



Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα: Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής
Παράρτημα Ρεθύμνου

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΟΥ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΘΕΑΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

Ον./Επ. Σπουδαστή: ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

Αριθμός Μητρώου: 10

Επιβλέπων Καθηγητής: ΣΙΦΑΚΗΣ ΜΗΝΑΣ

---- ΡΕΘΥΜΝΟ ΜΑΪΟΣ 2006 ----

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| Εισαγωγή..... | 03 |
| Θεωρητικό Τμήμα | |
| Κεφάλαιο 1..... | 06 |
| 1. Ιστορική Αναδρομή Στην Επιστήμη της Ακουστικής..... | 06 |
| 2. Χαρακτηριστικά ήχου..... | 12 |
| 3. Το Ανθρώπινο Αυτί και το Φαινόμενο Masking (Απόκρυψη)..... | 14 |
| 4. Παράμετροι Καλής Ακουστικής..... | 25 |
| Κεφάλαιο 2 | 36 |
| 1. Όγκος (κυβικά) του χώρου..... | 37 |
| 2. Σχήμα Χώρου..... | 43 |
| 3. Ανακλαστικότητα..... | 48 |
| 4. Ηχοαπορρόφηση και Ηχομόνωση..... | 52 |
| 5. Χωροθεσία (θέση/θέσεις θεατών και σκηνης)..... | 61 |
| Πρακτικό Τμήμα | |
| Κεφάλαιο 3 | 65 |
| 1. Θέατρο «Θησείων»..... | 67 |
| α Παρουσίαση – Περιγραφή του Χώρου και των Συσκευών..... | 67 |
| β Θεωρητική Μελέτη Χώρου – Πρώτες Εκτιμήσεις..... | 69 |
| γ Ακουστικές Μετρήσεις του Χώρου..... | 71 |
| 2. Θέατρο «Από μηχανής»..... | 75 |
| α Παρουσίαση – Περιγραφή του Χώρου και των Συσκευών..... | 75 |
| β Θεωρητική Μελέτη Χώρου – Πρώτες Εκτιμήσεις..... | 77 |
| γ Ακουστικές Μετρήσεις του Χώρου..... | 79 |
| 3. Ανάλυση Μετρήσεων..... | 80 |
| <i>Θέατρο «Θησείο».....</i> | <i>81</i> |
| <i>Θέατρο «Από μηχανής».....</i> | <i>84</i> |
| <i>Συσχέτιση των δύο Θεάτρων.....</i> | <i>87</i> |
| 4. Ανάλυση Μετρήσεων με Βάση την Θεωρία..... | 88 |
| Συμπέρασμα..... | 93 |
| Παράρτημα..... | 97 |
| Θέατρο «Θησείο»..... | 97 |
| Θέατρο «Από μηχανής»..... | 108 |
| Ευχαριστίες..... | 117 |
| Βιβλιογραφία..... | 118 |

Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με τα χαρακτηριστικά κλειστών χώρων και εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις και συμβάλλουν άμεσα στην βελτίωση της ακουστικής, σε σχέση με την ειδική χρήση του χώρου. Ο ήχος γενικά και η αρχιτεκτονική ακουστική απασχόλησαν από πολύ νωρίς τον άνθρωπο. Στην αρχαία Ελλάδα είχαν ασχοληθεί ιδιαίτερα με τον ήχο. Και αυτό φαίνεται από τα διασωθέντα αρχαία κείμενα, και κυρίως θέατρα και οικήματα όπου πραγματοποιούνταν δημόσιες ακροάσεις, συνελεύσεις κτλ. Οι τότε επιστήμονες, είχαν μελετήσει σε βάθος τον ήχο και τις δυνατότητες του. Ίσως, άγνωστα για μας σήμερα στοιχεία και εξηγήσεις γύρω από τον ήχο, να ήταν ήδη γνωστά σε εκείνους. Ιδιαίτερη λοιπόν, σχέση έχει η ακουστική με την αρχιτεκτονική, η οποία εξελίσσεται με το πέρασμα των χρόνων. Η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής, έδωσε ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στην πρόοδο και εξέλιξη της ακουστικής επιστήμης. Ο σύνδεσμος ανάμεσα στην ακουστική και την τέχνη είναι η ακουστική των χώρων, όπου μελετάται η αίσθηση της εκφραστικότητας των ηχητικών συμβάντων στους θεατρικούς χώρους. Η ακουστική των χώρων διαφέρει από ανοικτούς σε κλειστούς χώρους θεάτρων.

Η ακουστική βελτίωση της συμπεριφοράς του ήχου σε κλειστή αίθουσα λαμβάνει χώρα για πρώτη φορά τον 19^ο αιώνα. Σημαντικός είναι ο αριθμός των παραγόντων που επηρεάζουν τον ακουστικό σχεδιασμό μιας αίθουσας θεατρικών παραστάσεων. Συγκεκριμένα, στην εποχή μας η πληθώρα των διαφορετικών απαιτήσεων και των αντικρουόμενων κριτηρίων δυσχεραίνουν τον σχεδιασμό αυτό. Η λειτουργικότητα του χώρου, η αισθητική του, ο σωστός τεχνητός φωτισμός, η οικονομία, οι συνθήκες ασφαλείας, η ανάγκη για διαφορετικές χρήσεις του ίδιου χώρου, το ευχάριστο και άνετο περιβάλλον αποτελούν παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά τον ακουστικό σχεδιασμό μιας αίθουσας.

Η εργασία αυτή μελετάει τα βασικότερα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη στον ακουστικό σχεδιασμό σύγχρονων χώρων και εγκαταστάσεων θεατρικών παραστάσεων. Εστιάζει σε πέντε κυρίως χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ακουστική λειτουργία σε σχέση με τις προδιαγραφές θεατρικών παραστάσεων, αναλύοντας την λειτουργικότητά τους, καθώς επίσης και τα επιμέρους προβλήματα που πηγάζουν από αυτά και επιδρούν στις παραγωγές των θεατρικών παραστάσεων. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής: 1. κυβικά χώρου, 2. σχήμα χώρου, 3. ανακλαστικότητα, 4. ηχοαπορρόφηση και ηχομόνωση, και 5. χωροθεσία (θέση θεατών και σκηνής). Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη για την αποτελεσματικότερη ανάλυση και κατανόηση του θέματος. Το πρώτο μέρος αποτελεί το θεωρητικό τμήμα. Σε αυτό, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην επιστήμη της

ακουστικής, αναλύονται οι κυριότεροι παράμετροι και παράγοντες που συμβάλλουν στις βασικές αρχές της συγκεκριμένης επιστήμης, παρουσιάζονται τα ακουστικά χαρακτηριστικά που θεωρητικά πρέπει να διακρίνουν τους κλειστούς χώρους θεατρικών παραστάσεων, αναλύονται λεπτομερέστερα τα πέντε προαναφερθέντα χαρακτηριστικά και τα επιμέρους προβλήματα που προκύπτουν από αυτά σε σχέση με τις παραγωγές θεατρικών παραστάσεων. Το δεύτερο μέρος αποτελεί το πρακτικό τμήμα, όπου λαμβάνει χώρα η επιτόπια έρευνα. Επικεντρώνεται στην συλλογή στοιχείων μέσω μετρήσεων σε συγκεκριμένους χώρους θεατρικών παραστάσεων στην περιοχή της Αθήνας αναφορικά με τα πέντε χαρακτηριστικά στα οποία η εργασία αυτή εστιάζει. Επίσης, αναλύονται προβλήματα της ακουστικής του χώρου που μπορεί να προκύψουν μέσα από την χρήση του. Τέλος, τα στοιχεία που θα προκύψουν από την έρευνα σε συνδυασμό με το προηγούμενο θεωρητικό μέρος θα μας οδηγήσουν σε ορισμένα συμπεράσματα.

Οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για την διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος, είναι οι εξής:

Για το θεωρητικό μέρος, η ποιοτική μέθοδος ανάλυσης. Για την συλλογή στοιχείων θα χρησιμοποιηθούν βιβλία, άρθρα, αναφορές από επιστημονικά περιοδικά, που ασχολούνται με την ακουστική και τον ήχο γενικότερα, το internet και σημειώσεις που δόθηκαν στα μαθήματα του ΑΤΕΙ Μ.Τ.Κ.Α κατά την διάρκεια των ετών 1999 με 2003.

Για το δεύτερο μέρος, η ποσοτική μέθοδος ανάλυσης. Η συλλογή στοιχείων γίνεται μέσω μετρήσεων σε επιλεγμένους θεατρικούς χώρους, με πυκνή και ποικίλη επαγγελματική χρήση, στην περιοχή της Αθήνας. Στην συλλογή στοιχείων θα συμβάλλουν επίσης, συνεντεύξεις ειδικών στον τομέα της ακουστικής.

Η επιστήμη της ακουστικής στην Ελλάδα δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη, αν και τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται σημαντικά βήματα. Ιδίως, στον τομέα της ακουστικής κλειστών χώρων θεατρικών παραστάσεων ενώ γίνονται κάποιες μελέτες δεν αντιστοιχούν πάντα με τα πραγματικά προβλήματα που προκύπτουν από την χρήση των χώρων. Η συμβολή αυτής της εργασίας συνίσταται, πρωτίστως, στην ανάγκη για την ανάπτυξη ερευνών όσον αφορά τον χώρο των θεατρικών παραστάσεων στην περιοχή της Ελλάδας. Επίσης, αποτελεί μια απόπειρα διατύπωσης κάποιων προτάσεων - λύσεων πρακτικά εφαρμόσιμων, στα πιθανά λειτουργικά προβλήματα των συγκεκριμένων χώρων.

Η δομή της συγκεκριμένης εργασίας είναι η ακόλουθη. Το πρώτο κεφάλαιο έχει τίτλο, επιστήμη της ακουστικής και παράμετροι καλής ακουστικής. Διακρίνεται σε τέσσερις επιμέρους ενότητες. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει μια ιστορική αναδρομή στην επιστήμη της ακουστικής, η δεύτερη αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του ήχου, η τρίτη περιγράφει την φυσιολογία ανθρώπινου αυτιού και το φαινόμενο masking. Τέλος, η τέταρτη διατυπώνει

της παραμέτρους καλής ακουστικής για κλειστούς χώρους, καθώς και για χώρους θεατρικών παραστάσεων. Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται με την θεωρητική ανάλυση των συγκεκριμένων πέντε ακουστικών χαρακτηριστικών και με την εξειδίκευση τους σε χώρους θεατρικών παραστάσεων. Χωρίζεται σε πέντε ενότητες.

1. Όγκος (κυβικά) του χώρου,
2. Σχήμα του χώρου,
3. Ανακλαστικότητα,
4. Ηχοαπορρόφηση και ηχομόνωση,
5. Χωροθεσία (θέση/θέσεις θεατών και σκηνής)

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει παραδείγματα σε σχέση με τα πέντε εξεταζόμενα χαρακτηριστικά σε κλειστούς χώρους θεατρικών παραστάσεων. Αποτελείται από τρεις ενότητες. Η πρώτη παρουσιάζει και περιγράφει τον χώρο, η δεύτερη αναφέρεται στις ακουστικές μετρήσεις του χώρου, και η τρίτη περιέχει την ανάλυση και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα. Τέλος, παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η Επιστήμη της Ακουστικής και Παράμετροι Καλής Ακουστικής

Η επιστήμη της ακουστικής εξετάζει την παραγωγή, τη διάδοση και τις εφαρμογές του ήχου. Τα τελευταία χρόνια η χρήση ηλεκτρακουστικών συστημάτων στην λειτουργία της ακουστικής είναι ευρέως διαδεδομένη¹. Η ακουστική των χώρων συνδέει την επιστήμη της ακουστικής με την αυτήν της τέχνης, μελετώντας την διάδοση του ήχου σε θέατρα και γενικότερα σε χώρους που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο έχει δύο στόχους. Πρώτον, σκοπεύει να μας εντάξει στην λειτουργία της ακουστικής και να μας οδηγήσει στην καλύτερη κατανόηση της, παρουσιάζοντας και αναλύοντας τις κυριότερες παραμέτρους και παράγοντες που συμβάλλουν στις βασικές αρχές της συγκεκριμένης επιστήμης. Δεύτερον, παρουσιάζοντας τα ακουστικά χαρακτηριστικά που θεωρητικά πρέπει να διακρίνουν τους κλειστούς χώρους θεατρικών παραστάσεων, θέτει την βάση για την μετέπειτα εξειδικευμένη ανάλυση των 5 προαναφερόμενων χαρακτηριστικών που επηρεάζουν άμεσα το ακουστικό αποτέλεσμα. Το κεφάλαιο αυτό λοιπόν, χωρίζεται σε 4 ενότητες. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει μια ιστορική αναφορά στη μελέτη της ακουστικής κλειστών χώρων παρουσιάζοντας τις βασικότερες θεωρίες που ισχύουν μέχρι σήμερα για την καλή ακουστική αυτών των χώρων. Η δεύτερη αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του ήχου, όπως συχνότητα, ένταση, διάρκεια. Η τρίτη ενότητα προσφέρει πληροφορίες για την φυσιολογία και τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου αυτιού, καθώς λαμβάνεται υπόψη στις μελέτες για την σωστή ακουστική ενός χώρου. Η τελευταία ενότητα εξετάζει τις παραμέτρους ακουστικής που πρέπει να πληροί ένας κλειστός χώρος για το καλύτερο δυνατό ακουστικό αποτέλεσμα, και ειδικότερα μια αίθουσα θεατρικών παραστάσεων.

1. Ιστορική Αναδρομή Στην Επιστήμη της Ακουστικής

Η ακουστική είναι μια από τις αρχαιότερες επιστήμες που απασχόλησαν τον άνθρωπο. Οι αρχαίοι Έλληνες, επιδόθηκαν επίσης στην μελέτη της συγκεκριμένης επιστήμης. Είχαν μελετήσει την συνήχηση των τεντωμένων χορδών και είχαν διαπιστώσει ότι η αρμονία

¹ Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη εργασία, όπως ήδη έχει αναφερθεί, δεν ασχολείται με την μελέτη ηλεκτρακουστικών συστημάτων στην μετάδοση του ήχου. Εστιάζεται στην μελέτη της συμπεριφοράς του ήχου από την στιγμή της παραγωγής του ηχητικού συμβάντος και μετά.

εξαρτήθηκε από απλές αριθμητικές αναλογίες. Η πρώτη επιστημονική προσπάθεια θεμελίωσης της ακουστικής έγινε από τον αρχαίο φιλόσοφο και μαθηματικό Πυθαγόρα (570-498 π.Χ.). Αυτός ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι ο τόνος που βγάζει μια τεντωμένη χορδή είναι ανάλογος με το μήκος της (μονόχορδο του Πυθαγόρα). Και απέδειξε ότι η αρμονία των μουσικών τόνων αντιστοιχούσε πλήρως με την αρμονία των αριθμών. Έπειτα ο Αριστοτέλης (480-424 π.Χ.) έδωσε μια πιο ακριβή περιγραφή για την παραγωγή και την διάδοση του ήχου και ισχυρίστηκε πως ο ήχος δημιουργείται από την ταλάντωση των μορίων του αέρα. Μετά από αυτόν κάθε προσπάθεια σχεδόν σταμάτησε. Μόνο τον πρώτο αιώνα π.Χ. είχαμε κάποια χειρόγραφα από τον Roman Vitruvius, ο οποίος εμφανίζεται να βασίζει τις γεωμετρικές του αναλογίες για το σχεδιασμό των ελληνικών και ρωμαϊκών θεάτρων σε μια κατανόηση της ακουστικής τους. Επίσης ο Ρωμαίος αρχιτέκτων Vitruvius (25 π.Χ.) στο έργο του «*De Architectura: Ch VII De locis consonantibus ad theatra eligendis*» δίνει κανόνες που διέπουν την καλή ακουστική των θεάτρων.

Οι πολυτιμότερες πληροφορίες για τα αρχαία οικήματα όπου πραγματοποιούνταν δημόσιες ακροάσεις, συνελεύσεις κτλ, συγκεντρώνονται κυρίως από τα επιζώντα παραδείγματα. Η Ελλάδα έχει να επιδείξει εξαιρετικά δείγματα, όπως για παράδειγμα το θέατρο της Επιδαύρου. Το σε σχήμα βεντάλιας σχέδιο και η φόρμα αρένας διαμορφώνουν τους χώρους στους κλασικούς χρόνους και παραμένουν ένα σταθερό σημείο αναφοράς και για το παρόν σχέδιο. Το τελικό σχήμα των αρχαίων θεάτρων πήρε αυτή την μορφή (βεντάλιας), βασιζόμενο στο σχήμα του ανθρώπινου αυτιού. Οι αρχαίοι Έλληνες σκέφτηκαν ότι είναι το ιδανικότερο σχήμα που θα πρέπει να έχει κάποιος χώρος για να εξυπηρετεί τις ανάγκες ενός θεάτρου.

Από το 1600 μ.Χ. έγιναν ορισμένα βήματα για την καλή ακουστική ενός χώρου, μεγαλύτερο ενδιαφέρον όμως εκδηλώθηκε από το 1800 και μετά. Στις αρχές του εικοστού αιώνα αναπτύχθηκαν και νέοι κλάδοι στον τομέα της ακουστικής, όπως αρχιτεκτονική ακουστική, υποβρύχια ακουστική, ηλεκτροακουστική, κτιριακή ακουστική. Οι Rayleigh, Stokes, Thomson, Langhans, Lamp, Helmholtz, Beranek, Kong, Boule, Tyndall, Kundt, Weber, Dumont, Norris Eyring και φυσικά ο W.C. Sabine, είναι κάποιοι από αυτούς που ασχολήθηκαν με την ακουστική.

Ο Robert Boule το 1660 τοποθέτησε μια μικρή καμπίνα σε ένα υάλινο δοχείο και αφού αφαίρεσε τον αέρα από αυτό, έδειξε σε όλους ότι ο αέρας είναι χρήσιμος για την μετάδοση του ήχου (Σκαρλάτος 2003 σελ. 25).

Ο Dumont με το *Parallèle de plans des plus belles salles de spectacles 1774*, δείχνει συγκρίσεις διαφόρων σχεδίων συν μερικά τμήματα των έπειτα υπαρχόντων θεάτρων και των

αιθουσών όπερας. Ο Dumont προτείνει επίσης, τα σχέδιά του με τους απέραντους κοίλους και καλυμμένους με θόλους χώρους (Barron 1993).

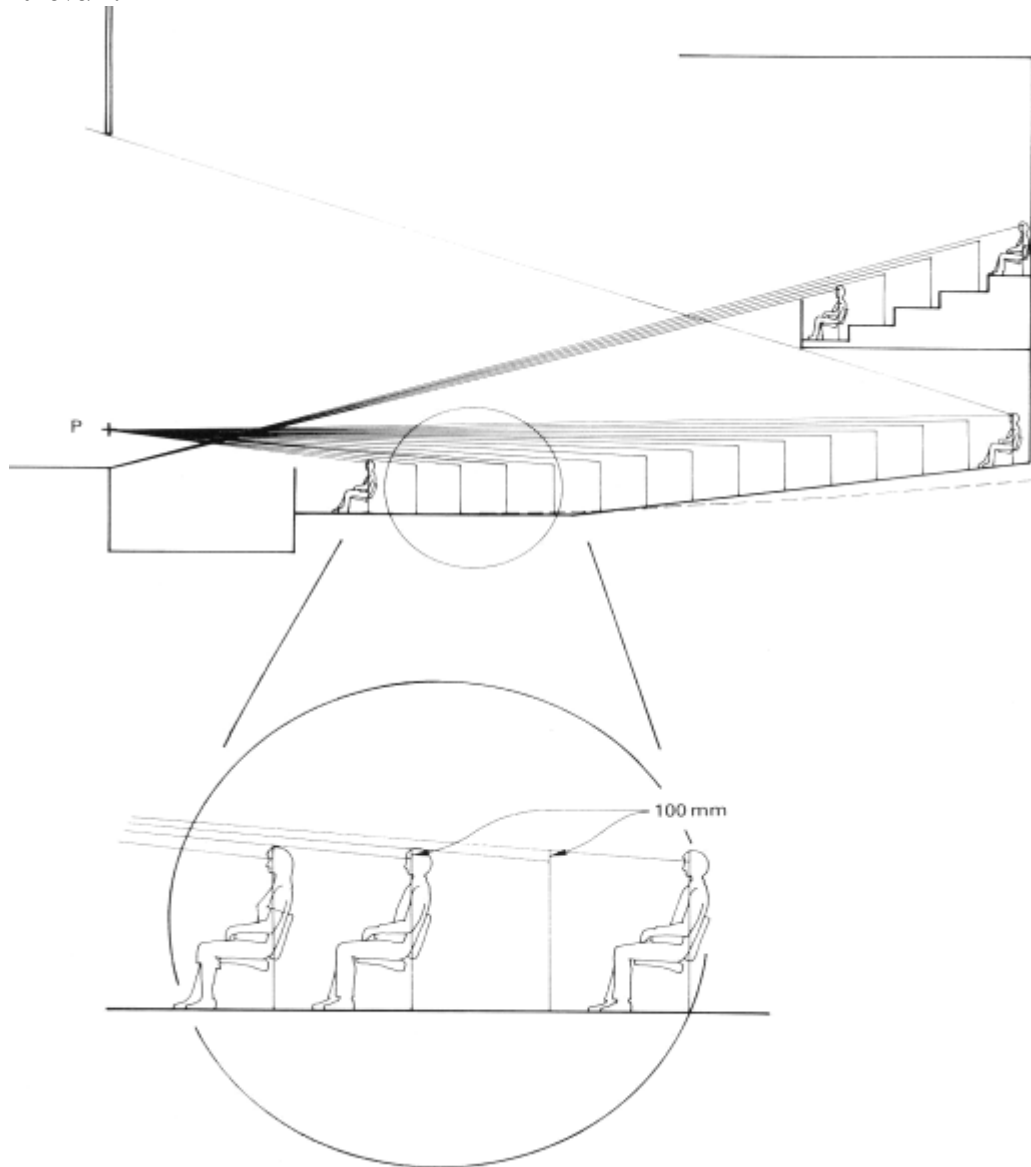
Η σημαντικότερη αναθεώρηση των σφαιρικών κτηρίων συναυλίας παραμένει ακόμα στον Beranek και στο βιβλίο *Music, Acoustics and Architecture* (1962). Η ερευνά αυτή εξετάζει 47 παγκοσμίως διάσημες αίθουσες συναυλιών και 7 κτήρια όπερας. Ο Beranek καινοτόμησε στην ανάλυση της ακουστικής αιθουσών συνεδριάσεων βάσει διάφορων ανεξάρτητων υποκειμενικών ιδιοτήτων, όπως η οικειότητα (Intimacy) και η ζεστασιά (Warmth). Το οποίο ίσως ήταν και το πρώτο βιβλίο που προσπάθησε να δώσει μια πλήρη εξήγηση για το θέμα αυτό και να απαντήσει στις ποικίλες παρερμηνείες.

Παρόλα αυτά, η ακουστική για τις αίθουσες συναυλιών, τα θέατρα και τις όπερες βασίζονταν σε ανακριβή στοιχεία, ή καλύτερα στην περιορισμένη γνώση της συγκεκριμένης εποχής. Αναφέρεται, για παράδειγμα, σε παλαιότερα βιβλία περί ακουστικής ότι το ξύλο θεωρούνταν συχνά ως βέλτιστο υλικό στις αίθουσες συναυλιών, ακριβώς επειδή τα βιολιά αποτελούνται από το ίδιο υλικό. Το οποίο στις μέρες μας έχει απορριφθεί πλήρως. Ο δόκτωρ R.B. Reid το 1835 είπε πως, «οποιαδήποτε δυσκολία εμφανίζεται στην διάδοση του ήχου μέσα σε μεγάλους χώρους προκύπτει, κυρίως από την διακοπή του ήχου λόγω της παρατεταμένης αντήχησης».

Επίσης, πρόοδος στον τομέα της ακουστικής σημειώθηκε και από τον Scott Russell, ο οποίος ασχολήθηκε με την ιδανικότερη διάταξη των θέσεων στον χώρο (χωροθεσία)². Το 1838 σε μια έρευνά του υπολόγισε το καλύτερο σχεδιάγραμμα του πατώματος έτσι ώστε να υπάρχει καλή ακουστική και ταυτόχρονα ικανοποιητική ορατότητα των ακροατών προς την σκηνή. Σχεδιάγραμμα, το οποίο ισχύει ακόμη και σήμερα (βλέπε εικόνα 1.1). Αυτό όμως που δεν μας είπε ο Scott Russell, είναι ποιο πρέπει να είναι το μέγεθος μια αίθουσας για να έχει καλή ακουστική. Όμως και στις μέρες μας, παρόλο που η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί και τα σχέδια των αιθουσών γίνονται πλέον με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, η σωστή ακουστική ορισμένων από αυτών δεν μπορεί να επιτευχθεί.

² Η παράμετρος της χωροθεσίας αποτελεί μια από τις βασικές έννοιες αυτής της εργασίας και θα αναπτυχθεί αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Εικόνα 1.1



Καλύτερος τρόπος διάταξης θέσεων σε θέατρο κατά τον Scott Russell (Barron 1993 σελ. 14)

Η μετάβαση από τα ανοιχτά θέατρα στους κλειστούς χώρους έγινε κατά την περίοδο της αναγέννησης. Μέχρι και τον 19^ο αιώνα, φαίνεται πως δεν λαμβάνονταν υπόψη η καλή ακουστική των κλειστών θεάτρων πριν από τον σχεδιασμό τους. Το 1850 ο Joseph Henry προσπάθησε για πρώτη φορά να βελτιώσει την ακουστική στον κλειστό χώρο διαλέξεων του Smithsonian Institution στην Washington. Ο Henry παρατήρησε ότι λόγω του φαινομένου της ηχούς και της εστίασης ήχου σε ορισμένα σημεία των κλειστών χώρων, η ακουστική αυτών γίνεται πολύ κακή (Σκαρλάτος 2003 σελ.186).

Αυτός όμως που έφερε επανάσταση στην ακουστική κλειστών χώρων είναι ο W. C. Sabine. Ο Sabine, βοηθός καθηγητή στο τμήμα φυσικής του πανεπιστημίου του Harvard, είχε κάνει μελέτες στον τομέα της οπτικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Πρόεδρος του συγκεκριμένου πανεπιστημίου ζήτησε από τον Sabine να βρει μια λύση στην κακή

ακουστική του δωματίου διάλεξης του πρόσφατα ολοκληρωμένου μουσείου τέχνης, *Fogg Art Museum*. Ο Sabine γρήγορα συνειδητοποίησε ότι υπήρξε υπερβολική αντήχηση³ στο δωμάτιο διάλεξης (μέτρησε τον χρόνο αντήχησης ο οποίος ήταν 5,5 δευτερόλεπτα, με την αίθουσα κενή). Δανείστηκε λοιπόν μαξιλάρια από ένα γειτονικό θέατρο διάλεξης, μέχρις ότου ο χρόνος αντήχησης να μειωθεί σε 0,75 δευτερόλεπτα. Το 1898 βελτιώθηκε η ακουστική της συγκεκριμένης αίθουσας, η οποία λειτούργησε έως το 1973 όπου τελικά κατεδαφίστηκε (Sabine 1922 στο Barron 1993 σελ.6).

Το φθινόπωρο του 1898, μια νέα αίθουσα μουσικής της Βοστόνης προβλεπόταν να κατασκευαστεί και ο Sabine ρωτήθηκε εάν ήταν πρόθυμος να συμβουλέψει για την ακουστική. Δίστασε αλλά αναθεώρησε ξανά τις σκέψεις του όταν κοίταξε τα πειραματικά στοιχεία που είχε συλλέξει από τα διάφορα δωμάτια του Χάρβαρντ. Το Σάββατο βράδυ, 29 Οκτωβρίου 1898, ξαφνικά κατάλαβε την εξήγηση για τα αποτελέσματά του, φωνάζοντας, στο μόνο πρόσωπο στο σπίτι (στην μητέρα του): «μητέρα, αυτό είναι υπερβολή», (*“Mother, it's a hyperbola!”*) (Sabine 1922 στο Barron 1993 σελ. 6, Davis 1989 σελ. 168). Είχε ανακαλύψει ότι ο χρόνος αντήχησης ήταν ανάλογος προς το ποσό απορρόφησης του ήχου. Κατά συνέπεια γεννήθηκε και η σχέση που αποκαλούμε τώρα, εξίσωση αντήχησης Sabine. Έπειτα δέχτηκε την ευθύνη να συμβουλέψει την κατασκευή της γνωστής μας σήμερα συμφωνικής αίθουσας της Βοστόνης. Μια αίθουσα συναυλιών που έχει κερδίσει τη φήμη πως έχει μια από την καλύτερη ακουστική παγκοσμίως (Sabine 1922 στο Barron 1993 σελ.6).

Ο Sabine δεν ασχολήθηκε μόνο με την εσωτερική ακουστική δωματίων, αλλά και με τη μετάδοση θορύβου μέσω των κτηρίων. Ο πρόωρος θάνατός του το 1919 άφησε ανολοκλήρωτη την πολυδιάστατη προσέγγιση του στην ακουστική αιθουσών συνεδριάσεως (Barron 1993 σελ. 6).

Ο χρόνος αντήχησης ήταν λοιπόν ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την καλή ακουστική, αλλά δεν μπορούσε να σταθεί από μόνος του για την σύλληψη μιας ολοκληρωμένης θεωρίας αναφερόμενη στην σωστή ακουστική ενός χώρου. Η μορφή των αιθουσών καθώς επίσης και το μέγεθος τους, αναγνωρίζονται τώρα σαν ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες. Έτσι λοιπόν και μετά τον θάνατο του Sabine συνεχίστηκαν οι έρευνες για την ανεύρεση και των υπόλοιπων παραγόντων.

Το 1950 έγινε αντιληπτό πως σημαντικό ρόλο παίζει και ο τρόπος με τον οποίο το αυτί επεξεργάζεται τις ακουστικές πληροφορίες. Αρχισαν να γίνονται πειράματα στα οποία οι ακουστικές συνθήκες ήταν ελεγχόμενες και ο ακροατής άκουγε πολύ συγκεκριμένα ηχητικά

³ Ο χρόνος αντήχησης και γενικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την καλή ακουστική μια αίθουσας, θα αναλυθούν στην ενότητα 4.

ερεθίσματα. Όλα αυτά γινόταν βεβαίως με την βοήθεια της τεχνολογίας, η οποία είχε αναπτυχθεί αρκετά. Η ακουστική αιθουσών είχε εισαγάγει στο πεδίο της και την ψυχολογία. Ως τώρα έχουν διεξαχθεί σημαντικά συμπεράσματα για την ακουστική. Ειδικά τα τελευταία 40 χρόνια έχουν καταγραφεί αξιοθαύμαστες ανακαλύψεις. Ο χρόνος αντήχησης μπορεί πλέον να υπολογιστεί και να προβλεφθεί με μεγάλη ακρίβεια, ακόμη και από το στάδιο των αρχιτεκτονικών σχεδίων. Τα καινούρια στοιχεία όμως, που έχουν ανακαλυφτεί τελευταία, δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν από το στάδιο των αρχιτεκτονικών σχεδίων. Ακόμη και τα πρότυπα κλίμακας, τα οποία είναι χρήσιμα, χρειάζονται μια καινούρια αρχή για να συνεχίσουν να αποτελούν αξιόπιστο κομμάτι της πρόβλεψης για την ακουστική αιθουσών. Έτσι λοιπόν και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν αρχίσει να βοηθάνε τον σκοπό αυτό. Ακόμη όμως και αυτοί χρειάζονται μεγάλη βελτίωση. Σε μερικά χρόνια μπορεί να έχουν ανακαλυφθεί και άλλα στοιχεία που να συντελούν και αυτά στην καλή ακουστική μια αίθουσας. Ακόμη και στις μέρες μας, όταν ολοκληρώνεται μια αίθουσα, υπάρχει μεγάλη ανησυχία προτού να δοκιμαστεί για πρώτη φορά.

Η μουσική και η ομιλία έχουν διάφορα χαρακτηριστικά. Και οι δυο αποτελούνται από διακυμάνσεις στην ένταση και έχουν και το ίδιο συχνοτικό φάσμα. Αυτές οι ομοιότητες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η φυσική συμπεριφορά του ήχου σε ένα δωμάτιο, θα είναι η ίδια και στις δυο περιπτώσεις. Όμως, στην περίπτωση της μουσικής, η τονικότητα και η αρμονία αποτελούν τα βασικά συστατικά της, ενώ στην ομιλία η τονικότητα δεν χρησιμοποιείται με την ίδια σημασία. Κάθε άτομο έχει την δικιά του τονικότητα και την δικιά του χροιά. Η τονικότητα δεν αλλάζει κατά την διάρκεια της ομιλίας. Έτσι λοιπόν, πρέπει να βρεθεί το ιδανικό ποσοστό αντήχησης και όλων των άλλων παραγόντων για να ικανοποιεί και τα δυο γνωρίσματα.

Για παράδειγμα, μια αίθουσα χωρίς καμιά αντήχηση δεν επιτρέπει το τραγούδι (εκτός των άλλων προβλημάτων που παρουσιάζει). Ελλείπει ανακλάσεων ο αέρας εκεί είναι νεκρός. Κάθε δόνηση χάνεται. Δεν υπάρχει δυνατή αντανάκλαση ούτε συγχρονισμός και εξαιτίας αυτού του γεγονότος κόβεται κάθε επικοινωνία και η πλήρης συνειδητοποίηση του αποτελέσματος. Απομένει μια αίσθηση ανισορροπίας, κενού και δυσφορίας (Tomatis 2000 σελ. 38).

Βεβαίως δεν υπάρχει καμιά ιδανική αίθουσα συναυλιών. Και αυτό γιατί το ιδανικό είναι υποκειμενική έννοια στο αντικείμενο που εξετάζουμε. Ο κάθε άνθρωπος έχει τις δικές του προτιμήσεις και τα δικά του πιστεύω και κρίνει με διαφορετικά κριτήρια το κάθε τι. Έτσι λοιπόν, κάτι που για έναν άνθρωπο είναι πάρα πολύ καλό, για κάποιον άλλον είναι κακό. Όπως ακριβώς δεν υπάρχει κανένα ιδανικό κρασί για όλους (Barron 1993 σελ. 36). Έτσι

λοιπόν, το πρώτο αντικειμενικό μέτρο ήταν ο χρόνος αντήχησης και παραμένει ακόμα ίσως το σημαντικότερο.

Ένας μεγάλος όγκος δωματίου προκαλεί έναν μεγάλο χρόνο αντήχησης, ο οποίος ερμηνεύεται ως αυξημένη αίσθηση του βάθους. Η αντηχητική απάντηση του δωματίου πρέπει να είναι κατάλληλη, έτσι ώστε ο ακροατής χωρίς να το αντιληφθεί, να περιβάλλεται από ήχο και να αισθάνεται οικεία. Μέσα σε μια αίθουσα ο άμεσος ήχος χρησιμοποιείται ως αναφορά και για το επίπεδο της έντασης και για το ποσοστό καθυστέρησης. Ο λαμβανόμενος ήχος μπορεί να διαιρεθεί σε τρία τμήματα: τον απευθείας ήχο, τις πρώτες ανακλάσεις και τις καθυστερημένες αντηχήσεις. Οι πολύ ήρεμες αντανάκλασεις (χαμηλής ενέργειας), είναι μη ακουόμενες, και επομένως δεν λαμβάνονται υπόψη. Προβλήματα δημιουργούν οι ανακλάσεις με υψηλή ενέργεια που προκαλούν καθυστέρηση στην αναμενόμενη απόσβεση των ήχων. Όταν η αντήχηση έχει μεγάλη ουρά, τότε ευθύνεται για το αργό σβήσιμο ενός ηχητικού σήματος. Έτσι, ένας ήχος μπορεί να καταστεί μη ακουόμενος (δηλ. καλυμμένος) από έναν προηγούμενο δυνατότερο ήχο. Αλλά με έναν πάρα πολύ σύντομο χρόνο αντήχησης, η ποιότητα ήχου γίνεται πάρα πολύ «άκαμπτη», όπως το άκουσμα στην ύπαιθρο. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά του ήχου. Στοιχεία απαραίτητα για την περαιτέρω κατανόηση των ενεργειών που θα πρέπει να ακολουθηθούν, για την επίτευξη της καλής ακουστικής ενός χώρου.

2. Χαρακτηριστικά ήχου

Ο ήχος, στις περισσότερες περιπτώσεις, παράγεται από ένα αντικείμενο. Οι ανθρώπινες φωνητικές χορδές ή η παλλόμενη μεμβράνη ενός τυμπάνου, είναι προφανή παραδείγματα. Αλλά και ο τοίχος που διαβιβάζει τον ήχο από ένα γειτονικό δωμάτιο δονείται επίσης, ακόμα κι αν το εύρος του είναι μικροσκοπικό. Ένα κύμα αποτελείται από μια διακύμανση της πίεσης, εναλλακτικά θετική και αρνητική. Σε σχέση πάντα με την ατμοσφαιρική πίεση. Όλες οι περιοχές της συμπίεσης ταξιδεύουν με μια σταθερή ταχύτητα, την ταχύτητα του ήχου. Η οποία σε 20°C (κανονικές συνθήκες) είναι 343m/s, ή 1125 ft/s. Ένα κύμα χαρακτηρίζεται από το εύρος, τη συχνότητα και την κατεύθυνση.

Το εύρος ενός κύματος καθορίζεται από το μέγεθος της διακύμανσης πίεσης. Ο Alexander Bell (εφευρέτης του τηλεφώνου), όρισε σαν μονάδα (αναλογίας) το **dB**. Με αυτή την μονάδα έγιναν πιο κατανοητές οι διαφορές στα επίπεδα του ήχου. Επειδή το εύρος των μεγεθών στην ακουστική είναι πολύ μεγάλο, και εξαιτίας της αντίληψης του ήχου από τον άνθρωπο, οι μονάδες που χρησιμοποιούμε στην ακουστική είναι λογαριθμικές. Παρακάτω

θα ασχοληθούμε πιο αναλυτικά με το ανθρώπινο αυτί, γιατί είναι πολύ σημαντικό να καταλάβουμε τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνεται τα ηχητικά ερεθίσματα.

Όταν βρισκόμαστε σε έναν ανοιχτό χώρο, όπου υπάρχει μια σημειακή πηγή, για κάθε διπλασιασμό της απόστασης από την πηγή, η περιοχή που καταλαμβάνεται από την ενέργεια (άρα και από την ισχύ) αυξάνεται. Έτσι λοιπόν, με κάθε διπλασιασμό της απόστασης, έχουμε 6dB πτώση της έντασης του σήματος (Κυριακάκης - Γιαννικάκης 1999 σελ.45, Everest 2003 σελ.161, Σκαρλάτος 2003 σελ.251). Αυτό ακριβώς συμβαίνει και στους κλειστούς χώρους. Για δυο σφαιρικές επιφάνειες E_1 και E_2 , οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση R_1 και R_2 αντίστοιχα, από την πηγή, θα ισχύει το εξής:

$$I_1 = W / (4 * \pi * (R_1^2) * \Delta t) \quad \text{και}$$

$$I_2 = W / (4 * \pi * (R_2^2) * \Delta t)$$

$$\text{Άρα } I_1 / I_2 = (R_2^2) / (R_1^2)$$

Μόνο που στους κλειστούς χώρους έχουμε τις ανακλάσεις και όλα τα άλλα φαινόμενα που υπάρχουν μέσα σ' αυτούς. Εμείς απλώς αξιοποιούμε ανάλογα τις ικανότητες του κάθε χώρου έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε τα χαρακτηριστικά του. Εκεί που δεν μας ικανοποιεί μια αντανάκλαση ή μια απορρόφηση, τοποθετούμε κάποια επιφάνια (απορροφητική, ή ανακλαστική), έτσι ώστε να τροποποιήσουμε τον χώρο για το επιθυμητό αποτέλεσμα⁴. Έτσι, λοιπόν, και στους χώρους των θεατρικών παραστάσεων για να βελτιώσουμε την ακουστική του τοποθετούμε, ανάλογα τις απαιτήσεις και τις ιδιαιτερότητες του χώρου, ανακλαστικές και απορροφητικές επιφάνειες.

Θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη πάντα και τον παράγοντα θόρυβο. Για τον θόρυβο μπορούμε να δώσουμε τους εξής ορισμούς ΕΛΟΤ 263.1 (1.201) που περιγράφονται στο βιβλίο του Δημήτρη Σκαρλάτου, Εφαρμοσμένη Ακουστική του 2003 και στην σελίδα 102.

*«**Θόρυβος** ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται γενικά με τυχαίο τρόπο, ή Θόρυβος ονομάζεται κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος.»*

Ο θόρυβος μπορεί να προέλθει από πολλούς παράγοντες. Έχει βρεθεί πως ακόμη και τα κύτταρα του ανθρώπινου σώματος παράγουν θόρυβο. Άλλοι παράγοντες μπορεί να είναι ο αέρας, η κίνηση στους δρόμους, βιομηχανία, λάμπες φθορίου κτλ. Εάν κάποιος θόρυβος κατανέμεται σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων και μάλιστα με την ίδια ηχητική ενέργεια ανά Hz, τότε αυτός ονομάζεται λευκός θόρυβος. Η στάθμη ζώνης αυτού του θορύβου παρουσιάζει αύξηση +3dB ανά οκτάβα. Όταν έχουμε κατανομή της ηχητικής ενέργειας περισσότερο στις χαμηλές συχνότητες και επίσης αυτή η κατανομή είναι αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας, τότε αυτός ο θόρυβος ονομάζεται ροζ θόρυβος (Σκαρλάτος 2003

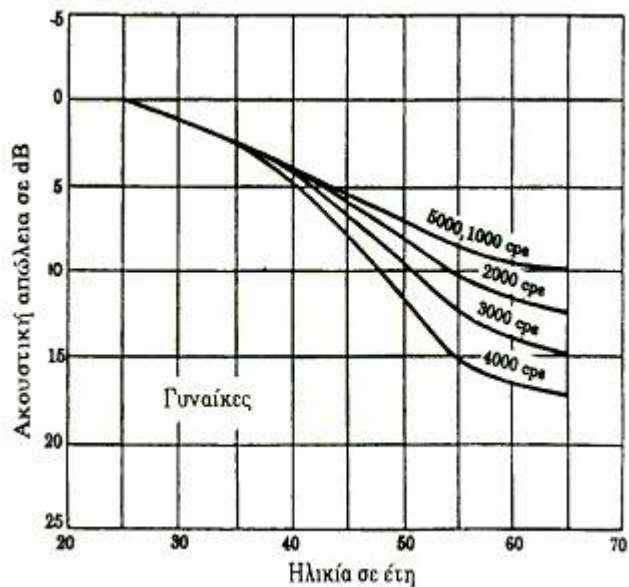
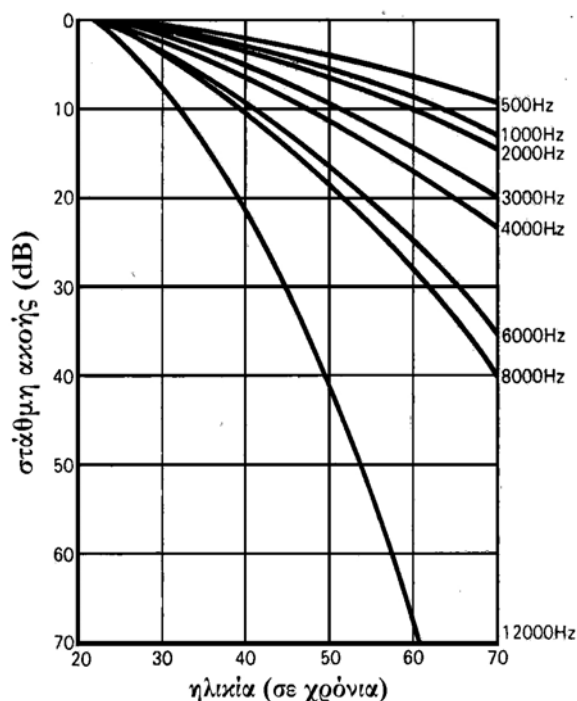
⁴ Όλα αυτά θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

σελ.103). Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη ανάλυση της φυσιολογίας και λειτουργίας του αυτιού, καθώς επίσης και του φαινομένου Masking. Επίσης θα δούμε πως ο παράγοντας θόρυβος μπορεί να επηρεάσει το ανθρώπινο αυτί και γενικά πως τον συναντάμε και πως τον αντιμετωπίζουμε.

3. Το Ανθρώπινο Αυτί και το Φαινόμενο Masking (Απόκρυψη)

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε ορισμένα στοιχεία για το ανθρώπινο αυτί. Εφόσον, αυτό είναι ο τελικός αποδέκτης των όποιων ερεθισμάτων προέρχονται από τον περιβάλλοντα χώρο, και συνεπώς σύμφωνα μ' αυτό πρέπει να γίνονται οι όποιες μελέτες για την σωστή ακουστική ενός χώρου.

Το ανθρώπινο αυτί μπορεί να αντιληφθεί τις συχνότητες μεταξύ 20 Hz και 20000 Hz, στην καλύτερη περίπτωση. Πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι τα όρια μεταβάλλονται από άνθρωπο σε άνθρωπο. Εξωγενείς παράγοντες, όπως η προδιάθεση του κάθε ατόμου, διάφορα παθολογικά αίτια και εσωτερικοί παράγοντες, όπως ηλικία, φύλλο, περιβάλλον διαμονής και εργασίας επηρεάζουν επίσης, αυτά τα όρια (εικόνες 1.2, 1.3).



Αριστερά, εικόνα 1.2

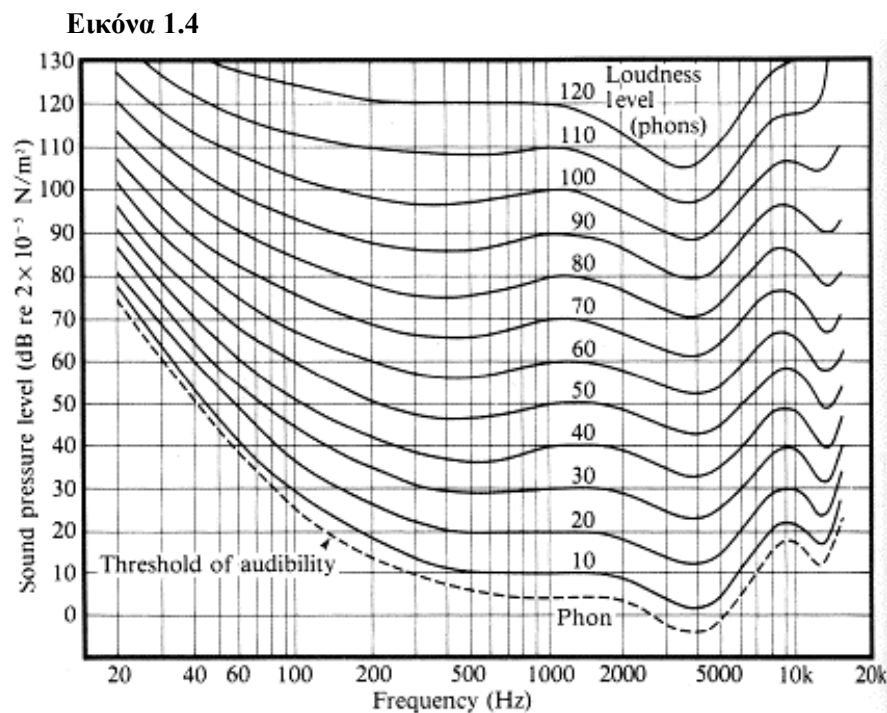
Γενικό γράφημα μείωσης της ακοής ανάλογα με την ηλικία και την συχνότητα. (Τσινίκας 1990 σελ. 8)

Δεξιά, εικόνα 1.3

Απώλεια ακοής μόνο των γυναικών ανάλογα την ηλικία. (Κουλούρης- Περίδης 2000 σελ. 69)

Το 1933 ο Fletcher και ο Munson, στα εργαστήρια της Bell, έκαναν διάφορα πειράματα. Ρώτησαν ένα μεγάλο πλήθος ακροατών, να συγκρίνουν σε σχέση με τον ήχο των 1000 Hz διάφορους άλλους τόνους. Έτσι δημιουργήθηκε ένα γράφημα το οποίο περιέχει τις καμπύλες ίσης ακουστότητας, και δείχνει πως ανταποκρίνεται το ανθρώπινο αυτί σε όλο το ακουστικό φάσμα και σε διαφορετικές εντάσεις. Η πρώτη κάτω γραμμή είναι το κατώφλι ακουστότητας και η τελευταία επάνω είναι το όριο πόνου. Ο χώρος μεταξύ πρώτης και τελευταίας γραμμής είναι η περιοχή όπου ακούει το ανθρώπινο αυτί.

Παρακάτω φαίνεται το γράφημα με τις καμπύλες ίσης ακουστότητας, οι οποίες καθιερώθηκαν σαν διεθνές στάνταρ (εικόνα 1.4).



Καμπύλες ίσης ακουστότητας, σε phones για τόνους.
<http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/dB.html> 17/01/2005)

Στην συχνότητα των 1000Hz και σε χαμηλές στάθμες, το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ανιχνεύσει διαφορές (στην ένταση) της τάξεως των 3 dB. Ενώ σε υψηλότερες στάθμες, μπορεί να κατανοήσει αλλαγές της τάξεως των 0.25 dB. Για μικρότερες συχνότητες (π.χ. 35 Hz), η στάθμη πρέπει να ανεβεί 9 dB για να γίνει αισθητή η διαφορά. Για τις μεσαίες συχνότητες και για μεσαίες στάθμες έντασης (εκεί όπου βρίσκεται η περιοχή της ομιλίας δηλ.), η μικρότερη αλλαγή στάθμης της έντασης κυμαίνεται στα 2 με 3 dB.

Το θεμελιώδες μουσικό σύστημα είναι η οκτάβα. Σε κάθε έναν διπλασιασμό της συχνότητας, έχουμε και ανέβασμα μια οκτάβας. Οι ακουστικές μετρήσεις επίσης συμβατικά γίνονται σε διαστήματα οκτάβας, με τις κεντρικές συχνότητες 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000,

2000, 4000, 8000 Hz. Από αυτές χρησιμοποιούμε συνήθως τα 125, 250, 500, 1000, 2000 Hz, για τις μετρήσεις μας. Η σχέση μεταξύ της συχνότητας, του μήκους κύματος και της ταχύτητας του ήχου είναι η εξής :

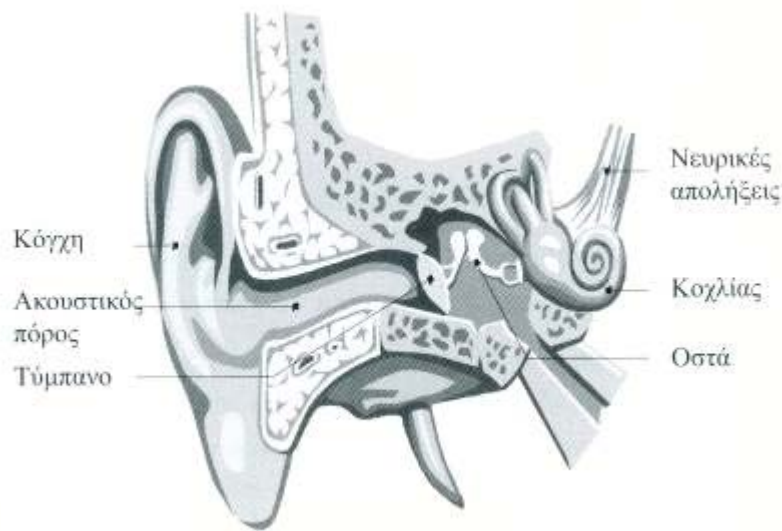
$$\text{Ταχύτητα του ήχου} = \text{συχνότητα} * \text{μήκος κύματος}$$

Έτσι λοιπόν το μήκος κύματος για την συχνότητα των 1000Hz είναι 0.343 m (σε 20°C). Για τα 20 Hz το μήκος κύματος είναι (περίπου) 17m, ενώ για τα 20000 Hz είναι (περίπου) 17mm. Βλέπουμε λοιπόν ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα, μικραίνει το μήκος κύματος. Είναι αντιστρόφως ανάλογα δηλ. τα ποσά. Οι διαστάσεις λοιπόν των επιφανειών μια αίθουσας, βλέπουμε πως είναι συγκρίσιμες με τα μήκη κύματος των ακουστικών συχνοτήτων. Αν σε μία αίθουσα έχουμε δυο παράλληλες επιφάνειες, τότε η συχνότητα όπου το μήκος κύματος της θα χωράει ανάμεσα σ' αυτές τις επιφάνειες, θα ενισχυθεί κατά πολύ, λόγω στάσιμου κύματος. Όταν έχουμε μια χαμηλή συχνότητα με μεγάλο μήκος κύματος, μέσα σ' ένα χώρο, τότε τα μικρά αντικείμενα δεν εμποδίζουν αυτές τις συχνότητες να μεταδοθούν. Αντίθετα, όταν έχουμε υψηλές συχνότητες, τα αντικείμενα αντιμετωπίζονται σαν εμπόδια και αυτό γιατί είναι μεγαλύτερα από το μήκος κύματος την συχνότητας.

Επίσης το μήκος κύματος παίζει ρόλο στην αντίληψη της κατευθυντικότητας των συχνοτήτων. Για παράδειγμα, μια συχνότητα των 100 Hz δεν είναι κατευθυντική, ενώ μια συχνότητα των 2000 Hz είναι. Σ' αυτό παίζουν ρόλο τα αυτιά μας και το σημείο όπου βρίσκονται. Και λειτουργούν όπως την όραση. Και τα δυο μάτια συνεργάζονται για να μπορέσουν να τοποθετήσουν κάποιο αντικείμενο στον χώρο. Και εάν κλείσουμε το ένα μάτι, χάνουμε την αίσθηση του πεδίου και του τρισδιάστατου. Έτσι και τα αυτιά τοποθετούν τα ακουστικά ερεθίσματα στον χώρο και δημιουργούν μια εικόνα (τρειςδιάστατη), για το που βρίσκεται ο κάθε ήχος στον χώρο. Επίσης η διαφορά του χρόνου άφιξης ενός ηχητικού ερεθίσματος στα δυο αισθητήρια όργανα της ακοής, επεξεργάζεται από τον εγκέφαλο και μας δίνει την τελική ανάλυση για την τοποθέτηση ενός ήχου στον χώρο. Επειδή η απόσταση μεταξύ των αυτιών είναι 17 cm, αυτό σημαίνει ότι ολοκληρώνεται η συχνότητα των 2000 Hz. Άρα οποιαδήποτε συχνότητα κάτω απ' αυτή, δεν είναι κατευθυντική (για τον άνθρωπο).

