



ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

Βελησάριος Νάσης

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής 
Παράρτημα Ρεθύμνου | Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
AM:593

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή
της παρούσας εργασίας, κύριο Σπύρο Μπρέζα,
για την πολύτιμη βοήθεια του.

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται την ορθότητα κατασκευής εκπαιδευτικών αιθουσών σε συνάρτηση με τη μέτρηση των κατάλληλων ακουστικών δεικτών. Κατά την ανάπτυξη της παρούσας μελέτης, μετρήθηκε η απόκριση τεσσάρων αιθουσών διδασκαλίας του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, εκ των οποίων οι δύο αποτελούν αίθουσες πολλαπλών χρήσεων καθώς χρησιμοποιούνται ως εργαστήρια με χρήση Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.

Το μετρητικό κομμάτι της έρευνάς μας επικεντρώθηκε στη λήψη μετρήσεων με το σύστημα MLSSA και με τη βοήθεια ηχομέτρου, έχοντας ως αποτέλεσμα την ποσοτικοποίηση της ακουστικής ποιότητας των αιθουσών διδασκαλίας που μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης καταδεικνύουν την ελλιπή ακουστική ποιότητα των αιθουσών διδασκαλίας.

Τέλος, προτείνονται εφικτές λύσεις αναφορικά με ακουστικές βελτιώσεις των μελετούμενων αιθουσών.

Λέξεις κλειδιά: θόρυβος, ηχομόνωση, αίθουσα διδασκαλίας, ακουστικοί δείκτες

Summary

This survey is dealing with the correct manufacture of education classrooms in connection with the measurement of the proper acoustic indexes. In drawing this survey, the response of four education halls of the Department of Music Technology and Acoustics was measured. Two of the studied teaching halls are halls for multiple use as they are used as laboratories served with electronic computers (PC's).

The measurement part of our survey focused on making measurements under the MLSSA system with the assistance of sound level meters, achieving thus the qualification of the acoustics of the studied teaching hall. The results of this survey prove the insufficient acoustic quality of the teaching halls.

Finally, possible solutions regarding the improvement of the acoustics of the studied teaching halls are proposed.

Keywords: noise, sound insulation, teaching room, acoustical indexes

Περιεχόμενα

<u>1.1</u>	<u>ΗΧΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u>	8
1.1.1	Ήχος	8
1.1.2	Συχνότητα	8
1.1.3	Περίοδος T	8
1.1.4	Ταχύτητα του ήχου	8
1.1.5	Μήκος κύματος	9
<u>1.2</u>	<u>ΒΑΣΙΚΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ</u>	9
1.2.1	Μέτρηση του ήχου	9
1.2.2	Είδη – Ήχων	10
1.2.3	Στάθμη ηχητικής πίεσης	10
1.2.4	Στάθμη ηχητικής ισχύος	11
1.2.5	Στάθμη ηχητικής έντασης	11
<u>1.3</u>	<u>Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ</u>	12
1.3.1	Χρόνος αντήχησης RT	13
1.3.2	Μέτρηση του χρόνου αντήχησης σε πραγματική αίθουσα	13
<u>1.4</u>	<u>ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ</u>	14
1.4.1	Μέθοδος του παλμού	14
1.4.2	Μέθοδος του μηδενισμού της πηγής	14
1.4.3	Μέθοδος ακολουθίας μεγίστου μήκους (mlssa)	14
<u>1.5</u>	<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ</u>	15
1.5.1	Εξίσωση – Sabine	15
1.5.2	Εξίσωση Norris – Eyring	16
1.5.3	Εξίσωση - Fitzroy	16
<u>1.6</u>	<u>ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ</u>	17
1.6.1	RT ₆₀ –Υπολογισμός χρόνου αντήχησης για χώρους στους οποίους είναι σημαντικός ο αέρας	17
1.6.2	RT ₆₀ - Υπολογισμός χρόνου αντήχησης για χώρους με ανοιχτά παράθυρα	18
1.6.3	RT ₆₀ - Υπολογισμός χρόνου αντήχησης για πολύ μεγάλους χώρους	18
<u>1.7</u>	<u>ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (EARLY DECAY TIME, EDT)</u>	19
1.7.1	Δείκτης Απώλειας Συμφώνων (AL, Articulation loss)	19
1.7.2	Δεικτης μετάδοσης λόγου και ταχύς δείκτης μετάδοσης λόγου (speech transmission index, STI and rapid speech transmission index, RASTI)	20
1.7.3	T ₁₀ , T ₂₀ , T ₃₀ - Αυτοί οι χρόνοι ορίζονται από την παγκόσμια βιβλιογραφία	20

<u>1.8</u>	<u>ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ</u>	21
1.8.1	Αερόφερτη μετάδοση ηχητικών κυμάτων	21
1.8.2	Στερεόφερτη μετάδοση ηχητικών κυμάτων	21
1.8.3	Διαμήκη κύματα	22
1.8.4	Εγκάρσια κύματα	22
1.8.5	Στερεόφερτη μετάδοση ηχητικών κυμάτων (Κτυπογενής)	22
<u>1.9</u>	<u>ΘΟΡΥΒΟΣ</u>	23
1.9.1	Κατηγοριοποίηση ακουστικού θορύβου	23
1.9.2	Μέτρηση ακουστικού θορύβου	24
1.9.3	Λευκός και ροζ θόρυβος	24
1.9.4	Ηχόμετρο	25
1.9.5	Καμπύλες ίσης ακουστότητας	26
1.9.6	Καμπύλες κατάταξης θορύβου NC	27
1.9.7	Ακουστικό ερέθισμα	28
1.9.8	Επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο βάσει του WHO	29
1.9.9	Ο Θόρυβος σε εκπαιδευτικούς χώρους	32
1.9.10	Ευκρίνεια C_{50} C_{80}	32
<u>1.10</u>	<u>ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΕΡΙ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΤΗΡΙΑΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ- ΑΡΘΡΟ 12</u>	33
1.10.1	Παράμετροι ακουστικής άνεσης	33
1.10.2	Κατηγορίες ακουστικής άνεσης	34
<u>1.11</u>	<u>ΑΓΓΛΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ (BB93)</u>	37
<u>1.12</u>	<u>ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ</u>	43
1.12.1	ANSI/ASA S12.60-2002	43
1.12.2	ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1	45
<u>2.1</u>	<u>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</u>	46
2.1.1	Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους της πτυχιακής εργασίας	46
2.1.2	Οι συνδεσμολογίες που πραγματοποιήθηκαν για την επίτευξη του πειράματος	48
<u>2.2</u>	<u>ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ</u>	49
2.2.1	Αίθουσα B	49
2.2.1.1	Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας	51
2.2.2	Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1	52
2.2.2.1	Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας	53
2.2.3	Αίθουσα Κ.Ε.Κ Α1	55
2.2.3.1	Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας	56
2.2.4	Αίθουσα Γ 331	58
2.2.4.1	Μέτρηση ηχομείωσης πόρτα	59

<u>2.3</u>	<u>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	61
2.3.1	Αίθουσα Β	61
2.3.2	Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1	64
2.3.3	Αίθουσα Κ.Ε.Κ Α1	68
2.3.4	Αίθουσα Γ 331	71
<u>2.4</u>	<u>ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	74
<u>2.5</u>	<u>ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ</u>	75
	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	76
	<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	94

1.1 ΗΧΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τι είναι ο ήχος ή ηχητικό κύμα παρατίθενται κάποια αντικειμενικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι φυσικά μεγέθη τα οποία μπορούν να μελετηθούν και να περιγραφούν από την επιστήμη της Φυσικής. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να προσδιοριστούν ποσοτικά και ποιοτικά μέσω μετρήσεων που γίνονται από ειδικές συσκευές και όργανα.

1.1.1 Ήχος

Ορίζεται ως η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις και έχει τέτοιο χαρακτήρα, ώστε να μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

1.1.2 Συχνότητα

Ονομάζουμε τον αριθμό των επαναλήψεων ενός γεγονότος στη μονάδα του χρόνου. Μετράται σε *Hertz (Hz)* και συμβολίζεται με το (f) . Για να είναι αντιληπτή από τον άνθρωπο μία ηχητική πηγή πρέπει να πάλλεται με συχνότητα από 20 Hz έως 20 KHz. Η περιοχή αυτή ονομάζεται **ακουστικό φάσμα συχνοτήτων**.

1.1.3 Περίοδος T

Ονομάζουμε τη χρονική διάρκεια που απαιτείται για να γίνει ένας ολόκληρος κύκλος του ακουστικού κύματος και μετριέται σε sec.

1.1.4 Ταχύτητα του ήχου

Είναι η ταχύτητα διάδοσης της διαταραχής στο υλικό μέσο. Συμβολίζεται με (c) . Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στον αέρα είναι περίπου 340 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

1.1.5 Μήκος κύματος

Χαρακτηρίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος.

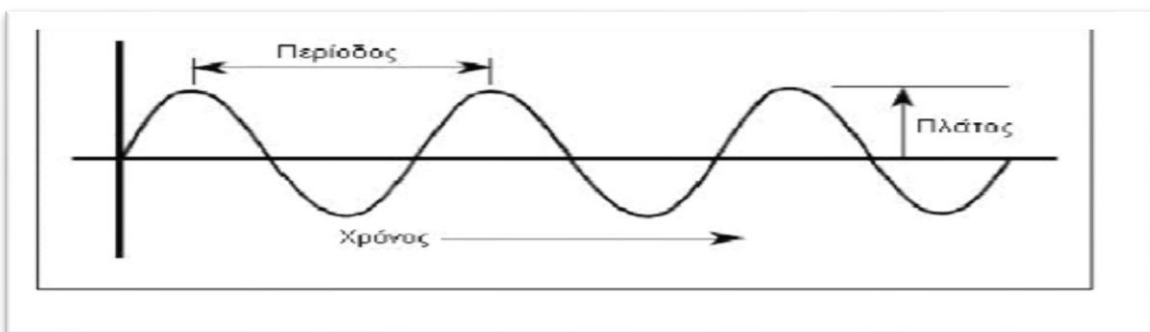
Γνωρίζοντας την ταχύτητα και τη συχνότητα ενός ήχου υπολογίζουμε το μήκος κύματος (λ) αυτού, δηλαδή, την απόσταση από μία κορυφή του κύματος ως την επόμενη ή από μία κορυφοτιμή της πίεσης ως την επόμενη, εφαρμόζοντας τη σχέση:

$$\text{Μήκος κύματος}(\lambda) = \frac{\text{ταχύτητα ήχου}(c)}{\text{συχνότητα}(f)} \quad (1.1.1)$$

1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

1.2.1 Μέτρηση του ήχου

Η μέτρηση και ο χαρακτηρισμός του ήχου γίνεται με τη βοήθεια μεγεθών που διαφέρουν από αυτά που χρησιμοποιούνται σε διάφορους άλλους τομείς της τεχνικής. Η κυριότερη διαφορά συνίσταται στη χρησιμοποίηση μιας λογαριθμικής κλίμακας με μονάδα μέτρησης το *decibel (dB)*. Ο βασικός λόγος χρησιμοποίησης λογαριθμικής κλίμακας είναι η μεγάλη ποικιλία ηχητικών πηγών που υπάρχουν. Η ποικιλία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα οι τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών να κυμαίνονται σε μεγάλες περιοχές. Έτσι, π.χ. για την ηχητική πίεση μπορούμε να έχουμε, ανάλογα με την πηγή, τιμές από 20 έως $10^8 \mu Pa$ (όριο πόνου κατώφλι ακουστότητας στο 1 KHz). Επομένως για την αποφυγή πράξεων με μεγάλους εκθέτες είναι αναγκαία η χρήση λογαριθμικής κλίμακας.



Εικόνα 1.2.1: Μαθηματική απεικόνιση ηχητικού κύματος

1.2.2 Είδη - Ήχων

Για να αντιληφθούμε σε ένα πρωτογενές επίπεδο την έννοια της Ακουστικής, κάνουμε μιά σύντομη αναφορά στα είδη των ήχων. Ο ήχος, όπως προείπαμε διαχέεται μέσω των ηχητικών κυμάτων, τα οποία ποικίλλουν σε ένταση, κατεύθυνση, φάσμα συχνοτήτων, ταχύτητα, φάση και διάρκεια. Ως εκ τούτου, διαχωρίζουμε τους ήχους σε οξείς και σε αμβλείς, ανάλογα με την ακουστική αντιληπτότητα του ακροατηρίου.

Αναφορικά, ξεχωρίζουμε τέσσερις κατηγορίες ήχου που είναι οι εξής:

- Οι **απλοί ήχοι** οι οποίοι έχουν μια μόνο χαρακτηριστική συχνότητα.
- Οι **σύνθετοι ήχοι** που είναι ουσιαστικά οι ήχοι των διάφορων μουσικών οργάνων, της φωνής των ανθρώπων και ζώων κλπ.
- Οι **θόρυβοι** που είναι οι λεγόμενοι *σύνθετοι ήχοι*. Και που δεν είναι άλλοι από τους ήχους που δέχονται τα αυτιά μας καθώς διασχίζουμε ένα πολυσύχναστο δρόμο ή το θρόισμα των φύλλων από τον άνεμο, το κελάρυσμα του νερού κλπ.

Τέλος, υπάρχουν οι **κρότοι** που παράγονται από μια ξαφνική και βίαια ταλάντωση των μορίων του μέσου διάδοσης του ήχου. Οι κρότοι χαρακτηρίζονται από μεγάλη ένταση και μικρή διάρκεια. Παράδειγμα κρότος είναι ο ήχος που παράγεται από ένα πυροβολισμό ή από το σκάσιμο μιας καλοφουσκωμένης μπάλας.

Όλα αυτά αναλύονται εκτενέστερα και παρακάτω.

1.2.3 Στάθμη ηχητικής πίεσης

Ως στάθμη ηχητικής πίεσης ορίζεται ο βαθμός αλλαγής της ακουστικής πίεσης, ο οποίος εξαρτάται από το πλάτος του κύματος και ευθύνεται για τον προσδιορισμό της στάθμης ηχητικής πίεσης SPL (sound pressure level). Συμβολίζεται και ως (L_p). Το πώς αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί την ένταση του ήχου ως ακουστική πίεση δεν εκφράζεται μέσα από μια γραμμική συσχέτιση. Δηλαδή, ο διπλασιασμός της ακουστικής πίεσης δε συνεπάγεται ότι ο άνθρωπος θα ακούσει ήχο διπλάσιας έντασης. Για το λόγο αυτό η κλίμακα, η οποία εκφράζει τον ήχο είναι σε *decibel* (dB). Τα (dB) είναι καθαρός αριθμός. Ορίζουμε ως πίεση αναφοράς το κατώφλι πίεσης κάτω από το οποίο δεν ακούει ο άνθρωπος ($P_{ref} = 20\mu Pa$).

Η ένταση του ήχου σε (dB) που αντιστοιχεί σε ακουστική πίεση P προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$L_p(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad (1.2.1)$$

1.2.4 Στάθμη ηχητικής ισχύος

Το μέγεθος το οποίο ορίζει την ικανότητα της πηγής να προκαλεί αλλαγή στην πίεση του μέσου διάδοσης, επί της ουσίας την ισχύ της ακουστικής πηγής, ονομάζεται ακουστική ισχύς. Το επίπεδο της ακουστικής ισχύος συμβολίζεται ως (L_W). Ενώ η ακουστική πίεση εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, σε κάθε μέσο διάδοσης (εξαρτάται από την υγρασία, τη θερμοκρασία, την πυκνότητα του μέσου διάδοσης, το μέγεθος του χώρου, την απορροφητικότητα), η ακουστική ισχύς είναι ένα αντικειμενικό μέγεθος που ορίζει την πηγή. Μετριέται και αυτή σε (dB) βάσει του τύπου:

$$L_W(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_{ref}}\right), \text{ Όπου } W_{ref} = 1pW \quad (1.2.2)$$

1.2.5 Στάθμη ηχητικής έντασης

Η ένταση του ήχου που αντιλαμβανόμαστε εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ της πηγής εκπομπής και του δέκτη, από τα ακουστικά χαρακτηριστικά του χώρου και του μέσου διάδοσης και από την ίδια την πηγή.

Ως ακουστική ένταση ορίζουμε την ποσότητα της ενέργειας που διαπερνά μία μονάδα επιφάνειας. Το επίπεδο της ακουστικής έντασης συμβολίζεται ως (L_I).

Μετριέται και αυτή σε (dB) βάση του τύπου:

$$L_I(dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_{ref}}\right), \text{ Όπου } I_{ref} = \frac{1pW}{m^2} \quad (1.2.3)$$

1.3 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Όταν μία πηγή εκπέμπει ήχο σε ένα χώρο προκαλείται διάδοση μιας ηχητικής ενέργειας προς διάφορες κατευθύνσεις. Αν ο χώρος είναι κλειστός το ηχητικό κύμα ανακλάται διαδοχικά στα τοιχώματα του χώρου, με ταυτόχρονη απορρόφηση τμήματος της ενέργειάς του σε κάθε ανάκλαση. Επιπλέον υφίσταται πρόσθετη μείωση της ισχύος του, αφενός λόγω της απορρόφησής της από τον αέρα και αφετέρου λόγω της απόστασης την οποία διανύει.

Έτσι ένας ακροατής που βρίσκεται στο χώρο προσλαμβάνει διαδοχικά το απευθείας κύμα καθώς και εκείνα που προέρχονται από τις διάφορες ανακλάσεις, με διαφορά χρόνου που είναι ανάλογη ως προς τη διαφορά δρόμου που διανύουν τα εκάστοτε ηχητικά κύματα. Τα ηχητικά κύματα μετά από ορισμένο αριθμό ανακλάσεων εξασθενούν σε τέτοιο βαθμό που δε γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί. Αυτό δίνει την εντύπωση μιας διάρκειας του ήχου μεγαλύτερης από εκείνης της εκπομπής. Το φαινόμενο αυτό εάν δεν υπάρχουν ή αγνοηθούν τα φαινόμενα της ηχούς και των στάσιμων κυμάτων ονομάζεται αντήχηση.

Επειδή και η αντήχηση συνδέεται με την ύπαρξη ανακλάσεων πολλά από τα ποιοτικά ακουστικά χαρακτηριστικά μιας αίθουσας συνδέονται με το μέγεθος αυτό.

Συνεκδοχικά προκύπτει ότι:

- 1) Ένας ήχος χαρακτηρίζεται ως "λαμπρός" αν έχει πολλές αρμονικές συχνότητες. Αν δηλαδή έχει ικανοποιητική στάθμη και βραδεία μείωση σε υψηλές συχνότητες. Σε μία αίθουσα η οποία χαρακτηρίζεται ως *ακουστικά* "λαμπρή" η αντήχηση είναι μεγάλη σε υψηλές συχνότητες.
- 2) Ένας χώρος με χαμηλή αντήχηση χαρακτηρίζεται ως "ξηρός" και με πολύ χαμηλή αντήχηση ως "νεκρός".
- 3) Η καθαρότητα των ήχων εξαρτάται από την αντήχηση.

Ένας χώρος χαρακτηρίζεται ως θερμός όταν είναι ζωντανός και στις χαμηλές συχνότητες ή έχει πληρότητα τόνων χαμηλών συχνοτήτων σε σχέση με εκείνους των μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων. Αυτό σημαίνει ότι η αντήχηση στις χαμηλές συχνότητες είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντήχηση των μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων.

1.3.1 Χρόνος αντήχησης RT

Ο χρόνος αντήχησης αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο που σχετίζεται με την ακουστική συμπεριφορά των κλειστών χώρων. Ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται, ώστε ο ήχος να εξασθενήσει κατά 60 (dB) μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την πηγή μέσα σε ένα χώρο. Πιο απλά, είναι ο χρόνος που απαιτείται, ώστε ένας πολύ δυνατός ήχος να εξασθενήσει τόσο, ώστε να μην ακούγεται. Ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης παίζει σπουδαίο ρόλο στην ακουστική των κλειστών χώρων, διότι σχετίζεται με την ακουστική ποιότητα των χώρων. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου και τον όγκο του χώρου. Ο χρόνος αντήχησης μετριέται σε sec .

1.3.2 Μέτρηση του χρόνου αντήχησης σε πραγματική αίθουσα ή αμφιθέατρο:

Σε μία κενή αίθουσα ή σε αίθουσα που κάθονται ακροατές οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν γρήγορα με φορητά όργανα και μετά να αξιολογηθούν στο εργαστήριο.

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθεί ηχητική πηγή μιας ζώνης λευκού ή ροζ θορύβου ή εκπυροκρότηση από ένα πιστόλι ή ήχος από ένα παλαμάκι.

Η φθίνουσα ηχητική στάθμη πρέπει να καταγραφεί με ένα ηχόμετρο. Η καλύτερη τοποθέτηση της πηγής είναι στην σκηνή της αίθουσας ή του αμφιθέατρου. Επίσης μπορούν να γίνουν μετρήσεις σε διαφορετικά σημεία της αίθουσας για εντοπισμό μακρών χρόνων αντήχησης που οφείλονται σε φαινόμενα ιδιοσυντονισμού των μερών της αίθουσας. Σε μία μικρή ορθογώνια αίθουσα η καλύτερη θέση τοποθέτησης της πηγής είναι σε μία γωνία της αίθουσας όπου όλες οι ιδιοσυχνότητες συντονισμού έχουν μέγιστο πλάτος. Μία μόνο μέτρηση χρόνου αντήχησης είναι αρκετή. Σε μία όμως μεγάλη αίθουσα ή αμφιθέατρο, οι μετρήσεις πρέπει να εκτελεστούν σε διαφορετικές θέσεις διότι ο χρόνος αντήχησης είναι διαφορετικός από μία θέση σε άλλες .

Οι εξής μετρητικές μέθοδοι πληρούν τους κανονισμούς ISO 3382 και ISO/R354.

1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Για να μετρήσουμε το χρόνο αντήχησης χρειαζόμαστε μία πηγή ήχου για τη διέγερση του χώρου και τη δημιουργία του αντηχητικού πεδίου. Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι μέτρησης του χρόνου αντήχησης:

1.4.1 Μέθοδος του παλμού

Διεγείρουμε ένα χώρο με ένα παλμό, για παράδειγμα παλαμάκια και καταγράφουμε απευθείας τη μείωση της ηχοστάθμης του αντηχητικού πεδίου, συναρτήσει του χρόνου, μέχρι το μηδενισμό του. Για την καταγραφή χρησιμοποιούμε ηχόμετρο με φασματικό αναλυτή, έτσι ώστε να γίνει ξεχωριστή μέτρηση στις διάφορες οκτάβες. Από τις κλίσεις των καμπυλών της εξασθένησης του ηχητικού πεδίου υπολογίζουμε και παρουσιάζουμε το χρόνο αντήχησης RT_{60} σε κάθε οκτάβα.

Η μέθοδος αυτή έχει δύο μειονεκτήματα:

- Έλλειψη ηχητικής ενέργειας στις χαμηλές συχνότητες.
- Αδυναμία ακριβούς επαναληψιμότητας.

1.4.2 Μέθοδος του μηδενισμού της πηγής

Διεγείρουμε ένα χώρο με θόρυβο λευκό ή ροζ (όπως αναλύονται παρακάτω) μέχρι την κατάσταση ισορροπίας και στη συνέχεια το διακόπτουμε ακαριαία.

Η μέθοδος αυτή έχει δύο πλεονεκτήματα:

- Η πηγή θορύβου παράγει μεγαλύτερα ποσοστά ηχητικής ενέργειας.
- Εκπέμπει ηχητική ενέργεια σε όλες τις συχνότητες.

1.4.3 Μέθοδος ακολουθίας μεγίστου μήκους (mlssa):

Προκειμένου να μελετήσουμε την απόκριση σε κλειστούς χώρους χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της εκπομπής μιας ψευδοτυχαίας ακολουθίας, η οποία αναπτύχθηκε από τους Schroeder και Alrutz. Η μέθοδος αυτή έχει παρόμοιες ιδιότητες με τον τυχαίο θόρυβο αλλά είναι λιγότερο ευαίσθητη σε εξωτερικούς θορύβους και το πλεονέκτημα της είναι ότι κερδίζουμε μεγάλο λόγο σήματος προς θόρυβο (s/n). Η μέτρηση του χρόνου αντήχησης γίνεται όταν η πηγή εκπομπής είναι ανοιχτή μέχρι να σταθεροποιηθεί η στάθμη της στο χώρο. Το δεύτερο βήμα είναι να κλείσουμε την πηγή εκπομπής,

έτσι ώστε να καταγραφεί ο ρυθμός μείωσης της ηχητικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η καταγραφή της απόκρισης σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, στην περίπτωση μας σε μια αίθουσα διδασκαλίας.

1.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης μετριέται βάσει τριών πρωταρχικών εξισώσεων, τις οποίες και παραθέτουμε παρακάτω:

1.5.1 Εξίσωση - Sabine

Ο Wallace Sabine το 1898 πραγματοποίησε μια σειρά πειραμάτων διάρκειας 2 ετών με σκοπό τη βελτίωση της ακουστικής μιας αίθουσας διαλέξεων στο πανεπιστήμιο του Harvard, όπου εργαζόταν ως καθηγητής φυσικής. Χρησιμοποίησε μια αίθουσα θεάτρου, εξαιρετικής ακουστικής, μια αίθουσα με ανεκτή ακουστική και μια προβληματική αίθουσα διαλέξεων. Ο Sabine χρησιμοποίησε τα μαξιλαράκια από τα καθίσματα της θεατρικής αίθουσας ως απορροφητικά υλικά και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αντήχηση ενός χώρου εξαρτάται από τον όγκο, τη γεωμετρία του και την ανακλαστικότητα των επιφανειών του.

