

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ-ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ(Α.Μ. 157) - ΤΡΙΠΟΔΗΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ(Α.Μ. 411)
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΞΕΝΙΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΙΤΛΟΣ

**Ποιοτικά χαρακτηριστικά ηχητικής εγκατάστασης -
υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων σε κέντρα
διασκέδασης.**



*Ευχαριστούμε τον Μηνά Σηφάκη, τον
Δημήτρη Ξενικάκη και τον Χρίστο
Κουτσοδημάκη που μας βοήθησαν.*

ΣΥΝΟΨΗ

Γενικά δαπανώνται πολλά χρήματα για την αγορά ηχητικών εγκαταστάσεων από τα κέντρα διασκέδασης, αλλά όσο καλές ποιοτικά και να είναι οι επιμέρους βαθμίδες μιας ηχητικής εγκατάστασης ξεχωριστά, δεν έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα αν δεν εκπονηθεί ηλεκτροακουστική μελέτη. Με την εκπόνηση ηλεκτροακουστικής μελέτης διασφαλίζεται ότι οι επιμέρους βαθμίδες έχουν επιλεχθεί και τοποθετηθεί σωστά, παρατηρούνται τα προβλήματα της ακουστικής του εκάστοτε χώρου και κρίνεται αν αυτά είναι ανεκτά ή αν ο χώρος χρειάζεται ακουστική επέμβαση.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εκπόνηση ηλεκτροακουστικής μελέτης σε ένα κέντρο διασκέδασης με στόχο την εκτίμηση τόσο της υπάρχουσας ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης, όσο και του κατά πόσο διασφαλίζεται η ασφάλεια της ακουστικής υγείας των εργαζομένων στο κέντρο αυτό. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας σχολιάζονται και εξετάζεται αν η υπό μελέτη ηλεκτροακουστική εγκατάσταση πληρεί κάποια κριτήρια ποιότητας, καθώς και αν το κέντρο διασκέδασης συμμορφώνεται με την σχετική νομοθεσία. Ακόμα παρατίθενται προτάσεις βελτίωσης γενικά τόσο για τις ηλεκτροακουστικές εγκαταστάσεις όσο και για την ακουστική υγεία των εργαζομένων που συχνά παραβλέπεται στην χώρα μας.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
-----------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

1.1 ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	6
1.1.1 Ηχητικές Στάθμες.....	6
1.1.2 Φασματικές Στάθμες.....	7
1.2 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΑΚΟΥΣΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΡΗΘΝ	10
1.3 ΦΙΛΤΡΑ Α, Β, C	11
1.4 ΕΙΔΗ ΗΧΩΝ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΩΝ	12
1.4.1 Είδη ήχων.....	12
1.4.2 Είδη θορύβων.....	12
1.5 ΕΙΔΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ	15
1.6 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ	16
1.6.1 Γενικά.....	16
1.6.2 Ανοιχτοί χώροι.....	17
1.6.3 Κλειστοί χώροι.....	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	27
2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	28
2.2.1 Γενικώς.....	28
2.2.2 Παραγωγή επαρκούς ηχητικής στάθμης από το σύστημα σε ολόκληρη την περιοχή ακρόασης.....	28
2.2.3 Ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής στάθμης στον χώρο.....	28
2.2.4 Επαρκές δυναμικό εύρος.....	29
2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΗΧΟΥ	30
2.3.1 Γενικώς.....	30
2.3.2 Κέρδος (Gain).....	31
2.3.3 Εύρος ισχύος (Power Bandwidth).....	31
2.3.4 Βαθμός απόδοσης (Efficiency).....	31
2.3.5 Slew rate.....	32
2.3.6 Ψαλιδισμός (Clipping).....	32
2.3.7 Συχνοτική Απόκριση.....	34
2.3.8 Αρμονική Παραμόρφωση.....	34
2.3.9 Παραμόρφωση Ενδοδιαμόρφωσης (Inter modulation Distortion - IM).....	35
2.3.10 Crosstalk.....	36
2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΧΕΙΩΝ	36
2.4.1 Ορισμός.....	36
2.4.2 Κατηγορίες.....	36
2.4.3 Συστήματα πολλών μεγαφώνων.....	39

2.4.4	Χαρακτηριστικά μεγαφώνων.....	41
2.4.5	Παράγοντες που επιδρούν στην αναπαραγωγή.....	44
2.5	EQUALIZATION ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ EQUALIZER.....	46
2.5.1	Ορισμός.....	46
2.5.2	Φίλτρα Χαμηλής και Υψηλής Διέλευσης (Low και High Pass Filters).....	46
2.5.3	Φίλτρα Διέλευσης Ζώνης (Band Pass Filter).....	48
2.5.4	Φίλτρα αποκοπής ζώνης (Stop Band Filter).....	48
2.5.5	Φίλτρα τύπου Shelving.....	49
2.5.6	Παραμετρικά Equalizer.....	50
2.5.7	Γραφικά Equalizer.....	51
2.5.8	Παραγραφικά Equalizer.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΗΧΟΡΡΥΠΑΝΣΗ – ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

3.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	53
3.2	ΘΟΡΥΒΟΣ.....	53
3.3	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	60
3.3.1	Προβλήματα ακοής.....	60
3.3.2	Άγχος στην εργασία.....	64
3.3.3	Αυξημένου κινδύνου ατυχήματα στους χώρους εργασίας.....	64
3.3.4	Διαφορές μεταξύ των δύο φύλων.....	65
3.5	ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ(ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ)

4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	78
4.2	ΠΕΡΙΓΑΦΗ ΧΩΡΟΥ.....	78
4.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	81
4.4	ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ(RT60).....	85
4.5	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.....	95
4.6	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	98
4.7	ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	107
4.8	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΣΥΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	111
5.2	ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ(RT60).....	111
5.3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.....	113
5.4	ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	113
5.5	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	114

5.6	ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	114
5.7	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	115
5.8	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ – ΥΓΕΙΑΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ.....	117
5.8.1	Γενικά.....	117
5.8.2	Διεξαγωγή εκτίμησης των κινδύνων.....	117
5.8.3	Λήψη μέτρων για την πρόληψη ή τον έλεγχο των κινδύνων.....	118
5.8.4	Τακτική παρακολούθηση των κινδύνων και των μέτρων ελέγχου.....	120
5.8.5	Ιατρική πρόληψη.....	121
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	122
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	126

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακουστική είναι η επιστήμη της συμπεριφοράς των ηχητικών κυμάτων που μελετά την παραγωγή, διάδοση και λήψη αυτών από το ανθρώπινο αυτί. Με την πρόοδο της τεχνολογίας στις μέρες μας, έχουμε όλα τα κατάλληλα μέσα για να διενεργήσουμε ακουστικές μελέτες σε χώρους ακρόασης και να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά του ήχου, που μας επιτρέπουν να εκτιμήσουμε την εκάστοτε ηλεκτροακουστική εγκατάσταση και να επέμβουμε για να την βελτιώσουμε, εάν αυτό χρειάζεται. Πέρα από την εκτίμηση της ποιότητας μιας ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης η ακουστική χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει και το εάν μια ηλεκτροακουστική εγκατάσταση πληρεί τα όρια που θέτει η νομοθεσία, για τους κινδύνους στην υγεία των εργαζομένων, που προκύπτουν από έκθεση τους σε υψηλές στάθμες θορύβου για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η εν λόγω εργασία αναφέρεται σε όλους τους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να γίνει μια ηλεκτροακουστική μελέτη σε ένα κέντρο διασκέδασης και να διασφαλισθεί η ασφάλεια της ακουστικής υγείας των εργαζομένων στο κέντρο αυτό.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται βασικές έννοιες της ακουστικής, γίνεται κατηγοριοποίηση των χώρων και για κάθε κατηγορία παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά, τα φαινόμενα που συναντάμε, καθώς και οι μαθηματικοί τύποι που τα περιγράφουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά μιας ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης και των επιμέρους βαθμίδων της, καθώς και τα κριτήρια ποιότητας που πρέπει να ικανοποιεί, προκειμένου να θεωρείται επιτυχής και λειτουργική. Μερικά από τα κριτήρια είναι η παραγωγή επαρκούς ηχητικής στάθμης, η ομοιομορφία κάλυψης, το δυναμικό εύρος και η επίπεδη συχνοτική απόκριση.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ηχορύπανση και στο νομοθετικό μέρος που σχετίζεται με αυτή. Μελετώνται τα είδη των θορύβων που υπάρχουν, οι διάφοροι δείκτες ηχοέκθεσης που χρησιμοποιούνται, οι επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία καθώς και η νομοθεσία σχετικά με τις ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας για την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος), που προβλέπεται από την ευρωπαϊκή ένωση και ισχύει στην χώρα μας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία των μετρήσεων στην οποία εφαρμόζονται όσα έχουν αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Γίνονται πραγματικές μετρήσεις στον χώρο τόσο για την μελέτη της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης ενός κέντρου διασκέδασης, όσο και για τον έλεγχο της συμμόρφωσής του με την νομοθεσία σχετικά με τον θόρυβο.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, γίνεται σχολιασμός τους, και παραθέτονται προτάσεις βελτίωσης ηλεκτροακουστικών εγκαταστάσεων καθώς και προτάσεις βελτίωσης για την ακουστική – υγεία των εργαζομένων.

Η εργασία αυτή ελπίζουμε ότι θα αποτελέσει χρήσιμο βοήθημα για οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να αποκτήσει τις βασικές θεωρητικές γνώσεις που χρησιμοποιούνται, για την ηλεκτροακουστική μελέτη ενός κέντρου διασκέδασης, να γνωρίσει την διαδικασία των μετρήσεων που απαιτούνται για την παρατήρηση των ακουστικών φαινομένων που συμβαίνουν σε αυτό, την σημασία τους, καθώς και τους τρόπους βελτιστοποίησης των τυχόν ανωμαλιών που

παρατηρούνται. Ακόμα μπορεί κάνεις να ενημερωθεί για την προβλεπόμενη νομοθεσία σχετικά με τον θόρυβο, τις επιπτώσεις του και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται για την προστασία της υγείας των εργαζομένων στα κέντρα αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Ακουστική

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακουστική παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον διότι ο ήχος συνοδεύει όλες σχεδόν τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Εκτός από τη μετάδοση πληροφοριών και την ψυχολογική επίδραση στον άνθρωπο (ευεργετική ή ενοχλητική), ο ήχος έχει πολύ μεγάλες εφαρμογές στην έρευνα και την τεχνολογία. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες της ακουστικής οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της εργασίας μας.

1.1 ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Στην ακουστική χρησιμοποιούνται τόσο οι ηχητικές στάθμες όσο και οι φασματικές στάθμες θορύβου. Η διαφορά μεταξύ τους έγκυται στο ότι στις φασματικές στάθμες, υπεισέρχεται η συχνότητα ενός στις ηχητικές στάθμες όχι. Παρακάτω αναφέρονται οι στάθμες που ανήκουν και στις δύο κατηγορίες αντίστοιχα.

1.1.1 Ηχητικές Στάθμες:

Στην ακουστική χρησιμοποιούνται κυρίως οι παρακάτω ηχητικές στάθμες:

α) Στάθμη πίεσης ήχου (L_p)

Ορίζεται από τη σχέση:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} \quad (1.1)$$

$$p_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$$

Οπού P η πίεση ήχου σε κάποιο σημείο,

p_{ref} η πίεση αναφοράς.

Η ακουστική πίεση είναι υψωμένη στο τετράγωνο γιατί η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων, είναι ανάλογη με το τετράγωνο της πίεσης. Αντίστοιχα με την στάθμη πίεσης του ήχου ορίζονται και οι στάθμες έντασης και ισχύος.

β) Στάθμη έντασης ήχου (L_I)

Ορίζεται από τη σχέση:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (1.2)$$

Όπου, I το μέτρο της έντασης σε κάποιο σημείο,
 I_{ref} η ένταση αναφοράς που υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{ref} = 10 \log \frac{p^2_{ref}}{(\rho c)_{ref}} \quad (1.3)$$

Με αντικατάσταση των τιμών αναφοράς προκύπτει:

$$I_{ref} = 10^{-12} W / m^2$$

γ) Στάθμη ισχύος ήχου (L_W)

Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ολικά εκπεμπόμενης ηχητικής ισχύος από μία πηγή.
Ορίζεται από τη σχέση:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_{ref}} \quad (1.4)$$

Όπου W , η ακουστική ισχύς της πηγής σε watt και W_{ref} η ισχύς αναφοράς.
Η ποσότητα αναφοράς προκύπτει με ανάλογο τρόπο από τη σχέση:

$$W_{ref} = I_{ref} S_{ref} = 10^{-12} W / m^2 \cdot 1 m^2 = 10^{-12} W \quad (1.5)$$

Πολλές φορές οι στάθμες πίεσης, έντασης και ισχύος συμβολίζονται ως SPL, SIL και SWL αντίστοιχα.

1.1.2 Φασματικές Στάθμες:

Όταν μας ενδιαφέρει πως κατανέμεται ο θόρυβος στις διάφορες συχνότητες όπως είπαμε και παραπάνω χρησιμοποιούμε τις παρακάτω στάθμες θορύβου:

α) Φασματική στάθμη πίεσης (L_{ps})

Δίνει τη στάθμη απλών ήχων (τόνων) και ορίζεται από τη σχέση:

$$L_{ps} = 10 \log \frac{p_s^2}{p_{ref}^2} \quad (1.6)$$

Όπου p_s η πίεση που οφείλεται σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων με κεντρική συχνότητα f και εύρος $\Delta f = 1 \text{ Hz}$.

β) Ζωνική στάθμη πίεσης (L_{pb})

Δίνει τη στάθμη του ήχου όταν αυτός κατανέμεται σε μια ζώνη (1/1, 1/3, 1/10 οκτάβας) και ορίζεται από τη σχέση:

$$L_{pb} = 10 \log \frac{\int_{f_1}^{f_2} p_{f,rms}^2 df}{p_{ref}^2} \quad (1.7)$$

Όπου f_1, f_2 οι πλευρικές συχνότητες κάθε ζώνης και $p_{f,rms}$ η *rms* φασματική πίεση κάθε συχνότητας.

Όταν έχουμε ίση κατανομή του θορύβου σε όλες τις συχνότητες μιας ζώνης τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$L_{pb} = 10 \log \frac{p_s^2 \Delta f}{p_{ref}^2} = L_{ps} + 10 \log \Delta f \quad (1.8)$$

Όπου Δf το εύρος ζώνης.

p_s^2 το τετράγωνο της πίεσης της κεντρικής συχνότητας της ζώνης.

L_{ps} η αντίστοιχη φασματική στάθμη της κεντρικής συχνότητας της ζώνης.

γ) Ολική στάθμη πίεσης ($L_{p_{ολ}}$)

Η ολική στάθμη πίεσης δηλαδή η στάθμη που οφείλεται στον ήχο ανεξάρτητα από τη συχνότητα του δίνεται από τη σχέση:

$$L_{p_{ολ}} = 10 \log \frac{\int_0^{2000} p_{f,rms}^2 df}{p_{ref}^2} \quad (1.9)$$

Όταν έχουμε θόρυβο που κατανέμεται ομοιόμορφα σε κάθε ζώνη συχνοτήτων τότε η ολική στάθμη πίεσης δίδεται από τη σχέση:

$$L_{p_{ολ}} = \frac{1}{p_{ref}^2} \sum_i^N p_{si}^2 \Delta f_i = 10 \log \sum_i^N 10^{0.1 L_{b,i}} \quad (1.10)$$

Όπου p_{si} , οι πιέσεις στις κεντρικές συχνότητες κάθε ζώνης,
 Δf , το εύρος κάθε ζώνης,
 $L_{b,i}$ η στάθμη ζώνης.

Η παραπάνω σχέση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον υπολογισμό της ολικής στάθμης πίεσης όταν γνωρίζουμε τις ζωνικές στάθμες ενός ήχου. Η ολική στάθμη όταν γνωρίζουμε τις ζωνικές στάθμες μπορεί συμβολικά να γραφεί με την σχέση:

$$L_{p_{ολ}} = L_{B1} \oplus L_{B2} \oplus L_{B3} \oplus \dots \quad (1.11)$$

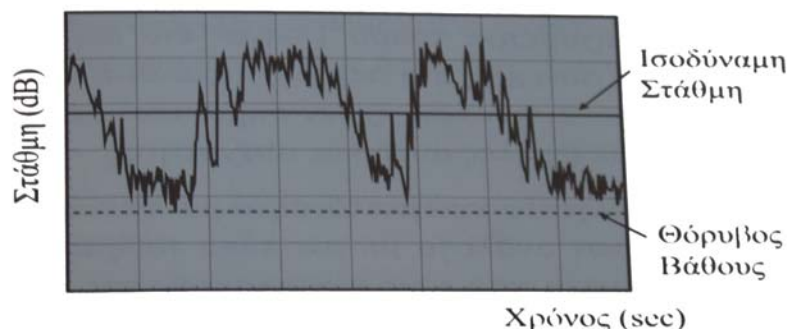
Όπου \oplus το σύμβολο άθροισης των dB. Ανάλογες σχέσεις ισχύουν για την ένταση και την ισχύ των πηγών.

δ) Ισοδύναμη στάθμη θορύβου (L_{eq})

Όταν μετράμε σταθερούς ήχους χρησιμοποιούμε τις στάθμες που αναφέραμε παραπάνω. Όταν μετράμε όμως ήχους των οποίων το πλάτος μεταβάλλεται με τον χρόνο χρησιμοποιούμε άλλες στάθμες που ονομάζονται και δείκτες. Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου είναι μια από αυτές και εκφράζει την στάθμη που θα πρέπει να έχει ένας σταθερός στάθμης ήχος, που περικλείει την ίδια ακουστική ενέργεια με τον κυμαινόμενο. Μαθηματικά ορίζεται από τη σχέση:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{t_1^{L_1/10} + t_2^{L_2/10} + \dots + t_n^{L_n/10}}{T} \right) \quad (1.12)$$

Όπου T , ο χρόνος παρατήρησης
 $L(t)$ η στιγμιαία στάθμη θορύβου.



Σχήμα 1.5: Κυμαινόμενος θόρυβος και ισοδύναμη στάθμη.

ε) Στάθμη έκθεσης θορύβου (SEL ή L_{AE})

Η στάθμη έκθεσης θορύβου (sound exposure level) είναι η σταθερή στάθμη θορύβου που διαρκεί 1sec και περικλείει την ίδια ενέργεια με το θόρυβο που μετριέται. Η στάθμη αυτή

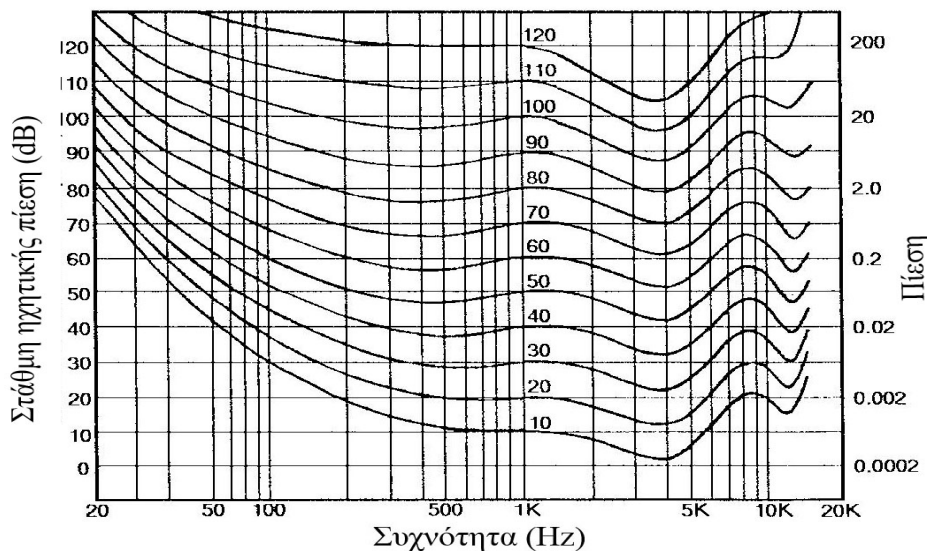
χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου ολοκλήρωσης της ισοδύναμης στάθμης όταν μετριέται ταυτόχρονα μ' αυτήν. Όταν χρησιμοποιείται φίλτρο A το SEL συμβολίζεται με L_{AE} . Η στάθμη έκθεσης δίνεται από τη σχέση:

$$L_{AE} = L_{A(eq)} + 10 \log T \quad (1.13)$$

Όπου T ο χρόνος που διαρκεί το φαινόμενο.

1.2 Καμπύλες ακουστότητας και phon.

Με την πάροδο των χρόνων έχει αποδειχθεί ότι το ανθρώπινο αισθητήριο δεν είναι το ίδιο ευαίσθητο σε όλες τις συχνότητες αλλά έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεσαίες συχνότητες. Δυο επιστήμονες, οι Fletcher και Munson περιέγραψαν το φαινόμενο αυτό με ένα σύνολο από καμπύλες, οι οποίες ονομάζονται καμπύλες ίσης ακουστότητας (equal loudness contours). Οι καμπύλες αυτές φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1.6: Καμπύλες ίσης ακουστότητας Fletcher - Munson

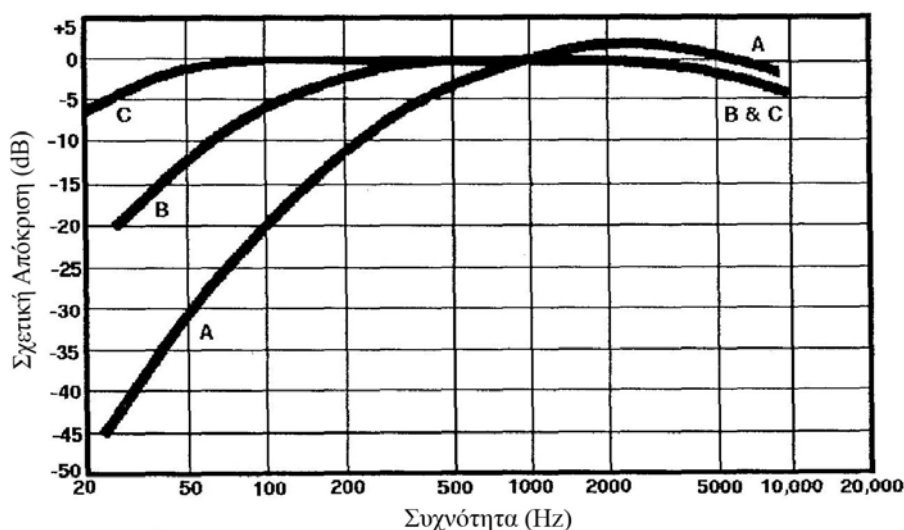
Οι καμπύλες αυτές μας δείχνουν πόση ηχητική πίεση χρειάζεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα ανθρώπων σε διάφορες συχνότητες, προκειμένου να αισθανθούν ότι τις ακούνε με την ίδια ένταση που ακούνε την συχνότητα 1KHz. Γενικά, χρειάζεται περισσότερη ηχητική πίεση στις χαμηλότερες και τις υψηλότερες συχνότητες, για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε ότι ο ήχος σε αυτές είναι το ίδιο δυνατός με τον ήχο που ακούμε στο 1KHz. Από τις καμπύλες αυτές φαίνεται ότι η ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής είναι μεγαλύτερη στην μεσαία περιοχή, με μέγιστο στην περιοχή ανάμεσα στα 3 και 4 kHz και πέφτει λίγο στις υψηλότερες συχνότητες, αλλά πάρα πολύ στις χαμηλές. Αυτό το φαινόμενο είναι εντονότερο στις χαμηλές εντάσεις, ενώ σε υψηλότερες είναι λιγότερο εμφανές.

Ο όρος phon αποτελεί μονάδα μέτρησης της ακουστότητας. Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα κάθε μια από τις καμπύλες αντιστοιχεί σε μια τιμή phon, η οποία είναι

πάντα ταυτόσημη με την στάθμη ηχητικής πίεσης (dB SPL) που παρουσιάζει στο 1kHz. Από το διάγραμμα τις κάθε καμπύλης μπορούμε να βρούμε για οποιαδήποτε συχνότητα τη στάθμη ηχητικής πίεσης που απαιτείται για να έχουμε τιμή ακουστότητας ίδια με αυτή της καμπύλης. Το γεγονός ότι όλες οι καμπύλες έχουν κάπως διαφορετική καμπυλότητα, μας λέει απλά ότι η ακοή δεν είναι γραμμική, αλλά η ευαισθησία της αλλάζει ανάλογα με την ένταση.

1.3 Φίλτρα A, B, C.

Το γεγονός ότι το η απόκριση του ανθρώπινου αυτιού δεν είναι γραμμική, οδήγησε τους κατασκευαστές οργάνων μέτρησης του ήχου στην χρησιμοποίηση ειδικών διορθωτικών φίλτρων, τα οποία δρουν σαν αντίστροφες καμπύλες ακουστότητας, για την μέτρηση της στάθμης ηχητικής πίεσης. Τα τυποποιημένα αυτά φίλτρα εξασθενούν το ηχητικό σήμα σε διάφορες συχνοτικές περιοχές ανάλογα με την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού έτσι ώστε να έχουμε μια πιο flat απόκριση από το όργανο μέτρησης ηχητικής πίεσης, η οποία όμως ταυτόχρονα να ανταποκρίνεται στην απόκριση το ανθρώπινου αισθητηρίου ακοής, ανάλογα με την ένταση. Τα φίλτρα αυτά λέγονται φίλτρα βάρους A, B και C. και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.7: Φίλτρα A, B, C

Αν λάβουμε υπόψη την ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής, η καμπύλη του φίλτρου A είναι καταλληλότερη για μετρήσεις χαμηλής έντασης (βλέπε καμπύλη 40 phon, σχήμα ...), ενώ οι καμπύλες B και C χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις πολύ υψηλότερης έντασης (βλέπε καμπύλες 100 και 110 phon, σχήμα ...). Αν χρησιμοποιηθούν τα φίλτρα αυτά η μετρούμενη στάθμη του θορύβου, θα είναι μικρότερη από την πραγματική και για να ξεχωρίζεται η μετρούμενη στάθμη συμβολίζεται με dB(A), dB(B) και dB(C) αντίστοιχα.

1.4 ΕΙΔΗ ΗΧΩΝ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΩΝ

Οι ήχοι ανάλογα με την κυματομορφή ή το φασματικό περιεχόμενο τους κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Γενικά ως ήχο θεωρούμε το ερέθισμα που μεταφέρει κάποια πληροφορία, ενώ ως θόρυβο κάθε ανεπιθύμητο ήχο. Μπορούμε να ορίσουμε τα παρακάτω είδη ήχων και θορύβων.

1.4.1 Είδη ήχων:

α) Απλός ήχος ή απλός τόνος ή καθαρός τόνος είναι ο ήχος που παράγεται από αρμονική διαταραχή.

Ο απλός ήχος χαρακτηρίζεται από το πλάτος του, τη συχνότητά του και το μήκος κύματος. Η μαθηματική έκφραση ενός απλού τόνου, με τη μορφή επίπεδου ηχητικού κύματος είναι:

$$p(x, t) = p_0 \cos(\omega t - kx) \quad (1.14)$$

Όπου p , η πίεση του ηχητικού σήματος.

t , χρόνος

x , η απόσταση από την αρχή των αξόνων.

β) Σύνθετος ήχος είναι κάθε ήχος που δεν είναι απλός τόνος.

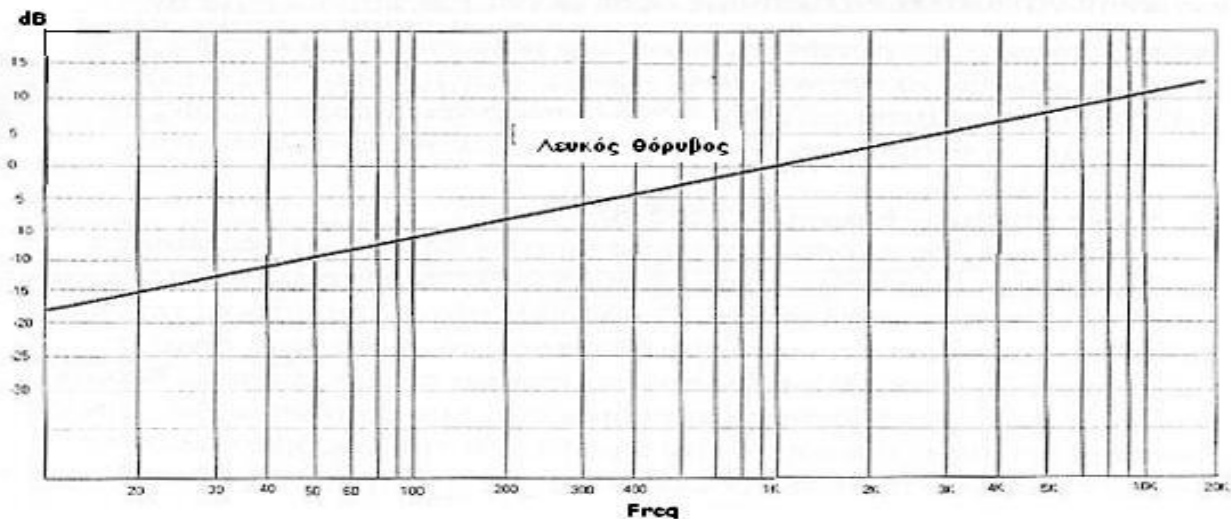
γ) Σύνθετος τόνος είναι κάθε περιοδικός σύνθετος ήχος.

1.4.2 Είδη θορύβων:

Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται γενικά με τυχαίο τρόπο, ή γενικότερα κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος. Ο θόρυβος οφείλεται στις ηχητικές συνθήκες του χώρου και προκαλείται από συμβολή πολλών ηχογόνων παραγόντων (όπως άνεμος, τροχαία κίνηση, βιομηχανία, ανθρώπινες δραστηριότητες κ.λπ.). Μπορούμε να διακρίνουμε τα εξής είδη θορύβων:

α) Λευκός θόρυβος:

Αν υποθέσουμε ότι ο θόρυβος που εκπέμπεται από μια πηγή κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων, δηλαδή περικλείει την ίδια ηχητική ενέργεια ανά Hz, τότε ο θόρυβος ονομάζεται λευκός (white noise).



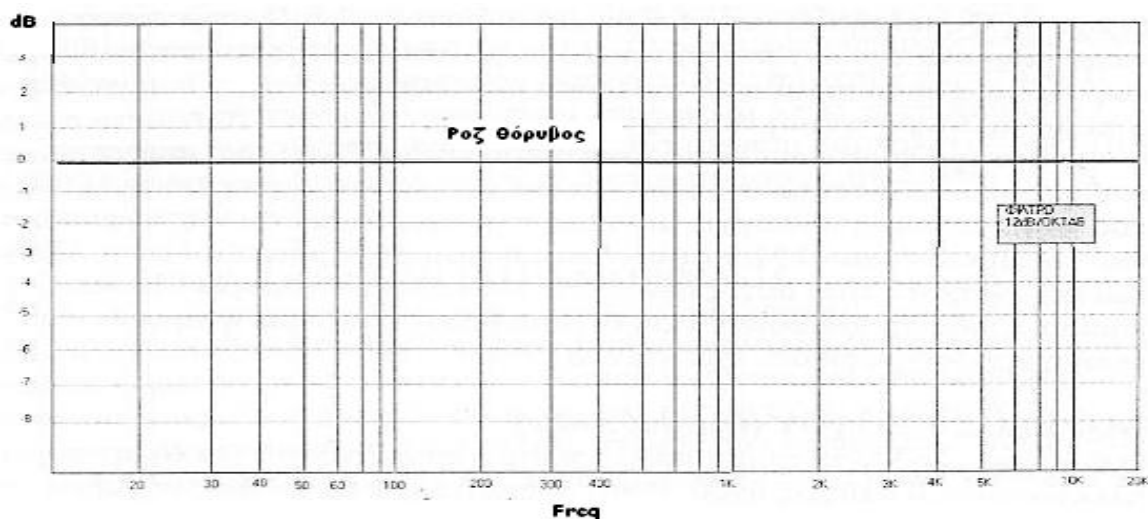
Σχήμα 1.8: Φάσμα λευκού θορύβου.

Το φάσμα του λευκού θορύβου αποτελείται από μια ευθεία γραμμή με κλίση +3 dB ανά οκτάβα. Στην περίπτωση λευκού θορύβου συνεπώς ισχύει:

$$p_f^2 = \text{σταθ.} \cdot (1.15)$$

β) Ροζ θόρυβος:

Όταν ο θόρυβος κατανέμεται περισσότερο στις χαμηλές συχνότητες και μάλιστα η κατανομή αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συχνότητα τότε ο θόρυβος ονομάζεται ροζ θόρυβος (pink noise).



Σχήμα 1.9: Φάσμα Ροζ θορύβου.

Το φάσμα του ροζ θορύβου όταν αυτό ληφθεί με φίλτρα σταθερού εύρους ή ψηφιακά μέσω FFT, θα αποτελείται από μια ευθεία γραμμή με κλίση -3 dB ανά οκτάβα. Όταν όμως το φάσμα ληφθεί μέσω φίλτρων μεταβλητού εύρους (π.χ φίλτρα οκτάβας, τριτοοκτάβας κ.λ.π.) λόγω του ότι το εύρος των φίλτρων αυξάνει με την συχνότητα με ρυθμό αντίστροφο από ότι ελαττώνεται το τετράγωνο της rms πίεσης, τότε οι τιμές των ζωνικών σταθμών θα βρίσκονται σε ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των συχνοτήτων. Στην περίπτωση ροζ θορύβου ισχύει:

$$p_f^2 = \frac{k}{f}. \quad (1.16)$$

Όπου k σταθερά.

γ) Θόρυβος περιβάλλοντος :

Για το θόρυβο περιβάλλοντος μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό: (ΕΛΟΤ 263.1):

Θόρυβος περιβάλλοντος είναι το συνολικό αποτέλεσμα όλων των αερόφερτων ήχων που παράγονται από πολλές πηγές κοντινές ή μακρινές σε δοσμένο περιβάλλον, από τους οποίους κανένας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

δ) Θόρυβος βάθους:

Θόρυβος βάθους ονομάζεται ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δεν μας ενδιαφέρουν. Ο θόρυβος περιβάλλοντος είναι μέρος του θορύβου βάθους.

Στην περίπτωση αξιολόγησης του θορύβου βάθους σε κατοικημένες περιοχές ως θόρυβος βάθους λαμβάνεται η A ηχοστάθμη που ξεπερνιέται στα 95% του χρόνου μέτρησης (L_{95}).

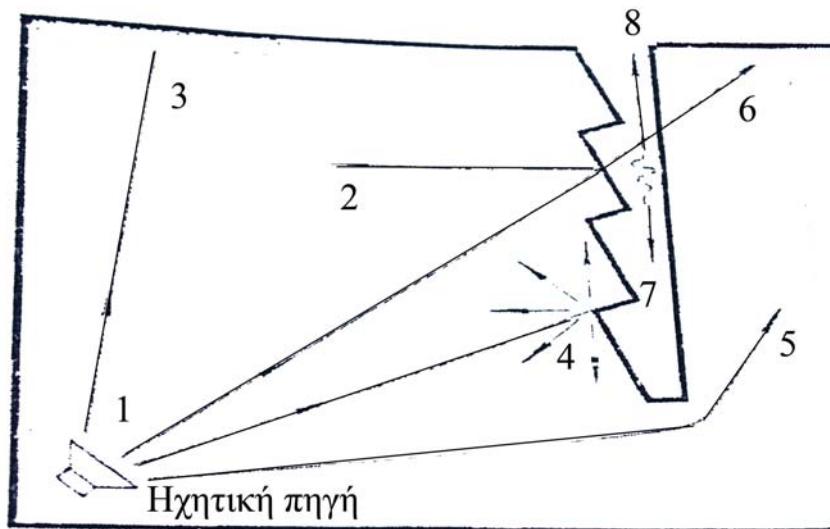
Σταθερός θόρυβος είναι ο θόρυβος που παρουσιάζει αμελητέα μικρές διακυμάνσεις στάθμης κατά την διάρκεια της παρατήρησης.

Μεταβλητός θόρυβος είναι ο θόρυβος που δεν είναι σταθερός.

Κομινόμενος είναι ο μεταβλητός θόρυβος που η στάθμη του αλλάζει συνεχώς και σε σημαντικό βαθμό κατά την διάρκεια της παρατήρησης.

1.5 ΕΙΔΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Κατά τη μετάδοση του ήχου σε κλειστό χώρο λαμβάνουν χώρα διάφορα φαινόμενα όπως η ανάκλαση, η απορρόφηση, η διάχυση, η περίθλαση, η διάδοση μέσω του εμποδίου και η διασπορά μέσα στην κατασκευή:



Σχήμα 1.10: Σχηματική αναπαράσταση των φυσικών φαινομένων που δημιουργούνται σε κλειστούς χώρους κατά την μετάδοση ηχητικών κυμάτων. (1) Απευθείας ήχος (2) Ανάκλαση (3) Απορρόφηση (4) Διάχυση (5) Περίθλαση (6) Διάδοση (7) Διασπορά μέσα στην κατασκευή (8) Διάδοση μέσα στην κατασκευή

Τα παραπάνω φαινόμενα δημιουργούν το συνολικό ηχητικό πεδίο του χώρου το οποίο μπορεί να έχει κάποια από τις παρακάτω μορφές.

α) Ελεύθερο πεδίο (free field):

Αφορά διάδοση σε χώρο ομοιόμορφο, χωρίς οριακές επιφάνειες και αδιατάραχτο από πολλές ηχητικές πηγές, στον οποίο η ροή της ενέργειας γίνεται προς μία κατεύθυνση. Τέτοιος μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ένας ανοιχτός εξωτερικός χώρος χωρίς τοίχους και έδαφος ή άλλα ανάλογα εμπόδια.

β) Αντηχητικό πεδίο (reverberant field):

Δημιουργείται από την συμβολή των απευθείας και των ανακλώμενων κυμάτων. Η πυκνότητα της ακουστικής ενέργειας είναι σχεδόν σταθερή σε κάποιο σημείο του χώρου (διάχυτο αντηχητικό πεδίο). Αντηχητικό πεδίο δημιουργείται σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους, με επιφάνειες μικρής ηχοαπορρόφησης, όπου ο ήχος ανακλάται στους τοίχους.

γ) Ημιαντηχητικό πεδίο (semi-reverberant field):

Σε αυτό η ηχητική ενέργεια ανακλάται και απορροφάται. Η ροή έχει περισσότερες από μία κατευθύνσεις, ωστόσο υπάρχει σε κάποια στοιχεία του πεδίου ορισμένη κατεύθυνση διάδοσης από τη πηγή ήχου. Ημιαντηχητικό πεδίο θεωρούμε ότι έχουμε σε ένα μεγάλο κλειστό χώρο με επιφάνειες μέτριας ηχοανακλαστικότητας

1.6 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΧΩΡΩΝ

1.6.1 Γενικά:

Κάθε χώρος έχει μια ξεχωριστή «ακουστική ταυτότητα» η οποία διαμορφώνεται από τις διαστάσεις του, τη γεωμετρία του, τα δομικά του υλικά και από τα διάφορα φυσικά φαινόμενα που εμφανίζονται μέσα σε αυτόν κατά τη μετάδοση ηχητικού σήματος. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να κατατάξουμε κάθε χώρο : οι ανοιχτοί, οι μεγάλοι κλειστοί και οι μικροί κλειστοί χώροι. Μια ακουστική μελέτη λαμβάνει υπόψη τα γενικά χαρακτηριστικά του χώρου, αλλά και τις τυχόν ιδιαιτερότητες που μπορεί να έχει, έτσι ώστε να περιγράψει ακριβώς αυτή την «ακουστική ταυτότητα».

Τους ανοιχτούς χώρους τους μελετάμε θεωρώντας προσεγγιστικά ότι το πεδίο είναι ελεύθερο, αφού δεν υπάρχουν εμπόδια στη διάδοση του ήχου όπως είναι οι τοίχοι.

Στους κλειστούς χώρους το ηχητικό πεδίο διαμορφώνεται από την αντήχηση. Διακρίνονται σε μεγάλους και μικρούς κλειστούς χώρους. Η μελέτη των μεγάλων κλειστών χώρων γίνεται με τις αρχές της γεωμετρικής ακουστικής και της στατιστικής επιστήμης, όπου ο ήχος θεωρείται σαν μια ακτίνα που διαδίδεται και όταν προσπίπτει σε μια επιφάνεια ανακλάται ή απορροφάται, ενώ στους μικρούς κλειστούς χώρους γίνεται εφαρμογή των αρχών της κυματικής ακουστικής, δηλαδή ο ήχος μελετάται σαν κύμα.

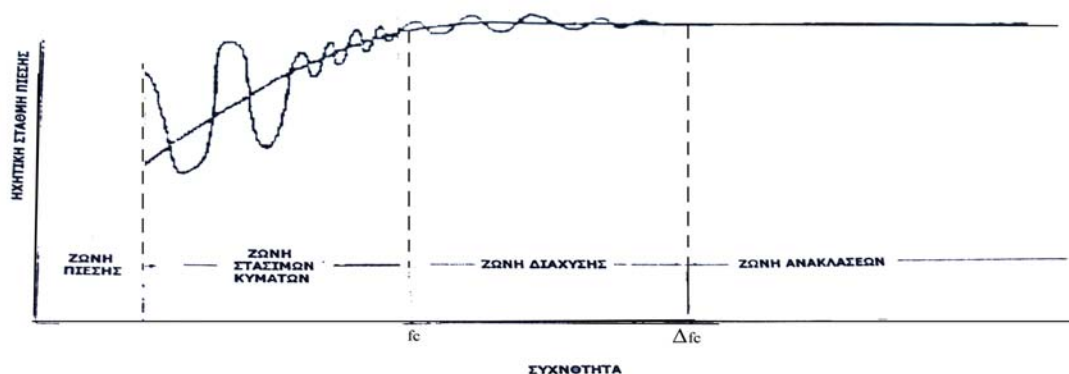
Κριτήριο διαχωρισμού ανάμεσα στους μεγάλους και τους μικρούς κλειστούς χώρους είναι η συχνότητα αποκοπής (cut off frequency). Ορίστηκε από τον Schroeder και είναι η συχνότητα πάνω από την οποία δημιουργείται τόσο μεγάλος αριθμός στάσιμων κυμάτων ώστε το δωμάτιο συμπεριφέρεται πρακτικά ομοιόμορφα σε όλες τις συχνότητες.

Υπολογίζεται από τον τύπο :

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{RT_{60}}{V}} \quad (1.17)$$

όπου RT_{60} ο χρόνος αντήχησης σε sec.

V ο όγκος του δωματίου (m^3)

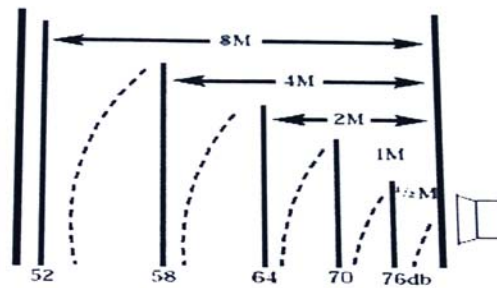


Σχήμα 1.11: Διάγραμμα Bolt, Beranek και Neumann – Ελεγκτής της σταθερής κατάστασης της ακουστικής δωματίου.

Το ακουστικό φάσμα χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές : τη ζώνη πίεσης (δεν υπάρχει κανένας συντονισμός), τη ζώνη των στάσιμων κυμάτων (ισχύει η κυματική ακουστική), τη ζώνη διάχυσης (μετάβαση από τη δεύτερη στην τέταρτη περιοχή / έχει εύρος $f_c - 4f_c$) και τη ζώνη των ανακλάσεων (ισχύει η γεωμετρική ακουστική). Σε έναν μεγάλο χώρο η συχνότητα αποκοπής παίρνει τόσο μικρή τιμή, που το μεγαλύτερο μέρος του ακουστικού φάσματος βρίσκεται στη τρίτη και τέταρτη περιοχή, όπου ισχύει η γεωμετρική ακουστική. Αντίθετα, στους μικρούς χώρους η συχνότητα αποκοπής παίρνει μεγαλύτερες τιμές και γι' αυτό έχουμε εμφάνιση στάσιμων κυμάτων (δεύτερη περιοχή).

1.6.2 Ανοιχτοί χώροι:

Στους ανοιχτούς χώρους ισχύει ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου σύμφωνα με τον οποίο η στάθμη ηχητικής πίεσης μειώνεται κατά 6 dB για κάθε διπλασιασμό της απόστασης από την ηχητική πηγή.



Σχήμα 1.12: Νόμος αντίστροφου τετραγώνου.

Η πυκνότητα της ηχητικής ενέργειας στο ελεύθερο πεδίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$W_d = \frac{P_{ak}}{c} \frac{\gamma_s \Gamma_s^2(\theta)}{4\pi r^2} \quad (1.18)$$

Όπου P_{ak} : ακουστικής ισχύς του ήχου (W),
 c : η ταχύτητα του ήχου στον αέρα. (στους $20^\circ C$ είναι $c = 343.54m / s$),
 γ_s : ο παράγοντας front-to-random της πηγής,
 $\Gamma_s(\theta)$: ο λόγος γωνιακής κατευθυντικότητας της πηγής και
 r : η απόσταση από τη πηγή (m)

Η σχέση που δίνει τη στάθμη ηχητικής πίεσης στο ελεύθερο πεδίο είναι:

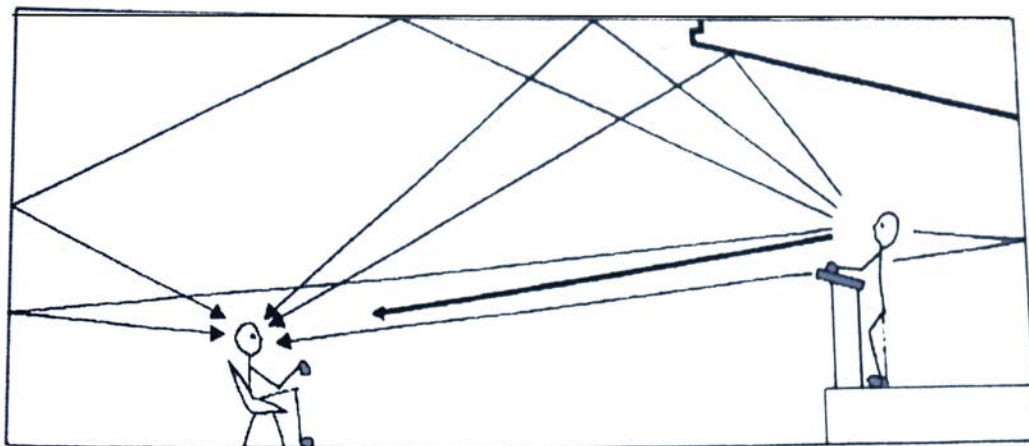
$$L_d = L_{(w)} + 10 \log \frac{Q_s}{4\pi r^2} \quad (1.19)$$

όπου $L_{(w)}$ η ακουστική ισχύς (dB) με τιμή αναφοράς $10^{-12}W$
 Q_s ο παράγοντας κατευθυντικότητας της ηχητικής πηγής .

Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από την απόσταση και τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας της πηγής, η ηχητική στάθμη επηρεάζεται επίσης και από την θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου.

1.6.3 Κλειστοί χώροι:

Χαρακτηριστικό των κλειστών χώρων είναι η αντήχηση (reverberation), δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο το ηχητικό πεδίο διατηρείται και μετά το σταμάτημα της ηχητικής πηγής που το δημιούργησε. Ο αρχικός ήχος που έφτασε στα αυτιά μας επιστρέφει πάλι σε εμάς μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αφού έχει ανακλαστεί σε διάφορες επιφάνειες. Είναι προφανές ότι η αντήχηση επηρεάζεται από τις διαστάσεις του χώρου, τη γεωμετρία του και τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένες όλες οι επιφάνειες του.



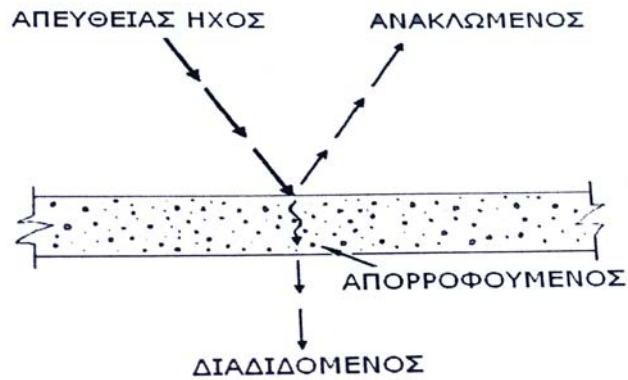
Σχήμα 1.13: Δημιουργία φαινομένου αντήχησης (απευθείας ήχος(με έντονο βέλος) – ανακλάσεις).

α) Μεγάλοι κλειστοί χώροι:

Το ηχητικό πεδίο σε έναν μεγάλο κλειστό χώρο σχηματίζεται από τον συνδυασμό του ελεύθερου και του αντηχητικού πεδίου. Τα μεγέθη που τον χαρακτηρίζουν είναι η απορρόφηση, ο χρόνος αντήχησης και η κρίσιμη απόσταση.

Απορρόφηση (A) : Κατά τη πρόσπτωση ενός ηχητικού κύματος πάνω σε μια επιφάνεια ένα ποσοστό της ενέργειας ανακλάται, ένα άλλο απορροφάται από το υλικό, ενώ ένα τρίτο συνεχίζει να διαδίδεται. Προκειμένου να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε ποσοτικά την επίδραση του κάθε υλικού στην αντήχηση ενός χώρου έχει οριστεί ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης, α , του υλικού, που ισούται με το κλάσμα της ηχητικής ενέργειας που απορροφάται από το υλικό (W_a) προς την ηχητική ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια του (W_d) :

$$\alpha = \frac{W_a}{W_d} \quad (1.20)$$



Σχήμα 1.14: Ανάκλαση, απορρόφηση και διάδοση του ήχου σε επιφάνεια.

Βάσει των υλικών που υπάρχουν μέσα σε έναν χώρο και των επιφανειών τους υπολογίζεται ο συντελεστής μέσης ηχοαπορρόφησης του χώρου, \bar{a} :

$$\bar{a} = \frac{a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (1.21)$$

όπου S_1, S_2, \dots, S_n το εμβαδόν κάθε επιμέρους επιφάνειας και a_1, a_2, \dots, a_n οι συντελεστές μέσης ηχοαπορρόφησης κάθε υλικού.

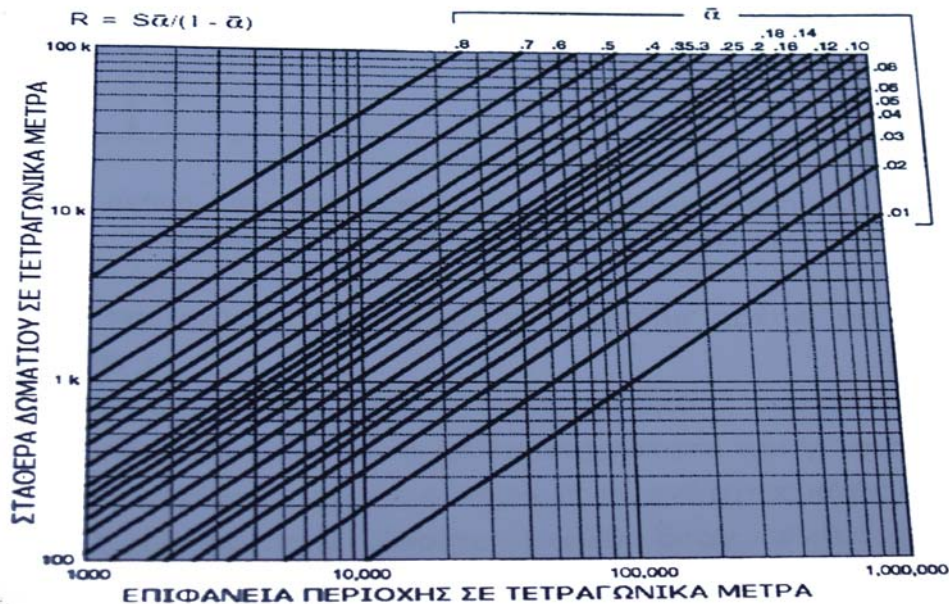
Από τον συντελεστή μέσης ηχοαπορρόφησης υπολογίζεται η σταθερά του δωματίου, R , σύμφωνα με τη σχέση :

$$R = \frac{S \bar{a}}{1 - \bar{a}} \quad (1.22)$$

Όπου S η ολική επιφάνεια του χώρου (m^2)

Τέλος, το γινόμενο $S \bar{a}$ ονομάζεται απορρόφηση (A) του χώρου και ισχύει:

$$A = S \bar{a} = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n \quad (1.23)$$



Σχήμα 1.15: Η σταθερά δωματίου σε σχέση με την επιφάνεια του δωματίου και το συντελεστή μέσης ηχοαπορρόφησης

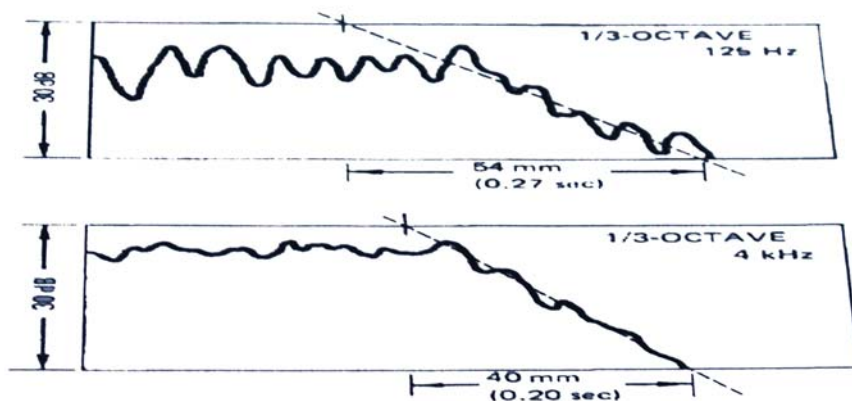
Χρόνος Αντήχησης (RT_{60}) : Είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα (sec) που απαιτείται ώστε η ηχοστάθμη L_p σε κάποιο σημείο να μειωθεί κατά 60 dB μετά τον μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την πηγή. Υπολογίζεται από τον τύπο του Sabine :

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{Sa} \quad (1.24)$$

όπου V ο όγκος (m^3),

S η ολική επιφάνεια (m^2) του χώρου και

α ο συντελεστής μέσης ηχοαπορρόφησης των επιφανειών του χώρου.



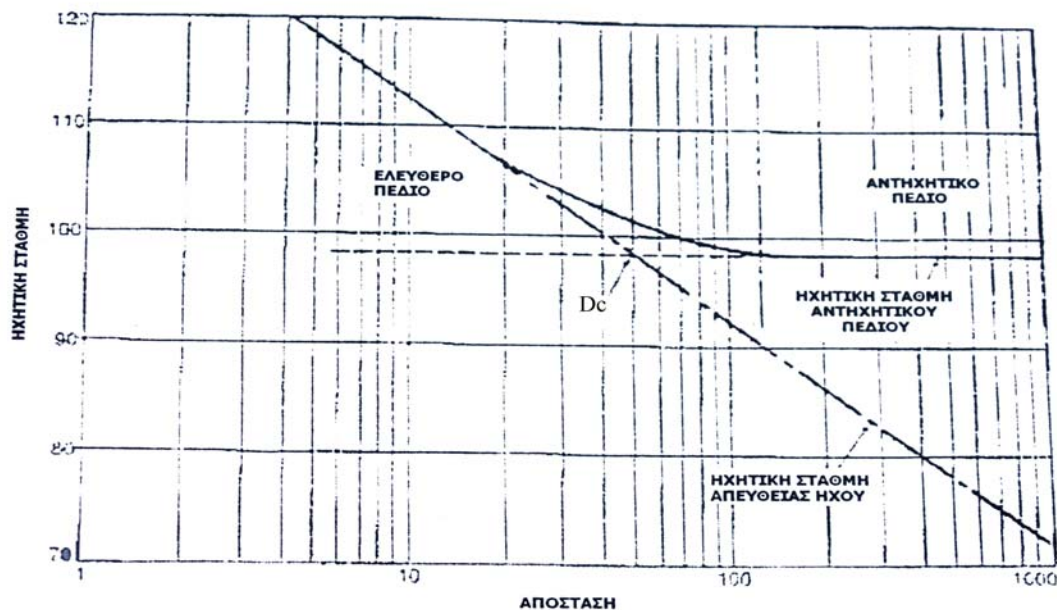
Σχήμα 1.16: Πραγματική μέτρηση χρόνου αντήχησης σε δωμάτιο, για δυο διαφορετικές συχνότητες

Κατά τη χρήση του τύπου του Sabine πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι :

- Κάθε υλικό έχει διαφορετικό συντελεστή μέσης ηχοαπορρόφησης ανάλογα με τη συχνότητα και γι' αυτό ο χρόνος αντήχησης ορίζεται για τις κεντρικές συχνότητες κάθε οκτάβας.
- Ο τύπος του Sabine ισχύει όταν $\bar{a} < 0.1$. Για $\bar{a} \geq 0.1$ χρησιμοποιείται ο τύπος των Norris – Eyring :

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{-S \ln(1 - \bar{a})} \quad (1.25)$$

Κρίσιμη Απόσταση (d_c) : Το ηχητικό πεδίο, όπως ήδη αναφέρθηκε, σχηματίζεται από τον συνδυασμό του ελεύθερου και του αντηχητικού πεδίου. Κοντά στην πηγή υπερισχύει το πρώτο, ενώ πιο μακριά το δεύτερο. Κρίσιμη απόσταση ονομάζεται το σημείο όπου η πυκνότητα ενέργειας μεταξύ του απευθείας ήχου και του αντηχητικού πεδίου είναι ίση.



Σχήμα 1.17: Ελεύθερο, αντηχητικό πεδίο και κρίσιμη απόσταση

Η πυκνότητα ηχητικής ενέργειας του απευθείας ήχου δίνεται από τη σχέση (1.18), ενώ για το διάχυτο αντηχητικό πεδίο χώρου με απορρόφηση A ισχύει :

$$w_r = \frac{4P_{ak}}{cR} \quad (1.26)$$

Όπου P_{ak} η ακουστικής ισχύς του ήχου (W),
 C η ταχύτητα του ήχου στον αέρα (στους 20° είναι $c = 343.54m / s$),
 R η σταθερά δωματίου.

Εξισώνοντας τις σχέσεις (1.18) και (1.26), καταλήγουμε στη σχέση :

$$d_c = \Gamma_s(\theta) \sqrt{\frac{\gamma_s R}{16\pi}} \quad (1.27)$$

ή όπως προκύπτει με αντικατάσταση από τον τύπο του Sabine :

$$d_c = \frac{1}{7} \Gamma_s(\theta) \sqrt{\frac{0.161 \gamma_s V}{RT60}} \quad (1.28)$$

όπου $\Gamma_s(\theta)$ ο λόγος γωνιακής κατευθυντικότητας της πηγής,
 γ_s ο παράγοντας front-to-random της πηγής,
 R η σταθερά δωματίου,
 V ο όγκος του χώρου (m^3) και
 $RT60$ ο χρόνος αντήχησης (sec)

Όταν η πηγή ακτινοβολεί προς έντονα ηχοαπορροφητικές περιοχές ή επιφάνειες, η εκπεμπόμενη ενέργεια απορροφάται αμέσως και έχουμε μείωση της πυκνότητας ηχητικής ενέργειας του διάχυτου πεδίου. Η μείωση αυτή εκφράζεται με τον ενεργό παράγοντα front-to-random (effective front to random factor).

$$\gamma_{PL} = \frac{1 - \bar{a}}{1 - a_p} \quad (1.29)$$

Όπου \bar{a} ο συντελεστής μέσης ηχοαπορρόφησης του χώρου
και a_p ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης της συγκεκριμένης περιοχής ή επιφάνειας.

Η σχέση υπολογισμού της πυκνότητας ηχητικής ενέργειας διάχυτου ηχητικού πεδίου γίνεται :

$$w_r = \frac{4P_{ak}}{cR\gamma_{PL}} \quad (1.30)$$

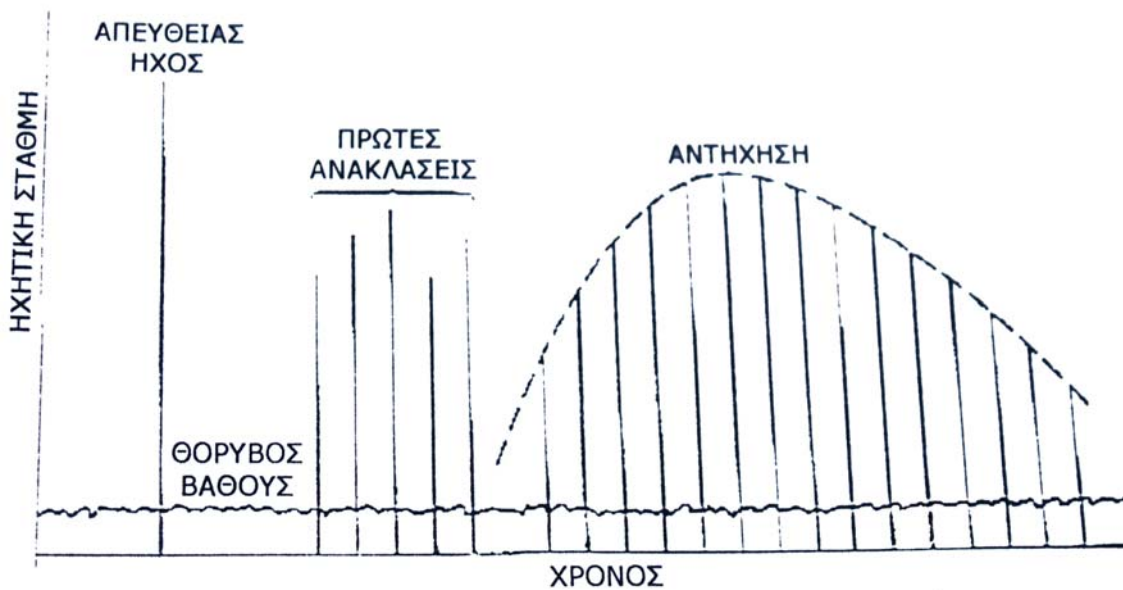
και η κρίσιμη απόσταση :

$$d_c = \Gamma_s(\theta) \sqrt{\frac{\gamma_s \gamma_{PL} R}{16\pi}} \quad (1.31)$$

Όταν στον χώρο υπάρχουν περισσότερες από μια ηχητικές πηγές ίδιου τύπου, σε διαφορετικές θέσεις και εκπέμπουν δημιουργώντας διάχυτο πεδίο, τότε στη σχέση (1.27) πρέπει να υπολογιστεί και ο αριθμός n των πηγών, δηλαδή:

$$d_c = \Gamma_s(\theta) \sqrt{\frac{\gamma_s R}{16\pi n}} \quad (1.32)$$

Η σχέση αναφέρεται σε διάχυτο πεδίο που δημιουργείται από πολλές πηγές, αλλά δίνει τη κρίσιμη απόσταση της μιας από τις πηγές. Προκύπτει λοιπόν, ότι η κρίσιμη απόσταση μειώνεται κατά $\sqrt{1/n}$ για n αριθμό πηγών.



Σχήμα 1.18: Ακουστική απόκριση χώρου.

Υπολογισμός Στάθμης Ηχητικής Πίεσης Σε Μεγάλο Κλειστό Χώρο :

Το ηχητικό πεδίο σχηματίζεται από το άθροισμα του ελεύθερου και του διάχυτου αντηχητικού πεδίου. Η πυκνότητα ηχητικής ενέργειας για έναν κλειστό χώρο προκύπτει από το άθροισμα της σχέσης (1.18) και της σχέσης (1.26):

$$w_t = \frac{P_{ak}}{c} \left(\frac{\gamma_s \Gamma_s^2(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (1.33)$$

και η στάθμη ηχητικής πίεσης είναι :

$$L_t = 10 \log \left[\frac{P_{ak}}{c} \left(\frac{\gamma_s \Gamma_s^2(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \right] \text{ ή } L_t = L_w + 10 \log \left(\frac{Q_s}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (1.34)$$

- P_{ak} η ακουστική ισχύς του ήχου (W),
 c η ταχύτητα του ήχου ,
 γ_s ο παράγοντας front-to-random της πηγής,
 Γ_s ο λόγος γωνιακής κατευθυντικότητας της πηγής,
 r η απόσταση από την πηγή (m),
 R η σταθερά δωματίου,
 L_w η ακουστική ισχύς (dB) και
 Q_s ο παράγοντας κατευθυντικότητας της ηχητικής πηγής.

Όσον αφορά το αντηχητικό πεδίο, έχουμε υποθέσει ότι η κατανομή της ηχητικής ενέργειας είναι ομοιόμορφη και η διεύθυνση διάδοσης του ήχου τυχαία. Όταν η πηγή ακτινοβολεί προς έντονα απορροφητική επιφάνεια λαμβάνεται υπόψη και ο ενεργός παράγοντας front-to-random, γ_{PL} :

$$L_t = L_w + 10 \log \left(\frac{\gamma_s \Gamma_s^2(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{\gamma_{PL} R} \right) \quad (1.35)$$

β) Μικροί κλειστοί χώροι:

Σε χώρους με διαστάσεις συγκρίσιμες προς το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου ήχου έχουμε έντονη εμφάνιση στάσιμων κυμάτων, δηλαδή η ηχητική ένταση διαφέρει πολύ από σημείο σε σημείο. Στην περίπτωση αυτή το ηχητικό πεδίο περιγράφεται από την παρακάτω λύση της κυματικής εξίσωσης:

$$p_{ot} = \frac{j\omega\rho q}{4\pi|r-r_0|} e^{j\omega\left(t-\frac{r-r_0}{c}\right)} + \rho c^2 \sum_0^\infty \frac{q\omega}{V\Lambda_n} \frac{\Psi_n(r)\Psi_n(r_0)}{2\omega_n\zeta_n + j(\omega^2 - \omega_n^2)} e^{j\omega t} \quad (1.36)$$

- Όπου ω η συχνότητα της πηγής,
 ω_n η συχνότητα συντονισμού του στάσιμου κύματος,
 ρ η πυκνότητα του αέρα,
 q η ηχητική δύναμη της πηγής,
 r το διάνυσμα του σημείου του χώρου που μελετάται,
 r_0 η θέση της ηχητικής πηγής στο χώρο,
 c η ταχύτητα του ήχου στον αέρα,
 Ψ_n η κανονική συνάρτηση, η οποία για παραλληλεπίπεδο χώρο στο σημείο r είναι:

$$\Psi_n(r) = A_n \cos\left(\frac{n_x \pi x}{L_x}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{L_y}\right) \cos\left(\frac{n_z \pi z}{L_z}\right),$$

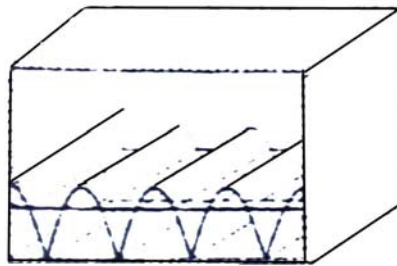
Λ_n ο παράγοντας κλίμακας που ορίζεται από κάθε στάσιμο κύμα και

ζ_n η <<αντίσταση>> του n-οστού στάσιμου κύματος.

Η λύση της εξίσωσης είναι πολύπλοκη και εφαρμόζεται με τη βοήθεια λογισμικών προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που κάνουν χρήση πεπερασμένων στοιχείων για τη σχεδίαση του ηχητικού πεδίου.

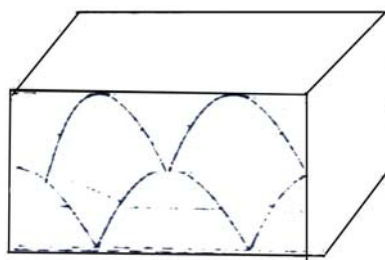
Τα στάσιμα κύματα που δημιουργούνται σε έναν κλειστό χώρο χωρίζονται σε τρία είδη:

Αξονικά, που δημιουργούνται ανάμεσα σε δύο απέναντι επιφάνειες.



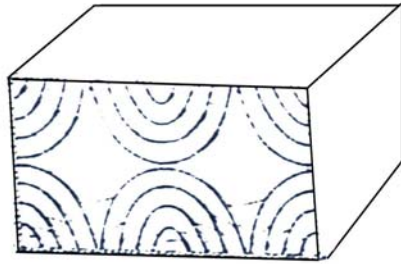
Σχήμα 1.19: Αξονικά κύματα

Εφαπτομενικά, που δημιουργούνται μεταξύ τεσσάρων επιφανειών.



Σχήμα 1.20: Εφαπτομενικά κύματα.

Πλάγια, που δημιουργούνται από ανακλάσεις σε όλους τους τοίχους.



Σχήμα 1.21: Πλάγια κύματα.

Τέλος, στους μικρούς χώρους και στην περιοχή των στάσιμων κυμάτων (χαμηλές συχνότητες) συνήθως μετριέται η συχνοτική απόκριση του δωματίου και υπολογίζεται ο ρυθμός πτώσης (mode decay rate) κάθε στάσιμου, δηλαδή ο ρυθμός μείωσης σε dB/sec. Η σχέση του με τον χρόνο αντήχησης είναι :

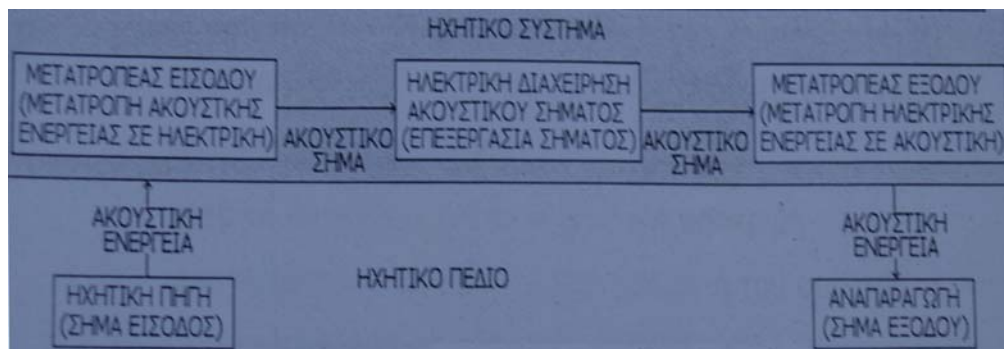
$$d = \frac{60}{RT_{60}} \quad (1.37)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Ηλεκτροακουστικά Ηχητικών Εγκαταστάσεων

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στις μέρες μας συναντιούνται ηχητικά συστήματα σε διάφορους χώρους και ποικίλλουν από τα πολύ απλά στα σαλόνια των σπιτιών μας, μέχρι τα πιο πολύπλοκα που συναντάμε στα κέντρα διασκέδασης. Η χρήση τους συνίσταται στην ενίσχυση του ήχου που προέρχεται είτε από ομιλία, είτε από μουσική, έτσι ώστε να ακούγεται ευκρινώς και με αρκετή ένταση σε όλους τους ακροατές σε οποιαδήποτε θέση μέσα στον χώρο και αν βρίσκονται, ακόμη και στις πιο απομακρυσμένες. Προκειμένου να διασφαλιστούν τα παραπάνω, πριν από κάθε εγκατάσταση ενός ηχητικού συστήματος σε κάποιον χώρο πρέπει να εκπονηθεί μια ηλεκτροακουστική μελέτη. Με τον όρο ηλεκτροακουστική εννοούμε τον κλάδο της ακουστικής που ασχολείται με την αλληλεπίδραση και αμφίδρομη μετατροπή ακουστικής και ηλεκτρικής ενέργειας, τους τρόπους και τις μεθόδους με τις οποίες επιτυγχάνεται και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται γι' αυτόν τον σκοπό. Το τυπικό κυβοδιάγραμμα (block diagram) ενός ηλεκτροακουστικού συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1: κυβοδιάγραμμα (block diagram) ηλεκτροακουστικού συστήματος.

Στο ηλεκτροακουστικό σύστημα περιλαμβάνεται τόσο το ηχητικό σύστημα όσο και το ακουστικό πεδίο. Ηχητικό σύστημα εννοούμε το μετατροπέα εισόδου (μικρόφωνο), τις συσκευές επεξεργασίας του σήματος (προενισχυτή, κονσόλα, συσκευές εφέ, τελικός ενισχυτής) και το μετατροπέα εξόδου (μεγάφωνο).

2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

2.2.1 Γενικώς.

Στα πλαίσια μιας ηλεκτροακουστικής μελέτης γίνονται μετρήσεις και υπολογισμοί για να καθοριστεί ακριβώς η «ακουστική ταυτότητα» του χώρου. Έπειτα, με γνώμονα τα χαρακτηριστικά του χώρου και τις απαιτήσεις χρήσεώς του, επιλέγονται οι συσκευές

και οι καταλληλότερες ρυθμίσεις αυτών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοσή τους. Υπάρχουν κάποια κριτήρια - προδιαγραφές που βοηθούν σε αυτήν την επιλογή και που πρέπει να ικανοποιεί κάθε ηχητική εγκατάσταση, προκειμένου να θεωρείται επιτυχημένη. Τα κυριότερα από αυτά τα κριτήρια - προδιαγραφές, τα οποία και απαντώνται συνήθως στη πράξη, είναι τα εξής :

- α) παραγωγή επαρκούς ηχητικής στάθμης από το σύστημα σε ολόκληρη την περιοχή ακρόασης.
- β) ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής στάθμης στον χώρο.
- γ) επαρκές δυναμικό εύρος.
- δ) κατά το δυνατόν επίπεδη συχνοτική απόκριση.

2.2.2 Παραγωγή επαρκούς ηχητικής στάθμης από το σύστημα σε ολόκληρη την περιοχή ακρόασης.

Κατά τη μετάδοση του ήχου στον αέρα η ηχητική στάθμη μειώνεται, ενώ λόγω των αντικειμένων που βρίσκονται στον χώρο ο ήχος απορροφάτε. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί η στάθμη της ηχητικής πηγής να είναι μικρότερη από τη στάθμη του θορύβου περιβάλλοντος. Έτσι η ηχητική στάθμη δεν είναι επαρκής για όλους τους ακροατές.

Σκοπός της ηχητικής εγκατάστασης είναι η επίτευξη επαρκούς ηχητικής στάθμης στην περιοχή ακρόασης. Ο ποσοτικός προσδιορισμός της τιμής που θα θεωρηθεί ικανοποιητική εξαρτάται από τον θόρυβο βόθους και από τη χρήση της αίθουσας. Όταν πρόκειται για αίθουσα ομιλιών ηχητική στάθμη 70 - 75dB είναι ικανοποιητική, ενώ για χώρους όπου μεταδίδεται μουσική όπως τα clubs, η τιμή αυξάνεται μέχρι και τα 110dB, ανάλογα με το είδος της μουσικής. Συνήθως, και κυρίως όταν πρόκειται για μεγάλα έργα, η ελάχιστη τιμή ενίσχυσης καθορίζεται στις προδιαγραφές του έργου.

2.2.3 Ομοιόμορφη κατανομή της ηχητικής στάθμης στον χώρο.

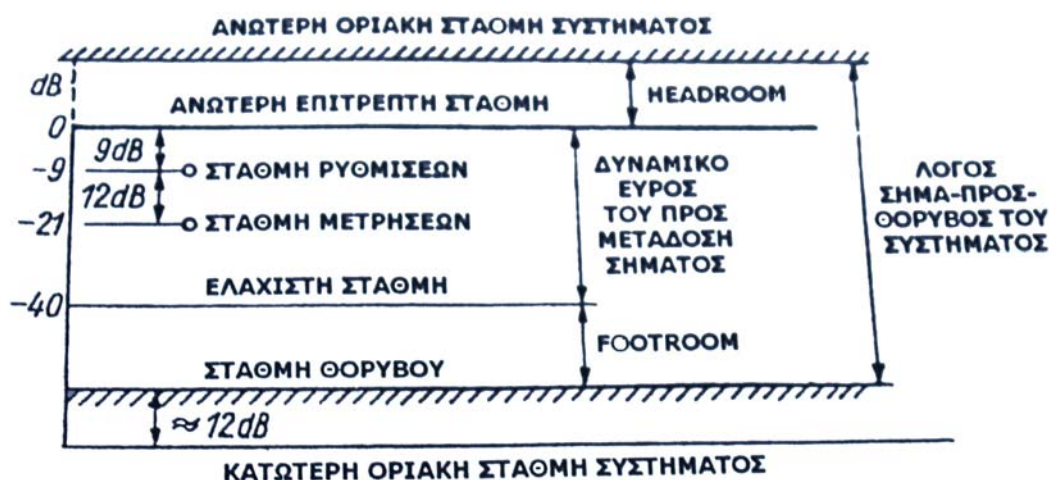
Ομοιόμορφη κατανομή επιτυγχάνεται όταν η ηχητική στάθμη είναι περίπου στο ίδιο επίπεδο σε όλο το ακροατήριο, με αποδεκτή απόκλιση μέχρι $\pm 3\text{dB}$. Εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η διάχυση του ήχου στον χώρο, η κατανομή των μεγάλων, τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας και οι γωνίες στόχευσης τους.

2.2.4 Επαρκές δυναμικό εύρος.

Κάθε σήμα χρειάζεται συγκεκριμένο εύρος σταθμών ηχητικής πίεσης για την πιστή αναμετάδοσή του. Το εύρος αυτό ονομάζεται δυναμικό εύρος και κυμαίνεται μεταξύ της στάθμης θορύβου και της μέγιστης στάθμης που μπορεί να επιτευχθεί από το σύστημα. Μπορεί να διακριθεί στα εξής:

i) Πραγματικό δυναμικό εύρος (original dynamic range) της ηχητικής πηγής. Πρόκειται για τη διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης ηχητικής στάθμης και κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100dB. Το ηχητικό σύστημα πρέπει να μπορεί να αποδώσει το πραγματικό δυναμικό εύρος της πηγής.

ii) Δυναμικό εύρος του προς μετάδοση σήματος (programme range) που είναι το δυναμικό εύρος του ήχου μέσα στο κανάλι μετάδοσης, δηλαδή η διαφορά μεταξύ του ανώτερου ορίου (headroom - άθροισμα του λόγου σήματος προς θόρυβο και του περιθωρίου σταθερότητας) και του κατώτερου ορίου (footroom - όριο θορύβου). Στον ενισχυμένο ήχο δίνεται ένα περιθώριο των 10dB για ανώτερο και 10dB για κατώτερο όριο, πέρα δηλαδή από το δυναμικό εύρος του προς μετάδοση σήματος.



Σχήμα 2.2: Δυναμικό εύρος σήματος στο κανάλι μετάδοσης.

iii) Δυναμικό εύρος αναπαραγωγής (reproduction range) που υπολογίζεται για τη θέση του ακροατή και εξαρτάται από τις συνθήκες αναπαραγωγής. Παίρνει διάφορες τιμές μεταξύ 40dB για συμβατικά συστήματα μετάδοσης και 60dB για ψηφιακές ηχογραφήσεις, αν και είναι πιθανό ο λόγος σήματος προς θόρυβο, άρα και το εύρος αναπαραγωγής, να μειωθεί εξαιτίας υψηλού θορύβου βάθους στην αίθουσα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε ένα ηχητικό σύστημα το δυναμικό εύρος θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να καλύψει το δυναμικό εύρος του προς μετάδοση σήματος, διαφορετικά εισάγεται στο σήμα αρμονική παραμόρφωση.

iv) Κατά το δυνατόν επίπεδη συχνοτική απόκριση: Σε μια ηλεκτροακουστική εγκατάσταση το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος επηρεάζεται από κάθε βαθμίδα

της. Η συνολική συχνοτική απόκριση του συστήματος προκύπτει από τον συνδυασμό όλων των παραγόντων που επηρεάζονται από τη συχνότητα, όπως η απορρόφηση του χώρου, η κατανομή των ηχείων, το ποσοστό απευθείας και ανακλώμενου ήχου ή ήχου που ακτινοβολείται από άλλα μεγάφωνα σε κάθε θέση του ακροατηρίου, τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας των μεγαφώνων και η συχνοτική απόκριση κάθε συσκευής του συστήματος. Όσο πιο επίπεδη είναι η συνολική απόκριση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης τόσο πιο επιτυχημένη θεωρείται, αφού μπορεί να αποδίδει πιστά το αρχικό σήμα.

2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΗΧΟΥ.

2.3.1 Γενικώς.

Ο ενισχυτής ισχύος ήχου είναι μια συσκευή επεξεργασίας, που χρησιμοποιείται για να αυξήσει την ισχύ ενός ηχητικού σήματος. Στις ηχητικές εγκαταστάσεις ο ενισχυτής ισχύος είναι πάντα το τελευταίο ενεργό στοιχείο στην ροή του σήματος, ακριβώς πριν από τα ηχεία.

Οι ενισχυτές ισχύος που είναι σχεδιασμένοι για επαγγελματική χρήση έχουν γενικά πολύ λιτή εμφάνιση σε σχέση με πολλούς Hi – Fi ενισχυτές ευρείας κατανάλωσης. Εκτός από μια line – level είσοδο και μια υψηλής ισχύος έξοδο για σύνδεση με τα ηχεία, μπορεί να έχουν έναν διακόπτη λειτουργίας, ρυθμιστές έντασης του ήχου και μετρητές. Συχνά σε πολλούς επαγγελματικούς ενισχυτές παραλείπονται ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω στοιχεία.

Υπάρχουν πολλοί όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ικανότητα εξόδου ενός ενισχυτή καθώς και πολλές διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης των χαρακτηριστικών αυτών. Παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα ενός ενισχυτή. Αυτά είναι τα εξής :

- α) Κέρδος (Gain).
- β) Εύρος Ισχύος (Bandwidth).
- γ) Βαθμός Απόδοσης (Efficiency).
- δ) Slew rate.
- ε) Ψαλιδισμός (Clipping).
- ζ) Συχνοτική Απόκριση.
- η) Αρμονική Παραμόρφωση.
- θ) Παραμόρφωση Ενδοδιαμόρφωσης.
- ι) Crosstalk.

2.3.2 Κέρδος (Gain).

Το κέρδος ενός ενισχυτή είναι ο λόγος ισχύος (ή πλάτους) της εξόδου προς την είσοδο του ενισχυτή και συνήθως μετριέται σε decibel. Όταν μετριέται σε decibel το κέρδος, σχετίζεται λογαριθμικά με τον λόγο ισχύος και μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο :

$$G(\text{dB})=10 \log(P_{\text{out}}/P_{\text{in}})$$

Όπου : P_{out} η μετρούμενη ισχύς στην έξοδο του ενισχυτή,
 P_{in} η μετρούμενη ισχύς στην είσοδο του ενισχυτή.

2.3.3 Εύρος ισχύος (Power Bandwidth).

Το εύρος ισχύος είναι ένα μέτρο που μας δείχνει την ικανότητα ενός ενισχυτή να παράγει υψηλή ισχύ στην έξοδό του σε ένα μεγάλο συχνοτικό εύρος. Ορίζεται ως το συχνοτικό εύρος το οποίο εκτείνεται ανάμεσα στα σημεία εκείνα, που ο ενισχυτής παράγει τουλάχιστον την μισή εκτιμώμενη ισχύ πριν αρχίσει ο ψαλιδισμός του σήματος (clipping).

2.3.4 Βαθμός απόδοσης (Efficiency).

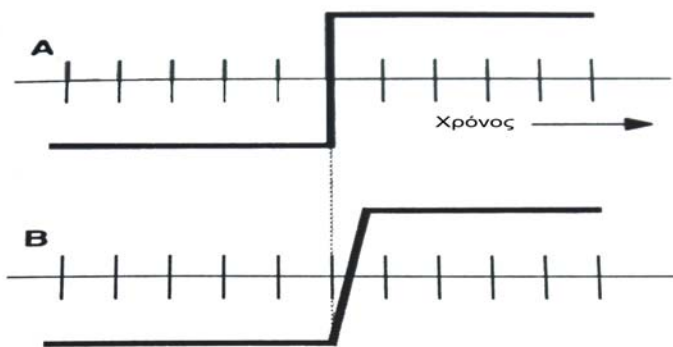
Ο βαθμός απόδοσης είναι ένα μέτρο που μας δείχνει το ποσοστό της ισχύος στην είσοδο του ενισχυτή που εφαρμόζεται στην έξοδό του. Οι ενισχυτές τάξης A έχουν την χαμηλότερη απόδοση, κυμαινόμενοι σε ποσοστά μεταξύ 10 και 20 %, με μέγιστο βαθμό απόδοσης 25%. Οι ενισχυτές τάξης B έχουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης, αλλά δεν έχουν πρακτική χρησιμότητα καθώς παρουσιάζουν υψηλές στάθμες παραμόρφωσης. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού των δυο παραπάνω τάξεων, είναι οι ενισχυτές τάξης AB. Οι σύγχρονοι ενισχυτές τάξης AB είναι γενικά 33 με 35 % αποδοτικοί, με θεωρητικά μέγιστο βαθμό απόδοσης 78.5%. Οι εμπορικά διαθέσιμοι ενισχυτές τύπου D , έχουν παρουσιάσει πολύ υψηλούς βαθμούς απόδοσης, φτάνοντας μέχρι και το 97%.

Αν ο βαθμός απόδοσης ενός ενισχυτή είναι μικρός, περιορίζει το ποσοστό της συνολικής ισχύος εξόδου που χρησιμοποιείται επωφελώς. Οι περισσότερο αποδοτικοί ενισχυτές λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και συχνά η ύπαρξη ανεμιστήρων ψύξης καθίσταται μη απαραίτητη. Ο λόγος για αυτό είναι ότι η απώλεια στην αποδοτικότητα, παράγει θερμότητα σαν υποπαράγωγο της ενέργειας που χάνεται κατά την διάρκεια της μετατροπής της ισχύος. Έτσι στους περισσότερο αποδοτικούς ενισχυτές υπάρχει λιγότερη απώλεια ενέργειας και επομένως λιγότερη θερμότητα.

2.3.5 Slew rate.

Το slew rate μας δείχνει την ικανότητα ενός ενισχυτή στο να αντιδράει σε πολύ γρήγορες αλλαγές της τάσης του σήματος.

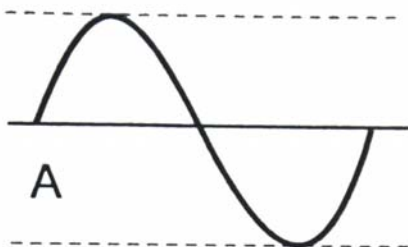
Αν υποθέσουμε ότι το σήμα που έχουμε στην είσοδο του ενισχυτή παρουσιάζει μια στιγμιαία, απότομη αλλαγή τάσης όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 2-3-A, τότε ο ενισχυτής προσπαθεί να αναπαράγει πανομοιότυπα αυτή την αλλαγή στην έξοδό του με πιθανότατα μεγαλύτερη τάση. Λόγω εσωτερικών περιορισμών στην ταχύτητα των αναλογικών κυκλωμάτων όμως, η αλλαγή της τάσης στην έξοδο του ενισχυτή θα συμβεί κάπως πιο αργά από την αλλαγή της τάσης στην είσοδο του, δημιουργώντας την κεκλιμένη γραμμή που φαίνεται στο σχήμα 2-3-B. Η κλίση της κεκλιμένης αυτής γραμμής της τάσης εξόδου του ενισχυτή ονομάζεται slew rate. Έτσι το slew rate είναι ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής της εξόδου του ενισχυτή και μετριέται σε volts ανά microsecond.



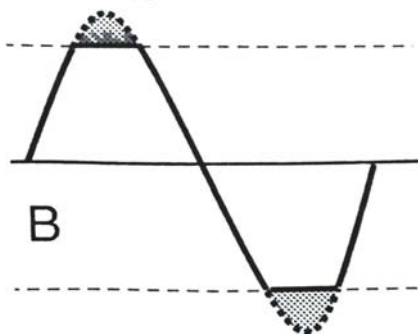
Σχήμα 2.3: Slew rate.

2.3.6 Ψαλιδισμός (Clipping).

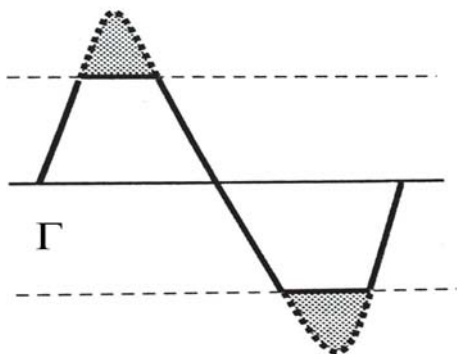
Όταν ένας ενισχυτής ισχύος κληθεί να παράγει στάθμες που ξεπερνούν τα κατασκευαστικά όρια του, συμβαίνει ψαλιδισμός του σήματος. Η επίδραση του ψαλιδισμού πάνω στο σήμα, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4: A) Η στάθμη είναι ρυθμισμένη έτσι ώστε το σήμα να είναι ακριβώς κάτω από την μέγιστη δυνατή στάθμη που μπορεί να παράγει το κύκλωμα.



Σχήμα 2.5: **B** Η στάθμη είναι ρυθμισμένη έτσι ώστε το σήμα να προσπαθεί να ξεπεράσει την μέγιστη δυνατή τάση του κυκλώματος, με αποτέλεσμα να συμβαίνει ψαλιδισμός.



Σχήμα 2.6: **Γ** Η στάθμη είναι ρυθμισμένη ακόμα πιο ψηλά, με περισσότερο επακόλουθο ψαλιδισμό (μεγαλύτερο ποσοστό % της κυματομορφής στην γραμμοσκιασμένη περιοχή).

Στο σχήμα A βλέπουμε την έξοδο του ενισχυτή ακριβώς πριν τον ψαλιδισμό και αυτό το ημιτονοειδές κύμα είναι το πιστό πανομοιότυπο του ημιτονοειδούς κύματος στην είσοδο του ενισχυτή. Στο σχήμα B, η στάθμη του σήματος στην είσοδο έχει αυξηθεί ελαφρά και βλέπουμε την έναρξη του ψαλιδισμού. Τα τμήματα του κύματος που εκτείνονται πέρα από την τάση εξόδου που έχει την ικανότητα να παράγει ο ενισχυτής αποκόβονται. Ο ενισχυτής δεν μπορεί να παράγει ένα σήμα εξόδου μεγαλύτερης τάσης, και έτσι απλά διατηρεί την μέγιστη τάση που μπορεί να παράγει μέχρι η τάση του σήματος εισόδου να πέσει σε κάποια στάθμη, που μπορεί να αναπαράγει με ακρίβεια. Αυτό δημιουργεί σαν επακόλουθο το ίσιωμα της κυματομορφής στην κορυφή και το κάτω μέρος της.

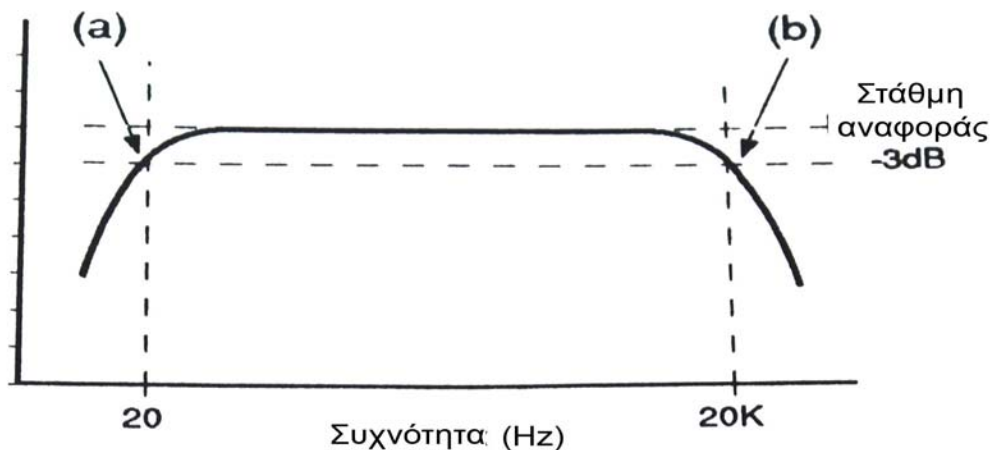
Αν αυξήσουμε περαιτέρω την στάθμη του σήματος εισόδου, η στάθμη από κορυφή σε κορυφή (peak to peak) του σήματος εξόδου δεν θα αυξηθεί, αλλά η κλίση των ανερχόμενων και των κατερχόμενων τμημάτων του κύματος θα γίνει πιο απότομη όπως βλέπουμε στο σχήμα Γ.

Ο ψαλιδισμός έχει δυο βασικές επιπτώσεις. Καταρχήν, αυξάνει σημαντικά την παραμόρφωση που έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή στοιχείων υψηλής συχνότητας. Αυτά προσδίδουν μια τραχύτητα στην ποιότητα του ήχου και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τους οδηγούς υψηλής συχνότητας. Κατά δεύτερο και

σημαντικότερο, ο ψαλιδισμός αυξάνει δραματικά την μέση ισχύ που εφαρμόζεται πάνω στο φορτίο, η οποία μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση στα πηνία φωνής οποιωνδήποτε οδηγών των ηχείων.

2.3.7 Συχνοτική Απόκριση.

