



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηρακλείου
Τμήμα: Μηχανολογίας
Πτυχιακή Άσκηση
Θέμα: Θόρυβος - Ηχομόνωση - Υλικά
εφαρμογών



Όνοματεπώνυμο: Ζυμβρακάκης Γεώργιος
Επιβλέπων Καθηγητής : κ.Σαββάκης Κωνσταντίνος

Ηράκλειο 2012

.....Ο θόρυβος είναι μία λέξη, της οποίας η ακουστική εικόνα είναι πολύ ασαφής. Από τη μια μεριά ο ήχος είναι κατανοητός δεδομένου ότι προκαλεί ένα συναίσθημα, όμως το ίδιο το συναίσθημα μπορεί να είναι ακατανόητο και απόμακρο. Αλλά είναι ο θόρυβος που πραγματικά καταλαβαίνουμε. Είναι μόνο ο θόρυβος που μυστικά επιζητούμε, γιατί η μεγαλύτερη αλήθεια συνήθως βρίσκεται πίσω από τη μεγαλύτερη αντίσταση. Ο ήχος είναι όλα μας τα όνειρα για τη μουσική. Ο θόρυβος είναι τα όνειρα της μουσικής για εμάς.....

(Feldman)

***Αφιερωμένη στους Γονείς μου
που μου σταθήκανε όλα αυτά τα χρόνια !***

Πρόλογος

Η παρούσα Πτυχιακή εργασία με τίτλο «Θόρυβος - Ηχομόνωση -Υλικά εφαρμογών» περιέχει μία σύνδεση πολλών επιστημών όπως η φυσική, η μουσική - ακουστική και φυσικά η μηχανολογία και η τεχνολογία των υλικών . Μπορεί να βοηθήσει άτομα όλων αυτών των κλάδων προκειμένου να κατανοήσουν κάποιους όρους αλλά και να διευρύνουν τις γνώσεις τους.

Ανέλαβα την παρούσα Πτυχιακή εργασία τον Οκτώβριο του 2012. Επιβλέπων της Πτυχιακής μου ήταν ο Καθηγητής του Γενικού Τμήματος θετικών Επιστημών του ΤΕΙ Κρήτης κ. Σαββάκης Κωνσταντίνος

Με την εργασία αυτή ολοκληρώνεται η φοίτηση μου στο τμήμα Μηχανολογίας .Το κυριότερο είναι ότι πλαισιώνεται από τις ανεκτίμητες εμπειρίες που αποκόμισα τα χρόνια των σπουδών μου, αποτελώντας ουσιαστικά τον επίλογο της φοίτησής μου στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Ξεκινώντας την παρουσίαση της Πτυχιακής μου εργασίας αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που με βοήθησαν να φέρω εις πέρας το έργο που μου ανατέθηκε. Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος που με δίδαξαν, μου μετέδωσαν τις γνώσεις τους και μου έδωσαν τη δυνατότητα να τις συνθέσω ώστε να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Σαββάκη Κωνσταντίνο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα πτυχιακή εργασία, βοηθώντας με να γνωρίσω το αντικείμενο αυτό, αποκτώντας γνώσεις μέσα από τη συμβολή του καθώς, επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας σχετικά με τις αργοπορίες μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την απέραντη ευγνωμοσύνη και αγάπη στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την κατανόηση και τη συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ηράκλειο 2012
Ζυμβρακάκης Γεώργιος

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 1: Ήχος-Θόρυβος	10
1.1) Κύματα- Ηχητικά κύματα	14
1.2) Χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων	16
1.3) Στάθμη ηχητικών κυμάτων σε decibel	23
1.4) Πρόσθεση των ήχων	25
1.5) Το ανθρώπινο αυτί	26
1.6) Ακουστότητα των ήχων	30
Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές ηχομόνωσης	32
2.1) Ηχομόνωση με ανάκλαση ήχου (απομόνωση του χώρου)	35
2.2) Ηχομόνωση με απορρόφηση ήχου	37
2.2.1) Τα ηχοαπορροφητικά υλικά	38
2.3) Ηχομόνωση κτιριακών κατασκευών	42
2.3.1) Υλικά ηχομόνωσης	43
2.3.2) Υλικά Κατασκευής	46
2.4) Ηχομόνωση μηχανολογικών κατασκευών	47
2.4.1) Έλεγχος	48
2.4.2) Μείωση του θορύβου στην πηγή	49
2.4.3) Χρήση κλωβών και φραγμάτων	50
2.4.4) Σιγαστήρες	51
Κεφάλαιο 3: Μέτρηση του θορύβου	53
3.1) Όργανα μέτρησης του θορύβου	54
3.2) Μέτρηση μεταβαλλόμενου θορύβου	56
3.3) Νομοθεσία και θόρυβος	57
3.3.1) Πράσινη βίβλος	58
3.3.2) Γενική πολιτική κατά του θορύβου	60
3.3.3) Η κοινοτική νομοθεσία για τον θόρυβο	61
3.3.4) Αντιμετώπιση του θορύβου στην Ελλάδα	63

Κεφάλαιο 4: Υλικά και εφαρμογές ηχορύπανσης	
4.1) Ηχοπετάσματα	69
4.2) Γενικές αρχές τοποθέτησης ηχοπετασμάτων	73
4.3) Η στατική των ηχοπετασμάτων - Φέρων οργανισμός και θεμελίωση	74
Κεφάλαιο 5: Ο θόρυβος και η ψυχολογία	77
5.1) Ψυχολογικές συνέπειες του θορύβου	78
5.2) Χαρακτηριστικά του θορύβου	79
5.3) Οι θέσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με τον θόρυβο	82
<u>Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία</u>	<u>83</u>



Περιεχόμενα Εικόνων

Κεφάλαιο 1: Ήχος-Θόρυβος

1.1) Ο ήχος στη μορφή κύματος	10
1.2) Η επικοινωνία μέσω του ήχου	11
1.3) Η μετάδοση των ηχητικών κυμάτων	14
1.4) Ο ήχος είναι ένα κύμα που μεταφέρει ενέργεια και όχι ύλη	15
1.5) Η ένταση του ήχου	16
1.6) Απεικόνιση της συχνότητας	18
1.7) Η ταχύτητα διάδοσης εκπέμπεται προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις	19
1.8) Διάγραμμα που μας δείχνει το πλάτος του ηχητικού κύματος	20
1.9) Διάγραμμα Συχνότητας - Έντασης	21
1.10) Διάγραμμα Συχνότητας - Έντασης	21
1.11) Διάφορες ταχύτητες του ήχου ανάλογα με το μέσο διάδοσης	22
1.12) Ένδειξη ηχόμετρο σε decibel	24
1.13) Το εσωτερικό του αυτιού	26
1.14) Τα ηχητικά σήματα που λαμβάνονται από το εσωτερικό του αυτιού.	27
1.15) Ο ήχος που μπορεί και αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος	29

Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές ηχομόνωσης

2.16) Σχεδιάγραμμα διάδοσης ηχητικού κύματος σε γειτονικό χώρο ευθύς τρόπος διάδοσης πλευρικός τρόπος διάδοσης	32
2.17) Είδη μετάδοσης ήχων Η τελική επίδραση των τριών τρόπων μετάδοσης του ήχου είναι ακουστικά ηχητικά κύματα του αέρα.	33
2.18) Διάφορα είδη από υλικά ηχομόνωσης	34
2.19) Διάφορα είδη από υλικά ηχομόνωσης	34
2.20) Διάφορα είδη από υλικά ηχομόνωσης	34
2.21) Η ανάκλαση και η απορρόφηση του ήχου	35
2.22) Μορφές απορρόφησης του ήχου.	36
2.23) Μορφές απορρόφησης του ήχου.	36
2.24) Μορφές απορρόφησης του ήχου.	36
2.25) Υλικό απορρόφησης του ήχου	37
2.26) Υλικά απορρόφησης του ήχου	39
2.27) Τα απορροφητικά υλικά: ξύλο	40
2.28) Τα απορροφητικά υλικά: λεπτή ελαστική μεμβράνη	40

2.29) Τα απορροφητικά υλικά: ύφασμα	40
2.30) Τα απορροφητικά υλικά: πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά.	40
2.31) Ηχομόνωση της σκεπής ενός σπιτιού	42
2.32) Κάποια ενδεικτικά στοιχεία για υλικά STC Ratings	44
2.33) Ο Θόρυβος που δημιουργείται μέσω μιας ανεμογεννήτριας	48
2.34) Φωτογραφική απεικόνιση Φραγμάτων του ήχου	50
2.35) Φωτογραφία σιγαστήρων	51

Κεφάλαιο 3: Μέτρηση του θορύβου

3.36) Φωτογραφία ηχόμετρου	53
3.37) Το ηχόμετρο Lutron SL4010	55
3.38) Η ηχομόνωση ενός χώρου	59
3.39) Οι διάφορες εντάσεις στην καθημερινή μας ζωή	60
3.40) Οι ζώνες των decibel	64
3.41) Χαρτογράφηση και μεθοδολογία αξιολόγησης του ήχου	66
3.42) Χαρτογράφηση και μεθοδολογία αξιολόγησης του ήχου	67

Κεφάλαιο 4: Υλικά και εφαρμογές ηχορύπανσης

4.43) Μορφή ηχοπετάσματος	69
4.44) Ηχοπετάσματα απορρόφησης	70
4.45) Η πτώση του ήχου με χρήση ηχοπετασμάτων	71
4.46) Στην παραπάνω εικόνα δίνονται τυπικά αποτελέσματα απομείωσης του θορύβου για απορροφητικά ηχοπετάσματα διαφόρων συντελεστών απορροφητικότητας α .	72
4.47) Στην παραπάνω εικόνα δίνεται η επιπλέον απομείωση που επιτυγχάνεται από διάφορες μορφές, σε σχέση με απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα ύψους 2 m. Παρατηρείται μία μέση γενική απομείωση της τάξης των 2,5-3,5 dB, που αντιστοιχεί με αύξηση του ύψους του ηχοπετάσματος.	73
4.48) : Η μορφή ενός ηχοπετάσματος	75

Κεφάλαιο 5: Ο θόρυβος και η ψυχολογία

5.49) Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε είδη θορύβων	77
5.50) Η ένταση του θορύβου	80
5.51) Η μεταφορά των ηχητικών κυμάτων στον ανθρώπινο εγκέφαλο	81
5.52) Πίνακας: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την ένταση του θορύβου σε διάφορους περιβάλλοντες χώρους	82

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία θα μελετήσουμε έννοιες όπως: ο ήχος, ο θόρυβος , θα δούμε κάποιες βασικές αρχές ηχομόνωσης, μέτρησης θορύβου, όπως επίσης και υλικά που εφαρμόζονται στην ηχορύπανση. Θα δούμε πως συμβάλουν αυτές οι έννοιες γενικότερα αλλά και τι σημαίνουν σύμφωνα με την Μηχανολογία. Θα αναλύσουμε επίσης τα ηχητικά κύματα σύμφωνα με τους νόμους που ισχύουν.

Στην ακουστική, ο ήχος ορίζεται ως «...η μηχανική διαταραχή που αποδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. ελαστικότητας, εσωτερικής τριβής) και έχει τέτοιο χαρακτήρα ώστε μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.» (Σκαρλάτος 2003, σελ.27)

Γενικότερα θα εστιάσουμε στην ηχομόνωση, καθώς αυτή μας παρέχει μια ηρεμία και μία ψυχική ισορροπία. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τύποι και διαγράμματα που μας βοηθάνε να μειώσουμε τον θόρυβο με συγκεκριμένο τύπο ασκήσεων.

Πραγματοποιήθηκε ενδελεχής έρευνα για την εύρεση κατάλληλων σημειώσεων όπως και επικοινωνία με βιβλιοθήκες άλλων σχολών για την ανταλλαγή πληροφοριών που θα βοηθήσουν στην έρευνα και την επιλογή αυτών .

Η αρχική σκέψη ήταν να μελετήσουμε τον ήχο και τα χαρακτηριστικά του και στη συνέχεια να δούμε πως μπορούμε να παρέχουμε μια καλή ηχομόνωση βασίζοντας σε συγκεκριμένους τύπους μετρήσεων του ήχου . Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ηχομόνωση είναι πολύ σημαντικά διότι χωρίς αυτά δεν θα έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του θορύβου, είναι η παρεμβολή ενός πετάσματος, δηλαδή μιας στερεής συμπαγούς επιφάνειας κάποιου ηχομονωτικού υλικού μεταξύ πηγής και δέκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάκλαση του θορύβου από την πλευρά της πηγής και τη δημιουργία ενός είδους ηχητικής σκιάς από την άλλη πλευρά, του δέκτη .

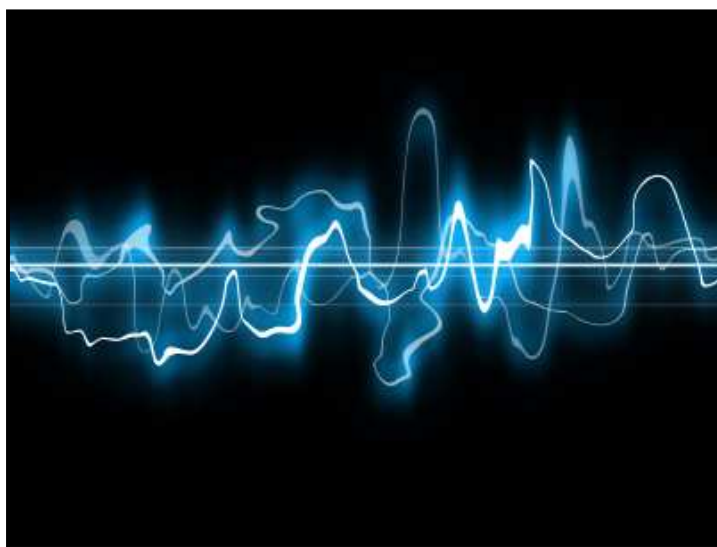
Κεφάλαιο 1: Ήχος-Θόρυβος



1) Ήχος – Θόρυβος

Ο ήχος

Ο ήχος είναι ένα διανυσματικό μέγεθος που ορίζεται ως ο μέσος χρόνος της καθαρής ηχητικής ενέργειας μέσω μίας μονάδας της επιφάνειας σε μια περιοχή, οι διαστάσεις της ηχητικής έντασης, είναι η ενέργεια ανά μονάδα του χρόνου και ανά μονάδα της επιφάνειας ($W m^2$). Ηχητική πίεση είναι ένα από τα πιο κοινά μεγέθη που μπορεί κανείς να μετρήσει σε θέματα ακουστικής, αλλά δεν δίνει πλήρεις πληροφορίες σχετικά με την ηχητική ενέργεια (ανάλογα με τον τομέα).



Εικόνα 1: Ο ήχος στη μορφή κύματος

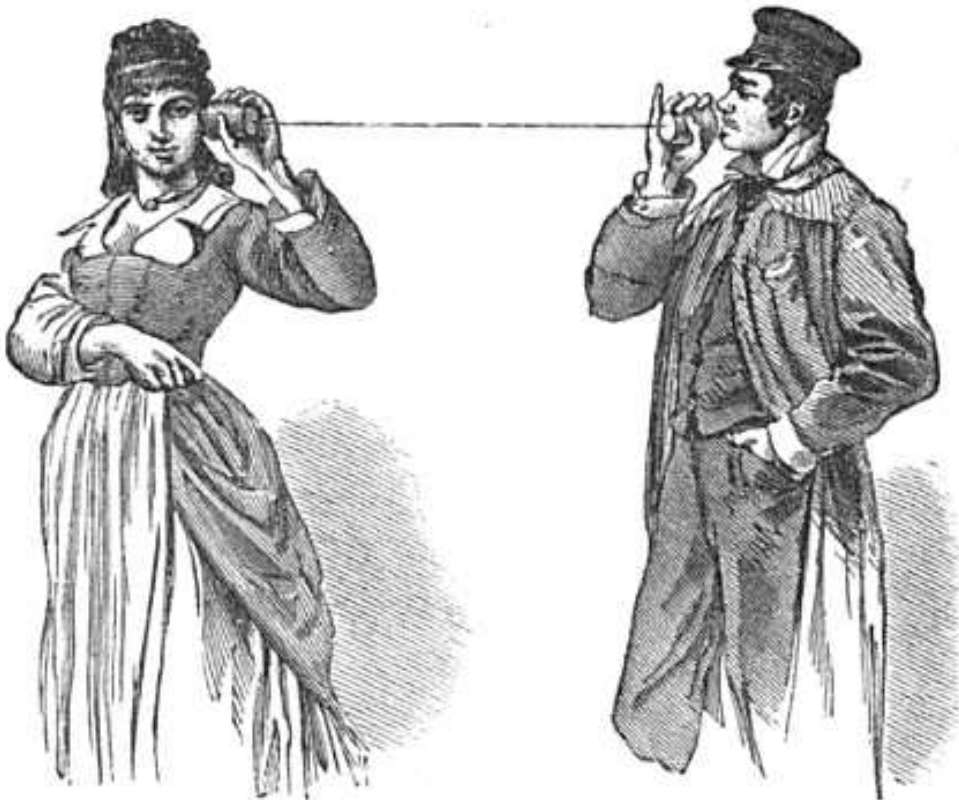
Πηγές εκπέμπουν ήχο ακουστικής ισχύος και δημιουργούν ενέργεια, παράγεται δηλαδή ενέργεια και μεταφέρεται ώσπου να διαλυθεί. Η ενέργεια μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγέθη, το πρώτο είναι η δυναμική ενέργεια, αυτό το μέγεθος σε ένα ηχητικό πεδίο είναι η πίεση και η δεύτερη είναι η κινητική ενέργεια, αυτό το μέγεθος σε ένα ηχητικό πεδίο είναι η ταχύτητα των σωματιδίων. Αν προσθέσει κανείς τις δύο αυτές ενέργειες το αποτέλεσμα είναι η ακουστική ενέργεια, και δίνει όλες τις πληροφορίες της ενέργειας. Στην ακουστική, η ενέργεια είναι ένα από τα πιο σημαντικά μεγέθη που μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει, η ηχητική ισχύος είναι ανεξάρτητη από το πεδίο της μέτρησης.

Την πρώτη φορά που η ακουστική ήταν σε θέση να μετρήσει την ένταση ήχου ήταν κατά τη δεκαετία του 70, και η πρώτη εμπορική ένταση του ήχου μέσω ενός συστήματος μέτρησης ήταν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 80, αυτό σημαίνει ότι είναι μια σχετικά νέα μέτρηση. Το πρότυπο που εξηγεί πώς να εκτελεί αυτό το είδος των μετρήσεων δημοσιεύτηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 90. Οι εφαρμογές της ηχητικής έντασης είναι ένα πολύ ευρύ φάσμα, λόγω των χαρακτηριστικών της, έχει κάποια πλεονεκτήματα, όπως τη δυνατότητα να λάβει μια καλή μέτρηση της ισχύος μιας

πηγής ήχου, χωρίς την ανάγκη ειδικών αιθουσών, (Αντηχητικά δωμάτια ή δωμάτια αντήχησης).

Ο ήχος όπως είπαμε είναι μια μορφή ενέργειας, είναι παλμικές δονήσεις που δημιουργούνται από ένα οποιοδήποτε σώμα, όταν αυτό τεθεί από κάποια αίτια σε κίνηση, σε κραδασμό. Την κίνηση σε ένα σώμα, που βρίσκεται σε πλήρη ακινησία, σε αδράνεια, μπορεί να την προκαλέσει μια κρούση, μια νύξη, μια τριβή.

Τα ηχητικά κύματα, που ξεκινούν από τους παλμούς του ηχογόνου σώματος και μεταδίδονται σφαιρικά προς όλες τις κατευθύνσεις με αρκετά μεγάλη ταχύτητα μέσω του αέρα, αλλά και άλλων σωμάτων, φτάνουν και προσκρούουν στη μεμβράνη του ακουστικού μας τυμπάνου και θέτουν σε ενέργεια το μηχανισμό της ακοής. Οι δονήσεις αυτές, μετριασμένες από μηχανισμούς ειδικούς γι' αυτό το σκοπό, τους οποίους διαθέτει η εσωτερική κοιλότητα του αυτιού μας, καταλήγουν στο ακουστικό νεύρο, που κι αυτό με τη σειρά του αστραπιαία τις μεταφέρει στο εγκεφαλικό κέντρο της ακοής. Εκεί με ένα θαυμαστό τρόπο, που ακόμη δεν έχει απόλυτα εξιχνιαστεί, αυτό το ερέθισμα των παλμικών δονήσεων μετατρέπεται σε αίσθημα ακοής.



Εικόνα 2 : Η επικοινωνία μέσω του ήχου

Ο θόρυβος

*.....Οπουδήποτε κι αν βρισκόμαστε, αυτό που ακούμε είναι κυρίως θόρυβος. Όταν τον αγνοούμε, μας ενοχλεί. Όταν τον ακούμε προσεχτικά, τον βρίσκουμε συναρπαστικό. Τον ήχο ενός φορτηγού με πενήντα μίλια την ώρα. Στασιμότητα μεταξύ των σταθμών. Βροχή. Θέλουμε να αιχμαλωτίσουμε και να ελέγξουμε αυτούς τους ήχους, να τους χρησιμοποιήσουμε όχι σαν ηχητικά εφέ αλλά σαν μουσικά όργανα....
(Cage, J. 1937)*

Στην καθημερινότητα υπάρχουν τόσοι ήχοι τους οποίους θα ονομάζαμε θορύβους, που είναι δύσκολο να ορίσουμε τον θόρυβο σαν μία συγκεκριμένη ηχητική κατάσταση. Συνήθως αποκαλούμε θορύβους, τους ήχους που διαρκούν τόσο ώστε να μας κουράζουν είτε γιατί είναι μονότονοι είτε γιατί μας εκνευρίζει η χροιά τους, όπως είναι για παράδειγμα οι ήχοι των συναγερμών αυτοκινήτου. Επίσης τους ήχους που είναι σύντομοι αλλά ξαφνικοί και μας τρομάζουν, όπως είναι ο ήχος ενός πιάτου που σπάει. Γενικότερα στον δυτικοευρωπαϊκό πολιτισμό με τη λέξη θόρυβος στην καθομιλουμένη ονομάζουμε τους ήχους που μας ενοχλούν ή μας ταράζουν και ιδιαίτερα όσους έχουν μεγάλη ένταση.

Όμως οι πιο συχνοί «θόρυβοι» στη σύγχρονη καθημερινή ζωή, είναι ήχοι που η έντασή τους συνήθως είναι αρκετά χαμηλή. Το παράδοξο είναι, ότι αυτούς τους ήχους συνήθως τους αντιλαμβανόμαστε, αναζητούμε την πηγή τους και συνειδητοποιούμε ότι μας έχουν κουράσει, όταν πάψουν να υπάρχουν. Για παράδειγμα ο ήχος που παράγεται όταν λειτουργεί ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή όταν απλά είναι ενεργή η συσκευή της τηλεόρασης ή ακόμη ο ήχος των τζιτζικιών το καλοκαίρι.

Αναζητώντας έναν ορισμό για τη χρήση του όρου, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι κάθε θόρυβος είναι η συνήχηση μιας ηχητικής ποικιλίας χρωματισμών και εντάσεων. Ένα πλήθος συχνοτήτων που ακούγονται ταυτόχρονα αλλά γίνονται αντιληπτές σαν ένας ήχος, χωρίς να μπορούμε να προσδιορίσουμε τα συστατικά του.

Η αίσθηση που δημιουργούν οι θόρυβοι στον κάθε άνθρωπο διαφέρει, ανάλογα με τον τρόπο που τους αντιλαμβάνεται και από το αν τους αντιλαμβάνεται. Συνήθως η πρώτη αίσθηση που δημιουργεί ο θόρυβος στους ανθρώπους, σχετίζεται με την έννοια της αταξίας και της σύγχυσης. Όμως πιστεύω ότι αυτή είναι μία μόνο πλευρά της έννοιας του θορύβου, ενώ συνολικά εκφράζει την αίσθηση της φυσικής ισορροπίας.

Ερμηνεύοντας τον ορισμό του λευκού θορύβου στην ακουστική θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι θόρυβος είναι ένας ήχος χωρίς δεσπόζουσα συχνότητα στον οποίο όμως συνδυάζονται με διάφορους τρόπους, όλες οι συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Είναι δηλαδή τα ίδια τα χαρακτηριστικά του θορύβου που αντικατοπτρίζουν έναν συνδυασμό ισότητας και πολυμορφίας. Ο θόρυβος μοιάζει να είναι ο ήχος που αποτελείται από όλους τους ήχους που μπορούμε να ακούσουμε πραγματικούς ή φανταστικούς. Διαθέτοντας σαν πρώτη ύλη τον θόρυβο και με την τεχνολογία για εργαλείο μπορεί κανείς να παράγει οποιονδήποτε ήχο, υπαρκτό ή μη.

Στην ακουστική, ο ήχος ορίζεται ως «...η μηχανική διαταραχή που αποδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. ελαστικότητας, εσωτερικής τριβής) και έχει τέτοιο χαρακτήρα ώστε μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.» (Σκαρλάτος 2003, σελ.27)

Η κυματομορφή ενός απλού τόνου είναι περιοδική και ημιτονοειδής, ενώ στην περίπτωση του θορύβου μιλάμε για μη περιοδικά ηχητικά κύματα. Σε έναν σύνθετο ήχο η κυματομορφή είναι περιοδική αλλά όχι ημιτονοειδής, γιατί ο σύνθετος τόνος αποτελείται από μία θεμελιώδη συχνότητα και ένα σύνολο παράγωγων συχνοτήτων, υψηλότερων της θεμελιώδους. Στους σύνθετους τόνους των μουσικών οργάνων οι παράγωγες συχνότητες είναι συνήθως ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους και ονομάζονται αρμονικές συχνότητες. Ο συνολικός αριθμός συχνοτήτων, η ένταση της κάθε μιας, η κατανομή στο ακουστικό φάσμα και οι συσχετισμοί των φάσεων τους, αποτελούν το φάσμα συχνοτήτων του ήχου και καθορίζουν το σχήμα της κυματομορφής του.

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

Αυτοί που συναντάμε συχνότερα είναι ο λευκός και ο ροζ θόρυβος. Κατά αντιστοιχία με το λευκό φως, του οπτικού φάσματος, ο θόρυβος που κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων, δηλαδή περικλείει την ίδια ηχητική ενέργεια ανά Hz, ονομάζεται λευκός θόρυβος (white noise).

Όταν ο θόρυβος κατανέμεται περισσότερο στις χαμηλές συχνότητες και μάλιστα η κατανομή αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συχνότητα, τότε ονομάζεται ροζ θόρυβος (pink noise). Η διαφορά δηλαδή των δύο τύπων θορύβου είναι η κατανομή της ενέργειας στο φάσμα συχνοτήτων.

Αναλύοντας και συγκεντρώνοντας διάφορες απόψεις για τον ορισμό και το νόημα του θορύβου, μπορούμε να διατυπώσουμε κάποιες σκέψεις και να καταλήξουμε ίσως, σε κάποια βασικά συμπεράσματα για τη σημασία του όρου αυτού. Ενώ, λοιπόν, οι περισσότεροι ήχοι που θεωρούνται μουσικοί, έχουν ένα συγκεκριμένο συχνοτικό ύψος και ένα κυρίαρχο αρμονικό φάσμα (τονικοί ήχοι), ο θόρυβος θεωρητικά αποτελείται από άπειρες συχνότητες με τυχαίες διακυμάνσεις στις εντάσεις τους. Στην πράξη, όμως, μιλάμε συνήθως για θορύβους που είναι «χρωματισμένοι» τονικά, δηλαδή αφορούν συγκεκριμένη φασματική περιοχή κάθε φορά. Ένα πρώτο συμπέρασμα επομένως, είναι ότι οι ήχοι που ακούμε καθημερινά και ονομάζουμε θορύβους, είναι ήχοι που τα φασματικά τους χαρακτηριστικά, δεν ταυτίζονται αλλά πλησιάζουν, αυτά του λευκού θορύβου. Τελικά μπορούμε να πούμε ότι ο θόρυβος από την πλευρά της επιστήμης, προσδιορίζει ένα συγκεκριμένο φασματικό τύπο ήχων, που πλησιάζει την φυσική κατάσταση του λευκού θορύβου. Αλλά σε ένα άλλο, αισθητικό επίπεδο μελέτης, ο ορισμός του εξαρτάται από τον τρόπο που εμείς αντιλαμβανόμαστε τους ήχους και από το πώς επικοινωνούμε.