Ο παρακάτω τύπος δίνει μια πρώτη προσέγγιση του χρόνου αντήχησης και ισχύει ικανοποιητικά για χώρους με μικρή απορρόφηση:

$$RT_{60} = \frac{0.161 \cdot V}{A} = \frac{0.161 \cdot V}{\sum a_i \cdot S_i} \quad (1.5.1)$$

Όπου: $RT_{60} \rightarrow$ Ο χρόνος αντήχησης σε sec

$A \rightarrow$ Η ολική απορρόφηση του χώρου σε S_{ab}

$a_i \rightarrow$ Οι συντελεστές απορρόφησης των επιμέρους επιφανειών

$S_i \rightarrow$ Το εμβαδόν των επιμέρους επιφανειών σε m^2

$V \rightarrow$ Ο όγκος του χώρου σε m^3

1.5.2 Εξίσωση Norris - Eyring

Η σχέση του υπολογισμού του RT_{60} που προτάθηκε από τους παραπάνω ερευνητές βασίζεται στη μέση ελεύθερη διαδρομή του ήχου μεταξύ δυο διαδοχικών ανακλάσεων. Η μελέτη της ακουστικής συμπεριφοράς των μεγάλων χώρων ήταν πιο λεπτομερής και σύμφωνα με αυτή ο χρόνος αντήχησης δίνεται με αρκετά καλή προσέγγιση. Ο παρακάτω τύπος Norris-Eyring υπολογίζει με ακρίβεια τον χρόνο αντήχησης των κλειστών χώρων, όταν η απορρόφηση όλων των επιφανειών που περικλείουν τον χώρο είναι η ίδια :

$$RT_{60} = \frac{-0.161 \cdot V}{S \cdot \ln(1 - \alpha_{\mu})} \quad (1.5.2)$$

Όπου: $RT_{60} \rightarrow$ Ο χρόνος αντήχησης σε sec

$S \rightarrow$ Το συνολικό εμβαδόν του χώρου σε m^2

$V \rightarrow$ Ο όγκος του χώρου σε m^3

$\ln \rightarrow$ Νεπέριος λογάριθμος

$\alpha_{\mu} \rightarrow$ Μέσος συντελεστής απορρόφησης

1.5.3 Εξίσωση - Fitzroy:

Ο Fitzroy παρατήρησε ότι η αντήχηση ενός χώρου είναι ουσιαστικά το άθροισμα των αντηχήσεων μεταξύ

- Πατώματος και ταβανιού
- Πλευρικών τοίχων
- Εμπρόσθιων και οπίσθιων τοίχων

Όταν έχουμε ανομοιόμορφη απορρόφηση για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης χρησιμοποιούμε τον τύπο :

$$RT_{60} = \left(\frac{0.161}{S^2} \right) \cdot \left(\frac{2xy}{a_{xy}} + \frac{2xz}{a_{xz}} + \frac{2yz}{a_{yz}} \right) \quad (1.5.3)$$

Όπου: a_{xy} → Ο συντελεστής απορρόφησης των επιφανειών xy

a_{xz} → Ο συντελεστής απορρόφησης των επιφανειών xz

a_{yz} → Ο συντελεστής απορρόφησης των επιφανειών yz

χ → Μήκος

y → Πλάτος

z → Ύψος

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι βάσει της εξίσωσης Fitzroy διεξήχθη και η ερευνητική μας μελέτη, όπως θα δούμε παρακάτω.

1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ

1.6.1 RT_{60} –Υπολογισμός χρόνου αντίχησης για χώρους στους οποίους είναι σημαντικός ο αέρας

Στην περίπτωση που ο χώρος είναι υπερβολικά μεγάλος θα ληφθεί υπόψη και η απορρόφηση του αέρα και ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω:

$$RT_{60} = \frac{0.161 \cdot V}{Sa + 4mV} \quad (1.6.1)$$

Όπου : m → Ο συντελεστής εξασθένησης της ενέργειας που η τιμή του εξαρτάται από την υγρασία και τη συχνότητα

S → Το συνολικό εμβαδόν του χώρου σε m^2

V → Ο όγκος του χώρου σε m^3

a → Μέσος συντελεστής απορρόφησης

1.6.2 RT_{60} - Υπολογισμός χρόνου αντήχησης για χώρους με ανοιχτά παράθυρα

Ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε όταν ο χώρος περιλαμβάνει μεγάλα ανοικτά παράθυρα και η απορρόφηση από τα αντικείμενα του χώρου είναι μεγάλη για τον χρόνο αντήχησης είναι ο εξής:

$$RT_{60} = \frac{24V \cdot \ln 10}{Ac} \quad (1.6.2)$$

Όπου : $A \rightarrow$ Η συνολική απορρόφηση του χώρου σε Sabins

$C \rightarrow$ Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε m/sec

$V \rightarrow$ Ο όγκος του χώρου σε m^3

1.6.3 RT_{60} - Υπολογισμός χρόνου αντήχησης για πολύ μεγάλους χώρους

Στην ειδική περίπτωση που ένας χώρος είναι υπερβολικά μεγάλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη η απορρόφηση του αέρα, οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται :

$$RT_{60} = \frac{0.161 \cdot V}{A_N + 4mV} \quad (1.6.3)$$

Όπου : $RT_{60} \rightarrow$ Ο χρόνος αντήχησης σε sec

$V \rightarrow$ Ο όγκος του χώρου σε m^3

$A_N \rightarrow$ Μέση απορρόφηση του χώρου

$m \rightarrow$ Ο συντελεστής εξασθένησης στον αέρα, εξαρτάται από την υγρασία, τη συχνότητα, τη θερμοκρασία και τη σύστασή του.

1.7 ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (EARLY DECAY TIME, EDT)

Το EDT είναι ένα μέγεθος χρόνου το οποίο λαμβάνει υπόψη τις πρώιμες ανακλάσεις.

Ο πρώιμος ρυθμός μείωσης EDT ορίζεται ως έξι φορές η χρονική περίοδος που χρειάζεται ώστε ο ήχος να μειωθεί κατά 10 (dB) μετά το μηδενισμό της πηγής από την αρχική τιμή του. Είναι μια παράμετρος που σχετίζεται πολύ με τον αρχικό ρυθμό εξασθένισης και το γεγονός αυτό το συσχετίζει με τη μείωση της αντιληπτότητας του λόγου. Ο EDT είναι μικρότερος του χρόνου αντήχησης RT και ορίζεται ως ο χρόνος T_{60} που απαιτείται για να ελαττωθεί κατά 60 (dB) η στάθμη θορύβου από τη στιγμή που διακόπτεται η εκπομπή του ήχου.

1.7.1 Δείκτης Απώλειας Συμφώνων (AL, Articulation loss):

Η απώλεια συμφώνων είναι ένα μέγεθος, που εμφανίζεται με τη μορφή ποσοστού, αυτού του ποσοστού των συμφώνων που δεν αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής.

Ο Reutz, ο οποίος εισήγαγε την ποσότητα, μέτρησε την απώλεια συμφώνων, μεταβάλλοντας το χρόνο αντήχησης, την απόσταση απ' την πηγή και το θόρυβο βάθους. Η σχέση που εισήγαγε είναι πειραματική και σχετίζεται με το χρόνο αντήχησης T_{60} .

$$\% ALC = \frac{200(rT_{60})^2}{V} \quad (1.7.1)$$

Όπου :

$r \rightarrow$ Είναι η απόσταση από την πηγή

$V \rightarrow$ Είναι ο όγκος του χώρου

$T_{60} \rightarrow$ Είναι ο χρόνος αντήχησης

	κακή	Φτωχή	καλή	πολύ καλή	εξαιρετική	
100 %		33 %	15 %	7 %	3 %	0 %

(1.7.1 - Πίνακας Alcons)

1.7.2 Δείκτης μετάδοσης λόγου και ταχύς δείκτης μετάδοσης λόγου (speech transmission index, STI and rapid speech transmission index, RASTI)

Οι δείκτες STI και RASTI προέρχονται από τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και αντιμετωπίζουν την αλυσίδα ηχητική πηγή - χώρος - ακροατής, ως ένα κανάλι μετάδοσης (γραμμή μεταφοράς) και μετρούν τη μεταβολή του πλάτους διαμόρφωσης αργά μεταβαλλόμενων σημάτων κατά μήκος της γραμμής. Για την πραγματοποίηση της μέτρησης τα σύγχρονα μετρητικά συστήματα βασίζονται στη μέτρηση της κρουστικής απόκρισης και στην εξαγωγή τιμής των δεικτών καταληπτότητας από αυτήν. Οι μετρήσεις για το STI γίνονται σε ζώνες εύρους οκτάβας στις συχνότητες 125 Hz έως 8 KHz και για το λόγο αυτό είναι κατάλληλη μέθοδος για μετρήσεις σε συστήματα ενίσχυσης ήχου. Η μέθοδος RASTI προέκυψε από την απλοποίηση της μεθόδου STI και είναι ένας αντικειμενικός δείκτης που μετρά το ποσοστό των σωστών συλλαβών που αντιλαμβάνεται ο μέσος ακροατής, λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα το θόρυβο βάθους και το χρόνο αντήχησης. Η διαφορά της από τη μέθοδο STI είναι ότι χρησιμοποιεί σήμα εύρους οκτάβας, γύρω από δύο μόνο συχνότητες, τα 500 KHz και τα 2000 Hz. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται έχει εύρος από 0 μέχρι 1.

Αντιληπτότητα

κακή		Φτωχή		καλή		πολύ καλή		εξαιρετική		
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

(1.7.2 - Πίνακας RASTI)

1.7.3 T_{10}, T_{20}, T_{30} - Αυτοί οι χρόνοι ορίζονται από την παγκόσμια βιβλιογραφία

Πολλές φορές η στάθμη του ήχου σε ένα χώρο μπορεί να μην υπερβαίνει καν τα 60 (dB) και έτσι να είναι αδύνατος ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης T_{60} . Για το λόγο αυτό ορίστηκαν και άλλοι χρήσιμοι χρόνοι αντήχησης που είναι οι T_{10}, T_{20}, T_{30} . Ο χρόνος αντήχησης T_{10} ορίζεται ως έξι φορές ο χρόνος που απαιτείται, ώστε η στάθμη του ήχου να ελαττωθεί από -5 έως -15 (dB) από την αρχική τιμή μετά το μηδενισμό της πηγής. Με ανάλογο τρόπο ορίζονται και οι άλλοι χρόνοι αντήχησης T_{20} και T_{30} . Ο T_{20} ορίζεται ως τρεις φορές ο χρόνος που απαιτείται ώστε η στάθμη του ήχου να ελαττωθεί από -5 έως -25 (dB) από την αρχική τιμή μετά το μηδενισμό της πηγής, ενώ ο T_{30} ως δυο φορές, έτσι η στάθμη του ήχου μειώνεται από -5 έως -35 (dB).

1.8 ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

1.8.1 Αερόφερτη μετάδοση ηχητικών κυμάτων

Τα ηχητικά κύματα στον αέρα προκαλούνται από τοπικές χρονικές μεταβολές της πίεσης στην περιοχή της ηχητικής πηγής και έχουν σαν αποτέλεσμα μεταβολές στην πυκνότητα του αέρα, την εμφάνιση δηλαδή πυκνωμάτων και αραιωμάτων. Η διάδοση αυτών των πυκνωμάτων και αραιωμάτων στον αέρα αποτελεί τον ήχο που διαδίδεται μέσω αυτού. Η ταχύτητα διάδοσης c , το μήκος κύματος λ και η συχνότητα f συνδέονται με τη σχέση: $c = \lambda \cdot f$. Τα ηχητικά κύματα στον αέρα διαδίδονται με σταθερή ταχύτητα 340 m/s σε κανονικές συνθήκες ($20C^{\circ}$ και $1 Pa$).

Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα:

$$c = \sqrt{\frac{p\gamma}{\rho}} \quad (1.8.1)$$

Όπου: $\rho \rightarrow$ Η πίεση

$\gamma \rightarrow$ Ο λόγος $\frac{cP}{cV}$ των δύο ειδικών θερμοτήτων του αερίου.

1.8.2 Στερεόφερτη μετάδοση ηχητικών κυμάτων

Οι ταλαντώσεις στα στερεά δεν αποτελούν ήχο αλλά θεωρούνται σαν τέτοιος γιατί διεγείρουν τον αέρα που βρίσκεται σ'επαφή μ'αυτά και έτσι γίνονται έμμεσα η αιτία εκπομπής ήχου.

Η διάδοση του ήχου στα στερεά διαφέρει από αυτήν στον αέρα, γιατί τα στερεά εξαιτίας της δομής τους επιδέχονται διαφορετικού είδους παραμορφώσεις από αυτές που επιδέχονται τα αέρια. Στην Ακουστική οι δύο βασικοί τύποι κυμάτων που εμφανίζονται στα στερεά, τα διαμήκη και τα εγκάρσια κύματα, είναι οι φορείς του στερεόφερτου ήχου και η αιτία εκπομπής ήχου από στερεά που διεγείρονται σε δονήσεις.

Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στα στερεά:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.8.2)$$

Όπου: $E \rightarrow$ Το μέτρο ελαστικότητας

$\rho \rightarrow$ Η πυκνότητα του στερεού

1.8.3 Διαμήκη κύματα

Είναι τα κύματα των οποίων η διεύθυνση διάδοσής τους είναι παράλληλη με τη διεύθυνση της ταλάντωσης των σωματιδίων που αποτελούν το μέσο διάδοσης.

Με την κίνηση που πραγματοποιούν τα σωματίδια του μέσου στα διαμήκη κύματα παρατηρούνται πυκνώματα και αραιώματα. Διαμήκη κύματα διαδίδονται και στα στερεά και στα υγρά και στα αέρια σώματα. Τα διαμήκη κύματα καθώς και τα εγκάρσια κύματα αποτελούν τα δύο βασικά είδη κυμάτων.

1.8.4 Εγκάρσια κύματα

Τα εγκάρσια κύματα εμφανίζονται σ' όλα τα στερεά όταν διεγείρονται και είναι η αίτια ακτινοβολίας ήχου από στερεά που δονούνται.

Η διεύθυνση διάδοσής τους είναι κάθετη στη διεύθυνση ταλάντωσης.

Όπως βλέπουμε και στη θεωρία υπάρχουν δύο είδη κύματος, τα διαμήκη και τα εγκάρσια. Στην εν λόγω έρευνα το αντικείμενο μελέτης μας στρέφεται στα εγκάρσια κύματα, δεδομένου ότι η πηγή εκπομπής είναι ο άνθρωπος.

Ο άνθρωπος παράγει εγκάρσια κύματα κατά την παραγωγή των φωνημάτων. Ως εκ τούτου, η διάχυση του ήχου στις εκπαιδευτικές αίθουσες επιτυγχάνεται μέσα από την παραγωγή και διάδοση εγκάρσιων κυμάτων.

1.8.5 Στερεόφερτη μετάδοση ηχητικών κυμάτων (Κτυπογενής)

Κτυπογενής θόρυβος είναι ο θόρυβος που παράγεται όταν διάφορα αντικείμενα χτυπούν σε συμπαγείς επιφάνειες και τις αναγκάζουν να ταλαντώνονται. Με τις ταλαντώσεις αυτές που είναι συγχρόνως και πηγές θορύβου, διαδίδονται μέσω του υλικού των επιφανειών σε μακρινές αποστάσεις με μικρή απόσβεση. Επίσης ο κτυπογενής θόρυβος κατανέμεται κυρίως σε χαμηλές συχνότητες. Οι κυριότεροι παράγοντες που σχετίζονται με τον θόρυβο αυτό είναι :

- Το μέγεθος των μηχανικών διαταραχών
- Το φάσμα τους
- Η απόσταση μεταξύ πηγής και παρατηρητή
- Η σύσταση του εδάφους ή του μέσου διάδοσης

1.9 ΘΟΡΥΒΟΣ

Η λέξη θόρυβος έχει ευρεία έννοια, στην καθημερινή μας ζωή χρησιμοποιείται για να δηλώσει την ύπαρξη ενός ανεπιθύμητου ήχου ή την ηχορρύπανση. Στην επιστήμη της ακουστικής, ο θόρυβος είναι κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται γενικά ή με τυχαίο τρόπο. Γενικά, ο θόρυβος μπορεί να αλλάξει ή να διαστρεβλώσει το περιεχόμενο ενός μηνύματος σε όλες τις μορφές της ανθρώπινης επικοινωνίας.

Στην καθημερινότητα συνήθως όταν αναφερόμαστε σε ακουστικό θόρυβο εννοούμε έναν ανεπιθύμητο ήχο, ο οποίος υπάρχει ταυτόχρονα με έναν άλλον ήχο που μας ενδιαφέρει, ή κάποιο ήχο χωρίς νόημα.

Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) δίνονται δύο ορισμοί του ακουστικού θορύβου:

Θόρυβος ονομάζεται κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος.

Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο.

1.9.1 Κατηγοριοποίηση ακουστικού θορύβου

Ο ακουστικός θόρυβος διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- **Θόρυβος Περιβάλλοντος (ambient noise)**

Ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από συγκεκριμένες πηγές που δε μας ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης ή της παρατήρησης, όπως για παράδειγμα ο θόρυβος ενός κλιματιστικού σε μια αίθουσα διδασκαλίας κατά τη διάρκεια του μαθήματος.

- **Θόρυβος Βάθους (background noise)**

Ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δε μας ενδιαφέρουν.

Επίσης ο θόρυβος κατηγοριοποιείται και ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλεται.

Έτσι έχουμε:

- ❖ **Σταθερό θόρυβο** ο οποίος παρουσιάζει αμελητέες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης.
- ❖ **Μεταβλητό θόρυβο** ο οποίος δεν είναι σταθερός αλλά δε μεταβάλλεται ραγδαία.
- ❖ **Κυμαινόμενο θόρυβο** η στάθμη του οποίου αλλάζει συνεχώς και σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης.

1.9.2 Μέτρηση ακουστικού θορύβου

Όπως προαναφέρθηκε, ως θόρυβος ορίζεται κάθε ανεπιθύμητος ήχος. Ο θόρυβος οφείλεται στις ηχητικές συνθήκες του χώρου και προκαλείται από τη συμβολή πολλών ηχογόνων παραγόντων, όπως βροχή, άνεμος, τροχαία κίνηση, ανθρώπινες δραστηριότητες, μέσα ψυχαγωγίας (ραδιόφωνο, τηλεόραση), κοντινές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, χώροι διασκέδασης κ.ά. Τρεις είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την επικινδυνότητα του θορύβου:

- Η στάθμη ηχητικής πίεσης
- Η συχνότητα του ήχου
- Η διάρκεια της έκθεσης

1.9.3 Λευκός και ροζ θόρυβος

Είναι τα δύο είδη θορύβου, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ακουστικές μετρήσεις.

Ο λευκός περιέχει ένα ευρύ φάσμα από τυχαίους θορύβους και η ηχητική του ενέργεια κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων.

$$P^2_f = \text{σταθ.} \tag{1.9.1}$$

Ο ροζ περιέχει ένα ευρύ φάσμα από τυχαίους θορύβους, η ηχητική του ενέργεια όμως είναι περισσότερη στις χαμηλές συχνότητες και μπορεί να προκύψει από το λευκό θόρυβο με φιλτράρισμα.

$$P^2_f = \frac{k}{f} \tag{1.9.2}$$

1.9.4 Ηχώμετρο

Οι μετρήσεις θορύβου πραγματοποιούνται με ειδικά όργανα μέτρησης, καλούμενα ηχώμετρα. Το ηχώμετρο είναι όργανο σχεδιασμένο για να ανταποκρίνεται στον ήχο κατά προσέγγιση, με τον ίδιο τρόπο όπως το ανθρώπινο αυτί και να παρέχει αντικειμενικά και επαναλήψιμα αποτελέσματα μετρήσεων της στάθμης ηχητικής πίεσης L_p η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα μέτρησης των μεταβολών της πίεσης του αέρα. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε ένα άλλο μέγεθος, την ισοδύναμη στάθμη θορύβου (L_{eq}), μονάδα μέτρησης του οποίου είναι το (dB). Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου είναι ο χρονικός μέσος όρος της στάθμης του θορύβου ή διαφορετικά είναι η ισοδύναμη στάθμη του σταθερού θορύβου.

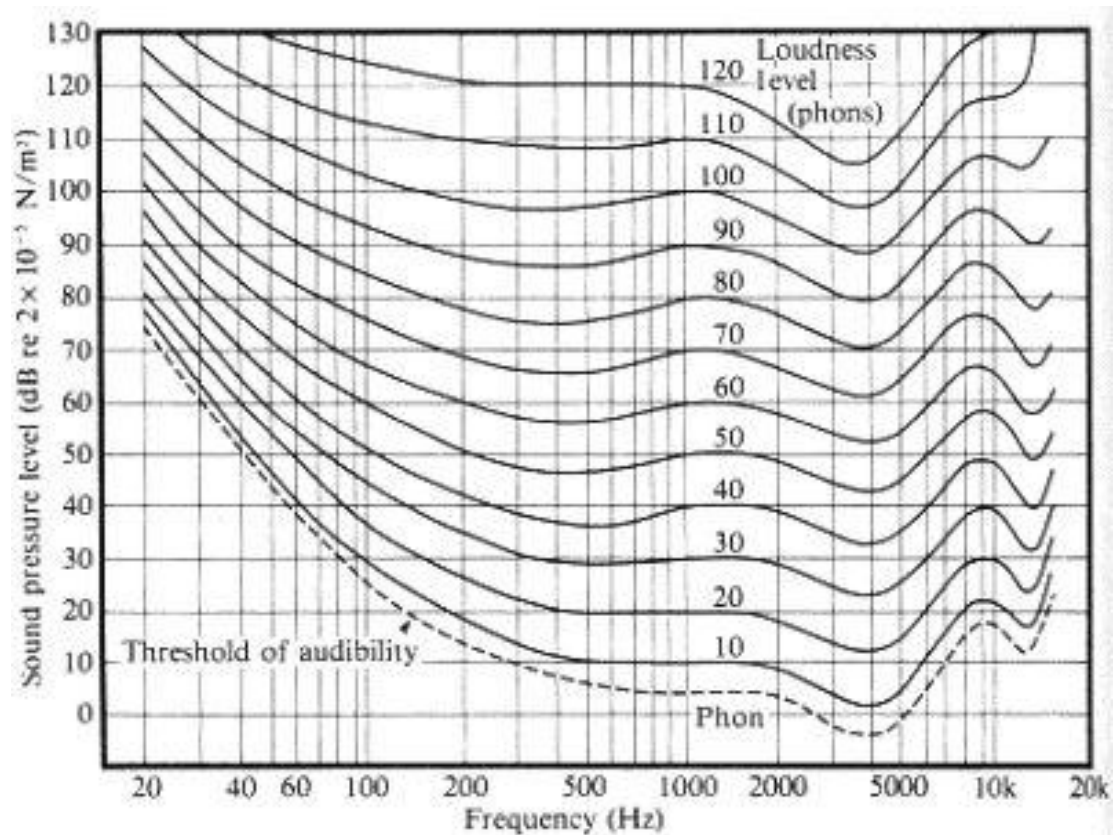
Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (1.9.3)$$

Στην αγορά υπάρχουν αρκετά όργανα (ηχώμετρα) που μας βοηθάνε να μετρήσουμε το θόρυβο σε πολλά σημεία και να εξάγουμε τη μέση τιμή σε διάφορα σημεία του χώρου. Πολλές φορές για τη μέτρηση του ήχου, χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι. Έτσι, όταν ενδιαφερόμαστε για τη μέτρηση της καταληπτότητας του ήχου παρά για τη στάθμη του θορύβου ακολουθούμε την διαδικασία της ζυγισμένης μέτρησης του θορύβου. Σύμφωνα με αυτήν, κατασκευάστηκαν έπειτα από πειραματικές διαδικασίες οι καμπύλες ίσης ακουστότητας. Η ανθρώπινη ακοή παρουσιάζει τη μέγιστη ευαισθησία της στην περιοχή 1 kHz - 5 kHz και έξω από τα όρια αυτά μειώνεται δραστικά.

1.9.5 Καμπύλες ίσης ακουστότητας

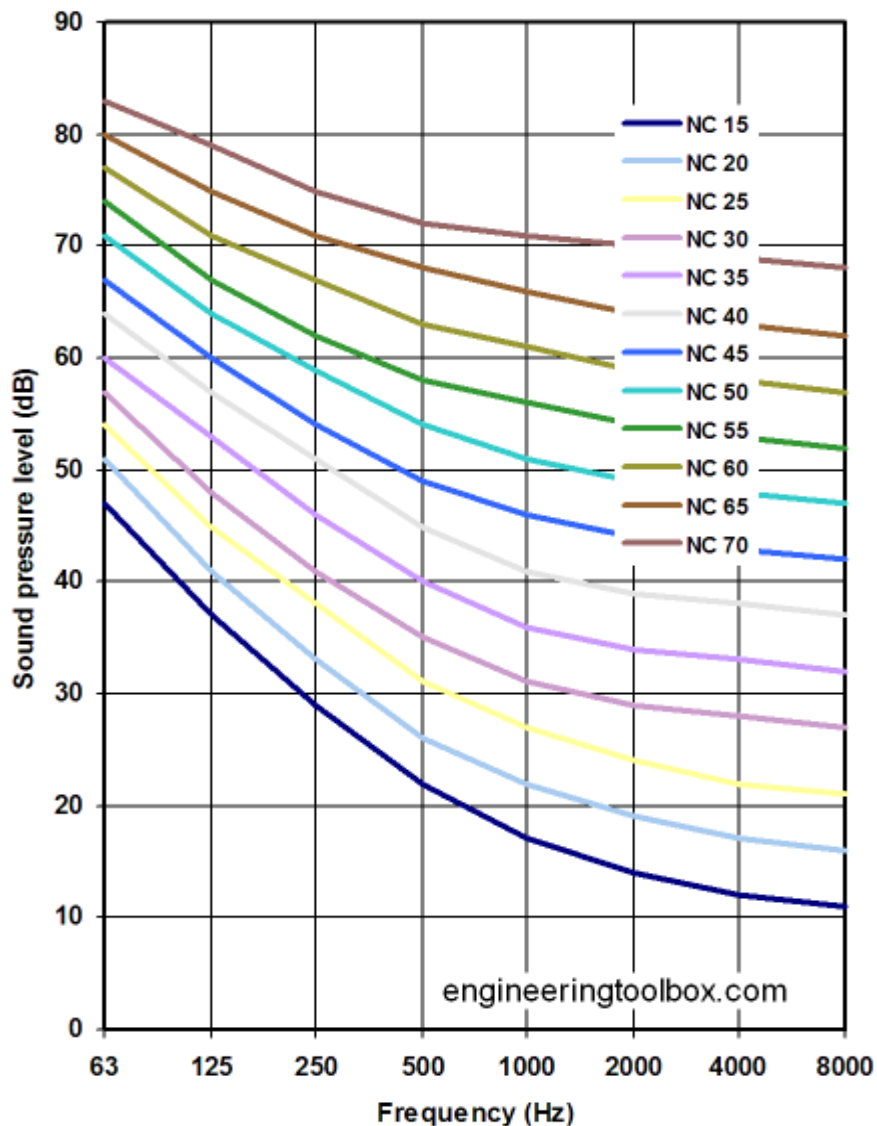
Οι Fletcher και Munson κατασκεύασαν μία δέσμη από καμπύλες ελάχιστης ακουστότητας (οι οποίες περιγράφουν τη στάθμη ηχητικής πίεσης που πρέπει να έχει ένας ήχος για να είναι μόλις ακουστός σε συνάρτηση με τη συχνότητά του), όπου φαίνεται πως η ευαισθησία της ακοής μεταβάλλεται όχι μόνο με τη συχνότητα, αλλά και με την ακουστότητα (loudness). Όσο μικρότερη είναι η ακουστότητα, τόσο μικρότερη η ευαισθησία της ακοής και τόσο μεγαλύτερη στάθμη απαιτείται για να γίνει ακουστή μία συγκεκριμένη συχνότητα. Έτσι, για να ακουστεί ένας ήχος σταθερής ηχητικής ισχύος εξίσου δυνατά στις διάφορες συχνότητες, απαιτείται στις χαμηλές συχνότητες μεγαλύτερη ηχητική στάθμη από ότι στις υψηλές συχνότητες, ενώ σε συχνότητες γύρω στα 4 kHz (περιοχή μέγιστης ευαισθησίας του αυτιού) απαιτείται η ελάχιστη δυνατή στάθμη.



