

Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

# ΗΧΟΥΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΧΟΛΕΙΟ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΡΩΜΑΝΟΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΔΑΜΑΣΙΩΤΗΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΣ

ΡΕΘΥΜΝΟ 2011

# **ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΧΟΛΕΙΟ**

## Περίληψη:

Στην Καλαμαριά Θεσσαλονίκης και σε έναν από τους πλέον πολυσύχναστους και θορυβώδεις δρόμους με έντονο κυκλοφοριακό πρόβλημα (Ανδριανουπόλεως) πρόκειται να ανεγερθεί σε οικόπεδο του Δήμου σχολικό συγκρότημα (γυμνάσιο).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μέτρηση της ηχορύπανσης από εξωτερικούς παράγοντες, τις ώρες λειτουργίας σχολείου και οι τρόποι αντιμετώπισης της, ώστε να μην ενοχλούνται οι μαθητές και οι διδάσκοντες καθηγητές κατά τη διάρκεια του μαθήματος, τους μήνες όπου η θερμοκρασία ανεβαίνει και στις αίθουσες διδασκαλίας ανοίγουν παράθυρα για τον αερισμό του χώρου.

Έγιναν μετρήσεις του θορύβου και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αποδεκτά επίπεδα αυτού όπως ορίζει η εθνική και κοινοτική νομοθεσία.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν περιμετρικά του οικοπέδου και σε ύψος 1,5 μέτρου από το έδαφος. Είχαν διάρκεια 5 λεπτών έκαστη και έγιναν 3 συνεχόμενες μετρήσεις με απόσταση μιας ώρας η μια από την άλλη. Οι ώρες των μετρήσεων ήταν από τις 11 το πρωί έως τις 2 το μεσημέρι για μια εβδομάδα (πέντε εργάσιμες ημέρες) τον μήνα Απρίλιο και μια εβδομάδα τον μήνα Μάιο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ηχόμετρο του οίκου Casella και συγκεκριμένα το μοντέλο Cel-440.A1.

Στην συνέχεια τα αποτελέσματα μελετηθήκαν και επεξεργάστηκαν.

Σύμφωνα με αυτά, στην παρούσα εργασία, προτείνονται τρόποι μείωσης των επιπέδων του θορύβου και επιλέγεται ο πλέον εφικτός, γρήγορος και οικονομικός τρόπος αντιμετώπισης της ηχορύπανσης στο υπό κατασκευή κτήριο.

## Περιεχόμενα

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ</b> .....	7
1.1 Τι είναι ήχος .....	8
1.2 Χαρακτηριστικά του ήχου.....	8
1.2.1 Συχνότητα (Frequency).....	8
1.2.2 Ένταση (Intensity).....	10
1.2.3 Ακουστότητα (Loudness) .....	11
1.2.4 Ύψος (Pitch) .....	13
1.2.5 Χροιά (Timbre).....	14
1.3 Ιδιότητες του ήχου.....	15
1.3.1 Ανάκλαση (Reflection) .....	15
1.3.2 Περίθλαση (Diffraction) .....	15
1.3.3 Διάθλαση (Refraction).....	16
1.3.4 Παρεμβολή (Interjection).....	16
1.4 Τι ακούει ο άνθρωπος.....	17
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ 2<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ</b> .....	20
2.1 Τι είναι Θόρυβος .....	21
2.2 Κατηγοριοποίηση ακουστικού θορύβου .....	22
2.3 Μέτρηση ακουστικού θορύβου.....	22
2.4 Λειτουργία ηχόμετρου .....	23
2.4.1 Κατηγορίες ηχομέτρων .....	24
2.4.2 Βαθμονόμηση (Calibration).....	25
2.5 Σταθμιστικά κυκλώματα (φίλτρα) A, B, C και D .....	25
2.6 Συστήματα κατάταξης θορύβου - δείκτες θορύβου .....	27
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ 3<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ</b> .....	30
3.1 Νομοθεσία σχετικά με τον θόρυβο.....	31
3.2 Θόρυβος σε ανοιχτούς χώρους .....	33

3.3 Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου στη πηγή .....	33
3.3.1 Έλεγχος οχημάτων .....	33
3.3.1.1 Τα οχήματα με κινητήρα .....	34
3.3.1.2 Δίτροχα οχήματα με κινητήρα.....	35
3.3.2 Τοποθέτηση κατάλληλου ασφαλτοτάπητα .....	36
3.3.2.1 Πως λειτουργεί το ηχομονωτικό οδόστρωμα .....	38
3.3.2.2 Αρχή λειτουργίας .....	38
3.3.3 Παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στο θόρυβο κυκλοφορίας .....	39
3.4 Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου κατά τη διαδρομή πηγής – δέκτη ..	40
3.4.1 Ηχοπετάσματα.....	40
3.4.1.1 Είδη ηχοπετασμάτων ως προς τον τρόπο λειτουργίας.....	41
3.4.1.2 Αποτελεσματικότητα ηχοπετασμάτων - Μορφές και διαστάσεις ..	42
3.4.1.3 Γενικές αρχές τοποθέτησης ηχοπετασμάτων .....	45
3.4.1.4 Η στατική των ηχοπετασμάτων - Φέρων οργανισμός και θεμελίωση .....	46
3.4.1.5 Η αρχιτεκτονική και αισθητική διάσταση - Υλικά κατασκευής.....	47
3.4.1.6 Φαινόμενο περίθλασης στα άκρα εμποδίου .....	49
3.4.1.7 Απόδοση ηχοφράγματος – ηχομείωση.....	50
3.4.1.8 Διαφορά δρόμων (απευθείας χωρίς πέρασμα – περιθλώμενου με πέτασμα) .....	51
3.4.2 Φυτικά ηχοπετάσματα.....	51
3.4.2.1 Προτεινόμενες διεθνώς δένδροφυτεύσεις.....	52
3.5 Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου στο δέκτη .....	55
3.5.1 Ηχομονωμένο κτήριο .....	55
3.5.1.1 Οι τοίχοι.....	55
3.5.1.2 Υλικά ηχομόνωσης .....	55
3.5.1.3 Κουφώματα εξωτερικά.....	57
3.5.1.4 Σύστημα κλιματισμού.....	59
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ 4<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>62</b>
4.1 Ο θόρυβος από την ματιά της ψυχολογικής επιστήμης.....	63
4.2 Ψυχολογικές συνέπειες του θορύβου .....	63
4.2.1 Το είδος του έργου.....	65

4.2.2 Χαρακτηριστικά του θορύβου .....	65
4.2.3 Ο χρόνος .....	65
4.3 Θόρυβος και κοινωνική συμπεριφορά.....	66
4.3.1 Θόρυβος και έλξη .....	66
4.3.2 Θόρυβος και επιθετικότητα .....	66
4.4 Οι θέσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με τον θόρυβο ...	67
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>70</b>
5.1 Διαδικασία μετρήσεων .....	71
5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων και ανάλυση.....	74
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ .....</b>	<b>92</b>
6.1 Αντιμετώπιση του προβλήματος και προτάσεις .....	93
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>96</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>104</b>

**ΗΧΟΣ:**  
**Χαρακτηριστικά**  
**&**  
**Ιδιότητες**



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ο ορισμός του ήχου και παρουσιάζονται τα αντικειμενικά (συχνότητα, ένταση) και τα υποκειμενικά (ακουστότητα, ύψος, χροιά) χαρακτηριστικά του, καθώς και ορισμένες από τις ιδιότητες (ανάκλαση, περίθλαση, διάθλαση, παρεμβολή) που αφορούν στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να δώσει τις έννοιες, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση των επομένων κεφαλαίων.



## 1.1 Τι είναι ήχος

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 263.1 (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) της ορολογίας της ακουστικής [1][4]:

Ως **ήχος** ορίζεται η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. ελαστικότητας, εσωτερικής τριβής) κι έχει τέτοιο χαρακτήρα, ώστε μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

Το ακουστικό αίσθημα που προκαλείται όταν το αισθητήριο της ακοής διεγείρεται από μια μηχανική διαταραχή ορίζεται:

- Ως **απλός ήχος, απλός τόνος, καθαρός τόνος** (ο ήχος που παράγεται από αρμονική διαταραχή).
- Ως **σύνθετος ήχος** (κάθε ήχος που δεν είναι απλός ήχος).

## 1.2 Χαρακτηριστικά του ήχου

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός ήχου μπορούν να χωριστούν σε 2 κατηγορίες, αυτά τα οποία είναι ανεξάρτητα από την προσωπική αντίληψη του ακροατή και αποκαλούνται *αντικειμενικά* και αυτά που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον ακροατή και λέγονται *υποκειμενικά* χαρακτηριστικά του ήχου. Τέτοια αντικειμενικά χαρακτηριστικά, είναι η **συχνότητα** και η **ένταση** και υποκειμενικά η **ακουστότητα**, το **ύψος** και η **χροιά** [1][5].

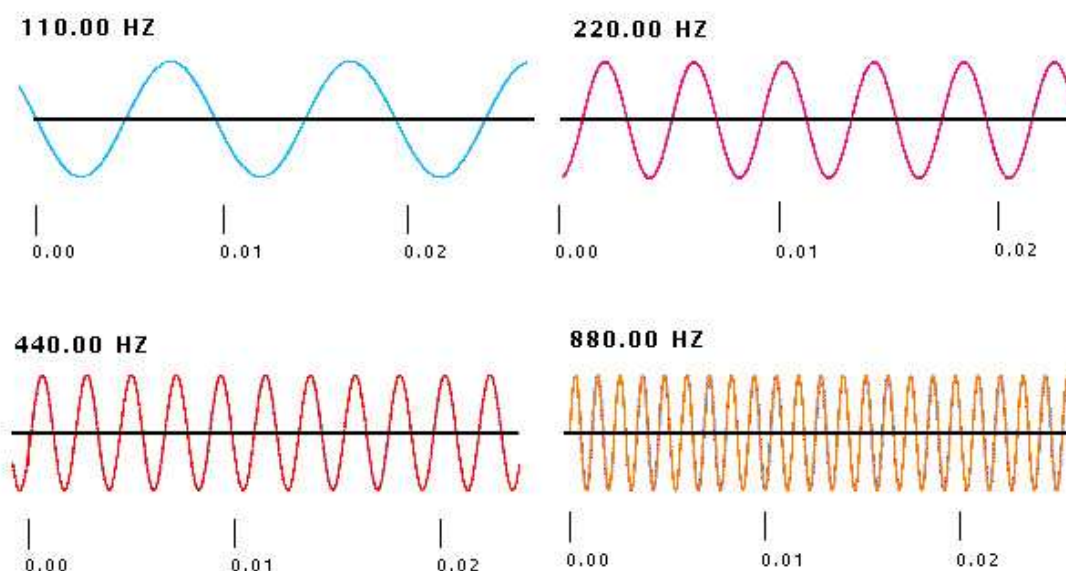
### 1.2.1 Συχνότητα (Frequency)

Ο αριθμός των μεταβολών της πίεσης ανά δευτερόλεπτο καλείται **συχνότητα** του ήχου (εικόνα 1.1) και μετράται σε Χερτζ (Hz). Υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου, αντίστοιχο της συχνότητας, είναι το **ύψος** του. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την αύξηση της συχνότητας του ηχητικού κύματος ως αύξηση του τονικού ύψους του ήχου. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο οξύτερος είναι και ο ήχος. Οι χαμηλές συχνότητες γίνονται αντιληπτές ως βαθύς ήχος. Για παράδειγμα, το μπουμπουνητό ενός μακρινού κεραυνού έχει χαμηλή συχνότητα, ενώ το σφύριγμα υψηλή συχνότητα.

Το ωτολογικά φυσιολογικό άτομο αντιλαμβάνεται συχνότητες από 16 έως 20.000 Hz. (Ως *ωτολογικά φυσιολογικό άτομο ορίζεται κάθε υγιές άτομο του*

οποίου τα αυτιά δεν εμφανίζουν κανένα σύμπτωμα αρρώστιας, οι ακουστικοί του πόροι είναι απαλλαγμένοι από κυψελίδα και δεν έχει προϊστορία επιβλαβούς έκθεσης σε θόρυβο). Η περιοχή αυτή ονομάζεται **ακουστικό φάσμα συχνοτήτων**.

Δονήσεις συχνότητας μικρότερης των 16 Hz ονομάζονται *υπόηχοι*, ενώ δονήσεις συχνότητας άνω των 20 kHz ονομάζονται *υπέρηχοι*.



Εικόνα 1.1: Διάφορα είδη κυματομορφών ανάλογα με την συχνότητα.  
<http://mynasadata.larc.nasa.gov/glossary.php?&word=frequency> (3-8-11)

Οι μεταβολές της πίεσης διαδίδονται μέσα σε κάθε ελαστικό μέσο, π.χ. στον αέρα, από την πηγή παραγωγής του ήχου έως τα αυτιά του ακροατή.

