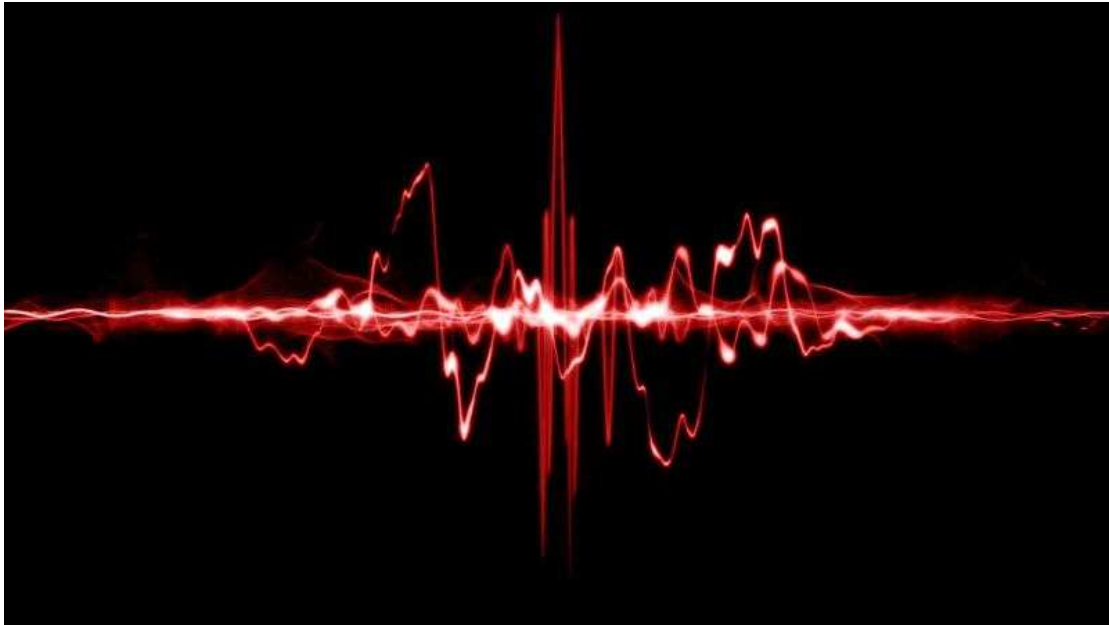


# **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ Η.Υ.Σ**



**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΟΡΥΒΟΥ-ΗΧΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ  
ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ (REAL-TIME ANALYSER)**

**Πτυχιακή εργασία του:**

**Μπιμπλή Στέφανου , Α.Μ 39103**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιώτης Δροσινόπουλος**

**ΝΙΚΑΙΑ, 24/2/2015**

Αφιερώνεται στους γονείς μου που με έφτασαν εδώ και σε όλους τους  
ανθρώπους που με αγαπάνε και τους αγαπάω

Ειδικές ευχαριστίες στον φίλο μου Άρη Μεταξά και τον παλαιό μου  
συνάδελφο μου στην intracom Χρήστο Γεωργόπουλο για την πολύτιμη  
βοήθεια τους που μου δάνεισαν απαραίτητα όργανα για να γίνει η  
διατριβή μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

«Ο ήχος είναι ένας θόρυβος με νόημα», είχε πει ο Martin Colloms. Δεν είχε ιδέα όμως πως μετά από πολλά χρόνια αυτός ο «θόρυβος με νόημα» θα προκαλούσε στις μεγαλουπόλεις ένα πρόβλημα που είναι αρκετά υποτιμημένο στις μέρες μας, και αυτό δεν είναι άλλο από την ηχορύπανση. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι η ύπαρξη υπερβολικού ποσού θορύβου στο τριγύρω περιβάλλον μας μπορεί να οδηγήσει σε συνέπειες από πονοκεφάλους, διαταραχές στον ύπνο και ελάττωση της προσοχής και της παραγωγικότητας μέχρι αύξηση του άγχους και μερική απώλεια ακοής. Ως αποτέλεσμα της εξέλιξης της τεχνολογίας επακολούθησαν η αστικοποίηση, η ανάπτυξη της βιομηχανίας, ο πολλαπλασιασμός των μεταφορικών μέσων αλλά και οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες και συνήθειες των ανθρώπων στην καθημερινή τους ζωή. Αυτοί είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες της αύξησης των επιπέδων του θορύβου. Ο ανθρώπινος οργανισμός και το αυτί δεν έχουν φτιαχτεί για να είναι εξοικωμένα σε τύπους κ σε επίπεδα θορύβου με τα σημερινά δεδομένα. Αναλογιστείτε πως ο ανθρώπινος οργανισμός φτιάχτηκε για να αντέχει θορύβους όπως οι κεραυνοί, τα περιστασιακά ουρλιαχτά των ζώων και σήμερα ακούμε θορύβους από τα αυτοκίνητα, τρυπάνια και μηχανές.

Υπάρχει φυσικά και άλλος ένας παράγοντας που εμφανίζεται καθημερινά και ανελλιπώς στη ζωή μας που δεν είναι άλλος από την ομιλία. Ο ήχος και η ομιλία είναι σημαντικό μέρη της ανθρώπινης ζωής και του πολιτισμού. Από αίθουσες διδασκαλίας, αίθουσες κινηματογράφου, μέχρι θέατρα και αίθουσες συναυλιών. ο σχεδιασμός πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να είναι εύκολο να μιλήσει κάποιος και να ακουστεί με ένα υψηλό βαθμό καταληπτότητας.

Στην πτυχιακή εργασία εξετάζουμε αρχικά τον ήχο και τον θόρυβο, κάνοντας αναφορά πάνω σε βασικές έννοιες και στα μεγέθη που μπορούμε να περιγράψουμε έναν θόρυβο και έναν ήχο. Στη συνέχεια θα κάνουμε ανάλυση θορύβου μέσα από ένα πρόγραμμα ανάλυσης ήχου με μετρήσεις σε διάφορους χώρους μέσα στο εκπαιδευτικό ίδρυμα, αλλά και σε χώρους εργασίας και επιπλέον θα εξετάσουμε την καταληπτότητα ομιλίας σε χώρους διδασκαλίας μέσω του ίδιου προγράμματος επεξεργασίας ήχου.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	Σελ.9
A. Γενικά στοιχεία για τον ήχο και τον θόρυβο.....	Σελ.9
1) Χαρακτηριστικά ενός ήχου.....	Σελ.9
i. Συχνότητα.....	Σελ.9
ii. Ύψος.....	Σελ.10
iii. Ένταση.....	Σελ.11
iv. Χροιά.....	Σελ.12
v. Ακουστότητα.....	Σελ.13
2) Θόρυβος-Γενικά στοιχεία θορύβου.....	Σελ 14
i. Στάθμη ηχητικής πίεσης (SPL) και Ντεσιμπέλ(db)....	Σελ.15
ii. Καμπύλες απόκρισης.....	Σελ.17
iii. Οκτάβες συχνοτήτων.....	Σελ. 18
iv. Τύποι περιβαντολογικών θορύβων.....	Σελ.19
a. Σταθερός συνεχής θόρυβος.....	Σελ.20
b. Διακοπτόμενος θόρυβος.....	Σελ.20
c. Παλμικός θόρυβος.....	Σελ.21
d. Θόρυβος χαμηλής συχνότητας.....	Σελ.22
v. Δείκτες θορύβου.....	Σελ.22
B. Θόρυβος και Ακοή.....	Σελ.24
i. Το ακουστικό ερέθισμα.....	Σελ.24
ii. Οι επιπτώσεις του θορύβου στη υγεία του ανθρώπου.....	Σελ.26
a. Επιπτώσεις στην ακοή.....	Σελ.26
b. Επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα.....	Σελ.28
c. Επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα.....	Σελ.28
C. Γενικές αρχές προστασίας από τον θόρυβο.....	Σελ.29
Μέτρα μείωσης θορύβου.....	Σελ.29
i. Περιορισμός του θορύβου στην πηγή του.....	Σελ.29

ii.	Επέμβαση στη διαδρομή του θορύβου από την πηγή προς το αυτί του εργαζόμενου.....	Σελ.30
iii.	Διαφορετικό ωράριο.....	Σελ.30
iv.	Ατομικά μέσα προστασίας της ακοής.....	Σελ.31
v.	Συνδιασμός μέτρων.....	Σελ.31
D.	Μικρόφωνα.....	Σελ.32
1)	Γενικά στοιχεία για τα μικρόφωνα.....	Σελ.32
i.	Ευαισθησία.....	Σελ.34
ii.	Απόκριση συχνοτήτων.....	Σελ.36
iii.	Κατευθυντικότητα.....	Σελ.37
a.	Πανκατευθυντικά.....	Σελ.37
b.	Κατευθυντικά.....	Σελ.39
c.	Δι-κατευθυντικά.....	Σελ.41
iv.	Σύνθετη Αντίσταση .....	Σελ.43
2)	Τύποι μικροφώνων.....	Σελ.45
i.	Δυναμικά μικρόφωνα.....	Σελ.45
ii.	Πυκνωτικά μικρόφωνα.....	Σελ.46
iii.	Ελεκτρέτ μικρόφωνα.....	Σελ.48
iv.	Πιεζοηλεκτρικά ή Κρυσταλλικού τύπου μικρόφωνα.....	Σελ.49
E.	Ηχόμετρα και Συστήματα μετρήσεων του θορύβου.....	Σελ.50
i.	Μετρήσεις στο εργαστήριο της intracom.....	Σελ.54
ii.	Μετρήσεις στο γραφείο του επιβλέποντα καθηγητή...Σελ.60	
iii.	Μετρήσεις στο εργαστήριο E15.....	Σελ.61
iv.	Μετρήσεις στο διάδρομο των εργαστηρίων στο κτήριο E.....	Σελ.67
v.	Μετρήσεις στο κυλικείο.....	Σελ.68
F.	Κατανόηση ομιλίας (Speech Intelligibility).....	Σελ.72
i.	Χρόνος αντήχησης (Reverbaration time).....	Σελ.73
ii.	Κατανομή του ήχου (Sound Distribution).....	Σελ.76
iii.	Ηχομόνωση.....	Σελ.77
a.	Αερομεταφερόμενη ηχομόνωση.....	Σελ.78
b.	Συγκρουόμενη μετάδοση ήχου.....	Σελ.79
iv.	Δείκτες καταληπτότητας ομιλίας.....	Σελ.80
a.	AI (Articulation Index).....	Σελ.80
b.	PSIL (Preffered Speech Interference Level).....	Σελ.81

c. STI (Speech Transmission Index).....	Σελ.82
d. RASTI (Rapid Speech Transmission Index).....	Σελ.83
G. Βιβλιογραφία-Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....	Σελ.86-87

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ήχος είναι ένα τόσο συνηθισμένο κομμάτι της ζωής μας που σπάνια αντιλαμβανόμαστε τις λειτουργίες του. Προσφέρει ευχάριστες στιγμές, όπως είναι το άκουσμα ενός μουσικού κομματιού ή το κελήδημα ενός πουλιού. Υπάρχει στην καθημερινότητά μας με την μορφή ομιλίας. Άλλες φορές μπορεί να μας προειδοποιεί για έναν κίνδυνο, όπως είναι ένας συναγερμός. Κάποιες άλλες φορές ο ήχος μας βοηθάει ώστε να μπορούμε να διαγνώσουμε κάποια πράγματα που δεν μας αρέσουν, όπως είναι ο θόρυβος που προκαλείται από τις βαλβίδες ενός αυτοκινήτου ή ένα καρδιακό φύσημα. Άραγε ο ήχος υφίσταται ως μορφή ως κάτι χρήσιμο και ευάκουστο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής μας; Όπως όλα τα πράγματα έχουν και θετικές και αρνητικές επιπτώσεις, έτσι και ο ήχος συναντάται πολλές φορές κάθε μέρα να προκαλεί προβλήματα εδώ και αρκετά χρόνια στην κοινωνία μας. Πολλοί ήχοι χαρακτηρίζονται ως δυσάρεστοι και ανεπιθύμητοι, από το να βάλει ένας γείτονας δυνατά τη μουσική εν ώρα ησυχίας, μέχρι από το πέρασμα μιας μοτοσυκλέτας από κοντά μας. Αυτοί οι ήχοι είναι λίγο ως πολύ ο θόρυβος που φτάνει στο ακουστικό ερέθισμά μας καθημερινά.

Οι σκοποί της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι:

- Καταγραφή και μελέτη των στάθμεων ηχητικών πιέσεων σε αίθουσες, αμφιθέατρα και σε χώρους εργασιακού περιβάλλοντος
- Ανάλυση των καταγραφθέντων μετρήσεων
- Μέτρα που μπορούν να παρθούν για τη λύση του προβλήματος του θορύβου



## **ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΗΧΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΘΟΡΥΒΟ**

Ο ήχος είναι σε όλους μας αναπόσπαστο και καθημερινό κομμάτι. Από την ομιλία μας ή την επικοινωνία γενικότερα, τα μουσικά όργανα μέχρι τα αυτοκίνητα της μηχανής και οτιδήποτε κινείται στον κόσμο μας. Για να το θέσουμε πιο κατανοητά. Ο ήχος είναι μια μηχανική διαταραχή που διαδίδεται μέσα από ένα ελαστικό μέσο με κάποια ταχύτητα και έχει ως αποτέλεσμα την διέγερση του αισθητηρίου της ακοής προκαλώντας ένα ακουστικό αίσθημα.

## **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΗΧΟΥ**

Ένας ήχος, όταν γίνεται αντιληπτός από το αισθητήριο της ακοής άλλες φορές μπορεί να είναι δυνατός σε ένταση, να είναι ευχάριστος στο αυτί του ακροατή, μπορεί όμως να έχει κάποια μεγάλη διάρκεια προκαλώντας ενόχληση. Για να μπορέσει να γίνει πιο αντιληπτό ένα ηχητικό κύμα ή ένας ήχος, υπάρχουνε κάποια χαρακτηριστικά που περιγράφουνε ένα ηχητικό κύμα και είναι τα εξής:

- I. Συχνότητα
- II. Ύψος
- III. Ένταση
- IV. Χροιά
- V. Ακουστότητα

Ας ξεκινήσουμε να αναλύουμε αυτά τα χαρακτηριστικά:

### **I. Συχνότητα**

Η συχνότητα είναι ο αριθμός των επαναλήψεων ενός γεγονότος στο χρόνο. Ένα ηχητικό κύμα, όπως και κάθε άλλο κύμα, εισάγεται μέσα σε ένα μέσο με ένα δονούμενο μέσο. Το δονούμενο μέσο είναι η πηγή της διαταραχής που κινείται διαμέσου του μέσου. Τέτοια δονούμενα μέσα θα μπορούσαν να είναι οι φωνητικές χορδές ενός ατόμου, η παλλόμενη

χορδή μιας κιθάρα ή ενός βιολιού, τα δονούμενα «δόντια» ενός διαπασών, ή ένα διάφραγμα ενός ραδιοφωνικού ηχείου. Ανεξάρτητα από το δονούμενο αντικείμενο που δημιουργεί το ηχητικό κύμα, τα σωματίδια του μέσου, μέσω του οποίου ο ήχος αναπαράγεται, δημιουργούν κατά κάποιο τρόπο μια εμπρόσθια κίνηση σε μία δεδομένη συχνότητα. Με άλλα λόγια η συχνότητα έχει να κάνει με το πόσο γρήγορα ή αργά πάλλεται το σώμα που δημιουργεί τον ήχο.

Η συχνότητα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$f = 1 / T$$

όπου:

f: η συχνότητα

T: η περίοδος του ηχητικού σήματος

Μονάδα μέτρησης της συχνότητας στο S.I είναι το hertz (Hz). Το ανθρώπινο αυτί ακούει ήχους από 20 Hz μέχρι περίπου 22.000 Hz. Ηχοι κάτω από τα 20 Hz δεν ακούγονται από το ανθρώπινο αυτί και λέγονται Υπόηχοι, ενώ ήχοι πάνω από τα 22.000 Hz επίσης δεν ακούγονται από το αυτί και λέγονται Υπέρηχοι.

## II. Ύψος

Ένα άλλο υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου είναι το ύψος το οποίο συνδέεται άμεσα με τη συχνότητα το ήχου. Η σχέση αυτή διακρίνει τους ήχους σε δύο μορφές:

- 1) Σε οξείς με μεγάλη συχνότητα, όπως τους ήχους ενός βιολιού
- 2) Σε βαρείς με μικρή συχνότητα, όπως τους ήχους που παράγει το μπάσο τύμπανο.

Όμως και στις δύο περιπτώσεις η συχνότητα εξαρτάται (στα συγκεκριμένα παραδείγματα) από το πάχος και το μήκος της χορδής, με αποτέλεσμα όσο πιο μεγάλη σε μήκος και διάμετρο είναι η χορδή, τόσο

μικρότερη συχνότητα παράγεται, ενώ όσο πιο πολύ μειώνεται το πάχος και το μήκος περισσότερο αυξάνεται η συχνότητα.

### III. Ένταση

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του ήχου είναι η ένταση. Η ένταση είναι μια έννοια συνδεδεμένη με την ισχύ του ηχητικού σήματος που διεγείρει το αυτί μας. Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ (κανονισμός 556.1), η ηχητική ένταση σε ένα σημείο του ηχητικού πεδίου και προς μια καθορισμένη διεύθυνση, ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης ηχητικής ισχύος που διαπερνά κάθετα μια στοιχειώδη επιφάνεια προς το εμβαδό της επιφάνειας. Βασική αιτία που οι ήχοι έχουν διαφορετικές εντάσεις είναι ότι ο κάθε ήχος «πιέζει» με διαφορετική δύναμη το τύμπανο του αυτιού μας.

Μονάδα μέτρησης της έντασης ενός ήχου στο S.I είναι  $W/m^2$ . Η ελάχιστη ένταση που γίνεται αντιληπτή στο ανθρώπινο αυτί αντιστοιχεί σε  $10^{-11} W/m^2$ .

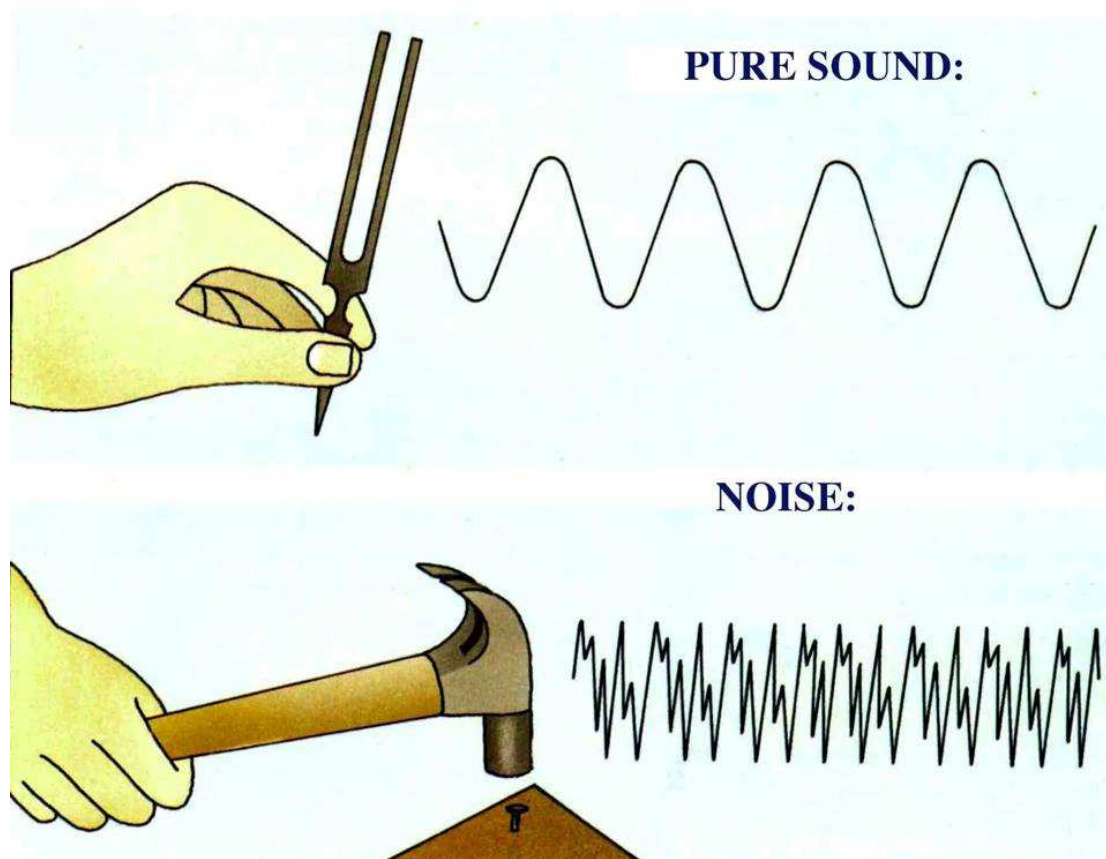
Χαρακτηριστικοί ήχοι	στάθμη Έντασης (dB)	Ένταση ( $W/m^2$ )
Αεριοθούμενο	140	100
Πολυβόλο	130	10
Όριο πόνου ανθρώπινου αυτιού	120	1
Ροκ συναυλία	120	1
Κυκλοφοριακή κίνηση	80	$10^{-4}$
Μέσος θόρυβος σπιτιού	50	$10^{-7}$
Ψίθυρος	30	$10^{-9}$
Θρόισμα φύλλων	10	$10^{-11}$

**Εικόνα: Πίνακας με τις αντιληπτές εντάσεις ήχων στο ανθρώπινο αυτί. (πηγή: Wikipedia.com)**

#### IV. Χροιά

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του ήχου είναι η χροιά. Η χροιά έχει το χαρακτηριστικό ότι ένας ήχος μπορεί ξεχωρίζει ακόμη και αν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του είναι τα ίδια. Με άλλα λόγια η χροιά ενός ήχου είναι η «ταυτότητά» του ως προς το αρμονικό του περιεχόμενό του.

Όταν μιλάμε για χροιά, αναφερόμαστε σε σύνθετους ήχους. Το πλήθος και το πλάτος των αρμονικών συχνοτήτων, δίνουν την υποκειμενική αντίληψη της χροιάς. Όπως και η φωνή του κάθε ανθρώπου, έτσι και τα μουσικά όργανα έχουν διαφορετικές χροιές το ένα από το άλλο. Σε μουσικά όργανα παίζουν ρόλο διάφοροι παράγοντες όπως το υλικό κατασκευής, το σχήμα του οργάνου, το υλικό και το πάχος της χορδής, ακόμα και ο τρόπος παιξίματος.

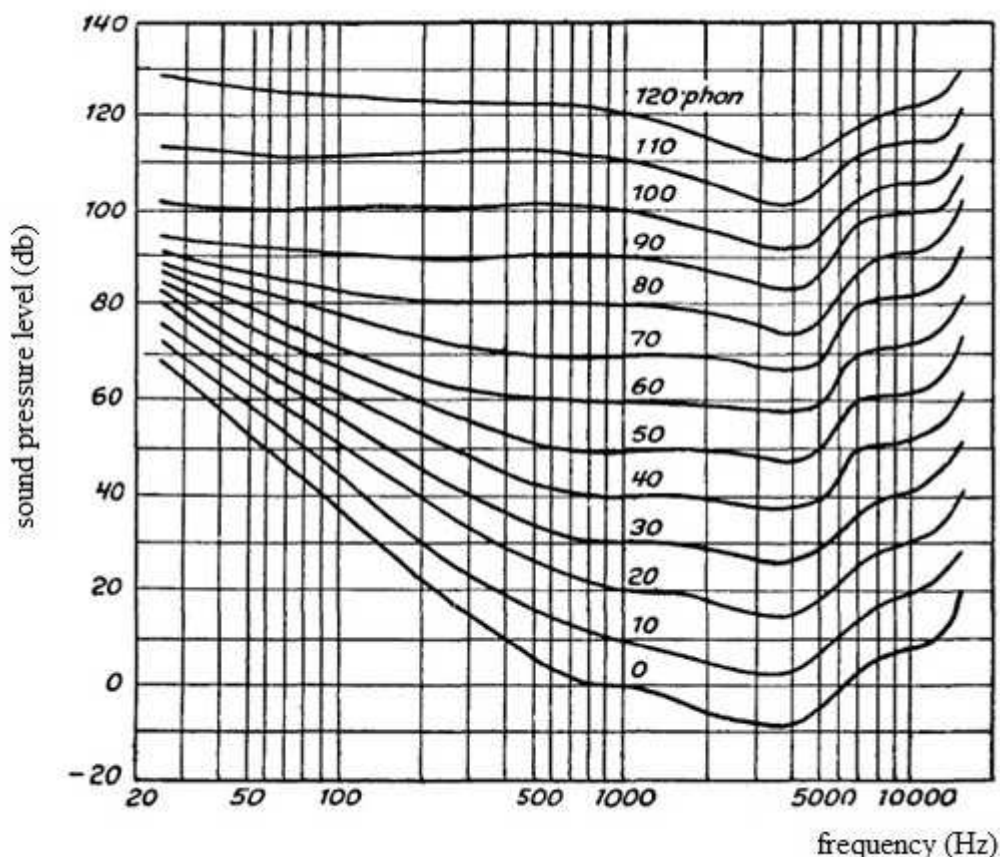


**Εικόνα: Η χροιά 2 ήχων ανάμεσα σε ένα διαπασών κ σε ένα σφυρί**  
**(πηγή: [el.science.wikia.com](http://el.science.wikia.com))**

## V. Ακουστότητα

Η ακουστότητα αποτελεί ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός ήχου. Και αυτό διότι η ακουστότητα είναι το υποκειμενικό αποτέλεσμα (εντύπωση) σε σχέση με την ένταση ενός ήχου που δημιουργείται στον ακροατή. Έτσι με αυτόν τον τρόπο ένας ακροατής μπορεί να ξεχωρίσει αν ένας ήχος είναι ισχυρός ή ασθενής.

Μονάδα μέτρησης της ακουστότητας είναι το phon. Για να βρεθεί η ακουστότητα ενός ήχου σε phons, συγκρίνουμε τον προς μέτρηση ήχο με έναν ημιτονοειδή ήχο 1 KHz. Έτσι με αυτόν τον τρόπο διαπιστώνεται πως το ανθρώπινο αυτί δεν έχει την ίδια ευαισθησία σε όλες τις συχνότητες. Δηλαδή ήχοι ίσης ηχητικής στάθμης παράγουν διαφορετικές τιμές ακουστότητας για τις διάφορες περιοχές του ακουστικού φάσματος. Με την προηγούμενη διαπίστωση οι καμπύλες της Εικ.5 οι οποίες είναι γνωστές ως καμπύλες ίσης ακουστότητας ή αλλιώς καμπύλες Robinson & Dadson.



**Εικόνα: Καμπύλες ίσης ακουστότητας (Robinson & Dadson) (πηγή: B&K)**

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τις καμπύλες αυτές το αυτί παρουσιάζει μια αυξημένη ευαισθησία γύρω στα 3 KHz, το οποίο αποδίδεται σε φαινόμενα συντονισμού κοιλότητας του εξωτερικού μέρους του αυτιού και στον ιδιοσυντονισμό της μεμβράνης του τυμπάνου γύρω στα 1,8 KHz. Στις υψηλές και στις χαμηλές συχνότητες η ευαισθησία του αυτιού ελαττώνεται σε σχέση με τις μεσαίες. Αυτή η ελάττωση ευαισθησίας γίνεται πιο έντονη σε χαμηλές ηχητικές στάθμες που ωρίζονται κάτω από το κατώφλι της ακοής δεν προκαλούν ακουστικό ερέθισμα και κατά συνέπεια είναι μη ακουστές.

## **ΘΟΡΥΒΟΣ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ**

Στο σπίτι και στην εργασία, συχνά ακούμε θόρυβο από τα συστήματα εξαερισμού ή θέρμανσης που είναι ελάχιστα αισθητή, επειδή δεν έχει εμφανή χαρακτηριστικά. Ο θόρυβος δεν σταματά ποτέ και δεν έχει κάποιο τόνο, αλλά αν ο ανεμιστήρας ξαφνικά σταματά ή αρχίζει να γυρίζει, η αλλαγή μπορεί να μας ηρεμήσει ή να μας ενοχλήσει αντίστοιχα. Η ακοή μας αναγνωρίζει «πληροφορίες» στους ήχους που ακούμε. Οι πληροφορίες που δεν χρειάζονται, είναι ο θόρυβος. Με άλλα λόγια σαν θόρυβος θεωρείται ο οποιοσδήποτε ήχος (ασχέτως από την ένταση, την διάρκεια ή την συχνότητα που τον χαρακτηρίζουν) που μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα φυσιολογικά ή ψυχολογικά αποτελέσματα στον άνθρωπο ή τα ζώα ή ακόμα να παρεμποδίζει τις κοινωνικές λειτουργίες ενός ατόμου ή κάποια ομάδας. Οι λειτουργίες αυτές περιλαμβάνουν όλες τις βασικές δραστηριότητες του ανθρώπου. Από την επικοινωνία, την εργασία μέχρι την ανάπαυση, την αναψυχή και την ανάγκη του ύπνου. Συμπληρωματικά θα πρέπει να αναφέρουμε πως σαν θόρυβος θα πρέπει να θεωρηθεί και κάθε ήχος που έχει δυσμενή αποτελέσματα πάνω σε ακίνητα υλικά όπως οικοδομές, εγκαταστάσεις κλπ.