Το ανθρώπινο αυτί αποτελείται από τρία μέρη. Το εξωτερικό, το μέσω και το εσωτερικό αυτί (Σκαρλάτος 2003 σελ. 382) (εικόνα 1.5).

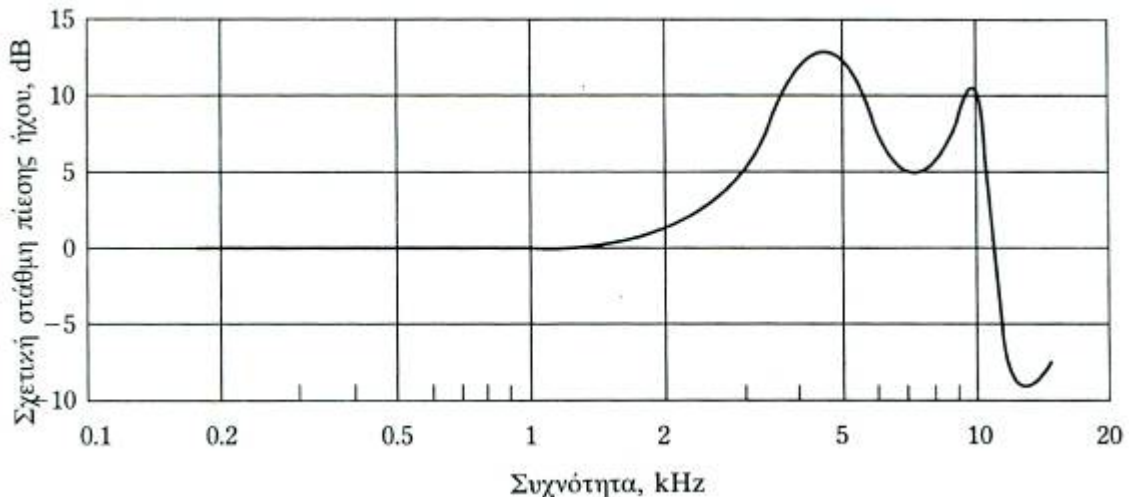
Εικόνα 1.5



Ανατομία ενός αυτιού. (Σκαρλάτος 2003 σελ. 381)

Το εξωτερικό αυτί αναγνωρίζεται εύκολα και είναι ορατό και απτό. Περιλαμβάνει ένα πτερύγιο (κόγχη, ή λοβό) και έναν ακουστικό πόρο, ο οποίος καταλήγει στην μεμβράνη του τυμπάνου, η οποία χωρίζει το μέσω από το έξω αυτί. Η κόγχη συγκεντρώνει τα ακουστικά ερεθίσματα και τα στέλνει στο τύμπανο μέσω του ακουστικού διαύλου. Ταυτόχρονα ενισχύει και φιλτράρει αυτό το ακουστικό ερέθισμα, ευνοώντας την διάδοση μερικών συχνοτήτων στο έσω αυτί. Και αυτό γιατί ο ακουστικός διάυλος έχει μήκος περίπου 3 cm με διάμετρο 0.7 cm και λειτουργεί σαν ημιανοιχτός σωλήνας. Σ' αυτόν ισχύει η σχέση $f=c/4L$. Η συχνοτική συνάρτηση του ακουστικού διαύλου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 1.6).

Εικόνα 1.6

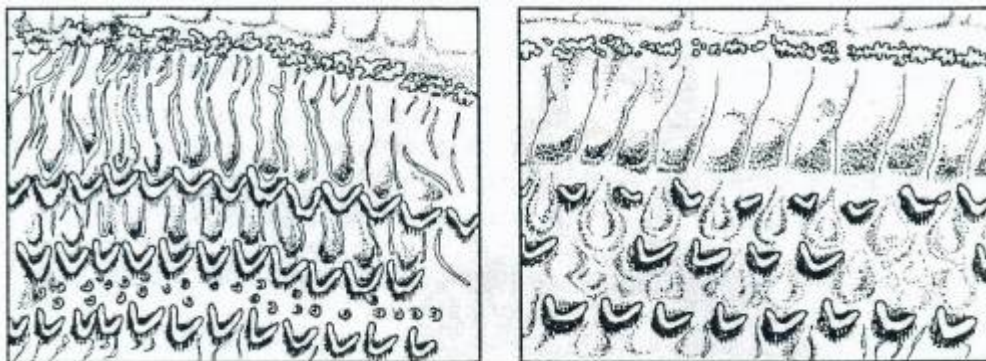


Συχνοτική απόκριση ακουστικού διαύλου. (Everest 1977, σελ.53)

Βλέπουμε πως υπάρχει ένας συντονισμός περίπου 12 dB, στην περιοχή των 4700 Hz. Επίσης υπάρχει και ένας δεύτερος, αλλά μικρότερος συντονισμός κοντά στα 9.4 KHz. Αυτό

ευνοεί την καλύτερη κατανόηση της ομιλίας, μιας και γύρω απ' την πρώτη συχνότητα κυμαίνεται αυτή. Το μέσο αυτό είναι μια γεμάτη αέρα κοιλότητα (με πίεση ίση με αυτής της ατμοσφαιρικής), στην οποία υπάρχουν τρία μικρά οστά. Η σφύρα, ο άκμονας και ο αναβολέας. Τα τρία αυτά οστά αποτελούν την μηχανική σύνδεση του τυμπάνου με τον κοχλία. Ο αναβολέας και η σφύρα συνδέονται με μυϊκούς ιστούς. Αυτοί μπορούν να επιβραδύνουν την κίνηση των οστών, μειώνοντας το πλάτος της κίνησης, έτσι ώστε όταν ανιχνευτεί ένας δυνατός ήχος να προστατευτεί το αυτί. Δυστυχώς όμως αυτή η προστασία δεν επαρκεί στο σημερινό θορυβώδες περιβάλλον. Το εσωτερικό αυτί αποτελείται από το αιθουσαίο και από τον κοχλία. Είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύνολο. Το αιθουσαίο περιλαμβάνει το ελλειπτικό και σφαιρικό κυστίδιο και τους ημικυκλικούς σωλήνες. Όλα αυτά είναι υπεύθυνα έτσι ώστε να αντιλαμβάνεται ο εγκέφαλος την στάση του σώματος στους τρεις άξονες του χώρου. Στον κοχλία γίνεται η ανάλυση των ακουστικών ερεθισμάτων σε ηλεκτροχημικό νευρικό παλμό, έτσι ώστε να τους αντιληφθεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Μέσα του ο κοχλίας δεν περιέχει αέρα, αλλά κάποιο υγρό. Έτσι οι παλμοί (συχνότητες) που μεταφέρονται μέσω του αναβολέα σε αυτόν, ταξιδεύουν με άλλη ταχύτητα. Ο κοχλίας έχει μήκος 6.5 cm σε ανάπτυξη. Κατά μήκος του κοχλίας υπάρχει μια μεμβράνη η οποία περικλείει 23000 με 24000 νευρικά τριγίδια (Σκαρλάτος 2003). Το κάθε ένα από αυτά συντονίζεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα και είναι πολύ ευαίσθητα. Έτσι σε δυνατές εντάσεις ήχου είναι πολύ πιθανό να καταστραφούν μερικά, ή ακόμη να έχουμε και ολική απώλεια ακοής. Ένας άλλος καταστρεπτικός παράγοντας αυτών των αισθητήρων είναι και ο χρόνος. Με τον καιρό και ανάλογα τις στάθμες έντασης όπου έζησε κάποιος, χάνονται κάποια τριγίδια και κάποια άλλα χάνουν την αρχική τους ευαισθησία (Σκαρλάτος 2003, Κουλούρης - Πετρίδης 2000, Κουτσοδημάκης - Γκολφίδης 1998, Δαλιάνης σημειώσεις μηχανικής I, Tomatis 2000), (εικόνα 1.7).

Εικόνα 1.7



Μεγέθυνση εσωτερικής επιφάνεια κοχλίας (τριγίδια)
(Δαλιάνης σημειώσεις στο μάθημα μηχανική ήχου I εξάμηνο 4ο σελ. 12)

Επίσης, εάν κάποιος εργάζεται σε ένα περιβάλλον στο οποίο υπάρχει καθημερινά μια συγκεκριμένη συχνότητα (ή και ακόμη περισσότερες), τότε ο εγκέφαλος θα αφαιρέσει αυτή την συχνότητα ως άμυνα, για να μην τρελαθεί ο άνθρωπος. Έτσι λοιπόν εάν δεν περάσουν πάρα πολλά χρόνια, εάν αυτός ο άνθρωπος αλλάξει περιβάλλον εργασίας και πάει σε ένα όπου δεν υπάρχει αυτή η συχνότητα, με τον καιρό θα επανέλθει η ακοή του. Αυτό το γεγονός όμως δεν έχει σχέση με απώλεια τριχιδίων, εκτός και αν η έκθεσή του σ' αυτές τις συχνότητες ήταν μακροχρόνια. Επίσης και η μακροχρόνια παραμονή σε χώρους όπου οι εντάσεις αγγίζουν το όριο πόνου μπορούν να προκαλέσουν μόνιμες βλάβες. (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998, Δαλιάνης σημειώσεις μηχανικής I)

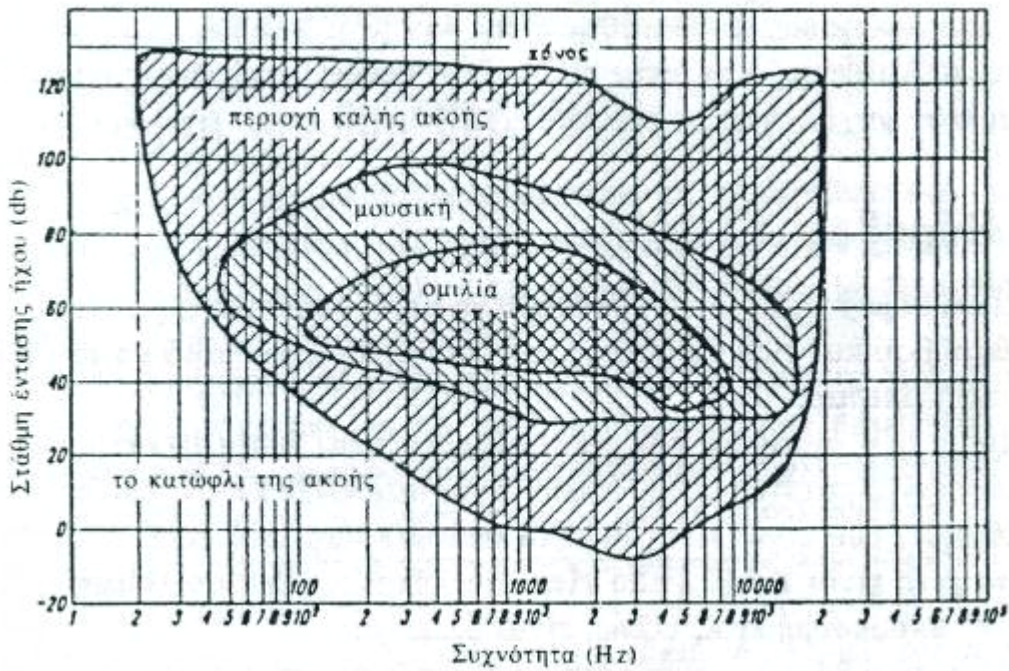
Παρακάτω βρίσκονται οι ώρες έκθεσης του ανθρώπου στις διάφορες εντάσεις ήχου, έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στο αυτί (πίνακας 1).

Πίνακας 1

| dB | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 |
|-------------|----|----|-----|-----|-------|-------|
| Ώρες | 8 | 4 | 2 | 1 | 30min | 15min |

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες εικόνες οι οποίες απεικονίζουν σχηματικά ιδιότητες του ανθρώπινου αφτιού. Στην εικόνα 1.8, βλέπουμε ποια και που είναι η περιοχή καλής ακοής, σε περίπου ποια περιοχή βρίσκεται η μουσική και που είναι περίπου η ομιλία. Στην εικόνα 1.9 φαίνεται η τον τρόπο διέγερσης της βασικής μεμβράνης, σε διάφορες συχνότητες. Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το πλάτος της διέγερσης, ενώ στον πλάγιο την απόσταση των σημείων της μεμβράνης από την άκρη αυτής (Σκαρλάτος 2003 σελ. 396). Σ' αυτό το σχήμα φαίνεται το φαινόμενο της απόκρυψης (Masking), το οποίο θα αναλυθεί πιο κάτω.

Εικόνα 1.8



Περιοχές και όρια ακοής.

(Δαλιάνης σημειώσεις στο μάθημα μηχανική ήχου I εξάμηνο 4ο σελ. 13)

Εικόνα 1.9



Διέγερση της βασικής μεμβράνης σε διάφορες συχνότητες.

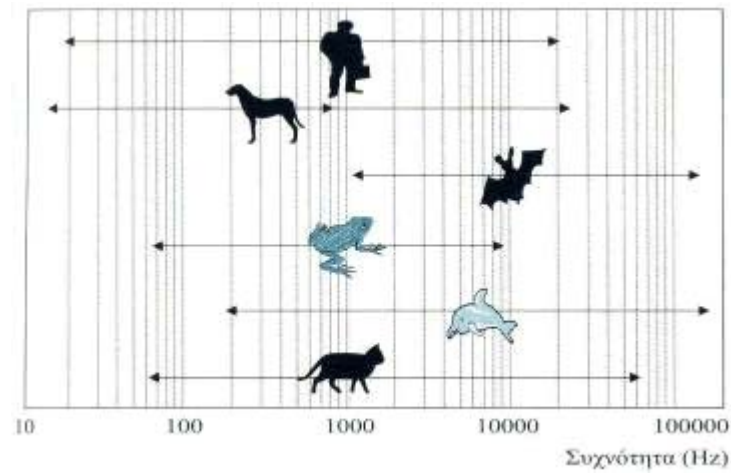
(Σκαρλάτος 2003 σελ. 396)

Στην παρακάτω εικόνα 1.10, παρουσιάζεται το συχνοτικό εύρος διάφορων οργανισμών. Στην κορυφή βρίσκεται το συχνοτικό εύρος του ανθρώπου, ενώ πιο κάτω του σκύλου, της νυχτερίδας, του βατράχου, του δελφινιού και της γάτας. Οι διαφορές είναι εμφανείς. Στην εικόνα 1.11, απεικονίζονται πάνω στις καμπύλες ίσης ακουστότητας διάφορα σχήματα, αναλόγως την ένταση και την συχνότητά τους.

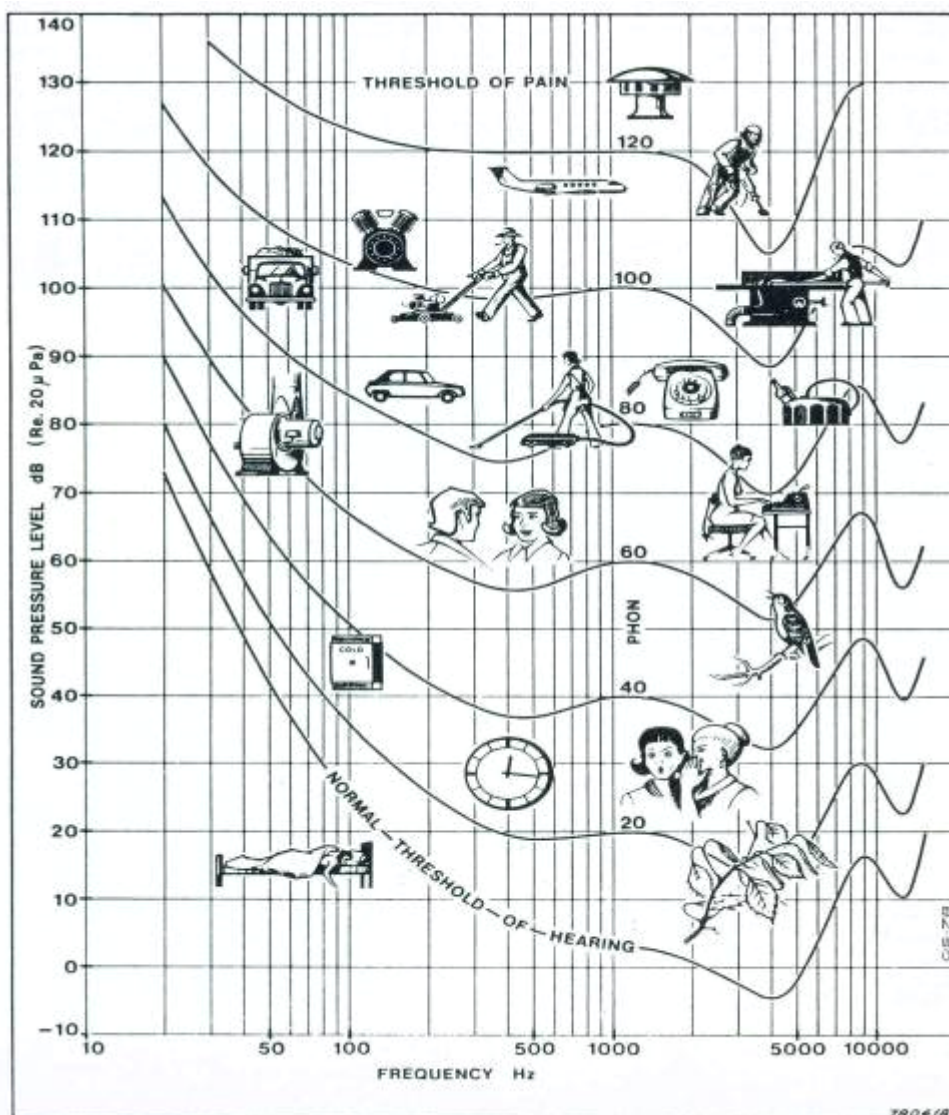
Από την φυσιολογία του αυτιού, παρατηρείται το φαινόμενο της δυσκολίας αναγνώρισης κάποιων ήχων, εξαιτίας κάποιων παραγόντων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται masking. Αποτελεί ιδιαιτερότητα του ανθρώπινου αυτιού και μπορεί να ευθύνεται για

ορισμένα περίεργα φαινόμενα. Η επίγνωση αυτού του φαινομένου μας βοηθάει στην πρόληψη τυχών λαθών που δεν μπορούν να εξαλειφθούν εύκολα.

Εικόνα 1.10



Συχνοτική απόκριση διαφόρων οργανισμών.
(Σκαρλάτος 2003 σελ. 387)



Εικόνα 1.11
Καμπύλες ίσης ακουστότητας με διάφορα αντικείμενα.
(Παπανικολάου 1985 σελ. 174)

Η δυσκολία αναγνώρισης κάποιων ηχητικών φαινομένων δεν οφείλεται αποκλειστικά σε τριχίδια που παρουσιάζουν βλάβη. Ο παράγοντας, θόρυβος είναι ακόμη μια αιτία, ο οποίος πολλές φορές μεταφέρεται μαζί με την πληροφορία που μας ενδιαφέρει. Έτσι μετατοπίζεται προς τα πάνω το κατώφλι ακουστότητας του ασθενέστερου τόνου, εξαιτίας ενός ισχυρότερου τόνου. Επίσης, το αυτί σε συνεργασία με τον εγκέφαλο έχει την ικανότητα να απορρίπτει ήχους, ή θορύβους περιορισμένης έντασης, τους οποίους θεωρεί άχρηστους, αυξάνοντας πάλι το κατώφλι ακουστότητας. Όταν όμως οι ήχοι που προηγουμένως μπορούσαν να απορριφθούν αυξήσουν την έντασή τους, τότε οδηγούμαστε σε φαινόμενα επικάλυψης.

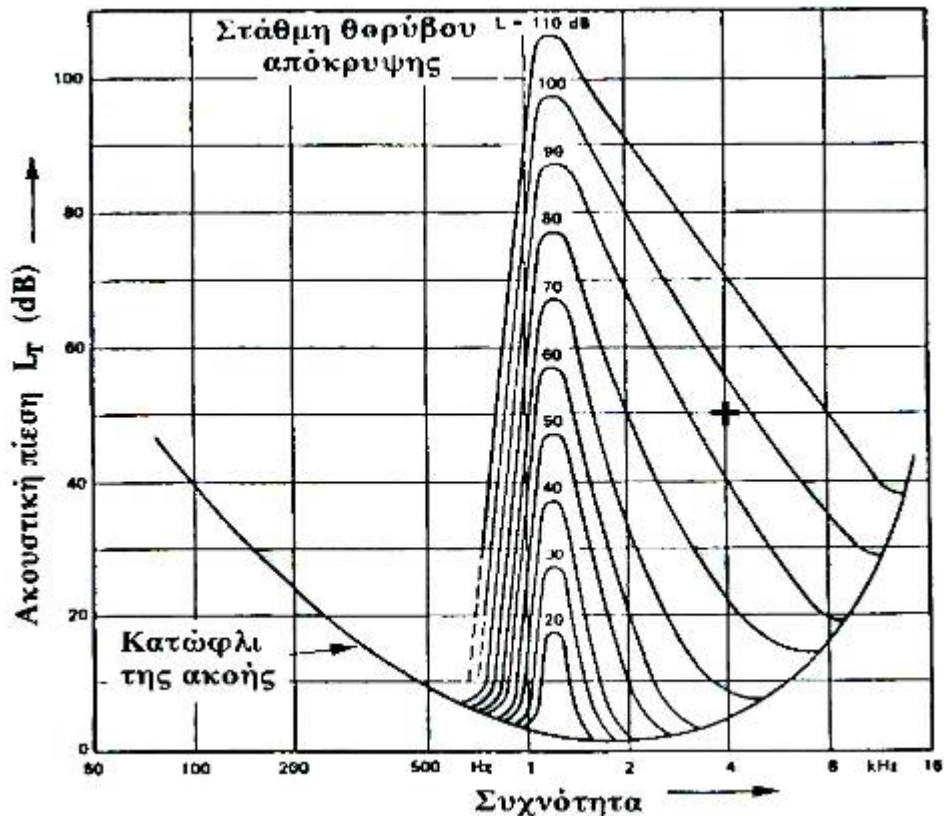
Πειραματικά βρέθηκαν τα εξής αποτελέσματα:

- Όταν πρόκειται για καθαρούς τόνους, για να επικαλύπτει ο ένας τον άλλον πρέπει να είναι κοντινές οι συχνότητες. Ενώ εάν δύο τόνοι είναι ευρέως χωρισμένοι στη συχνότητα, ελάχιστη ή καμία κάλυψη εμφανίζεται
- Ένας καθαρός τόνος καλύπτει, τόνους της υψηλότερης συχνότητας αποτελεσματικότερα, από τόνους χαμηλότερης συχνότητας.
- Όσο μεγαλύτερη η ένταση ενός τόνου, τόσο μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων επικαλύπτει.
- Απόκρυψη τόνων από μια στενή ζώνη του θορύβου μπορεί να επιτευχθεί. Τόνοι υψηλότερης συχνότητας είναι καλυμμένοι αποτελεσματικότερα από τους τόνους χαμηλότερης συχνότητας απ' τον καλύπτοντος θόρυβο.
- Απόκρυψη τόνων από θόρυβο εύρους φάσματος (λευκό θόρυβο), παρουσιάζει περίπου γραμμική σχέση μεταξύ της κάλυψης και του επιπέδου θορύβου. Αυξάνοντας δηλαδή το επίπεδο θορύβου κατά 10 dB ανεβαίνει και το κατώτατο όριο ακρόασης κατά 10 dB. Ο λευκός θόρυβος καλύπτει τους τόνους σε όλες οι συχνότητες.
- Εάν ένας τόνος τελειώσει και ξεκινήσει ένας άλλος αμέσως 20-30 ms μετά, τότε γίνεται επικάλυψη σ' αυτόν τον τόνο από τον προηγούμενο. Αυτό γίνεται γιατί ο εγκέφαλος δεν έχει προλάβει να μηδενίσει. Δηλαδή τα κύτταρα που προηγουμένως είχαν διεγερθεί δεν είναι το ίδιο ευαίσθητα στην νέα διέγερση.
- Απόκρυψη τόνου στο ένα αυτί μπορεί να προέλθει από θόρυβο που επηρεάζει το άλλο αυτί. Αυτό λέγεται κεντρική κάλυψη.

(Κουζούπης σημειώσεις Masking στο μάθημα μηχανική ήχου III εξάμηνο 6ο)

Όταν έχουμε θόρυβο στενού εύρους συχνοτήτων, τότε επικαλύπτονται ήχοι που έχουν συχνότητα ίση με την κεντρική, ή πολύ κοντά σ' αυτή. Όσο ανεβαίνει η στάθμη του θορύβου, ανεβαίνει και ο αριθμός των συχνοτήτων που επικαλύπτονται απ' αυτόν. Αυτό δείχνει και το παρακάτω σχήμα (εικόνα 1.12).

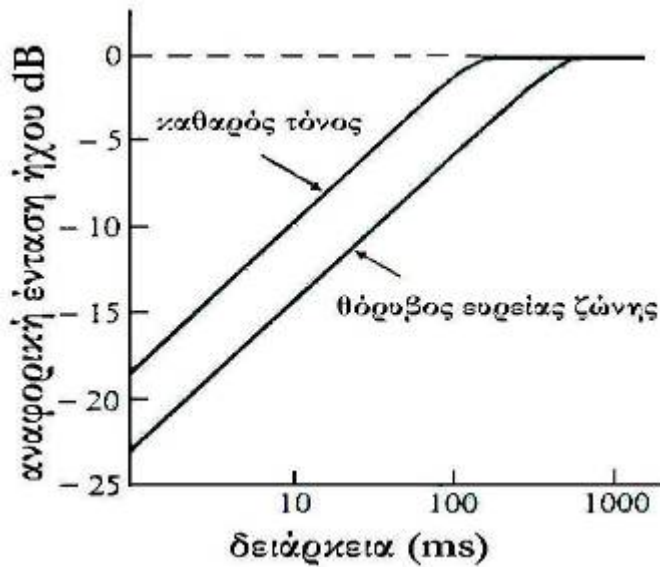
Εικόνα 1.12



Φαινόμενο απόκρυψης με στενές ζώνες θορύβου, κεντρικής συχνότητας 1200 Hz, για διάφορες στάθμες (Παπανικολάου 1985 σελ. 59).

Θόρυβος δηλαδή με ένταση 100 dB SPL και με κεντρική συχνότητα 1200 Hz, μπορεί να επικαλύψει τόνο συχνότητας 4000 Hz και εντάσεως 50 dB SPL. (εκεί που είναι ο σταυρός δηλ.). Ενώ εάν η στάθμη του ίδιου θορύβου ήταν 90 dB SPL, ο τόνος αυτός θα ακούγονταν.

Το επόμενο σχήμα (εικόνα 1.13) έχει να κάνει με το πότε πρέπει να ξεκινήσει ένας ήχος, όταν πριν απ' αυτόν υπήρχε κάποιος καθαρός τόνος, ή θόρυβος ευρείας ζώνης. Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα δηλαδή, για να ακουστεί καθαρά κάποιος ήχος μετά από καθαρό τόνο στα -10 dB, θα πρέπει να ξεκινήσει 10 ms μετά απ' αυτόν. Ενώ εάν αντί για καθαρό τόνο είχαμε θόρυβο ευρείας ζώνης, ο οποίος έπαιζε στην ίδια ένταση (-10 dB), τότε ο επόμενος ήχος θα έπρεπε να ξεκινήσει 60 ms περίπου μετά την παύση αυτού

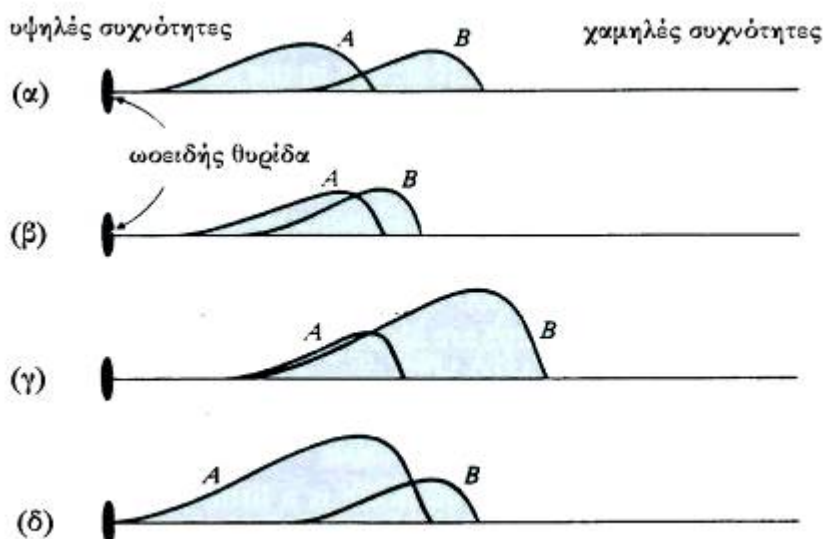


Εικόνα 1.13

Μετατόπιση του επιπέδου ακουστότητας στον χρόνο, αναλόγως τον θόρυβο.

(Κουζούπης σημειώσεις στο μάθημα μηχανική ήχου III εξάμηνο 6ο)

Στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 1.14) εξηγείται σχηματικά το πώς επικαλύπτονται δυο τόνοι (A-B) εξαιτίας της λειτουργίας της μεμβράνης. Στο πρώτο παράδειγμα, οι τόνοι είναι μακρινοί και επειδή δεν έχουν μεγάλες εντάσεις, δεν επικαλύπτονται πολύ. Στο δεύτερο παράδειγμα, υπάρχει μια πιο αξιόλογη επικάλυψη του τόνου υψηλότερης συχνότητας **A**, απ' αυτόν με την χαμηλότερη συχνότητα **B**. Οι εντάσεις εδώ παραμένουν σχεδόν ίδιες, αλλά οι συχνότητες είναι πιο κοντινές. Στο τρίτο παράδειγμα, ο χαμηλότερος τόνος έχει επικαλύψει πλήρως τον ψηλότερο τόνο. Παρόλο που οι συχνότητες είναι μακρινές, η ένταση του χαμηλότερου, **B**, τόνου είναι ικανή να καλύψει τον ψηλότερο τόνο, **A**. Στο τέταρτο παράδειγμα, ο **A** τόνος παρόλο που έχει αυξημένη ένταση, δεν είναι ικανός να επικαλύψει τον **B** τόνο.



Εικόνα 1.14

Απλουστευμένη εξήγηση στον τρόπο επικάλυψης συχνοτήτων από το ανθρώπινο αυτί.

(Κουζούπης σημειώσεις στο μάθημα μηχανική ήχου III εξάμηνο 6ο)

Η απόκρυψη παίζει πάρα πολύ σημαντικό ρόλο στην πολυφωνική μουσική. Θα ήταν άσκοπο να βάλει κάποιος να παίζει ένα φλάουτο την ίδια στιγμή που παίζουν fortissimo τα μεταλλικά πνευστά.

Το αυτί και ο εγκέφαλος παρουσιάζουν το εξής ιδίωμα. Ήχοι οι οποίοι λαμβάνονται μέσα στο χρονικό όριο των 50 ms μετά από τον κυρίως ήχο, ασχέτως αν προέρχονται από ανακλάσεις, θεωρούνται πως προέρχονται από την ίδια κατεύθυνση στην οποία βρίσκεται και η πραγματική πηγή. Ανάλογο παράδειγμα υπάρχει και στην όραση, όπου εάν μας δείχνουν από 16 εικόνες το δευτερόλεπτο (κάθε 62.5 ms και μία δηλ.) και πάνω, ο εγκέφαλος τις νομίζει για κινούμενη εικόνα. Από 50 με 80 ms και μετά, ο εγκέφαλος αντιλαμβάνεται τις ανακλάσεις. Εφόσον αναφερθήκαμε στην λειτουργία του ανθρώπινου αυτιού και στο φαινόμενο Masking που μας βοηθούν να καταλάβουμε τον τρόπο αντίληψης του ήχου από αυτό, στην επόμενη ενότητα βλέπουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την καλή ακουστική ενός κλειστού χώρου.

4. Παράμετροι Καλής Ακουστικής

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληροί ένας χώρος για να έχει καλή ακουστική είναι (Σκαρλάτος 2003 σελ. 186, 187) :

- Ο ήχος πρέπει να φτάνει σε όλα τα σημεία του χώρου, χωρίς να υπάρχει μείωση και κυρίως να έχει την ίδια κατανομή παντού. Πρέπει δηλαδή να είναι διάχυτος.
- Δεν πρέπει να εμφανίζεται το φαινόμενο της επικάλυψης, ή τουλάχιστον να είναι περιορισμένο.
- Ο ρυθμός μείωσης της έντασης του ήχου, πρέπει να είναι βέλτιστος. Αυτό έχει σαν συνέπεια διάφορα πράγματα, εκ των οποίων, την καθαρότητα της συνομιλίας και την βελτίωση της μουσικής.
- Να μην υπάρχουν δυσάρεστες καταστάσεις, όπως : ηχώ και ηχητικές σκιές, παραμορφώσεις ή συγκεντρώσεις.
- Ο χώρος να διαθέτει επαρκή ηχομόνωση.

Σύμφωνα με τον Randal, ένα **διάχυτο** ηχητικό πεδίο έχει τις εξής ιδιότητες (Σκαρλάτος 2003 σελ. 138):

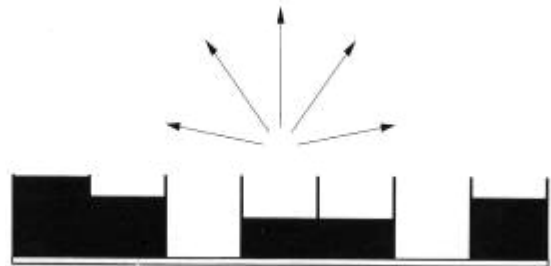
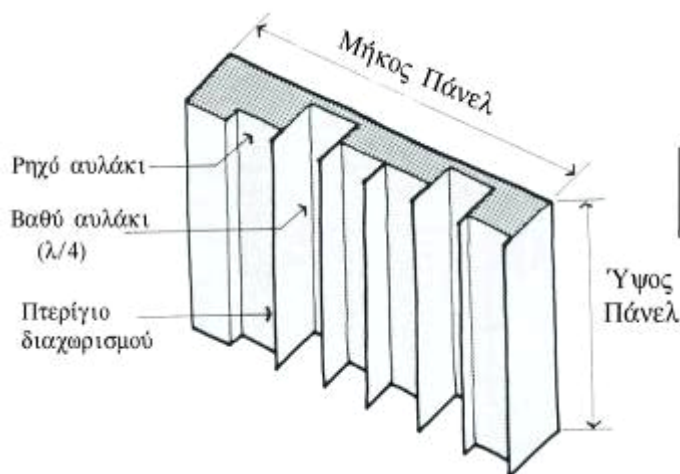
- Ο ρυθμός μείωσης της ηχητικής ενέργειας όταν μηδενιστεί η πηγή, είναι ομαλός.
- Ο ρυθμός μείωσης είναι καθαρά εκθετικός (ή ευθεία γραμμή σε λογαριθμική κλίμακα).
- Ο χρόνος αντήχησης είναι ο ίδιος σε όλες τις θέσεις του χώρου.
- Ο ρυθμός μείωσης του ήχου είναι ο ίδιος ανεξάρτητα από την συχνότητα.
- Ο ρυθμός μείωσης δεν εξαρτάται από την κατευθυντικότητα του χρησιμοποιούμενου μικροφώνου.
- Οι αποκλίσεις από την μόνιμη (Steady state) κατάσταση σε διαφορετικές συχνότητες, είναι αμελητέες.

Είναι πάρα πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί πεδίο, που να είναι πλήρως διάχυτο. Ωστόσο, μπορούμε να φτάσουμε σε ικανοποιητικά αποτελέσματα, εάν στον χώρο τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες θέσεις, επιφάνειες που να διαχέουν τον ήχο. Επίσης μπορούν να τοποθετηθούν και επιφάνειες με απορροφητικές ιδιότητες, σε συνδυασμό με τους διαχυτές, για καλύτερα αποτελέσματα (πράγμα το οποίο γίνεται πάρα πολύ συχνά).

Οι διαχυτές τοποθετούνται σε κάποιο αντηχητικό πεδίο για να δημιουργήσουν ηχοδιάχυση. Είναι ηχοανακλαστικές επιφάνειες, με πολλά και ποικίλα σχήματα. Π.χ. κύβοι, πυραμίδες, σφαίρες, ρόμβοι, ορθογώνια και πλάγια παραλληλεπίπεδα και συνδυασμοί όλων αυτών. Τα υλικά κατασκευής τους είναι σκληρά, λεία και ηχοανακλαστικά (όπως και των ανακλαστήρων). Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι πλήρως ανακλαστικά και να μην δονούνται, έτσι ώστε να μην υπάρχουν τυχόν απορροφήσεις σε χαμηλές συχνότητες.

Για να πετύχουμε την επιθυμητή ηχοδιάχυση πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη το μήκος κύματος της συχνότητας που μας ενδιαφέρει. Έτσι λοιπόν εάν X είναι το μήκος ενός διαχυτή, τότε η ελάχιστη διάστασή του θα πρέπει να είναι : $X = (1/7) * \lambda$ (όπου λ το μήκος κύματος) (Τσινίκας 1990 σελ. 22). Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να κάνουμε διάχυση σε συχνότητα 50Hz. Η ελάχιστη διάσταση του διαχυτή που πρέπει να τοποθετήσουμε θα πρέπει να είναι $X = (1/7) * 6,8m = 97 \text{ cm}$. Εάν τώρα, αντί για 50 Hz είχαμε 250 Hz, τότε η ελάχιστη διάσταση X , θα ήταν $X = (1/7) * 1.36m = 19 \text{ cm}$. Και για ήχο συχνότητας 800 Hz, $X = (1/7) * 0.42m = 6 \text{ cm}$.

Οι διαχυτές μπορούν να τοποθετηθούν ανάμεσα στην σκηνή και τους ακροατές (για αναβάθμιση της ποιότητας του ήχου), σε παράλληλους τοίχους (για αποφυγή στάσιμων κυμάτων), στις επιφάνειες του κουβουκλίου μιας ορχήστρας (για την καλύτερη συνεννόηση τους και την καλύτερη ανάμιξη του ήχου πριν βγει στους ακροατές) κ.α. (Τσινίκας 1990 σελ. 22). Παρακάτω δίνονται κάποιες εικόνες διαχυτών.



Επάνω, εικόνα 1.15

Σχεδιάγραμμα τετραγωνικού διαχυτή. (Barron 1993 σελ. 23.)

Αριστερά, εικόνα 1.16

Επεξήγηση τετραγωνικού διαχυτή. (Edgan 1988 σελ. 158)

Όταν το ηχητικό κύμα πέσει πάνω σε έναν διαχυτή, εξαιτίας των διαφορετικών αυλακώσεων, θα δοθεί διαφορετική καθυστέρηση στην φάση της ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας. Ο συνδυασμός του αρχικού σήματος με το ανακλώμενο, θα είναι μια τυχαία καταστροφή της κατευθυντικότητάς του (Σκαρλάτος 2003 σελ. 139). (εικόνες 1.15, έως 1.21).



Σφήνες



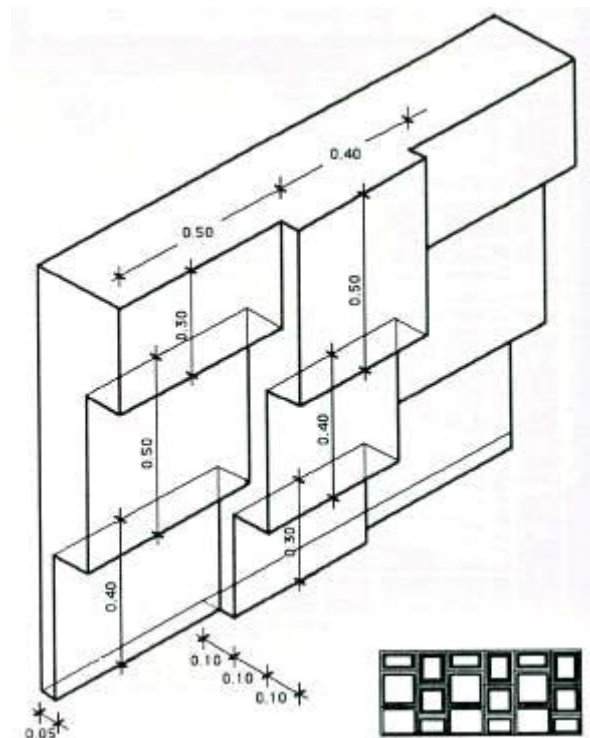
Ορθογώνιοι διαχυτές

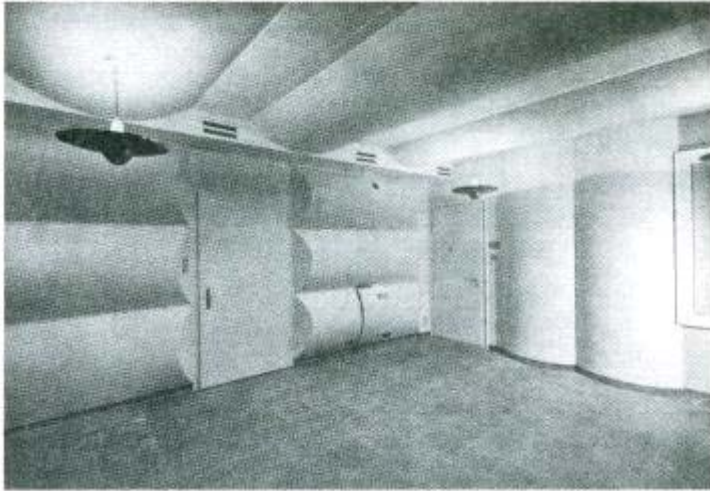
Επάνω, εικόνα 1.17

Διαχυτές. (Σκαρλάτος, 2003 σελ. 138)

Δεξιά, εικόνα 1.18

Κατασκευαστική διάταξη ηχοδιαχυτή (Τσινίκας 1990 σελ. 47)





Εικόνα 1.19

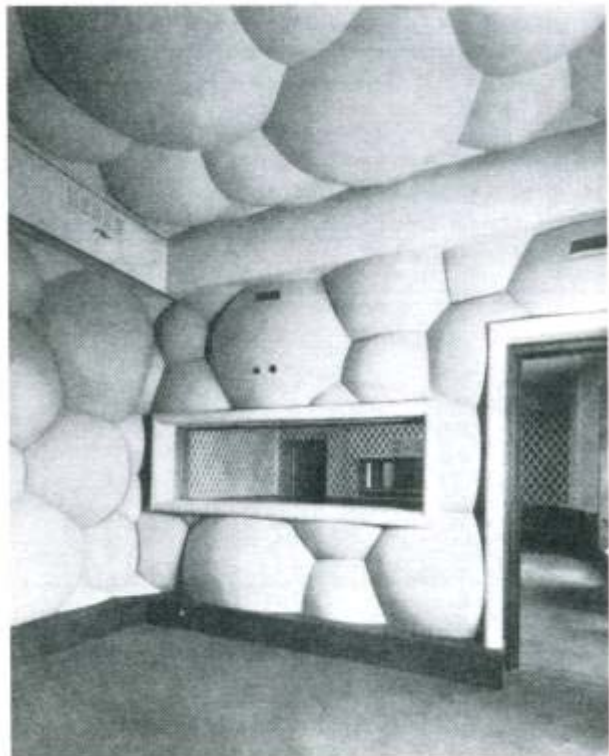
Ηχοδιαχυτές. Τμήματα κυλίνδρων σε studio ραδιοφώνου στην Βέρνη. (Τσινίκας 1990 σελ. 47)

Κάτω αριστερά, εικόνα 1.20

Ηχοδιαχυτές. Πρίσματα σε πλαϊνούς τοίχους αίθουσας συναυλιών για 2232 άτομα στο Ρότερνταμ (Τσινίκας 1990 σελ. 47).

Κάτω δεξιά, εικόνα 1.21

Ηχοδιαχυτές. Τμήματα σφαίρας σε studio ραδιοφώνου στο Παρίσι (Τσινίκας 1990 σελ. 46).



Έστω ότι μέσα σ' ένα κλειστό χώρο έχουμε μια ηχητική πηγή η οποία, έχει διαχύσει όλη την ηχητική της ενέργεια μέσα σ' αυτόν. Όταν η ηχητική ένταση έχει φτάσει σε ένα σημείο ισορροπίας, κλείνουμε την πηγή και η ενέργεια αυτή διατηρείται για λίγο χρονικό

διάστημα, φθίνοντας εκθετικά όμως, έως ότου μηδενιστεί. Αναλόγως τα χαρακτηριστικά του χώρου, όπως ηχοαπορροφηση, ανακλαστικότητα επιφανειών, σχήμα και όγκος αίθουσας⁵, θα υπάρξει και η αντίστοιχη καθυστέρηση στην μείωση της ηχητικής ενέργειας. Η διαφορά ανάμεσα σε έναν καθεδρικό ναό και σε ένα σαλόνι, είναι προφανείς. Στους κρουστικούς ήχους η αντηχητική ενέργεια αρχίζει να αποσυντίθεται αμέσως (http://ccrma.stanford.edu/CCRMA/Courses/150/auditorium_acoustics.html 10/05/2005).

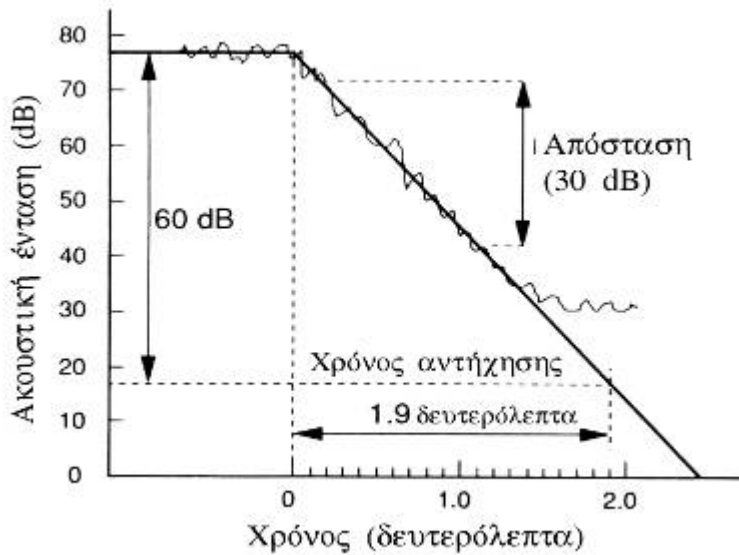
Στην ενότητα 1, είδαμε πως ο Sabine αντιμετώπισε την κακή ακουστική του δωματίου διάλεξης μουσείου τέχνης, *Fogg Art Museum*. Ο χρόνος αντήχησης λοιπόν, στην ακουστική συμπεριφορά των κλειστών χώρων αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα.

«Ως χρόνος αντήχησης (T_{60}), ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε η στάθμη θορύβου (L_p) σε κάποιο σημείο να ελαττωθεί κατά 60dB μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την πηγή» (Σκαρλάτος 2003 σελ. 155).

Θα πρέπει δηλαδή να γίνει μείωση στην ηχητική ένταση I κατά ένα εκατομμύριο ($10\log 1000000=60\text{dB}$). Και αλλαγή της πίεσης κατά 1000 Pa ($20\log 1000=60\text{dB}$) (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5, Barron 1993 σελ. 27). Στην εικόνα 1.22 φαίνεται η εύρεση του χρόνου αντήχησης. Επίσης, σ' αυτή την εικόνα βλέπουμε πως μπορεί να βρεθεί ο χρόνος αντήχησης, όταν υπάρχει θόρυβος (background noise). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, υπάρχει θόρυβος βάθους γύρω στα 32 dB. Η αρχική ένταση του ήχου στον χώρο είναι 78 dB. Άρα πρέπει να πέσει στα 18 dB. Βλέπουμε όμως ότι λόγω του θορύβου, δεν κατεβαίνει η ακουστική ένταση κάτω από τα 30 dB. Παίρνοντας έναν χάρακα λοιπόν, μπορούμε να υπολογίσουμε την πτώση της ηχητικής ενέργειας, χωρίς την επίδραση του θορύβου. Βλέπουμε λοιπόν ότι αυτός είναι 1.9 δευτερόλεπτα.

Ο χρόνος αντήχησης μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec). Για παράδειγμα, όταν λέμε ότι ένας χώρος έχει χρόνο αντήχησης 0.4 sec, τότε αυτό σημαίνει ότι η εξασθένηση των 60dB γίνεται σε 0.4 sec. Και αυτό συμβαίνει είτε είναι διάχυτο το ηχητικό πεδίο, είτε όχι. Ανάλογα την συχνότητα αλλάζει ο χρόνος αντήχησης, γι' αυτό το λόγο ορίζεται για κεντρικές συχνότητες κάθε οκτάβας ή τριτοκτάβας, όπως και ο συντελεστής απορρόφησης. Συνεπώς, παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο αντήχησης, είναι ο όγκος του χώρου και η απορρόφησή του.

⁵ Χαρακτηριστικά στα οποία εστιάζει η συγκεκριμένη εργασία και θα αναλυθούν εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 1.22
Εύρεση χρόνου αντήχησης (Barron 1993 σελ. 27)

Η εξίσωση του W.S. Sabine για τον χρόνο αντήχησης, δίνεται από την σχέση (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5):

$$RT_{60} = (0.167 \cdot V) / S \cdot \alpha$$

Όπου RT_{60} = ο χρόνος αντήχησης σε δευτερόλεπτα (sec)

V = ο όγκος του δωματίου σε m^3

S = η συνολική επιφάνεια του δωματίου σε m^2

α = ο μέσος συντελεστής απορρόφησης των επιφανειών του δωματίου

και $S\alpha$ = η συνολική απορρόφηση σε sabines

Η συνολική απορρόφηση του χώρου, είναι η συνολική επιφάνεια του χώρου ($S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$), επί τον συντελεστή απορρόφησης του χώρου ($\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n$):

$$S\alpha = S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + S_3 \cdot \alpha_3 + \dots + S_n \cdot \alpha_n$$

Ο συντελεστής απορρόφησης ενός χώρου είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί. Αυτό συμβαίνει και γιατί υπάρχει πάντα ανομοιογένεια υλικών μέσα σε μια κλειστή αίθουσα (επομένως υπάρχουν και περισσότεροι από ένας συντελεστής απορρόφησης) και γιατί ο συντελεστής απορρόφησης είναι διαφορετικός για κάθε γωνία πρόσπτωσης του ηχητικού σήματος. Ο μέσος συντελεστής απορρόφησης για μια ορισμένη συχνότητα για μια επιφάνεια, δίνεται από την παρακάτω σχέση (Σκαρλάτος 2003 σελ. 140).

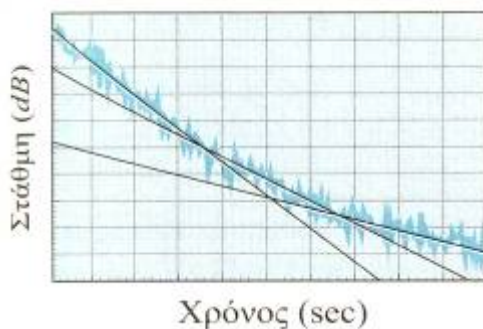
$$\bar{\alpha} = \frac{a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + \dots + a_n S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n}$$

Όπου $S_1, S_2, S_3 \dots$ το εμβαδόν της κάθε επιφάνειας και $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ οι αντίστοιχοι συντελεστές απορρόφησης για την συχνότητα που μας ενδιαφέρει.

Η σχέση αυτή μας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περίπτωση όπου οι συντελεστές απορρόφησης δεν έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους και είναι μικροί. Όταν μέσα στον χώρο υπάρχουν έπιπλα άνθρωποι κτλ, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τους λοιπούς παράγοντες στον αριθμητή. Ο παρανομαστής δεν μεταβάλλεται.

Σε μια κλειστή αίθουσα, οι πρώτες ανακλάσεις είναι αυτές που παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην διαμόρφωση της ακουστικής της. Η ηχητική ενέργεια των μετέπειτα ανακλάσεων, είναι αρκετά εξασθενημένη και δεν έχει μεγάλη επίδραση στην ακουστική του χώρου. Σε πολλές περιπτώσεις, η κλίση του ρυθμού πτώσης δεν είναι ομαλή. Αυτό συνήθως συμβαίνει και όταν υπάρχει ανισόρροπη απορρόφηση στον χώρο (www.acousticalsolutions.com 10/05/2005). Σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούμε τον πρώιμο ρυθμό μείωσης EDT (Early Decay Time) (Σκαρλάτος 2003 σελ.169). Ο χρόνος αυτός ορίζεται ως έξι φορές ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος για να μειωθεί κατά 10dB μετά τον μηδενισμό της πηγής, και έτσι λαμβάνει πιο σοβαρά υπόψη τις πρώτες ανακλάσεις του χώρου.

Ο χρόνος T_{30} ορίζεται ως δυο φορές ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος να πέσει από -5 έως -35 dB, μετά τον μηδενισμό της πηγής. Επίσης υπάρχουν οι χρόνοι T_{10} και T_{20} για μια καλύτερη προσέγγιση του χρόνου αντήχησης, σε περίπτωση ανομοιομορφίας απορρόφησης. Αυτοί υπολογίζονται από το τμήμα της καμπύλης από -5 έως -15 και από -5 έως -25 dB αντίστοιχα, από την αρχική τιμή. Στην παρακάτω εικόνα 1.23 φαίνεται η μείωση της στάθμης του ήχου στην περίπτωση ασύμμετρης απορρόφησης.



Εικόνα 1.23
Ρυθμός μείωσης θορύβου, για χώρους με ανισόρροπη απορρόφηση (Σκαρλάτος σελ.169)

Στο σχήμα φαίνονται οι χρόνοι RT_{60} , EDT και T_{30} . Φαίνεται καθαρά ότι οι τιμές τους είναι πολύ διαφορετικές. Πράγμα το οποίο δεν θα συνέβαινε εάν δεν είχαμε μη ομοιομορφη απορρόφηση. Επίσης θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στην επιλογή του ρυθμού μείωσης EDT (αν θα πρέπει να υπολογίσουμε τον T_{10} , T_{20} , ή T_{30}) (Ευθυμιάτος ομιλία στο συνέδριο ακουστικής 2004). Μέσα σε μια αίθουσα ο χρόνος αντήχησης διαφέρει για

διαφορετικές θέσεις του δέκτη. Έτσι λοιπόν, για καλύτερη προσέγγιση του χρόνου αντήχησης θα πρέπει να παίρνουμε μετρήσεις από διαφορετικά σημεία και να υπολογίζουμε τον μέσο χρόνο αντήχησης.