(Εικόνα 1.9.1) - Η δέσμη καμπυλών Fletcher και Munson δείχνουν πως μεταβάλλεται το κατώφλι ακουστότητας σε συνάρτηση με τη συχνότητα και την ένταση ενός ήχου

1.9.6 Καμπύλες κατάταξης θορύβου NC

Οι καμπύλες κατάταξης θορύβου NC (Noisecriteria) ή NCB (Balance Noise Criteria) που προτάθηκαν από τον Berane το 1988 χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αποδοχής μιας στάθμης θορύβου σε σχέση με τη συχνότητά του. Οι καμπύλες NCB είναι βελτιωμένες όσον αφορά την απόκριση του ανθρώπου σε υψηλές και χαμηλές συχνότητες, αλλά δεν είναι τυποποιημένες κατά ΕΛΟΤ και έχουν ποιοτικό χαρακτήρα. Οι καμπύλες αυτές χρησιμοποιούνται σε δημόσια κτίρια και συσχετίζουν το φάσμα του θορύβου με την επίπτωσή του στην αντιληπτότητα της ομιλίας.



(Εικόνα1.9.2) - Καμπύλες Κατάταξης Θορύβου NC

Πηγή http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html

ΕΙΔΟΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ		ΔΕΙΚΤΗΣ	
		NC	dB_A
ΠΟΛΥ ΗΣΥΧΑ	Θέατρα, Όπερα, Στούντιο	10-20	25-30
	Ηχογραφήσεων κλπ.		
	Τηλεοπτικό ή ραδιοφωνικό στούντιο	20-25	25-30
	Εκκλησίες, Βιβλιοθήκες	25-30	
	Αίθουσες Διδασκαλίας		
	Συνεδριακές αίθουσες	30-40	30-35
Κρεβατοκάμαρες Ξενοδοχείου			
ΗΣΥΧΑ	Δημόσια Δωμάτια Ξενοδοχείων	30-40	40-45
	Μικρές Αίθουσες Γραφείων		
	Αίθουσες Δικαστηρίων		
ΑΜΙΓΩΣ ΘΟΡΥΒΩΔΕΙΣ	Γραφεία, Τουαλέτες, Χώροι	35-45	45-55
	Υποδοχής, Πολυκαταστήματα		
ΘΟΡΥΒΩΔΕΙΣ	Αίθουσες Υπολογιστών	40-50	45-55
	Κυλικεία, Σούπερ Μάρκετ		

(Πίνακας 1.9.1) - Δείκτης NC ανά αίθουσα

Πηγή http://www.engineeringtoolbox.com/noise-criteria-d_726.html

1.9.7 Ακουστικό ερέθισμα

Το αισθητήριο της ακοής για τον άνθρωπο είναι το αυτί, το οποίο αποτελείται από τρία μέρη: Το εξωτερικό, το μέσο και το εσωτερικό αυτί. Το εξωτερικό αυτί αποτελείται από τον ακουστικό πόρο και την κόγχη, η οποία συγκεντρώνει το ηχητικό κύμα και το μεταφέρει στον ακουστικό πόρο. Η λειτουργία του εξωτερικού αυτιού είναι να προσαρμόζει τη μηχανική σύνθετη αντίσταση του τυμπάνου στην ειδική σύνθετη αντίσταση του αέρα. Η προσαρμογή αυτή είναι πολύ καλή στη συχνότητα των 800 Hz, παραμένει καλή σε μεγαλύτερες συχνότητες, αλλά είναι μικρή σε συχνότητες κάτω από 400 Hz. Όσον αφορά τον ακουστικό πόρο συμπεριφέρεται σαν ένας ηχητικός σωλήνας με συχνότητα συντονισμού 3000 Hz.

Το μέσο αυτί χωρίζεται από το εξωτερικό αυτί με το τύμπανο.

Ο ήχος διεγείρει το τύμπανο σε ταλάντωση και το ερέθισμα μεταφέρεται μηχανικά στο εσωτερικό αυτί, στον κοχλία, μέσω τριών οσταριών (τη σφύρα, τον άκμονα και τον αναβολέα). Τα οστά αυτά συνδέονται με μυϊκούς ιστούς περιορίζοντας το πλάτος της κίνησης από ισχυρά ερεθίσματα προστατεύοντας το αυτί. Στον κοχλία γίνεται η ανάλυση του ήχου στη βασική μεμβράνη που φέρει περίπου 23500 νευρικές απολήξεις με την μορφή τριχιδίων. Τα τριχίδια συντονίζονται με μια συγκεκριμένη συχνότητα ενώ η μεμβράνη ταλαντώνεται, αυτό το ερέθισμα μεταφέρεται μέσω νευρών στον εγκέφαλο. Αν κάποιο από τα παραπάνω όργανα πάθει βλάβη θα έχει ως συνέπεια την αλλοίωση του ερεθίσματος που φτάνει στον εγκέφαλο.

1.9.8 Επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο βάσει έρευνας του WHO

Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (WHO) προσδιόρισε και ανέφερε τις σημαντικότερες επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία του πληθυσμού, οι οποίες μπορεί να είναι παρεμπόδιση συνομιλίας και επικοινωνίας, απώλεια ακοής, επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα και την ψυχολογία, την απόδοση, την παραγωγικότητα κλπ. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του θορύβου (ένταση, συχνότητα), την επανάληψη των θορυβωδών γεγονότων, τη διαφοροποίηση από το υπόβαθρο θορύβου κλπ. Επισημαίνεται ότι ο ορισμός της υγείας με βάση το WHO δεν αναφέρεται μόνο σε θέματα που αφορούν το σώμα ή την ψυχολογία, αλλά αναφέρεται και στην ποιότητα ζωής. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα υποβαθμισμένο περιβάλλον από ηχορύπανση προκαλούνται:

- Άμεσες όσο και σωρευτικές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού (ενόχληση, ψυχολογικές επιπτώσεις που σχετίζονται με stress, παρεμβολή στην επικοινωνία, τον ύπνο κλπ.
- Αρνητικές επιπτώσεις έχει και στις μελλοντικές γενιές, που σχετίζονται με δημιουργία υποβαθμισμένου περιβάλλοντος διαβίωσης, κοινωνικά και μαθησιακά προβλήματα, παρεμπόδιση της ανάπτυξης κλπ.
- Κοινωνικές, οικονομικές και αισθητικές επιπτώσεις, όπως κοινωνική απομόνωση, υποβάθμιση γειτονιών, απαξίωση αξίας κτιρίων κλπ.

Επισημαίνεται ότι το ευρωπαϊκό τμήμα του WHO στα πλαίσια των στόχων που τέθηκαν για την υγεία (Health for All (HFA) Strategy Target 13-1998) θεωρείται ως απαιτούμενο στις μελλοντικές πολιτικές για το θόρυβο να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο που θα συμβάλει στην καλή ποιότητα ακουστικού περιβάλλοντος και θα διατυπώσει σχετικές αρχές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία για την επιρροή του θορύβου στον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του με βάση το WHO.

Όσον αφορά βλάβη στην ακοή, αυτή συνίσταται στην αύξηση του κατωφλίου ακοής που ενίοτε συνοδεύεται με κάποιο «βουητό», στις υψηλότερες συχνότητες από 3.000 - 6.000 Hz, με μεγαλύτερη επίπτωση στη συχνότητα των 4.000 Hz. Οι σχετικές επιπτώσεις εμφανίζονται και σε χαμηλότερες συχνότητες (π.χ. 2.000 Hz), όταν αυξάνεται ο χρόνος έκθεσης ή/και η στάθμη θορύβου. Βλάβη στην ακοή γενικά δεν εμφανίζεται για έκθεση ατόμου σε στάθμες με $L_{eq} < 75 dB_A$ (8ωρο). Δεν αναμένεται βλάβη στην ακοή για την πλειοψηφία των ατόμων που εκτίθενται σε περιβαλλοντικό θόρυβο στάθμης $L_{eq} < 70 dB_A$ (24ωρο) ακόμα και αν εκτίθενται για όλη τη ζωή τους.

Η καταληπτότητα του λόγου μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από το θόρυβο. Πιο συγκεκριμένα, για να είναι καταληπτή η ομιλία θα πρέπει να διαφέρει από το υπόβαθρο θορύβου κατά $10 dB_A$. Η στάθμη συνήθους ομιλίας είναι $50 dB_A$, γεγονός που σημαίνει ότι για ευαίσθητες πληθυσμιακές ομάδες όταν ο θόρυβος βάθους είναι $35 dB_A$, η στάθμη ομιλίας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $45 dB_A$. Η στάθμη θορύβου βάθους $45 dB_A$ επιτρέπει την άνετη και καταληπτή ομιλία. Στη στάθμη θορύβου βάθους $55 dB_A$ η καταληπτότητα του λόγου είναι αρκετά σαφής. Σε περιπτώσεις που ο θόρυβος βάθους είναι αυξημένος μπορεί να χρειαστεί οι συνομιλητές να πλησιάσουν μεταξύ τους, να αυξήσουν την ένταση της ομιλίας τους κλπ. Η καταληπτότητα της ομιλίας είναι ιδιαίτερα σημαντική σε χώρους διδασκαλίας, σε περιπτώσεις ατόμων με προβλήματα ακοής κλπ.

Απόδοση: Στα πλαίσια ερευνών έχει αποδειχτεί ότι συνθήκες με αυξημένο περιβαλλοντικό θόρυβο επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση εργαζόμενων και παιδιών. Δημιουργούνται προβλήματα στο διάβασμα, στη συγκέντρωση, στην πνευματική εργασία ιδιαίτερα κλπ. Η έκθεση στο θόρυβο μπορεί να έχει αρνητικές επιδράσεις και μετά το πέρας της έκθεσης σε επιβαρημένο ακουστικό περιβάλλον

(π.χ. λάθη στην εργασία, κάποια ατυχήματα που μπορούν να είναι δείκτης ανεπάρκειας στην απόδοση, παιδιά που ζουν σε θορυβώδες περιβάλλον έχουν αυξημένο επίπεδο ορμονών που σχετίζονται με το stress κλπ).

Στάθμη Θορύβου (dB)	Συναίσθημα Επίδραση	Επιδράσεις Στο Αυτί	Επιδράσεις Στην Ομιλία	Χαρακτηριστικά Παραδείγματα
140 130	Πολύ οδυνηρό	Μη αναστρέψιμες ζημιές στο αυτί		Χώρος δοκιμών για τρυπάνι
120	Οδυνηρό			
110	Ανυπόφορο	Απώλεια ακοής μετά από σύντομη έκθεση	Η συνομιλία είναι αδύνατη	Χώρος επεξεργασίας μετάλλου
100	Δύσκολα υποφερτό			
90	Πολύ θορυβώδες	Απώλεια ακοής μετά από μακροχρόνια έκθεση	Η συνομιλία είναι εφικτή σε απόσταση λίγων εκατοστών από το αυτί	Πολύ θορυβώδης δρόμος Σχολικό προαύλιο
80	Θορυβώδες			
70			Συνομιλία με έντονη φωνή και συμπεριφορά	
60	Μέση επίδραση			Θορυβώδης δρόμος
50		Η ομιλία καλύπτεται	Όριο για χρήση τηλεφώνου	Γραφείο
40	Χαμηλή επίδραση			Χαμηλή στάθμη ραδιοφώνου
30	Ηρεμία		Ήρεμη και εύκολη συνομιλία	Γραφείο με ήρεμες συνθήκες εργασίας
20	Πολύ ηρεμία		Καταληπτή ακόμα και συνομιλία, ψίθυρος, σε απόσταση 1μ	Πολύ προστατευμένη από άποψη θορύβου αίθουσα
10	Σιωπή	Ο παρατηρητής ακούει τους ήχους του σώματος του		Επιτυγχάνεται μόνο σε ειδικούς εργαστηριακούς χώρους

(Πίνακας 1.9.2) - Επιδράσεις ανάλογα με τη στάθμη θορύβου

Χώρος	Επιπτώσεις Στο Αυτί	L_{Aeq} (dB) A	Διάρκεια ώρες
Αίθουσες Διδασκαλίας	Καταληπτότητα ομιλίας, διαταραχή στη μετάδοση της πληροφορίας	35	Κατά τη διάρκεια του μαθήματος
Προαύλιο Σχολείου	Ενόχληση από εξωτερική πηγή	55	Διάρκεια χρήσης

(Πίνακας 1.9.3) - Μέγιστη στάθμη θορύβου στην εκπαίδευση βάσει του WHO

1.9.9 Ο Θόρυβος σε εκπαιδευτικούς χώρους

Η ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας όσον αφορά στις κατασκευαστικές διαδικασίες δεν είναι γνωστή στην Ελλάδα. Όμως οι κακές ακουστικές συνθήκες στις αίθουσες διδασκαλίας ευθύνονται για τις μαθησιακές δυσκολίες των παιδιών και σε πολλές περιπτώσεις για τις χαμηλές επιδόσεις στις εξετάσεις που γίνονται σε θορυβώδεις αίθουσες εξαιτίας της απόσπασης της προσοχής τους από τους εξωτερικούς θορύβους. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των διδακτικών ωρών οι διδάσκοντες χάνουν πολύτιμο χρόνο μαθήματος καθώς χρειάζεται να επαναλαμβάνουν συχνά τις φράσεις τους μέχρι να γίνουν από όλους αντιληπτοί. Φυσικά το πρόβλημα είναι εντονότερο στις μεγάλες πόλεις εξαιτίας κυρίως του κυκλοφοριακού θορύβου.

1.9.10 Ευκρίνεια c_{50} c_{80}

Μέσω αυτών των δεικτών ποσοτικοποιείται η καθαρότητα της μουσικής ή της ομιλίας.

Ορίζεται η αναλογία ανάμεσα στην ηχητική ενέργεια της ανθρώπινης ομιλίας που φτάνει στα πρώτα 50 ms και σε αυτή που φτάνει μετά τα 50 ms εξαρτώμενη βέβαια από την κρουστική απόκριση του χώρου. Αντίστοιχα, για τη μουσική είναι η αναλογία ανάμεσα στην ηχητική ενέργεια που φθάνει στα πρώτα 80 ms σε σχέση με τη συνολική ενέργεια. Η ευκρίνεια μας δείχνει την ισορροπία μεταξύ του απευθείας ήχου και των πρώτων ανακλάσεων προς το συνολικό ηχητικό πεδίο λόγω αντήχησης.

Ορίζεται ως εξής :

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} \{g(t)^2\} dt}{\int_{50ms}^{\infty} \{g(t)^2\} dt} \quad (1.9.4)$$

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} \{g(t)^2\} dt}{\int_{80ms}^{\infty} \{g(t)^2\} dt} \quad (1.9.5)$$

Όπου $g(t)$ η κρουστική απόκριση του χώρου σε *sec*. Τα C_{50} και C_{80} μετριοούνται σε *dB*.

1.10 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΕΡΙ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΤΗΡΙΑΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ - ΑΡΘΡΟ 12

Το άρθρο 12 Ηχομόνωση & Ηχοπροστασία, δεν προβλέπει προδιαγραφές για την ακουστική του χώρου, παρά μόνο για την ηχομόνωση των κτιρίων. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία που να ορίζει τις ακουστικές προδιαγραφές που πρέπει να πληροί ένα σχολείο και μια αίθουσα διδασκαλίας με συνέπεια αυτού τη μη υποχρεωτική συμμόρφωση στις απαιτήσεις του άρθρου.

1.10.1 Παράμετροι ακουστικής άνεσης

Η ακουστική άνεση ενός χώρου καθορίζεται από ένα σύνολο ηχητικών παραμέτρων που αφορούν την ηχομόνωση και ηχοπροστασία του χώρου από:

- τον αερόφερτο ήχο, που παράγεται σε γειτονικούς χώρους
- τον κτυπογενή ήχο που παράγεται σε γειτονικούς χώρους
- τον αερόφερτο θόρυβο που παράγεται από κοινόχρηστες ή ιδιωτικές εγκαταστάσεις του ίδιου κτιρίου
- τον αερόφερτο θόρυβο που παράγεται από εξωτερικές πηγές

Οι ορισμοί των παραμέτρων R_w , R'_w , $L'_{n,w}$, $L_{Aeq,h}$, L_{pA} αναγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί :

ΕΙΔΟΣ ΗΧΟΜΟΝΩΣΗΣ - ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ				ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ			
	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ
ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΗΧΟ	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης	R_w	dB	461.1	Δείκτης ηχομείωσης	R	dB	370.3
	Σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R'_w	dB	461.1	Φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	R'	dB	370.4
ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ ΑΠΟ ΚΤΥΠΟΓΕΝΗ ΗΧΟ	Σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	$L_{n,w}$	dB	461.2	Κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	L'_n	dB	370.7 370.8
ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΘΟΡΥΒΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ	Ωριαία ισοδύναμη A - ηχοστάθμη	$L_{Aeq,h}$	dB (A)	230	A- ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	230
ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΟΦΕΡΤΟ ΘΟΡΥΒΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	A- ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	229	A- ηχοστάθμη	L_{pA}	dB (A)	229

(Πίνακας 1.10.1) - Ορισμοί ακουστικών παραμέτρων

1.10.2 Κατηγορίες ακουστικής άνεσης

Όλα τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται μετά την ισχύ του παρόντος κανονισμού υπάγονται σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες ακουστικής άνεσης, οι οποίες περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί.

- Κατηγορία A: υψηλή ακουστική άνεση.
Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας στην κατηγορία A υψηλή ακουστική άνεση.
- Κατηγορία B: κανονική ακουστική άνεση.
Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας στην κατηγορία B κανονική ακουστική άνεση.

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κατοικίας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης				Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης				Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας		Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων			
	$R_w(dB)$		$L_{nw}(dB)$		$R_w(dB)$		$L_{nw}(dB)$		$R_w(dB)$		$R_w(dB)$		$L_{nw}(dB)$	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ΚΑΤΟΙΚΙΑ-ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	54	50	55	60	-	-	-	-	48	42	60	55	45	50
ΓΡΑΦΕΙΑ-ΕΜΠΟΡΙΟ	52	48	60	65	58	52	52	55	-	-	55	53	55	60
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	57	50	58	65	58	55	52	55	-	-	60	55	45	50
ΥΓΕΙΑ	57	50	55	60	58	55	52	55	-	-	60	53	45	50
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ-ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	65	60	40	45	62	60	47	48	-	-	(65)	(62)	(40)	(45)

(Πίνακας 1.10.2) - Κατηγορίες ακουστικής άνεσης

Ο σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης περιγράφει τη συνολική μείωση του θορύβου ανάμεσα σε δύο χώρους συμπεριλαμβανομένων και των πλευρικών δρόμων μετάδοσης ήχου, διαδρόμους, προθαλάμους.

Ο απαιτούμενος φαινόμενος σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης του χωρίσματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R'_w = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{A} + K \quad (1.10.1)$$

όπου: R'_w → Ο απαιτούμενος σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης

L_1 → Η εκτιμώμενη στάθμη ηχητικής πίεσης στο χώρο εκπομπής

L_2 → Η προδιαγραφόμενη στάθμη ηχητικής πίεσης στο χώρο λήψης

S → Η επιφάνεια του διαχωριστικού στοιχείου

A → Η ισοδύναμη επιφάνεια ηχοαπορρόφησης του χώρου λήψης

K → Ο συντελεστής διόρθωσης για τις πλευρικές μεταδόσεις, η τιμή του συνήθως είναι 5-6 dB

Η ηχομόνωση μεταξύ δύο αιθουσών όσον αφορά τον αερόφερτο θόρυβο, για υψηλή ακουστική άνεση, ορίζεται στα $R'_w = 57 \text{ dB}$. Η τιμή αυτή είναι πολύ μεγάλη και δύσκολα επιτεύξιμη. Για το λόγο αυτό λοιπόν, συνίσταται η ηχομόνωση να είναι $R'_w = 50 \text{ dB}$, όπως προβλέπεται από την κατηγορία B.

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη ηχητική πίεση κτυπογενούς ήχου περιγράφει την ηχοστάθμη κάτω από οροφές ή ορόφους όταν λειτουργεί επάνω στην οροφή μια πρότυπη γεννήτρια κτυπογενούς ήχου. Ένας καθημερινός κτυπογενής ήχος σε κτήρια εκπαίδευσης είναι το χτύπημα μιας καρέκλας από κάποιον μαθητή - φοιτητή από τον επάνω όροφο ο οποίος έχει αρνητική επίδραση στον κάτω όροφο.

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη ηχητική πίεση κτυπογενούς ήχου προκύπτει από τον τύπο:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (1.10.2)$$

Όπου: $\Delta L_w \rightarrow$ Η βελτίωση της σταθμισμένης κανονικοποιημένης στάθμης κτυπογενούς ήχου

$K \rightarrow$ Ο συντελεστής διόρθωσης για τις πλευρικές μεταδόσεις, συναρτήσει της επιφανειακής πυκνότητας του δαπέδου και της πυκνότητας των πλευρικών στοιχείων

$L_{n,w,eq} \rightarrow$ Η ισοδύναμη σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη κτυπογενούς ήχου

Τέλος, οι τιμές για την κτυπογενή ηχομόνωση στην κατηγορία A είναι:

$L'_{n,w} = 58 \text{ dB}$ η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν το κτίριο διαθέτει ενισχυμένα πατώματα αλλά σύμφωνα με την κατηγορία B μια καλή τιμή είναι $L'_{n,w} = 65 \text{ dB}$.

Πρέπει να αναφερθεί σχετικά με τα μετρούμενα μεγέθη στην ηχομόνωση από αερόφερτο και από κτυπογενή θόρυβο ότι στον αερόφερτο παραθέτουμε τη στάθμη του θορύβου που μειώνει ο διαχωριστικός τοίχος. Επομένως, όσο μεγαλύτερη η τιμή αυτή, τόσο περισσότερος θόρυβος μονώνεται, άρα τόσο το καλύτερο.

Αντίθετα, στον κτυπογενή προκαλούμε εμείς ένα θόρυβο στο δάπεδο και μετρούμε τη στάθμη του θορύβου που διεισδύει. Επομένως, όσο μικρότερη τιμή, τόσο λιγότερος θόρυβος διεισδύει, άρα τόσο το καλύτερο.

1.11 ΑΓΓΛΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ **(BB93)**

Σκοπός του BB93 είναι:

- Η παροχή γενικών κατευθύνσεων όσον αφορά τον ακουστικό σχεδιασμό των σχολείων σε εναρμόνιση με τον κτιριοδομικό κανονισμό.
- Η παροχή συμβολαίων σχετικά με το σχεδιασμό και την τοποθεσία του σχολείου
- Η παροχή εκτεταμένων οδηγιών σε αρχιτέκτονες, μηχανικούς ακουστικής, πολιτικούς μηχανικούς, εργολάβους και γενικά σε όσους εμπλέκονται στην κατασκευή σχολικών συγκροτημάτων.

Στο συγκεκριμένο εγχειρίδιο παρουσιάζεται ένας πίνακας, στον οποίο γίνεται διάκριση των χώρων ενός σχολείου και ανά χώρο αναφέρεται το επίπεδο θορύβου που παράγεται μέσα στην αίθουσα, η ανάγκη για ήσυχο περιβάλλον και το ανώτατο όριο θορύβου. Τα επίπεδα θορύβου στον πίνακα είναι ορισμένα ως L_{Aeq} 30 min το οποίο είναι οι σταθμισμένο, με φίλτρο ασταθμές θορύβου βάθους μετρημένες για 30 λεπτά.

Επιπλέον ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται στα επίπεδα θορύβου βάθους σε άδειες αίθουσες. Ο θόρυβος βάθους είναι πολύ σημαντικός, γιατί παίζει μεγάλο ρόλο στην καταληπτότητα του λόγου και στην επικοινωνία μεταξύ μαθητών και εκπαιδευτικών. Υπενθυμίζεται πως έχει αποδειχθεί ότι υψηλά επίπεδα θορύβου βάθους ευθύνονται για τη μείωση της απόδοσης των μαθητών στα μαθήματα τους.

Είδος Αίθουσας	Αναμενόμενος θόρυβος σε ώρες εργασίας (δωμάτιο εκπομπής)	Ανάγκη για ηχομείωση (δωμάτιο λήψης)	Ανώτατο όριο θορύβου L_{Aeq} , 30 min dB_A
Χώροι παιχνιδιού νηπιαγωγείων	Υψηλός	Μεγάλη	35
Ήσυχα δωμάτια νηπιαγωγείων	Χαμηλός	Μεγάλη	35
Αίθουσες δημοτικών σχολείων	Μεσαία επίπεδα	Μεγάλη	35
Αίθουσες γυμνασίων-λυκείων	Μεσαία επίπεδα	Μεγάλη	35
Αίθουσες διδασκαλίας ανοιχτού τύπου	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Χώροι μουσικής			
Αίθουσες μουσικής	Πολύ υψηλός	Μεγάλη	35
Μικροί χώροι εξάσκησης	Πολύ υψηλός	Μεγάλη	35
Χώροι ορχήστρας	Πολύ υψηλός	Πολύ Μεγάλη	30
Αίθουσες συναυλιών	Πολύ υψηλός	Πολύ Μεγάλη	30
Studio ηχογράφησης	Πολύ υψηλός	Πολύ Μεγάλη	30
Control rooms των studios	Υψηλός	Μεγάλη	35
Χώροι διαλέξεων			
Μικρός (λιγότερα από 50 άτομα)	Μεσαία επίπεδα	Μεγάλη	35
Μεγάλος (περισσότερα από 50 άτομα)	Μεσαία επίπεδα	Πολύ Μεγάλη	30
Αίθουσες ειδικά σχεδιασμένες για μαθητές με προβλήματα ακοής	Μεσαία επίπεδα	Πολύ Μεγάλη	30
Αίθουσες μελέτης (μελέτης μαθητών, προετοιμασίας διδασκόντων)	Χαμηλός	Μεγάλη	35
Βιβλιοθήκες			
Περιοχές ησυχίας	Χαμηλός	Μεγάλη	35
Περιοχές συνάντησης και μελέτης	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Εργαστήρια φυσικής	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Αίθουσες θεάτρου	Υψηλός	Πολύ μεγάλη	30
Αίθουσες συνελεύσεων, πολυμορφικοί χώροι, προβολής ταινιών)	Υψηλός	Μεγάλη	35
Αίθουσες χορού	Υψηλός	Μεσαία	40
Γυμναστήρια	Υψηλός	Μεσαία	40
Χώροι πισίνας	Υψηλός	Μεγάλη	50
Εστιατόρια, χώροι εστίασης	Υψηλός	Μεγάλη	45
Γραφεία, χώροι διδακτικού προσωπικού	Μεσαία επίπεδα	Μεσαία	40
Διάδρομοι, σκάλες	Υψηλός	Μεσαία	45

(Πίνακας 1.11.1) - L_{Aeq} ανά τύπο αίθουσας

Όπως είδαμε στον παραπάνω πίνακα το επίπεδο θορύβου σε αίθουσες διδασκαλίας είναι μεσαία, το ανώτατο όριο θορύβου είναι $35 dB_A$

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα ελάχιστα όρια ηχομείωσης αερόφερτου θορύβου που απαιτούνται μεταξύ αιθουσών.