**Εικόνα: Πηγές θορύβου στο περιβάλλον (πηγή: [www.amds.gr](http://www.amds.gr))**

Στον θόρυβο σημαντικό ρόλο παίζει ο υποκειμενικός παράγοντας για τον εάν ένας ήχος μπορεί να θεωρηθεί ως θόρυβος ή όχι. Για παράδειγμα η δυνατή μουσική μπορεί για κάποιον να είναι μια πηγή απόλαυσης, ενώ για κάποιον άλλο μπορεί να είναι μια εκνευριστική ενόχληση. Επιπλέον οι άνθρωποι ανάλογα με τη διάθεση τους και την ασχολία της στιγμής και την διάθεσή τους βρίσκουν τον ίδιο θόρυβο άλλοτε ενοχλητικό και άλλοτε όχι. Επομένως γίνεται φανερό ότι ο καθορισμός αντικειμενικών κριτηρίων σχετικά με τη λήψη μέτρων για τον περιορισμό του θορύβου δυσχεραίνεται σημαντικά.

## **ΣΤΑΘΜΗ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ**

Σε περίπτωση που το ελαστικό μέσο διάδοσης είναι ο αέρας, αυτό που χαρακτηρίζει τον ήχο είναι η ηχητική πίεση που ορίζεται σαν τη στιγμιαία μεταβολή της πίεσης σε ένα σημείο γύρω από την ατμοσφαιρική τιμή.

Σε θεωρητικές έρευνες των ακουστικών φαινομένων είναι βολικό, η ηχητική πίεση και η ένταση του ήχου να κεφράζονται σε Pa και σε  $W/m^2$  αντίστοιχα. Για πρακτικές μετρήσεις, ωστόσο, είναι σύνηθες να

εκφράσουμε αυτές τις ποσότητες χρησιμοποιώντας λογαριθμική κλίμακα. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για την χρήση τέτοιων κλιμάκων. Ένας από αυτούς είναι το ευρύ φάσμα της ηχητικής πίεσης και των εντάσεων που επρόκειτο να μετρηθούν. Η χρήση της λογαριθμικής κλίμακας συμπιέζει το εύρος των αριθμών που απαιτούνται για να περιγράψει αυτό το ευρύ φάσμα των εντάσεων. Άλλος λόγος είναι ότι το ανθρώπινο αυτί «κρίνει» υποκειμενικά τη σχετική ένταση δύο ήχων από το λόγο των εντάσεων τους, η οποία είναι μια λογαριθμική συμπεριφορά. Για τους παραπάνω λόγους έχει επικρατήσει να παριστάνεται η ηχητική πίεση σε λογαριθμική κλίμακα, οπότε προκύπτει ένα νέο μέγεθος που ονομάζεται στάθμη ηχητικής πίεσης (sound pressure level ή SPL) ή απλά ηχητική στάθμη και μονάδα μέτρησης είναι το ντεσιμπέλ (db). Η ηχητική στάθμη ορίζεται από την σχέση:

$$L_p = 20 \log^*(p/p_0) \text{ (db)}$$

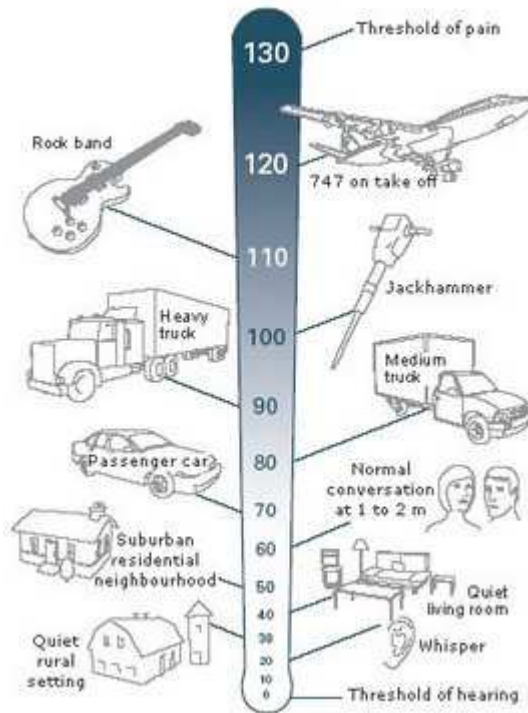
Όπου:

$p$ : είναι η ηχητική στάθμη που αντιστοιχίζεται σε μια ηχητική πίεση

$p_0$ : είναι κατα προσέγγιση η ασθενέστερη πίεση που διεγείρει το αισθητήριο της ακοής. Είναι ίση με 0,0002 μbar ακι είναι γνωστή σαν πίεση αναφοράς.



## DECIBEL SCALE (dBA)



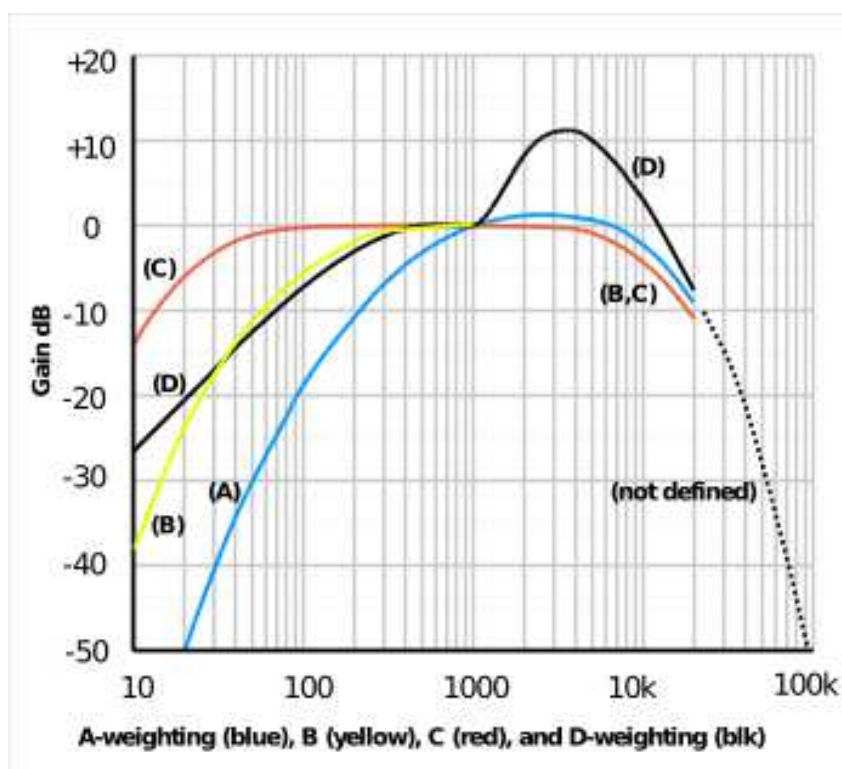
**Εικόνα: Κάποιες τυπικές στάθμες ηχητικής πίεσης**  
**(πηγή:hlektronika.gr)**

## **ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ**

Όταν πραγματοποιούμε μετρήσεις θορύβου, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι τα αποτελέσματα που έχει πάνω στο αισθητήριο της ακοής. Βασιζόμενοι πάνω σε αυτό το σκεπτικό, στα ηχόμετρα που χρησιμοποιούνται για μέτρηση της ηχητικής στάθμης, παρεμβάλλεται ένα ή περισσότερα κυκλώματα στάθμισης που έχουν ως σκοπό να διαμορφώσουν την καμπύλη απόκρισης του ηχομέτρου, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στην διαφορετική ευαισθησία του αυτιού στις διάφορες συχνότητες.

Αυτές οι καμπύλες απόκρισης που προκύπτουν ονομάζονται καμπύλες στάθμισης (weightlifting curves). Μέχρι σήμερα έχουν τυποποιηθεί τέσσερις τύποι κυκλωμάτων στάθμισης: Είναι οι τύποι A, B, C και D. Οι

καμπύλες απεικονίζονται στην εικόνα 8. Ο τύπος A-στάθμισης προορίζεται αρχικά για μέτρηση ηχητικών σταθμών από 55db έως και 85 db, ενώ οι τύποι B και C για υψηλότερες στάθμες. Τελικά όμως η A-στάθμιση επικράτησε έναντι των άλλων τύπων, για μετρήσεις σε οποιαδήποτε στάθμη, αφού έχει αποδειχθεί ότι η καμπύλη A αποκρίνεται σύμφωνα με τις αντιδράσεις του αυτιού. Ο τύπος D-στάθμισης έχει προταθεί για μέτρηση θορύβων από αεροσκάφη jet.



**Εικόνα:Οι τέσσερις καμπύλες στάθμισης**  
**(πηγή:en.wikipedia.org)**

## **ΟΚΤΑΒΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ**

Είναι δυνατόν να γίνει μια κ μόνο μέτρηση της συνολικής ηχητικής πίεσης σε όλη την ακουστή περιοχή του ηχητικού φάσματος, αλλά η μέτρηση αυτού του τύπου, εφόσον εξετάζουμε τις επιπτώσεις του

θορύβου στο ανθρώπινο αυτί, έχει περιορισμένη χρήση διότι το αυτί είναι περισσότερο σε ορισμένες συχνότητες (μεσαία περιοχή). Κατά συνέπεια, είναι επιθυμητό να γνωρίζουμε τον τρόπο κατανομής της ηχητικής ενέργειας σε όλο το ακουστικό ηχητικό φάσμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την υποδιαίρεση του θορύβου σε οκτάβες και μετρώντας την στάθμη ηχητικής πίεσης σε κάθε οκταβική ζώνη συχνοτήτων.

Οκτάβα είναι κάθε ζώνη συχνοτήτων της οποίας η τελική συχνότητα είναι διπλάσια της αρχικής. Έτσι η ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 90-180Hz είναι μια οκτάβα, όπως το ίδιο ισχύει και για τη ζώνη 1400Hz-2800Hz. Κάθε οκτάβα προσδιορίζεται από την κεντρική συχνότητα  $f_0$  που είναι η γεωμετρική μέση τιμή των άκρων  $f_1$  και  $f_2$  και ορίζεται από την εξής σχέση:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

Οι κεντρικές συχνότητες των οκταβικών ζωνών κατά αύξουσα σειρά είναι οι: 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1KHz, 2KHz, 4KHz, 8KHz.

Ορισμένες φορές απαιτείται λεπτομερέστερη πληροφόρηση για το ηχητικό φάσμα και σε αυτή την περίπτωση ο θόρυβος αναλύεται σε μικρότερες ζώνες συχνοτήτων που ονομάζονται κλασματοοκτάβες. Τις περισσότερες φορές για την μέτρηση θορύβου χρησιμοποιείται η τριτοοκταβική ανάλυση. Τριτοοκτάβα είναι κάθε ζώνη συχνοτήτων με αρχική συχνότητα  $f_1$  και  $f_2$  που ικανοποιούν τη σχέση  $f_1/f_2=2^{1/3}$ .

## **ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΙΒΑΝΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΘΟΡΥΒΩΝ**

Στο σπίτι μας ή στο χώρο εργασίας μας, συχνά ακούμε θόρυβο είτε από κάποιο σύστημα εξαερισμού είτε από κάποιο σύστημα θέρμανσης που είναι ελάχιστα αντιληπτός επειδή δεν έχει εξέχοντα χαρακτηριστικά. Ο θόρυβος δεν σταματά ποτέ και δεν έχει τόνο. Όμως εάν για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας σταματήσει να αρχίσει να «γκρινιάζει» τότε αυτή η αλλαγή μπορεί να μας διαταράξει ή ακόμα και να μας ενοχλήσει. Η ακοή

μας από τη φύση της αναγνωρίζει κάποιες πληροφορίες στους ήχους και τις πληροφορίες που δεν αναγνωρίζει τις θεωρεί θόρυβο. Στο τριγύρω περιβάλλον θα αναφέρουμε 3 σημαντικούς τύπους θορύβων, εκείνους που θα συναντήσουμε στις μετρήσεις μας. Ταξινομημένοι με βάση την κυματομορφή τους, οι 3 θόρυβοι είναι:

## 1) ΣΤΑΘΕΡΟΣ ΣΥΝΕΧΗΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

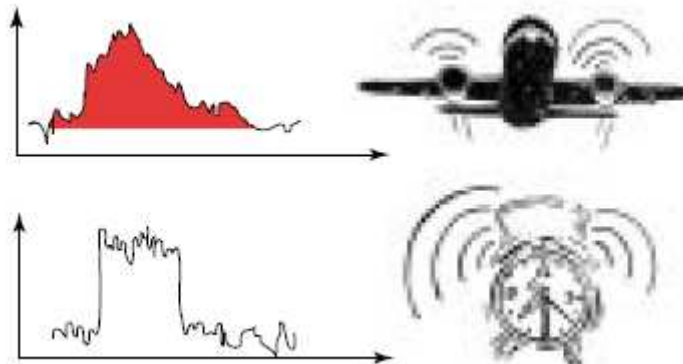


**Εικόνα: Συνεχής θόρυβος (πηγή: B&K)**

Ο συνεχής θόρυβος παράγεται από τα μηχανήματα που λειτουργούν αδιάλειπτα με τον ίδιο τρόπο όπως είναι για παράδειγμα αντλίες, φυσητήρες ή μηχανές DC κινητήρες. Μια μέτρηση για λίγα λεπτά είναι ικανή για να καθορίσει το κατά πόσο είναι βλαβερά τα επίπεδα ηχητικής στάθμης, ενώ το ακουστικό φάσμα ενδείκνυται για περαιτέρω ανάλυση.

## 2) ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

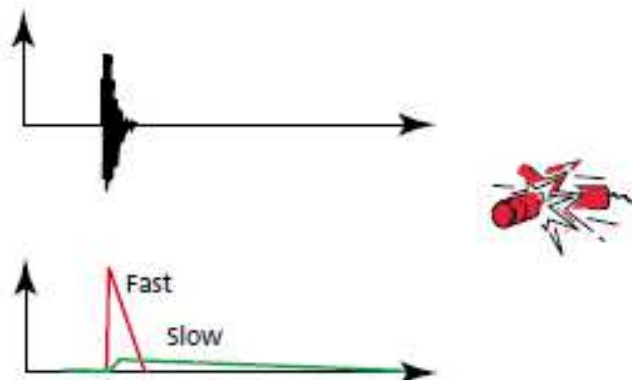
Όταν ένα μηχανήμα λειτουργεί με κύκλους, ή όταν τα οχήματα ή τα αεροπλάνα περνούν από κάποιο σημείο, τότε τα επίπεδα θορύβου στο σημείο αυτό αυξάνουν και μειώνουν απότομα. Για κάθε κύκλο του μηχανήματος, η πηγή θορύβου και τα επίπεδα ηχητικής πίεσης μπορούν να μετρηθούν όπως μετριέται ένας συνεχής θόρυβος. Ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη και η διάρκεια του κύκλου που κάνει η μηχανή. Όταν ένα όχημα ή ένα αεροσκάφος περνάει από ένα σημείο, αυτό ονομάζεται ένα γεγονός. Για να μετρήσουμε το θόρυβο ενός γεγονότος, μετρώνται τα επίπεδα έκθεσης στο θόρυβο, συνδισμένα με τα επίπεδα ηχητικής πίεσης αλλά και τη διάρκεια του θορύβου.



**Εικόνα: Γραφική απεικόνιση πηγών διακοπτόμενων θορύβων (πηγή:Β&Κ)**

### **3) ΠΑΛΜΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ**

Ο θόρυβος που προέρχεται από προσκρούσεις ή εκρήξεις (π.χ τρακάρισμα ενός αυτοκινήτου ή ένας πυροβολισμός ) ονομάζεται πλαμικός θόρυβος. Αυτό το είδος του θορύβου χαρακτηρίζεται από μικρή διάρκεια, μεγάλος πλάτος (ανάλογα με τον θόρυβο που θα προκληθεί), προκαλώντας μεγαλύτερη ενόχληση από ότι θα αναμενόταν από μια απλή μέτρηση ηχητικής πίεσης. Για να είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση του θορύβου, η διαφορά μεταξύ μιας γρήγορης και μιας αργής ανταπόκρισης, γίνεται με τη χρήση ειδικών παραμέτρων. Επίσης, ο αριθμός επαναλήψεων (αριθμός παλμών ανά δευτερόλεπτο) θα πρέπει να τεκμηριώνεται.



**Εικόνα: Παραδείγματα παλμικού θορύβου (πηγή:Β&Κ)**

#### **4) ΘΟΡΥΒΟΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ**

Ο θόρυβος χαμηλής συχνότητας έχει σημαντική ακουστική ενέργεια σε ένα εύρος συχνοτήτων από 8 μέχρι 100Hz. Αυτός ο τύπος θορύβου παρατηρείται συνήθως να παράγεται από κινητήρες ντίζελ, σε τρένα, σε πλοία, ακόμα και σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συγκεκριμένος τύπος θορύβου είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξαλειφθεί, ακριβώς επειδή έχει μεγάλη ενέργεια και εξαπλώνεται εύκολα σε όλες τις κατευθύνσεις. Για να υπολογισθεί η ακουστότητα των συνιστωσών του θορύβου χαμηλής συχνότητας, γίνεται σύγκριση του φάσματος του θορύβου που μετρήθηκε με το όριο της ακοής.

#### **ΔΕΙΚΤΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ**

Ο θόρυβος όπως και κάθε ήχος είναι μια μορφή ενέργειας, και τα αποτελέσματα της ενέργειας πάνω στον ανθρώπινο οργανισμό καθορίζονται από τη δόση ή τη διάρκεια επίδρασης, ανεξάρτητα από το αν η ενέργεια αυτή είναι ηλιακή, πυρηνική ή ακουστική. Για παράδειγμα, μια στάθμη θορύβου 110 db διάρκειας ενός δευτερολέπτου είναι σίγουρα αβλαβής. Αν όμως η ίδια στάθμη διατηρηθεί για 5 συνεχείς ώρες τα πράγματα αλλάζουν δραστικά.

Έτσι με αυτό τον τρόπο η ανάγκη για ένα μέγεθος που περιγράφει όχι μόνο τη στάθμη ηχητικής πίεσης ενός θορύβου, αλλά και τη συνολική χρονική διάρκεια. Με άλλα λόγια τη «δόση» του θορύβου. Στην πλειοψηφία τους οι θόρυβοι δεν παρουσιάζουν όμως σταθερή ηχητική στάθμη και γι αυτό πολλοί υπολογισμοί της «δόσης» του θορύβου γίνονται με βάση μια μέση τιμή της ηχητικής στάθμης. Επειδή υπάρχει μια ποικιλία από κυματομορφές θορύβων, ο τρόπος που εξάγεται αυτή η μέση τιμή δεν είναι ο ίδιος πάντα.

Διάφοροι δείκτες θορύβου έχουν επινοηθεί σε μια προσπάθεια μέτρησης των ενοχλητικών αποτελεσμάτων που έχει ένας θόρυβος πάνω στον άνθρωπο. Όλοι αυτοί οι δείκτες συνδιάζουν θόρυβο και διάρκεια θορύβου για να καθορίσουν μια ένδειξη ενόχλησης. Ο πιο διαδεδομένος δείκτης θορύβου είναι ο  $L_{eq}$  γνωστός και ως ισοδύναμη συνεχής στάθμη

θορύβου (equivalent continuous noise level) και μετριέται σε db (A). Ο  $L_{eq}$  μαθηματικώς περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right]$$

- Όπου:
- $t_1$ , χρόνος έναρξης μέτρησης
  - $t_2$ , χρόνος λήξης μέτρησης
  - $p_0$ , σημείο αναφοράς της πίεσης (20μPa)
  - $p_A$ , η ηχητική πίεση που λαμβάνεται

Η επινόηση του  $L_{eq}$  στηρίζεται στην αρχή της ίσης ενέργειας, σύμφωνα με την οποία ο κίνδυνος βλάβης της ακοής από το θόρυβο καθορίζεται από τη συνολική ακουστική ενέργεια, στην οποία βρίσκεται εκτεθειμένο το αυτί σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Έτσι σαν ισοδύναμη στάθμη  $L_{eq}$  ορίζεται η στάθμη συνεχούς θορύβου σε ορισμένο χρονικό διάστημα που έχει την ίδια ακουστική ενέργεια με αυτήν του πραγματικού θορύβου μέσα στο ίδιο χρονικό διάστημα. Ο  $L_{eq}$  έχει καλή συσχέτιση με την επίδραση και την ενόχληση του θορύβου στον άνθρωπο και η χρήση του για θορύβους που έχουν ευρεία μεταβολή στη στάθμη τους τον έχει κάνει ευρύτατα δεκτό.

Ένας άλλος δείκτης θορύβου που έχει εκτεταμένη χρήση σε μετρήσεις θορύβου, οχημάτων και κυκλοφορίας είναι ο  $L_{10}$ . Αυτός ο δείκτης ορίζεται σαν ηχητική στάθμη σε db(A) την οποία υπερβαίνει ο θόρυβος κατά τη διάρκεια του 10% του χρόνου μετρήσεως. Για παράδειγμα, εάν ο  $L_{10}$  είναι 70db(A), αυτό σημαίνει ότι ο θόρυβος υπερβαίνει τα 70db(A) κατά το 1/10 του χρόνου μετρήσεων.

## **ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΑΚΟΗ**

Όπως έχει προαναφερθεί ο κύριος «πρωταγωνιστής» σε θέματα θορύβου και κατ' επέκταση σε θέματα ήχου και ομιλίας είναι το ανθρώπινο αυτί. Και αυτό διότι η πιο σοβαρή πιθανή επίδραση του θορύβου είναι η ζημία που μπορεί να προκαλέσει στο αυτί. Όταν η έκθεση σε ένα περιβάλλον με θόρυβο είναι σε ένα επικίνδυνο επίπεδο, το αποτέλεσμα είναι μια σταδιακή και μη αναστρέψιμη επιδείνωση της ακοής κατά την διάρκεια μιας περιόδου που μπορεί να διαρκέσει ακόμα και πολλά χρόνια.

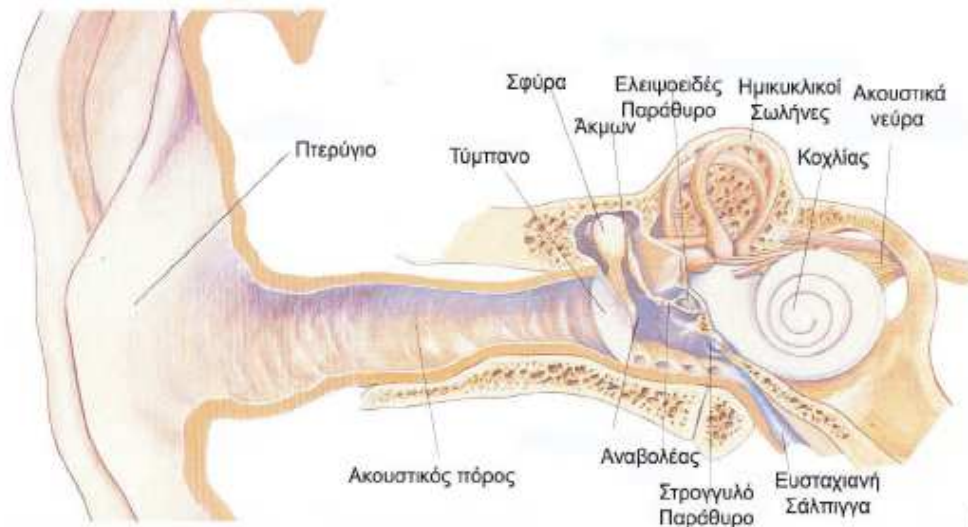


**Εικόνα: Θόρυβος και ακοή (πηγή: [www.healthyliving.gr](http://www.healthyliving.gr))**

## **ΤΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΕΡΕΘΙΣΜΑ**

Σε πιο πάνω ενότητα αναφέραμε πως ο άνθρωπος είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται ήχους μεταξύ 20-20000 Hz. Παρόλο που οι υπόηχοι και οι υπέρηχοι δεν γίνονται αντιληπτοί από τον άνθρωπο, μπορεί να έχουν αμφοτεροί βλαπτική επίδραση στη υγεία του ανθρώπου.





**Εικόνα: Ανατομία της εικόνας του αυτιού**

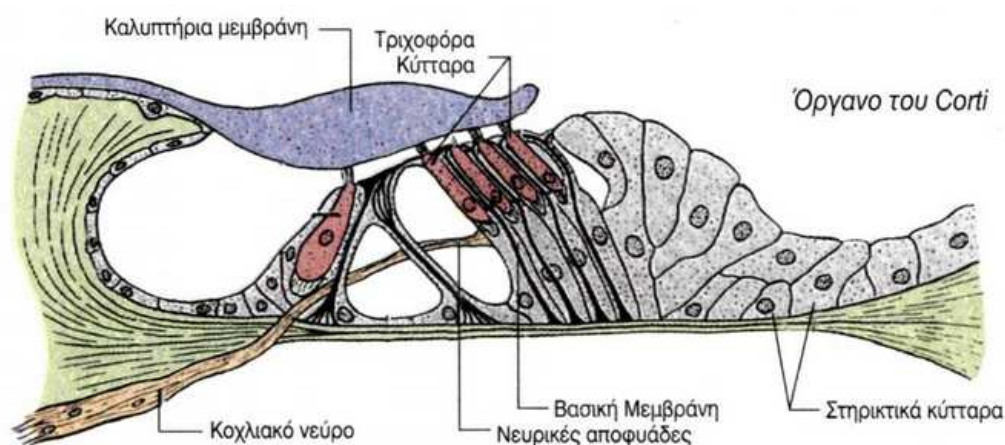
Το αισθητήριο όργανο της ακοής αποτελείται από 3 μέρη: **το εξωτερικό αυτί**, το οποίο αποτελείται από το ακουστικό πετύγιο και τον έξω ακουστικό πόρο, **το μέσον αυτί** που περιλαμβάνει το τυμπανοσταριώδες σύστημα και την ευσταχιανή ακουστική σάλπιγγα και το **εσωτερικό αυτί** που αποτελείται από τον κοχλία και τους ημικύκλιους σωλήνες.

Τα ηχητικά κύματα συγκεντρώνονται από το ακουστικό πετύγιο, όπου ενισχύονται ορισμένες συχνότητες (κυρίως γύρω από τη συχνότητα των 4000 Hz), διέρχονται τον έξω ακουστικό πόρο και προσπίπτουν στην τυμπανική μεμβράνη, την οποία θέτουν σε παλμική κίνηση. Η αλυσίδα των ακουστικών οσταρίων (σφύρα, άκμονας, αναβολέας), έχει σα βασική αποστολή τη μετάδοση των παλμικών κινήσεων στην έξω λέμφο, στη συνέχεια η δόνηση μεταδίδεται στην έσω λέμφο και στο βασικό υμένα, στον οποίο στηρίζεται το όργανο του Corti.

Ο κοχλίας αποτελεί το όργανο αντίληψης της ακοής και μέσω του οργάνου του Corti, μετατρέπει την μηχανική ενέργεια των παλμικών κινήσεων σε ηλεκτρικό δυναμικό και με αυτό τον τρόπο τα ηχητικά ερεθίσματα μεταβιβάζονται μέσω των ιών του κοχλιακού νεύρου στον εγκέφαλο, όπου φτάνοντας στον ακουστικό φλοιό γίνονται αντιληπτά.

Το όργανο του Corti αποτελείται από περίπου 30000 τριχωτά κύτταρα διανεμημένα σε περιοχές «ευαίσθητες» στις διάφορες συχνότητες που συνθέτουν το ακοηστό ηχητικό φάσμα. Η βλάβη που εμφανίζεται κυρίως

στα έξω ακουστικά κύτταρα. Η βαρύτητα της είναι ανάλογη της ποσότητας της ηχητικής ενέργειας που απορροφήθηκε και εξαρτάται επίσης από τον τύπο θορύβου. Έχει μάλιστα διαπιστωθεί ότι οι παλμικοί θόρυβοι προκαλούν μεγαλύτερη σε έκταση βλάβη, από τους θορύβους σταθερής στάθμης.



**Εικόνα: Το όργανο του Corti.**

## **ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

### **I. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΚΟΗ**

Γενικότερα πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι:

- 1) Οι βλάβες της ακοής που μπορεί να προκληθούν από έκθεση σε περιβάλλον με υπερβολικό θόρυβο είναι μια σωρευτική διαδικασία στην οποία τόσο το επίπεδο του θορύβου όσο και ο χρόνος έκθεσης είναι εξίσου σημαντικοί παράγοντες.
- 2) Σε ένα δεδομένο επίπεδο, οι θόρυβοι χαμηλών συχνοτήτων τείνουν να είναι λιγότερο βλαβεροί από θορύβους σε μεσαίες συχνότητες. Μάλιστα, αυτό το αποτέλεσμα έχει οδηγήσει σε μια

γενική χρήση των A στάθμων θορύβου για την αξιολόγηση του θορύβου.

- 3) Τα άτομα δεν έχουν όλα την ίδια ευαισθησία σε περιβάλλοντα θορύβου που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στην ακοή.
- 4) Η απώλεια ακοής που προκαλείται από τον θόρυβο τείνει να είναι πιο έντονες κοντά στις συχνότητες των 4000 Hz, αλλά επίσης «απλώνεται» πάνω από το φάσμα συχνοτήτων με αυξημένα επίπεδα θορύβου και χρόνο έκθεσης.