Οι ήχοι κινούνται με διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα υλικά μέσα. Οι ήχοι κινούνται γρήγορα στα στερεά, αργά στα αέρια και με ενδιάμεσες ταχύτητες στα υγρά. Δείχνουν δηλαδή διάθεση να κινηθούν γρηγορότερα στα πυκνότερα υλικά. Π.χ. στο ασάλι ο ήχος διαδίδεται με ταχύτητα 6100 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, στο νερό με ταχύτητα 1480 περίπου μέτρα ανά δευτερόλεπτο, ενώ στον αέρα με 343 περίπου μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ακόμη θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ήχος ταξιδεύει πιο γρήγορα στα θερμά παρά στα ψυχρά σώματα. Έτσι στον αέρα και σε θερμοκρασία 0 °C ο ήχος διανύει απόσταση 331 μέτρα σε ένα δευτερόλεπτο, ενώ στον ίδιο χρόνο στους 100 °C έχει καλύψει απόσταση 391 μέτρα. Γενικά για την ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε οποιαδήποτε θερμοκρασία με ικανοποιητική προσέγγιση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον εξής τύπο:

$$c = 331 + 0.6 \cdot \theta$$

όπου  $\theta$  η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

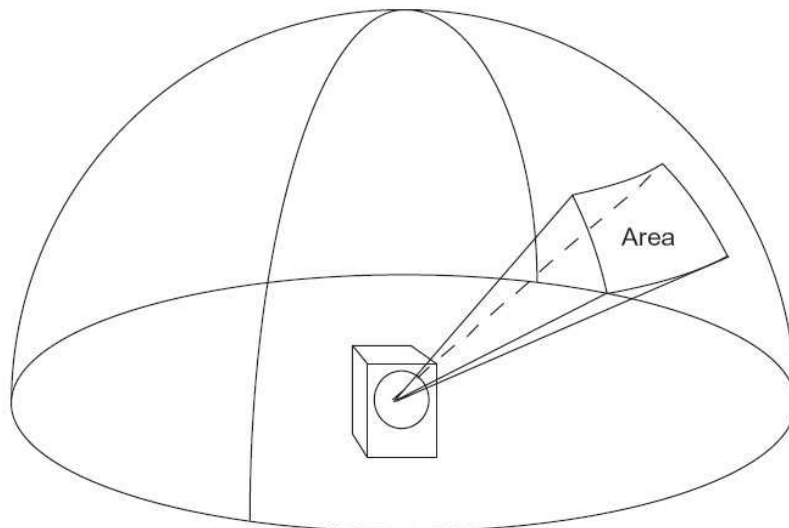
Γνωρίζοντας την ταχύτητα και την συχνότητα ενός ήχου υπολογίζουμε το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) αυτού, δηλαδή, την απόσταση από μία κορυφή του κύματος ως την επόμενη ή από μία κορυφοτιμή της πίεσης ως την επόμενη, εφαρμόζοντας την σχέση:

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

### 1.2.2 Ένταση (Intensity)

Η **ένταση** του ηχητικού κύματος ορίζεται ως η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που μεταδίδεται από το κύμα ανά μονάδα επιφανείας κάθετης στη φορά διάδοσης του κύματος. Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι το Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Είναι γνωστό ότι  $1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule/sec}$ . Παρόλα αυτά η ένταση του ήχου τις περισσότερες φορές εκφράζεται ως προς μια τιμή αναφοράς σε λογαριθμική κλίμακα και μετριέται σε decibels (dB). Αυτή η κλίμακα προσομοιάζει περισσότερο με την υποκειμενική αντίληψη του ανθρώπου για την ένταση του ήχου και μας παρέχει μεγάλη ευχέρεια σε πρακτικούς υπολογισμούς. Ως τιμή αναφοράς, χρησιμοποιείται η ελάχιστη τιμή έντασης που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος, η οποία είναι  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  και αντιστοιχεί σε 0 dB. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται **στάθμη έντασης ήχου (Sound Intensity Level)** (εικόνα 1.2) και η ακριβής σχέση που το συνδέει, με την ένταση είναι:

$$IL = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ dB}, \quad \text{όπου } I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$$



Εικόνα 1.2: Στάθμη έντασης ήχου σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

<http://www.eetimes.com/design/audio-design/4015861/Acoustics-and-Pschoacoustics-Introduction-to-sound--Part-2> (3-8-11)

Ο ασθενέστερος ήχος (ελάχιστα ακουστός) που μπορεί να αντιληφθεί ένα υγιές ανθρώπινο αυτί, έχει εύρος 20  $\mu\text{Pa}$  το οποίο ισοδυναμεί με 5 δις φορές λιγότερο από την κανονική ατμοσφαιρική πίεση. (Το Pascal είναι μονάδα μέτρησης πίεσης και είναι ίσο με  $1 \text{ N/m}^2$ . Η μέση ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας είναι 1013,25 mbar, όπου  $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$ ). Αυτή η μεταβολή της πίεσης των 20  $\mu\text{Pa}$  είναι τόσο μικρή, που προκαλεί μια απόκλιση του τυμπάνου του ανθρώπινου αυτιού μικρότερη από τη διάμετρο ενός μορίου υδρογόνου. Κατά θαυμαστό τρόπο, το αυτί αντέχει ηχητικές πιέσεις πάνω από ένα εκατομμύριο φορές υψηλότερες των 20  $\mu\text{Pa}$ . Εάν, λοιπόν, η μέτρηση του ήχου γινόταν σε Pa θα προέκυπταν πολύ μεγάλα και δύσχρηστα αριθμητικά ποσά. Για αυτό χρησιμοποιείται η **κλίμακα των ντεσιμπέλ ή κλίμακα dB**.

Το ντεσιμπέλ δεν είναι μία απόλυτη μονάδα μέτρησης. Είναι μία αναλογία μεταξύ ενός μετρούμενου μεγέθους και ενός συμφωνημένου επιπέδου αναφοράς. Η κλίμακα dB είναι λογαριθμική και χρησιμοποιεί τα 20  $\mu\text{Pa}$  ως ηχητική πίεση αναφοράς. Το **κατώφλι ακοής** ορίζεται ως 0 dB. Κάθε φορά που πολλαπλασιάζεται, επομένως, η ηχητική πίεση εκφρασμένη σε  $\mu\text{Pa}$  επί 10, προστίθενται 20 dB στη στάθμη των dB. Έτσι, τα 200  $\mu\text{Pa}$  αντιστοιχούν σε 20 dB (ως προς 20  $\mu\text{Pa}$ ), τα 2000  $\mu\text{Pa}$  σε 40 dB κ.ο.κ.

Η **κλίμακα των dB** παρέχει μία πολύ καλύτερη προσέγγιση της αντίληψης από τον άνθρωπο της σχετικής ακουστότητας του ήχου, συγκριτικά με την κλίμακα των  $\mu\text{Pa}$ . Αυτό συμβαίνει επειδή το ανθρώπινο αυτί αντιδρά σε λογαριθμική μεταβολή της στάθμης ηχητικής πίεσης, γεγονός που απεικονίζεται στη κλίμακα των ντεσιμπέλ, στην οποία το 1 dB αντιστοιχεί στην ίδια σχετική μεταβολή οπουδήποτε στην κλίμακα. Στην κλίμακα αυτή κάθε διαδοχική αύξηση της ηχητικής πίεσης κατά 3 dB αντιπροσωπεύει διπλασιασμό της ηχητικής ενέργειας.

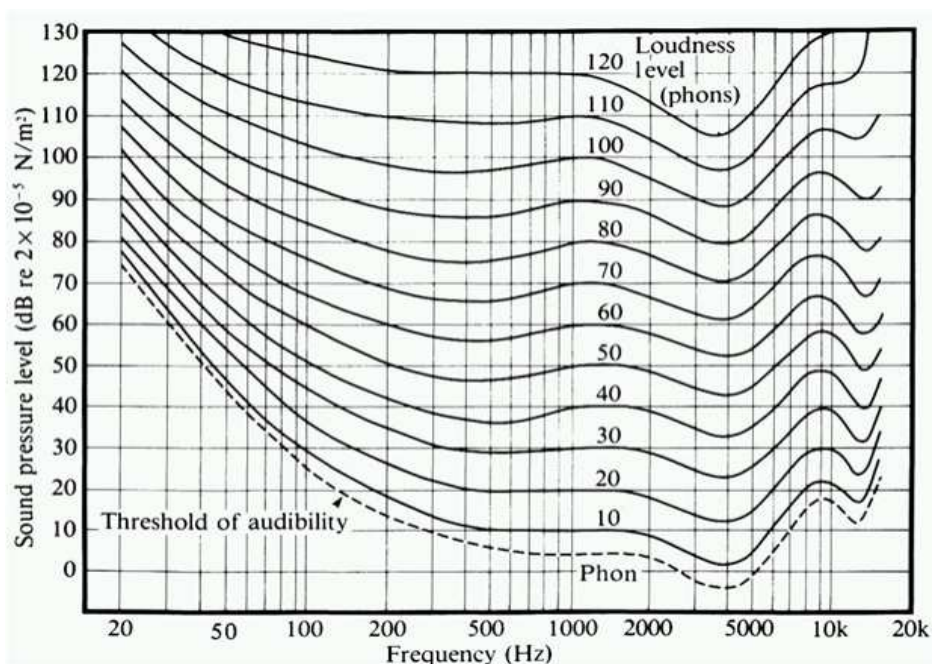
### 1.2.3 Ακουστότητα (Loudness)

Το πλάτος του ηχητικού κύματος αντιστοιχεί σε αυτό που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ως **ακουστότητα**. Το αυτί ανταποκρίνεται σε ένα πολύ μεγάλο φάσμα πλατών ηχητικών κυμάτων. Η αναλογία ανάμεσα στο κατώφλι του πόνου του αυτιού και στο κατώφλι της αίσθησης ενός ήχου, είναι της τάξεως των 120dB. Η διακριτική ικανότητα του αυτιού όσον αφορά την ακουστότητα εκτείνεται από τα 3 dB για ήχους κοντά στο κατώφλι της ακοής ως το εντυπωσιακό 0,5 dB για ηχηρούς ήχους. Είναι ενδεικτικό ότι ο άνθρωπος δεν έχει καταφέρει να κατασκευάσει ηλεκτρομηχανικά συστήματα συλλογής ηχητικών σημάτων με τέτοιες επιδόσεις στην διακριτικότητα. Μονάδα μέτρησης της ακουστότητας είναι το phon. Τόνος συχνότητας 1kHz έχει ακουστότητα τόσα phons, όσο και η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB. Η

αίσθηση της ακουστότητας επηρεάζεται και από την συχνότητα του λαμβανομένου ηχητικού κύματος.

Οι **Fletcher** και **Munson** κατασκεύασαν μία δέσμη από καμπύλες ελάχιστης ακουστότητας (εικόνα 1.3) (οι οποίες περιγράφουν την στάθμη ηχητικής πίεσης που πρέπει να έχει ένας ήχος για να είναι μόλις ακουστός σε συνάρτηση με την συχνότητά του), όπου φαίνεται πώς η ευαισθησία της ακοής μεταβάλλεται όχι μόνο με την συχνότητα, αλλά και με την ένταση (loudness). Όσο μικρότερη είναι η ένταση, τόσο μικρότερη η ευαισθησία της ακοής και τόσο μεγαλύτερη στάθμη απαιτείται για να γίνει ακουστή μία συγκεκριμένη συχνότητα.

Οι καμπύλες Fletcher/Munson προσφέρουν ένα πρώτο κριτήριο για την συμπίεση: Οι πληροφορίες κάτω από το κατώφλι ακουστότητας μπορούν να αποκοπούν από το σήμα ή, σκεπτόμενοι αντίστροφα, μπορούν να αποθηκευθούν ανεπιθύμητα σήματα -όπως ο θόρυβος κβαντισμού- σε περιοχές όπου το κατώφλι ακουστότητας είναι υψηλό.



Εικόνα 1.3: Η δέσμη καμπυλών Fletcher και Munson δείχνουν πως μεταβάλλεται το κατώφλι ακουστότητας σε συνάρτηση με την συχνότητα και την ένταση ενός ήχου.