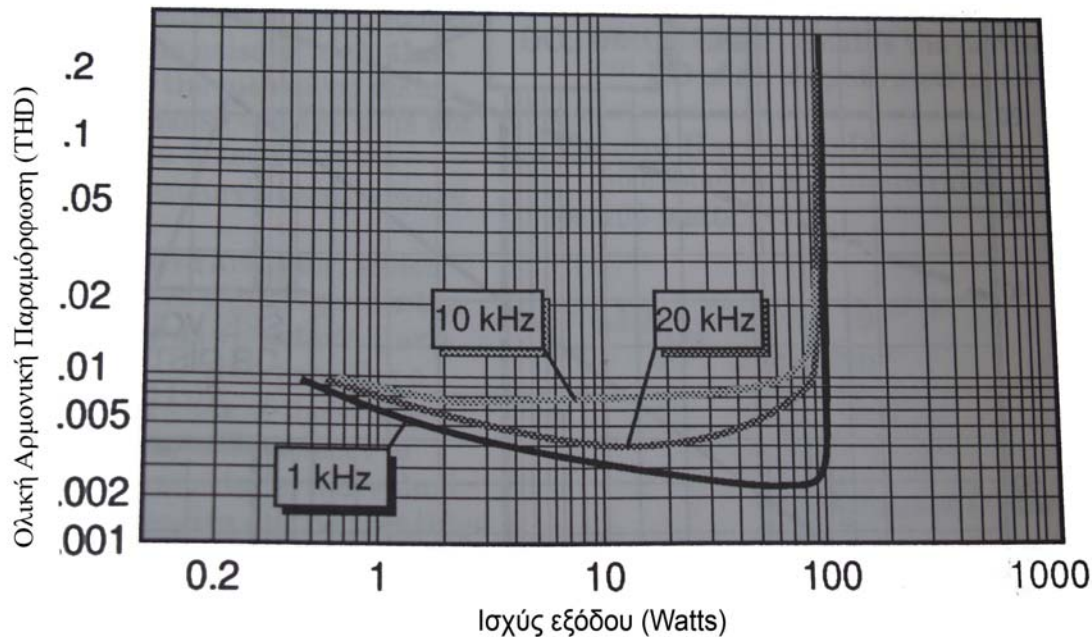
Η συχνοτική απόκριση περιγράφει την ικανότητα μίας συσκευής να αναπαράγει με ακρίβεια στην έξοδο της, το σήμα που εμφανίζεται στην είσοδο. Στους ενισχυτές συνήθως η απόκριση μετριέται σε χαμηλή ισχύ για να δείχνει καλύτερη σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Αν αυξήσουμε την ισχύ λειτουργίας τότε η καμπύλη απόκρισης από flat μπορεί να αλλοιωθεί πολύ. Το διάγραμμα της συχνοτικής απόκρισης ενός τυπικού ενισχυτή ήχου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.7: Συχνοτική απόκριση

2.3.8 Αρμονική Παραμόρφωση.

Αρμονική παραμόρφωση είναι η παραμόρφωση που δημιουργείται από μια διάταξη και μας δίνει στην έξοδο ένα σύνθετο σήμα αποτελούμενο από συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους. Μπορούμε να περιγράψουμε την ένταση του κάθε αρμονικού σε σχέση με την ένταση του αρχικού σήματος και έτσι να ορίσουμε για τον κάθε αρμονικό την παραμόρφωση, είτε σε dB, είτε σε ποσοστό τις %. Εκτός όμως από το ποσοστό για τον κάθε αρμονικό, μπορούμε να μετρήσουμε και την παραμόρφωση συνολικά. Στην περίπτωση αυτή μετράμε το άθροισμα των πλατών των αρμονικών προς το πλάτος της αρχικής συχνότητας, είτε σε dB, είτε σε ποσοστό %. Η πρώτη περίπτωση ονομάζεται αρμονική παραμόρφωση (Harmonic Distortion), ενώ η δεύτερη ολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion).



Σχήμα 2.8: Διάγραμμα ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της εξόδου ενός τυπικού ενισχυτή ισχύος.

Η αρμονική παραμόρφωση χρωματίζει τον ήχο κάνοντας τον να ηχεί αφύσικος. Όταν υπάρχει σε ένα σύστημα που οδηγεί ένα μεγάφωνο δίνει την εντύπωση ότι το μεγάφωνο είναι κατεστραμμένο, γιατί η αρμονική παραμόρφωση υπάρχει όταν το μεγάφωνο υπεροδηγηθεί. Η αρμονική παραμόρφωση μπορεί να προκληθεί από τον ψαλιδισμό του σήματος και γενικά από τη λειτουργία ενισχυτικών διατάξεων σε μη γραμμικές περιοχές. Επίσης προκαλείται στα μεγάφωνα εξαιτίας του συντονισμού στο ηνίο φωνής, ή σε βλάβη στο διάφραγμα του μεγαφώνου.

2.3.9 Παραμόρφωση Ενδοδιαμόρφωσης (Inter modulation Distortion - IM).

Η παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης δημιουργείται όταν υπάρχουν τουλάχιστον δύο σήματα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και δημιουργούν στην έξοδο συχνότητες, που δεν έχουν αρμονική σχέση. Η παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης είναι πιο εύκολα αντιληπτή στο ανθρώπινο αυτί από την αρμονική παραμόρφωση.

Για να έχει νόημα η προδιαγραφή της παραμόρφωσης ενδοδιαμόρφωσης και να μπορεί να αποτελεί στοιχείο σύγκρισης για μια συσκευή, θα πρέπει να αναφέρει σε πιο επίπεδο έντασης εξόδου έγινε η μέτρηση, γιατί όσο μεγαλύτερη η ένταση τόσο αυξάνεται συνήθως και η παραμόρφωση. Θα πρέπει επίσης να αναφέρονται οι συχνότητες που έγιναν οι μετρήσεις και η σχέση έντασης μεταξύ τους ή η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε.

2.3.10 Crosstalk.

Οι διαρροές του σήματος από ένα κύκλωμα σε ένα άλλο ή μεταξύ των καλωδίων υπάρχει σχεδόν πάντα σε ένα σύστημα ήχου. Διαρροή μπορεί να συμβαίνει και μεταξύ των καναλιών ενός δικάναλου ενισχυτή. Αυτή η διαρροή ονομάζεται crosstalk και γίνεται πάντα προσπάθεια να κρατιέται σε χαμηλά επίπεδα.

Το crosstalk που μπορεί να συμβεί μεταξύ της εισόδου και τις εξόδου ενός ενισχυτή, μπορεί να δημιουργήσει αναδράσεις στις υψηλές συχνότητες, τέτοιες που να μην μπορούμε να τις ακούσουμε αλλά ικανές να αυξάνουν την παραμόρφωση και στο τέλος να προκαλέσουν βλάβες στον ενισχυτή.

2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΧΕΙΩΝ.

2.4.1 Ορισμός.

Ο όρος ηχείο, είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ευρεία γκάμα μετατροπέων οι οποίοι μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε ήχο. Ο όρος χρησιμοποιείται επίσης συχνά για να περιγράψει συστήματα αποτελούμενα από δύο ή περισσότερους μετατροπείς σε μια καμπίνα, με η χωρίς crossover. Για να αποφύγουμε τη σύγχυση που προκύπτει από την διπλή χρήση του όρου, θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο μεγάφωνο όταν αναφερόμαστε στον κάθε μετατροπέα ξεχωριστά και τον όρο ηχείο όταν αναφερόμαστε στο συνδυασμό μεγαφώνων με μια ακουστική κατασκευή. Τα μεγάφωνα μέσα στο ηχείο τους είναι το τελευταίο στοιχείο μιας ηλεκτρακουστικής διάταξης.

2.4.2 Κατηγορίες.

Τα μεγάφωνα που υπάρχουν μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής βασικές κατηγορίες :

α) Ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα (καλής ποιότητας).

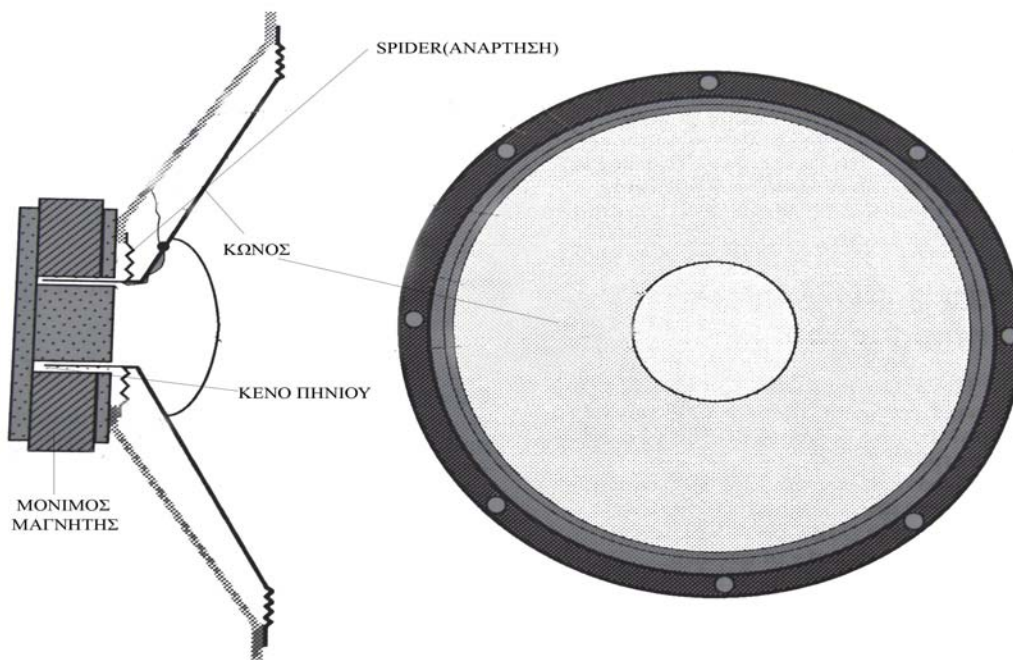
Στα ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα υπάρχει ένα πηνίο που δέχεται το ρεύμα ακουστικής συχνότητας που βρίσκεται μέσα στους πόλους ισχυρού μονίμου μαγνήτη, στο οποίο συνδέεται μια μεμβράνη συνήθως με μορφή κώνου. Η κινητήρια δύναμη είναι η δύναμη από την αλληλεπίδραση ρεύματος μαγνήτη. Δηλ. Η βασική αρχή λειτουργίας του ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου είναι η εκμετάλλευση του φαινομένου Laplace .

Τα ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα σχετικά με τον τρόπο κατασκευής τους διακρίνονται σε:

ι) Μεγάφωνα κώνου.

Το κύριο χαρακτηριστικό στα μεγάφωνα αυτά είναι η ύπαρξη μεγάλης συμπαγούς επιφάνειας (μεμβράνη) που είναι εξαρτημένη ελαστικά, ώστε να μπορεί να πάλλετε

παράλληλα προς τον εαυτό της σαν έμβολο και η οποία έχει σχήμα κώνου. Η κορυφή του κώνου είναι πεπλατυσμένη και εκεί βρίσκεται το ηλεκτρομηχανικό σύστημα διέγερσης. Στην περίπτωση του ηλεκτροδυναμικού μεγάφωνου το σύστημα διέγερσης είναι ένα μικρό ελαφρό πηνίο που μπορεί να κινείται σε ομογενές (ακτινικό) πεδίο μόνιμου ισχυρού μαγνήτη. Το πηνίο τροφοδοτείται με έναν εύκαμπτο αγωγό που μεταφέρει το σήμα και δέχεται δυνάμεις που προκαλούν την ταλάντωση του μαζί με την μεμβράνη που ακτινοβολεί την ενέργεια. Η απόδοση του συστήματος είναι μικρή (της τάξης του 10%) λόγω του μικρού μεγέθους της μεμβράνης και η ποιότητα του ήχου είναι ικανοποιητική, για αυτό χρησιμοποιείται κύρια στις περιπτώσεις όπου κυριαρχεί η απαίτηση για ποιότητα.



Σχήμα 2.9: Ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο τύπου κώνου.

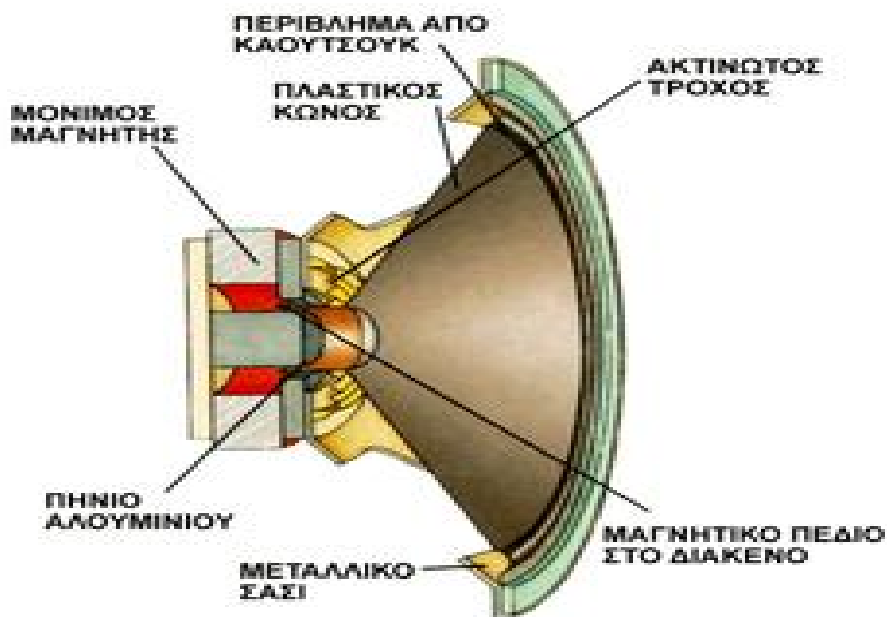
ii) Μεγάφωνα χοάνης (κόρνες).

Η λειτουργία του μεγαφώνου τύπου χοάνης στηρίζεται στην αρχή ότι όσο αυξάνεται η αντίσταση του αέρα στην ταλαντούμενη μεμβράνη του μεγαφώνου, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η αποδιδόμενη ισχύς άρα και η σχέση μεταφοράς ενέργειας του συστήματος δηλ. η απόδοση του. Στην αύξηση της αντίστασης του αέρα βοηθάει η παρουσία της χοάνης μπροστά από την μεμβράνη εκπομπής του μεγαφώνου.

Το σύστημα λειτουργεί με διέγερση διαφράγματος μικρών διαστάσεων που παρουσιάζει μικρή αντίσταση μάζας (πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη της μεγάλης μάζας μεγαφώνου κώνου). Η εκθετική μορφή της διατομής αποκαθιστά τις μικρές παραμορφώσεις λόγω διαφοράς διάδοσης πίεσης και ταχύτητας. Η απόδοση των μεγαφώνων τύπου χοάνης είναι αυξημένη και κυμαίνεται στο 40%. Εάν το διάφραγμα δεν βρίσκεται στο λαιμό αλλά φράζει την άλλη πλευρά ενός μικρού θαλάμου (που το

ένα του άνοιγμα είναι ο λαιμός), η μηχανική σύνθετη αντίσταση που δρα στο διάφραγμα είναι σημαντικά αυξημένη.

Η βασική διαφορά είναι ότι στα μεν μεγάφωνα κώνου η ακουστική ισχύς διαδίδεται απευθείας στον αέρα που βρίσκεται σε επαφή με τον κώνο μεγάλων σχετικά διαστάσεων, ενώ στα μεγάφωνα χοάνης μικρών διαστάσεων η μεμβράνη δημιουργεί επίπεδο κύμα που διαμορφώνεται και "ενισχύεται" μέσα σε κώνο ειδικής διατομής με αποτέλεσμα την βελτίωση του συντελεστή απόδοσης του συστήματος. Δηλαδή αυτά έχουν εξ αρχής το ηχείο μαζί τους. Βασικό στοιχείο συμπεριφοράς του μεγαφώνου είναι η ηλεκτρομηχανική αντίσταση που είναι συναρτημένη με τα ηλεκτρικά, μηχανικά και γεωμετρικά στοιχεία του.



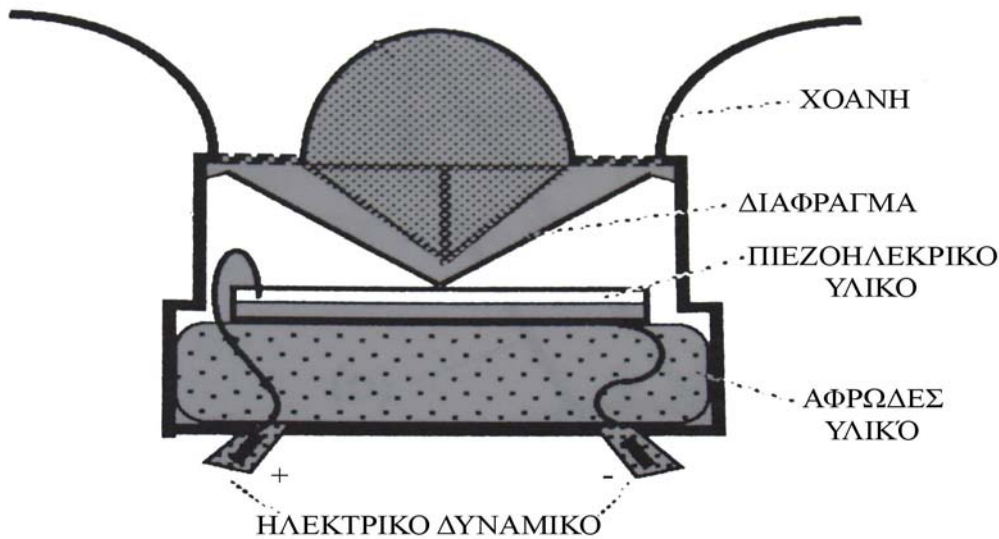
Σχήμα 2.10: Ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο τύπου χοάνης .

β) Πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα (τύπου κοινού ή διαφράγματος ή ταινίας, υποτυπώδους ποιότητας).

Η δεύτερη μέθοδος μετατροπής που χρησιμοποιείται στην κατασκευή μεγαφώνων, βασίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι ιδιότητα που έχουν συγκεκριμένα κρυσταλλικά υλικά. Όταν ένας τέτοιος κρύσταλλος παραμορφώνεται (αλλάζει σχήμα) μηχανικά, παράγεται ρεύμα. Από την άλλη, εάν ένα ηλεκτρικό δυναμικό ασκηθεί κατά πλάτος του κρυστάλλου, αυτός αλλάζει διαστάσεις συστέλλοντας ή διαστέλλοντας στον άξονα της ηλεκτρικής πόλωσης.

Τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στους μετατροπείς ήχου είναι γενικά διμορφικού τύπου. Τα διμορφικά στοιχεία κατασκευάζονται με δυο στρώσεις πιεζοηλεκτρικού υλικού. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η παραμόρφωση την οποία υφίστανται τα διμορφικά υλικά όταν ασκηθεί τάση στα άκρα τους.

Η απόκριση των πιεζοηλεκτρικών στοιχείων που χρησιμοποιούμε, παρουσιάζει έντονη πτώση στις μεσαίες και χαμηλές συχνότητες του ακουστικού φάσματος, καθιστώντας τα έτσι ακατάλληλα για την αναπαραγωγή των περιοχών αυτών. Στις υψηλές όμως συχνότητες παρουσιάζουν αρκετά καλή απόδοση, με πολύ χαμηλή παραμόρφωση, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για την κατασκευή μεγαφώνων υψηλών συχνοτήτων με απόκριση που ξεκινάει πάνω από τα 5 KHz.



Σχήμα 2.11: Πιεζοηλεκτρικό μεγάφωνο.

2.4.3 Συστήματα πολλών μεγαφώνων.

α) Συνδυασμός πολλαπλών μεγαφώνων (χωρίς Cross – over)

Με τη χρήση πολλών ομοίων μεγαφώνων ευρέως φάσματος (full range) μπορεί να αυξηθεί σημαντικά η ολική ισχύς που εκπέμπεται και να διατηρηθεί σε αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο η ποιότητα του αποτελέσματος. Τα μεγάφωνα μπορούν να είναι συγκεντρωμένα σε ορισμένη επιφάνεια ή κατανεμημένα συμμετρικά στο χώρο ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες που υπάρχουν. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε η συνολική σύνθετη αντίσταση του συστήματος να είναι προσαρμοσμένη στην έξοδο του ενισχυτικού συστήματος, με κατάλληλους συνδυασμούς εν σειρά και παράλληλης σύνδεσης ή μέσω μετασχηματισμού προσαρμογής.

Η μέθοδος αν και υψηλού κόστους δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και από πλευράς ποιότητας και από πλευράς ισχύος συναρτημένη φυσικά με τα χαρακτηριστικά της βασικής μεγαφωνικής μονάδας που χρησιμοποιείται και συχνά την προτιμάμε ιδίως σε εφαρμογές mono.

β) Σύστημα μεγαφώνων με φίλτρα διαχωρισμού (Crossover).

Η συμπεριφορά ενός μεγαφώνου εξαρτάται από την συχνότητα. Προκειμένου να βελτιωθεί η συμπεριφορά σε ορισμένες συχνότητες π.χ. στις χαμηλές πρέπει να γίνουν επεμβάσεις που κάνουν ασύμφορη την συμπεριφορά του σε άλλες συχνότητες (υψηλές).

Γίνεται λοιπόν φανερή η ανάγκη να διαμορφωθούν τα κατασκευαστικά στοιχεία ενός μεγαφώνου με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκρίνεται ικανοποιητικά σε μια μόνο όσο πιο στενή αυστηρά καθορισμένη περιοχή συχνοτήτων.

Με τον τρόπο όμως αυτό το μεν σύστημα γίνεται εξαιρετικά πολυδάπανο, αφού θα απαιτούνται πολλά μεγάφωνα για να καλύψουν όλη την περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων. Ο διαχωρισμός των συχνοτήτων αυτών σε ζώνες θα απαιτούσε φίλτρα εξαιρετικά υψηλής ποιότητας και ανάλογου κόστους. Έτσι μια συμβιβαστική λύση που δεν προδίδει την ποιότητα αλλά ούτε και ανεβάζει το κόστος υπερβολικά, εφαρμόζεται στην πράξη.

Το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων χωρίζεται σε τρεις περιοχές με αντίστοιχη κατανομή των συχνοτήτων των μεγαφώνων ως εξής :

- Χαμηλές συχνότητες 20 – 2000 Hz Μεγάφωνο χαμηλών συχνοτήτων (woofer).
- Μέσες συχνότητες 1000 - 10000 Hz Μεγάφωνο μέσων συχνοτήτων (mid range).
- Υψηλές συχνότητες 4000 – 20000Hz Μεγάφωνο υψηλών συχνοτήτων (Tweeter).

Όπως προκύπτει αμέσως ο χωρισμός των συχνοτήτων δεν είναι παρά μόνο ενδεικτικός, αφ ενός λόγω της κατασκευής των μεγαφώνων, αφετέρου λόγω της σχεδίασης των φίλτρων και τέλος λόγω της ανάγκης για ευρύτερη χρήση.

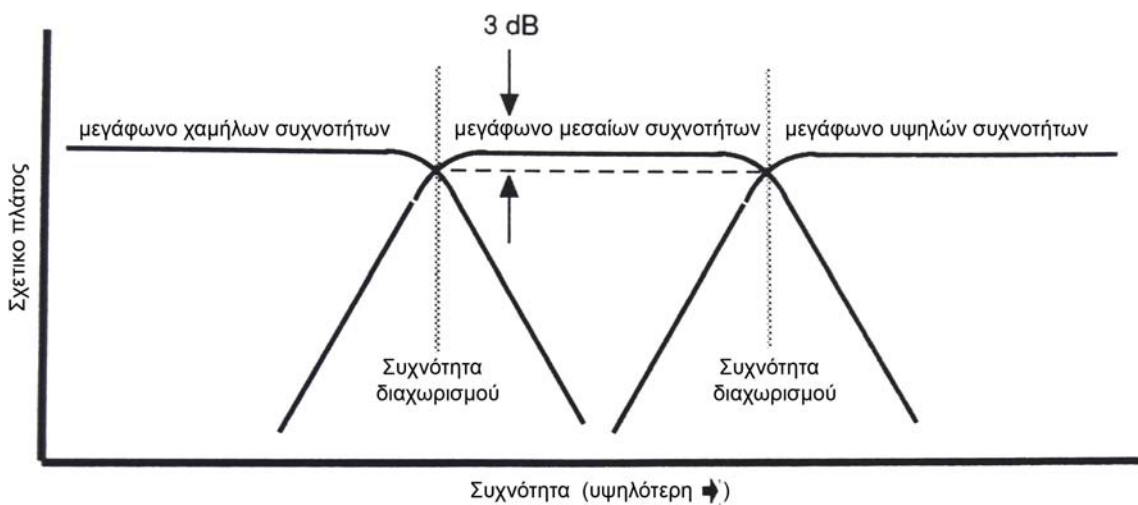
Έτσι εκείνο που είναι πρακτικά αδύνατο, είναι π.χ. η δυνατότητα ενός tweeter να αποδώσει ισχύ σε χαμηλές συχνότητες χωρίς να παραμορφώνει έντονα αλλά και χωρίς να καταστραφεί ή η δυνατότητα ενός woofer να αποδώσει υψηλές συχνότητες με στοιχειώδη ποιότητα λόγω της μεγάλης μάζας του.

Εκεί όμως που τα όρια είναι εντελώς ασαφή και οι σημαντικές επικαλύψεις ζωνών δεδομένες είναι η περιοχή των μέσων συχνοτήτων όπου οι ζώνες εξαρτώνται αποκλειστικά από την ποιότητα των μεγαφώνων, των φίλτρων αλλά και εν γένει το κόστος του συστήματος.

Οι τύποι των μεγαφώνων που χρησιμοποιούνται είναι για τα μεν woofer σχεδόν αποκλειστικά κώνου, ενώ για τα tweeter κυρίως κόνρες ή μεγάφωνα ειδικής κατασκευής (θόλου, ταινίας ή ηλεκτροστατικά) για να καλύψουν προβλήματα απόκρισης αλλά και διασποράς.

Στην περιοχή των μέσων συχνοτήτων, η οποία είναι και η ευκολότερη να καλυφθεί από τεχνικής πλευράς, υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων και μεθόδων (μεγάφωνα κώνου, θόλου, κόνρες, ταινίας, ηλεκτροστατικά κ.λπ.) και χρησιμοποιούνται άλλοτε ένα, δύο ή και περισσότερα ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος αλλά και την ποιότητα και το κόστος των στοιχείων από τα οποία αποτελείται.

Βασικό ρόλο στη λειτουργία του συστήματος αλλά και οδηγό για αντίστοιχες επιλογές παίζει η σχεδίαση και η κατασκευή των φίλτρων διαχωρισμού συχνοτήτων (crossover) τα οποία είναι εν γένει δύο ή τριών δρόμων (σπάνια τεσσάρων). Αξιοσημείωτο είναι ότι τα crossover είναι εν γένει παθητικά φίλτρα, σπάνια και σε ειδικές περιπτώσεις είναι ενεργά και αποτελούν ειδικές εφαρμογές.



Σχήμα 2.12: Απόκριση φίλτρων Cross over ενός ηχείου 3 δρόμων

Απλές κυκλωματικές διατάξεις παθητικών φίλτρων που χρησιμοποιούνται για διαχωρισμό συχνοτήτων για δύο και τρεις δρόμους με διάφορους συντελεστές αποκοπής 6 ή 12 dB/οκτάβα. Είναι φανερό ότι ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη μελέτη και στη κατασκευή των φίλτρων σε ότι αφορά την προσαρμογή των αντιστάσεων των μεγαφώνων με κατάλληλη επιλογή αλλά και των συχνοτήτων μετάβασης (μία, δύο ή περισσότερες) ανάλογα με τον αριθμό των δρόμων την ποιότητα και τα κατασκευαστικά στοιχεία των μεγαφώνων.

2.4.4 Χαρακτηριστικά μεγαφώνων.

Τα απλά μεγάφωνα αλλά και οι συνδυασμοί μεγαφώνων χαρακτηρίζονται από τα εξής βασικά στοιχεία :

α) Απόδοση.

Εκφράζει την ικανότητα του μεγαφώνου να μετατρέπει ένα ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος που του παρέχεται σε ακουστική ενέργεια. Το ποσοστό αυτό εκφρασμένο επί τοις εκατό (%) ονομάζεται, απόδοση του μεγαφώνου ή του συστήματος και κυμαίνεται για μεν τα μεγάφωνα κώνου από 5% - 10%, ενώ για κόνες φθάνει μέχρι περίπου 25%.

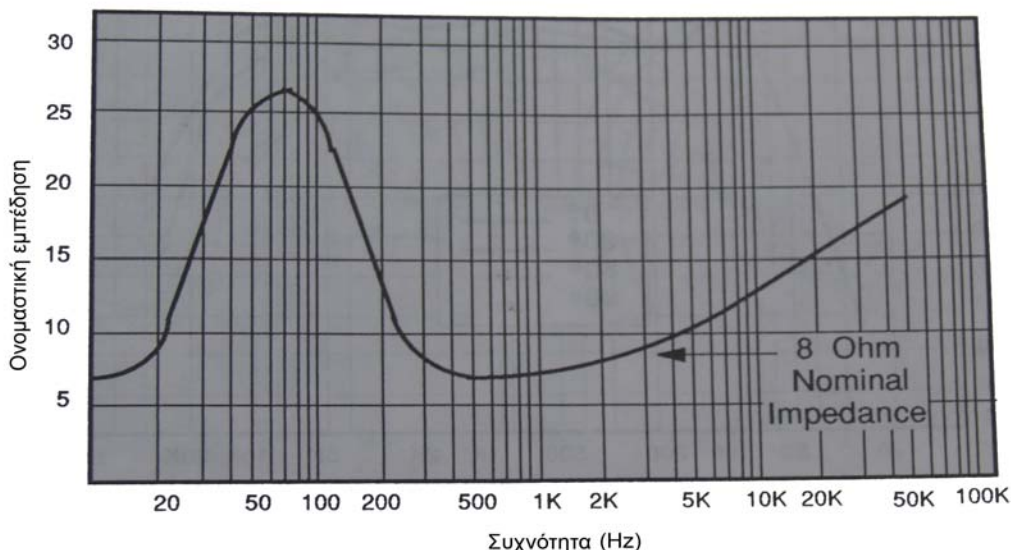
β) Ισχύς (μέγιστη) μεγαφώνου.

Εκφράζει την οριακή τιμή ισχύος εισόδου που μπορεί να δεχθεί το μεγάφωνο χωρίς να καταστραφεί. Επειδή η ισχύς αυτή είναι συνάρτηση της συχνότητας και του τύπου του ηχείου εξαρτάται και από το αν επιβάλλεται συνεχής ή στιγμιαία στο μεγάφωνο. Είναι δυνατή η διάκριση της τιμής σε RMS ή στιγμιαία τιμή (είναι πάντα σημαντικά μεγαλύτερη από την RMS). Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι για λόγους ποιότητας του αποτελέσματος το μεγάφωνο δεν πρέπει εν γένει να λειτουργεί στα όρια της

περιοχής λειτουργίας του, αλλά περίπου στο μέσο της μέγιστης ισχύος ώστε οι ταλαντώσεις της μεμβράνης να είναι σχετικά μικρές.

γ) Σύνθετη αντίσταση.

Το μεγάφωνο σαν ηλεκτρομηχανικό σύστημα που τροφοδοτείται από ηλεκτρικά σήματα, παρουσιάζει πολύ μικρή ωμική αντίσταση στο συνεχές ρεύμα, αλλά κυρίως παρουσιάζει σύνθετη αντίσταση στα μεταβαλλόμενα ρεύματα που είναι συνάρτηση της συχνότητας (επαγωγική αντίσταση). Είναι φανερό ότι η τιμή της σύνθετης αντίστασης του μεγαφώνου ή του συστήματος μεγαφώνων έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί αποτελεί καθοριστικό στοιχείο για την προσαρμογή του συστήματος με τον ενισχυτή. Σήμερα τα μεγάφωνα του εμπορίου χρησιμοποιούν εν γένει τιμές 4Ω, 8Ω, 16Ω, ενώ σε περιπτώσεις δυναμικών μεγαφώνων χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές προσαρμογής. Παρά το γεγονός ότι η συνθέτη αντίσταση του μεγαφώνου μεταβάλλεται με τη συχνότητα είναι σκόπιμο να θεωρείται σε πρακτικό επίπεδο σταθερή.



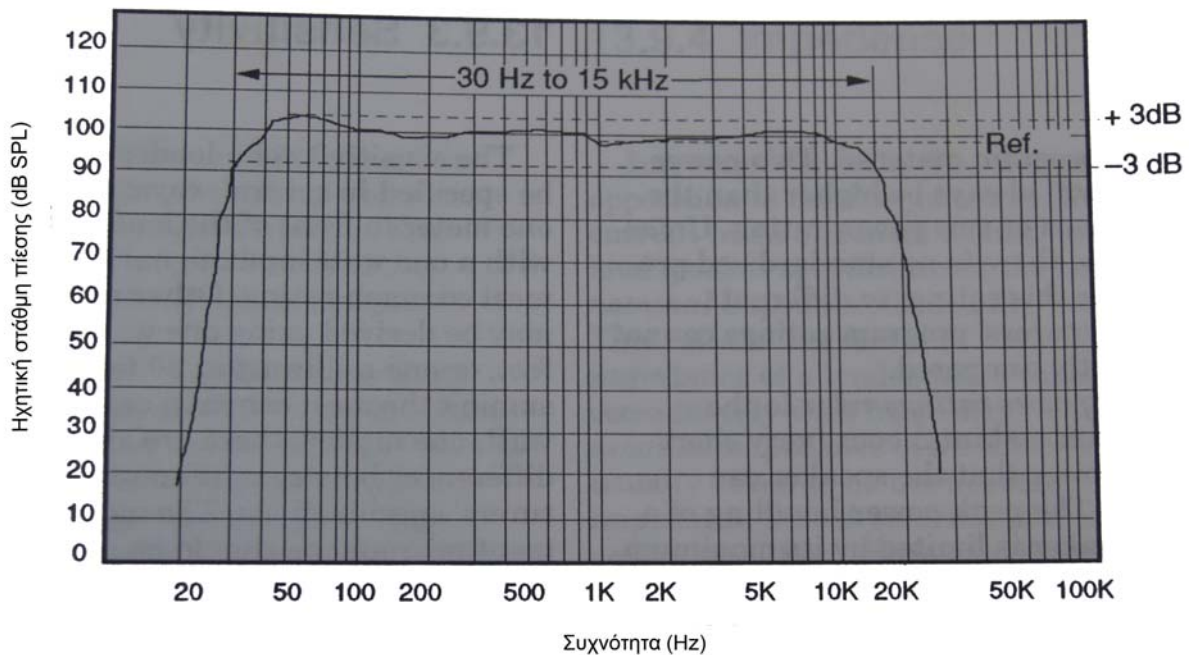
Σχήμα 2.13: Σύνθετη αντίσταση μεγαφώνου

δ) Απόκριση συχνότητας.

Το μεγάφωνο για λόγους αρχής αλλά και για λόγους κατασκευαστικούς δεν είναι δυνατόν να ανταποκρίνεται κατά τον ίδιο τρόπο στις διάφορες συχνότητες. Η διακύμανση αυτή της συμπεριφοράς του εκφρασμένη σε απόλυτες μονάδες ή συνήθως σε dB συναρτήσει της συχνότητας ονομάζεται απόκριση συχνότητας και εκφράζει την δυνατότητα του μεγάφωνου να αποδίδει με αξιοπιστία την μορφή των ήχων όπως του προσφέρονται. Είναι προφανές ότι το "τέλειο" μεγάφωνο θα έχει σαν καμπύλη απόκρισης μια οριζόντια γραμμή από 20 Hz μέχρι 20 KHz αλλά προφανώς στην πράξη αυτό είναι αδύνατο.

Έτσι εκτιμάται η μικρή κατά το δυνατό απόκλιση της πραγματικής καμπύλης του μεγαφώνου από την ιδανική. Αξίζει να σημειωθεί ότι τεχνικοί λόγοι κάνουν αρκετά

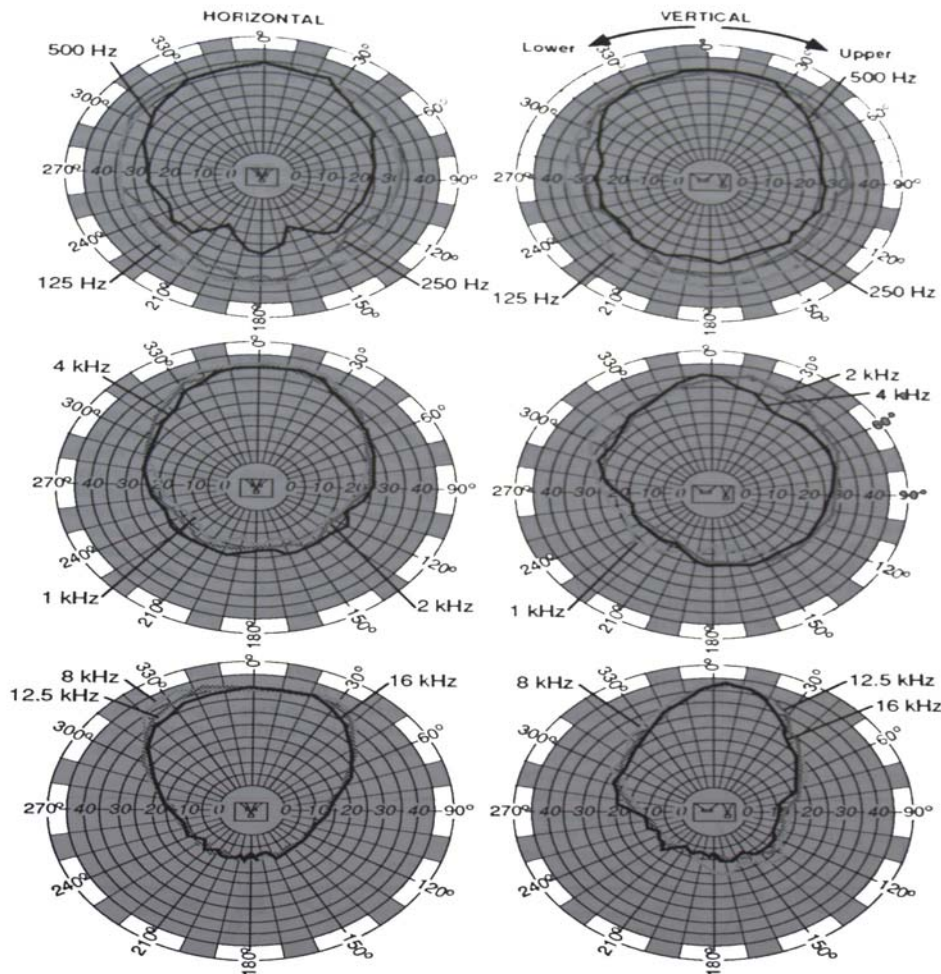
δύσκολη την βελτίωση της καμπύλης απόκρισης για τα μεγάφωνα σε σχέση με τις αντίστοιχες καμπύλες μικροφώνων και κυρίως των ενισχυτών.



Σχήμα 2.14: Συχνοτική απόκριση μεγαφώνου

ε) Κατευθυντικότητα.

Η μη σημειακή επιφάνεια του μεγαφώνου, δηλαδή η ύπαρξη "επιπέδου" ακτινοβολίας διαμορφώνει εγγενή στοιχεία κατευθυντικότητας στα μεγάφωνα δηλαδή διαμόρφωση εκλεκτικής εκπομπής ακτινοβολίας προς ορισμένη διεύθυνση. Η εκλεκτική αυτή κατανομή διαμορφώνει μια διασπορά της ενέργειας σαν συνάρτηση της γωνίας που σχηματίζει μεταξύ της διεύθυνσης μεγίστης εκπομπής (συχνά είναι η κάθετη στο μέσο της μεμβράνης του μεγαφώνου ή στην επιφάνεια ακτινοβολίας της κόρνας) και μιας τυχαίας διεύθυνσης. Οι σχετικές τιμές των εντάσεων του ήχου δίνονται σε καμπύλες χαρακτηριστικές για τους διάφορους τύπους μεγαφώνων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται το μεγάφωνο διαμορφώνεται και η απαίτηση για οξεία ή ευρεία καμπύλη κατευθυντικότητας του μεγαφώνου.



Σχήμα 2.15: Πολικά διαγράμματα της οριζόντιας – κάθετης διασποράς ενός ηχείου 3 δρόμων.

2.4.5 Παράγοντες που επιδρούν στην αναπαραγωγή.

Η καλή στερεοφωνική απόδοση εξαρτάται από την ομοιότητα των χαρακτηριστικών της κάθε ομάδας μεγαφώνων, από το σχήμα της κατανομής της ακτινοβολίας (πολικό διάγραμμα), από την απόσταση μεταξύ των μεγαφώνων, την θέση ακροάσεως ως προς αυτά, από τις ενισχύσεις των δύο καναλιών του ενισχυτή, την καμπύλη απόκρισης αυτών και από την ακουστική του δωματίου.

A) Τα χαρακτηριστικά των μεγαφώνων : Για να έχουμε ικανοποιητική στερεοφωνική ισορροπία, τα μεγάφωνα πρέπει να έχουν ίσες ευαισθησίες και απολύτως ίσες περιοχές απόκρισης συχνότητας. Οι ενισχύσεις των ενισχυτών, τα εξισωτικά κυκλώματα, και οι ολισθήσεις φάσεως πρέπει να είναι όμοια και προσαρμοσμένα σε αμφότερα τα κανάλια. Ανόμοιες συχνότητες συντονισμού παράγουν μέγιστα και ελάχιστα (peaks and dips) σε διάφορα σημεία του φάσματος των ακουστικών συχνοτήτων και γίνονται αιτία να αλλάξει θέση η φαινόμενη πηγή ήχου κατά τρόπο έντονο και μ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται πλαστός διαχωρισμός στον χώρο, σε διάφορους τόνους ενός μουσικού οργάνου.

B) Τοποθέτηση των μεγαφώνων στο χώρο: Για να έχουμε μια στερεοφωνική εμφανή αναπαραγωγή, τα μεγάφωνα πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον 2,5 μ. το ένα από το άλλο και σε θέση από την οποία να είναι ορατά από όλα τα σημεία της περιοχής ακρόασης. Μικρότερη απόσταση από αυτή τείνει να επικαλύψει την αναπαραγωγή από τα δύο κανάλια και κυρίως όταν οι ήχοι προέρχονται από όργανα τοποθετημένα στο κέντρο της περιοχής εγγραφής (στο κέντρο της ορχήστρας). Αφ' ετέρου ένα δύσκολο πρόβλημα δημιουργείται όταν τα μικρόφωνα ή τα μεγάφωνα τοποθετηθούν πολύ μακριά το ένα από το άλλο. Τότε εμφανίζεται το φαινόμενο οπής στο κέντρο (hole in the centre effect).

Ένας τρόπος διόρθωσης αυτού του ελαττώματος, είναι να εισάγουμε ένα τρίτο κεντρικό μεγάφωνο, το οποίο τροφοδοτείται και από τα δύο κανάλια εξ ίσου σε μία στάθμη που βρίσκεται πειραματικά. Επειδή το φαινόμενο " hole in the centre " παρουσιάζεται εντονότερο στις ψηλές συχνότητες, οι οποίες παρουσιάζουν πιο κατευθυνόμενη εκπομπή, ένα tweeter ως ενδιάμεσο μεγάφωνο ή ένα ευρείας περιοχής θα δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα. Αν τα μεγάφωνα και τα μικρόφωνα τοποθετηθούν σωστά, είναι δυνατόν να κάνουμε κάποια οικονομία στα συστήματα πολλών μεγαφώνων, δηλ. επειδή οι ψηλότερες συχνότητες προκαλούν κυρίως την αυταπάτη της στερεοφωνικής αναπαραγωγής και οι μπάσοι τόνοι λίγο συμβάλλουν σ' αυτό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο tweeter τοποθετημένα στο χώρο, τα οποία και προκαλούν το στερεοφωνικό φαινόμενο με ένα μόνο μεγάφωνο woofer τοποθετημένο με το ηχείο του μεταξύ αυτών.

Γ) Σχέδια κατανομής. Τα σχετικά δεδομένα για μεγάφωνα κατευθυνόμενης ακτινοβολίας και ευρείας γωνίας εκπομπής ήχων, είναι βασικά και θα τα αναπτύξουμε με λίγα λόγια. Τα μεγάφωνα κατευθυνόμενης δέσμης ακτινοβολίας σε μια στενή γωνία παράγουν πολύ πιο έντονα το φαινόμενο του στερεοφωνικού μέσα στην περιορισμένη περιοχή στην οποία ακτινοβολούν απ' ευθείας και οι δύο μονάδες. Μια όμως κατανομή του ήχου ευρείας γωνίας διευρυνόμενη περισσότερο από τις ανακλάσεις (σκεδάσεις) στους τοίχους, όπως όταν υπάρχουν ηχεία στις γωνιές του δωματίου, δίνει μια ηχητική ακτινοβολία σε μεγαλύτερη περιοχή και με περισσότερη ομοιογένεια. Η τεχνική αυτή είναι εξαιρετική για μονοφωνική αναμετάδοση από περισσότερα του ενός μεγάφωνα στην στερεοφωνική αναπαραγωγή του ήχου.

Οι ανακλώμενοι ήχοι που φθάνουν στα αυτιά με αρκετή χρονική καθυστέρηση από τον κατευθείαν ήχο και σε διαφορετική φασική σχέση, καταστρέφουν το στερεοφωνικό φαινόμενο γιατί πλέον δεν μπορούμε να έχουμε την έννοια της θέσης και της διεύθυνσης της ηχητικής πηγής. Ο κύριος στόχος των κατευθυνόμενων μεγαφώνων είναι το να περιλάβουν ολόκληρη την περιοχή ακρόασης με κύματα που ακτινοβολούνται απ' ευθείας και με την ίδια ένταση και από τα δύο κανάλια και να αποκλείσουν ανακλάσεις από τους τοίχους. Αυτό πετυχαίνεται με την χρησιμοποίηση παραπετασμάτων ή πλαισίων τα οποία απορροφούν τα ηχητικά κύματα. Σ' ένα μέσου μεγέθους ορθογώνιο δωμάτιο, τα ηχεία, μπορούν να τοποθετηθούν στα δυο άκρα του μεγαλύτερου ή του μικρότερου τοίχου. Αυτό εξαρτάται από την μορφή της περιοχής ακρόασης. Η σωστή θέση των μεγαφώνων βρίσκεται ύστερα από πειράματα και με διόρθωση των σφαλμάτων. Μια στενή δέσμη είναι γενικά περισσότερο ενεργή για την παραγωγή του στερεοφωνικού φαινομένου αν τοποθετηθούν τα ηχεία στα άκρα του μικρότερου τοίχου, αλλά πρέπει να σημειώσουμε ότι, όσο πιο στενή είναι η δέσμη της ακτινοβολίας του μεγαφώνου, τόσο δυσκολότερη είναι η εύρεση της κατάλληλης

γωνίας και θέσης των μεγαφώνων. Αν η ηχητική δέσμη είναι πιο ευρεία, τότε είναι πιο κατάλληλη η τοποθέτηση τους στις γωνίες του μεγαλύτερου τοίχου.