Δυο είναι οι τύποι της απώλειας της ακοής από έκθεση σε θόρυβο, η προσωρινή και η μόνιμη. Αμέσως μετά την έκθεση ενός ατόμου σε ένα περιβάλλον με θόρυβο κοντά στα 100 db, παρατηρείται κάποια σημαντική αύξηση στο ελάχιστο επίπεδο που μπορεί κάποιος να ακούσει σε σύγκριση πάντα με αυτό που παρατηρήθηκε πριν από την έκθεση. Αν δεν υπάρχει περαιτέρω έκθεση σε υψηλότερα επίπεδα θορύβου, τότε υπάρχει μια σταδιακή ανάκαμψη της ακουστικής ικανότητας. Όμως η επαναλαμβανόμενη έκθεση για παρατεταμένες περιόδους μπορεί να οδηγήσει σε μόνιμη απώλεια ακοής. Αυτή η μόνιμη απώλεια ακοής εξαρτάται πάντα από το επίπεδο του θορύβου, το χρόνο της έκθεσης αλλά και τον χρόνο αποκατάστασης. Φανταστείτε πως κατά την διάρκεια μιας μέρας στην δουλειά, τα διαλείμματα για καφέ ή ένα διάλειμμα για το μεσημεριανό είναι σημαντικά για την αποκατάσταση της ακοής για όσους εργάζονται σε περιβάλλοντα με υψηλά ποσοστά θορύβου. Τα συχνά διαλείμματα θεωρούνται ως χρήσιμα για την μείωση μιας πιθανής μόνιμης βλάβης στην ακοή.

Σχεδόν κάθε έρευνα θα μπορούσε να συμφωνεί στο γεγονός ότι η έκθεση σε περιβάλλον θορύβου, κατηγορίας A ηχοστάθμης της τάξης των 70 db ή λιγότερο δεν είναι πιθανό να προκαλέσει σημαντική ζημιά στο αυτί ενός ανθρώπου. Οι περισσότερες έρευνες μάλιστα συμφωνούν σε ένα επίπεδο 85 db μιας A ηχοστάθμης είναι αποδεκτό.

<i>Duration per day, hours</i>	<i>Sound level dB(A) slow response</i>
8 .....	90
6 .....	92
4 .....	95
3 .....	97
2 .....	100
1½ .....	102
1 .....	105
½ .....	110
¼ or less .....	115

**Εικόνα: Αντιστοιχία db και ωρών έκθεσης στα εκάστοτε επίπεδα  
(πηγή: B&K)**

## **II. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει περιφερειακή αγγειοσύσπαση, σύσπαση δηλαδή των μικρών αγγείων, με αποτέλεσμα την ελάττωση της ροής του αίματος σε ορισμένα όργανα και ιστούς. Μπορεί να προκαλέσει επίσης μεταβολές στην αρτηριακή πίεση και στις καρδιακές σφύξεις. Επιπλέον έχει διαπιστωθεί αύξηση της διαστολικής πίεσης και του αριθμού των καρδιακών σφίξεων σε εργαζόμενους που εκτίθενται σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα θορύβου.

## **III. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Υψηλά επίπεδα θορύβου επηρεάζουν αρνητικά τα διάφορα στάδια του ύπνου, προκαλώντας έτσι διαταραχές στη σωματική και νοητική ανάπαυση του ατόμου. Ο θόρυβος επιδρά στην ψυχική διάθεση επηρεάζοντας ταυτόχρονα την κοινωνικότητα και την ευαισθησία. Προκαλεί επίσης ψυχοκινητικές διαταραχές, όπως επιβράδυνση του χρόνου αντίδρασης, περιορίζοντας σημαντικά την ικανότητα του εργαζόμενου να αντιδρά σωστά στα εξωτερικά ερεθίσματα ή να παρακολουθεί σύνθετες διαδικασίες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εκείνες οι προϋποθέσεις που οδηγούν σε ενδεχόμενα εργαστικά ατυχήματα.

## **ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΘΟΡΥΒΟ**

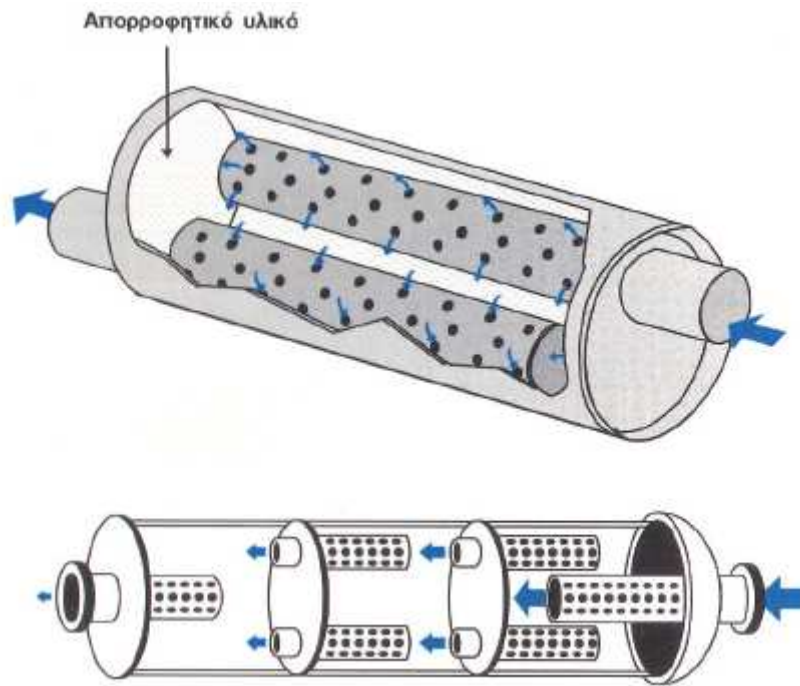
Σύμφωνα με το νόμο 1568/85, άρθρο 26, παράγραφος 1, ο εργοδότης έχει την υποχρέωση να παίρνει κατάλληλα μέτρα, ώστε να περιορίζεται η έκθεση των εργαζομένων σε θόρυβο, όσο πρακτικά είναι δυνατό. Επίσης σύμφωνα με τις γενικές αρχές πρόληψης (Π.Δ 17/1996, άρθρο 7, παράγραφος 7ζ και οδηγία του συμβουλίου 89/391/ΕΟΚ, άρθρο 6, παράγραφος 2<sup>η</sup>), ο εργοδότης δίδει προτεραιότητα στη λήψη μέτρων ομαδικής προστασίας σε σχέση με τα μέτρα ατομικής προστασίας.

## **ΜΕΤΡΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ**

Υπάρχουν αρκετές κατευθυντικές γραμμές για την μείωση του θορύβου σε ένα οποιοδήποτε περιβάλλον, από ένα βιομηχανικό περιβάλλον μέχρι ένα γραφείο εργασίας.

### **1) Περιορισμός του θορύβου στην πηγή του**

Όταν δεν τίθεται δυνατή η αντικατάσταση μιας παλαιάς και θορυβώδους μηχανής με νέα που φυσικά παράγει λιγότερο θόρυβο, τότε θα πρέπει να εντοπιστούν και να αλλαχθούν ή να βελτιωθούν εκείνα τα εξαρτήματα που προκαλούν υψηλές στάθμες θορύβου. Η χρήση σιλανσιέ σε κινητήρες που κινούνται σε αέρα ή η χρήση εργαλείων με ενσωματωμένο το σιλανσιέ στην έξοδο του αέρα είναι επίσης μια ενδεδειγμένη λύση. Ωστόσο πρέπει να δίνεται μεγάλη σημασία και στην τακτική προληπτική συντήρηση μιας μηχανής γιατί μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό θορύβου υψηλής στάθμης.



**Εικόνα: Παράδειγμα χρήσης ενός σιλανσιέ (πηγή: “Ο θόρυβος στην εργασία φύση,κίνδυνοι και προστασία”Έβελύν Βαφείδου,Σπύρος Δρίβας, Τρυφών Γκινάλας)**

**2) Επέμβαση στη διαδρομή του θορύβου από την πηγή προς το αυτί του εργαζομένου**

Αυτό πετυχαίνεται με την τοποθέτηση κατάλληλων πετασμάτων κατά τη διαδρομή του ήχου από την μηχανή που παράγει θόρυβο μέχρι τον εργαζόμενο. Στα ίδια πλαίσια εντάσσεται και εγλεισμός της μηχανής σε πλήρως αεριζόμενο ή κλιματιζόμενο κάλυμμα που κατασκευάζεται από ηχοαπορροφητικά και ηχομονωτικά υλικά.

**3) Διαφορετικό ωράριο**

Κι’ όμως η εναλλαγή των χειριστών της μηχανής περιορίζει την συνολική «δόση» θορύβου των εργαζομένων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την

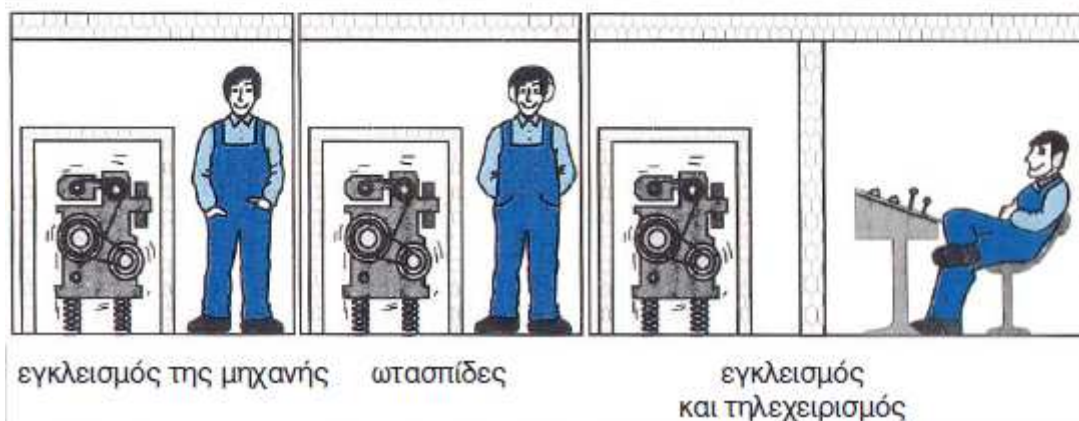
εφαρμογή της είναι η άριστη γνώση της μηχανής και των συνθηκών εργασίας προκειμένου να αποφευχθεί κάποιο ενδεχόμενο ατύχημα.

#### **4) Ατομικά μέσα προστασίας της ακοής**

Πρέπει να επισημανθεί πως αυτή η κατηγορία πρόκειται για ένα καθαρά προσωρινό μέτρο, μέχρις ότου λυθεί το πρόβλημα του θορύβου. Επίσης χρησιμοποιούνται όταν έχουν εξαντληθεί όλα τα δυνατά μέτρα ομαδικής προστασίας για τη μείωση της έκθεσης στο θόρυβο. Μερικά από αυτά τα παραδείγματα είναι η χρήση ωτοασπίδων, ωτοβυσμάτων ή ωτοπωμάτων, τα οποία μπορούν να μειώσουν το στρες του έντονου θορύβου που εισέρχεται στα αυτιά των εργαζομένων. Σύμφωνα με τη νομοθεσία, παρέχονται από τον εργοδότη, χωρίς καμία οικονομική επιβάρυνση των εργαζομένων.

#### **5) Συνδυασμός μέτρων**

Σε αρκετές περιπτώσεις είναι δυνατόν να γίνει συνδυασμός πολλών μέτρων για την αντιμετώπιση του θορύβου. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει συνδυασμό όλων των παραπάνω μέτρων (ωτοασπίδες, περιορισμός της πηγής του θορύβου, επιλογή διαφορετικών ωραρίων εργασίας ανάμεσα στους εργαζόμενους) ή ακόμα και τη χρήση επιπρόσθετων μέτρων όπως η μείωση των δονήσεων της μηχανής ή ακόμα και ο τηλεχειρισμός της μηχανής από μακρινή απόσταση. Εργασίες που απαιτούν ένα σχετικά ήσυχο περιβάλλον, να είναι όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένους χώρους από θορυβώδη περιβάλλοντα. Εφόσον κάποια θορυβώδη εργασία γίνεται σε περιβάλλον περιτριγυρισμένο από τοίχους, η εφαρμογή ηχοαπορροφητικών υλικών στους τοίχους θεωρείται απαραίτητη.



**Εικόνα: Μέτρα προστασίας από τον θόρυβο(πηγή: “Ο θόρυβος στην εργασία φύση,κίνδυνοι και προστασία”Εβελύν Βαφείδου,Σπύρος Δρίβας, Τρυφών Γκινάλας)**

## **ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ**

### **ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ**

Κάποτε, κοντά στο 1827, ο wheatstone χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη λέξη μικρόφωνο ως μια ακουστική συσκευή που έκανε ενίσχυση των αδύναμων ήχων. Ήταν όμως ο καθηγητής Hughes στο Λονδίνο όπου σχεδόν μισό αιώνα αργότερα που έδωσε συνέχεια στον όρο μικρόφωνο χρησιμοποιώντας τρία μεταλλικά καρφιά που το ένα ήταν σε ελαφριά επαφή κάθετα στα άλλα 2 συνδεδεμένα όλα αυτά σε ένα ηλεκτρικό



κύκλωμα. Στη συνέχεια τα καρφιά αντικαταστάθηκαν με μολύβια άνθρακα μονταρισμένα σε ένα διπλό ελαστικό υπόστρωμα.

Μικρόφωνα ,λοιπόν,είναι ηλεκτρικές συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπουν ηχητικά κύματα σε ηλεκτρικά σήματα.



**Εικόνα: Μικρόφωνο (πηγή [www.tralala.gr](http://www.tralala.gr))**

Η γενική αρχή λειτουργίας των μικροφώνων έχει ως εξής: στην «καρδιά» κάθε μικροφώνου υπάρχει ένα διάφραγμα, η οποία τίθεται σε κίνηση από την ενέργεια που μεταφέρουν τα ακουστικά κύματα. Η μηχανική ενέργεια μεταβάλλεται στη συνέχεια σε εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, με τη βοήθεια μιας μικρής γεννήτριας. Έτσι με αυτό το τρόπο λαμβάνουμε το ηχητικό σήμα, το οποίο με τη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα κ οδηγείται μέσω καλωδίων σε διάφορες συσκευές επεξεργασίας εγγραφής ή αναπαραγωγής ήχου.



**Εικόνα: Αναπαράσταση του εσωτερικού ενός μικροφώνου**

Έχει γίνει αντιληπτό πως η ποιότητα του αναπαραγόμενου ήχου έχει άμεση σχέση με την ποιότητα του μικροφώνου που χρησιμοποιείται στην ηχογράφηση. Οι κατα καιρούς έρευνες που αναπτύχθηκαν πάνω στην κατασκευή μικροφώνων, είχε σαν αποτέλεσμα να κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά μικρόφωνα σε ευρέα περιοχή τιμών ανάλογα την ποιότητα του μικροφώνου. Υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά με βάση τα οποία καθορίζεται η ποιότητα των μικροφώνων. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Ευαισθησία
- Απόκριση συχνότητας
- Κατευθυντικότητα
- Σύνθετη αντίσταση

- **ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ**

Η ευαισθησία του μικροφώνου είναι η ηλεκτρική απόκριση στην έξοδο για μια δεδομένη ακουστική είσοδο. Αυτό εκφράζεται ως ο λόγος της πίεσης (είσοδος) προς την ηλεκτρική έξοδο (σε V). Το σήμα εισόδου αναφοράς για τη μέτρηση της ευαισθησίας ενός μικροφώνου είναι ένα ημιτονοειδές κύμα 1 KHz στα 94 db (SPL) ή 1Pa. Ένα μικρόφωνο με μια υψηλή τιμή ευαισθησίας έχει υψηλότερη στάθμη εξόδου για ένα σταθερή ακουστική είσοδο από ένα μικρόφωνο με μικρή τιμή ευαισθησίας. Η ευαισθησία ενός μικροφώνου σε db είναι συνήθως ένας αρνητικός

αριθμός και ως εκ τούτου μια τιμή υψηλότερης ευαισθησίας είναι μικρότερη κατά απόλυτη τιμή.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε τις μονάδες που παρουσιάζονται για τις προδιαγραφές της ευαισθησίας ενός μικροφώνου. Είναι λάθος να συγκριθούν οι ευαισθησίες 2 μικροφώνων, εφόσον η ευαισθησία δεν έχει καθοριστεί με την ίδια μονάδα. Για παράδειγμα στα αναλογικά μικρόφωνα, η ευαισθησία καθορίζεται σε μονάδες dBV, δηλαδή decibel με αναφορά σε 1V rms. Στα ψηφιακά μικρόφωνα η ευαισθησία καθορίζεται συνήθως σε dBFS, δηλαδή decibel με αναφορά σε μια πλήρους κλίμακας ψηφιακή έξοδος (0dBFS). Σε αυτή τη κατηγορία των μικροφώνων ένα σήμα πλήρους κλίμακας ορίζεται ως το υψηλότερο επίπεδο σήματος που μπορεί να είναι έξοδος από ένα μικρόφωνο.

Η ευαισθησία στα αναλογικά μικρόφωνα μετριέται σε μονάδες mV/Pa. Αυτή η μέτρηση μετατρέπεται σε db βάσει της ακόλουθης εξίσωσης:

$$Sensitivity_{dBV} = 20 \times \log_{10} \left( \frac{Sensitivity_{mV/Pa}}{Output_{REF}} \right)$$

Όπου:  $Output_{REF}$  είναι το 1V/Pa.

Αντίθετα, στα ψηφιακά μικρόφωνα η ευαισθησία μετριέται ως το ποσοστό μιας πλήρους κλίμακας εξόδου με είσοδο 94db. Για να μετατραπεί σε db ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

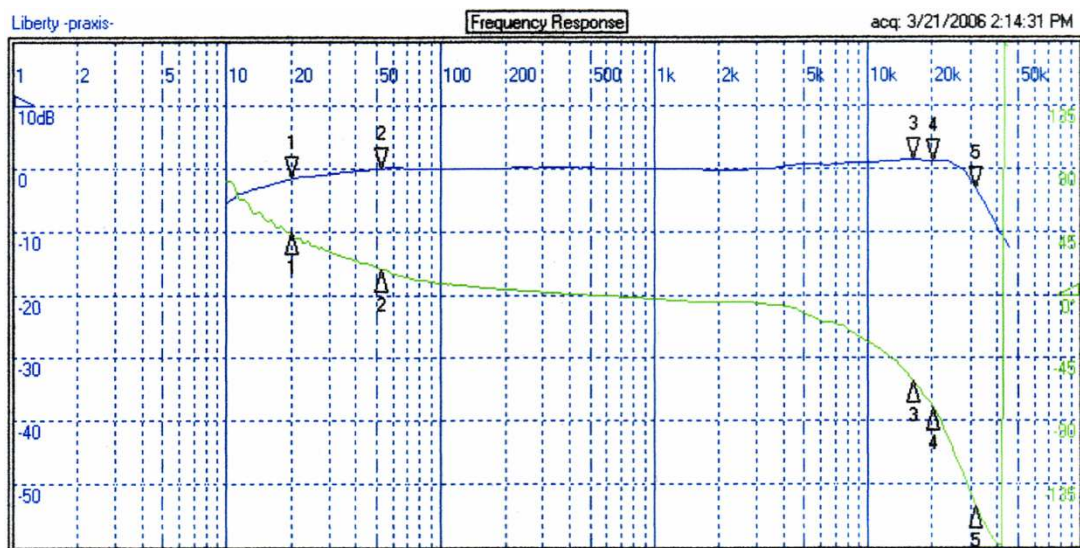
$$Sensitivity_{dBFS} = 20 \times \log_{10} \left( \frac{Sensitivity_{\%FS}}{Output_{REF}} \right)$$

Όπου  $Output_{REF}$  είναι η πλήρη κλίμακα ψηφιακής εξόδου (1.0).

## • ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Η απόκριση συχνότητας αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των μικροφώνων και περιγράφει την έξοδο ενός μικροφώνου σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Τα υψηλά και χαμηλά όρια συχνοτήτων, περιγράφονται σαν σημεία στα οποία η απόκριση του μικροφώνου είναι 3db κάτω από τα επίπεδα εξόδου αναφοράς στο 1KHz. Το επίπεδο αναφοράς στο 1KHz είναι συνήθως κανονικοποιημένα σε 0db.

Η προδιαγραφή της απόκρισης συχνότητας ενός μικροφώνου περιλαμβάνει επίσης τα όρια απόκλισης από μια επίπεδη απόκριση εντός της ζώνης διέλευσης. Αυτές οι τιμές, που εκφράζονται πάντα σε  $\pm$  db δείχνουν τη μέγιστη απόκλιση του σήματος εξόδου μεταξύ των -3db σημείων.



**Εικόνα: Η απόκριση συχνότητας του μικροφώνου dbX**

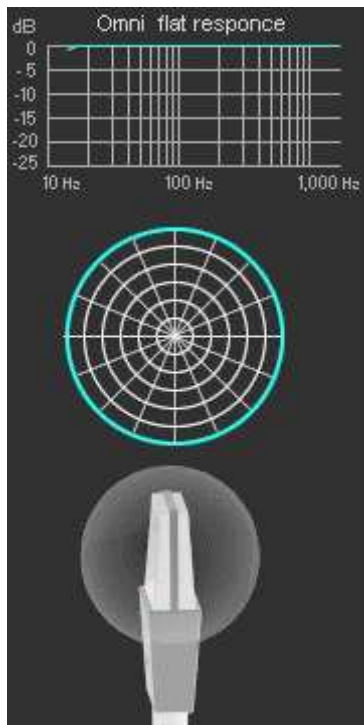
## • ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η κατευθυντικότητα ενός μικροφώνου περιγράφει τη μεταβολή της ευαισθησίας ενός μικροφώνου, όταν η πηγή του αλλάζει θέση στο χώρο. Για να περιγράψουμε καλύτερα την κατευθυντικότητα ενός μικροφώνου χρησιμοποιούμε πολικά διαγράμματα. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα απεικονίζουν την απώλεια της στάθμης db για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης του ηχητικού σήματος σε σχέση με τον κύριο άξονα τον  $0^\circ$  του μικροφώνου. Ανάλογα με την κατευθυντικότητα των μικροφώνων, τα διακρίνουμε σε:

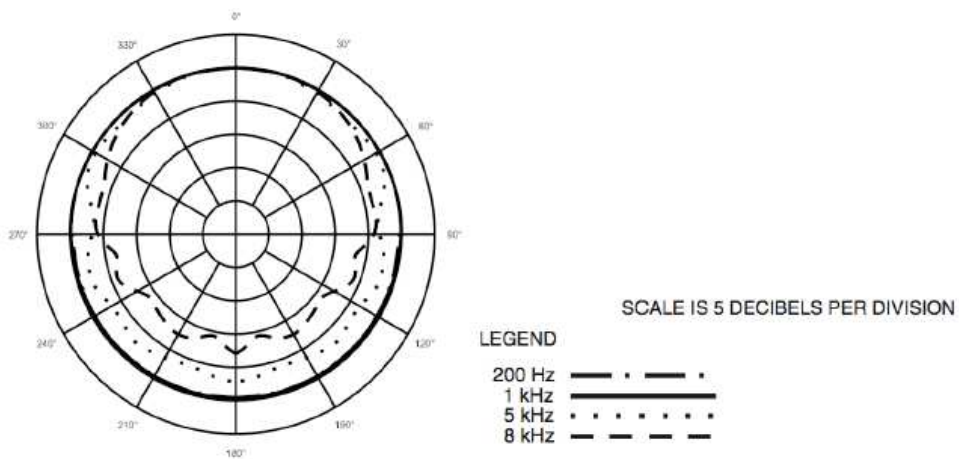
- Πανκατευθυντικά
- Κατευθυντικά
- Δι-κατευθυντικά

## ΠΑΝΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΑ

Τα πανκατευθυντικά μικρόφωνα καλύπτει όλες τις κατευθύνσεις και «μαζεύει» όλους τους ήχους σε ακτίνα  $360^\circ$ . Είναι ιδανικά για ηχογραφήσεις και συναντάμε σε αυτή τη κατηγορία τα μικρόφωνα εν ονόματι tie clip. Στα tie clip μικρόφωνα ακόμα και να κουνήσει κάποιος το κεφάλι του προς μια πλευρά η ένταση του ήχου δεν θα έχει καμία μεταβολή. Τα πανκατευθυντικά μικρόφωνα είναι ευαίσθητα στην πίεση, ούτως ώστε να μην επηρεάζονται από το θόρυβο ενός ανέμου ή να από τα στιγμιαία σύμφωνα που ενδεχομένως να υπάρξουν (π.χ στα γράμματα 'π' ή 'β'). Επίσης περιλαμβάνουν κάψουλες για να αλλάζουν το πολικό διάγραμμα, με αποτέλεσμα να κάνει ουδέτερο τον ήχο από το μικρόφωνο με έναν μικρό χρωματισμό. Το φυσικό «σώμα» του μικροφώνου μπλοκάρει τις υψηλές συχνότητες κάνοντας τον ήχο πιο «θαμπό» από το πίσω μέρος.



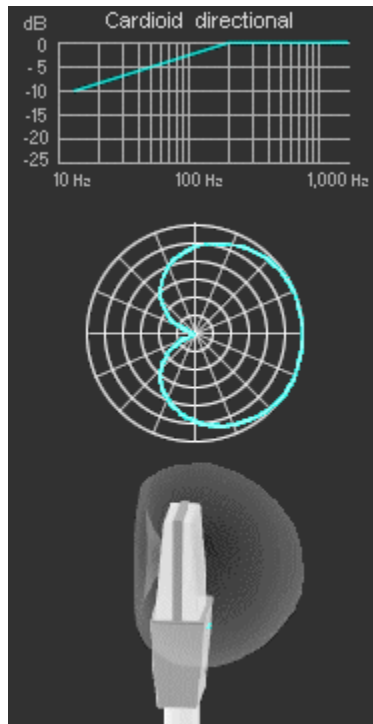
**Εικόνα: Απόκριση συχνότητας, πολικό διάγραμμα και απεικόνιση ενός πακατευθυντικού μικροφώνου (πηγή:<http://education.lenaraudio.com>)**



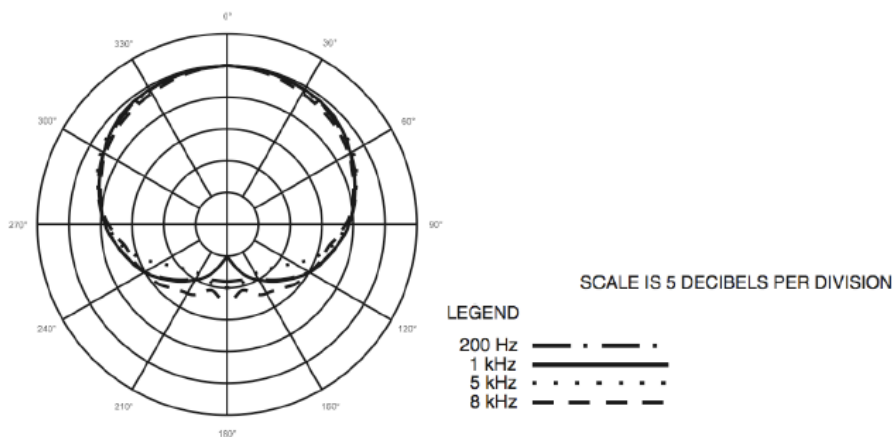
**Εικόνα: πολικό διάγραμμα ενός πανκατευθυντικού μικροφώνου(πηγή:[www.invensense.com](http://www.invensense.com))**

## **ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΑ**

Στα κατευθυντικά μικρόφωνα συναντάμε κατά κόρον τα καρδιοειδή μικρόφωνα και μια μικρότερη κατηγορία που είναι υπερκαρδιοειδή. Τα καρδιοειδή μικρόφωνα έχουν τη δυνατότητα να δέχονται ήχους μέσα σε 120° της κατεύθυνσης με την οποία «βλέπει» το μικρόφωνο προς την πηγή. Το όνομα τους είναι έτσι εξαιτίας του σχήματος της καρδίας που σχηματίζεται στο πολικό τους διάγραμμα. Είναι εξαιρετικά χρήσιμα στη μείωση της ανατροφοδότησης του ήχου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Ωστόσο, μπορούν να επηρεάζονται από το θόρυβο του ανέμου, από την εγγύτητα της πηγής και από στιγμιαία σύμφωνα (π.χ στα γράμματα 'π' ή 'β'). Ένας σχεδιασμός ενός καρδιοειδούς μικροφώνου χρησιμοποιεί έναν συνδιασμό στοιχείων ενός πανκατευθυντικού μικροφώνου και ενός δικατευθυντικού μικροφώνου (figure-8). Όταν ο ήχος έρχεται σε ευθεία αθροίζεται ταυτοχρόνως από τα στοιχεία και των πανκατευθυντικών και των δικατευθυντικών στοιχείων. Όταν ο ήχος έρχεται από τις πλευρές, τότε θα εισηχθεί αυτός στο μικρόφωνο μόνο μέσω των πανκατευθυντικών στοιχείων που διαθέτει. Όταν ο ήχος έρχεται από το πίσω μέρος του μικροφώνου θα έχει ένα θετικό σήμα από τα πανκατευθυντικά στοιχεία και ένα αρνητικό σήμα από τα δικατευθυντικά στοιχεία, με αποτέλεσμα να το «ακυρώνει» και κατά συνέπεια ο ήχος γίνεται μη ακουστός. Τα υπερκαρδιοειδή μικρόφωνα είναι παρόμοια με τα καρδιοειδή, απλώς έχουν ένα επίπεδο 100° επιπλέον για να λαμβάνουν ήχους. Οι πλευρές ενός υπερκαρδιοειδούς μικροφώνου μπορούν να «απομονώνουν» ήχους από τις πλευρές, είναι καλύτερα σε σχέση με τα καρδιοειδή σε ό,τι αφορά την ανατροφοδότηση του ήχου και συνιστά ως μια πολύ καλή επιλογή για έναν ήσυχο τραγουδιστή ή για την ηχογράφιση ήχων σε θορυβώδη περιβάλλοντα.