<http://blogs.msdn.com/b/audiofool/archive/2007/02/07/louder-sounds-better.aspx> (3-8-11)

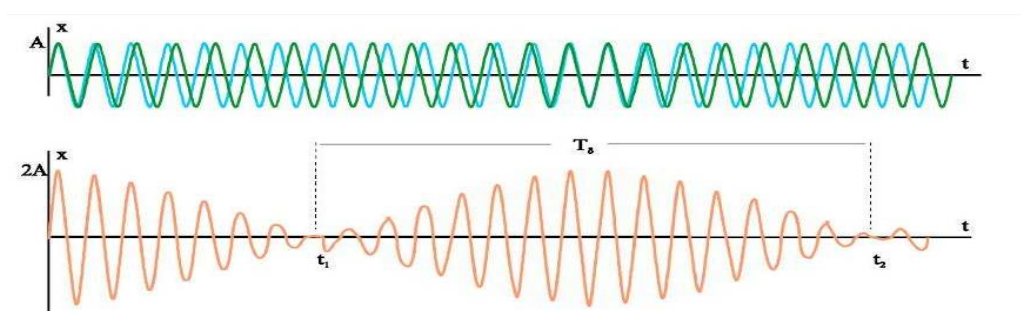
Κοντά στο κάτω φράγμα του φάσματος των ακουστικών συχνοτήτων, το αυτί είναι λιγότερο ευαίσθητο σε απαλούς ήχους αντίθετα με το κατώτερο όριο πόνου και την ικανότητα διάκρισης ηχηρών ήχων που δεν επηρεάζονται σημαντικά. Στις υψηλές συχνότητες η αλλαγή στην ευαισθησία είναι πιο απότομη, με την αίσθηση να διακόπτεται εξ ολοκλήρου στην περιοχή των 20 kHz. Η ανθρώπινη ικανότητα διάκρισης της ακουστότητας των ήχων

περιορίζεται για ήχους διάρκειας μικρότερης των 200 msec. Κάτω από αυτό το όριο η αντίληψη της ακουστότητας επηρεάζεται από τη διάρκεια. Μικρότερη διάρκεια σημαίνει και μικρότερη ακουστότητα. Ηχητικά σήματα διάρκειας μεγαλύτερης των 200 msec δεν επηρεάζουν την διακριτική ικανότητα του ανθρώπου για την ακουστότητα, αν εξαιρέσουμε το γεγονός ότι ο άνθρωπος τείνει να αγνοεί ηχητικά σήματα μεγάλης διάρκειας αμετάβλητου τόνου.

#### 1.2.4 Ύψος (Pitch)

Το **ύψος** είναι η υποκειμενική απόκριση του αυτιού, στη συχνότητα και μας επιτρέπει να κατατάξουμε τους ήχους σε οξείς, μέσους και βαρείς. Το ύψος μεταβάλλεται μη γραμμικά με τη συχνότητα, δηλαδή ίσες μεταβολές στη συχνότητα δεν προκαλούν ίδιες μεταβολές στην «αίσθηση» του ύψους. Επίσης καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει και η στάθμη του ήχου. Αν η στάθμη ενός τόνου 180Hz αυξηθεί χωρίς αλλαγή της συχνότητας, η αίσθηση του ύψους χαμηλώνει. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα ισχυρό για συχνότητες μικρότερες των 300Hz. Αντίθετα, στην περιοχή από 500 έως 3000 Hz η στάθμη δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το ύψος. Τέλος, στην περιοχή άνω των 4000 Hz η αίσθηση του ύψους για την ίδια συχνότητα αυξάνει με τη στάθμη. Μονάδα μέτρησης του ύψους είναι το Mel. Ήχος συχνότητας 1kHz και στάθμης 60dB έχει ύψος 1000 Mel.

Ο άνθρωπος έχει περιορισμένη διακριτική ικανότητα συχνοτήτων. Εάν οι κεντρικές συχνότητες  $f_1$  και  $f_2$  δύο ήχων είναι πολύ κοντινές, ο διαχωρισμός τους είναι δύσκολος έως αδύνατος. Αυτό συμβαίνει διότι οι περιοχές της βασικής μεμβράνης που διεγείρονται είναι πολύ κοντά. Ο εγκέφαλος «αναγνωρίζει» ήχο με συχνότητα  $(f_1+f_2)/2$  και πλάτους που μεταβάλλεται με συχνότητα  $(f_1-f_2)/2$ . Το διάγραμμα που προκύπτει ονομάζεται διακρότημα (εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4: Από τη σύνθεση δύο ταλαντώσεων που οι συχνότητές τους διαφέρουν πολύ λίγο (πράσινη και μπλε γραμμή) προκύπτει ιδιόμορφη περιοδική κίνηση (κόκκινη γραμμή) που παρουσιάζει διακροτήματα.

<http://users.sch.gr/pazoulis/e-ergastirio/diakr-computer/diakr-computer.htm> (3-8-11)

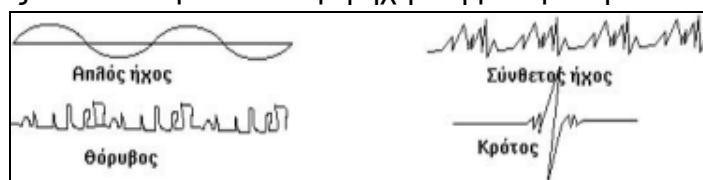
Όπως και με την αντίληψη της ακουστότητας, έτσι και η αντίληψη του ύψους γίνεται δυσκολότερη όταν η διάρκεια του ηχητικού σήματος είναι μικρότερη από 200 msec και αδύνατη για σήματα διάρκειας μικρότερα από 50 msec. Τέλος, η αντίληψη του τονικού ύψους επηρεάζεται και από το φασματικό περιεχόμενο του ηχητικού σήματος. Όσο το φασματικό περιεχόμενο παρεκκλίνει από το αρμονικό μοντέλο, η αίσθηση του τόνου μειώνεται.

### 1.2.5 Χροιά (Timbre)

**Χροιά** είναι το υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου που κάνει δυνατό το διαχωρισμό δύο τόνων της ίδιας έντασης και θεμελιώδους συχνότητας. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον χαρακτηρισμό ήχων μουσικών οργάνων και της ανθρώπινης φωνής. Π. χ. φλάουτο και όμποε ακούγονται διαφορετικά αν και παίζουν την ίδια νότα. (Η διαφοροποίηση της χροιάς οφείλεται κυρίως στη διαφορά του πλήθους και της σχετικής στάθμης των αρμονικών ως προς τη στάθμη της θεμελιώδους συχνότητας.) Ο αντίστοιχος φυσικός όρος για τη χροιά είναι το φάσμα. Για να καταλάβουμε τη φύση της χροιάς πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής:

Υπάρχουν τέσσερα είδη ήχων (εικόνα 1.5):

- ο απλός που μεταβάλλεται ημιτονοειδώς μετά του χρόνου,
- ο σύνθετος, που αποτελείται από δύο ή περισσότερους απλούς,
- ο θόρυβος που αποτελείται από τυχαία μεταβολή των συχνοτήτων του,
- ο κρότος που είναι μια απότομη ηχητική μεταβολή.



Εικόνα 1.5: Γραφικές παραστάσεις τυχαίων ήχων.

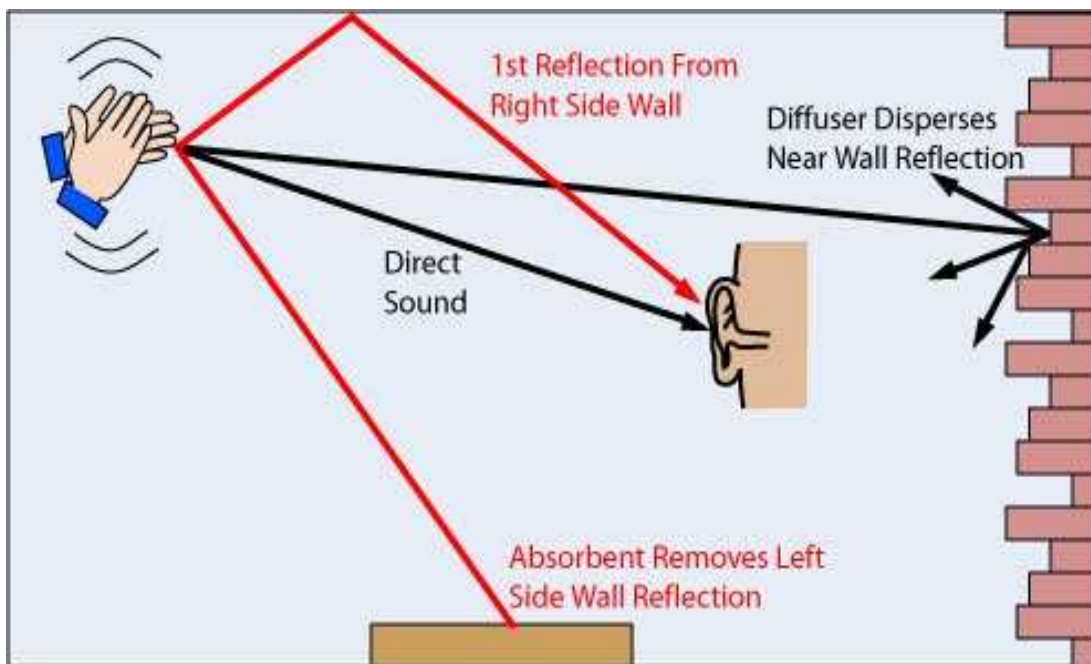
[http://paroutsas.jmc.gr/did\\_fp.htm](http://paroutsas.jmc.gr/did_fp.htm) (3-8-11)

Με μαθηματικό τρόπο μπορούμε να αναλύσουμε τον κάθε σύνθετο ήχο στους επιμέρους απλούς που τον συνθέτουν. Τα χαρακτηριστικά που θα πάρουμε θα είναι η ένταση και η συχνότητα των συνιστούντων ήχων. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται ανάλυση κατά **Fourier**. Από τους ήχους αυτούς, αυτόν με τη χαμηλότερη συχνότητα ονομάζουμε πρώτο αρμονικό ή θεμελιώδη. Ο τρίτος πχ. αρμονικός θα έχει τριπλάσια συχνότητα από τον θεμελιώδη. Η χροιά εξαρτάται από το πλήθος των απλών ήχων που αποτελούν τον ήχο που ακούμε καθώς το αυτί μας πραγματοποιεί μια ιδιότυπη "ανάλυση κατά Fourier". Όταν πρωτακούμε έναν ήχο, το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι η χροιά, το χρώμα, η ποιότητα του ήχου.

## 1.3 Ιδιότητες του ήχου [1][Δ3]

### 1.3.1 Ανάκλαση (Reflection)

Όταν ένα ξένο σώμα διαφορετικής ύλης από αυτή του μέσου παρεμβάλλεται στην κατεύθυνση των ηχητικών κυμάτων, τότε αυτά υφίστανται ανάκλαση (εικόνα 1.6). Εάν για παράδειγμα, σταθούμε μπροστά από έναν τοίχο και κτυπήσουμε παλαμάκια, τα κύματα που θα φτάσουν στον τοίχο θα αναγκαστούν να αλλάξουν κατεύθυνση. Αν το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 17 μέτρα, τότε παρατηρούμε πως ο κρότος που δημιουργήσαμε επαναλαμβάνεται - αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ηχώ. Αν όμως το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη από 17 μέτρα, τότε ο ήχος απλώς δυναμώνει. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντήχηση και στηρίζεται στο ότι τα ηχητικά κύματα ανακλώνται και επιστρέφουν ενισχυμένα όταν συναντήσουν ένα πολύ κοντινό εμπόδιο.



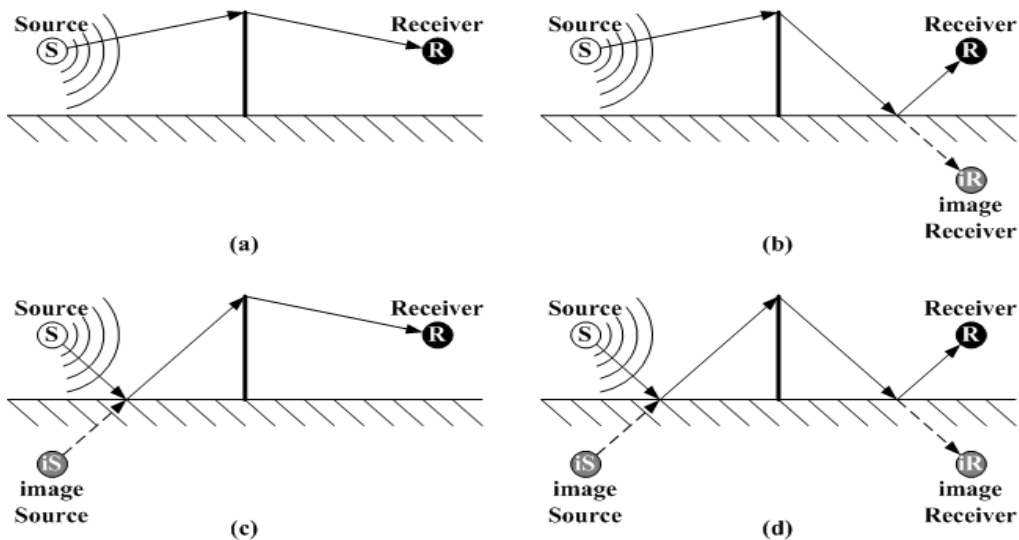
Εικόνα 1.6: Σχηματική παράσταση της ανάκλασης.

<http://www.acoustics.salford.ac.uk/feschools/waves/diffract4.htm> (3-8-11)

### 1.3.2 Περίθλαση (Diffraction)

Τα ηχητικά κύματα που ανακλώνται αλλάζουν γωνία κατεύθυνσης. Τα κύματα που περνούν γύρω από ένα εμπόδιο ή που το διαπερνούν (εξαιτίας, λόγου χάριν, κάποιου ανοίγματος στο σώμα) έχουν τη δυνατότητα να κυρτώνονται και γεμίζουν τον χώρο πέρα του εμποδίου. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται περίθλαση (εικόνα 1.7).