		Επίπεδα θορύβου στο δωμάτιο εκπομπής			
		Χαμηλά (dB)	Μεσαία (dB)	Υψηλά (dB)	Πολύ Υψηλά (dB)
Ανοχή θορύβου στο δωμάτιο λήψης	Καλή	30	35	45	55
	Μεσαία	35	40	50	55
	Χαμηλή	40	45	55	55
	Πολύ χαμηλή	45	50	55	60

(Πίνακας 1.11.2) - Επίπεδα θορύβου στην αίθουσα διδασκαλίας

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα ελάχιστα όρια ηχομείωσης αερόφερτου θορύβου που απαιτούνται μεταξύ των αιθουσών και των εξωτερικών χώρων αυτών (π.χ. διαδρόμους, προαύλιο). Παρατίθενται οι τιμές της ελάχιστης ικανότητας ηχομόνωσης αερόφερτου θορύβου των τοίχων, των πορτών και του εξαιρισμού. Οι τιμές αυτές έχουν οριστεί από εργαστηριακές μετρήσεις εξαιτίας της δυσκολίας του καθορισμού της ακριβούς ηχοαπορρόφησης μεταξύ αιθουσών και διαδρόμων.

Χώροι που χρησιμοποιούν μαθητές	Minimum Rw (dB) Wall including Any glazing	Doorset	Minimum Dn,e,w -10 LogN (dB)
Αίθουσες διαφόρων χρήσεων	40	30	39
Αίθουσες Μουσικής	45	35	45

(Πίνακας 1.11.3) - Χώροι που χρησιμοποιούν μαθητές

Το πρότυπο αναφέρεται επίσης στη μετάδοση του κτυπογενούς θορύβου μεταξύ των πλευρικών τοίχων των αιθουσών ή του πατώματος. Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει το σταθμισμένο κανονικοποιημένο επίπεδο $LnT_{Tmf,max,w}$ της κτυπογενούς ακουστικής πίεσης. Το $LnT_{Tmf,max,w}$ αφορά τις τιμές για το χρόνο αντήχησης στο δωμάτιο λήψης.

$$LnT_{Tmf,max} = Li - 10 \log \left(\frac{T_{mf}}{max} \right) dB \quad (1.11.1)$$

Όπου: $Li \rightarrow$ Η στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς θορύβου

$T \rightarrow$ Ο χρόνος αντήχησης στο δωμάτιο λήψης

$T_{mf,max} \rightarrow$ Η τιμή αναφοράς για το χρόνο αντήχησης που είναι ίση με το ανώτατο όριο T_{mf} που δίδεται στον πίνακα που ακολουθεί, ανάλογα με το είδος του χώρου όπου γίνονται οι μετρήσεις.

Η μέτρηση για την ηχομόνωση για κτυπογενή θόρυβο θα πρέπει να γίνεται χωρίς να υπάρχουν μονωτικά υλικά στο χώρο όπως χαλιά, αφρώδη και άλλα μονωτικά υλικά.

Type of room (receiving room)	Maximum weighted BB93 standardised impact sound pressure level $LnT_{Tmf,max,W}$
Χώροι παιχνιδιού νηπιαγωγείων	65
Ήσυχα δωμάτια νηπιαγωγείων	60
Αίθουσες δημοτικών σχολείων	60
Αίθουσες γυμνασίων-λυκείων	60
Αίθουσες διδασκαλίας ανοιχτού τύπου	60
Χώροι μουσικής	
Αίθουσες μουσικής	55
Μικροί χώροι εξάσκησης	55
Χώροι ορχήστρας	55
Αίθουσες συναυλιών	55
Studio ηχογράφησης	55
Control rooms των studios	55
Χώροι διαλέξεων	
Μικρός (λιγότερα από 50 άτομα)	60
Μεγάλος (περισσότερα από 50 άτομα)	55
Αίθουσες ειδικά σχεδιασμένες για μαθητές με προβλήματα ακοής	55
Αίθουσες μελέτης (μελέτης μαθητών, προετοιμασίας διδασκόντων)	60
Βιβλιοθήκες και διάφοροι χώροι	
Περιοχές ησυχίας	60
Περιοχές συνάντησης και μελέτης	60
Εργαστήρια φυσικής	65
Αίθουσες θεάτρου	55
Αίθουσες συνελεύσεων, πολυμορφικοί χώροι, προβολής ταινιών)	60
Αίθουσες χορού	60
Γυμναστήρια	65
Χώροι πισίνας	65
Εστιατόρια, χώροι εστίασης	65
Γραφεία, χώροι διδακτικού προσωπικού	65
Διάδρομοι, σκάλες	65

(Πίνακας 1.11.4) - $LnT_{Tmf,max}$ ανά τύπο αίθουσας

Στον παρακάτω πίνακα παρέχονται οι συνιστώμενοι χρόνοι αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες για αίθουσες που είναι χωρίς επίπλωση και χωρίς μαθητές. Οι τιμές αυτές παρατίθενται σε T_{mf} , το αριθμητικό μέσο των χρόνων αντήχησης στις συχνότητες 500 Hz, 1KHz και 2KHz.

Τύπος δωματίου (δωμάτιο λήψης)	T_{mf} (sec)
Χώροι παιχνιδιού νηπιαγωγείων	< 0,6
Ήσυχα δωμάτια νηπιαγωγείων	< 0,6
Αίθουσες δημοτικών σχολείων	< 0,6
Αίθουσες γυμνασίων-λυκείων	< 0,8
Αίθουσες διδασκαλίας ανοιχτού τύπου	< 0,8
Χώροι μουσικής	
Αίθουσες μουσικής	< 1,0
Μικροί χώροι εξάσκησης	< 0,8
Χώροι ορχήστρας	0,6 -1,2
Αίθουσες συναυλιών	1,0-1,5
Studio ηχογράφησης	0,6-1,2
Control rooms των studios	< 0.5
Χώροι διαλέξεων	
Μικρός (λιγότερα από 50 άτομα)	< 0,8
Μεγάλος (περισσότερα από 50 άτομα)	< 1,0
Αίθουσες ειδικά σχεδιασμένες για μαθητές με προβλήματα ακοής	< 0,4
Αίθουσες μελέτης (μελέτης μαθητών, προετοιμασίας διδασκόντων)	< 0,8
Βιβλιοθήκες και διάφοροι χώροι	
Περιοχές ησυχίας	< 1,0
Περιοχές συνάντησης και μελέτης	< 1,0
Εργαστήρια φυσικής	<0,8
Αίθουσες θεάτρου	<1,0
Αίθουσες συνελεύσεων, πολυμορφικοί χώροι, προβολής ταινιών)	0,8-1,2
Αίθουσες χορού	< 1,2
Γυμναστήρια	< 1,5
Χώροι πισίνας	< 2,0
Εστιατόρια, χώροι εστίασης	< 1,0
Γραφεία, χώροι διδακτικού προσωπικού	< 1,0
Διάδρομοι, σκάλες	< 1,5

(Πίνακας 1.11.5) - T_{mf} ανά τύπο αίθουσας

1.12 ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

1.12.1 ANSI/ASA S12.60-2002

Το 2002 η Acoustical Society of America (ASA) ανέπτυξε ένα νέο Αμερικανικό Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων Ακουστικής (ANSI) S12.60 με το οποίο εξέτασαν την ανάγκη για τη σωστή ακουστική σχεδίαση των αιθουσών διδασκαλίας άλλα και των μαθησιακών χώρων.

Οι απαιτήσεις αυτές βασίζονται στην ανάγκη για:

- Καλό αρχιτεκτονικό σχέδιο για την παροχή του ήχου στην αίθουσα με σαφήνεια και
- Καλό μηχανολογικό εξοπλισμό (HVAC), για να διασφαλιστεί ότι το επίπεδο θορύβου βάθους θα είναι αρκετά χαμηλό ώστε να επιτρέπει να ακούμε την ομιλία στην αίθουσα.

Η Acoustical Society of America (ASA) προτείνει στάθμη θορύβου σε κάθε σημείο της αίθουσας τουλάχιστον κατά 10 έως 15 dB_A κατά περίπτωση, μικρότερη από τη στάθμη της φωνής. Στην περίπτωση μεγαλύτερης στάθμης θορύβου προκαλείται κόπωση τόσο του καθηγητή όσο και των μαθητών των οποίων αποσπάται η προσοχή. Για το θόρυβο μηχανημάτων προτείνει στάθμες NC 20 και NC 25. Σύμφωνα με την ASA και τις παραπάνω προϋποθέσεις ανεκτή στάθμη θορύβου στις αίθουσες διδασκαλίας θεωρείται μέχρι 35 dB_A και εφόσον η στάθμη θορύβου είναι κατά 10 dB_A μικρότερη της στάθμης της φωνής και ο χρόνος αντήχησης ίσος προς 0,5 sec έχουμε 90 % καταληπτότητα. Σε περιπτώσεις ατόμων που δε γνωρίζουν καλά την αγγλική γλώσσα (+5 dB), ατόμων με μικρή απώλεια ακοής (+5 dB) και σε χώρους με μεγάλη αντήχηση (+3 dB)

ΧΩΡΟΣ		Καμπύλη NCB dB_A
Ραδιοφωνικά Studios (με μεγάλη απόσταση μικροφώνου)		10
Αίθουσα συναυλιών, όπερας, ρεσιτάλ		10-15
Μεγάλα συνεδριακά, μεγάλα θέατρα, μεγάλες εκκλησίες		15-20
Studios τηλεόρασης και ραδιοφώνου (με μικρή απόσταση μικροφώνου)		15-25
Κατοικίες:	Υπνοδωμάτια	25-30
	Καθιστικά	28-38
Σχολεία	Αίθουσες διδασκαλίας και διαλέξεων	25-30
	Ανοιχτοί χώροι διδασκαλίας	33-37
Ξενοδοχεία:	Δωμάτια και σουίτες	28-33
	Αίθουσες διαλέξεων και συναντήσεων	25-35
	Χωλ, διάδρομοι και υποδοχή	38-43
	Βοηθητικοί χώροι εξυπηρέτησης	38-48
Κτίρια γραφείων:	Διευθυντικά γραφεία	25-30
	Μεγάλες αίθουσες διαλέξεων	25-30
	Μικρές αίθουσες διαλέξεων και ατομικά γραφεία	30-35
	Περιοχές γενικής γραμματείας	38-43
	Ανοιχτοί γραφειακοί χώροι	35-40
	Χώροι υπολογιστών	38-43
	Χώροι κυκλοφορίας	38-48
Νοσοκομεία:	Δωμάτια	25-30
	Θάλαμοι	30-35
	Αίθουσες εγχειρήσεων	25-30
	Εργαστήρια	33-43
	Διάδρομοι	33-43
	Χώροι κοινού	38-43
Μικρά θέατρα		25-30
Κινηματογράφοι		27-37
Εκκλησίες		30-35
Δικαστήρια		33-37
Βιβλιοθήκες		33-37
Εστιατόρια		38-43
Εργαστήρια συντήρησης, χώροι ελέγχου βιομηχανίας, κουζίνα, πλυντήριο		43-53
Καταστήματα, χώροι στάθμευσης		50-60

(Πίνακας 1.12.1) – NCB ανά χώρο

1.12.2 ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1

Ο μέγιστος αποδεκτός χρόνος αντήχησης σε αίθουσα διδασκαλίας, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, είναι 0,6 sec για αίθουσες διδασκαλίας μέχρι και 283 m³, και 0,7 sec για αίθουσες όγκου μεταξύ 283 και 566 m³. Οι τιμές των ηχοστάθμεων είναι σταθμισμένες κατά A και C. Η απαίτηση θορύβου έχει οριστεί μέχρι 35 dB_A στην αίθουσα με όγκο έως και 566 m³ και μέχρι 40 dB_A για εκείνες που είναι μεγαλύτερες σε όγκο. Απαιτείται επίσης στις αίθουσες διδασκαλίας οι οποίες προορίζονται για μαθητές με σημαντικές διαταραχές ή αναπηρίες, ο χρόνος αντήχησης να μην υπερβαίνει τα 0,3 sec. Τα δωμάτια να είναι ολοκληρωμένα και επιπλωμένα χωρίς κόσμο μέσα.

Χώρος διδασκαλίας	Μέγιστος χρόνος μια ώρα κατά μέσο όρο A&C επιπέδου ηχητικής στάθμης εξωτερικής πηγής Θόρυβος βάθους (dB)	Μέγιστος χρόνος μια ώρα κατά μέσο όρο A&C επιπέδου ηχητικής στάθμης εσωτερικής πηγής Θόρυβος βάθους (dB)	Μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος αντήχησης επιπέδου ηχητικής πίεσης σε οκτάβες μεσαίων συχνοτήτων 500, 100 και 2000 Hz (s)
Χώρος διδασκαλίας με καθορισμένο όγκο ≤283 m ³ (≤ 10 000 ft ³)	35/55	35/55	0,6 s
Χώρος διδασκαλίας με καθορισμένο όγκο >283 m ³ και ≤ 566 m ³ (>10 000 ft ³ ≤ 20 000 ft ³)	35/55	35/55	0,7 s
Χώρος διδασκαλίας με καθορισμένο όγκο >566 m ³ (>20 000 ft ³) και όλες οι βοηθητικές αίθουσες διδασκαλίας.	40/60	40/60	καμια προϋπόθεση

(Πίνακας 1.12.2) – Επιθυμητά επίπεδα στάθμης ηχητικής πίεσης και αντήχησης σε χώρους διδασκαλίας

2.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το πειραματικό μέρος της εργασίας επικεντρώνεται στη μέτρηση της ακουστικής ποιότητας των αιθουσών Β, ΚΕΚ Ε1, ΚΕΚ Α1 & Γ331 του παραρτήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Τ.Ε.Ι Κρήτης. Το πείραμα διαρθρώθηκε ως ακολούθως:

2.1.1 Εργαλεία - μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους της πτυχιακής εργασίας

- Mic: earthworks m30
- Προενισχυτής: earthworks preamp lab a1165



- Γεννήτρια Συχνοτήτων: 01db gdb 95



- Δωδεκάεδροηχείο: 01 dbstell do 12



- Ενισχυτής: behringer a500



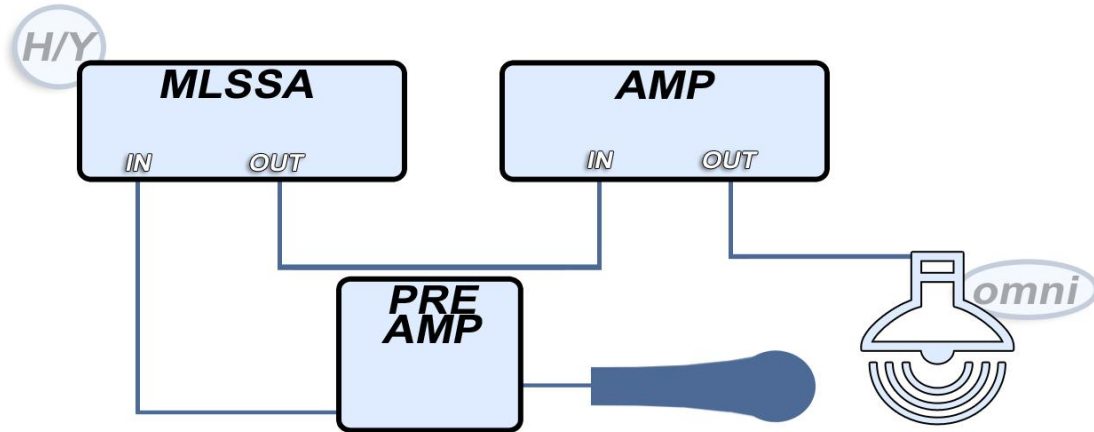
- Η/Υ: mlssa



- Ηχόμετρο: cesvas c310



2.1.2 Οι συνδεσμολογίες που πραγματοποιήθηκαν για την επίτευξη του πειράματος



(Εικόνα 2.1.1) πειραματική συνδεσμολογία με το σύστημα MLSSA



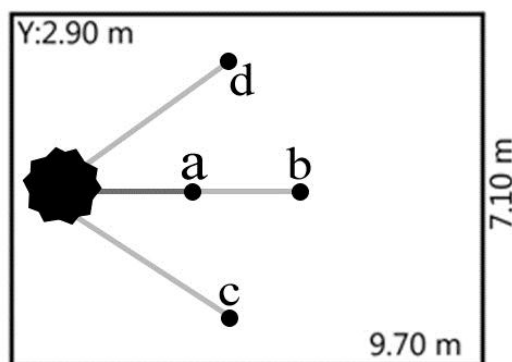
(Εικόνα 2.1.2) πειραματική συνδεσμολογία με τη χρήση ηχομέτρου

2.2 ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.2.1 ΑΙΘΟΥΣΑ Β

Η αίθουσα βρίσκεται στον ισόγειο χώρο του κτιρίου Β του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής, κάτω από το studio ηχογράφησης του τμήματος. Λόγω της τοποθεσίας της, όταν στο studio γίνεται ηχογράφηση μεταφέρεται στερεόφερτος θορύβος. Το σχήμα της είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο και έχει διαστάσεις 9.70m x 7.10m x 2.90m (M x Π x Υ). Η αίθουσα διαθέτει παραθύρα με μονό τζάμι κατά μήκος του ενός τοίχου και 3 πόρτες έναντι αυτών. Στο εσωτερικό της υπάρχουν θρανία και πλαστικά καθίσματα.

Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



a: Απόσταση mic ηχείου= 1,60 m ευθεία

b: Απόσταση mic ηχείου= 4,40 m ευθεία

c: Απόσταση mic ηχείου= 4,20 m αριστερά

d: Απόσταση mic ηχείου= 4,60 m δεξιά

Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται οι τιμές των δεικτών όπως προέκυψαν από μετρήσεις.

Band parameter	125	250	500	1000	2000	4000	8000
H_z							
$RT_{20}(sec)$	1.225	1.268	1.334	1.513	1.464	1.277	1.069
$RT_{30}(sec)$	1.345	1.555	1.329	1.500	1.457	1.258	1.042
$STI(0-1)$	0.558	0.58	0.531	0.516	0.523	0.556	0.61

(Πίνακας 2.2.1) - Μέτρηση χρόνου αντήχησης και STI της αίθουσας Διδασκαλίας στο κτίριο β'

STI Value = 0.553 (0.535 modified) Alcons = 8.5% Rating Fair

STI Rapid = Rasti Value = 0.529 Alcons = 9.8% Rating Fair

Θόρυβος Βάθους αίθουσας με κλειστά παράθυρα

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	47.4	43.9	42.1	42.1	46.6	44.6	36.3	32.0	30.3	49.9	54.6	52.8
Peak										72.7	73.0	72.5

(Πίνακας 2.2.2) - Θόρυβος Βάθους αίθουσας με κλειστά παράθυρα

Θόρυβος Βάθους αίθουσας με ανοιχτά παράθυρα

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	57.3	59.7	61.7	58.7	60.6	54.8	47.0	38.6	33.6	63.1	67.5	66.9
Peak										82.2	83.9	83.9

(Πίνακας 2.2.3) - Θόρυβος Βάθους αίθουσας με ανοιχτά παράθυρα

Στάθμη ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	77.3	93.9	97.0	88.2	76.9	81.2	82.7	73.1	53.5	91.7	99.2	99.1
Peak										103.1	110.1	110.3

(Πίνακας 2.2.4) - Στάθμη ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα

2.2.1.1 Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	69.2	82.9	84.4	77.2	68.3	72.5	73.2	63.7	45.1	80.6	87.4	87.3
Peak										94.1	99.8	99.6

(Πίνακας 2.2.5) – Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα σε αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα. Εδώ έγιναν τρεις τυχαίες μετρήσεις και δίνεται ο μέσος όρος τους.

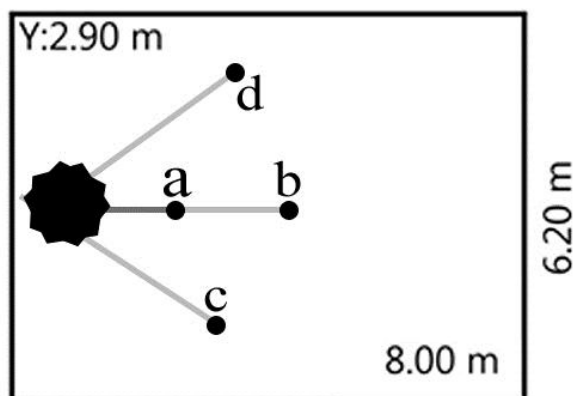
$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	67.4	77.4	76.2	68.6	58.2	64.6	64.7	51.9	30.2	72.4	80.5	80.3
Peak										84.8	89.5	91.7

(Πίνακας 2.2.6) – Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα

2.2.2 ΑΙΘΟΥΣΑ Κ.Ε.Κ Ε1

Η αίθουσα αυτή βρίσκεται σε ισόγειο χώρο του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής και οι διαστάσεις της είναι 8.00m x 6.20m x 2.90m (Μ x Π x Υ). Στο εσωτερικό της διαθέτει γραφεία με ηλεκτρονικούς υπολογιστές τοποθετημένα σε σχημα Π και κάποια πλαστικά καθίσματα στο κέντρο. Χρησιμοποιείται ως αίθουσα διδασκαλίας εργαστηριακών μαθημάτων.

Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



a: Απόσταση mic ηχείου= 1,80 m ευθεία

b: Απόσταση mic ηχείου= 2,60 m ευθεία

c: Απόσταση mic ηχείου= 2,70 m αριστερά

d: Απόσταση mic ηχείου= 3,00 m δεξιά

Αίθουσα Διδασκαλίας Η/Υ κ.ε.κ Ε1

Band parameter	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$RT_{20}(sec)$	1.378	0.952	0.753	0.803	0.822	0.818	0.786
$RT_{30}(sec)$	1.364	1.664	0.752	0.782	1.363	0.801	0.820
$STI(0-1)$	0.615	0.659	0.653	0.624	0.626	0.607	0.653

(Πίνακας 2.2.7) -Μέτρηση χρόνου αντήχησης και STI της αίθουσας Διδασκαλίας Η/Υ

STI Value = 0.632 (0.627 modified) Alcons = 5.5% Rating Fair

STI Rapid = Rasti Value = 0.637 Alcons = 5.4% Rating Fair

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου έξω απο την αίθουσα

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	76.4	93.4	94.3	87.5	77.6	80.7	82.0	72.8	53.2	90.0	97.5	97.4
Peak										103.2	108.7	108.9

(Πίνακας 2.2.8) - Στάθμη ρόζ θορύβου έξω απο την αίθουσα Διδασκαλίας

2.2.2.1 Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	69.2	82.9	84.4	77.2	68.3	72.5	73.2	63.7	45.1	80.6	87.4	87.3
Peak										94.1	99.8	99.6

(Πίνακας 2.2.9) – Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα. Εδώ έγιναν τρεις διαφορετικές μετρήσεις και δίνεται ο μέσος όρος τους.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	70.2	78.9	76.0	68.4	58.4	62.9	64.1	52.6	43.8	71.9	81.3	81.1
Peak										84.7	93.2	90.6

(Πίνακας 2.2.10) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	46.2	52.2	52.6	54.9	52.6	49.1	46.3	37.7	37.4	57.2	60.0	59.8
Peak										72.8	73.2	72.8

(Πίνακας 2.2.11) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	48.1	55.3	53.9	51.5	49.7	45.6	39.7	30.5	37.4	54.0	59.7	59.5
Peak										66.3	71.3	70.4

(Πίνακας 2.2.12) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και ανοιχτά παράθυρα (20 Η/Υ και server).

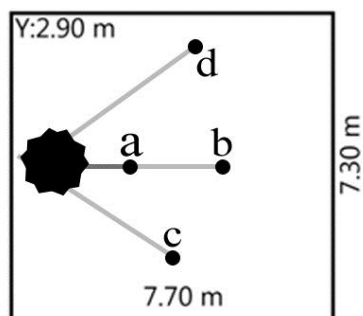
$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	49.1	55.3	55.4	51.8	49.7	45.1	38.8	28.0	33.5	54.1	60.8	60.0
Peak										65.8	71.5	71.6

(Πίνακας 2.2.13) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και ανοιχτά παράθυρα

2.2.3 ΑΙΘΟΥΣΑ Κ.Ε.Κ Α1

Η αίθουσα αυτή βρίσκεται σε ισόγειο χώρο του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής και οι διαστάσεις της είναι 7.70m x 7.30m x 2.90m (Μ x Π x Υ). Στο εσωτερικό της διαθέτει γραφεία με ηλεκτρονικούς υπολογιστές τοποθετημένα σε σχημα Π και κάποια πλαστικά καθίσματα στο κέντρο. Χρησιμοποιείται ως αίθουσα διδασκαλίας εργαστηριακών μαθημάτων.

Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



- a: Απόσταση mic ηχείου= 1,10 m ευθεία
- b: Απόσταση mic ηχείου= 2,90 m ευθεία
- c: Απόσταση mic ηχείου= 4,20 m αριστερά
- d: Απόσταση mic ηχείου= 4,00 m δεξιά

Δίδεται ο μέσος όρος των παραπάνω μετρήσεων

Αίθουσα Διδασκαλίας Η/Υ κ.ε.κ Α1

Band parameter	125	250	500	1000	2000	4000	8000
H_z							
$RT_{20}(sec)$	1.668	1.110	0.811	0.908	0.997	1.036	0.983
$RT_{30}(sec)$	2.007	2.291	1.578	1.749	1.887	1.920	1.919
$STI(0-1)$	0.567	0.609	0.657	0.616	0.590	0.602	0.639

(Πίνακας 2.2.14) -Μέτρηση χρόνου αντήχησης και STI της αίθουσας Διδασκαλίας κ.ε.κ Α1

STI Value = 0.609 (0.603 modified) Alcons = 6.3% Rating Fair

STI Rapid = Rasti Value = 0.539 Alcons = 5.9% Rating Fair

2.2.3.1 Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου έξω απο την αίθουσα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	76.4	93.4	94.3	87.5	77.6	80.7	82.0	72.8	53.2	90.0	97.5	97.4
Peak										103.2	108.7	108.9

(Πίνακας 2.2.15) – Στάθμη ρόζ θορύβου έξω απο την αίθουσα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	72.2	84.0	81.0	76.6	66.1	70.6	71.5	61.4	42.2	78.8	86.5	86.4
Peak										91.2	98.2	99.9

(Πίνακας 2.2.16) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα. Εδώ γίναν τρεις τυχαίες μετρήσεις και δίνεται ο μέσος όρος τους.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	67.3	76.8	75.8	67.0	57.3	62.0	62.6	50.9	30.9	71.1	80.5	80.3
Peak										83.4	91.9	91.7

(Πίνακας 2.2.17) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς H/Y και κλειστά παράθυρα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	42.8	46.1	43.1	34.1	28.5	28.6	27.7	24.1	20.1	38.3	51.7	49.9
Peak										53.2	63.0	60.2

(Πίνακας 2.2.18) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς H/Y και κλειστά παράθυρα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς H/Y, κλιματιστικά και κλειστά παράθυρα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	46.3	57.7	56.2	52.7	50.8	46.9	39.2	29.8	24.6	55.2	61.5	61.3
Peak										67.4	73.2	72.3

(Πίνακας 2.2.19) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς H/Y και κλειστά παράθυρα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς H/Y, κλιματιστικά και ανοιχτά παράθυρα.