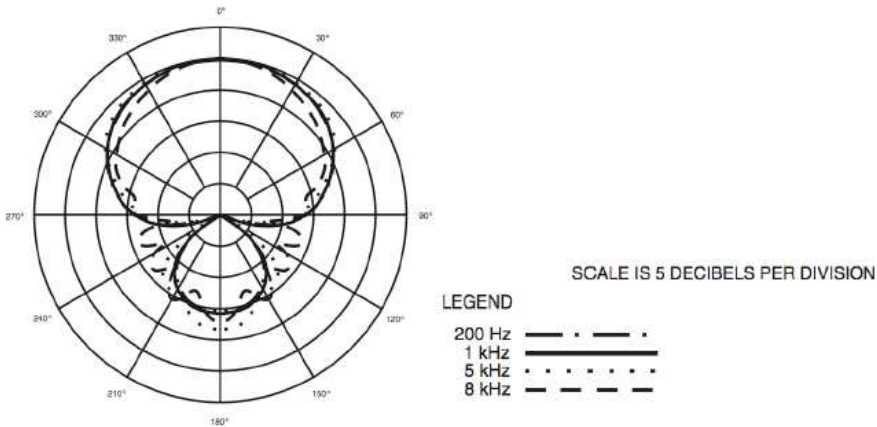


**Εικόνα: Απόκριση συχνότητας, πολικό διάγραμμα και απεικόνιση ενός κατευθυντικού (καρδιοειδούς) μικροφώνου (πηγή:<http://education.lenar daudio.com>)**



**Εικόνα: πολικό διάγραμμα ενός κατευθυντικού (καρδιοειδούς) μικροφώνου(πηγή:[www.inv ensense.com](http://www.inv ensense.com))**

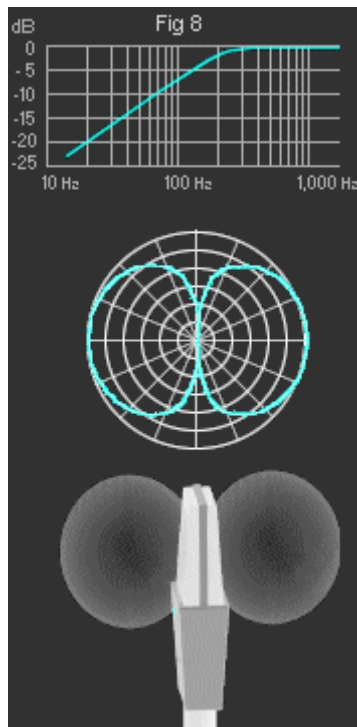




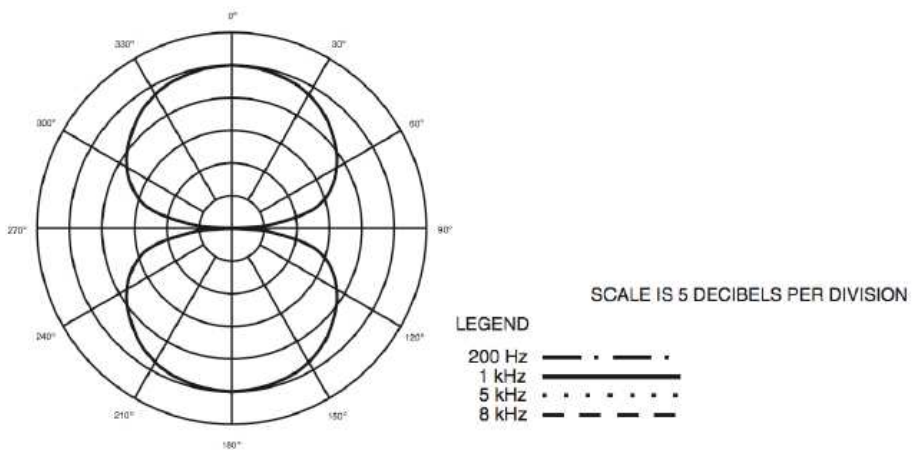
**Εικόνα: πολικό διάγραμμα ενός υπερκαρδιοειδούς μικροφώνου(πηγή:www.invensense.com)**

## **ΔΙΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΑ**

Τα δικατευθυντικά μικρόφωνα ή αλλιώς figure-8, έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν ήχους από εμπρός και πίσω και ταυτόχρονα να «ακυρώνει» τους ήχους από τα πλευρά. Από το παρακάτω πολικό διάγραμμα παρατηρούμε πως για τις διάφορες συχνότητες το διάγραμμα δεν αλλάζει και αυτό οφείλεται στην κάψουλα που υπάρχει μέσα στο μικρόφωνο (παρόμοια με τα πανκατευθυντικά), δίνοντας έναν ουδέτερο ήχο. Τα συναντάμε κυρίως στα ακουστικά (headset) και σε studio.



**Εικόνα: Απόκριση συχνότητας, πολικό διάγραμμα και απεικόνιση ενός δικατευθυντικού μικροφώνου (πηγή:<http://education.lenar daudio.com>)**



**Εικόνα: πολικό διάγραμμα ενός δικατευθυντικού μικροφώνου(πηγή:[www.invensense.com](http://www.invensense.com))**

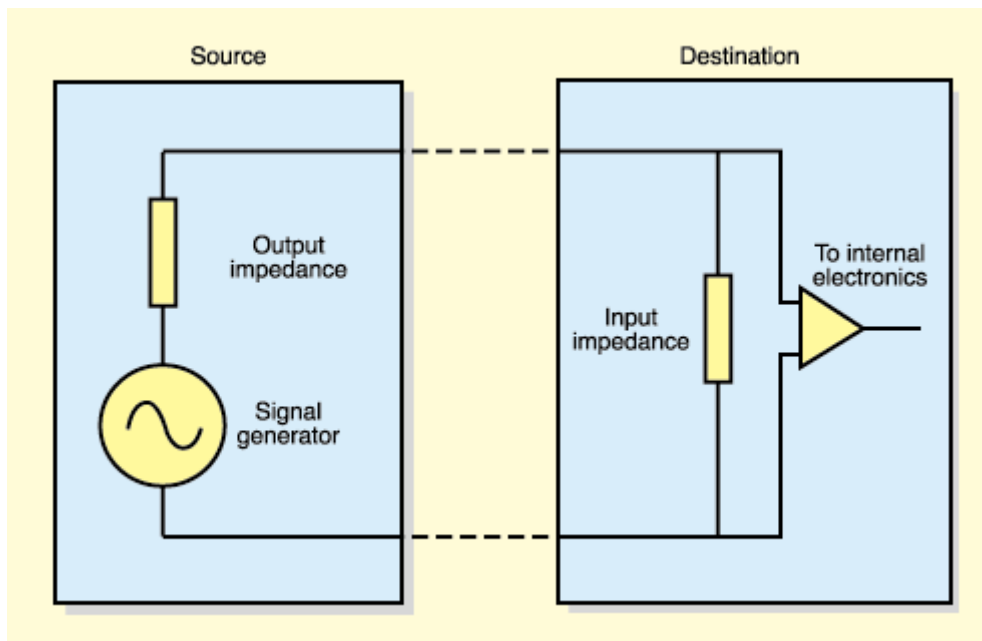
- **ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ**

Όταν ασχολούμαστε με μικρόφωνα, ένας παράγοντας που συχνά παρερμηνεύεται ή παραβλέπεται είναι η σύνθετη αντίσταση του μικροφώνου. Ίσως γιατί δεν αποτελεί ένας από τους σημαντικούς παράγοντες. Ωστόσο, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλύτερη ποιότητα του ήχου θα πρέπει να δοθεί προσοχή σε αυτό τον παράγοντα.

Η σύνθετη αντίσταση είναι η ηλεκτρική σύνθετη αντίσταση εξόδου και είναι συνδιασμός της ωμικής αντίστασης και της αντίδρασης που εισάγουν η χωρητικότητα και η αυτεπαγωγή του. Όλα τα μικρόφωνα έχουν μια προδιαγραφή που αναφέρεται στην σύνθετη αντίστασή τους, το οποίο είτε γράφεται πάνω στο μικρόφωνο είτε γράφεται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Υπάρχουν 3 κατηγορίες για την σύνθετη αντίσταση μικροφώνου.

- Χαμηλή αντίσταση (λιγότερο από 600Ω)
- Μεσαία αντίσταση (600Ω – 10000Ω)
- Υψηλή αντίσταση (μεγαλύτερη από 10000Ω)

Η υψηλή αντίσταση στα μικρόφωνα είναι συνήθως αρκετά φθηνή. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι δεν αποδίδουν καλά όταν το καλώδιο έχει μεγάλη απόσταση (συνήθως περίπου 5-10 μέτρα). Τα μικρόφωνα με χαμηλή αντίσταση δεν συνιστούν μια καλή επιλογή, αφού οι μικροφωνικές τους γραμμές δεν παραμένουν ανεπηρέαστες στην παρεμβολή ηλεκτροστατικών θορύβων.



**Εικόνα: Απεικόνιση της σύνθετης αντίστασης μεταξύ πηγής και κυκλώματος**

## **ΤΥΠΟΙ ΜΙΚΡΟΦΩΝΩΝ**

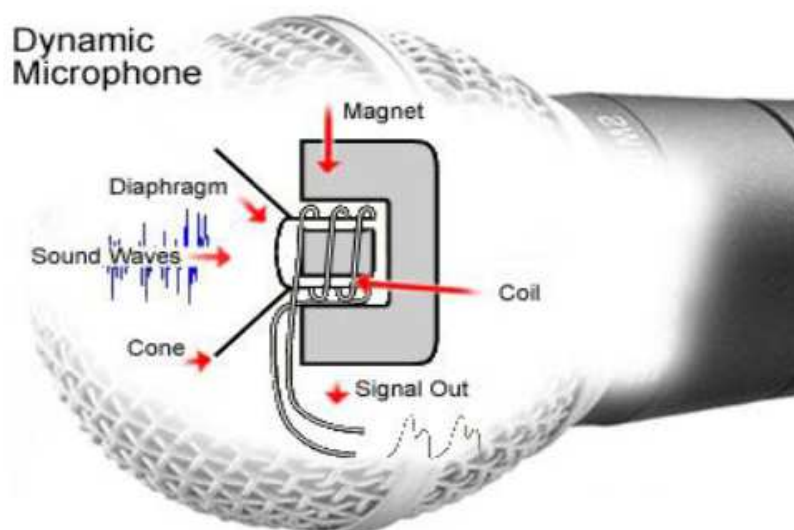
Όπως, λοιπόν, προαναφέραμε τα μικρόφωνα μετατρέπουν την ηχητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Ανάλογα με τη χρήση που θέλει να κάνει ο καθένας υπάρχουν μικρόφωνα που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή μουσικής, μιας ζωντανής παράστασης ή ακόμα και καταγραφής ηχητικών μετρήσεων για μια έρευνα. Η συντριπτική πλειοψηφία των μικροφώνων που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εφαρμογές είναι είτε με κάποιο πυκνωτή (ηλεκτροστατικά) είτε δυναμικά (ηλεκτρομαγνητικά) μοντέλα. Αμφότεροι και οι 2 τύποι χρησιμοποιούν ένα κινούμενο διάφραγμα για να συλλάβουν τον ήχο, αλλά χρησιμοποιούν άλλη αρχή για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ένα ηχητικό σήμα. Έτσι διακρίνουμε της εξής κατηγορίες μικροφώνων:

- Δυναμικά μικρόφωνα
- Πυκνωτικά μικρόφωνα
- Ηλεκτρετ μικρόφωνα

- Πιεζοηλεκτρικά ή κρυσταλικού τύπου

- **ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ**

Οι περισσότεροι από εμάς έχουμε χρησιμοποιήσει στη ζωή μας ένα δυναμικό μικρόφωνο. Χρησιμοποιούνται κατ'έξοχήν σε ζωντανούς ήχους, σε συναυλίες και σε στούντιο. Έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι σχετικά φθηνά και ανθεκτικά και για να μπορέσουν να λειτουργήσουν δεν χρειάζονται τροφοδοτικό ή μπαταρίες. Τα μικρόφωνα αυτά αποτελούνται από ένα πηνίο στερεωμένο πάνω σε μια εύκαμπτη μεμβράνη. Ένα ελαφρύ διάφραγμα συνήθως κατασκευασμένο από πλαστικό φιλμ, προσαρμοσμένο πάνω σε ένα μικρό πηνίο από σύρμα και αιωρείται σε ένα μόνιμο πεδίο μαγνήτη. Όταν ένας ήχος «αναγκάζει» το διάφραγμα να δονηθεί, η όλη διάταξη λειτουργεί σαν μια «μινιατούρα» γεννήτριας ηλεκτρικής ενέργειας παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή η ηλεκτρική έξοδος είναι πολύ μικρή, ενισχύεται με τη βοήθεια ενός προενισχυτή.

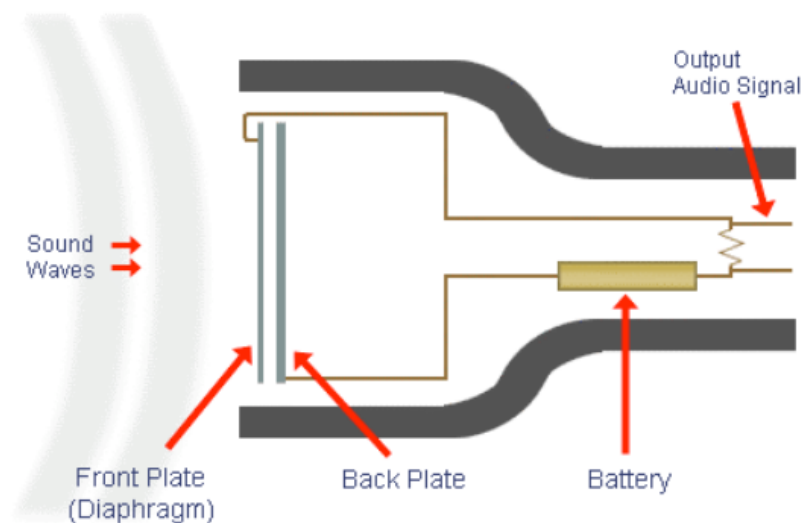


**Εικόνα: Απεικόνιση του εσωτερικού ενός δυναμικού μικροφώνου (πηγή: [microphones.audiolinks.com](http://microphones.audiolinks.com))**

Βασικό πλεονέκτημα των δυναμικών μικροφώνων είναι ότι είναι σχετικά φθηνά σε σύγκριση με άλλα μικρόφωνα. Η κύρια αδυναμία των δυναμικών μικροφώνων έγκειται στο γεγονός ότι η ηχητική ενέργεια κινείται στο μικρόφωνο τόσο στο διάφραγμα του μικροφώνου όσο και στο πηνίο που είναι τυλιγμένο πάνω σε αυτό. Η μάζα του πηνίου, αυξάνει την αδράνεια του διαγράμματος, με αποτέλεσμα να περιορίζει την απόκριση συχνότητας του μικροφώνου. Στην πράξη αυτό μεταγράφεται ως αποτυχία του μικροφώνου να αναπαράγει πολυ υψηλές συχνότητες με ακρίβεια. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα, έχει να κάνει με το διάφραγμα και το πηνίο που είναι προσαρμοσμένο πάνω του. Απαιτείται ενίσχυση αρκετή για να κάνει το πλάτος του σήματος μεγάλο. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα, διότι η περισσότερη ενίσχυση, προσθέτει περισσότερο θόρυβο στο σήμα. Επιπλέον, ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι μικρόφωνα τέτοιου τύπου είναι η χαμηλή σύνθετη αντίσταση 50-200Ω και κατ' επέκταση επηρεάζονται από ισχυρά πεδία που μπορεί ενδεχομένως να δημιουργούνται από μετασχηματιστές ισχύος ή ηλεκτρομαγνήτες.

## • ΠΥΚΝΩΤΙΚΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ

Τα πυκνωτικά μικρόφωνα στηρίζουν τη λειτουργία τους στη μεταβολή της χωρητικότητας ενός πυκνωτή καθώς προσπίπτουν τα ηχητικά κύματα σε αυτόν. Η «καρδιά» του κάθε πυκνωτικού μικροφώνου είναι ένα ζεύγος από αγώγιμες πλάκες με σταθερή απόσταση μεταξύ τους, με τη μορφή ενός κινούμενου διαγράμματος. Όταν η απόσταση μεταξύ των αγώγιμων πλακών μεταβληθεί, η χωρητικότητα μεταβάλλεται, και αν ένα σταθερό ηλεκτρικό φορτίο εφαρμόζεται στον πυκνωτή, ένα ηλεκτρικό σήμα παράγεται που αντιπροσωπεύει πιστά τη δόνηση του διαγράμματος. Και αυτό γιατί η χωρητικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση των οπλισμών του πυκνωτή, η πρόσκρουση του ήχου σε ένα μικρόφωνο πυκνωτού έχει σαν συνέπεια την μεταβολή της χωρητικότητας του πυκνωτή που βρίσκεται στο εσωτερικό του αναλογικά με το ηχητικό κύμα που φτάνει σ' αυτόν.

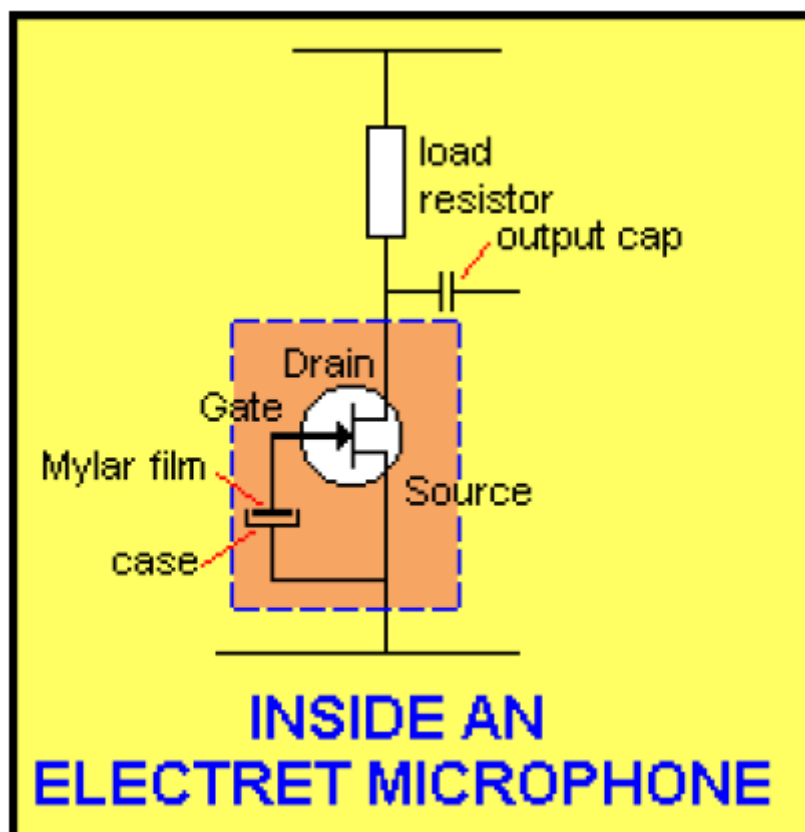


**Εικόνα: Το εσωτερικό ενός πυκνωτικού μικροφώνου(πηγή:www.mediacollege.com)**

Η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι πολύ μικρή, γύρω στα 30-40pF, ενώ μικρή είναι και η μεταβολή της χωρητικότητας και όχι μεγαλύτερη από 10%. Σε αυτό οφείλεται και το ασθενές σήμα στην έξοδο του πυκνωτή. Γι αυτό στο εσωτερικό του μικροφώνου υπάρχει και ένα τρανζίστορ τύπου FET, το οποίο έχει μεγάλη αντίσταση εισόδου για την ενίσχυση του σήματος του πυκνωτή. Κατ' επέκταση απαιτείται ένας ειδικός τύπος προενισχυτή μικροφώνου και αυτός είναι ένας παράγοντας που συμβάλει στην αύξηση του κόστους σε σύγκριση με τα δυναμικά μικρόφωνα. Επίσης, όλα τα πυκνωτικά μικρόφωνα χρειάζονται κάποια τάση προκειμένου να λειτουργήσουν. Η πιο συχνή τάση εισόδου είναι μια τάση «phantom power 48V». Σε γενικές γραμμές τα πυκνωτικά μικρόφωνα είναι πιο ακριβά από τα δυναμικά μικρόφωνα, είναι πιο ευαίσθητα συγκριτικά με τα δυναμικά μικρόφωνα (περίπου κατά 15 db) και η αναλογία σήματος/θορύβου είναι καλή.

## • ΕΛΕΚΤΡΕΤ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ

Υπάρχει ένας άλλος τύπος μικροφώνου, που είναι υποκατηγορία των πυκνωτικών μικροφώνων γνωστή ως μικρόφωνα ηλεκτρέτ. Η διαφορά με τα πυκνωτικά μικρόφωνα έγκειται στο γεγονός ότι αντί να εφαρμόζεται μια σταθερή τάση στην κάψουλα του μικροφώνου μέσω μιας εξωτερικής τάσης, χρησιμοποιούν ένα διάφραγμα κατασκευασμένο από ένα μονωτικό υλικό το οποίο έχει ένα μόνιμο ηλεκτρικό φορτίο. Στην πραγματικότητα τα μικρόφωνα ηλεκτρέτ δεν προσφέρουν κάποιο πραγματικό πλεονέκτημα έναντι των δυναμικών μικροφώνων, διότι το διάφραγμα είναι αρκετά βαρύ εξαιτίας του μόνιμου φορτίου που έχει. Τι γίνεται όμως αν το μόνιμα φορτισμένο υλικό δεν ήταν στερεωμένο στο διάφραγμα, αλλά αντ' αυτού με το σταθερό πίσω μέρος της πλάκας. Με αυτό τον τρόπο πολύ λεπτότερα διαφράγματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατασκευασμένο από το ίδιο υλικό ως ένα πραγματικό μοντέλο πυκνωτή.

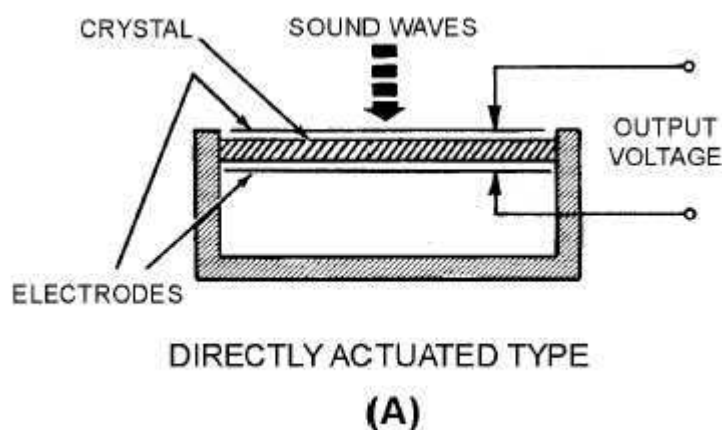


**Εικόνα: Το εσωτερικό ενός ηλεκτρέτ μικροφώνου(πηγή:www.electro-tech-online.com)**



- **ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ**

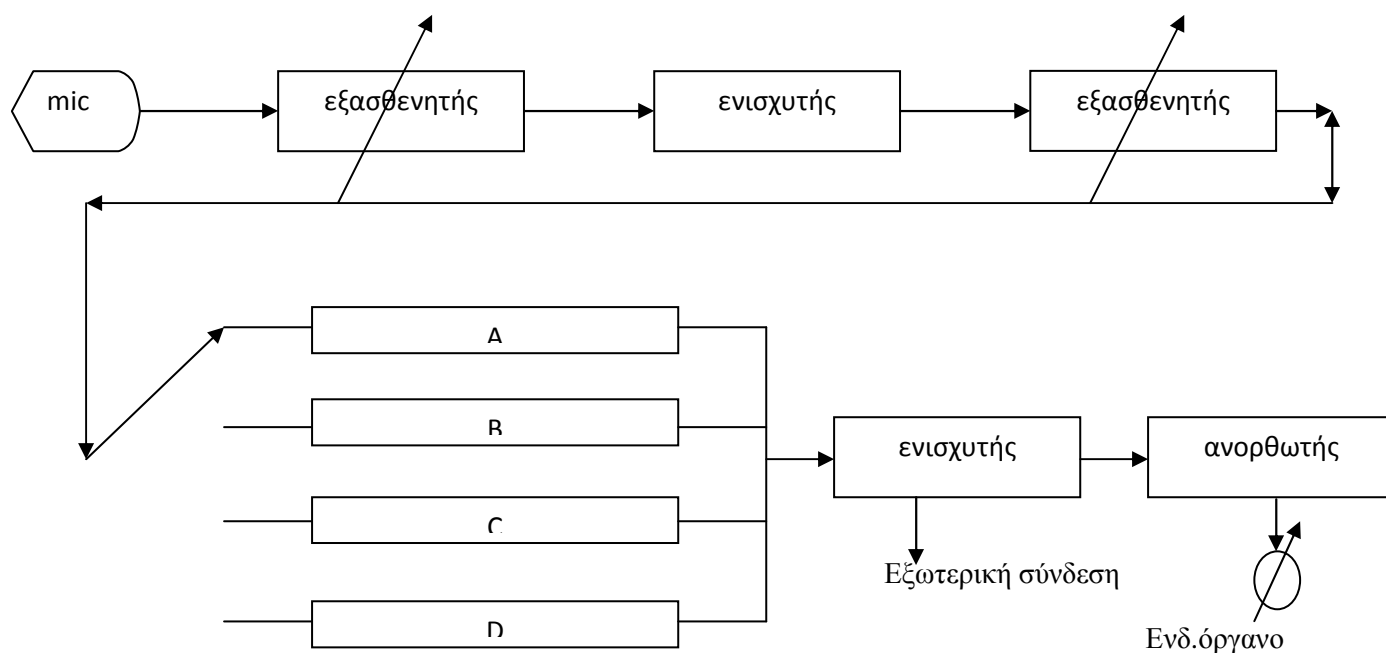
Ορισμένοι κρύσταλλοι (π.χ χαλαζίας) φορτίζονται και παράγουν τάσεις όταν συμπιεστούν, ταρακουνηθούν ή παραμορφωθούν. Τέτοιου είδους κρύσταλλοι ονομάζονται πιεζοηλεκτρικοί. Αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μετατροπείς μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την κατασκευή μικροφώνων. Τα πιεζοηλεκτρικά μικρόφωνα χρησιμοποιούν μια λεπτή λουρίδα πιεζοηλεκτρικού υλικού, το οποίο είναι συνδεδεμένο με ένα διάφραγμα. Οι δυο πλευρές του κρυστάλλου αποκτούν αντίθετη φόρτιση όταν ο κρύσταλλος πάλλεται από το διάφραγμα. Οι φορτίσεις είναι ανάλογες προς το ποσό παραμόρφωσης και εξαφανίζονται όταν πάψει να ασκείται πίεση στο κρύσταλλο. Το σήμα που παράγουν στην έξοδο είναι αρκετά ισχυρό, ωστόσο η απόκριση συχνότητας του μικροφώνου δεν είναι συγκρίσιμη με αυτή ενός δυναμικού μικροφώνου.



**Εικόνα: Απεικόνιση του εσωτερικού ενός πιεζοηλεκτρικού μικροφώνου (πηγή:electriciantraining.tpub.com)**

## ΗΧΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Το πρώτο σημαντικό βήμα για τον έλεγχο του θορύβου είναι η ακριβής μέτρηση της ηχητικής του στάθμης. Επειδή ο θόρυβος παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία στα χαρακτηριστικά του, οι μέθοδοι μέτρησης και εκτίμησης είναι πολλές και χρειάζεται προσοχή στην επιλογή τους και στον τρόπο που ερμηνεύονται τα τελικά αποτελέσματα. Το δεσπόζον όργανο στις μετρήσεις του ήχου είναι το ηχόμετρο.