Μέσα σ' έναν κλειστό χώρο, εκτός από τον χρόνο αντήχησης, ο οποίος πρέπει να έχει συγκεκριμένες τιμές και δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποια όρια, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την ακουστική ποιότητα των χώρων. Ένας από αυτούς είναι η ηχώ. Μέσα σ' ένα δωμάτιο όταν παράγεται κάποιος ήχος από μια πηγή, αμέσως γίνεται αντιληπτός από κάποιον που βρίσκεται στον ίδιο χώρο. Εάν αυτός ο ήχος επαναληφθεί αμέσως μετά, χωρίς όμως να παραχθεί από την ηχητική πηγή που τον προκάλεσε και πριν, τότε αυτό το ξεχωριστό γεγονός ονομάζεται **ηχώ** (Echo). Η ηχώ είναι μια καταληπτή επανάληψη και δεν συγχέεται με την αντήχηση, η οποία είναι ακατανόητη. Οι περισσότερες αντανάκλασεις στα δωμάτια δεν ακούγονται ως ηχώ (Barron 1993 σελ. 16). Η ηχώ καταστρέφει την καλή ακουστική ενός χώρου θεατρικών παραστάσεων και κάνει την επικοινωνία πιο δύσκολη, ενώ αλλοιώνει τον ρυθμό της μουσικής. Το φαινόμενο της ηχούς εξαρτάται πολύ από την χρονική καθυστέρηση του ανακλώμενου ηχητικού σήματος, σε σχέση με το απευθείας. Επίσης, παράγοντας που επηρεάζει το φαινόμενο αυτό είναι η κατεύθυνση πρόσπτωσης σε σχέση με την ανακλώμενη και η στάθμη της έντασης της ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας (Σκαρλάτος 2003 σελ.187). Όταν η ταχύτητα του ήχου είναι 340 m/sec, τότε μια καθυστέρηση της τάξεως των 100ms είναι αρκετή για να εμφανιστεί η ηχώ. Για να συμβεί αυτό μέσα σ' ένα κλειστό χώρο, θα πρέπει μια τουλάχιστον διάσταση του χώρου να είναι 17 μέτρα.

Το φαινόμενο της ηχούς, μπορεί να παρατηρηθεί και για χρόνους κάτω από 100ms. Σ' αυτή την περίπτωση όμως, το καθυστερημένο σήμα θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη ένταση από το αρχικό. Πράγμα το οποίο μπορεί να συμβεί σε περίπτωση που ο δεύτερος ήχος δεν προέρχεται από ανάκλαση, αλλά από αναπαραγωγή. Μια τέτοια ανάκλαση για να γίνει διακριτή σαν ηχώ, θα πρέπει να έχει ένταση 10dB πάνω από το αρχικό σήμα, σε περίπτωση που η καθυστέρησή του είναι 5- 35 ms. Εάν η στάθμη αυτή δεν είναι τόσο μεγάλη, τότε απλώς ενισχύει το αρχικό σήμα (λειτουργεί σαν predelay δηλαδή). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **Hass**.

Επίσης, όταν στον χώρο υπάρχουν παράλληλες επιφάνειες οι οποίες έχουν μεγάλο συντελεστή ανάκλασης, σε περίπτωση που δημιουργηθούν ήχοι με μικρή διάρκεια, εμφανίζεται το φαινόμενο της **πολλαπλής ηχούς** (Flutter echo)(www.acousticalsolutions.com 10/05/2005, Σκαρλάτος 2003 σελ.189).

Η αντήχηση είναι ικανή να προσθέσει μια άλλη χροιά σε κάποιον ήχο, εάν είναι της τάξεως των 10 ms (αναλόγως την συχνότητα). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **χρωματισμός**

(Coloration). Παράλληλα, θα μπορούσε να γίνει και ένα μικρό vibrato σε περίπτωση που οι συχνότητες ήταν κοντινές και το επέτρεπε ο χώρος

(<http://www.acousticsscience.com/articles/db1191.htm> 12/05/2005, Σκαρλάτος 2003 σελ.189).

Ένας χώρος θεωρείται **ζεστός** ως προς την ηχητική του συμπεριφορά από την σχετική τιμή του χρόνου αντήχησης στις χαμηλές και στις μεσαίες συχνότητες. Ένας χώρος, ο οποίος χρησιμοποιείται περισσότερο για μουσική θα πρέπει στις χαμηλές συχνότητες να έχει μεγάλο χρόνο αντήχησης, ενώ στις υψηλές συχνότητες να έχει μικρό (Σκαρλάτος 2003 σελ.189). Στην παρακάτω εικόνα (1.24) παρουσιάζεται η σωστή συμπεριφορά του χώρου σε περιπτώσεις ομιλίας και μουσικής. Σε περίπτωση που η μουσική είναι ορχηστρική, ο χρόνος αντήχησης μπορεί να μετατοπιστεί στα 2 δευτερόλεπτα για την συχνότητα των 500Hz (Barron 1993 σελ. 29).



Εικόνα 1.24

Σύγκριση σχετικών χρόνων αντήχησης για μουσική και ομιλία (Σκαρλάτος 2003 σελ.190)

Παράλληλα, μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι η **οικειότητα**. Οι καθυστερήσεις των ανακλώμενων ηχητικών ακτινών από τις απ' ευθείας διαδιδόμενες καθορίζουν και την τιμή της. Αυτές οι καθυστερήσεις δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 20 ms (για όπερα 30ms). Στους χώρους για μουσική αυτή η τιμή δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 25 ms. Οι τιμές αυτές επηρεάζονται από την απόσταση των ανακλαστικών επιφανειών. Έτσι λοιπόν τα 20 ms, που είναι και η μεγαλύτερη τιμή της οικειότητας, αντιστοιχούν σε 7 μέτρα. Οι ανακλάσεις των πλάγιων επιφανειών του χώρου είναι αυτές που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, ενώ αυτές της οροφής, όχι και τόσο (Σκαρλάτος 2003 σελ.190).

Επιπρόσθετα, παράγοντας που σχετίζεται με την καλή ακουστική ενός χώρου είναι η **ηχητική συγκέντρωση** (Sound Focus- Dead spot). Όταν έχουμε μια κοίλη επιφάνεια και προσπέσει επάνω της ηχητικό κύμα με μήκος κύματος μικρότερο από την επιφάνεια της καμπύλης, τότε ο ήχος εστιάζεται σε συγκεκριμένα σημεία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα σημεία αυτά να έχουν μεγάλες τιμές έντασης, ενώ κάποια άλλα να υστερούν κατά πολύ σε

ηχητική πίεση (Σκαρλάτος 2003 σελ.190). Χώροι θεατρικών παραστάσεων μπορεί ν' αποτελούνται από ημικυκλικά τμήματα, είτε στα πλαϊνά τοιχώματα είτε στην οροφή, γεγονός που ευνοεί το φαινόμενο της ηχητικής συγκέντρωσης. Ανακλαστήρες χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπίσουμε το φαινόμενο αυτό.

Στους χώρους που χρησιμοποιούνται για ομιλία, καθώς και για θεατρικές παραστάσεις πρέπει να υπάρχει **αντιληπτότητα συλλαβών** (Syllable Indelibility). Σύμφωνα με τους κανονισμούς ISO/TR 3352-1974(E), «αντιληπτότητα της ομιλίας ορίζεται το ποσοστό (%) του αριθμού των συλλαβών που γίνονται αντιληπτές από ένα μέσο ακροατή, ως προς το σύνολο των συλλαβών που εκφωνούνται, κατά την διάρκεια συνήθους συνομιλίας» (Σκαρλάτος 2003 σελ.191). Όταν το ποσοστό αυτό είναι 95 %, τότε έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται από τον χρόνο αντήχησης (RT_{60}) και το λόγο σήματος ως προς θόρυβο (S/N). Ο δείκτης RASTI (Rapid Speech Transmission Index) είναι ένας αντικειμενικός δείκτης που μετρά το ποσοστό αυτό. Οι τιμές που παίρνει είναι μεταξύ 0 και 1. Για τιμές από 0 έως 0.3 η αντιληπτότητα θεωρείται κακή. Για τιμές από 0.3 έως 0.45 φτωγή. Για τιμές από 0.45 έως 0.6 καλή. Για τιμές από 0.6 έως 0.75 πολύ καλή και για τιμές από 0.75 έως 1, η αντιληπτότητα είναι εξαιρετική (Σκαρλάτος 2003 σελ.193).

Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο χρόνος αντήχησης παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στην ακουστική κλειστών χώρων. Επιλέγοντας τον σωστό χρόνο αντήχησης ενισχύεται ο ήχος και παράλληλα, βελτιώνεται η ακουστική συμπεριφορά του χώρου (Σκαρλάτος 2003 σελ.170). Επίσης, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η απόσταση θεατών και ηθοποιών. Όσο πιο κοντά στους ηθοποιούς είναι ο θεατής, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό του απευθείας σήματος λαμβάνει, με αποτέλεσμα ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας και οι υπόλοιποι παράγοντες να λαμβάνονται λιγότερο υπόψη. Για την επίτευξη όμως, της καλύτερης ακουστικής λειτουργίας μια αίθουσας θεατρικών παραστάσεων πρέπει να ληφθούν υπόψη όλοι οι προαναφερόμενοι παράγοντες.

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν ορισμένες από τις πιο σημαντικές μελέτες που έγιναν μέχρι τις μέρες μας για την ακουστική κλειστών χώρων. Είδαμε τις επικρατέστερες απόψεις σχετικά με την αρχιτεκτονική ακουστική, καθώς επίσης και πώς η επιστήμη της ακουστικής εξελίχτηκε με το πέρασμα του χρόνου. Παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά του ήχου, μελετήθηκε η φυσιολογία και η λειτουργία του ανθρώπινου αυτιού, καθώς επίσης και το φαινόμενο της απόκρυψης στοχεύοντας στην κατανόηση της λειτουργίας της ακουστικής. Τέλος, αναφέρθηκαν και εξηγήθηκαν οι γενικότεροι παράμετροι που συμβάλλουν στην καλή ακουστική ενός κλειστού χώρου, και παράλληλα κλειστών χώρων και εγκαταστάσεων που

χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις. Οι παράμετροι αυτοί είναι πολυάριθμοι και το ακουστικό αποτέλεσμα ενός χώρου προκύπτει από τον συνδυασμό αυτών των παραγόντων. Η παρούσα εργασία όμως επιλέγει να εξετάσει τις εξής πέντε παραμέτρους που επηρεάζουν την ακουστική σε κλειστούς χώρους θεατρικών παραστάσεων: 1. κυβικά χώρου, 2. σχήμα χώρου, 3. ανακλαστικότητα, 4. ηχοαπορρόφηση και ηχομόνωση, και 5. χωροθεσία., οι οποίες αναλύονται εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Θεωρητική Ανάλυση Ακουστικών Χαρακτηριστικών: Κυβικά Χώρου, Σχήμα Χώρου, Ανακλαστικότητα, Ηχοαπορρόφηση Και Ηχομόνωση, Χωροθεσία — Εξειδίκευση σε Χώρους Θεατρικών Παραστάσεων

Ο ακουστικός σχεδιασμός χώρων και εγκαταστάσεων θεατρικών παραστάσεων αποτελεί μια πολύπλοκη εργασία. Στην σύγχρονη εποχή οι χώροι αυτοί παρουσιάζουν πολυάριθμες και διαφορετικές απαιτήσεις. Ο συνδυασμός της αισθητικής και της λειτουργικότητας του χώρου, των τεχνικών υποδομών, της εξοικονόμησης χρημάτων είναι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τον σχεδιασμό της ακουστικής λειτουργίας του χώρου. Η χρησιμοποίηση της ίδιας αίθουσας για διαφορετικούς σκοπούς, συναυλίες, θεατρικές παραστάσεις, διαλέξεις, η επιθυμία για αύξηση του κέρδους η οποία οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας των θέσεων της αίθουσας, και παράλληλα, οι απαιτήσεις των θεατών να απολαμβάνουν έναν χώρο με ευχάριστο και άνετο περιβάλλον, καλή και άνετη ορατότητα, σωστό ακουστικό αποτέλεσμα, και συνθήκες ασφαλείας καθιστούν τον ακουστικό σχεδιασμό αρκετά περίπλοκο.

Η κάθε αίθουσα έχει τις δικές της ιδιαιτερότητες και τα δικά της χαρακτηριστικά. Η χρήση και εφαρμογή των παραμέτρων καλής ακουστικής προσαρμόζονται κατάλληλα σε αυτές τις ιδιαιτερότητες του χώρου για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος. Ορισμένα από τα σημαντικότερα αυτά ακουστικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα εξεταστούν σε αυτό το κεφάλαιο, είναι τα εξής : κυβικά χώρου, σχήμα χώρου, ανακλαστικότητα, ηχοαπορρόφηση και ηχομόνωση, χωροθεσία. Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να μελετήσει την λειτουργικότητα των χαρακτηριστικών αυτών για την επίτευξη καλής ακουστικής και να αναλύσει τα επιμέρους προβλήματα που πηγάζουν από τα ηχητικά χαρακτηριστικά των χώρων και επιδρούν στις παραγωγές των θεατρικών παραστάσεων. Το κεφάλαιο διακρίνεται σε 5 ενότητες. Η πρώτη αναφέρεται στο σχήμα του χώρου, η δεύτερη στα κυβικά του χώρου, η τρίτη στην ηχομόνωση και ηχοαπορρόφηση, η τέταρτη στην ανακλαστικότητα και τέλος, η πέμπτη στην χωροθεσία.

1. Όγκος (κυβικά) του χώρου

α) Θεωρητικά στοιχεία

Ο όγκος παίζει σημαντικό ρόλο στην λειτουργικότητα της ακουστικής ενός χώρου. Όταν παρατηρούμε κάποιον κλειστό χώρο, από ακουστικής πλευράς, μπορούμε να διακρίνουμε δυο ειδών δωμάτια. Τα μικρά και τα μεγάλα. Οι αποστάσεις των επιφανειών του χώρου και η συχνότητα που μας ενδιαφέρει, θα ορίσουν αν ένα δωμάτιο είναι μικρό ή μεγάλο. Για παράδειγμα, ένας χώρος 2*2*2 m είναι μικρός για μια συχνότητα 100 Hz, αλλά θεωρείται μεγάλος για την συχνότητα των 1000 Hz (Σκαρλάτος 2003 σελ. 154). Συνήθως οι χώροι που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις ανήκουν στους μεγάλους χώρους. Ο Manfred Schroeder όρισε ως F_L , την συχνότητα όπου πάνω από αυτήν το δωμάτιο θα συμπεριφέρεται ομοιόμορφα σε όλες τις συχνότητες. Η εξίσωση που δίνει αυτή την συχνότητα είναι η εξής (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5, Davis 1989 σελ :167):

$$F_L = K * (RT_{60}/V)^{-2}$$

Όπου : F_L : η συχνότητα ενός μεγάλου δωματίου σε Hz.

K : 2000 SI και U.S.

RT_{60} : ο χρόνος αντήχησης του δωματίου σε δευτερόλεπτα (sec)

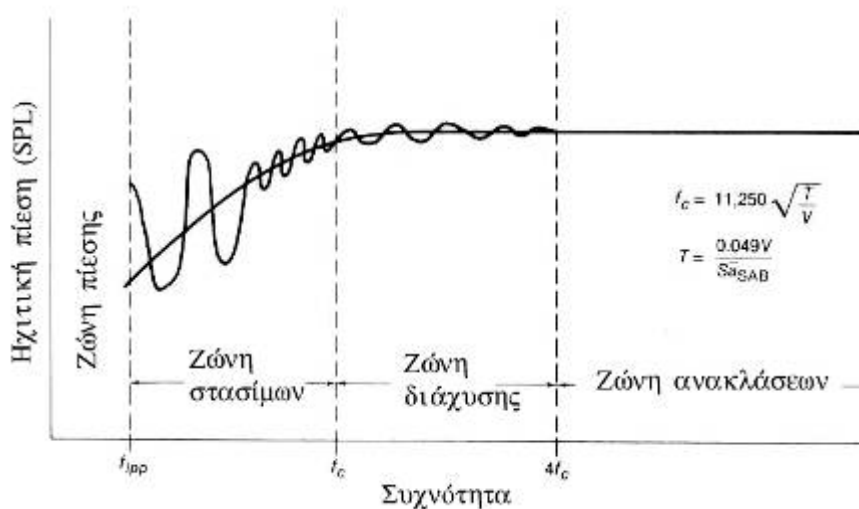
V : ο όγκος του δωματίου σε τετραγωνικά (m^2), ή κυβικά (m^3) μέτρα.

Για παράδειγμα, έστω ότι για την ομιλία θέλουμε κατώτατο όριο συχνότητας τα 80 Hz και για την μουσική 30 Hz. Επίσης ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας ξέρουμε πως είναι $RT_{60}=1.6$ sec. Λύνοντας ως προς τον όγκο την εξίσωση του Schoeder, θα έχουμε :

$$V = K^2 (RT_{60} / F_L^2)$$

Οπότε, για τα 80 Hz έχουμε $V= 1000m^3$ και για τα 30 Hz, $V= 7111.11m^3$ (Davis 1989 σελ :167). Δηλαδή, για ένα δωμάτιο στο οποίο θα παίζουν συχνότητες πάνω από 80 Hz, για να συμπεριφέρεται ομοιόμορφα ο χώρος θα πρέπει να είναι πάνω από $1000m^3$.

Οι Bolt, Beranek και Newman δημιούργησαν ένα διάγραμμα το οποίο ονομάζεται ελεγκτής της σταθερής κατάστασης του δωματίου. Αυτό το διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 2.25.



Εικόνα 2.25
 Διάγραμμα Bolt, Beranek και Newman. Ελεγκτής της σταθερής κατάστασης της ακουστικής του δωματίου (Davis 1989 σελ. 168)

Η συχνότητα f_L ($f_c = \text{cut-off}$), είναι το σημείο που διαχωρίζει ένα μικρό από ένα μεγάλο δωμάτιο. Σε ένα μεγάλο δωμάτιο αυτή η συχνότητα μπορεί να είναι 30 Hz, ενώ σε ένα μικρό μπορεί να είναι 500 Hz. Σ' αυτό το σχήμα λοιπόν (εικόνα 1.14), παρατηρούμε ότι ένα δωμάτιο αποτελείται από τέσσερις συχνοτικές περιοχές. Πρώτη βρίσκεται η ζώνη της πίεσης. Περιοχή πολύ χαμηλών συχνοτήτων, συχνά μη ακουστών, από 0 Hz έως $f = 171.5/L$ Hz (όπου L η μεγαλύτερη διάσταση του δωματίου). Κάτω από αυτή την συχνότητα δεν μπορεί να ευνοηθεί καμία συχνότητα από συντονισμό. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπάρξει καν. Δεύτερη είναι η ζώνη στάσιμων κυμάτων. Αυτή η περιοχή βρίσκεται από $f = 171.5/L$ Hz, έως $f_c (=f_L)$. Σ' αυτή την περιοχή σχηματίζονται πολλά στάσιμα κύματα, γιατί οι συχνότητες που υπάγονται σ' αυτή την κατηγορία έχουν μήκη κύματος ίσα με τις διαστάσεις του δωματίου. Τρίτη είναι η ζώνη διάχυσης (ανάμεσα σε αυτή και την ζώνη στάσιμων βρίσκεται και η f_c). Η περιοχή αυτή βρίσκεται από f_c μέχρι $4 \cdot f_c$. Τέλος, είναι η ζώνη των ανακλάσεων. Σ' αυτή την περιοχή τα στάσιμα κύματα που δημιουργούνται είναι τόσο πυκνά και δεν υπάρχει διακύμανση της ακουστικής πίεσης (Κουτσοδημάκης-Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5, Davis 1989 σελ :167).

i. *Μεγάλος Χώρος*

Στους **μεγάλους χώρους** ο ήχος θεωρείται σαν μια ακτίνα που διαδίδεται. Έτσι λοιπόν στα μεγάλα δωμάτια εφαρμόζονται οι αρχές της γεωμετρικής ακουστικής. Επίσης, λόγω του όγκου της αίθουσας θεωρείται πως υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής ενέργειας και γενικά, θεωρείται διάχυτο το πεδίο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι θεωρίες που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους χώρους.

Πρώτα απ' όλα ισχύει ο τύπος του Sabine για τον χρόνο αντήχησης

$$RT_{60} = (0.163 \cdot V) / S\alpha$$

Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να υπολογιστεί η στάθμη της ηχητικής έντασης L_p (σε dB SPL) μέσα σε ένα κλειστό χώρο. Στο ελεύθερο ηχητικό πεδίο ισχύει ο νόμος του λόγου του αντίστροφου τετραγώνου. Σ' αυτό δεν έχουμε ανακλάσεις και άρα, έχουμε μόνο τον απευθείας ήχο. Η εξίσωση που περιγράφει το ηχητικό πεδίο στον ελεύθερο χώρο είναι (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5, Davis 1989 σελ :173):

$$L_D = L_W + 10 \cdot \log(Q/(4 \cdot \pi \cdot (r^2))) + 10.5$$

Η εξίσωση που περιγράφει το αντηχητικό πεδίο μέσα σ' ένα μεγάλο δωμάτιο είναι :

$$L_R = L_W + 10 \cdot \log(4/(S \cdot \alpha)) + 10.5$$

Για να βρούμε τον τύπο που ισχύει στα μεγάλα δωμάτια, θα πρέπει να προσθέσουμε τον πρώτο τύπο που, μας δίνει την στάθμη της ηχητικής έντασης, για το απευθείας σήμα, και τον δεύτερο, που μας δίνει την στάθμη της ηχητικής έντασης για το αντηχητικό πεδίο. Έτσι λοιπόν θα έχουμε το εξής αποτέλεσμα (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5, Davis 1989 σελ :173) :

$$L_T = L_W + 10 \cdot \log[(Q/(4 \cdot \pi \cdot (r^2))) + (4/(S \cdot \alpha))] + 10.5$$

Όπου : L_W = η ακουστική ισχύς δοσμένη σε dB με αναφορά το 1 pW

r = η απόσταση σε m

Q = ο παράγοντας κατευθυντικότητας για την ηχητική πηγή ($Q=1$ για omnidirectional, παντοκατευθυντική πηγή)

α = ο μέσος συντελεστής απορρόφησης

$S\alpha$ = αντίστοιχη απορρόφηση

Μέσα σ' ένα δωμάτιο, παρατηρούμε λοιπόν, πως η συνολική ηχητική στάθμη είναι το άθροισμα του απευθείας σήματος (L_D) και του αντηχητικού (L_R). Δηλαδή : $L_T = L_D + L_R$

Κοντά στην ηχητική πηγή θα υπερισχύσει το απευθείας σήμα, ενώ μακριά από αυτή το αντηχητικό πεδίο. Σε κάποιο σημείο όμως, το απευθείας και το αντηχητικό πεδίο είναι ίσα ($L_D = L_R$). Η απόσταση αυτή από την πηγή ονομάζεται κρίσιμη απόσταση (critical distance D_c). Μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε σε ποια απόσταση βρίσκεται αυτό το σημείο, εάν θέσουμε το απευθείας ηχητικό πεδίο ίσο με το αντηχητικό.

$$Q/(4 \cdot \pi \cdot D_c) = 4/(S \cdot \alpha)$$

Λύνοντας ως προς D_c , θα έχουμε :

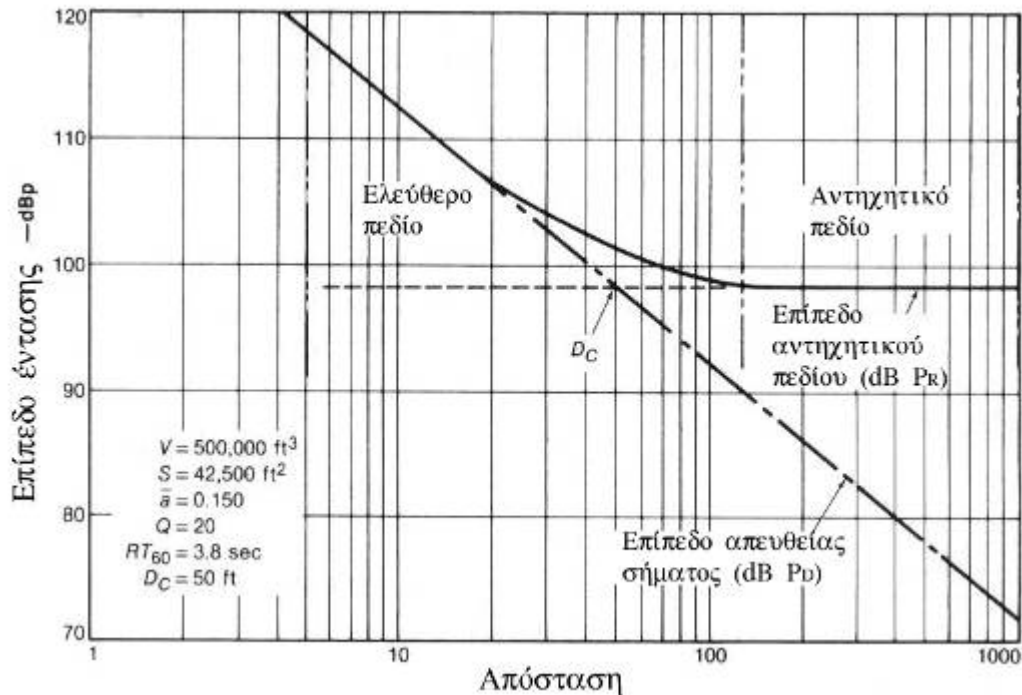
$$D_c = 0.141 \cdot ((Q \cdot S \cdot \alpha)^{-2})$$

Εάν τώρα εισάγουμε τον τύπο του Sabine για τον χρόνο αντήχησης στην παραπάνω εξίσωση, θα βγει ένας πιο χρήσιμος τύπος για την κρίσιμη απόσταση, που θα περιλαμβάνει τον χρόνο αντήχησης (RT_{60}) και τον όγκο του δωματίου V (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5).

$$D_c = 0.057 \cdot (((Q \cdot V) / RT_{60})^{-2})$$

Στην εικόνα 2.26 φαίνεται η στάθμη της έντασης σε συνάρτηση με την απόσταση από την ηχητική πηγή. Ξεχωρίζει το απευθείας ηχητικό πεδίο από το αντηχητικό και φαίνεται και ο τρόπος εύρεσης αυτής της απόστασης. Προεκτείνουμε τις γραμμές των δυο πεδίων και στο σημείο που τέμνονται είναι το κρίσιμο σημείο του χώρου.

Εικόνα 2.26



Απευθείας ηχητικό πεδίο, αντηχητικό πεδίο και εύρεση σημείου κρίσιμης απόστασης. (Davis 1989 σελ. 174)

Κατά τους Norris και Eyring, για την εύρεση του χρόνου αντήχησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο τύπος (Σκαρλάτος 2003 σελ. 160, Davis 1989 σελ.175):

$$T_{60} = (0.161 \cdot V) / A_N$$

Όπου V ο όγκος του χώρου και A_N η ολική απορρόφηση που δίνεται από την παρακάτω σχέση. $A_N = s \cdot \ln(1-\alpha)^{-1}$

Στην περίπτωση όπου ο συντελεστής απορρόφησης όλων των επιφανειών είναι ο ίδιος, τότε ισχύει ο τύπος των Norris και Eyring. Εάν όμως υπάρχουν έντονες διαφορές στην απορρόφηση των επιφανειών του δωματίου, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο τύπος του Fitzroy και του Millington, ο οποίος θα δοθεί παρακάτω. Η σχέση του Sabine καθώς και εκείνη των Norris και Eyring έχουν υπολογιστεί για ηχητικά πεδία που είναι διάχυτα. Συνεπώς, όσο αποκλίνει το μετρούμενο ηχητικό πεδίο από την διάχυτη μορφή, τόσο θα αποκλίνουν και οι τύποι από τις μετρούμενες τιμές.

Όταν ένας χώρος έχει μη ομοιόμορφη απορρόφηση, όταν επικοινωνεί με κάποιον άλλον χώρο, όταν οι επιφάνειες του είναι παράλληλες, και γενικά το πεδίο δεν είναι διάχυτο,

τότε ο χώρος είναι ακατάλληλος. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού είναι το σπάσιμο των παράλληλων επιφανειών και η τοποθέτηση απορροφητικών και ανακλαστήρων όπου χρειάζονται. Για την μέτρηση των χώρων με ανομοιόμορφη απορρόφηση, ή με μεγάλες ανακλαστικές επιφάνειες πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο του Dariel Fitzroy, ο οποίος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Σκαρλάτος 2003 σελ. 168).

$$T = \frac{s_x}{s} \left[\frac{0.161V}{s \ln(1 - \bar{a}_x)^{-1}} \right] + \frac{s_y}{s} \left[\frac{0.161V}{s \ln(1 - \bar{a}_y)^{-1}} \right] + \frac{s_z}{s} \left[\frac{0.161V}{s \ln(1 - \bar{a}_z)^{-1}} \right]$$

Όπου: s_x το εμβαδόν των τοίχων που βρίσκονται παράλληλα στη διάσταση του μήκους.
 s_y : το εμβαδόν των τοίχων που βρίσκονται παράλληλα στη διάσταση του πλάτους.
 s_z : το εμβαδόν του πατώματος και της οροφής αντίστοιχα.
 a_x, a_y, a_z : οι αντίστοιχοι μέσοι συντελεστές απορρόφησης.

Όταν τώρα, υπάρχουν στον χώρο επιφάνειες όπου ο συντελεστής απορρόφησής τους είναι πάρα πολύ μεγάλος ($\alpha > 0.63$), ή υπάρχουν πολλές και έντονες διαφορές στην απορρόφηση τότε για να πάρουμε σωστά αποτελέσματα, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την σχέση των Sette και Millington, που φαίνεται στο παρακάτω πίνακάκι (Σκαρλάτος 2003 σελ. 169).

$$T_{60} = \frac{0.161V}{\sum_i s_i \ln(1 - a_i)^{-1}}$$

ii. Μικρός Χώρος

Εκτός από τους μεγάλους χώρους, υπάρχουν και τα **μικρά δωμάτια**. Οι διαστάσεις αυτών των δωματίων είναι ικανές να χωρέσουν χαμηλές συχνότητες, οι οποίες θα έχουν μικρότερο μήκος κύματος από τα στάσιμα των μεγάλων χώρων. Η μελέτη αυτών των δωματίων γίνεται σύμφωνα με τις αρχές της κυματικής ακουστικής. Χώροι που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις και ανήκουν στα μικρά δωμάτια, δύσκολα υπάρχουν. Και συνήθως, δεν χρησιμοποιούνται λόγω της μικρής χωρητικότητας ατόμων. Παρ' όλα αυτά θα γίνει μια μικρή αναφορά σ' αυτούς. Τα μικρά δωμάτια μπορούν να μελετηθούν όπως ακριβώς και οι σωλήνες. Το μόνο που πρέπει να κάνουμε είναι να βάλουμε πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις από αυτές του σωλήνα. Όπως ακριβώς και οι χορδές και οι ράβδοι, έτσι και οι σωλήνες συντονίζονται σε συγκεκριμένες συχνότητες, ανάλογα το μήκος

τους και αν είναι κλειστοί η ανοιχτοί. Γενικά κατά τον συντονισμό τους, στα κλειστά άκρα σχηματίζονται δεσμοί πίεσης και στα ανοιχτά άκρα κοιλίες πίεσης. Έτσι λοιπόν, ένας σωλήνας (κλειστός, ή ανοιχτός στα δυο άκρα του), συντονίζεται όταν το μήκος του είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του $\lambda/2$, στις εξής συχνότητες :

$$L=n*(\lambda/2) \text{ και } f=(n*c)/(2*L) \text{ όπου } n=1.2.3....$$

L = το μήκος του σωλήνα.

Σημαντικό είναι να γνωρίζουμε τις ιδιοσυχνότητες ενός δωματίου. Αυτές δίνονται από τον τύπο (Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5) :

$$f = (c/2)*[(n_x/L_x)^2+(n_y/L_y)^2+(n_z/L_z)^2]^{-1/2}$$

όπου : f = η συχνότητα του στασίμου κύματος

c = η ταχύτητα του ήχου (344 m/sec στους 20°C)

L_x, L_y, L_z = οι διαστάσεις του δωματίου, μήκος, πλάτος, ύψος

n = η τάξη του στάσιμου κύματος που μας ενδιαφέρει

β) Προβλήματα κατά την χρήση του χώρου

Όπως, ήδη, αναφέραμε οι μεγάλοι χώροι είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για θεατρικές παραστάσεις. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου χώροι πολύ μικροί σε κυβικά χρησιμοποιούνται και θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για τον λόγο αυτό. Χώροι που προηγουμένως χρησιμοποιούνταν για διαφορετικό σκοπό, όπως καταστήματα πωλήσεων, χώροι διασκέδασης, καφενεία, κινηματογράφοι μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα για την φιλοξενία θεατρικών παραστάσεων. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις συνήθως ο όγκος του χώρου είναι μικρός. Επίσης, η δυνατότητα επέκτασής του μπορεί να μην είναι εφικτή λόγω περιορισμού του χώρου (βρίσκεται ανάμεσα σε άλλα κτήρια) είτε λόγω οικονομικής δυσχέρειας. Επειδή όμως η καλή ακουστική μια θεατρικής παράστασης επιτυγχάνεται ευκολότερα σε χώρους μεγάλων κυβικών, καθώς η ηχητική ενέργεια κατανέμεται ομοιόμορφα, οι μικροί αυτοί χώροι δεν θεωρούνται επομένως οι καταλληλότεροι για την διεξαγωγή θεατρικών παραστάσεων. Μια όμως, λεπτομερής και προσεκτική μελέτη, μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακουστική του.

Η επέμβαση, λοιπόν, στα χαρακτηριστικά του χώρου μπορεί να οδηγήσει στο επιθυμητό ακουστικό αποτέλεσμα. Η κατάλληλη τοποθέτηση διαχυτών στοχεύει στην ομοιόμορφη κατανομή του ήχου στον χώρο. Επίσης, η χρησιμοποίηση ανακλαστικών επιφανειών συμβάλει στην διάχυση του ήχου. Οι απορροφητικές επιφάνειες συμβάλουν στη διατήρηση της ηχητικής ενέργειας στο σωστό επίπεδο. Ο συνδυασμός επομένως όλων αυτών βοηθούν την βελτίωση της ακουστικής χώρων με μικρό όγκο. Η κατάλληλη αναλογία

απορροφητικών και ανακλαστικών επιφανειών επιτυγχάνεται μέσω της σχέσης όγκου ανά ακροατή αποσκοπώντας στην βελτίωση του χρόνου αντήχησης της αίθουσας.

Επιπρόσθετα, οι χώροι με μικρά κυβικά παρουσιάζουν και άλλα μειονεκτήματα. Ο αριθμός των ακροατών που μπορούν να φιλοξενήσουν είναι περιορισμένος, και άρα τα έσοδα της παράστασης είναι λίγα. Το πρόβλημα αυτό ενδέχεται να αντιμετωπιστεί κατασκευάζοντας θεωρεία και εξώστες. Σε περιπτώσεις όμως όπου ο χώρος το επιτρέπει. Απ' την άλλη μεριά, τα θεωρεία και οι εξώστες μπορούν να επιφέρουν επιπρόσθετα προβλήματα στην ακουστική συμπεριφορά της αίθουσας. Συγκεκριμένα, στην ακουστική των ακροατών που βρίσκονται κάτω από αυτά, καθώς και πάνω σε αυτά. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων πρέπει να ληφθεί υπόψη το ύψος και το βάθος στα θεωρεία και στους εξώστες⁶.

Παράλληλα, οι χώροι μικρών κυβικών δεν μπορούν να διατεθούν για την διεξαγωγή οποιασδήποτε θεατρικής παράστασης. Αποκλείονται θεατρικές παραγωγές με μεγάλο αριθμό συντελεστών και σκηνικών. Ο χώρος περιορίζει σημαντικά την κίνηση και την τοποθέτηση σκηνικών με μεγάλο όγκο που μπορεί να απαιτεί μια συγκεκριμένη παράσταση.

Απ' την άλλη, σε χώρους με μεγάλα κυβικά η ένταση της απευθείας ηχητικής ενέργειας καθώς απομακρύνεται από την πηγή μειώνεται σημαντικά. Αντίθετα, σε χώρους μικρών κυβικών η στάθμη της απευθείας ηχητικής ενέργειας δεν παρουσιάζει μεγάλη πτώση, εφόσον οι αποστάσεις είναι μικρές και δεν το επιτρέπουν. Στους μεγάλους χώρους, λοιπόν για την ενίσχυση του απευθείας σήματος στις απομακρυσμένες θέσεις χρησιμοποιούνται ανακλαστικές επιφάνειες. Επίσης, μπορούμε να τοποθετήσουμε μικροφωνική εγκατάσταση για την αύξηση της στάθμης της ηχητικής ενέργειας στο χώρο.

Χώροι με ίδιο όγκο, αλλά διαφορετικό σχήμα, συμπεριφέρονται διαφορετικά ως προς την ακουστική τους λειτουργία. Η επόμενη ενότητα αναλύει τις επιδράσεις του σχήματος ενός χώρου στο ηχητικό αποτέλεσμα.

2. Σχήμα Χώρου

α) Θεωρητικά στοιχεία

Το σχήμα του χώρου είναι εκείνο το οποίο θα διαμορφώσει την συμπεριφορά του ήχου μέσα σ' ένα δωμάτιο. Η κατάλληλη γεωμετρία του χώρου είναι αυτή που θα επιτρέψει σε ένα ηχητικό ερέθισμα να δημιουργήσει στάσιμα κύματα μέσα σ' αυτόν, με συγκεκριμένους τρόπους δόνησης. Το φαινόμενο αυτό γίνεται πιο έντονο σε περιπτώσεις όπου στο σήμα μας

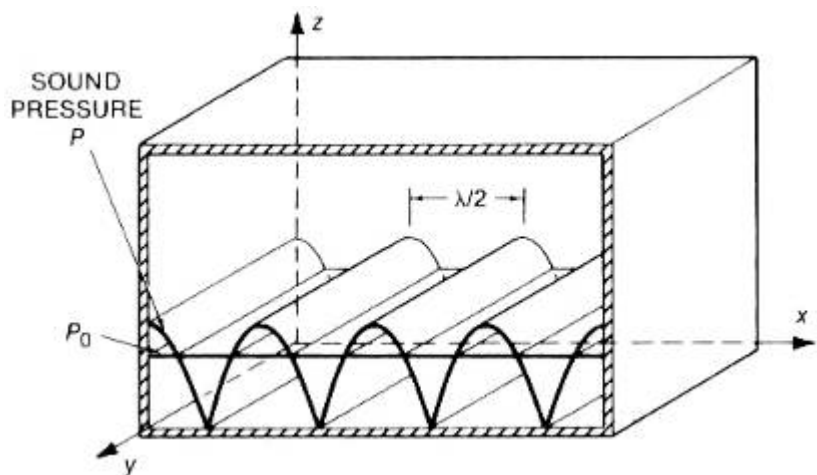
⁶ Το πρόβλημα που δημιουργείται με την χρήση του εξώστη αναλύεται παρακάτω στην ενότητα 5.

υπερισχύουν τόνοι. Μέσα σ' ένα παραλληλεπίπεδο δωμάτιο, υπάρχουν τριών ειδών στάσιμα κύματα (Kuttruff 1973 σελ.50, Κουτσοδημάκης- Γκολφίδης 1998 κεφάλαιο 5, Davis 1989 σελ.214).

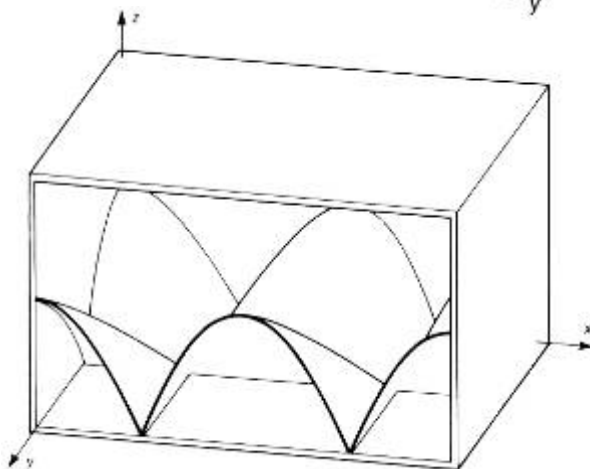
Πρώτον, τα **αξονικά** στάσιμα κύματα, τα οποία έχουν την μεγαλύτερη ενέργεια και αυτό γιατί, δημιουργούνται από τις ανακλάσεις δύο παράλληλων επιφανειών. Εμφανίζονται δηλαδή, σε μια διάσταση. Αυτού του είδους στάσιμα κύματα είναι και αυτά που μας ενδιαφέρουν περισσότερο σε ένα κλειστό χώρο (εικόνα 2.27).

Δεύτερον, είναι τα **εφαπτομενικά** στάσιμα κύματα. Αυτά δημιουργούνται από ανακλάσεις μεταξύ τεσσάρων επιφανειών και εμφανίζονται σε δυο διαστάσεις. Σε σχέση με τα αξονικά, έχουν την μισή ηχητική ενέργεια (3dB ασθενέστερα) (εικόνα 2.28).

Τρίτον, είναι τα **πλάγια** στάσιμα κύματα, τα οποία δημιουργούνται από ανακλάσεις μεταξύ 8 επιφανειών. Εμφανίζονται δηλαδή και στις τρεις διαστάσεις του χώρου. Η ένταση αυτών των στάσιμων είναι η μισή των εφαπτομενικών και άρα το $\frac{1}{4}$ των αξονικών κυμάτων (6dB μικρότερη ηχητική ένταση σε σχέση με τα αξονικά) (εικόνα 2.29). Τα εφαπτομενικά και τα πλάγια στάσιμα κύματα, έχουν μικρότερη ηχητική ένταση από τα αξονικά, επειδή όταν ο ήχος ανακλάται σε κάποια επιφάνεια, χάνει και ένα μέρος της ενέργειας του.

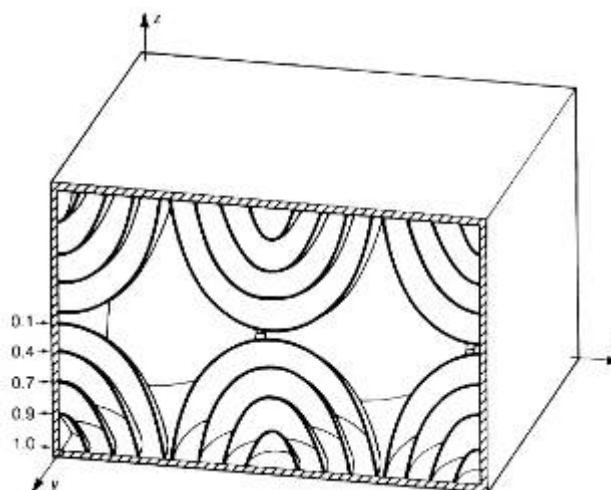


Δεξιά εικόνα 2.27
Απεικόνιση των αξονικών
στάσιμων κυμάτων
(Davis 1989 σελ. 215)



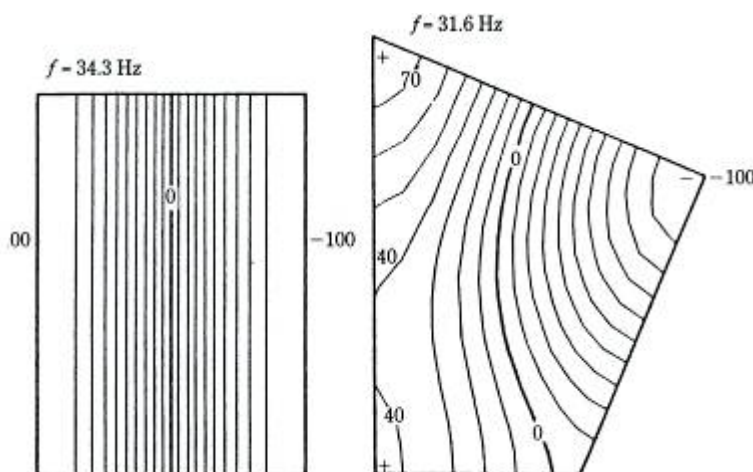
Αριστερά εικόνα 2.28
Απεικόνιση των
εφαπτομενικών στάσιμων
κυμάτων
(Davis 1989 σελ. 215)

Δεξιά εικόνα 2.29
Απεικόνιση των πλάγιων στάσιμων κυμάτων



(Davis 1989 σελ. 215)

Όταν ένας χώρος είναι ορθογώνιος, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τους τρόπους ταλάντωσης του και την κατανομή αυτών. Σε έναν χώρο όπου οι επιφάνειες του δεν είναι παράλληλες, λύνονται κάποια προβλήματα και ίσως υπάρξει και καλύτερη διάχυση (Everest 2003 σελ.262). Όμως, και σ' αυτή την περίπτωση υπάρχουν προβλήματα. Το ακουστικό όφελος από τα μη ορθογώνια δωμάτια δεν είναι σίγουρο. Εάν έχουμε δυο δωμάτια ίδιου όγκου, το ένα με παράλληλες επιφάνειες και το άλλο όχι, τότε στο δεύτερο, η κατανομή της ηχητικής ενέργειας αλλάζει και ταξινομείται με ασύμμετρο τρόπο μέσα στην αίθουσα. Έτσι είναι και πιο δύσκολο να βρεθούν και τα σημεία όπου η ηχητική πίεση είναι μεγάλη. Επίσης, παρατηρείται και μια μικρή μετατόπιση στην συχνότητα συντονισμού, σε σχέση με το ορθογώνιο δωμάτιο. Στα σχήματα 2.30 και 2.31 συγκρίνονται δυο δωμάτια με την ίδια επιφάνεια, στην μορφή του τρόπου συντονισμού τους. Οι διαστάσεις τους είναι 5 * 7 μέτρα. Το ένα είναι ορθογώνιο και το άλλο τραπέζιο. Τα αποτελέσματα είναι εμφανές. Επομένως, σε κάθε περίπτωση ενεργούμε ανάλογα με τον χώρο και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις.

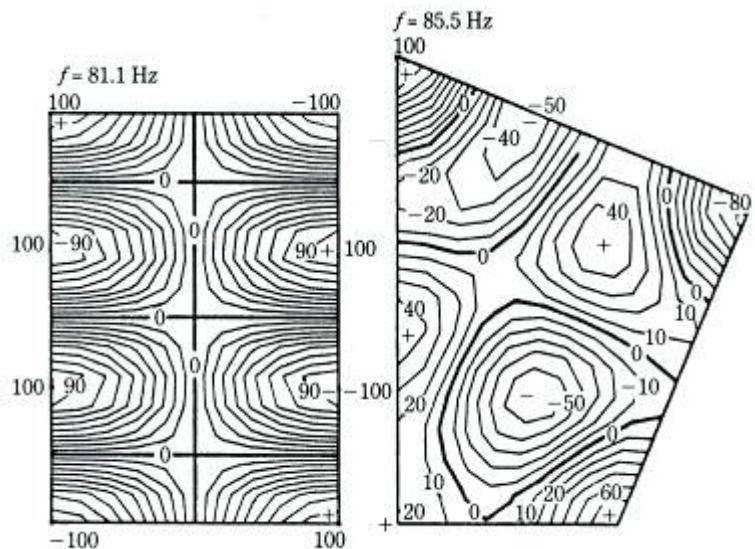


Εικόνα 2.30

Σύγκριση της μορφής του τρόπου ταλάντωσης δισδιάστατων δωματίων με την ίδια επιφάνεια. Ο τρόπος ταλάντωσης είναι 1,0 και παρατηρούμε πως στο μη ορθογώνιο δωμάτιο έχει κατανεμηθεί πιο περίεργα η ηχητική ενέργεια και η συχνότητα συντονισμού έχει μετατοπιστεί (Everest 2003 σελ.266).

Εικόνα 2.31

Ο τόπος ταλάντωσης του δωματίου είναι τώρα ο 1,3 και παρατηρούνται πάλι τα ίδια φαινόμενα με τον προηγούμενο τρόπο ταλάντωσης, μόνο που τώρα βλέπουμε πως οι περιοχές εστίασης του μη ορθογώνιου δωματίου έχουν μικρότερη ένταση (Everest 2003 σελ.266)



Είναι λοιπόν κατανοητό ότι το σχήμα του χώρου κατέχει κυρίαρχο ρόλο στην ακουστική του. Τρεις είναι οι κύριες κατηγορίες σχήματος χώρων οι οποίες χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις : ορθογώνιοι, αμφιθεατρικοί και χώροι σχήματος χοάνης (Σκαρλάτος 2003 σελ.205). Όσο πιο κοντά στην πηγή βρίσκονται οι ακροατές τόσο πιο άμεσο και καθαρό είναι το απευθείας σήμα. Οι ορθογώνιοι χώροι (με την πηγή να βρίσκεται στην μικρή διάσταση του χώρου), μειονεκτούν εφόσον ένα μέρος των ακροατών είναι απομακρυσμένοι από την πηγή. Σε αντίθεση, οι αμφιθεατρικοί χώροι, προσφέρουν μεγαλύτερη πρόσβαση στο απευθείας σήμα. Όταν όμως οι αμφιθεατρικοί αυτοί χώροι είναι κλειστοί μπορούν να παρουσιάσουν σημαντικά προβλήματα, καθώς ο ήχος μπορεί να συγκεντρωθεί σε συγκεκριμένα σημεία. Σε περιπτώσεις όπου το σχήμα του χώρου συμβάλει αρνητικά στην ακουστική του, τότε χρησιμοποιούνται ανακλαστικές επιφάνειες για την βελτίωσή της. Επίσης, οι χώροι που δεν παρουσιάζουν παράλληλες επιφάνειες, θα πρέπει να έχουν ίδια ανομοιογένεια στο σχήμα τους. Να υπάρχει ισομετρία στο σχέδιο των εσωτερικών επιφανειών, έτσι ώστε να υπάρχει ισοκατανομή της ηχητικής ενέργειας σε όλους τους θεατές.

Κάθε χώρος όμως, αποτελείται από τρεις διαστάσεις. Οπότε μιλάμε για όγκους και όχι για δυσδιάστατους χώρους, όπου όλα τα τοιχώματα συμβάλουν στην διαμόρφωση της ακουστικής μιας αίθουσας. Επομένως, ένας «κακός» τετράγωνος – παραλληλόγραμμος χώρος μπορεί να μην έχει αρνητικά ηχητικά χαρακτηριστικά, εάν οι κυρίαρχες ανακλάσεις γίνονται σε σχέση με τις άλλες διαστάσεις του⁷ (π.χ. λόγω μια κεκλιμένης οροφής).

⁷ Όχι μόνο από τα πλαϊνά τοιχώματα δηλ.

β) Προβλήματα κατά την χρήση του χώρου

Οι απαιτήσεις των θεατρικών παραστάσεων διαφέρουν ανάλογα με το είδος της παράστασης και τις επιθυμίες του κάθε σκηνοθέτη. Ο κάθε χώρος όμως, έχει τα δικά του χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα οποία η παράσταση πρέπει να προσαρμοστεί για να έχουμε το επιθυμητό ακουστικό αποτέλεσμα. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι απαιτήσεις της παράστασης και του σκηνοθέτη να επιβάλλουν αλλαγή της θέσης της σκηνής και των θέσεων του ακροατηρίου, όμως το σχήμα του χώρου να είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει την σωστή ακουστική με την σκηνή και τις θέσεις του ακροατηρίου σε προκαθορισμένο σημείο. Συνεπώς, το σχήμα του χώρου περιορίζει, ή ακόμη δεσμεύει, τον σκηνοθέτη να πραγματοποιήσει την παράσταση με τον τρόπο που επιθυμεί. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί, αν φυσικά υπάρχει οικονομική ευχέρεια. Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα υλικά και μεταβλητές επιφάνειες διαμορφώνουμε το σχήμα του χώρου έτσι ώστε, να επιτρέπει τις αλλαγές που απαιτεί η συγκεκριμένη παράσταση και παράλληλα, να οδηγεί σε όσο το δυνατόν καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα.

Όταν χρησιμοποιήσουμε για μια θεατρική παράσταση χώρο που προϋπήρχε για διαφορετικό σκοπό, τότε ενδέχεται το σχήμα του να είναι ακατάλληλο. Με άλλα λόγια, να μην ευνοεί το σωστό ακουστικό αποτέλεσμα. Όπως, για παράδειγμα, στην περίπτωση που το σχήμα της αίθουσας είναι τετράγωνο. Εδώ, ο χώρος αποτελείται από παράλληλες επιφάνειες ίσης απόστασης και άρα, δημιουργούνται πολύ ισχυροί συντονισμοί που είναι δύσκολο να εξαλειφθούν. Με την τοποθέτηση συνηχητών στις συχνότητες συντονισμού του δωματίου (συμπεριλαμβανομένου των αρμονικών) μπορούμε να βελτιώσουμε σε κάποιο βαθμό την ακουστική του χώρου. Η καλύτερη λύση θα ήταν να μεταβάλουμε το σχήμα, δίνοντας διαφορετική κλίση στους τοίχους⁸ και συνεπώς, εμποδίζοντας την δημιουργία στάσιμων κυμάτων. Με τον τρόπο αυτό όμως μειώνεται σημαντικά η χωρητικότητα της αίθουσας. Το τετράγωνο σχήμα λοιπόν, δεν συναντάται σε χώρους θεατρικών παραστάσεων.

Η ενότητα που ακολουθεί ασχολείται με το θέμα της ανακλαστικότητας.

⁸ Με την αλλαγή της κλίσης στα τοιχώματα της αίθουσας θα πρέπει να υπάρχει ίδια ανομοιογένεια στο σχήμα του χώρου, για να υπάρχει η ίδια κατανομή της ηχητικής ενέργειας μέσα σ' αυτόν.