1.1) Κύματα - Ηχητικά κύματα

Ένα κύμα είναι μια επαναλαμβανόμενη διαταραχή ή η κίνηση που μεταφέρει την ενέργεια μέσα από την ύλη ή το διάστημα. Υπάρχουν κύματα μεταφοράς ενέργειας, όπως τα κύματα του νερού που μεταφέρουν ενέργεια, αλλά δεν κινούνται. Κύμα μπορεί να υπάρξει μόνο όταν έχουμε μεταφορά ενέργειας.

Ο όρος κύμα περιγράφει τη διάδοση μιας διαταραχής στο χώρο. Στην περίπτωση των ηχητικών κυμάτων η διαταραχή αυτή είναι μια τοπική μεταβολή της πυκνότητας και της πίεσης ενός υλικού μέσου, στερεού, υγρού ή αερίου. Μια τέτοια διαταραχή, που μπορεί να δημιουργηθεί π.χ. με τη μετακίνηση ενός αντικειμένου μέσα στο υλικό, θέτει σε ταλάντωση τα μόρια του υλικού γύρω από την αρχική θέση ισορροπίας τους (όπως για παράδειγμα το παλλόμενο διάφραγμα ενός μεγαφώνου θέτει σε ταλάντωση τα μόρια του αέρα που το περιβάλλουν). Λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού η ενέργεια της ταλάντωσης μεταφέρεται από το κάθε μόριο στα γειτονικά του. Προκαλούνται έτσι μεταβολές της πίεσης και δημιουργούνται πυκνώματα (περιοχές υψηλής πίεσης) και αραιώματα (περιοχές χαμηλής πίεσης), που ταξιδεύουν μέσα στο υλικό σε διεύθυνση παράλληλη στη διεύθυνση ταλάντωσης των μορίων του. Ο ήχος λοιπόν θεωρείται ένα διάμηκες κύμα πίεσης. Όπως είναι φανερό, η παρουσία ενός ελαστικού μέσου είναι η απαραίτητη, αναγκαία προϋπόθεση για τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων. Ο ήχος δεν διαδίδεται στο κενό.



Εικόνα 3: Η μετάδοση των ηχητικών κυμάτων

Μηχανικά κύματα είναι κύματα που απαιτούν ένα μέσο. Ένα μέσο ή μια μορφή της ύλης, μέσω της οποίας το κύμα ταξιδεύει (όπως νερό, αέρας, γυαλί, κλπ) Κύματα, όπως το φως, ακτίνες Χ, και άλλες μορφές της ακτινοβολίας δεν απαιτούν ένα μέσο.

Οι τύποι ηχητικών κυμάτων είναι τρεις :

1

- Διαμήκη κύματα: Στα κύματα αυτά όπως είναι γνωστό η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου σε κάθε σημείο του ηχητικού κύματος είναι παράλληλες
- Εγκάρσια: τα κύματα στα οποία η ταχύτητα διάδοσης με την ταχύτητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου είναι κάθετες.
- Επιφανειακά ή καμπτικά κύματα: Είναι τα κύματα που διαδίδονται στην ελεύθερη επιφάνεια των στερεών, και τα σωματίδια του μέσου διάδοσης διαγράφουν ελλειπτικές τροχιές με τον μεγάλο άξονα κάθετο στην επιφάνεια και εστία την θέση ισορροπίας. Στα κύματα αυτά όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του στερεού το πλάτος μειώνεται εκθετικά.



Εικόνα 4: Ο ήχος είναι ένα κύμα που μεταφέρει ενέργεια και όχι ύλη

1.2) Χαρακτηριστικά των ηχητικών κυμάτων

Ύψος

Το κάθε ηχογόνο σώμα , ανάλογα με το σχήμα του, το μέγεθος του, τη μάζα του, το είδος του υλικού του παράγει παλμούς που αντιστοιχούν σε έναν ήχο. Οι ήχοι που παράγονται είναι βαθύτεροι , όταν ο αριθμός των παλμών σε ορισμένο κλάσμα χρόνου (συχνότητα) είναι μικρότερος και είναι οξύτεροι , όταν οι παλμοί στο ίδιο κλάσμα χρόνου είναι περισσότεροι. Αυτή η ιδιότητα του ήχου καλείται ύψος.

Ένταση

Όσο βιαιότερη – εντονότερη είναι η αιτία που θα προκαλέσει παλμούς σε ένα ηχογόνο σώμα , τόσο μεγαλύτερου πλάτους παλμούς θα παράγει αυτό. Έτσι ο παραγόμενος ήχος είναι εντονότερος. Η ένταση λοιπόν του ήχου εξαρτάτε από το πλάτος του παλμού που παράγεται από το κάθε ηχογόνο σώμα.

Τα πλάτος σιγά σιγά μειώνεται ώστε να φτάσει και πάλι το ηχογόνο σώμα σε κατάσταση απόλυτης ηρεμίας. Το πλάτος των παλμικών κινήσεων σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αντιληπτό και με γυμνό μάτι. Κάτι σημαντικό που πρέπει να σημειώσουμε εδώ, είναι ότι το εντονότερο χτύπημα ενός ηχογόνου σώματος αλλάζει μόνο το πλάτος και όχι τον αριθμό των παλμών. Είτε δυνατά είτε σιγά δημιουργήσουμε έναν ήχο η συχνότητά του δεν θα αλλάξει. Το ύψος και η ένταση αποτελούν τις δυο βασικές ιδιότητες του ήχου. Οι άλλες ιδιότητες είναι δευτερεύουσες.



Εικόνα 5: Η ένταση του ήχου

Χροιά

Όλα τα χαρακτηριστικά που κάνουν ιδιαίτερο και αναγνωρίσιμο έναν ήχο αποτελούν τη χροιά του ήχου. Είναι ένα ανάλογο φαινόμενο με τα χρώματα . Όπως υπάρχουν άπειροι χρωματικοί συνδυασμοί, έτσι υπάρχουν και άπειρα ηχοχρώματα, το κάθε ηχοχρώμα με τη δική του χροιά. Η εξήγηση αυτή βρίσκεται στο γεγονός ότι ο κάθε ήχος αποτελείται από μια αρχική συχνότητα (θεμελιώδη ήχο) και μια σειρά από παράγωγες συχνότητες (τους αρμονικούς).

Οι αρμονικοί είναι απλές πολλαπλάσιες συχνότητες μιας αρχικής, σε χαμηλότερες συνήθως εντάσεις. Αν π.χ ο θεμελιώδης ήχος είναι η συχνότητα 100, τότε οι παράγωγοι αρμονικοί αυτού του αρχικού ήχου είναι οι συχνότητες 2X100 , 3X100 κτλ, δηλαδή 200, 300 κτλ. Αυτές οι συχνότητες συνήθως είναι σε πολύ χαμηλότερη ένταση. Η σειρά αυτή των παράγωγων ήχων λέγεται αρμονική στήλη και οι μεμονωμένες συχνότητες της αρμονικές.

Από την ένταση των αρμονικών , από τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια του ήχου και από τις απειράριθμες μικρές μεταβολές που πραγματοποιούνται στα πρώτα κλάσματα του χρόνου παραγωγής του, δημιουργείται η χροιά του ήχου.

Διάρκεια

Άλλη δευτερογενής ιδιότητα του ήχου είναι η διάρκειά του. Η διάρκεια του ήχου εξαρτάτε από τη διάρκεια της αιτίας που τον προκαλεί. Τη διάρκεια του ήχου όμως τη μεγαλώνουν κι άλλοι δύο παράγοντες:

- Η διάρκεια απόσβεσης του ήχου
- Ο χρόνος αντήχησης του χώρου μέσα στον οποίο δημιουργείται ένας ήχος

Αυτός είναι ο λόγος της επιλογής ή και κατασκευής από την αρχή ειδικών χώρων, κατάλληλων για κάθε είδους ηχομόνωσης, με απορροφητικά υλικά του ήχου, με ανακλαστικές επιφάνειες ή τελειότατες ηλεκτρονικές συσκευές, που μπορούμε σήμερα να επιτυγχάνουμε το επιθυμητό για κάθε περίπτωση ηχητικό αποτέλεσμα.

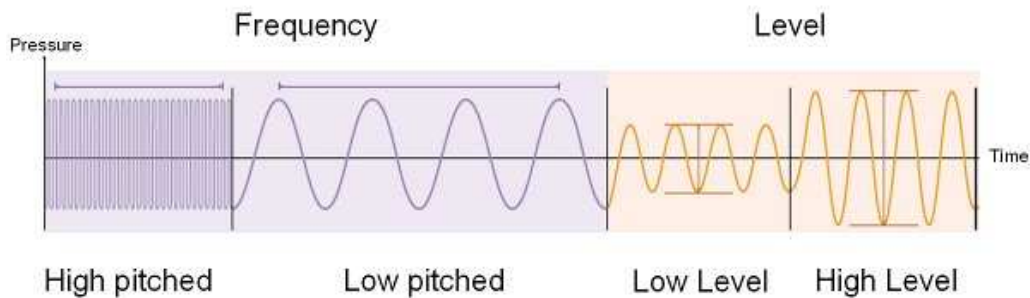
Το φαινόμενο της συνήχησης

Η εξαιρετική ιδιότητα της ανθρώπινης ακοής να συλλαμβάνει ταυτόχρονα διάφορους ήχους , διαχωρίζοντας τους και αναγνωρίζοντας τους ως προς το ύψος , την ένταση, τη χροιά ή την διάρκεια είναι μια άλλη παράμετρος μέσα στο γενικό φαινόμενο ήχος- ακοή.

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί να διαχωρίζει, να αναγνωρίζει και να παρακολουθεί την εξέλιξη και τη διαδρομή κάθε μεμονωμένου ήχου ο οποίος παράγεται ταυτόχρονα με πολλούς άλλους, που κι αυτοί στέλνουν τις ιδιαίτερες συχνότητες τους προς το ακουστικό τύμπανο.

Το μήκος κύματος είναι η απόσταση από το κέντρο της συμπίεσης έως το κέντρο της επόμενης συμπίεσης. Το μήκος κύματος είναι ένα μέτρο της απόστασης, έτσι ώστε οι μονάδες για το μήκος κύματος είναι πάντα μονάδες απόστασης, όπως εκατοστά, χιλιοστά, κλπ.

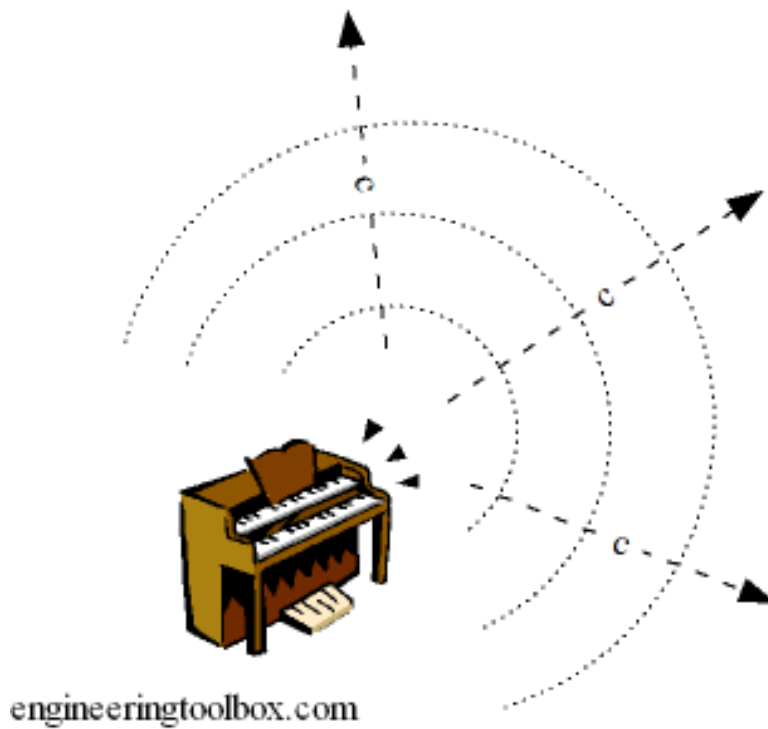
Συχνότητα είναι ο αριθμός των κυμάτων που περνούν από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο. Η μονάδα για τη συχνότητα είναι κύματα ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz). Ένα Hz = Ένα κύμα ανά δευτερόλεπτο. Το μήκος κύματος και η συχνότητα είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα. Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος, τόσο περισσότερες φορές θα περάσει μέσα από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο λιγότερες φορές θα περάσει μέσα από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο.



Εικόνα 6: Απεικόνιση της συχνότητας

Η ταχύτητα διάδοσης

Η ταχύτητα διάδοσης u των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται από τις ελαστικές ιδιότητες του μέσου διάδοσης και από τη θερμοκρασία. Στον αέρα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20.C) η ταχύτητα του ήχου είναι περίπου 343m/s. Στα υγρά η ταχύτητα u είναι μεγαλύτερη (π.χ. σε νερό ίδιας θερμοκρασίας είναι σχεδόν τετραπλάσια), ενώ στα στερεά, όπου οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων είναι πολύ μικρότερες, η τιμή της ταχύτητας μπορεί να είναι έως και είκοσι φορές μεγαλύτερη απ' ότι εκείνη στα αέρια.



Εικόνα 7: Η ταχύτητα διάδοσης εκπέμπεται προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις

Η συχνότητα

Συχνότητα είναι ο αριθμός των κυμάτων (δονήσεις) που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα δευτερόλεπτο. Περίοδος είναι ο χρόνος που απαιτείται για να περάσει ένα πλήρες μήκος κύματος ένα ορισμένο σημείο. Συχνότητα είναι κύματα ανά δευτερόλεπτο. Περίοδος είναι ανά δευτερόλεπτο κύμα.

$$\text{frequency} = \frac{1}{\text{period}} \quad f = \frac{1}{T}$$

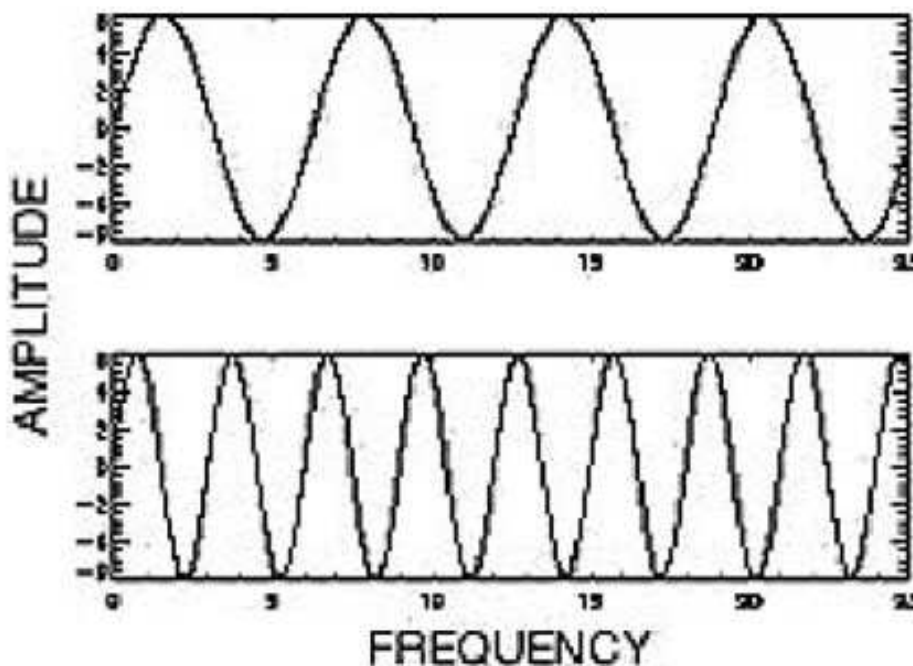
Ένα κύμα που κινείται μέσω ενός μέσου ταξιδεύει σε μια ορισμένη ταχύτητα. Αυτό είναι η ταχύτητα των κυμάτων. Η ταχύτητα των κυμάτων μετριέται συνήθως σε μέτρα / δευτερόλεπτο, αλλά μπορεί να μετρηθεί και με άλλες μονάδες απόστασης (όπως εκατοστά ανά δευτερόλεπτο). Η ταχύτητα των κυμάτων υπολογίζεται ως το γινόμενο της συχνότητας των κυμάτων με το μήκος κύματος. Μήκος κύματος αντιπροσωπεύεται από το ελληνικό γράμμα λάμδα (λ) και τη συχνότητα εκπροσωπείται από (σ).

$$\text{velocity} = \text{wavelength} \times \text{frequency}$$

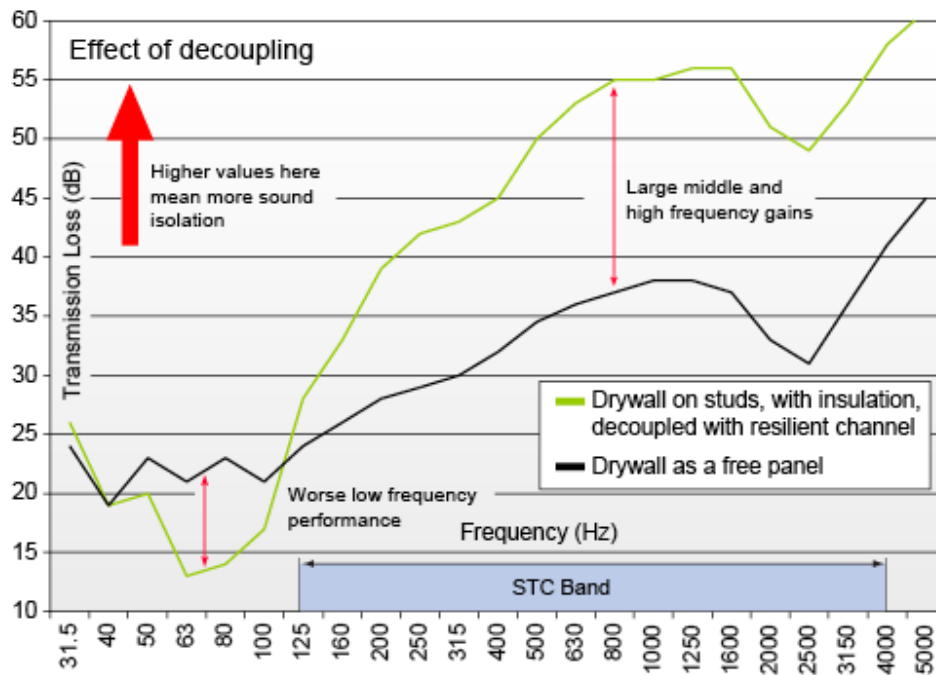
$$v = \lambda \times f$$

Το πλάτος του κύματος

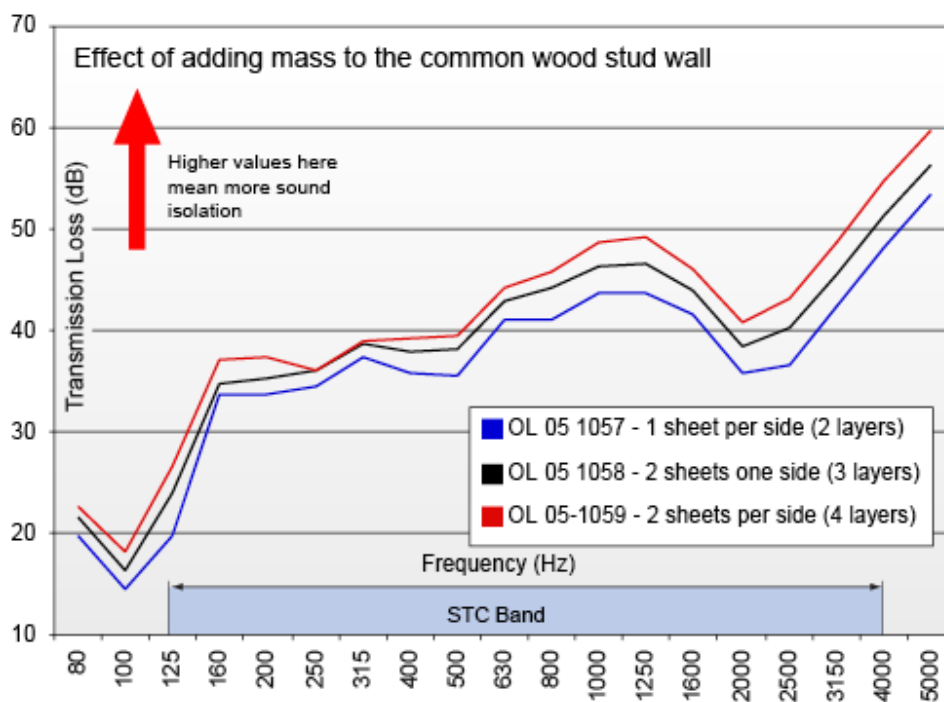
Το πλάτος του κύματος σχετίζεται άμεσα με την ενέργεια ενός κύματος. Το πλάτος του διαμήκη κύματος καθορίζεται από τις σπείρες των διαμήκη κυμάτων. Όσο πιο κοντά είναι οι σπείρες τόσο πιο μικρό πλάτος έχουν, όσο πιο αραιές είναι τόσο πιο μεγάλο πλάτος έχουμε. Το πλάτος ενός εγκάρσιου κύματος καθορίζεται από το ύψος του λόφου ή το βάθος της ύφεσης.



Εικόνα 8: Διάγραμμα που μας δείχνει το πλάτος του ηχητικού κύματος



Εικόνα 9: Διάγραμμα Συχνότητας - Έντασης



Εικόνα 10: Διάγραμμα Συχνότητας - Έντασης

Όταν ένα κύμα ανακλάται σε ένα αντικείμενο και αλλάζει κατεύθυνση - αυτό είναι η αντανάκλαση. Διάθλαση είναι η κάμψη του ενός κύματος καθώς περνά από το ένα μέσο στο άλλο. Ένα κύμα ταξιδεύει με διαφορετική ταχύτητα περνώντας από διαφορετικά πράγματα. Όταν ένα κύμα που ταξιδεύει σε μια ορισμένη ταχύτητα θα κινηθεί σε άλλο μέσο, είτε θα αυξηθεί η ταχύτητα του ή θα μειωθεί, με αποτέλεσμα την αλλαγή της διεύθυνσης.

Πολλά αντικείμενα έχουν μια φυσική συχνότητα σε δονήσεις. Συντονισμός συμβαίνει όταν κάθε φορά που ένα ηχητικό κύμα έχει την ίδια συχνότητα με τη συχνότητα ενός αντικειμένου. Ο ήχος θα προκαλέσει το αντικείμενο να δονείται με την ίδια συχνότητα .

Ήχος ταξιδεύει με διαφορετική ταχύτητα σε διαφορετικά μέσα. Ο ήχος ταξιδεύει γρηγορότερα συνήθως σε στερεά από ότι σε ένα υγρό και πιο γρήγορα σε ένα υγρό από ένα αέριο. Όσο πυκνότερο είναι το μέσο, τόσο πιο γρήγορα θα ταξιδέψει. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο γρήγορα τα σωματίδια του μέσου θα κινηθούν και τα ταχύτερα σωματίδια θα μεταφέρουν τον ήχο.

Ο τόνος

Ο τόνος ενός ηχητικού κύματος σχετίζεται άμεσα με τη συχνότητα. Ένα υψίφωνος ήχο έχει υψηλή συχνότητα . Μια ήχο στις χαμηλές συχνότητες έχει χαμηλή συχνότητα. Ένα υγιές ανθρώπινο αυτί μπορεί να ακούσει τις συχνότητες στην περιοχή των 20 Hz έως 20.000 Hz. Οι άνθρωποι δεν μπορούν να ακούσουν κάτω των 20 Hz. Οι ήχοι κάτω από τη συχνότητα αυτή ονομάζεται υπόηχοι. Οι ήχοι άνω των 20.000 Hz ονομάζονται υπέρηχοι. Μερικά ζώα, όπως τα σκυλιά μπορούν να ακούσουν τις συχνότητες σε αυτήν την περιοχή στην οποία οι άνθρωποι δεν μπορούν να ακούσουν. Η ακουστική είναι η μελέτη του ήχου και οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να βελτιώσουμε την ακρόαση του ήχου στο εσωτερικό των διαφόρων δομών.

Εικόνα 11: Διάφορες ταχύτητες του ήχου ανάλογα με το μέσο διάδοσης

Table 1 Speed of Sound in Different Mediums	
Medium	Speed of Sound (in m/s)
Air	347
Cork	500
Water	1,498
Brick	3,650
Aluminum	4,877

1.3) Στάθμη ηχητικών κυμάτων σε decibel

Στην ακουστική οι μονάδες που χρησιμοποιούμε είναι λογαριθμικές . οι λόγοι που γίνεται αυτό είναι δύο:

- Ο πρώτος λόγος σχετίζεται με το εύρος των τιμών των μεγεθών, λόγο του ότι το εύρος των τιμών των μεγεθών της ακουστικής είναι πολύ μεγάλο.
- Ο δεύτερος λόγος είναι ψυχοφυσικός και έχει να κάνει με την αντίληψη του ήχου από τον άνθρωπο.

Για τη μέτρηση συνεπώς των μονάδων που σχετίζονται με την ακουστική χρησιμοποιούμε λογαριθμικές μονάδες που ονομάζονται γενικά στάθμες. Τέτοιες μονάδες είναι τα bel και decibel.

Η μονάδα bel ορίζεται ως ο λογάριθμος μιας αδιάστατης ποσότητας. Αδιαστατές ποσότητες είναι ο λόγος δυο ομοειδών ποσοτήτων π.χ ισχύων- εντάσεων.

$$A(\text{el}) = \log k_1/k_{\text{ref}}$$

Η μονάδα decibel ορίζεται ως το δέκατο της μονάδας bel δηλαδή:

$$A(\text{db}) = 10 \log k_1/k_{\text{ref}}$$

Όπως προκύπτει από την εξίσωση ορισμού της η μονάδα decibel (dB) μετρά σχετικά μεγέθη δηλαδή το ίδιο μέγεθος μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές αν η ποσότητα στον παρονομαστή είναι διαφορετική. Για να μετράει απόλυτα μεγέθη καθορίζεται η τιμή του k_{ref} που ονομάζεται τιμή αναφοράς

- ♦ Στάθμη Ηχητικής Πίεσεως (sound pressure level)

$$L_p = 20 \frac{\log P}{P_o}$$

L_p είναι η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB (decibel)

P είναι η ηχητική πίεση του προς μέτρηση θορύβου σε μbar

P_o είναι η ηχητική πίεση αναφοράς 0.0002 μbar

$$L_A = L_p + s_A$$

Όπου

L_A η αξιολογούμενη στάθμη ηχητικής πίεσης

L_p η στάθμη ηχητικής πίεσης

s_A διόρθωση A

- Στάθμη ισχύος του ήχου

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

$$L_w = 10 \log W/W_{ref}$$

Όπου W η ακουστική ισχύς της πηγής σε watt και W_{ref} η ισχύς αναφοράς.
 Θεωρητικά στον αέρα δεν μπορεί να παραχθεί ήχος με στάθμη μεγαλύτερη από 194 dB και αυτό γιατί η δημιουργημένη υποπίεση δεν μπορεί να πάρει μεγαλύτερη τιμή από την ατμοσφαιρική.