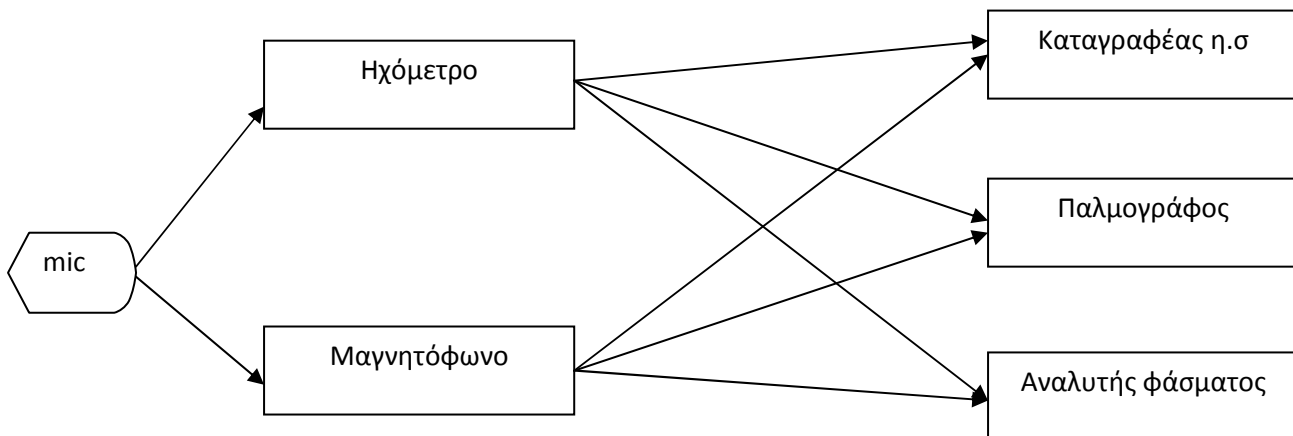
**Εικόνα: Διαγραμματική διάταξη τυπικού ηχομέτρου (πηγή: ΗΧΟΣ & Hi Fi, Οκτώβριος 1983)**

Το ηχητικό κύμα του θορύβου μετατρέπεται σε ηλεκτρικό, το οποίο αρχικά ενισχύεται από τον πρώτο ενισχυτή και μετα οδηγείται από επιλεγμένο κύκλωμα στάθμισης. Ο πρώτος εξασθενητής χρησιμοποιείται για να εμποδίζει τυχόν υπερφόρτωση του πρώτου ενισχυτή (συνήθως) υψηλού κέρδους από υψηλές στάθμες θορύβου. Ο δεύτερος εξασθενητής ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε το ενδεικτικό όργανο να δίνει σωστές

ενδείξεις για ηχητικές πιέσεις γνωστές εκ των προτέρων (βαθμονόμηση). Στη συνέχεια, το σταθμισμένο σήμα ενισχύεται πάλι και οδηγείται στην εξωτερική σύνδεση ή στον ανορθωτή και από εκεί στο ενδεικτικό όργανο.

Ανεξάρτητα από τον αν πρόκειται για συμβατή βελόνα ή ψηφιακό display, ο μηχανισμός ενδείξεων του ηχόμετρου, πάντα παρουσιάζει μια αδράνεια, ένα μικρό χρόνο, μια σταθερά χρόνου στις γρήγορες μεταβολές της κυματομορφής του θορύβου. Επιπλέον το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να παρακολουθεί τις πολύ γρήγορες μεταβολές των ενδείξεων. Συνήθως σε ένα ηχόμετρο υπάρχει η επιλογή μεταξύ τριών σταθερών χρόνου ή βαθμών απόσβεσης. Ανάλογα το ηχόμετρο, χαρακτηρίζεται σαν (αργό ή γρήγορο) «μέσης τιμής», «παλμικό» και «κορυφής».

Το ηχόμετρο συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδιασμό με κάποιο μηχάνημα καταγραφής, π.χ με κάποιο ειδικό παλμογράφο που έχει τη δυνατότητα να αναπαράγει μια μόνιμη εγγραφή της κυματομορφής του θορύβου ή με αναλυτή φάσματος (spectrum analyser) για την φασματική ανάλυση του θορύβου. Για μετρήσεις εκτός του εργαστηρίου, συνήθως χρησιμοποιείται ένα ειδικό μαγνητόφωνο, που παρουσιάζουν υψηλή γραμμικότητα, εκτεταμένη απόκριση συχνότητας, πολύ χαμηλές στάθμες εσωτερικού θορύβου και δεν απαιτούν βαθμονόμηση.



**Εικόνα: Γενικευμένο σύστημα για μετρήσεις θορύβου (πηγή: ΗΧΟΣ & Hi Fi)**

Στην πτυχιακή εργασία που πραγματοποίησα, επειδή δεν είχαμε την δυνατότητα να έχω όλα τα απαραίτητα όργανα, οι μετρήσεις που πάρθηκαν έγιναν με τη βοήθεια ενός πυκνωτικού μικροφώνου DBx, ενός ηχόμετρου αναλογικού (με ένδειξη βελόνας), μιας κάρτας ήχου Focusrite

scarlet 2i2 και ενός software πακέτου της εταιρείας YMEC που ονομάζεται DSSF3, το οποίο πακέτο περιλαμβάνει ένα real-time analyser, ένα environmental noise measurement και ένα sound analyser.

Στα παρακάτω γραφήματα τα SPL meter έχουν αρνητική κλίμακα. Όταν γίνεται η βαθμονόμηση του μικροφώνου (calibration) αναγνωρίζει ως 0 db, τη μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει το μικρόφωνο (από τα datasheet 110db ). Το μικρόφωνο επιπλέον είναι πυκνωτικό, πανκατευθυντικό και με σύνθετη αντίσταση 250 Ω. ( πηγή: <https://www.audiomarket.com.ve> )

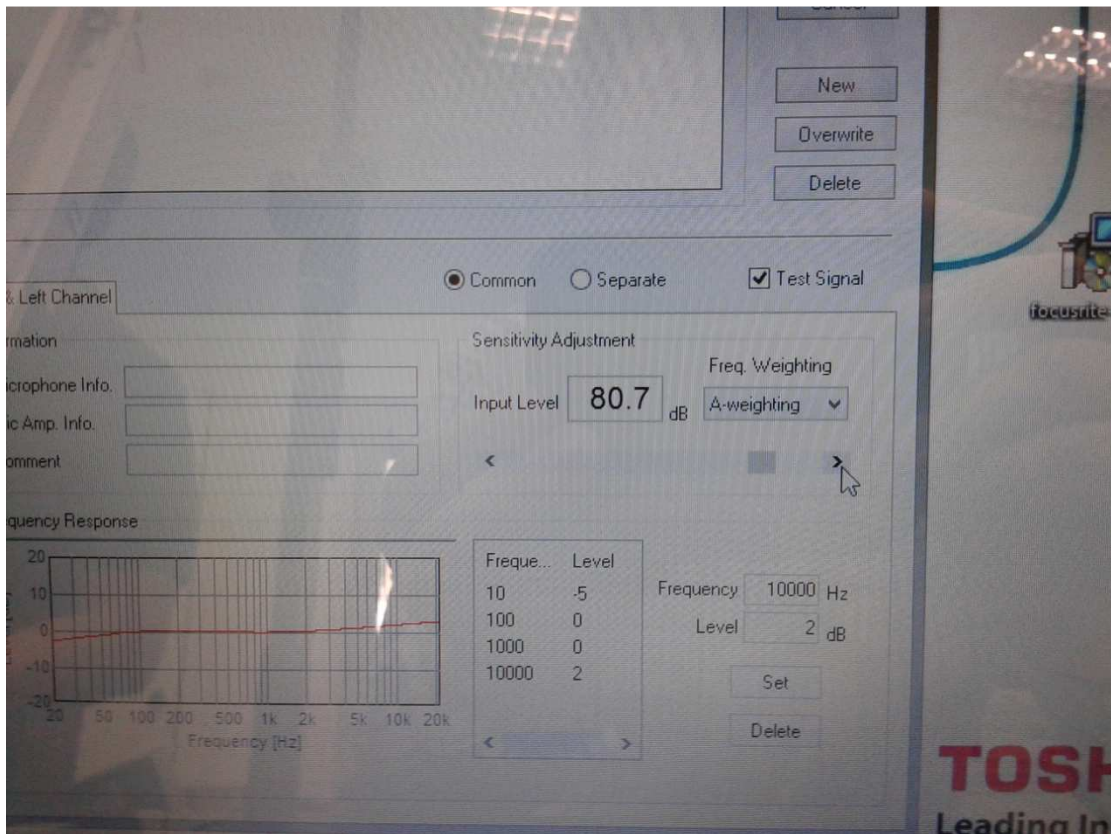
Σκοπός των μετρήσεων είναι:

- Καταγραφή ηχητικής στάθμης
- Εξαγωγή συμπερασμάτων για το πόσο ένα περιβάλλον είναι θορυβώδες
- Μέτρα που μπορούν να παρθούν εφόσον ένα περιβάλλον είναι θορυβώδες.

Η διαδικασία που ακολούθησα για να πάρω τις μετρήσεις ήταν η εξής:

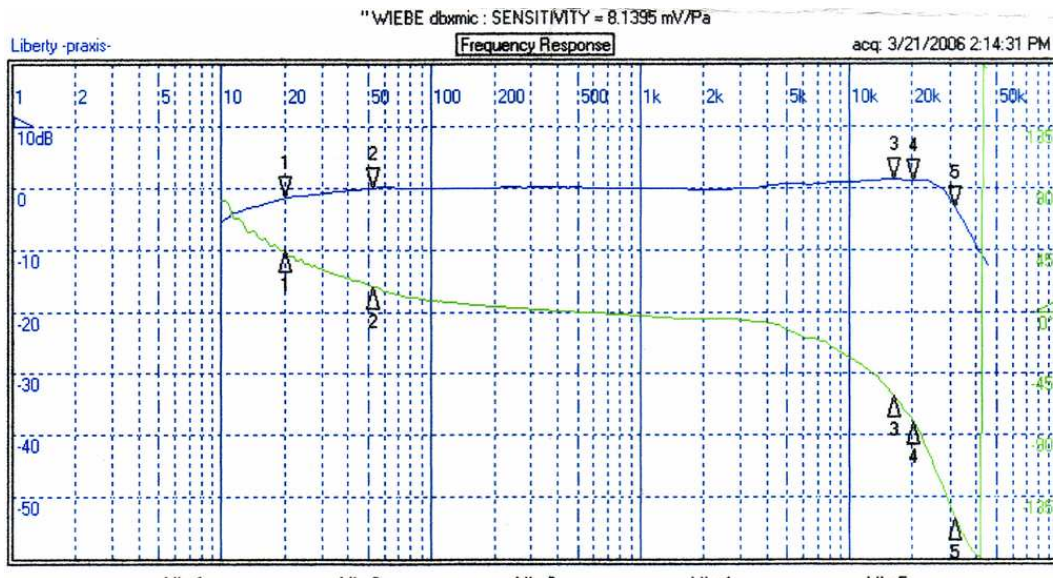
- Σύνδεση της κάρτας ήχου Focusrite στον υπολογιστή
- Σύνδεση του πυκνωτικού μικροφώνου στην κάρτα ήχου
- Βαθμονόμηση (calibration) του πυκνωτικού μικροφώνου

Υπάρχουν 2 τρόποι για να βαθμονομήσει κανείς ένα μικρόφωνο. Ο ένας τρόπος είναι με τη βοήθεια ενός ηχομέτρου και μιας ηχητικής πηγής. Η ηχητική πηγή παράγει έναν ήχο στα 80db στο 1KHz. Το ηχόμετρο είναι ακριβώς δίπλα από το πυκνωτικό μικρόφωνο, ρυθμίζουμε το ηχόμετρο να μετράει στα 80db και από δίπλα με το μικρόφωνο και με τη βοήθεια του πακέτου YMEC ρυθμίζουμε το μικρόφωνο έτσι ώστε να μετράει ταυτόχρονα 80db όπως και το ηχόμετρο. Έτσι με αυτό τον τρόπο το μικρόφωνο βαθμονομείται και μετράει κανονικά τις ηχητικές πιέσεις όπως θα μετρούσε ένα ηχόμετρο. Ο δεύτερος τρόπος για να βαθμονομηθεί ένα μικρόφωνο είναι με τη βοήθεια ενός πιστοφώνου (επιταχυνσιόμετρο). Αυτό τοποθετείται στο μικρόφωνο και παράγει έναν ήχο 124db στα 250Hz. Ο όποιος εξωτερικός θόρυβος δεν επηρεάζει την διαδικασία της βαθμονόμησης και το μόνο που απαιτείται είναι να ταιριάζει η υποδοχή του πιστοφώνου με το μικρόφωνο. Το μικρόφωνο τοποθετείται πάνω σε ένα τρίποδο και περίπου στο ύψος του αυτιού.

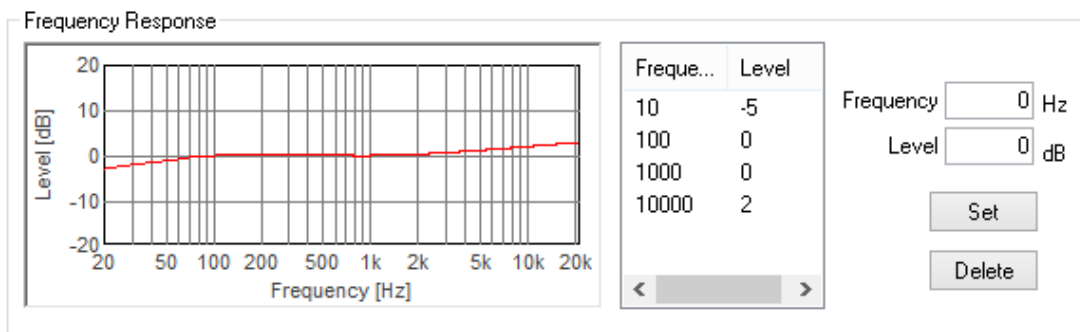


**Εικόνες: Βαθμονόμηση μικροφώνου**

Επέλεξα τον 1<sup>ο</sup> τρόπο για να βαθμονομήσω το μικρόφωνό μου. Στο πρόγραμμα του real-time analyser, την ώρα της βαθμονόμησης πέρασα και την απόκριση συχνότητας του μικροφώνου, όπως ήταν από το datasheet του μικροφώνου.



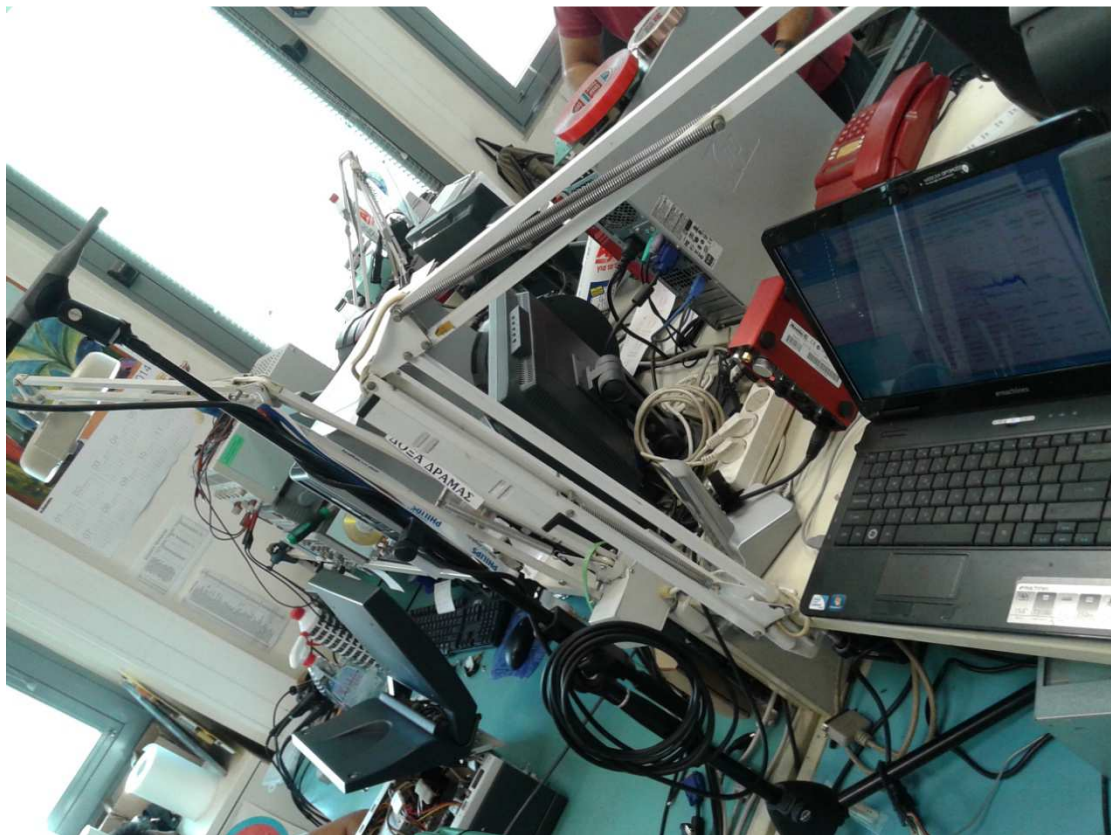
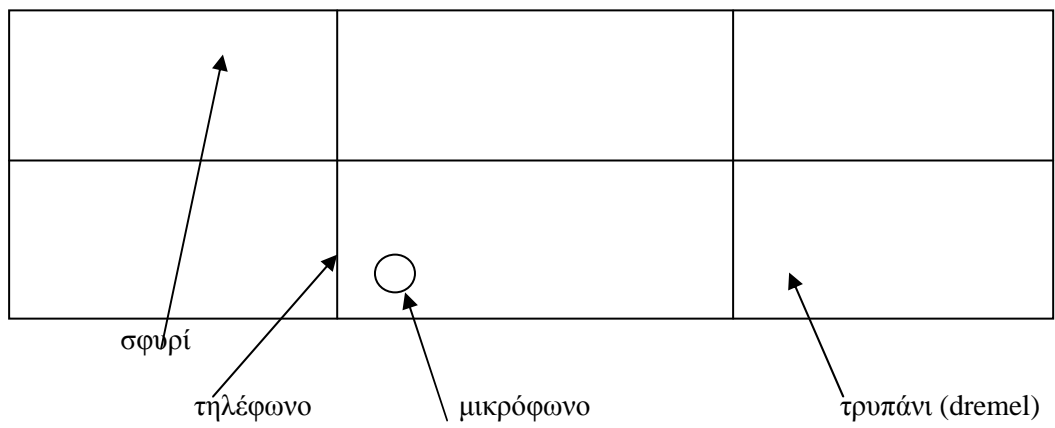
**Εικόνα: Απόκριση συχνότητας του μικροφώνου (πηγή: [http://www.audiorail.com/dbx\\_RT-M.gif](http://www.audiorail.com/dbx_RT-M.gif))**



**Εικόνα: Εφαρμογή της απόκρισης συχνότητας του μικροφώνου στο πρόγραμμα**

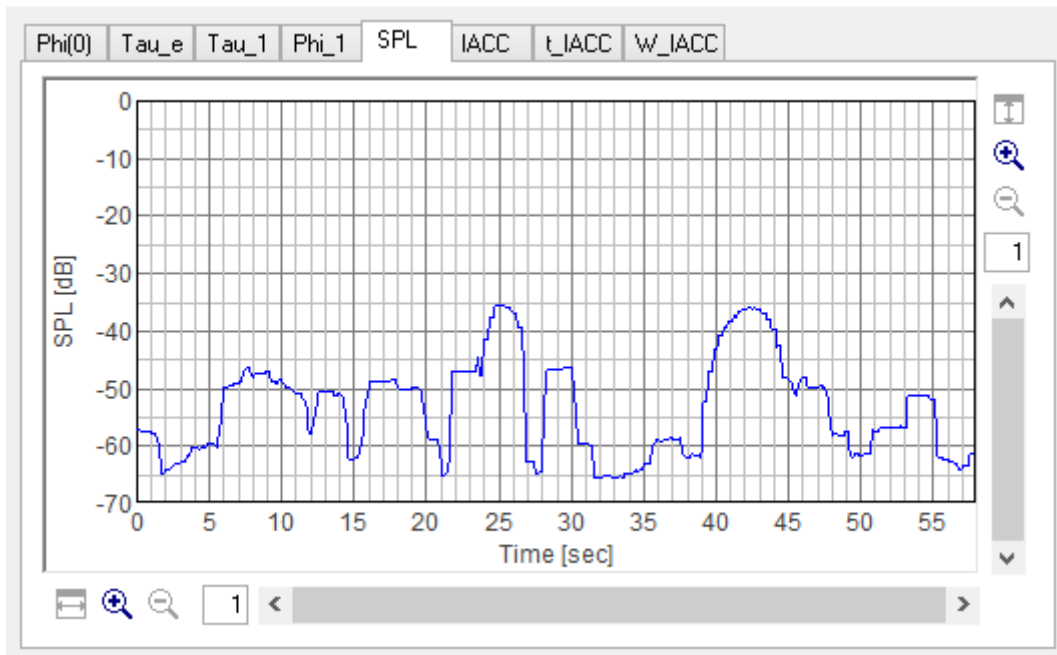
## **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΣ INTRACOM**

Ένα τυπικό σχεδιάγραμμα του χώρου του εργαστηρίου της intracom όπου πήρα τις μετρήσεις:



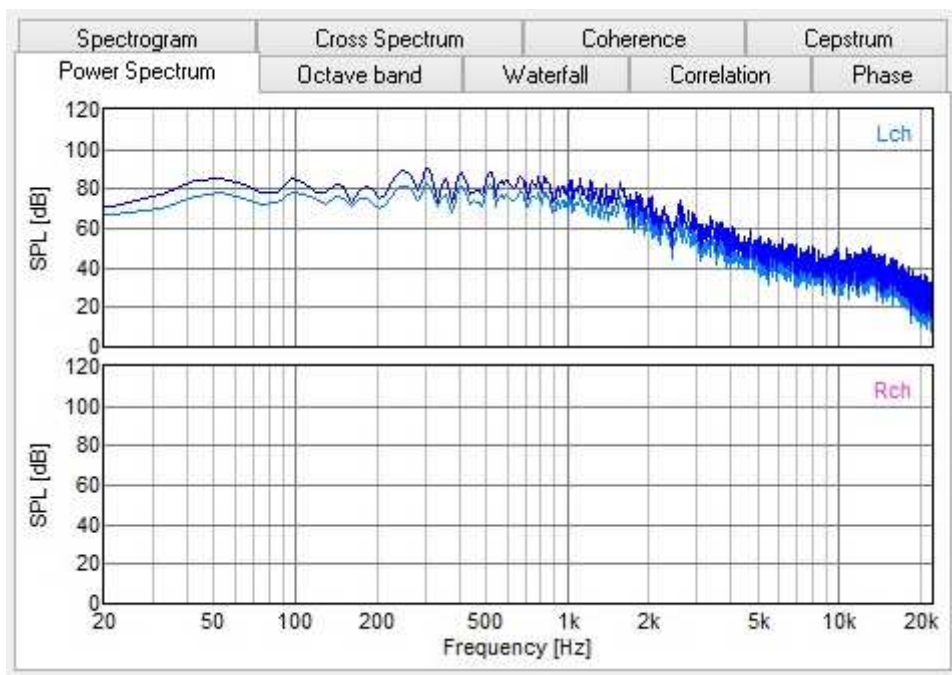
**Εικόνα: Μετρήσεις στο εργαστήριο της intracom**

Παίρνοντας μετρήσεις στο εργαστήριο της intracom πήρα μετρήσεις όταν ένας συνάδελφος χτυπούσε με ένα σφυρί στο πάγκο εν ώρα εργασίας.



Με τη βοήθεια του Environmental Noise Measurement, έχουμε max SPL= -35,5db (74,5 db) και min SPL= -65.5db (44.5db)

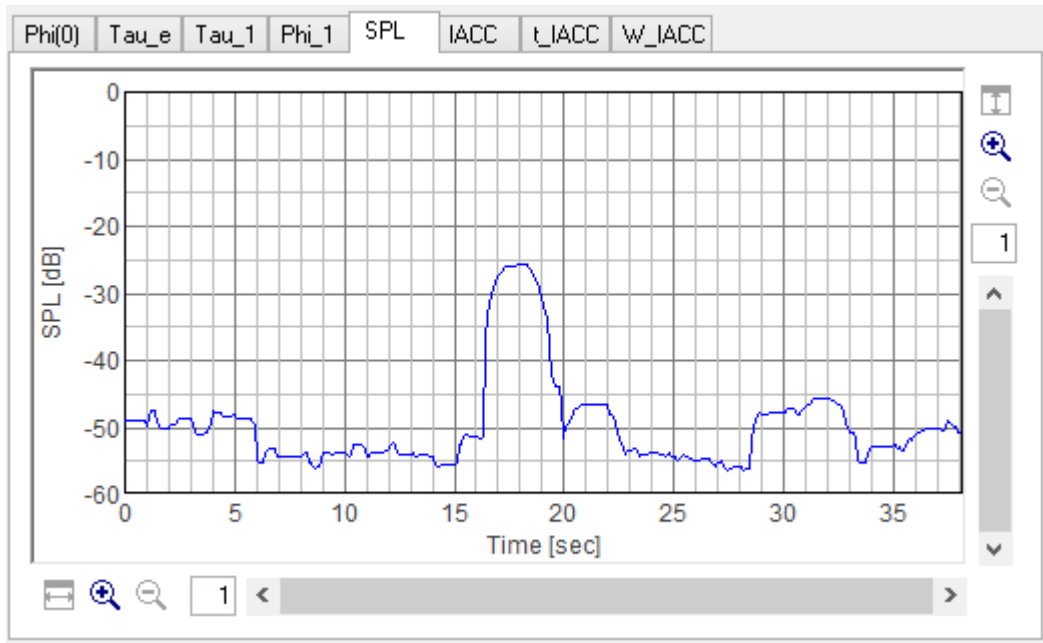
Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει το ακουστικό φάσμα συχνοτήτων την ώρα που χτύπαγε το σφυρί.





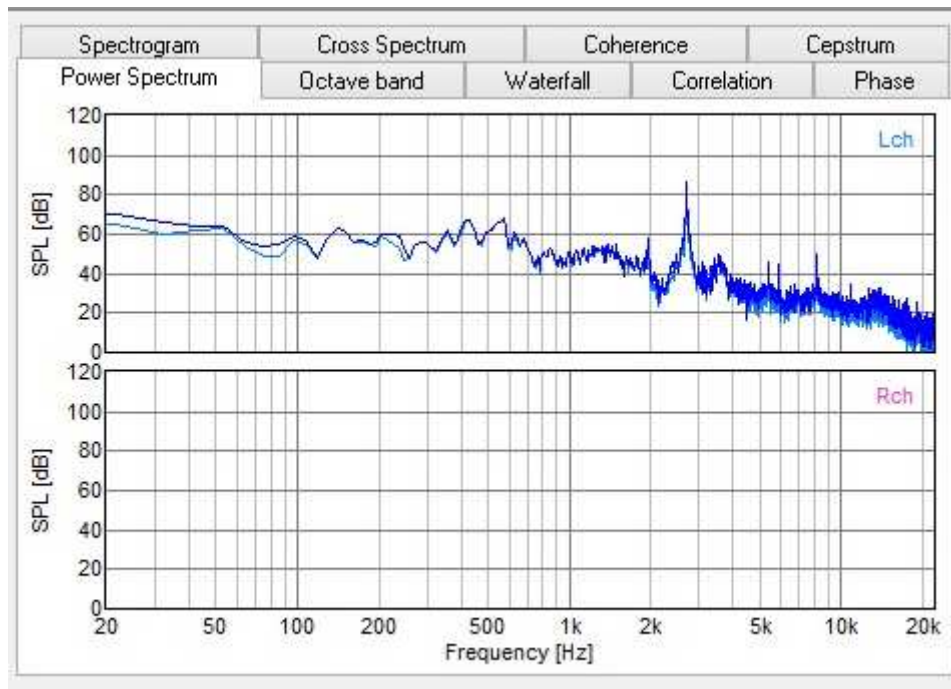
Από αυτό το γράφημα παρατηρού ότι η μεγαλύτερη ποσότητα θορύβου ηχητικής πίεσης σε db συγκεντρώνεται περισσότερο στη μεσαία περιοχή.

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει μια μέτρηση που πάρθηκε την ώρα που χτύπαγε το τηλέφωνο.



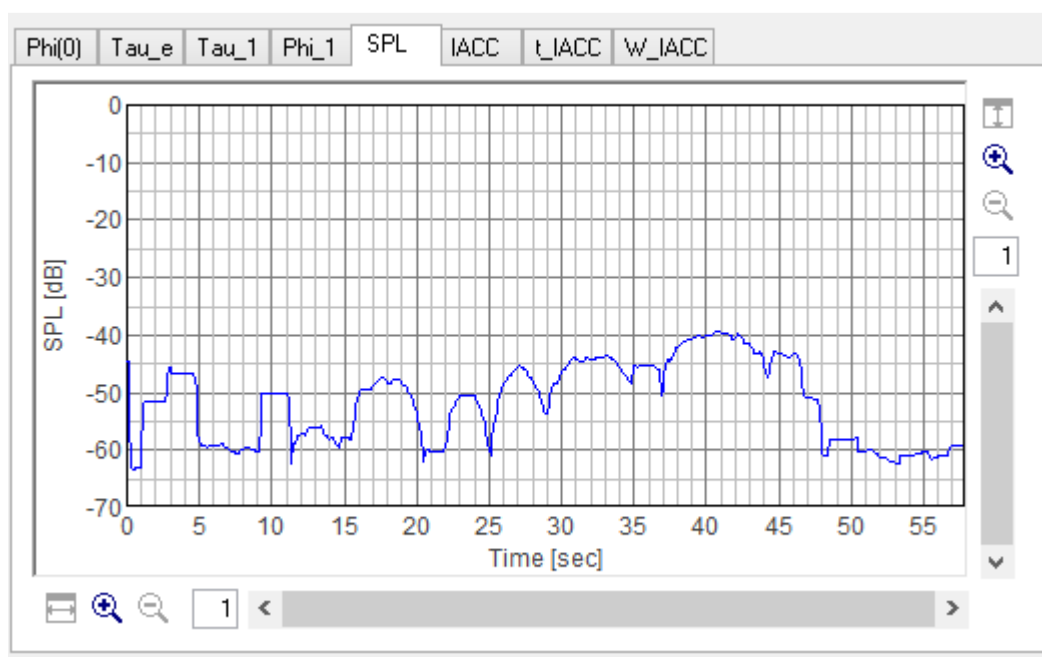
Με τη βοήθεια του Environmental Noise Measurement, έχουμε max SPL= -25,7db (84,3db) και min SPL= -56,2db (53,8db)

Παρουσιάζουμε και ένα γράφημα με το φάσμα συχνοτήτων την ώρα που χτύπαγε το τηλέφωνο.