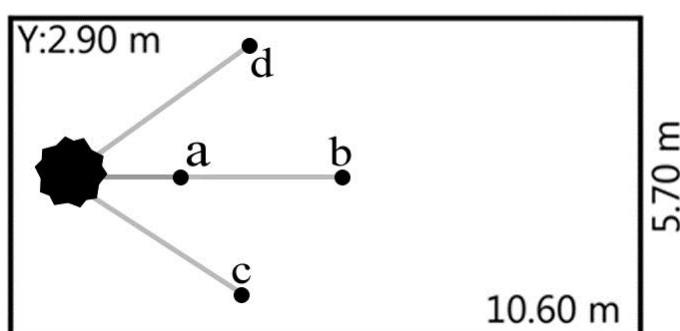
$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	55.9	54.0	54.8	50.3	49.5	46.1	39.8	34.7	28.7	53.8	62.1	60.4
Peak										65.0	73.9	71.1

(Πίνακας 2.2.20) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς H/Y και ανοιχτά παράθυρα

2.2.4 ΑΙΘΟΥΣΑ Γ 331

Η συγκεκριμένη αίθουσα βρίσκεται σε ισόγειο χώρο του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής, δίπλα από τη λέσχη εστίασης των φοιτητών με αποτέλεσμα να μεταφέρεται στερεόφερτος θόρυβος. Το σχήμα της είναι ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο και έχει διαστάσεις 10.60m x 5.70 m x 2.90 m (M x Π x Υ). Διαθέτει μια πόρτα και παράθυρα κατά μήκος των δυο πλευρών της. Το εσωτερικό της αποτελείται από πλαστικά καθίσματα και ένα πιάνο και χρησιμοποιείται ως αίθουσα διδασκαλίας θεωρητικών μαθημάτων.

Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



- a: Απόσταση mic ηχείου= 2,60 m ευθεία
- b: Απόσταση mic ηχείου= 4,10 m ευθεία
- c: Απόσταση mic ηχείου= 3,70 m αριστερά
- d: Απόσταση mic ηχείου= 3,70 m δεξιά

Δίδεται ο μέσος όρος των παραπάνω μετρήσεων

Αίθουσα Διδασκαλίας Γ 331

Band parameter	125	250	500	1000	2000	4000	8000
H_z							
$RT_{20}(sec)$	1.817	1.722	1.620	1.760	1.726	1.518	1.274
$RT_{30}(sec)$	2.135	1.684	1.619	1.766	1.686	1.488	1.258
$STI(0-1)$	0.487	2.129	0.505	0.446	0.447	0.485	0.533

(Πίνακας 2.2.21) -Μέτρηση χρόνου αντήχησης και STI της αίθουσας Διδασκαλίας Γ331

STI Value = 0.489 (0.471 modified) Alcons = 12.1% Rating Fair

STI Rapid = Rasti Value = 0.470 Alcons = 13.4% Rating Fair

2.2.4.1 Μέτρηση ηχομείωσης πόρτας

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	83.2	97.7	95.8	87.9	77.4	81.2	83.7	75.1	55.6	91.6	100.2	100.0
Peak										104.3	111.2	111.2

(Πίνακας 2.2.22) - Στάθμη ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	73.6	84.7	86.7	81.0	70.9	74.0	75.0	64.7	43.3	82.9	89.7	89.6
Peak										96.5	101.0	101.6

(Πίνακας 2.2.23) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή στην πόρτα. Εδώ έγιναν τρεις τυχαίες μετρήσεις και δίνεται ο μέσος όρος τους.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	70.9	80.6	79.4	71.7	63.3	66.0	64.7	53.9	31.3	74.8	83.6	83.5
Peak										87.4	94.7	94.3

(Πίνακας 2.2.24) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστά παράθυρα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	50.3	43.3	33.3	27.6	24.4	19.6	16.4	16.0	15.9	31.5	53.9	51.5
Peak										43.9	63.2	60.4

(Πίνακας 2.2.25) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστά παράθυρα

Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτά παράθυρα.

$f_{(Hz)}$	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K	LA	LZ	LC
$L_P(dB)$	61.9	47.2	39.7	35.9	33.0	27.4	21.4	16.8	17.7	39.3	62.2	60.9
Peak										52.6	71.4	70.5

(Πίνακας 2.2.26) - Στάθμη ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτά παράθυρα

Μέσοι όροι ευκρίνειας ανά αίθουσα.

Band parameter (H_z)		125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 (dB)	Αίθουσα Β	-1.42	0.125	-1.43	-1.42	-1.59	-0.46	0.82
	Αίθουσα Ε1	1.00	2.77	2.37	1.12	1.18	0.55	1.58
	Αίθουσα Α1	-2.18	1.67	2.44	1.09	0.13	0.86	1.90
	Αίθουσα Γ 331	-4.07	-1.09	-1.69	-3.70	-3.92	-2.64	-1.42

(Πίνακας 2.2.27) – c50 ανά αίθουσα

2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

2.3.1 ΑΙΘΟΥΣΑ Β

Ακολουθεί παράθεση σε Πίνακα, συνοπτικών μετρήσεων της αίθουσας

Ακολουθεί παράθεση σε Πίνακες των προτεινόμενων απο την βιβλιογραφία τιμών και συνοπτικών μετρήσεων ανά αίθουσα.

Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσουμε εύκολα να κάνουμε σύγκριση των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στον χώρο του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής και έτσι να αποφανθούμε για την ακουστική ποιότητα της κάθε αίθουσας.

Για την ευκολία επεξήγησης της κάθε μέτρησης έχουν δημιουργηθεί συνθήκες από 1- 4 και για την κάθε συνθήκη δίνεται και η αντίστοιχη καμπύλη NC.

Όπου:

Στη συνθήκη **1** Θόρυβος βάθους με κλειστά παράθυρα και κλειστή πόρτα, όπου το 12ερο ηχείο βρισκόταν μέσα και η μέτρησή μας με το ηχόμετρο έγινε εντός της αίθουσας.

Στη συνθήκη **2** Θόρυβος βάθους με ανοιχτά παράθυρα και κλειστή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα και η μέτρησή μας με το ηχόμετρο έγινε εντός της αίθουσας.

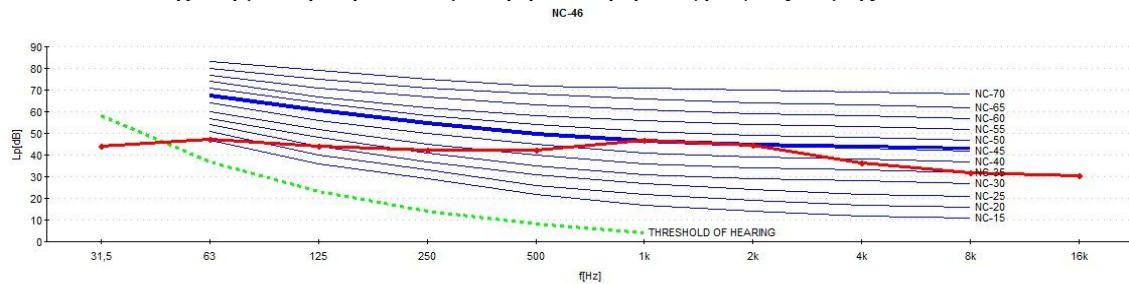
Στη συνθήκη **3** Μέτρηση θορύβου βάθους μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα, 12εδρο ηχείο έξω από την αίθουσα και η μέτρηση με το ηχόμετρο έγινε μέσα στην αίθουσα.

Στη συνθήκη **4** Μέτρηση θορύβου βάθους μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα, το 12εδρο ηχείο έξω από την αίθουσα και η μέτρηση με το ηχόμετρο έγινε μέσα στην αίθουσα

ΔΕΙΚΤΕΣ	Lp		NC		STI	RT60		ALCONS
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	35 dB _A		25-30		0-1	0,7 sec		0-100%
	SPL ΑΙΘΟΥΣΑΣ Β NC ΑΙΘΟΥΣΑΣ Β				STI ΑΙΘΟΥΣΑΣ Β	RT20& RT30 στα 1000 Hz ΑΙΘΟΥΣΑΣ Β		ALCONS ΑΙΘΟΥΣΑΣ Β
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΘΗΚΗ 1	ΣΥΝΘΗΚΗ 2	ΣΥΝΘΗΚΗ 3	ΣΥΝΘΗΚΗ 4	0,553	1,513 sec	1,500 sec	8,5 %
ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ dB _A	49,9	63,1	80,6	72,4				
ΚΑΜΠΥΛΕΣ NC dB _A	46	60	70	67				

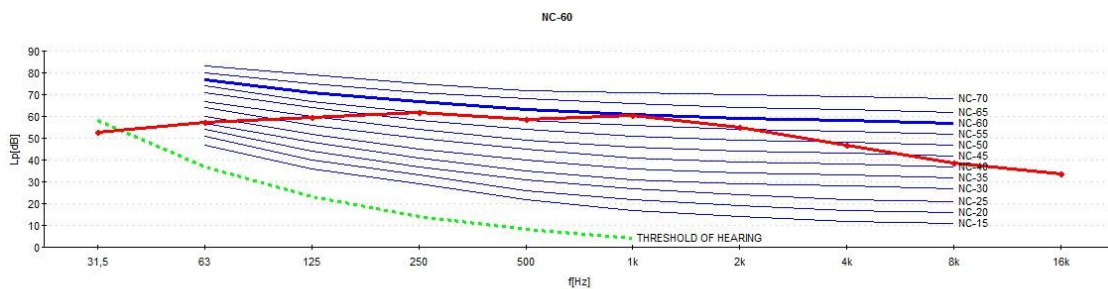
Βάσει των μετρήσεων που εκτελέστηκαν στην πρώτη κατά σειρά αίθουσα διαπιστώθηκαν οι παραπάνω αποκλίσεις σε σχέση με τις επιτρεπόμενες, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές. Αναφορικά με την τιμή του L_p (backgroundnoise – θόρυβος βάθους) η οποία προκύπτει μετά από χρήση φίλτρου L_α .

Στη συνθήκη 1 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **49,9** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.2.1) καμπύλη NC Συνθήκης 1

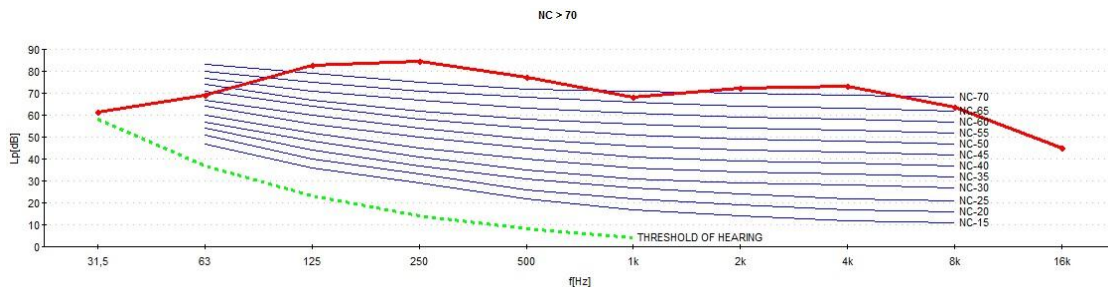
Στη συνθήκη 2 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **63,1** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.2.2) καμπύλη NC Συνθήκης 2

Οι μετρήσεις που ακολουθούν αφορούν συνθήκες που μας δείχνουν μία αρχική εκτίμηση για την ηχομείωση που προσφέρει η πόρτα.

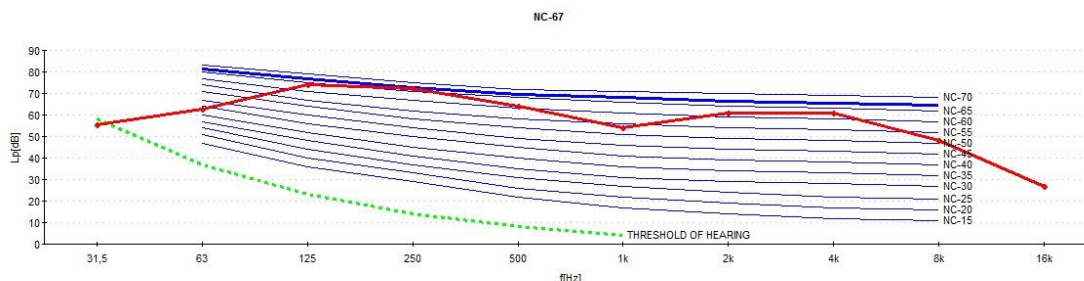
Στη συνθήκη 3 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **80,6** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.2.3) καμπύλη NC Συνθήκης 3

Σημειώνεται ότι στη συνθήκη 4, έγιναν 3 μετρήσεις, για τις οποίες παραθέτουμε το Μέσο Όρο.

Στη συνθήκη 4 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **72,4** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των $35\text{ }dB_A$.



(Εικόνα 2.2.4) καμπύλη NC Συνθήκης 4

Σχετικά με την επόμενη παράμετρο, το **STI (speech transmission index = δείκτης μετάδοσης λόγου)** παρατηρούμε ότι η απόδοση της αίθουσας χαρακτηρίζεται ως «μέτρια» βάσει του αποτελέσματος της μέτρησής μας **0,553** και κατ' αναλογία με την γενική βιβλιογραφική κατάταξη.

(βλέπε πίνακα STI 1.7.2) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.html>.

Σχετικά με τις τιμές του χρόνου αντήχησης, παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών.

Τέλος, αναφορικά με τα Alcons παρατηρούμε ότι η τιμή **8,5%** είναι αντίστοιχη της μέτριας απόδοσης στη συγκεκριμένη αίθουσα, σε σύγκριση με τις δεδομένες βιβλιογραφικές μετρήσεις.

(βλέπε πίνακα Alcons 1.7.1) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.html>

2.3.2 ΑΙΘΟΥΣΑ ΚΕΚ Ε1

Ακολουθεί παράθεση σε Πίνακα, συνοπτικών μετρήσεων της αίθουσας

Κατόπιν μετρήσεων που εκτελέστηκαν στην δεύτερη κατά σειρά αίθουσα διαπιστώθηκαν οι παραπάνω αποκλίσεις σε σχέση με τις επιτρεπόμενες, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές, οι οποίες και επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα. Αναφορικά με την τιμή του **L_p (background noise – θόρυβος βάθους)** η οποία προκύπτει μετά από **χρήση φίλτρου L_α**.

Για την ευκολία επεξήγησης της κάθε μέτρησης έχουν δημιουργηθεί συνθήκες από 1- 5, για την κάθε συνθήκη δίνεται και η αντίστοιχη καμπύλη NC.

Όπου:

Στη συνθήκη **1** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν έξω από την αίθουσα.

Στη συνθήκη **2** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν έξω από την αίθουσα.

Στη συνθήκη **3** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ηλεκτρονικούς υπολογιστές ανενεργούς και με κλειστά παράθυρα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα στην αίθουσα.

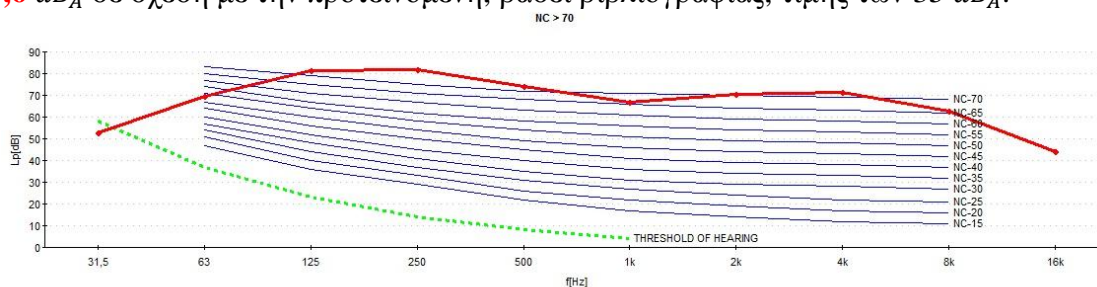
Στη συνθήκη **4** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και με κλειστά παράθυρα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα στην αίθουσα.

Στη συνθήκη **5** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και με ανοιχτά παράθυρα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα στην αίθουσα.

ΔΕΙΚΤΕΣ	Lp	NC	STI	RT60	ALCONS				
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	35 dba	25-30	0-1	0,7 sec	0-100%				
	SPL ΑΙΘΟΥΣΑΣ κκεκ Ε1 NC ΑΙΘΟΥΣΑΣ κκεκ Ε1		STI ΑΙΘΟΥΣΑΣ κκεκ Ε1	RT20& RT30 στα 1000 Hz ΑΙΘΟΥΣΑΣ κκεκ Ε1	ALCONS ΑΙΘΟΥΣΑΣ κκεκ Ε1				
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΘΗΚΗ 1	ΣΥΝΘΗΚΗ 2	ΣΥΝΘΗΚΗ 3	ΣΥΝΘΗΚΗ 4	ΣΥΝΘΗΚΗ 5				
ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ dB_A	80,6	71,9	57,2	54	54,1	0,632	0,803 sec	0,782 sec	5,5 %
ΚΑΜΠΥΛΕΣ NC dB_A	70	66	52	49	49				

Οι μετρήσεις που ακολουθούν αφορούν συνθήκες που μας δείχνουν την Ηχομείωση της πόρτας.

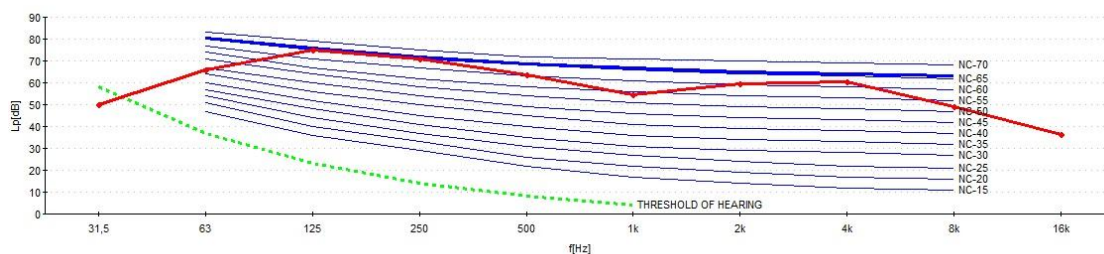
Στη συνθήκη 1 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **80,6 dB_A** σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των **35 dB_A** .



(Εικόνα 2.3.1) καμπύλη NC Συνθήκης 1

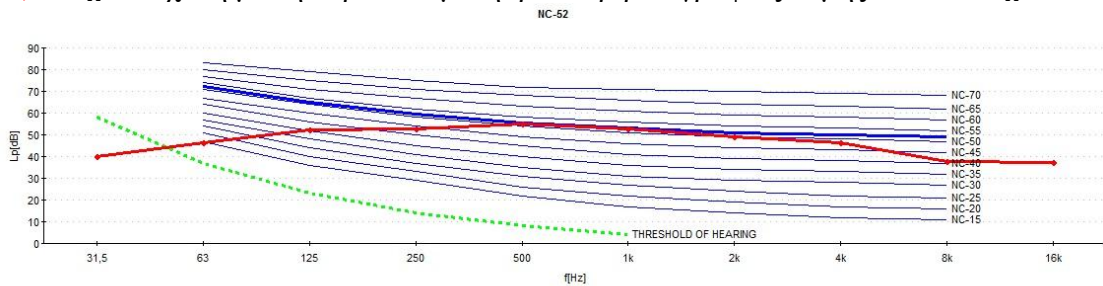
Σημειώνεται ότι στη συνθήκη 2, έγιναν 3 μετρήσεις, για τις οποίες παραθέτουμε τον Μέσο Όρο.

Στη συνθήκη 2 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **71,9 dB_A** σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των **35 dB_A** .



(Εικόνα 2.3.2) καμπύλη NC Συνθήκης 2

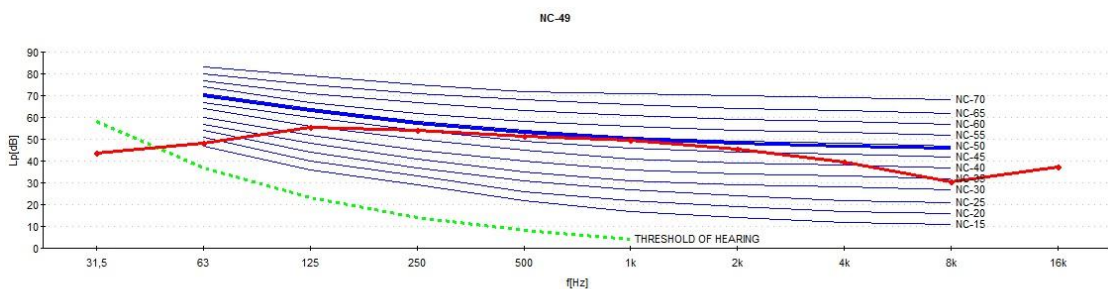
Στη συνθήκη 3 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μικρότερη τιμή της τάξης των **57,2** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.3.3) καμπύλη NC Συνθήκης 3

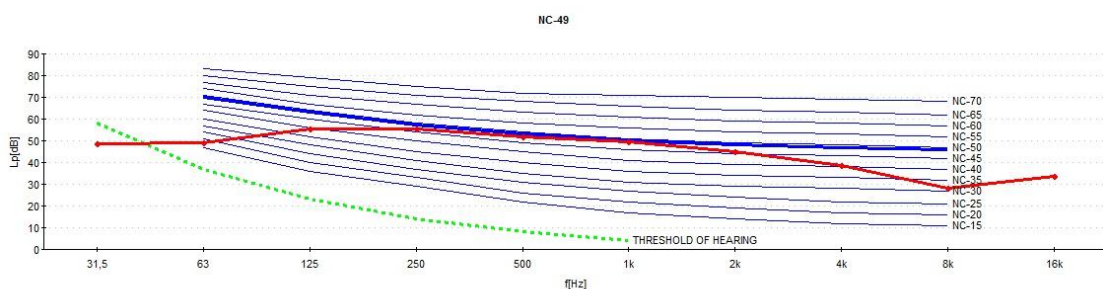
Παρακάτω παραθέτουμε τις τιμές των μετρήσεων που αφορούν τον θόρυβο βάθους με ανοιχτούς υπολογιστές.

Στη συνθήκη 4 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μικρότερη τιμή της τάξης των **54** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.3.4) καμπύλη NC Συνθήκης 4

Στη συνθήκη 5 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **54,1** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.3.5) καμπύλη NC Συνθήκης 5

Σχετικά με την επόμενη παράμετρο, το **STI (speech transmission index = δείκτης μετάδοσης λόγου)** παρατηρούμε ότι η απόδοση της αίθουσας χαρακτηρίζεται ως «μέτρια» βάσει του αποτελέσματος της μέτρησής μας **0,632** και κατ' αναλογία με την γενική βιβλιογραφική κατάταξη.

(βλέπε πίνακα *STI 1.7.2*) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.html>.

Σχετικά με τις τιμές του χρόνου αντήχησης, παρατηρούνται μέτριες αποκλίσεις μεταξύ μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών.

Τέλος, αναφορικά με τα *Alcons* παρατηρούμε ότι η τιμή **5,5%** είναι αντίστοιχη πολύ καλής απόδοσης στη συγκεκριμένη αίθουσα, σε σύγκριση με τις δεδομένες βιβλιογραφικές μετρήσεις.

(βλέπε πίνακα *Alcons 1.7.1*) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.htm>

2.3.3 ΑΙΘΟΥΣΑ ΚΕΚ Α1

Ακολουθεί παράθεση σε Πίνακα, συνοπτικών μετρήσεων της αίθουσας

Κατόπιν μετρήσεων που εκτελέστηκαν στην τρίτη κατά σειρά αίθουσα διαπιστώθηκαν οι παραπάνω αποκλίσεις σε σχέση με τις επιτρεπόμενες, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές, οι οποίες και επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα. Αναφορικά με την τιμή του **Lp (background noise – θόρυβος βάθους)** η οποία προκύπτει μετά από **χρήση φίλτρου L_{α}**

Για την ευκολία επεξήγησης της κάθε μέτρησης έχουν δημιουργηθεί συνθήκες απο 1- 5, για την κάθε συνθήκη δίνεται και η αντίστοιχη καμπύλη NC.

Όπου:

Στη συνθήκη **1** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν έξω από την αίθουσα.

Στη συνθήκη **2** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν έξω από την αίθουσα.

Στη συνθήκη **3** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ηλεκτρονικούς υπολογιστές σβηστούς και με κλειστά παράθυρα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα στην αίθουσα.

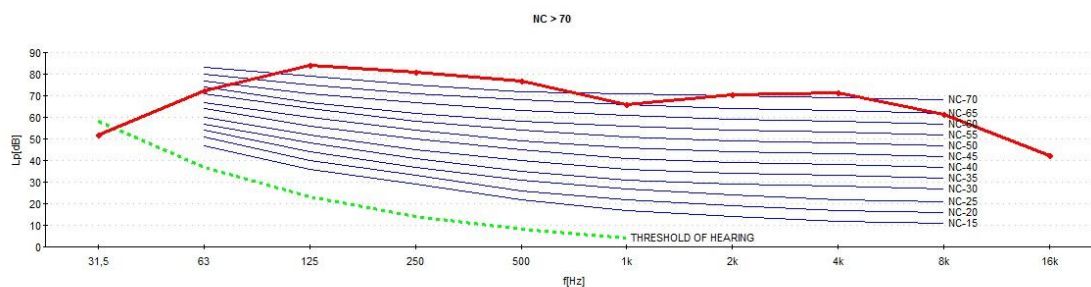
Στη συνθήκη **4** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και με κλειστά παράθυρα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα στην αίθουσα.

Στη συνθήκη **5** Μέτρηση θορύβου βάθους με τη βοήθεια ηχομέτρου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και με ανοιχτά παράθυρα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα στην αίθουσα.

ΔΕΙΚΤΕΣ	Lp		NC			STI	RT60		ALCONS
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	35 dba		25-30			0-1	0,7 sec		0-100%
	SPL ΑΙΘΟΥΣΑΣ κέκ Α1					STI ΑΙΘΟΥΣΑ κέκ Α1	RT20& RT30 στα 1000 Hz ΑΙΘΟΥΣΑΣ κέκ Α1		ALCONS ΑΙΘΟΥΣΑΣ κέκ Α1
	NC ΑΙΘΟΥΣΑΣ κέκ Α1								
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΘΗΚΗ 1	ΣΥΝΘΗΚΗ 2	ΣΥΝΘΗΚΗ 3	ΣΥΝΘΗΚΗ 4	ΣΥΝΘΗΚΗ 5	0,609	0,908 sec	1,749 sec	6,3 %
ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ dB_A	78,8	71,1	38,3	55,2	53,8				
ΚΑΜΠΥΛΕΣ NC dB_A	70	66	33	50	49				

Οι μετρήσεις που ακολουθούν αφορούν συνθήκες που μας δείχουν την Ηχομείωση της πόρτας.

