού στον κλειστό ακουστικό χώρο πρέπει να γίνεται με βάση τη μελέτη του εγχειριδίου της εταιρίας ASHRAE (εταιρία Ψύξης, Θέρμανσης και Κλιματισμού) της Αμερικής.*

#### IV. ΑΡΤΙΑ ΔΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

Οι χώροι των δωματίων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μελέτης τους: σε μικρούς, μεγάλους και πολύ μεγάλους. Πιο συγκεκριμένα ένας χώρος θεωρείται μεγάλος όταν το μήκος κύματος της συχνότητας που μας ενδιαφέρει είναι μικρότερο τουλάχιστον κατά δυο φορές, μέσα στην μικρότερη διάσταση του. Οι κλειστοί χώροι εξετάζονται με τρεις τρόπους μελέτης: την γεωμετρική, την ακουστική και την στατιστική μελέτη<sup>118</sup>. Για να μπορέσει ο μηχανικός-μελετητής να εξετάσει έναν χώρο και συγκεκριμένα την κατεύθυνση και την όλη συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων, θα πρέπει να μελετήσει πρώτα την κυματική ακουστική, έπειτα την γεωμετρική και τέλος την στατιστική ακουστική. Πρόκειται για επιπλέον προσεγγίσεις-μελέτες της επιστήμης της ακουστικής, η οποία δίνει την δυνατότητα στον μηχανικό-μελετητή να εστιάσει στην συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων μέσα στον κλειστό χώρο του ακουστικού δωματίου. Και συγκεκριμένα όταν μιλάμε για την γεωμετρική ακουστική τότε, γίνεται αντικατάσταση των ηχητικών κυμάτων με νοητές γραμμές κάθετες προς το μέτωπο κύματος, οι οποίες μεταδίδονται ανάλογα μέσα στον χώρο με τις δέσμες φωτός του ήλιου.<sup>119</sup>

##### A. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

Η γεωμετρική ακουστική αφορά τους μεγάλους κλειστούς χώρους και οι υπολογισμοί γίνονται με τους τύπους της γεωμετρικής οπτικής<sup>120</sup>. Έτσι δίνει την δυνατότητα στον

<sup>118</sup>Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 154.

<sup>119</sup>Τσινίκας, Ν. (1990). *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. σελ 14

<sup>120</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 154

μελετητή να αντιληφθεί την συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων, που προσπίπτουν, που απορροφούνται και που ανακλώνται με απλά σχεδιαγράμματα. Ορίζεται γενικά με πέντε γενικά στοιχεία, τρία προσδιοριστικά και πέντε πιθανοτήτων. Γενικότερα η γεωμετρική ακουστική μας δείχνει σε τι μεταδίδεται η ηχητική ενέργεια (με ακτίνες, στην ταχύτητα του ήχου), πώς γίνεται ο προσδιορισμός της συχνότητας του ήχου (απο το ηχητικό φάσμα<sup>121</sup> της πηγής), οι ηχητικές ακτίνες που ανακλώνται (σε λείες και σε ανώμαλες ανακλαστικές επιφάνειες), στην μελέτη για να καταλήξει κάποιος σένα αποτέλεσμα προστίθενται οι ηχητικές εντάσεις και όχι οι ηχητικές πιέσεις (λόγω ατμόσφαιρας υγρής, θερμής και άλλων συνθηκών) και τέλος η φάση και η παρεμβολή ηχητικών κυμάτων δεν λαμβάνεται υπόψιν διότι α) μελετάται μοναδικό-ή πληθώρα ηχητικών κυμάτων συγκεκριμένης συχνότητας και έντασης κάθε φορά και β) η φάση και η παρεμβολή εμποδίζει τη μέτρηση λόγω πρόσμιξης ηχητικών κυμάτων με διαφορετική ένταση και φάσμα.

i. Τα προσδιοριστικά στοιχεία της είναι:

a) *Η κατανομή των ειδώλων προσδιορίζεται απο την θέση της ηχητικής πηγής.*

b) *Η συμπεριφορά των ειδώλων προσδιορίζεται απο τα ηχοαπορροφητικά χαρακτηριστικά των ίδιων των επιφανειών του κλειστού χώρου που αντιδρούν ξεχωριστά σε κάθε ηχητικό κύμα.*

c) *Για τις πρώτες ανακλάσεις παλμικού ήχου είναι απαραίτητη η χρήση κομπιούτερ και συγκεκριμένου προγράμματος Catt acoustics, όπου δίνει ένα ηχόγραμμα το οποίο με την σειρά του έχει δοθεί απο τις θέσεις και την ισχύ των ειδώλων.*

ii. Όσον αφορά τα αποτελέσματα και τις εφαρμογές της γεωμετρική ακουστικής:

a) *Ορισμοί απο διατυπώσεις επιφανών επιστημών για τον χρόνο αντήχησης απο τους Sabine, Eyring, Knudsen.*

b) *Διατυπώσεις για το τετράγωνο της πίεσης σε διαφορετικά πεδία όπως άμεσα και αντηχητικά.*

c) *Υπολογισμός και είσοδος της αντηχητικής ακτίνας και των δεδομένων μελέτης αντίστοιχα.*

Τα πλεονεκτήματα της γεωμετρικής ακουστικής είναι πολύ σημαντικά και αυτό διότι στην πληθώρα των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης μεθόδου, οι μεταβλητές που

---

<sup>121</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

χρησιμοποιούμε για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι απλές. Απλές γεωμετρικές μέθοδοι, αλλά και συσχετισμοί παραμέτρων ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους, αλλά και διατυπώσεις ποσοτικών εκτιμήσεων με μοντέλα επιστημών πχ όπως ο Eyring. Παρόλα αυτά η γεωμετρική μέθοδος δεν είναι η απόλυτη μέθοδος για τον υπολογισμό των μεταβλητών του κλειστού χώρου. Τα μειονεκτήματα και τα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίσει ο μελετητής στην γεωμετρική ακουστική είναι: απλουστευμένα μοντέλα συμπεριφοράς στον υπολογισμό του χώρου, λάθη στον υπολογισμό της αντήχησης των ηχητικών κυμάτων (όταν αναφερόμαστε περισσότερο στους ημιανηχοικούς χώρους), αλλά και λάθος επιλογή παραμέτρων στα ηχητικά κύματα. Τέλος η γεωμετρική ακουστική δεν μπορεί να υπολογίσει τις διακυμάνσεις αντήχησης σε χρονικό περιθώριο, την εκθετική πτώση μιας ηχητικής ενέργειας, όπως και μιας παλμικής, την σταθερή κατάσταση της ομοιομορφίας της ηχητικής πίεσης, τον χρωματισμό του ήχου, τον προσδιορισμό της γωνίας και των μοιρών που είναι γυρισμένα τα ηχοαπορροφητικά υλικά μέσα στον χώρο.

## *B. ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ*

Η κυματική ακουστική μελετά τους μικρούς χώρους και συγκεκριμένα τα κυματικά φαινόμενα της συμβολής. Όπως και στην γεωμετρική ακουστική έτσι και στην κυματική ακουστική για την εύρεση αποτελεσμάτων πρέπει να λυθούν συγκεκριμένες εξισώσεις με συγκεκριμένες μεταβλητές. Οι μεταβλητές είναι τα όρια, οι επιφάνειες και οι αρχικές συνθήκες χρόνου. Υπάρχουν συγκεκριμένα προσδιοριστικά στοιχεία όπου βοηθούν στην επίλυση των εξισώσεων και στα αποτελέσματα των μετρήσεων σε κάθε χώρο αντίστοιχα σε συχνότητες και σε κόμβους (κατηγοριοποίηση κόμβων), διάφοροι παράμετροι που βοηθάνε στη δημιουργία κόμβων, ενέργεια κόμβων και παράμετροι απόσβεσης κόμβων<sup>122</sup>. Η κυματική ακουστική είναι απλή ως μέθοδος και τα αποτελέσματά της ύστερα από υπολογισμούς βοηθάνε στα εξής:

- i. Ελάχιστες απλές ποσοτικές τυποποιήσεις.*
- ii. Σημαντικότερες ή φαινομενολογικές περιγραφές.*
- iii. Βέλτιστο σχήμα χώρων με σκοπό τη καλύτερη διάδοση των ηχητικών κυμάτων και την αποφυγή απρόσμενων συμπεριφορών μέσα σε αυτούς.*

---

<sup>122</sup> Βλ. Γλωσσάρι.

- iv. Στατιστικά στοιχεία που δείχνουν την αλλαγή της πίεσης και της απόκρισης της συχνότητας σε σχέση με το εύρος της ζώνης και τον χρόνο αντήχησης των ηχητικών κυμάτων στο χώρο.
- v. Προσδιορισμός του διάχυτου αντηχητικού πεδίου.
- vi. Κριτήρια δημιουργίας των κόμβων (τυχαίων) και διασπορά του ελεύθερου πεδίου
- vii. Οδηγός για την αποφυγή λαθών
- viii. Ορίζει τα ιδανικά μεγέθη θαλάμων αντήχησης για την μέτρηση των ηχητικών κυμάτων και της ηχητικής ισχύος
- ix. Δίνει τα ψηφιακά δεδομένα για την μελέτη τόνου σε δωμάτια.

Όσον αφορά τη στατιστική ακουστική, αυτή αναφέρεται σε πολύ μεγάλους χώρους (όπως είναι αίθουσες συναυλιών και αμφιθέατρα). Αυτό συμβαίνει γιατί η μεγάλη έκταση του χώρου είναι τέτοια ώστε τα ηχητικά κύματα να περιπλέκονται και να μην μπορεί ο μελετητής-μηχανικός να απομονώσει το ηχητικό κύμα που θέλει, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιεί τη μέθοδο της στατιστικής για να βγάλει συμπεράσματα.<sup>123</sup>

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

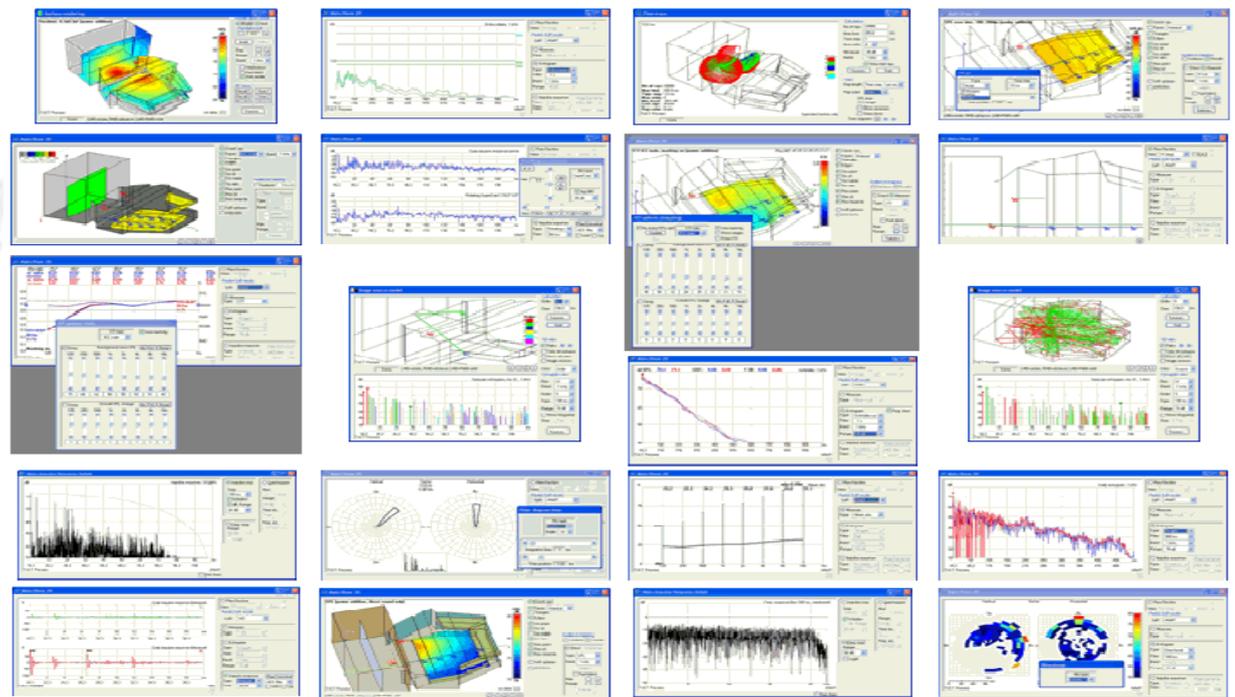
##### ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ (STUDIO) ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

###### I. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CATT ACOUSTIC™ V<sub>8</sub> ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ TUCT™

Το Catt acoustics είναι ένα πρόγραμμα Η/Υ το οποίο αφορά την ακριβή μελέτη ακουστότητας και ακουστικής ενός χώρου. Δημιουργήθηκε το 1988 για να βοηθήσει στην κατασκευή στούντιο ηχογραφήσεων . Έχει μοιράσει αντίτυπα σε πολλές χώρες όπως και στην Ελλάδα και η τελευταία έκδοση που έχει δημιουργηθεί είναι η 9<sup>η</sup> στην σειρά. Οι αναλύσεις γίνονται μέσω ενός πρόσθετου συστήματος του TUCT™ το οποίο δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του Catt. Στις παρακάτω εικόνες δίνονται δείγματα

<sup>123</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 154.

τυχαίας δειγματοληψίας για τη συμπεριφορά του επιπρόσθετου προγράμματος για τη μελέτη ακουστότητας έτσι ώστε να υπάρξει πλήρης κατανόηση της εν μέρει λειτουργίας του TUCT<sup>TM</sup>. Η έκδοση του Catt acoustics που χρησιμοποιήθηκε στην εν λόγω εργασία είναι η 8<sup>η</sup>. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πρόγραμμα το οποίο για να λειτουργήσει στις δυνατότητες του 100% πρέπει να έχει σχεδιαστεί και ο χώρος που πρόκειται να μελετηθεί. Αυτό γίνεται με διάφορα προγράμματα αρχιτεκτονικής χώρου. Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήσα το πρόγραμμα sketch up 2013 του Alejandro Soriano. Το Catt acoustics (εφόσον έχει σχεδιαστεί ο χώρος) εκπέμπει ηχοβολισμό μέσα σε αυτόν. Για να μπορέσει ο μελετητής να εξετάσει τα καταλληλότερα σημεία μέσα στον εν λόγω χώρο πρέπει να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη διαδικασία η οποία δίδεται στο προσεχές κεφάλαιο.



## I. TUCT ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Το TUCT δημιουργήθηκε για την Cone Tracer και προβλέπει ηχογράμματα με διαφορετικούς αλγορίθμους ανάλογα πάντα με την περίπτωση του δωματίου( αίθουσα συναυλιών, στούντιο, αμφιθέατρο) απο απλές μετρήσεις μέχρι προηγμένες. Ωστόσο είναι ένας καλός τρόπος για να υπολογιστούν υποθέσεις ακουστότητας<sup>124</sup> σε υπαίθριο

<sup>124</sup> Στους ανοιχτούς χώρους όπου δεν υπάρχουν δέντρα ή κτίσματα για την σύγκρουση των ηχητικών κυμάτων χρησιμοποιούμε το συγκεκριμένο πρόγραμμα για να υπολογιστεί υποθετικά, πώς θα ήταν αν τοποθετούσαμε ένα κτίσμα σε συγκεκριμένο εμβαδόν.

χώρο ειδικότερα όταν αυτές οι περιπτώσεις αφορούν υποθέσεις ηχούς . Επίσης υπολογίζεται η ακουστότητα σε μεγάλους εσωτερικούς χώρους με αναλογία υψηλής απορρόφησης, πάντα με την χρήση αλγορίθμων σε συνδυασμούς διαφόρων επιπέδων και διασπάσεων ακτινών, για τον καλύτερο υπολογισμό σε πραγματικά και ακριβή μεγέθη. Τα σχήματα που δημιουργούνται είναι είτε τρισδιάστατα, είτε δισδιάστατα.

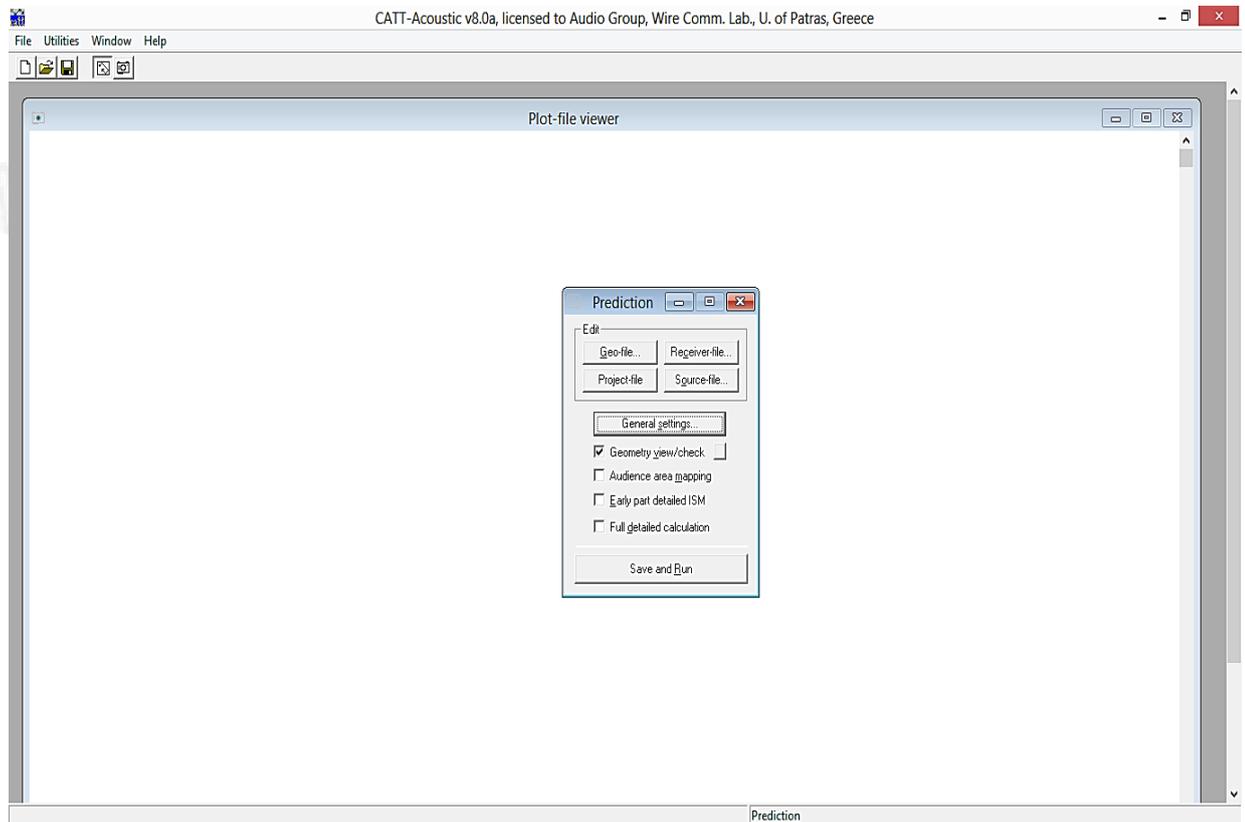
## *II. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ*

### *ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ.....*

Το στούντιο λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής θεωρήθηκε ως χώρος, στο ήδη υπάρχον κτίριο του τμήματος φυτικής και αρχιτεκτονικής τοπίου και η κατασκευή έγινε από το ΤΕΙ Ηπείρου. Λόγω κακών συνθηκών αλλά και συντήρησης, το ταβάνι του συγκεκριμένου χώρου υπέστη ζημιά με αποτέλεσμα να χρειαστεί η επανατοποθέτησή του. Ωστόσο ούτε η ηχομόνωση ούτε η συνδεσμολογία του χώρου δεν ολοκληρώθηκε ποτέ. Το studio της σχολής λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής χρησιμοποιείται για διάφορες καλλιτεχνικές και εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες που εξελίσσονται σε αυτόν τον χώρο είναι πολλαπλές και διαφορετικές τόσο στο είδος τους όσο και στις απαιτήσεις τους. Εξαιτίας αυτών των δεδομένων θεωρούμε ότι είναι αναγκαίο για την καλύτερη διεξαγωγή των καλλιτεχνικών και μη δραστηριοτήτων να διεξαχθεί ακουστική μελέτη στον χώρο αυτόν. Τα προβλήματα και τα σφάλματα που συναντάμε σε αυτήν την αίθουσα (όσο αναφορά τα ηχητικά κύματα των οργάνων και της φωνής) μπορούν να περιοριστούν. Κατά την διεξαγωγή της ακουστικής μελέτης αυτού του χώρου, το πρώτο βήμα είναι η συλλογή αρχιτεκτονικών στοιχείων σχετικών με τις διαστάσεις του χώρου αλλά και η συλλογή πληροφοριών των υλικών που είναι κατασκευασμένος. Το studio, που στεγάζεται στο κτίριο του τμήματος ανθοκομίας και αρχιτεκτονικής τοπίου αποτελείται από: ένα δωμάτιο με διαστάσεις μήκους: 9,850m, πλάτους: 10,099m και ύψους: 3,494m περίπου σε σχήμα τετραγώνου. Επιπρόσθετα μέσα στον ήδη υπάρχοντα χώρο υπάρχει ένα δωμάτιο (rec room) μήκους: 4,982m, επιπρόσθετο διαγώνιο τοίχο μήκους: 2,080m, πλάτους: 2,612m και ύψους περί τα 3,494m. Το δωμάτιο που μελετάται είναι κατασκευασμένο από τούβλα και τσιμέντο, με τζάμια διπλά (θερμομονωτικά, τύπου Copland), όπως επίσης και δύο εσωτερικά παράθυρα στο δωματίου ηχογράφησης. Το εσωτερικό δωμάτιο πέρα από τα παράθυρά του αποτελείται από γυψοσανίδα και πόρτα ξύλινη. Η καταγραφή των εν λόγω υλικών έγινε, για την ολοκλήρωση της μελέτης.

### III. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ CATT ACOUSTICS V8

Η μελέτη του χώρου και των διαστάσεων έγινε απο την καταγραφή των αρχιτεκτονικών σχεδίων του χώρου του Studio. Ωστόσο κάποια απο τα στοιχεία είναι απλοποιημένα όπου σύμφωνα με την βιβλιογραφία δεν αλλοιώνουν τα τελικά αποτελέσματα της μελέτης. Η μελέτη ηχοβολισμού και υπολογισμού των ηχητικών κυμάτων και της συμπεριφοράς των εν λόγω κυμάτων έγινε με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Catt acoustic<sup>TM</sup> Copyright 1988-2002 V8. Για να υπολογιστεί η διαδικασία ηχοβολισμού αλλά και να καταγραφούν τα προβλήματα της ηχομόνωσης έπρεπε να περαστούν συγκεκριμένα δεδομένα όπως το κατασκευαστικό σκίτσο του χώρου αλλά και τα υλικά απο τα οποία αποτελείται το studio. Στις εικόνες που ακολουθούν δίδεται αναλυτικά η προσομοίωση της

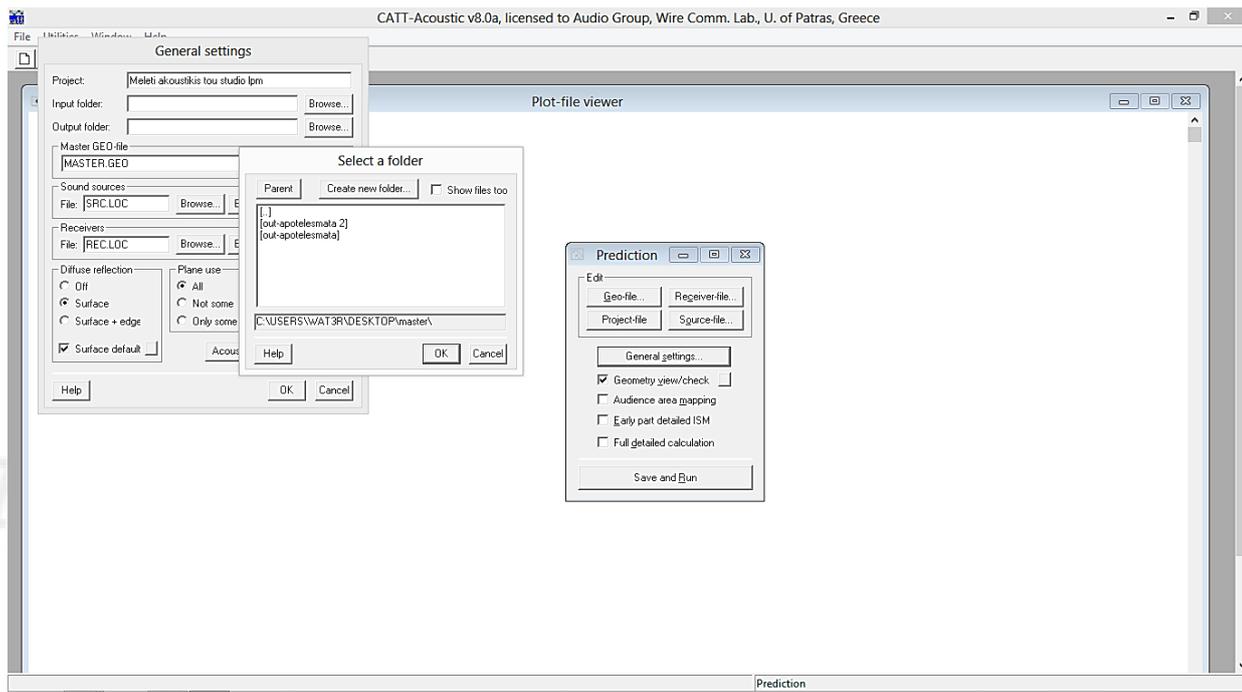


εισαγωγής των τελικών αποτελεσμάτων βήμα προς βήμα<sup>125</sup>:

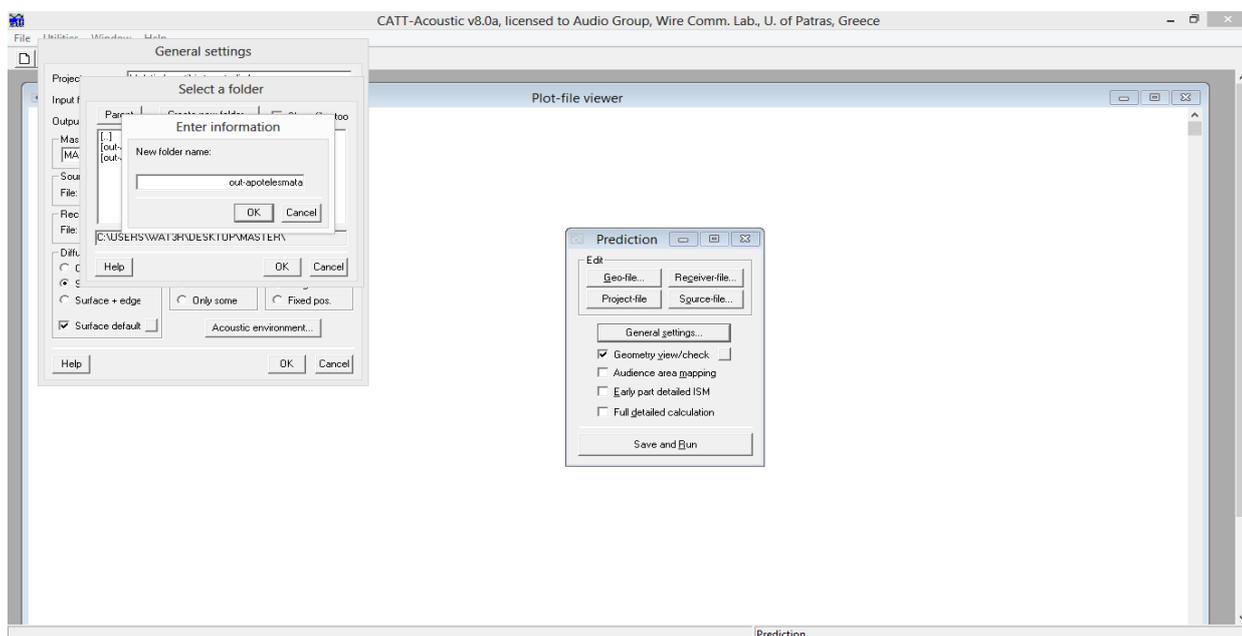
Σχήμα 4.3.1: Βασικό μενού προγράμματος Catt acoustics

<sup>125</sup> Να σημειωθεί ότι κάποια στοιχεία όπως πχ οι ακτίνες των οκτάβων επιλέγονται σε τυχαία εφαρμογή για την πιστότητα των αποτελεσμάτων.

Αφού ανοίξουμε το πρόγραμμα Catt acoustic.exe τότε στο βασικό μενού και στο παράθυρο πρόβλεψης (Prediction),πατούμε το εικονίδιο γενικές ρυθμίσεις (General settings) και αφού ανοίξει το παράθυρο των γενικών ρυθμίσεων, ονομάζουμε το θέμα μας και εν συνεχεία ορίζουμε το όνομα του φακέλου εισαγωγής (master) και εξαγωγής πληροφοριών (out) δηλαδή (project/input/output folder).