- Ισοδύναμη στάθμη θορύβου

Όταν ο θόρυβος όμως δεν είναι σταθερός και έχει αυξομειώσεις απαιτείται ο υπολογισμός της

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{P_A(t)}{P_o} \right]^2 dt$$

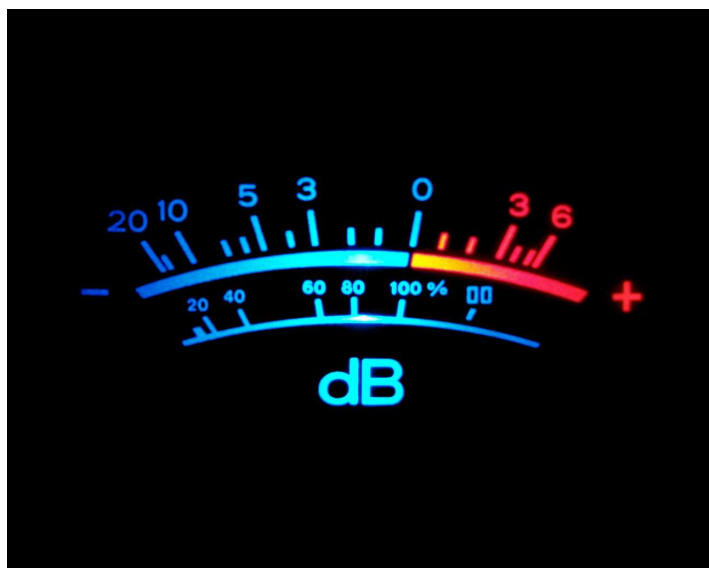
όπου L_{Aeq} η ισοδύναμη στάθμη θορύβου σε dB(A)

T η διάρκεια της μετρήσεως σε sec

P_A η ηχητική πίεση του θορύβου, μετρημένη με σταθμιστικό κύκλωμα A σε Pascals

P_o είναι η ηχητική πίεση αναφοράς (=20 μPa)

Εικόνα 12: Ένδειξη ηχόμετρο σε decibel



1.4) Πρόσθεση των ήχων

Οι στάθμες λόγω του γεγονότος είναι ότι οι λογαριθμικές ποσότητες , δεν προστίθενται αριθμητικά. Υπάρχουν γενικά δύο τρόποι πρόσθεσης των dB:

Εφ' όσον οι μονάδες decibel ορίζονται σε λογαριθμική κλίμακα είναι αναμενόμενο ότι οι πράξεις με τα decibel δεν θα ακολουθούν τους συνηθισμένους κανόνες της γραμμικής άλγεβρας. Ας δούμε λοιπόν πως υπολογίζουμε τη συνολική στάθμη έντασης ήχου που προέρχεται από πολλές ανεξάρτητες πηγές.

Το άθροισμα δύο ηχητικών σταθμών L_1 , L_2 προσδιορίζεται από τη σχέση

$$S = L_1 \oplus L_2 = 10 \log \left(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} \right)$$

Εναλλακτικά το άθροισμα των δύο ηχητικών σταθμών μπορεί επίσης να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$S = L_1 \oplus L_2 = L_{\max} + C(\Delta L)$$

Όπου L_{\max} είναι η μεγαλύτερη συγκριτικά από τις δύο στάθμες L και $C(\Delta L)$ είναι ένας διορθωτικός παράγοντας που η τιμή του σε dB εξαρτάτε από τη διαφορά $\Delta L = |L_1 - L_2|$

Αν τώρα έχουμε N ανεξάρτητες πηγές , η συνολική στάθμη θα είναι

$$L = L_1 \oplus L_2 \oplus L_3 \oplus \dots$$

και υπολογίζεται επιμερίστηκα ως εξής: αθροίζουμε τις δύο πρώτες όπως περιγράψαμε προηγουμένως και στο άθροισμά τους προσθέτουμε την τρίτη.

1.5) Το ανθρώπινο αυτί

.....« Η αίσθηση του ήχου είναι ένα ανεξάρτητο αίσθημα μη συγκρίσιμο με άλλες αισθήσεις . Κανείς δεν μπορεί να εκφράσει μία σχέση μεταξύ ενός ήχου, ενός χρώματος και μιας οσμής. Έμμεσα ή άμεσα όλες οι ερωτήσεις σχετικά με αυτό το αντικείμενο σχετίζονται με το αυτί, το όργανο της ακοής».....

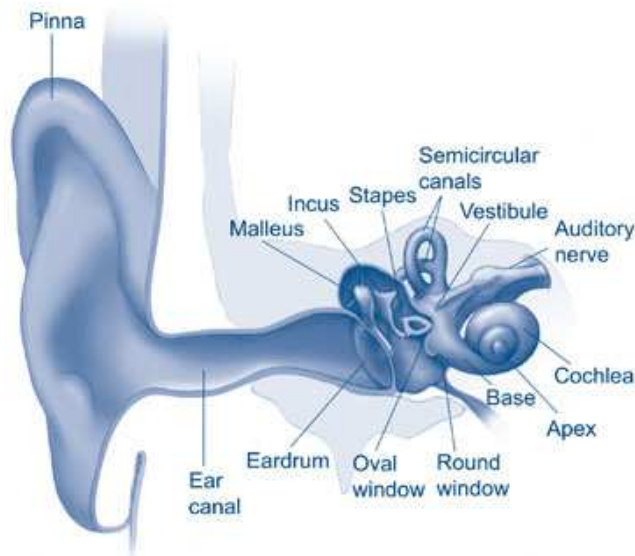
Lord Rayleigh “ The theory of sound”

Το αισθητήριο της ακοής για τον άνθρωπο είναι το αυτί. Η λειτουργία του είναι όμοια με αυτή του μικροφώνου μεμβράνης , διαφέρει όμως ως προς την καμπύλη απόκρισής του. Ενώ η καμπύλη απόκρισης ενός καλού μικροφώνου είναι ευθεία σε όλες τις συχνότητες , η καμπύλη απόκρισης του αυτιού δεν είναι . Το αυτί για ευνόητους λόγους είναι πιο ευαίσθητο σε συχνότητες κοντά στις συχνότητες της ανθρώπινης ομιλίας και λιγότερο σε άλλες.

Το αυτί αποτελείται από τρία μέρη:

- Το εξωτερικό
- Το μέσο
- Το εσωτερικό

Το εξωτερικό αυτί αποτελείται από την κόγχη και τον ακουστικό πόρο. Η κόγχη συγκεντρώνει το ηχητικό κύμα και το μεταφέρει στον ακουστικό πόρο. Η σημασία του εξωτερικού αυτιού είναι να προσαρμόζει τη μηχανική σύνθετη αντίσταση του τυμπάνου στην ειδική σύνθετη αντίσταση του αέρα.



Εικόνα13: Το εσωτερικό του αυτιού

Η προσαρμογή αυτή είναι πολύ καλή στη συχνότητα των 800Hz και παραμένει καλή σε μεγαλύτερες συχνότητες αλλά είναι μικρή σε συχνότητες κάτω των 400 Hz. Ο ακουστικός πόρος έχει μήκος περίπου 6.5 cm και συμπεριφέρεται σαν ένας ηχητικός σωλήνας με συχνότητα συντονισμού 3000Hz. Η καμπύλη του συντονισμού είναι αρκετά ευρεία και σε ορισμένες συχνότητες έχουμε αύξηση της ηχητικής πίεσης κατά 10 dB στο τύμπανο.

Το μέσο από το εξωτερικό αυτί χωρίζεται με το τύμπανο. Ο ήχος διεγείρει το τύμπανο σε ταλάντωση και το ερέθισμα μεταφέρεται μηχανικά στο εσωτερικό αυτί, στον κοχλία, μέσω τριών οστών, της σφύρας, του άκμονα, και του αναβολέα. Τα οστά αυτά συνδέονται με μυϊκούς ιστούς οι οποίοι σε ισχυρά ερεθίσματα περιορίζουν το πλάτος της κίνησης προστατεύοντας έτσι το αυτί. Στον κοχλία γίνεται η ανάλυση του ήχου.

Κατά μήκος του κοχλία υπάρχει μια μεμβράνη, η βασική μεμβράνη που φέρει 23.000 - 24.000 νευρικές απολήξεις με τη μορφή τριχιδίων. Το κάθε τριχίδιο της μεμβράνης του κοχλία συντονίζεται με μια συγκεκριμένη συχνότητα ενώ όλη η μεμβράνη ταλαντώνεται και το ερέθισμα που είναι μία πιεζοηλεκτρική τάση μεταφέρεται μέσω νευρών στον εγκέφαλο που προκαλείται το ανάλογο αίσθημα.

Αν κάποιο όργανο που μεταφέρει το ηχητικό ερέθισμα πάθει κάποια βλάβη τότε αυτό θα έχει σαν συνέπεια την αλλοίωση του ερεθίσματος που φτάνει στον εγκέφαλο. Γενικά δεχόμαστε ότι η αναγνώριση της συχνότητας γίνεται από τον συντονισμό των τριχιδίων, ενώ η αναγνώριση της έντασης από το πλάτος ταλάντωσης της μεμβράνης.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η απόσταση της περιοχής της βασικής μεμβράνης που συντονίζεται σε κάποια συχνότητα είναι ανάλογη με το λογάριθμο της συχνότητας.

Απόκριση του αυτιού



Εικόνα 14: Τα ηχητικά σήματα που λαμβάνονται από το εσωτερικό του αυτιού.

Η απόκριση του ανθρώπινου οργάνου στα δυο χαρακτηριστικά του ήχου , στάθμη και συχνότητα δεν είναι γραμμική. Μετρήσεις που έγιναν έδειξαν ότι το αυτί μπορεί να διακρίνει 280 διαφορετικές στάθμες και 1400 διαφορετικές συχνότητες. Πιο ρεαλιστικές έρευνες έδειξαν ότι το ανθρώπινο αυτί μπορεί να διακρίνει μόνο 7 διακεκριμένες ακουστότητες και μόνο 7 διακεκριμένα ύψη, συνεπώς μπορεί να διακρίνει 49 διαφορετικούς συνδυασμούς. Η ποσότητα αυτή δεν είναι μακριά από τον αριθμό των φωνητικών μονάδων που περιλαμβάνει κάθε γλώσσα. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου που σχετίζονται με την απόκριση του ανθρώπου σε αυτό είναι τρία: το ύψος η ακουστότητα και η χροιά.

Ακοή με τα δύο αυτιά

Μία άλλη σπουδαία ιδιότητα του αυτιού είναι η ικανότητα του να ξεχωρίζει την κατεύθυνση από την οποία προέρχεται ο ήχος και συνεπώς να προσδιορίζει τη θέση των ηχητικών πηγών. Ο προσδιορισμός αυτός οφείλεται σε τρεις λόγους. Το γεγονός ότι η απόσταση του κάθε αυτιού από την πηγή είναι διαφορετική και το ένα από τα δύο ηχητικά κύματα που φτάνουν στα αυτιά φθάνει με καθυστέρηση σε σχέση με το άλλο. Στην καθυστέρηση αυτή αντιστοιχεί μία διαφορά φάσης που εξαρτάται από τη θέση της πηγής . Επιπλέον το ένα από τα δύο αυτιά βρίσκεται στη «σκιά» του κεφαλιού από την πηγή και συνεπώς το ηχητικό κύμα φτάνει σε αυτό με μειωμένη στάθμη. Ο τρίτος και κυριότερος λόγος με τον οποίο γίνεται ο προσδιορισμός της θέσης της πηγής είναι το γεγονός ότι τα ηχητικά κύματα φτάνουν με διαφορετική γωνία στους ακουστικούς πόρους με συνέπεια να διαφέρουν οι συναρτήσεις μεταφοράς των αυτιών.

Ύψος

Το ύψος είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα των ήχων και μας επιτρέπει να το κατατάξουμε σε οξείς μέσους και βαρύς κτλ. Για το ύψος που σχετίζεται άμεσα με τη συχνότητα του ήχου μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό: Ύψος είναι η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στη συχνότητα. Αν και το ύψος εξαρτάτε από την συχνότητα η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη όπως είπαμε δεν είναι γραμμική, δηλαδή ίσες μεταβολές στη συχνότητα δεν συνεπάγονται ίσες μεταβολές στην αίσθηση του ήχου. Επί προσθέτως η στάθμη του ήχου καθώς και η κυματομορφή του παίζουν ρόλο στον καθορισμό του ύψους. Ένας τόνος 1.000Hz ακούγεται σαν μέσος , αν η στάθμη του αυξηθεί χωρίς να αλλάζει η συχνότητά του η αίσθησή του ύψους χαμηλώνει. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα αισθητό σε ήχους συχνότητας μικρότερης των 300Hz . Για συχνότητες μεταξύ 500-3.000 Hz η αίσθηση του ύψους είναι σχεδόν ανεξάρτητη της στάθμης, και εξαρτάτε μόνο από την συχνότητα. Για ήχους με συχνότητα μεγαλύτεροι από 4.000 Hz η αίσθηση του ύψους για την ίδια συχνότητα αυξάνει με την στάθμη.

Η ικανότητα που έχει ο άνθρωπος να ξεχωρίζει ήχους διαφορετική συχνότητας εξαρτάτε από την συχνότητα των ήχων. Όσο οι κεντρικές συχνότητες των δύο ήχων πλησιάζουν , τόσο πιο δύσκολος ο διαχωρισμός τους εφόσον οι περιοχές της βασικής μεμβράνης που διεγείρεται σε κάθε έναν από αυτούς πλησιάζει η μία στην άλλη και η τελική διέγερση

είναι σύνθετη. Στην περίπτωση αυτή ο εγκέφαλος θα αναγνωρίσει μία συχνότητα τη συχνότητα $(F_1+F_2)/2$.



Εικόνα 15: Ο ήχος που μπορεί και αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος

1.6) Ακουστότητα των ήχων

Η ακουστότητα που κι αυτή στηρίζεται σε υποκειμενικά κριτήρια έχει σχέση με το πόσο έντονα ακούγεται ο ήχος, για την ακουστότητα συνεπώς θα μπορούσαμε να δώσουμε τον ορισμό: ακουστότητα είναι η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στη στάθμη του ήχου.

Η ακουστότητα των ήχων εξαρτάται από δύο παράγοντες: τη συχνότητα και τη στάθμη που έχουν. Όσο αφορά τη συχνότητα ανεξάρτητα από τη στάθμη τους ακουστοί είναι οι ήχοι που η συχνότητά τους βρίσκεται μεταξύ 16Hz-20 KHz. Οι ήχοι με συχνότητα κάτω από 16 Hz δεν είναι ακουστοί και ονομάζονται υπόηχοι ενώ ήχοι με συχνότητα πάνω από 20.000 Hz δεν είναι επίσης ακουστοί και ονομάζονται υπέρηχοι. Αυτά τα όρια ποικίλουν από άνθρωπο σε άνθρωπο και αποτελούν ακραίες περιπτώσεις. Πάντως άνθρωποι με μεγάλη ευαισθησία στον ήχο σπάνια μπορούν να ακούσουν ήχους με συχνότητα μεγαλύτερη των 18KHz. Λόγω του ότι οι υπέρηχοι έχουν μικρό μήκος κύματος για την παραγωγή, μέτρηση, ανάλυση των υπέρηχων απαιτούνται ειδικά όργανα και η μελέτη των υπέρηχων αποτελεί ιδιαίτερο κλάδο της ακουστικής.

Οι εντάσεις των αισθημάτων είναι ανάλογες με τους λογάριθμους των ερεθισμάτων. Αυτός είναι ένας ακόμη λόγος για τον οποίο τα μεγέθη της ακουστικής είναι λογαριθμικά. Η ακουστότητα των διαφόρων ήχων είναι διαφορετική για κάθε ζώντα οργανισμό. Η περιοχή ακουστότητας των διαφόρων οργανισμών δε διαφέρει σε σύγκριση με του ανθρώπου.

Η ικανότητα του αυτιού να ξεχωρίζει ήχους όσο αφορά την έντασή τους εξαρτάται από τη συχνότητα που έχουν.

Για την υποκειμενική μέτρηση του θορύβου χρησιμοποιούνται οι εξής μονάδες:

Phon: Μετρά τη στάθμη ακουστότητας
Sone: Μετρά την υποκειμενική ακουστότητα
PndB: Μετρά τη στάθμη θορυβότητας
Noy: Μετρά την υποκειμενική θορυβότητα.

Οι μονάδες αυτές ορίζονται ως εξής: Σ' ένα μεγάλο πλήθος ατόμων δίδονται διάφοροι ήχοι και ζητείται από τους παρατηρητές να κρίνουν τους ήχους, ως προς ένα χαρακτηριστικό τους. Τα αποτελέσματα τα επεξεργάζονται στατιστικά και προκύπτει η αντίστοιχη μονάδα.

Η μονάδα στάθμης της ακουστικότητας ορίστηκε για να συσχετίσει το μετρούμενο ήχο με αυτόν που αντιλαμβανόμαστε. Μέτρο σύγκρισης είναι ο τόνος της συχνότητας των 1.000Hz. Μονάδα στάθμης ακουστότητας είναι το Phon και ορίζεται ως εξής: ένας τόνος με συχνότητα 1.000Hz έχει στάθμη ακουστότητας τόσα Phon όση είναι η στάθμη του σε dB.

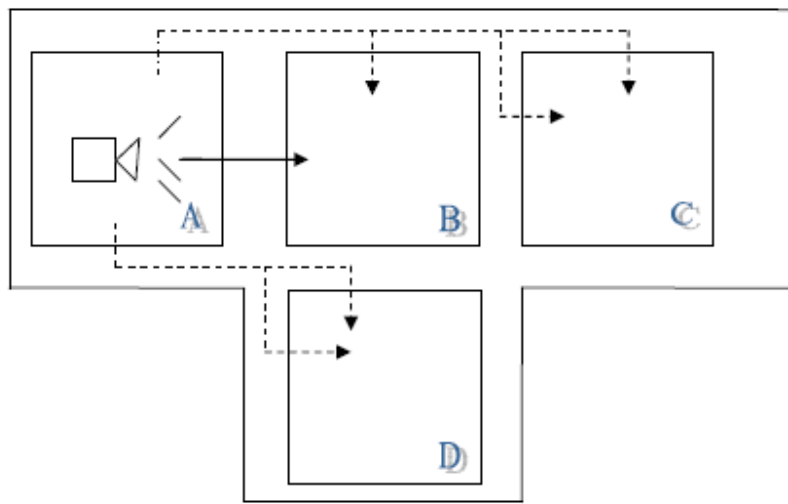
Κεφάλαιο 2: *Βασικές αρχές ηχομόνωσης*



2) Βασικές αρχές ηχομόνωσης

Διάδοση του ήχου Η διάδοση του ήχου σε ένα κτίριο είναι ένα σύνθετο πρόβλημα γιατί ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από μία περιοχή σε άλλη γειτονική περιοχή μέσω πολλών διαδρομών.

Ένα απλοποιημένο σχήμα της διάδοσης του ήχου βρίσκεται παρακάτω:



Εικόνα 16 :Σχεδιάγραμμα διάδοσης ηχητικού κύματος σε γειτονικό χώρο ευθύς τρόπος διάδοσης πλευρικός τρόπος διάδοσης

Ο ήχος διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο διάδοσης του. Τον αερόφερτο ήχο, τον στερεόφερτο και τον κτυπογενή ως ειδική περίπτωση του στερεόφερτου.

Αερόφερτος ήχος

Σε ένα δωμάτιο, τα ηχητικά κύματα που διαδίδονται μέσω του αέρα (αερόφερτα) π.χ. ομιλία, ακρόαση κάποιου ηχητικού γεγονότος όπως ράδιο, τηλεόραση, παίξιμο μουσικής, προέρχονται είτε κατευθείαν από την πηγή είτε από τις ανακλάσεις των διαφόρων επιφανειών του δωματίου.

Τα αερόφερτα ηχητικά κύματα, προσπίπτουν στις διάφορες επιφάνειες του δωματίου και τις διεγείρουν. Οι επιφάνειες αυτές, οι οποίες διεγείρονται από την περιοδική ταλάντωση του αέρα, αναγκάζονται να τεθούν σε καμπτικές ταλαντώσεις και με τη σειρά τους να διεγείρουν τον αέρα σε γειτονικό χώρο. Παράγουν δηλαδή αερόφερτα ηχητικά κύματα.

Στερεόφερτος ήχος

Ακουστικά ηχητικά κύματα σε ένα δωμάτιο μπορεί να προκληθούν και από μηχανική ταλάντωση μιας πηγής ήχου π.χ. κλείσιμο πόρτας, ήχοι διαρροής ύδρευσης- θέρμανσης ,καζανάκι, ηχείο τοποθετημένο απευθείας σε στερεή επιφάνεια. Ηχομόνωση &

Η μηχανική ταλάντωση προκαλεί καμπτικά κύματα στα διάφορα δομικά στοιχεία όπως τοίχοι, ταβάνια, πάτωμα του χώρου τα οποία με τη σειρά τους μεταφέρονται σε άλλα δομικά στοιχεία του γειτονικού χώρου. Έτσι προκαλούνται ταλαντώσεις του αέρα του γειτονικού χώρου. Ο τρόπος διάδοσης του ήχου σε αυτήν την περίπτωση είναι στερεόφερτος.

Κτυπογενής (ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου)

Μια ειδική περίπτωση του στερεόφερτου ήχου είναι ο κτυπογενής, ο οποίος παράγεται με απευθείας κτύπο στο διαχωριστικό στοιχείο δύο χώρων. π.χ. βάδισμα σε ένα δάπεδο, χτύπο από καρφί. Μέσω του βαδίσματος, το πάτωμα τίθεται σε καμπτικές ταλαντώσεις οι οποίες στη συνέχεια διεγείρουν τον αέρα και προκαλούν ηχητικά κύματα πάνω και κάτω από το πάτωμα. Επίσης, οι καμπτικές ταλαντώσεις μέσω του πατώματος μεταφέρονται στα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του πάνω και κάτω χώρου, π.χ. στους τοίχους και έτσι οι τοίχοι εκπέμπουν ηχητικά κύματα.

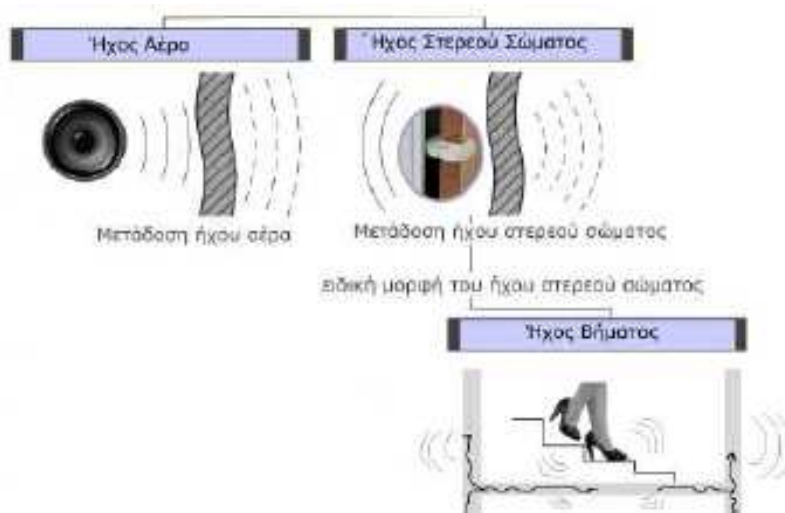
Συνοψίζοντας, ο ήχος μπορεί να διαδοθεί από τον έναν χώρο σε έναν άλλο που δε συγγενεύουν :

i) μέσω των ταλαντώσεων του αέρα που διεγείρει τα οικοδομικά στοιχεία, μεταφέρεται μέσω της στερεάς δομής και καταλήγει στο γειτονικό χώρο.

ii) μέσω μηχανικής διέγερσης, που μεταφέρεται απευθείας μέσω στερεάς δομής και καταλήγει στο γειτονικό χώρο.

Ηχητικά αερόφερτα κύματα → διέγερση δομικών υλικών = καμπτικά κύματα → ηχητικά κύματα γειτονικού χώρου

Μηχανική διέγερση → διέγερση δομικών στοιχείων = καμπτικά κύματα → ηχητικά κύματα γειτονικού χώρου.



Εικόνα 17: Είδη μετάδοσης ήχων
Η τελική επίδραση των τριών τρόπων μετάδοσης του ήχου είναι ακουστικά ηχητικά κύματα του αέρα.

Όταν ένα ηχητικό κύμα πέσει επάνω σε ένα τοίχο ή γενικά σε κάποια επιφάνεια διαχωρισμού δύο μέσων , ένα μέρος από την ενέργεια που μεταφέρει ανακλάται, ενώ ένα άλλο μέρος απορροφάται ή διαδίδεται μέσω του τοίχου από την άλλη πλευρά.

Ηχομόνωση είναι κάθε μέσο που βοηθάει στη μείωση της ηχητικής πίεσης σε σχέση με ένα καθορισμένο ήχο πηγής και του δέκτη. Υπάρχουν πολλές βασικές προσεγγίσεις για τη μείωση ήχου: την αύξηση της απόστασης μεταξύ της πηγής και του δέκτη, χρησιμοποιώντας ηχοπετάσματα για να αντανakλούν ή απορροφούν την ενέργεια των ηχητικών κυμάτων, με απόσβεση δομών, όπως ήχο διαφράγματα , ή χρησιμοποιώντας τη δραστική antinoise γεννήτριες ήχου.

Δύο διαφορετικά προβλήματα ηχομόνωσης μπορεί να χρειαστεί να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό με ακουστικές επεμβάσεις - Η βελτίωση του ήχου μέσα σε ένα χώρο, και η μείωση της διαρροής ήχου από και προς γειτονικούς χώρους ή σε εξωτερικούς χώρους. Ακουστική ησυχαστική , μετριασμού του θορύβου , καθώς και ο έλεγχος του θορύβου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιορίσει τον ανεπιθύμητο θόρυβο. Ηχομόνωση μπορεί να καταστείλει τα ανεπιθύμητα έμμεση ηχητικά κύματα, όπως αντανakλάσεις που προκαλούν ηχώ και συντονισμών που προκαλούν αντήχησης . Η Ηχομόνωση μπορεί να μειώσει τη μετάδοση των ανεπιθύμητων άμεσων ηχητικών κυμάτων από την πηγή σε έναν ακροατή μέσω της χρήσης της εξ αποστάσεως και την επέμβαση των αντικειμένων στο μονοπάτι ήχο.

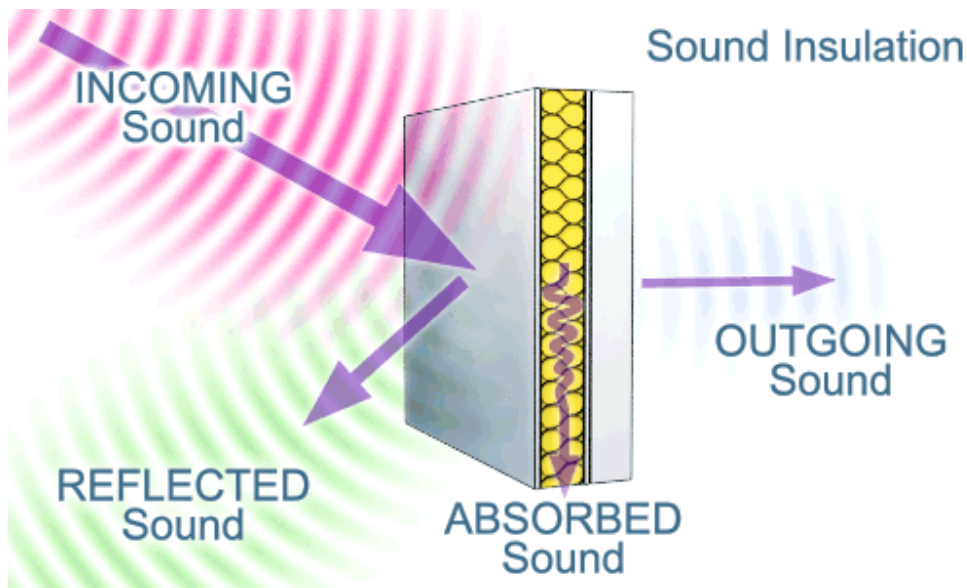


*Εικόνα 18 -19-20 :
Διάφορα είδη από υλικά ηχομόνωσης*



2.1) Ηχομόνωση με ανάκλαση ήχου (απομόνωση του χώρου)

Ηχοανακλαστήρας είναι η επιφάνεια εκείνη η οποία έχει την ιδιότητα να αντανακλά τον ήχο που προσπίπτει σε αυτήν. Το επιφανειακό βάρος και το υλικό που είναι κατασκευασμένη η επιφάνεια επηρεάζουν την ανακλαστικότητα του ηχοανακλαστήρα. Επίσης το μήκος κύματος του ήχου που προσπίπτει θα πρέπει να είναι μικρότερο από την επιφάνεια του ηχοανακλαστή. Συνήθως χρησιμοποιούμε κυρτές ανακλαστικές επιφάνειες οι οποίες έχουν την τάση να διαχέουν τον ήχο που προσπίπτει σε αυτές προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στο χώρο, αντίθετα με τις κοίλες ανακλαστικές επιφάνειες οι οποίες έχουν την τάση να συγκεντρώνουν τον ήχο που προσπίπτει πάνω τους.