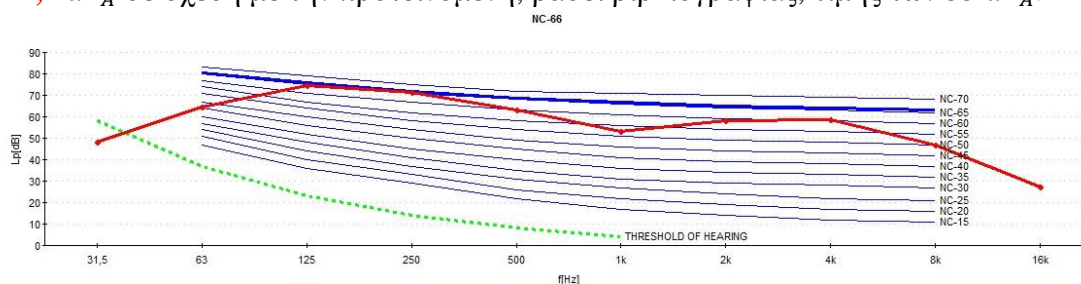
Στη συνθήκη 1 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **78,8** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη βάσει βιβλιογραφίας τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.4.1) καμπύλη NC Συνθήκης 1

Σημειώνεται ότι στη Συνθήκη 2, έγιναν 3 μετρήσεις, για τις οποίες παραθέτουμε τον Μέσο Όρο.

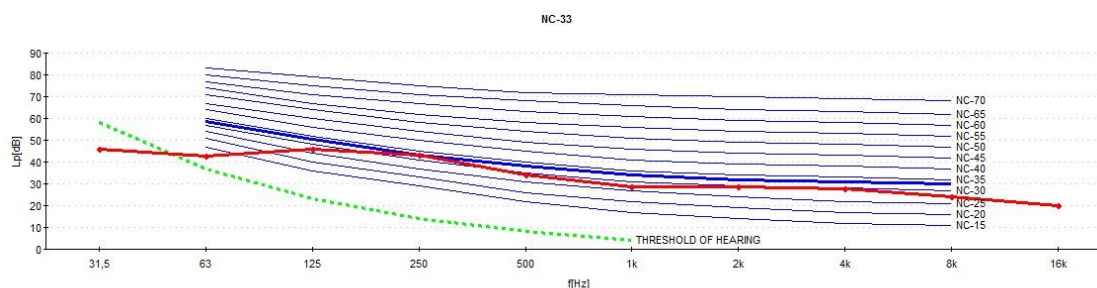
Στη συνθήκη 2 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **71,1** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.4.2) καμπύλη NC Συνθήκης 2

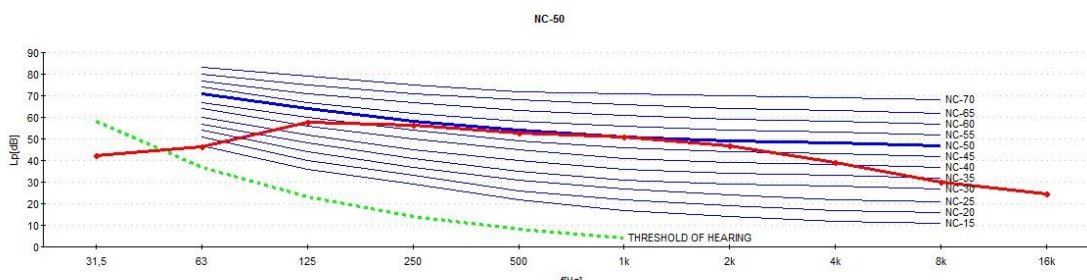
Παρακάτω παραθέτουμε τις τιμές των μετρήσεων που αφορούν τον θόρυβο βάθους με ανοιχτούς υπολογιστές.

Στη συνθήκη 3 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μικρότερη τιμή της τάξης των **38,3** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



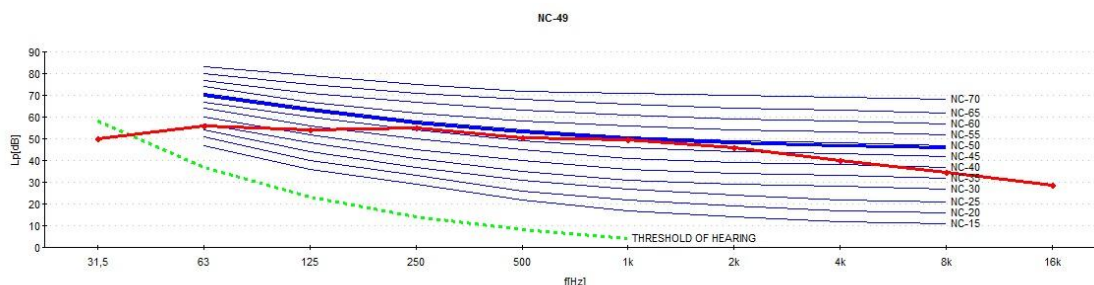
(Εικόνα 2.4.3) καμπύλη NC Συνθήκης 3

Στη συνθήκη 4 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **55,2 dB_A** σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A.



(Εικόνα 2.4.4) καμπύλη NC Συνθήκης 4

Στη συνθήκη 5 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μικρότερη τιμή, της τάξης των **53,8 dB_A** σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A.



(Εικόνα 2.4.5) καμπύλη NC Συνθήκης 5

Σχετικά με την επόμενη παράμετρο, το **STI (speech transmission index = δείκτης μετάδοσης λόγου)** παρατηρούμε ότι η απόδοση της αίθουσας χαρακτηρίζεται ως «μέτρια» βάσει του αποτελέσματος της μέτρησής μας **0,609** και κατ' αναλογία με την γενική βιβλιογραφική κατάταξη.

(βλέπε πίνακα STI 1.7.2) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.html>.

Σχετικά με τις τιμές του χρόνου αντήχησης, παρατηρούνται μέτριες έως μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών.

Τέλος, αναφορικά με τα Alcons παρατηρούμε ότι η τιμή **6,3 %** είναι αντίστοιχη μέτριας απόδοσης στη συγκεκριμένη αίθουσα, σε σύγκριση με τις δεδομένες βιβλιογραφικές μετρήσεις.

(βλέπε πίνακα Alcons 1.7.1) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.htm>

2.3.4 ΑΙΘΟΥΣΑ Γ331

Ακολουθεί παράθεση σε Πίνακα, συνοπτικών μετρήσεων της αίθουσας

Κατόπιν μετρήσεων που εκτελέστηκαν στην τέταρτη κατά σειρά αίθουσα διαπιστώθηκαν οι παραπάνω αποκλίσεις σε σχέση με τις επιτρεπόμενες, βάσει βιβλιογραφίας, τιμές, οι οποίες και επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα. Αναφορικά με την τιμή του **Lp (background noise– θόρυβος βάθους)** η οποία προκύπτει μετά από **χρήση φίλτρου L_a** .

Για την ευκολία επεξήγησης της κάθε μέτρησης έχουν δημιουργηθεί συνθήκες απο 1- 4, για την κάθε συνθήκη δίνεται και η αντίστοιχη καμπύλη NC.

Όπου:

Στη συνθήκη **1** Θόρυβος βάθους με κλειστά παραθυρα και κλειστή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα και η μέτρησή μας με το ηχόμετρο συνέβη εντός της αίθουσας.

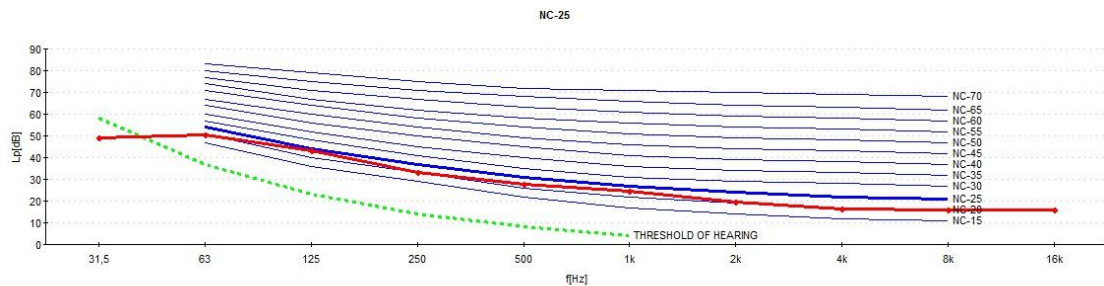
Στη συνθήκη **2** Θόρυβος βάθους με ανοιχτά παραθυρα και κλειστή πόρτα, όπου το 12εδρο ηχείο βρισκόταν μέσα και η μέτρησή μας με το ηχόμετρο συνέβη εντός της αίθουσας.

Στη συνθήκη **3** Μέτρηση θορύβου βάθους μέσα στην αίθουσα με ανοιχτη πόρτα, 12εδρο ηχείο έξω από την αίθουσα και η μέτρηση με το ηχόμετρο έγινε μεσα στην αίθουσα.

Στη συνθήκη **4** Μέτρηση θορύβου βάθους μέσα στην αίθουσα με κλειστή πόρτα, το 12εδρο ηχείο έξω από την αίθουσα και η μέτρηση με το ηχόμετρο έγινε μεσα στην αίθουσα.

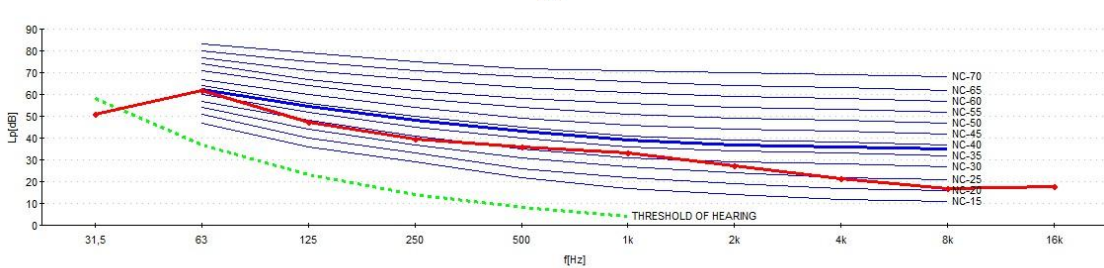
ΔΕΙΚΤΕΣ	Lp		NC		STI	RT60		ALCONS
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΑΣΕΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	35 dba		25-30		0-1	0,7 sec		0-100%
	SPL ΑΙΘΟΥΣΑΣ Γ 331				STI ΑΙΘΟΥΣΑ Γ 331	RT20& RT30 στα 1000 Hz ΑΙΘΟΥΣΑΣ Γ 331		ALCONS ΑΙΘΟΥΣΑΣ Γ 331
	NC ΑΙΘΟΥΣΑΣ Γ 331							
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΥΝΘΗΚΗ 1	ΣΥΝΘΗΚΗ 2	ΣΥΝΘΗΚΗ 3	ΣΥΝΘΗΚΗ 4	0,489	1,760 sec	1,766 sec	12,1 %
ΘΟΡΥΒΟΣ ΒΑΘΟΥΣ dB_A	31,5	39,9	82,9	80,5				
ΚΑΜΠΥΛΕΣ NC dB_A	35	38	70	70				

Στη συνθήκη 1 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **31,5** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.5.1) καμπύλη NC Συνθήκης 1

Στη συνθήκη 2 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **39,9** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .

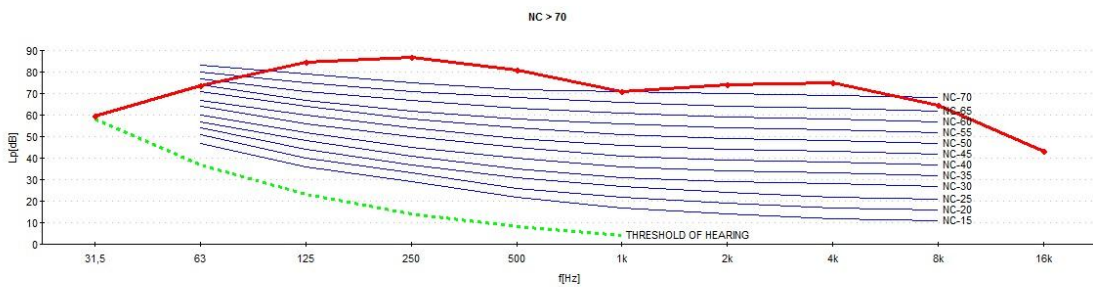


(Εικόνα 2.5.2) καμπύλη NC Συνθήκης 2

Οι μετρήσεις που ακολουθούν αφορούν συνθήκες που μας δείχνουν την Ηχομείωση της πόρτας.

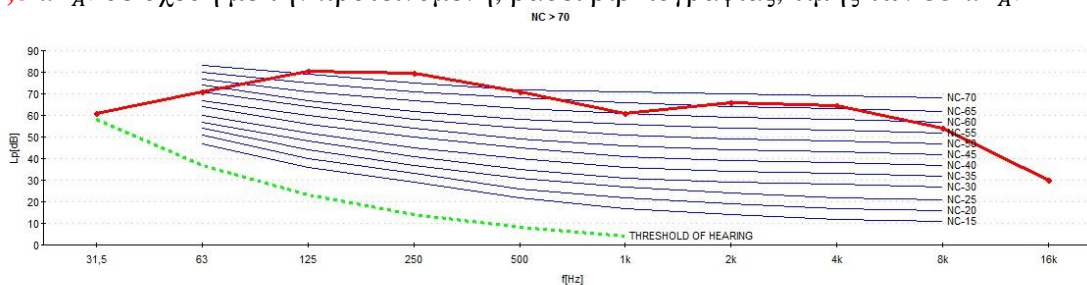
Σημειώνεται ότι στη συνθήκη 3, έγιναν 3 μετρήσεις, για τις οποίες παραθέτουμε τον Μέσο Όρο.

Στη συνθήκη 3 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **82,9** dB_A σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των 35 dB_A .



(Εικόνα 2.5.3) καμπύλη NC Συνθήκης 3

Στη συνθήκη 4 παρατηρούμε ότι παρουσιάζει τιμή της τάξης των **74,8** dB_A . σε σχέση με την προτεινόμενη, βάσει βιβλιογραφίας, τιμής των $35\text{ }dB_A$.



(Εικόνα 2.5.4) καμπύλη NC Συνθήκης 4

Σχετικά με την επόμενη παράμετρο, το **STI (speech transmission index = δείκτης μετάδοσης λόγου)** παρατηρούμε ότι η απόδοση της αίθουσας χαρακτηρίζεται ως «μέτρια» βάσει του αποτελέσματος της μέτρησής μας **0,489** και κατ' αναλογία με την γενική βιβλιογραφική κατάταξη.

(βλέπε πίνακα STI 1.7.2) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.html>

Σχετικά με τις τιμές του χρόνου αντήχησης, παρατηρούνται μέτριες έως μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ μετρούμενων και προβλεπόμενων τιμών.

Τέλος, αναφορικά με τα Alcons παρατηρούμε ότι η τιμή **12,1 %** είναι αντίστοιχη μέτριας απόδοσης στη συγκεκριμένη αίθουσα, σε σύγκριση με τις δεδομένες βιβλιογραφικές μετρήσεις.

(βλέπε πίνακα Alcons 1.7.1) Πηγή: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-ALcons-STI.htm>

2.4 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ακουστική μελέτη μιας αίθουσας διδασκαλίας, πρέπει να γίνεται από το αρχικό στάδιο της σχεδίασής της. Η εκ των προτέρων αυτή μελέτη εξασφαλίζει συνήθως το μέγιστο επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην προκείμενη περίπτωση των αιθουσών του Τμήματος Ρεθύμνου που εξετάζουμε, θα πρέπει να γίνουν εκ των υστέρων αλλαγές για να επιτύχουμε τα επιθυμητά επίπεδα ακουστικής. Δυστυχώς, οι αλλαγές αυτές είναι πιο δαπανηρές όταν γίνονται μετά την κατασκευή και επιπλέον είναι πιο δύσκολο να υλοποιηθούν, γιατί πέρα από την οικονομική πλευρά θα υπάρξουν προβλήματα στο πρόγραμμα διδασκαλίας, καθώς οι αίθουσες που θα βρίσκονται υπό ανακαίνιση δε θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, δυσχεραίνοντας έτσι τόσο τους φοιτητές όσο και τους καθηγητές.

Για την ακουστική βελτίωση των εξεταζόμενων αιθουσών προτείνονται κάποιες τροποποιήσεις με σκοπό την ακουστική τους βελτίωση.

Συνοψίζοντας, όπως έχει προαναφερθεί στις μετρήσεις, οι τιμές των ακουστικών δεικτών που παρουσιάζουν οι αίθουσες είναι μεγαλύτερες από τις προτεινόμενες βάσει βιβλιογραφίας. Σε μερικές περιπτώσεις είναι σχεδόν διπλάσιες από τις απαιτούμενες, έχοντας ως αποτέλεσμα έντονα ακουστικά προβλήματα εντός των αιθουσών.

Υπενθυμίζεται ότι η προτεινόμενη τιμή του θορύβου βάθους είναι 35 dB_A , ενώ όσον αφορά το χρόνο αντίληψης η προτεινόμενη τιμή είναι $0,7 \text{ sec}$. Αυτό συνεπάγεται τα εξής προβλήματα:

Ξεκινώντας, θα αναφέρουμε τις επιπτώσεις που υφίστανται οι φοιτητές. Το βασικότερο είναι η δύσκολη ακρόαση του διδάσκοντα με αποτέλεσμα οι φοιτητές να μην μπορούν να αφομοιώσουν όσα λέει κατά την παράδοση και έτσι να δυσχεραίνεται η κατανόηση του μαθήματος. Αξίζει επίσης να τονιστεί πόσο σημαντική είναι η ηχομόνωση των αιθουσών κατά την περίοδο των εξετάσεων όπου απαιτείται η πλήρης συγκέντρωση των σπουδαστών και η οποία δεν πρέπει να αποσπάται από εξωτερικούς θορύβους. Επίσης, υπάρχουν επιπτώσεις και στους διδάσκοντες, όπως επιπρόσθετη κόπωση λόγω της προσπάθειας για την αντιμετώπιση της χαμηλής καταληπτότητας της ομιλίας.

Μετά από τη διερεύνηση των αποκλίσεων μεταξύ των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε και των τιμών των δεικτών, διαπιστώνουμε πως υπάρχουν ακουστικές αστοχίες-παραλήψεις στις 4 τέσσερις αίθουσες που μετρήθηκαν. Αυτές οφείλονται στην αστοχία κατασκευής, στην ατυχή επιλογή υλικών, όπως οι πόρτες και τα παράθυρα. Συγκεκριμένα, τα παράθυρα είναι μονά, και δε διαθέτουν διπλά τζάμια, με αποτέλεσμα να παρέχουν ανεπαρκή μόνωση από εξωτερικούς θορύβους. Οι πόρτες στις αίθουσες των Υπολογιστών είναι κατασκευασμένες και τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο που καθίστανται διαπερατές από εξωτερικούς θορύβους.

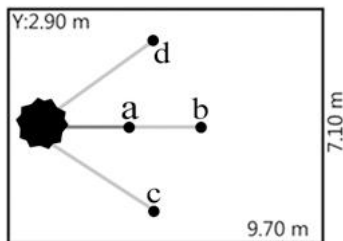
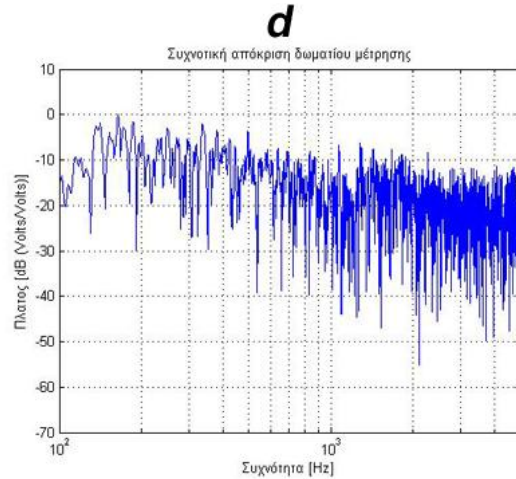
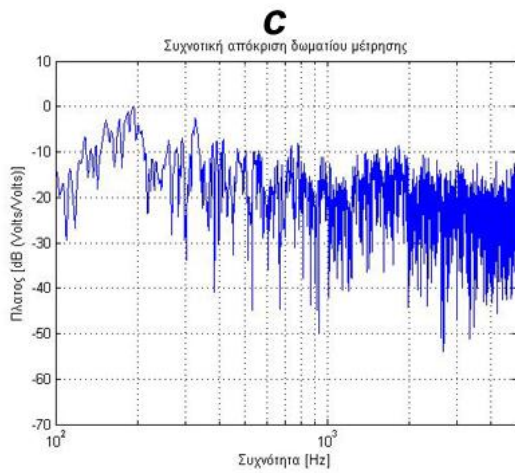
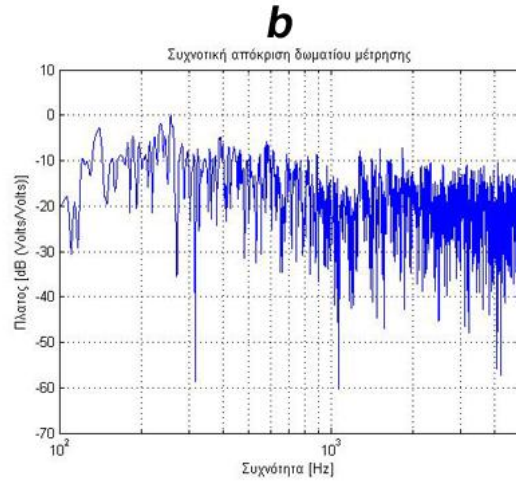
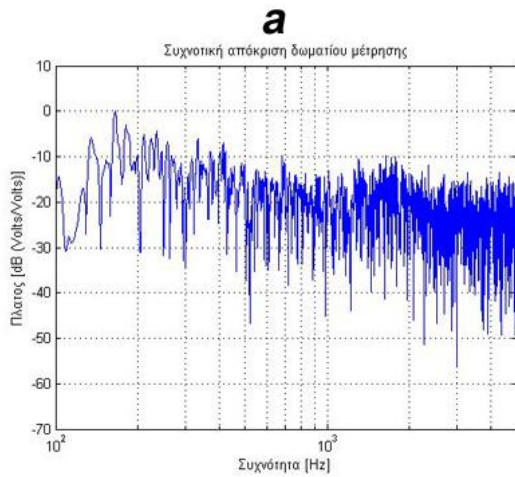
2.5 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

- Προτείνεται η τοποθέτηση μεταλλικής ηχομονωτικής πόρτας, με τιμή σταθμισμένου δείκτη ηχομείωσης (R_w)=46dB. Παράδειγμα τέτοιας πόρτας αποτελεί η NC-M της σειράς NC acoustic doors [Πηγή: www.noisecontrol.gr, τελευταία επίσκεψη στις 18/5/2013], η οποία σύμφωνα με την εταιρεία διάθεσής της είναι κατασκευασμένη από γαλβανισμένα χαλυβδοελάσματα πάχους 1,5mm-3,0mm και υψηλής απόδοσης ηχομονωτικά και ηχοαπορροφητικά υλικά.
- Προτείνεται τοποθέτηση ηχομονωτικών τζαμιών με τιμή σταθμισμένου δείκτη ηχομόνωσης (R_w)=36dB και πάχος 23mm.. Παράδειγμα τέτοιου υλικού αποτελεί το μοντέλο STADIP SILENCE της εταιρείας Saint Goboni [Πηγή: www.practikal.gr, τελευταία επίσκεψη στις 18/5/2013].
- Η αύξηση της απορρόφησης της αίθουσας προτείνεται να πραγματοποιηθεί με την τοποθέτηση πάνελ κατάλληλου συντελεστή απορρόφησης στις περατωτικές επιφάνειες της εκάστοτε αίθουσας. Παράδειγμα τέτοιου υλικού αποτελεί το πάνελ NC-Absorber με ενδεικτική τιμή συντελεστή απορρόφησης 0,63 στα 1000Hz. Επιπρόσθετη απορρόφηση δύναται να προσφέρει η τοποθέτηση βελούδινης κουρτίνας (ενδεικτική τιμή συντελεστή απορρόφησης 0,72 στα 1000Hz) [Πηγή: www.noisecontrol.gr, τελευταία επίσκεψη στις 18/5/2013].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αίθουσα B

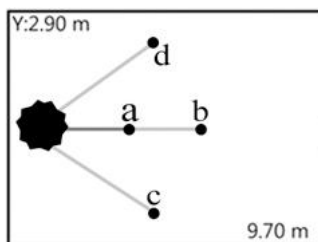
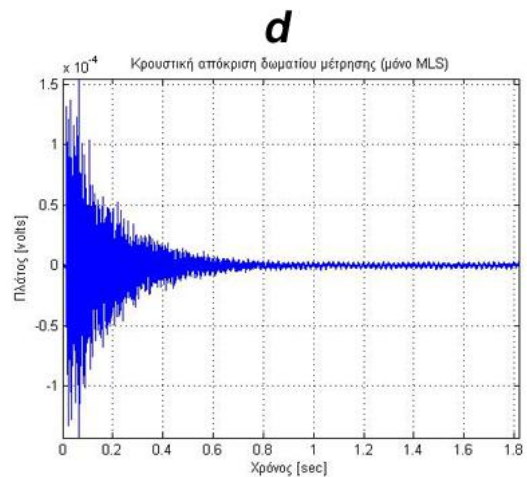
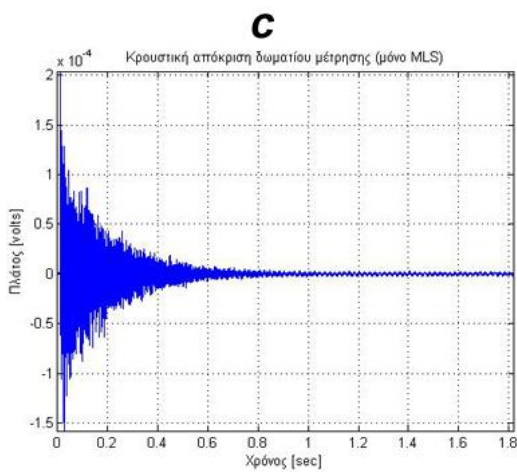
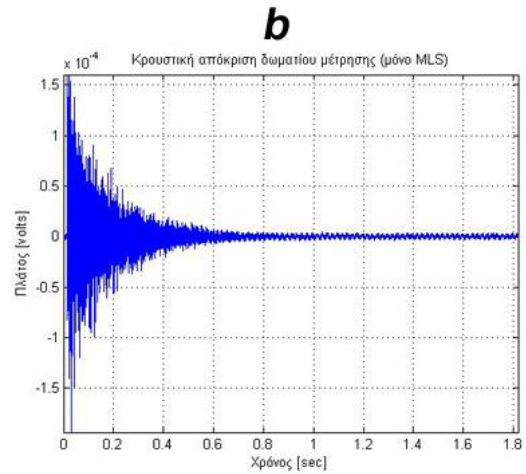
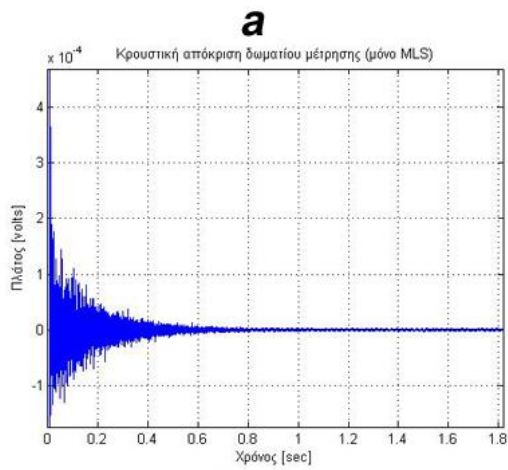
Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