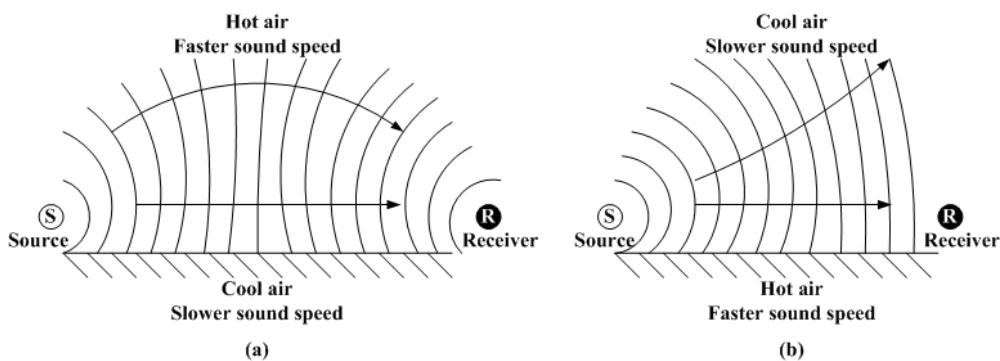


Εικόνα 1.7: Διάφορες διαδρομές περίθλασης.

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sound\\_diffraction\\_paths.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sound_diffraction_paths.png) (3-8-11)

### 1.3.3 Διάθλαση (Refraction)

Όταν η υπόσταση του υλικού μέσου αλλάζει σταδιακά, τότε τα κύματα μπορεί να αλλάξουν κατεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό λέγεται διάθλαση και παρατηρείται, για παράδειγμα, όταν ο ήχος ταξιδεύει σε στρώματα αέρα με διαφορετική θερμοκρασία (εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8: Διάθλαση σε στρώματα αέρα με διαφορετική θερμοκρασία.

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Outdoor\\_Sound\\_Refraction.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Outdoor_Sound_Refraction.png) (3-8-11)

### 1.3.4 Παρεμβολή (Interjection)

Όταν ηχητικά κύματα παραγόμενα από δυο διαφορετικές πηγές διαδίδονται στο ίδιο μέσο, τότε η διατάραξη που επιδέχεται κάθε μάζα προκύπτει από το άθροισμα των μετατοπίσεων που θα επιδεχόταν από κάθε κύμα ξεχωριστά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παρεμβολή. Η παρεμβολή μπορεί να είναι *καταστρεπτική* όταν τα ηχητικά κύματα ακυρώνουν πλήρως τη μετατόπιση που θα σημειωνόταν σε σημείο του μέσου.

## 1.4 Τι ακούει ο άνθρωπος [5]

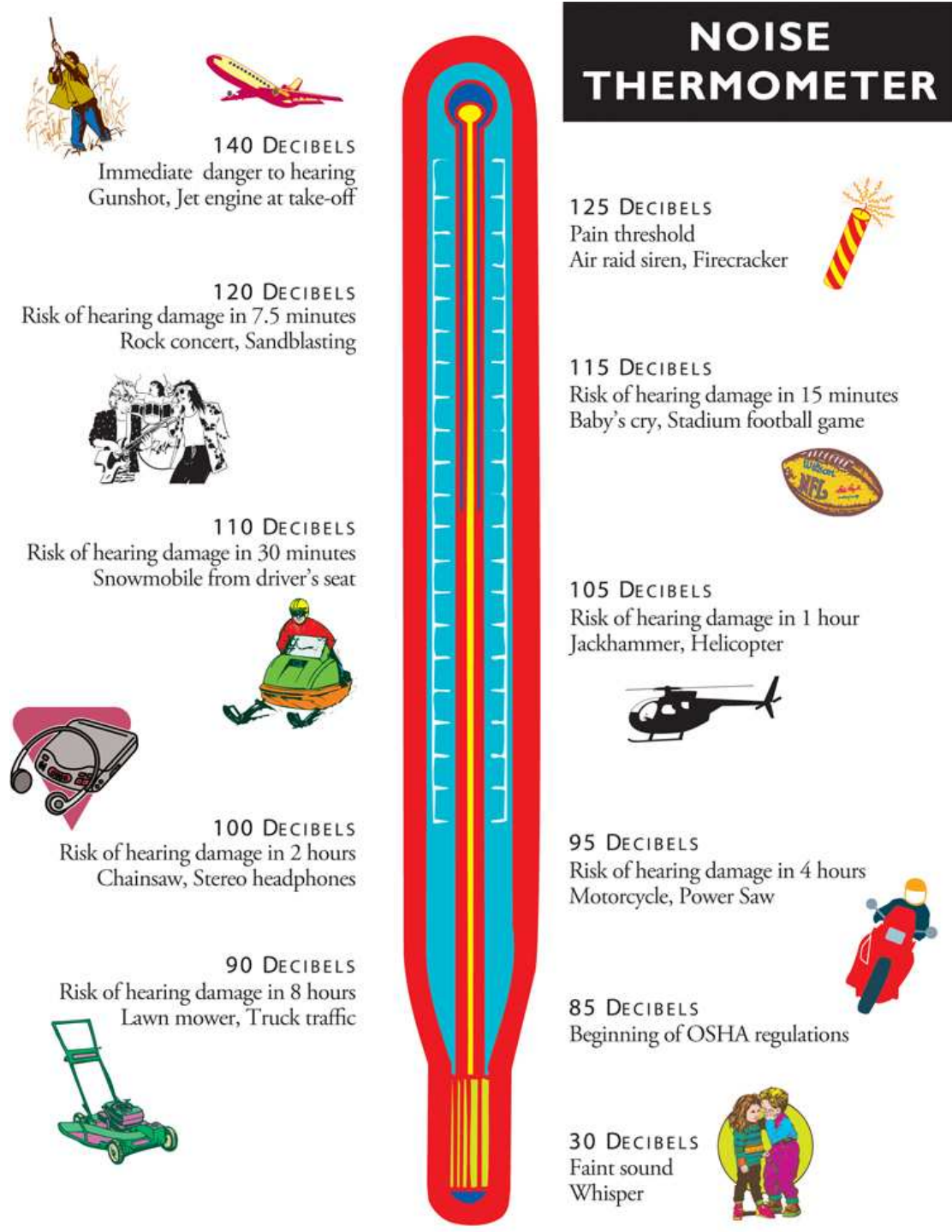
Όπως έχει ήδη ορισθεί, ήχος είναι οποιαδήποτε μεταβολή της πίεσης που μπορεί να γίνει ακουστή από το ανθρώπινο αυτί. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η ζώνη συχνοτήτων που αντιλαμβάνεται ένας υγιής, νέος άνθρωπος εκτείνεται από 16 Hz έως 20 KHz. Σε όρους ηχητικής πίεσης οι ακουστοί ήχοι περιλαμβάνονται από το κατώφλι ακοής των 0 dB έως το όριο του πόνου που υπερβαίνει τα 120 dB (εικόνα 1.9).

Το ανθρώπινο αυτί δεν είναι εξίσου ευαίσθητο σε όλες τις συχνότητες. Μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζει σε ήχους μεταξύ 2 και 5 KHz ενώ είναι λιγότερο ευαίσθητο σε χαμηλότερες και υψηλότερες συχνότητες. Το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά τη μέτρηση του θορύβου, δεδομένου ότι δύο ήχοι ίσης έντασης αλλά διαφορετικών συχνοτήτων κρίνονται υποκειμενικά ως ήχοι διαφορετικής ακουστότητας.

Η ακουστότητα ενός ήχου είναι μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με το μέτρο του υποκειμενικού αισθήματος της έντασης του ήχου που αντιλαμβάνεται ο φυσιολογικός ακροατής.

Η διαφοροποίηση της ευαισθησίας ανάλογα με τη συχνότητα, είναι πιο έντονη στις χαμηλές στάθμες ηχητικής πίεσης σε σύγκριση με τις υψηλές. Οι παλμικοί θόρυβοι δημιουργούν ακόμα ένα πρόβλημα κατά την αξιολόγηση της ακουστότητας. Ως παλμικός θόρυβος ορίζεται ο μεταβλητός θόρυβος που αποτελείται από μία ή περισσότερες εξάρσεις ηχητικής ενέργειας (ηχητικούς παλμούς) κάθε μία με διάρκεια μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο.

Λόγω της μικρής διάρκειας των παλμικών ήχων (λιγότερο του 1 δευτερολέπτου) το αυτί παρουσιάζει μειωμένη ευαισθησία στην αντίληψη της ακουστότητάς τους. Οι ερευνητές συμφωνούν γενικά στο εξής: η υποκειμενικά αντιληπτή ακουστότητα ήχων βραχύτερης διάρκειας των 70 msec είναι μικρότερη από εκείνη που παράγουν ήχοι της ίδιας στάθμης ηχητικής πίεσης αλλά μεγαλύτερης διάρκειας.



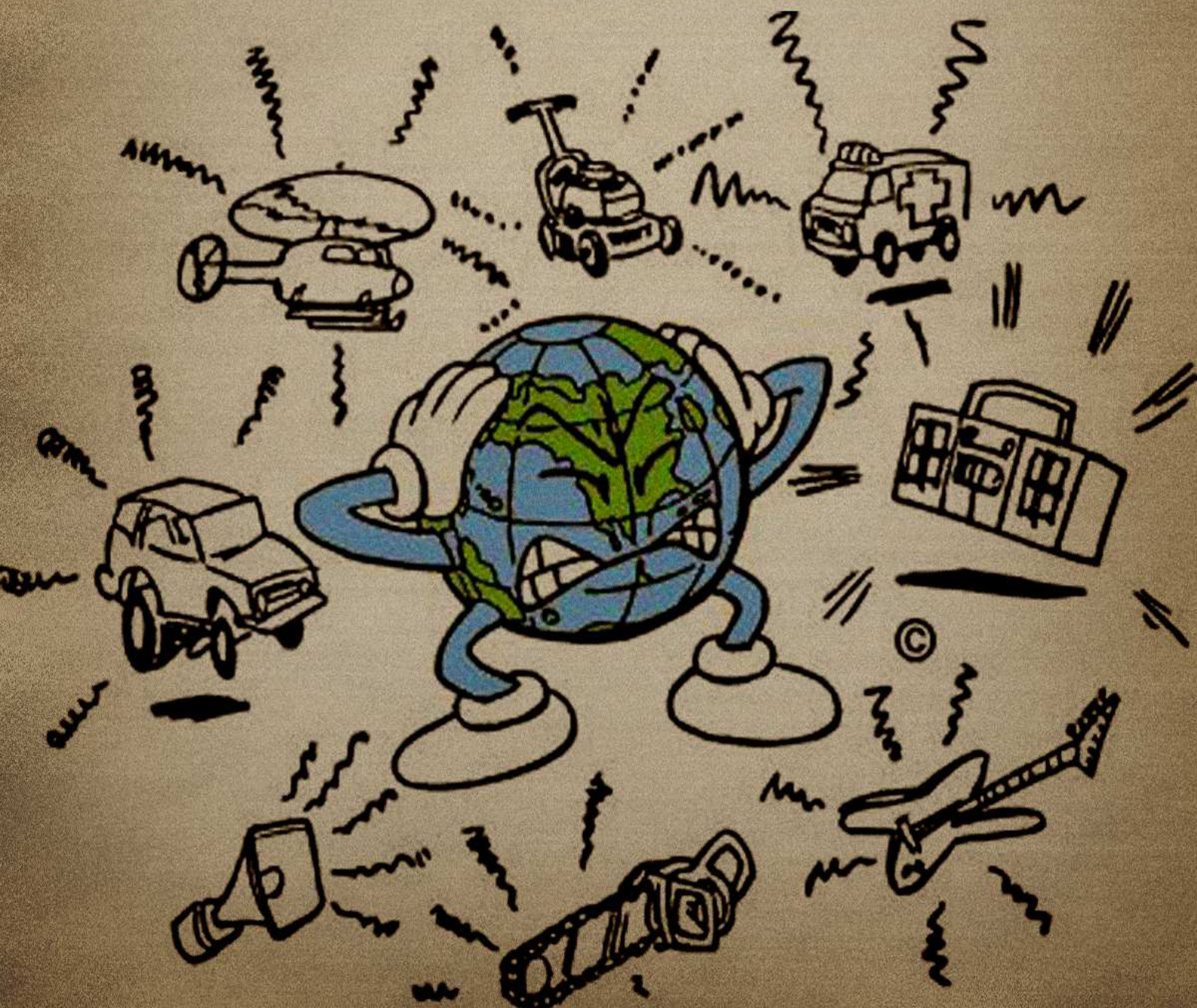
©1997, 2004 Sight & Hearing Association. All Rights Reserved.  
 Sight & Hearing Association: 1-800-992-0424 \* 674 Transfer Road, St. Paul, MN 55114 \* www.sightandhearing.org

Εικόνα 1.9: Διάφορα επίπεδα θορύβου.