Εικόνα 21: Η ανάκλαση και η απορρόφηση του ήχου

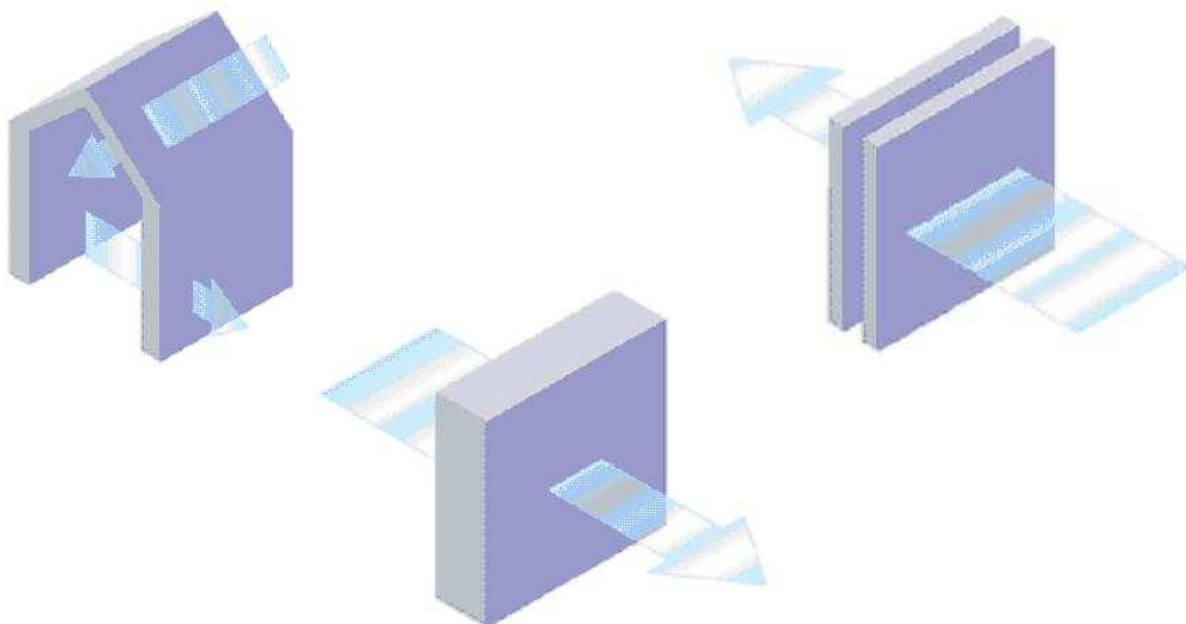
Ένα δωμάτιο σε δωμάτιο (RWAR) είναι μία μέθοδος απομόνωσης του ήχου και ακινητοποιεί από τη διαβίβαση προς τον έξω κόσμο, όπου μπορεί να είναι ανεπιθύμητη.

Οι περισσότεροι κραδασμοί / Μεταφορά ήχου από το ένα δωμάτιο στο εξωτερικό γίνεται με μηχανικά μέσα. Η δόνηση περνά κατευθείαν μέσα από το τούβλο, ξυλόγλυπτα και άλλα στερεά διαρθρωτικά στοιχεία. Όταν συναντιέται με ένα στοιχείο, όπως έναν τοίχο, οροφή, δάπεδο ή το παράθυρο, το οποίο λειτουργεί ως αντηχείο, η δόνηση ενισχύεται και ακούγεται στο δεύτερο χώρο. Μια μηχανική μετάδοση είναι πολύ πιο γρήγορη, πιο αποτελεσματική και μπορεί πιο εύκολα να ενισχύεται από μια αερομεταφερόμενη μετάδοση την ίδια αρχική δύναμη.

Η χρήση του μονωτικού αφρού και άλλα απορροφητικά μέσα είναι λιγότερο αποτελεσματική εναντίον αυτής μεταδίδονται δονήσεις. Ο χρήστης παρακαλείται να σπάσει τη σύνδεση μεταξύ του χώρου που περιέχει την πηγή θορύβου και τον έξω κόσμο. Αυτό ονομάζεται ακουστική αποσύνδεση. Ιδανικό αποσύνδεση προϋποθέτει την εξάλειψη των κραδασμών κατά την μεταφορά με δύο στερεά υλικά και στον αέρα, έτσι η ροή του αέρα μέσα στο δωμάτιο ελέγχεται συχνά. Αυτό έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια, για παράδειγμα, κατάλληλος εξαερισμός, πρέπει να εξασφαλίζεται και θερμάστρες αερίου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα σε αποσυνδεδεμένο χώρο.

Ανάκλαση του ήχου – Ανάκλαση του ήχου ή πιο σωστά ανάκλαση των ηχητικών κυμάτων έχουμε όταν αυτά προσπέσουν σε κατάλληλες (σχετικά λείες) επιφάνειες. Η γωνία πρόσπτωσης θα ισούται με τη γωνία ανάκλασης όπως ακριβώς συμβαίνει σε όλα τα μηχανικά κύματα αλλά και στο φως. Τα ηχητικά κύματα λοιπόν όταν προσπέσουν σε μια λεία επιφάνεια, αλλάζουν κατεύθυνση κατά 2θ – όπου θ είναι η γωνία πρόσπτωσης – και μεταδίδονται προς την ίδια πλευρά του χώρου.

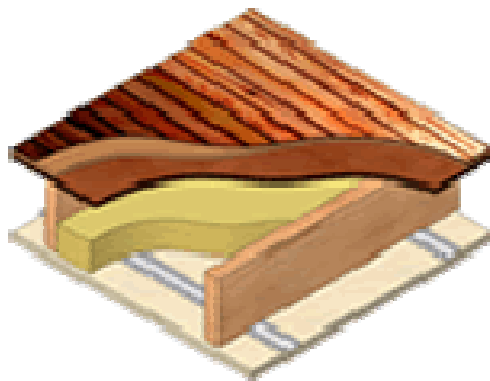
Το φαινόμενο της ηχούς π.χ. είναι συνέπεια ανάκλασης του ήχου σε εμπόδια απόστασης $\geq 17m$ από την ηχητική πηγή. Για να ξεχωρίσει το αυτί το αποτέλεσμα της ανάκλασης από τον πρωτογενή ήχο πρέπει να απέχουν χρονικά πάνω από $1/10$ sec, δηλ. η διανυόμενη απόσταση πρέπει να είναι πάνω από $340/10 = 34m$ ($2 \times 17m$). Όταν η απόσταση είναι μικρότερη, έχουμε το φαινόμενο της αντήχησης, δηλαδή παράταση της εντύπωσης του πρωτογενή ήχου. Έτσι, το φαινόμενο της ανάκλασης του ήχου παίρνεται σοβαρά υπόψη στην αρχιτεκτονική ακουστική.



Εικόνα 22-23-24 :Μορφές απορρόφησης του ήχου.

2.2) Ηχομόνωση με απορρόφηση ήχου

Η απορρόφηση του ήχου από τα τοιχώματα παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στην ακουστική των χώρων. Η απορρόφηση αυτή οφείλεται σε δύο κύριος φαινόμενα: Καθώς το ηχητικό κύμα εισχωρεί στο υλικό που είναι συνήθως πορώδες, το μέσο διάδοσης κατά την εκτέλεση των ταλαντώσεων λόγω τριβών με το υλικό χάνει ενέργεια. Έχουμε δηλαδή μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμική.



Εικόνα 25: Υλικό απορρόφησης του ήχου

Το ηχητικό κύμα διεγείρει προς ταλάντωση τα μόρια του απορροφητικού υλικού, οπότε η ενέργεια του ηχητικού κύματος μειώνεται. Ο συντελεστής απορρόφησης που εκφράζει την απορρόφηση, εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης και δίνεται γενικά από τη σχέση $a = 1 - ar$

Στις περισσότερες περιπτώσεις η γωνία πρόσπτωσης είναι άγνωστη ή μπορεί να μεταβάλλεται .

Απορροφώντας ήχο μετατρέπει αυτόματα μέρος της ηχητικής ενέργειας σε πολύ μικρή ποσότητα της θερμότητας κατά το χρονικό αντικείμενο (το υλικό απορρόφησης), και όχι από τον ήχο που μεταδίδονται ή αντανακλάται. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους ένα υλικό που μπορεί να απορροφήσει τον ήχο. Η επιλογή των ηχοαπορροφητικών υλικών θα καθορίζεται από την κατανομή συχνοτήτων του θορύβου για να απορροφηθεί και το ακουστικό προφίλ απορρόφησης που απαιτείται.

Απορρόφηση ήχου είναι η ιδιότητα που έχουν ορισμένα υλικά να απορροφούν μέρος της ηχητικής ενέργειας που προσπίπτει επάνω τους. Για να ακριβολογούμε είναι η ιδιότητα που έχουν να μην ανακλούν πίσω μέρος της ηχητικής αυτής ενέργειας. Αυτό διότι ένα μέρος της μη ανακλώμενης ενέργειας θα απορροφηθεί μετατρεπόμενο σε θερμότητα και το υπόλοιπο μέρος θα μεταδοθεί προς την άλλη πλευρά.

Η μετατροπή της ηχητικής – μηχανικής ενέργειας – σε θερμότητα δεν επηρεάζει τα απορροφητικά υλικά, διότι πρόκειται για πολύ μικρά ποσά θερμικής ενέργειας.

Ηχοαπορροφητικά υλικά είναι τα υλικά που παρουσιάζουν υψηλούς συντελεστές απορρόφησης (περισσότερα στο οικείο λήμμα).

Η ηχοαπορρόφηση είναι τελείως διαφορετική έννοια από την ηχομόνωση και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να συγχέονται. Τα καλά απορροφητικά υλικά δεν προσφέρουν καλή ηχομόνωση και αντιστρόφως.

Η συνολική ηχοαπορροφητική ικανότητα A ενός χώρου ισούται με το άθροισμα των γινομένων των επιμέρους διαφορετικών επιφανειών επί του συντελεστή απορρόφησης τους.

Απορρόφησης συντελεστής – Συντελεστής απορρόφησης για ένα υλικό είναι ο λόγος α της μη ανακλώμενης ηχητικής ενέργειας προς τη συνολική ηχητική ενέργεια που προσπίπτει επάνω του. Ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητα του ήχου. Για τα περισσότερα οικοδομικά υλικά κυμαίνεται περίπου ανάμεσα σε 0,01 – 0,95. Τα μικρά νούμερα αφορούν σκληρές και λείες επιφάνειες όπως π.χ. εφυσωμένα πλακίδια, γυαλισμένα μάρμαρα κλπ. και τα μεγάλα αφορούν ηχοαπορροφητικά υλικά μεγάλου πάχους και σε μεγάλες συχνότητες.

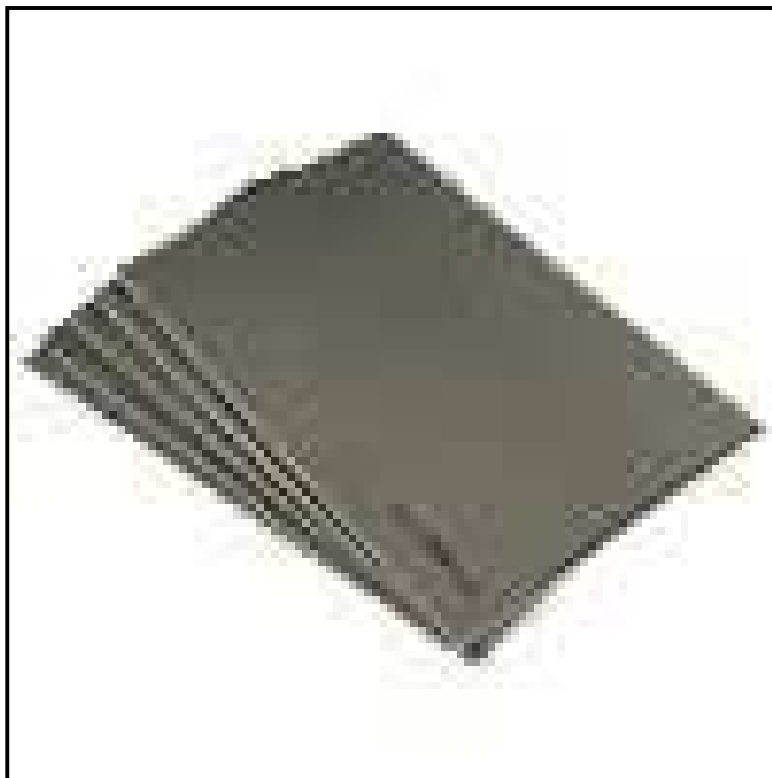
Οι μεγάλες συχνότητες ελέγχονται καλύτερα γιατί αντιστοιχούν σε μικρά μήκη κύματος. Μια χαμηλή συχνότητα όμως π.χ. 125Hz αντιστοιχεί σε μήκος κύματος $340/125 = 2,72\text{m}$ και προφανώς δεν ελέγχεται εύκολα.

2.2.1) Τα ηχοαπορροφητικά υλικά

Τα ηχοαπορροφητικά υλικά είναι εκείνα τα υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη ικανότητα ηχοαπορρόφησης και χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική ακουστική. Ο συντελεστής απορρόφησης αποτελεί το μέτρο ικανότητας της κάθε επιφάνειας ή του υλικού να απορροφά τον ήχο. Αν από την προσπίπτουσα ηχητική ενέργεια απορροφάται το 40% σε επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου λέμε ότι ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης είναι 0,40 (Sabin). Ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης ενός υλικού μεταβάλλεται με τη συχνότητα και τη γωνία πρόσπτωσης του ήχου. Όλοι οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης που δίνουν οι κατασκευαστές για υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για αρχιτεκτονικούς ακουστικούς υπολογισμούς μετρούνται με τη μέθοδο του θαλάμου αντήχησης. Ο θάλαμος αντήχησης είναι ένα μεγάλο δωμάτιο με πολύ ανακλαστικά τοιχώματα, οροφή και πάτωμα, με πολύ μεγάλο χρόνο αντήχησης, ειδικά κατασκευασμένος ώστε να υπάρχουν πολλοί τρόποι δόνησης (modes) σε πολλές συχνότητες. Η μέθοδος του θαλάμου αντήχησης μετρά αυτόματα τη μέση τιμή του συντελεστή ηχοαπορρόφησης των ηχοαπορροφητικών υλικών.

Συνήθως τα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά που χρησιμοποιούνται κατασκευάζονται από βαμβάκι (που είναι εξαιρετικός απορροφητής ήχου) και χνουδωτά ινώδη υλικά σε μορφή ταμπλό, υφασμάτων, χαλιών κ.α. Καθώς ο ήχος προσκρούει σε μια τέτοια

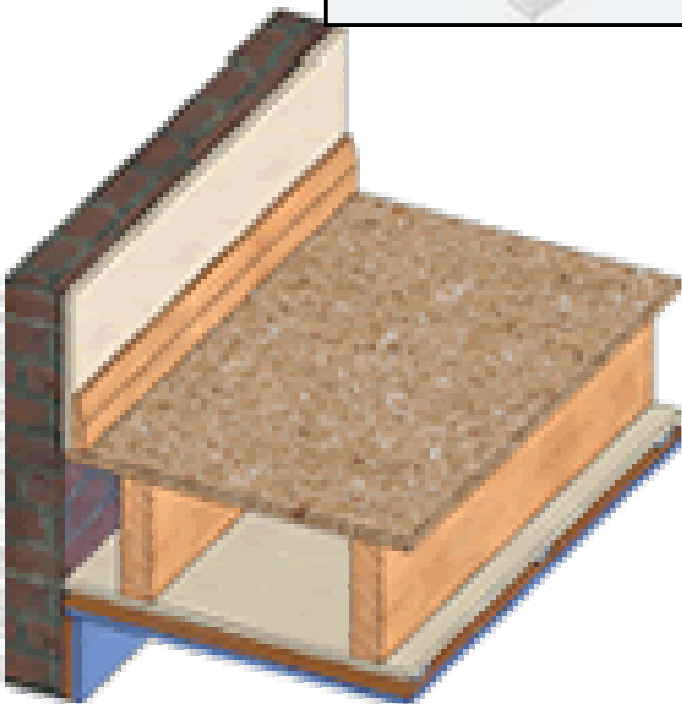
επιφάνεια κάποιο μέρος της ηχητικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα λόγω της τριβής καθώς οι ίνες αρχίζουν να κινούνται. Στη συνέχεια ο ήχος εισχωρεί όλο και βαθύτερα ανάμεσα στο πορώδες υλικό και χάνει διαρκώς ενέργεια καθώς όλο και περισσότερες ίνες ταλαντώνονται μετατρέποντας την ηχητική ενέργεια σε θερμική. Υπάρχουν δυο όρια ανάμεσα στα οποία βρίσκονται τα καλά ηχοαπορροφητικά υλικά. Αν οι ίνες είναι πολύ αραιές θα απορροφηθεί λίγη ηχητική ενέργεια σαν θερμότητα, ενώ αντίθετα, αν οι ίνες είναι πολύ πυκνές η εισχώρηση του ήχου δεν θα είναι επαρκής ώστε να προκαλέσει την απαιτούμενη τριβή. Μεταξύ αυτών των δυο ορίων βρίσκονται ηχοαπορροφητικά υλικά που είναι καλοί ηχοαπορροφητές και αποτελούνται από κυτταρίνη ή ορυκτές ίνες.



Εικόνα 26: Υλικά απορρόφησης του ήχου.



Εικόνες 27-28-29-30: Από επάνω προς τα κάτω έχουμε τα απορροφητικά υλικά: ξύλο, λεπτή ελαστική μεμβράνη, ύφασμα, πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά.



Άλλα γνωστά ηχοαπορροφητικά υλικά είναι το υαλόνημα σε μορφή ταμπλό (με ίνες από γυαλί που αποτελούνται από ειδικά υλικά μεγάλης πυκνότητας), οι αφροί από πολουρεθάνη (αφρολέξ) γνωστά και ως Sonex, και οι κουρτίνες που λειτουργούν σαν ηχοπορροφητές ήχου ανάλογα με το βάρος του υλικού που είναι κατασκευασμένες, τον βαθμό πτύχωσης (ζάρες) και την απόσταση τους από τον τοίχο. Τα χαλιά τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως για την αισθητική στο χώρο απορροφούν τον ήχο συνήθως στις υψηλές συχνότητες και αυτό δημιουργεί ένα πρόβλημα στην ισοστάθμιση της ηχοαπορρόφησης.

Τέλος οι ηχοαπορροφητές με διαφράγματα ή αλλιώς "συνηχητές μεμβράνης" σε αντίθεση με τους πορώδεις απορροφητές οι οποίοι απορροφούν τον ήχο σε υψηλές και μεσαίες συχνότητες, έχουν τη δυνατότητα απορρόφησης του ήχου σε χαμηλές συχνότητες. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μηχανική δόνηση της επιφάνειας που πάλλεται, όταν ο ήχος προσπίπτει πάνω της και έτσι αποσβένει τον κραδασμό. Η ανάγκη για την παρουσία ηχοαπορροφητών με διάφραγμα σε χώρους ακροατηρίου είναι απαραίτητη αφού οι ακροατές και τα περισσότερα υλικά απορροφούν μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Τα υλικά κατασκευής των συνηχητών είναι συνήθως υποπροϊόντα του ξύλου όπως νοβοπάν και κόντρα πλακέ.

Η επίδραση του πάχους των ηχοαπορροφητικών υλικών μετά από κάποια τιμή, αν και θα περιμέναμε να μας δίνει μεγάλο συντελεστή ηχοαπορρόφησης για μεγαλύτερο πάχος, ισχύει μόνο για τις χαμηλές συχνότητες κάτω από τα 500Hz. Σε αυτή την περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων παρατηρούμε βελτίωση όσο αυξάνεται το πάχος του υλικού, αντίθετα πάνω από τα 500Hz ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης παραμένει σχεδόν σταθερός.

Επίδραση του κενού πίσω από τον ηχοαπορροφητή: Η απορρόφηση ενός απορροφητικού υλικού μπορεί να βελτιωθεί στις χαμηλές συχνότητες αν τοποθετηθεί σε απόσταση από τον τοίχο. Ανάλογα με τη συχνότητα που θέλουμε να απορροφήσουμε τοποθετούμε το απορροφητικό υλικό σε απόσταση ενός τετάρτου μήκος κύματος ή σε περιττά πολλαπλάσια του ενός τετάρτου. Αυτός είναι ένας εύκολος τρόπος να πάρουμε μεγαλύτερη ηχοαπορρόφηση σε χαμηλές συχνότητες.

Η επίδραση της πυκνότητας που μεταβάλλεται σχεδόν 4 προς 1 επηρεάζει πάρα πολύ λίγο τον συντελεστή ηχοαπορρόφησης του ηχοαπορροφητικού υλικού. Σε πολύ μικρές πυκνότητες η τριβή μεταξύ των ινών και του ήχου που προσπίπτει δεν είναι ικανή ώστε να απορροφήσει τον ήχο και σε πολύ μεγάλες πυκνότητες έχουμε μικρή εισχώρηση του ήχου στο πορώδες υλικό με μεγάλη ανάκλαση. Οι δύο παραπάνω περιπτώσεις αφορούν τα όρια μεταξύ πυκνότητας υλικών και συντελεστή ηχοαπορρόφησης.

2.3) Ηχομόνωση κτιριακών κατασκευών

Κατοικίες και ηχομόνωση έχουν ως στόχο να μειώσουν ή να εξαλείψουν τις συνέπειες του εξωτερικού θορύβου. Ο κύριος στόχος των κατοικιών με ηχομόνωση σε υφιστάμενες δομές είναι τα παράθυρα . Οι κουρτίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόσβεση ήχου είτε μέσω της χρήσης βαρέων υλικών ή με τη χρήση των αεροθαλάμων είναι γνωστή και ως κηρήθρες . Μονόφυλλα, δίφυλλα και τρίφυλλα σχέδια κηρυθρών έχουν επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού ηχομόνωσης. Με διπλά τζάμια επιτυγχάνουμε κάπως μεγαλύτερη ηχομόνωση από ότι με ένα ενιαίο τζάμι. Σημαντική μείωση του θορύβου μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ενός δεύτερου παραθύρου στο εσωτερικό. Στην περίπτωση αυτή το εξωτερικό παράθυρο παραμένει στη θέση του, ενώ ένα ρυθμιστικό ή κρεμασμένο παράθυρο είναι εγκατεστημένο στα ίδια ανοίγματα των τοίχων εσωτερικά.



Εικόνα 31: Ηχομόνωση της σκεπής ενός σπιτιού

2.3.1) Υλικά ηχομόνωσης

Για τους τοίχους

Ηχομονωτικά ρολά από βινύλιο (MLV) τα οποία κυκλοφορούν στο εμπόριο με διάφορες ονομασίες ανάλογα με την εταιρεία που τα παράγει (Acoustiblok, Acoustistop, Sheetblok, Soundblok, Revac, Barrier Shield, db-Block κ.α.). Μερικά από αυτά εφαρμόζονται σε ήδη κτισμένους τοίχους αν και κάποιες εταιρείες θεωρούν σε αυτές τις περιπτώσεις τα ειδικά κατασκευασμένα πάνελ ως καλύτερη λύση ενώ κάποια άλλα κατά την κατασκευή του κτιρίου. Η ηχομονωτική ικανότητα αυτών των ρολών περιγράφεται ενδεικτικά από τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα:

Sound Barrier NRC Data						
125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	SRI
15	19	21	28	33	37	24

Ακουστικές μεμβράνες

Πρόκειται για λεπτά υλικά πολυμερικής σύνθεσης υψηλής πυκνότητας (απλά ή αυτοκόλλητα) που εφαρμόζονται σε διάφορες κτιριακές επιφάνειες ακόμη και μη λείες, ανθεκτικά σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, που επιφέρουν ηχητική μείωση 25.2dB η μονή στρώση και περίπου 32dB για διπλή στρώση (10kg/m²).

Ακουστικά πάνελ

Υπάρχουν πάνελ από διάφορα υλικά ανάλογα με τη χρήση και τις ανάγκες του χώρου. Μπορεί να είναι γύψινα, συνθετικά και άλλα υλικά με ποικίλη πυκνότητα και ιδιαιτερότητα χρήσης, με ηχητική μείωση που μπορεί να φτάσει και τα 48dB.

Για τα πατώματα

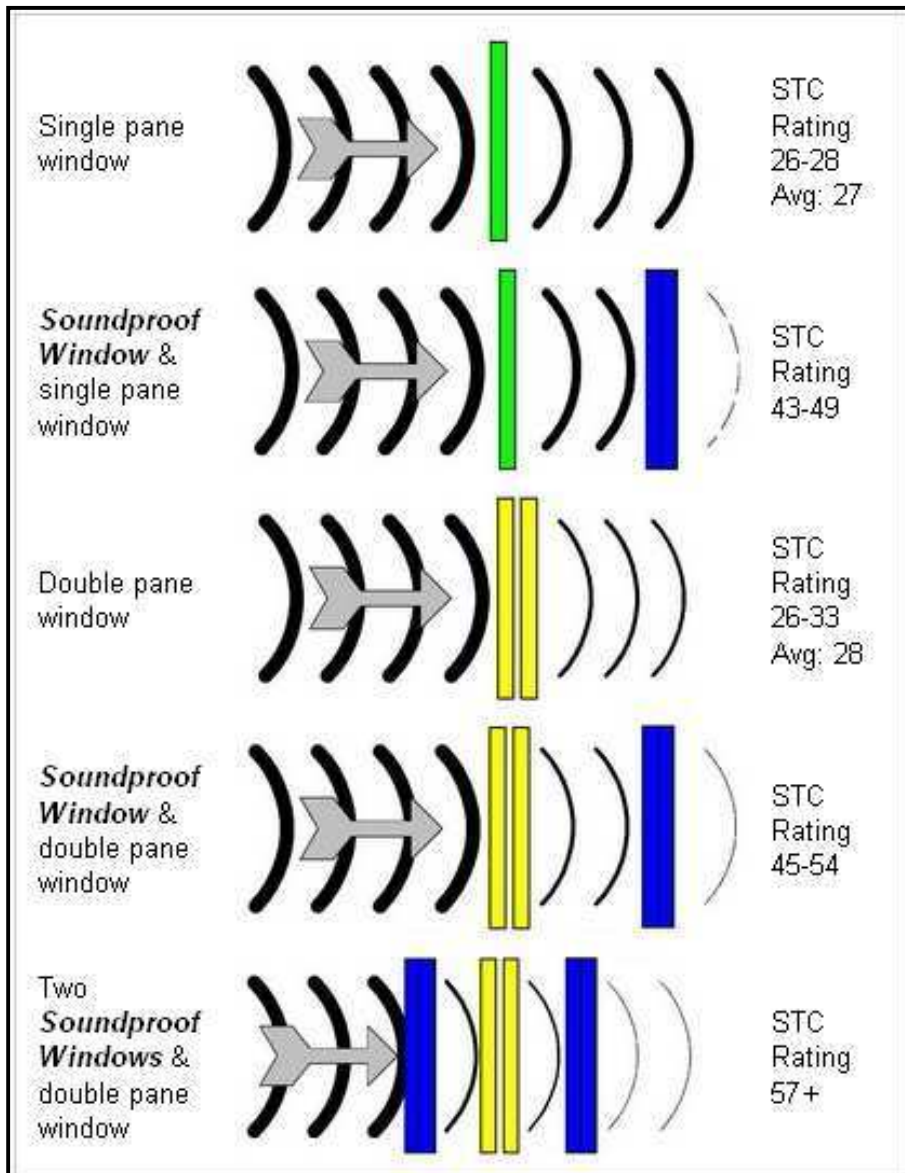
Υπάρχουν ειδικά ρολά που εφαρμόζονται στα πατώματα όταν αυτά είναι ήδη κατασκευασμένα ή εξ ολοκλήρου ειδικές ηχομονωτικές πατέντες καιά την κατασκευή του πατώματος. Η μείωση αερόφερτου θορύβου είναι 43-45dB, ενώ για κτυπογενείς ήχους η μείωση μπορεί να φτάσει τα 64dB. Τα υλικά και εδώ ποικίλουν ανάλογα τη χρήση.