2.5 EQUALIZATION ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ EQUALIZER

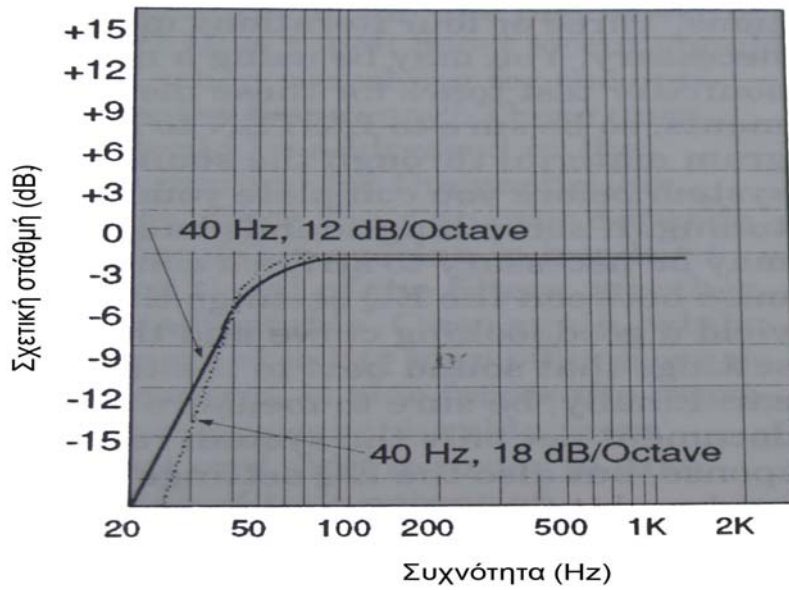
2.5.1 Ορισμός:

Ο όρος equalization χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διαδικασία της τροποποίησης του ηχοχρώματος και της τονικότητας ενός ήχου, επεμβαίνοντας στο συχνοτικό περιεχόμενό του, με αύξηση ή ελάττωση της στάθμης συγκεκριμένων συχνοτήτων. Αρχικά ο όρος αναφερόταν μόνο σε κυκλώματα που ενίσχυαν συγκεκριμένες συχνοτικές περιοχές, αλλά στις μέρες μας χρησιμοποιείται για κυκλώματα που ενισχύουν και ελαττώνουν την στάθμη συγκεκριμένων συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος.

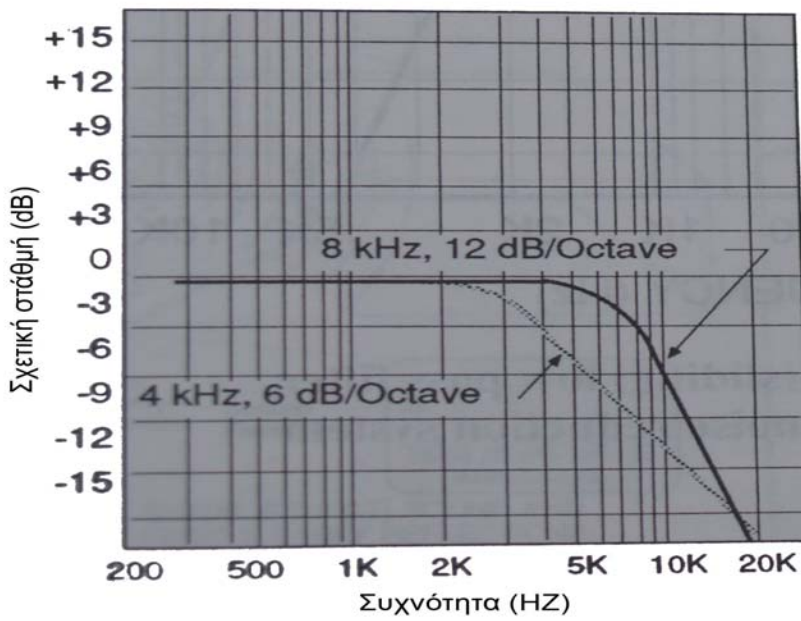
Το equalizer είναι ένας επεξεργαστής σχεδιασμένος να τροποποιεί το ηχόχρωμα και την τονικότητα του ήχου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων κυκλωμάτων φίλτρων ικανά να ενισχύσουν (boost) ή να ελαττώσουν (cut) την στάθμη σε συγκεκριμένες συχνοτικές περιοχές του ηχητικού φάσματος.

2.5.2 Φίλτρα Χαμηλής και Υψηλής Διέλευσης (Low και High Pass Filters):

Η πιο απλή μορφή φίλτρων είναι τα φίλτρα χαμηλής και υψηλής διέλευσης (Low και High pass φίλτρα). Τα φίλτρα αυτά μειώνουν προοδευτικά το gain των ηχητικών συχνοτήτων πάνω (στη περίπτωση του φίλτρου χαμηλής διέλευσης) ή κάτω (στην περίπτωση του φίλτρου υψηλής διέλευσης), από μία καθορισμένη από τον χρήστη συχνότητα η οποία ονομάζεται συχνότητα αποκοπής (cut off frequency), ενώ αφήνουν το gain των υπολοίπων συχνοτήτων συγκριτικά ανεπηρέαστο. Εκτός από την συχνότητα αποκοπής ένα ακόμα στοιχείο που ορίζει τα φίλτρα αυτά είναι η κλίση (slope) που έχει το κάθε φίλτρο, δηλαδή ο ρυθμός, μικρός η μεγάλος, με τον οποίο η δράση του επεκτείνεται στις πιο πέρα συχνότητες πάνω ή κάτω από την συχνότητα αποκοπής. Η κλίση αυτή ορίζεται σε dB ανά οκτάβα. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η δράση των φίλτρων αυτών.



Σχήμα 2.16: Φίλτρο υψηλής διέλευσης.



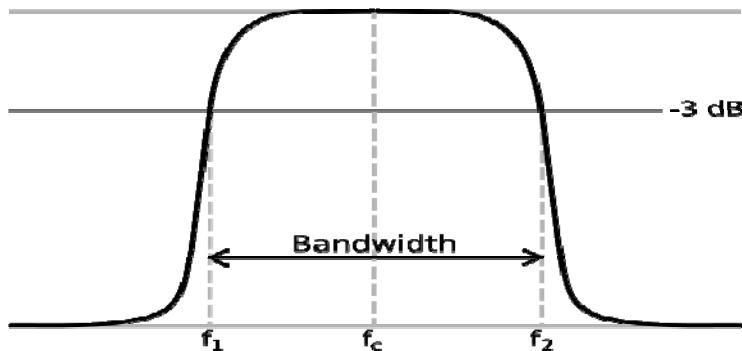
Σχήμα 2.17: Φίλτρο χαμηλής διέλευσης.

Τα παραπάνω φίλτρα αν και χρήσιμα, μας επιτρέπουν μόνο να κόβουμε συχνότητες και όχι να τις ενισχύουμε.

2.5.3 Φίλτρα Διέλευσης Ζώνης (Band Pass Filter):

Το φίλτρο διέλευσης ζώνης είναι μια διάταξη που αφήνει περάσει μόνο μια συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος γύρω από μία κεντρική συχνότητα f_c και αποκόβει τις συχνότητες που βρίσκονται εκτός της περιοχής αυτής. Το φίλτρο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί από το συνδυασμό των φίλτρων χαμηλής και υψηλής διέλευσης.

Ένα ιδανικό θεωρητικά φίλτρο θα είχε εντελώς flat ζώνη διέλευσης και θα έκοβε εντελώς και στιγμιαία τις συχνότητες εκτός της ζώνης αυτής. Στην πραγματικότητα όμως κανένα φίλτρο διέλευσης δεν είναι ιδανικό. Το φίλτρο δεν αποκόβει εντελώς όλες τις συχνότητες εκτός του επιθυμητού συχνοτικού φάσματος, αλλά υπάρχει μια περιοχή ακριβώς έξω από την ζώνη διέλευσης όπου η ένταση των συχνοτήτων μειώνεται μέχρι να μηδενιστεί. Αυτή η περιοχή δεξιά και αριστερά από την ζώνη διέλευσης, ονομάζεται filter roll – off και εκφράζεται σε dB ανά οκτάβα. Γενικά στον σχεδιασμό τέτοιου είδους φίλτρων, επιδιώκεται το roll off να είναι όσο πιο περιορισμένου εύρους γίνεται, επιτρέποντας έτσι στο φίλτρο να λειτουργεί όσο πιο κοντά στην ιδανική κατάσταση λειτουργίας γίνεται. Το εύρος ζώνης (bandwidth) ενός τέτοιου φίλτρου είναι η διαφορά μεταξύ της πάνω και της κάτω συχνότητας αποκοπής όπου το σήμα πέφτει 3dB από την flat ζώνη διέλευσής του.

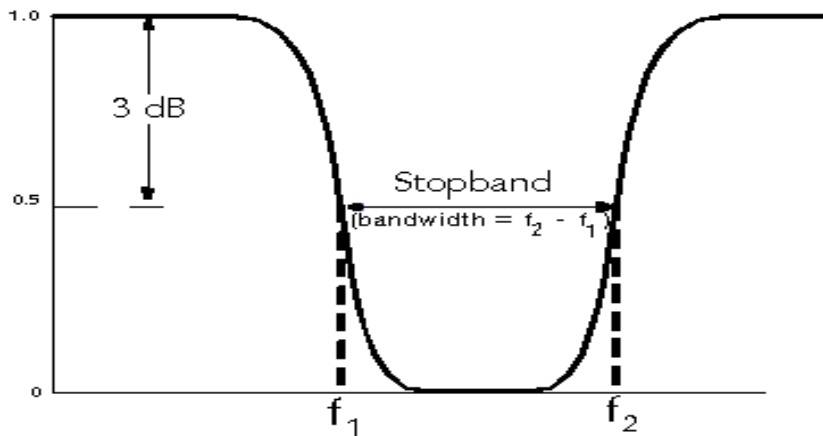


Σχήμα 2.18: Φίλτρο διέλευσης ζώνης.

2.5.4 Φίλτρα αποκοπής ζώνης (Stop Band Filter):

Το φίλτρο αποκοπής ζώνης είναι ένα φίλτρο το οποίο αφήνει να περάσουν όλες οι συχνότητες εκτός μιας συγκεκριμένης περιοχής του φάσματος, γύρω από μια κεντρική συχνότητα f_c . Είναι το αντίθετο από το φίλτρο διέλευσης ζώνης. Μια υποπερίπτωση του φίλτρου αυτού, είναι το φίλτρο notch.

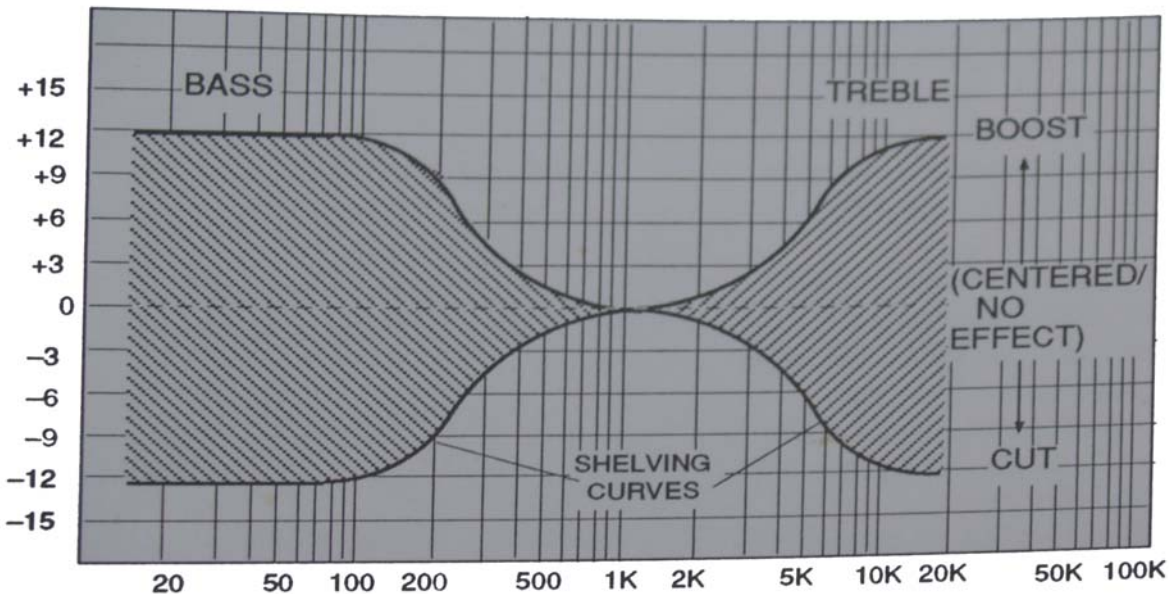
Το φίλτρο notch είναι ένα φίλτρο αποκοπής ζώνης το οποίο επεμβαίνει σε μια πολύ στενή ζώνη συχνοτήτων (υψηλός παράγοντας Q). Τα φίλτρα notch χρησιμοποιούνται στην ζωντανή ηχητική αναπαραγωγή και για την ενίσχυση διάφορων μουσικών οργάνων, για να μειώσουν ή να αποτρέψουν την ανάδραση (feedback), επεμβαίνοντας ελάχιστα στο υπόλοιπο συχνοτικό φάσμα.



Σχήμα 2.19: Φίλτρο αποκοπής ζώνης.

2.5.5 Φίλτρα τύπου Shelving:

Τα φίλτρα τύπου shelving μας παρέχουν την δυνατότητα να μεταβάλλουμε την στάθμη έντασης (τον αριθμό των dB, που προσθέτονται ή αφαιρούνται) των ηχητικών συχνοτήτων, κάτω ή πάνω από μία καθορισμένη από τον χρήστη συχνότητα. Τα φίλτρα του τύπου αυτού λειτουργούν συνήθως σε δυο ζώνες συχνοτήτων, την χαμηλή και την υψηλή και οι συχνότητες από τις οποίες αρχίζουν να λειτουργούν είναι είτε προκαθορισμένες, είτε καθορίζονται από τον χρήστη. Τα φίλτρα αυτά σε σχέση με τα φίλτρα χαμηλής και υψηλής διέλευσης έχουν το πλεονέκτημα ότι μας επιτρέπουν όχι μόνο να κόβουμε συχνότητες, αλλά και να τις ενισχύουμε. Τα φίλτρα shelving συνήθως συναντιούνται σε διατάξεις όπως οι Hi - Fi ενισχυτές ή στα στερεοφωνικά αυτοκινήτων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δράση ενός τέτοιου φίλτρου.



Σχήμα 2.20: Φίλτρο τύπου shelving.

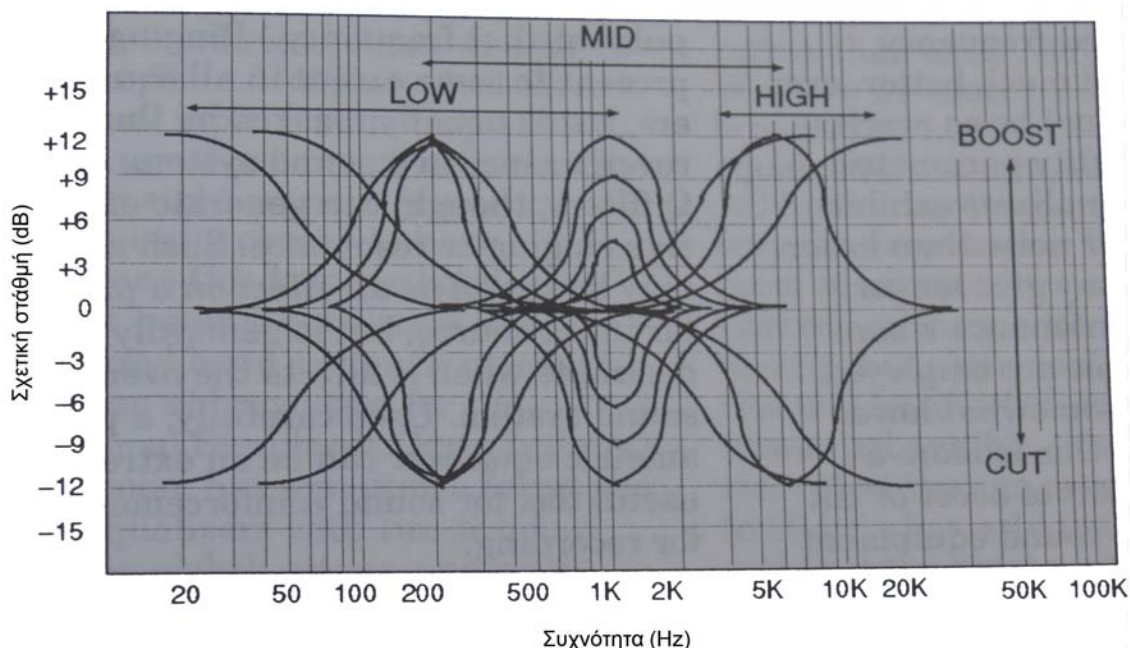
2.5.6 Παραμετρικά Equalizer:

Το παραμετρικό equalizer είναι ένα equalizer που παρέχει την δυνατότητα ρύθμισης της κεντρικής συχνότητας και του φάρδους της μπάντας των συχνοτήτων που θα επηρεάσει το φίλτρο (ρυθμιζόμενο Q), καθώς και την στάθμη αυξομείωσης (θετικό ή αρνητικό gain). Ο λόγος για τον οποίο αυτού του είδους τα equalizer ονομάζονται παραμετρικά, είναι γιατί μας επιτρέπουν να ρυθμίσουμε όλες τις παραμέτρους του equalization.

Το βασικό πλεονέκτημα του equalizer παραμετρικού τύπου, είναι ότι επιτρέπει στην συχνότητα που χρειάζεται διόρθωση να διαλεχτεί με ακρίβεια, καθώς και την ρύθμιση του φάρδους της μπάντας των συχνοτήτων (Q) που θα επηρεάσει το φίλτρο, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί ελάχιστη θετική ή αρνητική ενίσχυση, με πολύ λιγότερες αρνητικές επιδράσεις στις διπλανές συχνότητες που δεν χρειάζονται διόρθωση.

Αν ένα τέτοιου είδους φίλτρο ρυθμιστεί έτσι ώστε να επηρεάζει μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων (χαμηλό Q), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ισοστάθμιση δωματίου (room equalization) όπως ένα γραφικό equalizer, ή μπορεί να συμπεριφέρεται σαν ένα μεταβλητής συχνότητας tone control.

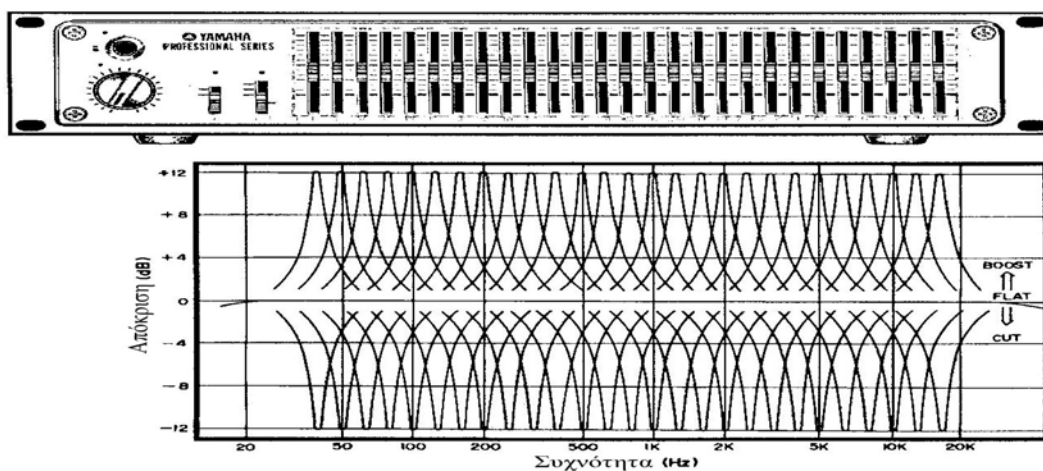
Εάν από την άλλη ρυθμιστεί ώστε να επηρεάζει μια στενή ζώνη συχνοτήτων (υψηλό Q), ένα παραμετρικό equalizer μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο της ανάδρασης (feedback control) ή για να αποκόψει προβλήματα βόμβου σε κάποιες συχνότητες χωρίς να επηρεάζει το υπόλοιπο ηχητικό υλικό.



Σχήμα 2.21: Παραμετρικό equalizer

2.5.7 Γραφικά Equalizer:

Το γραφικό equalizer είναι ένα πολύ – συχνοτικό, φίλτρο αποκοπής ζώνης, ή φίλτρο διέλευσης – αποκοπής ζώνης. Μπορεί δηλαδή να παρέχει εξασθένηση μόνο, η πιο συχνά, εξασθένηση και ενίσχυση. Σε αντίθεση με τα τυπικά equalizer τριών ή τεσσάρων περιοχών, ένα γραφικό equalizer μπορεί να λειτουργεί ταυτόχρονα σε οκτώ ή περισσότερες συχνοτικές περιοχές, των οποίων οι προκαθορισμένες συχνότητες είναι μοιρασμένες σε ίσες αποστάσεις σε όλο το ηχητικό φάσμα, με αποστάσεις οκτάβας ή ένα τρίτο της οκτάβας μεταξύ τους. Μπορούμε να πούμε γενικά ότι τα γραφικά equalizer με συχνότητες οι οποίες απέχουν αποστάσεις οκτάβας μεταξύ τους, χρησιμοποιούνται για γενικές τονικές διορθώσεις, ενώ τα γραφικά equalizer ενός τρίτου της οκτάβας για ρυθμίσεις δωματίων και διορθώσεις προβλημάτων ανάδρασης (feedback). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα γραφικό equalizer, ενός τρίτου της οκτάβας.



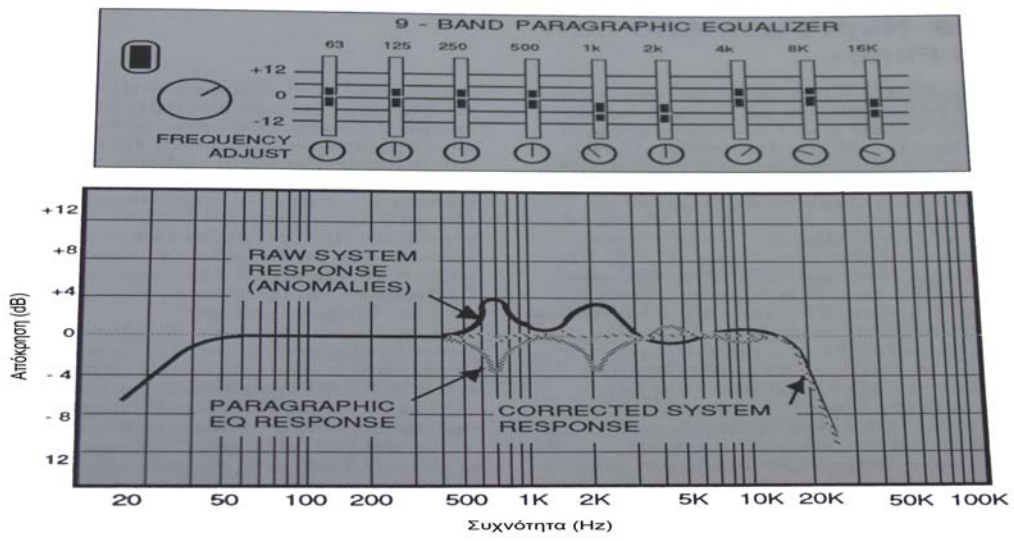
Σχήμα 2. 22: Γραφικό equalizer.

2.5.8 Παραγραφικά Equalizer:

Ο όρος παραγραφικό προκύπτει από τον συνδυασμό των όρων παραμετρικό και γραφικό.

Το παραγραφικό equalizer είναι στην ουσία ένα παραμετρικό equalizer, το οποίο παρέχει την επιπλέον δυνατότητα στον χρήστη να μπορεί να μεταβάλλει τις κεντρικές συχνότητες της κάθε περιοχής του φάσματος, αντί να χρησιμοποιεί προκαθορισμένες τιμές για αυτές. Επίσης κατά περίπτωση μπορεί να ρυθμίζεται ή όχι το φάρδος της μάντας των συχνοτήτων που επηρεάζει το φίλτρο (ρυθμιζόμενο Q).

Τέτοιες συσκευές γενικά χρησιμοποιούνται για την αποτροπή της ανάδρασης (feedback) ή άλλων ανωμαλιών του συστήματος. Μπορούν να λειτουργούν ακριβώς σαν το γραφικό equalizer, αλλά με το επιπλέον πλεονέκτημα του να είναι ικανά να ολισθήσουν την κεντρική συχνότητα του φίλτρου στο ακριβές σημείο όπου συμβαίνει η ανάδραση, επιτρέποντας έτσι την ελάχιστη δυνατή επέμβαση στο σημείο που χρειάζεται αφήνοντας ανεπηρέαστο το υπόλοιπο φάσμα.



Σχήμα 2.23: Παραγραφικό equalizer.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Ηχορρύπανση – Νομοθεσία

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αν και οι ακριβείς δυσμενείς επιπτώσεις του θορύβου στην ανθρώπινη ακοή δεν έχουν πλήρως εξακριβωθεί, εν τούτης έκθεση σε υψηλές στάθμες θορύβου επιδρά δυσμενώς στην ευαισθησία του ανθρώπινου αισθητηρίου προκαλώντας του βλάβες. Ο θόρυβος είναι ένας από τους πρώτους παράγοντες της απώλειας ακοής σε εκατομμύρια ανθρώπους και οι στατιστικές αποδεικνύουν ότι οι βλάβες στο σύστημα της ακοής συμβαίνουν περισσότερο σε νεαρή ηλικία. Οι κυριότερες από αυτές είναι η κώφωση (μόνιμη ή προσωρινή) και το ακουστικό τραύμα. Επίσης υπάρχουν πάρα πολλές άλλες παθολογικές επιδράσεις του στην ανθρώπινη υγεία, όπως φαίνεται από εκθέσεις σύγχρονων ιατρικών ερευνητικών κέντρων. Ιατρικές έρευνες σήμερα συσχετίζουν το θόρυβο με επιληπτικούς σπασμούς, αύξηση της χοληστερίνης, της πίεσης του αίματος, της εγκληματικότητας, των αυτοκτονιών, των ψυχασθενειών, μείωση της όρασης, απώλεια του libido, νευρική υπερένταση και άλλες παθολογικές καταστάσεις.

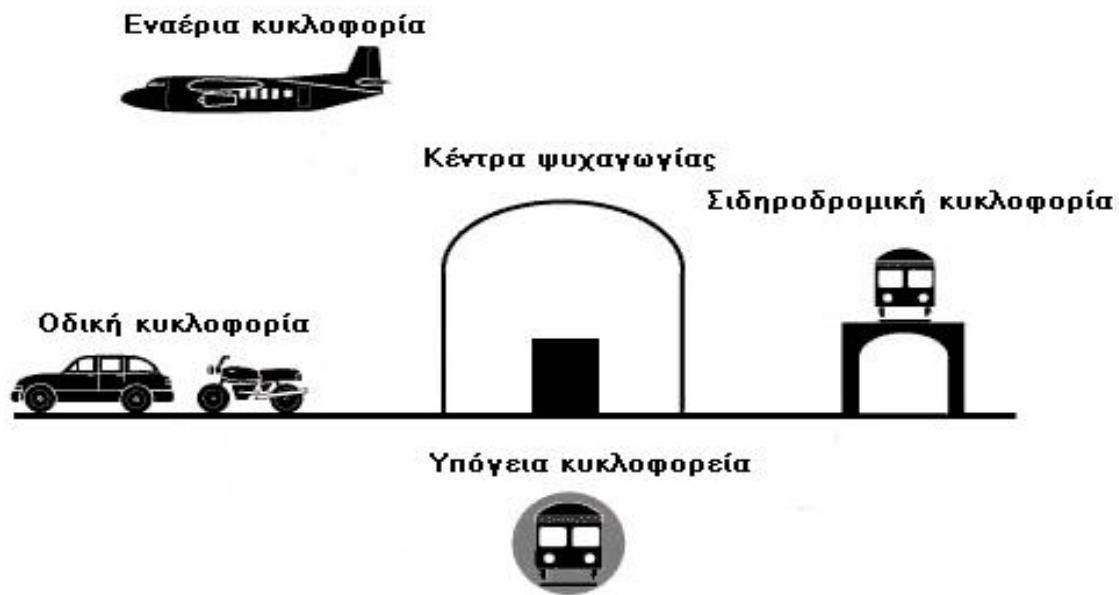
Η βλάβη της ακοής μπορεί να εκφραστεί, πολλές φορές, με τη μετατόπιση (άνοδο) του κατωφλίου ακουστότητας, στις διάφορες συχνότητες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, το ακουομετρικό ιστορικό του ατόμου δεν είναι γνωστό και επομένως είναι απαραίτητος ο καθορισμός ορίων στάθμης ακοής. Έτσι, για τη διατήρηση της ικανότητας κατανόησης της συνομιλίας, χρειάζεται να τεθεί ένα όριο στάθμης ακοής στις συχνότητες εκείνες που είναι σημαντικές για την καταληπτότητα του λόγου.

Το ευρύ κοινωνικό ενδιαφέρον και η ανησυχία των ανθρώπων όλου του κόσμου για τις συνέπειες του θορύβου επέφερε νομοθεσίες ανωτάτων ορίων θορύβου στους χώρους εργαζομένων, κατοικημένων περιοχών, αεροδρομίων, τρένων, αυτοκινητόδρομων, μηχανημάτων, συσκευών κλπ. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ερευνητικών κέντρων, εταιρειών ακουστικής και άλλων οργανισμών με σκοπό την εξεύρεση λύσεων στο πρόβλημα του θορύβου.

3.2 ΘΟΡΥΒΟΣ

Ο θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητος (για τον αποδέκτη) ήχος. Ανεπιθύμητοι είναι συνήθως δυνατοί, δυσάρεστοι και απρόβλεπτοι ήχοι. Με βάση αυτόν τον ορισμό, μπορούμε να ορίσουμε τον θόρυβο ως τον ήχο που παρεμποδίζει κάποια άλλη δραστηριότητα της καθημερινής ζωής όπως είναι η εργασία ή η ανάπαυση. Χαρακτηρίζεται από την στάθμη της ηχητικής του πίεσης (σε ντεσιμπέλ dB) καθώς και από τις συχνότητές του (σε Hertz Hz). Ο θόρυβος έχει μια πηγή δημιουργίας από την οποία προέρχεται, μια διαδρομή διάδοσης και ένα αποδέκτη ο οποίος τον δέχεται και ενοχλείται. Οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι οι εξής:

- Οδική κυκλοφορία.
- Σιδηροδρομική κυκλοφορία.
- Εναέρια κυκλοφορία.
- Βιοτεχνία και Βιομηχανία.
- Άλλες δραστηριότητες (π.χ. κέντρα ψυχαγωγίας).



Σχήμα 3.1: Συνήθης πηγές θορύβου ενός αστικού κέντρου



Σχήμα 3.2: Συνήθης πηγές θορύβου μιας πολυκατοικίας.

Τέσσερις είναι οι παράγοντες που καθορίζουν κατά πόσο ένας θόρυβος είναι επικίνδυνος:

- Η ένταση ή ηχηρότητα του ήχου (μετριέται σε dB).
- Η συχνότητα ή το ύψος (μετριέται σε Hz).
- Η περιοδικότητα – πόσο συχνά συμβαίνει.
- Η διάρκεια – πόσο διαρκεί (μετριέται σε sec).

Στα 140 dB περίπου, υπάρχει το ενδεχόμενο μόνιμης βλάβης της ακοής από μία και μόνη έκθεση. Ευτυχώς, αυτό το επίπεδο έκθεσης σε θόρυβο κατά την εργασία είναι σπάνιο. Συνήθως η βλάβη από τον θόρυβο προκαλείται με την πάροδο του χρόνου.

Η παρατεταμένη έκθεση σε δυνατό θόρυβο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ακοής. Για την προστασία των εργαζομένων, η οδηγία της ΕΕ του 2003 για τον θόρυβο, η οποία ισχύει για όλα τα κράτη μέλη από το 2006, θέτει ως ημερήσια (8 ώρες) οριακή τιμή έκθεσης τα 87dB (A).

Για να μετρήσουμε τον θόρυβο στον οποίο εκτίθενται οι εργαζόμενοι στους διάφορους χώρους εργασίας χρησιμοποιούμε κάποιους δείκτες. Αυτοί είναι:

A) Μερικός δείκτης εκθέσεως στο θόρυβο, E_i .

Είναι ο δείκτης που προσδιορίζεται, από την A-ηχοστάθμη του θορύβου και τη διάρκεια της μέσα στο χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας κανονικής εργασίας (40 h), σύμφωνα με τον τύπο:

$$E_i = \frac{\Delta t_i}{40} 10^{\frac{L_i - 70}{10}} \quad (3.1)$$

όπου:

E_i είναι ο μερικός δείκτης εκθέσεως στο θόρυβο.

L_i είναι η ηχοστάθμη, σε dB(A), που αντιστοιχεί στο μέσον της κλάσεως i .

Δt_i είναι η ολική διάρκεια σε ώρες ανά εβδομάδα που οι ηχοστάθμες είναι μέσα στην κλάση.

B) Ολικός δείκτης εκθέσεως στο θόρυβο E .

Είναι το άθροισμα όλων των μερικών δεικτών εκθέσεως για όλες τις αντίστοιχες ηχοστάθμες που εμφανίστηκαν μέσα στο διάστημα μιας εβδομάδας κανονικής εργασίας (40 H).

$$E = \sum E_i \quad (3.2)$$

Γ) Ισοδύναμη ηχοστάθμη (L_{eq}).

Είναι εκείνη η ηχοστάθμη, σε dB(A), που αν επικρατούσε συνεχώς για μια εβδομάδα (40 H), θα έδινε ολικό δείκτη εκθέσεως τον ίδιο μ' αυτόν που δίνουν οι διάφορες ηχοστάθμες που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της εβδομάδας.

$$L_{eq} = 70 + 10 \log E \quad (3.3)$$

> 81	ΑΠΑΡΑΔΕΚΤΗ
81	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
80	ΠΟΛΥ ΘΟΡΥΒΩΔΗΣ
79	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
78	
77	ΘΟΡΥΒΩΔΗΣ
76	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
75	
74	ΣΧΕΔΟΝ ΑΝΕΚΤΗ
73	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
72	
71	ΚΑΛΗ
70	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
69	
68	ΑΝΕΤΗ
< 68	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Σχήμα 3.3: Επιτρεπόμενα όρια θορύβου σε dB

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	ΕΝΤΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ (dB)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΩΡΕΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ - ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ dB
Εξωτερικοί χώροι	Σοβαρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	55	16	-
Εξωτερικοί χώροι	Μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	50	16	-
Κατοικίες – Εσωτερικοί χώροι	Κατανόηση ομιλίας, μικρή ενόχληση ημέρα και νύχτα	35	16	45
Δωμάτια ύπνου	Διαταραχή ύπνου νύχτα	45	8	60
Σχολικές αίθουσες	Ενόχληση στην κατανόηση ομιλίας	35	Διάρκεια μαθήματος	
Δωμάτια ύπνου για προσχολική ηλικία	Διαταραχή ύπνου	30	Διάρκεια ύπνου	45

Σχολικές αυλές	Ενόχληση	55	Διάρκεια ημέρας	-
Νοσοκομεία θάλαμοι	Διαταραχή ύπνου	30	8	40
Νοσοκομεία – Ιατρεία		30	16	
Βιομηχανία ,εμπορικές επιχειρήσεις , μαγαζιά ,συγκοινωνίες	Επίδραση στην ακοή	70	24	110
Τελετές, φεστιβάλ, συναυλίες κλπ.		100	4	110
Συγκεντρώσεις σε κλειστό χώρο		85	1	110
Μουσική και άλλοι ήχοι από ηχεία και ακουστικά		85	1	110
Σειρήνες από παιχνίδια , πυροσβεστική κλπ				140

Σχήμα 3.4: Οδηγός μέγιστων επιτρεπτών τιμών για την ηχορύπανση σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα.

ΜΕΡΙΚΟΙ ΚΟΙΝΟΙ ΗΧΟΙ	ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΣΕ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ	ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ
Ο πιο ασθενής ήχος που μπορεί να ακουστεί	0	1
Θρόισμα φύλλων	20	100
Ήσυχος σπίτι	40	10 000
Θορυβώδες κατάστημα	60	1 000 000
Κινητήρας αυτοκινήτου μεγάλης ισχύος	80	100 000 000
Κεραυνός κοντά	100	10 000 000 000

Επώδυνος ήχος	120	1 000 000 000 000
---------------	-----	-------------------

Σχήμα 3.5: Στην παραπάνω κλίμακα φαίνεται η σχέση της κλίμακας των ηχητικών σταθμών εκφρασμένων σε dB και της ηχητικής ισχύος. Σε μια αύξηση της ηχητικής ισχύος κατά χίλια εκατομμύρια η ηχητική στάθμη ανέρχεται από 0 ντεσιμπέλ σε 120 dB.

Ολικός δείκτης εκθέσεως στο θόρυβο	Ισοδύναμη ηχοστάθμη σε dB(A)
10	80
15	82
20	83
25	84
30	85
40	86
50	87
60	88
80	89
100	90
125	91
160	92
200	93
250	94
315	95
400	96
500	97
630	98
800	99
1000	100
1250	101
1600	102
2000	103
2500	104
3150	105
4000	106
5000	107
6300	108
8000	109
10000	110
12500	111
16000	112
20000	113
25000	114
31500	115

Σχήμα 3.6: Σχέση μεταξύ του ολικού δείκτη εκθέσεως στο θόρυβο και της ισοδύναμης ηχοστάθμης. Οι τιμές προκύπτουν από τον τύπο της ισοδύναμης ηχοστάθμης.

Διάρκεια ανά εβδομάδα		Μερικός δείκτης εκθέσεως στο θόρυβο								
		Ηχοστάθμη σε dB(A) (Μέσον κλάσεως)								
<i>h</i>	<i>min</i>	80	85	90	95	100	105	110	115	120
	10					5	15	40	130	415
	12					5	15	50	160	500
	14					5	20	60	185	585
	16					5	20	65	210	665
	18					10	25	75	235	750
	20					10	25	85	265	835
	25				5	10	35	105	330	1040
	30				5	15	40	125	395	1250
	40				5	15	55	165	525	1670
	50				5	20	70	210	660	2080
	60			5	10	25	80	250	790	2500
	70			5	10	30	90	290	920	2920
	80			5	10	35	105	330	1050	3330
	90			5	10	40	120	375	1190	3750
	100			5	15	40	130	415	1320	4170
2				5	15	50	160	500	1580	5000
2,5				5	20	65	200	625	1980	6250
3				10	25	75	235	750	2370	7500
3,5			5	10	30	90	275	875	2770	8750
4			5	10	30	100	315	1000	3160	10000
5			5	15	40	125	395	1250	3950	12500
6			5	15	45	150	475	1500	4740	15000
7			5	20	55	175	555	1750	5530	17500
8			5	20	65	200	630	2000	6320	20000
9			5	25	70	225	710	2250	7110	22500
10		5	10	25	80	250	790	2500	7910	25000
12		5	10	30	95	300	950	3000	9490	30000
14		5	10	35	110	350	1110	3500	11100	
16		5	15	40	125	400	1260	4000	12600	
18		5	15	45	140	450	1420	4500	14200	
20		5	15	50	160	500	1580	5000	15800	
25		5	20	65	200	625	1980	6250	19800	
30		10	25	75	235	750	2370	7500	23700	
35		10	30	90	275	875	2770	8750	27700	
40		10	30	100	315	1000	3160	10000	31600	

Σχήμα 3.7: Μερικοί δείκτες εκθέσεως στο θόρυβο για ηχοστάθμες από 80 έως 120 dB(A) και διάρκειας από 10min έως 40h την εβδομάδα. Οι τιμές προκύπτουν από τον τύπο του μερικού δείκτη εκθέσεως.

3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο θόρυβος στις μέρες μας εμφανίζεται σχεδόν σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, με φυσικό επακόλουθο να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο καθορίζονται κυρίως από την διάρκεια και την ένταση, αλλά σχετίζονται και με τη συχνότητα. Θόρυβοι μεγάλης διάρκειας και έντασης είναι γενικά περισσότερο επικίνδυνοι και ενοχλητικοί. Θόρυβοι υψηλών συχνοτήτων είναι περισσότερο επικίνδυνοι και ενοχλητικοί σε σχέση με θορύβους χαμηλών συχνοτήτων. Σημασία έχει και ο τρόπος με τον οποίο διαδίδεται ο θόρυβος σε σχέση με το χρόνο. Για παράδειγμα ο περιοδικός ή σποραδικός θόρυβος φαίνεται να είναι λιγότερο επικίνδυνος στην ακοή, σε σχέση με τον συνεχή θόρυβο, γιατί το αυτί έχει την ικανότητα να επουλώνεται και να αναζωογονείται στα ενδιάμεσα ήσυχα χρονικά διαστήματα. Σποραδικοί όμως και παλμικοί θόρυβοι είναι συνήθως περισσότερο ενοχλητικοί, κυρίως επειδή είναι απρόβλεπτοι και ξαφνιάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό.

Έρευνες έδειξαν ότι οι επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση στον θόρυβο περιλαμβάνουν κυρίως:

- Προβλήματα ακοής
- Άγχος στην εργασία
- Αυξημένο κίνδυνο ατυχημάτων στους χώρους εργασίας
- Βλάβες στο κυκλοφορούμενο έμβρυο εργαζομένης.

3.3.1 Προβλήματα ακοής:

i) Ακουστικό τραύμα:

Το ακουστικό τραύμα είναι μία από τις σημαντικότερες βλάβες που μπορεί να δημιουργηθεί στο όργανο ακοής και συνήθως προκαλείται από έναν ή περισσότερους ήχους εξαιρετικά υψηλής στάθμης. Κατά το ακουστικό τραύμα μπορεί να προξενηθούν οι παρακάτω βλάβες:

- Ρήξη του τύμπανου,
- Εξάρθρωση ή κάταγμα των οσταρίων,
- Ρήξη της βασικής μεμβράνης,
- Αιμορραγία του τύμπανου ή του κοχλία.

Όταν η βλάβη εκδηλωθεί στον κοχλία είναι συνήθως μη ιάσιμη. Το όριο του ήχου που προκαλεί το τραύμα αυτό βρίσκεται γύρω στα 150 dB.

ii) Κώφωση:

Η κώφωση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες σ' αυτήν που οφείλεται σε βλάβη του μηχανισμού της ακοής, δηλαδή στα όργανα που είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά του ερεθίσματος από το εξωτερικό αυτί στο εσωτερικό και στη νευρική που οφείλεται στη βλάβη του περιφερειακού

νευρικού συστήματος που σχετίζεται με την ακοή. Η πρώτη κατηγορία συνήθως θεραπεύεται με κατάλληλη επέμβαση ενώ η δεύτερη όχι.

Η απώλεια ακοής μετριέται με την ολίσθηση του κατωφλίου ακουστότητας σε υψηλότερες στάθμες. Η ολίσθηση αυτή όταν είναι προσωρινή ονομάζεται TTS (Temporary Threshold Shift) και συμβαίνει αμέσως μετά την έκθεση σε θόρυβο με υψηλές στάθμες. Όταν είναι μόνιμη ονομάζεται PTS ή NIPTS (Permanent Threshold Shift, Noise Induced Permanent Threshold Shift) και συμβαίνει συνήθως σε εργαζόμενους που δουλεύουν σε χώρους με υψηλές στάθμες για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

α) Προσωρινή κώφωση:

Η προσωρινή κώφωση συμβαίνει όταν υπάρχει έκθεση σε θόρυβο σχετικά υψηλής στάθμης και συνεπάγεται σε απώλεια ενός μέρους της ακουστικής ικανότητας μας για σύντομο χρονικό διάστημα, αμέσως μετά την έκθεση. Το αυτί μετά από μικρό χρονικό διάστημα ανακτά την ακουστική ιδιότητα του. Το φαινόμενο αυτό λέγεται προσωρινή κώφωση .

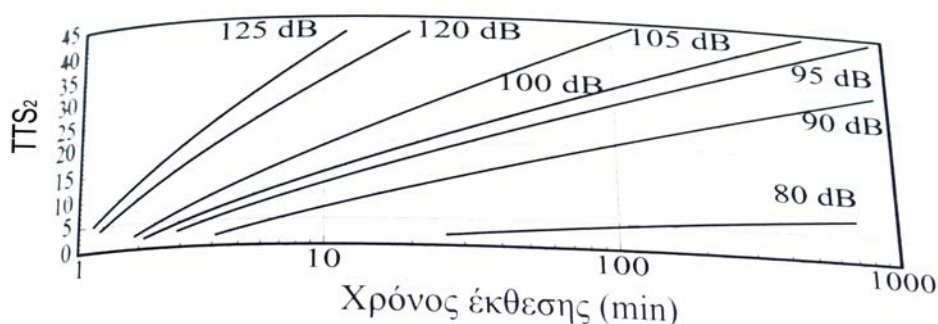
Κύριοι παράγοντες που προκαλούν την προσωρινή ολίσθηση του κατωφλίου είναι:

- η στάθμη του θορύβου.
- η συχνότητα του ήχου.
- η διάρκεια της έκθεσης.

Η προσωρινή απώλεια ακοής μετριέται συνήθως 2 ή 5 λεπτά μετά την έκθεση (TTS₂) ή (TTS₅) παίρνοντας το ακουόγραμμα του εκτιθέμενου.

Γενικά η σχέση έκθεσης και TTS είναι πολύπλοκη. Πάντως όταν ο άνθρωπος εκτεθεί σε περιβάλλον όπου ο θόρυβος κυμαίνεται από 80 έως 105 dB μέχρι 8 ώρες, προκαλείται δύο λεπτα μετά την έκθεση , ολίσθηση ανάλογη με τη στάθμη θορύβου.