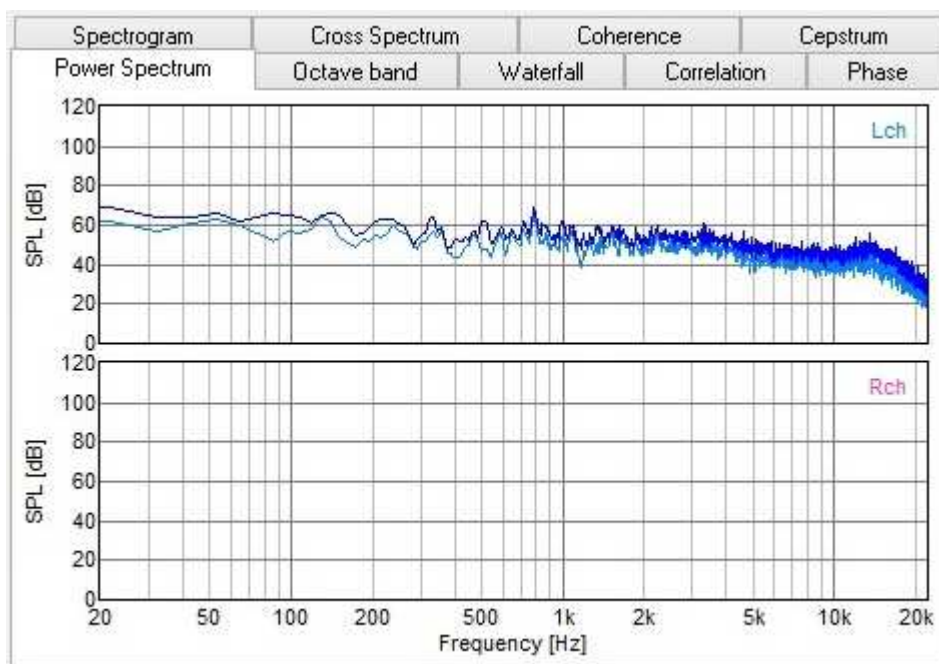


Ο λόγος που πήρα το παρακάτω γράφημα είναι για να παρατηρήσουμε σε ποια συχνότητα εμφανίζεται η μεγαλύτερη στάθμη ηχητικής πίεσης, που είναι λίγο πιο πάνω από τα 2,4KHz.

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη στάθμη ηχητικής πίεσης την ώρα που δούλευε ένα τρυπάνι (dremel).



Με τη βοήθεια του προγράμματος παρατηρούμε ότι έχουμε μια μέγιστη τιμή  $\max \text{ db} = -39.2 \text{ db}$  (70,7db) και χαμηλότερη τιμή  $\min \text{ db} = -62.2 \text{ db}$  (47.8 db).



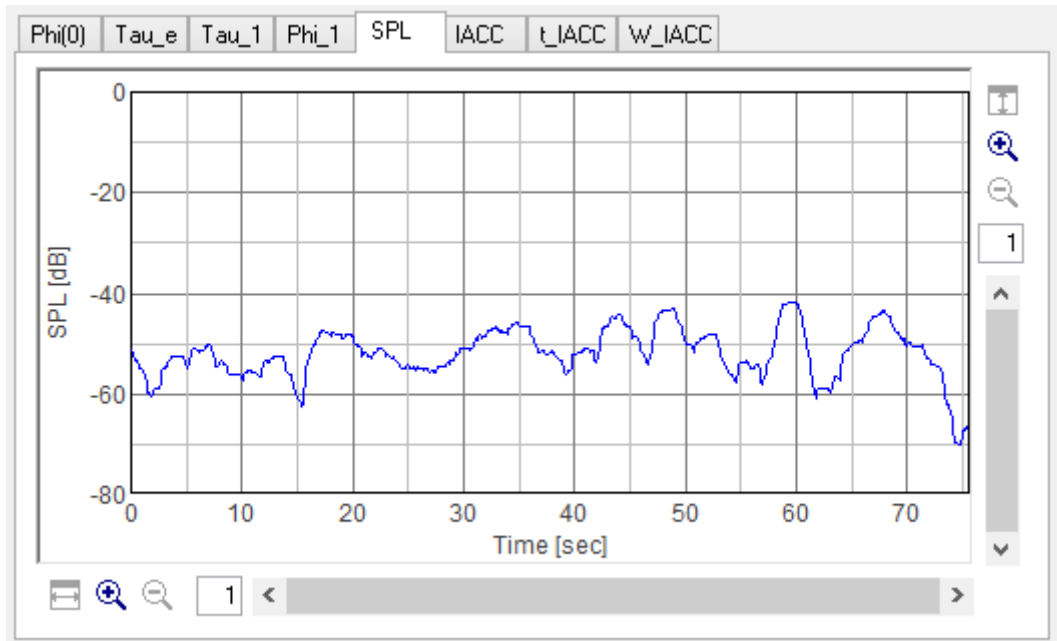
Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει το φάσμα συχνοτήτων την ώρα που λειτουργούσε το τρυπάνι. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι ο θόρυβος κατανέμεται σε όλο το ακουστικό φάσμα των συχνοτήτων από το 20Hz μέχρι τα 20KHz.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**

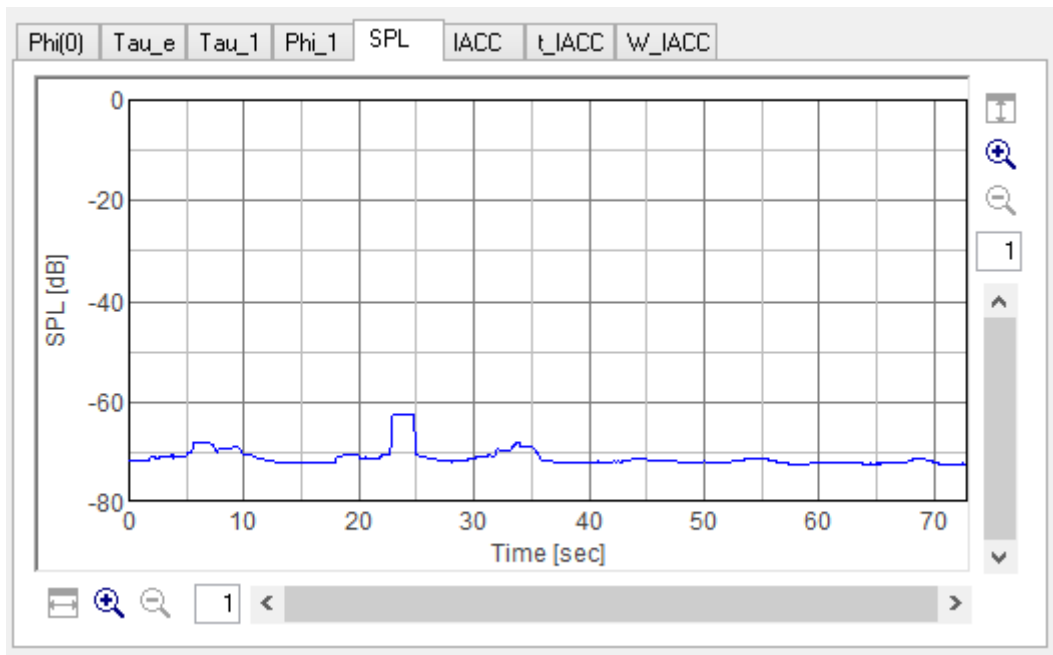
Η καταγραφή των στάθμεων ηχητικής πίεσης είναι εξαιρετικές, αν αναλογιστεί κανείς, όπως προαναφέραμε, ότι για 8 ώρες εργασίας το μέγιστο που μπορεί να δέχεται ένα ανθρώπινο αυτί είναι 90db. Άλλωστε είχα ενημερωθεί από τον υπεύθυνο του εργαστηρίου ότι το εργαστήριο και γενικά όλο το κτηριακό συγκρότημα είναι κατασκευασμένα βάσει ευρωπαϊκών προτύπων.

## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΓΡΑΦΕΙΟ ΤΟΥ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ

Έγιναν μετρήσεις και στο γραφείο του κυρίου δροσινόπουλου κάνοντας μια σύγκριση των επιπέδων ηχητικής πίεσης με ομιλία και χωρίς ομιλία μόνο με τον ήχο που παρήγαγαν οι όποιες ηλεκτρικές συσκευές υπήρχαν στο γραφείο.



Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει τις στάθμες ηχητικών πιέσεων στο γραφείο του καθηγητή με ομιλία. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε είναι  $\max \text{ db} = -41.8 \text{ db}$  ( $68.2 \text{ db}$ ) και μικρότερη τιμή  $\min \text{ db} = -70.1 \text{ db}$  ( $39.9 \text{ db}$ ).



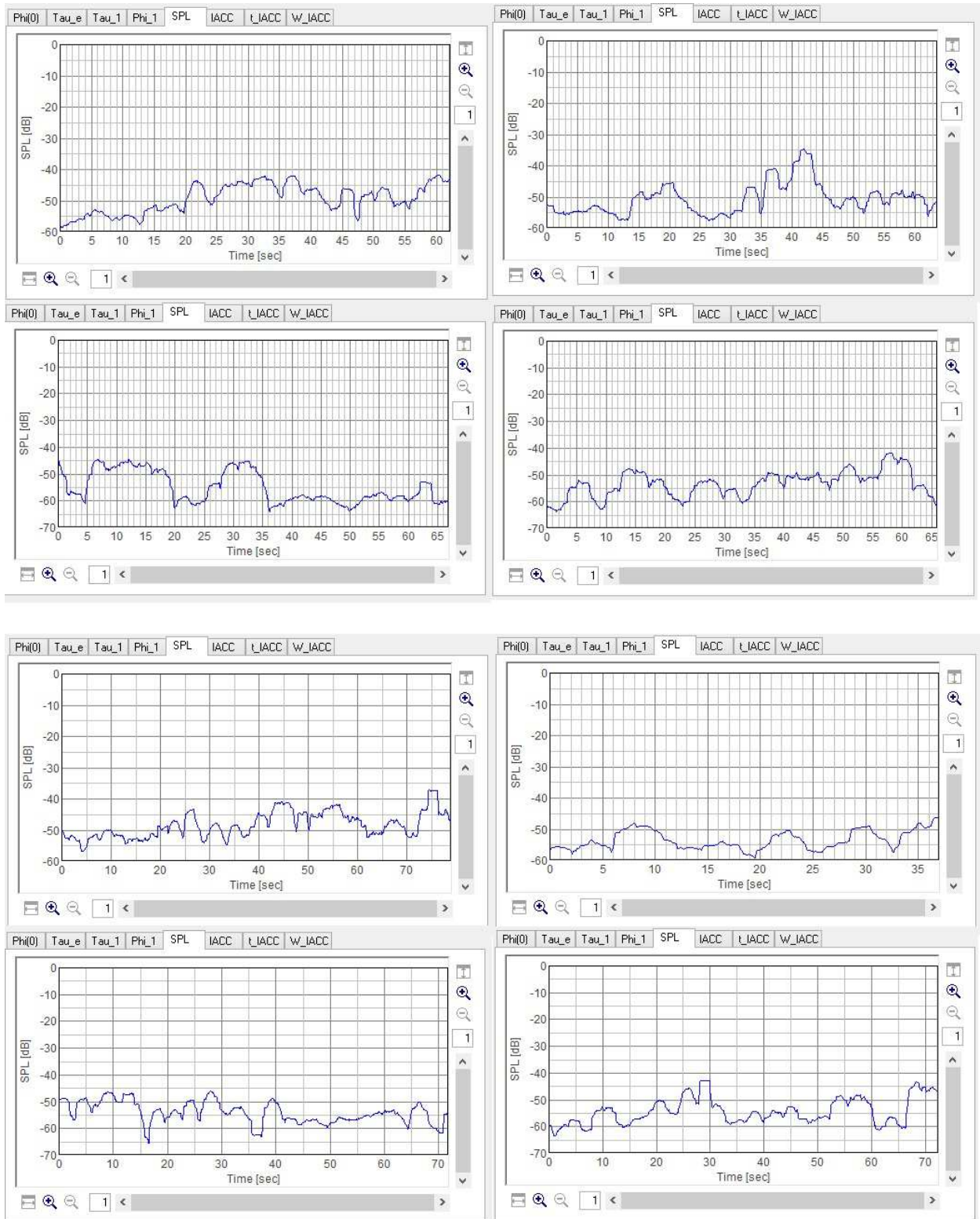
Το παραπάνω γράφημα είναι οι μετρήσεις που πήρα στο γραφείο του καθηγητή χωρίς ομιλία. Ο μόνος θόρυβος που υπήρχει ήταν μόνο από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που ήταν ανοιχτός και όποια άλλη ηλεκτρική συσκευή ήταν εκείνη την ώρα σε λειτουργία. Η μέγιστη τιμή που πήραμε ήταν  $\max \text{db} = -62.5\text{db}$  (47,5db) και η μικρότερη ήταν  $\text{db} = -72.2\text{db}$  (37.8db).

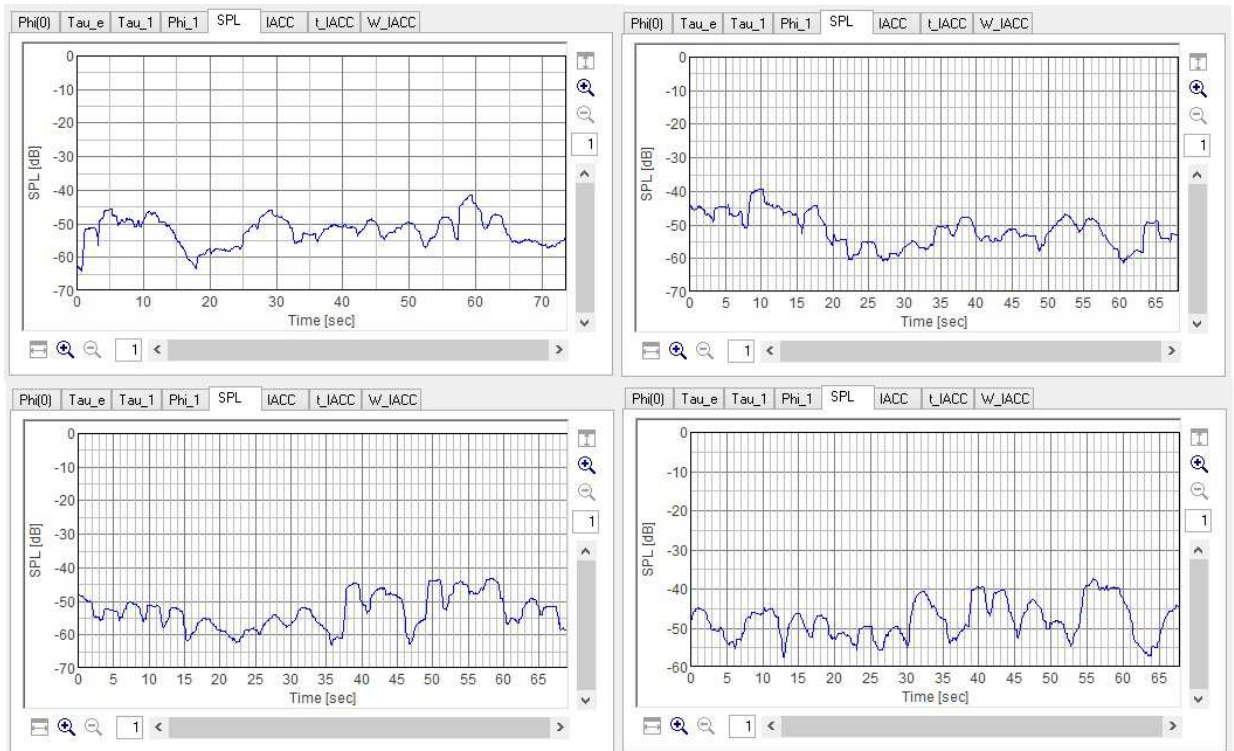
## **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ E15**

Στη συνέχεια πάρθηκαν μετρήσεις στο εργαστήριο E15 την ώρα που γινόταν μάθημα και έγινε μια σύγκριση των στάθμεων ηχητικών πιέσεων όταν το εργαστήριο ήταν εντελώς άδειο. Πήρα αρχικά μετρήσεις εν ώρα μαθήματος.



Τοποθέτησα πρώτα κοντά στο σημείο όπου η καθηγήτρια έκανε μάθημα.  
Πήρα συνολικά 12 μετρήσεις.





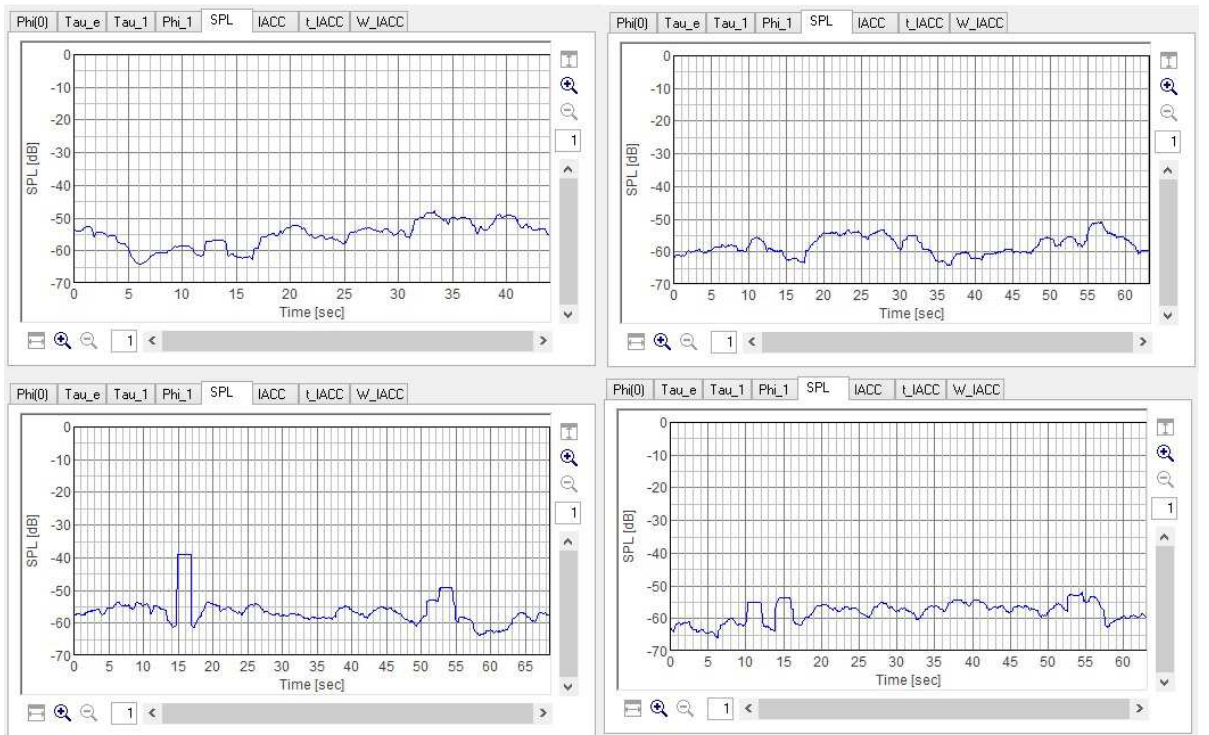
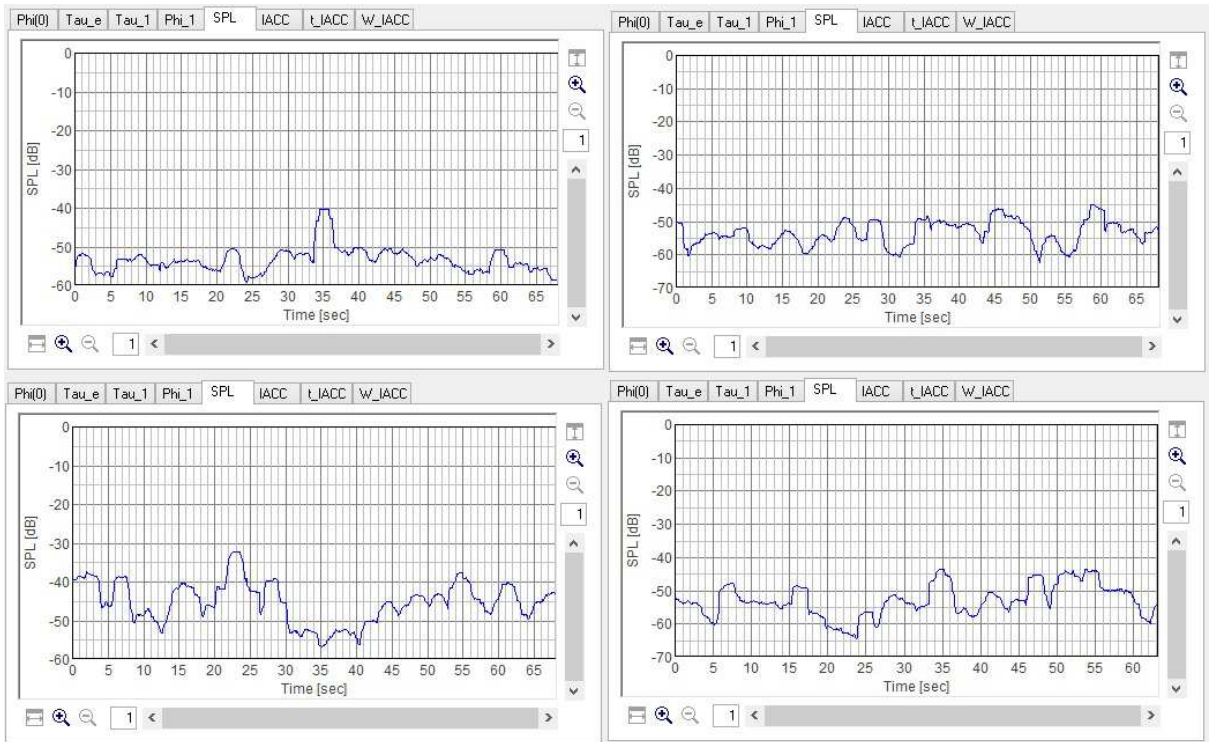
Από τις μετρήσεις που πήρα στο εργαστήριο από τη θέση της καθηγήτριας είχαμε μέγιστη τιμή  $\max \text{db} = -34.6 \text{db}$  (75.4 db) και μικρότερη τιμή  $\min \text{db} = -65,5 \text{db}$  (44,5db).

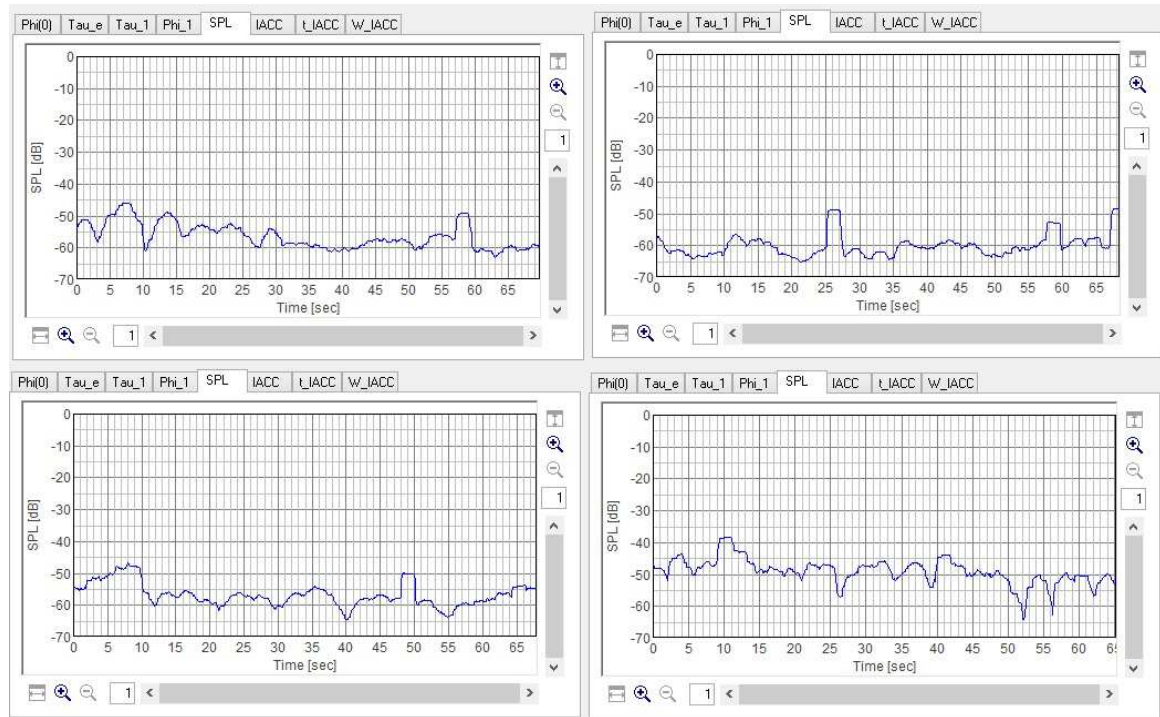
## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Από τα γραφήματα βγαίνει ένα συμπέρασμα ότι τα επίπεδα ηχητικής πίεσης κινούνται σε φυσιολογικά επίπεδα και δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος για βλάβη της ακοής.

Στη συνέχεια τοποθέτησα το μικρόφωνο ανάμεσα στους φοιτητές που παρακολουθούσαν το μάθημα, και οι μετρήσεις που πήρα ήταν οι εξής:





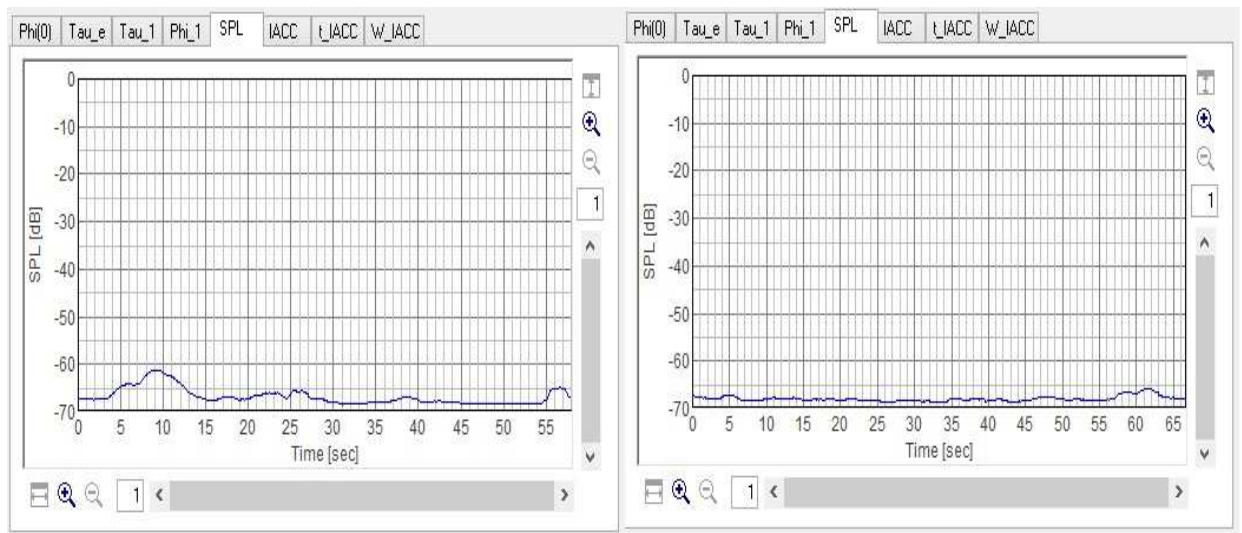


Από τις μετρήσεις που πήρα στο εργαστήριο από τη θέση της καθηγήτριας είχαμε μέγιστη τιμή  $\max \text{ db} = -32.1 \text{ db}$  (77.9 db) και μικρότερη τιμή  $\min \text{ db} = -64.2 \text{ db}$  (45.8db).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Από τα γραφήματα βγαίνει ένα συμπέρασμα ότι τα επίπεδα ηχητικής πίεσης κινούνται σε φυσιολογικά επίπεδα και δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος για βλάβη της ακοής.