Για το ταβάνι

Για το ταβάνι υπάρχουν υλικά και λύσεις παρόμοιες με αυτές για τα πατώματα, μόνο που εδώ διαφέρουν τα υλικά κατασκευής, αφού σε πολλές περιπτώσεις η ηχομόνωση συνδυάζεται με θερμομόνωση, ενώ λαμβάνεται υπόψη και το γεγονός ότι το ταβάνι μπορεί να είναι εκτεθειμένο είτε σχεδόν αποκλειστικά σε αερόφερτο θόρυβο (όπως π.χ. στην περίπτωση σκεπής ή ταράτσας) είτε σε κτυπογενείς ήχους και κραδασμούς (όπως π.χ. στην περίπτωση ταβανιού ενδιάμεσου διαμερίσματος πολυκατοικίας).

Άλλα υλικά

Εκτός από τα προαναφερθέντα υπάρχουν και τα ειδικά ‘ηχομονωτικά κουφώματα’, τα οποία προσαρμόζονται είτε εξ αρχής είτε σε ήδη υπάρχοντα (μπαλκονόπορτες ανοιγόμενες ή συρόμενες, παράθυρα κ.α.), καθώς και άλλα μικρο-υλικά, όπως ηχομονωτικές ταινίες, καλύμματα, φορητά διαχωριστικά κ.α. για μικρές, αλλά όχι τόσο αποτελεσματικές λύσεις. Η ηχομείωση τόσο για τις πόρτες όσο και τα παράθυρα μπορεί να φτάσει το 75% και είναι εφαρμόσιμη σε κάθε είδους κουφώματος ακόμα και στα πιο παλιά και ιδιαίτερα.



Εικόνα 32: Κάποια ενδεικτικά στοιχεία για υλικά STC Ratings:

Τα υλικά ηχομόνωσης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές, τόσο για την προστασία των ανθρώπων όσο και του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, πολλές φορές χρησιμοποιούνται επικίνδυνα υλικά, για τα οποία υπάρχει ελάχιστη ή καθόλου ενημέρωση στο καταναλωτικό κοινό, προς χάρη του κέρδους. Χαρακτηριστικό είναι το άρθρο που δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα «Το Βήμα» στις 29-7-07 για το θέμα αυτό :

«Διαλέγοντας τα σωστά υλικά κάνουμε καλό όχι μόνο στους δικούς μας ανθρώπους αλλά και στους άλλους που έτυχε να κατοικούν στον ίδιο τόπο με εμάς. Διαλέγοντας, για παράδειγμα, να μονώσουμε τους τοίχους και τη στέγη με ένα υλικό φτιαγμένο από ίνες ξύλου συγκολλημένες και πιεσμένες μεταξύ τους, γνωστό και ως ξυλόμαλλο, χρησιμοποιούμε κάτι που δεν χρειάζεται να καταναλωθεί πολλή ενέργεια για να γίνει, είναι τελείως αβλαβές για τους ενοίκους του κτιρίου, συμβάλλει στο να χτιστεί ένας τοίχος που μπορεί να αναπνέει και είναι και απολύτως ανακυκλώσιμο. Αντίθετα, χρησιμοποιώντας διάφορα αφρώδη μονωτικά παράγωγα της πολυστερίνης, εξηλασμένης (XPS) ή διογκωμένης (EPS), και ισοκυανάτες (polyiso) κάνουμε κακό στον εαυτό μας και στους άλλους. Διότι αυτά είναι παράγωγα του πετρελαίου, που απαιτούν πολλή ενέργεια για να παραχθούν και στο εξωτερικό (πιο πολύ από ό,τι εδώ) το μετράνε αυτό πλέον σοβαρά. Επίσης, για να φθάσουν στην τελική τους μορφή πρέπει να χρησιμοποιηθεί απαραίτητως μια άλλη ουσία, που βοηθάει στη διόγκωσή τους. Αυτή η ουσία κάνει κακό στο περιβάλλον.

Για το EPS χρησιμοποιείται υγρό πεντάνιο, που συμβάλλει στη δημιουργία νέφους, για το XPS χρησιμοποιούνται οι περιβόητοι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC-142b) των οποίων και ένα μόνο μόριο όταν βρεθεί στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας έχει την ικανότητα να καταστρέψει χιλιάδες μόρια πολύτιμου όζοντος. Για το polyiso τώρα αρχίζουν να μη χρησιμοποιούν τόσο βλαβερά διογκωτικά όπως παλαιότερα, αλλά εκτός από τη σπατάλη σε πετρέλαιο, σε αμερικανικές πηγές βρίσκουμε ότι όλα αυτά τα αφρώδη χάνουν με τον καιρό τη μονωτική τους ικανότητα.

Ακόμη χειρότερα είναι τα πράγματα με άλλα υλικά, όπως ο λεγόμενος πετροβάμβακας (Mineral ή Rock Wool), που προκύπτει είτε από τον βασάλτη είτε ως παραπροϊόν των χαλυβουργιών και έχει μπει από την IARC (International Agency for Research on Cancer) στον κατάλογο των «πιθανώς καρκινογόνων υλικών», ενώ ο υαλοβάμβακας, επειδή υφίσταται επεξεργασία με φορμαλδεΐδη, είναι ακόμη πιο βλαβερός. Διότι η φορμαλδεΐδη από μόνη της πρέπει να εξοριστεί εντελώς ως υλικό από κλειστούς χώρους όπου υπάρχουν άνθρωποι. Καθώς περνάει ο καιρός εξατμίζεται και προκαλεί ερεθισμό στα μάτια, ενόχληση στον λαιμό και ναυτία, ενώ σε μεγάλη χρονική κλίμακα θεωρείται και αυτή ύποπτη για την πρόκληση καρκίνου».

2.3.2) Υλικά Κατασκευής

Όπως αναφερθήκαμε και παραπάνω, για τη μείωση του ήχου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και ηχοπετάσματα. Τα ηχοπετάσματα είναι διαμήκεις κατασκευές παραπλεύρως της οδού, στη μία ή και στις δύο πλευρές της, με σκοπό την ελάττωση του επιπέδου του θορύβου που παράγεται από την κυκλοφορία. Η εφαρμογή ηχοπετασμάτων σε μία οδό είναι μία απόφαση που λαμβάνεται κατά βούληση, αφού δεν υπάρχουν, πέρα από γενικές κατευθύνσεις, συγκεκριμένες αριθμητικές υποδείξεις από τους ανά τον κόσμο κανονισμούς και προδιαγραφές.

Μέχρι τώρα αφέθηκε να εννοηθεί ότι ο καθολικός σχεδιασμός μίας λύσης με ηχοπετάσματα έγκειται κατά κύριο λόγο στη διαχείριση της ακουστικής, δηλαδή σχετικά με το λόγο που τοποθετούνται. Στην πραγματικότητα, αυτή είναι μόνο η μία όψη του νομίσματος. Τα μεγάλα ύψη των ηχοπετασμάτων, εκτεταμένα σε μεγάλα μήκη, αναμειγνύουν αναγκαστικά και την οπτική διάσταση στο σχεδιασμό. Ένα ηχοπέτασμα μπορεί να είναι μονότονο και αντιαισθητικό, τόσο για τους οδηγούς, όσο και για τους παρόδιους. Τα ηχοπετάσματα, πλέον, αντιμετωπίζονται ως αρχιτεκτονικά στοιχεία, τα οποία, μάλιστα, πρέπει να είναι όχι μόνο αισθητικά αποδεκτά, αλλά και να συμβαδίζουν με το χαρακτήρα του περιβάλλοντος χώρου.

Έτσι, στον καθορισμό της μορφής και των υλικών κατασκευής, μαζί με τη λειτουργική υπεισέρχεται πλέον και η αρχιτεκτονική διάσταση. Χαρακτηριστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηχοπετασμάτων είναι:

Εδαφικά υλικά: Έχουν πιο αποδεκτή εμφάνιση, δεν προκαλούν αίσθημα περιορισμού, μπορούν να φυτευτούν και έχουν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, απαιτούν πολύ μεγάλη επιφάνεια ανάπτυξης, ενώ πρέπει να εξετάζονται και οι γεωτεχνικές παράμετροι του εδάφους.

Ξύλο: Μπορεί να βρεθεί και σε ανακλαστικούς, και σε απορροφητικούς τύπους. Εξαιρετικά φιλικό, συνδυάζεται αποτελεσματικά με φυσικό υπόβαθρο, είναι όμως ακατάλληλο σε αστικό περιβάλλον. Τα ξύλινα ηχοπετάσματα πρέπει να είναι πάντα κατακόρυφα, ενώ σε μεγάλο μήκος μπορεί να καταντούν μονότονα.

Μεταλλικά φύλλα: Είναι γενικά απορροφητικού τύπου, αλλά μπορεί να βρεθούν και ανακλαστικά ηχοπετάσματα αυτού του είδους. Ταιριάζουν περισσότερο σε αστικό περιβάλλον και μπορούν να συνδυαστούν με διαφανή στοιχεία, ή γενικά να αποκτήσουν ποικιλία στη μορφή τους.

Σκυρόδεμα: Είναι είτε ανακλαστικού, είτε απορροφητικού τύπου. Στεγνές επίπεδες επιφάνειες θα πρέπει να αποφεύγονται, με διαμόρφωση σχημάτων και σχεδίων, ενώ η όψη τους βελτιώνεται σημαντικά σε συνδυασμό με βλάστηση.

Οπτόπλινθοι: Τα ηχοπετάσματα με μορφή τοιχοποιίας αποπνέουν μία διαφορετική αισθητική. Συμπαγείς οπτόπλινθοι είναι ανακλαστικού τύπου, ενώ διάτρητοι, απορροφητικού.

Πλαστικά: Όντας ολοένα και φθηνότερα, και με δεδομένη την ικανότητα να παρέχουν ευρεία ποικιλία σε μορφές, κατέχουν σημαντικό μερίδιο στις εφαρμογές ηχοπετασμάτων.

Διαφανή υλικά: Αποτελούμενα από γυαλί, ακρυλικά ή πολυκαρβονικά υλικά, τα διαφανή ηχοπετάσματα είναι ιδεώδη για περιπτώσεις που απαιτείται η διατήρηση του χαρακτήρα του περιβάλλοντος, λόγω της οπτικής τους ουδετερότητας, ενώ δεν προκαλούν αίσθημα περιορισμού στον οδηγό και επιτρέπουν τη διέλευση του φωτός. Ενδείκνυνται για γέφυρες.

Φυτικά υλικά: Τοποθετούνται επάνω σε σκελετό. Έχουν το μειονέκτημα της απαίτησης συντήρησης.

2.4) Ηχομόνωση μηχανολογικών κατασκευών

Μηχανολογικός θόρυβος. Με τον όρο « Μηχανολογικό Θόρυβο » εννοούμε τον παραγόμενο θόρυβο από την χρήση και λειτουργία των πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων, σταθερών και κινητών.

Τον Μηχ/κό Θόρυβο τον διακρίνουμε σε :

Α) Μηχ/κός Θόρυβος σταθερών πηγών εκπομπής

Σε αυτόν περιλαμβάνονται :

1. Τα πάσης φύσεως μηχανήματα που ευρίσκονται σε : βιομηχανίες, βιοτεχνίες, καθώς και κάθε είδους επαγγελματικά εργαστήρια, όπως σιδηρουργεία, ξυλουργεία, τυπογραφεία, κλπ
2. Τα μηχανήματα που λειτουργούν σε καταστήματα υγειονομικού χαρακτήρα, όπως αρτοποιεία, εστιατόρια , Βαρ, καφενεία, Super Market, Mini Market, Νοσοκομεία , Ιατρικά Κέντρα, κλπ.
3. Όλων των ειδών συνεργεία οχημάτων, όπως φανοποιεία, πλυντήρια αυτοκινήτων, βενζινάδικα, κλπ.
4. Όλων των ειδών κλιματιστικά μηχανήματα, τα οποία λειτουργούν σε επαγγελματικούς, οικιακούς και δημόσιους χώρους. Από τις παραπάνω δραστηριότητες άλλες αδειοδοτούνται από τις Νομαρχιακές Υπηρεσίες άλλες από τις Δημοτικές και άλλες λειτουργούν χωρίς άδεια (πχ οικιακά κλιματιστικά).

Για τις δραστηριότητες που αδειοδοτούνται από τις Νομαρχιακές Υπηρεσίες εκτός των άλλων δικαιολογητικών απαιτείται και υποβολή Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε)

β) Μηχ/κός Θόρυβος κινητών πηγών εκπομπής. Σε αυτόν περιλαμβάνονται κυρίως τα μηχανήματα των πάσης φύσεως εργοταξίων, όπως: Κομπρεσέρ αέρος.



Εικόνα 33: Ο Θόρυβος που δημιουργείται μέσω μιας ανεμογεννήτριας

2.4.1) Έλεγχος

Στην περίπτωση που ο θόρυβος προέρχεται από μηχανές, οι δρόμοι που μπορούμε να ακολουθήσουμε για την αντιμετώπιση είναι πολλοί. Στη μείωση του θορύβου των μηχανών, ο μηχανικός δεν πρέπει να ξεχνά τον βασικό κανόνα της ηχομείωσης γιατί είναι προτιμότερο να μειωθεί ο θόρυβος στην πηγή παρά μακριά από αυτήν.

Κατά την σχεδίαση την μείωσης του θορύβου των μηχανών οι ενέργειες που μπορεί να κάνει ο μηχανικός είναι:

- Μείωση του θορύβου στην πηγή
- Επιλογή μεθόδου εργασίας που παράγει λιγότερο θόρυβο
- Μείωση του θορύβου στην τροχιά διάδοσής του

2.4.2) Μείωση του θορύβου στην πηγή

Η στάθμη του θορύβου που οφείλεται στην κατασκευή: Η στάθμη του θορύβου που παράγει μια μηχανή εξαρτάται εκτός των άλλων από την ισχύ της μηχανής, τον κατασκευαστή, και την παλαιότητά της. Συνήθως παλιές μηχανές είναι πιο θορυβώδης από τις καινούριες. Αντικατάσταση των παλαιών μηχανών με νεότερες μειώνει σημαντικά το θόρυβο.

Η ισχύς των μηχανών παίζει επίσης πολύ σπουδαίο ρόλο στην εκπομπή του θορύβου. Αν υποθέσουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι σταθερός ανεξάρτητα από τη χρησιμοποιούμενη ισχύ, διπλασιασμός της ιπποδύναμης διπλασιάζει τον εκπεμπόμενο θόρυβο. Αυτό σημαίνει αύξηση 3 dB της εκπεμπόμενης στάθμης. Προσεγγιστικά για την αύξηση της στάθμης ηχητικής πίεσης που συνδέεται με την αύξηση της ισχύος μπορούμε να γράψουμε την εμπειρική σχέση :

$$\Delta L_p = 17 \log P_2/P_1$$

Όπου P_2, P_1 ($P_1 > P_2$) η ισχύς της μηχανής σε δύο διαφορετικές λειτουργίες.

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η κατάλληλη επιλογή ή κατανομή της ισχύος των μηχανών μειώνει σημαντικά τον θόρυβο. Η αναζήτηση των μηχανών άλλου κατασκευαστή ή μηχανών που στηρίζονται σε άλλη αρχή λειτουργίας μπορεί να περιορίσει αρκετά την τελική στάθμη.

Η μείωση της έντασης των κρουστικών δυνάμεων μειώνει σημαντικά τον θόρυβο στην πηγή. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους.

Η μετατόπιση της εκπομπής σε υψηλότερες συχνότητες κάνει την αντιμετώπιση του θορύβου πιο εύκολη. Πρέπει να τονιστεί όμως ότι οι ήχοι μεγαλύτερης συχνότητας προκαλούν μεγαλύτερη ενόχληση.

Η χρήση οδοντωτών τροχών ίδιας διαμέτρου αλλά με μεγαλύτερο αριθμό δοντιών, χρήση ανεμιστήρων με περισσότερα πτερύγια είναι μερικοί τρόποι αύξησης της συχνότητας.

Οι ελεύθερες άκρες των επιφανειών επιτρέπουν την εξισορρόπηση της πίεσης και με τον τρόπο αυτό ο εκπεμπόμενος θόρυβος ελαχιστοποιείται. Αντικατάσταση συνεπώς μιας επιφάνειας από περισσότερες του ίδιου εμβαδού ελαχιστοποιεί τον εκπεμπόμενο θόρυβο.

Η ροή αέρα πάνω από τις κοιλότητες πρέπει να αποφεύγεται διότι είναι αιτία παραγωγής θορύβου υψηλής συχνότητας. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγονται και οι στροβιλισμοί του αέρα με διαμόρφωση της γεωμετρίας των κατασκευών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατό να αντικατασταθεί ένας τρόπος εργασίας με έναν άλλο λιγότερο θορυβώδη.

Μόνωση των ταλαντώσεων: Οι δονούμενες επιφάνειες είναι συνήθως πηγές θορύβου. Η μείωση των ταλαντώσεων με χρήση κατάλληλων υλικών μειώνει σημαντικά την στάθμη του θορύβου.

2.4.3) Χρήση κλωβών και φραγμάτων

Όταν οι άλλοι τρόποι αποτυγχάνουν ή δε δίδουν ικανοποιητική μόνωση, τότε η μηχανή μπορεί να τοποθετηθεί σε κλωβό ή πίσω από ένα φράγμα. Όταν λέμε φράγμα εννοούμε ένα τοίχωμα μέσου ύψους, το οποίο λόγω ανάκλασης μειώνει αισθητά τον θόρυβο που εκπέμπεται προς μία κατεύθυνση. Γενικά ένα φράγμα μειώνει κατά τον θόρυβο κατά 2-5 dB σε χαμηλές συχνότητες και 10-15 dB σε υψηλές. Φράγμα αποτελούμενο από δύο ή τρεις πλευρές χωρίς οροφή μειώνει ακόμη περισσότερο τον ήχο. Ο θόρυβος στην πλευρά των φραγμάτων που είναι η πηγή, είναι μεγαλύτερος από ότι χωρίς φράγμα, λόγω των ανακλάσεων στα τοιχώματα των φραγμάτων και αυτό μετριάζει την απόδοση τους. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να περιοριστεί αν επενδύσουμε την επιφάνεια του φράγματος με απορροφητικό υλικό.

Ένας κλωβός κατάλληλα σχεδιασμένος μπορεί να μειώσει το θόρυβο από μία μηχανή κατά 25 dB σε υψηλές συχνότητες και 10-15 dB σε χαμηλές.



Εικόνα 34: Φωτογραφική απεικόνιση Φραγμάτων του ήχου

2.4.4) Σιγαστήρες

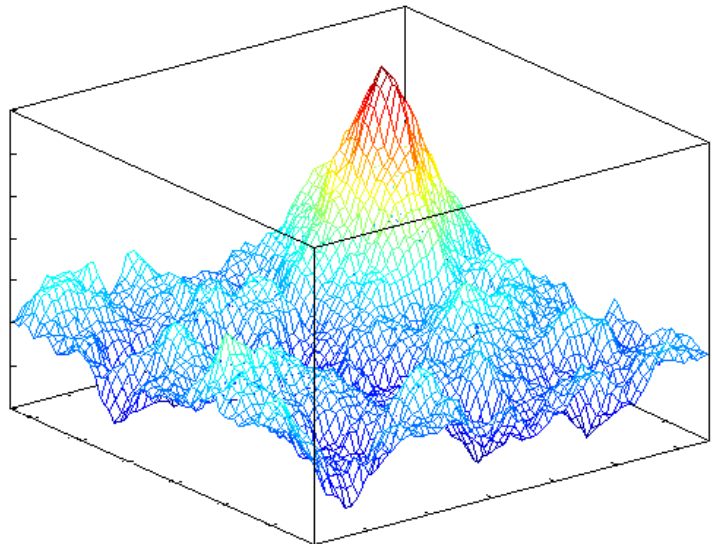
Η χρήση των σιγαστήρων παίζει πολύ σπουδαίο ρόλο στη μόνωση του θορύβου.

Η σωστή τοποθέτηση των πηγών του θορύβου παίζει επίσης πολύ σπουδαίο ρόλο στον προσδιορισμό της στάθμης σε ένα χώρο. Ένας απλός κανόνας στην επιλογή της σωστής θέσης των μηχανών είναι να τοποθετούμε τις μηχανές ίσης περίπου στάθμης κοντά και να απομακρύνουμε τις μηχανές μικρότερης στάθμης. Επίσης οι πηγές θορύβου θα πρέπει να τοποθετούνται μακριά από τις επιφάνειες που μπορούν εύκολα να μεταδώσουν, να αναπαράγουν, να ανακλάσουν τον ήχο.



Εικόνα 35: Φωτογραφία σιγαστήρων

Κεφάλαιο 3: *Μέτρηση του θορύβου*



3) Μέτρηση του θορύβου

Για τη μέτρηση του ήχου χρησιμοποιείται απαραίτητα ένας δέκτης , όπου είναι το αισθητήριο που διεγείρεται από τις μεταβολές της πίεσης που δημιουργεί ο ήχος στο μέσο διάδοσης.

Το σύστημα παραγωγής και διάδοσης του ήχου είναι γραμμικό. Αυτό συνεπάγεται ως δύο ιδιότητες: την ιδιότητα της ομογένειας και την ιδιότητα της υπέρθεσης ή επαλληλίας. Η πρώτη ιδιότητα δηλώνει ότι η είσοδος αυξάνεται κ φορές και έχουμε αύξηση κ φορές της εξόδου του συστήματος. Δηλαδή εάν έχουμε μία πηγή σε κάποιο σημείο που δημιουργεί ένταση ήχου I , ο διπλασιασμός της ισχύος της πηγής συνεπάγεται και διπλασιασμό της έντασης στο ίδιο σημείο .Η τελική έξοδος είναι το άθροισμα των εξόδων που προκαλεί η κάθε είσοδο.

Το πόσο έντονα θα ακουστεί ένας ήχος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πλάτος της ακουστικής πίεσης, λόγω του ότι η πίεση του ήχου είναι ένα μέγεθος που μεταβάλλεται με το χρόνο μας ενδιαφέρουν μόνο οι μέσες τιμές. Η ενέργεια του ηχητικού κύματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ηχητικής πίεσης. Επίσης ένα άλλο σπουδαίο μέγεθος που παίζει ρόλο στην μέτρηση και την ένταση του ήχου είναι η συχνότητα.

Οι μετρήσεις του θορύβου στους εργασιακούς χώρους γίνονται με κατάλληλα όργανα τα οποία ονομάζονται "ηχόμετρα". Τα όργανα αυτά μπορούν με τη βοήθεια ηλεκτρονικών κυκλωμάτων - φίλτρων, όπως το σταθμιστικό κύκλωμα άλφα (Α), να προσομοιώνουν την ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής.

Επίσης για τη μέτρηση της "δόσης" του θορύβου που δέχεται κάποιος εργαζόμενος πρέπει να χρησιμοποιείται κατάλληλο "ηχοδοσίμετρο". Το όργανο αυτό προσδιορίζει το σύνολο της ηχητικής ενέργειας που δέχεται ο εργαζόμενος στο ωράριο της βάρδιας του (8 ώρες), ανάγοντάς το σε εκατοστιαία αναλογία (δόση) της προκαθορισμένης επιτρεπτής Οριακής Τιμής για δωρη έκθεση.

Εικόνα 36:
Φωτογραφία
ηχόμετρου



Η ηχητική πίεση:

Ορίζεται ως:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p(t)}{p_{ref}} \right)^2$$

όπου p_{ref} είναι η στάθμη αναφοράς (ίση προς 2×10^{-5} Pa). Προφανώς, στην περίπτωση ηχητικής μέτρησης περιβαλλοντικού (κυκλοφοριακού) θορύβου, η συνεχής διακύμανση της στιγμιαίας τιμής της ηχητικής πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο ελαχιστοποιεί την πρακτική σημασία της παραπάνω μέτρησης. Για τον λόγο αυτό έχει ορισθεί το μέγεθος Ισοδύναμη Στάθμη Θορύβου (L_{eq}), το οποίο ορίζεται ως η σταθερή στάθμη ηχητικής πίεσης που θα παραγόταν από την πηγή του θορύβου, εάν η συνολική ακουστική ενέργεια του ηχητικού γεγονότος ήταν ισοκατανεμημένη στην χρονική διάρκεια T της μέτρησης, δηλαδή:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_{ref}} \right)^2 dt$$

Παράλληλα, στην πράξη κρίνεται χρήσιμη η ανάλυση του θορύβου με άλλα στατιστικής φύσης κριτήρια, όπως π.χ. η εύρεση της μέγιστης τιμής της στιγμιαίας στάθμης ηχητικής πίεσης (L_{max}) για τη διάρκεια της μέτρησης, της μέσης τιμής, κ.λ.π. Επιπλέον, επειδή η επίπτωση και η ενόχληση του ανθρώπου από τους θορύβους που τον περιβάλλουν σχετίζεται άμεσα με το συχνοτικό τους περιεχόμενο, δεδομένης της μεταβλητής ως προς τη συχνότητα ευαισθησίας της ακοής, τα παραπάνω μεγέθη είτε μετριοούνται “γραμμικά” (linear), όπως ορίζεται από τις παραπάνω σχέσεις (1) και (2), είτε με φιλτραρισμένη (σταθμισμένη) την τιμή της στιγμιαίας τιμής.

3.1) Όργανα μέτρησης του θορύβου

Το ηχόμετρο

Για τη μέτρηση της στάθμης του θορύβου χρησιμοποιούμε τα ηχόμετρα. Η μετρούμενη ποσότητα ουσιαστικά του ήχου είναι η rms τιμή της πίεσης. Τα ηχόμετρα αυτά διαθέτουν ένα κύκλωμα χρόνου που δίνει δύο σταθερές χρόνου ως προς τις οποίες υπολογίζεται και το rms. Συνήθως τα καλής ποιότητας ηχόμετρα διαθέτουν κύκλωμα ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό της ισοδύναμης στάθμης και έχουν έξοδο αναλογική ή ψηφιακή για την είσοδο δεδομένων σε Η/Υ.

Ανάλογα με την ακρίβεια τους διακρίνονται σε τρεις τύπους:

- Ηχόμετρα τύπου 1
- Ηχόμετρα τύπου 2
- Ηχόμετρα τύπου εκτίμησης

Η ένταση του ήχου λοιπόν μετρείται με τα ηχόμετρα και επειδή είναι ένα διανυσματικό μέγεθος αποτελεί ένα σπουδαίο εργαλείο στα χέρια μηχανικών διότι έτσι μπορούν να μετρήσουν τον εκπεμπόμενο ήχο από μία συγκεκριμένη πηγή χωρίς να επηρεάζεται η μέτρηση από την ύπαρξη άλλων ηχητικών πηγών.

Κάθε ηχώμετρο αποτελείται, κατά βάση, από τα ίδια επί μέρους τμήματα:

- Μικρόφωνο
- Μονάδα επεξεργασίας (Κύκλωμα ενίσχυσης, φίλτρα, επεξεργαστής)
- Μονάδα απεικόνισης αποτελεσμάτων μετρήσεων

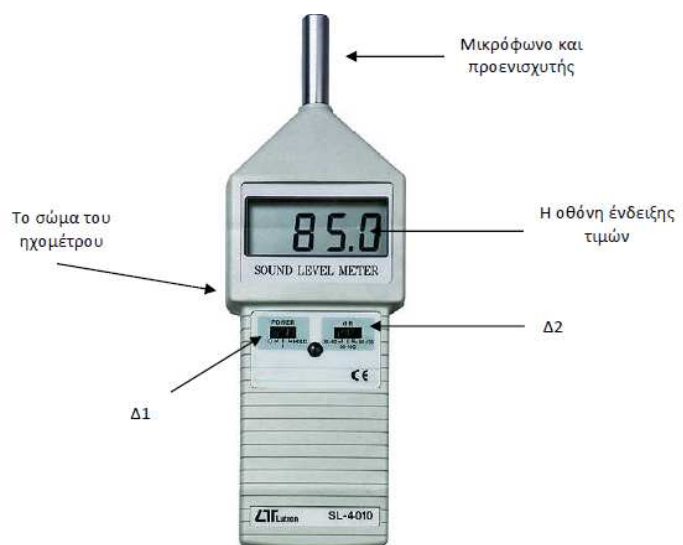
Το μικρόφωνο μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε ισοδύναμο ηλεκτρικό. Ο καταλληλότερος τύπου μικροφώνου είναι το μικρόφωνο πυκνωτικού τύπου, το οποίο συνδυάζει την ακρίβεια με την σταθερότητα και την αξιοπιστία. Πριν αρχίσει η επεξεργασία του, το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται από το μικρόφωνο, ενισχύεται από έναν προενισχυτή. Το σήμα είναι δυνατόν να υποστεί διαφόρων τύπων επεξεργασία. Συνήθως, διέρχεται από κατάλληλο σταθμιστικό κύκλωμα, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ιδιαίτερα περίπλοκη απόκριση του ανθρώπινου αυτιού κατά συχνότητα του ακουστού ηχητικού φάσματος.