[http://www.betterhearing.org/hearing\\_loss\\_prevention/noise\\_thermometer/index.cfm](http://www.betterhearing.org/hearing_loss_prevention/noise_thermometer/index.cfm)

(3-8-11)

# Θόρυβος



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ 2<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται ο ορισμός του θορύβου, παρουσιάζεται το όργανο μέτρησης του ήχου και η λειτουργία του. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά των σταθμιστικών κυκλωμάτων και προσδιορίζονται τα συστήματα κατάταξης και οι δείκτες θορύβου.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η κατανόηση της λειτουργίας του ηχομέτρου που χρησιμοποιείται στις μετρήσεις της παρούσας εργασίας.

## 2.1 Τι είναι Θόρυβος

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 263.1 (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) της ορολογίας της ακουστικής [1][4]:

Ως **θόρυβος** ορίζεται:

- κάθε ακανόνιστος απεριοδικός σύνθετος ήχος του οποίου η στιγμιαία τιμή αυξομειώνεται, γενικά, με τυχαίο τρόπο
- κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος

Θόρυβος συνήθως είναι ο ήχος που δεν φέρει καμία πληροφορία και που η έντασή του συνήθως μεταβάλλεται τυχαία στο χρόνο. Η λέξη θόρυβος συνήθως χρησιμοποιείται με την έννοια του ήχου που είναι ανεπιθύμητος από τον ακροατή. Παρεμβάλλεται με τους επιθυμητούς ήχους και είναι πιθανόν να είναι επιβλαβής ψυχολογικά. Ο θόρυβος δεν έχει κάποιο συγκεκριμένο φυσικό χαρακτηριστικό που να του δίνει την δυνατότητα να διαχωριστεί από τον επιθυμητό ήχο. Κανένα όργανο δεν μπορεί να κάνει διαχωρισμό μεταξύ θορύβου και ήχου. Μόνο η ανθρώπινη αντίδραση. Επίσης θόρυβος λέγεται και κάθε ανεπιθύμητη ηλεκτρική διαταραχή μέσα σε μια γραμμή μετάδοσης ή σε μια ηλεκτρική διάταξη. Στην περίπτωση αυτή ο θόρυβος χαρακτηρίζεται «ηλεκτρικός θόρυβος» σε αντίθεση με τον «ακουστικό θόρυβο».

Οι θόρυβοι προέρχονται από το φυσικό ή το ανθρωπογενές περιβάλλον και για τον λόγο αυτό ονομάζονται περιβαλλοντικοί θόρυβοι. Κάποιοι κοινοί τύποι περιβαλλοντικού θορύβου είναι οι εξής:

### Ανθρωπογενείς:

- Από μεταφορές: π.χ.: αεροσκάφη, τρένα, οχήματα
- Από βιομηχανικά κτίρια: π.χ.: εργοστάσια, μηχανήματα
- Από εμπορικά κτίρια: π.χ.: κτίρια γραφείων, συστήματα κλιματισμού, εστιατόρια, μπαράκια
- Από εργοτάξια: π.χ.: εκσκαφές, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις
- Από κατοικίες: π.χ.: μουσικά όργανα, τηλεόραση, κατοικίδια
- Από δημόσιους χώρους: π.χ.: λαϊκές αγορές, παιδικές χαρές, δρόμοι
- Από προϊόντα: π.χ.: συναγερμοί κτιρίων και αυτοκινήτων, κόνρες

### Φυσικοί:

- Από τη φύση: π.χ.: βροντές, εκρήξεις ηφαιστείων, τυφώνες

## 2.2 Κατηγοριοποίηση ακουστικού θορύβου [5]

Ο ακουστικός θόρυβος διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες: στον **θόρυβο περιβάλλοντος (ambient noise)**, ο οποίος ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από συγκεκριμένες πηγές που δεν μας ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης ή της παρατήρησης, όπως για παράδειγμα ο θόρυβος ενός κλιματιστικού σε μια αίθουσα διδασκαλίας κατά τη διάρκεια του μαθήματος και στον **θόρυβο βάθους (background noise)**, ο οποίος ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δεν μας ενδιαφέρουν.

Επίσης ο θόρυβος κατηγοριοποιείται και ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλεται. Έτσι έχουμε τον **σταθερό θόρυβο** ο οποίος παρουσιάζει αμελητέες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης, τον **μεταβλητό θόρυβο** ο οποίος δεν είναι σταθερός αλλά δεν μεταβάλλεται ραγδαία και τον **κυμαινόμενο θόρυβο** η στάθμη του οποίου αλλάζει συνεχώς και σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης.

## 2.3 Μέτρηση ακουστικού θορύβου [9]

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  $2 \times 10^{-5}$  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 (Leq)**, 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:

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

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.

## 2.4 Λειτουργία ηχώμετρου [5][9]

Κάθε ηχώμετρο (εικόνα 2.1) αποτελείται, κατά βάση, από τα ίδια επί μέρους τμήματα:

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

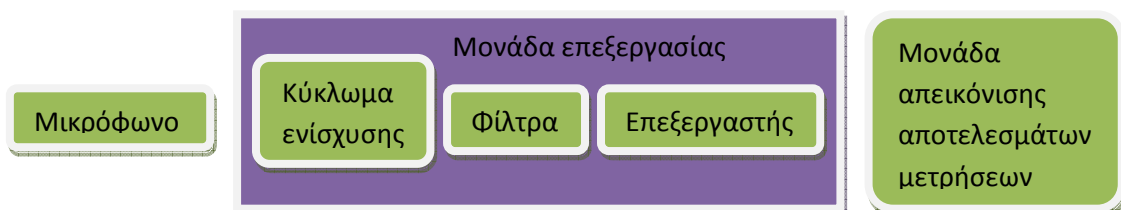




Εικόνα 2.1: Ηχώμετρο του οίκου CASELLA.

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.



#### 2.4.1 Κατηγορίες ηχομέτρων [9]

Ανάλογα με την ακρίβεια τους τα ηχώμετρα διακρίνονται σε τρεις κύριους τύπους:

- Τύπου 1 (κατηγορία υψηλής ακρίβειας και τιμής)

- Τύπου 2 (μέτριας ακρίβειας με αρκετή απόκλιση σε υψηλές συνήθως συχνότητες),
- Τύπου εκτίμησης (survey)

#### 2.4.2 Βαθμονόμηση (Calibration) [9]

Βασική προϋπόθεση για έγκυρες ηχητικές μετρήσεις αποτελεί η σωστή βαθμονόμηση του ηχομέτρου πριν από κάθε χρήση. Αυτό γίνεται συνήθως με τη βοήθεια ενός φορητού ακουστικού βαθμονομητή (εικόνα 2.2), ο οποίος εκπέμπει συγκεκριμένη ηχητική στάθμη σε συγκεκριμένη συχνότητα (π.χ. 94dB στο 1kHz) και τοποθετείται απευθείας στο μικρόφωνο.



Εικόνα 2.2: Βαθμονομητές του οίκου CASELLA.

[http://www.casellausa.com/en/docs/data/cel/cel\\_accessories/cel-282-284\\_brochure.pdf](http://www.casellausa.com/en/docs/data/cel/cel_accessories/cel-282-284_brochure.pdf) (7-8-

11)

## 2.5 Σταθμιστικά κυκλώματα (φίλτρα) A, B, C και D [3][7]

Η ακουστότητα είναι η υποκειμενική εκδοχή της έντασης και η διαφοροποίηση έντασης – ακουστότητας δίδεται από τις καμπύλες ίσης ακουστότητας Fletcher – Munson.

Ένας θόρυβος θα μπορούσε να προσδιοριστεί με τη μέτρηση της έντασης σε κάθε οκτάβα, αλλά αυτός ο τρόπος μέτρησης θα μπορούσε να εφαρμοστεί κυρίως στις περιπτώσεις όπου ο έλεγχος των πηγών γίνεται με χρήση ηχομονωτικών, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αποτελεσματικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων, οπότε ο αναλυτικός

προσδιορισμός των εντάσεων του θορύβου της πηγής σε κάθε οκτάβα είναι απαραίτητος για την επιλογή του σωστού μέσου.

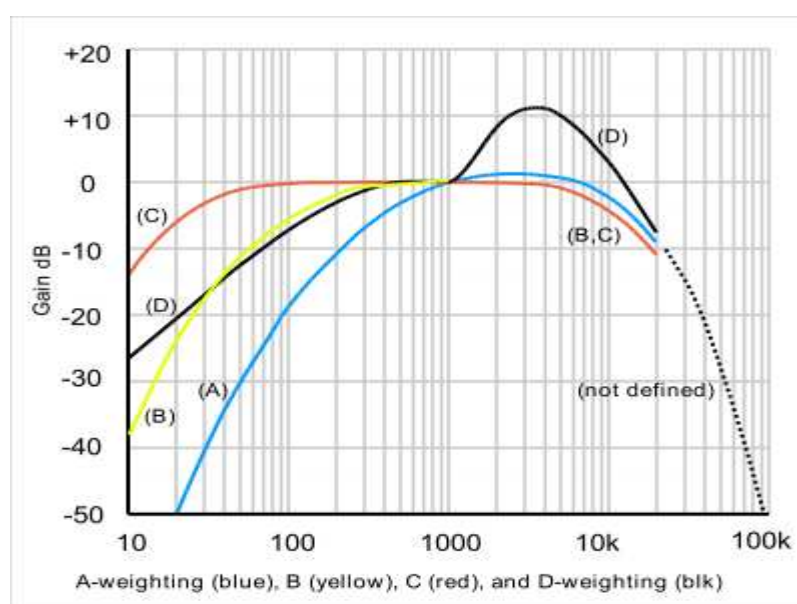
Πρακτικά, η εκτίμηση της ακουστότητας των θορύβων που δημιουργούν προβλήματα στον άνθρωπο, γίνεται με τη χρήση κατάλληλων σταθμιστικών φίλτρων, τα οποία είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα ενσωματωμένα στους ηχομετρητές, με σκοπό να «απαλύνουν» κάποιες συχνότητες, επιτρέποντας στον μετρητή να αντιδρά περισσότερο, από ότι σε κάποιες άλλες συχνότητες (εικόνα 2.3).

**Σταθμιστικό κύκλωμα A:** Το σταθμιστικό κύκλωμα A φιλτράρει αρκετά αυστηρά τις πολύ χαμηλές συχνότητες και αντιστοιχεί στην καμπύλη ακουστότητας των 40dB στο 1KHz και 20-55dB τιμή ηχοστάθμης, προσομοιώνοντας περισσότερο από τα υπόλοιπα φίλτρα την ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται διεθνώς για τη μέτρηση του θορύβου στο εργασιακό περιβάλλον.

**Σταθμιστικό κύκλωμα B:** Το σταθμιστικό κύκλωμα B φιλτράρει μέτρια τις πολύ χαμηλές συχνότητες με τιμές ηχοστάθμης 55-85dB.

**Σταθμιστικό κύκλωμα C:** Το σταθμιστικό κύκλωμα C δε φιλτράρει σχεδόν καθόλου τις χαμηλές συχνότητες, αντιστοιχώντας σε καμπύλες ακουστότητας των 70 και 100dB περίπου, στο 1KHz με τιμές ηχοστάθμης 85-140dB.

**Σταθμιστικό κύκλωμα D:** Χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως στη μέτρηση του θορύβου από αεροσκάφη.



Εικόνα 2.3: Φασματικές καμπύλες στάθμισης τύπου A, B, C και D.  
[http://www.thefullwiki.org/Weighting\\_filter](http://www.thefullwiki.org/Weighting_filter) (7-8-11)

## 2.6 Συστήματα κατάταξης θορύβου - δείκτες θορύβου

Ένα σύστημα κατάταξης θορύβου θα πρέπει να σχεδιάζεται με βάση τη συχνότητα, να έχει σαφή διαχωρισμό του θορύβου κατά τη διάρκεια της νύχτας και της μέρας και ξεκάθαρη περιγραφή της αθροιστικής έκθεσης στο θόρυβο. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των επιπέδων θορύβου σε σχέση με κάποιες παραμέτρους παρουσιάζονται παρακάτω [1][7]:

**α)  $L_{Aeq}$  (Ισοδύναμη Ηχοστάθμη):** Μετά από προσπάθειες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων που έχει η έκθεση των ανθρώπων σε θόρυβο επαγγελματικής μορφής, προέκυψε η μονάδα Ισοδύναμης Ηχοστάθμης, που έχει σχεδόν διεθνή αναγνώριση. Η μονάδα αυτή στηρίζεται στη σχέση ότι για κάθε αύξηση της στάθμης κατά 3dB, ο χρόνος έκθεσης πρέπει να μειώνεται στο μισό, ώστε η φόρτιση της ακοής να παραμένει ίδια. Η Ισοδύναμη Ηχοστάθμη ( $L_{eq}$ ) υπολογίζεται από τις δόσεις θορύβου που δέχεται ένα άτομο κατά την ώρα εργασίας του, οι οποίες μετρούνται με δοσίμετρα. Το δοσίμετρο είναι όργανο που με τη βοήθεια ηλεκτρονικών κυκλωμάτων υπολογίζει με βάση τα στατιστικά στοιχεία που διαλέγει από τη διακύμανση θορύβου τις δόσεις θορύβου, μια βοηθητική μονάδα για τον υπολογισμό της  $L_{eq}$ .