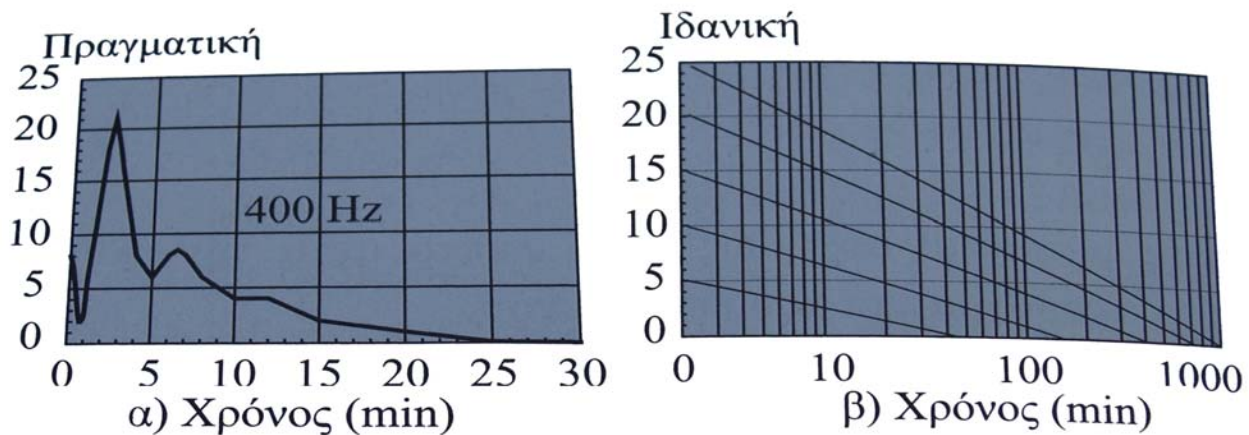
Για συγκεκριμένη σταθερή στάθμη έκθεσης η ολίσθηση είναι ανάλογη του λογαρίθμου της διάρκειας της έκθεσης όταν αυτή δεν υπερβαίνει τις 8 ώρες. Για έκθεση μεγαλύτερης διάρκειας η ολίσθηση αυξάνει μέχρι ένα όριο οπότε και σταματά, τότε έχουμε και την ασυμπτωτική μετατόπιση του κατωφλίου ακουστότητας. Η συχνότητα του ήχου παίζει επίσης μεγάλο ρόλο. Για την ίδια χρονική έκθεση και ίδια στάθμη η απώλεια ακοής αυξάνει με τη συχνότητα του ήχου.



Σχήμα 3.8: Προσωρινή μετατόπιση του κατωφλίου ακουστότητας συναρτήσει της στάθμης θορύβου και του χρόνου έκθεσης.

Η ανάκτηση της ακοής μετά την έκθεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες:

- το φύλο,
- η κατάσταση της υγείας,
- η χρήση ορισμένων φαρμάκων,
- η προϋστορία σε έκθεση θορύβων,
- η ηλικία.

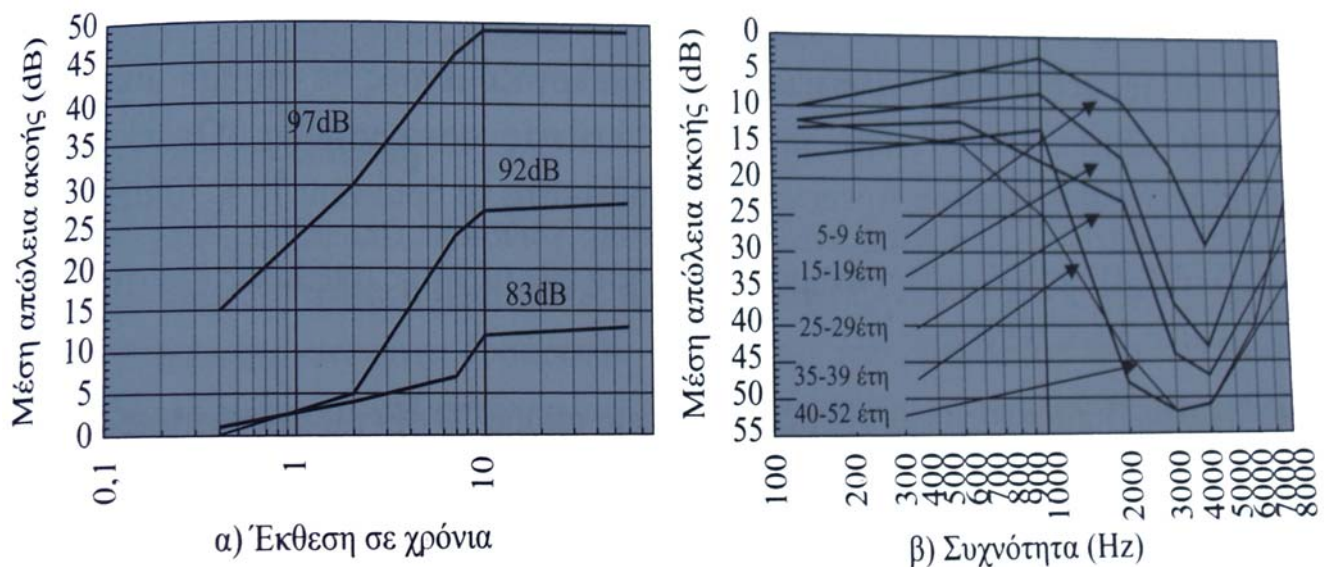


Σχήμα 3.9: Επανάκτηση της ακοής συναρτήσει του χρόνου μετά την έκθεση. α) πραγματική. β) ιδανική.

Το παραπάνω σχήμα μας δίνει την ανάκτηση της ακοής συναρτήσει του χρόνου μετά το πέρας της έκθεσης. Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ότι μετά την έκθεση στο θόρυβο υπάρχει μια περίοδος προσαρμογής του αυτιού που διαρκεί δύο λεπτά. Κατά τη διάρκεια αυτή η συμπεριφορά του αυτιού είναι ανώμαλη. Στα δύο λεπτά έχουμε το μέγιστο της προσωρινής απώλειας ακοής (Bounce Effect) και κατόπιν έχουμε μία γραμμική ελάττωση της TTS συναρτήσει του λογαρίθμου του χρόνου, μέχρι το αυτί να επανέλθει στην αρχική του (πριν την έκθεση) κατάσταση. Λόγω του ότι η μέγιστη προσωρινή απώλεια ακοής συμβαίνει 2 λεπτά μετά την έκθεση ο χρόνος αυτός χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της προσωρινής απώλειας ακοής (TTS₂).

β) Μόνιμη κόφωση:

Όταν η έκθεση στο θόρυβο διαρκεί αρκετά χρόνια μπορεί να προκαλέσει μόνιμη βλάβη στην ακοή καταστρέφοντας τα τριχίδια της βασικής μεμβράνης ή και τις νευρικές απολήξεις σ' αυτά. Συνήθως ο άνθρωπος χάνει την ακουστική ικανότητα του στις συχνότητες που καταπονεί το αυτί του, στην περίπτωση όμως που υπάρχουν τόνοι με υψηλή στάθμη, καταστροφή συμβαίνει σε συχνότητα κατά 50% μεγαλύτερη. Αν π.χ. κάποιος εργαζόμενος σε χώρο όπου υπάρχει τόνος υψηλής στάθμης 2000 Hz, η μέγιστη απώλεια ακοής θα συμβεί στα 3000 Hz. Στην περίπτωση που υπάρχει θόρυβος ευρέως φάσματος το μέγιστο της απώλειας ακοής θα συμβεί στα 4000 Hz, δηλαδή στο μέσο της βασικής μεμβράνης. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό κατά τον Ruedi είναι ότι στο μέσο περίπου της βασικής μεμβράνης συμβάλλουν τα δύο κύματα που διεγείρουν τη μεμβράνη: το απ' ευθείας διαδιδόμενο και το ανακλώμενο στο άκρο του κοχλία. Για το λόγο αυτό η συχνότητα των 4000 Hz είναι αυτή στην οποία γίνονται οι μετρήσεις, της μόνιμης απώλειας ακοής.



3.10: Μόνιμη απώλεια ακοής συναρτήσει του χρόνου έκθεσης, για ήχο 4000Hz (α) και για όλους τους ήχους συναρτήσει της συχνότητας(β)

Το παραπάνω σχήμα δείχνει τη μόνιμη απώλεια ακοής που έχουν εργαζόμενοι σε θόρυβο μεγάλης διάρκειας για συχνότητα 4000 Hz συναρτήσει του χρόνου έκθεσης σε χρόνια, με παράμετρο τη στάθμη του ήχου. Ως χρόνος έκθεσης θεωρούνται τα χρόνια εργασίας για οκτάωρη έκθεση καθημερινά και για εβδομάδα 5 ημερών.

iii) Εμβοές:

Οι εμβοές είναι μία αίσθηση κουδουνίσματος, σφυρίγματος ή βουίσματος στα αυτιά. Μελέτες έχουν καταδείξει ότι ιστορικό έκθεσης σε θόρυβο σχεδόν διπλασιάζει τον κίνδυνο πρόκλησης εμβοών. Το ποσοστό εμφάνισης εμβοών στους εκτιθέμενους σε υψηλά επίπεδα θορύβου για πάνω από 10 έτη, φθάνει έως και το 54%. Εάν ο θόρυβος είναι παλμικός, η συχνότητα εμφάνισης συνεχών εμβοών σε εργαζόμενους μπορεί να φθάσει το 70 %.

iv) Ακουστικός κλονισμός:

Σε τηλεφωνικά κέντρα και άλλους χώρους εργασίας, οι εργαζόμενοι μπορεί να εκτίθενται σε ακουστικό κλονισμό. Ως ακουστικός κλονισμός ορίζεται η απότομη αύξηση θορύβου υψηλής συχνότητας που μεταδίδεται μέσω του ακουστικού. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να προκληθεί από παρεμβολές στην τηλεφωνική γραμμή. Έκθεση σε κλονισμούς αυτού του τύπου μπορεί να προκαλέσει πόνο και βλάβες στο αυτί, και να συμβάλει, επίσης, στην πρόκληση άγχους στην εργασία.

3.3.2 Άγχος στην εργασία:

Οι δυνατοί και ξαφνικοί θόρυβοι προκαλούν αντιδράσεις «μάχης ή φυγής», συμβάλλοντας στην έκκριση αδρεναλίνης και κορτιζόλης. Αυτές οι δύο ορμόνες αυξάνουν τον καρδιακό ρυθμό, την πίεση του αίματος και τον μεταβολισμό, προξενώντας συμπτώματα άγχους. Σύμφωνα με μελέτες, ένας στους τέσσερις εργαζόμενους στην Ευρωπαϊκή Ένωση υποφέρει από άγχος στην εργασία.

Το άγχος στην εργασία συνήθως προκαλείται από αρκετούς παράγοντες κινδύνου, ένας από τους οποίους μπορεί να είναι ο θόρυβος. Δεν χρειάζεται να είναι δυνατός ο θόρυβος προκειμένου να προκαλέσει άγχος. Ένας χαμηλός, επίμονος βόμβος, για παράδειγμα, είναι σε ορισμένες περιπτώσεις υπεραρκετός.

Το πώς επηρεάζει ο θόρυβος τα επίπεδα άγχους των εργαζομένων εξαρτάται από έναν πολύπλοκο συνδυασμό παραγόντων, όπως:

- η φύση του θορύβου, δηλαδή η ακουστική έντασή του, η περιεκτικότητά του σε τόνους (διακριτές συχνότητες) και η προβλεψιμότητά του,
- η πολυπλοκότητα της εργασίας που εκτελεί ο εργαζόμενος,
- το προσωπικό όριο άγχους για κάθε εργαζόμενο και η φυσική του κατάσταση, λαμβανομένου υπόψη του κατά πόσον είναι κουρασμένος ή όχι.

3.3.3 Αυξημένου κινδύνου ατυχήματα στους χώρους εργασίας:

Ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει ατυχήματα όταν είναι ιδιαίτερα υψηλής στάθμης, τέτοιας ώστε να παρεμποδίζει την επικοινωνία. Κάθε χρόνο συμβαίνουν περισσότερα από 7,5 εκατομμύρια ατυχήματα κατά την εργασία στην Ευρώπη. Αν και είναι δύσκολο να προσδιορισθεί ποσοτικά ο ρόλος του θορύβου σε αυτά τα ατυχήματα, η λογική καθώς και αδημοσίευτα στοιχεία υποδεικνύουν ότι ο ρόλος αυτός μπορεί να είναι σημαντικός. Ο θόρυβος μπορεί να οδηγήσει σε ατυχήματα ως εξής:

- παρεμποδίζοντας την προφορική επικοινωνία μεταξύ εργαζομένων,
- επικαλύπτοντας τον ήχο του επικείμενου κινδύνου ή των προειδοποιητικών σημάτων,
- αποσπώντας την προσοχή εργαζομένων, όπως των οδηγών,
- αυξάνοντας το άγχος στην εργασία.

3.3.4 Διαφορές μεταξύ των δύο φύλων:

- Οι άνδρες διατρέχουν τριπλάσιο κίνδυνο σε σχέση με τις γυναίκες, να αντιμετωπίσουν προβλήματα ακοής που συνδέονται με την εργασία. Αυτή η απόκλιση αντικατοπτρίζει την παραδοσιακή υπερεκπροσώπηση των ανδρών σε πιο θορυβώδεις κλάδους της βαριάς βιομηχανίας.
- Στους γυναικοκρατούμενους κλάδους της βιομηχανίας όπου τα επίπεδα θορύβου τείνουν να είναι υψηλά περιλαμβάνονται οι τομείς παραγωγής τροφίμων και ποτών, η κλωστοϋφαντουργία και η βιομηχανία της ψυχαγωγίας, συμπεριλαμβανομένων των μπαρ και των κέντρων διασκέδασης. Παρατηρείται επίσης η τάση να υπερεκπροσωπούνται οι γυναίκες σε τηλεφωνικά κέντρα, όπου το πρόβλημα του «ακουστικού κλονισμού» (βλέπε ανωτέρω) γίνεται ολοένα εντονότερο.
- Στη Γαλλία υπερδιπλάσιο ποσοστό γυναικών σε σχέση με τους άνδρες εκτίθεται σε ήχους πολύ μεγάλης έντασης στους κλάδους της εκπαίδευσης, της υγείας και της κοινωνικής εργασίας.

3.5 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

ΟΔΗΓΙΑ 2003/10/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ
της 6ης Φεβρουαρίου 2003
περί των ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας για την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους
προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος)
(17η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ)

ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ,

Έχοντας υπόψη:

τη συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, και ιδίως το άρθρο 137 παράγραφος 2,

την πρόταση της Επιτροπής, που υποβλήθηκε μετά από διαβουλεύσεις με τη συμβουλευτική επιτροπή για την ασφάλεια, την υγιεινή και την προστασία της υγείας στο χώρο εργασίας,

τη γνώμη της Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής,

Αφού ζητήθηκε η γνώμη της Επιτροπής των Περιφερειών,

Αποφασίζοντας σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 251 της συνθήκης υπό το φως του κοινού σχεδίου που εγκρίθηκε από την επιτροπή συνδιαλλαγής στις 8 Νοεμβρίου 2002,

Εκτιμώντας τα ακόλουθα:

(1) Σύμφωνα με τη συνθήκη, το Συμβούλιο μπορεί να θεσπίζει, με οδηγίες, ελάχιστες προδιαγραφές για την προώθηση βελτιώσεων, ιδίως στο χώρο εργασίας, που διασφαλίζουν καλύτερο επίπεδο προστασίας της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων. Η επιβολή, με τις οδηγίες αυτές, διοικητικών, οικονομικών και νομικών εξαναγκασμών που ενδέχεται να εμποδίσουν τη δημιουργία και την ανάπτυξη των μικρομεσαίων επιχειρήσεων, πρέπει να αποφεύγεται.

(2) Μολονότι σύμφωνα με τη συνθήκη η παρούσα οδηγία δεν εμποδίζει τα κράτη μέλη να διατηρήσουν ή να εισάγουν πιο αυστηρά προστατευτικά μέτρα, η εφαρμογή της δεν θα πρέπει να δικαιολογήσει υποχώρηση εν σχέσει προς την κατάσταση που υφίσταται ήδη στα κράτη μέλη.

(3) Η οδηγία 86/188/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 12ης Μαΐου 1986, σχετικά με την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία προβλέπει ότι Συμβούλιο επανεξετάζει την οδηγία, μετά από πρόταση της Επιτροπής, λαμβάνοντας υπόψη ιδίως την πρόοδο των επιστημονικών γνώσεων και της τεχνολογίας, με σκοπό τη μείωση των σχετικών κινδύνων.

(4) Στην ανακοίνωση της Επιτροπής σχετικά με το πρόγραμμα της ασφάλειας, της υγιεινής και της υγείας στο χώρο εργασίας προβλέπεται η θέσπιση μέτρων σχετικά με την ενίσχυση της ασφάλειας στο χώρο εργασίας, με στόχο την επέκταση του πεδίου εφαρμογής της οδηγίας 86/188/ΕΟΚ, καθώς και την επανεξέταση των τιμών κατωφλίου. Το Συμβούλιο, στο ψήφισμά του της 21ης Δεκεμβρίου 1987 σχετικά με την ασφάλεια, την υγιεινή και την υγεία στο χώρο εργασίας έλαβε υπόψη την εν λόγω ανακοίνωση.

(5) Η ανακοίνωση της Επιτροπής για το πρόγραμμα δράσης της σχετικά με την εφαρμογή του κοινοτικού χάρτη των θεμελιωδών κοινωνικών δικαιωμάτων των εργαζομένων προβλέπει τη θέσπιση ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας για την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους οφειλόμενους σε φυσικούς παράγοντες. Τον Σεπτέμβριο του 1990, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εξέδωσε ψήφισμα σχετικά με αυτό το πρόγραμμα δράσης με το οποίο καλεί την Επιτροπή να καταρτίσει ειδική οδηγία για τον τομέα των κινδύνων που συνδέονται με το θόρυβο και τους κραδασμούς, καθώς και με κάθε άλλο φυσικό παράγοντα στο χώρο εργασίας.

(6) Ως πρώτο βήμα, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο εξέδωσαν στις 25 Ιουνίου 2002 την οδηγία 2002/44/ΕΚ περί των ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφαλείας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (κραδασμοί) (16η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ).

(7) Ως δεύτερο βήμα, κρίνεται σκόπιμο να θεσπιστούν μέτρα για την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που οφείλονται στο θόρυβο λόγω των συνεπειών του στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, ιδίως από τους κινδύνους για την ακοή. Τα μέτρα αυτά δεν αποβλέπουν μόνο στη διασφάλιση της υγείας και της ασφάλειας κάθε εργαζόμενου ξεχωριστά αλλά και στη δημιουργία, για όλους τους εργαζόμενους της Κοινότητας, ενός ελάχιστου επιπέδου προστασίας, προκειμένου να εμποδίζονται ενδεχόμενες στρεβλώσεις του ανταγωνισμού.

(8) Οι υπάρχουσες επιστημονικές γνώσεις σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία και στην ασφάλεια από την έκθεση στο θόρυβο δεν επιτρέπουν τον ακριβή καθορισμό επιπέδων έκθεσης που να καλύπτουν όλους τους κινδύνους για την υγεία και την ασφάλεια, ιδίως όσον αφορά τις επιπτώσεις του θορύβου που δεν συνδέονται με απώλεια της ακοής.

(9) Ένα σύστημα προστασίας κατά του θορύβου πρέπει να περιορίζεται στον ορισμό, χωρίς περιττές λεπτομέρειες, των επιδιωκόμενων στόχων, των τηρητέων αρχών και των βασικών μεγεθών που πρέπει να χρησιμοποιούνται ώστε να μπορούν τα κράτη μέλη να εφαρμόζουν τις ελάχιστες προδιαγραφές με ισοδύναμο τρόπο.

(10) Η μείωση της έκθεσης στο θόρυβο μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικότερα με την εφαρμογή προληπτικών μέτρων ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού των θέσεων και χώρων εργασίας καθώς και με την επιλογή εξοπλισμού, διαδικασιών και μεθόδων εργασίας, δια των οποίων θα μειώνονται οι κίνδυνοι κατά προτεραιότητα στην πηγή. Οι διατάξεις που αφορούν τον εξοπλισμό και τις μεθόδους εργασίας συμβάλλουν, ως εκ τούτου, στην προστασία των οικείων εργαζομένων. Σύμφωνα με τις γενικές αρχές πρόληψης, όπως καθορίζονται στο άρθρο 6 παράγραφος 2 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 12ης Ιουνίου 1989, σχετικά με την εφαρμογή μέτρων για την πρόωση της βελτίωσης της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία (1), συλλογικά μέτρα προστασίας προέχουν των ατομικών μέτρων προστασίας.

(11) Ο κώδικας περί επιπέδων θορύβου επί των σκαφών, του ψηφίσματος Α 468 παράγραφος 12 του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού, παρέχει καθοδήγηση για επίτευξη μείωσης του θορύβου στην πηγή επί των σκαφών. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να δύνανται να θέσουν μεταβατική περίοδο όσον αφορά το προσωπικό των ποντοπόρων πλοίων.

(12) Για την ορθή εκτίμηση της έκθεσης εργαζομένων σε θόρυβο είναι χρήσιμη η εφαρμογή αντικειμενικής μεθόδου μέτρησης. Ως εκ τούτου γίνονται παραπομπές στο γενικό αναγνωρισμένο πρότυπο ISO 1999:1990. Οι εκτιμηθείσες ή αντικειμενικές μετρηθείσες τιμές πρέπει να είναι αποφασιστικές για την ανάληψη των δράσεων που προβλέπονται στις κατώτερες και ανώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης. Οριακές τιμές έκθεσης απαιτούνται για την πρόληψη ανεπανόρθωτων βλαβών ακοής των εργαζομένων. Ο θόρυβος που φθάνει στο αντί πρέπει να είναι χαμηλότερος από τις οριακές τιμές έκθεσης.

(13) Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των τομέων της μουσικής και της ψυχαγωγίας απαιτούν πρακτική καθοδήγηση ικανή να εξασφαλίζει αποτελεσματική εφαρμογή των διατάξεων που ορίζονται στην παρούσα οδηγία. Τα κράτη μέλη θα πρέπει να δικαιούνται να κάνουν χρήση μεταβατικής περιόδου για την ανάπτυξη κώδικα συμπεριφοράς με πρακτικές κατευθυντήριες γραμμές που θα βοηθήσει τους εργαζόμενους εργοδότες στους εν λόγω τομείς να επιτύχουν τα επίπεδα προστασίας που ορίζονται στην παρούσα οδηγία.

(14) Οι εργοδότες θα πρέπει να προσαρμόζονται στην τεχνική πρόοδο και στις επιστημονικές γνώσεις που αφορούν το θέμα των κινδύνων που συνδέονται με την έκθεση στο θόρυβο, με σκοπό τη βελτίωση της προστασίας της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων.

(15) Επειδή η παρούσα οδηγία είναι ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, η προαναφερόμενη οδηγία εφαρμόζεται στην έκθεση των εργαζομένων στο θόρυβο με την επιφύλαξη των αυστηρότερων ή/και ειδικότερων διατάξεων που περιέχονται στην παρούσα οδηγία.

(16) Η παρούσα οδηγία αποτελεί συγκεκριμένο βήμα προς επίτευξη της κοινωνικής διάστασης της εσωτερικής αγοράς.

(17) Τα μέτρα που απαιτούνται για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας θεσπίζονται σύμφωνα με την απόφαση 1999/468/ΕΚ του Συμβουλίου, της 28ης Ιουνίου 1999, για τον καθορισμό των όρων άσκησης των εκτελεστικών αρμοδιοτήτων που ανατίθενται στην Επιτροπή

ΕΞΕΛΩΣΑΝ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΟΔΗΓΙΑ:

ΤΜΗΜΑ Ι

ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Άρθρο 1

Σκοπός και πεδίο εφαρμογής

1. Η παρούσα οδηγία, η οποία αποτελεί τη 17η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, καθορίζει τις ελάχιστες προδιαγραφές όσον αφορά την προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους για την ασφάλεια και την υγεία τους, που προκύπτουν ή ενδέχεται να προκύψουν λόγω της έκθεσης στο θόρυβο, και συγκεκριμένα από τους κινδύνους για την ακοή.
2. Οι προδιαγραφές της παρούσας οδηγίας εφαρμόζονται σε δραστηριότητες κατά τις οποίες οι εργαζόμενοι εκτίθενται ή ενδέχεται να εκτεθούν σε κινδύνους από θόρυβο ως αποτέλεσμα της εργασίας τους.
3. Η οδηγία 89/391/ΕΟΚ εφαρμόζεται πλήρως στο σύνολο του αναφερόμενου στην παράγραφο 1 τομέα, με την επιφύλαξη αυστηρότερων ή/και ειδικών διατάξεων της παρούσας οδηγίας.

Άρθρο 2

Ορισμοί

Για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, οι φυσικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται ως δείκτες προβλέψιμων κινδύνων ορίζονται ως εξής:

- α) αιχμή της ηχητικής πίεσης (P_{peak}): μέγιστη τιμή της στιγμιαίας «C» σταθμισμένης κατά τη συχνότητα θορύβου πίεσης·
- β) ημερήσιο επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο ($L_{EX,8h}$) [dB(A) re. 20 μ Pa]: χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος των επιπέδων έκθεσης στο θόρυβο για ονομαστική εργάσιμη ημέρα οκτώ ωρών όπως καθορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990, σημείο 3.6. Καλύπτει όλους τους θορύβους που υπάρχουν στην εργασία, περιλαμβανομένων των παλμικών·
- γ) εβδομαδιαίο επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο ($L_{EX,8h}$): χρονικά σταθμισμένος μέσος όρος των ημερήσιων επιπέδων έκθεσης για ονομαστική εβδομάδα πέντε οκτάωρων εργασιμων ημερών όπως καθορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990, σημείο 3.6 (υποσημείωση 2).

Άρθρο 3

Οριακές τιμές έκθεσης και τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης

1. Για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, οι οριακές τιμές έκθεσης και οι τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης, όσον αφορά τα ημερήσια επίπεδα έκθεσης στο θόρυβο και τις αιχμές ηχητικής πίεσης καθορίζονται ως εξής:

α) οριακές τιμές έκθεσης: $L_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)}$ και $P_{\text{peak}} = 200 \text{ Pa}$ αντιστοίχως·

β) ανώτερες τιμές για ανάληψη δράσης: $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ και $P_{\text{peak}} = 140 \text{ Pa}$ αντιστοίχως·

γ) κατώτερες τιμές για ανάληψη δράσης: $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$ και $P_{\text{peak}} = 112 \text{ Pa}$ αντιστοίχως.

2. Κατά την εφαρμογή των οριακών τιμών έκθεσης, ο καθορισμός της πραγματικής έκθεσης του εργαζομένου συνυπολογίζει τη μείωση που παρέχεται από τα ατομικά μέσα προστασίας της ακοής που φέρει ο εργαζόμενος. Στις τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης η επίπτωση αυτών των μέσων προστασίας δεν συνυπολογίζεται.

3. Υπό δεόντως αιτιολογημένες συνθήκες, για δραστηριότητες όπου η ημερήσια έκθεση στο θόρυβο ποικίλλει αισθητά ανά ημέρα εργασίας, τα κράτη μέλη μπορούν, προς εφαρμογή των οριακών τιμών έκθεσης και των τιμών έκθεσης για ανάληψη δράσης, να χρησιμοποιούν το επίπεδο εβδομαδιαίας έκθεσης αντί του επιπέδου ημερήσιας έκθεσης στο θόρυβο για να υπολογίσουν τα επίπεδα θορύβου στα οποία εκτίθενται οι εργαζόμενοι, εφόσον:

α) το επίπεδο εβδομαδιαίας έκθεσης στο θόρυβο, όπως διαπιστώνεται με τη δέουσα παρακολούθηση, δεν υπερβαίνει την οριακή τιμή έκθεσης των 87 dB(A) και

β) λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που συνδέονται με τις δραστηριότητες αυτές.

ΤΜΗΜΑ II

ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΡΓΟΛΟΤΩΝ

Άρθρο 4

Προσδιορισμός και εκτίμηση των κινδύνων

1. Ο εργοδότης, ανταποκρινόμενος στις υποχρεώσεις που καθορίζονται στο άρθρα 6, παράγραφος και στο άρθρο 9 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, εκτιμά και, εάν είναι απαραίτητο, μετρά τα επίπεδα του θορύβου στον οποίο εκτίθενται οι εργαζόμενοι.

2. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και συσκευές πρέπει να προσαρμόζονται στις επικρατούσες συνθήκες, ιδίως ενόψει των χαρακτηριστικών του μετρούμενου θορύβου, της διάρκειας της έκθεσης και των χαρακτηριστικών της συσκευής μέτρησης.

Οι εν λόγω μέθοδοι και συσκευές πρέπει να επιτρέπουν τον καθορισμό των παραμέτρων που ορίζονται στο άρθρο 2 και τη διαπίστωση ότι, στη δεδομένη περίπτωση, έχει σημειωθεί υπέρβαση των τιμών του άρθρου 3.

3. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι μπορούν να περιλαμβάνουν δειγματοληψία αντιπροσωπευτική της ατομικής έκθεσης του εργαζομένου.

4. Η εκτίμηση και μέτρηση που αναφέρονται στην παράγραφο σχεδιάζονται και εκτελούνται από τις αρμόδιες υπηρεσίες ανά κατάλληλα χρονικά διαστήματα, λαμβάνοντας ιδίως υπόψη τις διατάξεις του άρθρου 7 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ τις σχετικές με τις αρμόδιες υπηρεσίες ή άτομα. Τα στοιχεία που προκύπτουν από την εκτίμηση ή/και τη μέτρηση του επιπέδου έκθεσης στο θόρυβο φυλάσσονται υπό κατάλληλη μορφή ώστε να είναι δυνατό να τα συμβουλευθεί κανείς αργότερα.

5. Κατά την εφαρμογή του παρόντος άρθρου, στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων της μέτρησης λαμβάνονται υπόψη τα σφάλματα των μετρήσεων, προσδιοριζόμενα με τη μετρολογική πρακτική.

6. Σύμφωνα με το άρθρο 6 παράγραφος της οδηγίας 89/ 391/ΕΟΚ, εργοδότης αποδίδει ιδιαίτερη προσοχή, κατά την εκτίμηση των κινδύνων, στα ακόλουθα:

- α) στο επίπεδο, τον τύπο και τη διάρκεια της έκθεσης, συμπεριλαμβανομένης κάθε έκθεσης σε θόρυβο παλμικού χαρακτήρα
- β) στις οριακές τιμές έκθεσης και στις τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης κατ' άρθρο της παρούσας οδηγίας
- γ) σε οποιεσδήποτε επιπτώσεις αφορούν την υγεία και την ασφάλεια εργαζομένων οι οποίοι ανήκουν σε ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες κινδύνου
- δ) εφόσον είναι τεχνικά εφικτό, σε οποιεσδήποτε επιπτώσεις στην υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων, οι οποίες προκύπτουν από τις αλληλεπιδράσεις θορύβου και σχετικών με την εργασία οπτοακουστικών ουσιών και μεταξύ θορύβου και κραδασμών
- ε) σε οποιεσδήποτε έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, οι οποίες προκύπτουν από αλληλεπιδράσεις μεταξύ θορύβου και προειδοποιητικών σημάτων άλλων ήχων οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι ατυχημάτων
- στ) στις πληροφορίες για τον εκπεμπόμενο θόρυβο τις οποίες παρέχουν οι κατασκευαστές εξοπλισμού εργασίας βάσει των συναφών κοινοτικών οδηγιών
- ζ) στην ύπαρξη εναλλακτικών εξοπλισμών που μειώνουν την εκπομπή θορύβου
- η) στην επέκταση της έκθεσης στο θόρυβο και πέραν του ωραρίου εργασίας με ευθύνη του εργοδότη
- θ) σε κατάλληλες πληροφορίες που συγκεντρώνονται κατά την επίβλεψη της υγείας. Στις πληροφορίες αυτές περιλαμβάνονται ει δυνατόν και οι σχετικές δημοσιεύσεις·
- ι) στη διαθεσιμότητα εξοπλισμού προστασίας της ακοής με επαρκή χαρακτηριστικά εξασθένησης.

7. Ο εργοδότης πρέπει να έχει στη διάθεσή του μια εκτίμηση των κινδύνων σύμφωνα με το άρθρο 9 παράγραφος στοιχείο α) της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, και να επισημαίνει τα μέτρα που έχουν ληφθεί σύμφωνα με τα άρθρα 5, 6, 7 και 8 της παρούσας οδηγίας. Η εκτίμηση των κινδύνων πρέπει να καταγράφεται επί καταλλήλου μέσου, σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία και πρακτική, εκτίμηση των κινδύνων ενημερώνεται τακτικά, ιδίως εάν έχουν επέλθει σημαντικές μεταβολές που μπορεί να την καθιστούν ξεπερασμένη, ή όταν το επιβάλλουν τα αποτελέσματα της επίβλεψης της υγείας.

Άρθρο 5

Μέτρα αποφυγής μείωσης της έκθεσης

1. Λαμβάνοντας υπόψη την τεχνική πρόοδο και τα διαθέσιμα μέτρα ελέγχου του κινδύνου στην πηγή, οι κίνδυνοι που προκύπτουν από την έκθεση στο θόρυβο πρέπει να εξαλείφονται στην πηγή προέλευσής τους να περιορίζονται στο ελάχιστο.

Η μείωση αυτών των κινδύνων γίνεται βάσει των γενικών αρχών πρόληψης που καθορίζονται στο άρθρο 6 παράγραφος 2 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, και συνοπολογίζοντας συγκεκριμένα τα ακόλουθα:

- α) άλλες μέθοδοι εργασίας που συνεπάγονται μικρότερη έκθεση στο θόρυβο

β) επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη το αντικείμενο της εργασίας, ο οποίος εκπέμπει τον ελάχιστο δυνατό θόρυβο, καθώς και δυνατότητα να παρέχεται στους εργαζομένους εξοπλισμός εργασίας σύμφωνος με την κοινοτική νομοθεσία, με σκοπό αποτέλεσμα τη μείωση της έκθεσης στο θόρυβο

γ) σχεδιασμός και διαμόρφωση των χώρων και θέσεων εργασίας

δ) επαρκής πληροφόρηση και κατάρτιση για την εκπαίδευση των εργαζομένων όσον αφορά την ορθή χρησιμοποίηση των εξοπλισμών εργασίας για τη μείωση στο ελάχιστο της έκθεσής τους στο θόρυβο

ε) τεχνική μείωση του θορύβου:

i) μείωση του αερόφερτου θορύβου, ήτοι θωρακίσσεις, περιβλήματα, καλύψεις με ηχοαπορροφητικό υλικό

ii) μείωση του στερεόφερτου θορύβου, π.χ. με απόσβεση μόνωση

στ) κατάλληλα προγράμματα συντήρησης του εξοπλισμού εργασίας, του χώρου εργασίας και των συστημάτων στο χώρο εργασίας

ζ) μείωση του θορύβου μέσω οργάνωσης της εργασίας:

i) περιορισμός της διάρκειας και της έντασης της έκθεσης

ii) κατάλληλο πρόγραμμα εργασίας με επαρκείς περιόδους ανάπαυσης.

2. Βάσει της εκτίμησης των κινδύνων που προβλέπει το άρθρο 4, εάν έκθεση υπερβεί τις ανώτερες τιμές για ανάληψη δράσης, εργοδότης καταρτίζει και εφαρμόζει πρόγραμμα το οποίο συνίσταται σε τεχνικά ή/και οργανωτικά μέτρα, με σκοπό τη μείωση της έκθεσης στο θόρυβο, λαμβάνοντας υπόψη ιδίως τα μέτρα που προβλέπονται στην παράγραφο 1.

3. Βάσει της εκτίμησης των κινδύνων που προβλέπει το άρθρο 4, οι θέσεις εργασίας στις οποίες οι εργαζόμενοι ενδέχεται να εκτεθούν σε επίπεδα θορύβου που υπερβαίνουν τις ανώτερες τιμές για ανάληψη δράσης, επισημαίνονται με κατάλληλη σήμανση. Τα όρια των χώρων αυτών καθορίζονται και πρόσβαση σε αυτούς περιορίζεται όταν αυτό είναι τεχνικά εφικτό και δικαιολογείται από τον κίνδυνο έκθεσης.

4. Στις περιπτώσεις που, λόγω της φύσης της δραστηριότητας, οι εργαζόμενοι διαθέτουν χώρους ανάπαυσης υπό την ευθύνη του εργοδότη, θόρυβος στους χώρους αυτούς μειώνεται σε επίπεδο συμβατό με τον προορισμό και τις συνθήκες χρήσης τους.

5. Βάσει του άρθρου 15 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, εργοδότης προσαρμόζει τα μέτρα τα αναφερόμενα στο παρόν άρθρο προς τις απαιτήσεις των εργαζομένων οι οποίοι ανήκουν σε ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες κινδύνου.

Άρθρο 6

Ατομική προστασία

1. Εάν οι κίνδυνοι που προέρχονται από την έκθεση στο θόρυβο δεν είναι δυνατόν να προληφθούν με άλλα μέσα, τίθενται στη διάθεση των εργαζομένων και χρησιμοποιούνται από αυτούς κατάλληλα και δεόντως τοποθετημένα ατομικά μέσα προστασίας της ακοής σύμφωνα με τις διατάξεις της οδηγίας 89/656/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 30ής Νοεμβρίου 1989, σχετικά με τις ελάχιστες προδιαγραφές ασφαλείας και υγείας για τη χρήση από τους εργαζομένους εξοπλισμών ατομικής προστασίας κατά την εργασία (τρίτη ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ)() και του άρθρου 13 παράγραφος της οδηγίας 89/391/ΕΚ, υπό τους ακόλουθους όρους:

α) όταν έκθεση στο θόρυβο υπερβαίνει τις κατώτερες τιμές για ανάληψη δράσης, εργοδότης θέτει στη διάθεση των εργαζομένων ατομικά μέσα προστασίας της ακοής

β) όταν έκθεση στο θόρυβο φτάνει υπερβαίνει τις ανώτερες τιμές για ανάληψη δράσης, χρήση ατομικών μέσων προστασίας της ακοής είναι υποχρεωτική

γ) τα ατομικά μέσα προστασίας της ακοής επιλέγονται κατά τρόπον ώστε να αποσοβείται να ελαχιστοποιείται κίνδυνος για την ακοή.

2. εργοδότης καταβάλλει κάθε προσπάθεια που εξασφαλίζει τη χρήση των μέσων προστασίας της ακοής και είναι υπεύθυνος για την εξακρίβωση της αποτελεσματικότητας των μέτρων που λαμβάνονται σύμφωνα με το παρόν άρθρο.

Άρθρο 7

Περιορισμός της έκθεσης

1. Ουδέποτε έκθεση του εργαζομένου, όπως καθορίζεται σύμφωνα με το άρθρο παράγραφος 2, πρέπει να υπερβαίνει τις οριακές τιμές έκθεσης.

2. Εάν, παρά τα μέτρα που λαμβάνονται για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας, σημειώνονται εκθέσεις άνω των οριακών τιμών έκθεσης, ο εργοδότης οφείλει:

α) να αναλάβει αμέσως δράση για να μειώσει την έκθεση κάτω των οριακών τιμών έκθεσης·

β) να εντοπίσει τους λόγους που προκάλεσαν την υπέρβαση και

γ) να τροποποιήσει τα μέτρα προστασίας και πρόληψης προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν επανάληψη

Άρθρο 8

Με την επιφύλαξη των άρθρων 10 και 12 της οδηγίας 89/391/ ΕΟΚ, εργοδότης διασφαλίζει ότι στους εργαζόμενους οι οποίοι εκτίθενται κατά την εργασία σε θόρυβο που φθάνει ή υπερβαίνει τις κατώτερες τιμές για ανάληψη δράσης, ή/και στους εκπροσώπους τους, παρέχεται ενημέρωση και εκπαίδευση σχετικά με τους κινδύνους αυτούς, ιδίως σχετικά με:

α) τη φύση των κινδύνων αυτών

β) τα μέτρα που λαμβάνονται κατ' εφαρμογή της παρούσας οδηγίας για την εξάλειψη την ελαχιστοποίηση των κινδύνων που προκύπτουν από το θόρυβο, συμπεριλαμβανομένων των περιστάσεων στις οποίες εφαρμόζονται τα μέτρα αυτά

γ) τις οριακές τιμές έκθεσης και τις τιμές για ανάληψη δράσης που προβλέπει το άρθρο της παρούσας οδηγίας

δ) τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων και των μετρήσεων του θορύβου που πραγματοποιούνται κατ' εφαρμογή του άρθρου 4 της παρούσας οδηγίας, σε συνδυασμό με εξήγηση της σημασίας τους και των δυνητικών κινδύνων

ε) την ορθή χρήση των εξοπλισμών προστασίας της ακοής

στ) τη χρησιμότητα και τις μεθόδους εντοπισμού και επισήμανσης των συμπτωμάτων των ακουστικών βλαβών

- ζ) τις συνθήκες υπό τις οποίες οι εργαζόμενοι έχουν δικαίωμα επίβλεψης της υγείας και το σκοπό αυτής, σύμφωνα με το άρθρο 10 της παρούσας οδηγίας
- η) τις ασφαλείς εργασιακές πρακτικές ελαχιστοποίησης της έκθεσης στο θόρυβο

Άρθρο 9

Διαβουλεύσεις και συμμετοχή των εργαζομένων

Οι διαβουλεύσεις και συμμετοχή των εργαζομένων ή/και των εκπροσώπων τους πραγματοποιούνται σύμφωνα με το άρθρο 11 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ όσον αφορά τα θέματα που καλύπτει παρούσα οδηγία, και ειδικότερα:

- την εκτίμηση των κινδύνων και τον καθορισμό των προς λήψη μέτρων, όπως αναφέρονται στο άρθρο 4,
- τα μέτρα που αποβλέπουν στην αποφυγή στη μείωση των κινδύνων που προκύπτουν από την έκθεση στο θόρυβο, όπως αναφέρονται στο άρθρο 5,
- την επιλογή των ατομικών μέσων προστασίας της ακοής όπως αναφέρονται στο άρθρο 6 παράγραφος 1 στοιχείο γ).

ΤΜΗΜΑ ΙΙΙ

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

A

Άρθρο 10

Επίβλεψη της υγείας

1. Με την επιφύλαξη του άρθρου 14 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ, τα κράτη μέλη θεσπίζουν ρυθμίσεις για την εξασφάλιση της κατάλληλης επίβλεψης της υγείας των εργαζομένων όταν τα αποτελέσματα της εκτίμησης και των μετρήσεων που προβλέπονται στο άρθρο παράγραφος της παρούσας οδηγίας δείχνουν ότι υπάρχει κίνδυνος για την υγεία τους. Οι ρυθμίσεις αυτές, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων για τους ιατρικούς φακέλους και τη δυνατότητα πρόσβασης σ' αυτούς, εισάγονται σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία ή/και πρακτική.
2. Εργαζόμενος, του οποίου έκθεση στο θόρυβο υπερβαίνει τις ανώτερες τιμές για ανάληψη δράσης, έχει δικαίωμα να ελεγχθεί ακουστική του λειτουργία από ιατρό κατάλληλο πρόσωπο που διαθέτει τα απαραίτητα προσόντα, υπό την ευθύνη ιατρού, σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία ή/και πρακτική. Προβλέπεται επίσης προληπτική δοκιμή μέτρησης της ακοής για τους εργαζόμενους των οποίων έκθεση στο θόρυβο υπερβαίνει τις κατώτερες τιμές έκθεσης για ανάληψη δράσης, όταν από την εκτίμηση και μέτρηση που προβλέπεται στο άρθρο παράγραφος προκύπτουν ενδείξεις κινδύνου για την υγεία. Σκοπός των ελέγχων είναι έγκαιρη διάγνωση τυχόν απώλειας της ακοής λόγω του θορύβου και διαφύλαξη της ακουστικής λειτουργίας.
3. Τα κράτη μέλη θεσπίζουν ρυθμίσεις για να διασφαλίζεται ότι για κάθε εργαζόμενο υπό επίβλεψη σύμφωνα με τις παραγράφους και 2, τηρείται και ενημερώνεται ατομικός ιατρικός φάκελος. Οι ιατρικοί φάκελοι

περιλαμβάνουν περίληψη των αποτελεσμάτων της επίβλεψης της υγείας, τηρούνται δε υπό κατάλληλη μορφή έτσι ώστε να είναι δυνατό να τους συμβουλευτεί κανείς αργότερα, χωρίς να θίγεται το ιατρικό απόρρητο.

Αντίγραφα των σχετικών φακέλων παρέχονται στην αρμόδια αρχή εφόσον ζητηθούν. Κάθε εργαζόμενος έχει πρόσβαση, εφόσον το ζητήσει, στον ιατρικό φάκελο που τον αφορά προσωπικά.

4. Όταν, από την επίβλεψη της ακουστικής λειτουργίας διαπιστωθεί ότι ένας εργαζόμενος πάσχει από συγκεκριμένη ακουστική βλάβη, ο ιατρός ή, εφόσον αυτός το θεωρεί απαραίτητο, ειδικός ιατρός, εκτιμά κατά πόσον βλάβη είναι πιθανώς αποτέλεσμα της έκθεσης σε θόρυβο κατά την εργασία. Στην περίπτωση αυτήν:

α) εργαζόμενος ενημερώνεται από τον ιατρό ή άλλο πρόσωπο με τα κατάλληλα προσόντα για το αποτέλεσμα που τον αφορά προσωπικά·

β) εργοδότης:

i) επανεξετάζει την εκτίμηση των κινδύνων οποία πραγματοποιείται σύμφωνα με το άρθρο 4

ii) επανεξετάζει τα μέτρα που προβλέπονται για την εξάλειψη τη μείωση των κινδύνων σύμφωνα με τα άρθρα 5 και 6

iii) λαμβάνει υπόψη τη γνώμη του επαγγελματία επί θεμάτων εργασιακής υγιεινής άλλου προσώπου με τα κατάλληλα προσόντα της αρμόδιας αρχής κατά την εφαρμογή οποιονδήποτε μέτρων απαιτούνται για την εξάλειψη τη μείωση των κινδύνων σύμφωνα με τα άρθρα 5 και 6, συμπεριλαμβανομένης της μετάθεσης του εργαζομένου σε άλλη θέση εργασίας όπου δεν υπάρχει κίνδυνος έκθεσής του και

iv) οργανώνει συστηματική επίβλεψη της υγείας και λαμβάνει μέτρα για την επανεξέταση της κατάστασης της υγείας οποιουδήποτε άλλου εργαζομένου έχει υποστεί παρόμοια έκθεση.

Άρθρο 11

Παρεκκλίσεις

1. Υπό εξαιρετικές συνθήκες, όταν λόγω της φύσης της εργασίας, πλήρης και ορθή χρήση των μέσων ατομικής προστασίας της ακοής μπορεί να προκαλέσει κινδύνους για την υγεία την ασφάλεια μεγαλύτερους από εκείνους που θα προέκυπταν αν δεν χρησιμοποιούνταν, τα κράτη μέλη μπορούν να παραχωρούν παρεκκλίσεις από τις διατάξεις του άρθρου 6 παράγραφος 1 στοιχεία α) και β) και του άρθρου 7.