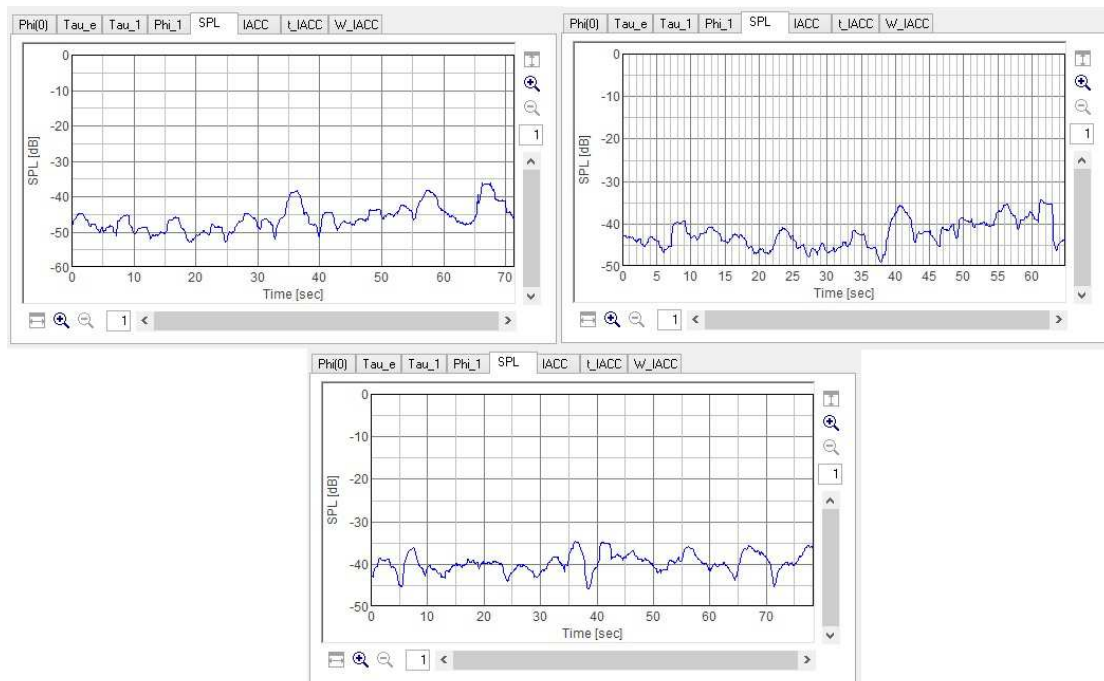
Θα κάνουμε μια σύγκριση της ηχητικής πίεσης στο εργαστήριο όταν γινόταν μάθημα και όταν ήταν άδεια η αίθουσα κ ο μόνος θόρυβος που υπήρχε μέσα στην αίθουσα ήταν μόνο από τα μηχανήματα. Οι παρακάτω 2 μετρήσεις πάρθηκαν μέσα στο εργαστήριο χωρίς να είναι κανείς μέσα.



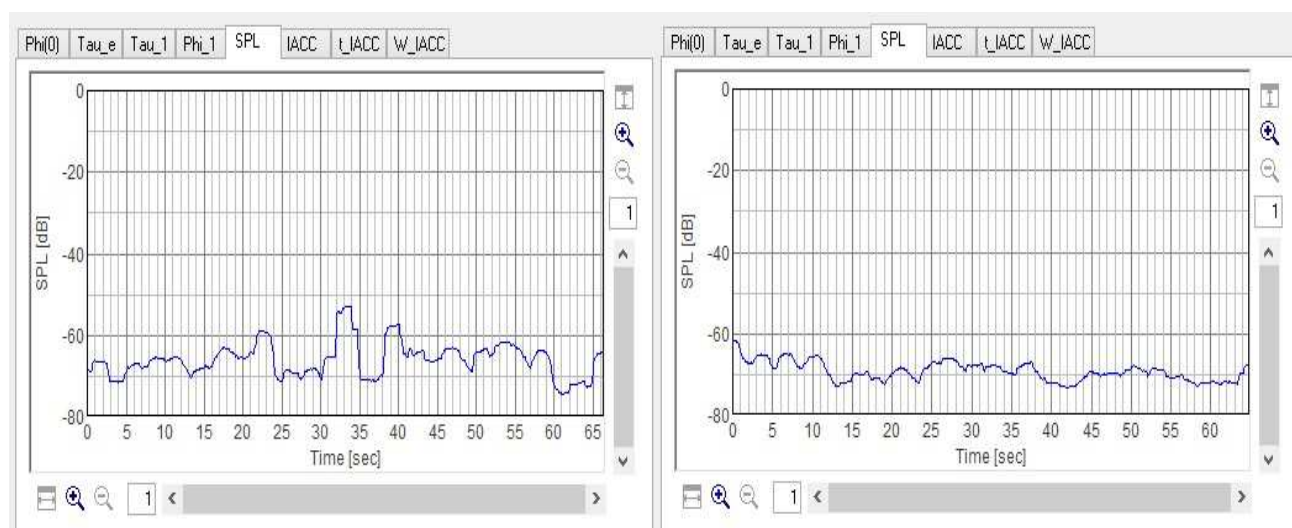
Η μέγιστη τιμή που πήραμε ήταν max db = -61.2db (48.8db) και min db = -68.6 (41.4db).

## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΡΟΜΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ Ε

Μετρήσεις πάρθηκαν, επίσης, και στον διάδρομο των εργαστηρίων του κτηρίου και πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις πάρθηκαν την ώρα που υπήρχαν άτομα στο διάδρομο κ όταν ο διάδρομος ήταν εντελώς άδειος.



Από τις μετρήσεις όταν υπήρχαν άτομα στο διάδρομο, η μέγιστη μέτρηση που πήραμε ήταν  $\max \text{db} = -34,3\text{db}$  (75,7db) και μικρότερη τιμή ήταν  $\min \text{db} = -52,8\text{db}$  (57,2db). Παρακάτω οι μετρήσεις πάρθηκαν την ώρα που ο διάδρομος ήταν άδειος.



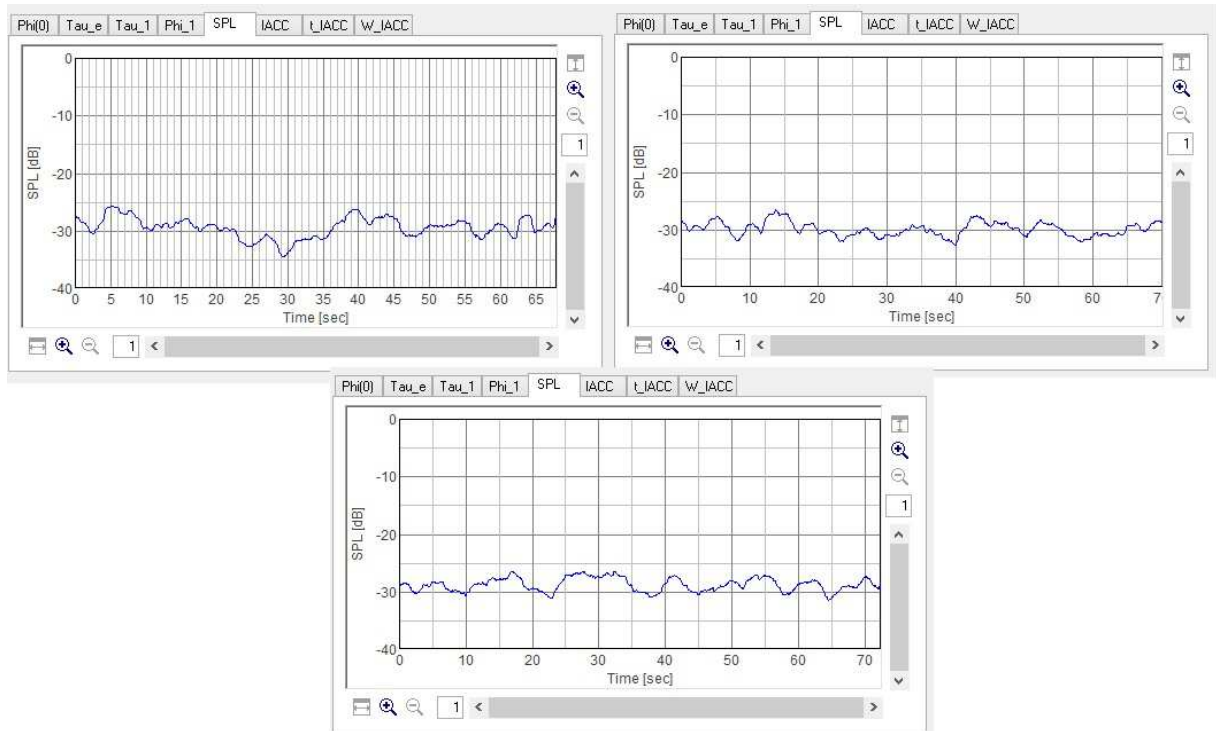
Από αυτές τις μετρήσεις πήραμε ότι η μέγιστη τιμή είναι  $\max \text{db} = -53,1\text{db}$  (56.9db) και μικρότερη τιμή  $\min \text{db} = -74,3\text{db}$  (35.7db).

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**

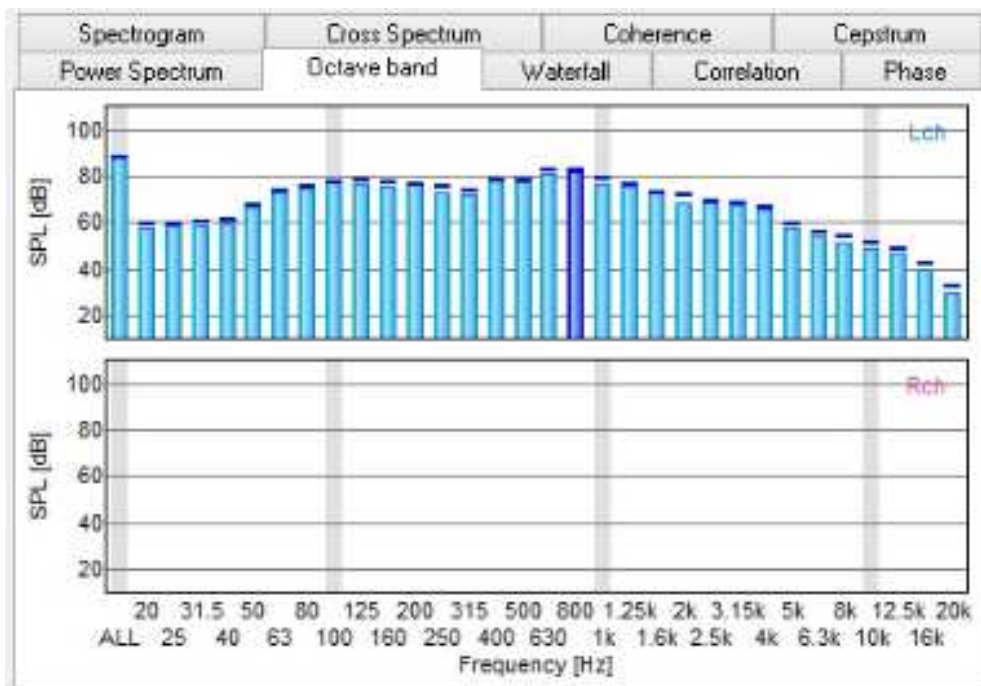
Από τα γραφήματα βγαίνει ένα συμπέρασμα ότι τα επίπεδα ηχητικής πίεσης κινούνται σε φυσιολογικά επίπεδα και δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος για βλάβη της ακοής, ακόμα και όταν ο διάδρομος είναι γεμάτος με άτομα.

## **ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΥΛΙΚΕΙΟ**

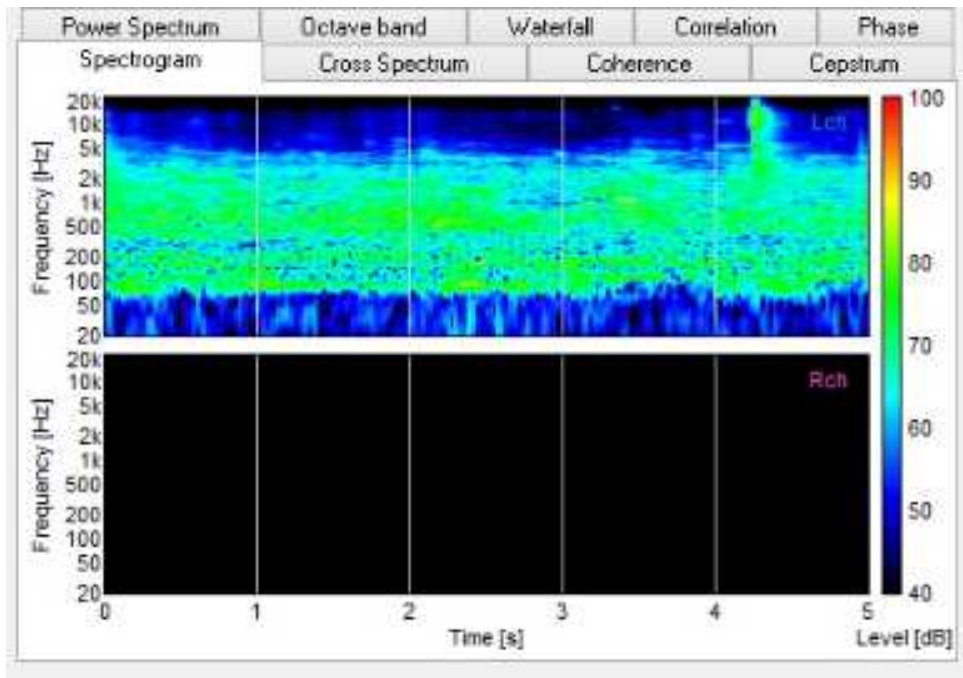
Οι παρακάτω μετρήσεις πάρθηκαν την ώρα που το κυλικείο ήταν γεμάτο με άτομα σε ώρα αιχμής.



Από τα παραπάνω γραφήματα παρατηρούμε ότι μέγιστη τιμή είναι  $\max \text{db} = -25,6\text{db}$  (84.4db) και μικρότερη τιμή  $\min \text{db} = -34,4\text{db}$  (75.6db).

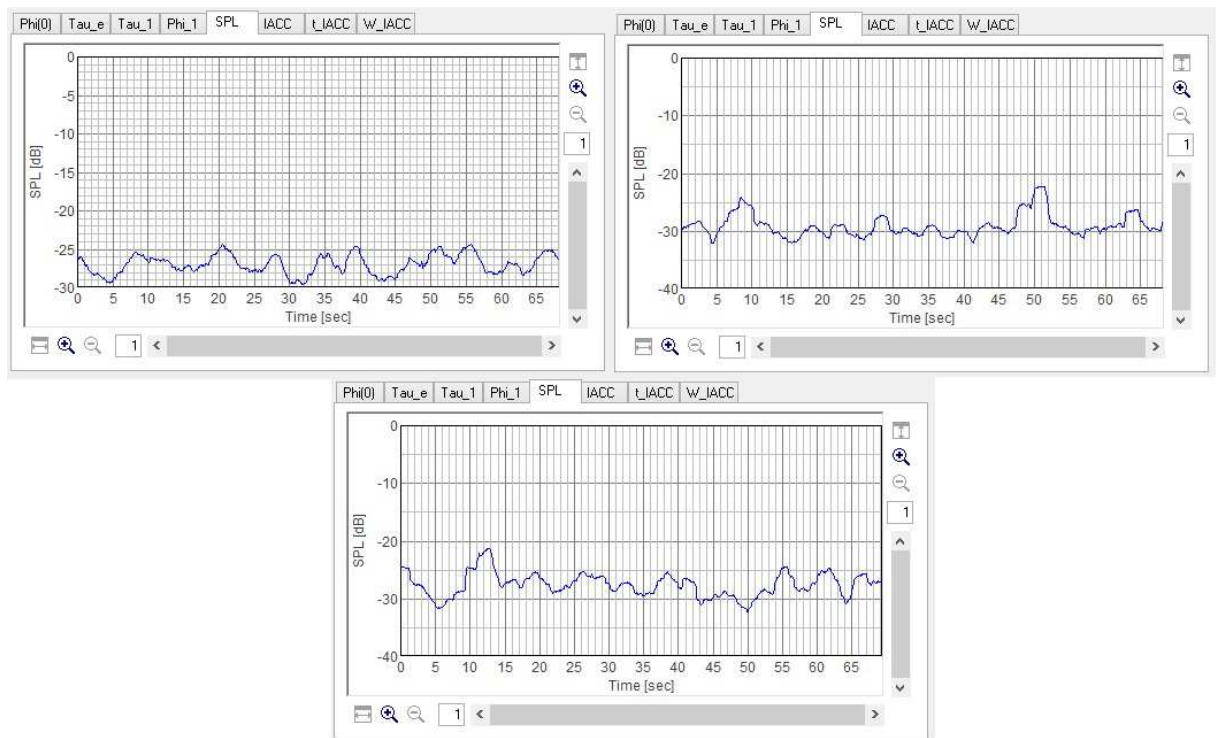


Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει σε μάντες συχνοτήτων, σε ποια συχνότητα έχουμε τη μεγαλύτερη στάθμη ηχητικής πίεσης και αυτή είναι στα 800Hz.

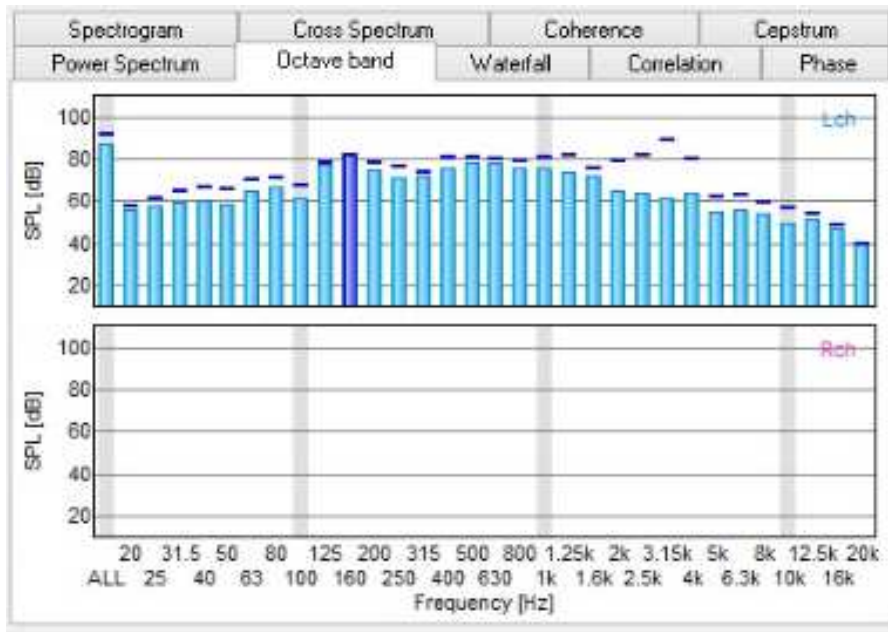


Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει ένα spectrogram, μια χρωματική κλίμακα των στάθμεων ηχητικών πιέσεων σε όλο το ακουστικό φάσμα.

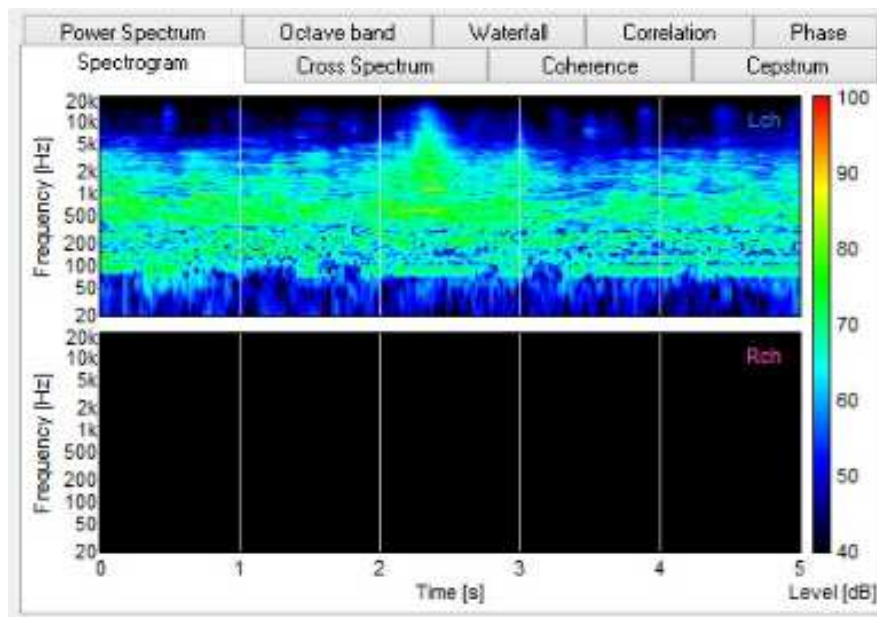
Επιπλέον, πάρθηκαν μετρήσεις και ανάμεσα σε άτομα μέσα στο κυλικείο, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω.



Από τις παραπάνω μετρήσεις, παρατηρούμε ότι μέγιστη τιμή είναι  $\max \text{db} = -21.2\text{db}$  (88.8db) και μικρότερη τιμή  $\min \text{db} = -32.1\text{db}$  (77.9db).



Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει τις μπάντες συχνοτήτων σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και από αυτό βλέπουμε ότι η υψηλότερη ηχητική στάθμη αντιστοιχεί την δεδομένη χρονική στιγμή στα 200Hz.



Το παραπάνω διάγραμμα είναι ένα spectrogram που απεικονίζει σε χρωματική κλίμακα τις ηχητικές πιέσεις σε όλο το ακουστικό φάσμα συχνοτήτων.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**

Από τις παραπάνω μετρήσεις που πήραμε, προκύπτει ότι τα επίπεδα της ηχητικής πίεσης κυμαίνονται κοντά στα επιτρεπόμενα όρια. Καλό θα ήταν, πέρα από την ενδεχόμενη ατομική λήψη προστασίας του θορύβου από τον κάθε εργαζόμενο, η εφαρμογή ηχοαπορροφητικών υλικών στους τοίχους ενδείκνυται ως μια καλή λύση στο πρόβλημα του θορύβου.

## **ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΟΜΙΛΙΑΣ (SPEECH INTELLIGIBILITY)**

Η ομιλία και γενικά ο ήχος που μετατίδεται σε ένα δωμάτιο μέσω ενός προσώπου ή ενός ηχείου, δεν ακούγεται ή δεν γίνεται αντιληπτό ως ένα ακριβές «αντίγραφο» του σήματος που



**Εικόνα: Environmental Noise Measurement (Πηγή: B&K)**

αναπαράγεται από την πηγή από κάποια θέση μέσα στο χώρο. Δεν είναι μόνο ο ενδεχόμενος θόρυβος που προστίθεται στο σήμα, αλλά και η «στρέβλωση» που υφίσταται το σήμα από τις ανακλάσεις και την αντήχηση του δωματίου. Αυτές οι «στρεβλώσεις» που υφίσταται έχουν ως αποτέλεσμα της μείωσης της καταληπτότητας της ομιλίας.

Για τη βελτίωση της ευκρίνειας της ομιλίας, οι ομιλητές προσαρμόζονται έτσι ώστε να ταιριάζουν με το δωμάτιο, π.χ βγάζοντας ήχο πολύ αργά σε ένα δωμάτιο με πολύ αντήχηση ή μιλώντας δυνατά σε δωμάτιο που έχει



μεγάλη απορρόφηση του ήχου. Ωστόσο, σε ορισμένες καταστάσεις όπως όταν κάνει κάποιος μια ανακοίνωση μπροστά σε ένα ακροατήριο, ο ομιλητής δύσκολα μπορεί να προσαρμόσει την ομιλία του και συνεπώς το αποτέλεσμα τα λεγόμενα του ομιλητή να μην είναι κατανοητά. Τυπικές μέθοδοι για την βελτίωση της καταληπτότητας της ομιλίας είναι η ενίσχυση του ήχου σε αμφιθέατρα, η μείωση του χρόνου αντίχησης σε αίθουσες συνεδριάσεων ή σε αμφιθέατρα, πρόληψη της ηχούς σε χώρους κεκλεισμένους και εξασθένηση του υπόβαθρου θορύβου ( background noise).

## **ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (REVERBARATION TIME)**

Σε ένα κλειστό περιβάλλον, ένας ήχος συνεχίζει να ανακλάται για ένα χρονικό διάστημα ακόμα και όταν η πηγή του ήχου έχει σταματήσει να εκπέμπει. Αυτή η «παράταση» του ήχου ονομάζεται αντήχηση. Στην αρχή του προηγούμενου αιώνα ο W.C Sabine έκανε μια σημαντική έρευνα σχετικά με την ακουστική σε αμφιθέατρα και κατέληξε σε μια εμπειρική σχέση γνωστή και ως τύπος του Sabine, η οποία είναι η εξής:

$$RT = \frac{0,161 V}{A}$$

Όπου: RT: ο χρόνος αντήχησης ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για την ένταση ενός ήχου να χαμηλώσει 60 db από τη στιγμή που η πηγή του ήχου θα απενεργοποιηθεί απότομα

V: Ο όγκος του αμφιθεάτρου σε m<sup>3</sup>

A: Η συνολική απορρόφηση του αμφιθεάτρου σε m<sup>2</sup> sabins.

Η μονάδα απορρόφησης 1m<sup>2</sup>sabin αντιπροσωπεύει μια επιφάνεια ικανή να απορροφά ήχο με τον ίδιο ρυθμό όπως 1 m<sup>2</sup> μιας απόλυτα απορροφητικής επιφάνειας π.χ ένα ανοιχτό παράθυρο.

Ο παρακάτω πίνακας παραθέτει κάποιους συντελεστές απορρόφησης ανάλογα με τα υλικά που είναι σε ένα αμφιθέατρο:

ΥΛΙΚΟ	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz
Αέρας	-	-	-	0,003	0,007	0,02
Πάνελ	0,15	0,3	0,75	0,85	0,75	0,4
Γύψος	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05
Δάπεδο (μπετόν)	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05
Δάπεδο (ξύλο)	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Δάπεδο (χαλί)	0,1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3
Κουρτίνες	0,05	0,12	0,15	0,27	0,37	0,5

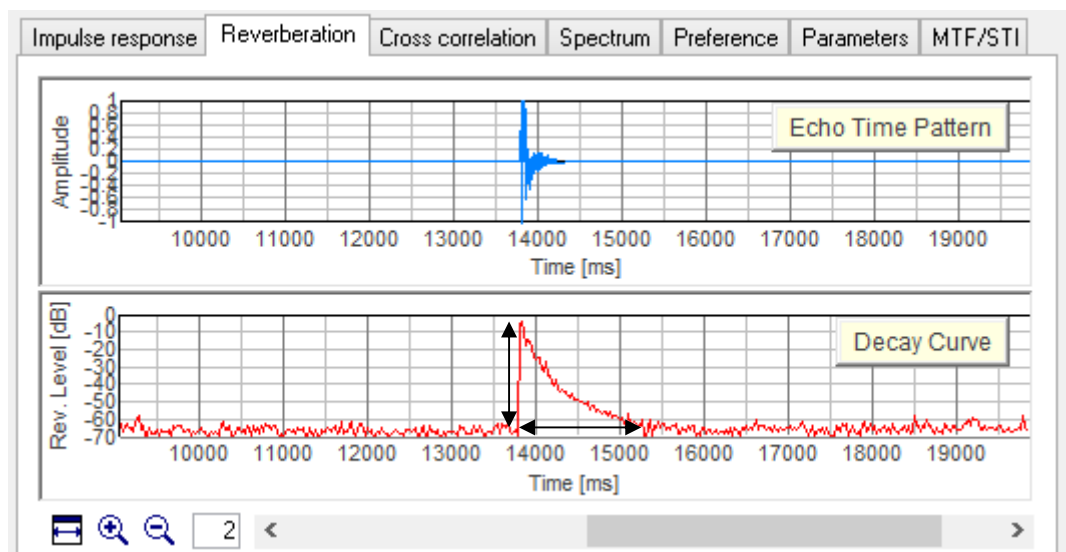
Ο χρόνος αντήχησης είναι ο κύριος περιγραφέας ενός ακουστικού περιβάλλοντος. Ένας χώρος με ένα μεγάλο χρόνο αντήχησης αναφέρεται ως ένα «ζωντανό» περιβάλλον. Όταν ένας ήχος «εξαφανίζεται» γρήγορα μέσα σε έναν χώρο αναφέρεται ο χώρος ως «νεκρός». Έτσι κατά συνέπεια ένας λόγος από έναν ομιλητή είναι καλύτερα κατανοητός μέσα σε ένα «νεκρό» περιβάλλον απ' ότι σε ένα «ζωντανό». Αντίθετα μια μουσική μπορεί να ενισχυθεί καλύτερα σε ένα «ζωντανό» περιβάλλον. Όμως διαφορετικά στυλ μουσικής απαιτούν και διαφορετικούς χρόνους αντήχησης.

Για να μετρήσουμε τον χρόνο αντήχησης πρακτικά σε ένα αμφιθέατρο, προσπαθούμε να εφαρμόσουμε ένα κρουστικό σήμα  $\delta(t)$ . Και αυτό γιατί το κρουστικό σήμα είναι ένας απλός τρόπος να εφαρμόσουμε μια ηχητική πηγή που «κλείνει» απότομα έτσι ώστε να μετρήσουμε τον χρόνο αντήχησης. Έκανα μια μέτρηση στον αμφιθέατρο χατζηνικολάου και χρησιμοποίησα ένα μπαλόκι για να το σκάσω, προσομοιώνοντας με αυτό τον τρόπο ένα κρουστικό σήμα  $\delta(t)$ . Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το μπαλόκι σαν κρουστικό σήμα είναι διότι προσφέρει μεγάλο ύψος, καλή ενέργεια σαν σήμα για να υφίσταται ως κρουστικός παλμός και μικρή διάρκεια. Ο συνδιασμός των 3 παραπάνω μας δίνει ένα αποτέλεσμα πολύ κοντινό στο κρουστικό παλμό.