3. Ανακλαστικότητα

α) Θεωρητικά στοιχεία

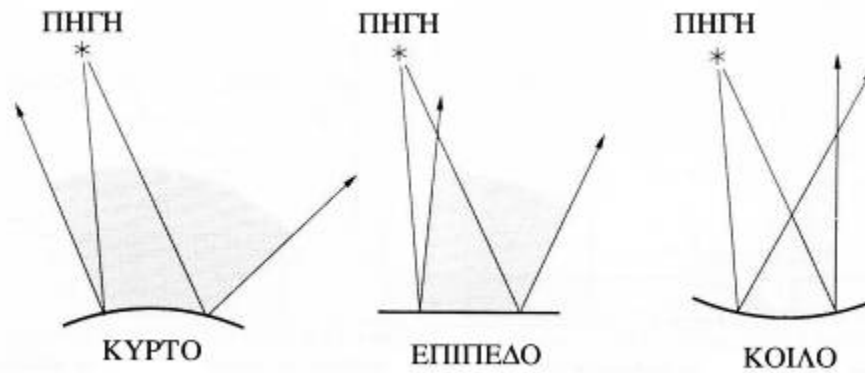
Η διάδοση του ήχου συμπεριφέρεται διαφορετικά στο ελεύθερο πεδίο και διαφορετικά σε ένα κλειστό χώρο. Στους ανοιχτούς χώρους ο ήχος φτάνει στον δέκτη, απευθείας από την πηγή. Ενώ στους κλειστούς χώρους, ο ήχος εκτός από την απευθείας διάδοση, φτάνει στους ακροατές και μετά από τις διαδοχικές ανακλάσεις στα εσωτερικά τοιχώματα του χώρου. Έτσι λοιπόν, το πρώτο πράγμα που ακούει ο ακροατής είναι ο άμεσος ήχος και μετά από αυτόν, ακούει τις πρόωρες ανακλάσεις. Το ακροατήριο που βρίσκεται στην μπροστινή και πιο κοντά στη σκηνή μεριά, τροφοδοτείται συνεχώς με το απευθείας σήμα (Baron 1993 σελ. 19). Αντίθετα, το σήμα αυτό εξασθενεί όσο απομακρυνόμαστε από τη σκηνή. Για την ομοιόμορφη κατανομή του ήχου σε έναν κλειστό χώρο και συνεπώς την επίτευξη καλής ακουστικής χρησιμοποιούνται κατάλληλα ανακλαστικές επιφάνειες. Οι επιφάνειες αυτές ανακλούν τον ήχο που προέρχεται από την πηγή και επομένως, ενισχύουν τον ήχο που φτάνει στον ακροατή.

Με την διάδοση λοιπόν, του ήχου μέσα σε κλειστούς χώρους, έχουμε **αντανάκλαση από πεπερασμένες επιφάνειες**. Στην αντανάκλαση, όπως στην διάθλαση και στην διάχυση, δεν έχουμε απώλεια της ενέργειας, αυτό που έχουμε είναι διασκόρπιση αυτής σε μεγαλύτερο μέρος του χώρου. Η αντανάκλαση από μια πεπερασμένη επιφάνεια εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ του μεγέθους του ανακλαστήρα και του μήκους κύματος του ήχου (Τσινίκας 1990 σελ. 43, Baron 1993 σελ. 21). Πλήρης αντανάκλαση παρατηρείται στις υψηλές συχνότητες, όπου εκεί το μήκος κύματος είναι πολύ μικρό και μπορεί να ανακλαστεί. Όσο χαμηλώνει η συχνότητα, τόσο λιγότερη ενέργεια ανακλάται από αυτούς. Ανακλαστικές επιφάνειες, πρέπει να υπάρχουν γύρω από την ηχητική πηγή έτσι ώστε να ενισχύεται με ανακλώμενο σήμα ο κάθε ακροατής, ακόμη και ο πιο απομακρυσμένος. Σημαντικό ρόλο παίζει η απόσταση του ανακλαστήρα από την πηγή, όπως επίσης και το σχήμα αυτής.

Οι ανακλαστήρες κατασκευάζονται συνήθως από σκληρά υλικά, έτσι ώστε να μην μπορούν να γίνουν οι ίδιοι συνηχητές. Ανάλογα τον χώρο, την χρήση του, τις διαθέσιμες επιφάνειες, το ποσό του χρόνου αντήχησης που θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε και την σχέση όγκου/ ακροατή⁹, τοποθετούνται οι ανακλαστήρες (Τσινίκας 1990 σελ. 43). Παρακάτω στην εικόνα 2.32 παρουσιάζονται τρία διαφορετικά σχήματα, στα οποία φαίνεται η αντανάκλαση που δημιουργείται, με την πηγή να βρίσκεται στο ίδιο σημείο.

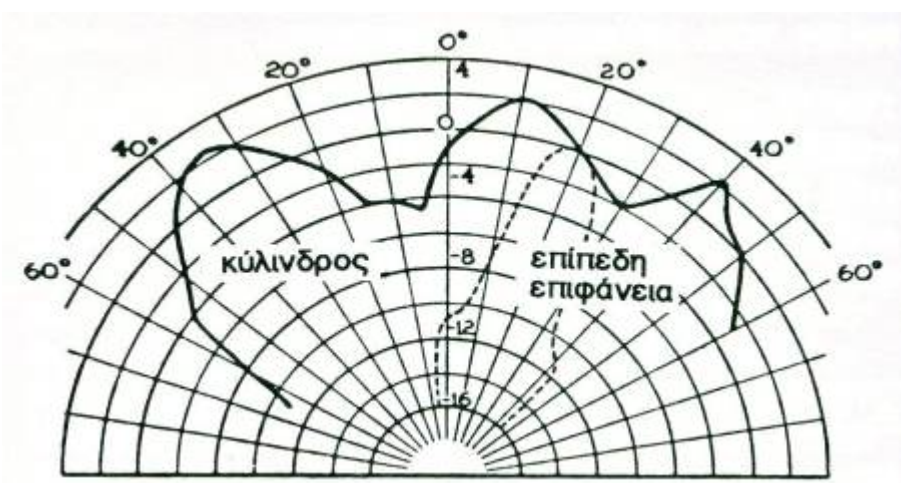
⁹ Η σχέση όγκου ανά ακροατή θα αναλυθεί στην ενότητα 2.ε που αναφέρεται στην χωροθεσία.

Εικόνα 2.32



Μορφές αντανάκλασης σήματος, για 3 διαφορετικούς ανακλαστήρες. (Barron 1993 σελ. 21.)

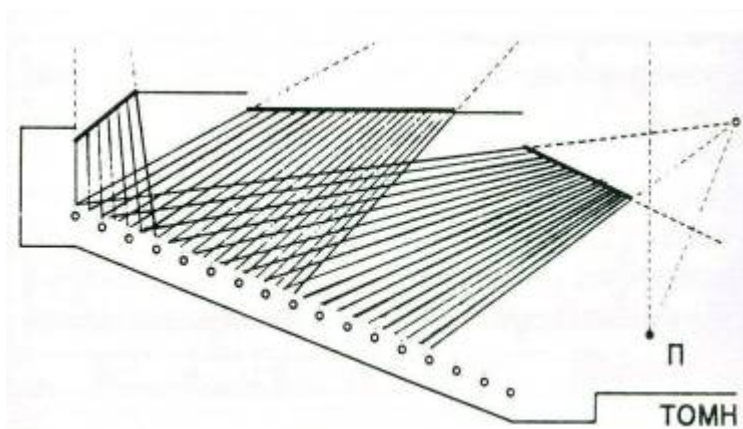
Μια κυρτή επιφάνεια διαχέει την ακουστική ενέργεια προς πολλές κατευθύνσεις. Τέτοιου είδους επιφάνειες συναντάμε πολύ συχνά σε αίθουσες συνεδριάσεων. Σε αντίθεση, οι κοίλες επιφάνειες, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες επειδή κατευθύνουν τον ήχο. Τον 19^ο αιώνα όμως, ήταν ένα κοινό χαρακτηριστικό των θεάτρων συναυλίας και χώρους όπερας να χρησιμοποιούν κοίλους ανακλαστήρες. Αυτό αποτελεί συχνά σημαντικό ακουστικό ελάττωμα, εφόσον έρχεται σε αντίθεση με τον σκοπό μας, την ομοιόμορφη κατανομή του ήχου στον χώρο. Επομένως, οι κοίλες επιφάνειες πρέπει να αποφεύγονται. Εάν το σημείο εστίασης μιας κοίλης επιφάνειας είναι κοντά στο ακροατήριο ή τους εκτελεστές, η αντανάκλαση είναι πιθανό να ακουστεί ως ηχώ (Cremer and Muller 1982 κεφάλαιο 1.3) όταν όμως βρίσκονται μακριά από το ακροατήριο, λειτουργούν ως διαχυτές. Εντούτοις, το πρόβλημα των κοίλων επιφανειών μπορεί να διορθωθεί με την προσθήκη απορροφητών στο σημείο εστίασης. Τέλος, μια επίπεδη επιφάνεια δεν διαχέει ούτε συγκεντρώνει την ηχητική ενέργεια σε συγκεκριμένα σημεία. Η επίπεδη επιφάνεια απλώς αλλάζει την κατεύθυνση του προσπίπτοντος ηχητικού σήματος. Στο σχήμα 2.33 φαίνεται η διάχυση που επιφέρει μια κυλινδρική και μια επίπεδη διαχυτική επιφάνεια σε πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας.



Εικόνα 2.33

Πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας. Με την σκούρα γραμμή ηχοδιαχυτής και με διακεκομμένη γραμμή, επίπεδη επιφάνεια ίδιου εμβαδού. (Τσινίκας 1990 σελ. 47)

Η σκηνή και η οροφή λοιπόν, σε χώρους θεατρικών παραστάσεων για την επίτευξη καλής ακουστικής διαμορφώνεται κατάλληλα με ανακλαστικές επιφάνειες, ώστε ο ήχος να κατανέμεται ομοιόμορφα στον χώρο. Οι ανακλάσεις της οροφής επηρεάζουν σημαντικά την ακουστική λειτουργικότητα του χώρου, και ιδίως την ακουστική των τελευταίων θέσεων του ακροατηρίου. Βελτίωση της ηχητικής απόδοσης της οροφής μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση ανακλαστικών επιφανειών σε αυτή. Το απευθείας σήμα από την πηγή (σκηνή) εξασθενεί καθώς προχωράμε προς τις τελευταίες σειρές και συνεπώς πρέπει να επιδιώκεται η σταδιακή ενίσχυση του (εικόνα 2.34). Οι ανακλαστήρες οροφής συμβάλουν επίσης στην ενίσχυση του ηχητικού σήματος. Στους χώρους όπου τα πλαϊνά τοιχώματα παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή ανάκλασης, δίνουμε κατάλληλη κλίση έτσι ώστε να ενισχύσουμε τις περιοχές χαμηλής ακουστότητας. Στις αίθουσες οι οποίες χρησιμοποιούνται και για μουσικές παραστάσεις, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί ένας μικρού μήκους ανακλαστήρας (λιγότερο από 1 μέτρο), για να επιστρέφει το σήμα στην πηγή. Αυτός χρησιμεύει στο να ακούνε οι μουσικοί, ο ένας τον άλλο. (Τσινίκας 1990 σελ. 44).



Εικόνα 2.34

Απεικόνιση ανακλαστήρων οροφής. Παρατηρείται πως οι τελευταίες σειρές ενισχύονται περισσότερο με ανακλώμενο σήμα. (Τσινίκας 1990 σελ. 43)

β) Προβλήματα κατά την χρήση του χώρου

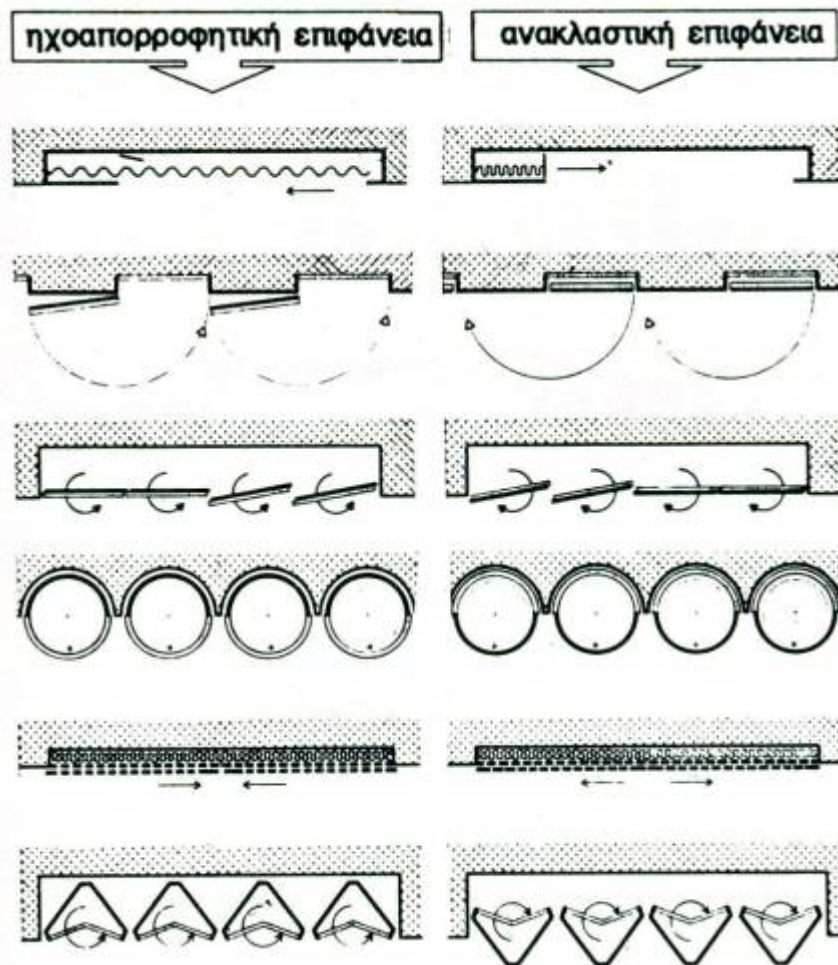
Υπάρχουν χώροι κατάλληλοι για μουσική ακρόαση αλλά ακατάλληλοι για θέατρο. Οι διαφορετικές χρήσεις λοιπόν, ενός χώρου έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις από αυτόν. Λόγω οικονομίας χρημάτων, αλλά και εξοικονόμησης χώρου και κτηρίων, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούμε έναν κοινό χώρο για έναν ορισμένο αριθμό λειτουργιών. Έτσι λοιπόν, οι κλειστοί χώροι μπορούν να χρησιμεύουν παράλληλα για μουσική, ομιλίες, θεατρικές παραστάσεις και άλλα. Πράγμα το οποίο σημαίνει ότι πρέπει να είναι διαμορφωμένοι κατάλληλα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή ακουστική για όλους αυτούς τους σκοπούς. Επίσης, ακόμη και αν η αίθουσα προορίζεται μόνο για θεατρικές παραστάσεις οφείλει να

λαμβάνει υπόψη της τις προϋποθέσεις καλής ακουστικής όσον αφορά την μουσική. Και αυτό διότι, συχνά οι θεατρικές παραστάσεις περιλαμβάνουν επίσης, μουσικές σκηνές. Επομένως, η χρήση ενός χώρου για διαφορετικούς σκοπούς, όπως θεατρικές παραστάσεις, συναυλίες, διαλέξεις, έχει ως αποτέλεσμα την χρησιμοποίηση μεταβλητών χαρακτηριστικών για να επιτύχουμε την κατάλληλη αντήχηση κάθε φορά στο χώρο και άρα, το σωστό ηχητικό αποτέλεσμα. Υπάρχουν επιφάνειες σύμφωνα με τις οποίες μπορούμε να μεταβάλουμε τα χαρακτηριστικά τους, λειτουργώντας κάθε φορά είτε ως απορροφητικές, είτε ως ανακλαστικές (εικόνα 2.35).

Οι διαφορετικές απαιτήσεις κάθε παράστασης καθώς και οι απαιτήσεις του σκηνοθέτη κάθε φορά, μας αναγκάζουν να τροποποιήσουμε ορισμένα χαρακτηριστικά της αίθουσας για να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που ο σκηνοθέτης θέλει να υπάρχει περισσότερη αντήχηση στην αίθουσα τότε θα πρέπει να τοποθετήσουμε περισσότερες ανακλαστικές επιφάνειες, κυρίως στα πλαϊνά τοιχώματα της αίθουσας. Στις περιπτώσεις όπου ο σκηνοθέτης θέλει να τοποθετήσει σε διαφορετική θέση τους θεατές και σε διαφορετική θέση τους ερμηνευτές (σκηνή), τότε ο ακουστικός σχεδιασμός της αίθουσας πρέπει να τροποποιηθεί έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις νέες απαιτήσεις. Οι ανακλαστικές επιφάνειες πρέπει να τοποθετηθούν γύρω από την τωρινή θέση της σκηνης, καθώς επίσης στα κατάλληλα σημεία της οροφής και των πλαϊνών τοιχωμάτων με τρόπο που να ενισχύουν το απευθείας σήμα στις τελευταίες θέσεις του ακροατηρίου, στο σημείο που βρίσκονται τώρα.

Σημαντικό ρόλο στην ηχοανάκλαση έχουν τα διακοσμητικά αντικείμενα της αίθουσας καθώς επίσης και τα ίδια τα σκηνικά. Συνεπώς, όταν αλλάζουν τα σκηνικά της παράστασης αλλάζουν επίσης και οι ανακλαστικές επιφάνειες, γεγονός που μεταβάλλει την ακουστική συμπεριφορά της σκηνης. Επομένως, οι αλλαγές στα σκηνικά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον ακουστικό σχεδιασμό του χώρου.

Επειδή η χρήση μεγάλων ανακλαστικών επιφανειών σε μια αίθουσα επιφέρει αύξηση του χρόνου αντήχησης, χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με απορροφητικά υλικά για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Η χρήση των απορροφητικών υλικών εξετάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, καθώς επίσης και το ζήτημα της ηχομόνωσης.



Αριστερά, εικόνα 2.35
 Σχηματική παράσταση
 μεταβλητών
 ηχοαπορροφητικών και
 ανακλαστικών διατάξεων
 (Τσινίκας 1990 σελ. 34).

4. Ηχοαπορρόφηση και Ηχομόνωση

Ο θόρυβος συχνά δημιουργεί προβλήματα στην ακουστική ενός χώρου και συνεπώς δυσχεραίνει την επίτευξη του επιθυμητού ακουστικού αποτελέσματος. Η μείωση του θορύβου μπορεί να επιτευχθεί μέσω της διαδικασίας της ηχοαπορρόφησης και της ηχομόνωσης. Ηχοαπορρόφηση είναι η ιδιότητα των υλικών και αντικειμένων να απορροφούν την ηχητική ενέργεια και να την μετατρέπουν σε άλλη μορφή ενέργειας, κυρίως θερμότητα. Ηχομόνωση είναι το σύνολο των τεχνικών μεθόδων και υλικών που χρησιμοποιούνται για την προφύλαξη ενός χώρου από τους εξωτερικούς θορύβους, και όχι μόνο.

4.1 Ηχοαπορρόφηση

α) Θεωρητικά στοιχεία

Όταν το ηχητικό κύμα προσπέσει πάνω σε ένα απορροφητικό υλικό, το οποίο συνήθως είναι πορώδες, τότε ταλαντώνονται τα μόρια του απορροφητικού υλικού. Έτσι το ηχητικό κύμα χάνει την ενέργεια του, λόγω τριβών. Αυτή η ενέργεια μετατρέπεται, συνήθως, σε θερμότητα. Στους κλειστούς χώρους θεατρικών παραστάσεων υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός αντικειμένων με την ιδιότητα της ηχοαπορρόφησης. Καθένα από αυτά έχει το δικό του συντελεστή απορρόφησης. Τα περιεχόμενα του χώρου και γενικώς, η διακόσμηση της αίθουσας, όπως καθίσματα, κουρτίνες, μοκέτες, ταπετσαρίες συμβάλλουν όχι μόνο στην καλαισθησία της αίθουσας αλλά και στην απορρόφηση ηχητικής ενέργειας. Για παράδειγμα, η τοποθέτηση χαλιού σε μια αίθουσα εξαλείφει το πρόβλημα του θορύβου από το βηματισμό των ανθρώπων. Οι ακροατές επίσης, επηρεάζουν και απορροφούν κάποιο μέρος αυτού του σήματος. Έτσι όσο πλησιάζουμε προς το τέλος του ακροατηρίου, θα έχουμε ένα πολύ φτωχό σήμα. Πρέπει να σημειώσουμε όμως ότι η απορρόφηση του ήχου, σ' αυτή την περίπτωση, δεν είναι η ίδια για όλες τις συχνότητες. Οι χαμηλές συχνότητες δύσκολα επηρεάζονται, ενώ οι υψηλές απορροφούνται πιο εύκολα. Όταν υπάρχει απότομη διάταξη των θέσεων στο ακροατήριο, παρατηρήθηκε πως τα αποτελέσματα είναι περισσότερο ικανοποιητικά και δεν παρουσιάζεται μεγάλη απώλεια σήματος.

Απορρόφηση επίσης, παρουσιάζεται και εξαιτίας του αέρα. Σημαντική επίδραση απορρόφησης, προκαλείται από την ταυτόχρονη παρουσία οξυγόνου και υδρατμού στον αέρα. Όταν ο αέρας είναι πολύ ξηρός, τότε πρέπει να υγρανθεί, για ακουστικούς, καθώς επίσης και για λόγους άνεσης. Ο ήχος μεταδίδεται ευκολότερα (ταχύτερα) όταν υπάρχει υγρασία. Όταν το περιβάλλον είναι απορροφητικό η απόσβεση γίνεται συντομότερα, ενώ όταν είναι ανακλαστικό οι ανακλάσεις είναι κατά κάποια milliseconds πυκνότερες και επομένως η απόσβεση γίνεται σε μεγαλύτερο χρόνο. Οι συχνότητες που επηρεάζονται είναι πάνω από τα 1000 Hz. Έτσι λοιπόν, οι τιμές του συντελεστή ηχοαπορρόφησης του αέρα είναι για σχετική υγρασία 50% και για κάθε 100m^3 στα (Τσινίκας 1990 σελ. 34) :

1000 Hz $a= 0.3$ στα

2000 Hz $a= 0.9$ και στα

4000 Hz $a= 2.4$.

Τα απορροφητικά υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Τα πορώδη, τα απορροφητικά με μεμβράνη και οι συντονιστές Helmholtz. Αυτού του τύπου οι απορροφητές

ονομάζονται παθητικοί. Ενώ υπάρχουν και οι ενεργητικοί απορροφητές, στους οποίους ο μηχανισμός απορρόφησης είναι διαφορετικός¹⁰.

Έχει αποδειχθεί με πειράματα ότι η τοποθέτηση όλου του απορροφητικού σε μια ή δυο επιφάνειες, δεν είναι το ίδιο αποτελεσματική με την περίπτωση διαίρεσης και κατανομής του ίδιου απορροφητικού στον χώρο. Αυτό φυσικά αποδεικνύεται και από τον τύπο του Sabine που υπολογίζει τον χρόνο αντήχησης¹¹. Για τις συχνότητες 700 Hz και 8KHz, οι διαφορές δεν και τόσο εμφανείς. Στα 2KHz, όμως η διαφορά είναι αρκετά μεγάλη (Everest 2003 σελ.265, 267, 268).

i. Πορώδη

Τα **πορώδη** απορροφητικά, μετατρέπουν την ακουστική ενέργεια σε θερμότητα, με την βοήθεια της τριβής. Η διάμετρος των πόρων ενός τέτοιου υλικού, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μήκος κύματος της συχνότητας που μας ενδιαφέρει. Έτσι αυτά τα υλικά έχουν πολύ καλή απόδοση στις υψηλές συχνότητες, αλλά δεν έχουν καθόλου καλή στις χαμηλές. Όταν το ακουστικό κύμα προσπέσει σε μια ανακλαστική επιφάνεια (κάθετα), σχηματίζεται στάσιμο κύμα. Εάν το πορώδες απορροφητικό υλικό τοποθετηθεί σε αποστάσεις $\lambda/4$, $3\lambda/4$ κτλ από την επιφάνεια, τότε η απορρόφηση που επιτυγχάνεται είναι μεγάλη. Αυτό γίνεται γιατί η ταχύτητα των σωματιδίων σε αυτές τις θέσεις είναι μέγιστη (Barron 1993 σελ. 22, Σκαρλάτος 2003 σελ. 131).

ii. Τύπου Μεμβράνης

Τα απορροφητικά τύπου **μεμβράνης**, αποτελούνται από ένα λεπτό ύφασμα. Αυτό τοποθετείται σε μια μικρή απόσταση από μια ανακλαστική επιφάνεια (π.χ. τοίχος). Όταν ένα ηχητικό σήμα προσπέσει επάνω σ' αυτή την μεμβράνη, τότε αυτή διεγείρεται και οι ταλαντώσεις της προκαλούν απώλεια της ηχητικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στην εσωτερική τριβή του υλικού. Ο συντελεστής απορρόφησης αυτού του συστήματος είναι μεγάλος κυρίως στις χαμηλές συχνότητες. Στην φυσική συχνότητα ταλάντωσης της μεμβράνης παρουσιάζεται το μέγιστο της απορρόφησης. Οι απορροφητές μεμβράνης

¹⁰ Οι ενεργητικοί, ή ηλεκτρονικοί απορροφητές έχουν σαν αρχή λειτουργίας, την ακύρωση ενός ήχου, με την εκπομπή άλλου ήχου αντίθετης φάσης από το αρχικό σήμα. Όμως δεν θα αναφερθώ περαιτέρω σε αυτού του είδους απορροφητές, γιατί είναι αρκετά εξειδικευμένοι, πολύπλοκη στην εφαρμογή τους και δεν χρησιμοποιούνται ευρέως.

¹¹ Ο τύπος αυτός έχει αναλυθεί στην ενότητα 1.δ παράμετροι καλής ακουστικής.

μπορούν να συμπληρώσουν τους πορώδεις απορροφητές, έτσι ώστε να δοθεί ένα πιο ολοκληρωμένο φάσμα απορρόφησης.

iii. Συντονιστής ή Συνηχητής

Ο **συντονιστής** ή **συνηχητής** εκμεταλλεύεται την φυσική ιδιότητα των κενών μπουκαλιών (φιαλών), δηλαδή την ιδιότητα τους να συντονίζουν σε μια ορισμένη συχνότητα. Η συχνότητα αυτή εξαρτάται από τον όγκο της κοιλότητας, το εμβαδόν και το μήκος του λαιμού. Εάν ένα μικρό ποσό πορώδους υλικού τοποθετηθεί στο λαιμό του μπουκαλιού, δεν ενεργεί πλέον ως αντηχείο που βοηθά την υγιή παραγωγή αλλά ως συντονισμένος ακουστικός απορροφητής. Εάν τοποθετήσουμε και μέσα στην κοιλότητα του συνηχητή, πορώδες υλικό, μεγαλώνει το φάσμα της απορρόφησης, αλλά μικραίνει και η μέγιστη τιμή της. Οι συνηχητές Helmholtz, είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί στις χαμηλές προς μεσαίες συχνότητες.

Τα απορροφητικά υλικά λοιπόν, που τοποθετούνται σε ορισμένα σημεία της αίθουσας απορροφώντας την ηχητική ενέργεια μειώνουν τον χρόνο αντήχησης. Σε αντίθεση, οι ανακλαστικές επιφάνειες, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, αυξάνουν τον χρόνο αντήχησης. Επομένως, απορροφητικά υλικά και ανακλαστικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος.

Η σχέση όγκου ανά ακροατή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο εφόσον εξασφαλίζει την χρυσή τομή ανάμεσα στις ανακλαστικές και ηχοαπορροφητικές επιφάνειες. (Τσινίκας 1990 σελ. 45). Σε περίπτωση όπου σε μια αίθουσα θεατρικών παραστάσεων ο όγκος ανά ακροατή είναι μικρότερος από τον βέλτιστο (πίνακας 2), τότε και ο χρόνος αντήχησης είναι μικρότερος από τον βέλτιστο. Άρα για να επιτύχουμε τον βέλτιστο χρόνο αντήχησης πρέπει να χρησιμοποιήσουμε περισσότερες ανακλαστικές επιφάνειες. Αντίθετα, όταν ο όγκος ανά ακροατή είναι μεγαλύτερος από τον βέλτιστο, τότε και ο χρόνος αντήχησης θα είναι μεγαλύτερος. Επομένως, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε περισσότερες ηχοαπορροφητικές επιφάνειες για να επιτύχουμε τον βέλτιστο χρόνο αντήχησης.

Πίνακας 2 (Προτεινόμενες τιμές όγκου/ ακροατή για τις σημαντικότερες κατηγορίες αιθουσών)

| | ΟΓΚΟΣ / ΑΚΡΟΑΤΗ , ΣΕ m ³ | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------|----------|
| | Ελάχιστος | Βέλτιστος | Μέγιστος |
| Χώροι ομιλίας | 2.3 | 3.1 | 4.3 |
| Αίθουσες συναυλιών | 6.2 | 7.8 | 10.8 |
| Όπερες | 4.5 | 5.7 | 7.4 |
| Κινηματογράφοι | 2.8 | 3.5 | 5.1 |
| Εκκλησίες | 5.4 | 7.8 | 10.5 |
| Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων | 5.1 | 7.1 | 8.5 |

β) Προβλήματα κατά την χρήση του χώρου

Τα σκηνικά καθώς επίσης και τα διακοσμητικά αντικείμενα της αίθουσας απορροφούν μέρος της ηχητικής ενέργειας. Το πρόβλημα που εμφανίζεται εδώ συνίσταται στον διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης ηχητικής ενέργειας έπειτα από μια αλλαγή των σκηνικών. Υπάρχουν υλικά που έχουν πολύ μεγάλο συντελεστή απορροφητής σε σχέση με άλλα. Επομένως, μια εναλλαγή στα σκηνικά της παράστασης επιφέρει ταυτόχρονα αλλαγές στην ακουστική συμπεριφορά του χώρου ειδικά της σκηνής.

Παράλληλα, όπως και στο θέμα της ανακλαστικότητας, έτσι κι εδώ οι επιθυμίες κάθε φορά του σκηνοθέτη μπορούν να απαιτούν διαφορετικό βαθμό απορρόφησης ηχητικής ενέργειας ή / και απορρόφηση της ηχητικής ενέργειας από διαφορετικά σημεία του χώρου. Για να επιτύχουμε λοιπόν, το επιθυμητό ακουστικό αποτέλεσμα μπορούμε να αυξήσουμε είτε να μειώσουμε τις απορροφητικές επιφάνειες, να χρησιμοποιήσουμε υλικά με διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης, καθώς επίσης να μετακινήσουμε ανάλογα με τις ανάγκες τις κάθε παράστασης τις ήδη υπάρχουσες απορροφητικές επιφάνειες.

Επιπρόσθετα, η ίδια θεατρική παράσταση όταν λαμβάνει χώρα καλοκαίρι και χειμώνα οφείλει να λαμβάνει υπόψη της την διαφορετική ένδυση των θεατών. Τα βαριά ρούχα του χειμώνα παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης ηχητικής ενέργειας, σε αντίθεση με εκείνα της καλοκαιρινής εποχής. Για να διατηρήσουμε το ίδιο επιθυμητό ακουστικό αποτέλεσμα, μπορούμε είτε να μειώσουμε τα απορροφητικά υλικά το χειμώνα, είτε να αυξήσουμε αυτά το καλοκαίρι.

4.2 Ηχομόνωση.

α) Θεωρητικά στοιχεία

Για να επιτύχουμε το επιθυμητό ακουστικό αποτέλεσμα σε χώρους θεατρικών παραστάσεων, και όχι μόνο, είναι απαραίτητο να εξαλείψουμε όσο το δυνατόν περισσότερο

τους ανεπιθύμητους θορύβους. Οι τοίχοι, η οροφή, το πάτωμα μιας αίθουσας βοηθούν στην εξασθένηση μη επιθυμητών ηχητικών συμβάντων, με άλλα λόγια μονώνουν τον εσωτερικό χώρο από τον εξωτερικό θόρυβο, καθώς επίσης εμποδίζουν την μετάδοση του ήχου που υπάρχει στο εσωτερικό της αίθουσας προς τον εξωτερικό χώρο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο (ενότητα 2) διπλασιάζοντας την απόσταση από την πηγή του θορύβου ελαττώνεται η στάθμη του θορύβου κατά 6 db περίπου (Κυριακάκης - Γιαννικάκης 1999 σελ.45, Everest 2003 σελ.161, Σκαρλάτος 2003 σελ.251). Η τοποθέτηση απορροφητικών υλικών ανάμεσα σε πηγή και δέκτη μειώνει σε μεγαλύτερο ποσοστό την στάθμη του θορύβου, δίχως να αυξήσουμε την απόστασή τους. Η αποδοτική μόνωση μιας κατασκευής επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο παραγωγής και διάδοσης του ήχου. Η ηχομόνωση ενός χώρου διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, από έξω προς τα μέσα και από μέσα προς τα έξω.

i. Από Έξω Προς Τα Μέσα

Σε πολλές περιπτώσεις οι χώροι που φιλοξενούν θεατρικές παραστάσεις, βρίσκονται κοντά σε δρόμους, ή σε σημεία όπου υπάρχει θόρυβος. Ένας τέτοιος χώρος λοιπόν, θα πρέπει να είναι προστατευμένος από τα εξωτερικά ηχητικά συμβάντα, διαφορετικά χάνεται η αρμονία και η ροή της παράστασης και αποσπάται η προσοχή του θεατή από το έργο. Πράγμα το οποίο δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συμβεί. Ένας πρώτος τρόπος αντιμετώπισης του ανεπιθύμητου εξωτερικού θορύβου είναι η βλάστηση. Θάμνοι και δέντρα συμβάλλουν στην ελάττωση του εξωτερικού θορύβου. Το είδος των δέντρων ή των φυτών, η πυκνότητα του φυλλώματός τους επηρεάζουν το ποσοστό απορρόφησης του ήχου.

Στη συνέχεια, ο εναπομένοντας ανεπιθύμητος θόρυβος μπορεί να εισέλθει στον εσωτερικό χώρο από το πάτωμα, τους πλαϊνούς τοίχους, καθώς και από την οροφή. Ο τρόπος μετάδοσής του γίνεται μέσω του αέρα, μέσω των δομικών υλικών κατασκευής, και μέσα από ανοίγματα, αρμούς και σχισμές των τοιχωμάτων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος των τοιχωμάτων, τόσο πιο δύσκολο είναι τα ηχητικά κύματα να τον δονήσουν. Η απορροφητικότητα ενός τοιχώματος είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η συχνότητα του προσπίπτοντος ήχου. Επίσης το είδος, και κατά κύριο λόγο η μάζα του υλικού, είναι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά το ποσοστό απορροφητικότητας του τοιχώματος. Όσο η μάζα του υλικού αυξάνεται, τόσο καλύτερος είναι τοίχος σαν εμπόδιο στους εξωτερικούς θορύβους. Για να επιτύχουμε υψηλό δείκτη ηχομείωσης, θα πρέπει λοιπόν να αυξήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την μάζα του υλικού που χρησιμοποιείται στα τοιχώματα. Επειδή, όμως αυτό έχει σαν συνέπεια την υπερβολική αύξηση του βάρους της

κατασκευής, καταφεύγουμε στην χρήση διπλών και τριπλών τοιχωμάτων που επιτυγχάνουν μεγάλους δείκτες ηχομείωσης και παράλληλα ελαφριές κατασκευές. Για την πραγματοποίηση αποτελεσματικής ηχομόνωσης με την χρήση πολλών επιφανειών πρέπει να μονώσουμε ακουστικά και μηχανικά τις επιφάνειες αυτές (Σκαρλάτος 2003 σελ.284). Η ακουστική μόνωση αναφέρεται στη δημιουργία κενού μεταξύ των επιφανειών. Η μηχανική μόνωση αναφέρεται στην παρεμβολή απορροφητικών υλικών, όπως ανάμεσα στα τοιχώματα, στα σημεία στήριξης, με διαφορετική όμως σύσταση, και άλλα.

Ο θόρυβος με την μορφή δονήσεων (κτυπογενής θόρυβος) είναι πολύ δύσκολο να εξαλειφθεί., αφού διανύεται μέσω των συμπαγών υλικών και η εξασθένησή του είναι πολύ μικρή ακόμη και για μεγάλες αποστάσεις (λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας του ήχου στα συμπαγή υλικά, από αυτή του αέρα). Όταν ο κτυπογενής ήχος κατά την πορεία του μέσα σε ένα υλικό, συναντήσει υλικό διαφορετικής σύστασης, τότε ένα μέρος από αυτόν ανακλάται στο προηγούμενο υλικό, ενώ ένα άλλο συνεχίζει στο δεύτερο. Έτσι, εφόσον αλλάζει η σύνθετη αντίσταση των υλικών μειώνεται ο διαδιδόμενος ήχος (Σκαρλάτος 2003 σελ.311). Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της αντίστασης του ενδιάμεσου υλικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ηχομείωση. Συνήθως ανάμεσα σε σκληρά υλικά τοποθετούμε ελαστικές επιφάνειες για μονώσεις κραδασμών.

Για να επιτύχουμε πιο αποτελεσματική ηχομείωση έναντι των κτυπογενών θορύβων στα πατώματα, αυτά είτε θα πρέπει να είναι πλωτά, είτε να χρησιμοποιηθούν υλικά όπως : χαλί, ξύλο, υαλοβάμβακας, λάστιχο, μπετόν (σε συνδυασμό). Επίσης, το πάτωμα πρέπει να διαχωρίζει την σκηνή από τον χώρο των ακροατών με μονωτικά υλικά έτσι ώστε να αποφεύγεται η μεταφορά κραδασμών από το ένα μέρος στο άλλο. Αυτό προφυλάσσει την σκηνή από διάφορα προβλήματα που μπορούν να παρουσιαστούν λόγω των κραδασμών που δημιουργούνται στο χώρο του ακροατηρίου, και την άλλη πλευρά συμβάλει στην άνεση των ακροατών. Όσο αναφορά την οροφή της αίθουσας, πρέπει να διαθέτει κατάλληλους συνδέσμους σε σχέση με τα πλαϊνά τοιχώματα έτσι ώστε να αποφεύγονται οι ηχογέφυρες. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μόνωση της οροφής είναι : μπετόν, λάστιχο, υαλοβάμβακας, γυψοσανίδα κ. α. (Σκαρλάτος 2003 σελ.317).

Οι κλειστοί χώροι, εκτός από τα τοιχώματα, περιλαμβάνουν επίσης παράθυρα και πόρτες μέσω των οποίων ο ήχος μπορεί να διεισδύσει σε περίπτωση που δεν υπάρχει κατάλληλη μελέτη και σχεδιασμός αυτών. Όσον αφορά τους χώρους θεατρικών παραστάσεων, τα παράθυρα συνήθως είναι ανύπαρκτα. Έτσι λοιπόν, οι πόρτες είναι εκείνες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην μελέτη για την ηχομόνωση. Θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια πόρτα μεγάλου βάρους και όγκου, με αεροστεγανότητα. Η αγορά και η συντήρηση μιας τέτοιας πόρτας όμως, κοστίζει ακριβά. Επίσης, η λειτουργικότητά της

συνήθως δεν είναι ικανοποιητική, καθώς το σφράγισμα μιας βαριάς πόρτας χρειάζεται μεγάλη δύναμη και παράλληλα, επιτρέπει την διέλευση του φωτός στην αίθουσα όταν ανοίγει, γεγονός ανεπιθύμητο. Προτιμότερη λύση είναι η χρησιμοποίηση μικρών θαλάμων με δύο πόρτες, οι οποίες είναι μικρότερες σε μέγεθος και βάρος, και επίσης κοστίζουν κατά πολύ λιγότερο. Ταυτόχρονα, με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να περιορίσουμε σημαντικά την εισχώρηση φωτός στην αίθουσα. Επιπρόσθετα, η διακόσμηση της πόρτας με την χρήση απορροφητικών υλικών αυξάνει το ποσοστό ηχομόνωσης της. Μεγάλη προσοχή δίνεται επίσης, στο κάσωμα της πόρτας το οποίο συνδέει αυτήν με τον τοίχο. Ο τρόπος σύνδεσης τους πρέπει να είναι κατάλληλος έτσι ώστε πρώτον, να αποφεύγεται η ύπαρξη ανοιγμάτων, σχισμών που επιτρέπουν την διέλευση του ήχου και δεύτερον, να αποφεύγεται η διάδοση των κραδασμών από το ένα υλικό στο άλλο.

ii. Από Μέσα Προς Τα Έξω

Όπως επιθυμούμε να εξαλείψουμε την διέλευση των ανεπιθύμητων εξωτερικών ήχων στο εσωτερικό μιας αίθουσας θεατρικών παραστάσεων, ταυτόχρονα επιθυμούμε την αποφυγή της διάδοσης ήχου από την αίθουσα όπου διαδραματίζεται η θεατρική παράσταση στον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο. Και αυτό για λόγους αποφυγής ηχορύπανσης. Για να πετύχουμε τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε τις ίδιες μεθόδους ηχομόνωσης που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη περίπτωση, μείωσης του μεταδιδόμενου θορύβου από τον εξωτερικό χώρο στον εσωτερικό. Επομένως, προσπαθώντας να μονώσουμε τον χώρο από εξωτερικές πηγές θορύβου επιτυγχάνουμε παράλληλα και το αντίθετο. Να μονώσουμε, δηλαδή τον χώρο μειώνοντας την στάθμη της έντασης που μεταδίδεται από το εσωτερικό της αίθουσας προς τα έξω. Επίσης, θα πρέπει να προσέξουμε σε ποια περιοχή εντάσσεται ο συγκεκριμένος χώρος, γιατί άλλες νομοθετικές διατάξεις ισχύουν για κάθε περιοχή. Στις νομοθετημένες βιομηχανικές περιοχές το ανώτατο όριο σε dB (A) είναι 70, ενώ σε περιοχές που επικρατεί το αστικό στοιχείο είναι 50. Οι περιοχές καθαρά κατοικιών και ειδικής προστασίας¹², έχουν όριο τα 33 dB (Σαραφόπουλος Ν. σελ. 18, στο Πρακτικά συνεδρίου Ακουστική 2002).

Μια άλλη περίπτωση ανεπιθύμητου θορύβου, η οποία όμως δεν ανήκει αποκλειστικά σε μια από τις δύο προηγούμενες κατηγορίες, είναι ο θόρυβος που προκαλούν μηχανήματα τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της αίθουσας. Όπως για παράδειγμα, ο θόρυβος που προέρχεται από το σύστημα εξαερισμού. Σύστημα απαραίτητο για μια αίθουσα θεατρικών

¹² Αστικές, προαστιακές ή αγροικίες, νοσοκομεία, γηροκομεία, σανατόρια κτλ.

παραστάσεων, το οποίο παράλληλα μπορεί δημιουργήσει προβλήματα στην ακουστική της. Μέσω του συστήματος του εξαερισμού είναι πιθανόν να μεταφερθεί ήχος από το εξωτερικό περιβάλλον στην αίθουσα. Επίσης, δημιουργείται ανεπιθύμητος ήχος μέσω του στροβιλισμού, ένας αεροδυναμικός θόρυβος ο οποίος εκτείνεται σε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων και οφείλεται στη διαταραχή της πίεσης του αέρα λόγω της περιστροφής (Σκαρλάτος 2003 σελ.371). Μια καλή μελέτη του συστήματος εξαερισμού, μας βοηθάει να εξασφαλίσουμε τον σωστό εξαερισμό της αίθουσας, διατηρώντας το ποσοστό υγρασίας στο επίπεδο που χρειάζεται, και παράλληλα ν' αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα του αερόφερτου θορύβου.

β) Προβλήματα κατά την χρήση του χώρου

Η ηχομόνωση ενός χώρου, όπως είδαμε, διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Από έξω προς τα μέσα και από μέσα προς τα έξω. Είπαμε πως, προσπαθώντας να μονώσουμε τον χώρο από εξωτερικές πηγές θορύβου επιτυγχάνουμε παράλληλα και το αντίθετο. Αυτές οι δυο διεισδύσεις όμως (από μέσα προς τα έξω και αντίστροφα), στην πράξη δεν είναι ισότιμες. Ο ήχος μια μέσης θεατρικής παράστασης, μασκάρεται από τον ήχο κυκλοφορίας του δρόμου, ενώ το αντίθετο δεν συμβαίνει (να καλύπτει δηλαδή ο ήχος μιας μέσης θεατρικής παράστασης τον ήχο κυκλοφορίας). Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται σε μια συναυλία, εφόσον εκεί οι εντάσεις είναι πολύ μεγαλύτερες και στις περισσότερες περιπτώσεις ο ήχος της κυκλοφορίας δεν μασκάρει την συναυλία.

Είναι δυνατόν ένα ανεπιθύμητο ηχητικό συμβάν κατά την διάρκεια μιας παράστασης διαπερνάει τα τοιχώματα, είτε γιατί η ηχομόνωση του χώρου δεν είναι επαρκής, είτε γιατί η ένταση του είναι αρκετά υψηλή. Έτσι γίνεται λοιπόν, αντιληπτό στον εσωτερικό χώρο τόσο από τους θεατές όσο και από τους ηθοποιούς της παράστασης. Σε περίπτωση που το ηχητικό αυτό συμβάν επαναλαμβάνεται κάθε φορά κατά την διάρκεια της παράστασης για να το αποφύγουμε μια λύση θα ήταν να απομακρύνουμε την πηγή του ανεπιθύμητου αυτού συμβάντος. Αν τώρα, το συμβάν αυτό επαναλαμβάνεται την ίδια περίπου χρονική στιγμή, δίχως να υπάρχει άλλος τρόπος αποφυγής του, τότε μπορούμε να συμπεριλάβουμε τον ήχο αυτό στην παράσταση (πράγμα το οποίο δε συμβαίνει πάντα, για τεχνικούς και για αισθητικούς λόγους). Επομένως, η αντίληψη και η διορατικότητα του σκηνοθέτη (σε συνεργασία με τον ηχολήπτη), παίζει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν σε μια θεατρική παράσταση.

5. Χωροθεσία (θέση/θέσεις θεατών και σκηνης)

α) Θεωρητικά στοιχεία

Μεγάλο τμήμα της αίθουσας καταλαμβάνει ο χώρος των ακροατών. Η διάταξη των θέσεων των ακροατών λαμβάνεται λοιπόν υπόψη στο σχεδιασμό της καλής ακουστικής της αίθουσας. Οι ακροατές πρέπει να τοποθετούνται κοντά στην πηγή για να είναι ακουστό το απευθείας σήμα και να έχουν καλή οπτική επαφή. Η αμφιθεατρική διάταξη των θέσεων υλοποιεί τον κανόνα αυτό. Εντούτοις, στους κλειστούς χώρους ο αμφιθεατρικός σχεδιασμός των θέσεων αποφεύγεται καθώς δημιουργεί προβλήματα συγκεντρώνοντας τον ήχο σε συγκεκριμένα σημεία.

Οι θέσεις των ακροατών, όπως και το δάπεδο, απορροφούν μέρος της απευθείας ηχητικής ενέργειας. Μέρος της ενέργειας αυτής απορροφά επίσης το διάστημα μεταξύ των διαδοχικών θέσεων, λόγω του ότι συντονίζεται στην περιοχή των 100 με 200 Hz. Για καλύτερη διάδοση του απευθείας ήχου σε όλο το μήκος των θέσεων δίνεται μια κλίση στο δάπεδο ώστε να μην διακόπτεται από τις μπροστινές θέσεις (Σκαρλάτος 2003 σελ.202, Τσινίκας 1990 σελ.41). Επίσης, η κλίση αυτή διασφαλίζει καλύτερο οπτικό πεδίο στους θεατές, καθώς προκύπτει από την χάραξη της νοητής οπτικής γραμμής από τα μάτια του ακροατή εφαπτομενικά πάνω από το κεφάλι του μπροστινού ακροατή προς το δάπεδο της σκηνης του θεάτρου (βλέπε εικόνα 1.1, Ιταλική σκηνή). Η κλίση αυτή αλλάζει ανάλογα με την απόσταση των διαδοχικών σειρών του ακροατηρίου και το σημείο που οι ακροατές πρέπει να κοιτούν. Στην περίπτωση των θεάτρων το σημείο αυτό είναι το δάπεδο της σκηνης, ενώ στον κινηματογράφο βρίσκεται πολύ ψηλότερα.

Η υπερβολικά απότομη διάταξη των θέσεων του ακροατηρίου μειώνει την χωρητικότητα της αίθουσας. Τα θεωρεία και οι εξώστες χρησιμοποιούνται για να την αυξήσουν. Μπορούν όμως να δημιουργήσουν πρόβλημα στην ακουστική των ακροατών που βρίσκονται κάτω από αυτόν, καθώς εμποδίζουν τον ανακλώμενο ήχο από την οροφή να φτάσει σε αυτούς, δημιουργώντας δηλαδή ηχητική σκιά. Το πρόβλημα αυτό εμφανίζεται κυρίως σε εξώστες με μεγάλο βάθος. Συνεπώς, για να αποφύγουμε την δημιουργία ηχητικής σκιάς το βάθος του εξώστη πρέπει να είναι ίσο ή μικρότερο από το ύψος του (Σκαρλάτος 2003 σελ.204, Τσινίκας 1990 σελ.67).

β) Προβλήματα κατά την χρήση του χώρου

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο σκηνοθέτης θέλει να τοποθετήσει σε διαφορετικές θέσεις τους θεατές και σε διαφορετική θέση τους ηθοποιούς. Τότε όλη η μελέτη που έχει γίνει σε αυτόν τον χώρο αλλάζει, γιατί τροποποιείται ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η σκηνή τοποθετείται στο κέντρο της αίθουσας και οι θεατές γύρω από αυτή (περιμετρική σκηνή). Επίσης, υπάρχουν θέατρα με μετακινούμενες θέσεις θεατών. Όποιος κι αν είναι ο τρόπος διαμόρφωσης μιας αίθουσας πρέπει να υπάρχει ακουστική λειτουργικότητα ως προς τους θεατές. Τα ηχητικά ερεθίσματα που λαμβάνουν οι θεατές πρέπει να είναι τα ίδια για όλους, ή να έχουν μια μικρή απόκλιση. Αυτές οι μέσες τιμές πρέπει να κινούνται στον χώρο που καταλαμβάνουν οι θεατές και όχι οπουδήποτε μέσα στην αίθουσα. Στα σύγχρονα θέατρα είναι συνηθισμένο να αλλάζει η χωροθεσία σε κάθε παράσταση (μαζί με το σκηνικό). Επομένως, μια αλλαγή χωροθεσίας μπορεί να βελτιώσει πολύ το υπάρχον πρόβλημα ή ακόμη και να το εντείνει.

Οι σύγχρονοι χώροι και εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις, πλέον είναι πιο ευέλικτοι και μπορούν σχετικά εύκολα να τροποποιήσουν κάποια χαρακτηριστικά τους για τις ανάγκες μιας θεατρικής παράστασης. Στην περίπτωση αυτή η χρήση μεταβλητών ανακλαστικών και απορροφητικών επιφανειών είναι απαραίτητη. Οι μεταβλητές αυτές επιφάνειες προσαρμόζονται ανάλογα, λαμβάνοντας υπόψη κάθε φορά την θέση της σκηνής και των ακροατών, με στόχο την επίτευξη του καλύτερου δυνατού ακουστικού αποτελέσματος.

Επίσης, τα καθίσματα των θεατών παίζουν σημαντικό ρόλο. Όταν δεν έχουν σωστή απορροφητικότητα, ο ήχος συμπεριφέρεται διαφορετικά στις πρόβες (όπου είναι άδειες οι θέσεις) και διαφορετικά κατά την διάρκεια της παράστασης (όπου οι θέσεις καταλαμβάνονται από τους θεατές). Επομένως, πρέπει να λάβουμε υπόψη το φαινόμενο αυτό και να ενημερώσουμε τον σκηνοθέτη. Για να αποφύγουμε τέτοιου είδους προβλήματα, οι θέσεις πρέπει να είναι επενδυμένες με κατάλληλα υλικά έτσι ώστε να έχουν τον ίδιο συντελεστή απορρόφησης ηχητικής ενέργειας με τον άνθρωπο.

Συμπεραίνουμε, πως για αρκετά προβλήματα, υπάρχουν λύσεις που μπορούν εύκολα να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν. Στις σημερινές αίθουσες στην περιοχή της Αθήνας, αυτό δεν συμβαίνει, εκτός από πολύ λίγες εξαιρέσεις.

Όταν μια θεατρική παράσταση περιοδεύει αλλάζουν όλα τα χαρακτηριστικά του χώρου. Είτε αυτό αφορά σχήμα του χώρου, κυβικά του χώρου, ανακλαστικότητα, ηχοαπορρόφηση, ηχομόνωση, χωροθεσία. Παρ' όλα αυτά το ακουστικό αποτέλεσμα της παράστασης πρέπει να είναι το ίδιο κάθε φορά. Επομένως, στην περίπτωση αυτή για να επιτύχουμε το ίδιο ηχητικό αποτέλεσμα οφείλουμε να επαναλαμβάνουμε τον ακουστικό σχεδιασμό σε κάθε αίθουσα όπου μεταφέρεται η παράσταση, τροποποιώντας ανάλογα τα χαρακτηριστικά του χώρου.

Πληθώρα διαφορετικών απαιτήσεων χαρακτηρίζουν την σύγχρονη εποχή όσον αφορά την ακουστική λειτουργικότητα χώρων και εγκαταστάσεων θεατρικών παραστάσεων. Αισθητική, οικονομία, άνεση, ποιότητα είναι ορισμένες από τις απαιτήσεις αυτές. Η ακουστική λειτουργία ενός χώρου εξαρτάται κατά πρώτο λόγο από την αρχιτεκτονική κατασκευή του, όπως σχήμα χώρου, όγκος χώρου, και κατά δεύτερον από την εσωτερική του διαμόρφωση, όπως τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών, ανακλαστικών επιφανειών, διάταξη των θέσεων στο χώρο, ηχομόνωση. Ακόμη και μικρές λεπτομέρειες του χώρου, όπως διακοσμητικά αντικείμενα, συμβάλλουν κατά κάποιο τρόπο στην ακουστική του απόδοση. Απαραίτητη είναι η επαρκής ακουστότητα σε όλα τα σημεία του ακροατηρίου ακόμη και στα πιο απομακρυσμένα. Με το κατάλληλο σχήμα χώρου και την κατάλληλη διάταξη των θέσεων τα οποία ελαχιστοποιούν την απόσταση από την πηγή * εξασφαλίζοντας καλό απευθείας ήχο, καθώς επίσης και καλό ανακλώμενο ήχο μέσω χρησιμοποίησης ανακλαστικών επιφανειών * και τηρώντας την βέλτιστη σχέση όγκου ανά ακροατή, επιτυγχάνουμε επαρκή ακουστότητα.

Το σχήμα χώρου των θεατρικών παραστάσεων παίζει σημαντικό ρόλο εφόσον καθορίζει την απόσταση των ακροατών από την πηγή. Οι αμφιθεατρικοί χώροι συνήθως απορρίπτονται διότι εστιάζουν τον ήχο σε ορισμένα σημεία, παρόλο που προσφέρουν μεγαλύτερη πρόσβαση των θεατών στην πηγή. Το σχήμα χοάνης και το ορθογώνιο σχήμα με την πηγή στην μεγαλύτερη διάσταση συναντώνται συχνότερα. Επιπρόσθετα, οι μεγάλοι χώροι είναι εκείνοι που προτιμούνται για τις θεατρικές παραστάσεις. Λόγω του μεγάλου όγκου της αίθουσας υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής ενέργειας και γενικά, θεωρείται διάχυτο το πεδίο. Η απευθείας ηχητική ενέργεια η οποία προέρχεται από το μέρος της σκηνής εξασθενεί καθώς απομακρύνεται από αυτή. Για να ενισχύσουμε την ένταση του απευθείας σήματος στις τελευταίες θέσεις του ακροατηρίου τοποθετούμε ανακλαστικές επιφάνειες γύρω από την σκηνή, στην οροφή, όπως και στα πλαϊνά τοιχώματα. Επίσης, διαμορφώνοντας το δάπεδο του ακροατηρίου με συγκεκριμένη κλίση οι θεατές βρίσκονται πιο κοντά στο απευθείας σήμα και παράλληλα αποκτούν καλύτερο και άνετο οπτικό πεδίο προς την σκηνή.