Το ηχώμετρο (sound level meter) διαθέτει εύρος μέτρησης από 35 έως 130dB, στάθμιση Α και γρήγορη (fast) λήψη μέτρησης. Αποτελείται από δύο μέρη: Το μικρόφωνο, μαζί με τον προενισχυτή του, και το σώμα του ηχομέτρου .

Στο σώμα υπάρχουν δύο συρόμενοι διακόπτες: Ο Δ1 που απενεργοποιεί ή θέτει σε λειτουργία το ηχώμετρο και ο Δ2 που ορίζει το εύρος των τιμών της στάθμης ηχητικής πίεσης όπου θα μετρήσει το ηχώμετρο. Η επιλογή του εύρους τιμών είναι απαραίτητη και εφαρμόζεται σε όλα τα μετρητικά συστήματα στάθμης ηχητικής πίεσης, λόγω της μεγάλης δυναμικής περιοχής που πρέπει να υποστηριχθεί, η οποία δεν είναι δυνατό να καλυφθεί από τα ηλεκτρονικά των μετρητικών συστημάτων με μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, στο σώμα του ηχώμετρου υπάρχει και η οθόνη του, στην οποία αναγράφονται οι τιμές της στάθμης ηχητικής πίεσης.

Η ένδειξη «Hold», αφορά στην προσωρινή αποθήκευση των τιμών της στάθμης ηχητικής πίεσης, στην οθόνη του οργάνου. Έτσι, σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να παραμείνει η τιμή της στάθμης ηχητικής πίεσης ενός γεγονότος στην οθόνη, και να μην αντικατασταθεί από την τιμή του επομένου, τοποθετούμε τον διακόπτη Δ1 στη θέση «Hold» για το διάστημα που επιθυμούμε.

Εικόνα 37: Το ηχώμετρο Lutron SL4010



3.2) Μέτρηση μεταβαλλόμενου θορύβου

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

- Η στάθμη ηχητικής πίεσης που μετράται σε dB. Το μέγεθος αυτό συνδέεται άμεσα με την ένταση (ισοδύναμα, με την ακουστότητα) του ήχου.
- Η συχνότητα (δηλαδή το ύψος) του ήχου. Μετράται σε Hz.
- Η διάρκεια της έκθεσης.

Οι μετρήσεις θορύβου πραγματοποιούνται με ένα ειδικό όργανο μέτρησης, το ηχώμετρο. Το ηχώμετρο είναι σχεδιασμένο για να ανταποκρίνεται στον ήχο κατά τον ίδιο, κατά προσέγγιση, τρόπο όπως το ανθρώπινο αυτί και να παρέχει αντικειμενικά και επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα μετρήσεων της στάθμης ηχητικής πίεσης L_p , η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα μέτρησης των μεταβολών της πίεσης του αέρα.

Η στιγμιαία τιμή της στάθμης ηχητικής πίεσης ορίζεται ως:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p(t)}{p_{ref}} \right)^2$$

όπου p_{ref} είναι η στάθμη αναφοράς (ίση προς 2×10^{-5} Pa). Προφανώς, στην περίπτωση ηχητικής μέτρησης περιβαλλοντικού (κυκλοφοριακού) θορύβου, η συνεχής διακύμανση της στιγμιαίας τιμής της ηχητικής πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο ελαχιστοποιεί την πρακτική σημασία της παραπάνω μέτρησης. Για τον λόγο αυτό έχει ορισθεί το μέγεθος ισοδύναμη στάθμη θορύβου (L_{eq}), το οποίο ορίζεται ως η σταθερή στάθμη ηχητικής πίεσης που θα παραγόταν από την πηγή του θορύβου, εάν η συνολική ακουστική ενέργεια του ηχητικού γεγονότος ήταν ισοκατανεμημένη στην χρονική διάρκεια T της μέτρησης, δηλαδή:

Παράλληλα, στην πράξη κρίνεται χρήσιμη η ανάλυση του θορύβου με άλλα στατιστικής φύσης κριτήρια, όπως π.χ. η εύρεση της μέγιστης τιμής της στιγμιαίας στάθμης ηχητικής πίεσης (L_{max}) για τη διάρκεια της μέτρησης, της μέσης τιμής, κ.λ.π.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_{0(t)}} \right)^2 dt$$

3.3) Νομοθεσία και θόρυβος

Κριτήρια θορύβου σε εξωτερικούς χώρους

Από πλευράς προστασίας της Δημόσιας Υγείας από θορύβους μουσικής η πιο σημαντική ενόχληση είναι αυτή του ύπνου για το οποίο οι μελέτες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.) έχουν καταλήξει σε ένα επιτρεπτό όριο στο υπνοδωμάτιο της κατοικίας των 35 dBA Leq.

Αυτή η τιμή είναι και το όριο σχεδιασμού που έχει τεθεί στην Ελληνική Υγειονομική Νομοθεσία με την Υγειονομική Διάταξη (ΥΔ) Α5/3010/85 «για την προστασία της Δημόσιας Υγείας από θορύβους μουσικής των Κέντρων Διασκέδασης και λοιπών καταστημάτων», εισάγοντας την έννοια της ηχοαπομόνωσης ($D > 65\text{dBA}$) σε περίπτωση επαφής των Κέντρων Διασκέδασης με κατοικίες.

Επίσης εισάγεται η έννοια του ανώτατου επιτρεπτού θορύβου λειτουργίας της μουσικής εντός της αίθουσας συγκεκριμένα τα 100 dBA για τα κέντρα διασκέδασης και τα 80 dBA για τα λοιπά καταστήματα με μουσική που βασίζεται σε κριτήρια προστασίας της ακοής των θαμώνων για τα Κ.Δ. και της επικοινωνίας για τα λοιπά καταστήματα (δημιουργία ευχάριστης ατμόσφαιρας).

Μία άλλη απαίτηση της Υγειονομικής Διάταξης είναι ο θόρυβος μετρούμενος με ένα ηχόμετρο στα όρια του καταστήματος ή έξω από την πλησιέστερη νόμιμη κατοικία να μην ξεπερνά το θόρυβο του χαρακτήρα της περιοχής αυτής (ή θόρυβος περιβάλλοντος) ανάλογα με τον επιτρεπόμενο χαρακτήρα της περιοχής, ορίζοντας με αυτό τον τρόπο ζώνες θορύβου σύμφωνα με τις κυριαρχούσες δραστηριότητες στην περιοχή. Φυσικά εφόσον μιλάμε για θόρυβο μουσικής από λειτουργία καταστημάτων στις πλείστες των περιπτώσεων αναφερόμαστε στη λειτουργία βραδινών, νυκτερινών ωρών δηλαδή ωρών κοινής ησυχίας όπου οι θόρυβοι της περιοχής (θόρυβος περιβάλλοντος) από άλλες δραστηριότητες θα έχουν καταλαγιάσει και τα όρια που αναφέρονται. θα είναι εφικτό να επιτευχθούν.

Κριτήρια θορύβου σε εσωτερικούς χώρους.

Ο ύπνος διαταράσσεται περισσότερο από θόρυβο πλούσιο σε πληροφορία ενώ έχει παρατηρηθεί να υπάρχει και εκεί προσαρμοστικότητα. Στη διάρκεια του ύπνου διακρίνουμε διάφορα στάδια όπου ο ύπνος είναι ελαφρύς ή βαρύς. Θόρυβοι μεγαλύτεροι των επιτρεπτών αλλάζουν τα στάδια του ύπνου από βαρύ σε ελαφρύ και μεταβάλουν τον χρόνο που απαιτείται για να κοιμηθεί ο άνθρωπος. Ορίζοντας την ενόχληση στον ύπνο με ανάλογη μέτρηση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών αποκρίσεων (EEG) η πιθανότητα της ενόχλησης αυξάνεται από 10% στα 40 dBA στα 60% στα 70 dBA. Οι θόρυβοι που είναι δυνατότεροι κατά 5 - 10 dBA καλύπτουν πρακτικά τους ασθενέστερους και προκαλούν σοβαρά προβλήματα επικάλυψης της ομιλίας παρεμποδίζοντας την επικοινωνία των ανθρώπων και καλλιεργούν την απομόνωση. Για καλή επικοινωνία σε εσωτερικούς χώρους, απαιτούνται θόρυβοι βάθους μικρότεροι των 45 dBA Leq.

Προτεινόμενα όρια θορύβου. Σε κατοικίες : Σύμφωνα με έρευνες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.) αναφέρεται ότι σε ένα άτομο η διαταραχή στον ύπνο γίνεται αυξανόμενα αισθητή όταν τα επίπεδα θορύβου του περιβάλλοντος είναι γύρω στα 35 dB A Leq. Σε νοσοκομεία: Εντός των δωματίων των ασθενών, δεν πρέπει να υπερβαίνεται η στάθμη των 30 dB LAeq και ως μέγιστο όριο τα 40 dB LAmax κατά την διάρκεια της νύχτας. Κατά την διάρκεια της ημέρας επειδή οι ασθενείς έχουν μειωμένη δυνατότητα αντιμετώπισης του stress δεν πρέπει να υπερβαίνεται η στάθμη των 35 dB LAeq εντός των δωματίων τους. Σε σχολεία: Εντός των αιθουσών, για να είναι δυνατή η διδασκαλία, δεν πρέπει να υπερβαίνεται η στάθμη των 35 dB LAeq κατά την διάρκεια του μαθήματος. Για σχολεία παιδιών με ειδικά προβλήματα ακοής είναι δυνατόν να απαιτείται χαμηλότερο όριο. Σε χώρους αναψυχής: Για λόγους προστασίας της ακουστικής ικανότητας των νέων ανθρώπων σε χώρους αναψυχής με δυνατή μουσική όπως concert halls, discotheques κ.λ.π δεν πρέπει να υπερβαίνεται η στάθμη των 100 dB LAeq σε 4-ωρη βάση

3.3.1) Πράσινη βίβλος

«Σύμφωνα με την Πράσινη βίβλο της Επιτροπής της 4ης Νοεμβρίου COM(96) 11/96 (Προκαταρκτική Έκθεση για την ανάγκη λήψης νομοθετικών μέτρων) σχετικά με τη μελλοντική πολιτική για το θόρυβο:

- Υπολογίζεται ότι σχεδόν το 20% του πληθυσμού της Δυτικής Ευρώπης (δηλ. περίπου 80 εκατομμύρια άνθρωποι) εκτίθενται σε στάθμες θορύβου που κρίνονται απαράδεκτες από τους ειδικούς.
- Οι επιδράσεις του θορύβου μπορεί να διαφέρουν από άτομο σε άτομο. Παρόλα αυτά, σε μια έκθεση της Επιτροπής του 1996, με θέμα 'θόρυβος, περιβάλλον και υγεία', καταδεικνύονται ορισμένες επιδράσεις, όπως η διαταραχή του ύπνου, της ακοής, φυσιολογικών λειτουργιών (κυρίως καρδιαγγειακά προβλήματα) ή η παρεμπόδιση της επικοινωνίας.
- Αρχικά, η καταπολέμηση του θορύβου δε θεωρείτο ζήτημα προτεραιότητας στον τομέα του περιβάλλοντος, αργότερα όμως τέθηκαν τα πρώτα κοινοτικά μέτρα που αποσκοπούσαν στον καθορισμό της ανώτατης επιτρεπτής για το θόρυβο ορισμένων οχημάτων (π.χ. ο θόρυβος των ΙΧ έχει μειωθεί κατά 85% από το 1970). Εν τούτοις, το πρόβλημα παραμένει και επαυξάνεται, λόγω της αύξησης της οδικής κυκλοφορίας.
- □ Στην Πράσινη Βίβλο, οι ηχητικές οχλήσεις αντιμετωπίζονται για πρώτη φορά υπό το πρίσμα της προστασίας περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό, εξαιρούνται η καταπολέμηση θορύβου στους εργασιακούς χώρους, που καλύπτεται από την οδηγία 36/188/ΕΟΚ.

Σε μετέπειτα έρευνα, ο θόρυβος από την οδική κυκλοφορία, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, 1999), ενοχλείτο 32% του πληθυσμού των 15 κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (δηλ. περίπου 120 εκατομμύρια άνθρωποι) παρά το γεγονός ότι έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την αντιμετώπισή του.

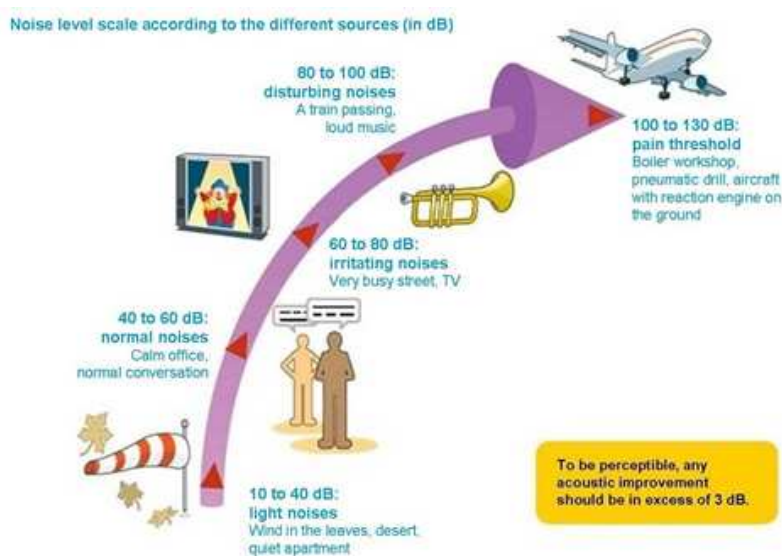


Εικόνα 38: Η ηχομόνωση ενός χώρου

3.3.2) Γενική πολιτική κατά του θορύβου

Με τις προτάσεις που παραθέτει στην Πράσινη Βίβλο, η Επιτροπή ζητά την πλήρη αναδιάρθρωση της κοινοτικής πολιτικής κατά του θορύβου. Για αυτό το λόγο, εφαρμόζει τις ακόλουθες δράσεις:

- εναρμόνιση των μεθόδων αξιολόγησης της έκθεσης στο θόρυβο
- κατάρτιση κοινού δείκτη έκθεσης στο θόρυβο
- περιορισμό της μετάδοσης του θορύβου (με μόνωση στα κτίρια)
- εκστρατείες ευαισθητοποίησης μεταξύ των κρατών στα περιβαλλοντικά προβλήματα
- ενίσχυση των ερευνητικών προγραμμάτων με αντικείμενο τον θόρυβο
- Οδική, Σιδηροδρομική κυκλοφορία / Αεροπορικές μεταφορές / Μηχανές εν λειτουργία σε εξωτερικούς χώρους: Μείωση των εκπομπών στην πηγή, μέσω:
 - μείωσης των επιτρεπόμενων τιμών εκπομπής θορύβου, παρέμβασης στο επίπεδο υποδομής,
 - αναθεώρησης της φορολογίας των οχημάτων με συνεκτίμηση της στάθμης θορύβου,
 - καθιέρωσης ελέγχου του θορύβου στο πλαίσιο τεχνικού ελέγχου του οχήματος, προώθηση έρευνας τον τομέα αυτό,
 - περιορισμός χρήση θορυβωδών οχημάτων και μηχανημάτων,
 - διευθέτηση των περιοχών που γειτνιάζουν σε αερολιμένες, λεωφορειόδρομους, εργοτάξια και θορυβώδεις περιοχές γενικότερα
 - σχεδιασμός μεθόδων αξιολόγησης και πρόγνωσης θορύβου
 - οι συνθήκες αντιμετώπισης θορύβων που προέρχονται από μηχανήματα σε υπαίθριους χώρους, καθορίζονται από την Οδηγία 2000/14 η οποία περιλαμβάνει σχεδόν 60 οικογένειες μηχανημάτων, ενώ με την Οδηγία 89/392/EOK για τις απαιτήσεις σε θέματα ασφάλειας και υγείας, ορίζεται ότι στο σχεδιασμό και στην κατασκευή των μηχανών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο στόχος της μείωσης του θορύβου .



Εικόνα 39: Οι διάφορες εντάσεις στην καθημερινή μας ζωή

Αξίζει να σημειωθεί ότι στον τομέα των αερομεταφορών, μελετάται η κατασκευή ενός οικολογικού αεροπλάνου, που θα σέβεται τόσο το περιβάλλον, όσο και τον άνθρωπο. «Απόλυτα αθόρυβο και πολύ φιλικό προς το περιβάλλον είναι το αεροσκάφος του μέλλοντος που παρουσίασαν στο Λονδίνο ερευνητές από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης και του Κέμπριτζ. Το «πράσινο αεροπλάνο» καίει 35% λιγότερα καύσιμα από το πιο οικονομικό αεροπλάνο που χρησιμοποιείται σήμερα, μεταφέρει 215 επιβάτες και κατά την προσέγγιση για προσγείωση δημιουργεί την ίδια ηχορύπανση με ένα πλυντήριο πιάτων. Το «σιωπηλό αεροσκάφος» όπως αλλιώς αποκαλείται, θα έχει άνοιγμα φτερών 6 μέτρα και από τη μύτη έως την ουρά του θα έχει μήκος 44 μέτρα, μέγεθος, δηλαδή, ανάλογο με αυτό του Boeing 767. Εξηγώντας τι έκανε ακριβώς η ομάδα των ερευνητών, ο αναπληρωτής καθηγητής του MIT Ζόλταν Σπακόφσκι λέει ότι «πήραμε την άτρακτο του συνηθισμένου αεροσκάφους που χρησιμοποιείται σήμερα, την πιάσαμε και μετά την... απλώσαμε». Το πεπλατυσμένο αυτό σχήμα επιτρέπει στο αεροπλάνο να παραμένει στον αέρα με χαμηλότερες ταχύτητες και κατά συνέπεια να προσεγγίζει τα αεροδρόμια παράγοντας λιγότερο θόρυβο. Επίσης, στο νέο αεροσκάφος δεν χρησιμοποιούνται τα πτερύγια αλλαγής κατεύθυνσης, «φλαπς», που βρίσκονται στα άκρα των φτερών των σημερινών επιβατικών αεροπλάνων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πολύ λιγότερος θόρυβος. Οι κινητήρες του δεν είναι τοποθετημένοι κάτω από τα φτερά, αλλά κάτω από το μέσο μέρος της ατράκτου, κοντά στην ουρά. Με αυτό τον τρόπο απορροφούν αέρα πάνω από το φτερό, γεγονός που βοηθά στη «μόνωση» από τον θόρυβο όσων βρίσκονται στο έδαφος. Ταυτόχρονα το αεροσκάφος είναι πολύ συμφέρον όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμων. Αν όλα πάνε καλά, το «σιωπηλό αεροσκάφος θα σκίζει αθορύβως τους αιθέρες το 2030» (Καθημερινή, 7-11-2006)».

3.3.3) Η κοινοτική νομοθεσία για τον θόρυβο

Οδηγία 2000/14/EK

«Η πλέον ολοκληρωμένη προσπάθεια εκφράζεται με την Οδηγία 2000/14/EK, ο γενικός στόχος της οποίας αφορά στην εκπομπή θορύβου από τεχνικό εξοπλισμό χρησιμοποιούμενο σε εξωτερικούς χώρους και επικεντρώνεται στην καταπολέμηση του θορύβου που εκπέμπεται από πολλές κατηγορίες μηχανημάτων (τεχνικού εξοπλισμού) με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του πληθυσμού με τον περιορισμό των εκπομπών θορύβου. Για να επιτευχθεί η υλοποίηση των παραπάνω στόχων, στην εν λόγω Οδηγία καθορίζονται 4 είδη δράσεων:

- α) εναρμόνιση των προτύπων σχετικά με την εκπομπή θορύβου
- β) εναρμόνιση των διαδικασιών αξιολόγησης της συμμόρφωσης
- γ) εναρμόνιση της σήμανσης σχετικά με τη στάθμη θορύβου και
- δ) συλλογή δεδομένων σχετικά με την εκπομπή θορύβου

Εξαιρούνται από το πεδίο εφαρμογής της εν λόγω Οδηγίας:

- παρελκόμενα άνευ κινητήρα που διατίθενται στην αγορά ή τίθενται σε λειτουργία μεμονωμένα (εκτός των χειροκίνητων συσκευών θραύσης σκυροδέματος και αεροσφυρών),
- □ο τεχνικός εξοπλισμός που προορίζεται για τη μεταφορά εμπορευμάτων ή προσώπων στο δημόσιο οδικό δίκτυο ή σιδηροδρομικώς ή αεροπορικώς ή μέσω των πλωτών οδών και

- ο τεχνικός εξοπλισμός που έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικώς για χρήση στρατιωτική ή από την αστυνομία.

Τα κράτη-μέλη φέρουν την ευθύνη να εξακριβώνουν την εφαρμογή των διατάξεων της Οδηγίας .

Οδηγία 70/157/ΕΟΚ του Συμβουλίου – Εξατμίσεις των οχημάτων με κινητήρα. Οι διατάξεις της παρούσας απόφασης εφαρμόζονται στα οχήματα με κινητήρα που προορίζονται να κυκλοφορούν στις οδούς με ή χωρίς αμάξωμα, έχουν τέσσερις (4) τουλάχιστον τροχούς και μέγιστη από κατασκευής ταχύτητα μεγαλύτερη από 25 χλμ/ώρα.. Δεν υπάγονται στις διατάξεις της παρούσας απόφασης τα οχήματα που κινούνται σε σιδηροτροχιές, τα γεωργικά μηχανήματα, οι ελκυστήρες (γεωργικοί και βιομηχανικοί), τα μηχανήματα δημοσίων έργων, οι μοτοσυκλέτες καθώς και τα μοτοποδήλατα.

Συγκεκριμένα:

- Οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά προσώπων, τα οποία περιλαμβάνουν μέχρι εννέα θέσεις καθημένων, συμπεριλαμβανομένου και του οδηγού ► οριακή τιμή σε dB(A): 77
- Οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά προσώπων και έχουν περισσότερες από εννέα θέσεις καθημένων (μαζί με τον οδηγό), με μέγιστη επιτρεπόμενη μάζα πάνω από 3,5 τόνους ► οριακή τιμή σε dB(A): 77
 - αν τα ανωτέρω οχήματα έχουν κινητήρα ισχύος < 150kW ► οριακή τιμή σε B(A): 80
 - αν τα ανωτέρω οχήματα έχουν κινητήρα ισχύος ίσης ή μεγαλύτερης από 150kW οριακή τιμή σε dB(A): 83
- Οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά προσώπων με περισσότερες από εννέα θέσεις καθισμάτων (μαζί με τον οδηγό) και οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά εμπορευμάτων με μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος όχι μεγαλύτερο από 2 τόνους ► οριακή τιμή σε dB(A): 78 και με μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος μεταξύ 2 και 3,5 τόνων ► οριακή τιμή σε dB(A): 79
- Οχήματα που προορίζονται για τη μεταφορά εμπορευμάτων και των οποίων η μέγιστη επιτρεπόμενη μάζα ξεπερνά τους 3,5 τόνους με κινητήρα ισχύος μικρότερης από 75kW ► οριακή τιμή σε dB(A): 81, με κινητήρα ισχύος ίσης ή μεγαλύτερης από 75kW αλλά μικρότερης από 150kW ► οριακή τιμή σε dB(A): 83 και με κινητήρα ισχύος ίσης ή μεγαλύτερης από 150kW ► οριακή τιμή σε dB(A): 84.

Οδηγία 78/1015/ΕΟΚ του Συμβουλίου – Μοτοσυκλέτες.

Οριακές τιμές δόθηκαν αρχικά για πέντε κατηγορίες μοτοσυκλετών, οι οποίες κυμαίνονται από 78dB(A) για κινητήρες κυβισμού μικρότερου ή ίσου με 80κ.ε. ως 93 86dB(A) για κινητήρες κυβισμού μεγαλύτερου των 500κ.ε. Η οδηγία 87/56/ΕΟΚ μείωσε τον αριθμό των κατηγοριών σε τρεις και επέβαλε μείωση κατά δυο στάδια στις οριακές τιμές των ηχητικών επιπέδων κάθε κατηγορίας. Οι μοτοσυκλέτες με κυβισμό > 175κ.ε. πρέπει να συμμορφωθούν προς το όριο των 82 dB(A) μέχρι 1-10-1988 και στα 80 dB(A) μέχρι 1-10-1993, οι μοτοσυκλέτες από 80 ως 175κ.ε. στα 79dB(A), ενώ οι μοτοσυκλέτες μέχρι 80κ.ε. στα 77dB(A).

Συμμετοχή δικύκλων στις υπερβάσεις ανάλογα με τον κυβισμό 3ρ. Γ.Ν. Χαραλαμπίδης - «Κυκλοφοριακός θόρυβος δικύκλων. Καταγραφή και επεξεργασία μετρήσεων θορύβων σε μεταφορικά μέσα»

(Η άνω έρευνα έγινε λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο και τον κυβισμό του δικύκλου, το εργοστάσιο κατασκευής του και το μέγεθος της υπέρβασης. Έγινε χρήση των δεικτών L10, L50, L90 οι οποίοι έχουν υιοθετηθεί για τον κυκλοφοριακό θόρυβο). Επίσης, σύμφωνα με εκτιμήσεις της Ε.Ε. (Μάρτιος 1994):

- Όχληση από θόρυβο, παρατηρείται στο 20-25% του πληθυσμού των πιο ανεπτυγμένων χωρών της Ε.Ε., ενώ 19% του συνολικού ευρωπαϊκού πληθυσμού, διαμένουν σε περιοχές με υψηλά επίπεδα θορύβου.