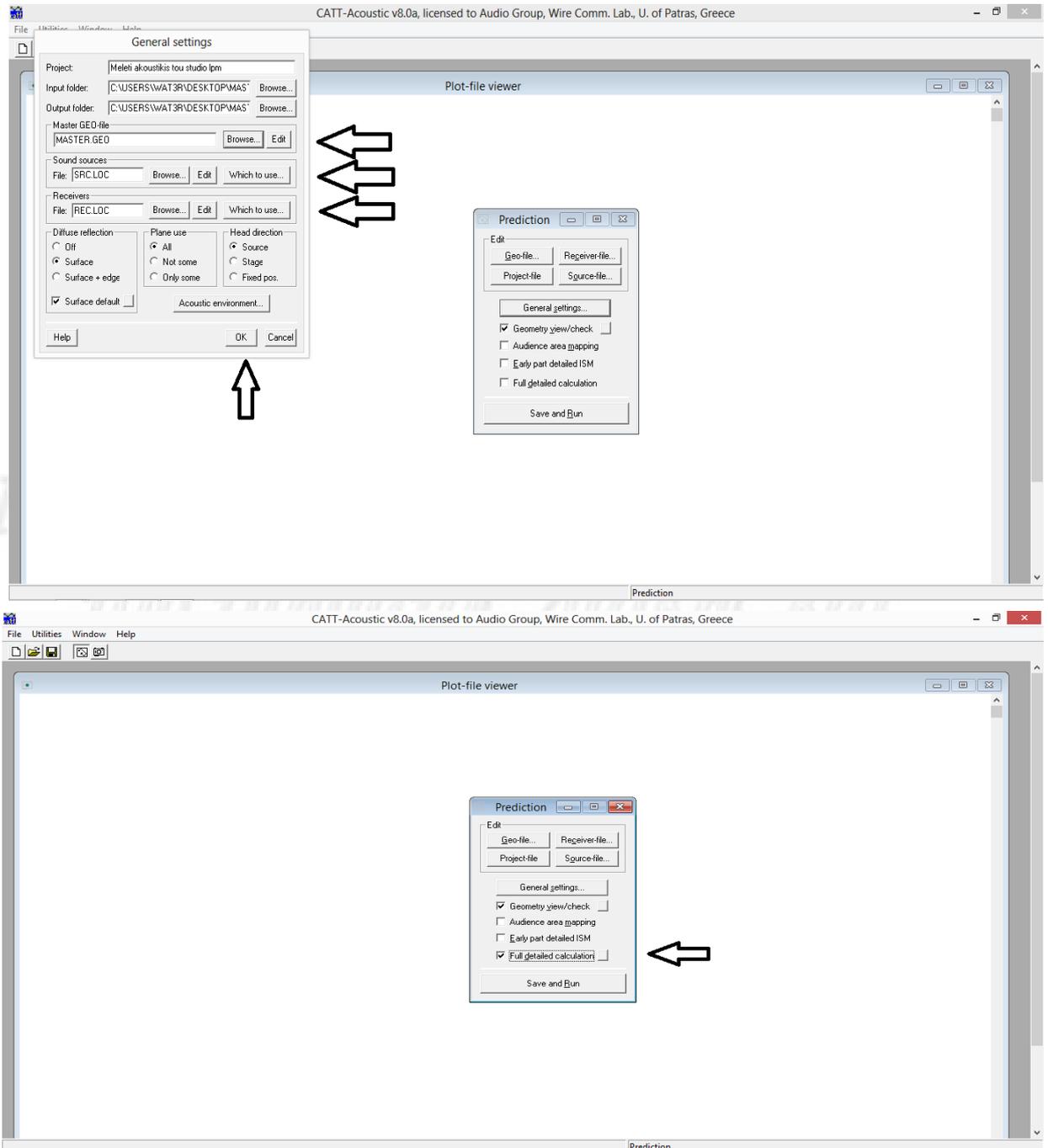


Σχήμα 4.3.2: Γενικές ρυθμίσεις, θέμα, επιλογή φακέλου εισαγωγής.

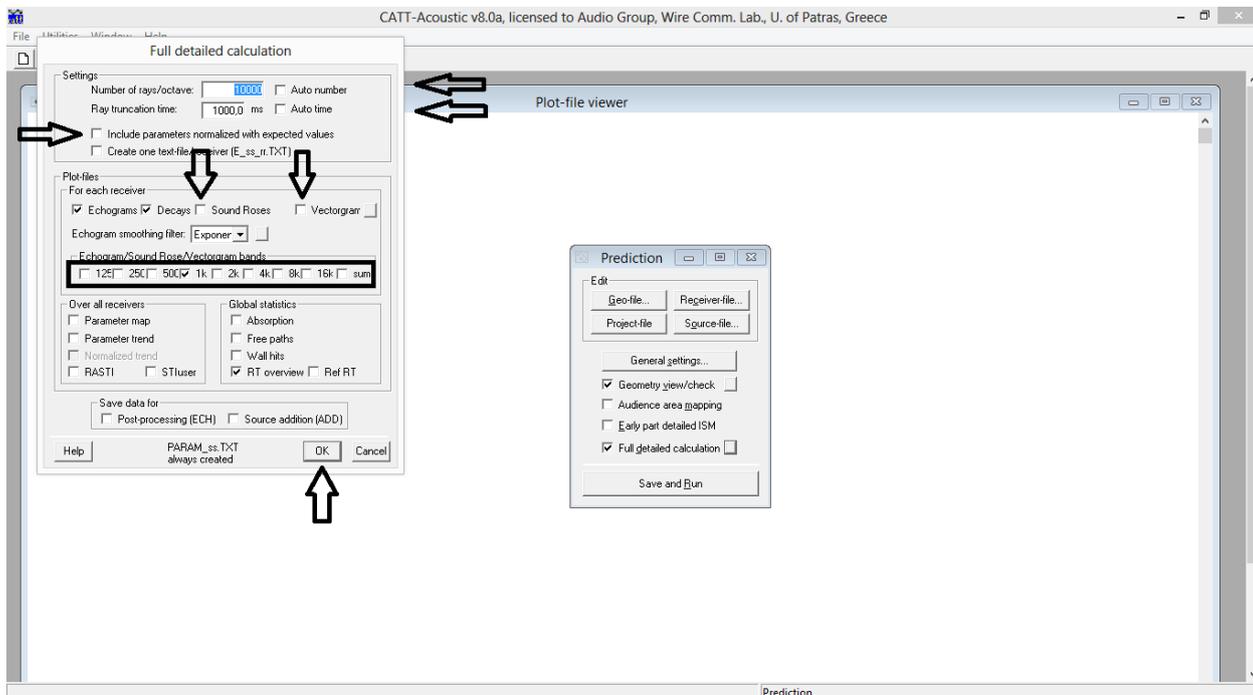


Σχήμα 4.3.3: Δημιουργία εξωτερικού φακέλου.

Έπειτα και εφόσον έχουν τοποθετηθεί σωστά οι φάκελοι εισαγωγής και εξαγωγής στις γενικές ρυθμίσεις του προγράμματος, ορίζονται τα *master.geo*, *src*, *rec*.

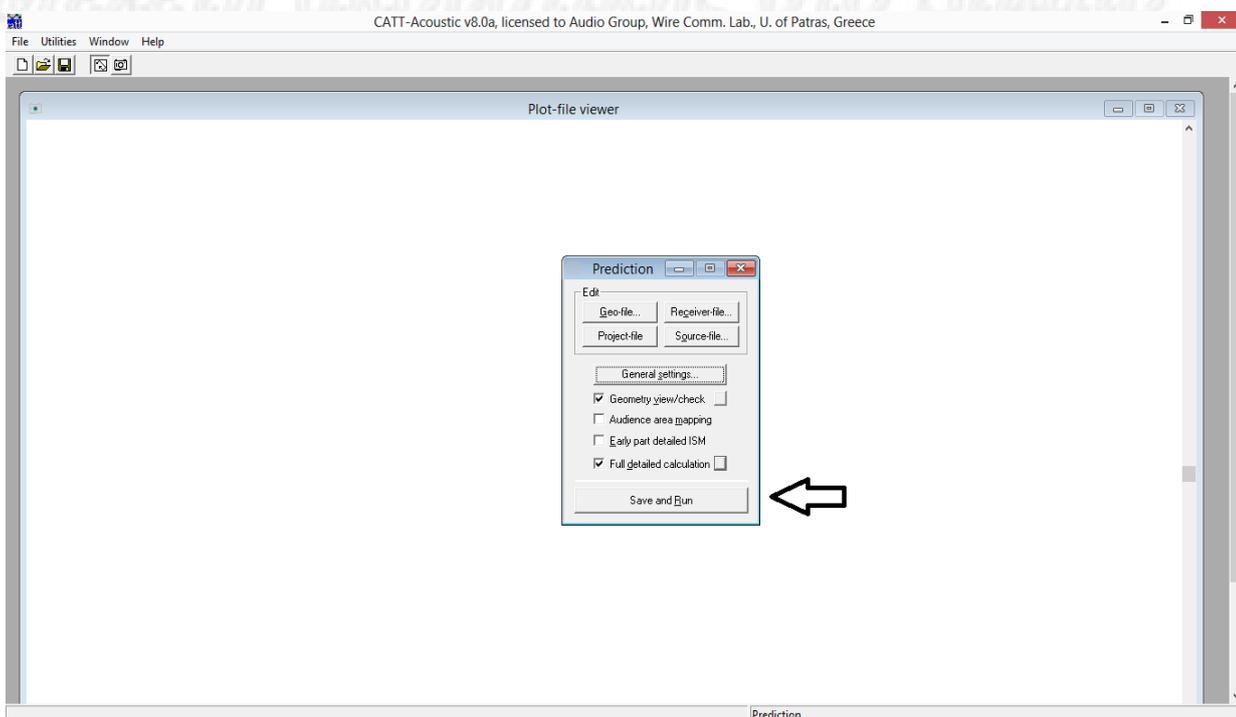


Σχήμα 4.3.4: Ορισμός του *master.geo*, *src*, *rec* και πατάμε *ok*.



Σχήμα 4.3.5: Επιλέγουμε το κουτάκι *full detailed calculation* και ανοίγουμε το παράθυρο που ακολουθεί.

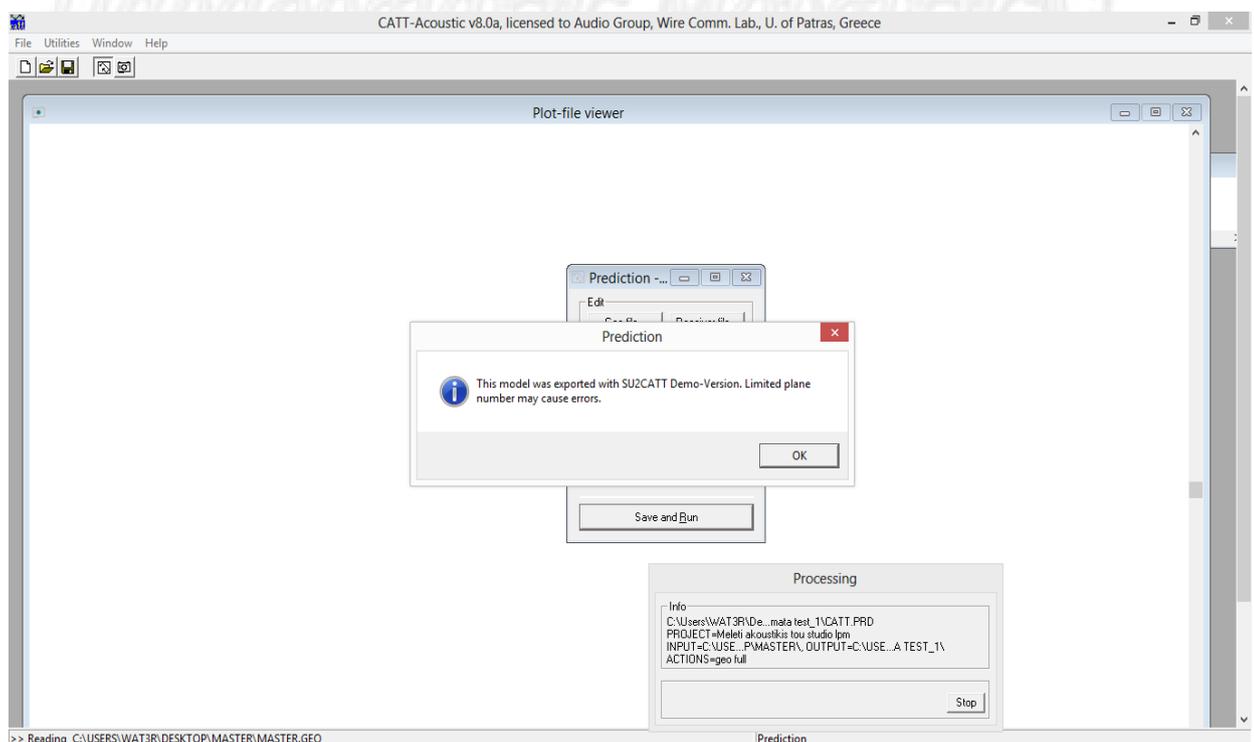
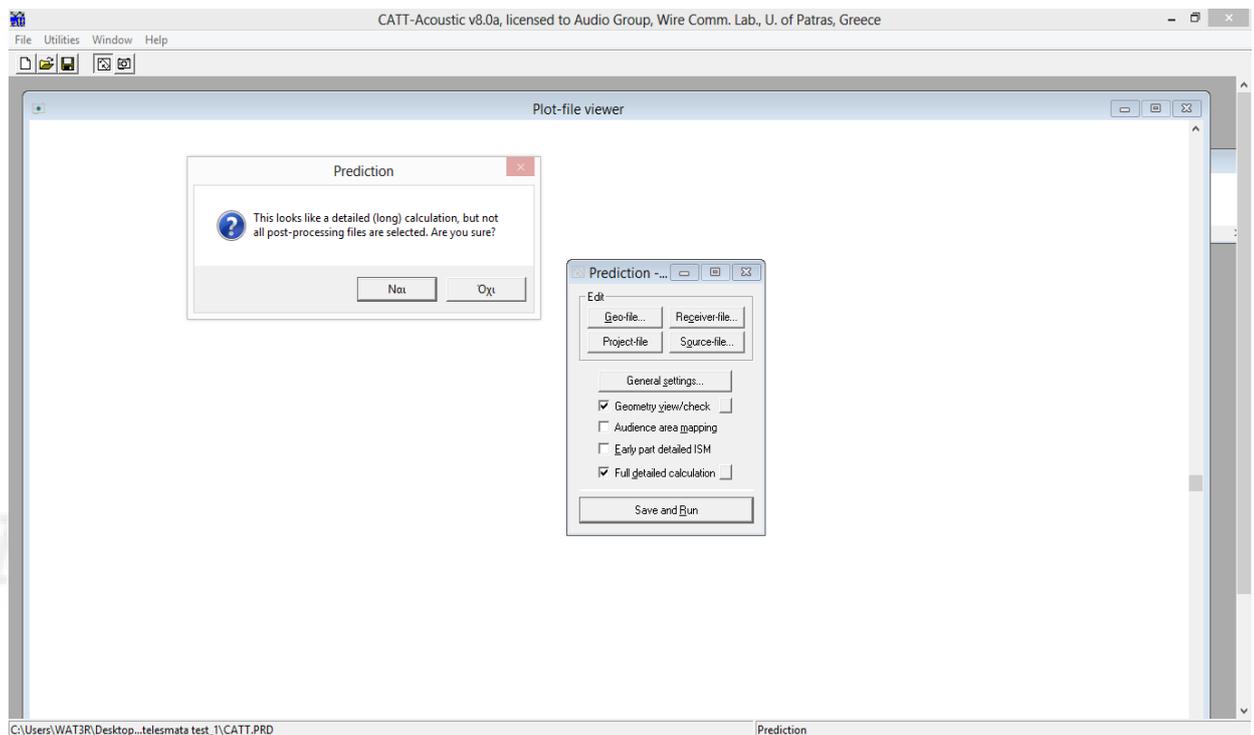
Σχήμα 4.3.6: Επιλέγουμε το εικονίδιο *Full detailed calculation* στις γενικές ρυθμίσεις, όπου εκεί ορίζουμε τις οκτάβες (προτεινόμενες ρυθμίσεις *auto*) τον χρόνο (προτεινόμενες



ρυθμίσεις), ορίζουμε το *sound roses*, το *Vectrogram*, τις βαθμίδες των περιόδων συχνοτήτων *Hz* επιλέγουμε *ok*.

Σχήμα 4.3.7: Αποθήκευση των ρυθμίσεων και εφαρμογή του προγράμματος.

Εν συνεχεία το πρόγραμμα κάνει τις απαραίτητες ενέργειες που έχουμε προγραμματίσει, για την δημιουργία αποτελεσμάτων. Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας με ερωτήσεις εξέλιξης των υπολογισμών και ερώτηση αποθήκευσης.



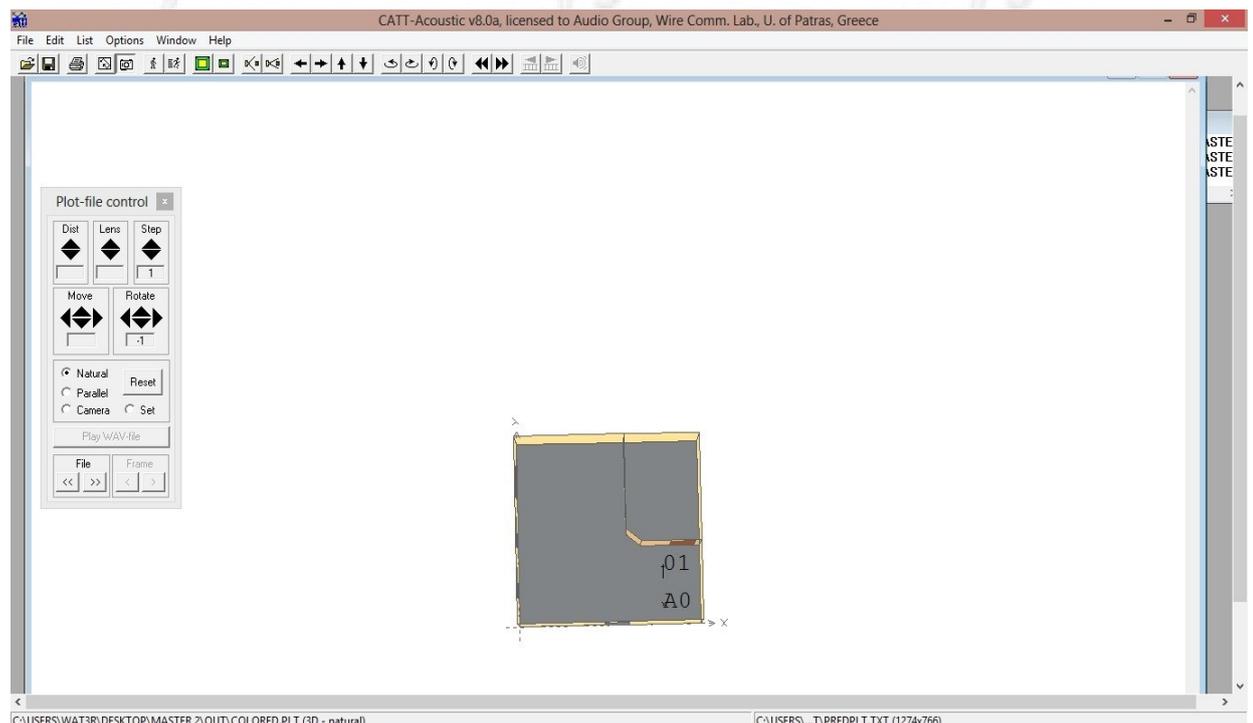
Σχήμα 4.3.8-4.3.9: Ερώτηση του προγράμματος σύμφωνα με την διαδικασία εισαγωγής δεδομένων και εξαγωγή αποτελεσμάτων στον προεπιλεγμένο φάκελο δεδομένων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### I. ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΗΧΟΥΣ

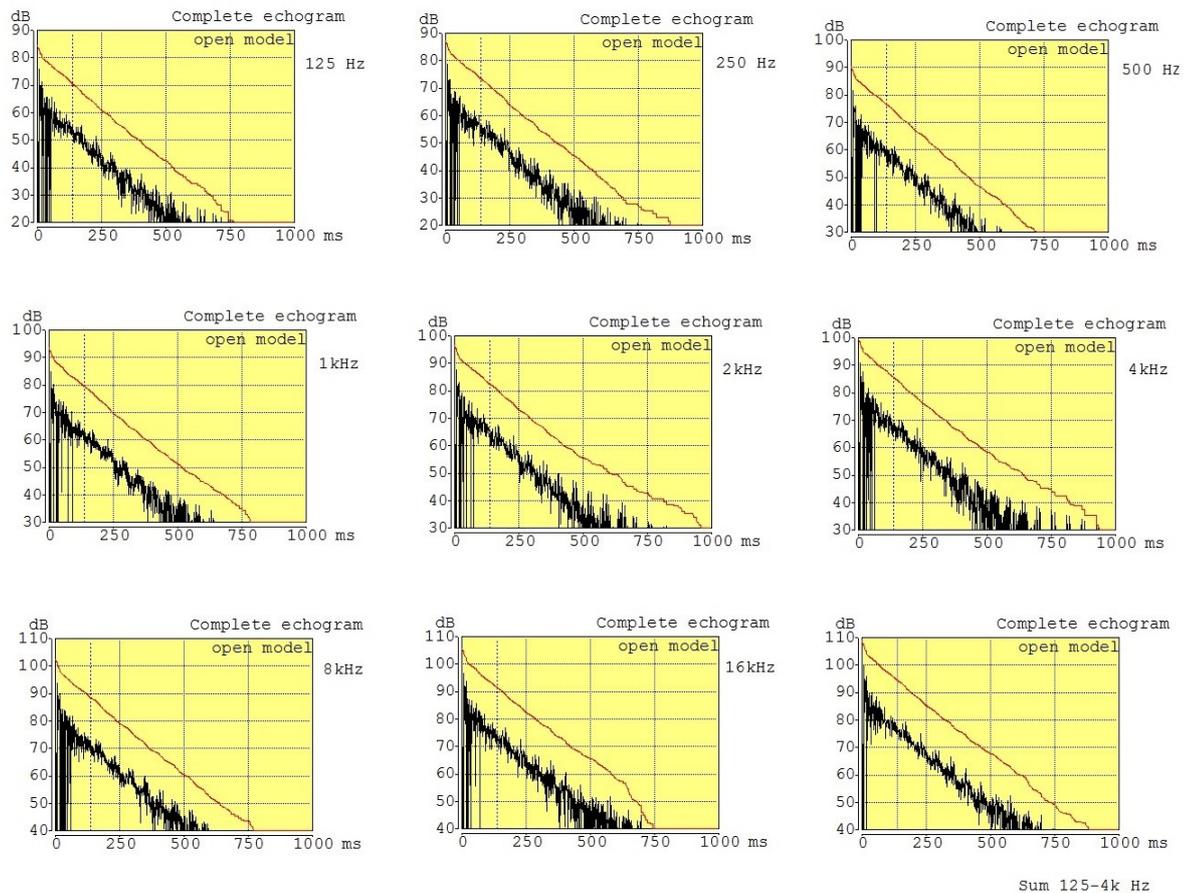
Για την διεξαγωγή μελέτης στο studio του τμήματος λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής του ΤΕΙ ηπείρου τοποθετήθηκαν στο εν λόγω λογισμικό επτά διαφορετικά ζεύγη [πομπού (01)-δέκτη (A0)] μέσα στον χώρο. Το κενό του κάθε ζεύγους με το άλλο ήταν στα δύο μέτρα όπως και το διάστημα μεταξύ του πομπού και του δέκτη ήταν στο 1,5 μέτρο. Ο ηχοβολισμός που έγινε μέσω του λογισμικού στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, έγινε για την καλύτερη κατανόηση-λειτουργία του χώρου και των υλικών που βρίσκονται μέσα σε αυτή, όπως επίσης και την οποιαδήποτε "διαρροή" που θα δημιουργούνταν από την τοποθέτηση των συγκεκριμένων ζευγών κατά μήκος και πλάτος του χώρου. Για την σωστή απόδοση των αποτελεσμάτων ορίστηκε τυχαίος χρόνος απόδοσης ακτινών (ηχητικών συχνοτήτων), αλλά και το φάσμα των συχνοτήτων ορίστηκε στα 20.000 Hz. Επίσης στις μετρήσεις δόθηκε ως μέγιστη στάθμη ηχητικής έντασης τα 90 dB. Στις παρακάτω εικόνες εξηγείται αναλυτικά η διαδικασία αλλά και τα αποτελέσματα της μελέτης από το λογισμικό Catt acoustics.

#### ΖΕΥΓΟΣ 1 (01-A0)



Σχήμα 5.1: Ζεύγος πομπού-δέκτη1 (A0-01) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής.

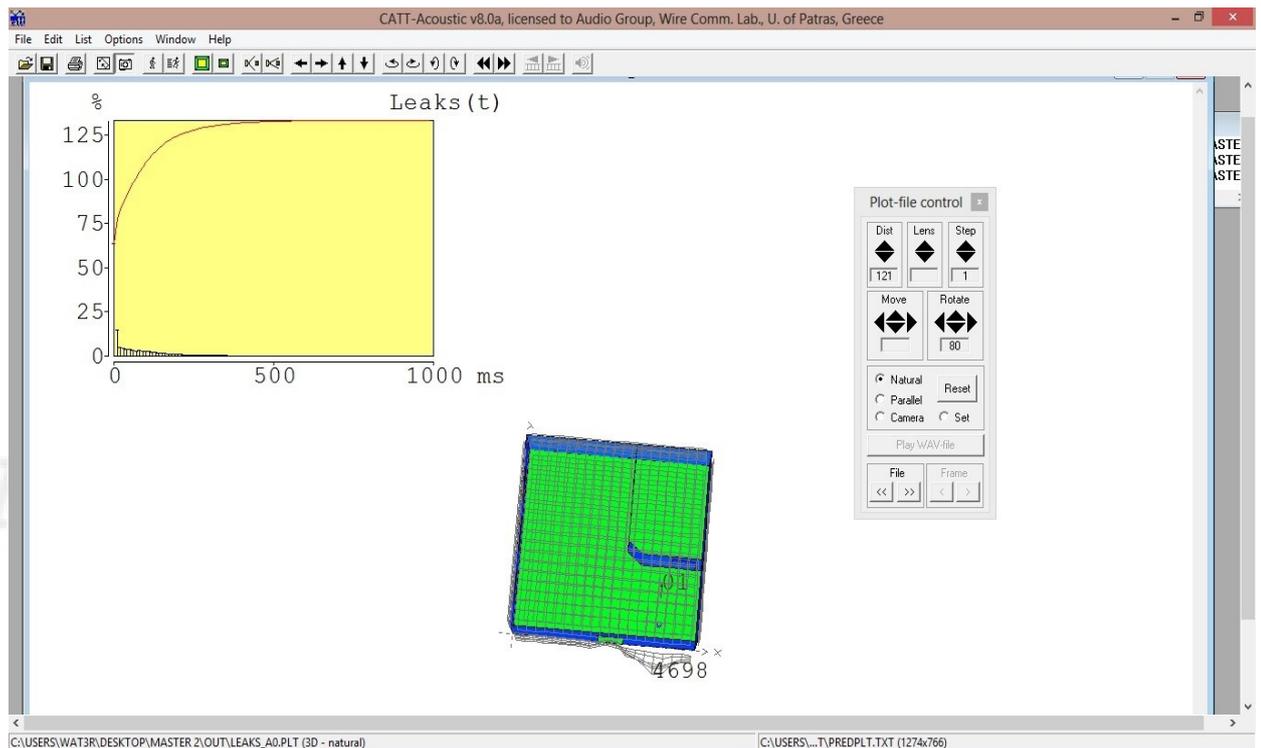
Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχόγραμμα στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών ,μέσα σε αυτόν, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 5.2: Ολοκληρωμένο ηχόγραμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 1 (01-A0).

Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 1 (01-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον μικρή ανακλαστική δραστηριότητα σε χρονική διάρκεια 0,5-0,75 κλάσματος του δευτερολέπτου (500-750 ms). Στα περισσότερα

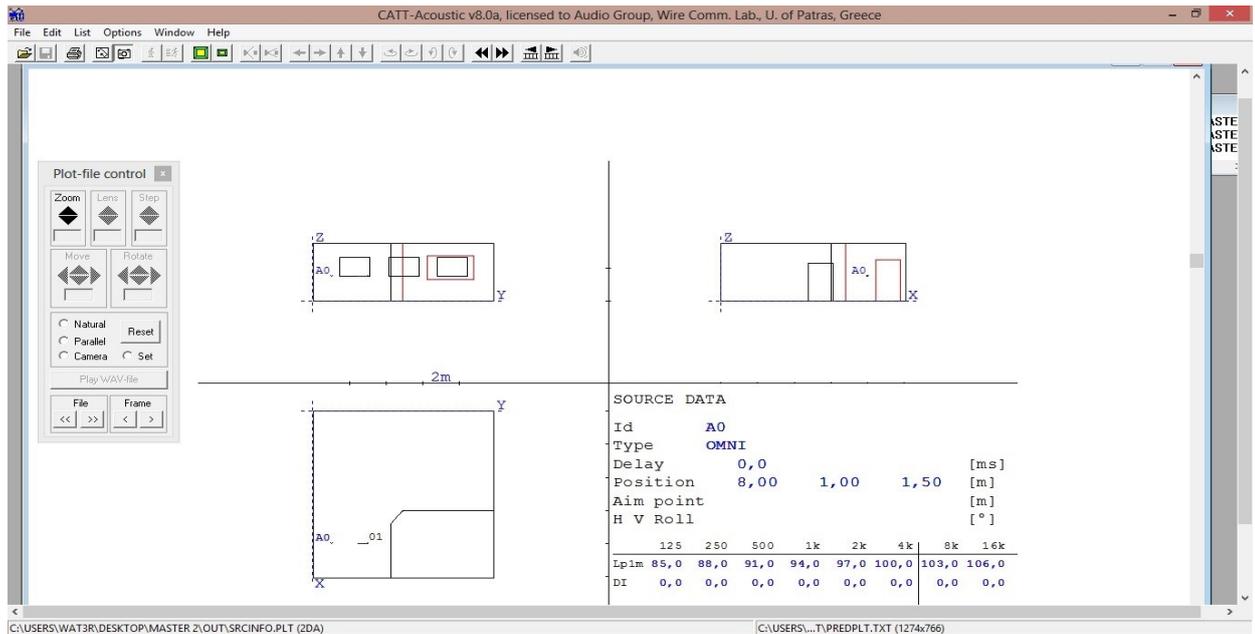
ηχογράμματα όπως δίνεται στο παραπάνω σχήμα εκτός των ηχογραμμάτων<sup>126</sup> των (125 Hz, 2, 4 kHz), μεγάλη ανακλαστική δραστηριότητα διακρίνουμε στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου σε όλα τα μεγέθη, αλλά και στην λήξη των συχνοτήτων αυτών ανάμεσα στα 0,5 και 0,75 κλάσματα του δευτερολέπτου. Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο και τις ενδεχόμενες “διαρροές” των ηχητικών κυμάτων που θα προκύψουν μέσα σε αυτόν.



Σχήμα 5.3: Διαρροές ηχητικών κυμάτων διαμέσου του τοίχου στο διάστημα των 0,5 κλάσματος του δευτερολέπτου.

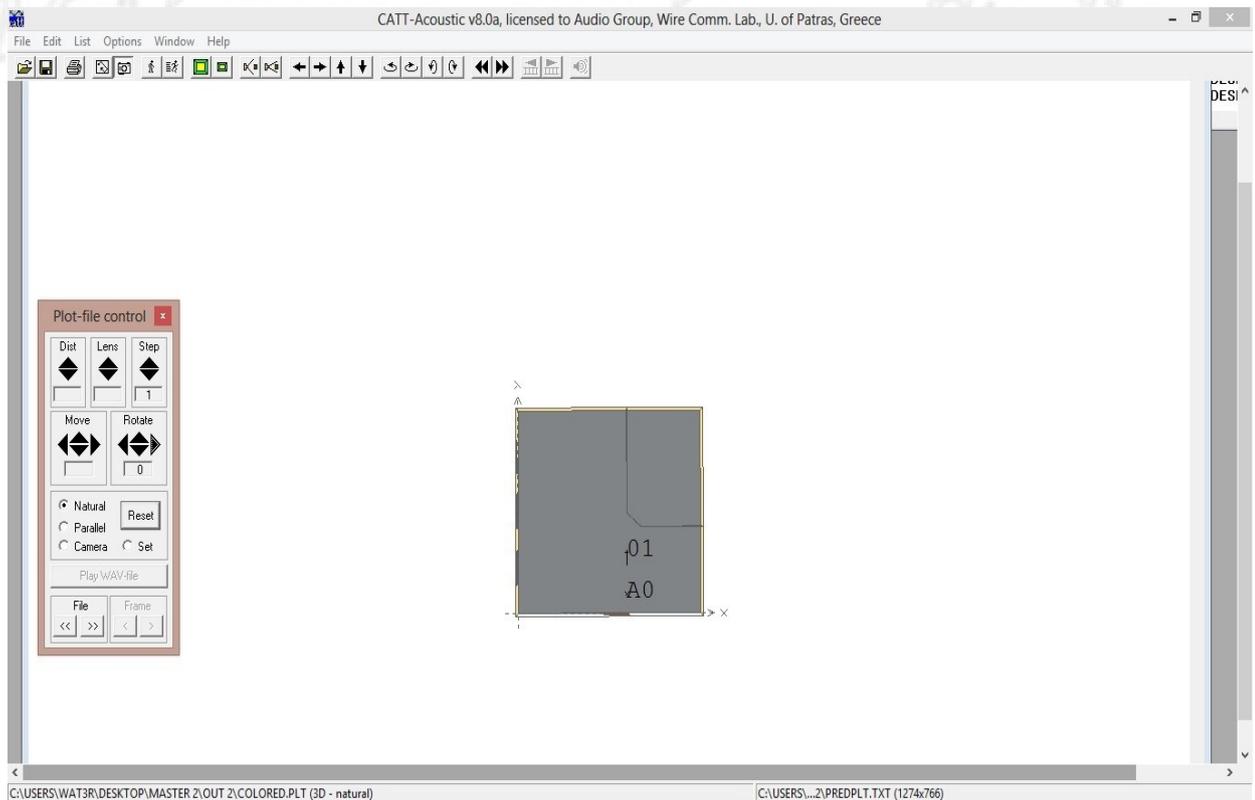
Οι διαρροές στον συγκεκριμένο χώρο προέρχονται από την ελλiptή τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στους τοίχους της συγκεκριμένης αίθουσας. Στο παρακάτω σχήμα διακρίνουμε την διαύγεια ακουστότητας των ηχητικών συχνοτήτων και το ποσοστό ανακλαστικότητας τοις εκατό (%) στον χώρο και έξω από αυτόν.

<sup>126</sup>Βλ. Γλωσσάρι.



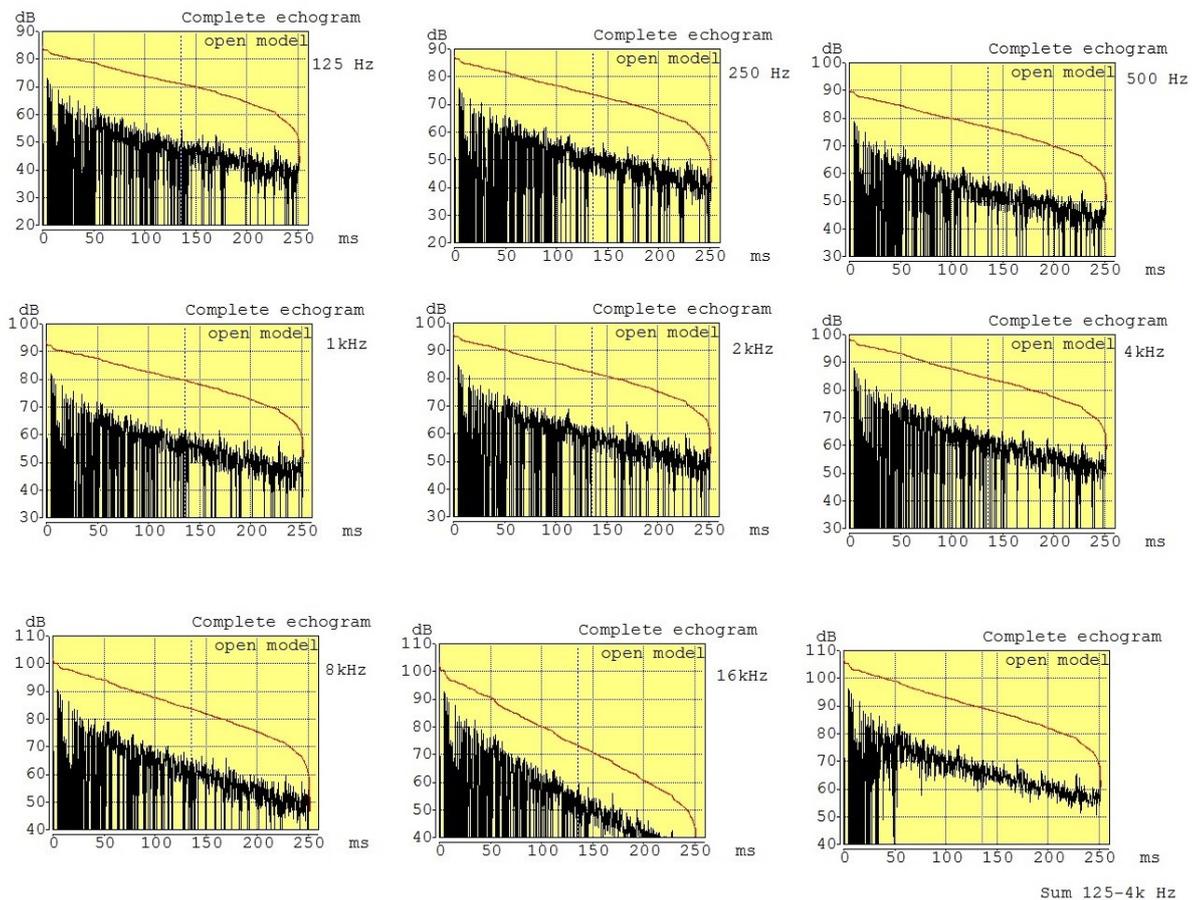
Σχήμα 5.4: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A1 (01-A0).

### ΖΕΥΓΟΣ 2 (01-A0)



Σχήμα 5.5: Ζεύγος πομπού-δέκτη 2 (A0-01) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής.

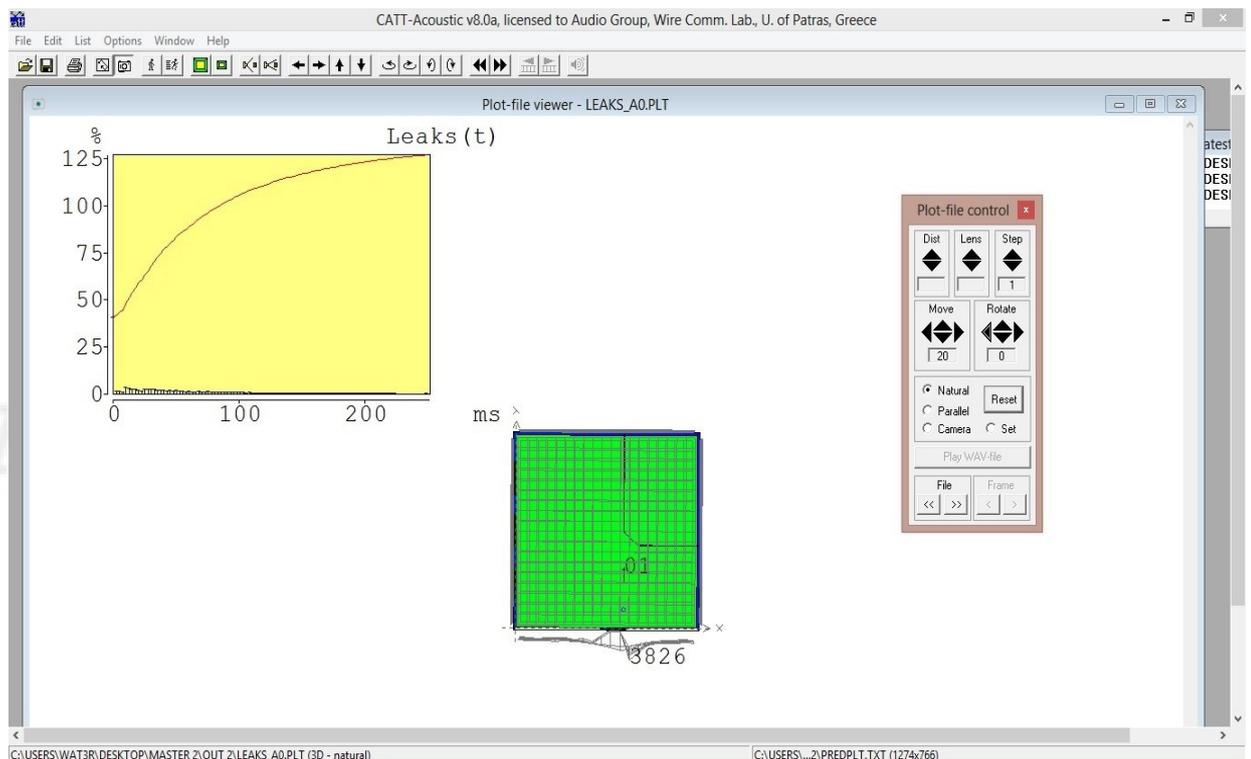
Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχόγραμμα στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών μέσα σε αυτόν, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 5.6: Ολοκληρωμένο ηχόγραμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 2 (0I-A0).

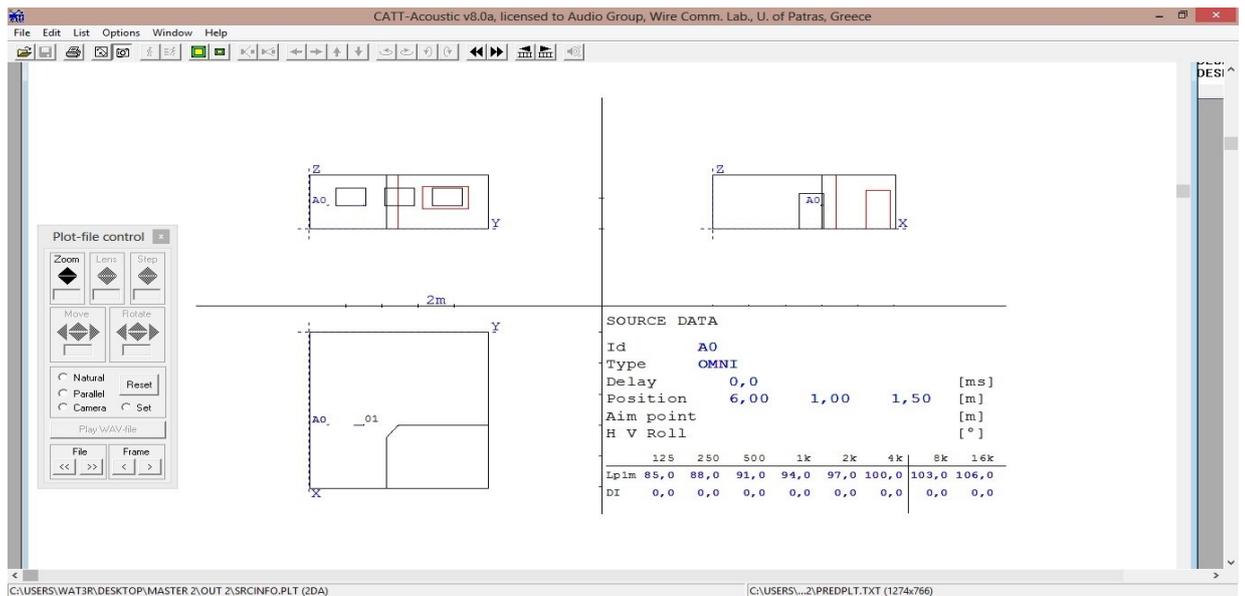
Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 2 (0I-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον μεγάλη ανακλαστική δραστηριότητα σε χρονική διάρκεια 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου (200-250 ms). Αυτό γιατί η τοποθέτηση στο συγκεκριμένο σημείο του ζεύγους 2 ο τοίχος, η γωνία πρόσπτωσης και η διάταξη του χώρου είναι διαφορετική. Ωστόσο ο χρόνος μέτρησης είναι διαφορετικός (λόγω του ότι ως μεταβλητή στο λογισμικό δόθηκε τυχαίος χρόνος ηχοβολισμού) όπως

και η ανακλαστική συμπεριφορά (για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω). Στα περισσότερα ηχογράμματα όπως δίνεται στο παραπάνω σχήμα δεν διακρίνουμε πάντα μεγάλη ανακλαστική δραστηριότητα εκτός των ηχογραμμάτων των (2, 4, 16 kHz), διακρίνουμε μεγάλη ανακλαστική δραστηριότητα μετά τα 0,2-0,25 κλάσματα του δευτερολέπτου, όπως επίσης διακρίνουμε μεγάλη ανακλαστική δραστηριότητα σε όλα τα ηχογράμματα απο 0,0 μέχρι 0,2 κλάσματα του δευτερολέπτου. Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο και τις ενδεχόμενες "διαρροές" των ηχητικών κυμάτων που θα προκύψουν μέσα σε αυτόν:



Σχήμα 5.7: Διαρροές ηχητικών κυμάτων διαμέσου του τοίχου στο διάστημα των 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου.

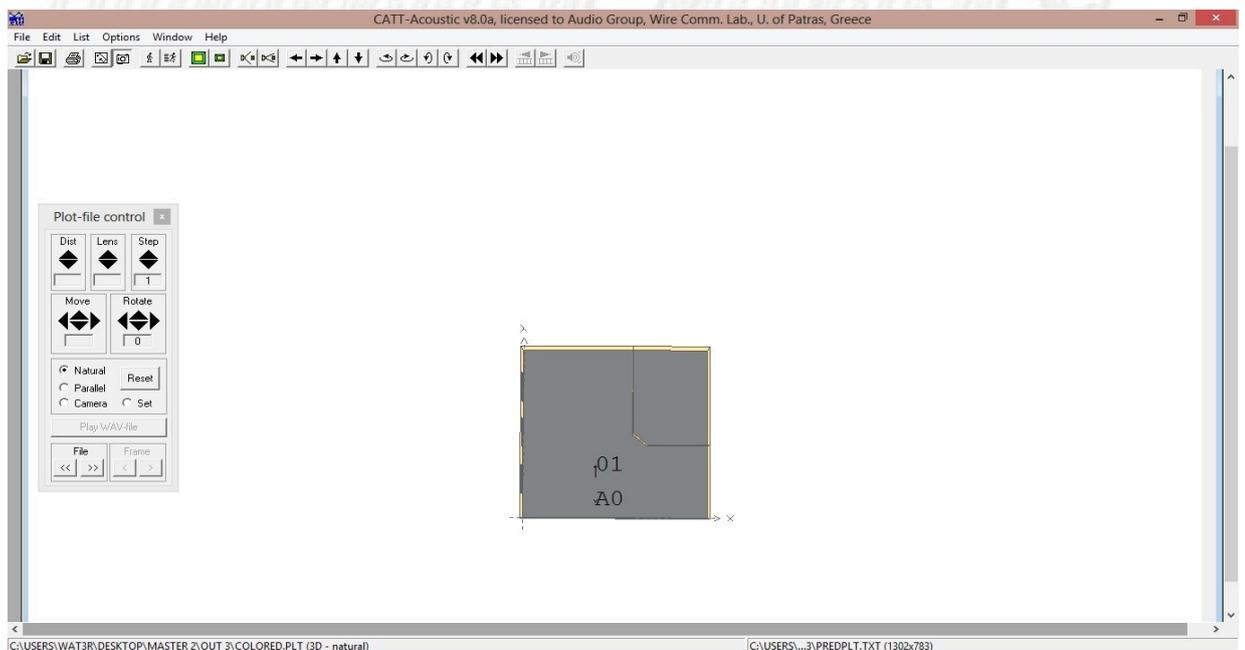
Οι διαρροές στον συγκεκριμένο χώρο προέρχονται απο την ελλιπή τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στους τοίχους της συγκεκριμένης αίθουσας. Οι διαρροή ηχητικών κυμάτων είναι διαφορετική απο άλλα σημεία λόγω της γωνίας πρόσπτωσης στους τοίχους του χώρου. Στο παρακάτω σχήμα διακρίνουμε την διαύγεια ακουστότητας των ηχητικών συχνοτήτων και το ποσοστό ανακλαστικότητας τοις εκατό (%) στον χώρο και έξω από αυτόν.



Σχήμα 5.8: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A2 (01-A0).

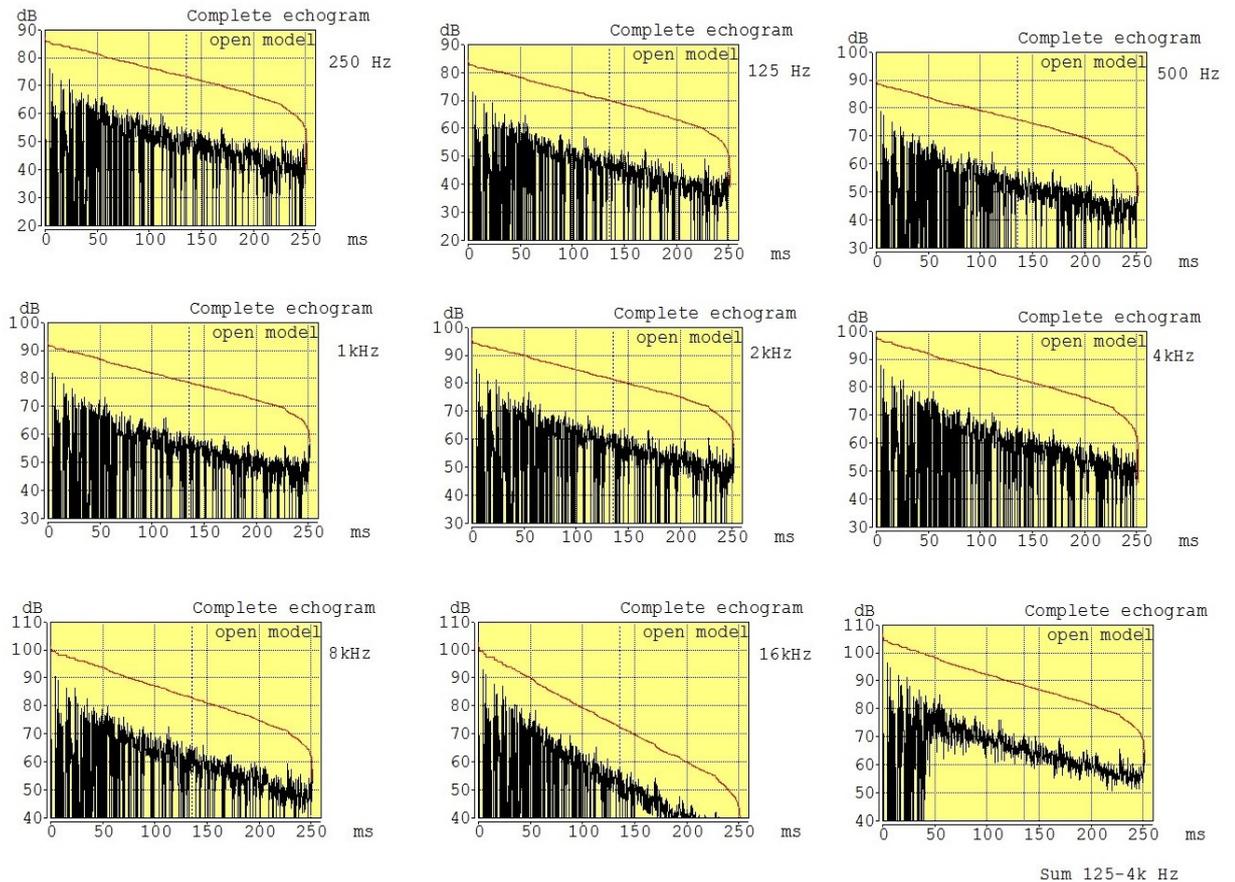
Όπως διακρίνουμε στο παραπάνω σχήμα τα μεγέθη μέτρησης των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο των 125 και 250Hz είναι κοντά στο 90 % ενώ τα μεγέθη των 500, 1, 2 kHz είναι κοντά στο 90%. Αντιθέτως τα μεγέθη των 4, 8 και 16 kHz ξεπερνούν το 100 % πράγμα που σημαίνει ότι κατά την ανάκλαση μέσα στον χώρο τα μεγέθη αυτά αυξήθηκαν λόγω των χτύπων στις επιφάνειες.

### ΖΕΥΓΟΣ 3 (01-A0)



Σχήμα 5.9: Ζεύγος πομπού-δέκτη 3 (A0-01) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής

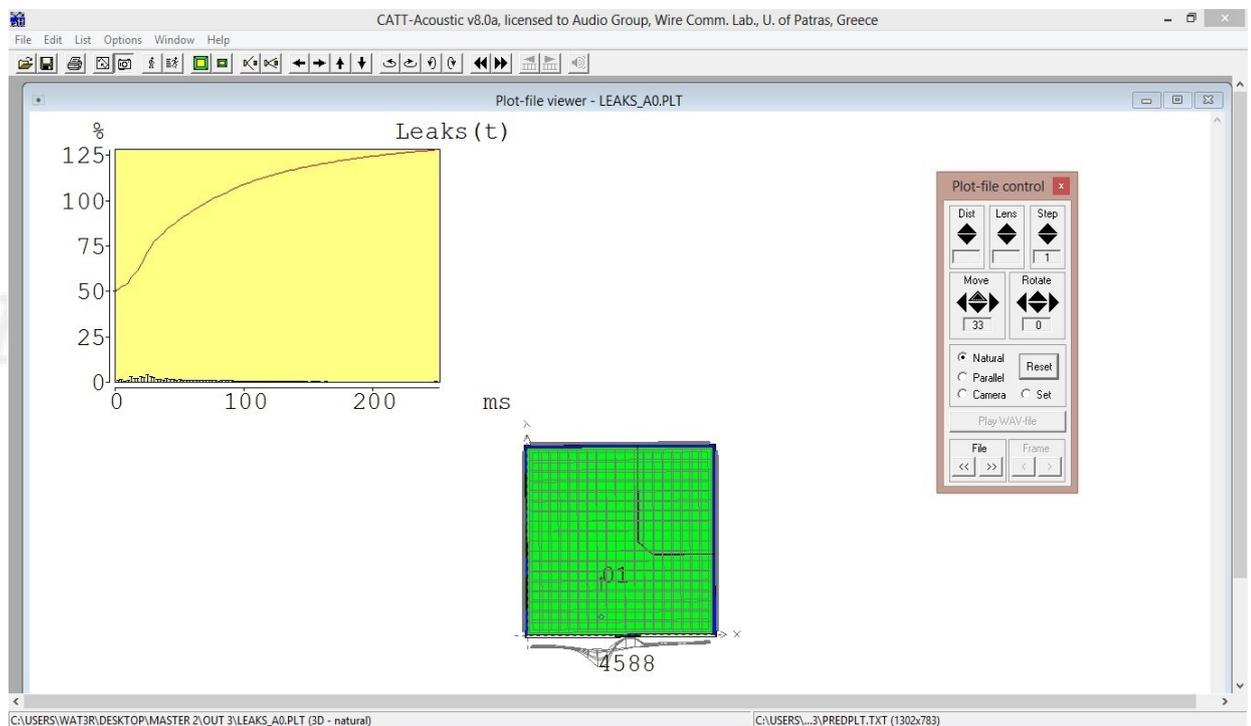
Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχόγραμμα στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών μέσα σε αυτόν, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 5.10: Ολοκληρωμένο ηχόγραμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 3 (01-A0).

Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 3 (01-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα σε αντίθεση με τα άλλα 2 ζεύγη μέτρησης σε χρονική διάρκεια 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου (200-250 ms). Αυτό γιατί η τοποθέτηση στο συγκεκριμένο σημείο του ζεύγους 3 ο τοίχος, η γωνία πρόσπτωσης και η διάταξη του χώρου είναι τελείως διαφορετική. Επειδή ο τοίχος πρόσπτωσης είναι αρκετά μακριά από την πηγή και τον δέκτη. Έτσι και τα αποτελέσματα των ακτινών του ηχοβολισμού (rays octave), θα διαφέρουν αρκετά. Ωστόσο ο χρόνος μέτρησης είναι διαφορετικός (λόγω του ότι ως μεταβλητή στο λογισμικό δόθηκε τυχαίος χρόνος ηχοβολισμού) όπως και η ανακλαστική συμπεριφορά

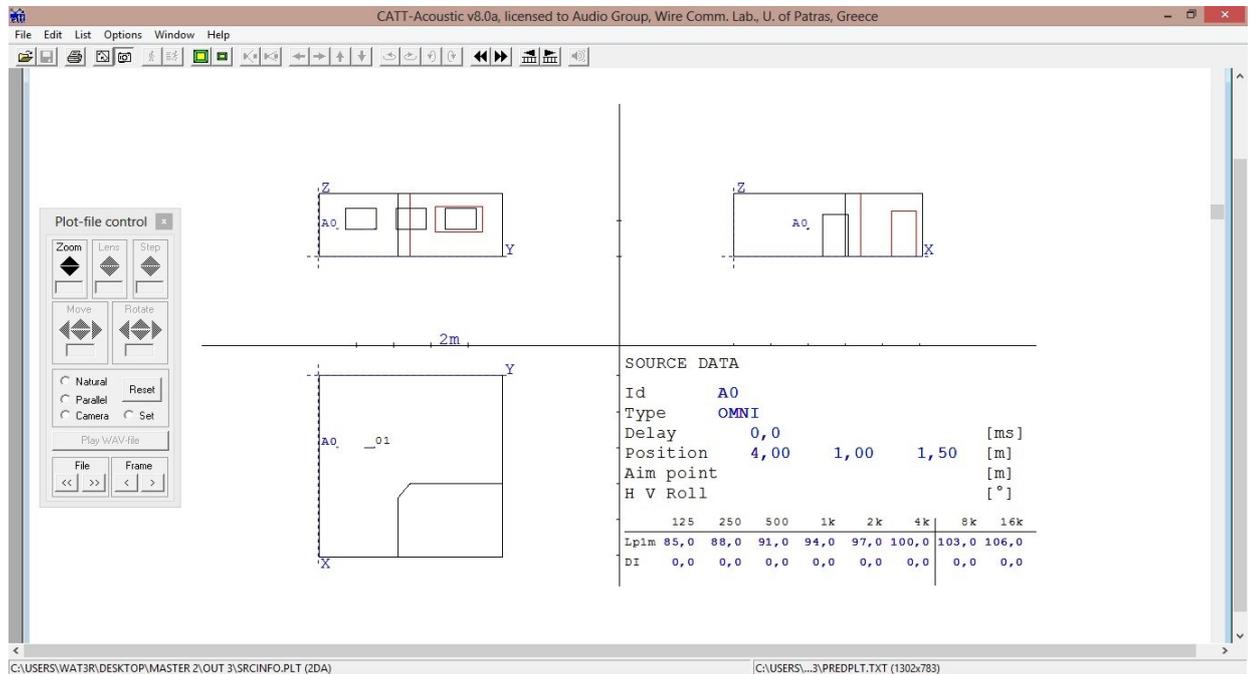
(για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω). Στα ηχογράμματα των 125, 250, 500 Hz και 2, 8 kHz η ανακλαστική δραστηριότητα είναι αυξημένη μέχρι το 0,05 του κλάσματος του δευτερολέπτου [πράγμα ανεπαίσθητο στο ανθρώπινο αυτί όχι όμως στα όργανα ηχογράφησης (μικρόφωνο)]. Στα μεγέθη των 1, 4, 16 kHz η ανακλαστική δραστηριότητα είναι σαφώς μεγαλύτερη όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Αγγίζει τις τιμές στα μεγέθη του χρόνου έως και 200-250 ms δηλαδή περίπου στα 0,2-0,25 κλάσματα του δευτερολέπτου. Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο και τις ενδεχόμενες "διαρροές" των ηχητικών κυμάτων που θα προκύψουν μέσα στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας:



*Σχήμα 5.11: Διαρροές ηχητικών κυμάτων διαμέσου του τοίχου στο διάστημα των 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου.*

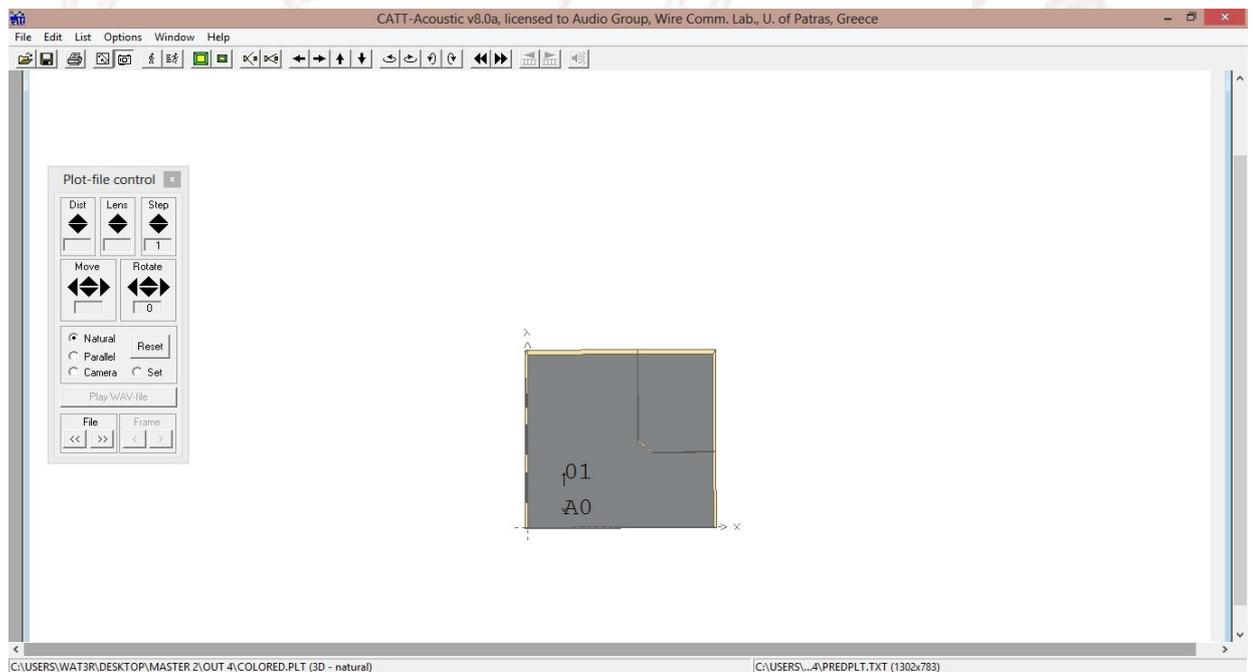
Οι διαρροές στον συγκεκριμένο χώρο προέρχονται από την ελλiptή τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στους τοίχους της συγκεκριμένης αίθουσας. Οι διαρροή ηχητικών κυμάτων είναι διαφορετική από άλλα σημεία λόγω του ότι γωνία πρόσπτωσης δεν υπάρχει και ο χώρος είναι ανοιχτός πίσω από τον δέκτη για κάποια μέτρα. Όπως διακρίνουμε στο παρακάτω σχήμα τα μεγέθη μέτρησης των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο των 125 και 250Hz είναι κοντά στο 80 % ενώ τα μεγέθη των 500, 1, 2 kHz είναι κοντά στο 90%. Αντιθέτως τα μεγέθη των 4, 8 και 16 kHz ξεπερνούν το 100 % πράγμα που σημαίνει ότι κατά την ανάκλαση μέσα στον χώρο τα μεγέθη αυτά

αυξήθηκαν λόγω των χτύπων των επιφανειών παρόλο που η γωνία πρόσπτωσης δεν υπήρχε όπως στα προηγούμενα σχήματα.



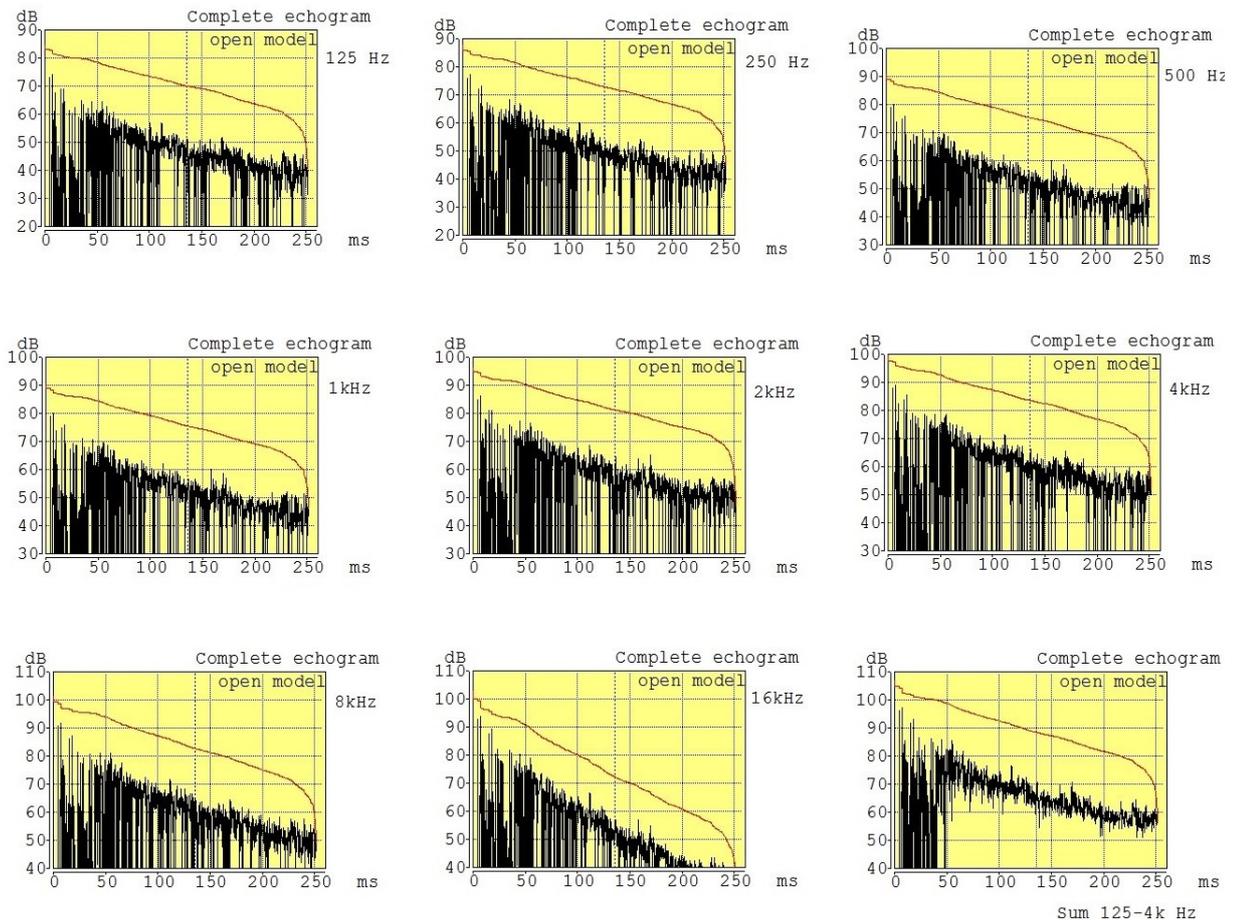
Σχήμα 5.12: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A3 (01-A0).

#### ΖΕΥΓΟΣ 4 (01-A0)



Σχήμα 5.13: Ζεύγος πομπού-δέκτη 4 (A0-01) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής.

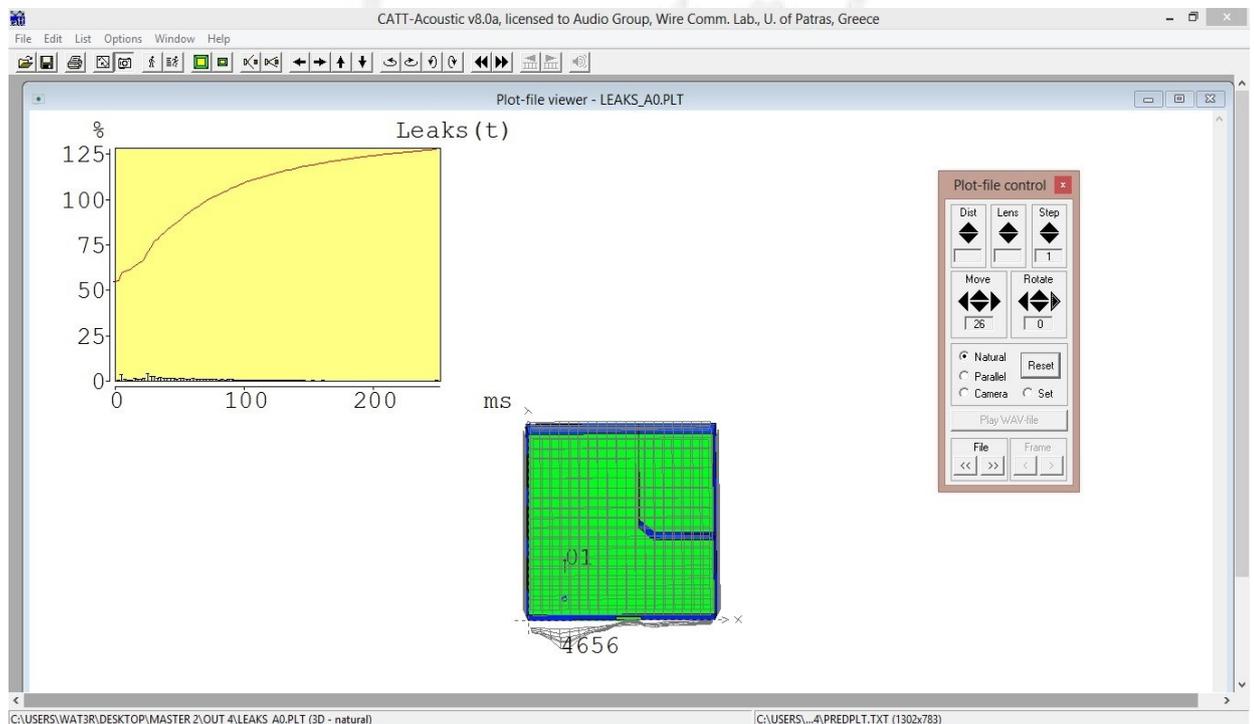
Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχόγραμμα στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών μέσα σε αυτόν, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 5.14: Ολοκληρωμένο ηχόγραμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 4 (01-A0).

Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 4 (01-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα σε αντίθεση με τα άλλα 3 ζεύγη μέτρησης σε χρονική διάρκεια 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου (200-250 ms). Αυτό γιατί η τοποθέτηση στο συγκεκριμένο σημείο του ζεύγους 4 ο τοίχος, η γωνία πρόσπτωσης και η διάταξη του χώρου είναι τελείως διαφορετική. Λόγω του ότι ο τοίχος πρόσπτωσης είναι αρκετά μακριά απο την πηγή και τον δέκτη. Έτσι και τα αποτελέσματα των ακτινών του ηχοβολισμού (rays octave), θα διαφέρουν αρκετά.

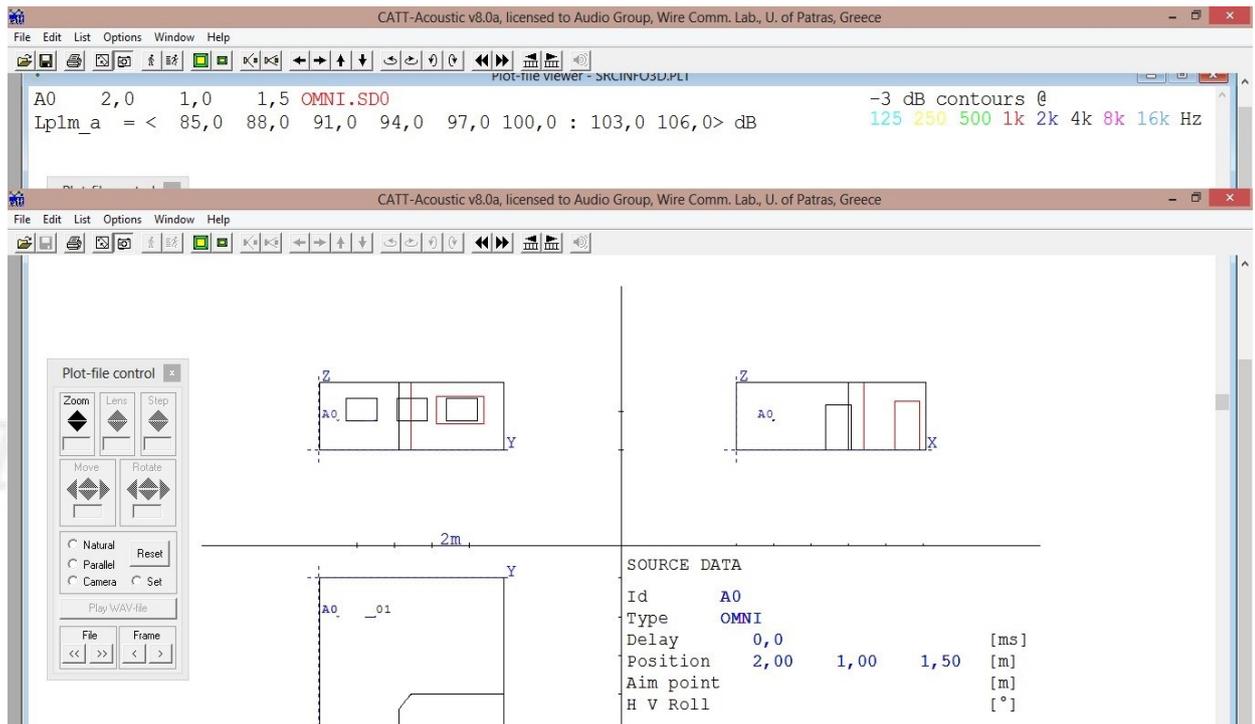
Το αξιοσημείωτο στον όλο ηχοβολισμό του συγκεκριμένου ζεύγους είναι ότι η ανακλαστική δραστηριότητα αρχίζει να αυξάνεται μετά απο κάποια ms και αυτό γιατί η κάθετη πρόσπτωση στον τοίχο (που είναι απομακρυσμένος απο τον δέκτη) αργεί λόγω του μεγάλου μήκους της αίθουσας. Ωστόσο ο χρόνος μέτρησης είναι διαφορετικός (λόγω του ότι ως μεταβλητή στο λογισμικό δόθηκε τυχαίος<sup>127</sup> χρόνος ηχοβολισμού) όπως και η ανακλαστική συμπεριφορά (για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω). Σε όλα τα ηχογράμματα η ανακλαστική δραστηριότητα ξεκινάει απο τα 0,05 με 0,1 ms. Στα ηχογράμματα των 125, 250 Hz και 4 kHz η ανακλαστική δραστηριότητα είναι αραιωμένη σε διάσπαρτα σημεία μέσα στον χρόνο [πράγμα ανεπαίσθητο στο ανθρώπινο αυτί όχι όμως στα όργανα ηχογράφησης (μικρόφωνο)]. Στα υπόλοιπα μεγέθη η ανακλαστική δραστηριότητα είναι σαφώς μεγαλύτερη αλλά και ενιαία όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Αγγίζει τις τιμές στα μεγέθη του χρόνου έως και 200-250 ms δηλαδή περίπου στα 0,2-0,25 κλάσματα του δευτερολέπτου. Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο και τις ενδεχόμενες "διαρροές" των ηχητικών κυμάτων που θα προκύψουν μέσα στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας:



Σχήμα 5.15: Διαρροές ηχητικών κυμάτων διαμέσου του τοίχου στο διάστημα των 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου.

<sup>127</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

Οι διαρροές στον συγκεκριμένο χώρο προέρχονται από την ελλιπή τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στους τοίχους της συγκεκριμένης αίθουσας. Οι διαρροή ηχητικών κυμάτων είναι διαφορετική από άλλα σημεία λόγω του ότι γωνία πρόσπτωσης δεν υπάρχει και ο χώρος είναι ανοιχτός πίσω από τον δέκτη για κάποια μέτρα.



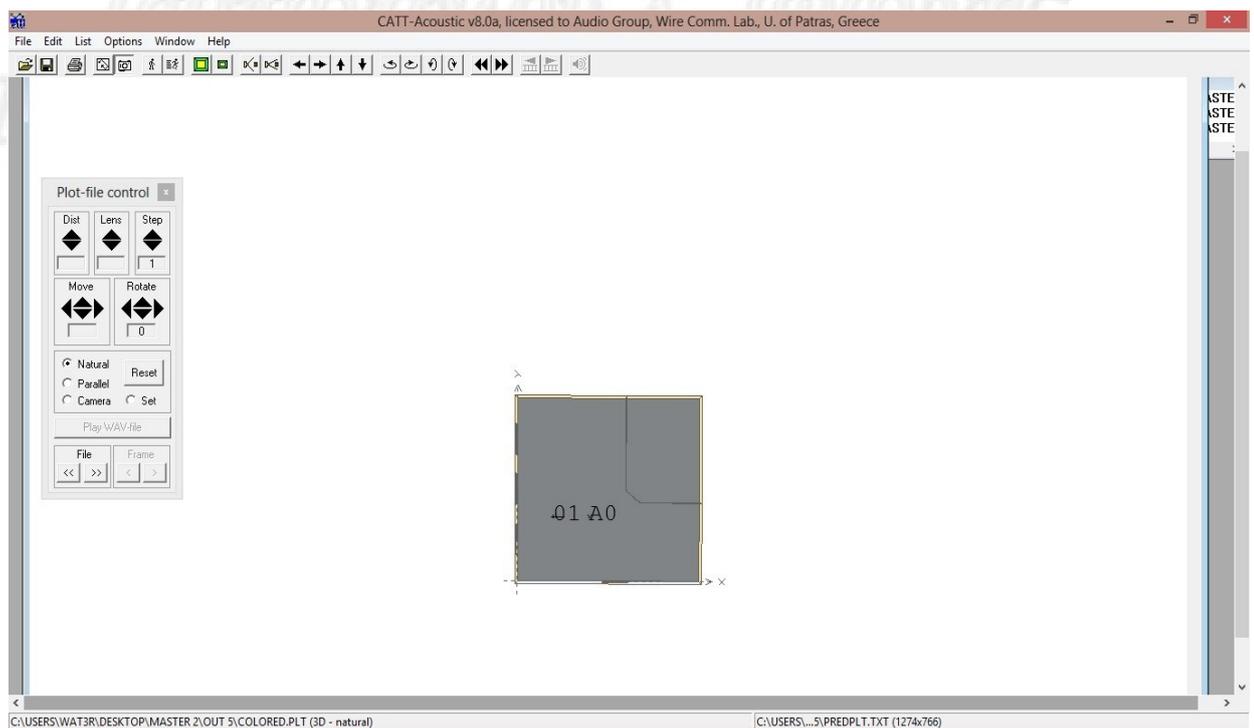
Σχήμα 5.16: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A4 (01-A0).

Όπως διακρίνουμε στο παρακάτω σχήμα τα μεγέθη μέτρησης των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο των 125 και 250Hz είναι κοντά στο 80 % ενώ τα μεγέθη των 500, 1, 2, 4 kHz είναι κοντά στο 90%. Αντιθέτως τα μεγέθη των 8 και 16 kHz ξεπερνούν το 100 % πράγμα που σημαίνει ότι κατά την ανάκλαση μέσα στον χώρο τα μεγέθη αυτά αυξήθηκαν λόγω των χτύπων των επιφανειών παρόλο που γωνία πρόσπτωσης δεν υπήρχε όπως στα προηγούμενα σχήματα.

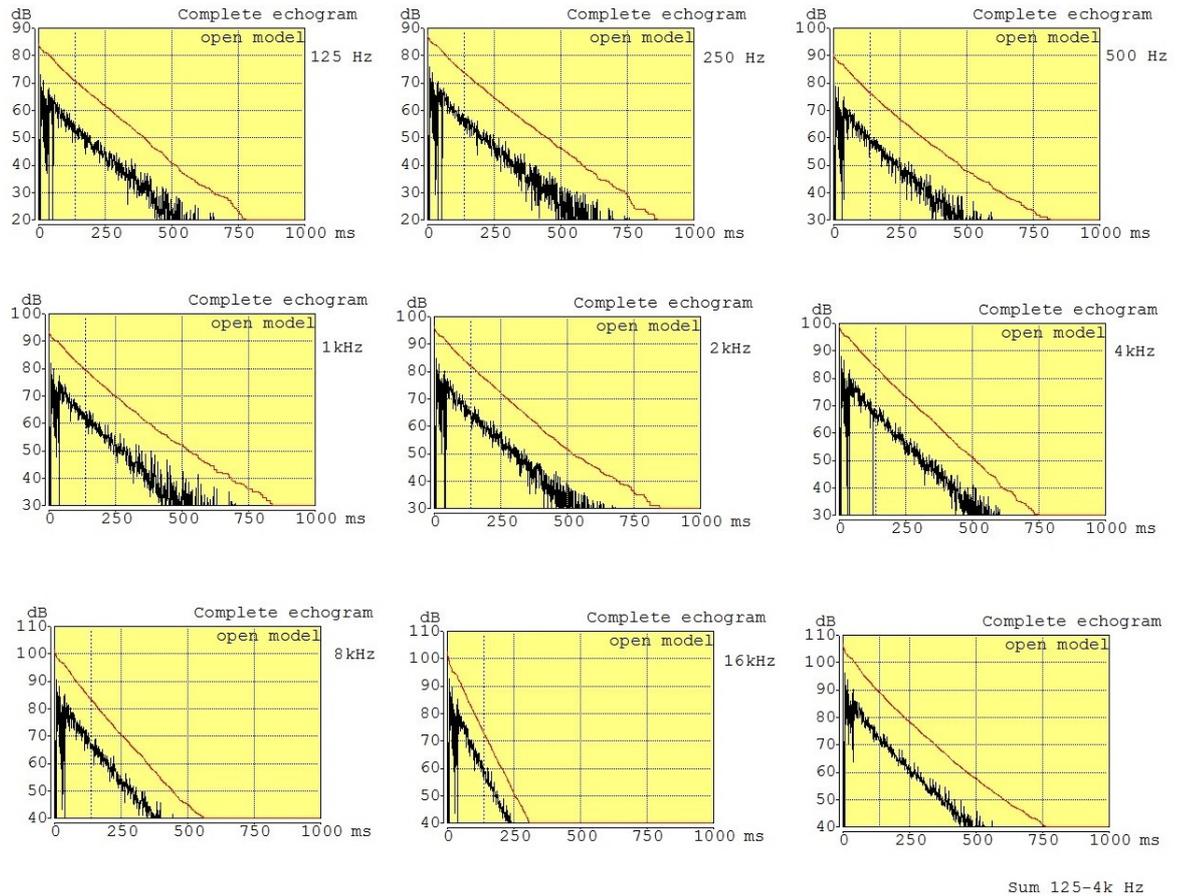
#### ΖΕΥΓΟΣ 5 (01-A0)

Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχόγραμμα

στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών μέσα στον χώρο αυτόν. Το ζεύγος 5 της συγκεκριμένης μελέτης ανήκει στην κατηγορία των ζευγών που έχουν τοποθετηθεί μπροστά από το παράθυρο που βλέπει προς την τάφρο του ΤΕΙ. Πίσω από αυτήν υπάρχει δρόμος όπου καταλήγει στην σχολή πληροφορικής. Με αποτέλεσμα να υπάρχει το ενδεχόμενο θορύβου από τα αμάξια φοιτητών ή καθηγητών. Για την καλύτερη απόδοση των αποτελεσμάτων τοποθετήθηκαν κουρτίνες μπροστά από τα παράθυρα του στούντιο, όπως επίσης και ο πομπός είναι 2 μέτρα μακριά από το παράθυρο για την αποφυγή ηχογράφησης διάφορων ηχητικών παρασίτων, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 5.17: Ζεύγος πομπό-δέκτη 5 (A0-01) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής.

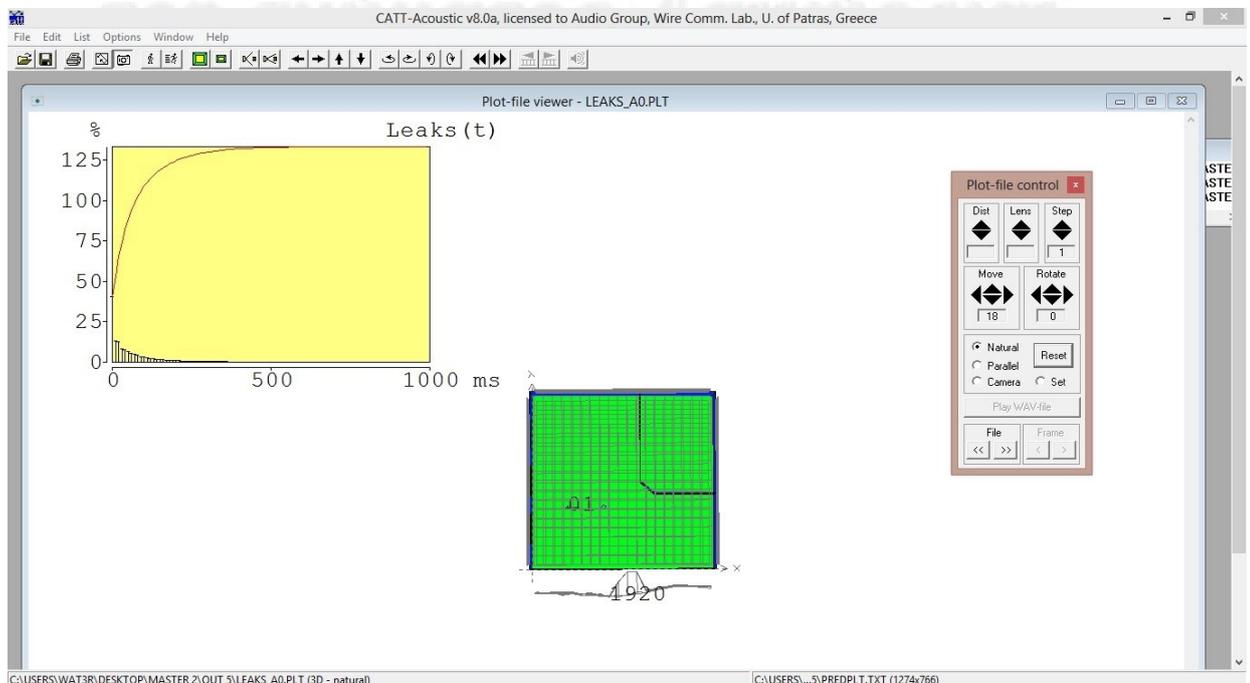


Σχήμα 5.18: Ολοκληρωμένο ηχογράμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 5 (01-A0).