**β)  $L_n$ :** Πρόκειται για ένα στατικό μέτρο που δηλώνει, πόσο συχνά υπερβαίνεται ένα συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου, π.χ.  $L_{50} = 80dB_A$ , σημαίνει ότι τα 80dB<sub>A</sub>, υπερβαίνονται για το 50% του συνολικού χρόνου μέτρησης. Αντιστοίχως, η  $L_{10}$  εκφράζει τη μέση στάθμη κορυφής των σημείων μέτρησης και χρησιμοποιείται για μετρήσεις κυκλοφοριακού θορύβου, ενώ η  $L_{90}$  εκφράζει τη στάθμη εκείνη κάτω από την οποία ο θόρυβος της περιοχής δε πέφτει ποτέ (ως ένδειξη του θορύβου βάρους).

**γ)  $L_{den}$  (day-evening-night):** Χρησιμοποιείται για γενική όχληση του θορύβου. Αποτελεί πρόταση της Ε.Ε. και ορίζεται μαθηματικά ως εξής:

$$L_{den} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{24} \right) \left( 12 \times 10^{L_{day}/10} + 4 \times 10^{(5+L_{evening})/10} + 8 \times 10^{(10+L_{night})/10} \right) dB_A$$

όπου,

$L_{day}$  είναι το Α-σταθμισμένο ισοδύναμο επίπεδο θορύβου μεταξύ των ωρών 07:00 – 19:00

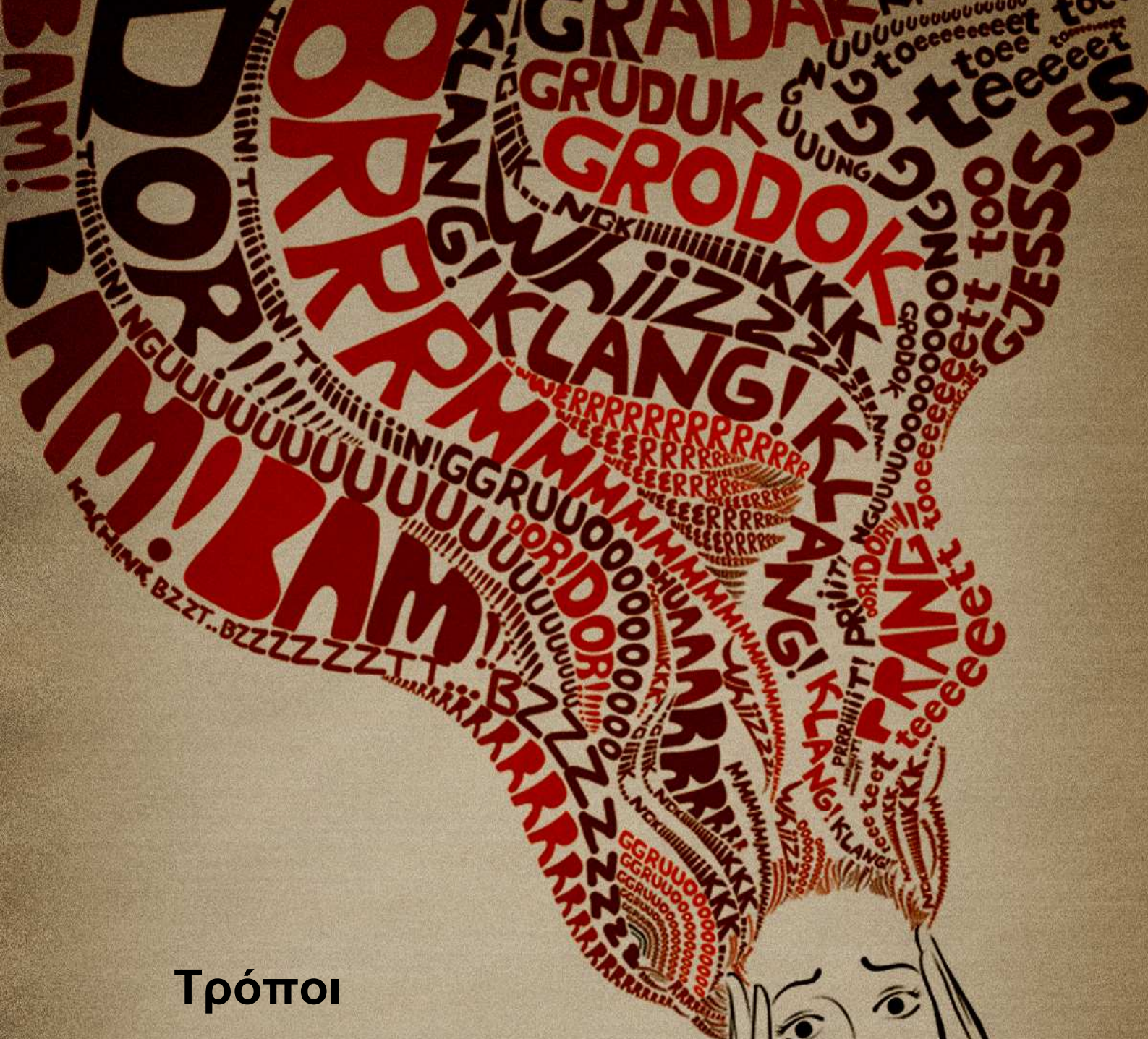
$L_{evening}$  είναι το Α-σταθμισμένο ισοδύναμο επίπεδο θορύβου μεταξύ των ωρών 19:00 – 23:00

$L_{night}$  είναι το Α-σταθμισμένο ισοδύναμο επίπεδο θορύβου μεταξύ των ωρών 23:00 – 07:00 και χρησιμοποιείται για τη διατάραξη του ύπνου.

Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των παραπάνω δεικτών καθορίζονται τα κάτωθι:

- Για τον  $L_{eq}$  τα  $67dB_A$  και
- Για τον  $L_{10}$  τα  $70dB_A$ , μετρούμενο σε απόσταση 2μ. από την πρόσοψη των πλησιέστερων, προς το οδικό έργο, κτιρίων της πολεοδομικής ενότητας.

Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ειδική ακουστική προστασία, όπως σχολεία, νοσοκομεία, χώροι κοινωνικών εκδηλώσεων και συναφή, τα παραπάνω ανώτατα επιτρεπόμενα όρια και οι κατά περίπτωση περιβαλλοντικοί όροι που πρέπει να εγκριθούν σύμφωνα με την ΚΥΑ 69269/5387 ΦΕΚ 678/Β/25-10-90, δύνανται να μειώνονται κατά  $5-10dB_A$ .



Τρόποι  
Αντιμετώπισης  
Ηχορύπανσης



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ 3<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι τρόποι αντιμετώπισης της ηχορύπανσης, σε υπό κατασκευή σχολείο. Επειδή όπως διαπιστώθηκε από τις επιτόπιες επισκέψεις στην περιοχή του οικοπέδου και τις μετρήσεις θορύβου, ότι οι κύριοι θόρυβοι προέρχονται από την αυξημένη οδική κυκλοφορία, το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στην ηχορύπανση από τα οχήματα και στην προστασία του εκπαιδευτικού κτηρίου από αυτήν.

Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στην νομοθεσία την σχετική με τον κυκλοφοριακό θόρυβο από οχήματα με κινητήρα (η περιοχή δεν επηρεάζεται από αεροδρόμια και σιδηροδρόμους), και σε αυτή που αφορά στα όρια της ηχοπροστασίας των κτηρίων

Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στις μεθόδους για να μειωθούν ή να ελεγχθούν τα επίπεδα του κυκλοφοριακού θορύβου, με τα όποια πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα παρουσιάζονται σε κάθε μέθοδο.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να συνεκτιμηθούν οι μέθοδοι αντιμετώπισης της ηχορύπανσης ώστε να προταθεί ο καταλληλότερος συνδυασμός αυτών.

### 3.1 Νομοθεσία σχετικά με τον θόρυβο

Η χώρα μας διέπεται από ένα πλήθος νόμων – διαταγμάτων – κανονιστικών πράξεων, που προέρχονται είτε από την Βουλή των Ελλήνων (και τα αρμόδια υπουργία) (Εθνικό Δίκαιο), είτε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Κοινοτικό Δίκαιο) είτε από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) (Διεθνές Δίκαιο).

Σε ότι αφορά τη μείωση του θορύβου, έχουν θεσμοθετηθεί διάφορες Οδηγίες και Κανονισμοί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από την Ελληνική νομοθεσία.

Έχουν καθορισθεί όρια εκπομπής θορύβου για τα αυτοκίνητα, τις μοτοσυκλέτες, τους γεωργικούς και δασικούς ελκυστήρες, τις οικιακές συσκευές, τα χωματουργικά μηχανήματα, τον κατασκευαστικό εξοπλισμό, τις χλοοκοπτικές μηχανές και τα υποηχητικά αεροπλάνα της πολιτικής αεροπορίας. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην οδική και εναέρια κυκλοφορία η οποία συνιστά σημαντική πηγή ηχορύπανσης καθώς επίσης και στην κατασκευή των κτηρίων ώστε να μην επηρεάζονται από τον θόρυβο.

Ενδεικτικά αναφέρουμε:

#### Όσον αφορά στην Ελληνική Νομοθεσία [8][14]:

- την Κοινή Υπουργική Απόφαση 1220/13/79 σχετικά με τον καθορισμό των επιτρεπόμενων ορίων θορύβου προκαλουμένων από τα αυτοκίνητα, οχήματα, μοτοσυκλετών και μοτοποδηλάτων και του τρόπου μετρήσεων αυτών (ΦΕΚ75/Β/79) όπου εκτός του καθορισμού των ορίων θορύβου αναφέρεται και στον τρόπο και την διαδικασία μέτρησης της στάθμης του θορύβου ενός μηχανοκίνητου οχήματος
- την Υπουργική Απόφαση ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 3046/304/89 σχετικά με τον κτηριοδομικό κανονισμό (ΦΕΚ 59/Δ/3.2.89) όπου υπάρχει ειδικό άρθρο (12) για ηχομόνωση και ηχοπροστασία. Το άρθρο αυτό έχει στόχο το πώς πρέπει να κατασκευάζονται τα κτήρια ώστε να προστατεύονται οι ένοικοι από κάθε μορφής θορύβους μέσα στα όρια της κατοικίας, του τόπου εργασίας και διαμονής τους, όταν οι θόρυβοι προέρχονται από άλλους. Δηλαδή να εξασφαλίζεται αποδεκτή ακουστική άνεση, λαμβάνοντας τα απαραίτητα μέτρα κτηριακής ηχομόνωσης και ηχοπροστασίας. Στον κανονισμό αυτό υπάρχουν πίνακες με τις παραμέτρους ακουστικής άνεσης και τα κριτήρια ηχομόνωσης- ηχοπροστασίας της κατηγορίας Α «υψηλή ακουστική άνεση» και Β «κανονική ακουστική άνεση»



- την Κοινή Υπουργική Απόφαση 69269/5387/90 σχετικά με την κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, το περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), τον καθορισμό περιεχομένου Ειδικών Περιβαλλοντικών Μελετών και λοιπές συναφείς διατάξεις, σύμφωνα με το Νόμο 1650/86 (ΦΕΚ 678/Β΄/25.10.90), όπου απαιτείται να γίνεται σαφής αναφορά στην ΜΠΕ για τον θόρυβο τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής όσο και της λειτουργίας, ενός έργου ή μιας δραστηριότητας (αναμενόμενα επίπεδα θορύβου, χαρακτηριστικά αυτού, προβλεπόμενα μέτρα ελέγχου)
- την Υπουργική Απόφαση ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 17252/92 σχετικά με τον καθορισμό δεικτών και ανωτάτων ορίων θορύβου που προέρχεται από την κυκλοφορία σε οδικά και συγκοινωνιακά έργα (ΦΕΚ 395/Β΄/19.6.92), όπου ορίζονται οι δείκτες κυκλοφοριακού θορύβου όλων των νέων αυτοκινητοδρόμων και καθορίζονται τα όρια τους
- την Κοινή Υπουργική Απόφαση 28340/2440/92 (ΦΕΚ 532/ Β΄/92) για τον περιορισμό της ηχορύπανσης από τις μοτοσυκλέτες
- την Κοινή Υπουργική Απόφαση 25006/2234/1993 (ΦΕΚ 523/Β΄/93) για την αποδεκτή ηχοστάθμη και τις διατάξεις εξάτμισης των οχημάτων με κινητήρα σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 92/97/ΕΟΚ.