- a:** Απόσταση mic ηχείου= 1,60 m ευθεία
- b:** Απόσταση mic ηχείου= 4,40 m ευθεία
- c:** Απόσταση mic ηχείου= 4,20 m αριστερά
- d:** Απόσταση mic ηχείου= 4,60 m δεξιά

Αίθουσα B

Μέτρηση κρουστικής απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA

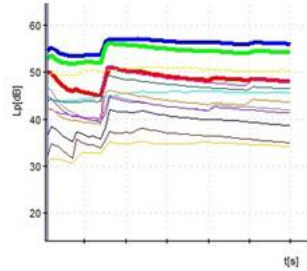
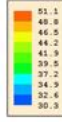
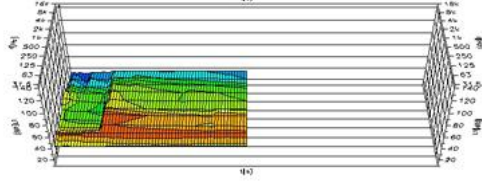


- a:** Απόσταση mic ηχείου= 1,60 m ευθεία
- b:** Απόσταση mic ηχείου= 4,40 m ευθεία
- c:** Απόσταση mic ηχείου= 4,20 m αριστερά
- d:** Απόσταση mic ηχείου= 4,60 m δεξιά

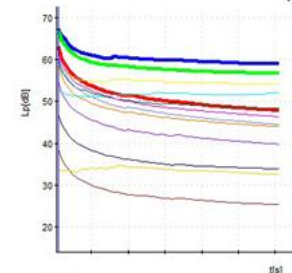
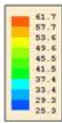
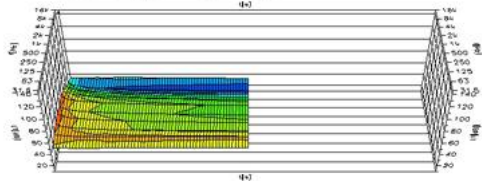
Αίθουσα B

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

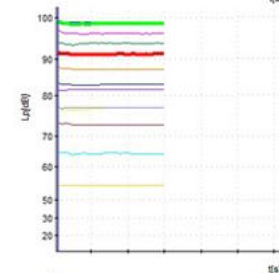
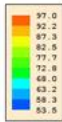
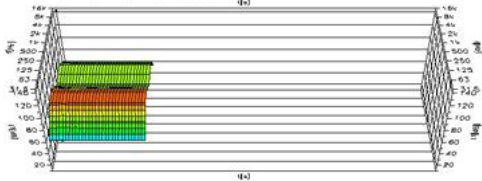
Θόρυβος Βάθους αίθουσας με κλειστά παράθυρα



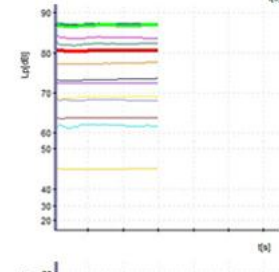
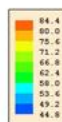
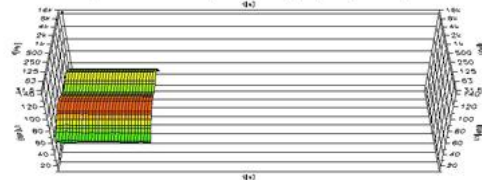
Θόρυβος Βάθους αίθουσας με ανοιχτά παράθυρα



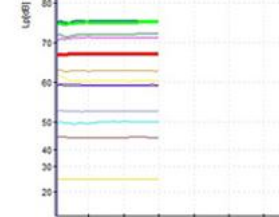
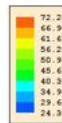
Στάθμη ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα

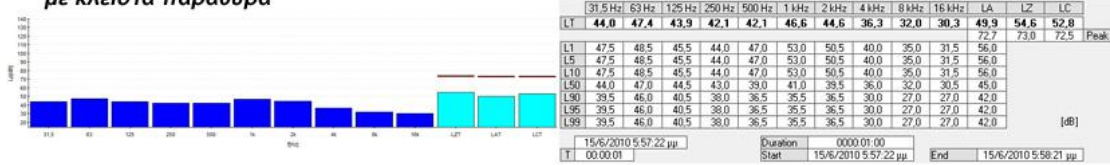


	LZT		LAT		LCT		31,5		63
	125		250		500		1k		2k
	4k		8k		16k		No data		

Αίθουσα B

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

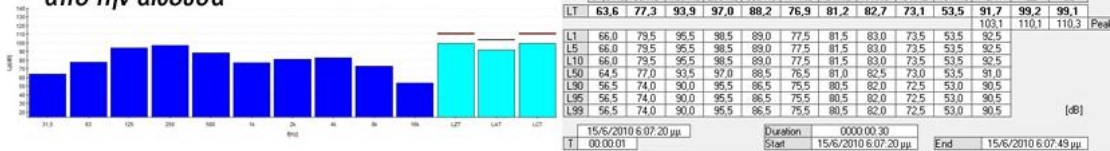
Θόρυβος Βάθους αίθουσας με κλειστά παράθυρα



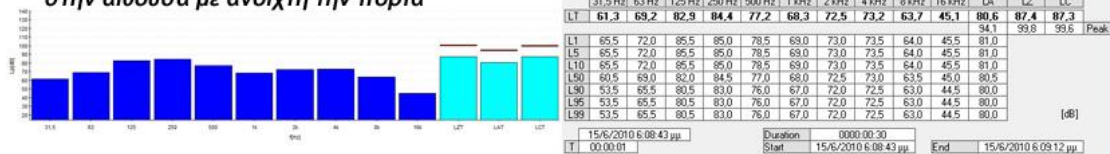
Θόρυβος Βάθους αίθουσας με ανοιχτά παράθυρα



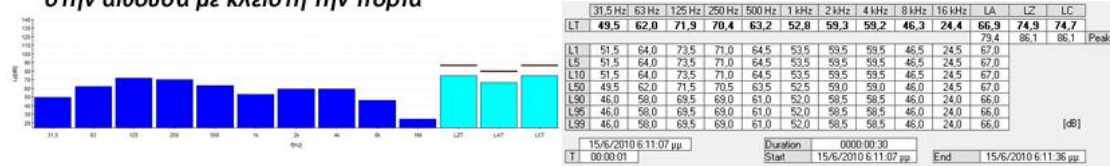
Στάθμη ροζ θορύβου έξω από την αίθουσα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα

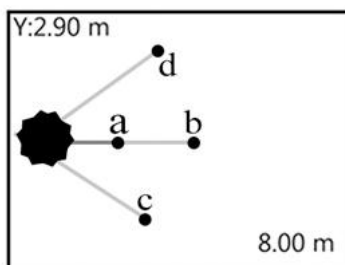
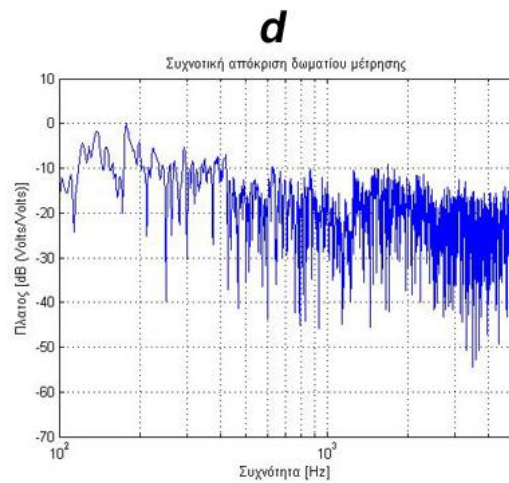
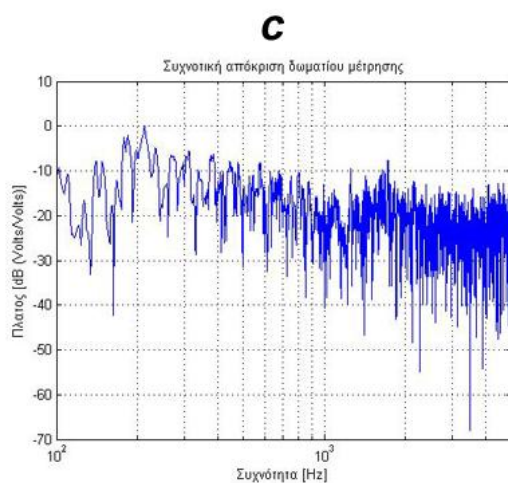
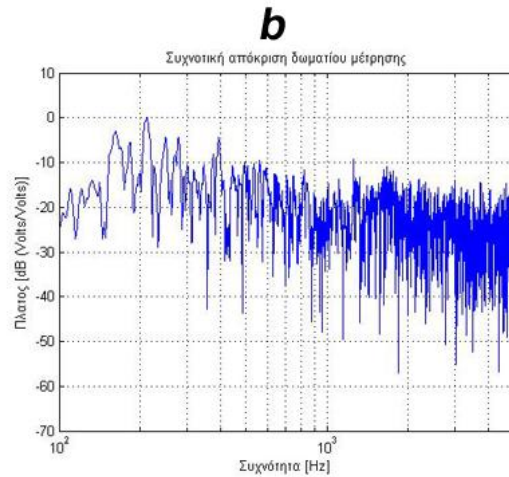
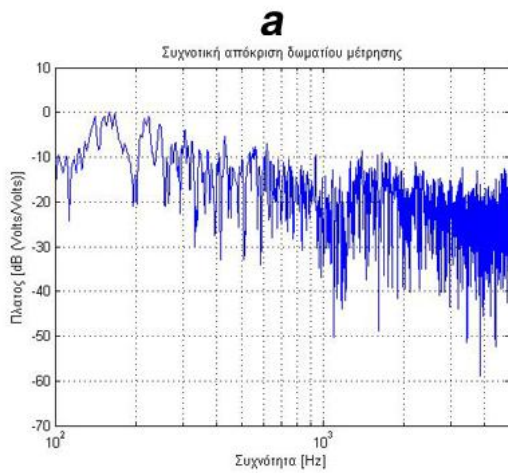


Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα



Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1

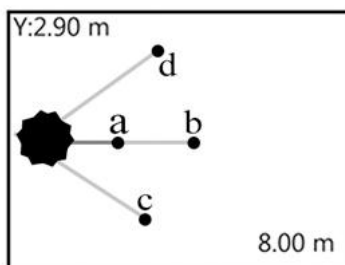
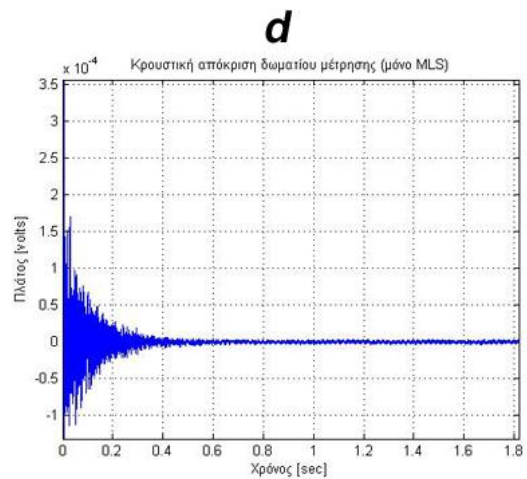
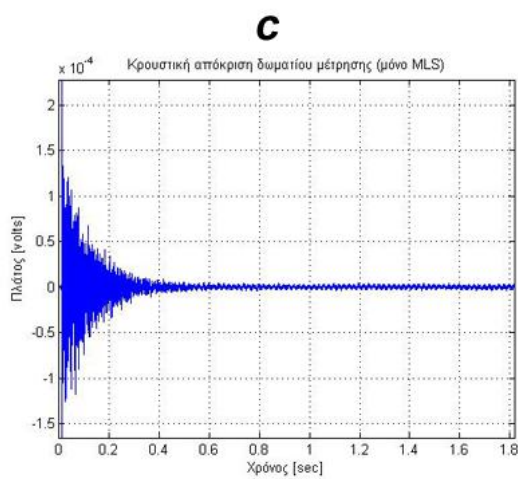
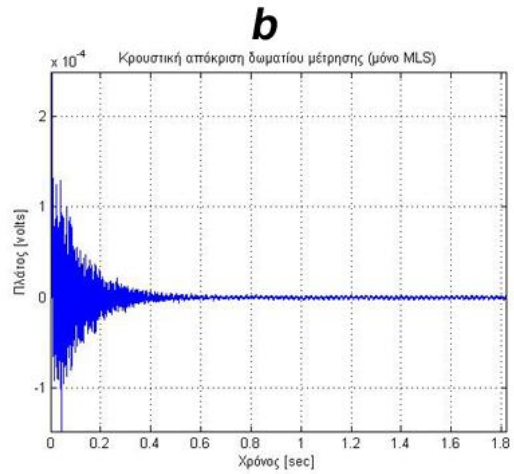
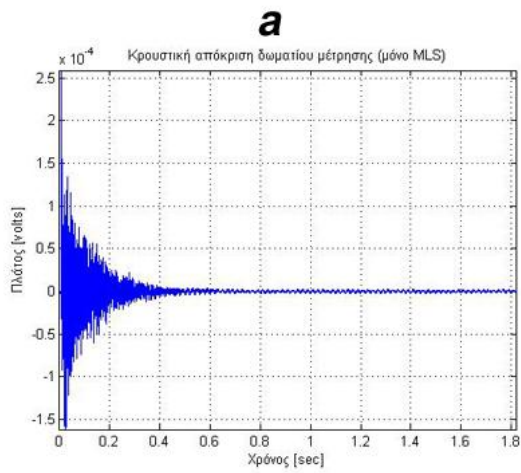
Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



- a:** Απόσταση mic ηχείου= 1,80 m ευθεία
- b:** Απόσταση mic ηχείου= 2,60 m ευθεία
- c:** Απόσταση mic ηχείου= 2,70 m αριστερά
- d:** Απόσταση mic ηχείου= 3,00 m δεξιά

Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1

Μέτρηση κρουστικής απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA

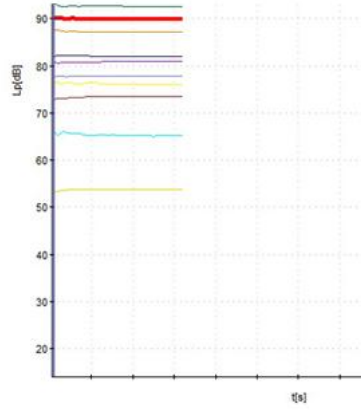
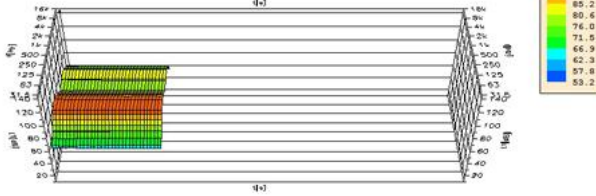


- a:** Απόσταση mic ηχείου= 1,80 m ευθεία
- b:** Απόσταση mic ηχείου= 2,60 m ευθεία
- c:** Απόσταση mic ηχείου= 2,70 m αριστερά
- d:** Απόσταση mic ηχείου= 3,00 m δεξιά

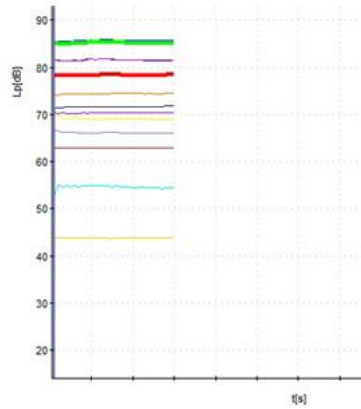
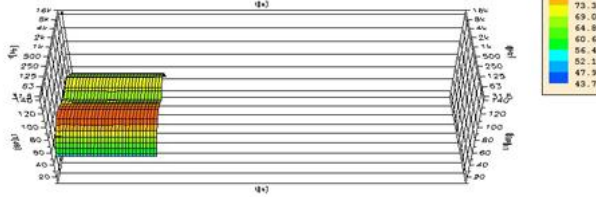
Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

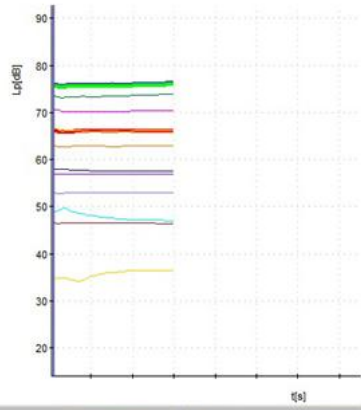
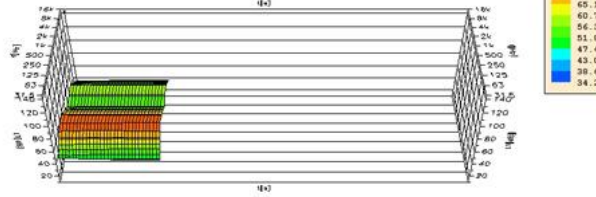
Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα.

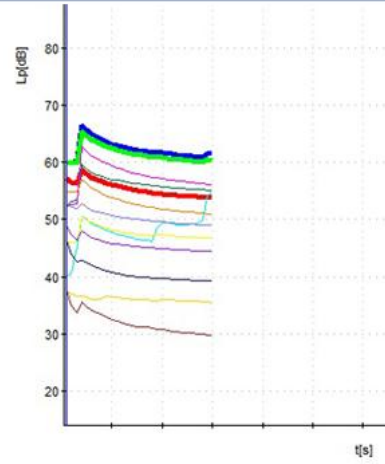
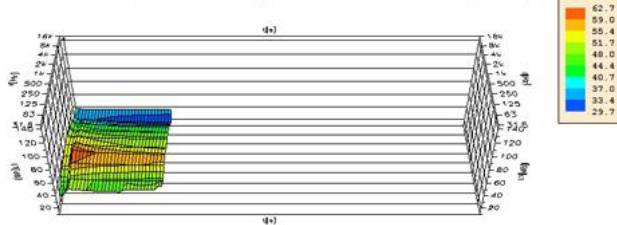


	LZT		LAT		LCT		31,5		63
	125		250		500		1k		2k
	4k		8k		16k		No data		

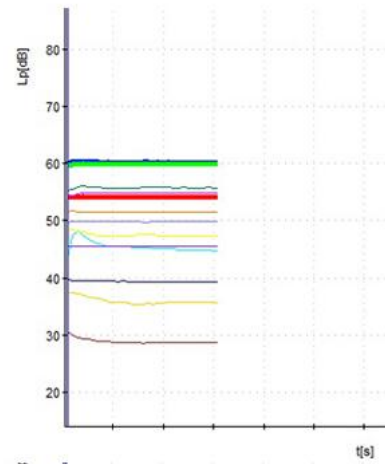
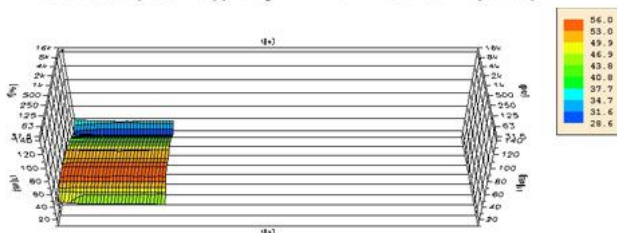
Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

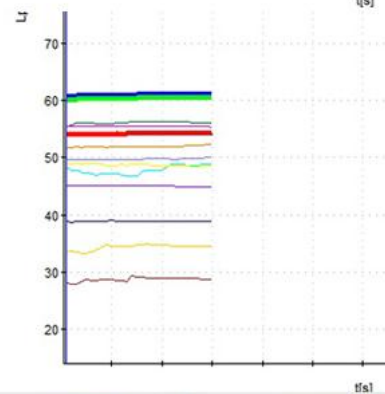
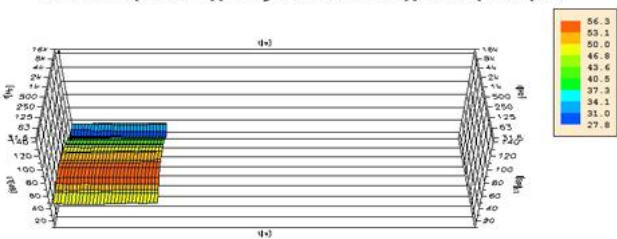
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και ανοιχτά παράθυρα

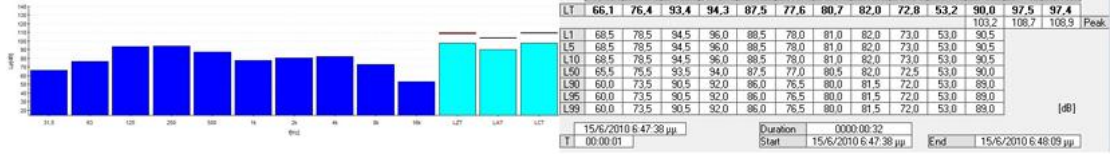


— LZT	— LAT	— LCT	— 31,5	— 63
— 125	— 250	— 500	— 1k	— 2k
— 4k	— 8k	— 16k	No data	

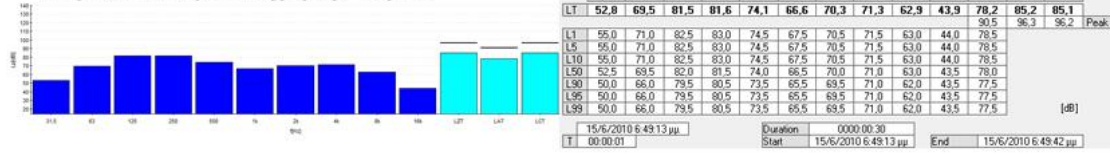
Αίθουσα Κ.Ε.Κ Ε1

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

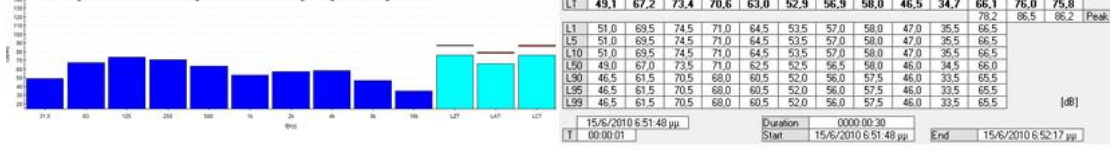
Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου έξω από την αίθουσα



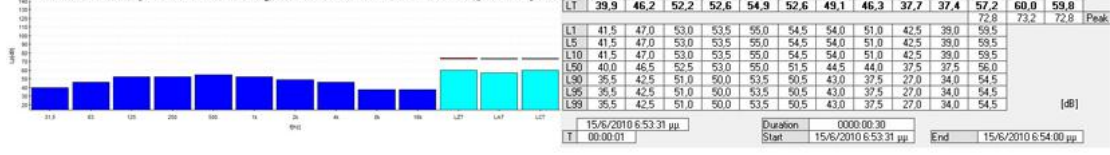
Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.



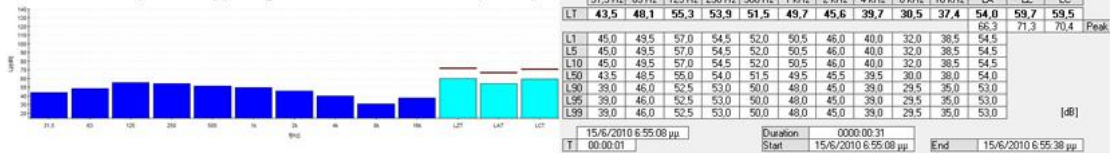
Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα.