Παραδοσιακής Μουσικής©

Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 5 (01-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα σε αντίθεση με τα άλλα 4 ζεύγη μέτρησης σε χρονική διάρκεια 0,5-1,0 του δευτερολέπτου (500-1000 ms). Αυτό γιατί η τοποθέτηση στο συγκεκριμένο σημείο του ζεύγους 5 ο τοίχος, η γωνία πρόσπτωσης και η διάταξη του χώρου είναι τελείως διαφορετική. Λόγω του ότι ο τοίχος πρόσπτωσης είναι κοντά στην πηγή και τον δέκτη. Επίσης ο πομπός βρίσκεται 2 μέτρα μπροστά απο το παράθυρο (που βλέπει στην τάφρο), όπως επίσης και ο δέκτης ο οποίος βρίσκεται κοντά στον τοίχο του master room (δωμάτιο επεξεργασίας ήχου και ηχογράφησης). Έτσι τα αποτελέσματα και των ακτινών και του ηχοβολισμού (rays octave), θα διαφέρουν αρκετά. Το αξιοσημείωτο στον όλο ηχοβολισμό του συγκεκριμένου ζεύγους είναι ότι η ανακλαστική δραστηριότητα αρχίζει να εμφανίζεται στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου (0,05 ms) ενώ εν συνεχεία παύει να υπάρχει και αυτό γιατί στο σημείο που έχει τοποθετηθεί το ζεύγος υπάρχει παράθυρο όπου ένα

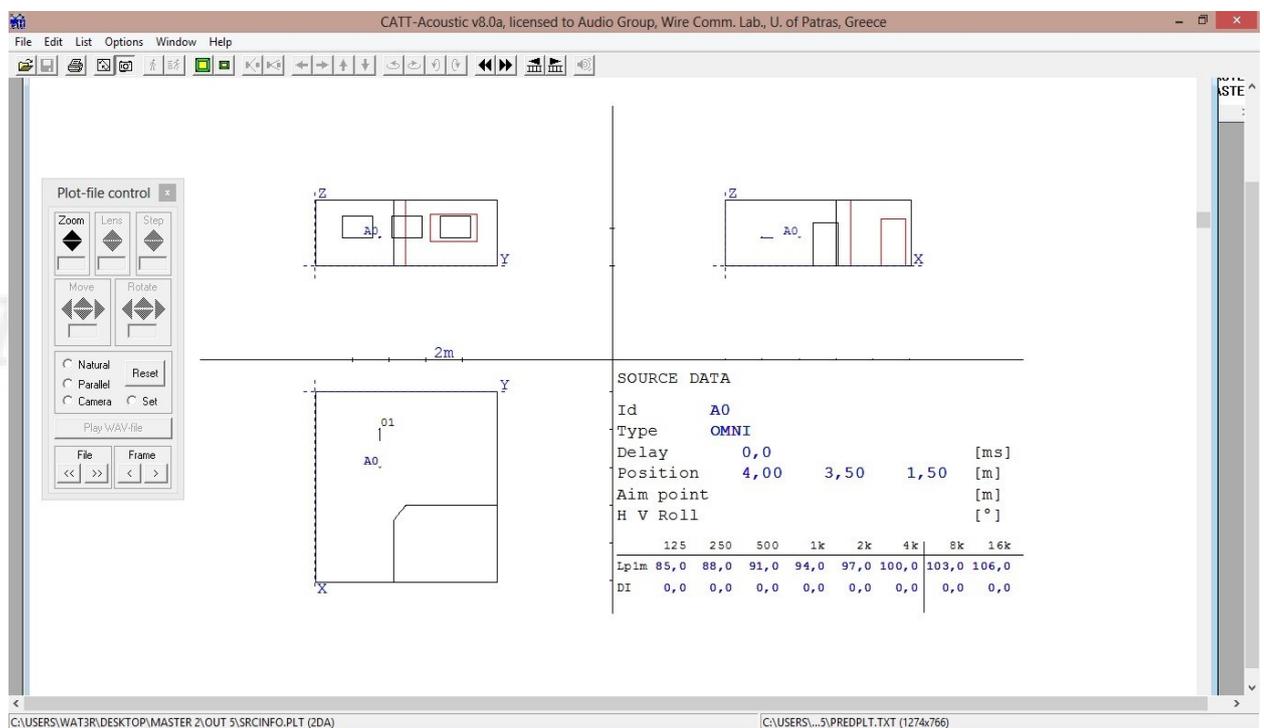
μεγάλο μέρος των ηχητικών κυμάτων χάνεται. Ωστόσο ο χρόνος μέτρησης είναι διαφορετικός (λόγω του ότι ως μεταβλητή στο λογισμικό δόθηκε τυχαίος χρόνος ηχοβολισμού) όπως και η ανακλαστική συμπεριφορά (για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω). Σε όλα τα ηχογράμματα η ανακλαστική δραστηριότητα ξεκινάει ή χάνεται απο τα 0,00 με 1,0 ms. Σε όλα τα ηχογράμματα η ανακλαστική δραστηριότητα είναι αραιωμένη έως μηδενική απο τα 0,05ms μέχρι τα 0,4 ms σε διάσπαρτα σημεία μέσα στον χρόνο [πράγμα ανεπαίσθητο στο ανθρώπινο αυτί όχι όμως στα όργανα ηχογράφησης (μικρόφωνο)]. Η ανακλαστική δραστηριότητα στα ηχογράμματα των 125, 250, 500 Hz 1, 2, 4 kHz φτάνει απο 500 μέχρι 600 ms (δηλαδή περίπου στα 0,5-0,6 κλάσματα του δευτερολέπτου) εκτός απο τα μεγέθη των 8 και 16 kHz όπου η ανακλαστική δραστηριότητα ολοκληρώνεται μέχρι τα 250 με 300 ms (0,25-0,3) αυτό δείχνει ότι η τοποθεσία του συγκεκριμένου ζεύγους είναι τέτοια που στις υψηλές συχνότητες όπως των 8 και 16 kHz η ανακλαστική δραστηριότητα και ενδεχομένως το echo-ηχώ<sup>128</sup> παύει να υπάρχει στον υπόλοιπο χρόνο υπολογισμού. Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο και τις ενδεχόμενες "διαρροές" των ηχητικών κυμάτων που θα προκύψουν μέσα στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας:



Σχήμα 5.19: Διαρροές ηχητικών κυμάτων διαμέσου του τοίχου στο διάστημα των 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου.

<sup>128</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

Οι διαρροές στον συγκεκριμένο χώρο προέρχονται από την ελλιπή τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στους τοίχους της συγκεκριμένης αίθουσας. Οι διαρροή ηχητικών κυμάτων είναι διαφορετική από άλλα σημεία λόγω του ότι γωνία πρόσπτωσης δεν υπάρχει και η τοποθεσία είναι τέτοια που η ανακλαστική δραστηριότητα στις αυξημένες συχνότητες είναι μηδενική στο πέρας της χρονικής μέτρησης. Όπως διακρίνεται και από το σχήμα στην εικόνα 5.19 οι διαρροές που υπέστη η αίθουσα προς τα έξω (δηλαδή προς τον διάδρομο του κτιρίου) είναι μικρότερες από τα υπόλοιπα 4 ζεύγη που τοποθετήθηκαν στον χώρο.



Σχήμα 5.20: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα<sup>129</sup> και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A5 (01-A0).

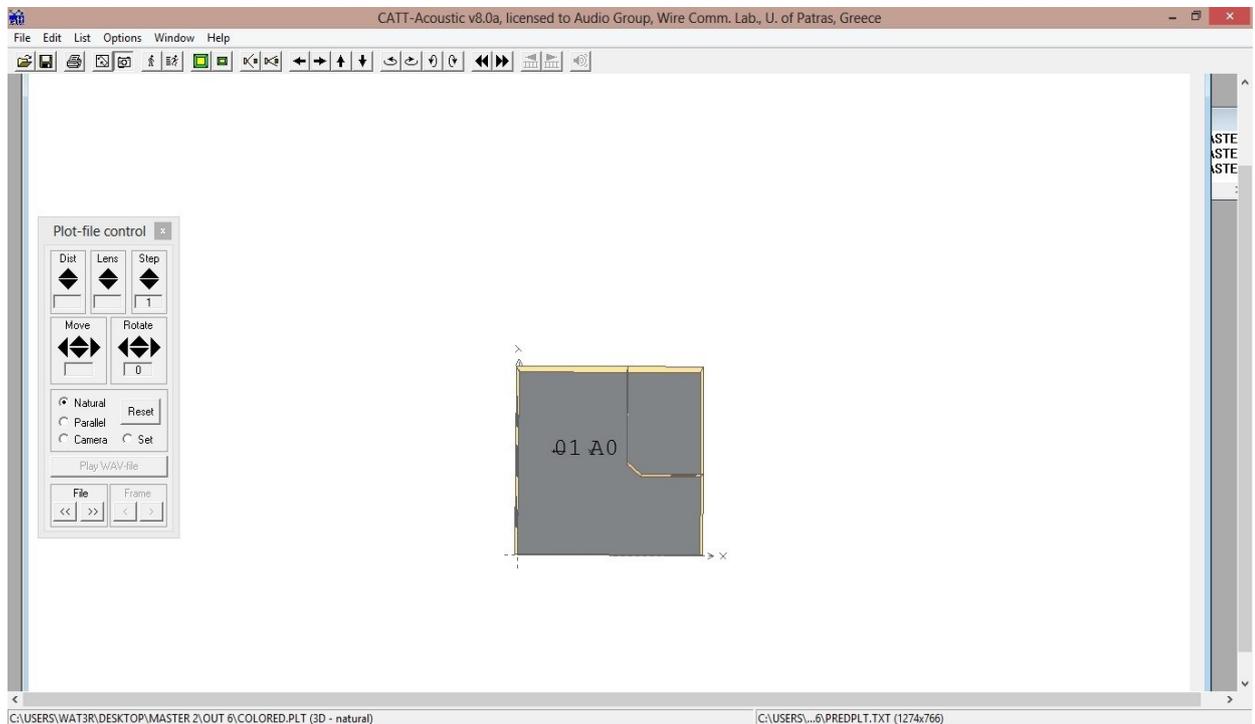
Όπως διακρίνουμε στο παραπάνω σχήμα τα μεγέθη μέτρησης των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο των 125 και 250Hz είναι κοντά στο 80 % ενώ τα μεγέθη των 500, 1, 2, kHz είναι κοντά στο 90%. Το μέγεθος των 4 kHz είναι στο 100% ενώ αντιθέτως τα μεγέθη των 8 και 16 kHz ξεπερνούν το 100 % πράγμα που σημαίνει ότι κατά την ανάκλαση μέσα στον χώρο τα μεγέθη αυτά αυξήθηκαν λόγω των χτύπων των

<sup>129</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

επιφανειών παρόλο που γωνία πρόσπτωσης δεν υπήρχε όπως στα προηγούμενα σχήματα.

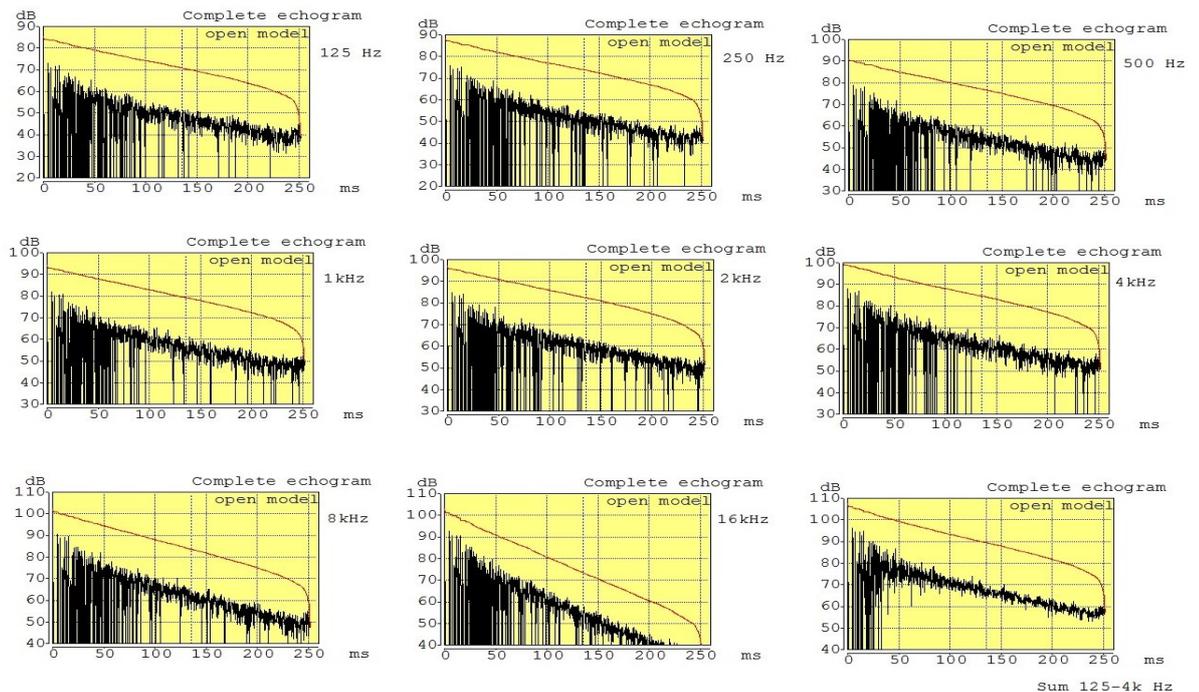
### *ΖΕΥΓΟΣ 6 (01-A0)*

Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχόγραμμα στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών μέσα στον χώρο αυτόν. Το ζεύγος 6 της συγκεκριμένης μελέτης ανήκει στην κατηγορία των ζευγών που έχουν τοποθετηθεί μπροστά απο το παράθυρο που βλέπει προς την τάφρο του ΤΕΙ. Πίσω απο αυτήν υπάρχει δρόμος όπου καταλήγει στην σχολή πληροφορικής. Με αποτέλεσμα να υπάρχει το ενδεχόμενο θορύβου απο τα αμάξια φοιτητών ή καθηγητών. Για την καλύτερη απόδοση των αποτελεσμάτων τοποθετήθηκαν κουρτίνες μπροστά απο τα παράθυρα του στούντιο, όπως επίσης και ο πομπός είναι 2 μέτρα μακριά απο το παράθυρο για την αποφυγή ηχογράφησης διάφορων ηχητικών παρασίτων, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα:



*Σχήμα 5.21: Ζεύγος πομπού-δέκτη 6 (01-A0) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής.*

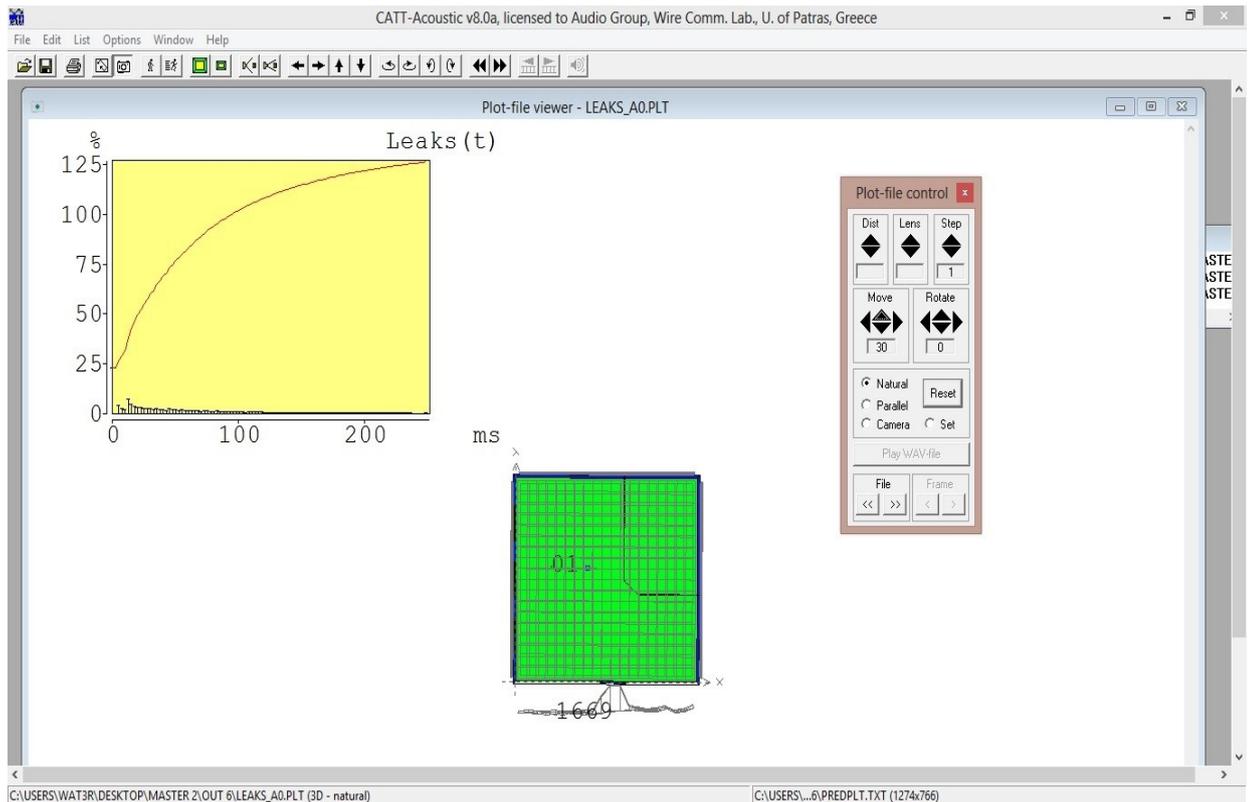
Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 6 (01-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα σε αντίθεση με τα άλλα 5 ζεύγη μέτρησης σε χρονική διάρκεια 0,0-0,25 του δευτερολέπτου (0000-250 ms). Αυτό γιατί η τοποθέτηση στο συγκεκριμένο σημείο του ζεύγους 6 ο τοίχος, η γωνία πρόσπτωσης και η διάταξη του χώρου είναι τελείως διαφορετική. Ο τοίχος πρόσπτωσης είναι κοντά στην πηγή και τον δέκτη. Επίσης ο πομπός βρίσκεται 2 μέτρα μπροστά από το δεύτερο παράθυρο (που βλέπει στην τάφρο), όπως επίσης και ο δέκτης ο οποίος βρίσκεται κοντά στον τοίχο του master room (δωμάτιο επεξεργασίας ήχου και ηχογράφησης). Έτσι τα αποτελέσματα και των ακτινών και του ηχοβολισμού (rays octave), θα διαφέρουν αρκετά. Το αξιοσημείωτο στον όλο ηχοβολισμό του συγκεκριμένου ζεύγους είναι ότι η ανακλαστική δραστηριότητα αρχίζει να εμφανίζεται σε αυξημένη από την αρχή ακόμα (0,01 δηλαδή στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου) μέχρι την τιμή των (0,05 ms) ενώ εν συνεχεία μειώνεται αλλά κρατάει σταθερές τιμές μέχρι το τέλος του ηχογράμματος σε χρονικές τιμές των 0,25 ms. Πιο συγκεκριμένα τα μεγέθη των 125, 250, Hz 1, 2, 8 και 16 kHz κρατάνε μια σταθερή συμπεριφορά στον χώρο εν αντιθέσει με τα μεγέθη των 4, 6, kHz όπου η δραστηριότητα της ηχούς και της ανακλαστικής συμπεριφοράς κινείται σε διάσπαρτα χρονικά όρια [πράγμα ανεπαίσθητο στο ανθρώπινο αυτί όχι όμως στα όργανα ηχογράφησης (μικρόφωνο)]. Ωστόσο ο χρόνος μέτρησης είναι διαφορετικός (λόγω του ότι ως μεταβλητή στο λογισμικό δόθηκε τυχαίος χρόνος ηχοβολισμού) όπως και η ανακλαστική συμπεριφορά (για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω).



Σχήμα 5.22: Ολοκληρωμένο ηχόγραμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 6 (01-A0).

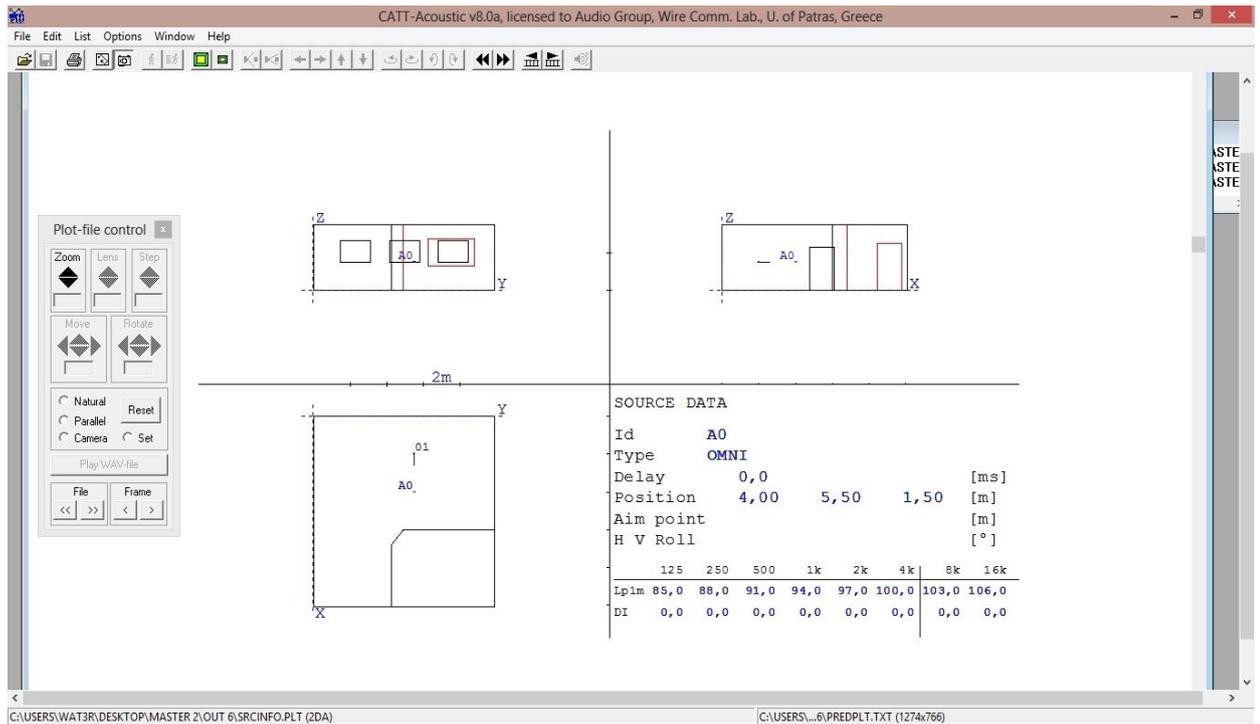
Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε την διαφορά που υπάρχει σε σύγκριση με το ζεύγος 5 που αναλύθηκε προηγουμένως όπως και των υπολοίπων ζευγών όσο αναφορά τις διαρροές έξω απο τον χώρο δια μέσω της πόρτας του studio. Ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο υπάρχει και διαφορετική συμπεριφορά στα ηχητικά κύματα. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι όσο απομακρυνόμαστε προς το βάθος της αίθουσας τόσο μειώνεται η απώλεια των ακτινών (rays octave).

Έτσι μεγαλώνει το ενδεχόμενο ηχούς στον χώρο:



Σχήμα 5.23: Διαρροές ηχητικών κυμάτων διαμέσου του τοίχου στο διάστημα των 0,2-0,25 κλάσματος του δευτερολέπτου.

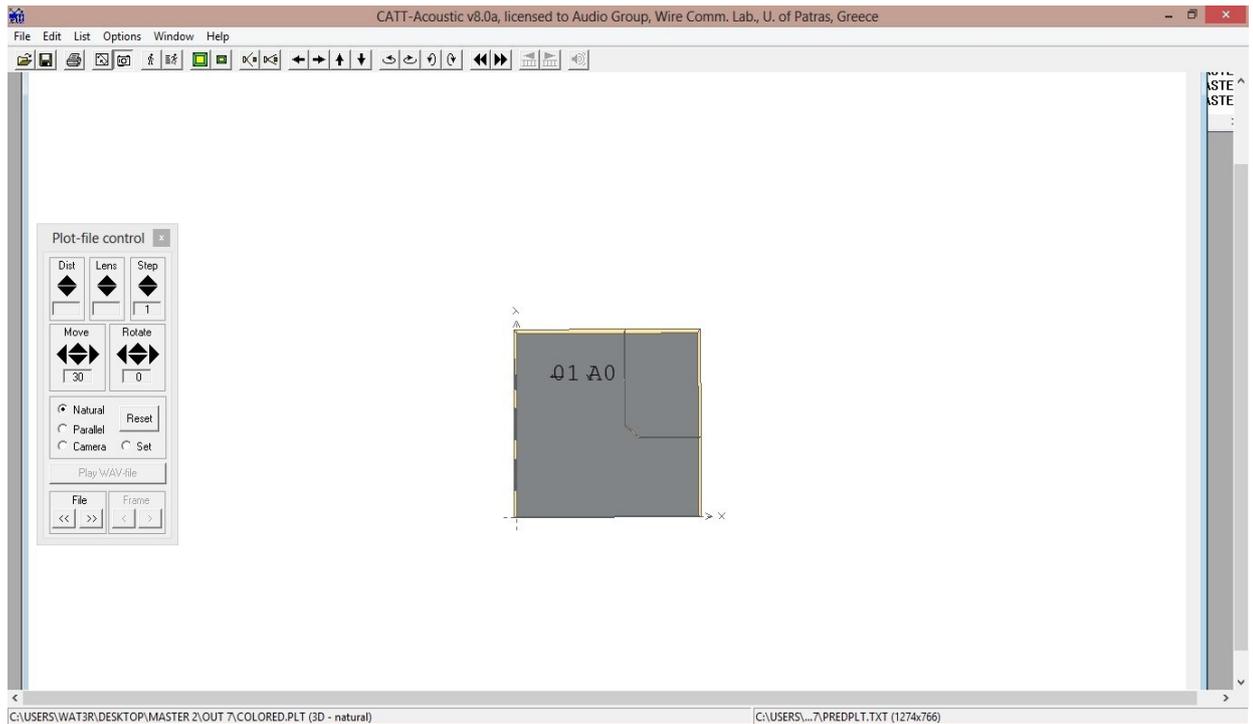
Όπως διακρίνουμε στο παρακάτω σχήμα τα μεγέθη μέτρησης των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο των 125 και 250Hz είναι κοντά στο 90 % ενώ τα μεγέθη των 500, 1, 2, kHz είναι κοντά στο 100%. Το μέγεθος των 4 kHz είναι στο 100% ενώ αντιθέτως τα μεγέθη των 8 και 16 kHz ξεπερνούν το 100 % πράγμα που σημαίνει ότι κατά την ανάκλαση μέσα στον χώρο τα μεγέθη αυτά αυξήθηκαν λόγω των χτύπων των επιφανειών παράλο που γωνία πρόσπτωσης δεν υπήρχε όπως στα προηγούμενα σχήματα. Την ίδια συμπεριφορά διακρίνουμε και στο ζεύγος 5 που αναλύθηκε προηγουμένως.



Σχήμα 5.24: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A6(01-A0).

### ΖΕΥΓΟΣ 7 (01-A0)

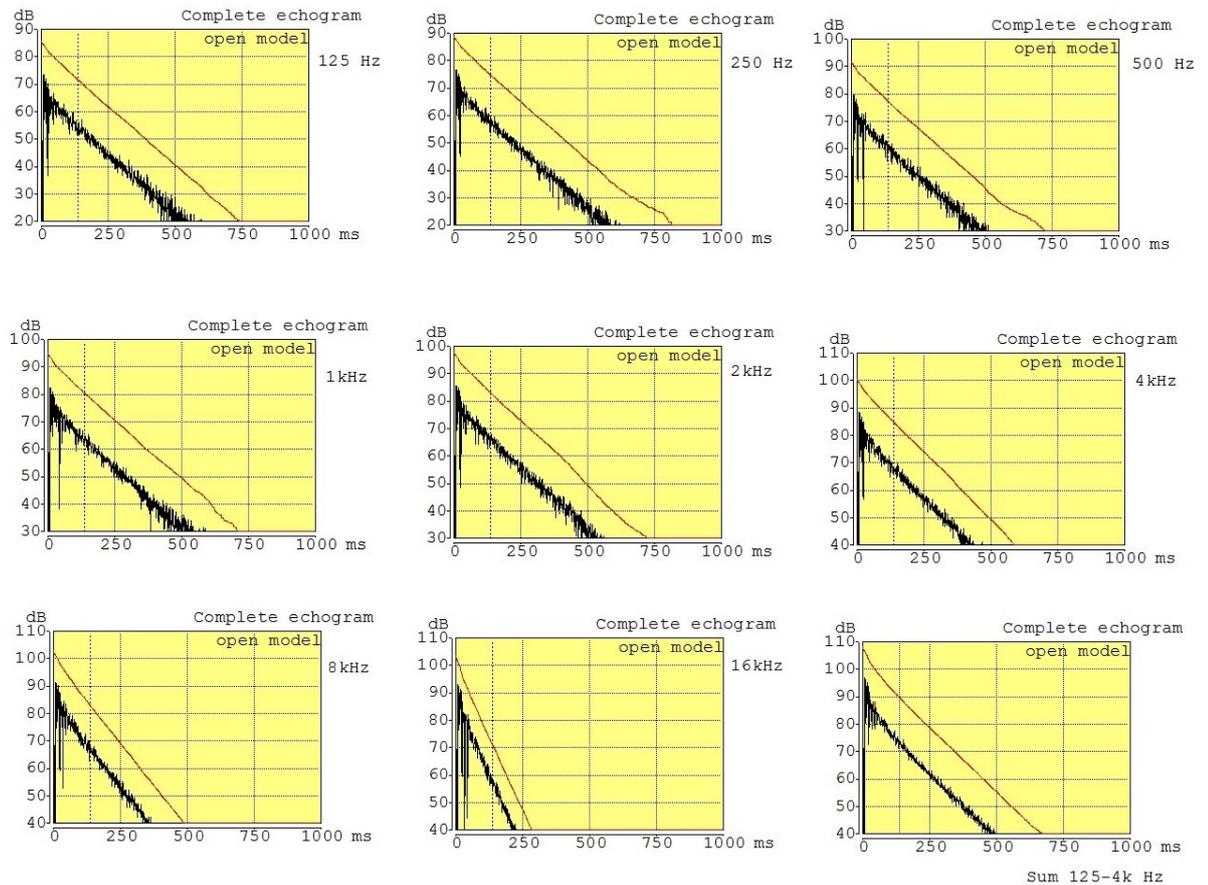
Αφού τοποθετήθηκαν οι διαστάσεις x,y,z (μήκος, πλάτος, ύψος) της πηγής και του δέκτη αντίστοιχα στο λογισμικό, έπειτα υπολογίστηκε ολοκληρωμένα το ηχογράμμα στα μεγέθη των 125, 250, 500 Hz, και 1, 2, 4, 8, 16 kHz αντίστοιχα καθώς και τα αποτελέσματα του μέσου όρου των μετρήσεων των μεγεθών μέσα στον χώρο αυτόν. Το ζεύγος 7 της συγκεκριμένης μελέτης ανήκει στην κατηγορία των ζευγών που έχουν τοποθετηθεί μπροστά απο το παράθυρο που βλέπει προς την τάφρο του ΤΕΙ. Πίσω απο αυτήν υπάρχει δρόμος όπου καταλήγει στην σχολή πληροφορικής. Με αποτέλεσμα να υπάρχει το ενδεχόμενο θορύβου απο τα αμάξια φοιτητών ή καθηγητών. Για την καλύτερη απόδοση των αποτελεσμάτων τοποθετήθηκαν κουρτίνες μπροστά απο τα παράθυρα του στούντιο, όπως επίσης και ο πομπός είναι 2 μέτρα μακριά απο το παράθυρο για την αποφυγή ηχογράφησης διάφορων ηχητικών παρασίτων, δίνοντας τα εξής αποτελέσματα



Σχήμα 5.25: Ζεύγος πομπού-δέκτη 7 (01-A0) στο studio λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής.