2. Οι παρεκκλίσεις της παραγράφου παραχωρούνται από τα κράτη μέλη μετά από διαβούλευση με τους εργοδότες και τους εργαζομένους και, όπου κρίνεται κατάλληλο, με τις αρμόδιες ιατρικές αρχές, σύμφωνα, με την εθνική νομοθεσία ή/και πρακτική. Οι παρεκκλίσεις αυτές συνοδεύονται από όρους που εγγυώνται, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές περιστάσεις, ότι οι συνεπαγόμενοι κίνδυνοι περιορίζονται στο ελάχιστο και ότι οι σχετικοί εργαζόμενοι υπόκεινται σε αυξημένη επίβλεψη της υγείας. Οι παρεκκλίσεις αυτές επανεξετάζονται ανά τετραετία και καταργούνται εφόσον εκλείψουν οι προϋποθέσεις που τις υπαγόρευσαν.

3. Ανά τετραετία, τα κράτη μέλη διαβιβάζουν στην Επιτροπή κατάλογο των παρεκκλίσεων που αναφέρονται στην παράγραφο σημειώνοντας τους ακριβείς λόγους και περιστάσεις που τα οδήγησαν στην παραχώρηση των παρεκκλίσεων αυτών.

Άρθρο 12

Τροποποιήσεις τεχνικού χαρακτήρα

Τροποποιήσεις με αυστηρά τεχνικό χαρακτήρα θεσπίζονται με τη διαδικασία κανονιστικής επιτροπής του άρθρου 13 παράγραφος 2, συναρτήσει:

- α) της έκδοσης οδηγιών στο πεδίο της τεχνικής εναρμόνισης και τυποποίησης σχετικά με το σχεδιασμό, την ανέγερση, την παραγωγή την κατασκευή εξοπλισμού ή/και χώρων εργασίας και
- β) της τεχνικής προόδου, της εξέλιξης των καταλληλοτέρων εναρμονισμένων ευρωπαϊκών προτύπων προδιαγραφών και νέων γνώσεων στον τομέα του θορύβου.

Άρθρο 13

Επιτροπή

1. Η Επιτροπή επικουρείται από την επιτροπή που αναφέρεται στο άρθρο 17 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ.
 2. Στην περίπτωση που γίνεται αναφορά στην παρούσα παράγραφο, εφαρμόζονται τα άρθρα και 7 της απόφασης 1999/468/ΕΚ, τηρουμένων των διατάξεων του άρθρου 8 αυτής.
- Η περίοδος που προβλέπεται στο άρθρο παράγραφος της απόφασης 1999/468/ΕΚ ορίζεται σε τρεις μήνες.
3. Η επιτροπή θεσπίζει τον εσωτερικό κανονισμό της.

Άρθρο 14

Κώδικας συμπεριφοράς

Στο πλαίσιο της εφαρμογής της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη καταρτίζουν, κατόπιν διαβουλεύσεων με τους κοινωνικούς εταίρους και σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία και πρακτική, κώδικα συμπεριφοράς με πρακτικές κατευθυντήριες γραμμές που θα βοηθήσει εργαζομένους και εργοδότες στους τομείς της μουσικής και της ψυχαγωγίας να ανταποκριθούν στις νομικές τους υποχρεώσεις όπως αυτές ορίζονται στην παρούσα οδηγία.

Άρθρο 15

Κατάργηση

Η οδηγία 86/188/EOK καταργείται από την ημερομηνία που ορίζεται στο πρώτο εδάφιο του άρθρου 17 παράγραφος 1.

ΤΜΗΜΑ IV

ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Εκθέσεις

Ανά πενταετία, τα κράτη μέλη υποβάλλουν στην Επιτροπή έκθεση σχετικά με την πρακτική εφαρμογή της παρούσας οδηγίας, αναφέροντας τις απόψεις των κοινωνικών εταίρων. Η έκθεση περιέχει περιγραφή της βέλτιστης πρακτικής για την πρόληψη του θορύβου με επιβλαβείς συνέπειες για την υγεία και άλλων μορφών οργάνωσης της εργασίας, όπως επίσης και τις δράσεις που αναλαμβάνουν τα κράτη μέλη για την γνωστοποίηση παρόμοιων βέλτιστων πρακτικών.

Βάσει των εκθέσεων αυτών, Επιτροπή προβαίνει σε συνολική αξιολόγηση της εφαρμογής της οδηγίας, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής με βάση την έρευνα και τα επιστημονικά στοιχεία και λαμβάνοντας συν τοις άλλοις υπόψη τις επιπτώσεις της παρούσας οδηγίας στους τομείς της μουσικής και της ψυχαγωγίας. Επιτροπή ενημερώνει σχετικά το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και τη συμβουλευτική επιτροπή για την ασφάλεια, την υγιεινή και την υγεία στο χώρο εργασίας και, εφόσον κριθεί απαραίτητο, προτείνει τροποποιήσεις.

Άρθρο 16

Εκθέσεις

Ανά πενταετία, τα κράτη μέλη υποβάλλουν στην Επιτροπή έκθεση σχετικά με την πρακτική εφαρμογή της παρούσας οδηγίας, αναφέροντας τις απόψεις των κοινωνικών εταίρων. Η έκθεση περιέχει περιγραφή της βέλτιστης πρακτικής για την πρόληψη του θορύβου με επιβλαβείς συνέπειες για την υγεία και άλλων μορφών οργάνωσης της εργασίας, όπως επίσης και τις δράσεις που αναλαμβάνουν τα κράτη μέλη για την γνωστοποίηση παρόμοιων βέλτιστων πρακτικών.

Βάσει των εκθέσεων αυτών, Επιτροπή προβαίνει σε συνολική αξιολόγηση της εφαρμογής της οδηγίας, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής με βάση την έρευνα και τα επιστημονικά στοιχεία και λαμβάνοντας συν τοις άλλοις υπόψη τις επιπτώσεις της παρούσας οδηγίας στους τομείς της μουσικής και της ψυχαγωγίας. Επιτροπή ενημερώνει σχετικά το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και τη συμβουλευτική επιτροπή για την ασφάλεια, την υγιεινή και την υγεία στο χώρο εργασίας και, εφόσον κριθεί απαραίτητο, προτείνει τροποποιήσεις.

Άρθρο 17

Μεταφορά στην εθνική νομοθεσία

1. Τα κράτη μέλη θέτουν σε ισχύ τις νομοθετικές, κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις που είναι αναγκαίες για να συμμορφωθούν με την παρούσα οδηγία το αργότερο στις 15 Φεβρουαρίου του 2006. Ενημερώνουν αμέσως την Επιτροπή σχετικά.

Όταν τα κράτη μέλη θεσπίζουν τις ανωτέρω διατάξεις, αυτές περιέχουν αναφορά στην παρούσα οδηγία ή συνοδεύονται από παρόμοια αναφορά κατά την επίσημη δημοσίευσή τους. Ο τρόπος της αναφοράς αποφασίζεται από τα κράτη μέλη.

2. Προκειμένου να ληφθούν υπόψη τυχόν ειδικές συνθήκες, τα κράτη μέλη διαθέτουν, εφόσον χρειασθεί, πρόσθετη περίοδο πέντε ετών από τις 15 Φεβρουαρίου του 2006, δηλαδή συνολική προθεσμία οκτώ ετών, για την εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου 7 στο προσωπικό των ποντοπόρων πλοίων.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί κατάρτιση κώδικα συμπεριφοράς με πρακτικές κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή των διατάξεων της παρούσας οδηγίας, τα κράτη μέλη δικαιούνται να κάνουν χρήση μεταβατικής

περιόδου μέγιστης διάρκειας δύο ετών, αρχής γενομένης από τις 15 Φεβρουαρίου του 2006, ήτοι συνολικά πέντε ετών από την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας για τη συμμόρφωση με την παρούσα οδηγία, σε σχέση με τους τομείς της μουσικής και της ψυχαγωγίας υπό τον όρο ότι, όσον αφορά το προσωπικό των εν λόγω τομέων, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου διατηρούνται τα επίπεδα προστασίας που έχουν ήδη επιτευχθεί από μεμονωμένα κράτη μέλη.

3. Τα κράτη μέλη κοινοποιούν στην Επιτροπή το κείμενο των διατάξεων εσωτερικού δικαίου που θεσπίζουν έχουν θεσπίσει στον τομέα που διέπεται από την παρούσα οδηγία.

Άρθρο 18

Έναρξη ισχύος:

Η παρούσα οδηγία αρχίζει να ισχύει από την ημέρα δημοσίευσής της στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Άρθρο 19

Η παρούσα οδηγία απευθύνεται στα κράτη μέλη.

Βρυξέλλες, 6 Φεβρουαρίου 2003.

Για το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
Πρόεδρος
P. COX

Για το Συμβούλιο
Πρόεδρος
Π. ΕΥΘΥΜΙΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Πειραματικό Μέρος (Μετρήσεις).

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

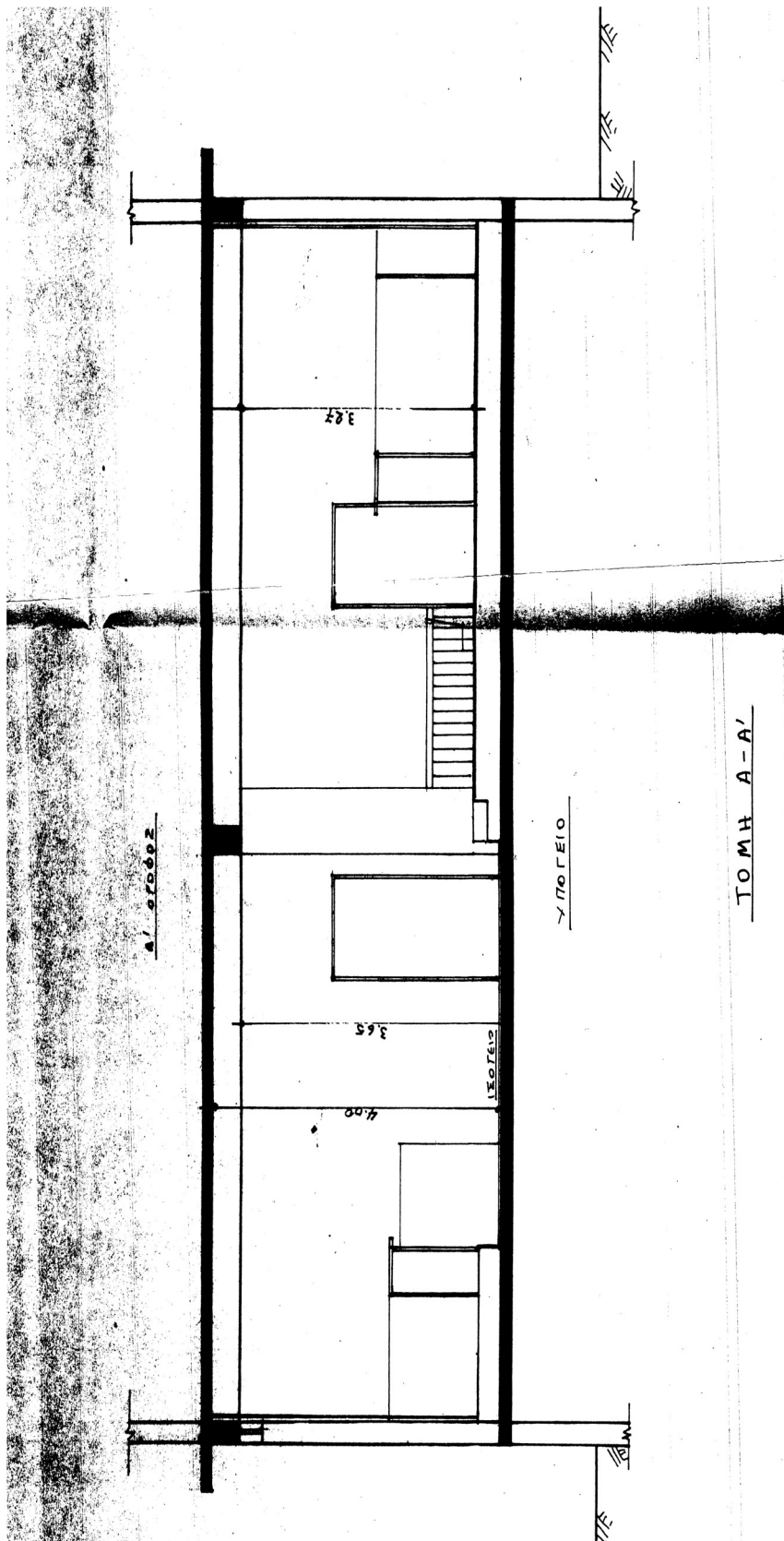
Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η μελέτη και η μέτρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της ηχητικής εγκατάστασης ενός κέντρου διασκέδασης, καθώς και μετρήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την υγιεινή των εργαζομένων στο κέντρο αυτό, σε σχέση με τα προβλεπόμενα από την νομοθεσία. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία των μετρήσεων.

4.2 ΠΕΡΙΓΑΦΗ ΧΩΡΟΥ

Ο χώρος στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις έχει σχήμα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο κατά προσέγγιση, με το bar να βρίσκεται στο κέντρο του χώρου. Το αρχιτεκτονικό σχέδιο του χώρου φαίνεται στα σχήματα 4.1 και 4.2 όπου παρουσιάζεται η κάτοψη και η τομή του αντίστοιχα.

Λόγω του ότι το ύψος του πατώματος είναι διαφορετικό στα άκρα του δωματίου από ότι στο κέντρο που βρίσκεται το bar, για να βρούμε τον όγκο του δωματίου, υπολογίζουμε πρώτα τον όγκο από το πάνω μέρος του πατώματος μέχρι την ψευδοροφή και μετά τον όγκο από το κάτω μέρος του πατώματος έως το πάνω μέρος αυτού. Αθροίζοντας τους δύο επιμέρους όγκους, παίρνουμε τον όγκο του δωματίου. Στην ουσία υπολογίζουμε τον όγκο δυο παραλληλογράμμων, ενός μεγάλου και ενός μικρού και μετά τα αθροίζουμε. Οι διαστάσεις του μεγάλου παραλληλογράμμου, που αντιστοιχείται στον χώρο που καλύπτεται από το πάνω μέρος του πατώματος μέχρι την ψευδοροφή έχουν ως εξής: μήκος $X_1 = 13,83$ m, πλάτος $Y_1 = 11,38$ m και ύψος $Z_1 = 3,27$ m. Ο όγκος του μεγάλου παραλληλογράμμου λοιπόν θα είναι $V_1 = X_1 * Y_1 * Z_1 = 514,65$ m³. Οι διαστάσεις του μικρού παραλληλογράμμου, που αντιστοιχείται στον χώρο που καλύπτεται από το χαμηλότερο, μέχρι το μέρος του πατώματος έχουν ως εξής: μήκος $X_2 = 11,33$ m, πλάτος $Y_2 = 6,76$ m και ύψος $Z_2 = 0,17$ m. Ο όγκος του μικρού παραλληλογράμμου λοιπόν θα είναι $V_2 = X_2 * Y_2 * Z_2 = 13,02$ m³. Έτσι ο συνολικός όγκος του δωματίου θα είναι $V_{ολ} = V_1 + V_2 = 527,67$ m³.

Για να βρούμε την συνολική επιφάνεια του χώρου, υπολογίζουμε πρώτα το εμβαδόν του πατώματος και της οροφής, μετά το εμβαδόν της περιμέτρου των τοίχων και τέλος το εμβαδόν της περιμέτρου του χαμηλότερου πατώματος. Αθροίζοντας τα επιμέρους εμβαδά των επιφανειών παίρνουμε την συνολική επιφάνεια του χώρου S . Το εμβαδόν του πατώματος και της οροφής είναι $E_1 = (X_1 * Y_1) * 2 = 314,77$ m², το εμβαδόν της περιμέτρου των τοίχων είναι



Σχήμα 4.2: Τομή του χώρου.

4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στον χώρο του κέντρου διασκέδασης υπήρχε εγκατεστημένη μια απλή ηλεκτροακουστική εγκατάσταση, την οποία και χρησιμοποιήσαμε για την διεξαγωγή των μετρήσεων. Αυτή αποτελούταν από 4 cd players, έναν μίκτη, 4 ενισχυτές, 12 ηχεία δορυφόρους και 4 sub woofer. Πιο αναλυτικά, ο εξοπλισμός της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης του κέντρου διασκέδασης όπου έγιναν οι μετρήσεις είναι ο εξής:

CD PLAYER:

3 CD player DENON DN-51000
1 CD player PHILIPS CDR 779/00(cd recorder-dual deck)

ΜΙΚΤΗΣ:

1 Μίκτης STANTON RM.404 (4 κανάλια)

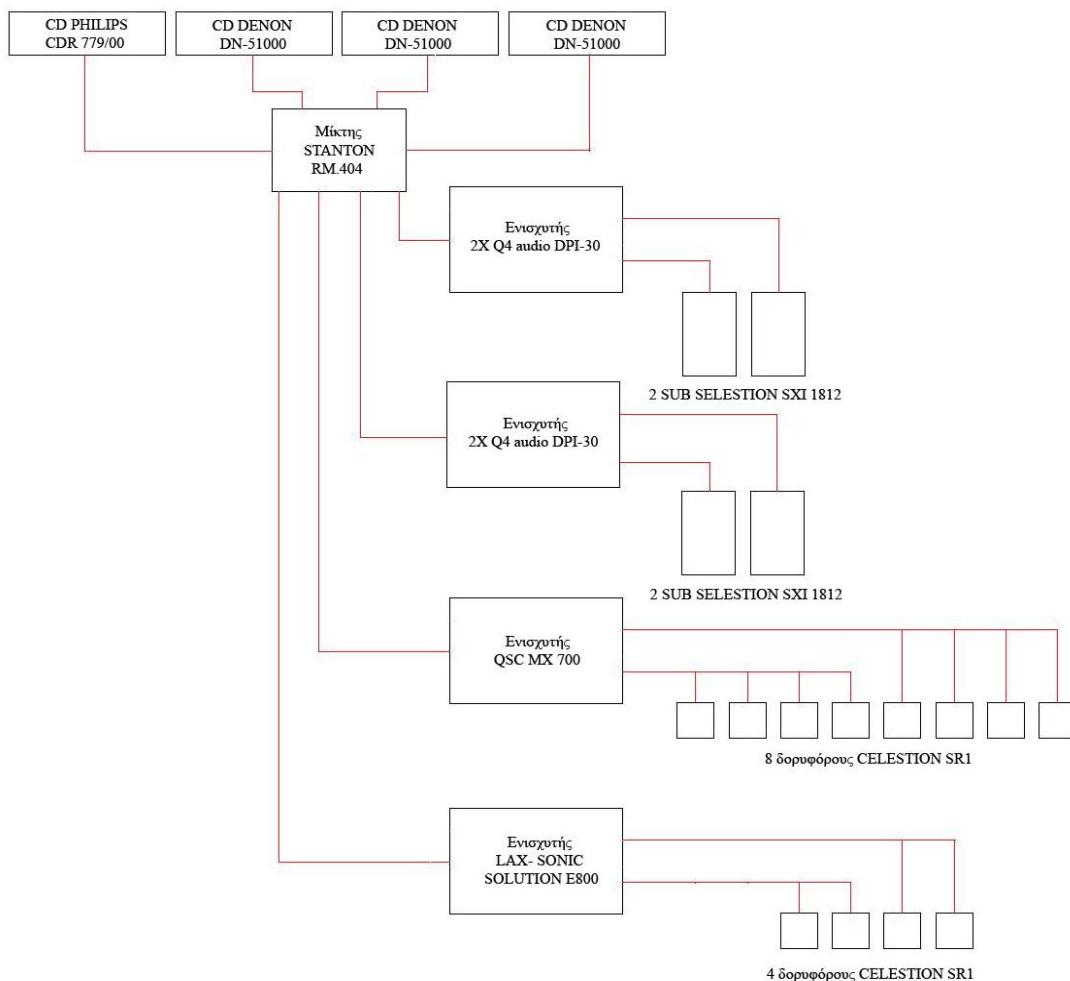
ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ:

2 Ενισχυτές 2X Q4 audio DPI-30
1 Ενισχυτής QSC MX 700
1 Ενισχυτής LAX- SONIC SOLUTION E800

ΗΧΕΙΑ:

12 δορυφόρους CELESTION SR1
4 SUB CELESTION SXi 1812

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το κυβοδιάγραμμα της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης.



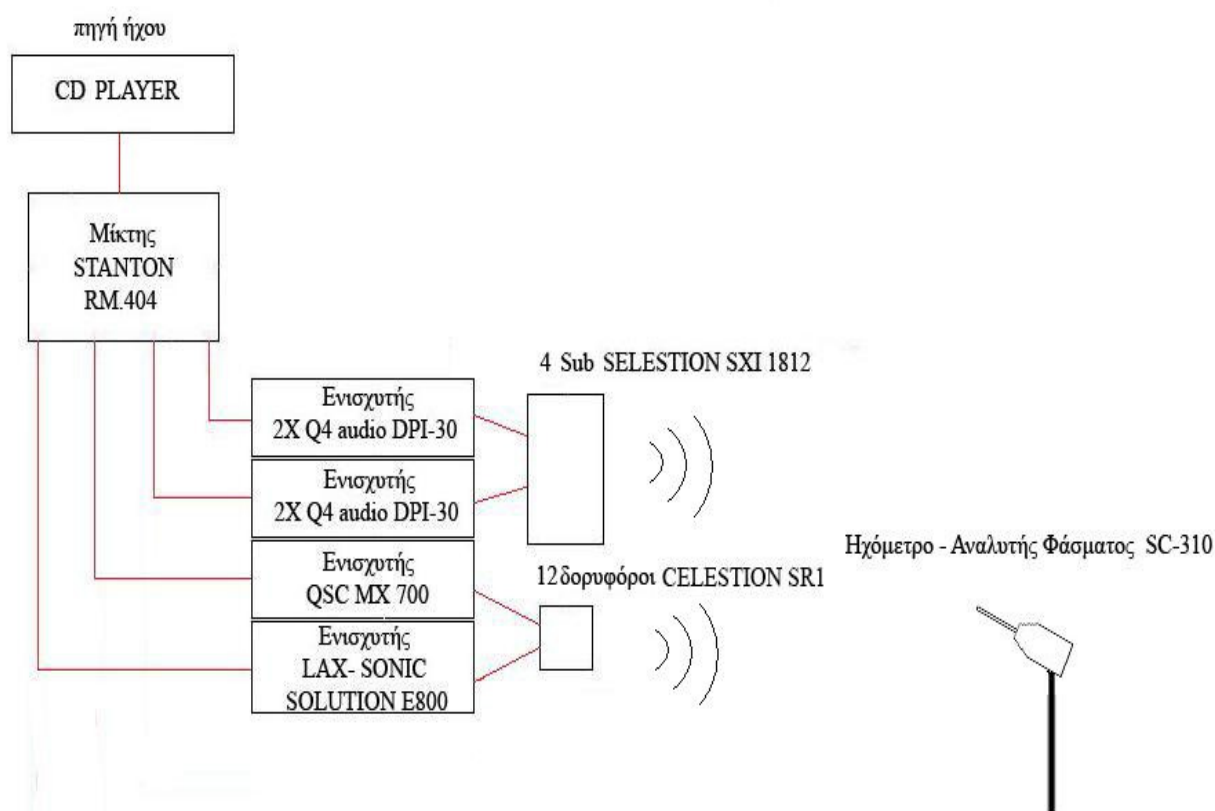
Σχήμα 4.3: Κυβοδιάγραμμα ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης κέντρου διασκέδασης.

Οι εξοδοί line out των τριών cd players DENON DN-51000 και η εξοδος analog out του PHILIPS CDR 779/00 συνδέονται στις εισόδους Line in που έχουν τα κανάλια Channel 1, 2, 3 και 4 του μίκτη STANTON RM.404. Από την έξοδο Master Out του μίκτη το σήμα φεύγει και πηγαίνει στις εισόδους Channel 1 και Channel 2 του ενισχυτή Q4 audio DPI-30 και μέσω της εξόδου Link / Out, το σήμα πηγαίνει ταυτόχρονα στις εισόδους Channel 1 και Channel 2 του δεύτερου ενισχυτή Q4 audio DPI-30. Από την έξοδο Link /Out του δεύτερου ενισχυτή το σήμα πηγαίνει στις εισόδους Channel 1 και Channel 2 του ενισχυτή LAX- SONIC SOLUTION E800 για να πάει πάλι μέσω της εξόδου Link / Out του, στις εισόδους των καναλιών CH 1 και CH 2 του ενισχυτή QSC MX 700.

Οι δυο ενισχυτές Q4 audio DPI-30 ενισχύουν το σήμα που πηγαίνει μέσω των εξόδων CH1 Out και CH2 Out κάθε ενισχυτή, σε τέσσερα Sub Woofer CELESTION SXi 1812. Ο ενισχυτής QSC MX 700 μέσω των εξόδων CH1 out και CH2 out του, τροφοδοτεί οκτώ ηχεία δορυφόρους CELESTION SR1, τέσσερα ανά κανάλι, τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Τέλος ο ενισχυτής LAX- SONIC SOLUTION E800 ενισχύει το σήμα που πηγαίνει σε 4 ηχεία CELESTION SR1 μέσω των εξόδων CH1 και CH2 Out του. Τα ηχεία είναι συνδεδεμένα παράλληλα και έτσι έχουμε δυο ηχεία σε καθένα από τα κανάλια του ενισχυτή.

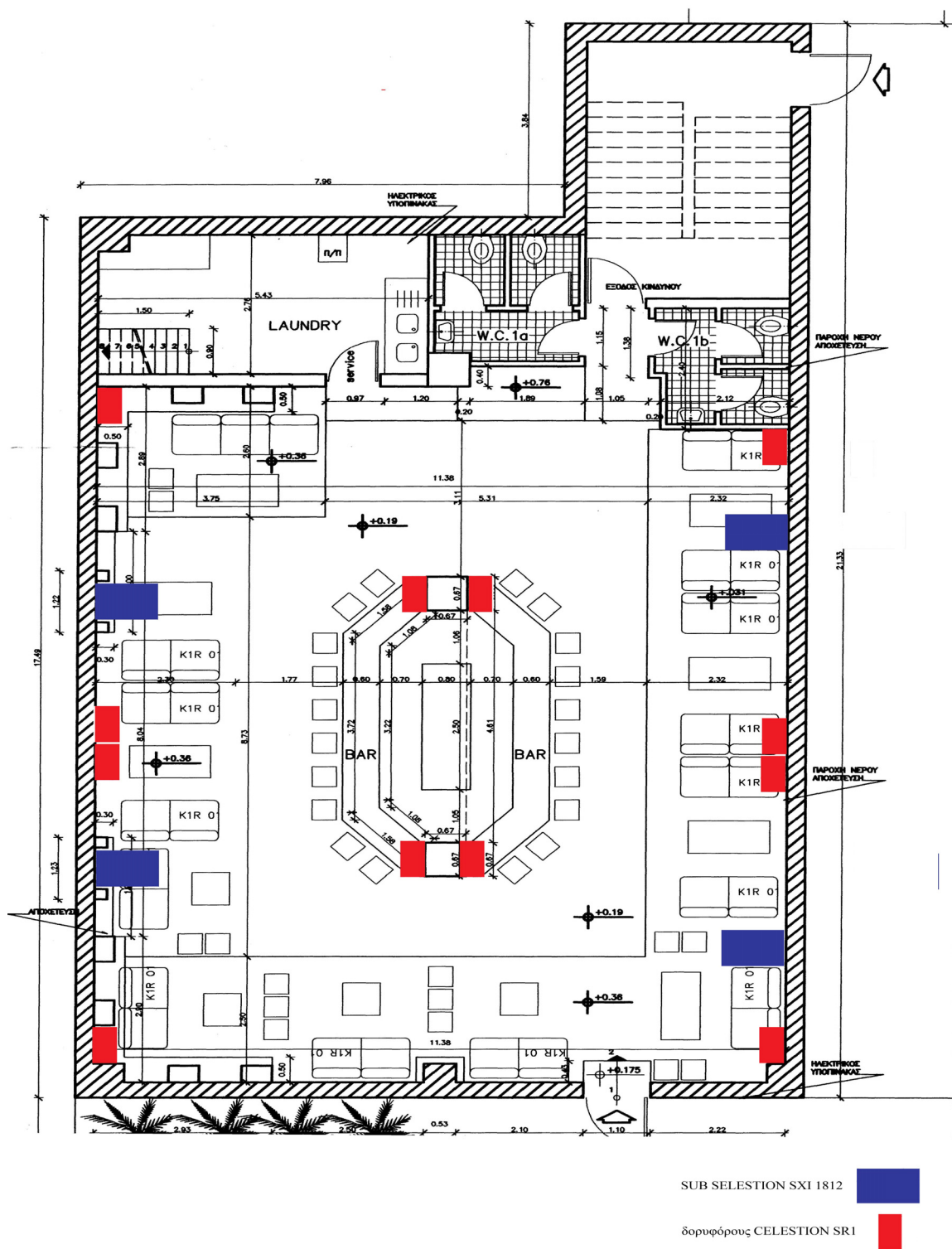
Οι ακουστικές μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας ένα ολοκληρωτικό μετρητή στάθμης ηχητικής πίεσης (ηχόμετρο) με ανάλυση φάσματος, τύπου Cesva SC-310, το οποίο λειτουργεί με φίλτρα πραγματικού χρόνου σε 1/1 και 1/3 της οκτάβας. Η συγκεκριμένη συσκευή καταγράφει συγχρόνως (με σταθμιστικά φίλτρα A, C και Z) τις παρακάτω παραμέτρους: παράλληλη σάρωση (parallel scanning) Fast, Slow, Impulse, Max, Min, SEL, Leq, LeqI, στατιστικές κατανομές L1%, L5%, L10%, L50%, L90%, L95%, L99% και μέγιστο (Peak). Ακόμα, χρησιμοποιήσαμε τον ακουστικό βαθμονομητή Cirrus Research CR:511E πριν ξεκινήσουμε τις μετρήσεις μας, για να κάνουμε βαθμονόμηση του ηχομέτρου.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κυβοδιάγραμμα της διαδικασίας μέτρησης της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης.



Σχήμα 4.4: Κυβοδιάγραμμα μέτρησης ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης κέντρου διασκέδασης.

Το σχήμα που ακολουθεί είναι η κάτοψη του κέντρου διασκέδασης, στην οποία φαίνεται επιπλέον η ακριβής τοποθέτηση των ηχείων στον χώρο.

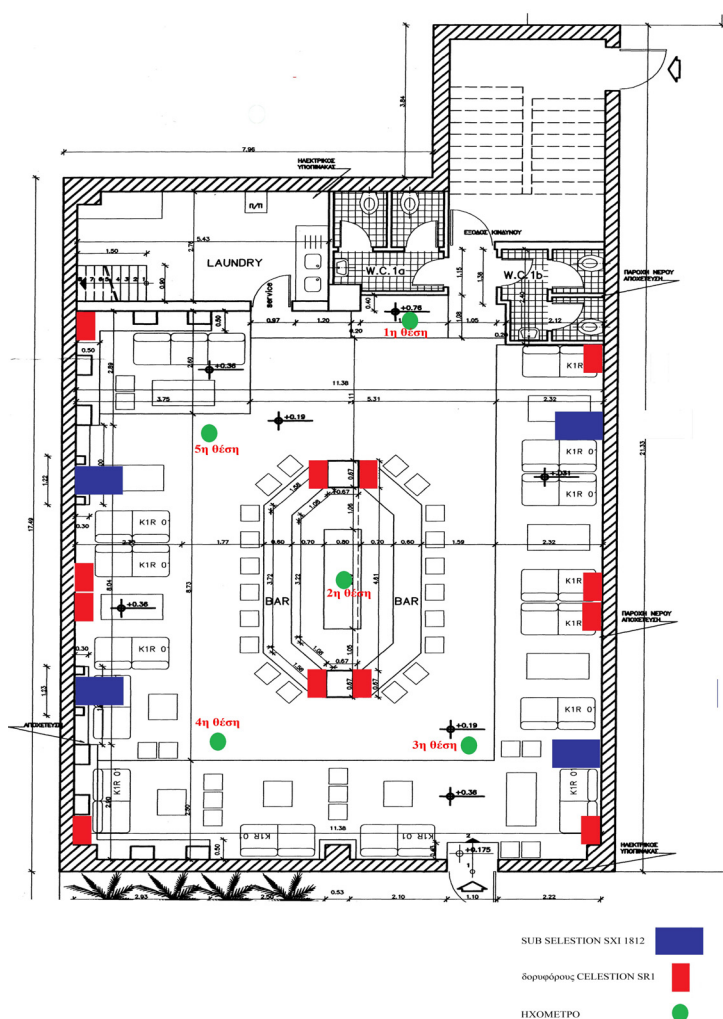


Σχήμα 4.5: Κάτοψη του κέντρου διασκέδασης με την ηχητική εγκατάσταση.

4.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT60)

Η μέτρηση του χρόνου αντήχησης έγινε με την μέθοδο της διακοπτόμενης πηγής. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή σε χώρο που διεγείρεται από ροζ θόρυβο, διακόπτουμε απότομα την εκπομπή της ηχητικής πηγής και μετράμε τον χρόνο αντήχησης από τη μείωση της ηχητικής στάθμης.

Για να διεγείρουμε τον χώρο με ροζ θόρυβο χρησιμοποιήσαμε την ηλεκτροακουστική εγκατάσταση του κέντρου διασκέδασης (cd player, ενισχυτές και ηχεία) και μετρήσαμε τον χρόνο αντήχησης με ένα ηχόμετρο που είχε βαθμονομηθεί με ένα βαθμονομητή. Η μέτρηση έγινε σε πέντε διαφορετικές θέσεις μέσα στον χώρο του μαγαζιού. Οι θέσεις αυτές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 4.6: θέσεις μέτρησης του χρόνου αντήχησης.

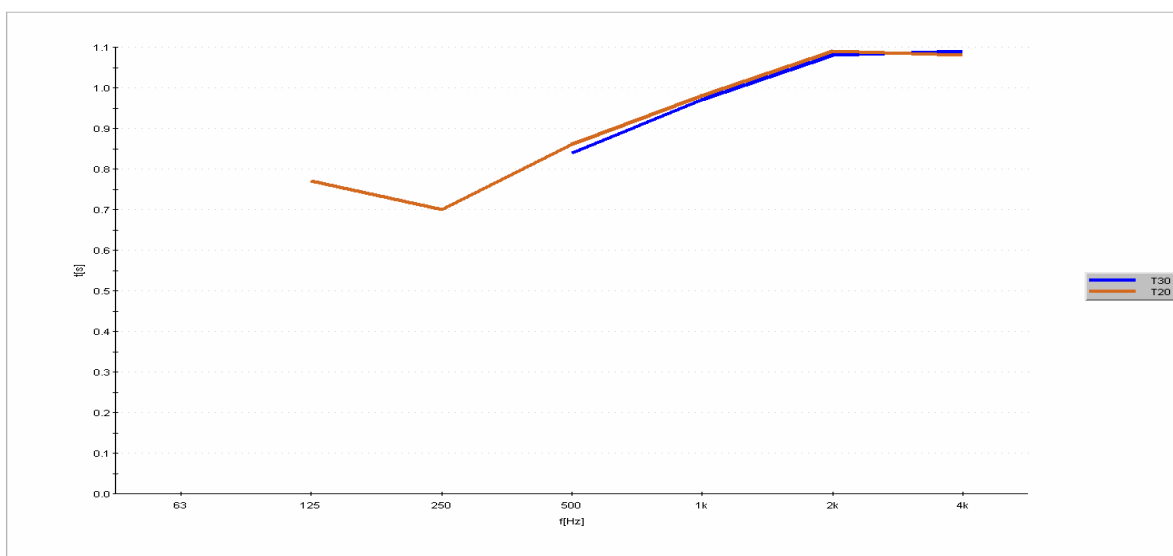
Το ηχόμετρο που χρησιμοποιήσαμε για την διεξαγωγή των μετρήσεων μας έδινε την δυνατότητα να μετρήσουμε ταυτόχρονα τους χρόνους αντήχησης T_{20} και T_{30} για τις κεντρικές συχνότητες κάθε οκτάβας από τα 63Hz μέχρι τα 4KHz. Οι χρόνοι T_{20} και T_{30} , είναι οι εκτιμώμενοι χρόνοι σε δευτερόλεπτα που απαιτούνται για να μειωθεί η στάθμη ηχητικής

πίεσης 60dB, βασισμένοι στην συμπεριφορά της μετρούμενης εξασθένησης της αντήχησης μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την πηγή, στις περιοχές -5dB έως -25dB για τον χρόνο T₂₀ και -5dB έως -35dB για τον χρόνο T₃₀, από την αρχική τιμή. Το ηχόμετρο μας έδινε τις ποσότητες αυτές αυτόματα, υπολογίζοντας κατά προσέγγιση την καταλληλότερη, ευθεία γραμμή για τον χρόνο αντήχησης στην κάθε περίπτωση. Στους παρακάτω πίνακες και τα διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας για τον χρόνο αντήχησης στις θέσεις 1, 2, 3, 4 και 5.

Πίνακας 4.1 Μέτρηση χρόνου αντήχησης στην θέση 1.

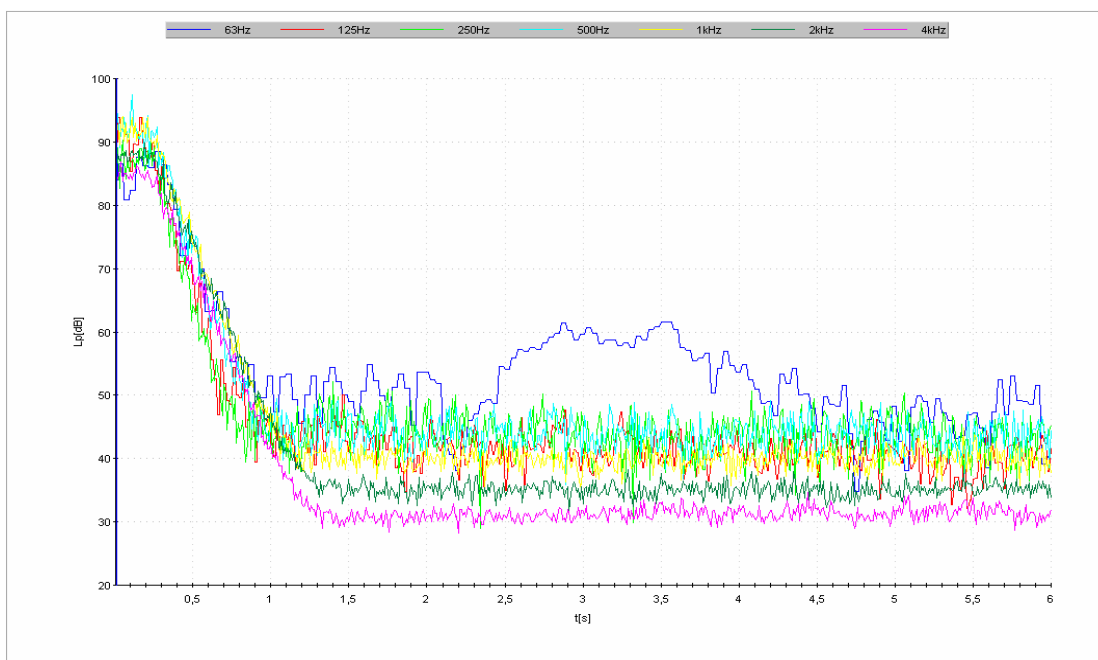
Συχνότητα (Hz)	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Μέτρηση T ₂₀ (sec)	-	0,77	0,70	0,86	0,98	1,09	1,08
Μέτρηση T ₃₀ (sec)	-	-	-	0,84	0,97	1,08	1,09

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι αντήχησης T₂₀ και T₃₀ ως προς τον άξονα των συχνοτήτων στην θέση 1.



Διάγραμμα 4.1 Χρόνοι αντήχησης T₂₀ και T₃₀ ως προς τις συχνότητες στην θέση 1.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δείχνει την μετρούμενη ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο.

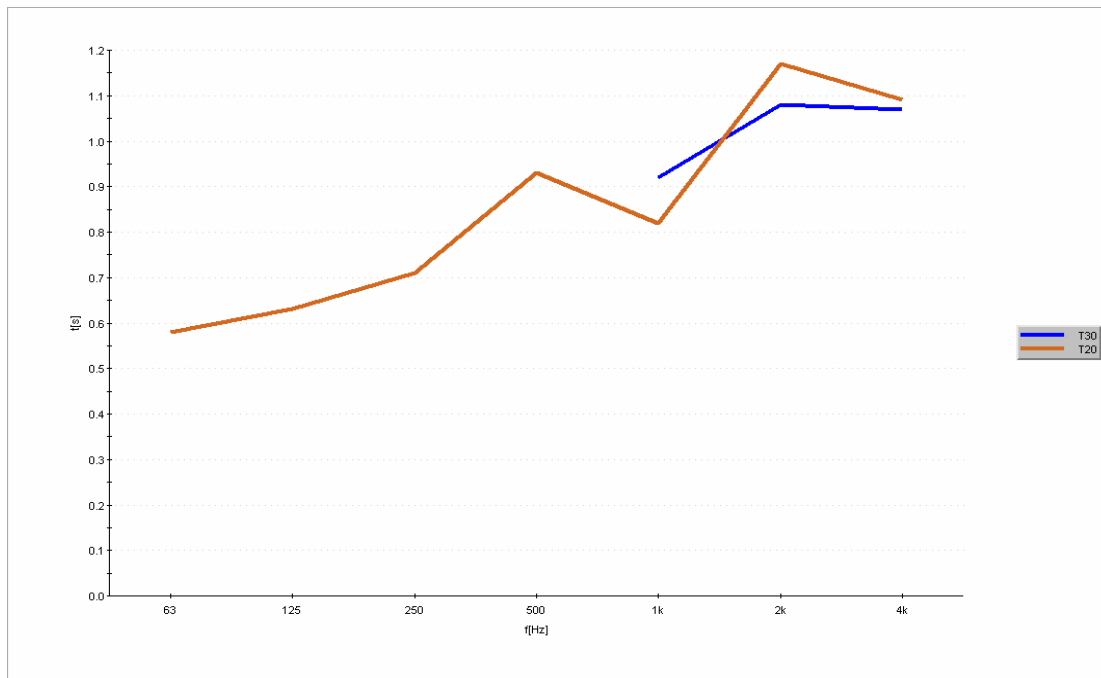


Διάγραμμα 4.2 Ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο στην θέση 1.

Πίνακας 4.2 – Μέτρηση χρόνου αντήχησης στην θέση 2.

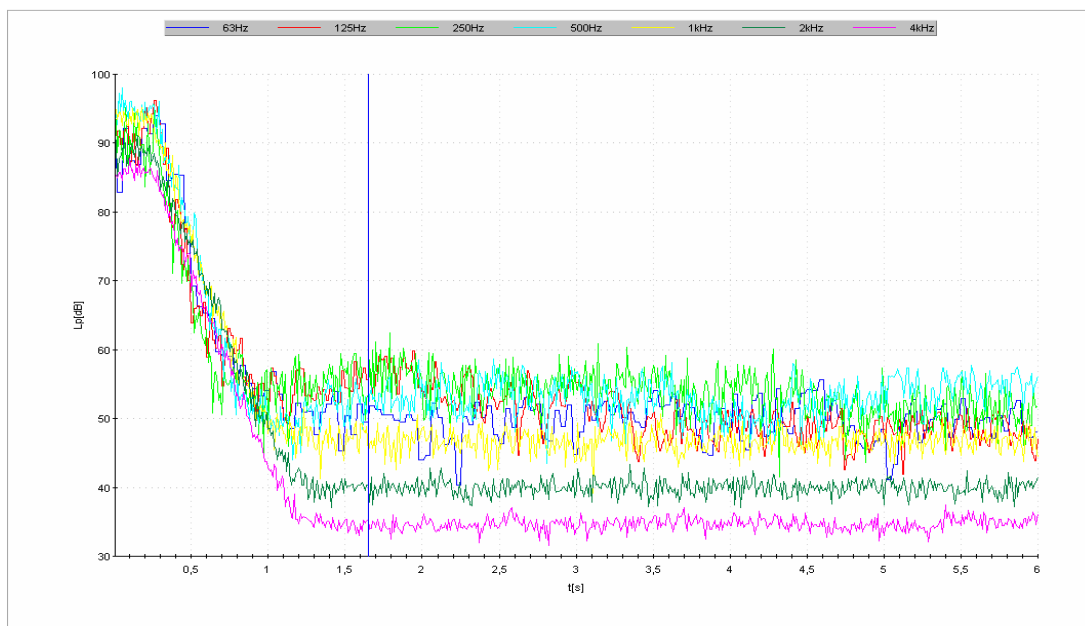
Συχνότητα (Hz)	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Μέτρηση T ₂₀ (sec)	0,58	0,63	0,71	0,93	0,82	1,17	1,09
Μέτρηση T ₃₀ (sec)	-	-	-	-	0,92	1,08	1,07

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι αντήχησης T_{20} και T_{30} ως προς τον άξονα των συχνοτήτων στην θέση 2.



Διάγραμμα 4.3 – Χρόνοι αντήχησης T_{20} και T_{30} ως προς τις συχνότητες στην θέση 2.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δείχνει την μετρούμενη ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο.

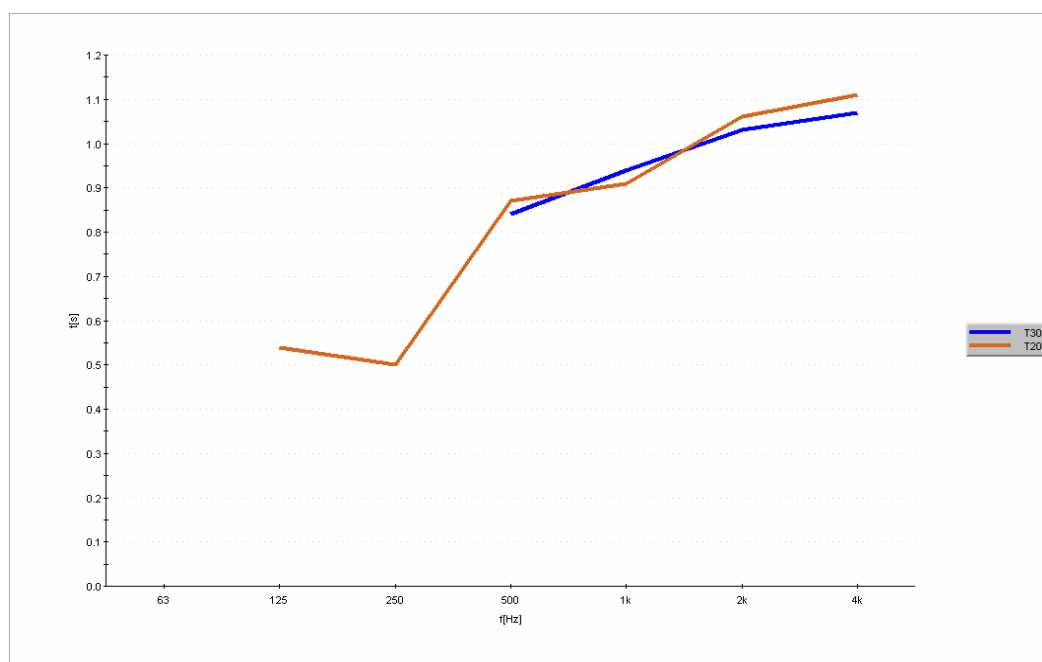


Διάγραμμα 4.4 – Ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο στην θέση 2.