Σύμφωνα με τον OECD (Organization for Economic Cooperation & Development):

- □ 50% του πληθυσμού που έχει εξεταστεί από τον OECD (δηλ. περίπου 330 εκ. άνθρωποι), κατοικούν σε περιοχές, με επίπεδα θορύβου πολύ πιο πάνω από τα επίπεδα όχλησης, ενώ 15% του πληθυσμού αυτού (110 εκ. άτομα), ζουν σε περιοχές με υψηλά επίπεδα θορύβου. Συνεπώς, η κυκλοφορία οχημάτων, θεωρείται η πιο ενοχλητική πηγή στους αστικούς θορύβους και σύμφωνα με έρευνες και μετρήσεις του Υ.ΠΕ.ΧΟ.Δ.Ε. περισσότερο από το 60% του πληθυσμού Αθήνας και Πειραιά, εκτίθενται επί καθημερινής βάσης σε απαράδεκτα υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου

3.3.4) Αντιμετώπιση του θορύβου στην Ελλάδα

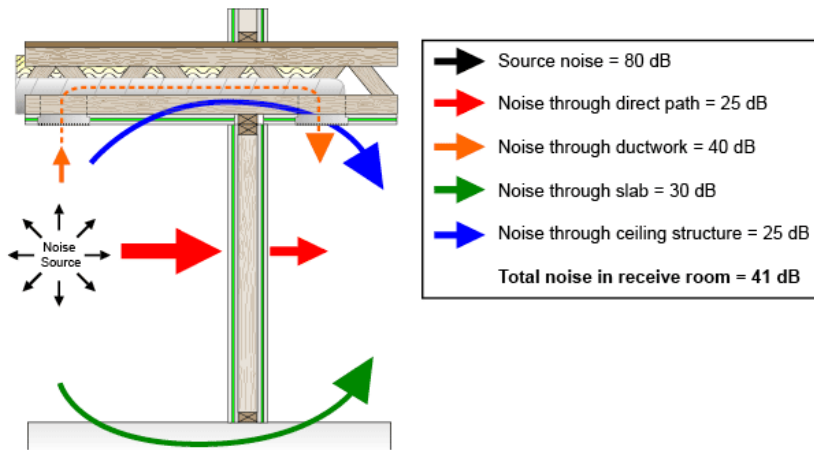
Η Αθήνα είναι η πρώτη από τις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες στην έκθεση του πληθυσμού της σε επίπεδα θορύβου άνω των 75dB, σε ποσοστό 2%, όταν στην Γαλλία και Βρετανία τα ποσοστά είναι 0,6% και 0,4% αντίστοιχα. Επίσης το 45% του πληθυσμού της Αθήνας εκτίθεται σε θορύβους άνω των 65dB, όταν στη Ρώμη το ποσοστό αυτό είναι 18%, στο Παρίσι 17% και στο Λονδίνο 16%, κάνοντας επιτακτική την ανάγκη για την λήψη μέτρων κατά του θορύβου. Μέχρι σήμερα, στην Ελλάδα, έχουν υλοποιηθεί οι εξής δράσεις σχετικά με το θόρυβο:

- Χαρτογράφηση επιπέδων θορύβου αστικών περιοχών, για πάνω από 30 πόλεις και περιοχές

Στα πλαίσια της προσπάθειας του ΥΠΕΧΟΔΕ να δημιουργήσει μια βάση δεδομένων χαρτών περιβαλλοντικού κυκλοφοριακού θορύβου για όλες τις μεγάλες και μεσαίες Ελληνικές πόλεις, έχουν δημιουργηθεί πάνω από 35 χάρτες, οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι Ρόδο, Καβάλα, Πειραιάς, Πάτρα, Λάρισα, Χανιά, Ηράκλειο Κρήτης, Ιωάννινα, Σέρρες, Χαλκίδα, και Λαμία. Σκοπός των μελετών αυτών είναι η χαρτογράφηση του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου μέσω ακουστικών μετρήσεων σε συγκεκριμένες περιοχές των αστικών κέντρων, στα πλαίσια της ισχύουσας νομοθεσίας περί ανωτάτων επιτρεπόμενων ορίων θορύβου από την οδική κυκλοφορία σε νέα έργα (απόφαση ΥΠΕΧΟΔΕ 17259) και η αξιολόγηση των επιπτώσεων στη βάση μιας συγκριτικής διερεύνησης ενός αριθμού κατοίκων που διαμένουν σε συγκεκριμένες συνθήκες αστικού περιβάλλοντος.

Επίσης, διεξάγεται μια κοινωνική έρευνα θορύβου (μεσαίας κλίμακας) μέσω συνεντεύξεων και συμπλήρωσης 600 ερωτηματολογίων για να εξακριβωθούν οι επιπτώσεις του οδικού θορύβου στους κατοίκους που μένουν στις οδούς κάθε χρωματικής ζώνης του μετρούμενου ακουστικού περιβάλλοντος (6 χρωματικές ακουστικές ζώνες, που αναλύονται με δείγμα 100 άτομα ανά ζώνη) και καθορίστηκαν ως εξής:

- □ Ζώνη 1: μαύρο ≥ 78 dB(A)
- ■ Ζώνη 2: κόκκινο = 75-77 dB(A)
- ■ Ζώνη 3: καφέ = 72-74 dB(A)
- ■ Ζώνη 4: γαλάζιο = 69-71 dB(A)
- ■ Ζώνη 5: κίτρινο = 66-68 dB(A)
- ■ Ζώνη 6: πράσινο ≤ 66 dB(A)



Εικόνα 40: Οι ζώνες των decibel

Επιπλέον, σε συνεννόηση με την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΣΥ) δρομολογήθηκε η απόκτηση στοιχείων υποβάθρων οικοδομικών τετραγώνων και πληθυσμού των πόλεων και περιοχών της μελέτης, που χρησιμοποιήθηκαν μετά τις ακουστικές μετρήσεις του χάρτη, για την εξακρίβωση του αριθμού των κατοίκων που διαμένουν στην κάθε χρωματική ζώνη ακουστικού περιβάλλοντος και παρουσιάζει τα σχετικά τελικά στοιχεία με κατάλληλο τρόπο (στατιστική επεξεργασία, γραφικά, κλπ). Τα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά και εισάγουν για πρώτη φορά στην Ελλάδα την ταυτόχρονη ποσοτική (αντικειμενική) και ποιοτική (υποκειμενική) διάσταση του αστικού θορύβου στα ελληνικά κέντρα.

- « Η ευρωπαϊκή οδηγία περιλαμβάνει την εφαρμογή χαρτών θορύβου και σχεδίων δράσης
- για μεγάλα αεροδρόμια με πάνω από 50.000 κινήσεις (προσγειώσεις και απογειώσεις) το χρόνο,
 - για μεγάλους οδικούς άξονες σε δυο φάσεις (1η φάση ► σε αυτούς που καταγράφεται κυκλοφορία άνω των 6.000.000 οχημάτων ετησίως και 2η φάση ► σε αυτούς που καταγράφεται κυκλοφορία άνω των 3.000.000 οχημάτων ετησίως)
 - για μεγάλους σιδηροδρομικούς άξονες σε δυο φάσεις (1η φάση ► σε αυτούς που διακινούνται περισσότεροι από 60.000 συρμοί και 2η φάση ► σε αυτούς που διακινούνται περισσότεροι από 30.000 συρμοί)
 - για οικιστικές περιοχές άνω των 250.000 κατοίκων και σε δεύτερη φάση άνω των 100.000 κατοίκων.»

«Ο χάρτης θορύβου (noise map) παρουσιάζει στοιχεία σχετικά με το ακουστικό περιβάλλον, την υπέρβαση της οριακής τιμής δείκτη θορύβου, τον αριθμό των κατοικιών μιας ζώνης που εκτίθενται σε συγκεκριμένες τιμές, τον αριθμό των ατόμων τα οποία πιθανώς βλάπτονται, αναλύσεις όσον αφορά τα μέτρα ή τα σενάρια καταπολέμησης θορύβου κλπ.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη χαρτών θορύβου: χάρτες με στοιχεία που υποβάλλονται στην Επιτροπή, χάρτες που συνιστούν πηγή πληροφοριών για τους πολίτες και χάρτες που χρησιμοποιούνται ως βάση για την κατάρτιση των σχεδίων δράσης. «χαρτογράφηση θορύβου» ορίζεται η παρουσίαση δεδομένων σχετικά την ηχητική κατάσταση μιας περιοχής βάσει συγκεκριμένων δεικτών θορύβου. Στον χάρτη αυτό, εμφανίζονται οι υπερβάσεις των ισχυουσών οριακών τιμών, ο αριθμός πολιτών που επηρεάζονται στη συγκεκριμένη περιοχή ή ο αριθμός των κατοικιών που εκτίθενται σε ορισμένες στάθμες θορύβου (σύμφωνα πάντα με τους ανάλογους δείκτες). «Στρατηγικός χάρτης θορύβου» θεωρείται αυτός ο οποίος παρουσιάζει μια πιο σφαιρική προσέγγιση του θέματος, αξιολογώντας την έκθεση στο θόρυβο μιας περιοχής λόγω διαφόρων πηγών θορύβου, περιλαμβάνοντας κάποιες φορές και προβλέψεις για την περιοχή αυτή.

Τα κράτη-μέλη ορίζουν τις αρχές και τις υπηρεσίες που είναι υπεύθυνες για την κατάρτιση και την έγκριση των χαρτών θορύβου (θα πρέπει να ανανεώνονται ανά πενταετία). Θα πρέπει να κοινοποιηθεί στην Επιτροπή από τα κράτη μέλη κατάλογος με τους σημαντικούς – από πλευράς φόρτου – οδικούς άξονες, τους σιδηροδρομικούς άξονες, τα μεγάλα αεροδρόμια και τις οικιστικές περιοχές άνω των 250.000 κατοίκων που βρίσκονται στο έδαφός τους και για τα οποία ισχύουν οι ορισμοί της Οδηγίας. Το αργότερο μέχρι 30-6- 2007 θα πρέπει να έχουν καταρτισθεί και ενδεχομένως εγκριθεί, στρατηγικοί χάρτες θορύβου στους οποίους να εμφανίζεται η κατά το προηγούμενο έτος κατάσταση δίπλα στις υποδομές και στους οικισμούς που προαναφέρθηκαν. Τα κράτη-μέλη να ενημερώνουν την Επιτροπή για περιοχές άνω των 100.000 κατοίκων, καθώς και για τους μεγάλους οδικούς και σιδηροδρομικούς άξονες που βρίσκονται στην επικράτειά τους. Το αργότερο στις 30-06-2012, και ανά πενταετία, πρέπει να καταρτίζονται και να εγκρίνονται οι χάρτες θορύβου για το προηγούμενο έτος όσον αφορά τις εν λόγω οικιστικές περιοχές.

Η μέθοδος χαρτογράφησης θορύβου στην χώρα μας μέχρι σήμερα γινόταν μέσω ακουστικών μετρήσεων, ενώ κάθε χώρα της Ε.Ε. είχε ουσιαστικά τον δικό της τρόπο χαρτογράφησης και αξιολόγησης των επιπτώσεων του θορύβου στον γενικό πληθυσμό. Το γεγονός ότι στην κάθε χώρα ισχύουν και διαφορετικά όρια θορύβου, είχε ως αποτέλεσμα την μέχρι σήμερα ανυπαρξία ουσιαστικής συγκριτικής θεώρησης των επιπτώσεων του θορύβου στην Ευρώπη και συνεπώς την αδυναμία για οποιοδήποτε επιτελικό ευρωπαϊκό σχεδιασμό. Προκειμένου να υλοποιηθεί χαρτογράφηση θορύβου εκεί που ορίζει η οδηγία 2002/49, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν τα επίπεδα θορύβου. Τα επίπεδα αυτά υπολογίζονται είτε με προβλέψεις είτε με μετρήσεις. Η πρόβλεψη των επιπέδων θορύβου συνεπάγεται ότι θα υπάρχουν αβεβαιότητες, οι οποίες πρέπει να περιοριστούν προκειμένου οι προβλέψεις να είναι πιο ρεαλιστικές.»

Μεθοδολογίες αξιολόγησης για Χαρτογράφηση (Noise Mapping)

Για τον οδικό θόρυβο : την Γαλλική μέθοδο **NMPB-Routes-96**
(SETRA-CERTU-LCPC-CSTB, 1995) και το γαλλικό πρότυπο XPS 31-133

Για τον σιδηροδρομικό θόρυβο : την Ολλανδική μέθοδο **RMR**,
(Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai 1996)

Για τον θόρυβο αεροσκαφών : την Ευρωπαϊκή μέθοδο **ECAC Doc. 29**,
(Report on Standard Method of Computing Noise Contours in Civil Airports, 1997)

Για τον βιομηχανικό θόρυβο : το διεθνές πρότυπο **ISO 9613-2**,
(ISO - Acoustics - Abatement of sound propagation outdoors,
Part 2: General method of calculation)

Εικόνα 41: Χαρτογράφηση και μεθοδολογία αξιολόγησης του ήχου

Εικόνα 42 : Χαρτογράφηση και μεθοδολογία αξιολόγησης του ήχου



Κεφάλαιο 4:

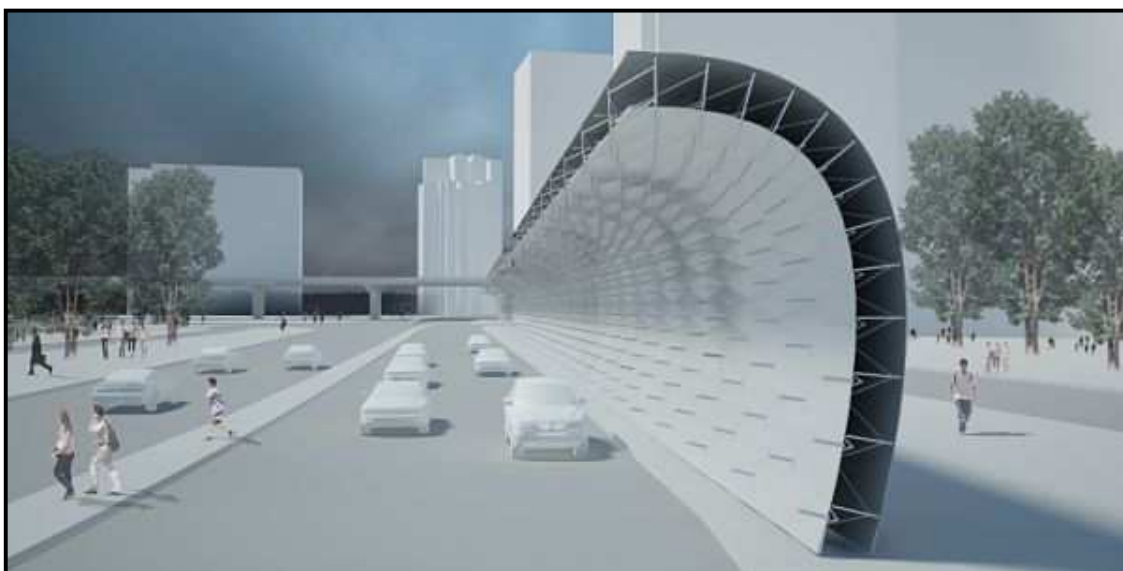
Υλικά και εφαρμογές

ηχορύπανσης



4) Υλικά και εφαρμογές ηχορύπανσης

4.1) Ηχοπετάσματα



Εικόνα 43: Μορφή ηχοπετάσματος

Ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του θορύβου, είναι η παρεμβολή ενός πετάσματος, δηλαδή μιας στερεής συμπαγούς επιφάνειας κάποιου ηχομονωτικού υλικού μεταξύ πηγής και δέκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάκλαση του θορύβου από την πλευρά της πηγής και τη δημιουργία ενός είδους ηχητικής σκιάς από την άλλη πλευρά, του δέκτη (κάτι ανάλογο με αυτό που συμβαίνει με το φως). Επομένως, αναμένεται αύξηση της στάθμης του θορύβου από την πλευρά της πηγής και μείωση από την πλευρά του δέκτη. Ταυτόχρονα, ένα μέρος του ήχου απορροφάται από το υλικό του πετάσματος.

Στην πραγματικότητα, ένα πέτασμα δεν αποτρέπει εντελώς τον ήχο από το να φτάσει στον δέκτη, αφού ένα μέρος του αλλάζει πορεία όταν βρίσκει το άκρο του και έτσι καταλήγει σε αυτόν. Αυτή η αλλαγή της πορείας οφείλεται στο φαινόμενο της περίθλασης.

Μείωση της ικανότητας του πετάσματος για εξασθένιση του θορύβου προκαλεί και η απευθείας διάδοση ενός μέρους του θορύβου μέσα από το υλικό του ηχοφράγματος, δεδομένου ότι κανένα υλικό δεν είναι απόλυτα ηχομονωτικό.

Έτσι η απόδοση του ηχοφράγματος μειώνεται κατά κύριο λόγο εξαιτίας:

- της περίθλασης στα άκρα του,
- της διάδοσης μέσα από αυτό.

Είδη ηχοπετασμάτων ως προς τον τρόπο λειτουργίας

Ως προς τον τρόπο μείωσης του θορύβου, τα ηχοπετάσματα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

Ηχοπετάσματα ανάκλασης: Τα ηχοπετάσματα αυτά μειώνουν το επίπεδο του θορύβου, ανακλώντας τον ήχο που παράγεται από την πλευρά της οδού.

Ηχοπετάσματα απορρόφησης: Ο ήχος που φτάνει στο ηχοπέτασμα απορροφάται από τα κατάλληλης μορφής υλικά κατασκευής του.

Ηχοπετάσματα διασποράς ήχου: Διατάξεις οι οποίες μέσω της γωνιώδους μορφής τους διασπείρουν τον ήχο σε διάφορες κατευθύνσεις. Πιο συνήθη ηχοπετάσματα αυτού του τύπου είναι τα κεκλιμένα προς τα έξω, τα οποία στέλνουν τον ήχο προς τα πάνω.



*Εικόνα 44 :
Ηχοπετάσματα
απορρόφησης*

Ηχοπετάσματα ειδικής διαμόρφωσης κορυφής: Είναι ηχοπετάσματα με ειδική διαμόρφωση στην κορυφή τους, όπως οριζόντια στοιχεία ή πρόσθετες όψεις. Για πολλά χρόνια ο μοναδικός τύπος ηχοπετασμάτων που εφαρμόστηκε ήταν ο ανακλαστικός. Με την πάροδο του χρόνου, όμως, η ανάγκη για πιο αποτελεσματικές λύσεις οδήγησε στην ανάπτυξη και των λοιπών τύπων.

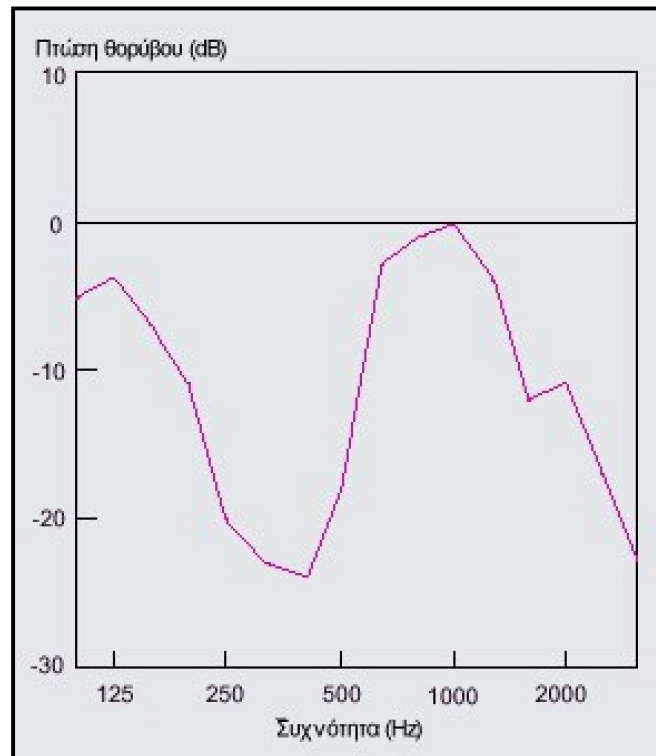
Αποτελεσματικότητα ηχοπετασμάτων - Μορφές : Σαν πρώτη αρχή, για να είναι αποτελεσματικό ένα ηχοπέτασμα θα πρέπει να είναι επαρκώς ψηλό και να έχει επαρκές μήκος, ώστε να αποτρέπει την απευθείας μετάδοση των ηχητικών κυμάτων από την οδό στην προστατευόμενη περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι ένα ηχοπέτασμα θα πρέπει να εκτείνεται σε όλο το μήκος της εν λόγω περιοχής, με επιπλέον μήκος εκατέρωθεν τουλάχιστον $4D$, όπου D η απόσταση του ηχοπετάσματος από το δέκτη (σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών και Αυτοκινητοδρόμων των ΗΠΑ)

Τυπικό ύψος ενός ηχοπετάσματος είναι τα 2m.

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η επιτυγχανόμενη μείωση του θορύβου από ένα απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα του εν λόγω ύψους, η οποία εξαρτάται και από τη συχνότητα του ήχου.

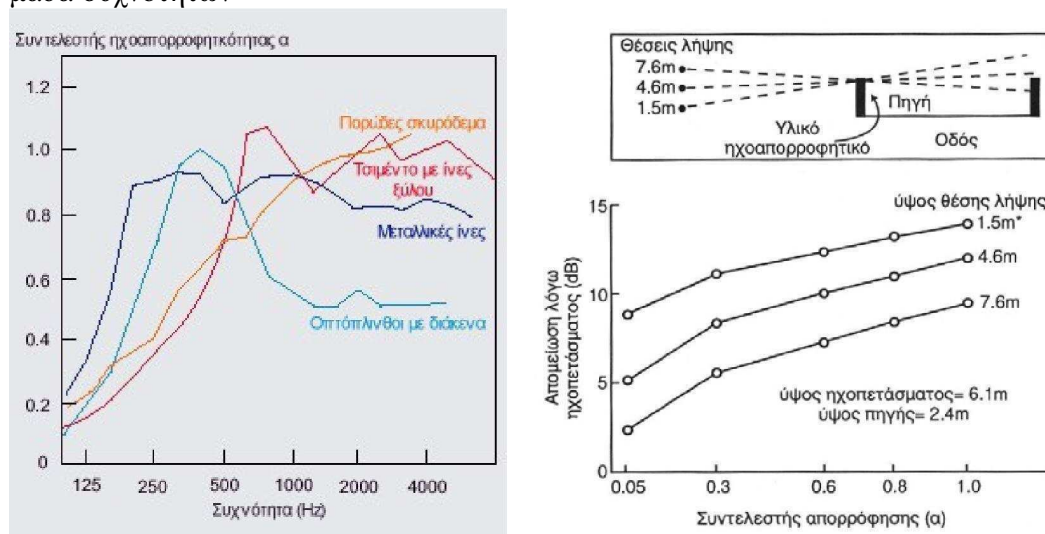
Για περαιτέρω μείωση του επιπέδου του θορύβου, το ηχοπέτασμα μπορεί να γίνει πιο ψηλό. Βασική παρατήρηση που προκύπτει από τη μελέτη της συμπεριφοράς των ηχοπετασμάτων είναι πως μία σημαντική απομείωση επιτυγχάνεται όταν το ηχοπέτασμα έχει τόσο ύψος, ώστε να αποτρέπει τη άμεση οπτική επαφή του δέκτη από τα οχήματα. Από εκεί και πέρα, για κάθε επιπλέον m αύξησης του ύψους, προκαλείται επιπλέον μείωση κατά περίπου 1,5dB. Τα συνήθη ύψη των ηχοπετασμάτων φτάνουν το πολύ τα 8-9 m. Ένα βήμα προς τη βελτίωση της απόδοσης των ηχοπετασμάτων πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή των απορροφητικών διατάξεων.

Εικόνα 45: Η πτώση του ήχου με χρήση ηχοπετασμάτων



Οι διατάξεις αυτές ενδείκνυνται σε περιπτώσεις όπου τοποθετούνται ηχοπετάσματα σε κάθε πλευρά της οδού, οπότε παρατηρείται το φαινόμενο της αύξησης του θορύβου μέσα στην οδό, λόγω διαδοχικών ανακλάσεων επάνω στα αντικριστά ηχοπετάσματα. Τα απορροφητικά ηχοπετάσματα αποτελούνται από ινώδη ή πορώδη υλικά, τα οποία απορροφούν ποσοστό του προσπίπτοντος ήχου.

Η απορροφητικότητα ενός υλικού εκφράζεται από το συντελεστή απορρόφησης α , ο οποίος κυμαίνεται από 0 για πλήρως ανακλαστικό, έως 1 για πλήρως απορροφητικό υλικό. Ο συντελεστής απορρόφησης προσδιορίζεται για συγκεκριμένη συχνότητα, ή για μάδα συχνοτήτων



Εικόνα 46: Στην παραπάνω εικόνα δίνονται τυπικά αποτελέσματα απομείωσης του θορύβου για απορροφητικά ηχοπετάσματα διαφόρων συντελεστών απορροφητικότητας α .

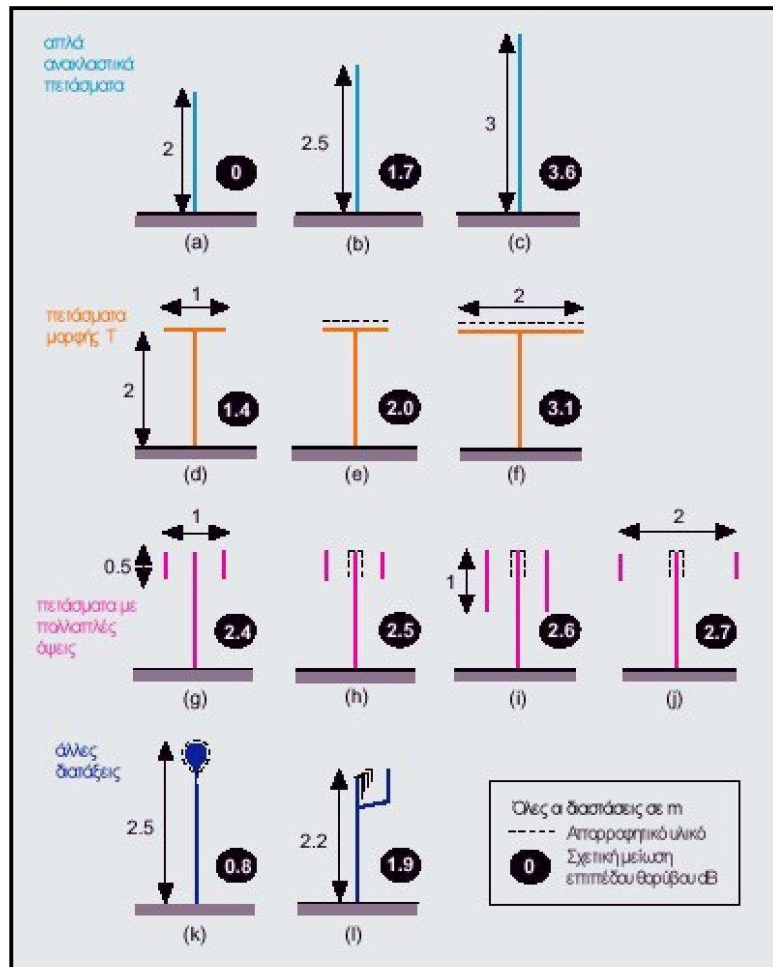
Σε γενικές γραμμές, πειράματα έχουν δείξει ότι η επιπλέον απομείωση του θορύβου από ένα απορροφητικό ηχοπέτασμα, σε σχέση με το αν αυτό ήταν απλώς ανακλαστικό, φτάνει να ισοδυναμεί με άρση περισσότερης από της μισής κυκλοφορίας. Για να είναι αποτελεσματικό ένα απορροφητικό υλικό, θα πρέπει να έχει υψηλό συντελεστή απορροφητικότητας (τουλάχιστον 0,6) στις συχνότητες ήχου που εμφανίζονται περισσότερο στην οδό, να είναι ανθεκτικό στις περιβαλλοντικές συνθήκες και να μην μειώνεται η απορροφητικότητά του με το χρόνο.

Μία ακόμη εκδοχή ηχοπετασμάτων, και εναλλακτική των απορροφητικών, είναι τα γωνιώδη και κεκλιμένα ηχοπετάσματα. Οι διατάξεις αυτές ανακλούν τον ήχο προς τα πάνω, μειώνοντας το θόρυβο σε θέσεις κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Έρευνες έδειξαν ότι παράλληλα κεκλιμένα προς τα έξω ηχοπετάσματα με κλίση 10° και άνω επιτυγχάνουν παρόμοια απομείωση σε σχέση με παράλληλα, κατακόρυφα και πλήρως απορροφητικά. Παρόμοια απομείωση με τα πλήρως κεκλιμένα μπορεί να επιτύχουν και κατάλληλα μελετημένα μερικώς πτυχωτά ηχοπετάσματα.

Το μειονέκτημα όλων αυτών των διατάξεων είναι πως με συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες είναι δυνατόν ο ήχος να επιστρέφει πίσω στο έδαφος. Τέλος, μία ακόμη ευρεία

κατηγορία ηχοπετασμάτων είναι αυτά που έχουν ειδική διαμόρφωση στην κορυφή τους. Τέτοιες περιπτώσεις είναι μορφές T, οι πολλαπλές όψεις κλπ., οι οποίες προκαλούν απομείωση με διάφορους τρόπους.

Εικόνα 47: Στην παραπάνω εικόνα δίνεται η επιπλέον απομείωση που επιτυγχάνεται από διάφορες μορφές, σε σχέση με απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα ύψους 2 m. Παρατηρείται μία μέση γενική απομείωση της τάξης των 2,5-3,5 dB, που αντιστοιχεί με αύξηση του ύψους του ηχοπετάσματος.



4.2) Γενικές αρχές τοποθέτησης ηχοπετασμάτων

Από τα όσα παρατέθηκαν παραπάνω γίνεται φανερό ότι, λίγο ως πολύ, τόσο οι διαστάσεις ενός ηχοπετάσματος, και πιο συγκεκριμένα το ύψος και το μήκος, όσο και η μορφή του, είναι στοιχεία που καθορίζονται από τις λειτουργικές απαιτήσεις της τοποθέτησης, και ειδικότερα από τις ανάγκες απομείωσης του θορύβου.