Στα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους πομπού-δέκτη 7 (01-A0) διακρίνουμε ως επί το πλείστον μηδενική ανακλαστική δραστηριότητα σε αντίθεση με τα άλλα 6 ζεύγη μέτρησης σε χρονική διάρκεια 0,0-1,0 κλάσματος του δευτερολέπτου (0000-1000 ms). Αυτό γιατί η τοποθέτηση στο συγκεκριμένο σημείο του ζεύγους 7 ο τοίχος, η γωνία πρόσπτωσης και η διάταξη του χώρου είναι τελείως διαφορετική. Διότι ο τοίχος πρόσπτωσης είναι κοντά στην πηγή και τον δέκτη. Επίσης ο πομπός βρίσκεται 2 μέτρα μπροστά από το δεύτερο παράθυρο (που βλέπει στην τάφρο), όπως επίσης και ο δέκτης ο οποίος βρίσκεται κοντά στον τοίχο του master room (δωμάτιο επεξεργασίας ήχου και ηχογράφησης). Έτσι τα αποτελέσματα και των ακτινών και του ηχοβολισμού (rays octave), θα διαφέρουν αρκετά. Το αξιοσημείωτο στον όλο ηχοβολισμό του συγκεκριμένου ζεύγους είναι ότι η ανακλαστική δραστηριότητα αρχίζει να εμφανίζεται από την αρχή ακόμα (0,01 δηλαδή στα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου) μέχρι την τιμή των (0,05 ms) ενώ εν συνεχεία μηδενίζεται αλλά κρατάει σταθερές τιμές μέχρι το τέλος του ηχογράμματος σε χρονικές τιμές των 1000 ms. Πιο συγκεκριμένα τα μεγέθη των 125, 250, Hz 1, 2, 4 και 6 kHz κρατάνε μια σταθερή συμπεριφορά στον χώρο εν αντιθέσει με τα μεγέθη των 16 και 8 kHz όπου η δραστηριότητα της ηχούς και της ανακλαστικής συμπεριφοράς κινείται σε μηδενικά μεγέθη και πίσω από τα 500 ms

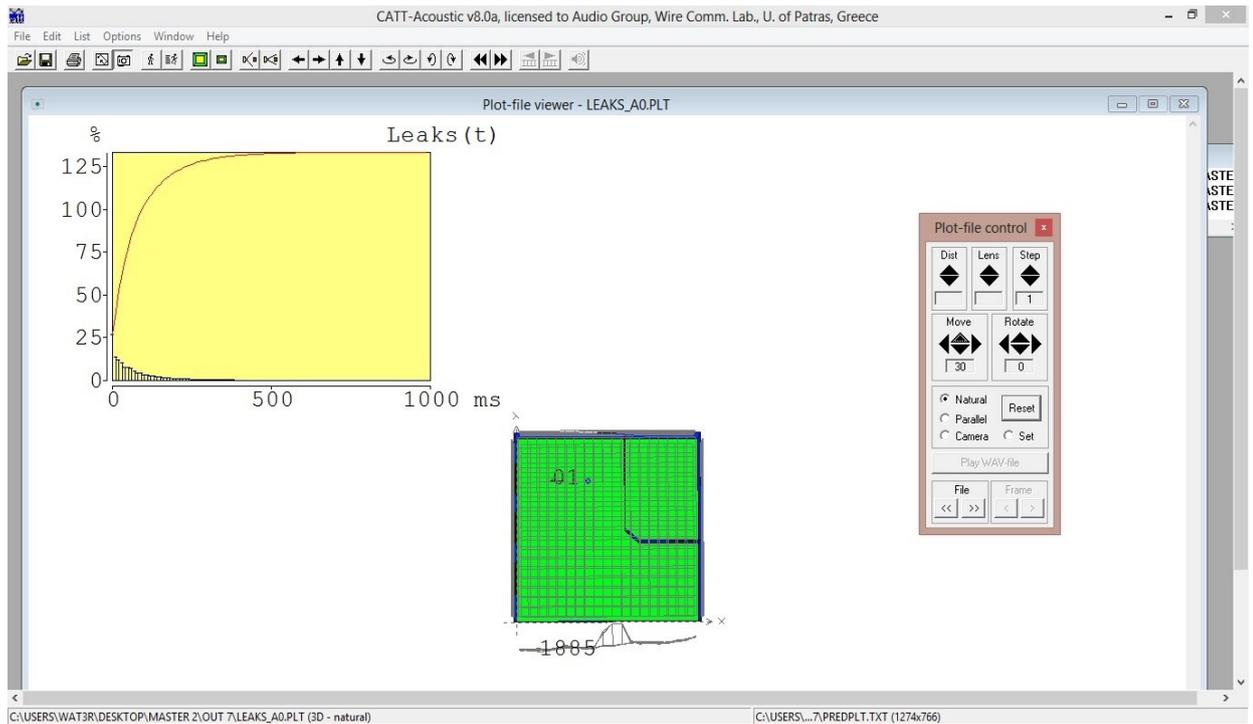
[πράγμα ανεπαίσθητο στο ανθρώπινο αυτί όχι όμως στα όργανα ηχογράφησης (μικρόφωνο)]. Ωστόσο ο χρόνος μέτρησης είναι διαφορετικός (λόγω του ότι ως μεταβλητή στο λογισμικό δόθηκε τυχαίος χρόνος ηχοβολισμού) όπως και η ανακλαστική συμπεριφορά (για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω).



Σχήμα 5.26: Ολοκληρωμένο ηχόγραμμα συμπεριφοράς των υλικών στο σχεδιάγραμμα της αίθουσας, μέσω του λογισμικού Catt acoustics στο ζεύγος 7 (01-A0).

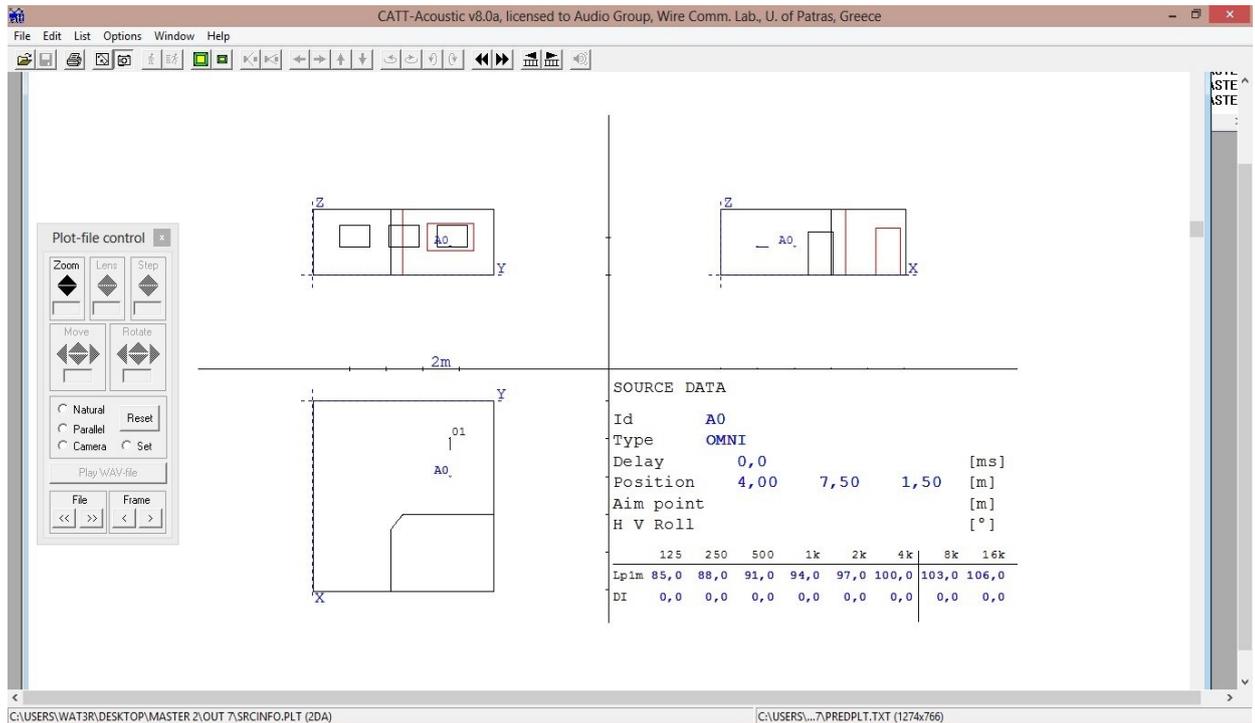
Στο σχήμα που ακολουθεί διακρίνουμε την διαφορά που υπάρχει σε σύγκριση με το ζεύγος 6 που αναλύθηκε προηγουμένως όπως και των υπολοίπων ζευγών όσο αναφορά τις διαρροές έξω από τον χώρο δια μέσω της πόρτας του studio. Ανάλογα την τοποθέτηση του ζεύγους μέσα στον χώρο υπάρχει και διαφορετική συμπεριφορά στα ηχητικά κύματα. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι όσο απομακρυνόμαστε προς το βάθος της αίθουσας τόσο μειώνεται η απώλεια των ακτινών (rays octave).

Έτσι μεγαλώνει το ενδεχόμενο ηχούς στον χώρο. Πράγμα που δεν ισχύει στο συγκεκριμένο ζεύγος. Τα μεγέθη είναι μηδενικά χωρίς την δημιουργία ηχούς σε όλο το ηχογράφημα.



Σχήμα 5.27: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A7 (01-A0).

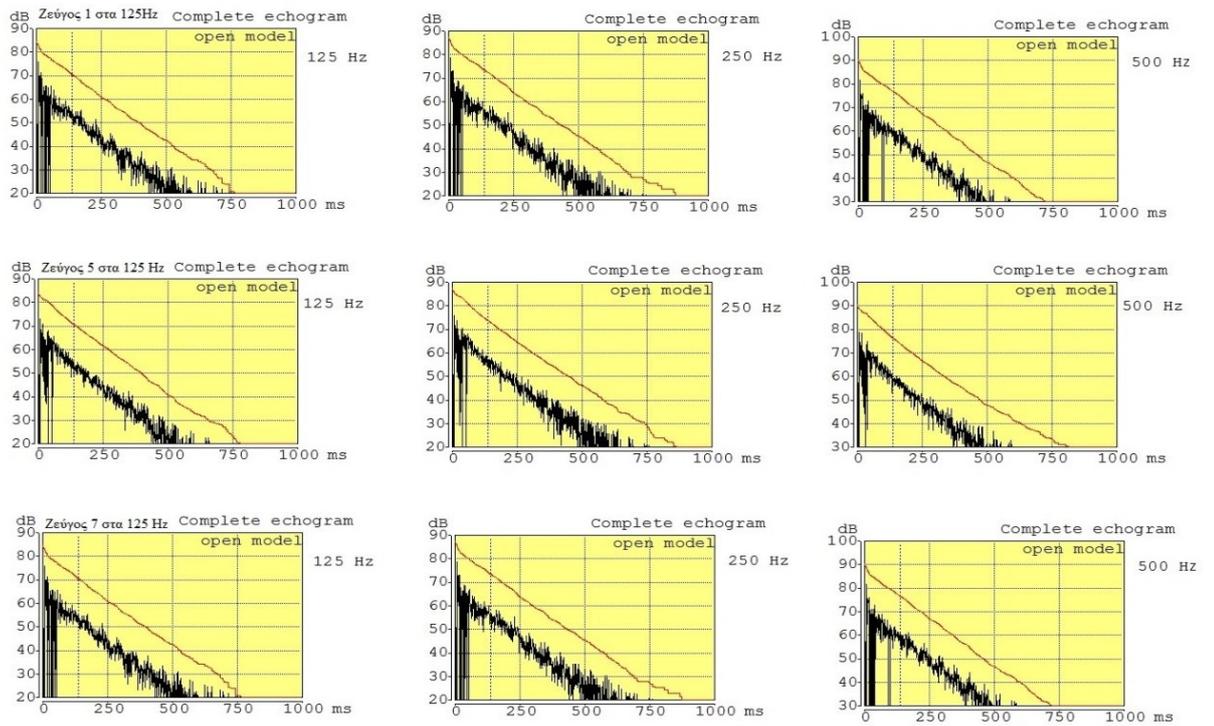
Όπως διακρίνουμε στο παρακάτω σχήμα τα μεγέθη μέτρησης των ηχητικών κυμάτων μέσα στον χώρο των 125 και 250Hz είναι κοντά στο 80 % ενώ τα μεγέθη των 500, 1, 2, kHz είναι κοντά στο 100%. Το μέγεθος των 4 kHz είναι στο 100% ενώ αντιθέτως τα μεγέθη των 8 και 16 kHz ξεπερνούν το 100 % πράγμα που σημαίνει ότι κατά την ανάκλαση μέσα στον χώρο τα μεγέθη αυτά αυξήθηκαν λόγω των χτύπων των επιφανειών παρόλο που γωνία πρόσπτωσης δεν υπήρχε όπως στα προηγούμενα σχήματα. Την ίδια συμπεριφορά διακρίνουμε και στο ζεύγος 6 που αναλύθηκε προηγουμένως όπως και στην πλειοψηφία των ζευγών.



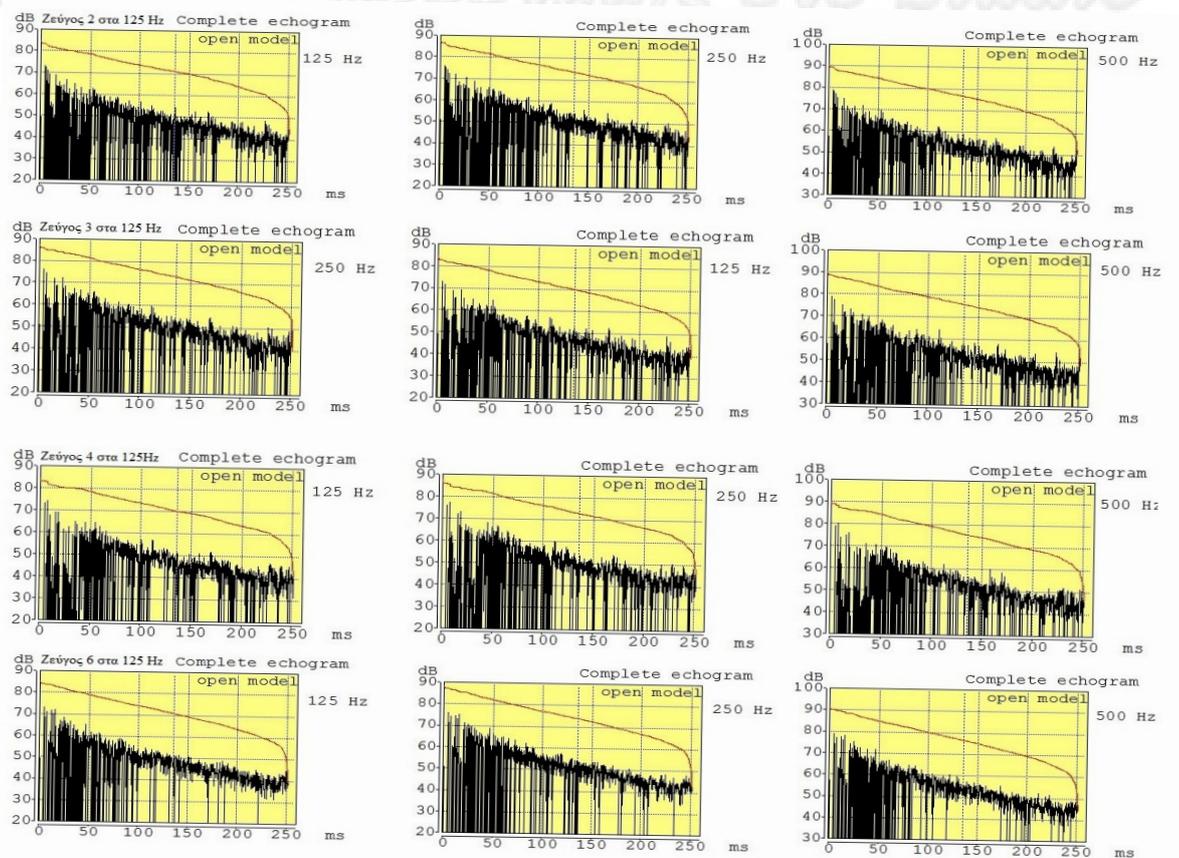
Σχήμα 5.28: Ποσοστό έντασης επί τοις εκατό στα ηχητικά κύματα και διαστάσεις τοποθέτησης του ζεύγους A7 (01-A0).

## II. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Έπειτα απο την ανάλυση των αποτελεσμάτων στα ολοκληρωμένα ηχογράμματα και στα διάφορα ζεύγη που αναλύθηκαν καταγράφω την σύγκριση αποτελεσμάτων για την επιλογή άρτιας θέσης αλλά και θέσεων τοποθέτησης ζεύγους. Ξεκινώντας την ανάλυση μου θα ξεκινήσω παραθέτοντας τα ζεύγη 1, 5, 7 στα 125, 250 και 500 Hz αλλά και στα 1, 2, 4, 8, 16 KHz. Στα σχήματα που ακολουθούν παρατηρούμε τα εξής:



Σχήμα 5.2.1: Ζεύγη 1, 5, 7 στα 125, 250 και 500 Hz.



Σχήμα 5.2.2: Ζεύγη 2, 3, 4, 6 στα 125, 250 και 500 Hz.

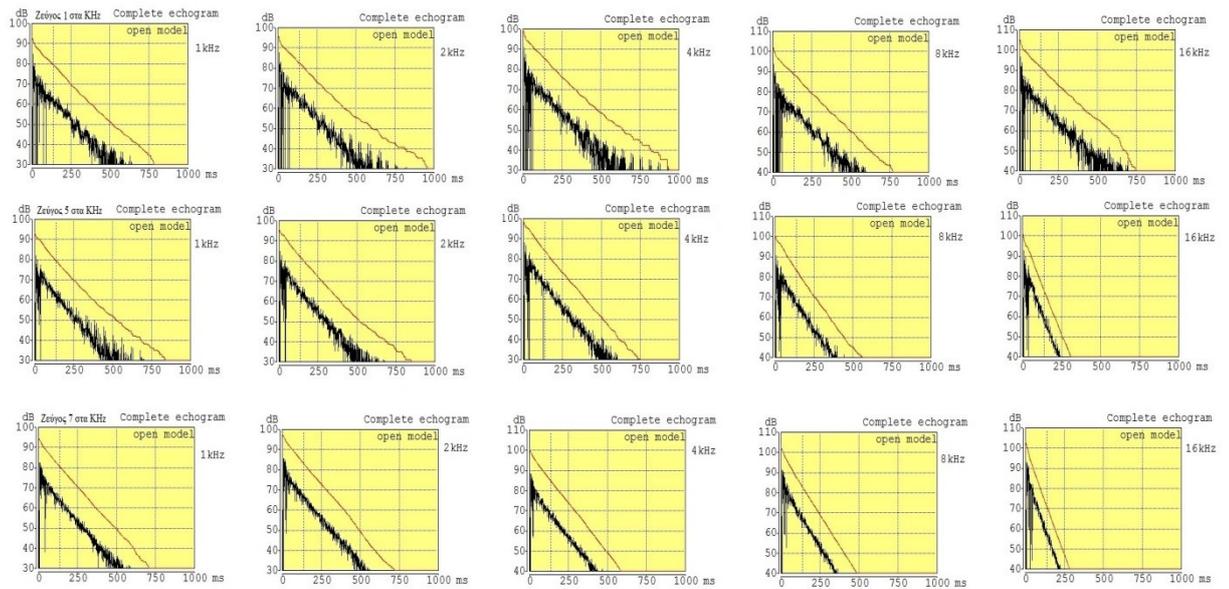
Στα παραπάνω σχήματα διακρίνουμε ότι η συμπεριφορά των ζευγών 1-7 στα **125, 250** και **500 Hz** αντίστοιχα στα 1000 και στα 250 ms ορίζονται ως εξής:

### ***Ζεύγη 2, 3, 4, 6***

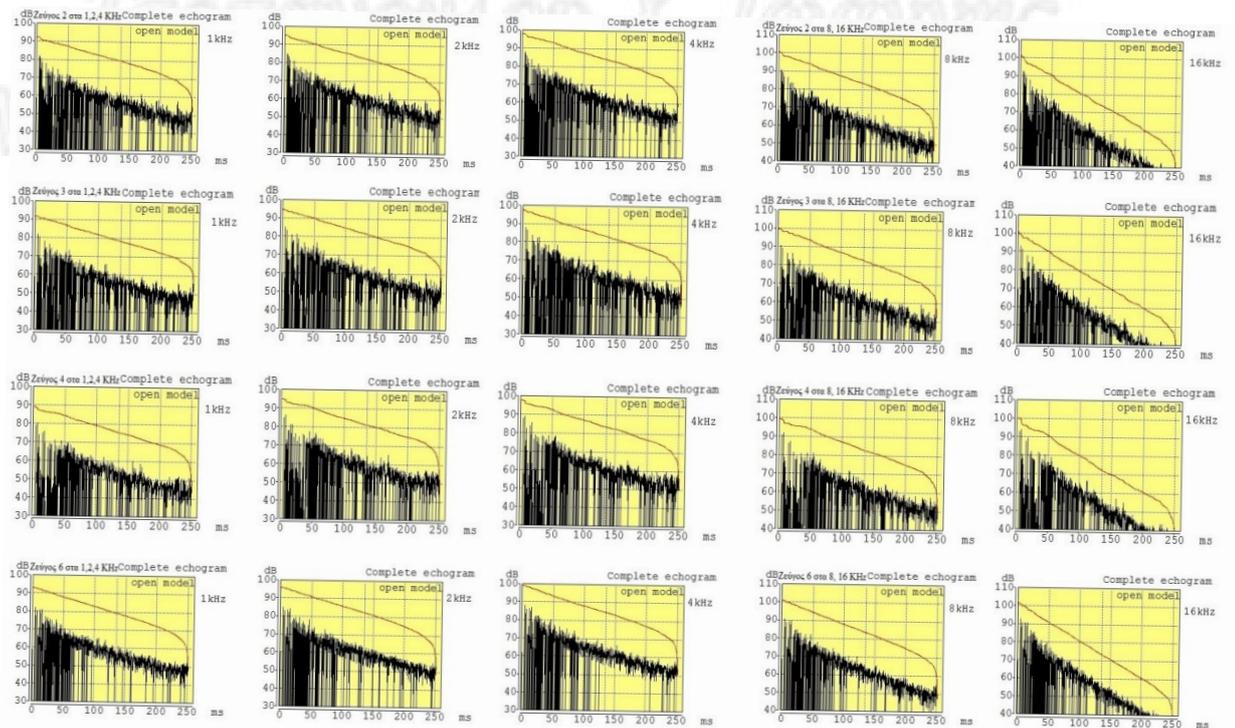
Τα εν λόγω ζεύγη όπως φαίνεται και στο σχήμα ορίζονται χρονικά στα 250 ms και ένταση ανώτερης στάθμης (για το ανθρώπινο αυτί) στα 90 dB. Όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 5.2.2 η ανακλαστική δραστηριότητα είναι αυξημένη. Έτσι η δημιουργία ηχούς-echo είναι σε μεγάλα επίπεδα παρόλο που η χρονική μέτρηση είναι στην κλίμακα των 250 ms όπου και καταλήγουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στην συνεχόμενη ένταση της τάξεως των 1000 ms και άνω, τα προβλήματα στην διάρκεια της ηχογράφησης να είναι δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα στα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους 2 (στα 125-250-500 Hz) του ζεύγους 3 (στα 250-500 Hz) και του ζεύγους 4 (στα 250-500 Hz) διακρίνουμε ότι η ανακλαστική δραστηριότητα και η παραγωγή ηχούς είναι αυξημένη σε αντίθεση με την ανακλαστική δραστηριότητα των ίδιων ζευγών (εκτός του 2 και του ζεύγους 6) που στα 125 Hz (για τα ζεύγη 3,4) και στα (125-250-500 Hz) για το ζεύγος 6 η ανακλαστική δραστηριότητα από την αρχή είναι μειωμένη ενώ στη συνέχεια παρατηρούμε μια πτώση στην ανάκλαση της τάξεως πάνω από το 70% για το 3, 4 ζεύγος και περίπου στο 80% για το ζεύγος 6.

### ***Ζεύγη 1, 5, 7***

Τα εν λόγω ζεύγη όπως φαίνεται και στο σχήμα ορίζονται χρονικά στα 1000 ms και ένταση ανώτερης στάθμης (για το ανθρώπινο αυτί) στα 90 dB. Όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 5.2.1 η ανακλαστική δραστηριότητα είναι μειωμένη έως μηδενική. Το αξιοσημείωτο στην μελέτη αυτή είναι ότι τα συγκεκριμένα ζεύγη καταλήγουν στα 500-750 ms (δηλαδή στα 0,5 και 0,75 κλάσματα του δευτερολέπτου). Στα συγκεκριμένα ζεύγη το μόνο που παρατηρείται είναι ότι η ανακλαστική δραστηριότητα παύει να υπάρχει από το 0,025 ms συνεχίζοντας μια σταθερή πορεία μέχρι τα 500-750 ms εκτός του ζεύγους 7 στα 500 Hz όπου υπάρχει ανακλαστική δραστηριότητα μικρής εμβέλειας αλλά και διάρκειας για το ανθρώπινο αυτί όχι όμως για τα όργανα ηχογράφησης).



Σχήμα 5.2.3: Ζεύγη 1, 5, 7 στα 1, 2, 4, 8, 16 KHz.



Σχήμα 5.2.4: Ζεύγη 2, 3, 4, 6 στα 1, 2, 4, 8, 16 KHz.