Οι ανακλαστικές επιφάνειες λοιπόν, εκτός από την διάχυση του ήχου, συμβάλλουν επίσης στην ενίσχυση της έντασης της ηχητικής ενέργειας σε μια αίθουσα. Εστιάζουν κυρίως στην ενίσχυση της ηχητικής ενέργειας στα πιο απομακρυσμένα σημεία του χώρου. Η βελτίωση όμως της ακουστικής της αίθουσας είναι αποτέλεσμα συνδυασμού ανακλαστικών και απορροφητικών επιφανειών. Αντικείμενα διακόσμησης, ο άνθρωπος, ακόμη και ο αέρας έχουν απορροφητικές ιδιότητες. Λόγω του ότι η κατασκευή μιας αίθουσας θεατρικών παραστάσεων αποτελείται κατά το μεγαλύτερο μέρος από υλικά με ανακλαστικές ιδιότητες,

στη μετέπειτα διαμόρφωση της η χρήση απορροφητικών υλικών είναι συχνότερη. Η χρυσή τομή ανάμεσα σε απορροφητικές και ανακλαστικές επιφάνειες μπορεί εύκολα να προκύψει από την σχέση όγκου ανά ακροατή, λαμβάνοντας υπόψη τον βέλτιστο αντήχησης της αίθουσας. Παρόλα αυτά, το ακουστικό αποτέλεσμα μειονεκτεί εάν στον ακουστικό σχεδιασμό της αίθουσας αγνοήσουμε τον παράγοντα του ανεπιθύμητου θορύβου, είτε αυτός προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον είτε όχι. Η διασφάλιση του επιθυμητού ακουστικού αποτελέσματος από τυχόν ανεπιθύμητους θορύβους επιτυγχάνεται μέσω της μόνωσης σημείων απ' όπου είναι δυνατή η διέλευση ήχου, τοίχοι, πάτωμα, οροφή, πόρτες. Με τον τρόπο αυτό, μονώνοντας τον χώρο από εξωτερικές πηγές θορύβου παράλληλα, εμποδίζουμε τον ήχο να μεταδοθεί από το εσωτερικό της αίθουσας προς τον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο. Το επόμενο κεφάλαιο περιλαμβάνει παραδείγματα των παραπάνω χαρακτηριστικών σε συγκεκριμένους χώρους θεατρικών παραστάσεων, περιγράφοντας και αναλύοντας την λειτουργικότητα και συμπεριφορά τους σε αυτούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Παραδείγματα: Παρουσίαση -Μελέτη Κλειστών Χώρων και Εγκαταστάσεων

Τα κυβικά του χώρου, το σχήμα του χώρου, η ανακλαστικότητα, η χωροθεσία, η ηχοαπορρόφηση και η ηχομόνωση είναι ορισμένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ακουστική λειτουργικότητα του χώρου και τα οποία εξετάσαμε λεπτομερώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Μελετήσαμε τον τρόπο με τον οποίο το κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά συμβάλει στην επίτευξη του επιθυμητού ακουστικού αποτελέσματος, καθώς επίσης και τα επιμέρους προβλήματα που πηγάζουν από αυτά και επιδρούν στις παραγωγές των θεατρικών παραστάσεων. Διαπιστώσαμε πως οι χώροι και οι εγκαταστάσεις με μεταβλητά τα παραπάνω χαρακτηριστικά, δηλαδή με την δυνατότητα προσαρμογής, είναι προτιμότεροι εφόσον οι απαιτήσεις της κάθε παράστασης και του κάθε σκηνοθέτη διαφέρουν.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το εμπειρικό τμήμα της εργασίας. Σε αυτό γίνεται μια προσπάθεια μελέτης και ανάλυσης, πραγματικών και εν λειτουργία, κλειστών χώρων θεατρικών παραστάσεων ως προς τα πέντε εξεταζόμενα χαρακτηριστικά: κυβικά χώρου, σχήμα χώρου, ανακλαστικότητα, ηχοαπορρόφηση και ηχομόνωση, χωροθεσία. Οι χώροι που εξετάζονται είναι οι εξής δύο: 1. το θέατρο «ΘΗΣΕΙΟΝ (ένα θέατρο για τις τέχνες)» και 2. το θέατρο «ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΗΣ». Ο πρώτος χώρος είναι ιδιωτικός και ο κύριος φορέας που το χρησιμοποιεί είναι το «Theseum Ensemble». Βρίσκεται στην περιοχή του Θησειού στην Αθήνα στην οδό Τουρναβίτου 7. Ο δεύτερος χώρος βρίσκεται στην περιοχή Κολωνός της Αθήνας, στην οδό Ακαδήμου 13. Την χρονική περίοδο της διεξαγωγής των μετρήσεων, χρησιμοποιούνταν από την πειραματική σκηνή του Εθνικού Θεάτρου. Όλος ο τεχνικός εξοπλισμός αυτού ανήκει στο Εθνικό Θέατρο, ενώ ο χώρος μόνο ανήκει σε ιδιώτη. Οι χώροι αυτοί είναι σε λειτουργία, έχουν μετατραπεί ορισμένα χαρακτηριστικά τους με εντολή του σκηνοθέτη για τις απαιτήσεις της παράστασης, και μπορούν να μεταβάλουν τα χαρακτηριστικά τους.

Στόχος μας είναι: 1. να παρατηρήσουμε την ακουστική συμπεριφορά του κάθε χώρου σε σχέση με τα πέντε προαναφερόμενα χαρακτηριστικά σε πραγματικές συνθήκες, 2. να διαπιστώσουμε τα πιθανά προβλήματα της ακουστικής του χώρου που απορρέουν από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, προβλήματα στα οποία αναφερθήκαμε και αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καθώς επίσης 3. να μελετήσουμε τις ήδη υπάρχουσες λύσεις ή να προτείνουμε νέες. Στις ενότητες 1 (α, β, γ) και 2 (α, β, γ) γίνει η παρουσίαση και η περιγραφή των χώρων που θα μελετηθούν, καθώς και των συσκευών που θα

χρησιμοποιηθούν για την διεξαγωγή αυτής της μελέτης. Επίσης, θα γίνει η θεωρητική μελέτη αυτών, θα δοθούν πρώτες εκτιμήσεις και θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις που έγιναν στους προαναφερόμενους χώρους. Στην ενότητα 3 θα αναλυθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και θα γίνει η συσχέτιση των δύο θεατρικών χώρων. Τέλος, στην ενότητα 4 θα γίνει η ανάλυση των μετρήσεων με βάση την θεωρία.

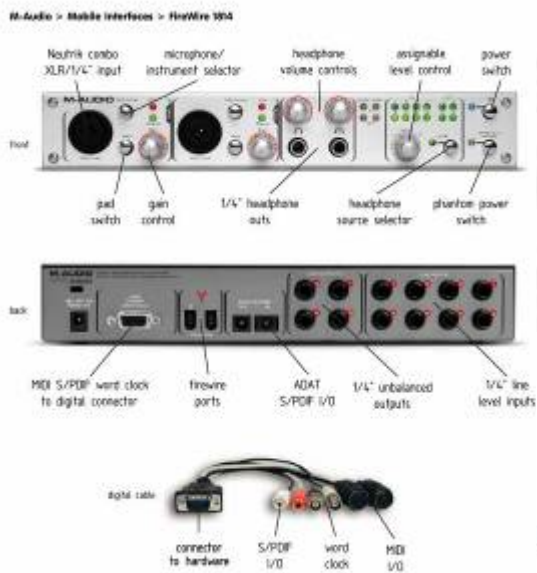
1 Θέατρο «Θησείων»

1.α Παρουσίαση – Περιγραφή του Χώρου και των Συσκευών

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων, βοήθησαν οι μηχανικοί ήχου του studio 19, Βασίλης Κουντούρης και Κώστας Μπάκος, στους οποίους ανήκει και ο τεχνικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και ο σύμβουλος του TEI Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής Δημήτρης Καμαρωτός. Οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στην συνέχεια. Ένας φορητός υπολογιστής (εικόνα 3.1δ) με το πρόγραμμα SIA SmartLive 5 και το πρόγραμμα SpectraLab Version 4.32.13 για την καταγραφή των μετρήσεων και την περαιτέρω μελέτη αυτών. Εξωτερική κάρτα ήχου firewire maudio 1814 με συχνότητα δειγματοληψίας 48 KHz στα 16 bit (εικόνα 3.1α). Επίσης χρησιμοποιήσαμε ένα πυκνωτικό μικρόφωνο peavey omni directional το PVR1 (εικόνα 3.1β), μια βάση, καλώδια και ένα μετρητή ηχητικής πίεσης (dB spl) (εικόνα 3.1γ).

Εικόνα 3.1

Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν
(α)



(β)



(δ)



(γ)



Το θέατρο «Θησείων» βρίσκεται ανάμεσα από δύο δρόμους και συνεπώς είναι επιρρεπής στους εξωγενείς ήχους. Επίσης στην περιοχή αυτή λειτουργούν νυχτερινά κέντρα και εργαστήρια ξυλείας. Επομένως το πρωί έχουμε πολλούς εξωτερικούς θορύβους λόγω των ξυλουργείων και λόγω της κυκλοφορίας στους δρόμους. Το βράδυ έχουμε αφενός

λιγότερο θόρυβο από την κυκλοφορία στο δρόμο αλλά έχουμε την μουσική από τα νυχτερινά κέντρα που ενισχύουν κυρίως ήχους χαμηλών συχνοτήτων. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι το βράδυ έχουμε κατά μέσο όρο λιγότερο θόρυβο από εξωγενείς παράγοντες, αλλά εξίσου (ή και περισσότερο) ενοχλητικό για τις παραστάσεις.

Το θέατρο αποτελείται από δύο κυρίως τμήματα (η κάτοψη του θεάτρου βρίσκεται στο παράρτημα εικόνα 1.1), την είσοδο (που λειτουργεί και ως προθάλαμος) του θεάτρου, και τον κύριο χώρο διεξαγωγής των παραστάσεων. Η είσοδος βρίσκεται από την μεριά που είναι ο ένας δρόμος (Τουρναβίτου 7) ενώ ο χώρος των παραστάσεων είναι στην μεριά του άλλου δρόμου. Η είσοδος προστατεύει την αίθουσα παραστάσεων από την μια πλευρά του θεάτρου και επομένως η εισροή εξωτερικού θορύβου από αυτή την πλευρά μειώνεται. Και οι δυο χώροι είναι ψηλοτάβανοι δίχως ορθογώνιο σχήμα και μεγάλο όγκο. Άρα το ηχητικό πεδίο είναι διάχυτο. Επομένως τα ηχητικά κύματα θα οδεύουν προς ακαθόριστες κατευθύνσεις. Μόνο δύο τοίχοι με διαστάσεις 11m και 14.5m είναι παράλληλοι μέσα στην κύρια αίθουσα (main hall) και έχουν απόσταση 10.5m. Άρα, θα πρέπει να προσέξουμε την συχνότητα των 32 Hz στην οποία μπορεί να παρουσιαστεί πιο εύκολα στάσιμο κύμα μέσα στην αίθουσα.

Στο σημείο που ενώνονται οι δύο αίθουσες υπάρχει μια μεγάλη κουρτίνα (από χοντρό ύφασμα και σκούρου χρώματος) που λειτουργεί ως πόρτα. Στην κυρίως αίθουσα υπάρχει μια πόρτα (πάχους 5 εκατοστών) που οδηγεί στον πίσω δρόμο και ακριβώς μπροστά από αυτήν υπάρχει κουρτίνα χοντρού υφάσματος, που καλύπτει όλη την πόρτα¹³. Στην κυρίως αίθουσα υπάρχει ένα πατάρι στην οροφή της, όπου παίζει και τον ρόλο του ηχοδιαχυτή στην αίθουσα. Εκεί βρίσκονται τα ηχεία χαμηλών συχνοτήτων (SUB). Το πατάρι καθώς και το ταβάνι έχουν σαν κύριο συστατικό τους το ξύλο. Τα τοιχώματα της αίθουσας δεν έχουν επενδυθεί με απορροφητικά υλικά, αλλά σε περίπτωση που χρειαστεί μπορεί να γίνει. Έτσι λοιπόν κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων το υλικό των τοιχωμάτων ήταν το μετόν, το οποίο σε ορισμένα σημεία ήταν βαμμένο, και πέτρα. Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής απορρόφησης θα είναι μικρότερος και επομένως, θα έχουμε μεγάλο ποσοστό ανακλώμενου ηχητικού σήματος από τα συγκεκριμένα υλικά. Ενώ το πάτωμα ήταν ξύλινο. Ο συντελεστής απορροφητικότητας των παραπάνω υλικών βρίσκεται στον παρακάτω πίνακα.

¹³ Οι κουρτίνες αυτές αφαιρούνται σε άλλες παραστάσεις στον ίδιο χώρο.

Πίνακας 3 (Συντελεστής απορρόφησης των κυρίως υλικών που βρίσκονται στην αίθουσα)

| Υλικό | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Κουρτίνες βαριές | 0.14 | 0.35 | 0.55 | 0.72 | 0.70 | 0.65 |
| Μπετόν | 0.36 | 0.44 | 0.31 | 0.29 | 0.39 | 0.25 |
| Μπετόν βαμμένο | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.08 |
| Πέτρα | 0.19 | 0.23 | 0.43 | 0.37 | 0.58 | 0.62 |
| Ξύλινο πάτωμα | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.07 |
| Ξύλο | 0.18 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |

(Πηγές: Σκαρλάτος 2003 σελ. 141, Κουλούρης -Πετρίδης 2000 σελ. 170)

Επειδή ο χώρος, όπως προαναφέραμε, ανήκει στην κατηγορία των μεγάλων χώρων, ο ήχος μέσα σε αυτόν θα είναι διάχυτος. Άρα δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση διαχυτών μέσα στον χώρο για περαιτέρω διάχυση της ηχητικής ενέργειας. Το τριγωνικό σχήμα της οροφής λειτουργεί σαν ανακλαστήρας μέσα στην αίθουσα και επίσης αποτρέπει την δημιουργία στάσιμων κυμάτων μέσα σ' αυτή. Στους μεγάλους χώρους συνήθως, ιδιαίτερη σημασία δίνεται στις τελευταίες σειρές ακροατών εφόσον ο ήχος εξασθενεί καθώς ταξιδεύει. Στο θέατρο αυτό έχουν τοποθετηθεί ηχεία στις τέσσερις γωνίες του χώρου και σε ύψος 6 μέτρων (τα ηχεία παραγωγής χαμηλών συχνοτήτων (sub) όπως προαναφέραμε βρίσκονται στο πατάρι, επάνω από την αίθουσα). Οι θεατές δεν έχουν συγκεκριμένη χωροθεσία αλλά ανάλογα τις απαιτήσεις του σκηνοθέτη μετακινούνται οι θέσεις τους, καθώς βρίσκονται επάνω σε κινητά πατώματα. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν ακόμη και γύρω από την σκηνή, ή ακόμη και μέσα σ' αυτή. Η τοποθέτηση των ηχείων σε αυτά τα σημεία βοηθάει γιατί έτσι μπορούν να καλύψουν καλύτερα οποιαδήποτε θέση στο ακροατήριο. Επίσης μπορούμε να κλείσουμε κάποια ηχεία, σε περίπτωση όπου όλοι οι θεατές τοποθετηθούν σε μια πλευρά.

Εφόσον, λοιπόν χρησιμοποιούνται ήδη ηχεία για την διεξαγωγή των θεατρικών παραστάσεων σε αυτόν τον χώρο, θα χρησιμοποιήσουμε κι εμείς αυτά για να κάνουμε τις μετρήσεις (και όχι κάποια άλλη πολύκαντευθνητική πηγή) για την κατανόηση της ηχητικής συμπεριφοράς του χώρου. Ο χρωματισμός του ήχου μέσα σε έναν χώρο είναι αναπόφευκτος. Πρέπει όμως να ξέρουμε σε ποιες περιοχές ο χρωματισμός του χώρου είναι πιο έντονος για να προσέχουμε να μην ενοχλούνται οι ακροατές.

1.β Θεωρητική Μελέτη Χώρου – Πρώτες Εκτιμήσεις

Το σχεδιάγραμμα του χώρου, η εικόνα 1.1, βρίσκεται στο παράρτημα. Σε αυτό φαίνονται οι διαστάσεις και το σχήμα του θεάτρου. Επίσης στην εικόνα 1.2 εμφανίζεται η οροφή και οι διαστάσεις αυτής ως προς το ύψος και πλάτος της.

Για ευκολία θα συμβολίσουμε τον τοίχο που βρίσκεται δεξιά της εισόδου της κύριας αίθουσας (Main Hall) με **A**. Τον τοίχο που βρίσκεται στην μεριά της εισόδου με **B**, τον διπλανό του (και απέναντι από τον **A**) με **Γ** και τον άλλον με **Δ**. Το πάτωμα με **E** και την οροφή με **Z**.

Η επιφάνεια **A** έχει 11.00m μήκος.

Η επιφάνεια **B** έχει 10.50m μήκος.

Η επιφάνεια **Γ** έχει 14.50m μήκος.

Η επιφάνεια **Δ** έχει 10.65m μήκος.

Το ύψος της αίθουσας είναι 9.50m

Το εμβαδόν της επιφάνειας **A** είναι ίσο με 99.00m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **B** είναι ίσο με 94.50m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **Γ** είναι ίσο με 130.50m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **Δ** είναι ίσο με 95.85m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **E** είναι ίσο με 130.00m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **Z** είναι ίσο με 145.00m^2

Ο όγκος του θεάτρου είναι 1235m^3

Ο συντελεστής απορρόφησης ενός τοίχου συνήθως δεν εξαρτάται μόνο από ένα υλικό. Και γι' αυτό πρέπει να εφαρμοστεί η διαδικασία για την εύρεση αυτού του συντελεστή (την οποία εξηγήσαμε στο κεφάλαιο 1 παράγραφος 4). Έτσι λοιπόν, ο μέσος συντελεστής απορρόφησης για τις παραπάνω επιφάνειες είναι ο εξής:

$$\text{Για το } \mathbf{A} - \bar{a}_1 = ((0.75 * 3.5 * 7) + (75.5 * 0.34)) / (24.5 + 75.5) = 0.280$$

$$\text{Για το } \mathbf{B} - \bar{a}_2 = 0.377$$

$$\text{Για το } \mathbf{Γ} - \bar{a}_3 = 0.403$$

$$\text{Για το } \mathbf{Δ} - \bar{a}_4 = 0.138$$

$$\text{Για το } \mathbf{E} - \bar{a}_5 = 0.056$$

$$\text{Για το } \mathbf{Z} - \bar{a}_6 = 0.106$$

Πρέπει να σημειωθεί πως για την εύρεση του μέσου συντελεστή απορρόφησης (αλλά και οπουδήποτε χρησιμοποιείται συντελεστής απορρόφησης κάποιου υλικού), πρέπει να χρησιμοποιείται ο συντελεστής απορρόφησης του υλικού που χρειάζεται για μια συγκεκριμένη συχνότητα. Εδώ έχει χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος του συντελεστή απορρόφησης από όλες τις συχνότητες και αυτό έχει χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε χρειάστηκε να τοποθετηθεί συντελεστής απορρόφησης κάποιου υλικού. Βλέπουμε πως οι μέσοι

συντελεστές απορρόφησης είναι σχετικά μικροί. Λογικό είναι, γιατί οι επιφάνειες στον χώρο φαίνονται πως δεν έχουν μεγάλη απορροφητικότητα.

Θα χρησιμοποιήσουμε λοιπόν, τα παραπάνω στοιχεία στον τύπο του Sabine (ο οποίος είναι: $RT_{60}=(0.167*V)/S*\alpha$) για να βρούμε τον χρόνο αντήχησης που θα μας δώσει για αυτή την αίθουσα.

$$RT_{60}=(0.167*V)/S*\alpha$$

$$RT_{60}=(0.167*1235)/$$

$$((99*0.28)+(94.5*0.377)+(130.5*0.403)+(95.85*0.138)+(130*0.056)+(145*0.106))=$$

$$RT_{60}=1.35 \text{ sec}$$

Η σχέση του W.S. Sabine μας έδωσε τον χρόνο $RT_{60}=1.35 \text{ sec}$. Είναι σχετικά καλός χρόνος αντήχησης για ένα θέατρο με τόσα κυβικά. Μη ξεχνάμε όμως ότι κατά την διάρκεια της παράστασης, ο χώρος γεμίζει με θεατές οι οποίοι έχουν απορρόφηση και θα μεταβάλουν τον χρόνο αντήχησης. Επίσης, ο όγκος του χώρου παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση που παρέχει ο αέρας. Επειδή όμως έχουν τοποθετηθεί ηχεία και στις τέσσερις γωνίες της σκηνής δεν συμπεριλήφθηκε αυτός ο παράγοντας στον τύπο του Sabine. Στην πραγματικότητα συμβάλουν και άλλοι παράγοντες στον χρόνο αντήχησης και τον διαμορφώνουν ανάλογα. Ο χρόνος 1.35 δευτερολέπτων αντήχησης για χώρο θεατρικής παράστασης δεν είναι κακός. Αντιθέτως, είναι ένας χρόνος που ωφελεί την μουσική και δεν αλλοιώνει την ομιλία. Όταν έχουμε μεγάλο χρόνο αντήχησης, όπως για παράδειγμα πάνω από 2 δευτερόλεπτα, τότε παρουσιάζεται πρόβλημα στην αντιληπτότητα του λόγου. Σε αυτόν τον χώρο, λόγω των πολλών κυβικών του, θα πρέπει οι ηθοποιοί να μιλάνε δυνατά για να μπορέσει το ηχητικό σήμα να φτάσει σε όλα τα σημεία του χώρου, όπου θα βρίσκονται οι ακροατές.

1.γ Ακουστικές Μετρήσεις του Χώρου

Για να είναι αξιόπιστες οι μετρήσεις θα πρέπει το μικρόφωνο να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη του 1 μέτρου από κάποιο τοίχο. Επειδή οι μετρήσεις μας είναι ενδεικτικές και όχι στατιστικές, θα πρέπει το μικρόφωνο να τοποθετηθεί στην θέση του θεατή όπου θα ήταν η ιδανικότερη. Πρέπει να υπάρχει σωστή αναλογία του απευθείας με το ανακλώμενο σήμα και φυσικά να υπερτερεί το απευθείας ηχητικό σήμα. Σε περίπτωση που θέλουμε να δούμε και άλλες θέσεις θεατών πως ανταποκρίνονται στα ηχητικά ερεθίσματα, θα πρέπει να περάσουμε στην στατιστική μελέτη παίρνοντας μετρήσεις από πολλά σημεία

του χώρου. Έτσι λοιπόν, το μικρόφωνο τοποθετήθηκε στο κέντρο περίπου της αίθουσας και σε ύψος 1.80 cm. Έγινε ισοστάθμιση στην ένταση των ηχείων στα 80 dBspl και ρυθμίσαμε και τον υπολογιστή στο ίδιο σημείο έντασης. Η ισοστάθμιση στον χώρο έγινε χρησιμοποιώντας φίλτρο A στον μετρητή ηχητικής πίεσης. Στο πρόγραμμα SIA SmaartLive 5 δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο φίλτρο, και αυτό για να μπορέσουμε να δούμε την πραγματική απόκριση του χώρου και όχι το πως θα την αντιλαμβανόταν ο άνθρωπος. Επίσης, τα φίλτρα συχνοτήτων (EQ) ήταν κλειστά κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Η αίθουσα ηχοβολήθηκε με ροζ θόρυβο¹⁴ εντός φάσης (στερεοφωνικό δηλ.). Περιμέναμε για ένα μικρό χρονικό διάστημα για να κατανεμηθεί όλη η ενέργεια στον χώρο και τότε καταγράφηκαν τα αποτελέσματα.

Όπως φαίνεται και στο γράφημα (παράρτημα, εικόνα 1.3 & 1.4) έχουμε μια πολύ καλή απόκριση συχνοτήτων από τον χώρο. Από τα 50 Hz έως τα 13 KHz παρατηρούμε πως το γράφημα δεν παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, εκτός από μια πτώση στα 100 Hz και μια μικρή άνοδο στα 6 KHz. Έπειτα έγινε ηχοβολήση στον χώρο με θόρυβο συχνοτικών περιοχών. Αυτό έγινε για να μπορέσουμε να δούμε πιο αναλυτικά την απόκριση του χώρου και επίσης, για να δούμε το ποσοστό επηρεασμού των λοιπών συχνοτήτων στο χώρο. Επιπλέον, αυτού του είδους οι μετρήσεις γίνονται για να ρυθμιστεί καλύτερα το γραφικό EQ (εάν υπάρχει). Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων φαίνονται στο παράρτημα εικόνες 1.5, 1.6, 1.7 και 1.8.

Στην συνέχεια έγινε λήψη του μέσου όρου του θορύβου που υπάρχει στην αίθουσα με κλειστές τις πόρτες και τα παράθυρα. Μετρήθηκε δηλαδή ο θόρυβος βάθους του πεδίου. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 1.9 του παραρτήματος. Όπως βλέπουμε και από την εικόνα, ο θόρυβος βάθους κυμαίνεται στα 61.8 dB. Στο επάνω γράφημα βλέπουμε πως μόνο σε ένα σημείο η ένταση φτάνει τα 71 dB περίπου. Πιθανότατα σε εκείνη την χρονική στιγμή να πέρασε κάποιο όχημα. Στο κάτω γράφημα φαίνεται η συχνοτική απόκριση του θορύβου βάθους της αίθουσας. Να υπενθυμίσω σε αυτό το σημείο ότι οι μετρήσεις έχουν γίνει χωρίς την χρήση φίλτρου A ή B ή C, γι' αυτό και παρατηρούμε αυξημένη ένταση στις χαμηλές συχνότητες γύρω από τα 45 Hz. Στην αμέσως επόμενη εικόνα του παραρτήματος (εικόνα 1.10) παρουσιάζεται ο θόρυβος βάθους του χώρου με ανοιχτές τις πόρτες. Φαίνεται καθαρά η διαφορά στην ένταση του θορύβου τώρα. Ο θόρυβος βάθους του πεδίου είναι τώρα 67.6 dB. Επίσης, σε αυτή την εικόνα δεν παρουσιάζεται κάποιο σημείο αυξημένης έντασης στο επάνω γράφημα. Αυτό σημαίνει πως εκείνη την χρονική στιγμή δεν έτυχε να περάσει κάποιο όχημα. Παρ' όλα αυτά ο θόρυβος έχει μεγαλύτερη τιμή τώρα. Στο κάτω γράφημα βλέπουμε την συχνοτική απόκριση του θορύβου. Παρατηρούμε πως οι υψηλές συχνότητες δεν έχουν

¹⁴ Ο ροζ και ο λευκός θόρυβος έχουν αναλυθεί στο πρώτο κεφάλαιο δεύτερη ενότητα (Χαρακτηρίστηκα ήχου)

επηρεαστεί. Αντιθέτως οι χαμηλές έχουν αυξησει κατά πολύ την ένταση τους. Η χοντρή πόρτα και η κουρτίνα μπροστά από αυτή φαίνεται πως μειώνουν σημαντικά την ένταση εξωγενών ήχων.

Για να δούμε καλύτερα το πόσο επηρεάζεται ο χώρος από τους εξωγενείς παράγοντες, τοποθετήθηκε μια μηχανή στον δρόμο από την πλευρά που είναι η σκηνή (εικόνα 1.11) και έπειτα από την άλλη μεριά (στην οδό Τουρναβίτου). Με την μηχανή να δουλεύει πρώτα στις 1000 στροφές ανά λεπτό (RPM) και μετά στις 3000 στροφές, μετρήσαμε την συχνοτική απόκριση και την έντασή της, τοποθετώντας το μικρόφωνο στο 1m από την εξάτμιση αυτής. Έπειτα, το τοποθετήσαμε στην κυρίως αίθουσα στην θέση όπου ήταν και προηγουμένως. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να δούμε συγκεκριμένα εξωτερικά συμβάντα πως επηρεάζουν το εσωτερικό χώρο του θεάτρου.

Στην εικόνα 1.12 φαίνεται η συχνοτική απόκριση της μηχανής καθώς και η έντασή της, ενώ δουλεύει στις 1000 στροφές ανά λεπτό (rpm). Παρατηρούμε ότι η έντασή της είναι στα 88 dBspl και ότι στην συχνοτική απόκριση υπάρχουν ορισμένες συχνότητες που ξεχωρίζουν. Όπως για παράδειγμα, τα 20 Hz, 40 Hz, 80 Hz και 160 Hz. Έπειτα δεν ξεχωρίζουν πολύ οι συχνότητες, αλλά υπάρχει μια ομαλοποίηση στην ένταση αυτών. Για πολύ λίγο διακρίνονται οι συχνότητες των 320 Hz, 500Hz, 1 KHz, 4.5 KHz και 10KHz. Στην επόμενη εικόνα (1.13) παρουσιάζεται πάλι η συχνοτική απόκριση και η ένταση της μηχανής αλλά στις 3000 στροφές ανά λεπτό (rpm). Παρατηρούμε πως η ένταση της μηχανής σ' αυτή την περίπτωση σε γενικές γραμμές παρουσιάζεται να είναι πιο αυξημένη. Περιορίζεται όμως στα 87.1 dB και αυτό οφείλεται στην έλλειψη χαμηλών συχνοτήτων. Λόγω της αύξησης των στροφών έχει μετατοπιστεί το ηχητικό φάσμα σε πιο υψηλές συχνότητες. Σε όλη σχεδόν την διάρκεια αυτής της μέτρησης η έντασή της βρίσκεται κάτω από τα 83 dBspl. Προς το τέλος όμως, ανεβαίνει ο γενικός δείκτης καταμέτρησης στα 87.1 dBspl, , γεγονός που οφείλεται ίσως στην διέλευση ενός οχήματος.. Η συχνοτική απόκριση της μηχανής, όπως είναι φυσικό, τώρα διαφέρει¹⁵. Διακρίνονται πολύ καθαρά οι συχνότητες 65 Hz, 130 Hz, 190 Hz, και 550 Hz. Ορισμένες λιγότερο διακριτές συχνότητες είναι οι εξής: 45 Hz, 95 Hz και 5KHz. Εδώ έπρεπε να είχαμε περισσότερο διακριτές συχνότητες, αλλά το δυνατό ηχητικό συμβάν πρόσθεσε και αυτό τις συχνότητες του και μάσκαρε τις συχνότητες της μηχανής μας. Έχουμε όμως αρκετά στοιχεία. Ξέρουμε τον θόρυβο βάθους του πεδίου μέσα στην αίθουσα και έχουμε ένα συγκεκριμένο ηχητικό συμβάν έξω από αυτή. Ας να δούμε τώρα πως επηρεάζει αυτό την αίθουσα.

¹⁵ Επειδή δεν χρησιμοποιούμε φίλτρα A, B, ή C, η ένταση της μηχανής στις 1000 στροφές (RPM) φαίνεται να είναι πιο αυξημένη. Στην πραγματικότητα όμως οι χαμηλές συχνότητες είναι αυτές που έδωσαν την ένταση των 88 dB στην πρώτη μέτρηση.

Η μηχανή τοποθετείται στον δρόμο που βρίσκεται πλάι στην αίθουσα όπου διαδραματίζονται οι παραστάσεις. Το μικρόφωνο είναι στην θέση όπου είχαν γίνει και οι λοιπές μετρήσεις μέσα στον χώρο, στο κέντρο της αίθουσας. Με την μηχανή να βρίσκεται στις 1000 στροφές ανά λεπτό (rpm), καταγράφεται η πρώτη μέτρηση η οποία είναι η εικόνα 1.14. Παρατηρούμε πως η ένταση έχει μειωθεί κατά 28.1 dBspl, έχει φτάσει δηλ. τα 59.9 dBspl, αρκετά σημαντική μείωση της έντασης. Στην περιοχή των συχνοτήτων παρατηρούμε πως οι χαμηλές συχνότητες λόγω της μεγάλης τους ενέργειας, έχουν περάσει στο εσωτερικό του θεάτρου αλλά η έντασή τους έχει ελαττωθεί σημαντικά. Μόνο οι συχνότητες από 20 έως 200 Hz είναι πάνω από τα 32 dBspl. Η συχνότητες 20 Hz και 40 Hz είναι ευδιάκριτες ενώ οι υπόλοιπες δεν ξεχωρίζουν. Έπειτα ανεβάζουμε τις στροφές του κινητήρα στις 3000 στροφές (rpm). Το αποτέλεσμα αυτής της μέτρησης βρίσκεται στην εικόνα 1.15. Σ' αυτή την περίπτωση η εξασθένηση σε dB είναι 21.9 dBspl. παρατηρούμε πως τώρα έχουμε μικρότερη εξασθένηση απ' ό τι στις 1000 στροφές (rpm). Επίσης, οι συχνότητες που είναι πάνω από τα 32 dB είναι περισσότερες (20Hz - 5 KHz περίπου). Οι συχνότητες που είναι ευδιάκριτες τώρα είναι οι 65Hz, 130Hz και 190Hz, ενώ οι υπόλοιπες δεν ξεχωρίζουν.

Στην συνέχεια η μηχανή τοποθετείται στην οδό Τουρναβίτου και ακολουθείται η ίδια διαδικασία και πάλι. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων βρίσκονται στις εικόνες 1.16 και 1.17 για τις 1000 και 3000 στροφές (rpm) αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε πτώση 27.7 dBspl στην ένταση του σήματος. Έχουμε δηλαδή 60.3 dBspl μέσα στην αίθουσα. Στην περιοχή των συχνοτήτων έχουμε σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα με την περίπτωση όπου η μηχανή ήταν στον προηγούμενο δρόμο. Τα 20Hz είναι αυτά που ξεχωρίζουν καθαρά, ενώ τα 40Hz όχι με τόση ευκολία. Επίσης, παρουσιάζονται δυο άλλες ευδιάκριτες συχνότητες, τα 65Hz και 100Hz οι οποίες μπορεί να προέρχονται από κάποια άλλη εξωτερική πηγή θορύβου. Το γεγονός ότι η ένταση σ' αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή η πόρτα έχει παράθυρα και ίσως δεν είναι το ίδιο παχιά με την άλλη πόρτα. Με την μηχανή τώρα στις 3000 στροφές (rpm), παρατηρούμε πως η ένταση του ηχητικού πεδίου μέσα στην αίθουσα είναι στα 63.5 dBspl. Έχουμε δηλαδή εξασθένηση 23.6 dBspl από την μηχανή έως την κυρίως αίθουσα. Οι συχνότητες οι οποίες είναι ευδιάκριτες είναι τα 45Hz, 65Hz και 130Hz. Παρατηρούμε λοιπόν, πως από αυτόν τον δρόμο εισέρχονται με περισσότερη ευκολία ανεπιθύμητοι ήχοι. Κυρίως όμως λόγω της απόστασης αυτού του δρόμου με τον κυρίως χώρο διεξαγωγής θεατρικών παραστάσεων, παρουσιάζεται εξασθένηση αυτών με αποτέλεσμα η αίθουσα να επηρεάζεται περίπου το ίδιο και από τους δυο δρόμους. Να σημειώσουμε εδώ πως η κουρτίνα που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο foyer και στην κυρίως αίθουσα ήταν ανοιχτή. Και αυτό για να έχουμε στα αποτελέσματά μας την εσχάτη των περιπτώσεων.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ένας δυνατός κρότος μέσα στην αίθουσα έτσι ώστε μπορούμε να καταγράψουμε τον χρόνο αντήχησης αυτής. Ο κρότος πρέπει να είναι δυνατός για να έχει διαφορά τουλάχιστον 60dBspl από τον θόρυβο βάθους. Έτσι θα έχουμε καλύτερα αποτελέσματα και θα μπορούμε να διακρίνουμε κατευθείαν τον χρόνο αντήχησης. Τον κρότο αυτό, τον καταγράψαμε στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και η επεξεργασία του έγινε στο SpectraLab. Στο παράρτημα και στην εικόνα 1.18 α και 1.18 β φαίνεται ένα χαρακτηριστικό δείγμα από την επεξεργασία των κρότων μέσω του SpectraLab. Παρατηρούμε πως η ένταση του κρότου είναι στα 118.595dBspl και για να βρούμε το RT60 θα πρέπει να κατεβούμε στα 58.595dBspl. Αυτή η πτώση γίνεται στα 1.17 δευτερόλεπτα περίπου. Άρα ο χρόνος αντήχησης RT60 στην αίθουσα είναι 1.094 sec.

Στην συνέχεια έγινε καταγραφή της κατάταξης του θορύβου σύμφωνα με τις καμπύλες NC μέσω του προγράμματος SIA SmartLive 5. Σύμφωνα με αυτές σε κάθε χώρο αντιστοιχεί μια τιμή NC η οποία προσδίδει και τον χαρακτηρισμό αυτής (Σκαρλάτος 2003 σελ. 402). Και σε αυτή την περίπτωση οι μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε είναι ενδεικτικές και όχι στατιστικές. Οι μετρήσεις για την εύρεση καμπύλων NC και γενικά της εύρεσης του θορύβου, που περνάει από το εξωτερικό περιβάλλον στον εσωτερικό χώρο, χρειάζονται στατιστικές μετρήσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτές οι μετρήσεις είναι εβδομαδιαίες, μηνιαίες, ακόμη και χρόνιες. Στον χώρο έγιναν τρεις μετρήσεις αυτών των καμπυλών. Η πρώτη όταν είχαμε το χαμηλότερο δυνατό θόρυβο, η δεύτερη σε μια μέση κατάσταση και η τρίτη όταν υπήρχε αρκετός εξωτερικός θόρυβος. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στις εικόνες 1.19, 1.20 και 1.21 αντίστοιχα. Όπως βλέπουμε και από τα γραφήματα ο χώρος αυτός με NC 36-42 χαρακτηρίζεται σχετικά θορυβώδης σύμφωνα με τον Baranek (1988) (Σκαρλάτος 2003 σελ. 402). Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν στο «Από μηχανής» θέατρο.

2 Θέατρο «Από μηχανής»

2.α Παρουσίαση – Περιγραφή του Χώρου και Συσκευών

Όπως και στο προηγούμενο θέατρο «Θησείων» έτσι και εδώ, στην διεξαγωγή των μετρήσεων και σε αυτόν τον χώρο, βοήθησαν οι μηχανικοί ήχου του studio 19 Βασίλης Κουντούρης και Κώστας Μώκος στους οποίους ανήκει και ο τεχνικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και ο σύμβουλος του TEI Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής Δημήτρης Καμαρωτός. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ίδιες συσκευές με το θέατρο «Θησείων» οι οποίες παρουσιάστηκαν στην ενότητα 1.α του τρίτου κεφαλαίου.

Το θέατρο «Από μηχανής» βρίσκεται στην οδό Ακαδήμου 13, ο οποίος είναι πεζόδρομος. Επομένως οι εξωτερικοί θόρυβοι δεν είναι πολλοί. Σε αυτόν τον πεζόδρομο υπάρχει ένα νυχτερινό κέντρο το οποίο βρίσκεται σχεδόν απέναντι από το θέατρο. Άρα το βράδυ ίσως υπάρχει περισσότερος θόρυβος απ' ό,τι τις πρωινές ώρες.

Το θέατρο αποτελείται από δύο τμήμα (η κάτοψη του θεάτρου βρίσκεται στο παράρτημα εικόνα 1.22). Το πρώτο μέρος είναι ο προθάλαμος ο οποίος είναι δίπλα ακριβώς από την αίθουσα και έχει μικρό όγκο. Το δεύτερο μέρος είναι ο χώρος διεξαγωγής των θεατρικών παραστάσεων. Και οι δύο χώροι έχουν άμεση πρόσβαση στον πεζόδρομο. Επίσης ανάμεσα στον προθάλαμο και στην κεντρική αίθουσα υπάρχει μια βαριά πόρτα, η οποία σε πολύ λίγες περιπτώσεις χρησιμοποιείται από το κοινό. Βρίσκεται εκεί για τις θεατρικές απαιτήσεις της κάθε παράστασης. Το κοινό συνήθως χρησιμοποιεί την είσοδο από τον πεζόδρομο για την κύρια αίθουσα. Οι χώροι εδώ δεν έχουν αρκετά μεγάλο όγκο και επίσης ο χώρος διεξαγωγής των παραστάσεων είναι ορθογώνιος. Σύμφωνα με τις διαστάσεις του θα πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα τις εξής συχνότητες καθώς και τις αρμονικές τους. Και αυτές είναι τα 20.9 Hz, 37.3 Hz και 79.8 Hz για το μήκος, πλάτος και ύψος αντίστοιχα.

Η θέση των εισόδων είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται πολύ καλή μόνωση του χώρου από τα εξωτερικά συμβάντα. Η είσοδος από την μεριά του φουαγιέ κοιτάει προς διαφορετική κατεύθυνση από τον πεζόδρομο, βρίσκεται αρκετά μακριά απ' αυτόν και μεταξύ αυτής και του πεζόδρομου παρεμβάλλεται και μια δεύτερη πόρτα (η πόρτα του φουαγιέ). Η είσοδος η οποία βρίσκεται επί του πεζόδρομου, βρίσκεται και στην πίσω μεριά των θέσεων των θεατών με αποτέλεσμα να υφίσταται σημαντική μείωση εξωγενών ήχων. Οι πόρτες των εισόδων είναι βαριές με πάχος τεσσάρων εκατοστών. Το θέατρο αυτό χρησιμοποιεί πολύκαναλο ήχο 5.1 με τα ηχεία να βρίσκονται γύρω από τις θέσεις των θεατών και το sub επάνω στην σκηνή. Οι θεατές εδώ βρίσκονται σε ένα σημείο με την διάταξη των θέσεων σε κεκλιμένο επίπεδο όπως περίπου το σχεδίασε ο Scott Russell. Η σκηνή αποτελείται από ξύλο ενώ το πίσω μέρος της είναι γυψοσανίδα με παράθυρα σε ορισμένα σημεία. Το κεκλιμένο επίπεδο αποτελείται από ξύλο ενώ οι θέσεις των θεατών κατατάσσονται στην κατηγορία της πολυθρόνας με ελαφριά επένδυση. Το κεκλιμένο αυτό επίπεδο λειτουργεί και σαν διαχυτής μέσα στην αίθουσα και εμποδίζει σε ένα μεγάλο ποσοστό την δημιουργία στάσιμων κυμάτων. Τα τοιχώματα της αίθουσας δεν έχουν επενδυθεί με απορροφητικά υλικά, αλλά σε περίπτωση που οι απαιτήσεις μιας παράστασης είναι τέτοιες, μπορούν να τοποθετηθούν. Έτσι λοιπόν κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων το υλικό των τοιχωμάτων ήταν το μπετόν το οποίο ήταν βαμμένο (σε μαύρο χρώμα). Ο συντελεστής απορροφητικότητας των κυριοτέρων υλικών της αίθουσας θεατρικών παραστάσεων «Από μηχανής» βρίσκεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4 (Συντελεστής απορρόφησης των κυρίων υλικών που βρίσκονται στην αίθουσα)

| Υλικό | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Μπετόν βαμμένο | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.08 |
| Ξύλινο πάτωμα | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.07 |
| Ξύλο | 0.18 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.07 |
| Γυαλί παραθύρου | 0.35 | 0.25 | 0.18 | 0.12 | 0.07 | 0.04 |
| Γυψοσανίδα | 0.15 | 0.30 | 0.30 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| Πολυθρόνα m ² | 0.20 | 0.24 | 0.56 | 0.78 | 0.88 | 0.85 |

(Πηγές: Σκαρλάτος 2003 σελ. 141, Κουλούρης -Πετρίδης 2000 σελ. 170)

Η αίθουσα ανήκει στην κατηγορία μεσαίων χώρων, λόγω των κυβικών της. Το ορθογώνιο σχήμα της την κάνει πιο ευαίσθητη σε ορισμένες συχνότητες, οι οποίες είναι προβλέψιμες, κατά κάποιο τρόπο, και έχουν προαναφερθεί. Το κεκλιμένο σχήμα της εξέδρας των θεατών αλλάζει κάπως το σχήμα της αίθουσας, αλλά αυτό δεν είναι αρκετό στο να εμποδίσει την δημιουργία στάσιμων κυμάτων μέσα σ' αυτή. Η οροφή είναι γεμάτη από προβολείς και φώτα τα οποία παίζουν και τον ρόλο των διαχυτών μέσα στην αίθουσα. Επίσης, η χρήση ηχητικού συστήματος 5.1 ηχείων μέσα στην αίθουσα, βοηθάει στην καλύτερη ηχητική κάλυψη των θέσεων των ακροατών. Είναι και αυτό ένα θέατρο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει μικρόφωνα για την βελτίωση ορισμένων παραγόντων και για την ενίσχυση ακουστικών φαινομένων με μικρή ένταση.

Από τα ηχεία αυτά λοιπόν, θα χρησιμοποιηθούν τα δυο μπροστινά (αριστερό - δεξί) για την διεξαγωγή των μετρήσεων. Ο χρωματισμός του σήματος από τα ηχεία, υφίσταται. Σε αυτόν τον χώρο όμως μπορεί να επιφέρει λάθος ακουστικό αποτέλεσμα, λόγω της ιδιομορφίας του χώρου. Με την διεξαγωγή των μετρήσεων και με την χρησιμοποίηση αυτής της ηχητικής εγκατάστασης (και όχι κάποια άλλης πολυκαντευθυντικής πηγής), θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε κατά πόσο είναι κατάλληλη και δεν αλλοιώνει το ακουστικό αποτέλεσμα.

2.β Θεωρητική Μελέτη Χώρου – Πρώτες Εκτιμήσεις

Το σχεδιάγραμμα του χώρου, εικόνα 1.22, βρίσκεται στο παράρτημα. Εκεί διακρίνονται το σχήμα και οι διαστάσεις αυτού. Όπως φαίνεται και από το σχήμα η κάθε πλευρά του θεάτρου συμβολίζεται και με ένα γράμμα. Το πάτωμα θα έχει το γράμμα **E** και η οροφή το **Z**. Πρέπει να διευκρινιστεί, πως το ύψος της **Δ** πλευράς είναι 1.7m και αυτό γιατί πιο κάτω υπάρχει το κεκλιμένο επίπεδο των θέσεων των θεατών. Επίσης, τα τοιχώματα παραπλεύρως του κεκλιμένου επιπέδου δεν λαμβάνονται υπόψη στα εμβαδά των

τοιχωμάτων που τα περιέχουν. Επομένως, ο χώρος πίσω από τις θέσεις των θεατών δεν θα ληφθεί υπόψη στον όγκο της αίθουσας.

Η επιφάνεια **A** έχει 16.40m μήκος.

Η επιφάνεια **B** έχει 9.20m μήκος.

Η επιφάνεια **Γ** έχει 16.40m μήκος.

Η επιφάνεια **Δ** έχει 9.20m μήκος.

Το ύψος της αίθουσας είναι 4.30m

Το εμβαδόν της επιφάνειας **A** είναι ίσο με 59.08m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **B** είναι ίσο με 39.56m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **Γ** είναι ίσο με 59.08m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **Δ** είναι ίσο με 15.64m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **E** είναι ίσο με 154.28m^2

Το εμβαδόν της επιφάνειας **Z** είναι ίσο με 150.88m^2

Ο όγκος του θεάτρου είναι 543.536m^3

Ο μέσος συντελεστής απορρόφησης για τις παραπάνω επιφάνειες είναι οι εξής:

Για το **A** – $\bar{\alpha}_1 = ((32.68 * 0.325) + (26.24 * 0.075)) / 59.08 = 0.213$

Για το **B** – $\bar{\alpha}_2 = 0.312$

Για το **Γ** – $\bar{\alpha}_3 = 0.213$

Για το **Δ** – $\bar{\alpha}_4 = 0.330$

Για το **E** – $\bar{\alpha}_5 = 0.075$

Για το **Z** – $\bar{\alpha}_6 = 0.564$

Πρέπει να σημειωθεί, πως έχει χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος του συντελεστή απορρόφησης για όλες τις συχνότητες και αυτό έχει χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε χρειάστηκε να τοποθετηθεί συντελεστής απορρόφησης κάποιου υλικού. Παρατηρούμε πως υπάρχουν πολλές επιφάνειες στον χώρο με μικρή απορροφητικότητα. Όμως και ο όγκος του θεάτρου είναι μικρός. Έτσι λοιπόν, θα χρησιμοποιήσουμε τώρα τα παραπάνω στοιχεία στον τύπο του Sabine (ο οποίος είναι: $RT_{60} = (0.167 * V) / (S * \alpha)$) για να δούμε τον χρόνο αντήχησης θα μας δώσει για αυτή την αίθουσα.

$$RT_{60} = (0.167 * V) / (S * \alpha)$$

$$RT_{60} = (0.167 * 543.536) /$$

$$((59.08 * 0.213) + (39.56 * 0.312) + (59.08 * 0.213) + (15.64 * 0.330) + (150.88 * 0.075) + (84.364 * 0.564)) =$$

$$RT_{60} = 0.894 \text{ sec}$$

Η σχέση του W.S. Sabine μας έδωσε τον χρόνο $RT_{60}=0.894$ sec. Είναι ένας αρκετά καλός χρόνος αντήχησης για μια αίθουσα σαν κι αυτή. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως, πως κατά την διάρκεια της παράστασης το θέατρο γεμίζει με κόσμο και επομένως λόγω της μεγαλύτερης απορρόφησης ο χρόνος αντήχησης θα μειωθεί κι άλλο.

2.γ Ακουστικές Μετρήσεις του Χώρου

Οι μετρήσεις στον χώρο αυτό γίνανε με τον ίδιο τρόπο και με τα ίδια μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν και στο θέατρο «Θησείων». Έτσι, θα μπορέσουμε στην συνέχεια να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτών. Το μικρόφωνο τοποθετήθηκε στην πλευρά του θεάτρου όπου κάθονται οι θεατές και στο κέντρο αυτής. Για την διεξαγωγή των μετρήσεων δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα ηχεία του 5.1 συστήματος, αλλά μόνο το αριστερό και δεξί ηχείο όπως επίσης και το ηχείο χαμηλών συχνοτήτων (sub).

Οι πρώτες μετρήσεις έγιναν χωρίς το ηχείο χαμηλών συχνοτήτων (sub), και είναι η απόκριση του χώρου σε ροζ θόρυβο και σε ανάλυση 1/3 οκτάβας και σε 1/12 ανάλυση οκτάβας. Τα γραφήματα αυτών βρίσκονται στο παράρτημα, εικόνες 1.23 και 1.24. Παρατηρούμε πως από τα 40 Hz έως τα 13 KHz το γράφημα δεν παρουσιάζει πολύ έντονες διακυμάνσεις, εκτός από τα 85 Hz που παρουσιάζουν μια πτώση, τα 100 Hz και τα 2.5 KHz που παρουσιάζουν άνοδο. Αυτά διακρίνονται καλύτερα στο γράφημα 1.24 όπου η ανάλυση είναι 1/12. Στην συνέχεια τέθηκε σε λειτουργία το sub και ξανάγινε η ηχοβόλιση του χώρου με ροζ θόρυβο. Το αποτέλεσμα αυτής της μέτρησης βρίσκεται στο γράφημα 1.25. Παρατηρούμε πως τώρα είναι πιο ενισχυμένη η περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων και ιδιαίτερα η συχνότητα γύρω από τα 50Hz. Επίσης, τα 85 Hz δεν παρουσιάζουν τόσο μεγάλη βύθιση στην έντασή τους. Και γενικότερα έχει ομαλοποιηθεί κάπως η κατάσταση. Έπειτα έγινε ηχοβόλιση στον χώρο με θόρυβο συχνοτικών περιοχών. Αυτό έγινε για να μπορέσουμε να δούμε πιο αναλυτικά την απόκριση του χώρου καθώς επίσης για να δούμε κατά πόσο επηρεάζονται και οι λοιπές συχνότητες στον χώρο. Έτσι θα μπορούμε να ρυθμίσουμε καλύτερα το γραφικό EQ σε περίπτωση που αυτό είναι δυνατό. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων φαίνονται στο παράρτημα εικόνες 1.26, 1.27, 1.28 και 1.29.

Στην συνέχεια έγινε λήψη του μέσου όρου του θορύβου που υπάρχει στην αίθουσα με κλειστές τις πόρτες. Μετρήθηκε δηλαδή, ο θόρυβος βάθους του πεδίου. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 1.30 του παραρτήματος. Όπως βλέπουμε και από την εικόνα, ο θόρυβος βάθους κυμαίνεται στα 48.2dB. Παρατηρούμε, πως οι χαμηλές συχνότητες έχουν αυξημένη ένταση, αλλά οι μετρήσεις έχουν γίνει χωρίς την χρήση κάποιου φίλτρου (A, B,

C). Στην εικόνα 1.31 παρουσιάζεται ο θόρυβος βάθους του χώρου με ανοιχτή την πόρτα του φουαγιέ. Ο θόρυβος βάθους κυμαίνεται τώρα στα 58.5 dB. Επίσης, παρατηρούμε πως οι χαμηλές συχνότητες δεν έχουν επηρεαστεί τόσο πολύ. Αντιθέτως, οι συχνότητες πάνω από τα 180 Hz έχουν αυξηθεί κατά πολύ. Επομένως, η πόρτα αυτή συμβάλει σημαντικά στην ηχομόνωση του εσωτερικού του θεάτρου από το φουαγιέ.

Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε ένας δυνατός κρότος μέσα στην αίθουσα έτσι ώστε μπορούμε να καταγράψουμε τον χρόνο αντήχησης αυτής. Ο κρότος πρέπει να είναι δυνατός για να έχει διαφορά τουλάχιστον 60dBspl από τον θόρυβο βάθους του χώρου. Έτσι θα έχουμε καλύτερα αποτελέσματα και θα μπορέσουμε να διακρίνουμε κατευθείαν τον χρόνο αντήχησης. Τον κρότο αυτό τον καταγράψαμε στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και η επεξεργασία του έγινε στο SpectraLab. Στην εικόνα 1.32 α και 1.32 β φαίνεται ένα χαρακτηριστικό δείγμα από την επεξεργασία των κρότων μέσω του SpectraLab. Παρατηρούμε πως η ένταση του κρότου είναι στα 118.642 dBspl και για να βρούμε το RT60 θα πρέπει να κατεβούμε στα 58.642dBspl. Αυτή η πτώση επιτυγχάνεται στα 0.58 δευτερόλεπτα περίπου. Άρα ο χρόνος αντήχησης RT60 στην αίθουσα είναι 0.572 sec.