Πίνακας 4.3 – Μέτρηση χρόνου αντήχησης στην θέση 3.

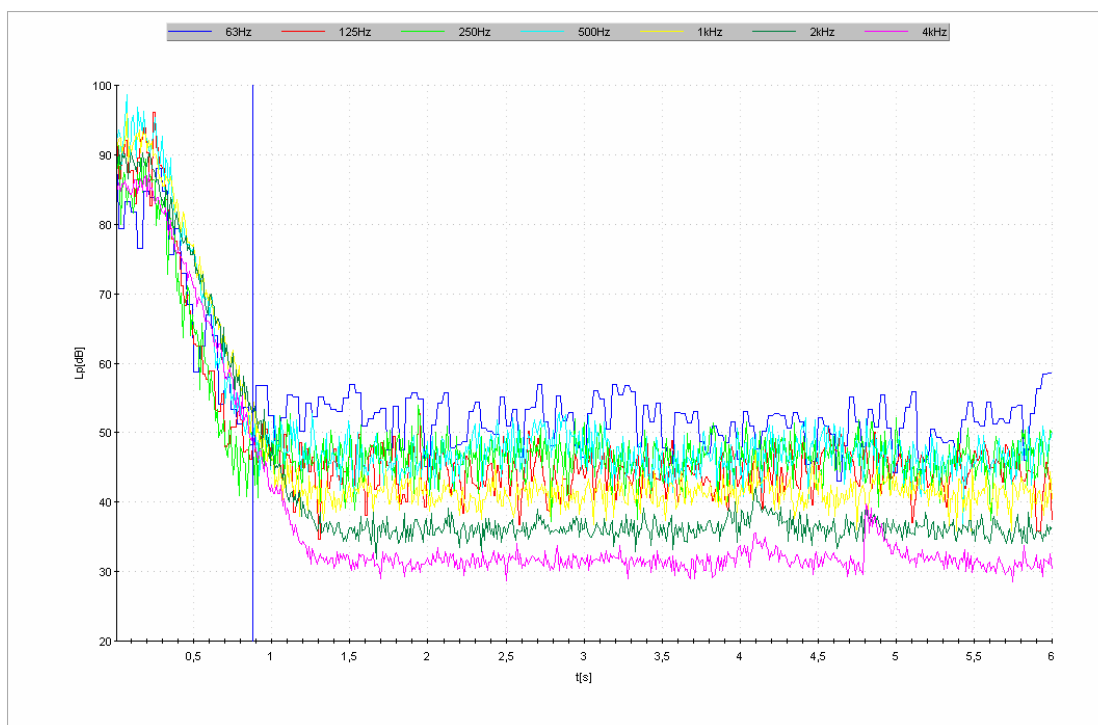
Συχνότητα (Hz)	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Μέτρηση T ₂₀ (sec)	-	0,54	0,50	0,87	0,91	1,06	1,11
Μέτρηση T ₃₀ (sec)	-	-	-	0,84	0,94	1,03	1,07

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι αντήχησης T₂₀ και T₃₀ ως προς τον άξονα των συχνοτήτων στην θέση 3.



Διάγραμμα 4.5 – Χρόνοι αντήχησης T₂₀ και T₃₀ ως προς τις συχνότητες στην θέση 3.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δείχνει την μετρούμενη ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο.

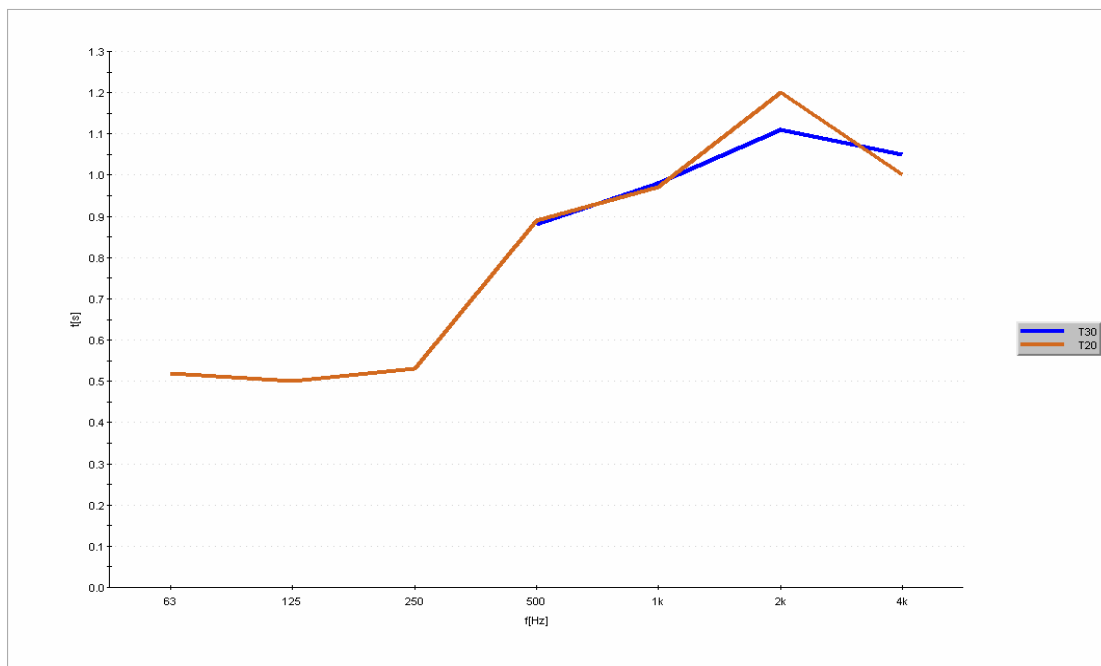


Διάγραμμα 4.6 – Ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο στην θέση 3

Πίνακας 4.4 – Μέτρηση χρόνου αντήχησης στην θέση 4.

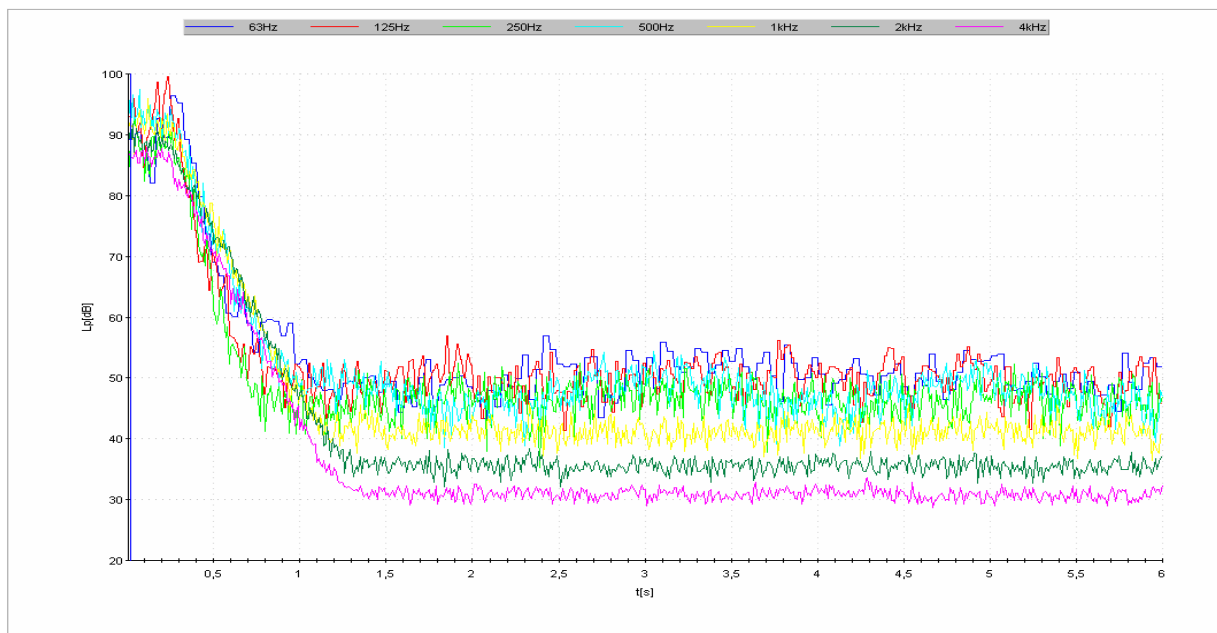
Συχνότητα (Hz)	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Μέτρηση RT ₂₀ (sec)	0,52	0,50	0,53	0,89	0,97	1,20	1,00
Μέτρηση RT ₃₀ (sec)	-	0,74	-	0,88	0,98	1,11	1,05

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι αντήχησης T_{20} και T_{30} ως προς τον άξονα των συχνοτήτων στην θέση 4.



Διάγραμμα 4.7 – Χρόνοι αντήχησης T_{20} και T_{30} ως προς τις συχνότητες στην θέση 4.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δείχνει την μετρούμενη ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο.

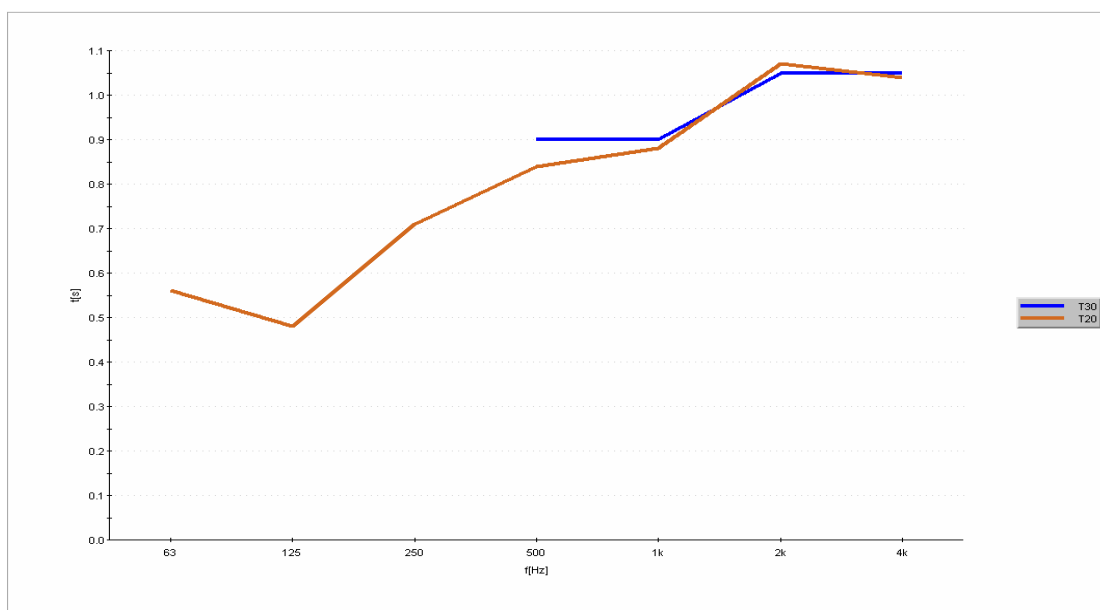


Διάγραμμα 4.8 – Ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο στην θέση 4.

Πίνακας 4.5 – Μέτρηση χρόνου αντήχησης στην θέση 5.

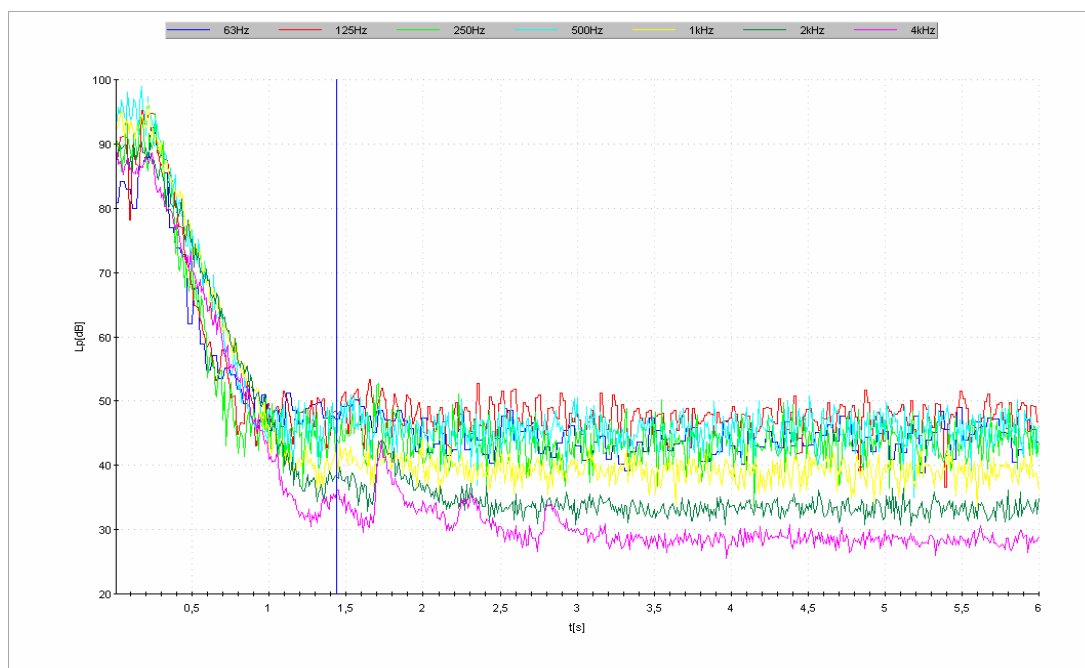
Συχνότητα (Hz)	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Μέτρηση T₂₀ (sec)	0,56	0,48	0,71	0,84	0,88	1,07	1,04
Μέτρηση T₃₀ (sec)	-	-	-	0,90	0,90	1,05	1,05

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι αντήχησης T₂₀ και T₃₀ ως προς τον άξονα των συχνοτήτων στην θέση 5.



Διάγραμμα 4.9 – Χρόνοι αντήχησης T₂₀ και T₃₀ ως προς τις συχνότητες στην θέση 5.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δείχνει την μετρούμενη ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο.



Διάγραμμα 4.10 – Ηχητική στάθμη ανά συχνότητα και ως προς τον χρόνο στην θέση 5.

Καθώς ο χρόνος αντήχησης ποικίλει μεταξύ διαφορετικών θέσεων σε ένα δωμάτιο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην κάθε θέση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μας δείξουν την ακουστική ποιότητα σαν συνάρτηση της θέσης μέσα στο δωμάτιο. Για να μπορέσουμε όμως να εξάγουμε μια συνολική εκτίμηση για τον χρόνο αντήχησης του δωματίου γενικά, πρέπει να υπολογίσουμε τον μέσο όρο των τιμών του χρόνου αντήχησης που πήραμε σε όλες τις θέσεις μέτρησης για κάθε κεντρική συχνότητα. Ο μέσος όρος του χρόνου αντήχησης για κάθε οκταβική κεντρική συχνότητα υπολογίζεται δύο φορές από τους χρόνους αντήχησης T_{20} και T_{30} αντίστοιχα, βάση του τύπου :

$$\bar{T} = \frac{N}{\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \dots + \frac{1}{T_N}}$$

Όπου \bar{T} ο μέσος χρόνος αντήχησης, N ο αριθμός των μετρήσεων και T_N η τιμή του χρόνου αντήχησης στην N θέση μέτρησης.

Για τον μέσο χρόνο αντήχησης στην κάθε κεντρική συχνότητα οκτάβας, υπολογίσαμε και την τιμή της τυπικής απόκλισης SD που είναι το μέτρο της απόκλισης μιας τυπικής μέτρησης από τη μέση τιμή ενός συνόλου επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και δίνεται από τον τύπο :

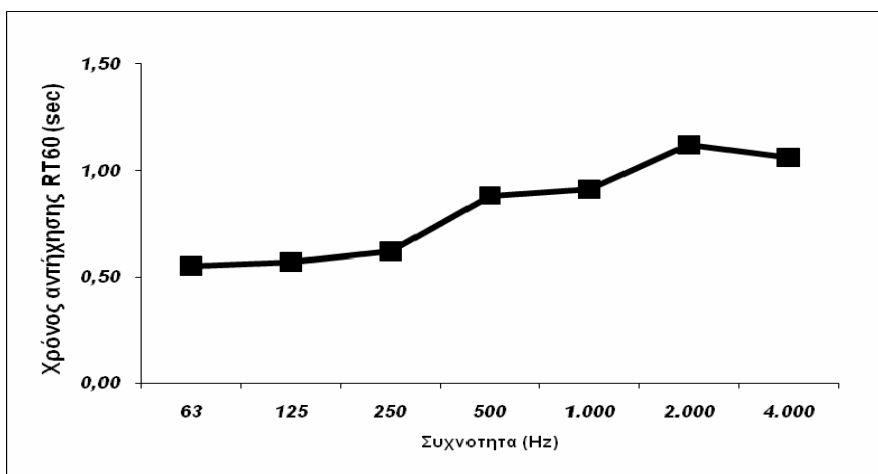
$$SD = \sqrt{\frac{(T_1 - \bar{T})^2 + (T_2 - \bar{T})^2 + \dots + (T_N - \bar{T})^2}{N-1}}$$

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω υπολογίσαμε τον μέσο όρο του χρόνου αντίληψης T_{20} και τον μέσο όρο του χρόνου αντίληψης T_{30} σε κάθε ζώνη συχνότητας και για τις πέντε θέσεις μέτρησης, καθώς και την τυπική απόκλιση στην κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.6 – Μέσοι χρόνοι αντίληψης από τους χρόνους T_{20} και T_{30} και τυπική απόκλιση για τις πέντε θέσεις μέτρησης.

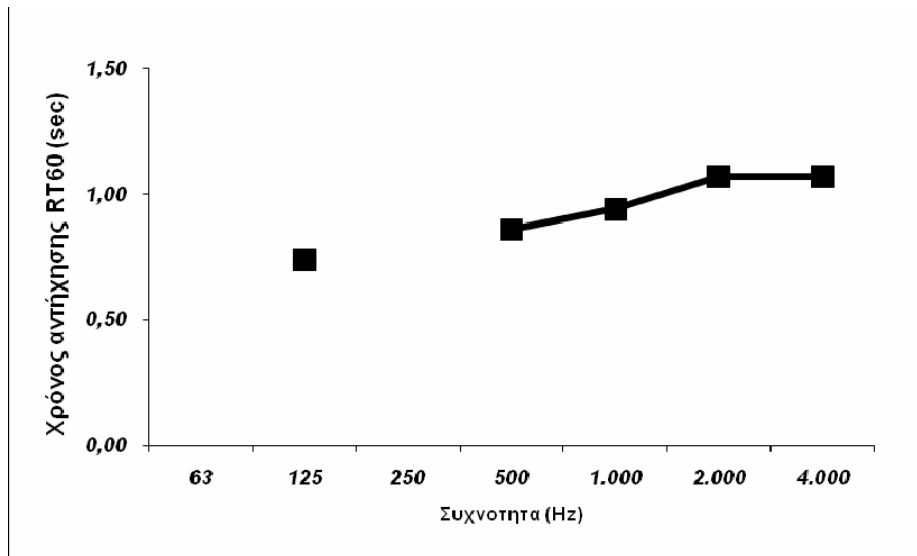
Συχνότητα (Hz)	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Μ.Ο. Μέτρησης T_{20} (sec)	0,55	0,57	0,62	0,88	0,91	1,12	1,06
Τυπική απόκλιση T_{20} (sec)	0,03	0,12	0,11	0,03	0,07	0,06	0,04
Μ.Ο. Μέτρησης T_{30} (sec)	-	0,74	-	0,86	0,94	1,07	1,07
Τυπική απόκλιση T_{30} (sec)	-	-	-	0,03	0,03	0,03	0,02

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τον μέσο χρόνο αντίληψης που προκύπτει από τον χρόνο εξασθένησης T_{20} στις πέντε θέσεις μέτρησης.



Διάγραμμα 4.11 – Μέσος Χρόνος αντίληψης T_{20} ως προς τις κεντρικές συχνότητες.

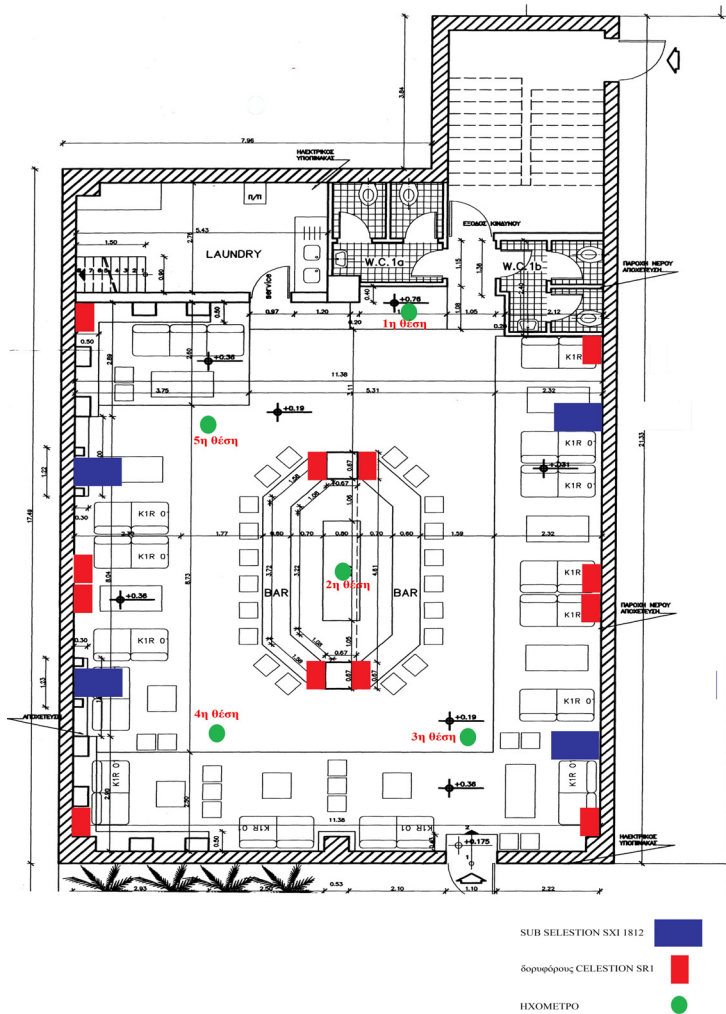
Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τον μέσο χρόνο αντίληψης που προκύπτει από τον χρόνο εξασθένησης T_{30} στις πέντε θέσεις μέτρησης.



Διάγραμμα 4.12 – Μέσος Χρόνος αντίληψης T₃₀ ως προς τις κεντρικές συχνότητες.

4.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Η μέτρηση της συχνοτικής απόκρισης της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης έγινε ηχοβολώντας τον χώρο με ροζ θόρυβο και παίρνοντας με το ηχόμετρο μετρήσεις σε διάφορες θέσεις. Το ηχόμετρο εμπειρείχε φασματικό αναλυτή ακριβείας, ο οποίος παρείχε φίλτρα πραγματικού χρόνου 1\3 οκτάβας και μας έδινε την τριτοκταβική συχνοτική απόκριση όλης της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης, δηλαδή της ηχητικής εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένου και του χώρου. Για να διεγείρουμε τον χώρο με ροζ θόρυβο χρησιμοποιήσαμε την ηχητική εγκατάσταση του κέντρου διασκέδασης (cd player, ενισχυτές και ηχεία) και μετρήσαμε την συχνοτική απόκριση με το ηχόμετρο που είχε βαθμονομηθεί με ένα βαθμονομητή. Η μέτρηση έγινε σε πέντε διαφορετικές θέσεις μέσα στον χώρο του μαγαζιού. Οι θέσεις αυτές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 4.7: θέσεις μέτρησης της συχνοτικής απόκρισης.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας για την τριτοκταβική συχνοτική απόκριση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης σε κάθε θέση φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

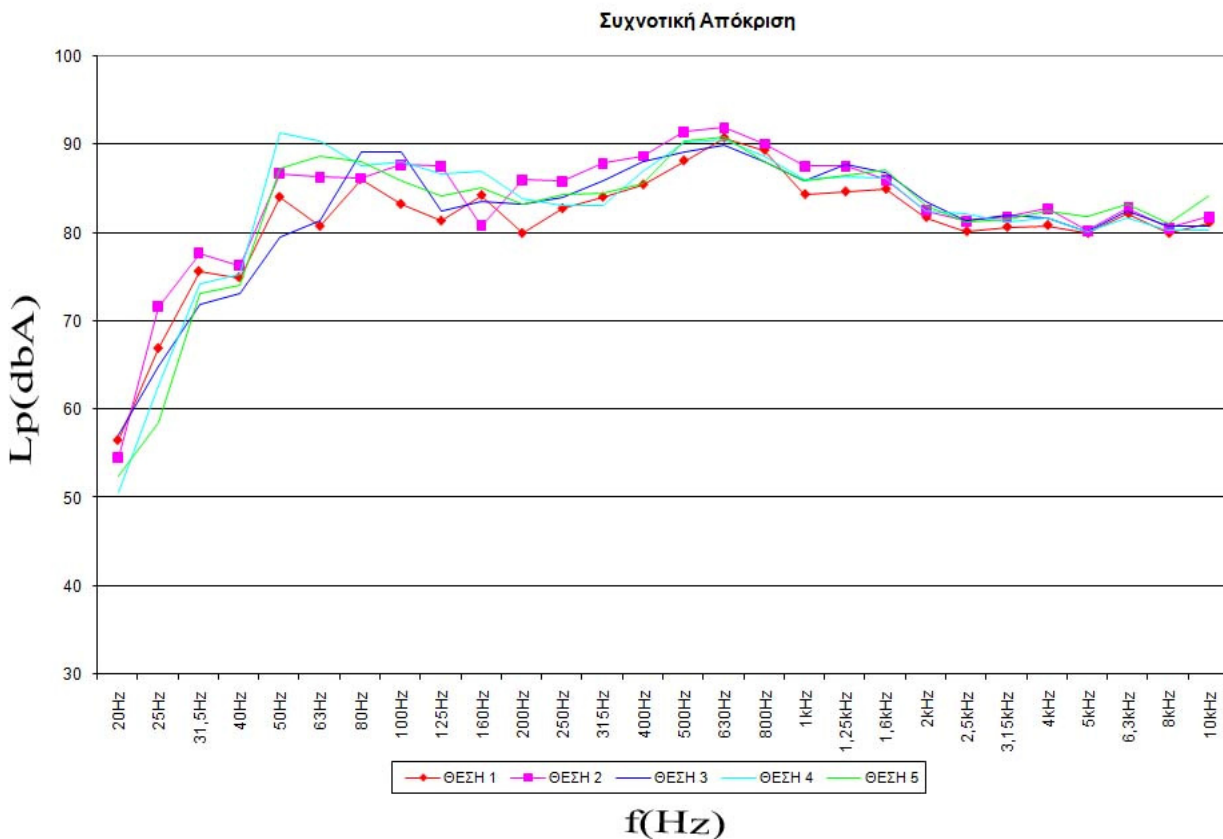
Πίνακας 4.6 Μετρήσεις συχνοτικής απόκρισης σε πέντε θέσεις.

Συχνότητες 1\3 οκτάβας (Hz)	Μέτρηση Θέση 1 (dBA)	Μέτρηση Θέση 2 (dBA)	Μέτρηση Θέση 3 (dBA)	Μέτρηση Θέση 4 (dBA)	Μέτρηση Θέση 5 (dBA)
20.0	56.5	54.5	57.1	50.5	52.4
25.0	66.9	71.6	64.9	62.7	58.5

31.5	75.6	77.7	71.9	74.2	73.0
40.0	74.9	76.3	73.1	75.2	74.0
50.0	84.0	86.7	79.5	91.3	87.3
63.0	80.7	86.3	81.3	90.4	88.7
80.0	86.0	86.2	89.2	87.5	88.0
100.0	83.2	87.7	89.2	88.1	85.9
125.0	81.3	87.5	82.4	86.7	84.1
160.0	84.2	80.8	83.6	87.0	85.1
200.0	79.9	86.0	83.2	83.9	83.2
250.0	82.7	85.8	84	83.1	84.3
315.0	84.0	87.8	85.8	83.1	84.4
400.0	85.4	88.7	88.1	86.9	85.5
500.0	88.1	91.4	89.2	90.2	90.4
630.0	90.7	91.9	89.9	90.5	90.8
800.0	89.3	90.1	88.0	88.6	88.0
1.00 K	84.3	87.5	85.8	86.0	85.9
1.25 K	84.6	87.5	87.7	86.3	86.4
1.60 K	84.9	86.0	86.8	86.2	87.1
2.00 K	81.7	82.5	83.5	82.5	83.1
2.50 K	80.1	81.3	81.3	82.1	81.2
3.15 K	80.6	81.8	81.9	81.2	81.5
4.00 K	80.8	82.7	81.7	81.6	82.4
5.00 K	79.9	80.2	80.1	80.1	81.8
6.30 K	82.1	82.8	82.5	81.7	83.2
8.00 K	79.9	80.5	80.8	80.2	81.0

10.00 K	81.1	81.8	80.8	80.3	84.1
---------	------	------	------	------	------

Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα της μετρούμενης συχνοτικής απόκρισης σε ζώνες 1/3 της οκτάβας για τις πέντε διαφορετικές θέσεις μέτρησης.

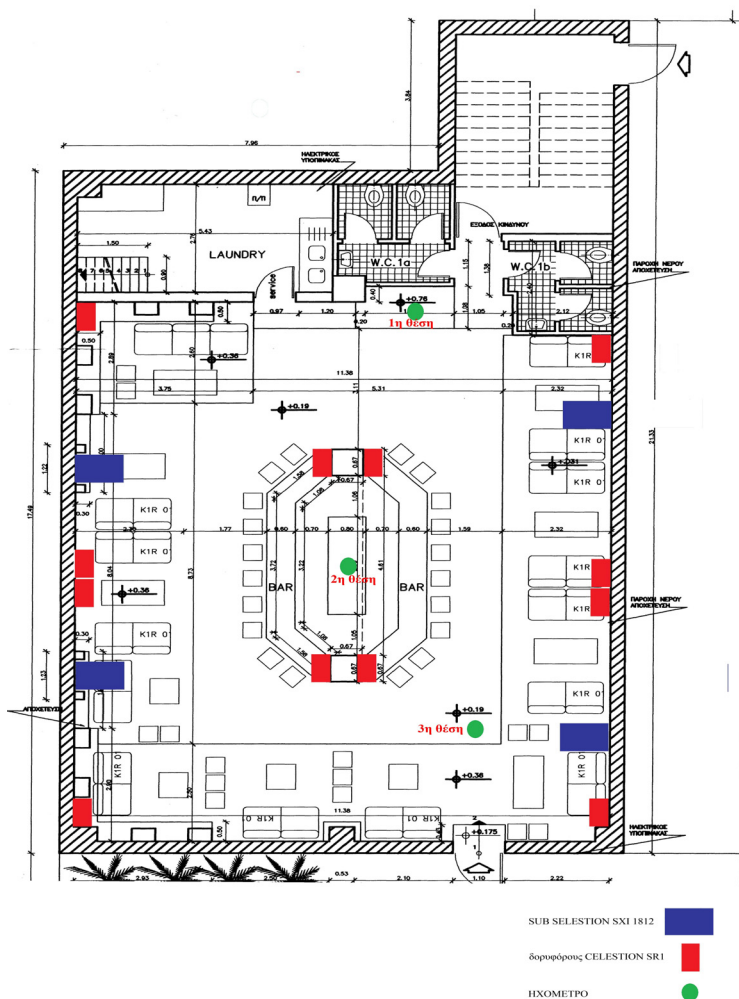


Διάγραμμα 4.16 – Διάγραμμα συχνοτικής απόκρισης ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης σε σε ζώνες 1/3 της οκτάβας για πέντε διαφορετικές θέσεις μέτρησης.

4.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η μέτρηση της στάθμης θορύβου κατά την λειτουργία του καταστήματος έγινε ηχοβολώντας τον χώρο με προηχογραφημένο ηχητικό υλικό και παίρνοντας την ισοδύναμη ηχητική στάθμη πίεσης L_{eqA} , με το ηχόμετρο σε τρεις διαφορετικές θέσεις μέτρησης, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Πιο συγκεκριμένα για την ηχοβολία του χώρου με προηχογραφημένο ηχητικό υλικό χρησιμοποιήθηκε η ηχητική εγκατάσταση του μαγαζιού και μετρήθηκε με το ηχόμετρο η ισοδύναμη ηχητική στάθμη πίεσης L_{eq} , στις θέσεις του dJ (θέση 1), του Bar

(θέση 2) και σε μια τυχαία θέση στο χώρο (θέση 3). Οι θέσεις αυτές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 4.8: θέσεις μέτρησης της ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eq} .

Όλες οι μετρήσεις έγιναν για διάρκεια τριών περίπου λεπτών. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η συσκευή ρυθμίστηκε να καταγράφει την ισοδύναμη ηχητική στάθμη L_{eq} , με σταθμιστικό φίλτρο A, ανά οκτάβα (μεταξύ 31,5Hz και 16kHz) και με βήμα πέντε δευτερολέπτων. Εκτός από την ισοδύναμη ηχητική στάθμη που υπολόγιζε το ηχόμετρο ανά 5 δευτερόλεπτα, για κάθε θέση μέτρησης μας έδινε και την μέση τιμή της ισοδύναμης ηχητικής στάθμης πίεσης L_{eqA} καθώς και την στατιστική κατανομή L1%, L5%, L10%, L50%, L90%, L95%, L99%. Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι οι μετρήσεις δεν έγιναν βράδυ κατά την κανονική λειτουργία του κέντρου διασκέδασης, αλλά μεσημέρι με το μαγαζί άδειο και σε κανονικές στάθμες αναπαραγωγής, καθότι δεν υπήρχε η συγκατάθεση του ιδιοκτήτη για την διεξαγωγή των μετρήσεων το βράδυ, όπου το μαγαζί λειτουργεί κανονικά. Στους παρακάτω πίνακες και τα διαγράμματα φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας για την στάθμη θορύβου κατά την λειτουργία του καταστήματος στις θέσεις 1, 2 και 3.

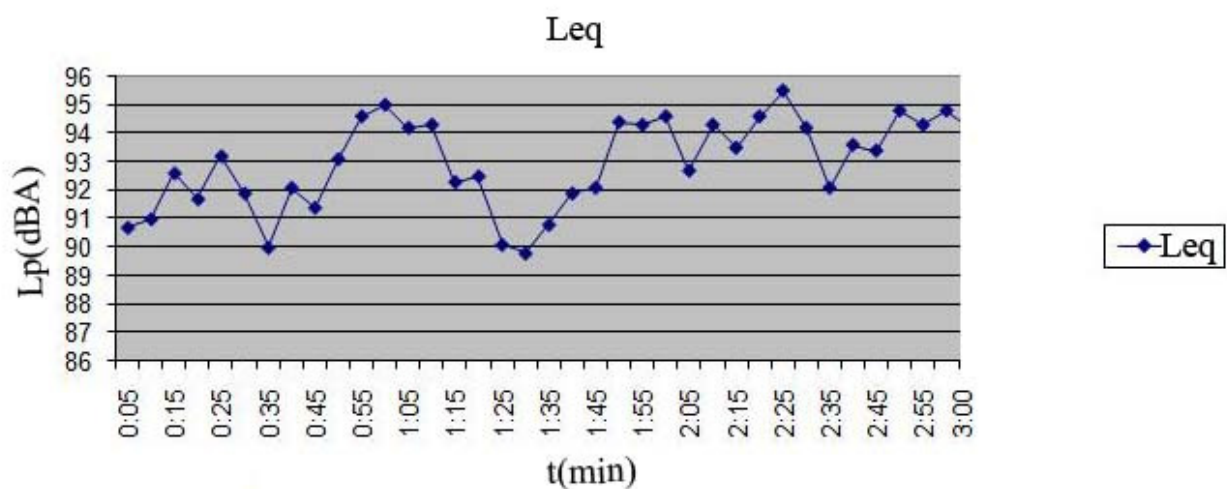
Πίνακας 4.7 - Μέτρηση ισοδύναμης στάθμης θορύβου στην θέση 1.

Παρερχόμενος χρόνος από την αρχή της μέτρησης (min)	Ισοδύναμη στάθμη θορύβου LeqA (dBA)
0.05	90.7
0.10	91.0
0.15	92.6
0.20	91.7
0.25	93.2
0.30	91.9
0.35	90.0
0.40	92.1
0.45	91.4
0.50	93.1
0.55	94.6
1.00	95.0
1.05	94.2
1.10	94.3
1.15	92.3
1.20	92.5
1.25	90.1
1.30	89.8
1.35	90.8

1.40	91.9
1.45	92.1
1.50	94.4
1.55	94.3
2.00	94.6
2.05	92.7
2.10	94.3
2.15	93.5
2.20	94.6
2.25	95.5
2.30	94.2
2.35	92.1
2.40	93.6
2.45	93.4
2.50	94.8
2.55	94.3
3.00	94.8

Πίνακας 4.8 - Μέτρηση μέσης τιμής της ισοδύναμης στάθμης θορύβου Leq και στατιστικών δεικτών στην θέση 1.

Μέση τιμή Leq(dBA)	L1 (dBA)	L5 (dBA)	L10 (dBA)	L50 (dBA)	L90 (dBA)	L95 (dBA)	L99 (dBA)
93.3	97.5	96.5	95.7	92.9	89.7	88.7	85.0



Διάγραμμα 4.17 – Διάγραμμα ισοδύναμης στάθμης θορύβου LeqA κατά τη λειτουργία του κέντρου διασκέδασης στην θέση του DJ (Θέση 1).

Πίνακας 4.9 - Μέτρηση ισοδύναμης στάθμης θορύβου στην θέση 2.

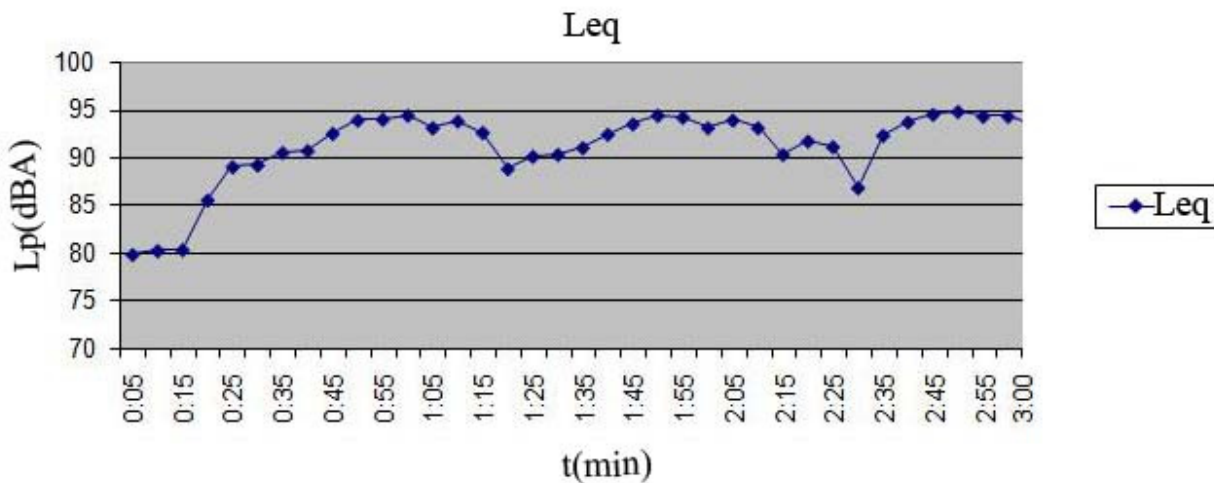
Παρερχόμενος χρόνος από την αρχή της μέτρησης (min)	Ισοδύναμη στάθμη θορύβου LeqA (dBA)
0.05	79.8
0.10	80.2
0.15	80.3
0.20	85.5
0.25	89.0
0.30	89.2
0.35	90.5
0.40	90.7
0.45	92.5
0.50	93.9

0.55	94.0
1.00	94.4
1.05	93.1
1.10	93.8
1.15	92.6
1.20	88.8
1.25	90.1
1.30	90.3
1.35	91.0
1.40	92.4
1.45	93.5
1.50	94.4
1.55	94.2
2.00	93.1
2.05	93.9
2.10	93.1
2.15	90.3
2.20	91.7
2.25	91.1
2.30	86.8
2.35	92.3
2.40	93.7
2.45	94.5
2.50	94.8
2.55	94.3

3.00	94.3
------	------

Πίνακας 4.10 - Μέτρηση μέσης τιμής της ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eq} και στατιστικών δεικτών στην θέση 2.

Μέση τιμή L_{eq} (dBA)	L1 (dBA)	L5 (dBA)	L10 (dBA)	L50 (dBA)	L90 (dBA)	L95 (dBA)	L99 (dBA)
92.2	96.8	95.4	94.8	92.1	83.6	79.5	73.8



Διάγραμμα 4.18– Διάγραμμα ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eqA} κατά τη λειτουργία του κέντρου διασκέδασης στην θέση του Bar (Θέση 2).

Πίνακας 4.11 - Μέτρηση ισοδύναμης στάθμης θορύβου στην θέση 3.

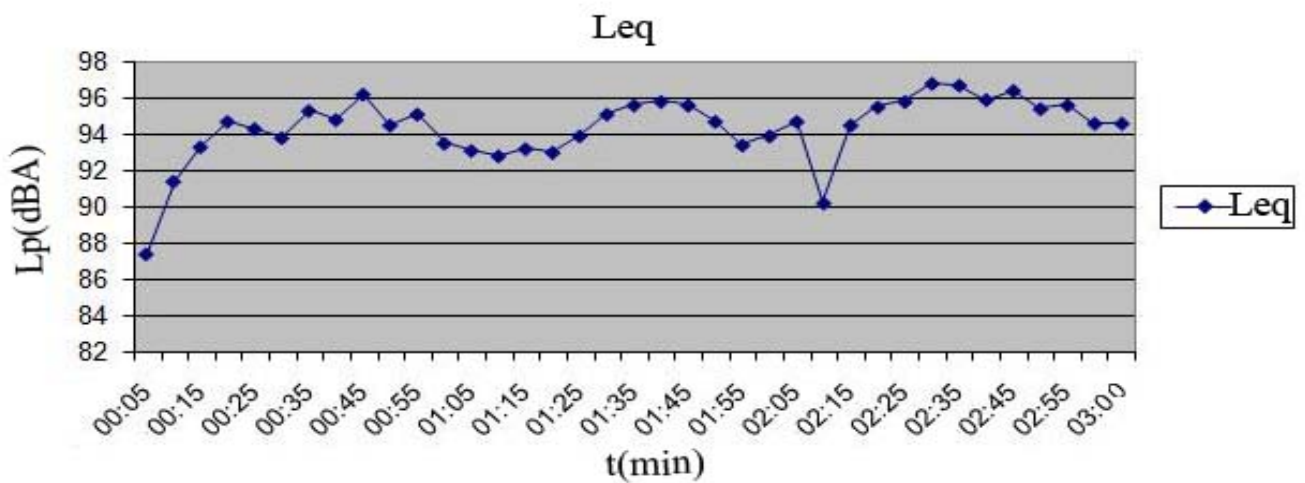
Παρερχόμενος χρόνος από την αρχή της μέτρησης (min)	Ισοδύναμη στάθμη θορύβου L_{eqA} (dBA)
0.05	87.4

0.10	91.4
0.15	93.3
0.20	94.7
0.25	94.3
0.30	93.8
0.35	95.3
0.40	94.8
0.45	96.2
0.50	94.5
0.55	95.1
1.00	93.5
1.05	93.1
1.10	92.8
1.15	93.2
1.20	93.0
1.25	93.9
1.30	95.1
1.35	95.6
1.40	95.8
1.45	95.6
1.50	94.7
1.55	93.4
2.00	93.9
2.05	94.7
2.10	90.2

2.15	94.5
2.20	95.5
2.25	95.8
2.30	96.8
2.35	96.7
2.40	95.9
2.45	96.4
2.50	95.4
2.55	95.6
3.00	94.6

Πίνακας 4.12 - Μέτρηση μέσης τιμής της ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eq} και στατιστικών δεικτών στην θέση 3.

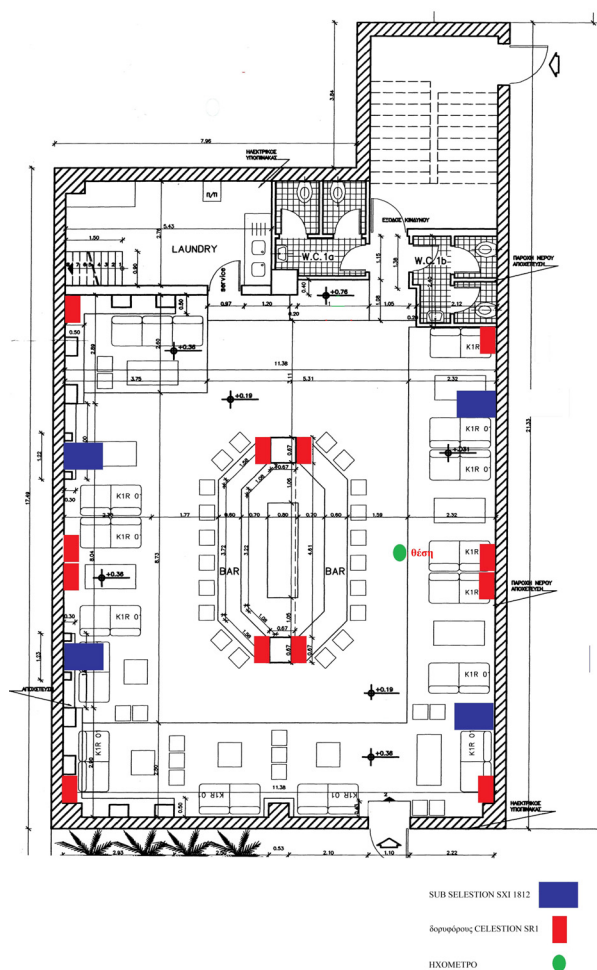
Μέση τιμή	L1	L5	L10	L50	L90	L95	L99
L_{eq} (dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)	(dBA)
94.6	99.3	97.8	97.1	94.1	89.9	88.4	86.3



Διάγραμμα 4.19– Διάγραμμα ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eqA} κατά τη λειτουργία του κέντρου διασκέδασης σε μια τυχαία θέση (Θέση 3).