Στα παραπάνω σχήματα διακρίνουμε ότι η συμπεριφορά των ζευγών 1-7 στα 1, 2, 4, 8 και 16 KHz αντίστοιχα στα 1000 και στα 250 ms ορίζονται ως εξής:

### ***Ζεύγη 2, 3, 4, 6***

Τα εν λόγω ζεύγη όπως φαίνεται και στο σχήμα ορίζονται χρονικά στα 250 ms και ένταση ανώτερης στάθμης (για το ανθρώπινο αυτί) στα 90 dB. Όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 5.2.4 η ανακλαστική δραστηριότητα είναι αυξημένη. Έτσι η δημιουργία ηχούς-echo είναι σε μεγάλα επίπεδα παρόλο που η χρονική μέτρηση είναι στην κλίμακα των 250 ms όπου και καταλήγουν (εκτός από τα 16 KHz όλων των ζευγών). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στην συνεχόμενη ένταση της τάξεως των 1000 ms και άνω τα προβλήματα στην διάρκεια της ηχογράφησης να είναι δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα στα ολοκληρωμένα ηχογράμματα του ζεύγους 2 (1, 2, 4, 8 και 16 KHz) διακρίνουμε αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα σε μεγάλο βαθμό μέχρι τα 150 ms όπου και διακρίνουμε από κει και μετά πτώση στην ανακλαστική δραστηριότητα της τάξεως του 65%. Τα 16 KHz του ζεύγους 2 συμπεριφέρονται τελείως διαφορετικά από τα υπόλοιπα στο συγκεκριμένο σημείο και αυτό γιατί έχουν πυκνή (πολλές διαδεχόμενες ανακλάσεις) και αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα μέχρι τα 230 ms όπου και καταλήγουν. Στο ζεύγος 3 (1, 2, 4, 8 και 16 KHz) διακρίνουμε αυξημένη ανακλαστική δραστηριότητα σε μεγάλο βαθμό μέχρι τα 150 ms όπου και διακρίνουμε από κει και μετά πτώση στην δραστηριότητα αυτή της τάξεως του 65%. Πλην των 8 KHz όπου και διακρίνουμε πύκνωση την ανακλαστικής δραστηριότητας στο δοθέντα χρόνο των 250 ms, σε αντίθεση με το ζεύγος 2. Στο ζεύγος 4 (1, 2, 8 και 16 KHz) διακρίνουμε ότι η ανακλαστική δραστηριότητα και η παραγωγή ηχούς είναι αυξημένη σε αντίθεση με την ανακλαστική δραστηριότητα των 4 KHz όπου η ανακλαστική δραστηριότητα είναι μειωμένη έως μηδενική στα 150 προς 200 ms. Όσο αναφορά την ανακλαστική δραστηριότητα του ζεύγους 6 τότε με τα βεβαιότητας (σύμφωνα με τα αποτελέσματα) μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι σε όλα τα μεγέθη συχνοτήτων έχει αραιωμένη ανακλαστική δραστηριότητα. Πολύ χαρακτηριστικό είναι το μέγεθος των 4 KHz όπου στο συγκεκριμένο ζεύγος διακρίνουμε την συνέχιση της σταθερής δραστηριότητας μέχρι την λήξη των 250 ms.

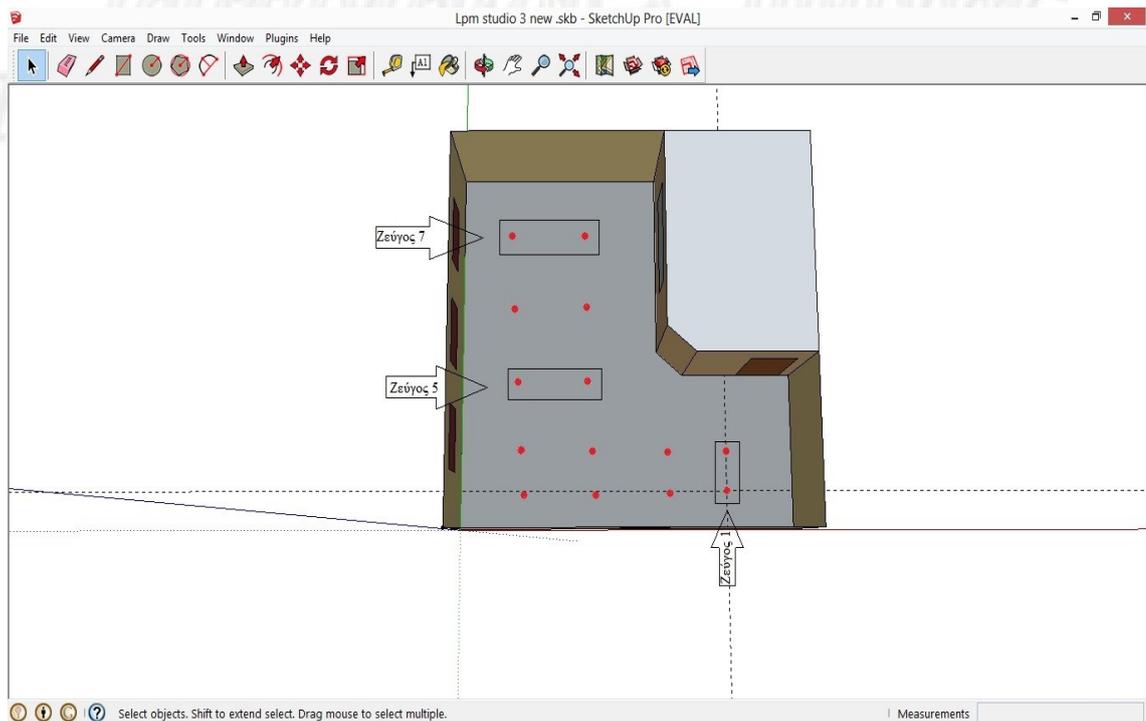
### ***Ζεύγη 1, 5, 7***

Τα εν λόγω ζεύγη όπως φαίνεται και στο σχήμα ορίζονται χρονικά στα 1000 ms και ένταση ανώτερης στάθμης (για το ανθρώπινο αυτί) στα 90 dB. Όπως διακρίνουμε και στην εικόνα 5.2.3 η ανακλαστική δραστηριότητα είναι μειωμένη έως μηδενική. Το αξιοσημείωτο στην μελέτη αυτή είναι ότι συγκεκριμένα ζεύγη καταλήγουν στα 500-750

ms (δηλαδή στα 0,5 και 0,75 κλάσματα του δευτερολέπτου) και όχι σε όλα τα μεγέθη. Συγκεκριμένα στα μεγέθη των 1 KHz για όλα τα ζεύγη, των 2 KHz για τα ζεύγη 3 και 7, των 4 KHz για το ζεύγος 5, των 8 KHz για το ζεύγος 1 και τέλος των 16 KHz για το ζεύγος 1. Όσο αναφορά τα μεγέθη των 2 KHz στο ζεύγος 1 παρατηρείται ότι η ανακλαστική δραστηριότητα ξεπερνάει τα 750 ms καταλήγοντας στα 1000 ms. Στα ζεύγη 5 και 7 στα (8 και 16 KHz) για το ζεύγος 5 και στα (4, 8 KHz) για το ζεύγος 7 παρατηρείται μείωση και εξασθένιση της ανακλαστικής συμπεριφοράς κάτω από τα 500 ms. Αξιοσημείωτο είναι το αποτέλεσμα των μεγεθών των 16 KHz όπου και στα δύο ζεύγη είναι κάτω από τα 250ms.

### **ΤΕΛΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ-ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΖΕΥΓΩΝ**

Ύστερα από την αναλυτική μελέτη και σύγκριση αποτελεσμάτων καταλήγω στο συμπέρασμα ότι τα ζεύγη 1, 5, 7 είναι τα καταλληλότερα για την επιλογή τοποθέτησης (οργάνου-μικροφώνου), πομπού-δέκτη στον χώρο του studio.

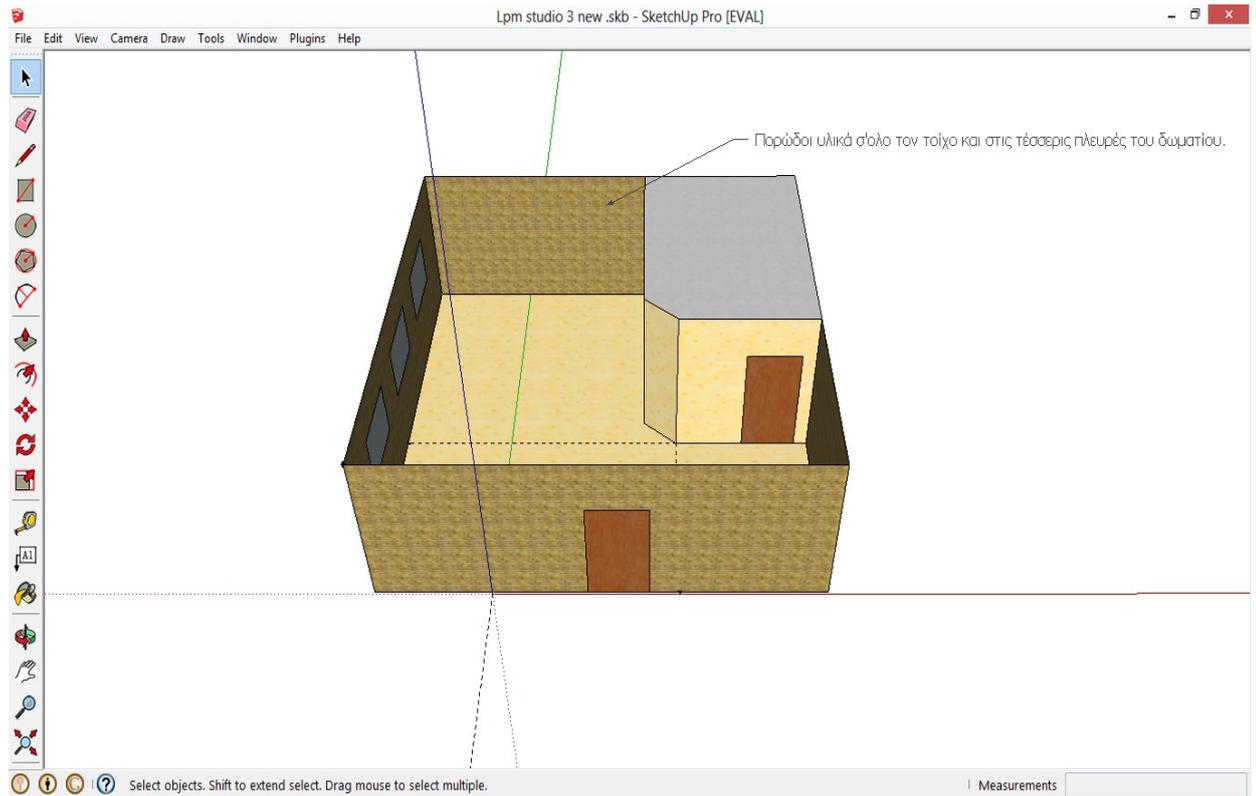


*Σχήμα 5.2.5: Καταλληλότερα σημεία ζευγών.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

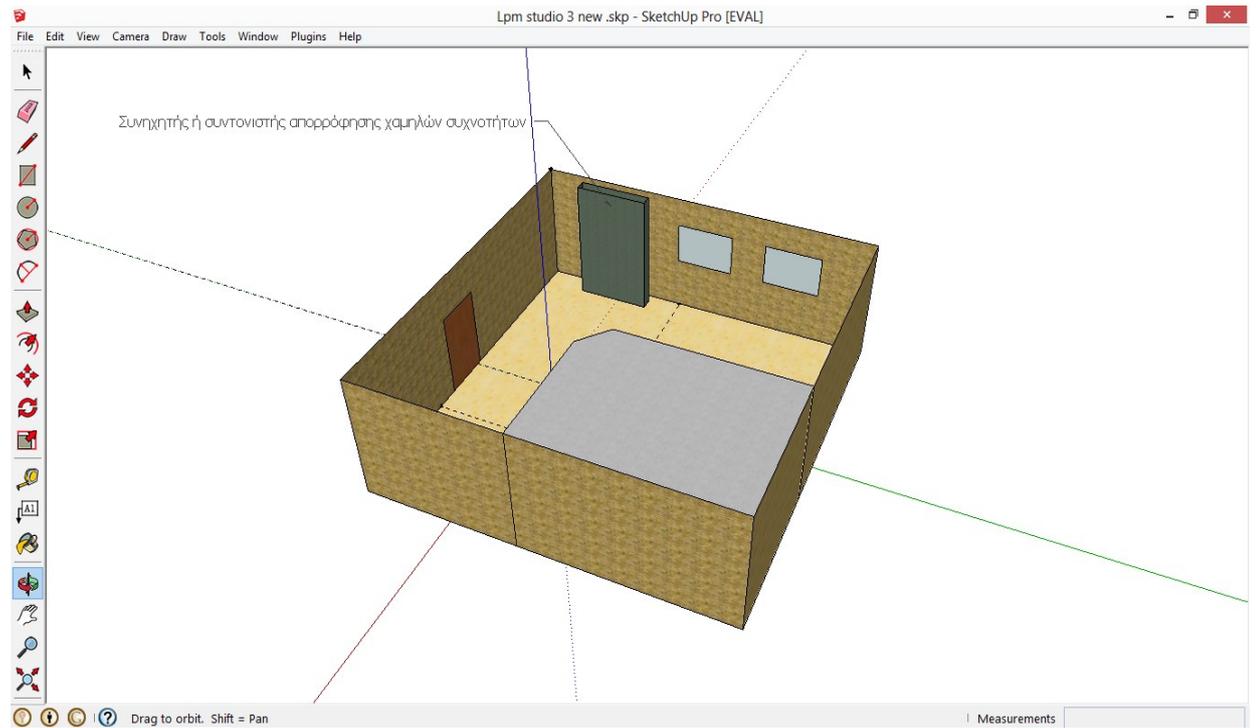
### ΠΡΟΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΔΩΜΑΤΙΟΥ (STUDIO) ΣΤΟ ΤΕΙ ΛΑΪΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

Έπειτα απο την μακροσκελή διαδικασία μελέτης και πειράματος μέσω του υπολογιστικού προγράμματος Catt Acoustics V<sub>8</sub> είμαι σε θέση να εξαγγελθεί πρόταση σχεδίασης του studio στο ΤΕΙ λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής. Οι πρώτες ενδείξεις της μελέτης δείχνουν ότι το εν λόγω studio δεν έχει καμία ένδειξη ηχομονωτικού υλικού (μεγάλη αίθουσα) στους τοίχους του ούτε ακόμα στο δάπεδο. Η πόρτα είναι ηχομονωμένη χωρίς να σημαίνει ότι ο τοίχος που την περιβάλλει είναι το ίδιο καλά ηχομονωμένος. Η μελέτη της συγκεκριμένης διπλωματικής έγινε για τον χώρο που συναντάει κάποιος μπαίνοντας απο την κύρια είσοδο της αίθουσας. Για την καλύτερη ηχομόνωση του χώρου σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης του υπολογιστικού προγράμματος πρέπει να τοποθετηθούν Σόλους τους εσωτερικούς τοίχους πλην του δωματίου ηχογράφησης, ηχομονωτικά πορώδη υλικά τα οποία θα απορροφούν πλήρως την διάχυση των ηχητικών κυμάτων. Η πολυουρεθάνη είναι μια πολύ καλή επιλογή (κεφάλαιο 2-σελ 25) λόγω της σύστασής της. Με οπές μικρής διαμέτρου (όχι μεγαλύτερης απο 3 cm διάμετρο) σε διάφορα σχήματα όπως σχισμές, κύκλους και ρόμβους. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση των διαφόρων ακτινών (Rays octave), αλλά και την αποφυγή θορύβου και διαρροής εκτός και εντός της αίθουσας. Θα πρέπει να υπολογιστεί επίσης και το ενδεχόμενο ηχομόνωσης του κλιματισμού (των ανεμιστήρων), όπως επίσης και της θέρμανσης. Το παράθυρο που υπάρχει μέσα στον χώρο και επικοινωνεί με το δωμάτιο που θα γίνεται το mastering και η επεξεργασία των ηχογραφήσεων θα πρέπει να μετατραπεί σε ένα όπως επίσης και η γυψοσανίδα που περιβάλλει το τοιχίο θα πρέπει να ενισχυθεί. Παρακάτω δίνονται αναλυτικά στις εικόνες η πρόταση της ανακατασκευής, επεξεργασίας και τοποθέτηση τόσο των νέων υλικών όσο και των ήδη τοποθετημένων υλικών.



Σχήμα 6.1: Πορώδη υλικά και στις τέσσερις πλευρές του δωματίου (εκτός του control room)

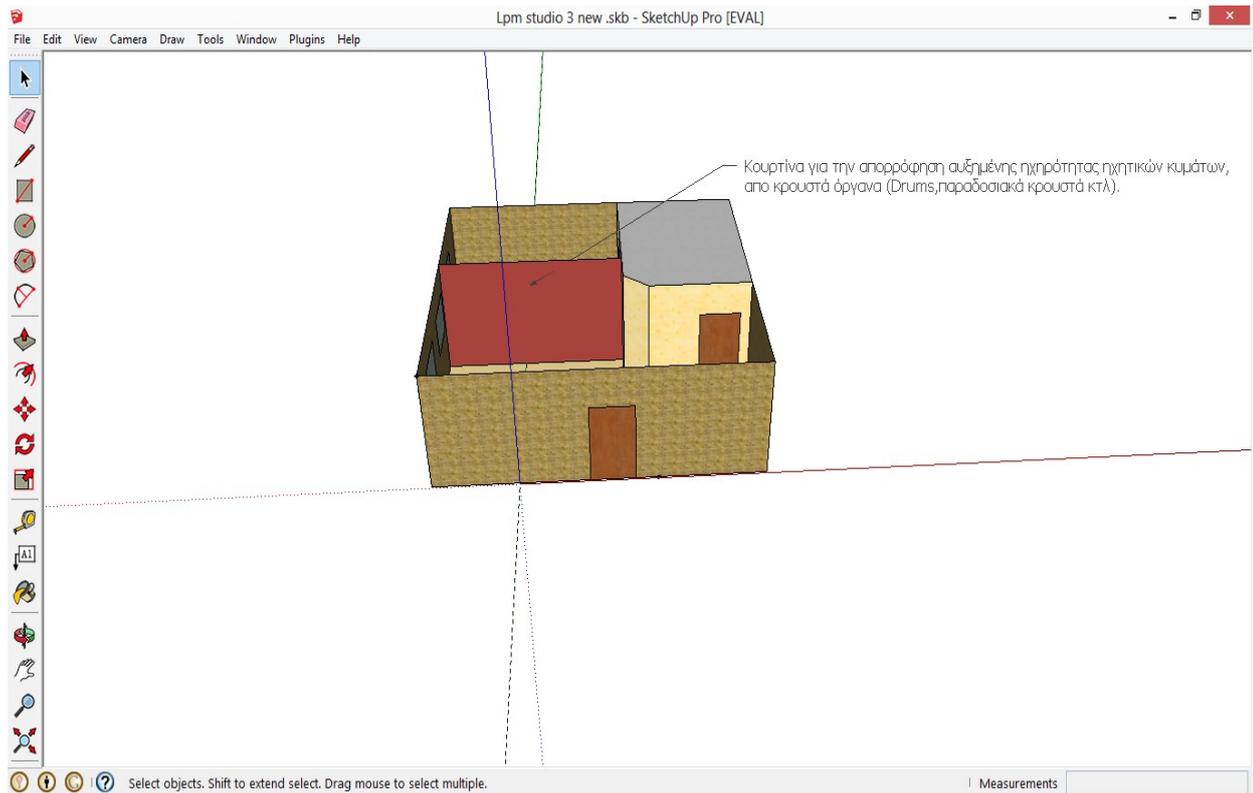
Στα σημεία όπου βρίσκονται τα παράθυρα για την αποφυγή εξωτερικού απρόσμενου θορύβου πρέπει να τοποθετηθούν συνηχητές για την απορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων. Κατά προτίμηση Helmholtz συρταρωτού τύπου για την μετακίνηση οπουδήποτε κατά μήκος του τοίχου. Επίσης τα παράθυρα θα πρέπει να ενισχυθούν και να ανακατασκευαστούν λόγω της υγρασίας που έχουν υποστεί από το κλίμα της Άρτας.



Τσοπάνογλου Χ. Ιωάννης  
 Σχήμα 6.2: Συνηχητής ή συντονιστής απορρόφησης χαμηλών συχνοτήτων.

## Μελέτη ακουστικής στο Studio του τμήματος Λαϊκής και Παραδοσιακής Μουσικής

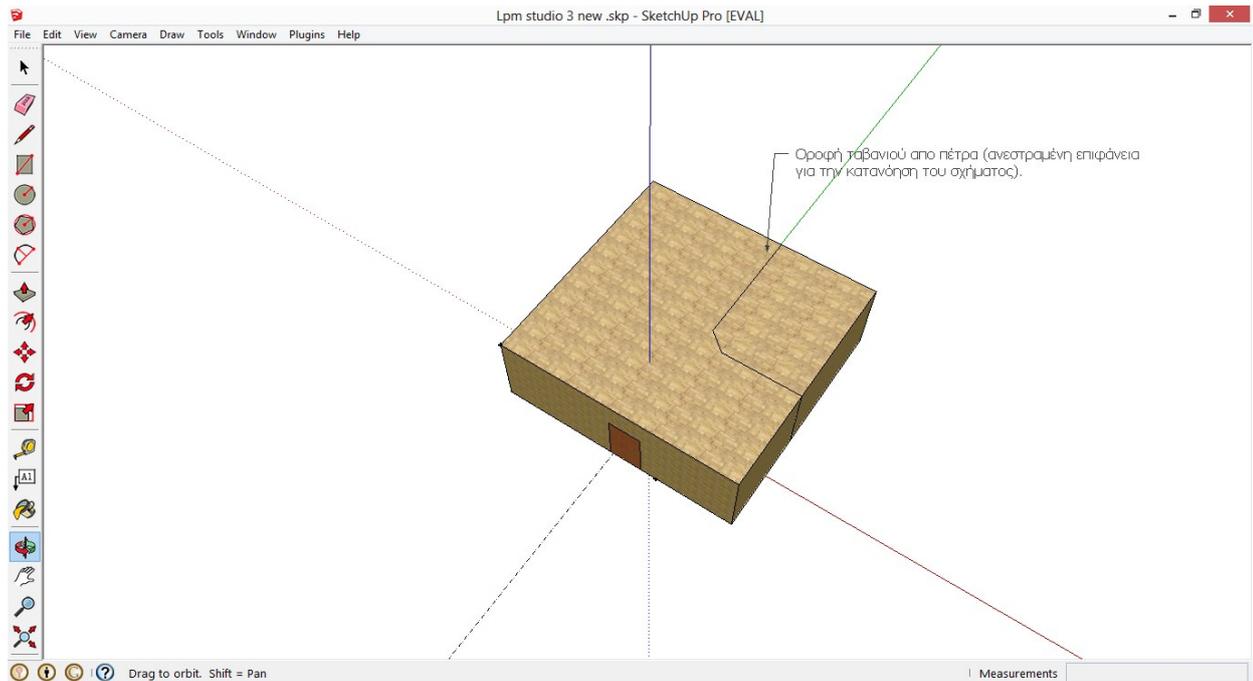
Στα μέσα του δωματίου περίπου εκεί ουσιαστικά που τελειώνει το παράθυρο του control room θα ήταν άρτιο να τοποθετηθεί κατά πλάτος της αίθουσας μέχρι το σημείο του τοίχου που η εξωτερική πλευρά βλέπει προς την τάφρο, κουρτίνα κατασκευασμένη από βελούδο για την τοποθέτηση κρουστών οργάνων απο την πίσω μεριά της κουρτίνας (χώρος του υπόλοιπου μισού του δωματίου), όπως drums, τύμπανα αλλά και την τοποθέτηση πιάνου. Αυτό θα γίνει για την καλύτερη ηχογράφιση του πιάνου, όπως επίσης και των drums με πυκνωτικά μικρόφωνα. Η επικοινωνία του ηχολήπτη και του μουσικού λόγω έλλειψης ορατότητας θα γίνεται με ενδοεπικοινωνία και οθόνη T.F.T.



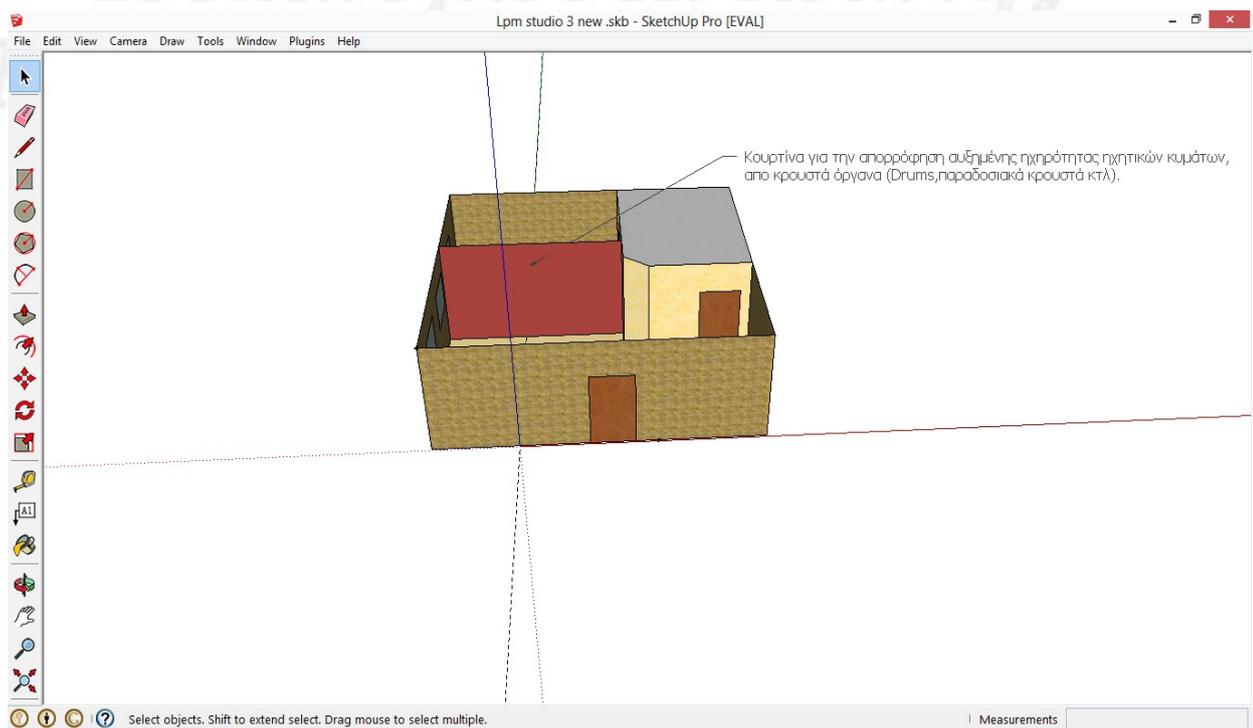
Σχήμα 6.3: Κουρτίνα για την απορρόφηση αυξημένης ηχηρότητας ηχητικών κυμάτων.

Μελέτη ακουστικής στο Studio  
του τμήματος Λαϊκής και  
Παραδοσιακής Μουσικής©

Το ταβάνι θα πρέπει να αλλαχθεί και να περαστεί ψευδοροφή ή πέτρα με ειδικές οπές για την τοποθέτηση φωτισμού, για τη φωταγώγηση της αίθουσας.

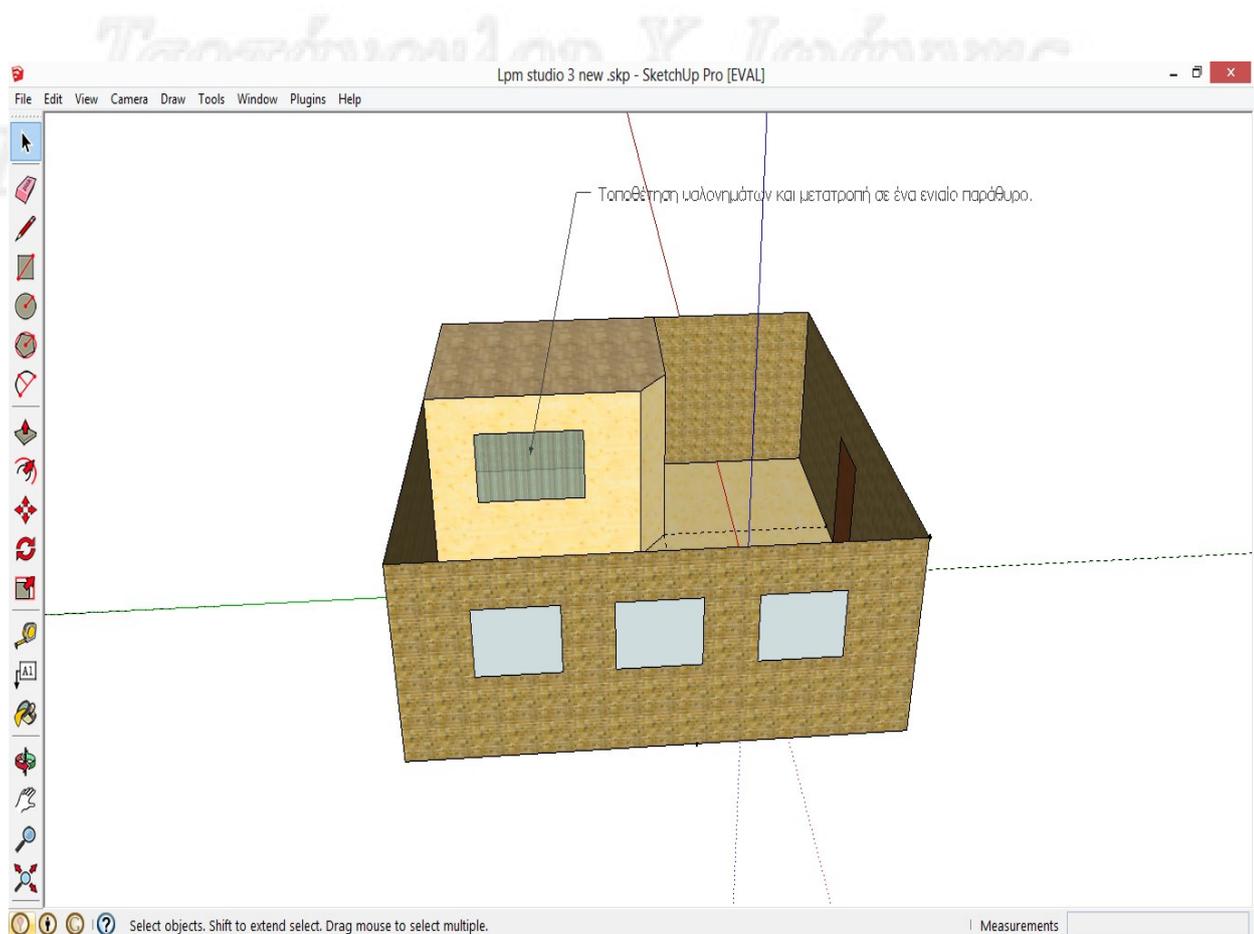


Σχήμα 6.4: Οροφή ταβανιού απο πέτρα (ανεστραμμένη επιφάνεια για την κατανόηση του σχήματος).