Στην συνέχεια έγινε καταγραφή της κατάταξης του θορύβου σύμφωνα με τις καμπύλες NC μέσω του προγράμματος SIA SmaartLive 5. Στον χώρο έγιναν δυο μετρήσεις αυτών των καμπύλων. Η πρώτη όταν είχαμε την χαμηλότερη στάθμη θορύβου και η δεύτερη για την πιο υψηλή στάθμη θορύβου. Τα αποτελέσματα βρίσκονται στις εικόνες 1.33 και 1.34 αντίστοιχα. Όπως βλέπουμε και από τα γραφήματα ο χώρος αυτός με NC 24 χαρακτηρίζεται ως πολύ ήσυχος σύμφωνα με τον Baranek (1988) (Σκαρλάτος 2003 σελ. 402).

3 Ανάλυση Μετρήσεων

Ξεκινώντας, πρέπει να επισημάνουμε πως τα γραφικά EQ που υπήρχαν στους χώρους όπου έγιναν οι μετρήσεις, δεν ήταν σε λειτουργία. Έτσι θα φανεί η πραγματική απόκριση του κάθε χώρου και θα μπορέσει να γίνει καλύτερα η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης, και οι δύο χώροι που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή αυτής της εργασίας, φιλοξενούσαν μια θεατρική παράσταση τροποποιώντας τους χώρους αυτούς σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους. Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργικότητας των τροποποιήσεων του χώρου και των σκηνικών, καθώς επίσης και για την καλύτερη κατανόηση της χρήσης αυτών των χώρων, έγινε η παρακολούθηση αυτών των θεατρικών παραστάσεων. Όλοι χώροι έχουν προτερήματα αλλά και ελαττώματα. Αυτοί όμως έχουν την δυνατότητα να προσαρμόζονται πολύ πιο εύκολα στις απαιτήσεις του σκηνοθέτη (εάν αυτές βρίσκονται σε λογικά πλαίσια!).

Έτσι λοιπόν, ορισμένα μειονεκτήματα, μέσα από την σκηνοθεσία και το όλο στήσιμο του θεάτρου, παρουσιάζονται σαν να έχουν γίνει επίτηδες με αυτόν τον τρόπο. Στην συνέχεια θα δοθούν οι όποιες τέτοιες παρατηρήσεις έγιναν για το θέατρο «Θησείων» και το θέατρο «Από μηχανής».

Θέατρο «Θησείο»

Ξεκινώντας από τις μετρήσεις στους χώρους αυτούς και συγκεκριμένα στο θέατρο «Θησείων», στα γραφήματα για την απόκριση του χώρου, βλέπουμε πως η 1/3 ανάλυση δεν μας δίνει τόσο ξεκάθαρα αποτελέσματα. Υπάρχουν συχνοτικές περιοχές όπου έχουν πρόβλημα και λόγω της ανάλυσης, ομαλοποιούνται και δεν φαίνονται ξεκάθαρα. Παρ' όλα αυτά όμως, τα 100Hz που παρουσιάζουν μια μείωση της ενέργειάς τους και τα 6 KHz που παρουσιάζουν μια άνοδο, φαίνονται ξεκάθαρα και στις δυο αναλύσεις της απόκρισης του χώρου. Καλύτερα όμως στην δεύτερη. Γι' αυτό και οι επόμενες μετρήσεις έγιναν σε ανάλυση 1/12. Αυτές οι διακυμάνσεις της ενέργειας μπορούν να βελτιωθούν με την χρήση γραφικού ισοσταθμητή (EQ). Για την καλύτερη ρύθμιση αυτού όμως θα πρέπει να ακολουθήσουμε μια πιο έγκυρη μέθοδο. Έτσι λοιπόν, διαχέουμε στον χώρο θόρυβο συγκεκριμένων συχνοτικών περιοχών (και όχι συγκεκριμένες συχνότητες) καταγράφοντας την απόκριση αυτού. Με αυτό τον τρόπο βλέπουμε και σε ποιο ποσοστό επηρεάζονται και οι άλλες συχνότητες που δεν εμπεριέχονται στο φάσμα θορύβου που κάθε φορά μετράμε. Στο φάσμα θορύβου 20 Hz – 220 Hz, παρατηρούμε μια πολύ καλή απόκριση του χώρου χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις στην μετρούμενη περιοχή. Η περιοχή γύρω από τα 32 Hz, βλέπουμε πως παρουσιάζει μια εκδήλωση της ενέργειάς της, μιας και όπως είπαμε είναι η συχνότητα η οποία μπορεί πιο εύκολα να παρουσιάσει στάσιμο κύμα, λόγω της παραλληλότητας των Α και Γ τοίχων (πλάτους 11.00m και 14.50m αντίστοιχα). Στην επόμενη ηχοβόλιση του χώρου χρησιμοποιήθηκε θόρυβος 220 Hz – 1000 Hz. Και σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε πως η περιοχή γύρω στα 32 Hz περίπου είναι οξυμένη καθώς επίσης και οι αρμονικές αυτής (64 Hz και 128 Hz περίπου). Στην προηγούμενη μέτρηση αυτό δεν μπορούσε να φανεί, γιατί οι αρμονικές ήταν μέσα στο φάσμα θορύβου που χρησιμοποιούσαμε. Στην ηχοβόλιση του χώρου με θόρυβο 1 KHz – 7 KHz παρατηρούμε μια πιο ήπια κατάσταση. Στα 22 Hz παρατηρούμε έναν άλλον συντονισμό με αρμονική στα 44 Hz. Πάντως η ένταση αυτών είναι πολύ χαμηλή και με την χρήση του φίλτρου Α εξαλείφονται. Στην ηχοβόλιση με θόρυβο 7 KHz – 16 KHz παρατηρούμε πως εξακολουθούμε να έχουμε συντονισμό στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων. Αυτή την φορά είναι στα 28 Hz με αρμονική στα 56 Hz.

Το σχήμα του θεάτρου βλέπουμε πως παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Οι μη παράλληλες επιφάνειες αλλάζουν την κατανομή της ηχητικής ενέργειας στον χώρο, εξασθενώντας την

πιο γρήγορα. Έτσι η δημιουργία στάσιμων κυμάτων γίνεται πιο δύσκολη. Το γεγονός ότι οι μοναδικές παράλληλες επιφάνειες έχουν απόσταση 10.5m βοηθάει την κατάσταση. Σε τέτοια απόσταση η ενέργεια που πρέπει να έχει η συχνότητα γύρω από τα 32 Hz πρέπει να είναι μεγάλη, για να δημιουργήσει πρόβλημα.

Από συχνοτικής πλευράς θα λέγαμε πως το θέατρο «Θησεϊόν» έχει μια πολύ καλή απόκριση η οποία μπορεί εύκολα να βελτιωθεί. Επίσης, η ηχητική εγκατάσταση του θεάτρου είναι αρκετά καλή, μιας και στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα είδη υπάρχοντα ηχεία του χώρου και τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά. Ο όγκος του χώρου είναι 1235m² ένας αρκετά μεγάλος χώρος δηλαδή. Σ' αυτή την περίπτωση θα πρέπει να έχουμε αρκετή ενέργεια στον χώρο για μπορέσει να διαχυθεί και να γεμίσει όλο τον χώρο του θεάτρου. Το γεγονός ότι τα ηχεία δεν βρίσκονται σε μία πλευρά του χώρου, αλλά είναι στις 4 γωνίες του, βοηθάει την κατάσταση. Κατά πρώτον, μειώνεται στο μισό περίπου η ένταση που θα έπρεπε να είχε η ηχητική εγκατάσταση για να κάλυπτε όλο τον χώρο. Δεύτερον, με αυτή την τοποθέτηση, μπορούν ορισμένοι ήχοι να αναπαραχθούν από την μια πλευρά του θεάτρου. Ας μη ξεχνάμε πως εδώ δεν έχουμε συγκεκριμένη χωροθεσία και επομένως, οι θεατές μπορούν να βρίσκονται σε οποιοδήποτε μέρος της σκηνής, αναλόγως τις απαιτήσεις του σκηνοθέτη. Οπότε με αυτή την τοποθέτηση των ηχείων ο χώρος καλύπτεται πλήρως. Απαίτηση του σκηνοθέτη ήταν και η τοποθέτηση ακόμη δύο ηχείων στον χώρο. Το καθένα ήταν και για ένα διαφορετικό σκοπό. Το ένα βρίσκονταν πίσω από το μπαρ και έπαιζε συνέχεια διάφορους ήχους περιβάλλοντος χώρου. Το δεύτερο ήταν φανερό και ήταν ένα μικρό και πολύ χρωματισμένο ηχείο το οποίο ήταν συνδεδεμένο με ένα μικρόφωνο και είχε τοποθετηθεί στο πάτωμα μπροστά από την πόρτα. Η χροιά του ήταν σαν να ακούς τηλέφωνο και θα ήταν πολύ δύσκολο να πετύχουμε αυτό το αποτέλεσμα με τα ήδη υπάρχοντα ηχεία.

Στην συγκεκριμένη παράσταση¹⁶, οι ηθοποιοί δεν χρησιμοποιούσαν μικρόφωνα για να ενισχυθεί η φωνή τους. Από τα ηχεία έπαιζαν μόνο οι μουσικές και διάφοροι άλλοι ήχοι. Η σκηνή όπου εξελίσσονταν η παράσταση ήταν η ίδια με τις θέσεις των θεατών. Σε όλο τον χώρο του θεάτρου υπήρχαν τραπέζια στα οποία η πρώτη δεξιά θέση, ήταν ενός ηθοποιού. Δεν υπήρχε καμιά συσχέτιση του κλασικού θεάτρου με αυτή την μορφή θεατρικής παράστασης. Ακόμη και οι θεατές παίρνανε μέρος στην παράσταση σε ορισμένα σημεία. Σε περίπτωση όπου το θέατρο «Θησεϊόν», είχε την κλασική μορφή θεάτρου, τότε δεν θα μπορούσε να φιλοξενήσει την συγκεκριμένη παράσταση. Εκτός από τις θέσεις στα τραπέζια (οι οποίες ήταν 5 το σύνολο), υπήρχαν και θέσεις στους δυο πλαϊνούς τοίχους (Α και Γ) οι οποίες βρίσκονταν επάνω σε εξέδρα η οποία μπορούσε να μετακινηθεί. Η χωρητικότητα του

¹⁶ Η οποία λεγόταν: “2004 invitation to dance“ σε σκηνοθεσία Μιχαΐλ Μαρμαρινού.

θεάτρου σε θεατές είναι έως 120 άτομα. Επομένως, στην περίπτωση αυτή θα μεταβληθεί και ο χρόνος αντήχησης του χώρου.

Οι παραστάσεις παίζονται κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου οι εξωγενείς παράγοντες θορύβου μειώνονται. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον χώρο αυτό όμως έγιναν κατά την διάρκεια της μέρας. Επομένως τα αποτελέσματα θα είναι και πιο οξυμένα και οι πραγματικές συνθήκες θα είναι καλύτερες. Ο θόρυβος του χώρου με κλειστές πόρτες και παράθυρα, όπως ήδη αναφέραμε είναι 61.8 dB, ενώ με ανοιχτές τις πόρτες και τα παράθυρα είναι 67.6 dB. Βλέπουμε πως υπάρχει μια διαφορά 5.8 dB η οποία θα μπορούσε να ήταν και μικρότερη εάν δεν υπήρχε εκείνο το ηχητικό συμβάν στην πρώτη περίπτωση, το οποίο ανέβασε την στάθμη της έντασης και πρόσθεσε και συχνότητες. Για να φανεί καλύτερα το πόσο και πώς επηρεάζεται η αίθουσα από τους εξωγενείς παράγοντες, τοποθετήθηκε μια μηχανή και στους δυο δρόμους που περιβάλλουν το θέατρο και τα αποτελέσματα μας έδειξαν τα εξής. Κατ' αρχάς βλέπουμε πως η πόρτα που βρίσκεται στην κεντρική αίθουσα είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο την εισροή θορύβου στην αίθουσα. Και αυτό είναι και το πιο λογικό, αφού αυτή είναι πιο κοντά. Η ηχομόνωση που προσφέρουν στον χώρο οι πόρτες σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις υπολογίζεται γύρω στα 25.3 dB. Μια όχι και τόσο καλή μόνωση από τους εξωγενείς παράγοντες. Και αυτό όμως έχει ληφθεί υπόψη στην όλη σκηνοθεσία, μετατρέποντας ένα σημαντικό μειονέκτημα του χώρου σκηνοθετική άποψη. Ηθελμένα λοιπόν, μπροστά από την πόρτα της κεντρικής αίθουσας που οδηγεί στον πίσω δρόμο, έχει τοποθετηθεί ένα μικρόφωνο με ένα μικρό ηχείο (πολύ χρωματισμένο συχνοτικά), που κοιτάει προς την πόρτα. Οι όποιοι ήχοι εισέρχονται από αυτή (που συνήθως είναι κάποιο όχημα) χρωματίζονται κατά κάποιο τρόπο μέσω αυτού του ηχείου, μετατρέποντας τους σε θεμιτούς ήχους για την παράσταση. Επίσης σε ορισμένα σημεία, εκεί όπου τα εξωτερικά συμβάντα ήταν πολύ έντονα οι ηθοποιοί σταματούσαν και κοιτούσαν προς τα εκεί, εντάσσοντάς τα και αυτά στην παράσταση. Σε κάποιο σημείο της παράστασης μάλιστα, κάποιος ηθοποιός ανοίγει την πόρτα αφήνοντας ελεύθερα και επίτηδες να εισέλθουν οι εξωγενείς αυτοί παράγοντες. Επιπλέον, από το μικρόφωνο αυτό σε τακτά χρονικά διαστήματα μιλούσαν κι όλας. Είναι φυσικό πως μόνο οι δυνατοί ήχοι αναπαράγονταν από το ηχείο. Οι άλλοι απλώς ακούγονταν, αλλά με τέτοιο τρόπο που ήταν σαν να γινόταν επίτηδες.

Ο χρόνος αντήχησης είναι 1.094 sec, ενώ στην θεωρητική μελέτη είχε προβλεφθεί στα 1.35 sec. Η διαφορά είναι 256 ms, δεν είναι πολύ μεγάλη, αλλά ούτε ασήμαντη. Παράγοντες όπως η υγρασία επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου και επομένως, μεταβάλλεται και ο χρόνος αντήχησης. Ο ρυθμός πτώσης αυτού επίσης, είναι ομαλός. Πράγμα το οποίο σημαίνει πως η ενέργεια μειώνεται σταδιακά μέχρι να επανέλθει στο σημείο ισορροπίας.

Τελειώνοντας, έγιναν και τρεις μετρήσεις για τον θόρυβο με τις καμπύλες NC. Δεν έχουν αναλυθεί αυτές σε αυτή την εργασία και γι' αυτό δεν θα αναφερθούν πολλά πράγματα γι' αυτές. Στο παράρτημα φαίνονται (στις εικόνες 1.19, 1.20, 1.21) καμπύλες NC θορύβου για τρεις καταστάσεις του χώρου. Βλέπουμε πως η χαμηλότερη είναι στα 36 και η υψηλότερη στα 42 και όπως έχουμε ήδη αναφέρει ο χώρος κατατάσσεται στην κατηγορία «σχετικά θορυβώδεις».

Θέατρο «Από μηχανής»

Περνάμε τώρα στο «Από μηχανής» θέατρο. Ξεκινώντας τις μετρήσεις σε αυτόν τον χώρο να επισημάνω πως κι εδώ χρησιμοποιήσαμε τα ήδη υπάρχοντα ηχεία του χώρου. Επειδή όμως το ηχητικό σύστημα που χρησιμοποιείται εδώ είναι τύπου surround 5.1 και η τοποθέτησή τους είναι γύρω από τις θέσεις των θεατών, εμείς χρησιμοποιήσαμε μόνο τα δυο μπροστινά ηχεία. Το μικρόφωνο τοποθετήθηκε στο κέντρο των θέσεων των θεατών. Η πρώτες μετρήσεις για την απόκριση του χώρου έγιναν χωρίς την χρήση του ηχείου χαμηλών συχνοτήτων (sub). Και στην 1/3 ανάλυση και στην 1/12 (εικόνες 1.23, 1.24), παρατηρούμε πως η χαμηλή περιοχή συχνοτήτων είναι ασθενής. Στην εικόνα 1.25 και στις υπόλοιπες μετρήσεις, το ηχείο χαμηλών συχνοτήτων βρίσκεται σε λειτουργία. Παρατηρούμε πως τώρα η χαμηλή περιοχή είναι πιο ενισχυμένη. Ο χώρος όμως όπως παρατηρούμε, αντιδρά ανόμοια στα ηχητικά ερεθίσματα. Το σχήμα του χώρου σε συνάρτηση με τα κυβικά αυτού, πετυχαίνουν μια κακή απόκριση συχνοτήτων στον χώρο. Ο χώρος αυτός έχει σαν κύριο σχήμα του το ορθογώνιο. Μόνο η εξέδρα των θεατών σπάει αυτή την παραλληλότητα των επιφανειών.

Στο σχεδιάγραμμα απόκρισης χώρου (εικόνα 1.25, στο παράρτημα), βλέπουμε να απεικονίζονται ορισμένοι συντονισμοί. Αυτοί βρίσκονται στις συχνότητες 28 Hz, 52 Hz, 65 Hz, , 135 Hz, 1.2 KHz, 1.8 KHz, 2.5 KHz, 4.5 KHz και 8 KHz. Αυτοί οι συντονισμοί οφείλονται κυρίως στο σχήμα του χώρου και κυρίως οι χαμηλές συχνότητες. Για παράδειγμα, η συχνότητα των 28 Hz, είναι το στάσιμο κύμα «2,1,0» όπως έχει αναλυθεί και στην δεύτερη ενότητα του δευτέρου κεφαλαίου. Ομοίως τα 52 Hz είναι το στάσιμο «1,2,1», τα 90 Hz είναι το στάσιμο «2,2,2» κοκ. Οι παράλληλες επιφάνειες του χώρου δημιουργούν ευνοϊκές καταστάσεις για την πιο εύκολη δημιουργία στάσιμων κυμάτων στην αίθουσα. Το γεγονός ότι τα ηχεία βρίσκονται στο σημείο που χωρίζεται η σκηνή από τους θεατές και κοιτάνε προς τους θεατές είναι θετικό. Το κεκλιμένο επίπεδο των θεατών λειτουργώντας ως διαχυτής, μεταβάλλει το σχήμα του χώρου ευνοώντας την ακουστική συμπεριφορά του ήχου στην αίθουσα. Για την καλύτερη κατανόηση της ηχητικής συμπεριφοράς του ήχου, θα

ηχοβολίσουμε τον χώρο με θόρυβο φάσματος. Έτσι, όπως έχουμε ξαναπεί, θα μπορέσουμε να ρυθμίσουμε καλύτερα το γραφικό EQ.

Η επόμενη μέτρηση που έγινε με θόρυβο 20 Hz – 220 Hz, απλώς επαλήθευσε την πρώτη εκτίμηση για την απόκριση του χώρου (στις χαμηλές τουλάχιστον συχνότητες). Βλέπουμε πως το γράφημα δεν είναι καθόλου ομαλό, αλλά χαρακτηρίζεται από τις έντονες διακυμάνσεις στην ένταση. Η επόμενη μέτρηση έγινε με θόρυβο 200 Hz – 1000 Hz. Σε αυτό το γράφημα όπως παρατηρούμε η κατάσταση είναι πιο ομαλή. Η περιοχή γύρω από τα 63 Hz εξακολουθεί να δείχνει την τάση της για συντονισμό. Στην μέτρηση με θόρυβο 1 kHz – 7 kHz, η κατάσταση δείχνει να ομαλοποιείται κι άλλο. Η χαμηλή περιοχή όμως εξακολουθεί να δείχνει την τάση της για συντονισμό. Σε αυτό το γράφημα φαίνεται καθαρά. Επίσης, οι συχνότητες γύρω από τα 1.5 kHz παρουσιάζουν μια ύφεση, η οποία φαινόταν και στο γενικό γράφημα της απόκρισης του χώρου, αλλά δεν ήταν τόσο ξεκάθαρη. Κάποια αρνητική συμβολή κυμάτων πρέπει να δημιουργεί αυτό το αποτέλεσμα. Στις προηγούμενες μετρήσεις μπορεί να οφείλονταν και στο γεγονός ότι η συχνότητα των 1000Hz, δεν ήταν μέσα στο φάσμα θορύβου που είχε διαχυθεί στην αίθουσα. Εδώ όμως υπάρχει. Τέλος στην μέτρηση με θόρυβο 7 kHz – 16 kHz η κατάσταση σταθεροποιείται κι άλλο. Ας μην ξεχνάμε πως από ένα (συχνοτικό) σημείο και έπειτα, οι συντονισμοί σε μια αίθουσα είναι τόσοι πολλοί που δεν διακρίνονται και το πεδίο από εκεί και πέρα θεωρείται σταθερό.

Από συχνοτικής πλευράς, θα λέγαμε πως το θέατρο «Από μηχανής» παρουσιάζει πρόβλημα. Οι μετρήσεις φυσικά έγιναν χωρίς την χρήση γραφικών EQ οπότε υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης. Επίσης, τα ηχεία που χρησιμοποιήθηκαν θα είχαν κι αυτά τον δικό τους χρωματισμό, ο οποίος μπορεί να συνέβαλε αρνητικά στην μέτρηση του χώρου. Όπως και να έχει όμως, όταν υπάρχουν παράλληλες επιφάνειες, αναπόφευκτα θα έχουμε και συντονισμούς. Ο όγκος του χώρου είναι 543.536m². Είναι δηλαδή ένας μικρός χώρος. Τα ηχεία βρίσκονται μπροστά από τις θέσεις των θεατών (αυτά που χρησιμοποιήσαμε), κοιτώντας προς αυτές. Είναι τοποθετημένα στο ταβάνι, μαζί με τα φώτα και τον εξαερισμό. Είναι δηλαδή πολύ κοντά στο κοινό και επομένως, δεν θα χρειάζονται μεγάλη ενέργεια για να φτάσουν τα ακουστικά ερεθίσματα στους θεατές. Εξάλλου, ο όγκος του θεάτρου είναι μικρός και δεν μπορεί να αντέξει μεγάλες εντάσεις.

Σε αυτό το θέατρο η διάταξη των θέσεων είναι τέτοια έτσι ώστε να επιτρέπει την τοποθέτηση συστήματος 5.1. Όλοι οι θεατές κάθονται σε ένα κεκλιμένο επίπεδο από την μια μόνο μεριά του θεάτρου. Το θέατρο αυτό μπορεί να φιλοξενήσει έως 115 θεατές. Η τοποθέτηση των θεατών σε αυτό το σημείο εξασφαλίζει περισσότερο αριθμό ατόμων ανά παράσταση και καλύτερη οπτική, αλλά και ακουστική επαφή με το σκηνικό. Η χωροθεσία αυτή από την μια φαίνεται να βολεύει, αλλά από την άλλη οι θεατές που κάθονται στις

ακριανές θέσεις έχουν πιο κοντά τους τα πλαϊνά ηχεία (δεξί ή αριστερό) χάνοντας έτσι το πεδίο που δημιουργεί το 5.1 σύστημα. Ένα άλλο πρόβλημα που υπήρχε σε σχέση με τους θεατές, είναι οι θέσεις τους. Η κατασκευή τους είναι τέτοια, που όταν κάτσει κάποιος επάνω και έπειτα από πολλές χρήσεις, αρχίζουν και τρίζουν. Κάτι τέτοιο κατά την διάρκεια της παράστασης είναι προφανώς ενοχλητικό. Η εξέδρα των θεατών δεν ήταν ενωμένη με το πατάρι της σκηνής και έτσι αποφεύγεται η μετάδοση ήχων από το ένα μέρος στο άλλο.

Οι ηθοποιοί σε αυτή την παράσταση όπου φιλοξενούσε το «Από μηχανής» θέατρο¹⁷, δεν χρησιμοποιούσαν μικρόφωνα. Δύο μικρές ψείρες (omni) είχαν τοποθετηθεί στο πίσω μέρος της σκηνής (πίσω από το τραπέζι που φαίνεται στην εικόνα 1.35 του παραρτήματος). Και αυτό γιατί ορισμένα σημεία της θεατρικής παράστασης διαδραματίστηκαν σε εκείνο το σημείο και η απόστασή του από το κοινό ήταν αρκετή. Για να κρατηθεί το ύφος της παράστασης, τοποθετήθηκαν μικρόφωνα για να μην χρειάζεται να φωνάζουν οι ηθοποιοί και για να ακούγονται οι μικρής έντασης ήχοι. Από τα ηχεία λοιπόν, έπαιζαν μόνο μουσικές και ήχοι περιβάλλοντος, καθώς και ότι λάμβαναν τα δυο μικρόφωνα.

Οι παραστάσεις παίζονται κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου και οι εξωτερικοί ήχοι συνήθως είναι λιγότεροι. Το «Από μηχανής» θέατρο όμως, έτσι κι αλλιώς βρίσκεται μπροστά από πεζόδρομο και επομένως, δεν αναμένεται μεγάλος θόρυβος από το εξωτερικό περιβάλλον. Ένα νυχτερινό κέντρο το οποίο βρίσκεται σχεδόν απέναντι, δεν ενοχλεί τον χώρο του θεάτρου. Όπως είχα προαναφέρει, η είσοδος στον χώρο της παράστασης γίνεται από την μπροστινή πόρτα, πίσω από το κεκλιμένο επίπεδο των θέσεων των θεατών. Οπότε δημιουργείται μια καλή μόνωση από το εξωτερικό περιβάλλον. Απ' το φουαγιέ δεν έχουμε εισροή θορύβου, αφού κατά την διάρκεια της παράστασης δεν είναι κανένας εκεί εκτός από ηθοποιούς. Αυτοί χρησιμοποιούν ακόμη και την είσοδο από την πόρτα του φουαγιέ για την παράσταση.

Στις μετρήσεις που έγιναν ο θόρυβος βάθους του πεδίου ήταν στα 48.2 dB και με ανοιχτή την πόρτα του φουαγιέ ήταν στα 58.5 dB. Βλέπουμε πως έχουμε μια διαφορά 10.3 dB στην ένταση. Στην συχνοτική περιοχή παρατηρούμε πως πάνω από τα 200 Hz, οι συχνότητες που εισέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον είναι αρκετές. Οι βαριές πόρτες που χρησιμοποιούν εδώ, κάνουν αρκετά καλή δουλειά.

Ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας είναι 0.572 sec, ενώ στην θεωρητική μελέτη είχε προβλεφθεί στα 0.894 sec. Βλέπουμε πως εδώ το σφάλμα είναι 322 ms. Διαφορά η οποία δεν είναι τόσο μεγάλη, αλλά και πάλι δεν είναι ασήμαντη. Ας σημειωθεί εδώ, πως στην θεωρητική μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκαν παράγοντες, όπως υγρασία και για το ταβάνι χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής απορρόφησης από βαμμένο μπετόν. Στην πραγματικότητα

¹⁷ Η οποία ήταν το «ONEIPO» του Α. Στρίντμπερνκ σε σκηνοθεσία Στάθη Λιβαθινού.

δεν ήταν έτσι τα πράγματα. Στην οροφή υπήρχαν τα φώτα, οι εξαερισμοί, τα ηχεία τα οποία δεν λήφθηκαν υπόψη.

Τέλος, έγιναν κι εδώ μετρήσεις για τον θόρυβο με τις καμπύλες NC. Εδώ πήραμε δυο μετρήσεις. Μια για την χαμηλότερη στάθμη θορύβου, και άλλη μια για την μεγαλύτερη. Βλέπουμε στις εικόνες 1.33 και 1.34 πως η NC είναι 24 στην πρώτη περίπτωση και 38 στην δεύτερη. Ο χώρος αυτός χαρακτηρίζεται ως πολύ ήσυχος και μόνο στην μεγαλύτερη καμπύλη NC μπορεί να συγκριθεί με το θέατρο «Θησείων».

Συσχέτιση των δύο Θεάτρων

Τα δυο αυτά θέατρα έχουν μεγάλες διαφορές. Πρώτα απ' όλα βρίσκονται σε εντελώς διαφορετικού τύπου περιοχές. Το θέατρο «Θησείων» βρίσκεται ανάμεσα σε δυο δρόμους με πόρτες και στους δυο αυτούς δρόμους, με νυχτερινά κέντρα και ξυλουργεία στην γύρω περιοχή. Επομένως θόρυβος από εξωτερικούς παράγοντες υπάρχει πάντα, απλώς όχι στον ίδιο βαθμό και στην ίδια συχνοτική περιοχή. Ενώ το «Από μηχανής» θέατρο βρίσκεται σε πεζόδρομο με μια πόρτα προς αυτόν η οποία αυτή να είναι πίσω από τις θέσεις των θεατών. Επομένως, μπορεί η ηχομόνωση να είναι η ίδια. Οι εξωτερικοί παράγοντες όμως και η ένταση αυτών διαφέρουν πάρα πολύ από το ένα θέατρο στο άλλο και το θέατρο «Θησείων» βρίσκεται σε μειονεκτική θέση. Απ' την άλλη το σχήμα των δύο θεάτρων είναι εντελώς διαφορετικό. Το πρώτο είναι τραπέζιο, με κεκλιμένη οροφή και το δεύτερο, είναι ορθογώνιο με μόνο κεκλιμένο τμήμα, τις θέσεις των θεατών. Ο όγκος του ενός είναι 1235m^2 , ενώ του δεύτερου δεν είναι ούτε ο μισός 543.536m^2 . Έτσι λοιπόν έχουμε και έναν διαφορετικό χρόνο αντήχησης για τα θέατρα αυτά, που μπορούν να αλλάξουν όμως σε περίπτωση που τοποθετηθούν ηχοαπορροφητικά υλικά. Εκτός αυτού όμως, ο μεγάλος όγκος μας αναγκάζει να κινηθούμε πιο υψηλά σε ένταση, για να γεμίσει όλος ο χώρος με ενέργεια και να λειτουργεί σωστά. Ανεβάζοντας την ένταση μέσα στον χώρο, δίνεται η εντύπωση ότι εξωτερικοί θόρυβοι μειώνονται, ενώ στην πραγματικότητα μένουν οι ίδιοι. Στην συχνοτική απόκριση, παρατηρούμε πως το θέατρο «Θησείων» έχει πολύ ομαλή συχνοτική διάταξη. Το «Από μηχανής» θέατρο εξαιτίας και του ορθογώνιου σχήματός του, μειονεκτεί στην απόκριση του χώρου του. Η χωροθεσία του θεάτρου «Θησείων» μπορεί να μεταβληθεί και να είναι οπουδήποτε μέσα στον χώρο. Επίσης, η ηχητική εγκατάσταση είναι τέτοια έτσι ώστε να μπορέσει να καλύψει όλο τον χώρο και οποιαδήποτε θέση θεατή. Στο θέατρο «Από μηχανής» είναι πολύ δύσκολο να αλλάξει η χωροθεσία και η ηχητική εγκατάσταση πρέπει να μεταβληθεί, σε οποιαδήποτε αλλαγή της χωροθεσίας. Έτσι λοιπόν, μιλάμε για δύο διαφορετικές αίθουσες οι οποίες είχαν τροποποιημένα πολλά από τα χαρακτηριστικά τους για τις ανάγκες της παράστασης που φιλοξενούσε η κάθε μια.

4 Ανάλυση Μετρήσεων με Βάση την Θεωρία

Η ενότητα αυτή έχει σκοπό, να αναλύσει τις μετρήσεις σε σχέση με την θεωρία που αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, να μελετήσει συνεπώς, αν ο χώρος να έχει τροποποιηθεί σύμφωνα με την θεωρία. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο συμβάλουν στον χώρο τα εξής χαρακτηριστικά: τα κυβικά του χώρου, το σχήμα του χώρου, η ανακλαστικότητα, η χωροθεσία, η ηχοαπορρόφηση και η ηχομόνωση. Για την καλύτερη λειτουργικότητα αυτών των χαρακτηριστικών, θα πρέπει να προηγηθεί ακουστική μελέτη του χώρου, ο οποίος μας ενδιαφέρει. Ο κάθε χώρος έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες και θα χρειαστεί να γίνουν συγκεκριμένες ρυθμίσεις για κάθε ένα ξεχωριστά από τα προηγούμενα χαρακτηριστικά. Χωρίς την απαραίτητη μελέτη, μπορεί η λειτουργικότητα ενός χαρακτηριστικού να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα. Η μελέτη αυτή όμως κοστίζει και τις περισσότερες φορές δεν πραγματοποιείται, ή δεν γίνεται με τον σωστό τρόπο. Έτσι οι αλλαγές που υφίστανται στον χώρο, σε τέτοιες περιπτώσεις έχουν σαν συνέπεια την κακή ακουστική του. Η τροποποίηση του χώρου μετά από αυτό το στάδιο, είναι πολύ δύσκολη. Είτε πρέπει να ξαναγίνει μελέτη του χώρου από την αρχή, είτε πρέπει να προστεθούν ή να αφαιρεθούν υλικά, από τα ήδη υπάρχοντα. Και οι δυο τρόποι είναι ασύμφοροι, εφόσον σπαταλάτε πολύτιμο χρόνο.

Παρατηρώντας τώρα τους χώρους όπου έγιναν οι μετρήσεις και βλέποντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων, μπορούμε να συμπεράνουμε κατά πόσο λήφθηκε υπόψη η θεωρία η οποία αναπτύχθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Έως τώρα οι θεατρικές παραστάσεις είχαν συγκεκριμένες απαιτήσεις, πραγματοποιούνταν σε ειδικούς χώρους, τα θέατρα όπου η σκηνή ήταν στην μια πλευρά του ενώ οι θεατές στην άλλη και δεν υπήρχε ηχητική εγκατάσταση. Με την πάροδο του χρόνου και την αλλαγή των απαιτήσεων ορισμένοι σκηνοθέτες ξέφυγαν από την καθιερωμένη μορφή θεάτρου. Ήθελαν να κάνουν κάτι διαφορετικό όπου στους κλασικούς χώρους θεατρικών παραστάσεων δεν ήταν εφικτό. Η κλασική μορφή θεάτρου (Ιταλική σκηνή, εικόνα 1.1 κεφάλαιο 1) περιόριζε σημαντικά την ευελιξία του σκηνοθέτη, μη αφήνοντας πολλά περιθώρια για δράση. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκαν ειδικά διαμορφωμένοι χώροι και εγκαταστάσεις θεατρικών παραστάσεων, με περισσότερες δυνατότητες. Οι προϋπάρχουσες θεωρίες όμως για την ακουστική, δεν άλλαξαν. Έτσι μέχρι τώρα οι θεωρίες έχουν ως βάση τους την κλασική μορφή θεάτρου (όπως η εικόνα 1.1 κεφάλαιο 1).

Για ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως η ηχομόνωση, οι ήδη υπάρχουσες θεωρίες καλύπτουν αυτούς τους χώρους και τις εγκαταστάσεις. Ο παράγοντας θόρυβος είναι κοινός και στους δυο χώρους και ο τρόπος εξάλειψής του επίσης. Η χωροθεσία όμως ενός θεάτρου,

διαφέρει κατά πολύ από αυτή μιας σύγχρονης εγκατάστασης διεξαγωγής θεατρικών παραστάσεων. Από την στιγμή όπου οι θέσεις των θεατών μπορούν να μετακινούνται στον χώρο, πρέπει να ακολουθηθεί η ανάλογη διαδικασία έτσι ώστε να ισχύει πάντα η ήδη υπάρχουσα θεωρία. Πρέπει δηλαδή, όποια και αν είναι η χωρική διάταξη των θέσεων, η ακουστική του χώρου να μην αλλάζει και οι θεατές να λαμβάνουν πλήρως το ακουστικό και οπτικό ερέθισμα που θέλει να μεταδώσει ο σκηνοθέτης, όπως και στην κλασική μορφή θεάτρου δηλαδή. Στην περίπτωση του θεάτρου «Από μηχανής», δεν συναντάται ιδιαίτερο πρόβλημα, γιατί οι θέσεις των θεατών είναι σταθερές στο ένα μέρος του θεάτρου. Γι' αυτό το θέατρο θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχει σχεδόν την κλασική μορφή θεάτρου, εφόσον οι θεατές είναι στην μια πλευρά και η σκηνή στην άλλη. Όπως φαίνεται και από την εικόνα 1.35 στο παράρτημα, οι θεατές έχουν μια πολύ καλή οπτική επαφή με την σκηνή. Οι επάνω όμως σειρές έχουν πρόβλημα γιατί δεν μπορούν να δουν το επάνω μέρος της σκηνής (εκεί που είναι τα παράθυρα). Όσον αναφορά την ακουστική διαύγεια των θεατών, θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι αρκετά καλή. Και αυτό οφείλεται στο κεκλιμένο επίπεδο των θέσεων των θεατών. Καμία άλλη ενέργεια δεν έχει γίνει έτσι ώστε η ακουστική των θεατών να βελτιωθεί. Όπως προαναφέραμε και στην θεωρία, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν ανακλαστικές επιφάνειες έτσι ώστε να ενισχύσουν τα ακουστικά ερεθίσματα που φτάνουν στους θεατές. Οι επιφάνειες αυτές τείνουν να ανεβάσουν τον χρόνο αντήχησης της αίθουσας όπου τοποθετούνται. Σε αυτόν τον χώρο όμως ο χρόνος αντήχησης είναι αρκετά μικρός και δεν θα υπήρχε πρόβλημα. Η τοποθέτηση απορροφητικών υλικών θα βελτίωνε την κατάσταση. Βλέπουμε λοιπόν ότι στην περίπτωση της χωροθεσίας στο θέατρο «Από μηχανής», δεν ακολουθήθηκε η θεωρία. Στο θέατρο «Θησείων», η χωροθεσία είναι πολύ διαφορετική. Όπως έχουμε αναφέρει, οι θέσεις των θεατών είναι επάνω σε κινητά πατώματα και επομένως μπορούν να μετακινηθούν. Επίσης, ένα μέρος των θεατών μπορεί να βρίσκεται σε θέσεις εκτός αυτών των επιπέδων. Ούτε σε αυτό το θέατρο έχουν τοποθετηθεί ανακλαστήρες για βελτίωση της ακουστικής των θεατών. Εδώ όμως ο μεγάλος χρόνος αντήχησης του χώρου, δεν αφήνει και πολλά περιθώρια για τοποθέτηση ανακλαστήρων. Θα μπορούσαν να συνδυαστούν όμως με απορροφητικά υλικά, για να βελτιωθεί και ο ήδη υπάρχον χρόνος αντήχησης. Η οροφή του θεάτρου παίζει σε κάποιο βαθμό τον ρόλο ανακλαστήρα, αλλά όχι για την χωροθεσία. Επειδή είναι σταθερή και δεν μπορούν να μετακινηθεί, οδηγεί κάθε φορά τα ακουστικά ερεθίσματα προς συγκεκριμένες θέσεις, συνεπώς δεν ωφελούνται πάντα οι θέσεις των θεατών. Σε χώρους σαν κι αυτόν θα έπρεπε να υπήρχαν μετακινούμενα ηχοαπορροφητικά πλαίσια τα οποία θα τοποθετούνταν ακριβώς πίσω από τις μετακινούμενες θέσεις των θεατών (όποιες κι αν ήταν αυτές).

Η θεωρία μας λέει ότι στους μικρούς χώρους (στους χώρους με μικρό όγκο δηλ.) χρησιμοποιούμε ανακλαστικές και απορροφητικές επιφάνειες, για την βελτίωση της ακουστικής τους. Οι μικροί χώροι είναι αυτοί που μπορούν να παρουσιάσουν πιο εύκολα προβλήματα. Κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε να συμβαίνει στο θέατρο «Από μηχανής», το οποίο είναι μικρό σε όγκο και αυτό φάνηκε και από τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Το θέατρο αυτό όμως, χρησιμοποιείται προσωρινά από την πειραματική σκηνή του Εθνικού Θεάτρου, η οποία προσπαθεί να επιτύχει όσο το δυνατόν καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα με την χρήση ηχητικής εγκατάστασης. Ο όγκος του «Από μηχανής» θεάτρου είναι μικρός όπως έχουμε πει (543.536m^3). Ο τεχνικός εξοπλισμός, όπως προαναφέραμε, είναι του Εθνικού Θεάτρου. Προφανώς ο προηγούμενος χώρος είχε μεγαλύτερο όγκο αυτό το θέατρο, γιατί τα ηχεία που χρησιμοποιούνται εδώ έχουν αρκετά μεγάλη ισχύ. Η έντασή τους βέβαια κατά την διάρκεια της παράστασης ήταν μικρή, έτσι δικαιολογείται η χρήση τέτοιων ηχείων. Στο θέατρο «Θησείων», ο όγκος είναι πολύ μεγάλος. Συνεπώς, απαιτείται μεγάλη ενέργεια για να μπορέσει να διεγερθεί. Η τοποθέτηση των ηχείων στις τέσσερις γωνίες της κύριας αίθουσας, αναφέραμε πως βοηθάει σε μεγάλο βαθμό την κατάσταση. Ο μεγάλος όγκος του, σε συνδυασμό με την μη ύπαρξη ηχοδιαχυτών και απορροφητικών υλικών, δυσκολεύει την ομιλία ενώ βοηθάει το τραγούδι.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στον οποίο οφείλεται πολύ μεγάλη προσοχή είναι η ηχομόνωση. Και στα δυο μετρούμενα θέατρα παρατηρήθηκε πως δεν είχε γίνει σχεδόν καμία μελέτη ως προς τον παράγοντα θόρυβο. Ειδικά στον θέατρο «Θησείων», ο θόρυβος από τους εξωτερικούς παράγοντες είναι αρκετά μεγάλος. Και στις δύο πλευρές του θεάτρου έχει χρησιμοποιηθεί μια πόρτα, βαριά, 5 εκατοστών. Στην κύρια αίθουσα, θα μπορούσαν να έχουν χρησιμοποιηθεί δύο πόρτες έστω και μικρότερου πάχους, για να υπάρχει καλύτερη ηχομόνωση. Στο «Από μηχανής» θέατρο, υπάρχει σχεδόν η ίδια πόρτα για να προστατεύει την κυρίως αίθουσα από τους εξωγενείς ήχους. Το γεγονός όμως ότι είναι ακριβώς πίσω από το κεκλιμένο επίπεδο των θεατών, μειώνει κατά πολύ την ένταση των εισερχόμενων ήχων.

Παρόλο που ενδεχομένως πολλοί παράγοντες δεν έχουν μελετηθεί, θα μπορούσαν να διορθωθούν έτσι ώστε το τελικό ακουστικό αποτέλεσμα να μπορέσει να γίνει πολύ καλύτερο. Αυτό είναι το θετικό στοιχείο των χώρων και εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις. Μπορούν να είναι ευέλικτοι και να προσαρμόζονται εύκολα στις απαιτήσεις του σκηνοθέτη (υπό λογικά πλαίσια). Οι παλαιότεροι χώροι θεατρικών παραστάσεων και όπερων, στην περίπτωση που δεν είχε γίνει ακουστική μελέτη από την αρχή της κατασκευής τους, ήταν πάρα πολύ δύσκολη η βελτίωση της ακουστικής τους καθώς επίσης και πολύ δαπανηρή. Σε αυτούς τους χώρους το κόστος είναι αρκετά μικρότερο, αλλά πολλές φορές παρατηρείται η έλλειψη αυτής.

Παρόλο που μπορούν να γίνουν πολλές βελτιώσεις μέσα σε έναν τέτοιο χώρο, ορισμένοι παράγοντες είναι ξεκάθαρο πως δεν έχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης. Το σχήμα ενός χώρου, για παράδειγμα, για να μεταβληθεί πρέπει να μικρύνει σημαντικά ο όγκος της αίθουσας. Στην περίπτωση του «Από μηχανής» θεάτρου, αυτό είναι αδύνατο, γιατί ο χώρος είναι ήδη αρκετά μικρός. Η χαμηλή στάθμη θορύβου στην αίθουσα όμως, βοηθάει τον χώρο γιατί έτσι η στάθμη των ηχείων παραμένει σε μικρά επίπεδα. Η αλλαγή στο σχήμα ενός χώρου σημαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις μείωση θέσεων θεατών, οπότε και μικρότερα έσοδα από κάθε παράσταση. Επομένως, στις περισσότερες περιπτώσεις καταφεύγουμε σε άλλου είδους λύσεις. Όπως για παράδειγμα την τοποθέτηση ηχοπαγίδων, συνηχητών συντονισμένους γύρω από τις κρίσιμες συχνότητες, είτε ρυθμίζοντας πιο προσεκτικά το γραφικό EQ.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, είναι οι βασικότερες που μπορούν να γίνουν σε χώρους σαν κι αυτούς. Φυσικά όλοι οι παράμετροι που εξετάσαμε μπορούν να αναλυθούν περαιτέρω. Μια ολοκληρωμένη μελέτη των χαρακτηριστικών ενός χώρου ο οποίος χρησιμοποιείται για θεατρικές παραστάσεις, απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα γεγονός που σημαίνει ότι δεν μπορεί να ολοκληρωθεί στα πλαίσια μιας πτυχιακής εργασίας. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή την πτυχιακή εργασία είναι πολύ χρήσιμα. Αποτελούν την βάση για μια πρώτη άποψη για την λειτουργία των χώρων αυτών, καθώς επίσης και το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη και εμβάθυνση της κατανόησης της ακουστικής λειτουργίας ενός χώρου θεατρικών παραστάσεων. Τέτοιου είδους μελέτες μπορούν να γίνουν με διάφορους τρόπους και να εξελιχθούν, αναλόγως το αντικείμενο της έρευνας και τις παραμέτρους του κάθε χώρου. Μια μελέτη που πραγματοποιείται για έναν συγκεκριμένο χώρο δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί για έναν άλλον. Κάθε χώρος έχει τις δικές του παραμέτρους και σταθερές, οι οποίες ποτέ δεν ταυτίζονται με αυτές κάποιου άλλου. Θα πρέπει δύο χώροι να είναι ακριβώς πανομοιότυποι (δίδυμοι δηλαδή), για να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η μελέτη του ενός να ισχύει και για τον άλλον χώρο. Έτσι λοιπόν, ο κάθε χώρος απαιτεί αποκλειστική μελέτη και οι τρόποι επίλυσης προβλημάτων ενός χώρου δεν μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλους. Φυσικά, η εμπειρία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και βοηθάει στην καλύτερη ανάλυση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Τα όργανα μετρήσεων, μας δίνουν τιμές για ορισμένα χαρακτηριστικά σε έναν χώρο, τις τιμές αυτές πρέπει εμείς να τις κρίνουμε αναλόγως. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται διαφορετικά τα ηχητικά ερεθίσματα και τα όργανα πολύ δύσκολα θα το δείξουν αυτό με ακρίβεια. Υπάρχουν και ψυχοακουστικοί παράγοντες, οι οποίοι δεν μπορούν ακόμη να μετρηθούν, αλλά μελετούνται. Στα όργανα μέτρησης ηχητικής πίεσης (ηχόμετρα) για παράδειγμα, βάζουμε φίλτρα για να προσομοιάσουμε το ανθρώπινο αυτί (A, B, C). Όπως είδαμε και στην μέτρηση

με την μηχανή στις 1000 και στις 3000 στροφές ανά λεπτό, ενώ ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ότι η μηχανή έχει μεγαλύτερη ένταση στην δεύτερη περίπτωση, ο μετρητής (που δεν χρησιμοποιούσε κάποιο φίλτρο), μας έδειξε ότι συμβαίνει το αντίθετο.

Η συγκεκριμένη εργασία παρόλα αυτά, συμβάλλει σημαντικά στο να βοηθήσει τον σκηνοθέτη, ή τον παραγωγό μιας παράστασης να αντιληφθεί τις δυνατότητες ενός χώρου. Έτσι, θα μπορέσει να κρίνει εάν αυτός ο χώρος είναι ικανός να φιλοξενήσει την παράστασή του, ή εάν είναι δυνατόν να προσαρμοστεί η παράσταση σε αυτόν τον χώρο. Με την βοήθεια εξειδικευμένων ατόμων σε αυτόν τον τομέα, θα μπορέσει να γίνει μια υγιείς συνεργασία με τον σκηνοθέτη (ή τον παραγωγό) και να εξασφαλιστούν καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους ηθοποιούς καθώς και για όλους όσους εργάζονται μέσα στο θέατρο, ο περιβάλλον χώρος δεν θα ενοχλείται και θα καλυτερέψει το δρώμενο. Πολλά από τα τυχόν προβλήματα που θα εμφανίζονταν, έχουν ήδη προβλεφθεί μέσω της μελέτης αυτής και συνεπώς, είναι πιο εύκολο να επιλυθούν.

Σε γενικές γραμμές θα λέγαμε ότι σε μια μελέτη, ακολουθείται η παρακάτω σειρά πράξεων. Πρώτα απ' όλα, ελέγχουμε τον χώρο που θέλουμε να μελετήσουμε. Κοιτάμε τις δυνατότητες των οργάνων μέτρησης¹⁸ που διαθέτουμε και κάνουμε τις μετρήσεις. Δεύτερον, περνάμε στην μελέτη των όσων πληροφοριών συλλέξαμε, λαμβάνοντας υπόψη τα όργανα, τον τρόπο μέτρησης, καθώς επίσης, την σχέση τους με τα ψυχοακουστικά φαινόμενα και τον τρόπο αντίληψης του ήχου από τον άνθρωπο. Εξετάζουμε τα ζητούμενα και προτείνουμε λύσεις. Τέλος, περνάμε στην εφαρμογή- υλοποίηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και τότε μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα της έρευνάς μας. Είναι αδύνατο να γνωρίζουμε εκ των προτέρων το ακριβές αποτέλεσμα μιας μελέτης. Μέχρι τώρα όμως σε ελάχιστες περιπτώσεις γίνεται μελέτη εκ των προτέρων για μια θεατρική παράσταση. Έτσι, τα προβλήματα που προκύπτουν στην πορεία είναι περισσότερα και η επίλυση τους δυσκολότερη. Η προσπάθεια εκ των υστέρων για την βελτίωση της ακουστικής και συγκεκριμένα όσων παραγόντων είναι δυνατόν να βελτιωθούν, δεν επιτυγχάνει συνήθως σωστό αποτέλεσμα. Επομένως, ο θεατής δεν μένει ικανοποιημένος, με αποτέλεσμα να προτιμά να δώσει λιγότερα χρήματα (όπου αυτό συμβαίνει στις περισσότερες περιπτώσεις) για να πάει να δει κινηματογράφο, παρά να παρακολουθήσει κάποια θεατρική παράσταση. Η μελέτη εκ των προτέρων ενός χώρου θεατρικών παραστάσεων είναι λοιπόν, απαραίτητη για την επίτευξη του επιθυμητού ακουστικού αποτελέσματος και συμφέρουσα σε χρόνο και χρήμα.

¹⁸ Γνωρίζοντας τους παράγοντες που λαμβάνουν υπόψη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η συγκεκριμένη εργασία μελέτησε τα χαρακτηριστικά κλειστών χώρων και εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για θεατρικές παραστάσεις και συμβάλλουν άμεσα στην βελτίωση της ακουστικής των χώρων. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ασχοληθεί ιδιαίτερα με τον ήχο και την αρχιτεκτονική ακουστική. Και αυτό φαίνεται από τα έως τώρα διασωθέντα κείμενα και κυρίως, αρχαία οικήματα όπου πραγματοποιούνταν δημόσιες συνελεύσεις, ακροάσεις κτλ. Έτσι λοιπόν βλέπουμε πως η ακουστική με την αρχιτεκτονική έχουν ιδιαίτερη σχέση η οποία αναπτύχθηκε με το πέρασμα των χρόνων. Η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής βοήθησε σημαντικά την εξέλιξη της ακουστικής επιστήμης. Οι παράγοντες οι οποίοι θα επηρεάσουν τον ακουστικό σχεδιασμό μιας αίθουσας είναι πολλοί. Στην εποχή μας η πληθώρα των διαφορετικών απαιτήσεων και των αντικρουόμενων κριτηρίων δυσχεραίνουν τον σχεδιασμό αυτό. Η λειτουργικότητα του χώρου, η αισθητική, ο σωστός τεχνητός φωτισμός, η οικονομία, οι συνθήκες ασφαλείας, η ανάγκη για διαφορετικές χρήσεις του ίδιου χώρου, το ευχάριστο και άνετο περιβάλλον αποτελούν παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά τον ακουστικό σχεδιασμό μιας αίθουσας.

Στην εργασία αυτή αναλύθηκαν τα βασικότερα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη στον ακουστικό σχεδιασμό σύγχρονων χώρων και εγκαταστάσεων θεατρικών παραστάσεων. Κυρίως εστίασαμε και αναλύσαμε πέντε χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ακουστική λειτουργία σε σχέση με τις προδιαγραφές θεατρικών παραστάσεων, εξετάζοντας την λειτουργικότητά τους, καθώς επίσης και τα επιμέρους προβλήματα που πηγάζουν από αυτά και επιδρούν στις παραγωγές των θεατρικών παραστάσεων.

Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι τα κυβικά του χώρου. Εδώ συμπεράναμε πόσο σημαντικό ρόλο παίζει ο όγκος ενός χώρου στην ακουστική λειτουργία αυτού. Αναλόγως την χρήση του και τον αριθμό θεατών πρέπει να αντιμετωπίζουμε διαφορετικά και την παράμετρο αυτή. Ξεχωρίσαμε τους χώρους σε μικρούς και μεγάλους, προσδιορίζοντας το τι ισχύει σε κάθε περίπτωση.

Το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι το σχήμα του χώρου. Το σχήμα του χώρου είναι εκείνο το οποίο θα διαμορφώσει την συμπεριφορά του ήχου μέσα σ' ένα δωμάτιο. Η κατάλληλη γεωμετρία του χώρου είναι αυτή που θα επιτρέψει σε ένα ηχητικό ερέθισμα να δημιουργήσει στάσιμα κύματα μέσα σ' αυτόν, με τους τρόπους δόνησης οι οποίοι αναλύθηκαν εδώ, και θα το βοηθήσει να κατανεμηθεί σε ίσες ποσότητες σε όλους τους θεατές.