Όσον αφορά στην Κοινοτική Νομοθεσία [Δ7]:

- την οδηγία 70/157 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου και το σύστημα εξάτμισης για τα οχήματα με κινητήρα
- τις οδηγίες 89/235 και 92/97 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών των αναφερομένων στο αποδεκτό ηχητικό επίπεδο και την διάταξη εξάτμισης των μοτοσυκλετών
- την οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου σχετικά με την αξιολόγηση και την διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου. Η οδηγία αυτή αποβλέπει στον καθορισμό μιας κοινής προσέγγισης για την αποφυγή, πρόληψη, ή περιορισμό βάσει ιεράρχησης προτεραιοτήτων, των δυσμενών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της ενόχλησης, από έκθεση στον περιβάλλοντα θόρυβο. Στην οδηγία αυτή δίνονται οι ορισμοί όπως : «Περιβάλλον θόρυβος» «Επιβλαβείς επιδράσεις» «Δείκτες θορύβου» «Χαρτογράφηση θορύβου» κλπ, καθώς επίσης τύπους για τους δείκτες θορύβου και μέθοδοι αξιολόγησης τους.

## **3.2 Θόρυβος σε ανοιχτούς χώρους**

Ως περιβάλλον θόρυβος ορίζεται κάθε ανεπιθύμητος ή επιβλαβής θόρυβος στο ύπαιθρο που δημιουργείται από ανθρώπινες δραστηριότητες συμπεριλαμβανομένων των θορύβων που εκπέμπονται από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές και από χώρους βιομηχανικής δραστηριότητας. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να έχει αρνητικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία [9].

Η ηχορύπανση λόγω περιβαλλοντικού θορύβου αποτελεί ένα σοβαρό θέμα σε κατοικημένες και εμπορικές περιοχές και σε εργοστασιακά περιβάλλοντα.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι για να μειωθούν ή να ελεγχθούν τα επίπεδα του θορύβου:

- Στην πηγή: μείωση του εκπεμπόμενου από αυτήν θορύβου
- Κατά τη διαδρομή πηγής – δέκτη: απορρόφηση ή παρέκκλιση του ήχου από την πορεία του
- Στον δέκτη: προστασία του από τον θόρυβο.

## **3.3 Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου στη πηγή**

### **3.3.1 Έλεγχος οχημάτων**

Πέραν όλων των σύγχρονων τεχνολογιών (εικόνα 3.1) και οδηγιών, ο κινητήρας, η εξάτμιση, το σύστημα τροχοπέδησης, καθώς και τα ελαστικά ενός οχήματος μπορεί να αποτελούν πηγές θορύβου, κυρίως όταν δεν γίνεται καλή συντήρησή τους. Για τον λόγο αυτόν θα πρέπει να καθιερωθεί η κάρτα ήχου για κάθε όχημα, όπως η κάρτα καυσαερίων.



Εικόνα 3.1: Μέτρηση του εκπεμπόμενου θορύβου ενός οχήματος σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο.

<http://www.caroto.gr/2009/02/11/the-art-of-noise/> (9-8-11)

### 3.3.1.1 Τα οχήματα με κινητήρα

Τα επιτρεπόμενα ανώτατα όρια της στάθμης του θορύβου έχουν καθοριστεί με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 25006/2234/1993 (ΦΕΚ 523/Β'/'93) και είναι σύμφωνα με τον πίνακα 3.1 [8][Δ29]:

Κατηγορίες οχημάτων		Τιμές σε dB (A)
5.2.2.1.1.	Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων και περιέχοντα μέχρι εννέα θέσεις καθημένων, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης του οδηγού	74
5.2.2.1.2.	Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων και εφοδιασμένα με άνω των εννέα θέσεις καθημένων, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης του οδηγού, μέγιστης επιτρεπτής μάζας άνω των 3,5 τόνων και:	
5.2.2.1.2.1.	- με κινητήρα ισχύος κάτω των 150 kW	78
5.2.2.1.2.2.	- με κινητήρα ισχύος τουλάχιστον 150 kW	80
5.2.2.1.3.	Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά προσώπων και εφοδιασμένα με άνω των εννέα θέσεων καθημένων, συμπεριλαμβανομένης και εκείνης του οδηγού οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά εμπορευμάτων:	

5.2.2.1. 3.1.	- μέγιστης επιτρεπόμενης μάζας το πολύ 2 τόνων	76
5.2.2.1. 3.2.	- μέγιστης επιτρεπόμενης μάζας άνω των 2 τόνων και μέχρι 3,5 τόνους	77
5.2.2.1. 4.	Οχήματα προοριζόμενα για τη μεταφορά εμπορευμάτων, μέγιστης επιτρεπόμενης μάζας άνω των 3,5 τόνων:	
5.2.2.1. 4.1.	- με κινητήρα ισχύος κάτω των 75 kW	77
5.2.2.1. 4.2.	- με κινητήρα ισχύος τουλάχιστον 75 kW, αλλά κάτω των 150 kW	78
5.2.2.1. 4.3.	- με κινητήρα ισχύος τουλάχιστον 150kW	80

*Πίνακας 3.1: επιτρεπόμενα ανώτατα όρια της στάθμης του θορύβου των οχημάτων με κινητήρα (το kW, μονάδα μέτρησης της ισχύος, αντιστοιχεί σε 1.340 HP).*

Ωστόσο:

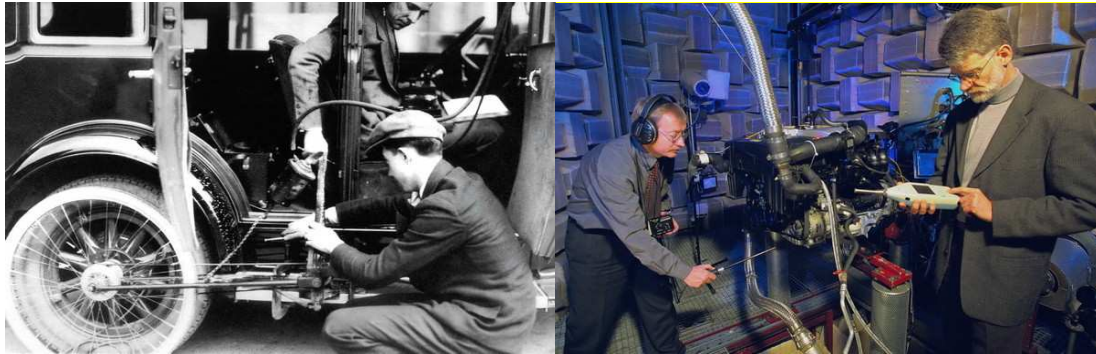
- για τα οχήματα των κατηγοριών των σημείων 5.2.2.1.1. και 5.2.2.1.3, οι οριακές τιμές αυξάνονται κατά 1 dB (A) εφόσον τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με πετρελαιοκινητήρα απευθείας έγχυσης
- για τα οχήματα μέγιστης επιτρεπτής μάζας άνω των 2 τόνων που έχουν σχεδιαστεί για χρήση εκτός των οδών, οι οριακές τιμές αυξάνονται κατά 1 dB (A) εφόσον ο κινητήρας τους έχει ισχύ κάτω των 150 kW και 2 dB(A) αν έχει ισχύ ίση ή άνω των 150 kW
- για τα οχήματα της κατηγορίας 5.2.2.1.1 που είναι εφοδιασμένα με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων άνω των τεσσάρων σχέσεων μετάδοσης για την πρόσω και με κινητήρα που αποδίδει μέγιστη ισχύ άνω των 140 kW και όπου ο επιτρεπόμενος σε αυτά λόγος μέγιστης ισχύος προς μέγιστη μάζα υπερβαίνει τα 75kW ανά τόνο, οι οριακές τιμές αυξάνονται κατά 1 dB(A).

### 3.3.1.2 Δίτροχα οχήματα με κινητήρα

Όσον αφορά στις μοτοσυκλέτες (δίτροχα οχήματα) τα επιτρεπόμενα ανώτατα όρια της στάθμης του θορύβου έχουν καθοριστεί με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 28340/2440/92 (ΦΕΚ 532/Β'/92) και είναι σύμφωνα με τον πίνακα 3.2 [8][Δ29]:

Κατηγορίες μοτοσυκλετών ανάλογα με τον κυβισμό (σε cm <sup>3</sup> )	Οριακές τιμές του ηχητικού επιπέδου σε db(A) και ημερομηνίες ενάρξεως ισχύος για την έγκριση από εθνικής πλευράς ενός τύπου μοτοσυκλέτας			
	Πρώτη φάση [όρια σε db(A)]	Ημερομηνίες ενάρξεως ισχύος για την έγκριση από εθνικής πλευράς	Δεύτερη φάση [όρια σε db(A)]	Ημερομηνίες ενάρξεως ισχύος για την έγκριση από εθνικής πλευράς
1. ≤ 80	77	1 Οκτωβρίου 1988	75	1 Οκτωβρίου 1993
2. > 80 ≤ 175	79	1 Οκτωβρίου 1989	77	31 Δεκεμβρίου 1994
3. > 175	82	1 Οκτωβρίου 1988	80	1 Οκτωβρίου 1993

Πίνακας 3.2: επιτρεπόμενα ανώτατα όρια της στάθμης του θορύβου των δίτροχων οχημάτων με κινητήρα.



Εικόνα 3.2: Μέτρηση ήχου κινητήρα στις αρχές του προηγούμενου αιώνα.

Εικόνα 3.3: Σύγχρονη μέτρηση ήχου κινητήρα.

<http://www.caroto.gr/2009/02/11/the-art-of-noise/> (9-8-11)

### 3.3.2 Τοποθέτηση κατάλληλου ασφαλοτάπητα [13][Δ9]

Η χρήση ειδικού ασφαλοτάπητα μπορεί να λειτουργήσει ως ηχοαπορροφητικό μέσο απορροφώντας μέρος του θορύβου που παράγουν τα αυτοκίνητα. Η χρήση αντιθορυβικού ασφαλοτάπητα είναι υποχρεωτική σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες για τα τμήματα εκείνα των αυτοκινητοδρόμων που διασχίζουν οικισμούς και πόλεις. Σύμφωνα με το εργαστήριο οδοποιίας του τμήματος πολιτικών μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου πολυτεχνείου υπολογίζεται ότι κατά το διπλασιασμό της ταχύτητας ενός οχήματος η αύξηση της στάθμης του παραγόμενου από το οδόστρωμα θορύβου είναι περίπου 12 dB.

Σήμερα η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την δημιουργία ηχοαπορροφητικής επιφάνειας και μείωσης του θορύβου κύλισης των οχημάτων, είναι αυτή της ελεγχόμενης δημιουργίας πορώδους επιφάνειας στα ήδη υπάρχοντα αλλά λειασμένα από τη συχνή κυκλοφορία οδοστρώματα.

Στην πορώδη επιφάνεια του οδοστρώματος:

- Αυξάνεται η πρόσφυση των οχημάτων

- Μειώνεται το μήκος φρεναρίσματος
- Βελτιώνεται η αποστράγγιση του οδοστρώματος και
- Μειώνεται ο κυκλοφοριακός θόρυβος

Το αναμενόμενο όφελος ηχομείωσης του ασφατοτάπητα είναι από 3 έως 15 dB(A) (αναλόγως της κατάστασης του τάπητα και των κυκλοφοριακών συνθηκών).

Η τεχνική αυτή είναι απλή, γρήγορη και σχετικά οικονομική, ενώ μεγάλα πλεονεκτήματα της είναι ότι δεν χρειάζεται να κλείσει ο δρόμος για την εφαρμογή της και δεν δημιουργούνται σκόνης, μυρωδιά ή θόρυβος και είναι περιβαλλοντικά «καθαρή μέθοδος» (εικόνες 3.4, 3.5, 3.6).



Εικόνα 3.4: Δημιουργία αντιολισθητικού τάπητα.



Εικόνα 3.5: Κοντινή όψη της διαδικασίας μικροεκτράχυνσης.



Εικόνα 3.6: Δημιουργία αντιολισθητικού τάπητα.



Εικόνα 3.7: Σχεδιάγραμμα της λειτουργίας του μηχανήματος.

<http://www.noise-control.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82.htm> (9-8-11)

<http://www.noise-control.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82.htm> (9-8-11)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες θεωρείται απαραίτητη σε όλες τις διασταυρώσεις, τις διαβάσεις πεζών, μπροστά από σχολεία, παιδικούς σταθμούς, εκκλησίες και νοσοκομεία για τη μείωση της απόστασης φρεναρίσματος και του κυκλοφοριακού θορύβου.

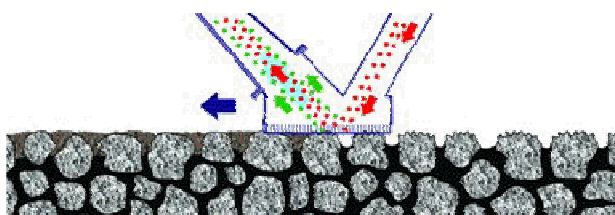
### 3.3.2.1 Πως λειτουργεί το ηχομονωτικό οδόστρωμα [13][Δ9]

Η δημιουργία μικροπορώδους και μακροπορώδους οδοστρώματος καθίστα την επιφάνεια του δρόμου ηχοαπορροφητική και μειώνει το θόρυβο από την κύλιση των τροχών. Σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας η μείωση μπορεί να είναι έως 15 dB(A).