Αξίζει όμως να προσθέσουμε πριν παραθέσω τα αποτελέσματα να αναφέρω τα αποτελέσματα που μπορούν να παρθούν από τη μέτρηση ενός χρόνου αντίχησης σε ένα αμφιθέατρο.

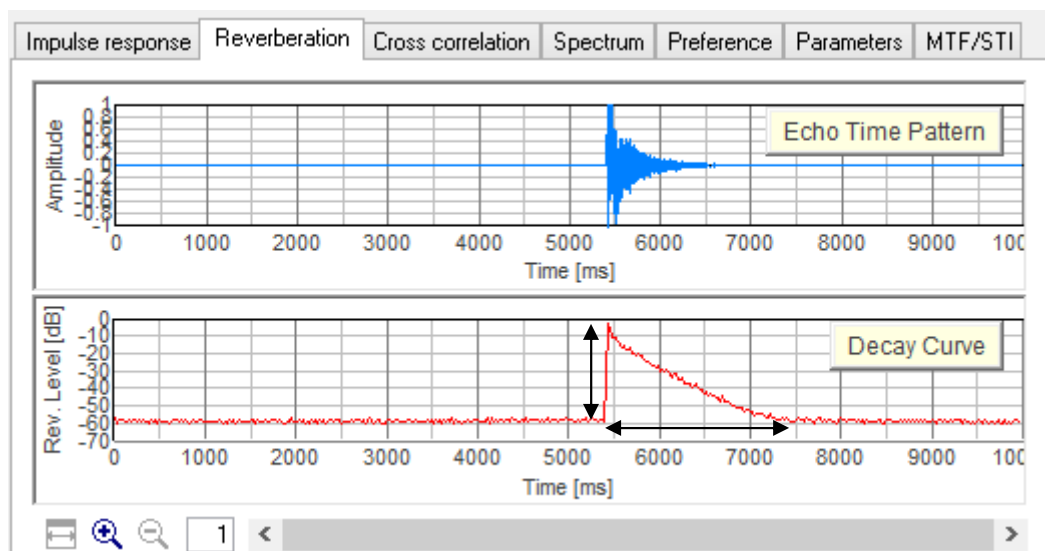
Χρόνοι αντήχησης	0,8s-1.3s	1.4s-2s	2.1s-3s	Βέλτιστο αποτέλεσμα
Ομιλία	Καλή	Μέτρια	Κακή-Μη αποδεκτή	0,8s-1.1s
Σύγχρονη μουσική	Μέτρια	Καλή	Κακή	1.2s-1.4s
Χορωδιακή μουσική	Κακή	Καλή	Μέτρια	1.8s-2s

Κάνοντας τη μέθοδο με το μπαλόκι για την παραγωγή ενός κρουστικού σήματος, και με τη βοήθεια του πυκνωτικού μικροφώνου, της κάρτας ήχου και του πραγματικού χρόνου αναλυτή πήρα το παρακάτω γράφημα:



Από το γράφημα παρατηρούμε ότι μετρώντας 60 db κάτω από την ώρα που σκάσαμε το μπαλόκι, ο χρόνος αντήχησης είναι περίπου 1.53s, οπότε σύμφωνα με το πίνακα που παραθέσαμε παραπάνω η αίθουσα χατζηνικολάου θεωρείται μέτρια για ομιλία και καλή για να παίζει μια μουσική χορωδίας.

Την ίδια ακριβώς μέτρηση έκανα και στην αίθουσα B218 για να πάρω τον χρόνο αντήχησης. Το αποτέλεσμα που πήρα από τον αναλυτή ήταν αυτό:



Από το γράφημα, μετρώντας 60 db κάτω, από την ώρα που σκάσαμε το μπαλόνι στην αίθουσα B218, ο χρόνος αντήχησης είναι περίπου 2,1s , τιμή που θεωρείται κακή και μη αποδεκτή για ομιλία και για να ακούει κανείς μουσική και μέτρια για να παίξει μια χορωδία.

Ο χρόνος αντήχησης επηρεάζεται από το μέγεθος του χώρου και το ποσό των ανακλαστικών ή απορροφητικών επιφανειών. Ένας χώρος με ιδιαίτερα απορροφητικές επιφάνειες θα απορροφήσουν τον ήχο και θα αποτρέψουν τυχόν ανακλάσεις μέσα στο χώρο. Ανακλαστικές επιφάνειες θα ανακλούν τον ήχο και θα αυξήσει τον χρόνο αντήχησης. Ως εκ τούτου ένας μεγάλος χώρος θα χρειαστεί περισσότερα ηχοαπορροφητικά υλικά για την επίτευξη του ίδιου χρόνου αντήχησης σε ένα μικρότερο χώρο.

## **ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ (SOUND DISTRIBUTION)**

Υπάρχει ένα πλήθος εξειδικευμένων μέσων για την απόσβεση του χρόνου αντήχησης από χώρους συναυλιών και χώρους εστίασης μέχρι και χώρους συνάντησης. Πολλές από αυτές τις τεχνικές βασίζονται στα υλικά με τα οποία κατασκευάζονται οι εσωτερικοί χώροι που χρησιμοποιούνται για ομιλίες ή συναυλίες. Γι αυτό τον λόγο οι μετρήσεις που έχουν να κάνουν με την κατανομή του ήχου είναι σημαντικές και έχουν άμεση ανταπόκριση σε αμφιθέατρα, θέατρα, αίθουσες κινηματογράφων και γενικά όπου μπορεί ένα ήχος να αναπαραχθεί πάνω από ένα μεγάλο χώρο. Τέτοιες μετρήσεις γίνονται με τη χρήση ενός μεγαφώνου για την «διέγερση» του χώρου, και στη συνέχεια να μετρήσουμε την στάθμη του ήχου, η οποία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη σε διάφορες συχνότητες και σε διάφορα σημεία εντός του χώρου.

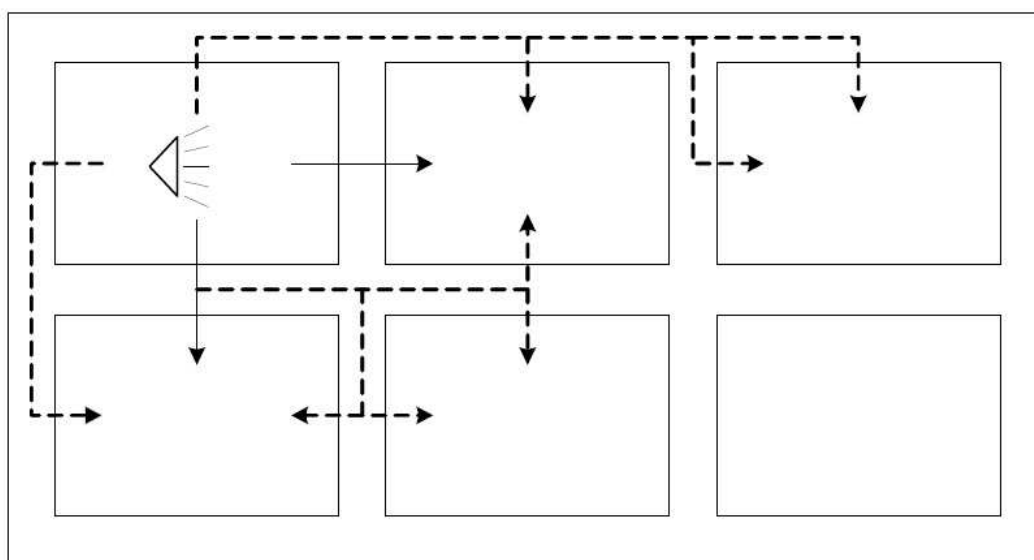
## **ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ (SOUND INSULATION)**

Η ηχητική ενέργεια δεν παραμένει μέσα στο χώρο στον οποίο παράγεται, αλλά διαδίδεται σε όλο το χώρο σε διαφορετικές διευθύνσεις, με αποτέλεσμα να κατευθύνεται και σε άλλα δωμάτια ως θόρυβος. Κάθε χώρα παγκοσμίως έχει τα δικά της πρότυπα ηχομόνωσης σε κτήρια, ωστόσο μετριέται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Τα κτήρια κατασκευάζονται με τη χρήση πολλών στοιχείων και η ηχομόνωση μπορεί να τεθεί σε «κίνδυνο» από ελαττώματα που υπάρχουν στα υλικά κατασκευής ή ακόμα και την ίδια την κατασκευή. Αρκετά συχνά οι παραδοσιακές μετρήσεις θα δείξουν ότι η ηχομόνωση δεν είναι τόσο καλή όσο θα αναμενόταν ή ανάλογα με τα πρότυπα που καθορίζονται από το νόμο. Σε αυτή την περίπτωση μια μέτρηση για την στάθμη ηχητικής πίεσης, θα μπορέσει να μας διαγνώσει τη «συνεισφορά» του κάθε στοιχείου έτσι ώστε να μπορέσουμε να πετύχουμε την απαραίτητη μείωση του ήχου. Άλλος τρόπος είναι να «χωριστεί» το δωμάτιο σε τμήματα και να ελέγχεται με τον ίδιο τρόπο κάθε τμήμα μέχρι να εντοπιστεί το σφάλμα. Στο τομέα της ηχομόνωσης συναντάμε 2 κατηγορίες:

- Αερομεταφερόμενη ηχομόνωση
- Συγκρουόμενη μετάδοση ήχου

## Αερομεταφερόμενη ηχομόνωση

Όπως υποδηλώνει και το όνομα, η αερομεταφερόμενη ηχομόνωση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο ήχος που υπάρχει στον αέρα μειώνεται από την παρουσία κάποιου τοίχου ή πατώματος. Πιο απλοϊκά ο ήχος που υπάρχει στον αέρα προσπίπτει σε ένα τμήμα τοίχου ή πατώματος προκαλώντας δονήσεις στο εσωτερικό του τοίχου, οι οποίες στην συνέχεια θα μεταφερθούν από την άλλη πλευρά κ να επανακινοβολείται στο διπλανό χώρο.

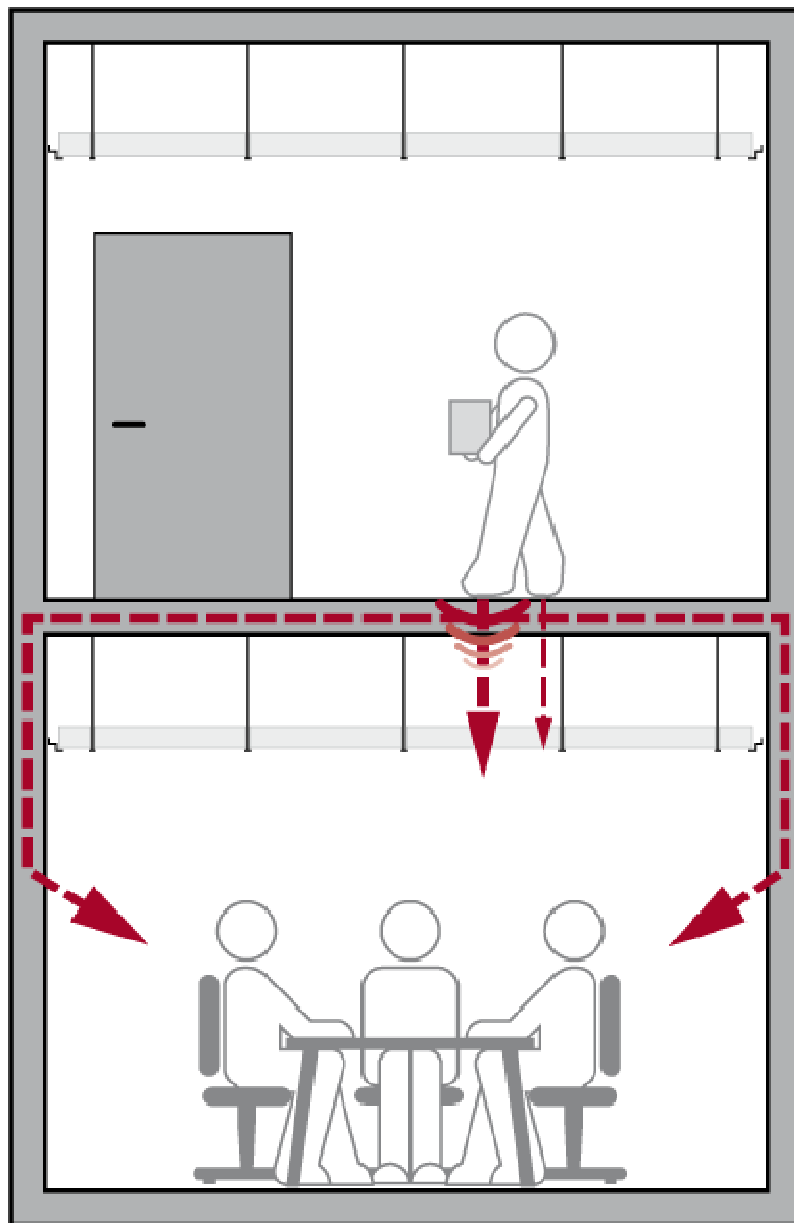


—————→ Ευθεία μετάδοση ήχου  
 - - - - -→ Άλλες κατευθύνσεις ήχου

**Εικόνα: Εικονική αναπαράσταση της αερομεταφερόμενης ηχομόνωσης (πηγή: <http://www.pdaltd.com> )**

## Συγκρουόμενη μετάδοση ήχου

Η συγκρουόμενη μετάδοση ήχου είναι η διαδικασία κατά την οποία στοιχεία που προκαλούν κρούση μέσα στο δωμάτιο (π.χ πόρτα, βηματισμοί) είναι σε άμεση επαφή με την δομή του χώρου προκαλώντας δονήσεις που με τη συνέχεια τους μεταδίδονται σε όλο το χώρο και κατ' επέκταση σε όλο το κτήριο.



Εικόνα: Εικονική αναπαράσταση της συγκρουόμενης μετάδοσης ήχου (πηγή: [uk.rwrockfonvia.inforce.dk](http://uk.rwrockfonvia.inforce.dk) )

## ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΟΜΙΛΙΑΣ

### 1) Δείκτης AI (Articulation Index)

Η καταληπτότητα της ομιλίας είναι μια υποκειμενική απόκριση, οπότε μπορεί να μετρηθεί εξετάζοντας τον αριθμό των λέξεων που δεν γίνονται αντιληπτές από μια ομάδα εκπαιδευμένων ακροατών. Τα αποτελέσματα εκφράζονται είτε ως ποσοστό, πόσες λέξεις ακούστηκαν ή με έναν δείκτη με κλίμακα από το 0 ως το 1. Ο δείκτης άρθρωσης λέξεων (AI – Articulation Index) μικρότερος από 0,3 δείχνει γενικά ακατανόητη ομιλία και ένα δείκτης πάνω από 0,7 δείχνει πως η ομιλία έχει υψηλή ευκρίνεια. Μεταβλητότητες μεταξύ διαφορετικών ακροατών, αναπόφευκτα θα παράγουν μια μεγάλη διασπορά στα αποτελέσματα.

<b>1/3 Octave Centre Frequency Hz</b>	<b>AI lower level dB(A)</b>	<b>AI upper level dB(A)</b>	<b>AI Weighting</b>
200	23.1	53.1	1.0
250	30.4	60.4	2.0
315	34.4	64.4	3.25
400	38.2	68.2	4.25
500	41.8	71.8	4.5
630	43.1	73.1	5.25
800	44.2	74.2	6.5
1000	44.0	74.0	7.25
1250	42.6	72.6	8.5
1600	41.0	71.0	11.5
2000	38.2	68.2	11
2500	36.3	66.3	9.5
3150	34.2	64.2	9.0
4000	31.0	61.0	7.75
5000	26.5	56.5	6.25
6300	20.9	50.9	2.5

**Εικόνα: Πίνακας με τις χαμηλότερες και τις υψηλότερες τιμές ηχητικής στάθμης σε db με τον εμπειρικό συντελεστή (Πηγή:www.diracdelta.co.uk)**

Η συγκεκριμένη πηγή διαθέτει και μια απλέτα για τον υπολογισμό του εν λόγω δείκτη. Με βάση τη μέτρηση που πήρα στο αμφιθέατρο χατζηνικολάου με τη προσωμοίωση του κρουστικού παλμού με τη



βοήθεια ενός μπαλονιού, το πρόγραμμα κατέγραψε τις εξής ηχητικές πιέσεις:

Articulation Index	
200Hz	68.1
250Hz	69.7
315Hz	69.3
400Hz	68.1
500Hz	67.3
630Hz	68.1
800Hz	69.7
1000Hz	69.3
1250Hz	67.8
1600Hz	68.6
2000Hz	67.9
2500Hz	68.6
3150Hz	69.7
4000Hz	70.2
5000Hz	69.1
6300Hz	45.6
Calculate	
Articulation Index	6.5
Clear	

Το αποτέλεσμα που μας δίνει είναι σε ποσοστό % και είναι 6,5%, αποτέλεσμα που σύμφωνα με το δείκτη AI δείχνει μια κακή καταληπτότητα ομιλίας.

## 2) Δείκτης PSIL (Preffered Speech Interference Level)

Μια άλλη προσέγγιση είναι ο δείκτης PSIL (Preffered Speech Interference Level), ο οποίος καθορίζεται από ένα σύνολο σταθμών ηχητικών πιέσεων. Αυτό συνεπάγεται μέτρηση σήματος και θορύβου πάνω από το φάσμα της ομιλίας ( οι 3 μπάντες οκτάβων με επίκεντρο τις συχνότητες 500Hz, 1KHz και 2KHz). Ο τύπος για να υπολογίσουμε αυτόν τον δείκτη είναι ο εξής:

$$PSIL = (L_{p500} + L_{p1000} + L_{p2000}) / 3 \text{ db}$$

Όπου:  $L_{p500}$ : το επίπεδο ηχητικής πίεσης για την οκτάβα μπαντών στα 500 Hz.

$L_{p1000}$ : το επίπεδο ηχητικής πίεσης για την οκτάβα μπαντών στα 1000 Hz.

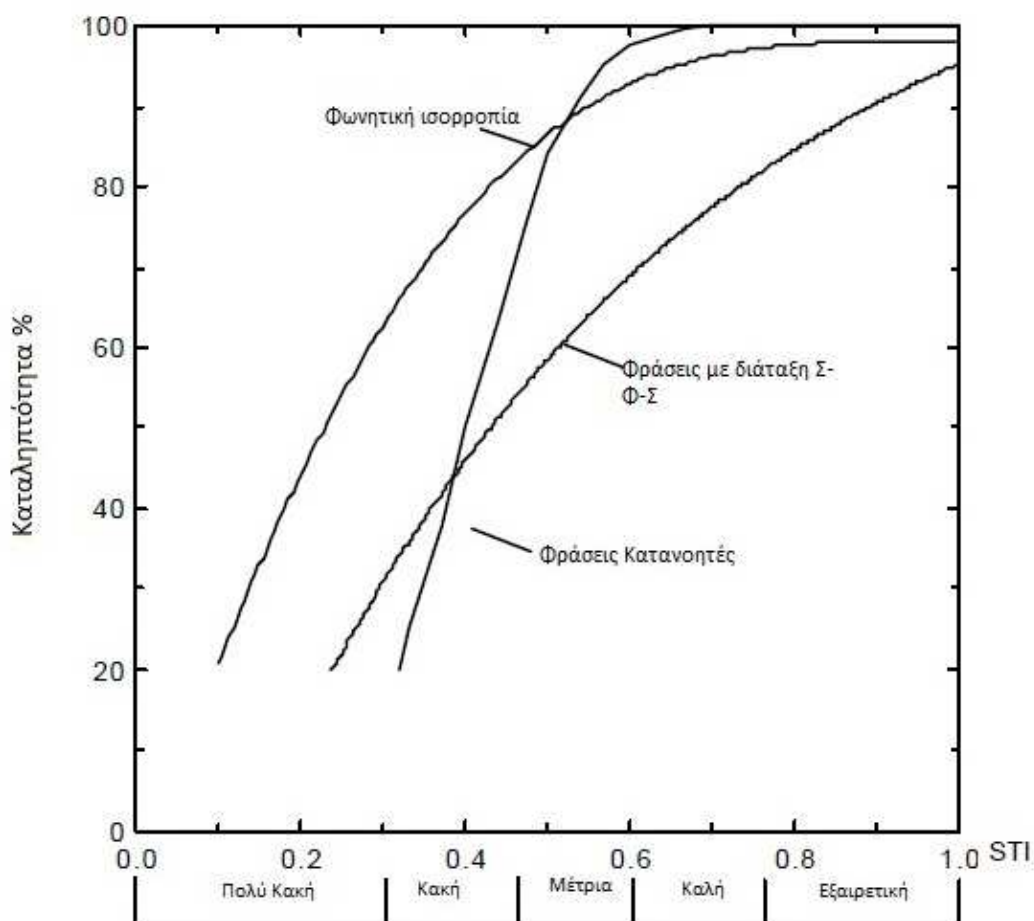
$L_{p2000}$ : το επίπεδο ηχητικής πίεσης για την οκτάβα μπαντών στα 2000 Hz.

### 3) Δείκτης STI (Speech Transmission Index)

Ένας άλλος δείκτης είναι ο STI (Speech Transmission Index). Είναι ένας δείκτης μεταξύ του 0 και του 1 που ποσοτικοποιεί την καταληπτότητα ομιλίας, που αναπτύχθηκε στην ολλανδία από τους Tammo Houtgast και Herman Steeneken. Η βάση για τον δείκτη STI είναι ότι η καταληπτότητα της ομιλίας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην αργή διαμόρφωση του πλάτους ενός ήχου που δρα ως φορέας. Περιγράφει την έκταση στην οποία οι αρχικές διαμορφώσεις σε ένα σήμα αλλάζουν από ένα σύστημα μετάδοσης σε επτά οκτάβες από τα 125Hz μέχρι τα 8KHz. Επιπλέον ο συγκεκριμένος δείκτης μπορεί να υπολογισθεί χωρίς ομιλητές και ακροατές, παρέχοντας ταυτόχρονα πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο ένα δωμάτιο προκαλεί παραμόρφωση στο σήμα. Ο πίνακας παρακάτω μας δείχνει τον δείκτη STI πως υπολογίζεται και πως βγαίνει ένα τελικό συμπέρασμα.

Αποτέλεσμα καταληπτότητας	Φράσεις κατανοητές %	Φωνητική ισορροπία % *	Φράσεις με διάταξη σύμφωνο-φωνήεν-σύμφωνο %	STI

Εξαιρετικό	100	> 98	> 81	> 0,75
Καλό	100	93-98	70-81	0,6-0,75
Μέτριο	100	80-93	53-70	0,45-0,6
Κακό	70-100	60-80	31-53	0,3-0,45
Πολύ κακό	< 70	< 60	< 31	< 0,3



**Εικόνα: Γραφική αναπαράσταση των 3 παραγόντων που καθορίζουν τον δείκτη STI (πηγή: <http://www.gold-line.com> )**

\* : είναι η ιδιότητα με την οποία μια ομάδα λέξεων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ακοής έχει τα διάφορα φωνήματα

#### **4) Μέθοδος RASTI**

Μια ακόμη πιο σύντομη μέθοδος από την προηγούμενη μέθοδο, είναι η μέθοδος RASTI (Rapid Speech Transmission Index). Είναι πιο γρήγορη μέθοδος από τη μέθοδο STI με τη χρήση RASTI πομπών και RASTI δέκτεων.

### **Πομπός RASTI**

Ένας πομπός RASTI παράγει ροζ θόρυβο (pink noise) στα επίπεδα 59db και 50db σε 500Hz και 2KHz οκτάβες ,αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η μίμηση του φάσματος μια μακροπρόθεσμης ομιλίας. Ο θόρυβος διαμορφώνεται ημιτονοειδώς από διάφορες συχνότητες ταυτόχρονα, που αντιπροσωπεύουν τις διαμορφώσεις που υπάρχουν σε μια κανονική ομιλία. Ο πομπός εκπέμπει με κατευθυντικές ιδιότητες που θα μπορούσαν να μετρηθούν σε απόσταση ενός μέτρου από το στόμα ενός ομιλιτή.



**Εικόνα: Ένας RASTI πομπός (πηγή: <http://www.bruel-ac.com> )**

## Δέκτης RASTI

Ένα πανκατευθυντικό μικρόφωνο λαμβάνει το μεταδιδόμενο σήμα, το οποίο αναλύεται από το δέκτη RASTI για την ανίχνευση των αλλαγών που προκαλούνται από το μέσο μετάδοσης. Ο δέκτης και ο πομπός δεν είναι συγχρονισμένοι λόγω του ότι το σήμα είναι επαναλαμβανόμενο. Η απόκλιση του λαμβανόμενου σήματος από το μεταδιδόμενο σήμα καταγράφονται για κάθε διαμορφωμένη συχνότητα. Επιπλέον ο δείκτης RASTI υπολογίζεται από τη διαμόρφωση παραγόντων μείωσης και εμφανίζεται ως ένας αριθμός μεταξύ του 0 και του 1.



**Εικόνα: Ένας RASTI δέκτης (πηγή: <http://www.bruel-ac.com> )**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- INVENSENSE - MICROPHONE SPECIFICATIONS EXPLAINED- APPLICATION NOTE,2013
- BRUEL & KJAER - SMARTER MINE NOISE MANAGEMENT, DENMARK, 2009
- BRUEL & KJAER – ENVIRONMENTAL NOISE MEASUREMENT, DENMARK, 2009
- BRUEL & KJAER – ENVIRONMENTAL NOISE,DENMARK,2000-2001
- ΜΗΝΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ – ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΗΧΟΛΗΨΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ & ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΤΕΙ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ, 2007-2008
- GERHART BORE/STEPHAN PEUS – MICROPHONES, METHODS OF OPERATION AND TYPE EXAMPLES,GERMANY,1999
- ROB JONES- MICROPHONES,PREAMPS AND IMPEDANCE,MICROPHONE DATA LTD,USA, 2010
- RON TIPTON-MICROPHONE CALIBRATION,AUDIO EXPRESS,2009
- EUROPEAN COMMISSION-POSITION PAPER ON EU NOISE INDICATORS,EUROPEAN COMMUNITIES (ISBN 92-828-8953-X),BELGIUM,2000
- AUDIO TECHNICA-POLAR PATTERNS,USA/CANADA,2008
- BRUEL & KJAER-TELETECHNICAL,ACOUSTICAL AND VIBRATIONAL RESEARCH-TECHNICAL REVIEW,DENMARK,JANUARY 1954
- JERAD LEWIS-UNDERSTANDING MICROPHONE SENSITIVITY,ANALOG DIALOGUE,MAY 2012
- BRUEL & KJAER-ARCHITECTURAL ACOUSTICS,DENMARK,2010
- BRUEL & KJAER(K.B. GINN) - ARCHITECTURAL ACOUSTICS (ISBN 87 87355 24 8),DENMARK,NOVEMBER 1978
- BRUEL & KJAER- MEASUREMENTS IN BUILDING ACOUSTICS,DENMARK,JANUARY 1988
- ARNOLD P.G PETERSON (GENRAD) – HANDBOOK OF NOISE MEASUREMENT,MASSACHUSETTS USA,1980
- ΕΒΕΛΥΝ ΒΑΦΕΙΔΟΥ,ΣΠΥΡΟΣ ΔΡΙΒΑΣ,ΤΡΥΦΩΝ ΓΚΙΝΑΛΑΣ – Ο ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ (ISBN 960-7678-52-4),2004
- BRUEL & KJAER – NOISE CONTROL (ISBN 8787355094),DENMARK,1986
- BRUEL & KJAER – MEASURING SOUND,DENMARK, SEPTEMBER 1984
- ΗΧΟΣ & HI-FI(ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΡΟΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ) – ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ,ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1983
- SOUND AND VIBRATION MAGAZINE (OLE-HERMAN BJOR) - MEASURE SPEECH INTELLIGIBILITY WITH A SOUND LEVEL METER, NORWAY, 2004

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <http://www.reverberationtime.com>
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA - <http://ceenve3.civeng.calpoly.edu>
- DIRAC DELTA – SCIENCE AND ENGINEERING ENCYCLOPEDIA - <http://www.diracdeltaco.uk>
- <http://www.embeddedacoustics.com/index.php/speech-transmission-index>
- ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - <http://eureka.lib.teithe.gr>
- ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΙΟΝΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ - <http://www.ionio.gr>
- ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ - [https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/15135/2/Sapouna\\_Pe2012.pdf](https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/15135/2/Sapouna_Pe2012.pdf)
- <http://electronicslab.eu/el/theoria-ilektronikon/223-eksartima-mikrofono.html>
- SOUND ON SOUND MAGAZINE - [http://www.soundonsound.com/sos/1995\\_articles/jun95/microphones.html](http://www.soundonsound.com/sos/1995_articles/jun95/microphones.html)
- <http://www.zainea.com/micro.htm>
- INVENSENSE – [www.invensesense.com](http://www.invensesense.com)
- AUDIO TECHNICA – [www.audio-technica.com](http://www.audio-technica.com)
- BRUEL & KJAER – [www.bksv.com](http://www.bksv.com)
- <http://www.mediacollege.com/audio/microphones/impedance.html>
- [http://education.lenar daudio.com/en/10\\_mics\\_5.html](http://education.lenar daudio.com/en/10_mics_5.html)
- NATIONAL INSTRUMENTS - <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/FCE0EC0A6B193A028625722E006DE298>