Το τρίτο χαρακτηριστικό είναι η ανακλαστικότητα του χώρου. Παράγων αναπόφευκτος, αφού η διάδοση οποιουδήποτε ηχητικού σήματος μέσα σε κλειστό χώρο, έχει

σαν φυσικό επακόλουθο την ανάκλασή του στα αντικείμενα και στις επιφάνειες του χώρου. Είδαμε λοιπόν, πόσο σημαντικό είναι να προσέξουμε αυτές τις επιφάνειες έτσι ώστε να μην δημιουργούν προβλήματα στην χρήση του χώρου. Επίσης, εξηγήσαμε ποιοι παράγοντες είναι αυτοί που επηρεάζουν την κατασκευή ενός ανακλαστήρα και τι πρέπει να προσέξουμε για την θέση και το σχήμα αυτών, ανάλογα τον σκοπό που εξυπηρετεί κάθε ένας.

Το τέταρτο χαρακτηριστικό είναι η ηχοαπορρόφηση και ηχομόνωση του χώρου. Αναφέραμε ότι η ηχοαπορρόφηση είναι η ιδιότητα των υλικών και αντικειμένων να απορροφούν την ηχητική ενέργεια και να την μετατρέπουν σε άλλη μορφή ενέργειας, κυρίως θερμότητα. Έτσι, με την χρήση απορροφητικών και ανακλαστικών επιφανειών, στην ποσότητα που χρειάζεται, επιτυγχάνεται το καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα σε μια αίθουσα. Ηχομόνωση είναι το σύνολο των τεχνικών μεθόδων και υλικών που χρησιμοποιούνται για την προφύλαξη ενός χώρου από τους εξωτερικούς θορύβους, και όχι μόνο. Επομένως, η σωστή χρήση αυτών των παραμέτρων θα μας βοηθήσει σημαντικά στην αποφυγή των όποιων ανεπιθύμητων θορύβων, στην μη μόλυνση του περιβάλλοντος χώρου και στην σωστότερη ακουστική μέσα στην αίθουσα.

Τέλος, το πέμπτο χαρακτηριστικό είναι η χωροθεσία. Σε αυτό το μέρος είδαμε πως ο τρόπος διάταξης των θέσεων έχει τροποποιηθεί με το πέρασμα των χρόνων και αναλύθηκε ο τρόπος που θα μπορούν οι ακροατές, όποια κι αν είναι η διάταξή τους, να έχουν όσο το δυνατόν καλύτερο ακουστικό (και οπτικό) αποτέλεσμα. Φυσικά, ο σωστός συνδυασμός όλων των παραγόντων που αναλύθηκαν σε αυτή την εργασία, θα επιφέρει το καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα μέσα σε μια αίθουσα. Και για να γίνει αυτό, θα πρέπει να γνωρίζουμε καλά τις ιδιότητες των χαρακτηριστικών αυτών.

Έτσι λοιπόν, η εργασία χωρίστηκε σε δύο μέρη για την αποτελεσματικότερη ανάλυση και κατανόηση του θέματος. Το πρώτο μέρος αποτέλεσε το θεωρητικό τμήμα, στο οποίο έγινε ποιοτική μέθοδος ανάλυσης. Για την συλλογή αυτών των στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν βιβλία, άρθρα, αναφορές από επιστημονικά περιοδικά, που ασχολούνται με την ακουστική και τον ήχο γενικότερα, το internet και σημειώσεις που δόθηκαν στα μαθήματα του ΑΤΕΙ Μ.Τ.Κ.Α κατά την διάρκεια των ετών 1999 με 2003.

Το δεύτερο μέρος αποτέλεσε το πρακτικό τμήμα, όπου λαμβάνει χώρα η εμπειρική έρευνα. Εδώ έγινε η συλλογή στοιχείων μέσω μετρήσεων σε συγκεκριμένους χώρους θεατρικών παραστάσεων στην περιοχή της Αθήνας αναφορικά με τα πέντε χαρακτηριστικά στα οποία η εργασία αυτή εστιάζει. Αυτοί οι χώροι ήταν το θέατρο «ΘΗΣΕΙΟΝ (ένα θέατρο για τις τέχνες)» και δεύτερον, το θέατρο «ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΗΣ». Δόθηκε η περιγραφή του κάθε ενός χώρου ξεχωριστά, παρουσιάζοντας τα ήδη υπάρχοντα χαρακτηριστικά τους και τις ιδιομορφίες τους. Έγινε μια πρώτη θεωρητική μελέτη, για αυτούς τους χώρους, και δόθηκαν

οι πρώτες εκτιμήσεις που προέκυψαν. Στην συνέχεια, παρουσιάστηκαν οι ακουστικές μετρήσεις που έγιναν στους χώρους αυτούς, ενώ έπειτα έγινε η ανάλυση για το καθένα θέατρο ξεχωριστά. Στην πορεία έγινε συσχέτιση των δύο θεάτρων, μιας και αυτοί οι δυο χώροι είχαν σημαντικές διαφορές. Έτσι μπορέσαμε να εξετάσουμε δύο θέατρα τα οποία αντιπροσωπεύουν μια μεγάλη γκάμα θεάτρων. Οποιοδήποτε άλλο θέατρο ενδεχομένως, θα ταιριάζει είτε με το πρώτο είτε με το δεύτερο εξεταζόμενο θέατρο. Στην ενότητα 4 (του τρίτου κεφαλαίου), έγινε η ανάλυση των μετρήσεων με βάση την θεωρία, εξετάζοντας τα προβλήματα της ακουστικής του κάθε χώρου που προέκυψαν μέσα από την έρευνα.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι βασικότερες που μπορούν να γίνουν σε χώρους σαν κι αυτούς. Φυσικά όλοι αυτοί οι παράμετροι που εξετάσαμε μπορούν να αναλυθούν περαιτέρω. Στα πλαίσια όμως μια πτυχιακής εργασίας, δεν μπορεί να επιτευχθεί τέτοιου είδους ανάλυση. Ακόμη όμως και από αυτή την μελέτη, μπορούμε να συμπεράνουμε αρκετά και σημαντικά στοιχεία. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στους δύο προαναφερθείς χώρους, ήταν ενδεικτικές και όχι στατιστικές. Προσπαθήσαμε δηλαδή να βρούμε την ιδανικότερη θέση στο κάθε ένα χώρο, με τις ήδη υπάρχουσες αλλαγές στον χώρο. Μέσα από την εργασία καταλάβαμε πως η εμπειρία βοηθάει στην καλύτερη εκτίμηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Έτσι, μια μελέτη μπορεί να εξελιχθεί αναλόγως το αντικείμενο της έρευνας και τις παραμέτρους του κάθε χώρου. Το βασικό πλαίσιο στο οποίο βασίζονται οι μελέτες είναι ίδιο, αλλά το γεγονός ότι καμιά μελέτη δεν μπορεί να εφαρμοστεί για δύο χώρους ή εγκαταστάσεις, μας κάνει να ξεκινάμε κάθε φορά την μελέτη ενός χώρου από την αρχή. Επίσης, δεν πρέπει να ξεχνάμε ποτέ πως τα μηχανήματα δεν μπορούν να μετρήσουν με ακρίβεια τα όποια ηχητικά ερεθίσματα με τον ίδιο τρόπο που τα αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Οι ψυχοακουστικοί παράγοντες είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν από κάποιο όργανο, παρ' όλα αυτά γίνονται πολλές μελέτες στην κατανόηση και αυτών των φαινομένων. Η σειρά η οποία ακολουθείται για την μελέτη ενός χώρου σε γενικές γραμμές είναι η ακόλουθη.

- ❖ Πρώτα, εξετάζουμε τις παραμέτρους, τα στοιχεία του χώρου και ελέγχουμε τις δυνατότητες των οργάνων μέτρησης που διαθέτουμε.
- ❖ Έπειτα, μελετάμε τα στοιχεία τα οποία συλλέξαμε, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες και τον τρόπο μέτρησης, όπως επίσης και τον τρόπο αντίληψης του ήχου από τον άνθρωπο. Εξετάζουμε τα ζητούμενα και προτείνουμε λύσεις.
- ❖ Τέλος, περνάμε στην εφαρμογή - υλοποίηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, όπου μπορούμε να δούμε και τα αποτελέσματα της έρευνάς μας.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, η υλοποίηση των προτεινόμενων λύσεων δεν ήταν εφικτή. Είναι αντιληπτό όμως, πως το αποτέλεσμα της εφαρμογής των συγκεκριμένων λύσεων θα

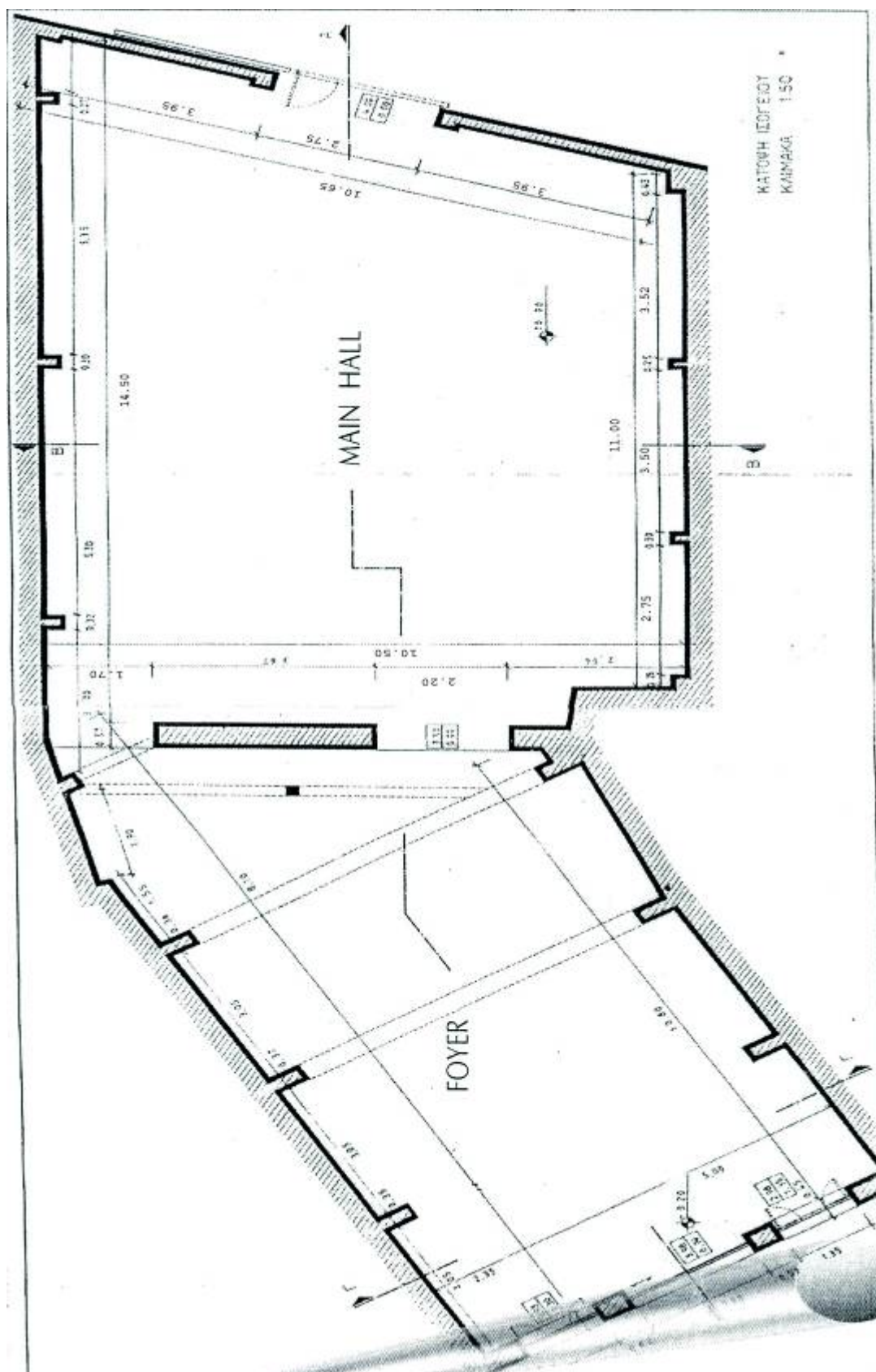
βελτιώνει την ακουστική του χώρου σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Σε πολλές περιπτώσεις, δεν ακολουθείται καμία μελέτη, ή αναλαμβάνει κάποιος ο οποίος δεν είναι γνώστης του αντικειμένου, με αποτέλεσμα τα προβλήματα που προκύπτουν στην πορεία να είναι περισσότερα και η επίλυση τους δυσκολότερη.

Ένα είδος ακουστικής μελέτης, είναι καλό να γίνεται σε συνεργασία με τον σκηνοθέτη ή παραγωγό, από την αρχή της οργάνωσης μια θεατρικής παράστασης. Ειδικά στην εύρεση του ιδανικότερου χώρου ή εγκατάστασης που μπορεί να φιλοξενήσει την οποιαδήποτε παράσταση, ένας άνθρωπος με γνώσεις στην ακουστική θα μπορέσει να κρίνει σωστά. Στην συνέχεια φυσικά θα χρειαστούν να γίνουν και οι ανάλογες ακουστικές μετρήσεις, που σαν σκοπό θα έχουν την βελτίωση της ηχητικής λειτουργίας της παράστασης, και σύμφωνα με τις οποίες θα δοθούν πιο έγκυρες και σαφείς λύσεις σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Επιπρόσθετα, ακόμη και κατά την διάρκεια των προβών αλλά και των παραστάσεων χρειάζεται να είναι παρόν ένα τέτοιο άτομο, γιατί πάντα μπορούν να παρουσιαστούν προβλήματα. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζονται καλύτερες συνθήκες εργασίας για τους ηθοποιούς καθώς και για όλους όσους εργάζονται μέσα στο θέατρο, δεν θα ενοχλείται ο περιβάλλοντας χώρος και θα βελτιωθεί το δρώμενο.

Οι χώροι και οι εγκαταστάσεις θεατρικών παραστάσεων, λόγω της εύκολης διαμόρφωσης τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως χώροι συνεδριάσεων, παρουσιάσεων, multimedia εφαρμογών κ.α. Η σωστή διαχείριση του χώρου επιφέρει ευχάριστο ακουστικό αποτέλεσμα και κέρδη για τους όποιους συνεργάτες. Σε οποιαδήποτε περίπτωση χρησιμοποίησης του χώρου, χρειάζεται και η αντίστοιχη μελέτη. Οι απαιτήσεις του κοινού έχουν αυξηθεί, στις μέρες μας κάνοντας τον ανταγωνισμό μεγαλύτερο στον τομέα της διασκέδασης και της ψυχαγωγίας. Το επίπεδο ποιότητας της ζωής των ανθρώπων έχει ανέβει, προσφέροντας έναν μεγάλο αριθμό εναλλακτικών λύσεων σε ότι τον απασχολεί. Μια από τις εναλλακτικές αυτές λύσεις είναι η αγορά home cinema, μια επένδυση αρκετών χρημάτων για την εξασφάλιση πολύ καλής ποιότητας ήχου. Δεν μπορεί λοιπόν οι χώροι που είναι ειδικά διαμορφωμένοι για θεατρικές παραστάσεις, να υστερούν έναντι αυτών. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως ο χώρος των θεατρικών παραστάσεων έχει ανάγκη από άτομα με εξειδικευμένες γνώσεις στον τομέα της ακουστικής για την επίτευξη του καλύτερου ακουστικού αποτελέσματος. Η ανάγκη αυτή, της χρήση ειδικών στον τομέα της ακουστικής, συμβάλει επίσης στην μείωση του προβλήματος της ανεργίας εφόσον δημιουργούνται παράλληλα νέες θέσεις στην αγορά εργασίας.

Παράρτημα

Εικόνα 1.1
Κάτοψη θεάτρου «Θησείων»



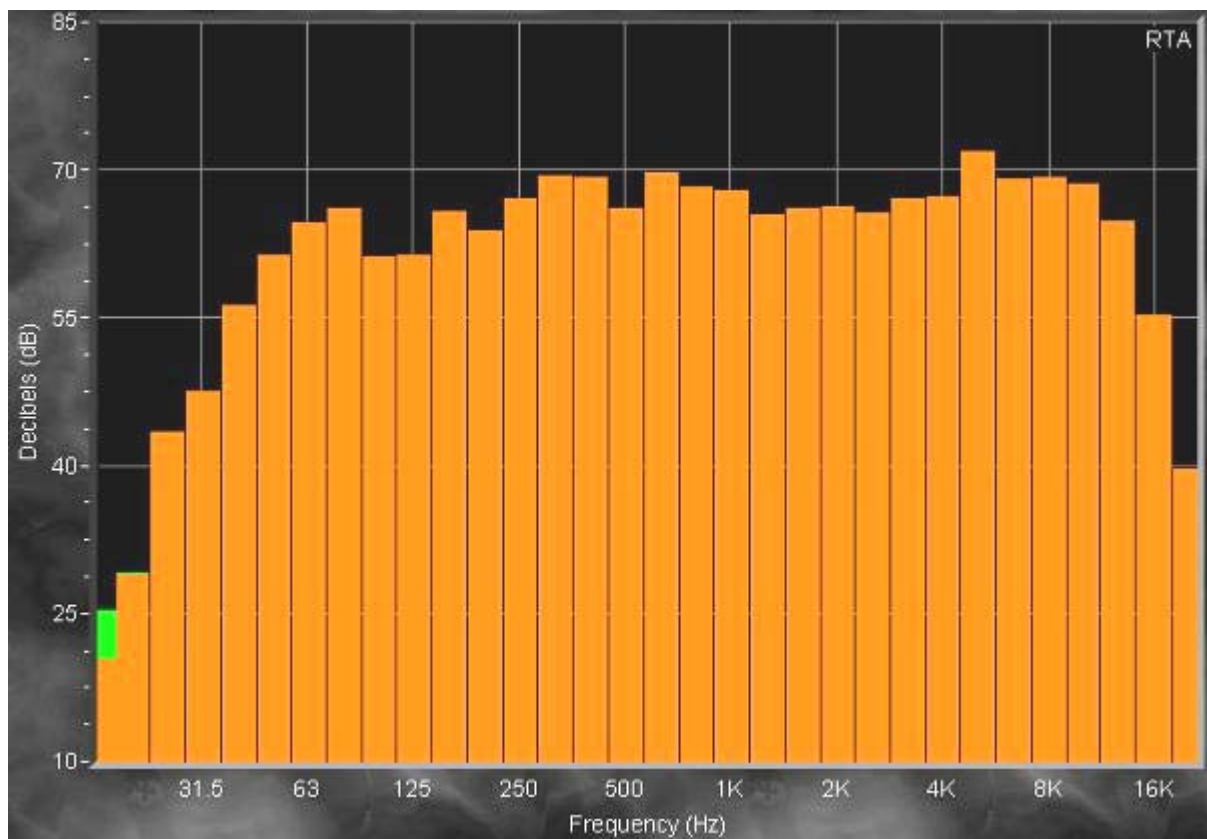
Εικόνα 1.2

Απεικόνιση οροφής θεάτρου και αποτύπωση διαστάσεων αυτής.



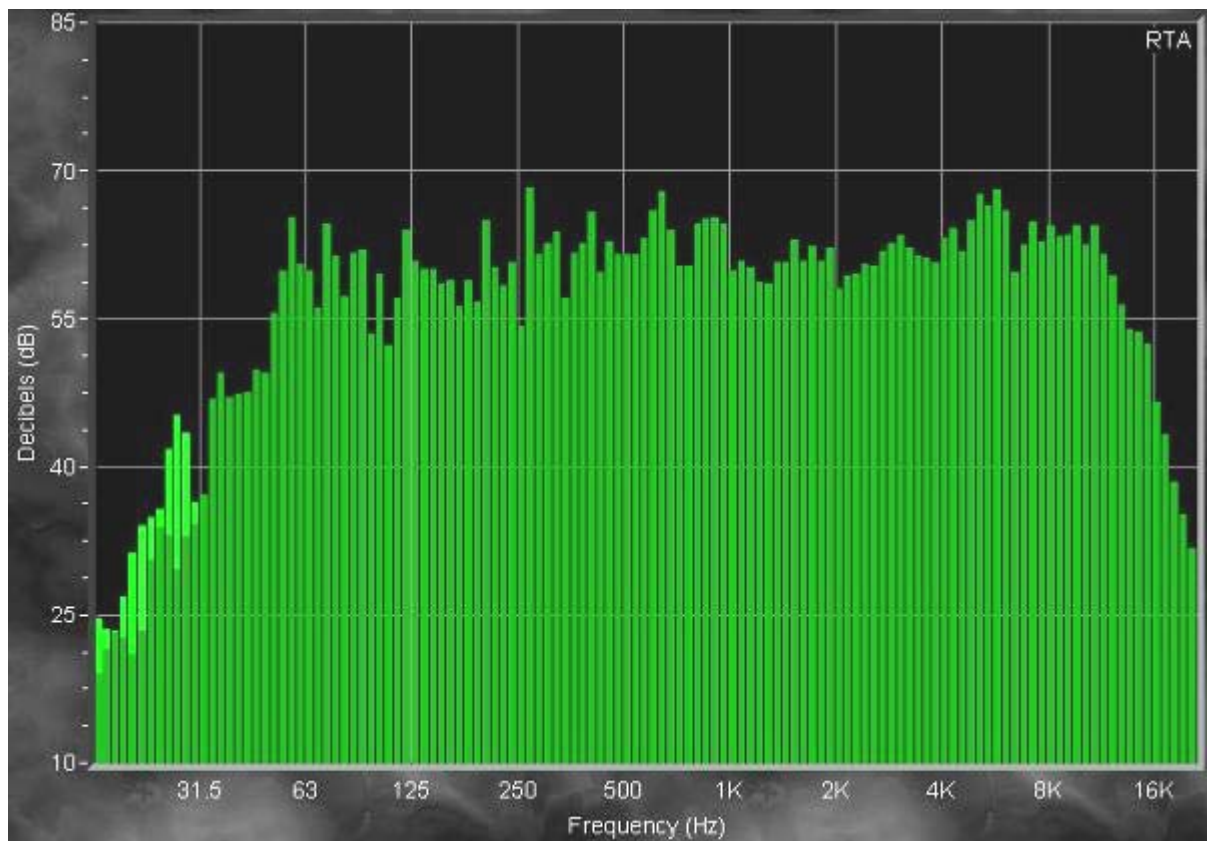
Εικόνα 1.3

Απόκριση του χώρου σε ροζ θόρυβο και σε ανάλυση 1/3 οκτάβας.



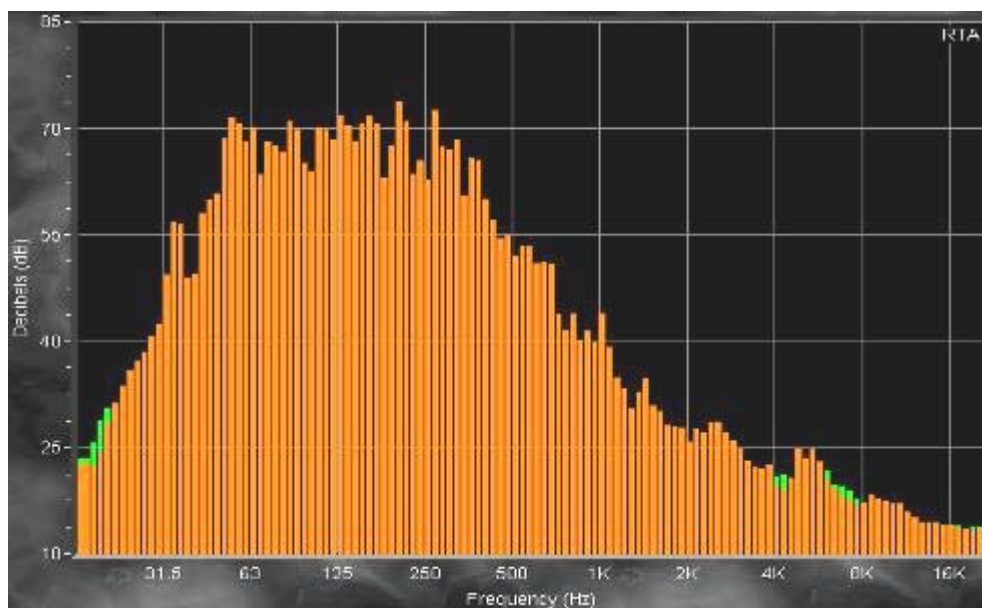
Εικόνα 1.4

Απόκριση του χώρου σε ροζ θόρυβο και σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



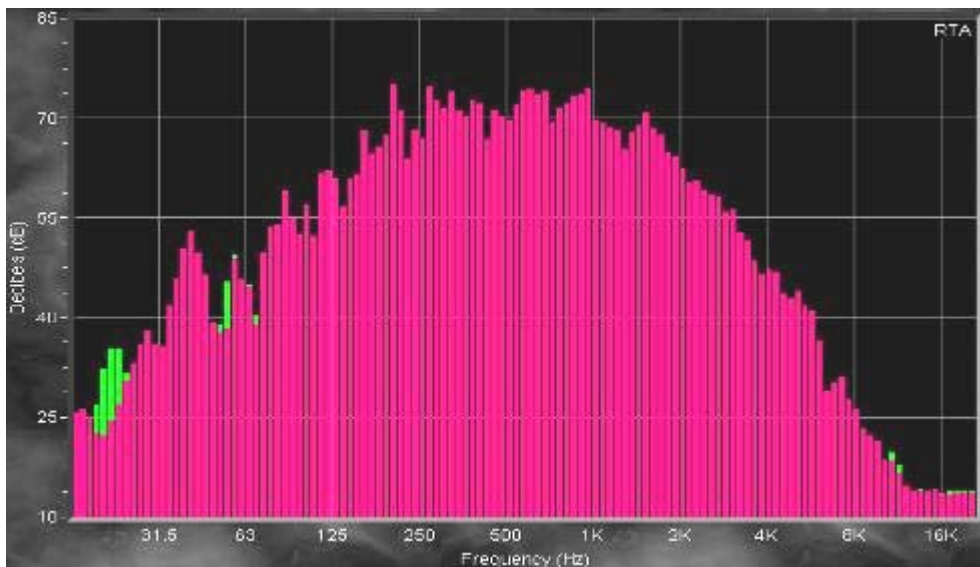
Εικόνα 1.5

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 20 Hz – 220 Hz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



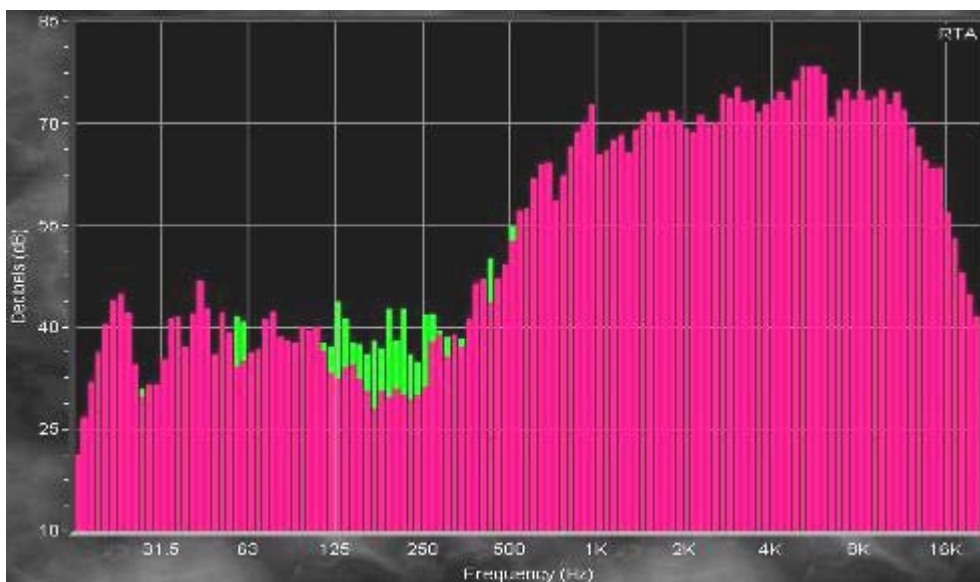
Εικόνα 1.6

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 220 Hz – 1000 Hz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



Εικόνα 1.7

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 1 KHz – 7 KHz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



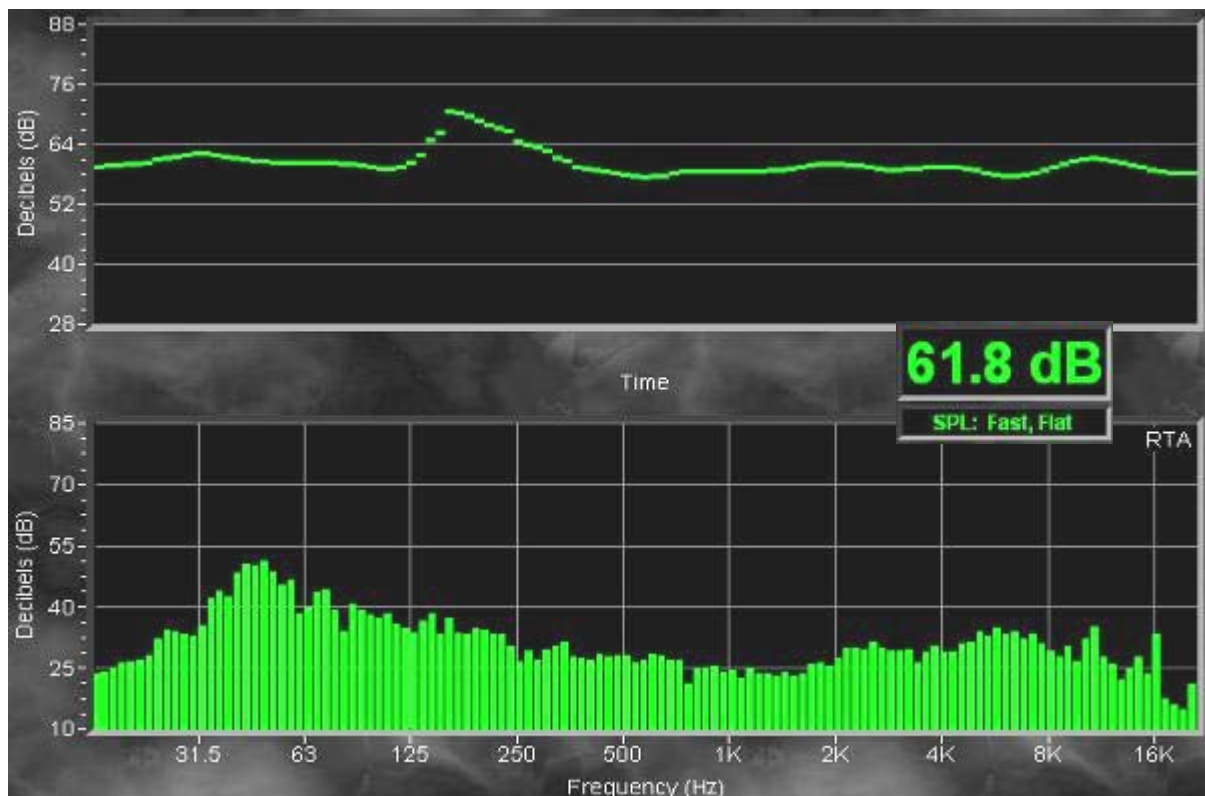
Εικόνα 1.8

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 7 KHz – 16 KHz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



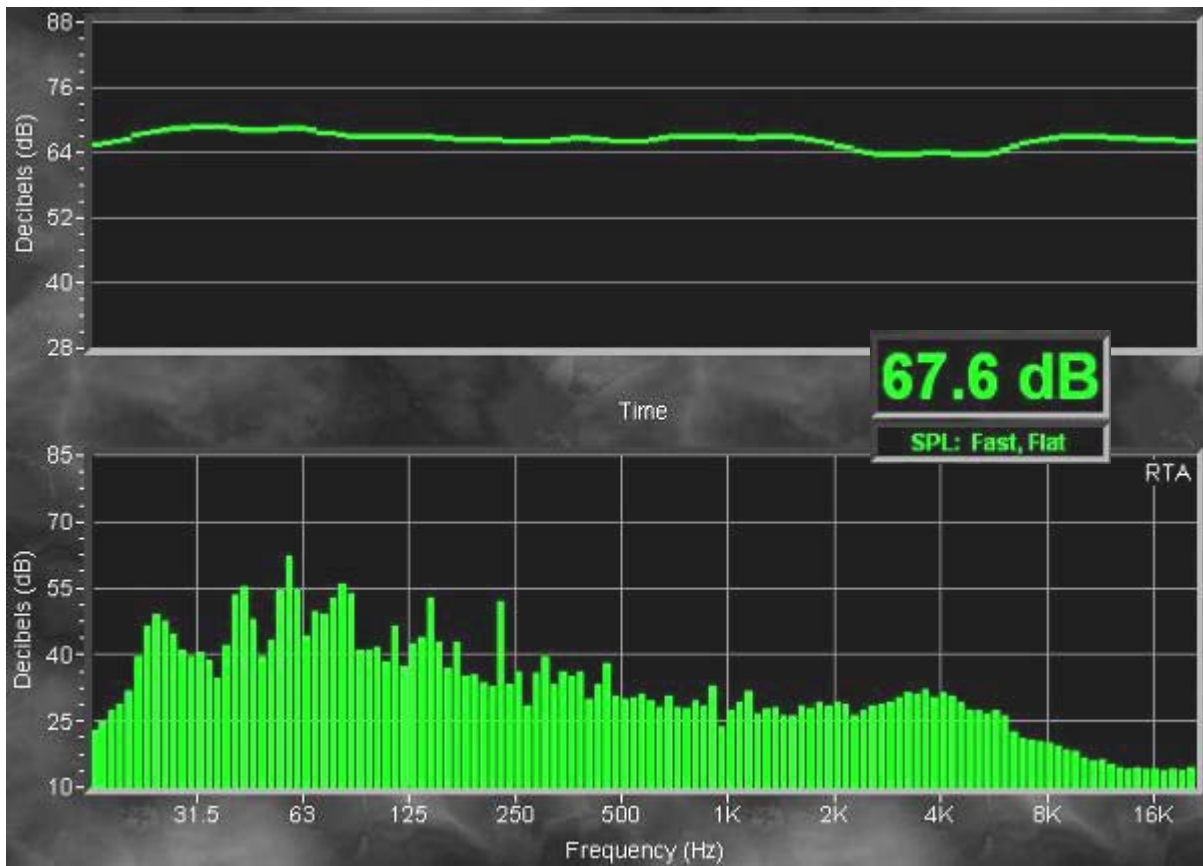
Εικόνα 1.9

Ο θόρυβος του χώρου σε dB με κλειστές τις πόρτες και παράθυρα.



Εικόνα 1.10

Ο θόρυβος του χώρου σε dB με ανοιχτές τις πόρτες και τα παράθυρα.



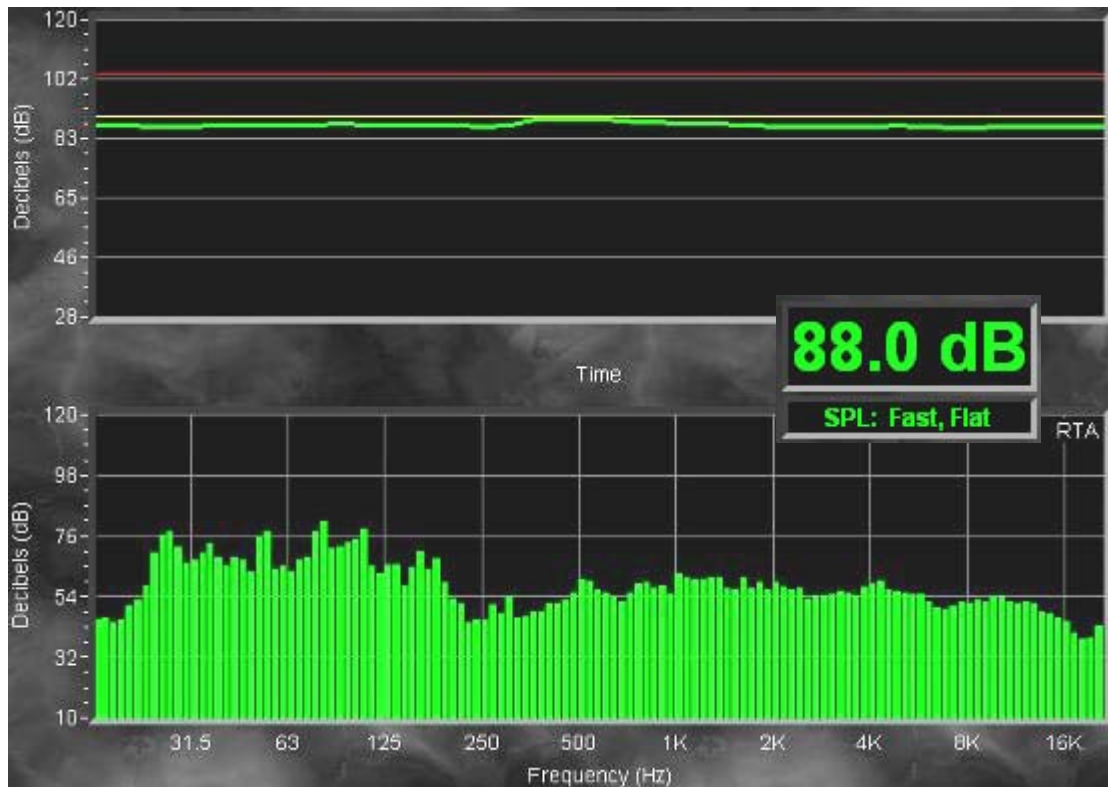
Εικόνα 1.11

Στιγμιότυπο από την διεξαγωγή των μετρήσεων. Μέτρηση θορύβου που παράγει μηχανή (στις 1000 RPM και 3000 RPM).



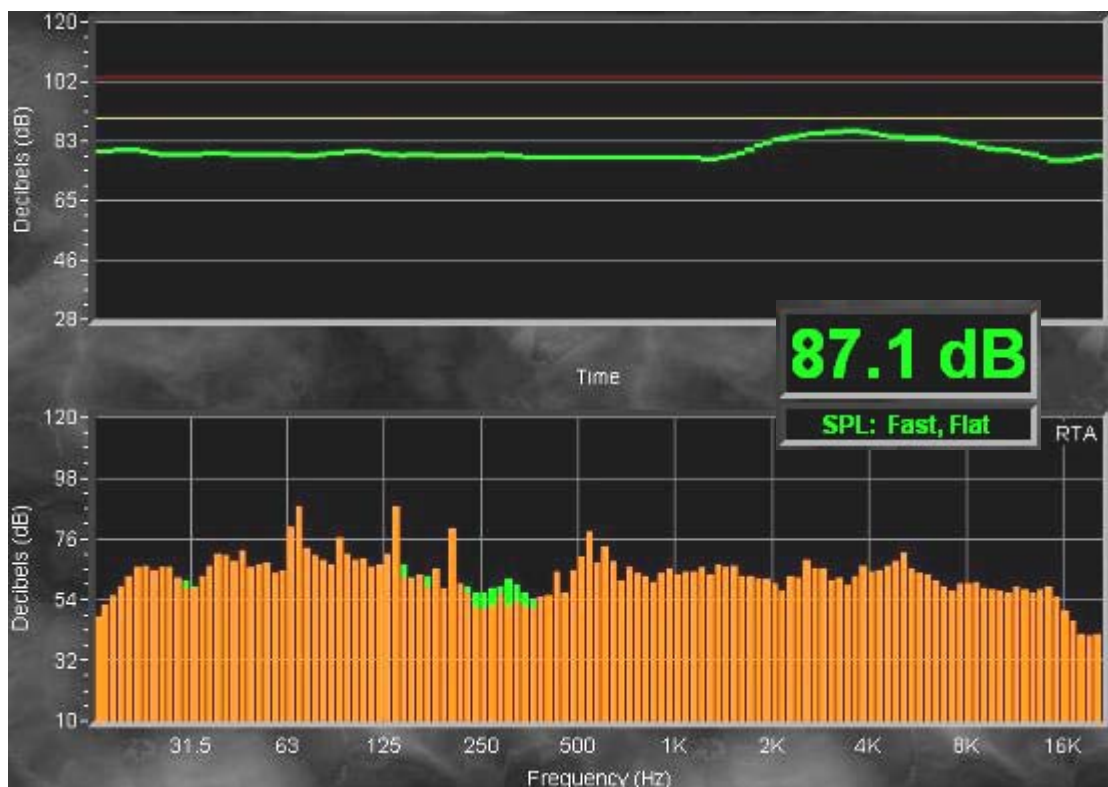
Εικόνα 1.12

Μηχανή στις 1000 στροφές (rpm) και το μικρόφωνο στο 1m από αυτή.



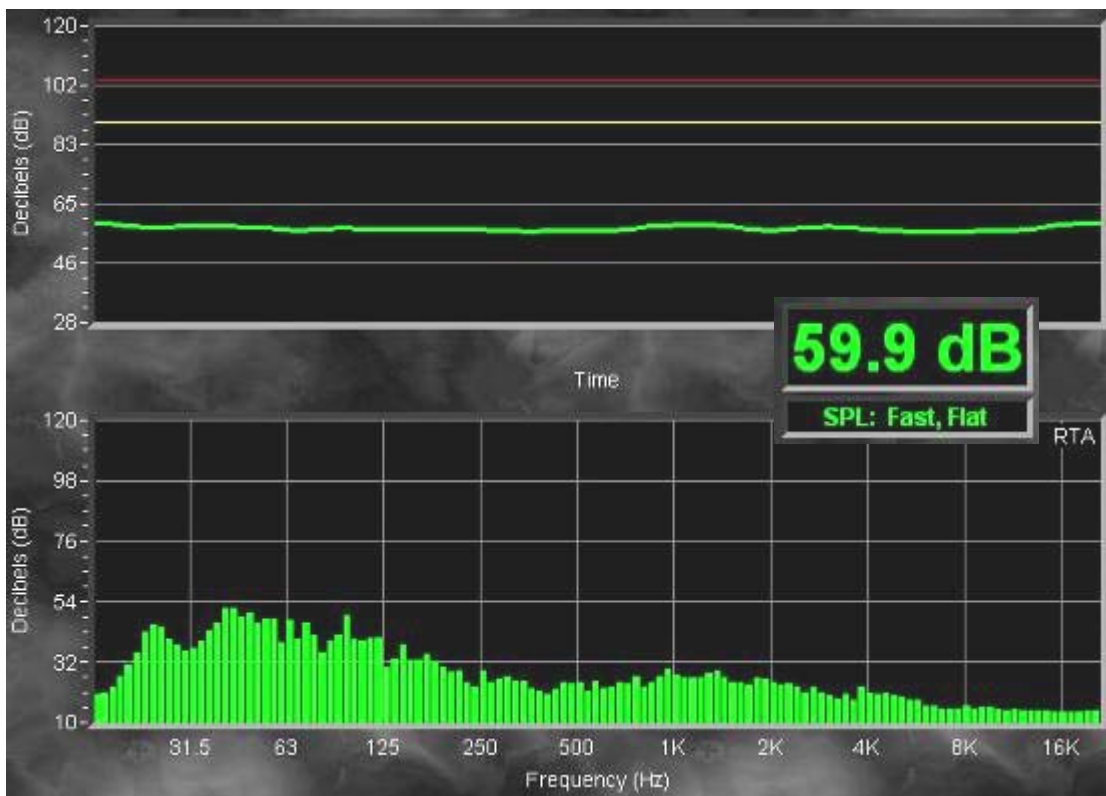
Εικόνα 1.13

Μηχανή στις 3000 στροφές (rpm) και το μικρόφωνο στο 1m από αυτή.



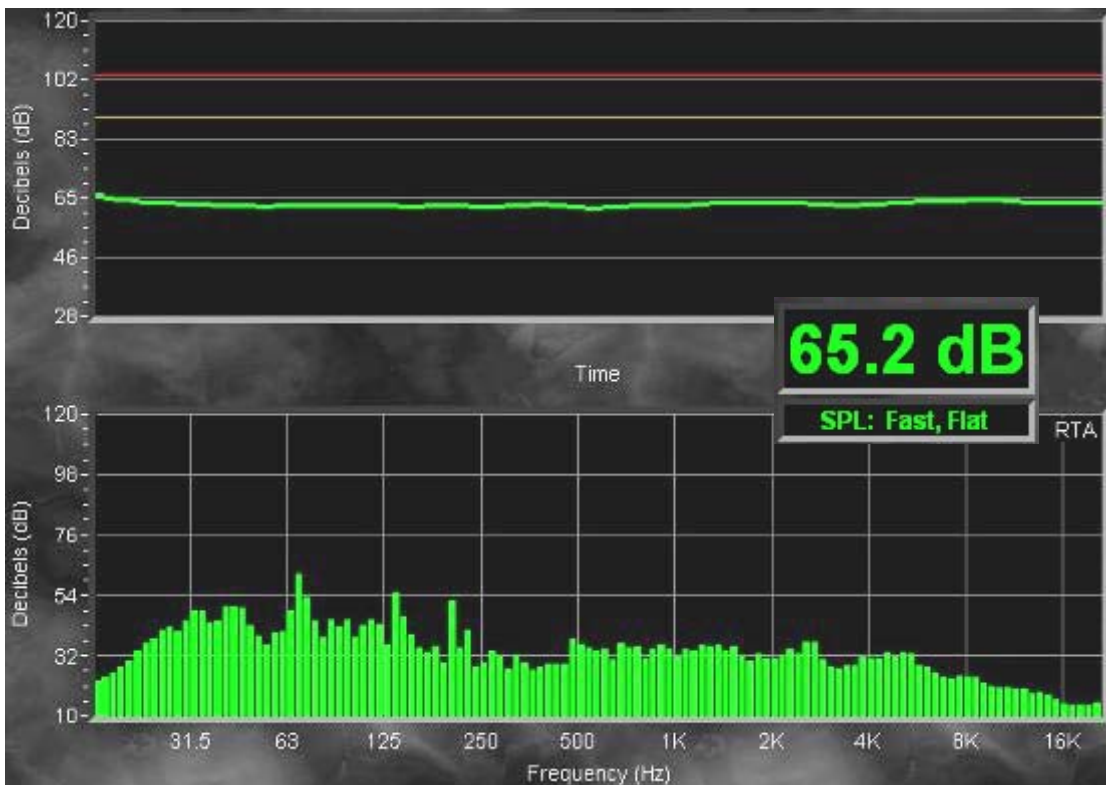
Εικόνα 1.14

Μηχανή στις 1000 στροφές (rpm) και το μικρόφωνο μέσα στην κυρίως αίθουσα στην ίδια θέση.



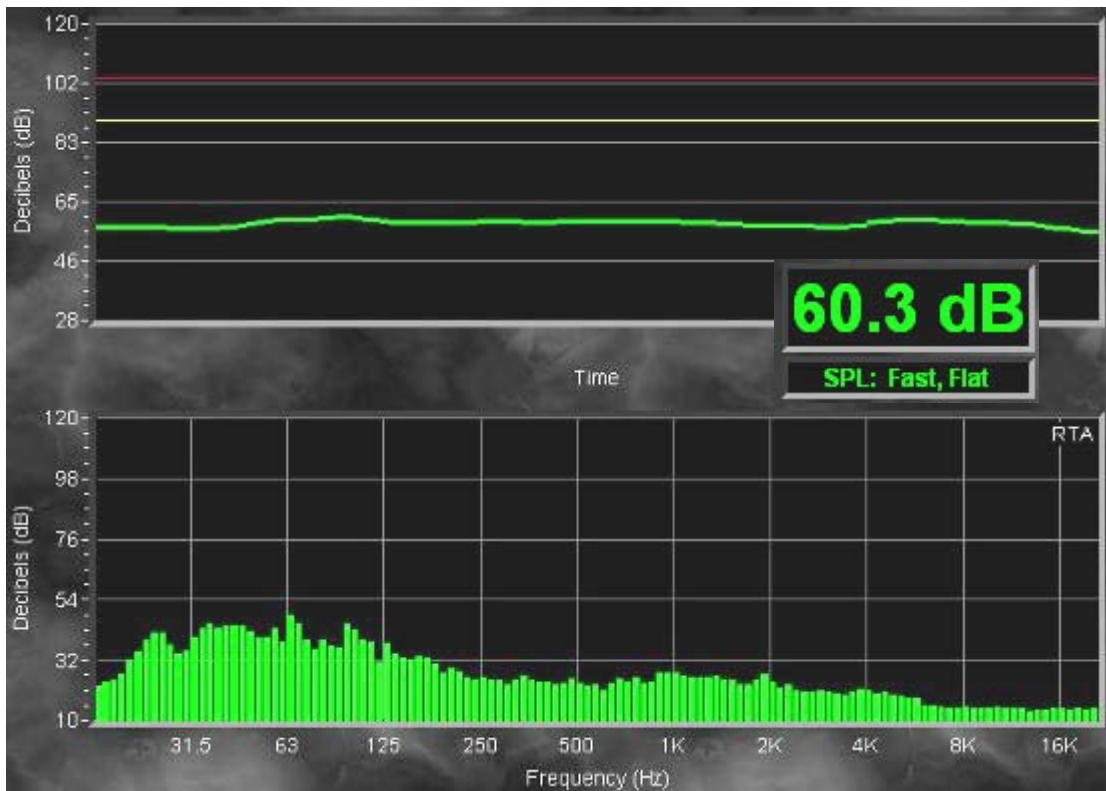
Εικόνα 1.15

Μηχανή στις 3000 στροφές (rpm) και το μικρόφωνο μέσα στην κυρίως αίθουσα στην ίδια θέση.



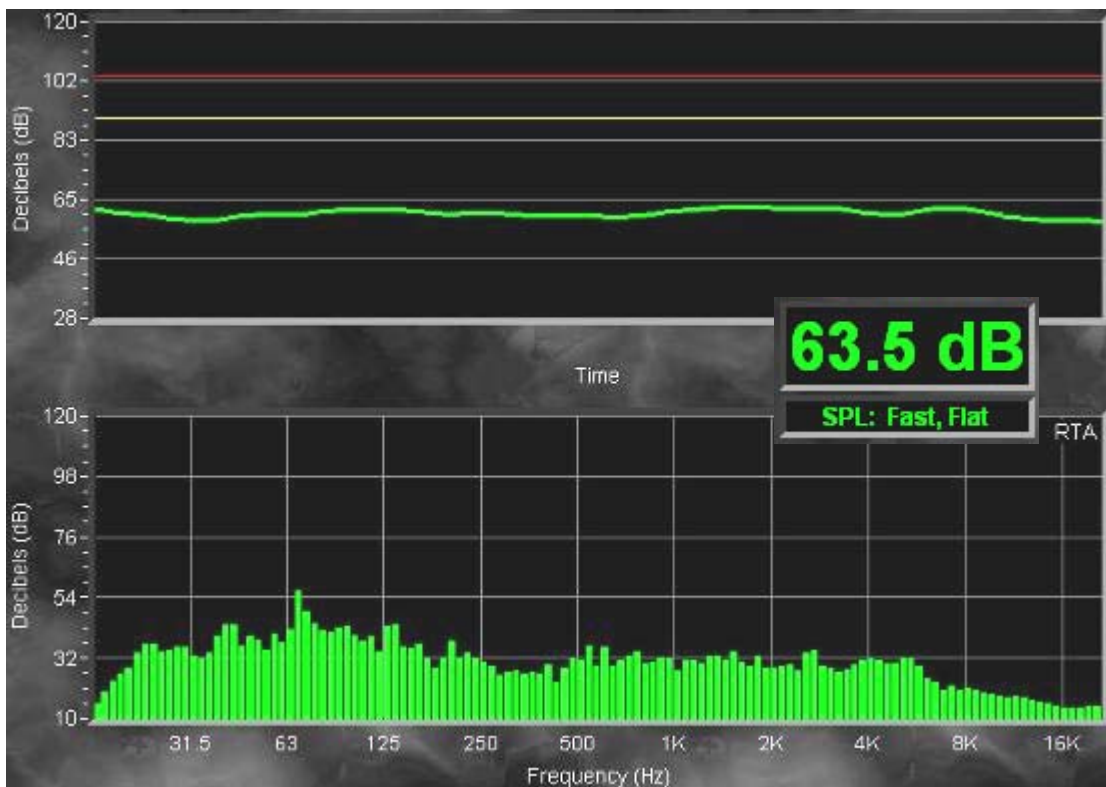
Εικόνα 1.16

Μηχανή στην οδό τουρναβίτου και στις 1000 στροφές (rpm). Το μικρόφωνο μέσα στην κυρίως αίθουσα στην ίδια θέση.



Εικόνα 1.17

Μηχανή στην οδό τουρναβίτου και στις 3000 στροφές (rpm). Το μικρόφωνο μέσα στην κυρίως αίθουσα στην ίδια θέση.