4.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Για να μετρήσουμε το δυναμικό εύρος αναπαραγωγής της ηχητικής εγκατάστασης έπρεπε να μετρήσουμε πρώτα τον θόρυβο βάθους (background noise) σε μια θέση μέσα στο μαγαζί, που είναι στην ουσία ο θόρυβος που δημιουργείται από το κλιματιστικό, τον εξαερισμό και τα ψυγεία, και μετά αφού ηχοβολίσουμε τον χώρο με προηχογραφημένο ηχητικό υλικό μέσω της υπάρχουσας ηχητικής εγκατάστασης, σε μια στάθμη αρκετά δυνατή πριν να αρχίσουν να παραμορφώνουν τα ηχεία, παίρνουμε τις τιμές της μέγιστης στάθμης ηχητικής πίεσης L_{peak} με το ηχόμετρο. Η διαφορά μεταξύ της μέγιστης μετρούμενης ηχητικής στάθμης L_{peak} και του θορύβου βάθους, μας δίνει το δυναμικό εύρος αναπαραγωγής της ηχητικής εγκατάστασης στην συγκεκριμένη θέση. Η μέτρηση του δυναμικού εύρους αναπαραγωγής της ηχητικής εγκατάστασης έγινε για μια θέση μέτρησης, η οποία θεωρείται μια τυχαία θέση του ακροατή. Η θέση αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



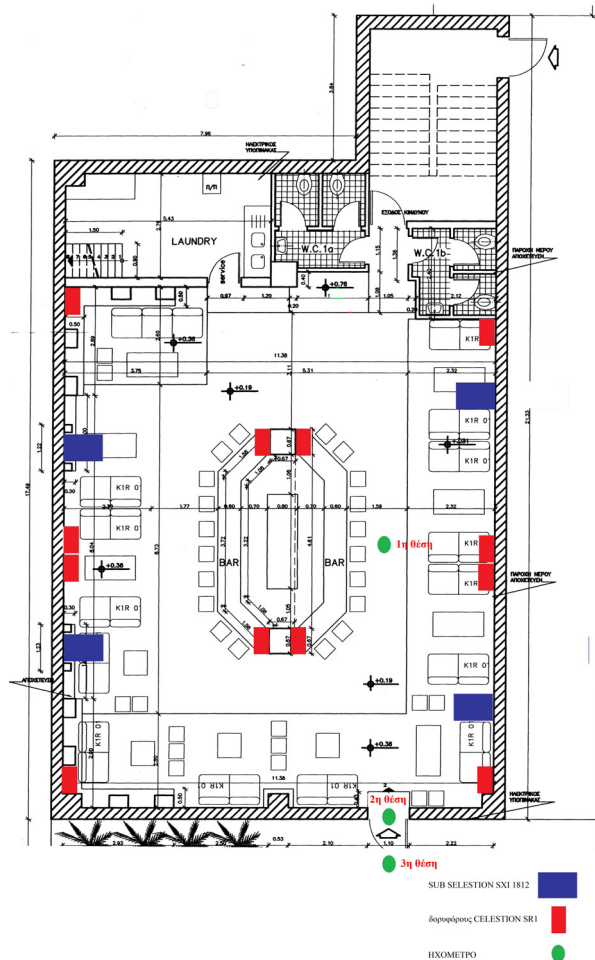
Σχήμα 4.9: θέση μέτρησης της μέγιστης στάθμης ηχητικής πίεσης L_{peak} και του θορύβου βάθους .

Όλες οι μετρήσεις έγιναν για διάρκεια τριών περίπου λεπτών. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης του θορύβου βάθους, η συσκευή ρυθμίστηκε να καταγράφει τον θόρυβο βάθους B, με σταθμιστικό φίλτρο A, ανά οκτάβα (μεταξύ 31,5Hz και 16kHz) και με βήμα πέντε δευτερολέπτων. Η τιμή του θορύβου βάθους που μετρήθηκε στην θέση μέτρησης είναι $B = 54.2$ dBA. Κατά την διάρκεια της μέτρησης της μέγιστης στάθμης ηχητικής πίεσης L_{peak} , το ηχόμετρο ρυθμίστηκε έτσι ώστε να μας δίνει την μέγιστη στάθμη ηχητικής πίεσης L_{peak} χωρίς να εφαρμόζεται η σταθερά του χρόνου στην μέτρηση, με σταθμιστικό φίλτρο A. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι η τιμή L_{peak} που μετρήθηκε δεν εμπεριέχει την σταθερά του χρόνου, και δεν θα πρέπει να μπερδεύεται με την τιμή L_{max} , η οποία είναι η μέγιστη RMS μετρούμενη ηχητική πίεση και στην μέτρηση της οποίας εφαρμόζεται κάποια σταθερά χρόνου (γρήγορη ή αργή). Η τιμή της μέγιστης στάθμης ηχητικής πίεσης L_{peak} που μετρήθηκε στην θέση 2 είναι $L_{peak} = 104.5$ dBA.

Επομένως το δυναμικό εύρος της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης είναι $\Delta \text{δυναμικό εύρος} = L_{peak} - B = 50,3$ dB.

4.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η μέτρηση της στάθμης θορύβου εκτός του καταστήματος για έλεγχο συμμόρφωσης με την νομοθεσία έγινε ηχοβολώντας τον χώρο του καταστήματος με λευκό θόρυβο και παίρνοντας με το ηχόμετρο την ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης L_{eqA} , καθώς και τους στατιστικούς δείκτες κατανομής σε τρεις θέσεις μέτρησης, με συγκεκριμένες χρονικές διάρκειες. Οι θέσεις αυτές ήταν μια θέση εντός του μαγαζιού (Θέση 1), μια θέση στον προθάλαμο του (Θέση 2), καθώς και μια θέση εκτός του μαγαζιού έξω από την πόρτα του (Θέση 3). Η ακριβής τοποθεσία των θέσεων αυτών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.10: θέσεις μέτρησης της ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eq} .

Παίρνοντας μετρήσεις σε αυτές τις τρεις θέσεις μας δίνεται η δυνατότητα να μετρήσουμε εκτός από την στάθμη θορύβου έξω από το κέντρο διασκέδασης και την ηχομόνωση του προθάλαμου σε σχέση με την στάθμη θορύβου εντός του κέντρου. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, η συσκευή ρυθμίστηκε να καταγράφει την μέση τιμή της ισοδύναμης ηχητικής στάθμης L_{eq} , με σταθμιστικό φίλτρο A, ανά οκτάβα (μεταξύ 31,5Hz και 16kHz) και με βήμα πέντε δευτερολέπτων. Εκτός από την ισοδύναμη ηχητική στάθμη που υπολόγιζε το ηχόμετρο ανά 5 δευτερόλεπτα, για κάθε θέση μέτρησης μας έδινε και την στατιστική κατανομή L1%, L5%, L10%, L50%, L90%, L95%, L99%. Η διάρκεια της κάθε μέτρησης δεν ήταν η ίδια και έτσι η διάρκεια της μέτρησης στην θέση 1, ήταν 5 δευτερόλεπτα, στην θέση 2, 5 δευτερόλεπτα και στην θέση 3, 3 δευτερόλεπτα για την στάθμη θορύβου εκτός του καταστήματος και 20 δευτερόλεπτα για τον οδικό θόρυβο, ο οποίος και υπερκάλυπτε την στάθμη θορύβου εκτός του καταστήματος. Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι οι μετρήσεις δεν έγιναν βράδυ κατά την κανονική λειτουργία του κέντρου διασκέδασης, αλλά μεσημέρι με το μαγαζί άδειο σε κανονικές στάθμες λειτουργίας και με αρκετό θόρυβο οδικής κυκλοφορίας έξω από αυτό, καθότι το κέντρο διασκέδασης ήταν πάνω σε κεντρικό δρόμο. Ο λόγος για τον

οποίο η διάρκεια μέτρησης εκτός του καταστήματος ήταν μόνο δυο δευτερόλεπτα είναι ότι, λόγω της υψηλής κυκλοφοριακής κίνησης η ισοδύναμη στάθμη του οδικού θορύβου ήταν αρκετά υψηλότερη από την μετρούμενη στάθμη θορύβου και οι στιγμές κατά τις οποίες αυτός ελαττωνόταν, ήταν πολύ μικρής χρονικής διάρκειας. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας.

Πίνακας 4.13 - Μέτρηση μέσης τιμής της ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eq} και στατιστικών δεικτών στις θέσεις 1, 2 και 3.

Θέσεις Μέτρησης	L_{eq} (dBA)	L1 (dBA)	L5 (dBA)	L10 (dBA)	L50 (dBA)	L90 (dBA)	L95 (dBA)	L99 (dBA)
Θέση 1 T = 5 sec	96.9	97.7	97.7	97.4	96.9	96.5	96.5	96.3
Θέση 2 T = 5 sec	76.1	77.0	77.0	76.7	76.1	75.6	75.5	75.5
Θέση 3 T = 3 sec	59.3	60.3	60.3	60.1	59.5	58.2	58.2	58.0
Θέση 3 T = 20 sec	69.6	74.5	74.0	73.1	68.9	63.3	63.0	62.3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

Συμπεράσματα.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις που έγιναν στην ηλεκτροακουστική εγκατάσταση ενός κέντρου διασκέδασης και ο τρόπος διεξαγωγής τους, καθώς και κάποιοι θεωρητικοί υπολογισμοί με βάση τις μετρήσεις αυτές. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σχολιασμός και επεξεργασία των τιμών που μετρήθηκαν με βάση τις απαιτήσεις καλής αναπαραγωγής προηχογραφημένου υλικού, τις απαιτήσεις της νομοθεσίας σχετικά με τον θόρυβο στην εργασία καθώς και τις απαιτήσεις του παγκόσμιου οργανισμού υγείας αναφορικά με την υγεία και τις μέγιστες επιτρεπτές στάθμες θορύβου. Ακόμα επιχειρούνται κάποιες προτάσεις βελτίωσης τόσο για την ηχητική εγκατάσταση, όσο και για την ασφάλεια – υγιεινή των εργαζομένων.

5.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ(RT60)

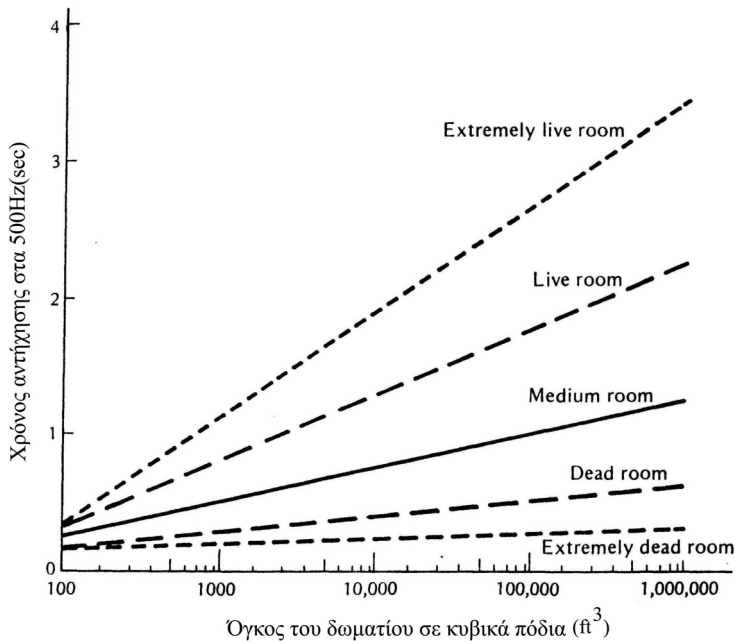
Από το διάγραμμα 4.11 του μέσου χρόνου αντήχησης T_{20} παρατηρούμε ότι από τις συχνότητες 63 Hz μέχρι τα 250 Hz έχουμε ένα χαμηλό χρόνο αντήχησης, ενώ από τις συχνότητες 250 Hz μέχρι τα 4000 Hz υπάρχει μία αύξηση του χρόνου αντήχησης. Το ότι στις συχνότητες κάτω από τα 250 Hz έχουμε πολύ πιο χαμηλό χρόνο αντήχησης σε σχέση με τις πιο ψηλές συχνότητες, μας δείχνει ότι ο χώρος δεν έχει ιδιαίτερο πρόβλημα με τα στάσιμα κύματα (αξονικά, εφαπτόμενα, πλάγια) που δημιουργούνται σε κλειστούς χώρους, σε συχνότητες κάτω από τα 250 Hz.

Το διάγραμμα 4.12 του μέσου χρόνου αντήχησης T_{30} δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του υπό μελέτη χώρου στις χαμηλές συχνότητες καθώς το ηχόμετρο που μας έδινε ταυτόχρονα τους χρόνους T_{20} και T_{30} , δεν μας έδωσε τιμές για το χρόνο εξασθένησης T_{30} σε όλες τις συχνότητες κάτω από τα 250 Hz.

Από τι βλέπουμε και στα δύο διαγράμματα, για τις κεντρικές συχνότητες από τα 500 Hz μέχρι τα 4000 Hz υπάρχει μια σχετική συμφωνία μεταξύ των τιμών των δύο μέσων όρων των χρόνων αντήχησης T_{20} και T_{30} . Η μικρή απόκλιση που υπάρχει μεταξύ των τιμών οφείλεται στο ότι ο υπολογιζόμενος χρόνος αντήχησης για τη κάθε τιμή προκύπτει από τη διαφορετική συμπεριφορά εξασθένησης και βρίσκεται κατά προσέγγιση από το ηχόμετρο για την κάθε περίπτωση.

Γενικά ο χρόνος αντήχησης του κέντρου διασκέδασης είναι σε φυσιολογικά επίπεδα σε σχέση με τον όγκο δωματίου. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται κάποιες τυπικές τιμές

για τον χρόνο αντήχησης στη συχνότητα των 500 Hz σε συνάρτηση με τον όγκο του δωματίου. Από αυτό μπορούμε να δούμε πως χαρακτηρίζονται γενικά οι χώροι, σε σχέση με το μετρούμενο χρόνο αντήχησης σε αυτούς και τον όγκο τους.



Σχήμα 5.1 : Χαρακτηρισμός δωματίων, ανάλογα με τον χρόνο αντήχησης σε αυτά.

Για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε το χώρο με βάση το παραπάνω σχήμα, μετατρέψαμε τη μονάδα του όγκου από κυβικά μέτρα σε κυβικά πόδια βάση του τύπου:

$V_{\text{feet}} = V_{\text{meter}} \times 35.3146667 = 18610.829 \text{ ft}^3$, ($V_{\text{meter}} = 527,67 \text{ m}^3$). Καθώς η τιμή του χρόνου αντήχησης που μετρήσαμε στη συχνότητα των 500 Hz είναι 0.88 sec και ο όγκος του 18610.829 ft³, ο χώρος του κέντρου διασκέδασης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν χώρος με μέτρια αντήχηση (medium room). Αυτό είναι καλό για έναν χώρο κέντρου διασκέδασης καθώς σε αυτόν αναπαράγεται μουσική και ένα σχετικά ζωντανό δωμάτιο με μέτρια αντήχηση, τείνει να εξομαλύνει τις διάφορες αστάθειες στο ηχόχρωμα και το ύψος, κάνοντας την ακρόαση να ακούγεται πιο σταθερή. Εάν ο χρόνος αντήχησης ήταν πολύ μικρός (κάτω από 0.5 δευτερόλεπτα), η μουσική θα ακουγόταν άχρωμη και άψυχη και οι ακροατές θα αισθανόντουσαν άβολα.

Τέλος θα πρέπει να πούμε ο χρόνος αντήχησης παρουσιάζει μεγάλες τιμές για τις μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι μετρήσεις για τον χρόνο αντήχησης έγιναν χωρίς τη παρουσία του κόσμου. Άμα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας του κέντρου με τη παρουσία του κόσμου, θα αυξανόταν η απορρόφηση στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες και θα μειωνόταν ο χρόνος αντήχησης στις συχνότητες αυτές.

5.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.

Το διάγραμμα 4.16 της συχνοτικής απόκρισης για τις πέντε θέσεις μέτρησης, μας δίνει μια γενική εικόνα για τη συχνοτική απόκριση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης. Εδώ θα πρέπει να πούμε ότι η συχνοτική απόκριση οποιουδήποτε ηχητικού συστήματος, επηρεάζεται από το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί καθώς και από τις επιμέρους συχνοτικές αποκρίσεις όλων των στοιχείων που απαρτίζουν το σύστημα (cd player, ενισχυτές και ηχεία). Παρατηρώντας το διάγραμμα 4.16 βλέπουμε ότι στις συχνότητες κάτω από τα 200 Hz έχουμε αρκετές διακυμάνσεις στην μετρούμενη ηχητική στάθμη πίεσης, οι οποίες οφείλονται στις ανακλάσεις μεταξύ των επιφανειών των τοίχων, της οροφής και του πατώματος καθώς και στους συντονισμούς του δωματίου. Οι ανακλάσεις εκτός από την αντήχηση που δημιουργούν είναι υπεύθυνες και για ακυρώσεις που δημιουργούνται σε συγκεκριμένες συχνότητες, οι οποίες φαίνονται σαν βυθίσματα στην απόκριση του συστήματος. Οι συντονισμοί του δωματίου με την σειρά τους, μπορούν να δημιουργήσουν βυθίσματα ή πιο συχνά μέγιστα στην απόκριση του συστήματος χρωματίζοντας τον ήχο του. Στην περιοχή που ξεκινάει γύρω στα 600 Hz παρατηρείται μία αύξηση της ηχητικής στάθμης η οποία σταδιακά εξομαλύνεται από τα 2 KHz και πάνω. Αξιοσημείωτο είναι να πούμε ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ των τιμών των μετρούμενων συχνοτικών αποκρίσεων στις πέντε θέσεις μέτρησης, η οποία είναι λογικό να υπάρχει από την στιγμή που στην κάθε θέση μέτρησης αλλάζει η συμπεριφορά του μετρούμενου ήχου λόγω των ανακλάσεων και των συντονισμών που δημιουργούνται, όταν διεγείρουμε το χώρο με λευκό θόρυβο.

Σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να πούμε ότι η συχνοτική απόκριση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης είναι σχετικά καλή αλλά απέχει από την ιδανική (flat) λόγω των ακουστικών φαινομένων που δημιουργούνται στους κλειστούς χώρους.

5.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γενικά είναι δύσκολο να επιτευχθεί το πλήρες δυναμικό εύρος που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος χρησιμοποιώντας ηχητικό εξοπλισμό (cd player, ενισχυτές και ηχεία), καθώς οι περισσότερες συσκευές αναπαραγωγής δουλεύουν γραμμικά και όχι λογαριθμικά όπως η ανθρώπινη ακοή. Ένα από τα συνήθη εμπόδια στην επίτευξη του πλήρους δυναμικού εύρους που μπορεί να αποδώσει ένα σύστημα είναι ο υψηλός θόρυβος βάθους στην αίθουσα, ο οποίος πολλές φορές υπερκαλύπτει την ελάχιστη ηχητική στάθμη του πραγματικού δυναμικού εύρους της πηγής που κυμαίνεται από 30 μέχρι 100 dB. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να μην ακούγονται τα πιο σιγανά μέρη του προηχογραφημένου υλικού.

Εμείς μετρήσαμε το δυναμικό εύρος αναπαραγωγής για μία τυχαία θέση του ακροατή και το βρήκαμε να είναι 50,3 dB. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τιμή που μετρήσαμε είναι σε

καλά επίπεδα καθώς οι ανεκτές τιμές για το δυναμικό εύρος αναπαραγωγής κυμαίνονται μεταξύ 40 και 60dB .

5.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τους πίνακες (4.8, 4.10 και 4.12) όσον αφορά την μέση τιμή της ισοδύναμης στάθμης θορύβου στις θέσεις του DJ, του Bar και σε μια τυχαία θέση στο χώρο αντίστοιχα, παρατηρούμε ότι ξεπερνούν τις οριακές τιμές ημερήσιας έκθεσης στο θόρυβο που προβλέπει η οδηγία 2003/10/EK του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου περί των ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας, για την έκθεση των εργαζόμενων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες(θόρυβος). Η ημερήσια (8 ώρες) οριακή τιμή έκθεσης στο θόρυβο που προβλέπει η παραπάνω οδηγία είναι 87 dBA και η μέση ισοδύναμη στάθμη θορύβου που μετρήθηκε παίρνει τιμές από 92.2 μέχρι 94.6 dBA ανάλογα με την θέση μέτρησης, επομένως το κέντρο διασκέδασης δεν συμμορφώνεται με τη σχετική νομοθεσία καθώς δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προστασίας για την ασφάλεια των εργαζομένων. Αυτό καθιστά απαραίτητη την ανάληψη δράσης για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων αυτών.

5.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Όσον αφορά τη μέτρηση της ισοδύναμης στάθμης θορύβου L_{eq} εκτός του καταστήματος θα πρέπει να πούμε ότι έγινε κάτω από δύσκολες συνθήκες, καθώς η διεξαγωγή των μετρήσεων έγινε την ημέρα και ο θόρυβος βάθους έξω από το μαγαζί ήταν μεγάλος λόγω υψηλής κυκλοφοριακής κίνησης. Ο θόρυβος βάθους μετρήθηκε για είκοσι δευτερόλεπτα και είχε τιμή 69,6 dBA , η οποία υπερκάλυπτε τον υπό μέτρηση θόρυβο που αναπαραγόταν από την ηχητική εγκατάσταση εντός του μαγαζιού. Η μέση τιμή της ισοδύναμης στάθμης θορύβου στην θέση μέτρησης εκτός του κέντρου διασκέδασης είχε τιμή 59,3 dBA και μετρήθηκε για 3 δευτερόλεπτα. Ο λόγος για τον οποίο η διάρκεια της μέτρησης ήταν τόσο μικρή, ήταν για να μπορέσουμε να μετρήσουμε τη ισοδύναμη στάθμη θορύβου την στιγμή που η στάθμη της κυκλοφοριακής κίνησης ελαττωνόταν (φανάρια).

Η μετρούμενη στάθμη στον προθάλαμο (θέση 2) σε σχέση με τη ισοδύναμη στάθμη θορύβου εντός του κέντρου ήταν 20.8 dB χαμηλότερη ($L_{eq \text{ θέση}1} - L_{eq \text{ θέση}2} = 96.9 - 76.1 = 20.8 \text{ dB}$). Όσον αφορά την μετρούμενη μέση τιμή της ισοδύναμης στάθμης θορύβου στην θέση μέτρησης εκτός του κέντρου διασκέδασης, θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη, διότι κανονικά θα έπρεπε να μετρηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, πράγμα το οποίο δεν ήταν εφικτό καθώς υπήρχε πίεση χρόνου. Αν η μέτρηση ήταν σωστή, για να πάρουμε την πραγματική τιμή της ισοδύναμης στάθμης θορύβου εκτός του

καταστήματος θα έπρεπε να αφαιρέσουμε τον θόρυβο βάθους από την μετρούμενη τιμή, βάση του τύπου:

$$10 \log(10^{0.1L_{eq}(\theta \acute{\epsilon}\sigma\eta 3)} - 10^{0.1L_{90}(\theta \acute{\epsilon}\sigma\eta 3)})$$

Όπου $L_{eq}(\theta \acute{\epsilon}\sigma\eta 3)$: Η τιμή της ισοδύναμης στάθμης θορύβου εκτός του καταστήματος και $L_{90}(\theta \acute{\epsilon}\sigma\eta 3)$: Ο θόρυβος βάθους κατά την διάρκεια της μέτρησης

Η τιμή της ισοδύναμης στάθμης θορύβου εκτός του καταστήματος είναι ικανοποιητική , καθώς υπερκαλύπτεται από το κυκλοφοριακό θόρυβο, η τιμή του οποίου είναι και εντός των επιτρεπόμενων ορίων θορύβου (βλέπε πίνακα 3.3). Από τα παραπάνω συμπεράνουμε ότι το κέντρο διασκέδασης συμμορφώνεται πλήρως με τη σχετική νομοθεσία .

5.7 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η βελτιστοποίηση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης είναι η διαδικασία διεξαγωγής ηλεκτρικών και ηλεκτροακουστικών μετρήσεων του προεγκατεστημένου ηχητικού συστήματος, η ανάλυση των δεδομένων και μετά η εφαρμογή των κατάλληλων διορθωτικών μέτρων, με σκοπό την επίτευξη του απαιτούμενου βαθμού απόδοσης από το σύστημα. Αυτές οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την εφαρμογή ψηφιακών συναρτήσεων επεξεργασίας και μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν την φυσική ρύθμιση των βαθμίδων των μεγάφωνων καθώς και την ακουστική διόρθωση του χώρου.

Το πρώτο βήμα είναι να μετρηθεί και να ρυθμιστεί κατάλληλα η σχέση ενίσχυσης ανάμεσα στις βαθμίδες ενίσχυσης του συστήματος (μίκτης, ενισχυτές ισχύος). Η κατάλληλη ρύθμιση της δομής ενίσχυσης (gain structure) έχει σαν αποτέλεσμα το ευρύ δυναμικό εύρος που μπορεί να παράγει το σύστημα χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων θορύβων.

Μεγαλύτερης σπουδαιότητας και πολυπλοκότητας, είναι η συμπεριφορά του συστήματος των ηχείων. Ανεξάρτητα από την μάρκα των ηχείων που χρησιμοποιούνται και το πόσο καλά είναι σχεδιασμένο το σύστημα, όταν εγκατασταθούν οι ξεχωριστές βαθμίδες των ηχείων, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με έναν τρόπο ο οποίος δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί με ακρίβεια. Οι αλληλεπιδράσεις μπορεί να είναι με τα όρια του διπλανού δωματίου και με τον ακουστικό χώρο στον οποία είναι εγκαταστημένα τα ηχεία. Για να αντιμετωπιστούν τα ιδιαίτερα προβλήματα που έχει ο κάθε χώρος, χρησιμοποιούνται συστήματα μέτρησης προηγμένης τεχνολογίας και μετά η σχολαστική ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν από τις μετρήσεις και των ανωμαλιών που μπορεί να παρατηρούνται. Από την ανάλυση των μετρήσεων, προσδιορίζονται οι αιτίες που δημιουργούν τα τυχόν προβλήματα και μετά τα πιο κατάλληλα διορθωτικά μέτρα που μπορούν να εφαρμοστούν.

Κάτι που θα έπρεπε ακόμα να τονίσουμε ότι δεν μπορούμε να βασιστούμε στο αισθητήριο της ακοής για να εκτιμήσουμε μια ηλεκτροακουστική μελέτη. Ενώ η ακρόαση είναι σίγουρα ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στην βελτιστοποίηση των ηχητικών συστημάτων, το ανθρώπινο αισθητήριο ακοής δεν είναι ικανό να ακούσει τα στενού εύρους και χρονικά σχετιζόμενα ακουστικά φαινόμενα που δημιουργούνται στα συστήματα ηχείων. Μόνο με εξελιγμένης τεχνολογίας συστήματα μέτρησης μπορούμε να δούμε τι πραγματικά συμβαίνει σε ένα ηλεκτροακουστικό σύστημα και μετά να παρατηρήσουμε (συμπεριλαμβανομένης και της ακρόασης) αν τα διορθωτικά μέτρα που λάβαμε έχουν πετύχει τον στόχο τους. Ακόμα θα πρέπει να δούμε πως συμπεριφέρεται το ηλεκτροακουστικό σύστημα όταν στο χώρο υπάρχει ακροατήριο καθώς αλλάζει η ακουστική συμπεριφορά του χώρου.

Δυστυχώς μετρήσεις κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του κέντρου διασκέδασης με την παρουσία ακροατηρίου, δεν μπόρεσαν να γίνουν. Παρόλα αυτά η υποκειμενική αίσθηση που είχαμε κατά την αναπαραγωγή προηχογραφημένου ηχητικού υλικού από το σύστημα, το οποίο ήταν ρυθμισμένο να λειτουργεί στην τυπική στάθμη που παίζει όταν το κέντρο λειτουργεί κανονικά, ήταν ότι αυτό ήταν αρκετά καθαρό χωρίς να έχει πρόβλημα στις μπάσες συχνότητες. Όσον αφορά την στάθμη αναπαραγωγής της μουσικής στον χώρο, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ήταν αρκετά δυνατά χωρίς όμως να φτάνει σε ενοχλητικά επίπεδα

Στην διαδικασία των μετρήσεων λάβαμε υπόψη μας τον χρόνο αντήχησης, την συχνотική απόκριση και τις ηχητικές στάθμες για την υπάρχουσα χωροθέτηση των στοιχείων. Για πιο ακριβή αποτελέσματα θα έπρεπε επιπλέον να εξεταστεί η επίδραση των φαινομένων όπως οι διακριτές ανακλάσεις, οι φασικές διαφορές και τα κυματικά φαινόμενα, των οποίων ο μαθηματικός υπολογισμός είναι πολύπλοκος και στις μετρήσεις που κάναμε αποφεύχθηκε λόγω απλοποίησης. Ο συνυπολογισμός αυτών των φαινομένων δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος, αφού το ποσοστό επίδρασής τους μεταβάλλεται ανάλογα με τις διαστάσεις και τα ακουστικά χαρακτηριστικά του χώρου, την χωροθέτηση των στοιχείων της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης και την συχνότητα του μεταδιδόμενου σήματος. Με βάση τα παραπάνω και αυτά που προβλέπει η θεωρία προτείνεται βελτιστοποίηση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης με:

1. Μελέτη και δημιουργία σύνθετου μοντέλου με χρήση προγράμματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, που να λαμβάνει υπόψη τις διακριτές ανακλάσεις και να υπολογίζει και τη φασική πληροφορία.
2. Μελέτη και δημιουργία σύνθετου μοντέλου με χρήση προγράμματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, που να λαμβάνει υπόψη τα κυματικά φαινόμενα, ιδίως στις χαμηλές συχνότητες που συνήθως παρουσιάζεται πρόβλημα.

Κάποια από τα διορθωτικά μέτρα που συνήθως λαμβάνονται μετά την ανάλυση των μετρήσεων και των ανωμαλιών που παρατηρούνται, είναι τα παρακάτω:

1. Ακουστική επέμβαση στον χώρο όσον αφορά τα υλικά και τους συντελεστές μέσης ηχοαπορρόφησης αυτών, τις αντανακλαστικές επιφάνειες και τους διαχυτές.

2. Αλλαγή χωροθέτησης των ηχείων και της στόχευσης τους.
3. Χρήση εξοπλισμού υψηλότερης πιστότητας για ελαχιστοποίηση παραμορφώσεων ή μη γραμμικότητας του συστήματος.

Θεωρούμε ότι η βελτιστοποίηση της ηχητικής εγκατάστασης έχει ολοκληρωθεί, όταν υπάρχει όσον πιο δυνατόν ομοιόμορφη κάλυψη στις θέσεις ακρόασης και το προηχογραφημένο ηχητικό υλικό μπορεί να αναπαράγεται με πιστότητα και ακρίβεια, εκμεταλλευόμενο όλο το δυναμικό εύρος του συστήματος χωρίς παραμορφώσεις και θορύβους.

5.8 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ – ΥΓΕΙΑΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

5.8.1 Γενικά:

Η αντιμετώπιση του προβλήματος του θορύβου στηρίζεται αφ' ενός στην ύπαρξη νομοθεσίας (νόμοι, υπουργικές αποφάσεις, προεδρικά διατάγματα) για τον περιορισμό του θορύβου και αφ' εταίρου στις προδιαγραφές (EN, ΕΛΟΤ, ISO, DIN κ.α.), που η τήρησή τους περιορίζει τον θόρυβο.

Τρεις είναι οι δράσεις για την εξασφάλιση της επιτυχίας:

- Πραγματοποίηση εκτίμησης των κινδύνων.
- Λήψη μέτρων για την πρόληψη ή τον έλεγχο των κινδύνων.
- Τακτική παρακολούθηση και επανεξέταση της αποτελεσματικότητας των ισχυόντων μέτρων.

Καθένα από αυτά αναλύεται λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

5.8.2 Διεξαγωγή εκτίμησης των κινδύνων:

Πριν από τη λήψη οποιωνδήποτε μέτρων πρόληψης, είναι αναγκαίο να εκτιμηθούν οι κίνδυνοι που διατρέχουν οι εργαζόμενοι εξαιτίας του θορύβου, συμπεριλαμβανομένης της πραγματοποίησης μετρήσεων όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο. Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος εκτίμησης των κινδύνων εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες στον χώρο εργασίας (π.χ. τύπος, διάρκεια και επίπεδο έκθεσης) και μπορεί να περιλαμβάνει δειγματοληπτική εξέταση της ατομικής έκθεσης των εργαζομένων.

- Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να προσδιορίζουν τους διάφορους κινδύνους που συνδέονται με το θόρυβο. Για παράδειγμα, μήπως κάποια μέλη του προσωπικού εκτίθενται περισσότερο σε

δυνατό θόρυβο σε σχέση με άλλα, με αποτέλεσμα να κινδυνεύουν από ενδεχόμενη απώλεια της ακοής; Ή μήπως ο θόρυβος του περιβάλλοντος (θόρυβος βάθους) σε διάφορα τμήματα της επιχείρησης δυσχεραίνει την επικοινωνία του προσωπικού, αυξάνοντας τους κινδύνους ατυχημάτων; Ή ίσως φύση του θορύβου συμβάλει στην αύξηση του άγχους στην εργασία;

- Ακόμα θα πρέπει να εκτιμάται πώς επηρεάζεται κάθε κατηγορία εργαζομένων, μεταξύ άλλων το έκτακτο προσωπικό και το προσωπικό μερικής απασχόλησης, καθώς και οι εργαζόμενοι με ειδικές ανάγκες, όπως οι έγκυες εργαζόμενες.
- Θα πρέπει να γίνεται αποτίμηση των ισχυόντων μέτρων ελέγχου για τα επίπεδα του θορύβου, το πόσο δηλαδή ικανοποιητικά είναι.
- Τέλος θα πρέπει να γίνεται καταγραφή των πορισμάτων και ανακοίνωση τους στους εργαζόμενους, εξηγώντας παράλληλα τη σημασία τους, τους δυνητικούς κινδύνους, καθώς και θέματα που πρέπει να εξεταστούν.

5.8.3 Λήψη μέτρων για την πρόληψη ή τον έλεγχο των κινδύνων:

i) Εξάλειψη των πηγών του θορύβου όπου είναι εφικτό.

Για να υπάρξει ουσιαστική πρόληψη οι επιχειρήσεις θα πρέπει να θεσπίσουν πολιτική προμήθειας εξοπλισμού εργασίας «αθόρυβου ή χαμηλού θορύβου». Αρκετά κράτη μέλη διαθέτουν βάσεις δεδομένων για τον εξοπλισμό εργασίας, που μπορεί να βοηθήσει σε αυτή τη διαδικασία. Ο τρόπος εγκατάστασης του εξοπλισμού και ο χώρος τοποθέτησής του μπορεί επίσης να διαφοροποιήσει σημαντικά την έκθεση των εργαζομένων στο θόρυβο, καθώς και ο σχεδιασμός του εργασιακού περιβάλλοντος.

ii) Συλλογικά μέτρα ελέγχου.

Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατός ο έλεγχος του θορύβου μιας πηγής, η έκθεση των εργαζομένων σε θόρυβο μπορεί να μειωθεί μέσω των ακόλουθων μέτρων:

- Στο χώρο εργασίας – Ηχοαπορρόφηση σε μία αίθουσα μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη μείωση της έκθεσης των εργαζομένων στο θόρυβο.
- Στην οργάνωση της εργασίας – Χρήση μεθόδων και προτύπων εργασίας που μειώνουν την έκθεση των εργαζομένων.
- Στον εξοπλισμό εργασίας — Ο τρόπος και ο τόπος εγκατάστασης του εξοπλισμού και του εργασιακού χώρου μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την έκθεση των εργαζομένων στο θόρυβο

iii) Μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ).

Τα μέσα ατομικής προστασίας(ΜΑΠ) για την ακοή, όπως τα ωτοβύσματα και οι ωτοασπίδες, πρέπει να χρησιμοποιούνται ως ύστατη λύση, αφού έχει προηγουμένως καταβληθεί κάθε δυνατή προσπάθεια για την εξάλειψη ή τη μείωση του θορύβου. Στα θέματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χρήση ΜΑΠ περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Πρέπει να διασφαλίζεται ότι τα ΜΑΠ για την ακοή που επιλέγονται είναι κατάλληλα για το είδος και τη διάρκεια του θορύβου — πρέπει επίσης να είναι συμβατά με τον υπόλοιπο εξοπλισμό προστασίας.
- Οι εργαζόμενοι πρέπει να έχουν τη δυνατότητα επιλογής κατάλληλων ΜΑΠ για την ακοή προκειμένου να καταλήξουν στα πιο άνετα.
- Τα ΜΑΠ πρέπει να φυλάσσονται και να συντηρούνται κατάλληλα.
- Οι εργαζόμενοι πρέπει να εκπαιδεύονται στην ορθή χρήση, αποθήκευση και συντήρηση των μέσων ατομικής προστασίας για την ακοή.

Τα μέσα ατομικής προστασίας διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) Ωτοασπίδες.

Οι ωτοασπίδες είναι κατασκευασμένες από εύπλαστο υλικό (κερί, σιλικόνη) και εισάγονται στον ακουστικό πόρο. Έχουν τα πλεονεκτήματα του μικρού μεγέθους είναι οικονομικές, άνετες για χρήστες σε μικρούς χώρους, παρέχουν όμως περιορισμένη προστασία, καταστρέφονται από την συχνή χρήση και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν υπάρχει φλεγμονή στο αυτί του εργαζόμενου.

β) Κάψες.

Οι κάψες εφαρμόζονται πάνω στα αυτιά, είναι πιο άνετες και είναι περισσότερο αποδεκτές από τους εργαζόμενους. Τα μειονεκτήματα είναι το κόστος, ο σχετικά μεγάλος όγκος και το ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με άνεση σε ζεστούς χώρους.



Κάψα



Κάψα



Ωτοασπίδες

Σχήμα 5.2 : Προστατευτικά μέτρα.

iv) Ενημέρωση και κατάρτιση.

Οι εργαζόμενοι πρέπει να λαμβάνουν ενημέρωση και κατάρτιση προκειμένου να κατανοήσουν και να μάθουν να αντιμετωπίζουν τους κινδύνους που σχετίζονται με το θόρυβο. Η ενημέρωση και η κατάρτιση πρέπει να καλύπτουν τα εξής:

- Τα είδη των κινδύνων, καθώς και τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την εξάλειψη ή τη μείωσή τους.
- Τα αποτελέσματα της εκτίμησης των κινδύνων, με παράλληλη εξήγηση της σημασίας τους και των δυνητικών κινδύνων.
- Την ορθή χρήση των προστατευτικών μέσων της ακοής, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού ατομικής προστασίας.
- Τις μεθόδους εντοπισμού και αναφοράς των συμπτωμάτων των ακουστικών βλαβών.
- Τις περιστάσεις υπό τις οποίες οι εργαζόμενοι δικαιούνται επίβλεψης της υγείας τους και το σκοπό αυτής της επίβλεψης.

5.8.4 Τακτική παρακολούθηση των κινδύνων και των μέτρων ελέγχου.

Ανάλογα με τον χώρο εργασίας και την έκθεση σε θόρυβο, μπορεί να απαιτείται επίβλεψη της υγείας και παρακολούθηση του θορύβου. Η νομοθεσία παρέχει στους εργαζομένους το δικαίωμα της κατάλληλης επίβλεψης της υγείας σε ορισμένες περιπτώσεις, περιλαμβανομένου του προληπτικού ακουομετρικού ελέγχου. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να τηρούνται ατομικοί ιατρικοί φάκελοι και να παρέχεται ενημέρωση στους

εργαζομένους. Οι γνώσεις που αποκομίζονται από την επίβλεψη πρέπει να αξιοποιούνται για την επανεξέταση των κινδύνων και των μέτρων ελέγχου.

5.8.5 Ιατρική πρόληψη.

Αυτή περιλαμβάνει :

- Την ενημέρωση - από τον Γιατρό Εργασίας - των εργαζομένων που εκτίθενται σε ψηλά επίπεδα θορύβου - άνω των 85 dB(A) - για τους κινδύνους που διατρέχει, η ακοή τους και η υγεία τους γενικότερα.
- Την προληπτική ιατρική εξέταση του εργαζομένου πριν την οριστική τοποθέτηση του, σε θέση εργασίας που συνεπάγεται, έκθεση σε ισχυρό θόρυβο, μετά από χαρτογράφηση του χώρου και ακριβή προσδιορισμό της ηχοέκθεσης με τις απαραίτητες για τον σκοπό αυτό μετρήσεις. Αυτή η ιατρική εξέταση περιλαμβάνει: Λήψη Ιστορικού - Πλήρη κλινική εξέταση και ωτοσκόπηση – Ακοομετρικό έλεγχο, με τονικό ακοογράφημα στον εργαζόμενο.
- Τον υπολογισμό της δόσης του θορύβου που δέχεται ο συγκεκριμένος εργαζόμενος, στη συγκεκριμένη θέση εργασίας προκειμένου να διαπιστωθεί, τυχόν υπέρβαση των θεσπισμένων - κάθε φορά - οριακών τιμών έκθεσης στο θόρυβο.
- Την υποβολή των εργαζομένων σε περιοδικό έλεγχο, με την διενέργεια επανειλημμένων ακοογραφημάτων. Η συχνότητα αυτών των εξετάσεων μπορεί να είναι κάθε 12 μήνες ή 5 χρόνια εφόσον η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζομένου είναι μικρότερη από 87dB(A).
- Την τήρηση σχετικών αρχείων από τον Γιατρό εργασίας για την διαχρονική εκτίμηση των αποτελεσμάτων.
- Την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την γνωστοποίηση τους στους ενδιαφερόμενους εργαζομένους κατατάσσοντας τους με βάση τα αποτελέσματα, σ' ένα από τα παρακάτω στάδια της επαγγελματικής νευροαισθητικής βαρηκοίας.
 - ΣΤΑΔΙΟ 0 απώλεια μικρότερη των 20 dB.
 - ΣΤΑΔΙΟ 1 απώλεια από 20 - 40 dB.
 - ΣΤΑΔΙΟ 2 απώλεια από 40 - 60 dB.
 - ΣΤΑΔΙΟ 3 απώλεια ίση ή μεγαλύτερη από 60 dB .

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνα 1:



Μέτρηση ισοδύναμης στάθμης θορύβου

Εικόνα 2:



Ενισχυτές ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης

Εικόνα 3:

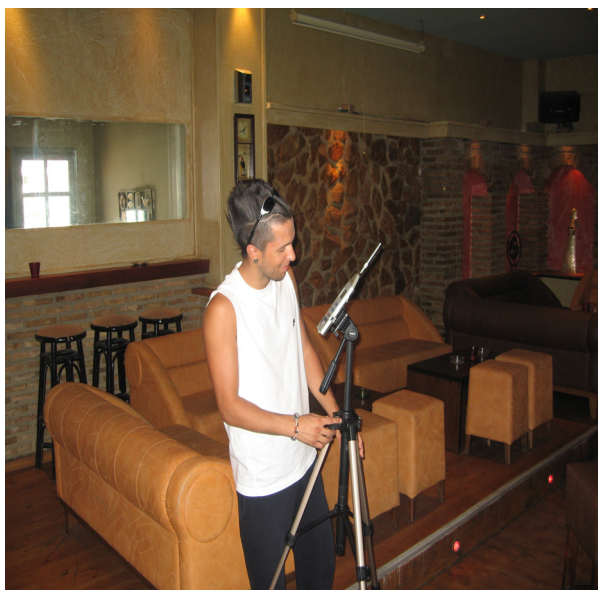


Επιμέρους βαθμίδες της ηχητικής εγκατάστασης

Εικόνα 4: Δορυφόροι ηχητικής εγκατάστασης



Εικόνα 5:



Θέση 3 των μετρήσεων

Εικόνα 6:



Sub ηχητικής εγκατάστασης

Εικόνα 7:



Θέση 1 των μετρήσεων

Εικόνα 8:



Θέση 4 των μετρήσεων

Εικόνα 9:



Θέση 5 των μετρήσεων

Εικόνα 10:



Θέση 2 των μετρήσεων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **F. Alton Everest, *Master Handbook of Acoustics*: Mc Graw-Hill Professional, 2001**
2. **Philip McCord Morse - K. Uno Ingard. *Theoretical Acoustics*: Princeton University Press, 1986**
3. **Leo L. Beranek, *Acoustics*: American Institute of Physics, 1986**
4. **Δημήτρης Σκαρλάτος, *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, Εκδόσεις Φιλομάθεια, 2003**
5. **Sound
<http://en.wikipedia.org/wiki/Sound>
accessed 19/ 02/ 2008, 21:06].**
6. **The Physics of Sound
<http://library.thinkquest.org/19537/Physics.html>
[accessed 21/ 02/ 2008, 11:23].**
7. **Gary Davis - Ralph Jones, *The Sound Reinforcement Handbook*, Hal Leonard, 1988**
8. **Don Davis – Carolyn Davis, *Sound System Engineering*, Focal Press, 1997**
9. **Thomas D. Rossing – F. Richard Moore - Paul A. Wheeler, *The Science of Sound*, Addison Wesley, 2002**
10. **Tony Moscal, *Sound Check: The Basics of Sound and Sound Systems*, Hal Leonard, 1994**

11. Sally M. Walker, *Sound*, Lerner Publications, 2005

12. Loudspeaker
<http://en.wikipedia.org/wiki/Loudspeaker>
[accessed 9/ 01/ 2008, 14:45].

13. Amplifier
<http://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier>
[accessed 12/ 01/ 2008, 17:56].

14. ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ
<http://2tee-zograf.att.sch.gr/ergas1/soundpol.htm>
[accessed 28/ 02/ 2008, 10:40].

15. Ηχορύπανση: Οι επιπτώσεις για την υγεία
http://www.medlook.net/article.asp?item_id=1063
[accessed 28/ 02/ 2008, 14:04].

16. Noise Pollution
<http://www.noise-pollution.gr/NOISE-POLLUTION-NoiseEL.html>
accessed 1/ 03/ 2008, 12:19].

17. ΟΔΗΓΙΑ 2003/10/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 6ης Φεβρουαρίου 2003 περί των ελάχιστων προδιαγραφών υγείας και ασφάλειας για την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος) (17η ειδική οδηγία κατά την έννοια του άρθρου 16 παράγραφος 1 της οδηγίας 89/391/ΕΟΚ)

18. ΕΛΟΤ, Ακουστική-Αξιολόγηση της έκθεσης στον επαγγελματικό θόρυβο για την προστασία ακοής των εργαζομένων.

19. Μίνως Φιτσανάκης, *Mastering*, ΤΕΙ Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, 2005