Σχήμα 6.5: Τοποθέτηση κουρτινών για την αποφυγή ανόδου θερμοκρασίας και εισαγωγή εξωτερικού θορύβου.

Στα παράθυρα που βλέπουν προς την τάφρο πρέπει να τοποθετηθούν κουρτίνες πυκνής υφής για την αποφυγή εισαγωγής ηλίου και ζέστης ειδικά την καλοκαιρινή περίοδο. Αυτό γιατί η θέρμανση του αέρα δημιουργεί προβλήματα στην διάχυση του ήχου όπως και η ψύξη. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η τοποθέτηση κλιματισμού στην εν λόγω αίθουσα για την διατήρηση των υποκειμενικών κριτηρίων καλής ακουστότητας του χώρου, δεδομένης θερμοκρασίας (απόλυτης) απο 20 μέχρι 30 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου, για την καλύτερη διάχυση του ήχου μέσα στον χώρο.



*Σχήμα 6.6: Τοποθέτηση υαλονημάτων για την αποφυγή ανόδου θερμοκρασίας και εισαγωγή εξωτερικού θορύβου.*

Στα παράθυρα του Control room πρέπει να τοποθετηθούν υαλονήματα διπλού πάχους για την αποφυγή εισαγωγής θορύβου από την εσωτερική αίθουσα στην υπό κατασκευή αίθουσα. Αυτό θα πρέπει να γίνει για την αποφυγή θορύβου στην αίθουσα επεξεργασίας των ηχογραφήσεων, όπως επίσης και για την καλύτερη ακουστική του χώρου. Η αίθουσα πρέπει να καλωδιωθεί με ενδοεπικοινωνία από το master room και ηχεία μικρής έντασης για την επικοινωνία του ηχολήπτη με τους μουσικούς. Στο δάπεδο της αίθουσας θα πρέπει να τοποθετηθεί χαλί ή μοκέτα πάχους τουλάχιστον 3 cm για την απορρόφηση θορύβου και γδούπων στην αίθουσα από καρέκλες ή από τους ίδιους τους μουσικούς.

#### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολήθηκε με την ακουστική μελέτη και επισκευή του στούντιο της σχολής λαϊκής και παραδοσιακής μουσικής, το οποίο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του ΤΕΙ Άρτας.

Αρχικά, στη θεωρητική εισαγωγή, μέσα από μια ιστορική αναδρομή, έγινε αντιληπτή η αξία της ακουστικής επιστήμης και δόθηκαν οι ορισμοί των βασικών εννοιών που χρησιμοποιήθηκαν. Αναλύθηκαν οι έννοιες του ήχου και των κυμάτων και στη συνέχεια παρουσιάστηκε το “αυτί”, ως ακουστικός αναλυτής, για να γίνει κατανοητή η σημαντικότητα της προσφοράς του και ο ρόλος του στην ακουστική. Ωστόσο εκτός από το σύστημα της ακοής, βασικό ρόλο διαδραματίζει στη μουσική και στο θόρυβο και το σύστημα ομιλίας, για αυτό και έγινε μια σχετική μνεία.

Στην πορεία, παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα ηχοαπορροφητικά υλικά που χρησιμοποιούνται στους κλειστούς, μικρούς χώρους, ώστε να βελτιώσουν και να κατευθύνουν τη σωστή ακουστική συμπεριφορά, ανάλογα με τον τρόπο χρήσης τους και εξηγήθηκαν κάποιες σημαντικές έννοιες σχετικές με τις ιδιότητες του ήχου- όπως αυτή της περίθλασης<sup>130</sup>, της διέλευσης, της διάθλασης, της ανάκλασης, της απορρόφησης, της απήχησης, της ηχητικής ηρεμίας και φυσικά της διάχυσης- αφού αυτές οι ιδιότητες κατευθύνουν τη μελέτη του χώρου,

---

<sup>130</sup>Βλ. Γλωσσάρι.

πρωτίστως. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν τα κριτήρια και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που οφείλουν να συντρέχουν για την καλή ακουστική ενός χώρου. Πέραν όμως των αντικειμενικών στοιχείων που πρέπει να υφίστανται, τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν ουσιαστικά τη μελέτη, για αυτό και παρουσιάστηκαν διεξοδικά οι έννοιες της ηχητικής συγκέντρωσης και διατήρησης, της διαύγειας, και της ευκρίνειας, της ζεστασιάς και της ζωντάνιας, της λαμπρότητας, της ισοστάθμισης και της μίξης καθώς και τα σύνολα.

Δεν θα μπορούσαν να λείπουν από την μελέτη και οι αναφορές στις πηγές του θορύβου, καθώς αποτελούν βασικό πρόβλημα που χρίζει αντιμετώπιση για τη δημιουργία στούντιο, για αυτό και μελετήθηκαν και οι περιπτώσεις που μπορούν να μονωθούν, για την εξάλειψη του θορύβου. Αποτέλεσμα αυτής της αναφοράς είναι η σημαντικότητα της προσέγγισης του κάθε μελετητή ή και κατασκευαστή, ώστε να τοποθετήσει τα σωστά μηχανήματα (ψύξης-θέρμανσης) για την αποφυγή θορύβου. Επομένως για την απόλυτη εγγραφή και ακρόαση μελωδιών πρέπει να δημιουργηθεί ένα περιβάλλον ακουστικού δωματίου σε συνθήκες αθόρυβου περιβάλλοντος. Να εξαλειφθούν δηλαδή και εξωτερικές αλλά και οι εσωτερικές πηγές του θορύβου. Έτσι, για την δημιουργία του σωστού χώρου και την ομαλή διεξαγωγή των διεργασιών, πρέπει να υπάρχει εκμηδένιση του θορύβου, μέσα από κατάλληλες συνθήκες, ώστε να επιτευχθεί η άρτια δόμηση του ακουστικού περιβάλλοντος. Σε αυτό μπορούν να συνεισφέρουν οι μελέτες της γεωμετρικής και κυματικής ακουστικής.

Στο τέλος της θεωρητικής εισαγωγής, εξηγήθηκαν οι διάφοροι τρόποι, με τους οποίους υπολογίζονται και εξάγονται τα δεδομένα κατά την πειραματική διαδικασία, ώστε στην πορεία να τεθούν υπό επεξεργασία.

Στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας, για να εξηγηθεί η φιλοσοφία της κατασκευής του στούντιο, περιγράφηκε το δωμάτιο ελέγχου στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, τα υλικά και ο εξοπλισμός που διαθέτει. Η διαδικασία μελέτης έγινε με το λογισμικό Catt acoustics v8 και δόθηκαν τα σχήματα, οι συνδεσμολογίες, η περιγραφή των μετρήσεων και αναλυτικά όλα τα δεδομένα που εξάχθηκαν από τις εν λόγω μετρήσεις, με μορφή γραφικών παραστάσεων και εικόνων. Κάθε επιμέρους μέτρηση, σχεδιάστηκε, αναλύθηκαν τα αποτελέσματά της, τα οποία χρησιμοποίησα στην πορεία για να εξάγω τις προτάσεις βελτίωσης του στούντιο. Τα ηχογράμματα των επτά ζευγών μας επέτρεψαν να μελετήσουμε την ανακλαστική δραστηριότητα και τις ενδεχόμενες “διαρροές” των ηχητικών κυμάτων και με βάση τα αποτελέσματα να σχεδιάσω και να αντιμετωπίσω δραστικά τα προβλήματα. Η πρόταση της νέας σχεδίασης του ακουστικού δωματίου έγινε στηριζόμενη στην πειραματική διαδικασία. Οι ενδείξεις της μελέτης απέδειξαν πως ο χώρος χρειάζεται μετατροπές και διορθώσεις, ηχομόνωση και τα κατάλληλα υλικά, ώστε να απορροφάται πλήρως η διάχυση των ηχητικών κυμάτων.

Στο τέλος δόθηκαν οι εικόνες από τον χώρο μελέτης καθώς και η πλήρης πρόταση ανακατασκευής και επεξεργασίας, για την υλοποίηση ενός σωστού στούντιο ηχογραφήσεων.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστόλου, Ε. & Καπανταϊδης, Ν. (2008). Ανάπτυξη πολυμεσικής εφαρμογής συγκριτικής μελέτης μικροφώνων και τεχνικών ηχογράφησης (Πτυχιακή Εργασία). Ρέθυμνο: Α. Τ.Ε.Ι. Κρήτης Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής.
- Δώδης, Δ. (2007). Ηχοληψία. (3η έκδοση). Αθήνα: Ίων.
- Γρηγορίου, Ν. (2009). ambiStar: Διαδραστική εγκατάσταση με εφαρμογή της τεχνολογίας Ambisonics. (Πτυχιακή Εργασία). Κέρκυρα: Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Τεχνών Ήχου κ Εικόνας.
- Ευθυμιάτος, Δ. (2007). Ακουστική και κτιριακές εφαρμογές θεωρία και πράξη. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Κουλούρης, Κ. & Πετρίδης, Α. (1993). Ηχοτεχνία. Αθήνα: Ίων.
- Μπακάλης, Γ. (2007). Στερεοφωνικά ζεύγη μικροφώνων: Συγκριτική παρουσίαση και αξιολόγηση τους. (Πτυχιακή εργασία). Ρέθυμνο: Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής.
- Παρασκευόπουλος, Σ. (2006). Ακουστικά χαρακτηριστικά χώρων και εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις. (Πτυχιακή Εργασία). Ρέθυμνο: Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής.
- Σκαρλάτος, Δ. (2008). Εφαρμοσμένη ακουστική. (3η έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis.
- Σπυρίδης, Χ. Χ. (1989). Μια Εισαγωγή στη Φυσική της Μουσικής. Θεσσαλονίκη: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
- Τάτσης, Τ. Κ. (1986). Θέματα μουσικής μορφολογίας : σε συνάρτηση με τη φυσική και τα μαθηματικά. Αθήνα: Παπαγρηγορίου – Νάκας.

- Τζαμαλούκας, Γ. Χ. (2001). Περιοδικό Hi-tech. «Ακουστική χώρων στην εποχή του Surround».
- Τσινίκας, Ν. (1990). Ακουστικός σχεδιασμός χώρων. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press.
- Allmannsberger-Klauke, M., Peschel, P. & Reinecker, H. J. (1997). Τεχνικό σχέδιο με H/Y: βασικές αρχές. Μτφ. Β. Κασσελούρη. Αθήνα: Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις. 1999.
- Crombie, A.C. Από τον Αυγουστίνο στον Γαλιλαίο. Μτφ Μ. Ιατρίδου-Δ. Κούρτοβικ. Αθήνα: Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής τραπεζής. 1992.
- Eargle, John M. (1990). Μουσική Ακουστική Τεχνολογία. Μτφ. Ε. Συμεωνίδη (2η έκδοση). Αθήνα: Ιων. 1999.
- Everest, F. Alton. (1982). Εγχειρίδιο ακουστικής. Μτφ. Α. Γαβριηλίδης. (3η έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2003.
- Everest, F. Alton. (1982). Εγχειρίδιο ακουστικής. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012.
- Ross, W. D. (1923). Αριστοτέλης. Μτφ. Μ. Μητσού. (2η έκδοση). Αθήνα: Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπεζής. 1993.
- Taylor, A.E. (1926). Πλάτων, Ο άνθρωπος και το έργο του. Μτφ. Ι. Αρζόγλου. ( 3η έκδοση). Αθήνα: Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής τραπεζής. 2000.
- Στην καρτελογράφηση των υλικών χρησιμοποιείται με τον κωδικό όνομα Type 703 της Owens-Corning και το Spin-Glass 1000 Series της Johns-Manville.  
Site: Johns-Manville. : <http://www.jm.com/>].

*ΕΝΟΤΗΤΩΣΣΗ:*

- Anon. (1984). Sound and Vibration Control. ASHRAE Handbook.
- Beauchamp, James W. (editor). (2007). Analysis, synthesis, and perception of musical sounds: the sound of music. New York: Springer.
- Benade, A. H. (1990). Fundamentals of musical acoustics. (2nd rev. edition). New York: Dover Publications.
- Beranek, L. L. (1996). Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture. (2nd edition). New York: Springer – Verlag. 2004.
- Brown, A. R. Music technology and education: amplifying musicality. (2nd edition). New York: Routledge. 2015.
- CATT\_manual\_v8
- Cavanaugh, W. J. & Wilkes, J. A. (Ed.). (1999). Architectural acoustics: principles and practice. New York, Toronto: John Wiley & Sons.
- Collogue International La Qualite Sonore des Espaces Habites, p. 305-318, Grenoble.
- Crunelle, M. (1991). Existent-IL une tradition acoustique dans l'architecture occidentale, 22 Mars 1991.
- David, M. D. (2007). Architectural acoustics. Fort Lauderdale: J. Ross Publishing.
- Davis, D., Patrons, E. & Brown, P. (1975). Sound system engineering. (4rd edition). Focal Press. 2013.
- Doelle, L. L. (1972). Environmental acoustics. McGraw-Hill.

- Hunt, F.V. (1992). *Origins in Acoustics*. New York: Acoustical Society of America.
- Jones, R. E. (1978). *How to design Walls of Desired STC Ratings, Sound and Vibration*.
- Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B. & Sanders J. V. (1950). *Fundamentals of acoustics*. (4th edition). John Wiley and Sons, Inc. 2000.
- Maekawa, Z. & Lord, P. (1993). *Environmental and architectural acoustics*. E & FN Spon.
- Mommertz, E. & Muller-BBM (2009). *Acoustics and sound insulation: principles planning examples*. Munich: Birkhäuser Architecture.
- Newton, I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. The mathematical principles of natural philosophy. Μτφ. Ian Bruce. Definition V.
- Owsinski, B. (2005). *The Recording Engineer's Handbook*. Hal Leonard Corporation.
- Parker, S. P. (1994). *McGraw-Hill concise encyclopedia of science & technology*. (3rd edition). New York: McGraw-Hill.
- Rumsey, F. & McCormick, T. (1992). *Sound and recording*. (6th edition). Focal Press. 2009.
- Parkin, P. H. & Humphreys, H. R. (1969). *Acoustics – noise and buildings*. Londres: Faber and Faber. 1979.
- Peters, R. J., Smith, B.J. & Hollins, M. (1982). *Acoustics and noise control*. (3rd edition). London & New York: Routledge. 2011.
- Vigran, T. E. (2008). *Building acoustics*. Oxford: Taylor & Francis.

- Vitruvius, Περί αρχιτεκτονικής, Μτφ Παύλος Λέφας, Βιβλία VI-X. Αθήνα: Πλέθρον. 1998.

*ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ:*

- Γλωσσάρι ακουστικής: <http://www.acoustic-glossary.co.uk/>
- [www.google.com](http://www.google.com) /.....*Traite d'harmonie universelle.*
- [www.17centurymaths.com/...newton](http://www.17centurymaths.com/...newton)

**Γλωσσάρι<sup>131/132</sup>**

**Ακουστική:** η επιστήμη του ήχου.

**Ακουστική περιοχή:** η περιοχή αίσθησης που βρίσκεται μεταξύ του κατωφλίου ακοής και του κατωφλίου αίσθησης ή πόνου.

**Ακουστική συχνότητα:** ακουστικό ή ηλεκτρικό σήμα συχνότητας, η οποία πέφτει από στην ακουστή περιοχή του αυτιού και η οποία λαμβάνεται από 20 Hz μέχρι 20kHz.

**Ακουστικό φάσμα :** βλ. ακουστική συχνότητα.

**Ακουστός:** ότι έχει να κάνει με τον ακουστικό μηχανισμό.

**Αναλυτής φάσματος:** όργανο μέτρησης και συνήθως καταγραφής, του φάσματος του ήχου.

**Συνηχητές ή αντηχεία Helmholtz:** επαγωγικοί συντονισμένοι απορροφητές ήχου. Ένα μπουκάλι είναι ένα τέτοιο αντηχείο. Χρησιμοποιούν διάτρητο κάλυμμα ή πηχάκια πάνω από την κοιλότητα.

**Απορρόφηση:** στην ακουστική σημαίνει η μεταβολή της ηχητικής ενέργειας σε θερμική.

**Αρμονικοί:** ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας. Ο πρώτος αρμονικός είναι ο θεμελιώδης, ο δεύτερος αρμονικός είναι δύο φορές η συχνότητα του θεμελιώδους κ.α.

**Βασική μεμβράνη:** μεμβράνη μέσα στον κοχλία η οποία πάλλεται σε απόκριση προς τον ήχο , και διεγείρει τα κύτταρα με τις βλεφαρίδες.

**Διάφραγμα:** κάθε επιφάνεια που ταλαντώνεται σε απόκριση προς ήχο ή ταλαντώνεται

---

<sup>131</sup> Everest, F. Alton. (1982). Εγχειρίδιο ακουστικής. Μτφ. Γ. Μπόντζιος. (5<sup>η</sup> έκδοση). Θεσσαλονίκη: Τζιόλα. 2012. σελ 641-650.

<sup>132</sup>Γλωσσάρι ακουστικής:<http://www.acoustic-glossary.co.uk/>

για να βγάλει ήχο, όπως στα μικρόφωνα και στα μεγάφωνα.

**Ενίσχυση μπάσων:** η αύξηση στάθμης της κατώτερης περιοχής συχνοτήτων.

**Εξασθενώ:** ελαττώνω την στάθμη ηλεκτρικού ή ακουστικού σήματος.

**Εξωτερικό κανάλι:** το κανάλι του αυτιού που τερματίζει στο τύμπανο.

**Ευσταχιανή σάλπιγγα:** ο σωλήνας από το μέσο αυτί μέχρι μέσα στον φάρυγγα και ο οποίος εξισώνει την πίεση του μέσου αυτιού με την ατμοσφαιρική πίεση.

**Ζωντανό άκρο - νεκρό άκρο:** σχέδιο ακουστικής επεξεργασίας δωματίων όπου το ένα άκρο είναι εξαιρετικά απορροφητικό και το άλλο άκρο ανακλαστικό και διαχυτικό.

**Ηχόγραμμα:** καταγραφή της πολύ αρχικής εξασθένισης αντήχησης του ήχου σε δωμάτιο.

**Ηχώ:** καθυστερημένη επιστροφή ήχου που γίνεται αντιληπτή από το αυτί σαν διακριτό είδωλο ήχου.

**Θεμελιώδης:** το βασικό ύψος τόνου μουσικής νότας.

**Θόρυβος:** συμβολή (ή παρεμβολή) ηλεκτρικής ή ακουστικής φύσης. Ο τυχαίος θόρυβος είναι επιθυμητό σήμα που χρησιμοποιείται σε ακουστικές μετρήσεις.

**Ισοστάθμιση:** η διαδικασία ρύθμισης της απόκρισης συχνότητας συσκευής ή συστήματος.

**Καθαρός τόνος:** τόνος χωρίς αρμονικούς. Όλη η ενέργεια είναι συγκεντρωμένη σε μια συχνότητα.

**Κανάλι του αυτιού:** το εξωτερικό ακουστικό κανάλι. Το κανάλι μεταξύ του πτερυγίου και του τυμπάνου.

**Κατώφλιο ακοής:** η κατώτερη στάθμη ήχου που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα.

**Κατώφλιο πόνου:** η στάθμη πίεσης ήχου που κάνει τα αυτιά του ανθρώπου να ενοχλούνται και είναι 120 Db πάνω από το κατώφλιο ακοής.

**Κόμβος:** σχεδιασμένες καμπύλες που δείχνουν την διαφορά πίεσης, ενέργειας και απόσβεσης των ηχητικών κυμάτων στην πάροδο του χρόνου μέσα σ'ένα δωμάτιο με ατμοσφαιρικό αέρα.

**Κοχλίας:** είναι το τμήμα ανάλυσης συχνοτήτων του ακουστικού συστήματος.

**Κύμα:** κανονική μεταβολή ηλεκτρικού σήματος ή ακουστικής πίεσης.

**Λευκός θόρυβος:** ο λευκός θόρυβος είναι αντίστοιχος με το φως (δηλαδή στο ότι είναι κατανεμημένη η ενέργεια τους ομοιόμορφα σε όλο το φάσμα). Η κατανομή ενέργειας μέσα σε μια γραφική παράσταση είναι επίπεδη.

**Μέσο αυτί:** η κοιλότητα του τυμπάνου και του κοχλίου που περιέχει τα οστάρια που

συνδέουν το τύμπανο με το ελλειψοειδές παράθυρο του κοχλίου.

**Μήκος κύματος:** η απόσταση κατά την οποία κινείται το ηχητικό κύμα στον χρόνο που χρειάζεται για να συμπληρώσει μια περίοδο.

**Μικρόφωνο:** ηλεκτροακουστικός μορφομετατροπέας με τον οποίο ακουστικά κύματα στον αέρα μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα.

**Μπάσα:** η κατώτερη περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων.

**Οκτάβα:** διάστημα μεταξύ δύο συχνοτήτων.

**Παθητικός απορροφητής:** απορροφητής ήχου που καταναλίσκει την ηχητική ενέργεια σαν θερμότητα.

**Παραμόρφωση:** κάθε μεταβολή στην κυματομορφή, στο αρμονικό περιεχόμενο του αρχικού σήματος καθώς αυτό περνά μέσα από μία συσκευή ή καθώς αυτό το ηχητικό κύμα διαχέεται στον χώρο.

**Περίθλαση:** η παραμόρφωση μετώπου κύματος που προκαλείται από την παρουσία εμποδίου στο ηχητικό πεδίο.

**Πιστότητα:** σε εφαρμογές ποιότητας ήχου η αξιοπιστία στο αρχικό σήμα.

**Πρίμα:** οι υψηλότερες συχνότητες του ακουστικού φάσματος.

**Πτερύγιο:** το εξωτερικό αυτί.

**Ποκνωτής:** ηλεκτρικό εξάρτημα από το οποίο διέρχονται εναλλασσόμενα ρεύματα, αλλά φράσσονται συνεχή ρεύματα. Αποθηκεύει επίσης ηλεκτρική ενέργεια.

**Ροζ θόρυβος:** Ο ροζ θόρυβος είναι τυχαίος ήχος που το φάσμα του πέφτει 3 Db ανά οκτάβα και είναι χρήσιμος στα όργανα ανάλυσης ήχου.

**Σε φάση:** όταν δυο κύματα λέμε ότι είναι σε φάση όταν φτάνουν στο μέγιστο και στη μηδενική τιμή κατά την ίδια χρονική τιμή.

**Στάθμη ισχύος ήχου:** ισχύς που εκφράζεται σε Db.

**Στάθμη πίεσης ήχου:** πίεση ήχου που εκφράζεται σε Db πάνω από την πρότυπη πίεση.

**Συντελεστές απορρόφησης:** το κλάσμα της ηχητικής ενέργειας που απορροφάται σε οποιαδήποτε επιφάνεια. Έχει τιμή μεταξύ 0 και 1 και μεταβάλλεται με την συχνότητα και την γωνία πρόσπτωσης του ήχου.

**Συχνότητα:** το μέτρο της ταχύτητας μεταβολών περιοδικού σήματος, που εκφράζεται σε περιόδους ανά δευτερόλεπτο ή HZ. Είναι ο αριθμός των επαναλήψεων (ανά sec) της ταλάντωσης των μορίων ενός στοιχείου (αέρας, υλικό) όταν διαπερνάται από ένα ηχητικό κύμα.

**Τεχνητή αντήχηση:** αντήχηση που εξομοιώνεται από πρόγραμμα (Catt acoustic) για την μελέτη αιθουσών και studio.

**Τυχαίος θόρυβος:** σήμα θορύβου που συνήθως χρησιμοποιείται σε μετρήσεις από προγράμματα εκπεμπόμενου τυχαίου θορύβου (όπως το Catt acoustic) για την μέτρηση ή ηχομόνωση αιθουσών και studio.

**Ύψος τόνου:** υποκειμενικός όρος για την αντιληπτή συχνότητα τόνου.

**Φασματογράφος ήχου:** όργανο που δείχνει τον χρόνο, την στάθμη και την συχνότητα σήματος των ηχητικών κυμάτων.

**Χροιά:** η ποιότητα ήχου σε σχέση με την αρμονική δομή του.

**Χρωματισμός:** η παραμόρφωση σήματος που ανιχνεύεται από το αυτί.

**Ψυχοακουστική:** η μελέτη της αλληλεπίδρασης του ακουστικού συστήματος και της ακουστικής.

### Μαθηματικοί τύποι

#### **Διαμήκη:**

Εξίσωση η οποία δείχνει την διάδοση των διαμήκη κυμάτων στον αέρα είναι:

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{MB}}$$

Όπου:

$c$ = η ταχύτητα του ήχου.

$T$ =η απόλυτη θερμοκρασία του αερίου (αέρα).

$R$ =σταθερά ( $R=8317 \text{ m/s}^\circ\text{K}$ ).

$\gamma$ = ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων υπό σταθερά πίεση και σταθερό όγκο( για τον αέρα η τιμή  $\gamma= 1,4$  είναι σχεδόν ακριβής).

$MB$ = Το βάρος των μορίων του υλικού διάδοσης.

$\rho$ = η πυκνότητα του μέσου διάδοσης.

Σε περίπτωση που στον αέρα έχουμε υγρασία τότε δίδεται από τον τύπο:

$$C_w = C \sqrt{1 - \frac{P_a}{P_0} \left( \frac{\gamma_w}{\gamma_a} - \frac{5}{8} \right)}$$

Όπου:

$C_w$ = η ταχύτητα του ήχου σε υγρό περιβάλλον (όπου  $w$ = water).

$P_a$ = η μερική πίεση ατμών.

$P_0$ = η ατμοσφαιρική πίεση.

$\gamma_a, \gamma_w$ , = ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων για τον αέρα και το νερό (υδρατμούς).

**Εγκάρσια** <sup>133</sup>

$$c = \sqrt{\frac{E(1 - \sigma)}{\rho(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)}}$$

Όπου:

$\sigma$  = ο λόγος του Poisson

$E$  = το μέτρο ελαστικότητας του Young σε  $N/m^2$  <sup>134</sup>

**Επιφανειακά ή καμπτικά κύματα** <sup>135</sup>

$$c^2 = \sqrt[4]{\frac{\omega^2 E h^3}{12 m (1 - \sigma^2)}} \quad 136$$

Όπου  $\omega$ , η κυκλική συχνότητα του ηχητικού κύματος και όπου  $m$  η επιφανειακή πυκνότητα σε  $Kg/m$

**Συνηχητές ή συντονιστές Helmholtz** <sup>137</sup>

Για να υπολογιστεί αυτή η συχνότητα που προσπίπτει στο γυάλινο δοχείο παίρνουμε τον τύπο:

$$f_{res} = 55 \sqrt{\frac{S}{IxV}} = HZ$$

Όπου:

$Res$ : Resonant

$F$ : Συχνότητα

$S$ : Είναι η επιφάνεια διατομής του λαιμού σε  $m^2$  (τετραγωνικά μέτρα)

$I$ : Είναι το μήκος της εισόδου (μήκος του λαιμού) σε  $m$  (μέτρα)

<sup>133</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 43.

<sup>134</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 47.

<sup>135</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 44.

<sup>136</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 48-49.

<sup>137</sup> Τσινίκας, Ν. *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις University Studio Press. 1990. σελ 32.

$V$ : Είναι ο όγκος του αέρα του δοχείου σε  $m^3$  (κυβικά μέτρα)

Το αποτέλεσμα θα πρέπει να μετατραπεί σε κύκλους (Hz).

**Κυκλικές οπές**<sup>138</sup>: Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την περίμετρο των οπών αλλά και το συνολικό εμβαδόν ανά μονάδα επιφάνειας, τότε θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο:<sup>139</sup>

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(l + \delta)}}$$

Όπου:

P: το ποσοστό διάτρησης

L: η απόσταση της επιφάνειας από τον τοίχο

L: το μήκος του λαιμού κάθε τρύπας σε μέτρα (το πάχος της επιφάνειας),

$\delta$ : 0,80d, και d, η διάμετρος του λαιμού.

**Σχισμές**<sup>140</sup>: Στην περίπτωση όπου η διάτρηση είναι σε σχήμα σχισμής τότε για να υπολογιστεί η σχέση αυτή παίρνουμε τον τύπο:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{L(l + Kb)}}$$

Όπου:

$$K = \frac{1}{\pi} + \frac{2}{\pi} \ln \frac{2a}{b}$$

<sup>138</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 137.

<sup>139</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 138.

<sup>140</sup> Σκαρλάτος, Δ. *Εφαρμοσμένη ακουστική*. (3<sup>η</sup> έκδοση). Πάτρα: Εκδόσεις Gotsis. 2008. σελ 138.