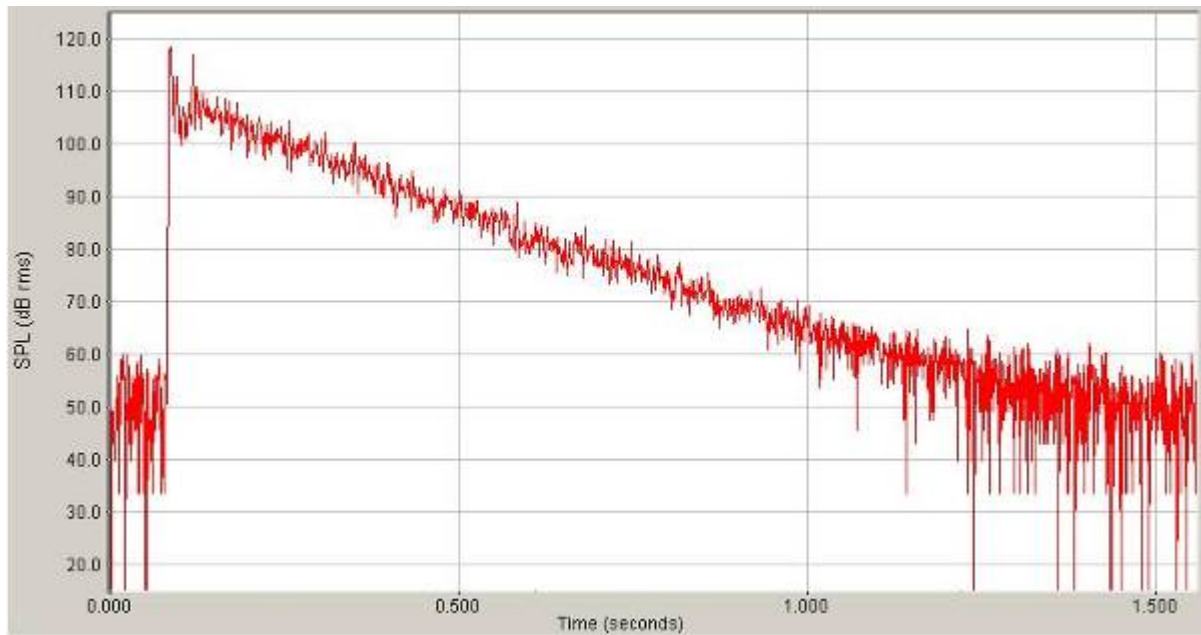


Εικόνα 1.18

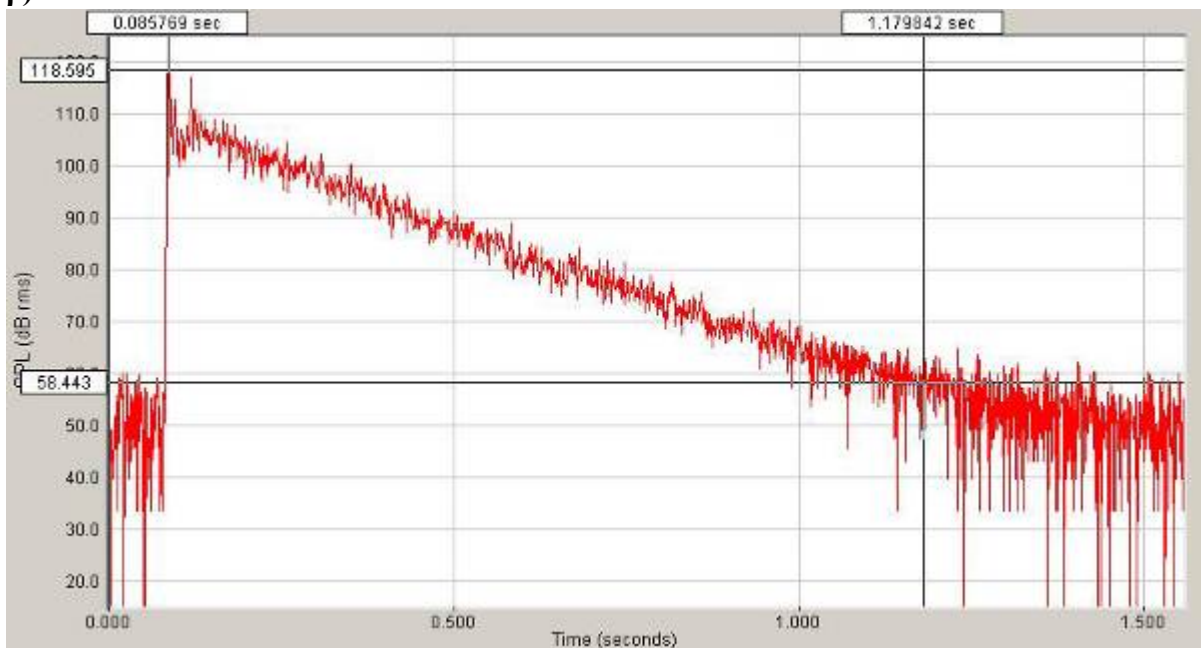
α) Μέτρηση RT60 με κρότο (εικόνα από το περιβάλλον του SpectraLab).

β) Η ίδια μέτρηση με αποτυπωμένα τον χρόνο εκκίνησης του φαινομένου και το επίπεδο έντασης αυτού καθώς και το σημείο πτώσης του σήματος κατά 60 dB.

α)

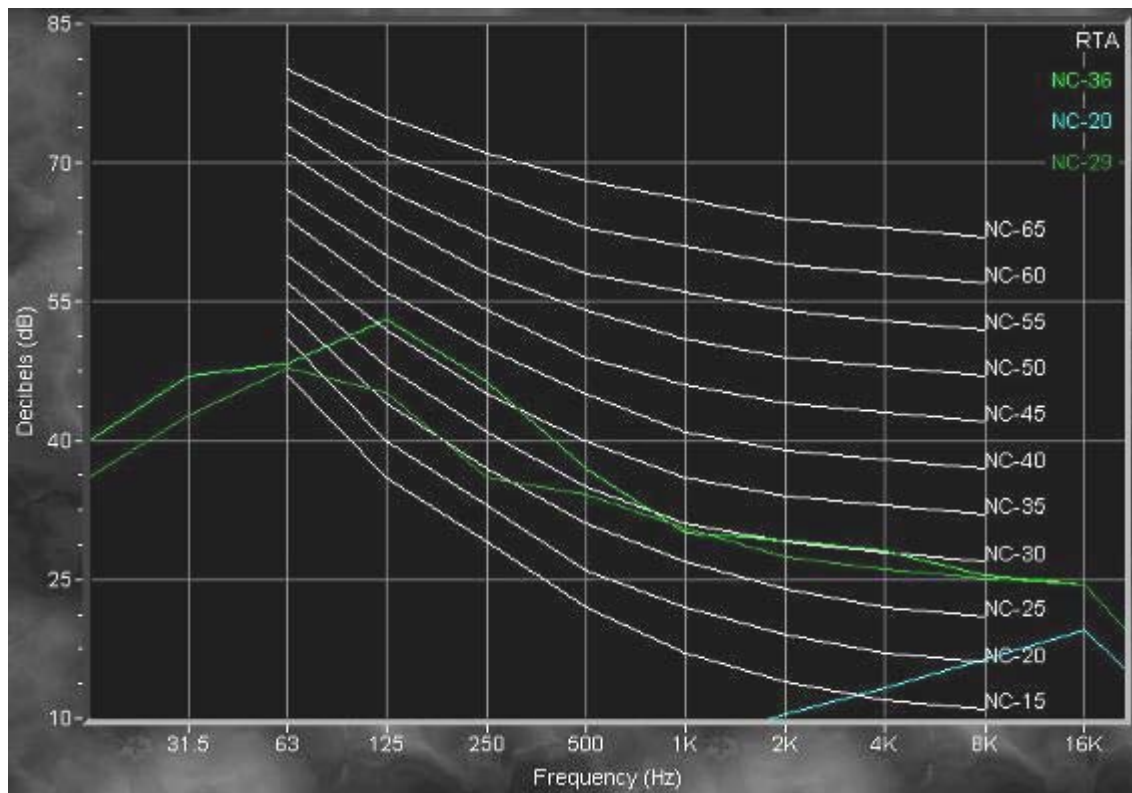


β)



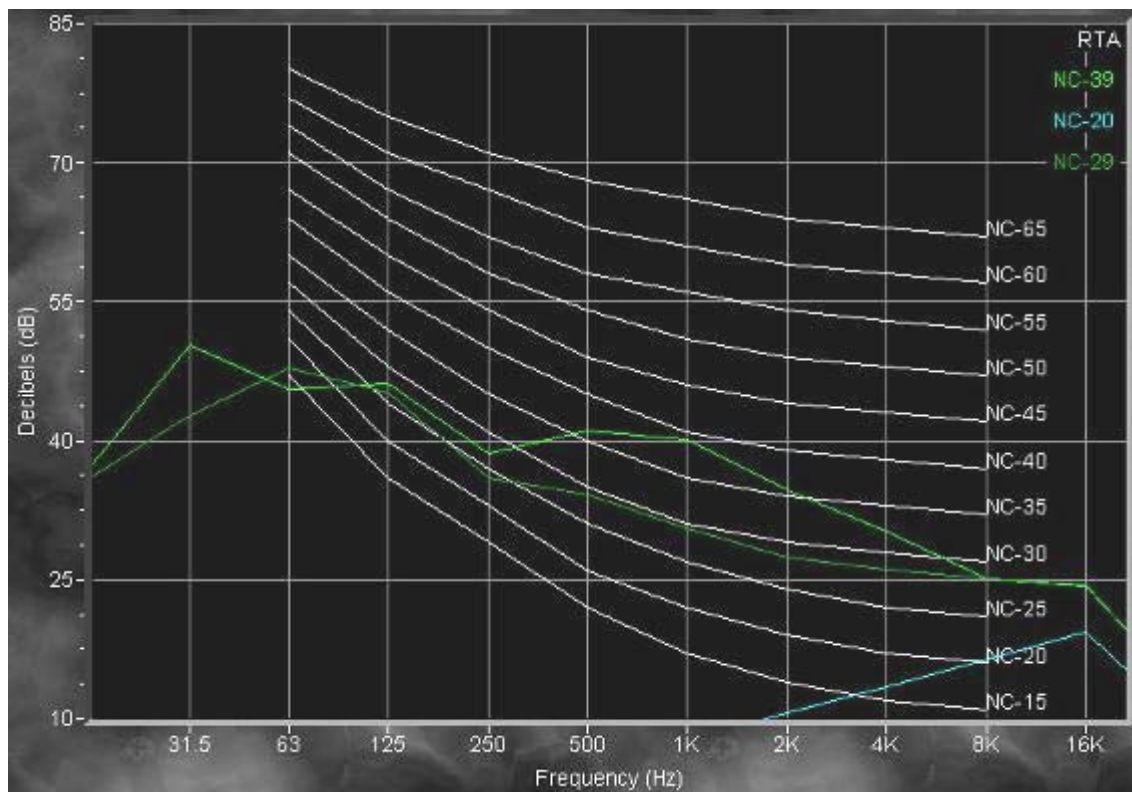
Εικόνα 1.19

Καμπύλη NC για την χαμηλότερη στάθμη θορύβου. NC = 36

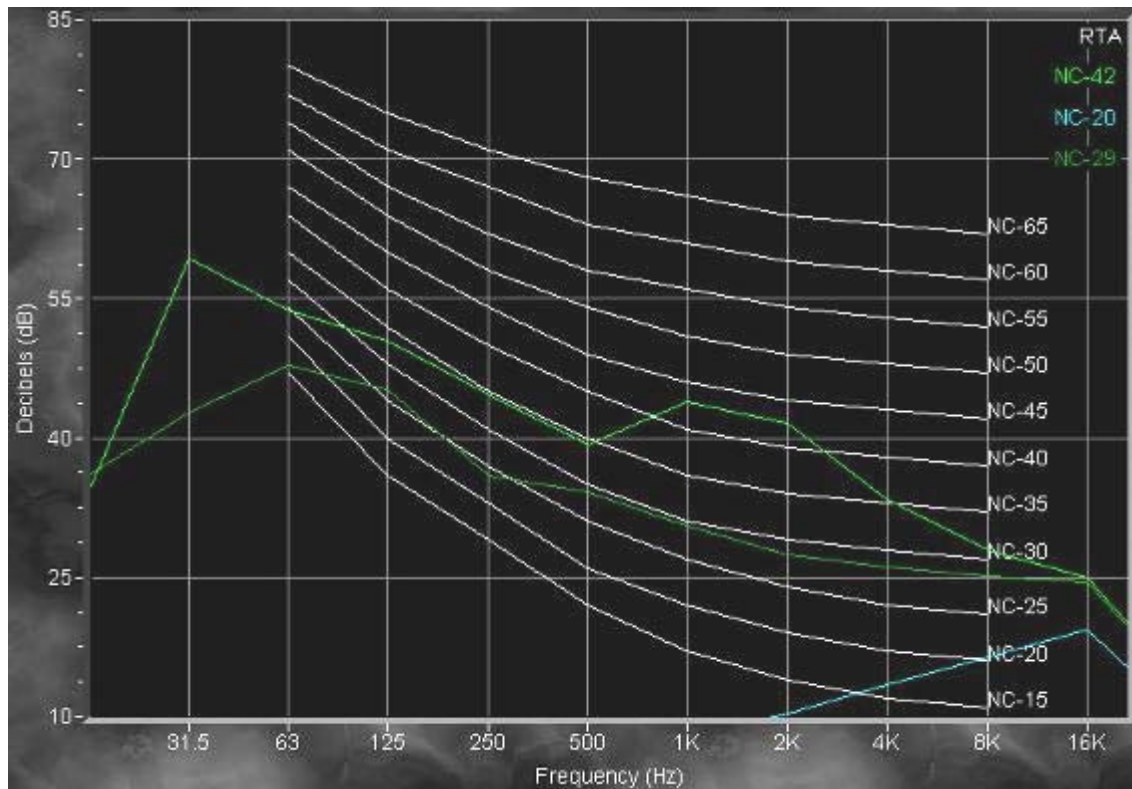


Εικόνα 1.20

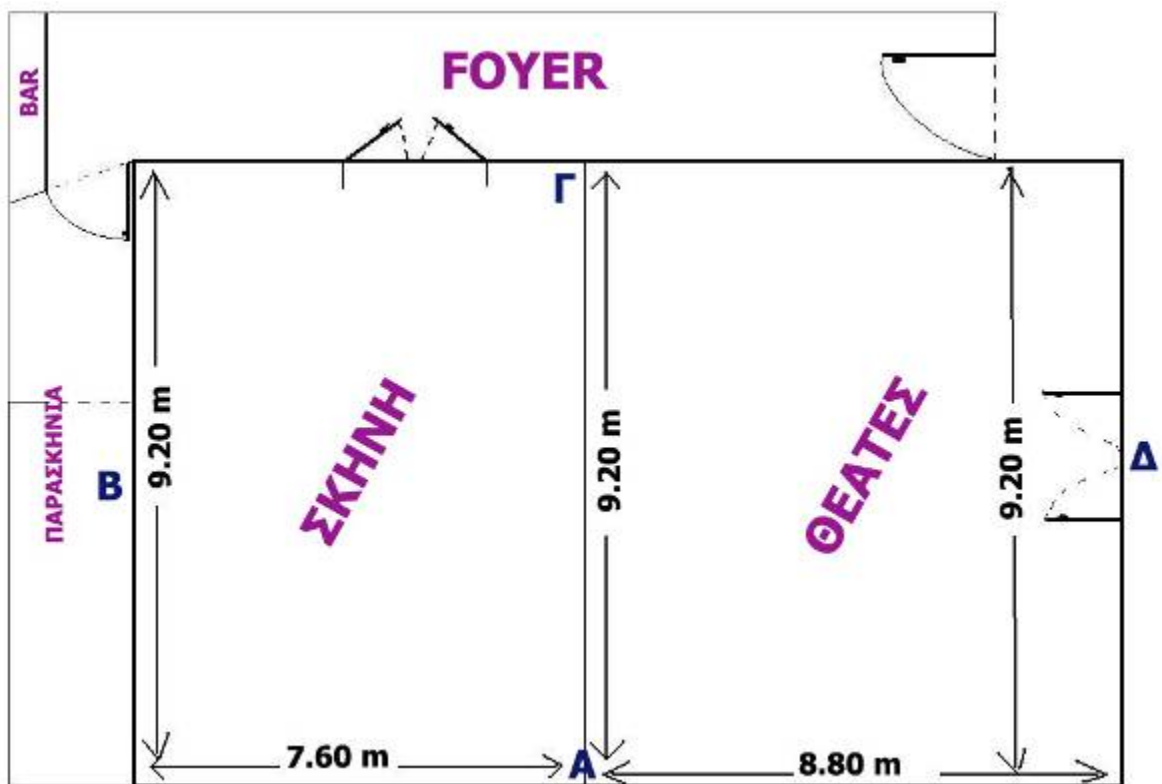
Καμπύλη NC για την μεσαία στάθμη θορύβου. NC = 39



Εικόνα 1.21
 Καμπύλη NC για την υψηλή στάθμη θορύβου. NC = 42

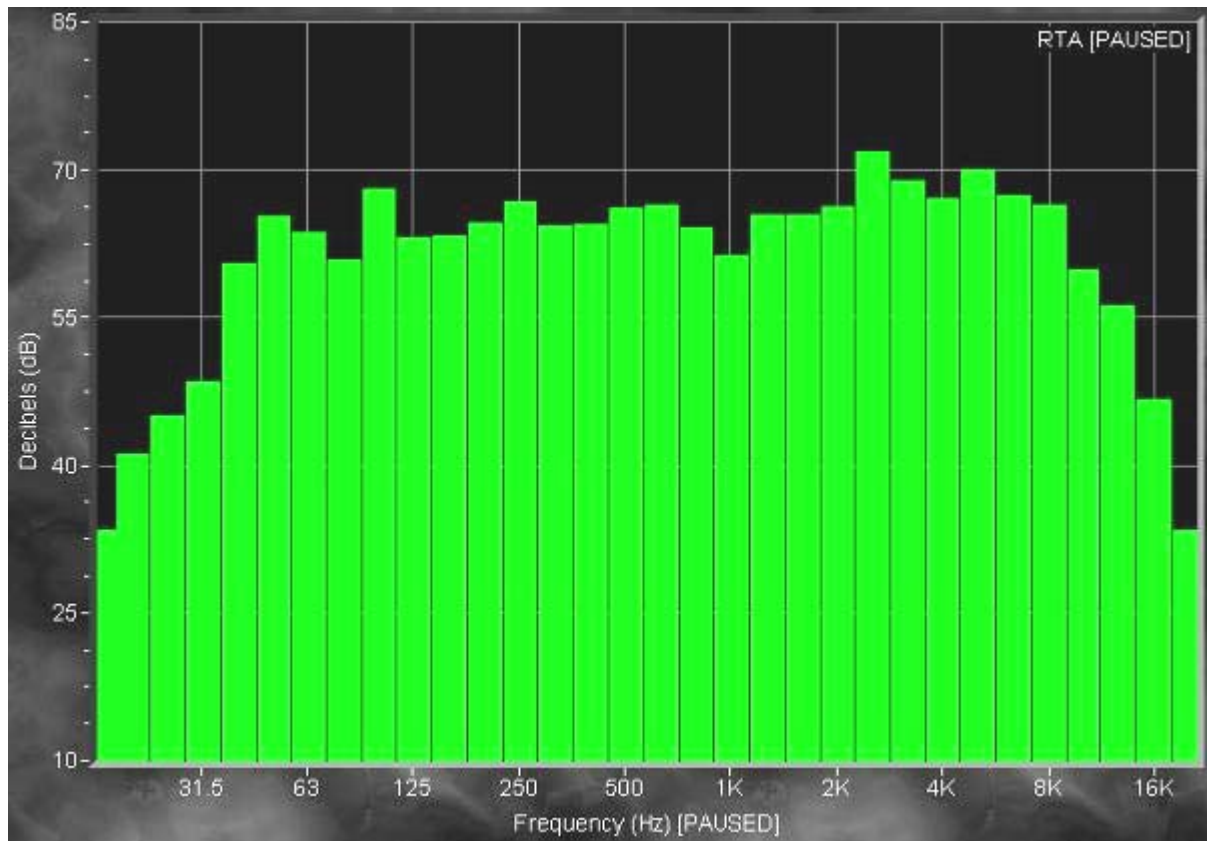


Εικόνα 1.22
 Κάτοψη θεάτρου «Από μηχανής»



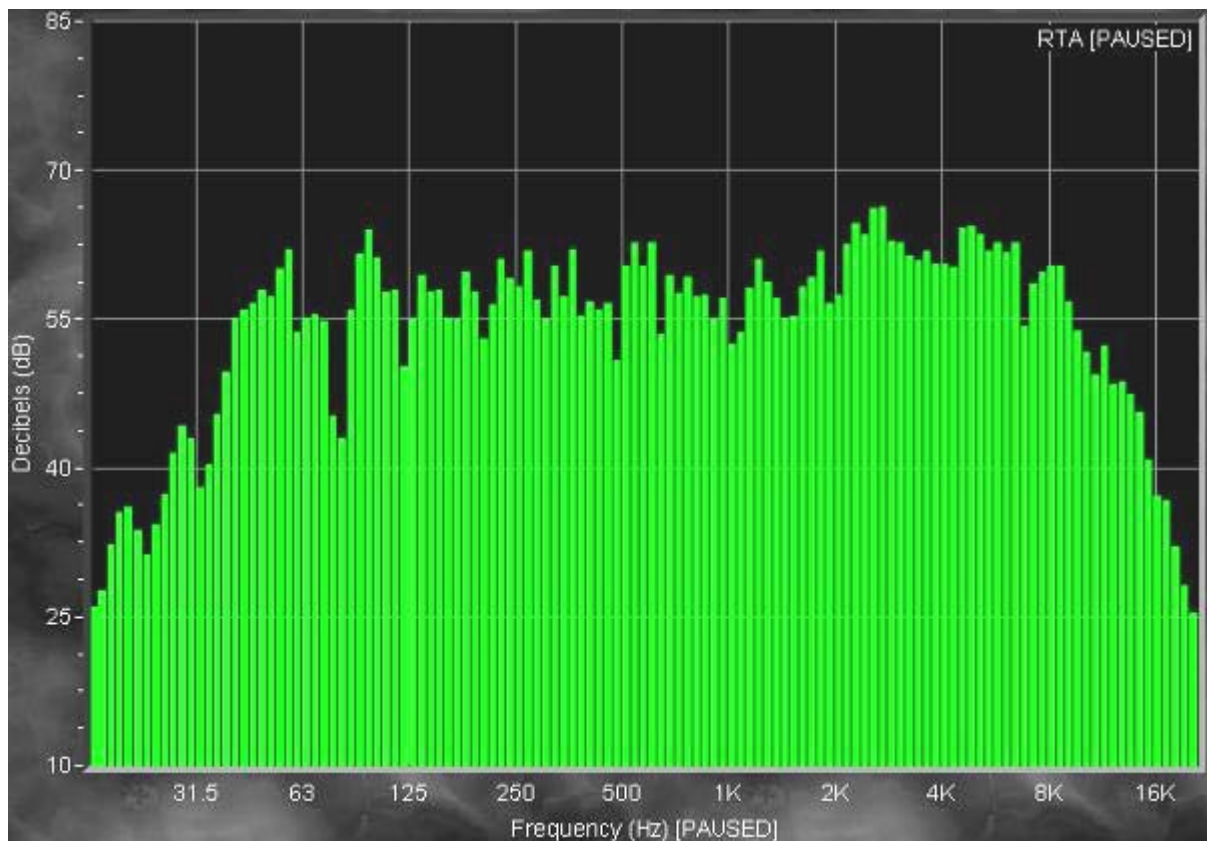
Εικόνα 1.23

Απόκριση του χώρου σε ροζ θόρυβο και σε ανάλυση 1/3 οκτάβας χωρίς το sub.



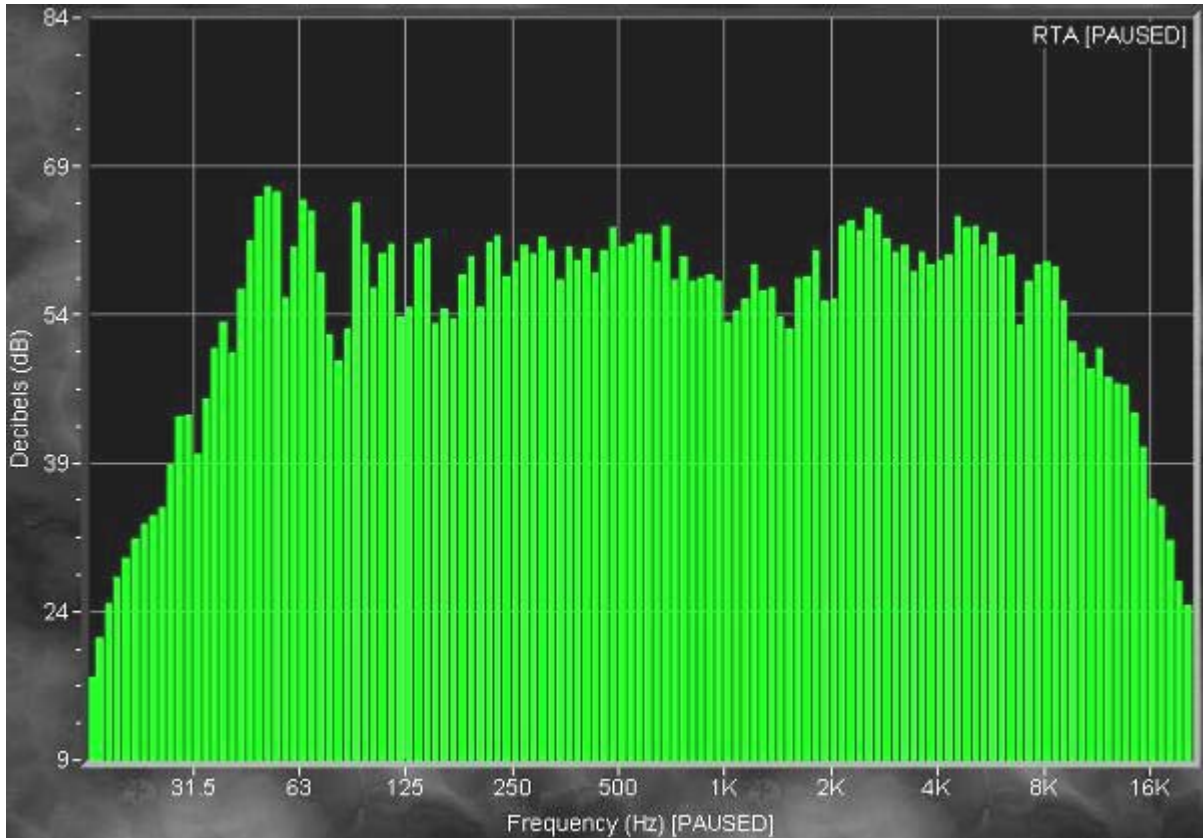
Εικόνα 1.24

Απόκριση του χώρου σε ροζ θόρυβο και σε ανάλυση 1/12 οκτάβας χωρίς το sub.



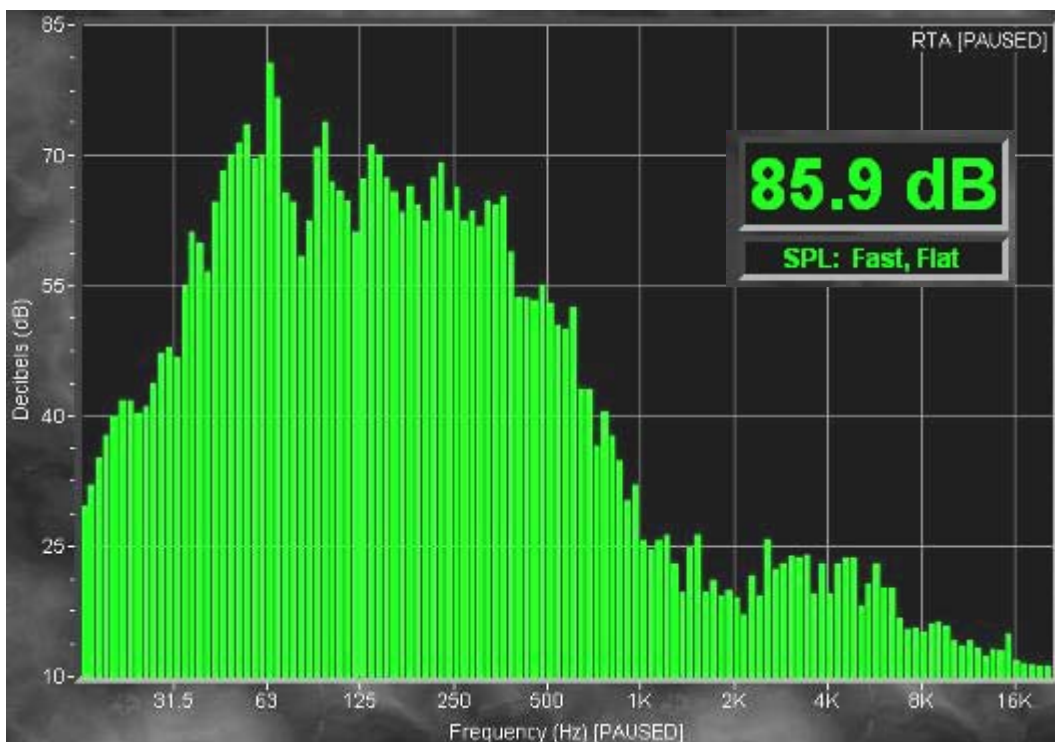
Εικόνα 1.25

Απόκριση του χώρου σε ροζ θόρυβο και σε ανάλυση 1/12 οκτάβας με το sub ενεργό.



Εικόνα 1.26

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 20 Hz – 220 Hz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



Εικόνα 1.27

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 200 Hz – 1000 Hz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



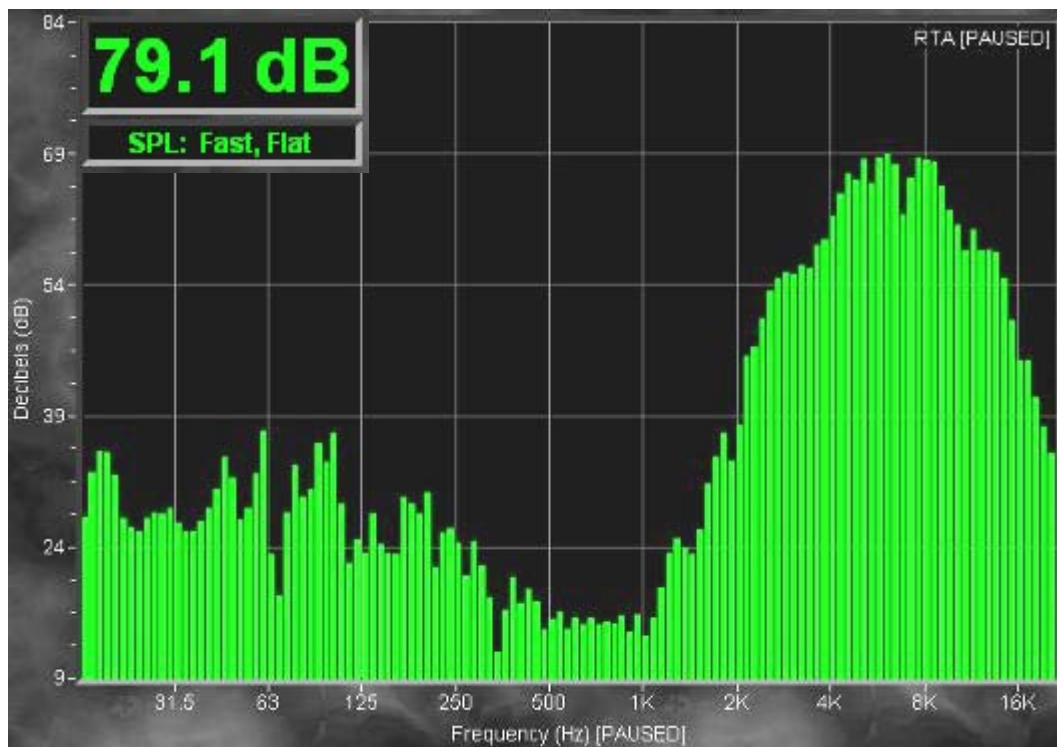
Εικόνα 1.28

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 1 kHz – 7 kHz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



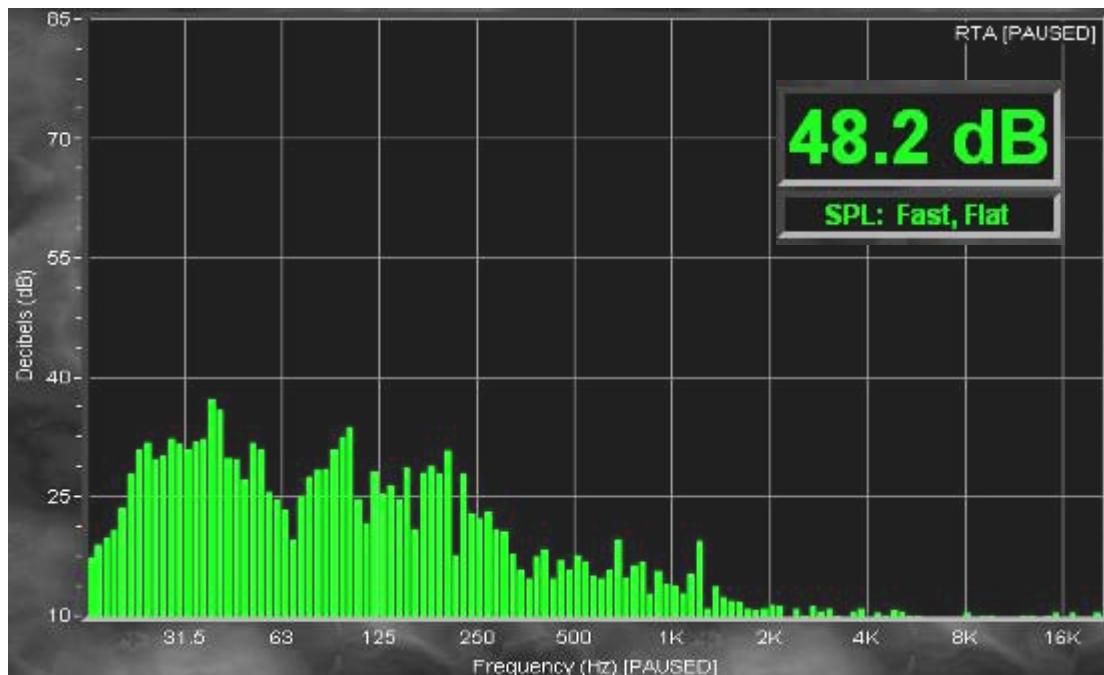
Εικόνα 1.29

Απόκριση του χώρου με θόρυβο 7 kHz – 16 kHz σε ανάλυση 1/12 οκτάβας.



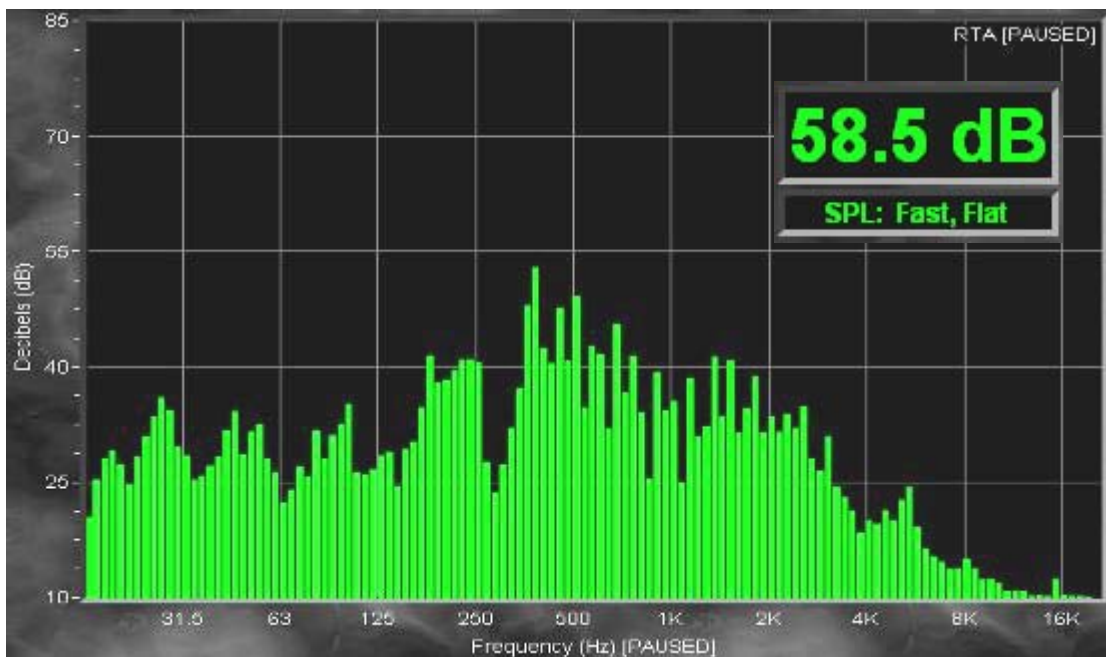
Εικόνα 1.30

Ο θόρυβος του χώρου συχνολικά με κλειστές τις πόρτες.



Εικόνα 1.31

Ο θόρυβος του χώρου συχνотικά με ανοιχτή την πόρτα του φουαγιέ.

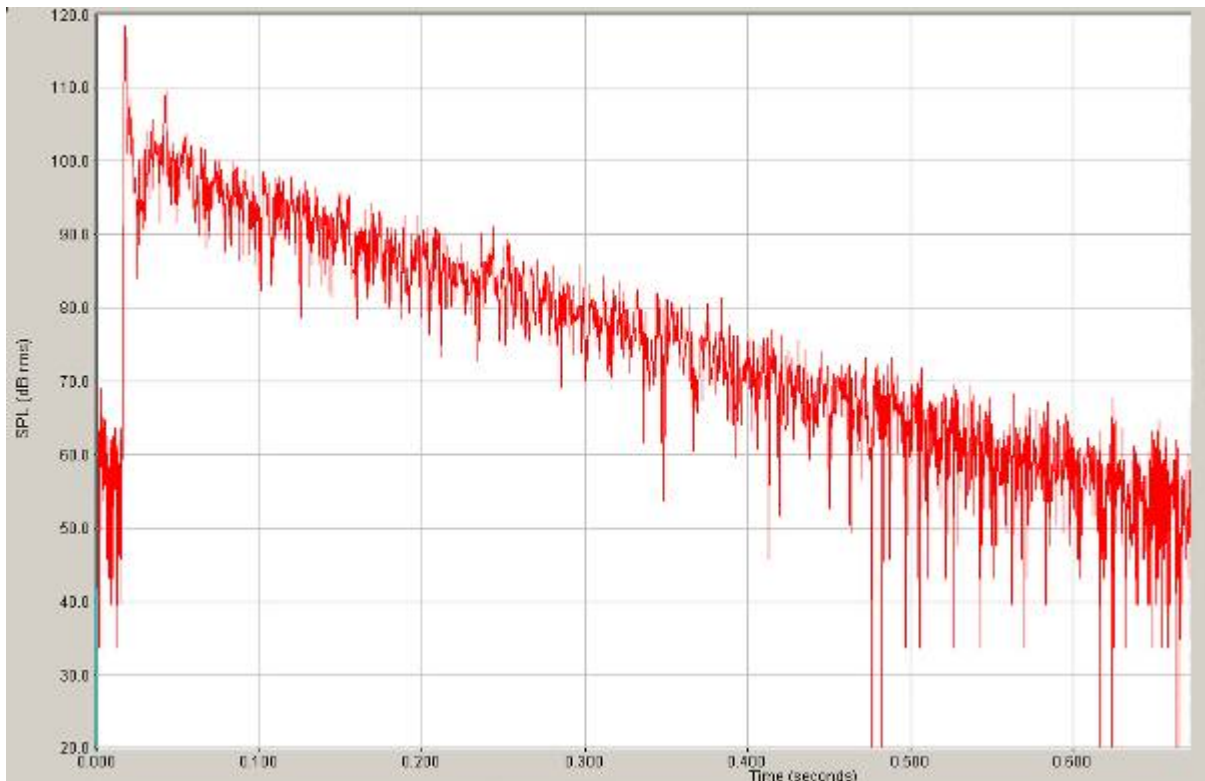


Εικόνα 1.32

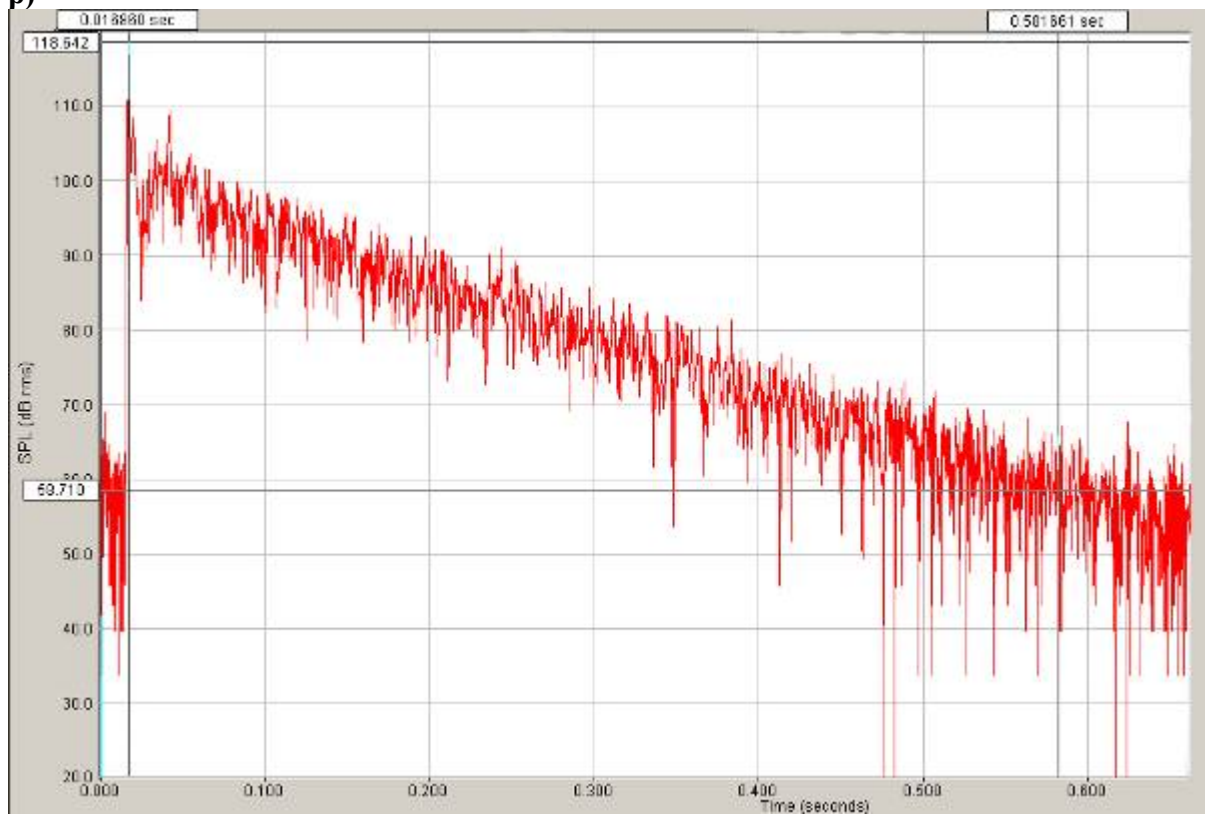
α) Μέτρηση RT60 με κρότο (εικόνα από το περιβάλλον του SpectraLab).

β) Η ίδια μέτρηση με αποτυπωμένα τον χρόνο εκκίνησης του φαινομένου και το επίπεδο έντασης αυτού καθώς και το σημείο πτώσης του σήματος κατά 60 dB.

α)

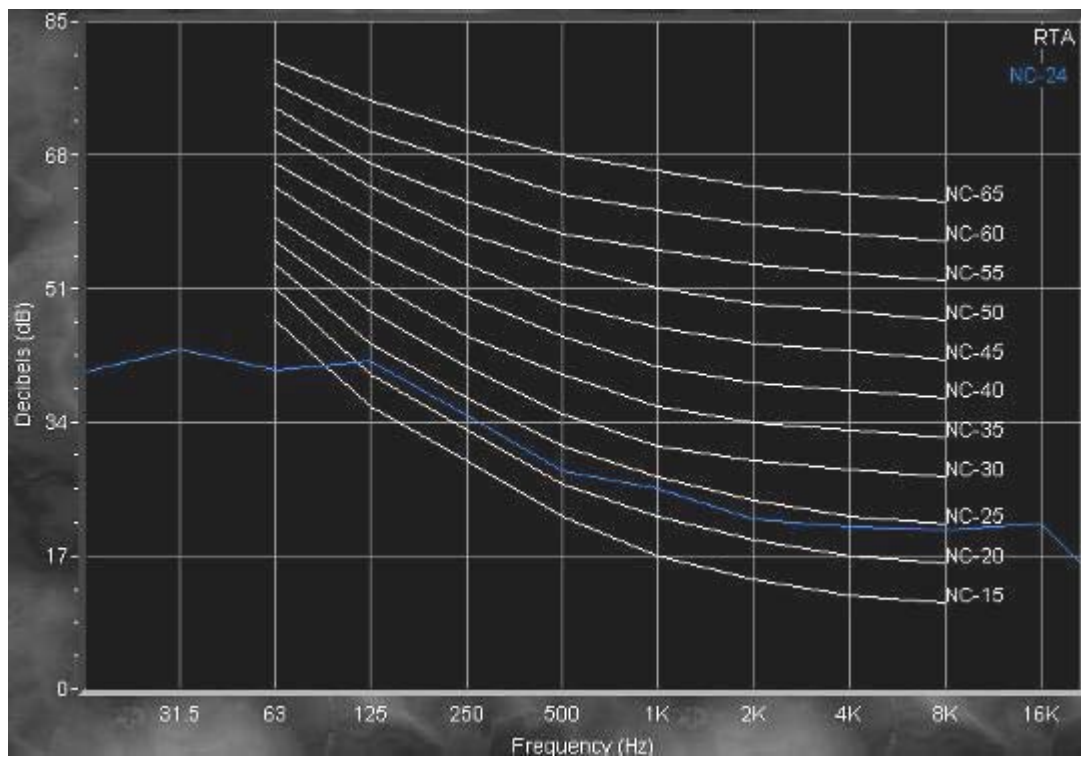


β)



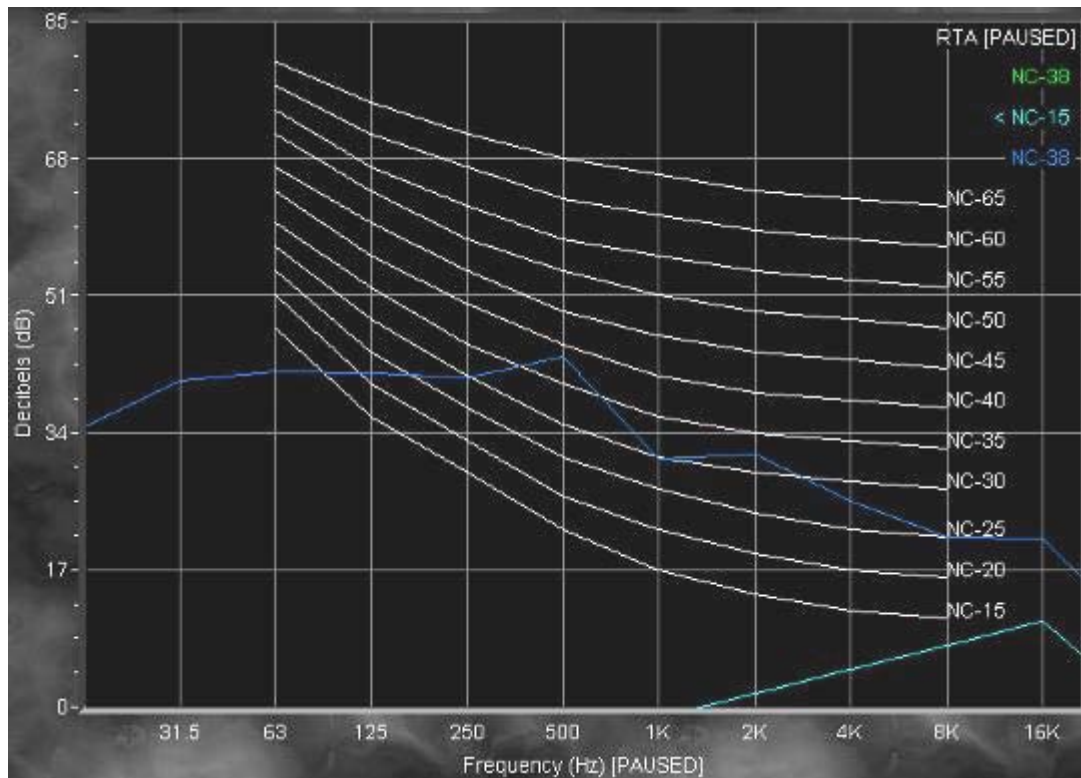
Εικόνα 1.33

Καμπύλη NC για την χαμηλή στάθμη θορύβου. NC = 24



Εικόνα 1.34

Καμπύλη NC για την υψηλή στάθμη θορύβου. NC = 38



Εικόνα 1.35

Το σκηνικό του θεάτρου «Από μηχανής», κατά την διάρκεια των μετρήσεων.



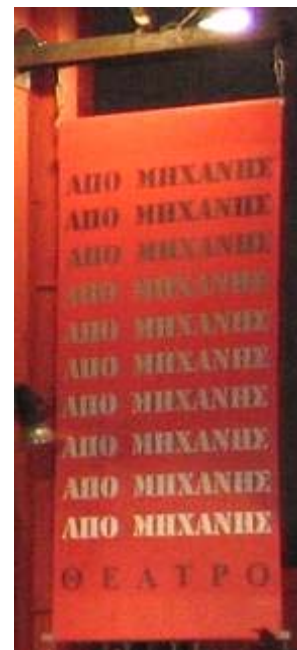
Εικόνα 1.36

Στιγμιότυπο από το σκηνικό του θεάτρου «Θησείων», μετά την παράσταση.



Εικόνα 1.37

Εικόνες από τις επωνυμίες των δυο θεάτρων.



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους αυτούς που με υποστήριξαν με πολλούς και ποικίλους τρόπους, κατά την διάρκεια διεξαγωγής αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Καταρχήν, οι μεγαλύτερες ευχαριστίες μου ανήκουν στον κ. Δημήτρη Καμαρωτό, σύμβουλο του ΤΕΙ Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, ο οποίος με βοήθησε σε όλη την διαδικασία της προετοιμασίας και ολοκλήρωσης αυτής της πτυχιακής. Επίσης ευχαριστώ τους Βασίλη Κουντούρη και Κώστα Μπόκο, μηχανικούς ήχου του studio 19, για τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσαν, τον τεχνικό εξοπλισμό που διέθεσαν για την διεκπεραίωση των μετρήσεων και την βοήθειά τους στην διεξαγωγή αυτών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους ιδιοκτήτες των δυο θεάτρων, «Θησείων» και «Από μηχανής», οι οποίοι μου επέτρεψαν να χρησιμοποιήσω τους χώρους αυτούς για τις όποιες μετρήσεις χρειάστηκαν στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- ❖ Δώδης Δημήτρης (2001), «Η δημιουργία με την σύγχρονη τεχνολογία : “ΗΧΟΛΗΨΙΑ”» 3^η έκδοση, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, ISBN: 960-411-071-3
- ❖ Ευαγγελόπουλος, Δημήτρης (2003), «Οι Αρχές της Ελληνικής Μουσικής και η Μουσική των Σφαιρών» στο Αντωνιάδης Αντώνης (2003), «Αρχαία Ελληνική Επιστήμη», εκδόσεις Αρχέτυπο, Θεσσαλονίκη, ISBN: 960-7928-97-0
- ❖ Κουλούρης Κων/νος – Πετρίδης Αντώνης (2000), «ΗΧΟΤΕΧΝΙΑ Ι» και «ΗΧΟΤΕΧΝΙΑ ΙΙ», εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, ISBN: 960-405-366-3, 960-405-367-1
- ❖ Κουτσοδημάκης Χρήστος – Άκης Γκολφίδης (1998), «ΠΕΡΙ ΗΧΟΥ και ΑΚΡΟΑΣΗΣ (Σημειώσεις για την Ηχοληψία)» 2^η έκδοση
- ❖ Κυριακάκης Ηρακλής Δ. – Γιαννικάκης Ιωάννης Εμμ. (1999), «ΜΕΙΩΣΗ & ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΟΡΥΒΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΗΧΟΥ», εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, ISBN: 960-405-900-9
- ❖ Παπανικολάου Γ. (1985), «ΗΛΕΚΤΡΑΚΟΥΣΤΙΚΗ», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, ISBN: 960-12-0177-7
- ❖ Πρακτικά συνεδρίου ΕΛ.ΙΝ.Α. (Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής) (2003) Πάτρα, «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2002», εκδόσεις Typorama, ISBN: 960-7620-27-5
- ❖ Πρακτικά συνεδρίου ΕΛ.ΙΝ.Α. (Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής) (2005) Θεσσαλονίκη, «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2004»
- ❖ Σκαρλάτος Δημήτρης (2003), «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ», εκδόσεις Φιλομάθεια, ISBN: 960-87710-1-3
- ❖ Σημειώσεις του ΑΤΕΙ Μ.Τ.Κ.Α από τα μαθήματα «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΗΧΟΥ Ι» Δαλιάνης Σωτήρης, «ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΗΧΟΥ ΙΙ, ΙΙΙ» Κούζουπης Σπύρος, κατά την διάρκεια των ετών 1999 με 2003.
- ❖ Τσινίκας Νίκος (1990), «ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, ISBN: 960-12-0293-5
- ❖ Dr Alfred Tomatis (2000), «ΤΟ ΑΥΤΙ ΚΑΙ Η ΦΩΝΗ», εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα, ISBN: 960-344-5614
- ❖ F. Alton Everest (1977), «ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ» 3^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, (τίτλος πρωτοτύπου: “The Master Handbook of Akoustics, 3rd edition”), ISBN: 960-7219-67-8
- ❖ John Strohmeier & Peter Westbrook (2003), «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ, Η ΖΩΗ ΚΑΙ Η ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΟΥ», εκδόσεις Αρχέτυπο, Θεσσαλονίκη, ISBN: 960-421-037-8

Ξένη Βιβλιογραφία

- ❖ Deena Kaye & James Lebrecht (1992), “SOUND AND MUSIC FOR THE THEATRE”, manufactured in the U.S.A., («ΗΧΟΣ ΚΑΙ ΜΟΥΣΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΘΕΑΤΡΟ»), ISBN: 0-8230-7664-4
- ❖ Don Davis & Carolyn Davis (1989), “SOUND SYSTEM ENGINEERING” second edition, printed in the U.S.A., («ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΧΟΥ»), ISBN: 0-672-21857-7
- ❖ Gary Davis & Ralph Jones (1989), “SOUND REINFORCEMENT HANDBOOK” (YAMAHA) second edition, printed in the U.S.A., («ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ»), ISBN: 0-88188-900-8
- ❖ Heinrich Kuttruff (1973), “ROOM ACOUSTICS”, printed in Great Britain by Galliard, («ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΔΩΜΑΤΙΩΝ») ISBN: 0-85334-573-2
- ❖ M. David Egan (1988), “ARCHITECTURAL ACOUSTICS”, printed in the U.S.A., («ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ»), ISBN: 0-07-019111-5
- ❖ Michael Barron (1993), “AUDITORIUM ACOUSTICS AND ARCHITECTURAL DESIGN”, printed in Great Britain by Ipswich Book Co, («ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΕΔΡΙΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ»), ISBN: 0-419-17710-8
- ❖ William J. Cavanaugh & Joseph A. Wilkes (1998), “ARCHITECTURAL ACOUSTICS (Principles and Practice)”, printed in the U.S.A., («ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ (Αρχές και Πρακτική)»), ISBN: 0-471-30682-7

Διαδίκτυο

- ❖ <http://www.acousticsscience.com/articles/db1191.htm> (12/05/2005)
- ❖ www.acousticalsolutions.com (11/05/2005)
- ❖ http://ccrma.stanford.edu/CCRMA/Courses/150/auditorium_acoustics.html (09/05/2005)
- ❖ <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/dB.html> (17/01/2005)
- ❖ <http://www.teleteaching.gr/w2/text-7-2-3.htm> (10/06/2004)
- ❖ <http://www.kevinkemp.com/homerecordingtutorial/acoustics.htm> (17/01/2005)
- ❖ <http://people.deas.harvard.edu/~jones/cscie129/supplements/Miller/miller.html> (08/04/2006)
- ❖ http://www.monolithic.com/plan_design/acoustics/index.html (23/03/2005)
- ❖ <http://www.freeessays.cc/db/41/sxm47.shtml> (23/03/2005)