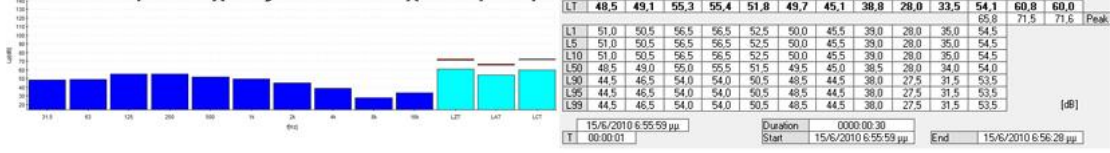
Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα

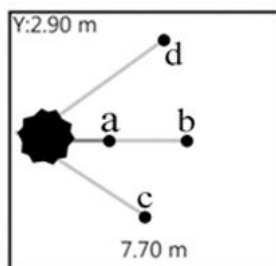
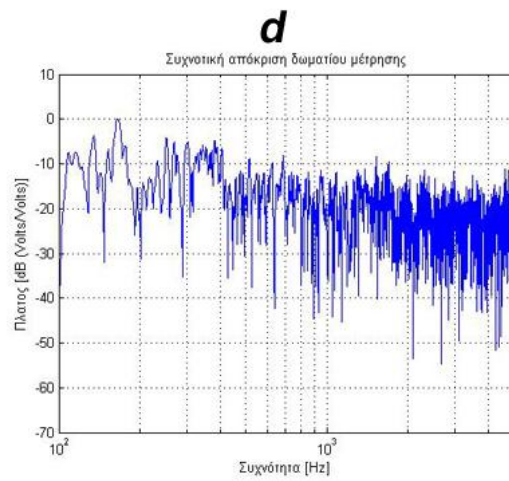
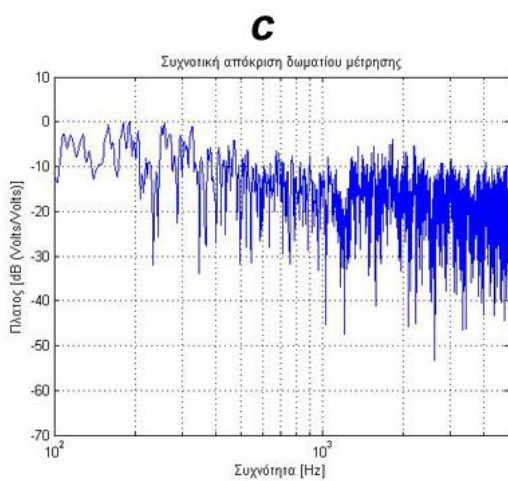
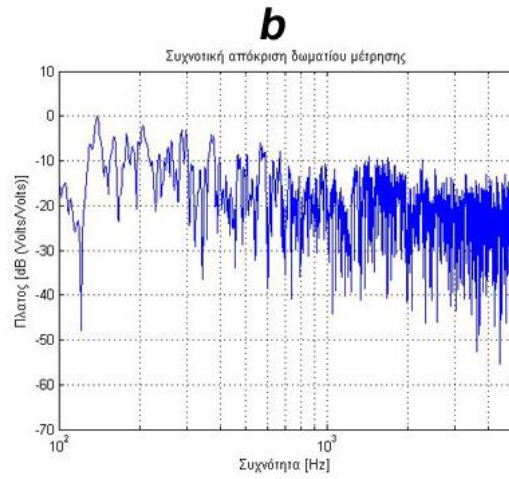
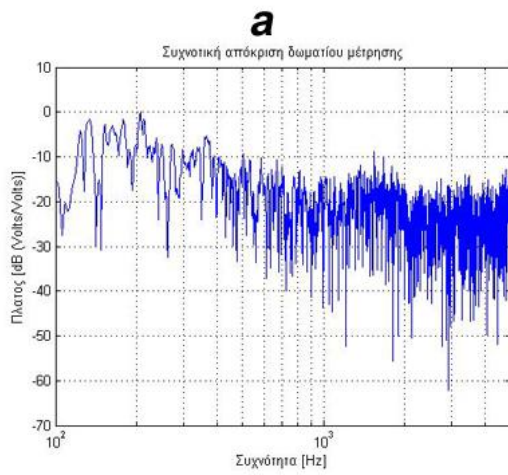


Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ και ανοιχτά παράθυρα



Αίθουσα Κ.Ε.Κ Α1

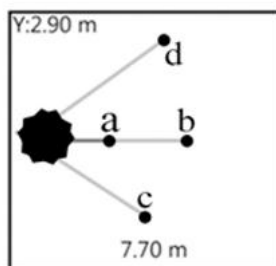
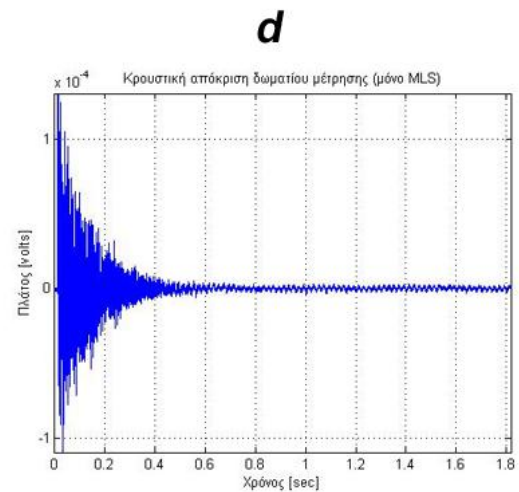
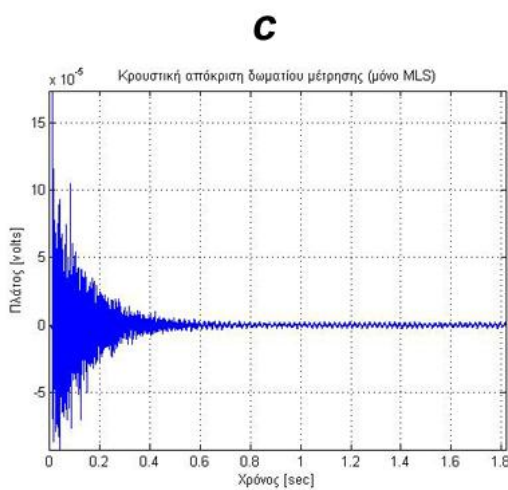
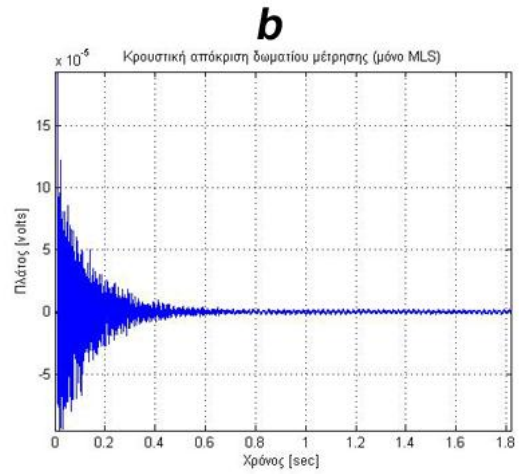
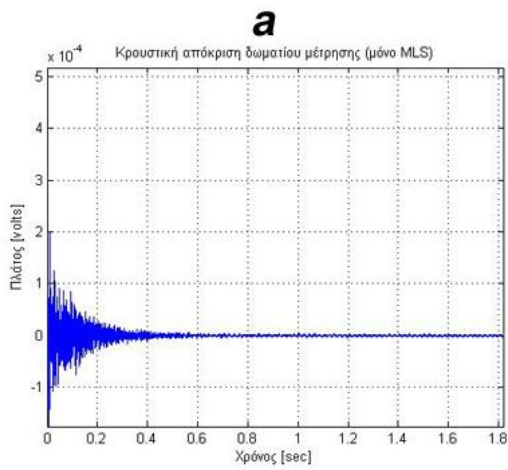
Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



- a:** Απόσταση mic ηχείου= 1,10 m ευθεία
b: Απόσταση mic ηχείου= 2,90 m ευθεία
c: Απόσταση mic ηχείου= 4,20 m αριστερά
d: Απόσταση mic ηχείου= 4,00 m δεξιά

Αίθουσα Κ.Ε.Κ Α1

Μέτρηση κρουστικής απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA

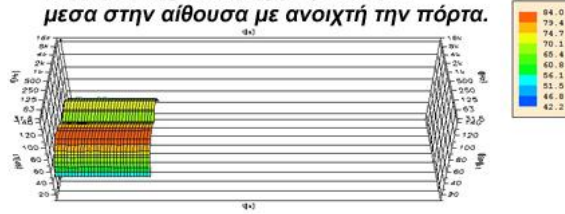


- a:** Απόσταση mic ηχείου= 1,10 m ευθεία
b: Απόσταση mic ηχείου= 2,90 m ευθεία
c: Απόσταση mic ηχείου= 4,20 m αριστερά
d: Απόσταση mic ηχείου= 4,00 m δεξιά

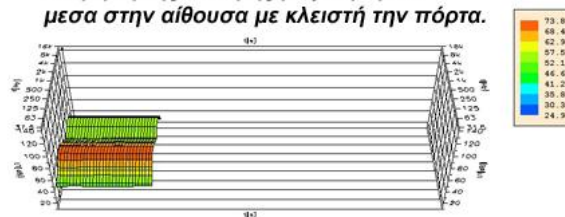
Αίθουσα Κ.Ε.Κ. Α1

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

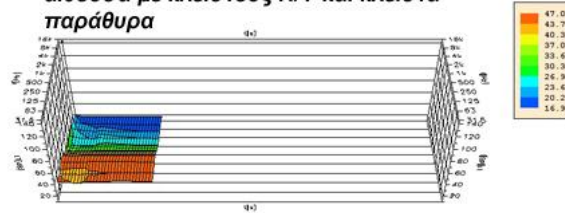
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.



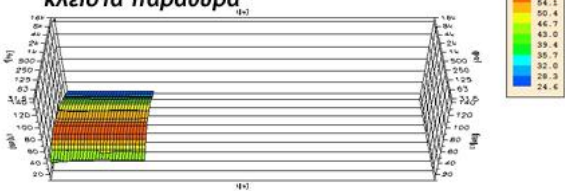
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα.



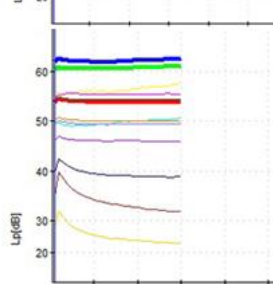
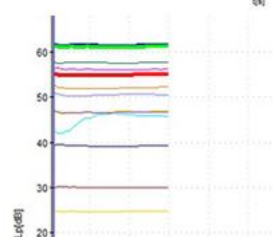
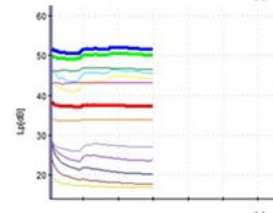
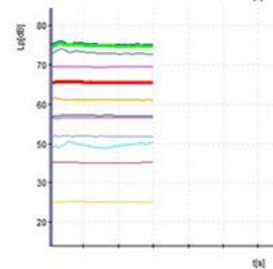
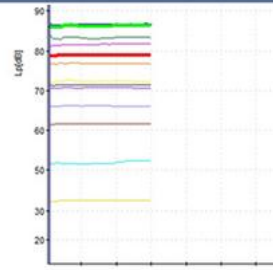
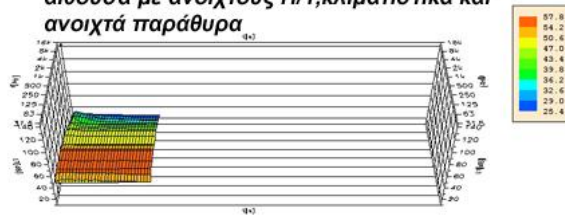
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ, κλιματιστικά και κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ, κλιματιστικά και ανοιχτά παράθυρα

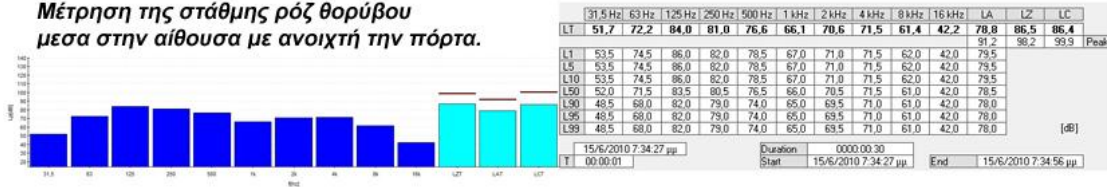


	LZT		LAT		LCT		31,5		63
	125		250		500		1k		2k
	4k		8k		16k		No data		

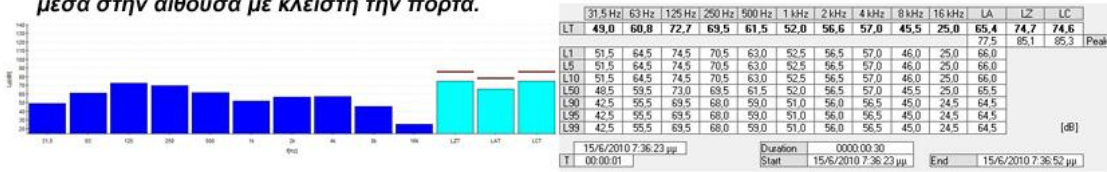
Αίθουσα Κ.Ε.Κ Α1

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

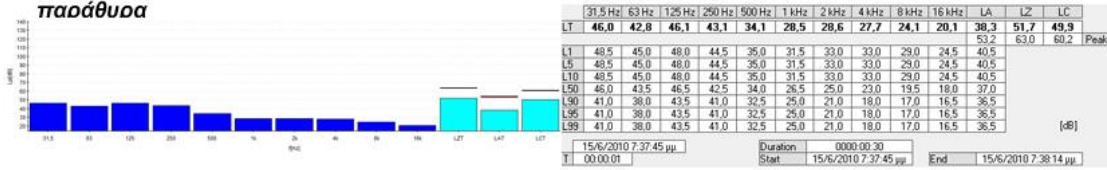
Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μεσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα.



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μεσα στην αίθουσα με κλειστή την πόρτα.



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστούς Η/Υ και κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ, κλιματιστικά και κλειστά παράθυρα

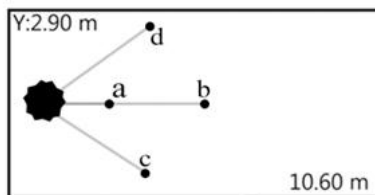
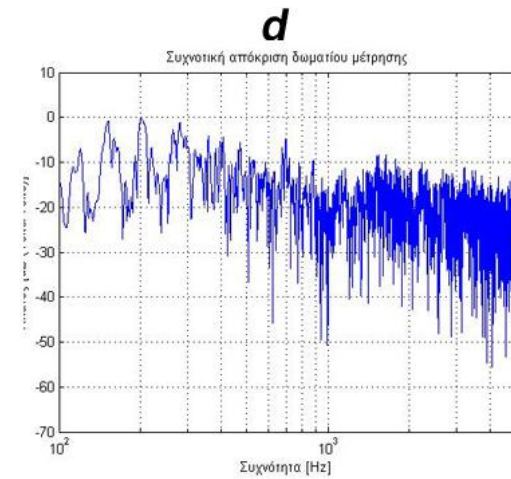
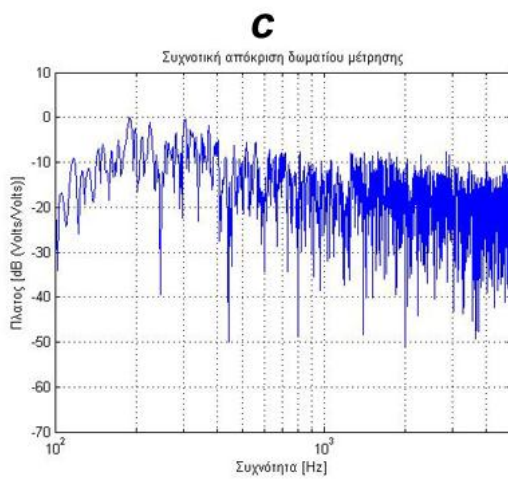
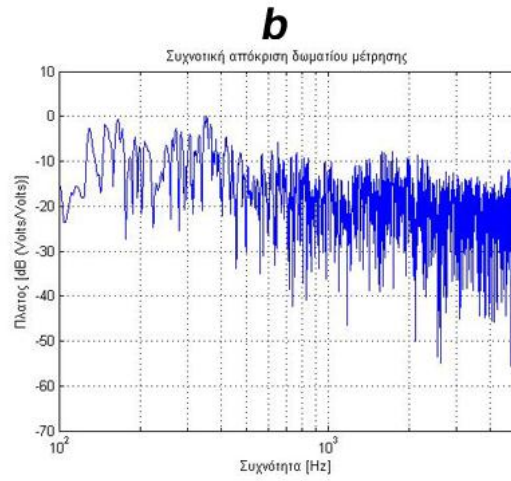
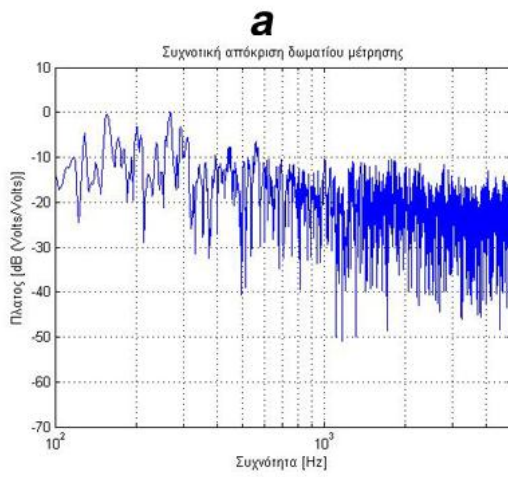


Μέτρηση της στάθμης ρόζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτούς Η/Υ, κλιματιστικά και ανοιχτά παράθυρα



Αίθουσα Γ331

Μέτρηση απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



a: Απόσταση mic ηχείου= 2,60 m

ευθεία

b: Απόσταση mic ηχείου= 4,10 m

ευθεία

c: Απόσταση mic ηχείου= 3,70 m

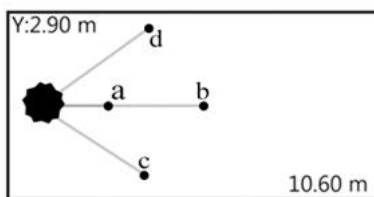
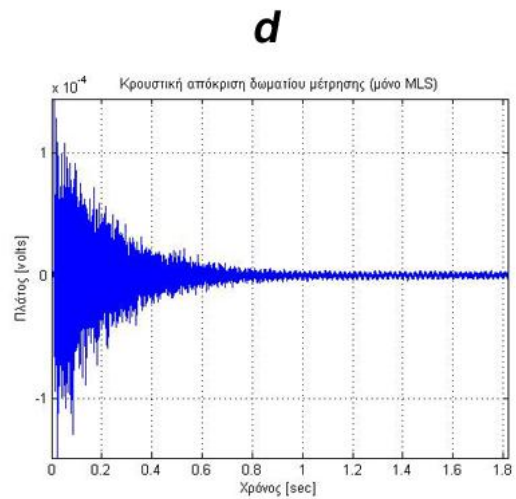
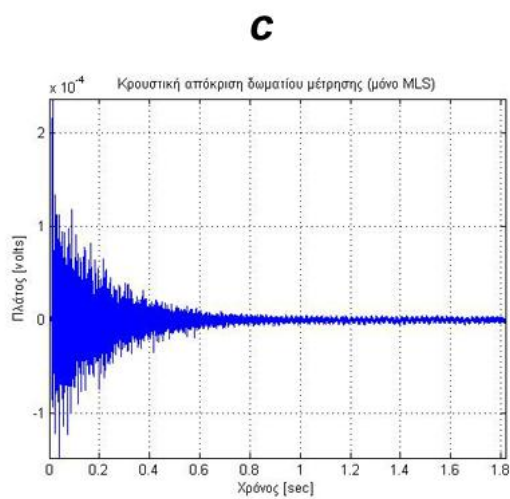
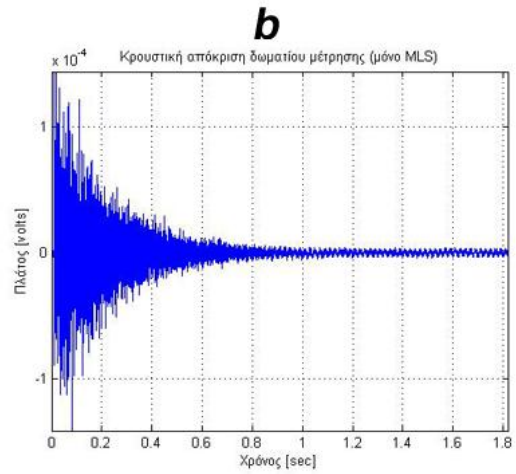
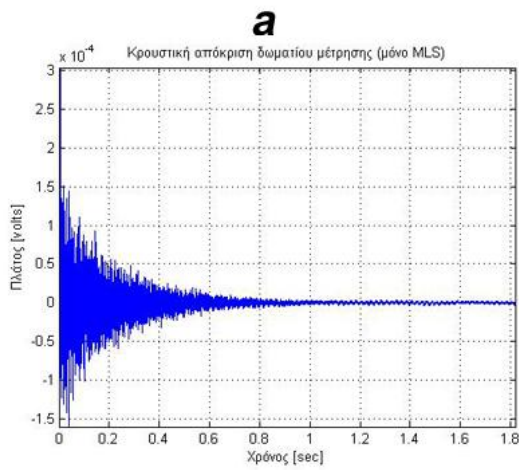
αριστερά

d: Απόσταση mic ηχείου= 3,70 m

δεξιά

Αίθουσα Γ331

Μέτρηση κρουστικής απόκρισης δωματίου με σύστημα MLSSA



a: Απόσταση mic ηχείου= 2,60 m

ευθεία

b: Απόσταση mic ηχείου= 4,10 m

ευθεία

c: Απόσταση mic ηχείου= 3,70 m

αριστερά

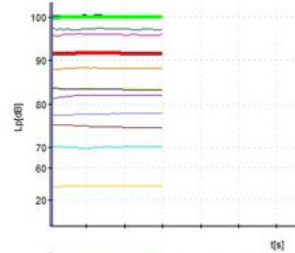
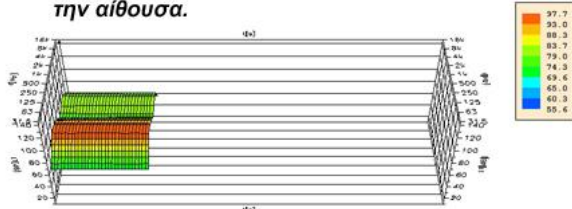
d: Απόσταση mic ηχείου= 3,70 m

δεξιά

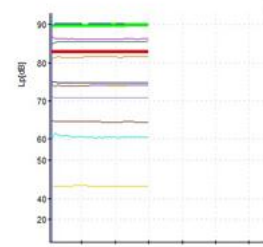
Αίθουσα Γ331

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

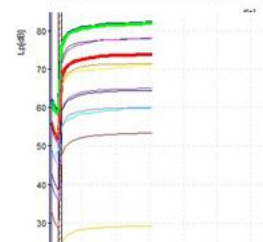
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου έξω από την αίθουσα.



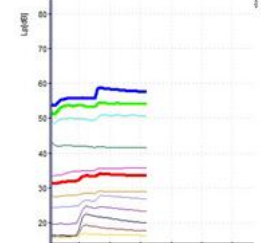
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα



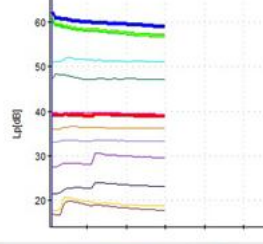
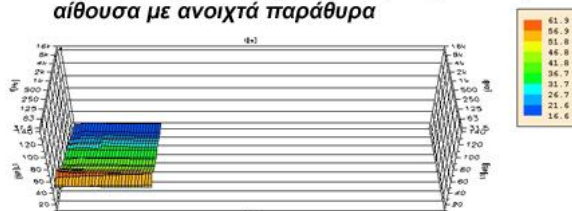
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή στην πόρτα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτά παράθυρα

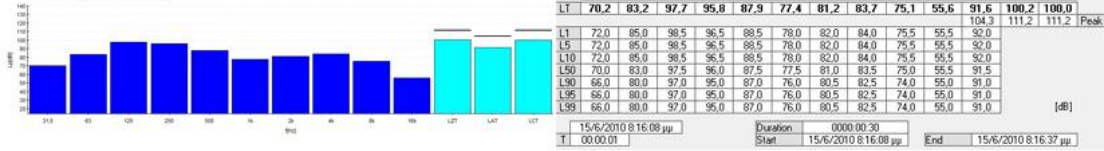


	LZT		LAT		LCT		31,5		63
	125		250		500		1k		2k
	4k		8k		16k		No data		

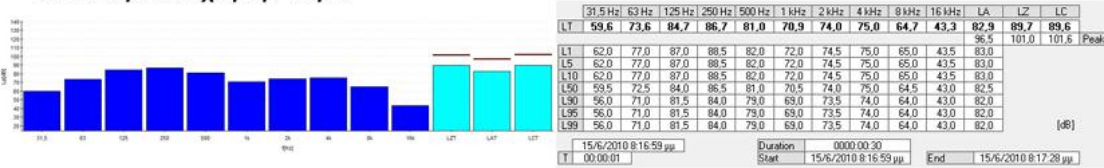
Αίθουσα Γ331

Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων θορύβου βάθους

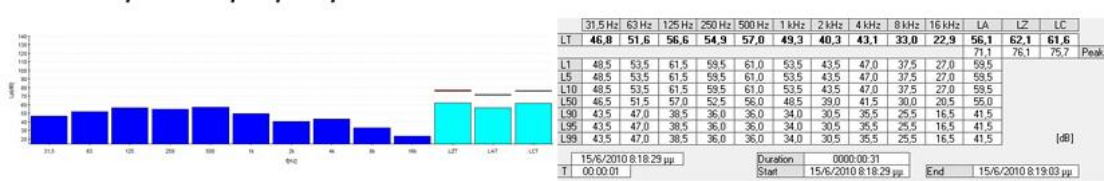
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου έξω από την αίθουσα.



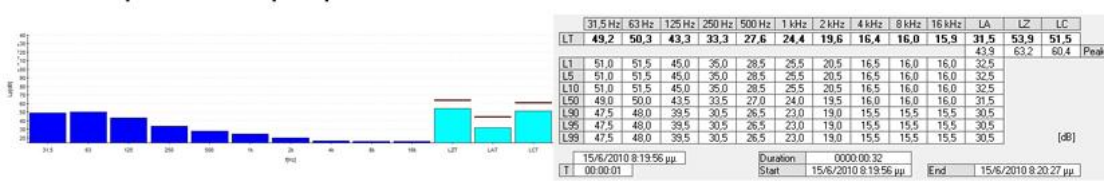
Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτή την πόρτα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστή στην πόρτα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με κλειστά παράθυρα



Μέτρηση της στάθμης ροζ θορύβου μέσα στην αίθουσα με ανοιχτά παράθυρα



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΓΓΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kuttruff H. (2009). *Room Acoustics*. USA: Spon Press.
- Lauren M. (2011). *Architectural Engineering - Dissertations and Student Research*. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
<http://digitalcommons.unl.edu/archengdiss/8>
- Rossing T. (2007). *Springer Handbook of Acoustics*. USA: Springer.
- Wieland D. (1999). *Classroom Acoustics and the Americans with Disabilities Act*. *Sound Advice*, 2,4, 1-2.
- Berg F., Blair J., Benson P. (1996). *Classroom Acoustic: The problem, impact, and solution*. *Language, speech, and hearing services in schools*, 27, 16-20.
- ANSI/ASA S12.60-2010 Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
<http://www.asha.org/public/hearing/American-National-Standard-on-Classroom-Acoustics/>
- ANSI/ASA S12.60-2002. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
<http://www.asha.org/public/hearing/American-National-Standard-on-Classroom-Acoustics/>
- Building Bulletin 93. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130401151715/https://www.education.gov.uk/publications/eOrderingDownload/BB93-Acoustic_Design.pdf

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασόπουλος Χ. (2005). *Προστασία Κτιρίων Θερμομόνωση – Ηχομόνωση, Ηχοπροστασία* (3^η εκδ.). Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Ευθυμιάτος Δ. (2007). *Ακουστική και κτιριακές εφαρμογές. Θεωρία και πράξη*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Ζακυνθινός Τ., Σκαρλάτος Δ. (2006). Ένας νέος δείκτης μέτρησης της ακουστικής ποιότητας των κλειστών χώρων (πρακτικά συνεδρίου). ΕΛ.ΙΝ.Α.
- Τζεκάκης Ε., Τσινίκας Ν. (1984). Ακουστική αιθουσών (πρακτικά συνεδρίου Ελληνικής Ακουστικής Εταιρίας).
- Καμπουρακής Γ. (2005). Η ακουστική των αιθουσών διδασκαλίας και οι επιπτώσεις στην επικοινωνία. *Τεχνικά χρονικά*. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: http://library.tee.gr/digital/techr/2005/techr_2005_3_kabourakis.pdf
- Κανδύλης Ε. (2005). *Ακουστική κτιρίων, θεωρία-λογισμικά*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.
- Καπλάνη Κ., Σηφάκης Μ. (2008). Ακουστική μεγάλων κλειστών χώρων (θεάτρων, αιθουσών συναυλιών, συνεδριακών χώρων). *Εφαρμογή στη μελέτη αίθουσας του θεάτρου Ριάλτο στη Λεμεσό Κύπρου*. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/mta/2008/KaplaniKonstantina/attached-document/Kaplani_Konstantina.pdf
- Κουζούπης Σ., Σηφάκης Μ. (2008). *Εφαρμοσμένη Ακουστική II (σημειώσεις εργαστηρίου)*. ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής. Ρέθυμνο.
- Σηφάκης Μ. (2007). *Σημειώσεις Θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής Ήχου I*. ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής. Ρέθυμνο.
- Σκαρλάτος Δ.(2005). *Εφαρμοσμένη ακουστική* (2^η έκδ). Πάτρα : Φιλομάθεια.
- Τζομάκου Α., Ζαχαριουδάκης Δ. (2007). *Ακουστική μελέτη μικρών δωματίων ακρόασης*. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/mta/2008/TsomakouAggeliki/attached-document/Tsomakou_Aggeliki.pdf
- Τσινίκα Ν. (2005). *Ακουστικός σχεδιασμός χώρων*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.