Ηχοπετάσματα μπορούν, ανάλογα με τις συνθήκες, να τοποθετηθούν είτε στη μία μόνο πλευρά της οδού, είτε και στις δύο, ενώ δεν λείπουν ηχοπετάσματα και στη διαχωριστική νησίδα. Όσο πιο κοντά στην οριογραμμή του οδοστρώματος, δηλαδή στην πηγή του ήχου, βρίσκεται ένα ηχοπέτασμα, τόσο πιο αποτελεσματικά λειτουργεί. Από την άλλη, οι απαιτήσεις ασφάλειας και ορατότητας επιβάλλουν την τοποθέτησή του όσο το δυνατόν μακρύτερα. Σε κάθε περίπτωση, αν το ηχοπέτασμα βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το οδόστρωμα θα πρέπει οπωσδήποτε να προστατεύεται από το κατάλληλο στηθαίο.

Επίσης, ανοίγματα σε ηχοπετάσματα καταστρέφουν την αποτελεσματικότητά τους και θα πρέπει να αποφεύγονται. Εντούτοις, όπου αυτά επιβάλλονται, όπως σε περιπτώσεις διασταυρώσεων, θα πρέπει να διαμορφώνεται εξωτερικό ηχοπέτασμα που να καλύπτει την περιοχή του ανοίγματος, με ανάλογη διαμόρφωση της διασταύρωσης. Σε μεγάλου μήκους ηχοπετάσματα θα πρέπει να προβλέπονται και θύρες διαφυγής.

4.3) Η στατική των ηχοπετασμάτων - Φέρων οργανισμός και θεμελίωση

Από στατικής απόψεως, τα ηχοπετάσματα είναι εκτεταμένες επιφανειακές κατασκευές που δέχονται κυρίως φορτίσεις ανεμοπίεσης, χωρίς να λείπουν και φορτία βαρύτητας λόγω της μορφής. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό του συστήματος παραλαβής οριζόντιων δυνάμεων, κάθετα στο επίπεδο του ηχοπετάσματος, και στη μεταφορά και παραλαβή των εν λόγω φορτίων από τη θεμελίωση.

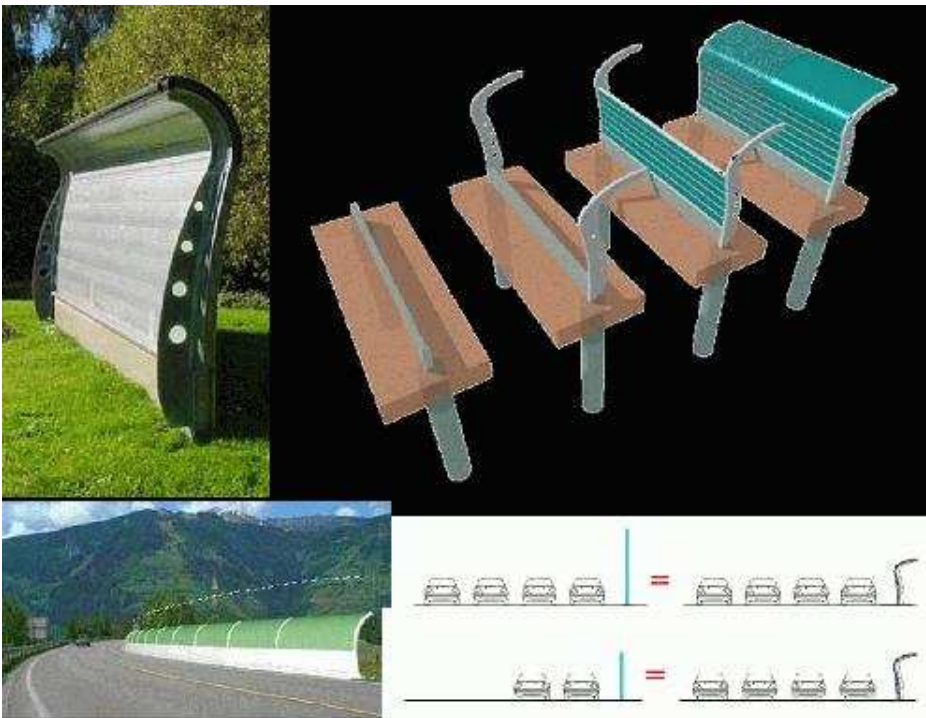
Ο κανόνας επιβάλλει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα ηχοπετάσματα συντίθενται από επιμέρους ελαφρά επιφανειακά τεμάχια, που μεταφέρουν τα φορτία τους σε κατακόρυφους στύλους. Σε άλλες περιπτώσεις το ηχοπέτασμα είναι απλώς ένας επιμήκης τοίχος από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο οποίος μεταφέρει όλα τα φορτία του απευθείας στη θεμελίωση, ενώ τελευταία η ίδια τεχνική εφαρμόζεται και σε συγκεκριμένα υλικά, που διαμορφώνουν λεπτά επιφανειακά στοιχεία, χωρίς ανάγκη στύλων. Όπου υπάρχουν στύλοι, η μεταξύ τους απόσταση μπορεί να αυξηθεί με εφαρμογή και οριζόντιων φερόντων στοιχείων, στην κορυφή ή στην πλάτη του ηχοπετάσματος.

Η θεμελίωση των διατάξεων είναι και αυτή αρκετά σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό, καθώς μπορεί να χρειαστεί να αντιμετωπίσει αυξημένες ανεμοπιέσεις, δυσμενείς εδαφικές συνθήκες από φτωχής φέρουσας ικανότητας επιχώματα, ή και να συνδυαστεί με το σύστημα αποχέτευσης της οδού.

Επιμήκεις επιφάνειες - πρόβολοι, όπως οι τοίχοι από σκυρόδεμα, εδράζονται επάνω σε γραμμικά θεμέλια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για τις υπόλοιπες συνήθεις περιπτώσεις, όπου τα φορτία μεταφέρονται στη θεμελίωση από κατακόρυφους στύλους, μπορούν να εφαρμοστούν οι παρακάτω λύσεις θεμελίωσης:

- Σε επίπεδο έδαφος ή σε επιχώματα ύψους το πολύ 3,5 m, και με καλή φέρουσα ικανότητα, αρκούν τοπικά πέδιλα από σκυρόδεμα σε κάθε στύλο.
- Σε ψηλά επιχώματα, και γενικά σε χαμηλής φέρουσας ικανότητας εδάφη ή για υψηλές ανεμοπιέσεις, κάθε στύλος επεκτείνεται σε χαλύβδινο πάσσαλο.
- Εναλλακτικά της προηγούμενης περίπτωσης, και επειδή οι πάσσαλοι κοστίζουν, μπορούν να τοποθετηθούν πάσσαλοι μόνο ανά δύο ή τρεις στύλους, αλλά όλοι οι στύλοι στη βάση τους θα συνδέονται από δοκό οπλισμένου σκυροδέματος, ώστε τα φορτία από τους μη πασσαλωμένους στύλους να μεταφέρονται και αυτά στους υπάρχοντες πασσάλους. Σε αυτήν την περίπτωση οι πάσσαλοι θα είναι μεν λιγότεροι, αλλά μεγαλύτερου μήκους.
- Όπου υπάρχει τοίχος αντιστήριξης, το ηχοπέτασμα μπορεί να εδραστεί επάνω του με κογλίωση των κατακόρυφων στύλων επάνω σε ειδικές βάσεις, πακτωμένες επάνω στην κορυφή του τοίχου. Η ίδια τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί ούτως ή άλλως, με γραμμικό πέδιλο θεμελίωσης. Πάντως, η επιπλέον φόρτιση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό του τοίχου αντιστήριξης.
- Πάκτωση των κατακόρυφων στύλων μέσα σε στηθαίο τύπου New Jersey, στερεωμένο με τη σειρά του σε γραμμικό πέδιλο από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 48: Η μορφή ενός ηχοπετάσματος

Κεφάλαιο 5: *Ο θόρυβος και η ψυχολογία*



5) Ο θόρυβος και η ψυχολογία

Το σχολικό πλαίσιο είναι ένα από τα πλαίσια εκείνα στα οποία οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν περάσει ένα μεγάλο μέρος της ζωής τους. Ο Gump (1978) μάλιστα υπολόγισε ότι ο μέσος άνθρωπος ξεκινώντας από την προσχολική εκπαίδευση έως το τέλος της μέσης εκπαίδευσης του πρέπει να έχει περάσει περίπου 14.000 ώρες στο σχολείο. Ορισμένα άτομα που συνεχίζουν τις σπουδές τους έχουν ακόμη μεγαλύτερη εμπειρία από το σχολικό πλαίσιο. Ήταν λοιπόν αναμενόμενο το ενδιαφέρον που έδειξαν οι ερευνητές όσον αφορά στις συνέπειες του σχεδίου των χώρων όπου επιτελείται η μάθηση. Είναι εμφανές επίσης το πόσο σημαντικό είναι τα περιβάλλοντα της μάθησης να είναι ευχάριστα λειτουργικά αλλά και να διευκολύνουν την μάθηση. Οι χώροι όπου επιτελείται η μάθηση αποτέλεσαν το επίκεντρο του ενδιαφέροντος των περιβαλλοντικών ψυχολόγων αλλά και των περιβαλλοντικά προσανατολισμένων εξελικτικών γιατί ακριβώς αποτελούν ένα φυσικό πλαίσιο όπου η αλληλεπίδραση χρήστη πλαισίου είναι σχεδόν καθημερινή.



Εικόνα 49: Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε είδη θορύβων

5.1) Ψυχολογικές συνέπειες του θορύβου

Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, των οποίων η επίδραση στην ανθρώπινη συμπεριφορά έχει μελετηθεί σχεδόν περισσότερο από κάθε άλλο παράγοντα. Σύμφωνα με τους ψυχολόγους, ενώ ο ήχος είναι μια φυσική πραγματικότητα, ο θόρυβος είναι μια ψυχολογική έννοια και ορίζεται ως ο μη επιθυμητός ήχος, δηλαδή ο ήχος που το άτομο δεν επιθυμεί να ακούει. Συνήθως ήχοι υψηλής συχνότητας, απρόβλεπτοι και εκείνοι που παρεμβάλλονται, συμβαίνει να γίνονται αντιληπτοί ως θόρυβος, ιδίως αν παρεμβάλλονται σε μια δραστηριότητα. Το πόσο ενοχλητικός είναι ένας θόρυβος στα διάφορα άτομα, καθορίζεται όχι τόσο από το είδος του θορύβου, αλλά από τον βαθμό στον οποίο γίνεται αντιληπτός ως μη φυσιολογικός και αναπόφευκτος (Levy – Leboyer & Naturel, 1991).

Οι περισσότεροι άνθρωποι μπορούν να αναφέρουν μια προσωπική εμπειρία της δυσκολίας που προκαλεί ο θόρυβος στην παραγωγή ορισμένου είδους έργου, όπως είναι η προετοιμασία για εξετάσεις ή η συγγραφή μιας εργασίας. Η σχέση θορύβου και μάθησης αλλά και επίδοσης σε ένα έργο είναι πολύπλοκη, πολλοί μιλούν για τις διασπαστικές ιδιότητες που έχει ο θόρυβος, άλλοι όμως θεωρούν ότι εξ ίσου σημαντικό είναι το αίσθημα ελέγχου που έχει το άτομο επί της κατάστασης (Glass & Singer 1972), ιδιότητα που μπορεί να καλλιεργήσει ένας ενήλικας, αλλά όχι ένα παιδί.

Πάντως όλοι οι ψυχολόγοι συμφωνούν ότι ο διακοπτόμενος και απρόβλεπτος ήχος είναι τελικά ο πιο ενοχλητικός και επιβλαβής. Μάλιστα έχει βρεθεί ότι αυτού του είδους ο θόρυβος έχει επίπτωση στην εκτέλεση ενός έργου και μετά από αρκετό διάστημα, όταν δηλαδή το άτομο παύει να έχει την εμπειρία του θορύβου. (Glass Singer & Friedman) Οι συνέπειες του θορύβου στην μάθηση εξαρτώνται από το φύλο, την ηλικία, και τις ακαδημαϊκές ικανότητες των ατόμων. Βέβαια και το είδος του έργου είναι καθοριστικό για το πόσο θα επηρεαστεί από τον θόρυβο το άτομο.

Έργα που απαιτούν επικέντρωση προσοχής, απομνημόνευση, ταυτόχρονη προσοχή σε ποικίλα και διαφορετικά πράγματα ή διατήρηση επαγρύπνησης, είναι εκείνα που επηρεάζονται περισσότερο. Από την άλλη, έργα οπτικής διάκρισης, επαναλαμβανόμενων κινήσεων των χεριών που απαιτούν δύναμη ή δεξιότητα, φαίνεται να είναι εκείνα που επηρεάζονται στον μικρότερο βαθμό. (Cohen & Wenstein, 1982 Smith 1991).

Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι ο θόρυβος μειώνει την συνολική ικανότητα της μνήμης. Τα περισσότερα δεδομένα για τις επιπτώσεις του θορύβου στην συμπεριφορά, βασίζονται σε έρευνες εργαστηρίου, αλλά και οι έρευνες πεδίου σε πλαίσια της καθημερινής ζωής, τείνουν να συμφωνούν με τα παραπάνω δεδομένα. Πολύ γνωστό είναι το πρόγραμμα έρευνας πεδίου για τις συνέπειες του θορύβου, που έγινε στο Λος Άντζελες από τον Cohen και τους συνεργάτες του (Cohen et al., 1980).

Αυτοί εξέτασαν παιδιά δημοτικού σχολείου που ζούσαν γύρω από το διεθνές αεροδρόμιο του Λος Άντζελες και ήταν εκτεθειμένα στο δυνατό θόρυβο των αεροσκαφών. Τα συγκεκριμένα παιδιά βρέθηκε ότι υπέφεραν από υψηλότερη αρτηριακή πίεση, ότι είχαν χαμηλότερες επιδόσεις σε μαθηματικά έργα και ότι ήταν λιγότερο ικανά και λιγότερο επίμονα στη λύση προβλημάτων, από παιδιά του ίδιου κοινωνικοοικονομικού υπόβαθρου που δεν ζούσαν κοντά στο αεροδρόμιο. Παρόμοιες έρευνες με παιδιά που ζούσαν κοντά σε θορυβώδη δρόμους, κατέληξαν σε όμοια συμπεράσματα (Bronzaft 1981).

Όσον αφορά το θόρυβο στο σχολείο, σε όλες τις περιπτώσεις υπήρχε αρνητική συσχέτιση μεταξύ θορύβου στο σχολείο και σχολικής επίδοσης. Όταν μάλιστα τα παιδιά που βρισκόταν στην θορυβώδη πλευρά του σχολικού κτηρίου και απέδιδαν λιγότερο, μεταφερόταν στην ήσυχη πλευρά τότε υπήρχε σταδιακή βελτίωση στην επίδοση των μαθητών.

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν αρνητικά θα μπορούσαν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες:

- το είδος του έργου που πρόκειται να επιτελεσθεί
- τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του θορύβου και
- ο χρόνος έκθεσης

Το είδος του έργου

Έρευνες έδειξαν ότι ο θόρυβος επιδρά αρνητικά στην επίδοση πολύπλοκων έργων που απαιτούν υψηλό επίπεδο αυτοσυγκέντρωσης και εγρήγορσης, όπως είναι η μαθησιακή διαδικασία. Η επίδοση σε έργα τα οποία απαιτούν ένα πλήθος πληροφοριών, επηρεάζεται σε καθοριστικό βαθμό από τον θόρυβο (Finckelman & Glass, 1970 Glass & Singer, 1972b)

5.2) Χαρακτηριστικά του θορύβου

Η επίδοση επηρεάζεται αρνητικά πολύ περισσότερο από τον μη συνεχή θόρυβο, παρά από τον συνεχή και μάλιστα όταν αυτός συμβαίνει σε μη περιοδικά ή ακανόνιστα διαστήματα, όπως συμβαίνει στον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο (Eschenbrenner, 1971).

Σε μία σχετική έρευνα, οι επιδόσεις στην ανάγνωση των παιδιών ενός σχολείου της Νέας Υόρκης, το οποίο βρισκόταν σε μια περιοχή που ενοχλούνταν από ακανόνιστο κυκλοφοριακό θόρυβο, ήταν σαφώς χαμηλότερες από τις επιδόσεως παιδιών των οποίων τα σχολεία βρισκόταν μακριά από τέτοιο θόρυβο (Bronzaft & McCarthy, 1975)

Ο χρόνος

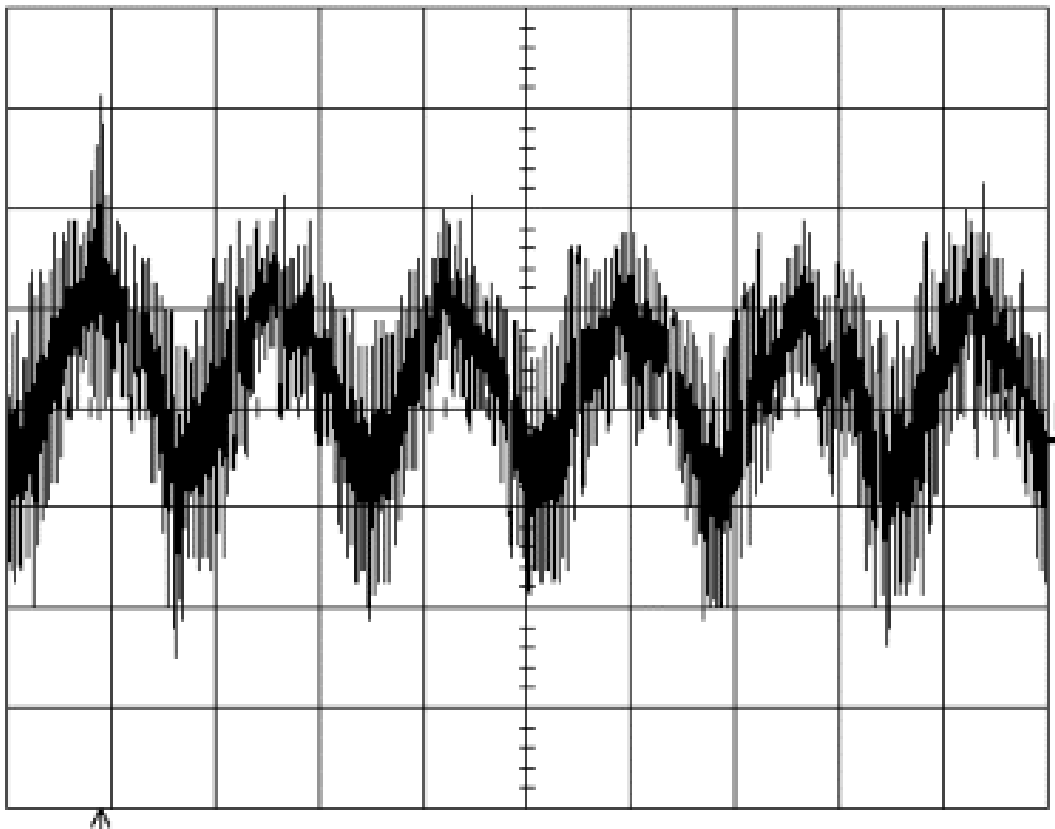
Μερικά από τα πιο ενδιαφέροντα ευρήματα που αφορούν τις συνέπειες του θορύβου στην επίδοση στο έργο, έχουν συνδεθεί με τον χρόνο έκθεσης. Οι αρνητικές επιπτώσεις του θορύβου γίνονται πιο έντονες όσο αυξάνει ο χρόνος έκθεσης στον θόρυβο (Hartley & Adams, 1974). Άτομα που είχαν εκτεθεί σε μη περιοδικό θόρυβο, βρέθηκε ότι έκαναν στατιστικά περισσότερα λάθη σε ένα έργο αναγνώρισης και ακόμη ότι παρατούσαν την προσπάθεια επίλυσης δύσκολων πάζλ πολύ ευκολότερα, από ότι τα άτομα της ομάδας που δεν είχε εκτεθεί σε παρόμοιους θορύβους (Glass, Singer & Friedman, 1969).

Θόρυβος και κοινωνική συμπεριφορά

Ο θόρυβος σύμφωνα με τις μελέτες μπορεί να επηρεάσει την κοινωνική συμπεριφορά και κυρίως σε τρεις ειδικές κοινωνικές σχέσεις την έλξη, τον αλτρουισμό ή θετική κοινωνική συμπεριφορά και την επιθετικότητα.

Θόρυβος και έλξη

Είναι γνωστό ότι ο άνθρωπος κρατά μικρότερες φυσικές αποστάσεις από τα άτομα που συμπαθεί, παρά από εκείνα που δεν συμπαθεί. Οι Mathews, Canon & Alexander 1974 βρήκαν ότι ένας θόρυβος 70 dB αυξάνει την απόσταση στην οποία τα άτομα νοιώθουν άνετα μεταξύ τους. Ακόμη έχει βρεθεί ότι στις θορυβώδεις γειτονίες, υπάρχουν λιγότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γειτόνων (Appleyard & Lintell, 1972) Μια ερμηνεία αυτών των αντιδράσεων είναι, ότι ο θόρυβος επηρεάζει το ποσό των πληροφοριών που συγκεντρώνει κανείς για άλλα άτομα. Συγκεκριμένα ο θόρυβος γίνεται η αιτία που κάνει τα άτομα να περιορίζουν την προσοχή τους και να την επικεντρώνουν σε περιορισμένα τμήματα του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια να προσέχουν λιγότερα χαρακτηριστικά των ανθρώπων γύρω τους. Σύμφωνα με αυτού του είδους τις ερμηνείες, ο θόρυβος προκαλεί τελικά μια διαστρέβλωση της αντίληψης που έχουμε για τους άλλους (Bell et al., 1990)



Εικόνα 50: Η ένταση του θορύβου

Θόρυβος και επιθετικότητα

Στο βαθμό που ο θόρυβος αυξάνει την διέγερση, είναι επόμενο ότι αυξάνει και την επιθετικότητα σε άτομα που έχουν την προδιάθεση να επιτεθούν. Έχει βρεθεί σχέση θορύβου και αυξημένης επιθετικότητας (Donnerstein & Wilson 1976)

Οι έρευνες δείχνουν ότι όταν τα άτομα βρίσκονται υπό συνθήκες στις οποίες ο θόρυβος περιμένουμε να αυξήσει την διέγερση ή την προδιάθεση για επιθετικότητα, όπως λόγω χάρη όταν τα άτομα είναι εκνευρισμένα, τότε η επιθετικότητα αυξάνει. Αυτό συμβαίνει κυρίως στα παιδιά γιατί οι ενήλικες μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα αυτήν την κατάσταση. Οι Cohen & Spacapan (1984) υποστηρίζουν ότι ο θόρυβος ενισχύει ή και αυξάνει την επιθετικότητα, όμως δεν την προκαλεί. Ο θόρυβος επηρεάζει την επιθετική συμπεριφορά, όταν όμως αυτή είναι παρούσα από άλλες αιτίες.

Συμπερασματικά και όσον αφορά στους μαθητές, από όλα τα παραπάνω θα μπορούσαμε να συνοψίσουμε ότι ο θόρυβος:

- έχει διασπαστικές ιδιότητες στην διαδικασία της μάθησης
- επηρεάζει την μνήμη του ατόμου
- επηρεάζει την συγκέντρωση της προσοχής και την απομνημόνευση
- μειώνει την επιμονή για την λύση ενός προβλήματος
- μειώνει τις επιδόσεις σε μαθήματα θετικής κατεύθυνσης όπως τα μαθηματικά
- αυξάνει την επιθετικότητα
- μειώνει την θετική κοινωνική συμπεριφορά
- μειώνει την έλξη για αλλά άτομα



Εικόνα 51: Η μεταφορά των ηχητικών κυμάτων στον ανθρώπινο εγκέφαλο

Εκτός φυσικά όλων αυτών το γεγονός ότι εάν λόγω θορύβου δεν είναι δυνατό να ακουστεί η φωνή του διδάσκοντα επιδεινώνει το πρόβλημα.

5.3) Οι θέσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με τον θόρυβο

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) συνιστά στο χώρο εργασίας ο θόρυβος σε σταθερό επίπεδο να μην υπερβαίνει τα 85 dB(A) και στιγμιαία όχι περισσότερο από 120 dB(A). Αντιστοίχως στον χώρο του ύπνου, σε σταθερό επίπεδο λιγότερο από 30 dB(A) και στιγμιαία όχι περισσότερο από 45 dB(A). Άτομα που εργάζονται σε επίπεδα θορύβου άνω των 85 dB(A) πρέπει να υποβάλλονται σε περιοδική εκτίμηση της ακουστικής τους ικανότητας, ώστε να προληφθεί βλάβη της ακοής (WHO, 1999). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την ένταση του θορύβου σε κάποιους περιβάλλοντες χώρους δίνονται στο πίνακα

Εικόνα 52: Πίνακας: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την ένταση του θορύβου σε διάφορους περιβάλλοντες χώρους

Περιβάλλον	Επιπτώσεις στην Υγεία	Ένταση θορύβου (dB)	Διάρκεια έκθεσης (ώρες)	Μέγιστη τιμή – Στιγμιαία τιμή (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 τη 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 αιθές	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

6) Βιβλιογραφία

1. <http://el.wikipedia.org>
2. Δημήτρης Σκαρλάτος « Εφαρμοσμένη Ακουστική» Δεύτερη έκδοση Φιλομάθεια
3. Σελλούντος Β.Η. – Περδιος ΣΤ.Δ. «Θερμομόνωση – Ηχομόνωση» (1985), Φοίβος Εκδόσεις
4. Τσινίκας Νίκος (2005), «Ακουστικός Σχεδιασμός χώρων» δεύτερη έκδοση, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
5. Σημειώσεις του Τ.Ε.Ι. Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής «Μηχανική ήχου Ι Εργαστήριο», Χρήστος Κουστοδημάκης & Μηνάς Σηφάκης
6. Εφημερίδα «Τα Νέα», Ημερ/νία τεύχους 9-3-04, Ρεπορτάζ: Λαμπρινή Σταμάτη, Τίτλος άρθρου: ‘Πράσινο τείχος στα ντεσιμπέλ’
7. Νόμος 1650/86, «Για την προστασία του περιβάλλοντος»
8. Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο (2002), Οδηγία 2002/49/ΕΚ «Σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου»
9. Μάνου Νίκος, «Ερμηνευτικό λεξικό ψυχιατρικών όρων», Univ.Studio Press, Β’ Έκδοση (1987)
10. <file:///D:/ΠΤΥΧΙΑΚΗ/ΠΤΥΧΙΑΚΙ-ΗΧΟΜΟΝΟΣΙ/Acoustic%20insulation%20materials%20%20foam,%20boards,%20panels,%20sound%20barriers%20and%20sound%20baffles.htm>
11. <file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/barriermat.htm>
12. <file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/basic+sound.htm>
13. <file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/create+a+quiet+home+with+safe%E2%80%99n%E2%80%99sound.htm>
14. <file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/default.php.htm>
15. <file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/fivePrinciplesOfSoundproofing.php.htm>

16. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/How-to-choose-acoustic-insulation.htm
17. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/Phonewell%20Natural%20Sound%20Insulation%20for%20Soundproofing%20Floors,%20Walls%20&%20Ceilings%20-%20Acara%20Concepts.htm
18. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/search.htm?biw=815&bih=918&sei=Uf1JT6jlOpG2hAfXsKiBDg
19. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/sound%20insulation%20_%20AcousticsFREQ.com.htm
20. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/sitemap.htm
21. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/sound_proofing_in_the_home.htm
22. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/sound+insulation.htm
23. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-XOMONOSI/Soundproofing%20and%20Acoustic%20Materials.htm
24. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/Soundproofing%20Materials%20&%20Sound%20Proofing%20Products%20-%20The%20Sound%20Solution.htm
25. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/soundproofing_2.htm
26. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/Sound-theory.htm
27. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/t-36867.html
28. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/Theoretical-principles.htm

29. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%9F%CE%91%CE%9A%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%95.%CE%A0.%CE%95.htm
30. file:///D:/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97/PTYXIAKI-HXOMONOSI/%CE%97%CF%87%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CE%BD%CF%89%CF%83%CE%B7%20-%20%CE%97%CF%87%CE%BF%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7.htm