Το πλεονέκτημα τις μεθόδου αυτής είναι ότι προσφέρει ηχομείωση ακόμη και στους κατοίκους υψηλών ορόφων ενώ έχουν και άλλα οφέλη όπως της ασφάλειας των οδηγών λόγο αυξημένης πρόσφυσης. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι χρειάζεται να επαναλαμβάνεται η διαδικασία της δημιουργίας του μικροπορώδους και μακροπορώδους στο οδόστρωμα όταν σκόνη ή λάσπες το καλύψουν.

### 3.3.2.2 Αρχή λειτουργίας [13][Δ9]

Η δημιουργία της πορώδους επιφάνειας γίνεται με μηχανικό τρόπο, δηλαδή με την ελεγχόμενη φυγοκέντριση μικρών χαλύβδινων βολίδων υψηλής σκληρότητας από ειδικό μηχάνημα σε πολύ υψηλούς ρυθμούς περιστροφής επί της επιφάνειας του δρόμου. Με αυτό τον τρόπο αφαιρούνται όλες οι βρωμιές που έχουν φράξει τους πόρους τις ασφάλτου και παράλληλα γίνεται μικροαγρίεμα των αδρανών (χαλίκι) του ασφαλτομίγματος. Η σκόνη αναρροφάται και συλλέγεται από ειδική διάταξη αυτοκαθαριζόμενων σακκόφιλτρων και δε διαφεύγει στο περιβάλλον (εικόνες 3.7, 3.8).



Εικόνα 3.8: Απεικόνιση της διαδικασίας δημιουργίας πορώδους επιφάνειας στο οδόστρωμα.

<http://www.noise-control.gr/%CE%9F%CE%B4%CE%BF%CF%83%CF%84%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1.htm> (9-8-11)

### 3.3.3 Παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στο θόρυβο κυκλοφορίας [10]

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στον κυκλοφοριακό θόρυβο είναι:

- Το κυκλοφοριακό φορτίο ( $q$ )

Γίνεται γενικά αποδεκτό στα περισσότερα μοντέλα ότι για ένα ευρύ φάσμα των κυκλοφοριακών ροών η ισοδύναμη στάθμη  $L_{eq}$  είναι λογαριθμική συνάρτηση του κυκλοφοριακού φορτίου ( $q$ ):

$$L_{eq} = C \log q$$

όπου το  $q$  είναι το κυκλοφοριακό φορτίο σε οχήματα ανά ώρα και  $C$  είναι μια σταθερά. Κατά τον Delany<sup>1</sup> το  $C$  ποικίλλει μεταξύ 7,5 και 11,5, για τους διαφορετικούς τύπους ροών, των αστικών όρων και των κλίσεων. Όμως γενικά μια τιμή  $C = 10$  γίνεται αποδεκτή από τους περισσότερους ερευνητές.

- Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων ( $p$ )

Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων έχει μια σημαντική επίδραση στην παραγόμενη στάθμη θορύβου. Πειραματικά στοιχεία του Lewis<sup>1</sup> έδειξαν ότι τα βαρέα οχήματα (μεγαλύτερα από 1500 kg) παράγουν στάθμη θορύβου 5-10 dB μεγαλύτερη από τα ελαφρά. Για το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και της στάθμης θορύβου, μια γενική έκφραση που χρησιμοποιείται σε μερικά μοντέλα είναι:

$$L_{10} = 10 \log \left( 1 + \frac{5p}{v} \right)$$

όπου  $p$  είναι το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και  $v$  είναι η ταχύτητα. Η κατηγορία ελαφρών οχημάτων περιλαμβάνει μικρά αυτοκίνητα και η κατηγορία βαρέων οχημάτων περιλαμβάνει μεγάλα αυτοκίνητα ή θορυβώδη οχήματα πχ λεωφορεία, βαριά φορτηγά κ.λπ.

---

<sup>1</sup> M. E. Delany, P. T. Lewis, G. S. Anderson (αμερικανοί ερευνητές σχετικά με τον κυκλοφοριακό θόρυβο)



- Η μέση ταχύτητα οχημάτων (v)

Κατά τον Anderson<sup>1</sup> η μείωση της στάθμης του θορύβου που προκαλείται από τη μείωση κατά 10 Km/h της ταχύτητας είναι μεταξύ 2,1 και 3,7 dB για τα ελαφρά οχήματα και 1,7 έως 2,7 dB για τα βαρέα οχήματα.

Γενικά γίνεται αποδεκτό ότι η παραγωγή θορύβου είναι λογαριθμική συνάρτηση της ταχύτητας. Η σχέση μεταξύ της μέγιστης στάθμης του θορύβου και της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

$$L = a + b \log v$$

όπου το a και το b είναι οι σταθερές, το b έχει κατά προσέγγιση τιμή 35 και για τα ελαφρά και για τα βαρέα οχήματα.

- Η κλίση (g)

Στους δρόμους με κλίση ο οδηγός πρέπει να επιταχύνει ή να χρησιμοποιήσει τα φρένα συχνότερα απ' ό,τι στους ευθείς δρόμους. Οι μετρήσεις Delany βρήκαν μια αύξηση του θορύβου κατά 0,38 dB (A) ανά 1°.

Ένας γενικά αποδεκτός τύπος για την επίδραση της κλίσης στο θόρυβο που χρησιμοποιείται στο μοντέλο CRTN (Βρετανική μέθοδος ενός υπολογιστικού κώδικα προσομοίωσης του κυκλοφοριακού θορύβου – Calculation of Road Traffic Noise) είναι:

$$L = a \cdot g$$

όπου το g είναι η κλίση σε μοίρες και α μια σταθερά με τιμές a=3 για την κίνηση οχημάτων προς τα πάνω και a=2 για τα οχήματα που κινούνται προς τα κάτω.

### **3.4 Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου κατά τη διαδρομή πηγής – δέκτη**

#### **3.4.1 Ηχοπετάσματα [9]**

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 φώς). 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 εξασθένηση 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.

### **3.4.1.1 Είδη ηχοπετασμάτων ως προς τον τρόπο λειτουργίας** [11]

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.

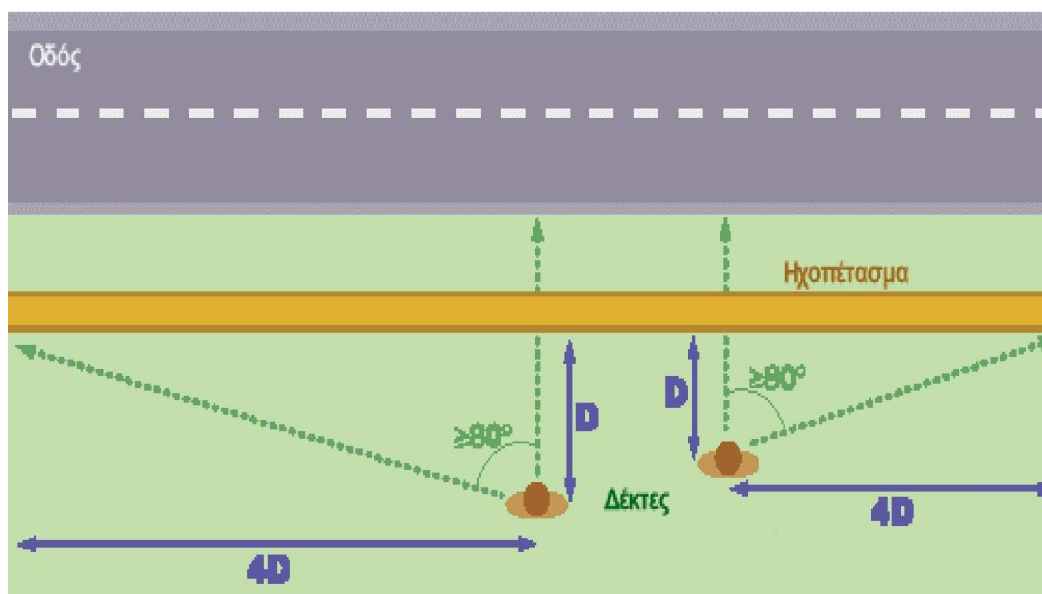
**Ηχοπετάσματα διασποράς ήχου:** Διατάξεις οι οποίες μέσω της γωνιώδους μορφής τους διασπείρουν τον ήχο σε διάφορες κατευθύνσεις. Πιο συνήθη ηχοπετάσματα αυτού του τύπου είναι τα κεκλιμένα προς τα έξω, τα οποία στέλνουν τον ήχο προς τα πάνω.

**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.

### 3.4.1.2 Αποτελεσματικότητα ηχοπετασμάτων - Μορφές και διαστάσεις [11]

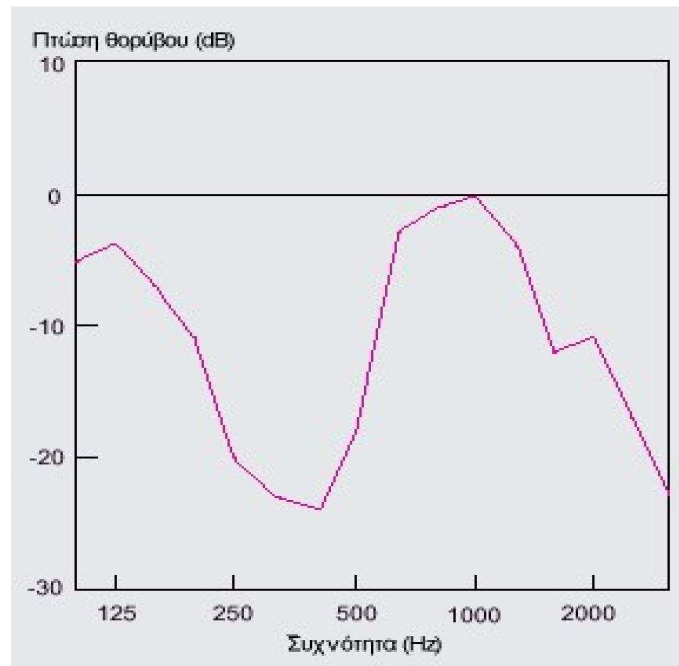
Σαν πρώτη αρχή, για να είναι αποτελεσματικό ένα ηχοπέτασμα θα πρέπει να είναι επαρκώς ψηλό και να έχει επαρκές μήκος, ώστε να αποτρέπει την απευθείας μετάδοση των ηχητικών κυμάτων από την οδό στην προστατευόμενη περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι ένα ηχοπέτασμα θα πρέπει να εκτείνεται σε όλο το μήκος της εν 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) (εικόνα 3.9) [Δ23].



Εικόνα 3.9: Ελάχιστο μήκος ηχοπετάσματος εκατέρωθεν της προστατευόμενης περιοχής.  
<http://www.tsanak.gr/documents/civil/noisebarriers.pdf> (9-8-11)

Τυπικό ύψος ενός ηχοπετάσματος είναι τα 2m.

Στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 3.10) δίνεται η επιτυγχανόμενη μείωση του θορύβου από ένα απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα του εν λόγω ύψους, η οποία εξαρτάται και από τη συχνότητα του ήχου.



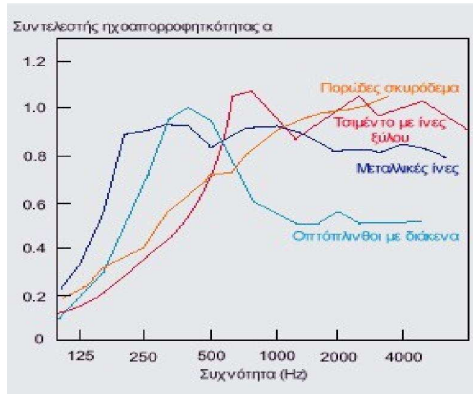
Εικόνα 3.10: Μείωση θορύβου από απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα ύψους 2m.

<http://www.tsanak.gr/documents/civil/noisebarriers.pdf> (9-8-11)

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.

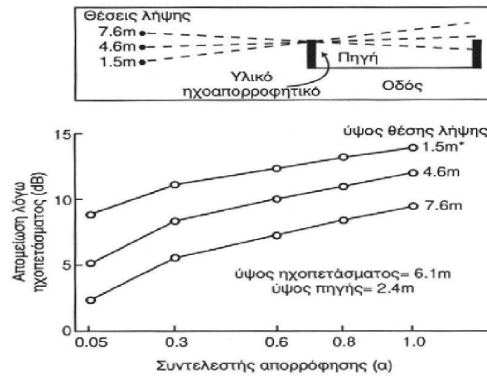
Ένα βήμα προς τη βελτίωση της απόδοσης των ηχοπετασμάτων πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή των απορροφητικών διατάξεων. Οι διατάξεις αυτές ενδείκνυνται σε περιπτώσεις όπου τοποθετούνται ηχοπετάσματα σε κάθε πλευρά της οδού, οπότε παρατηρείται το φαινόμενο της αύξησης του θορύβου μέσα στην οδό, λόγω διαδοχικών 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 ομάδα συχνοτήτων (εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Συντελεστής απορροφητικότητας α για διάφορα υλικά ηχοπετάσμάτων.

<http://www.tsanak.gr/documents/civil/noisebarriers.pdf> (9-8-11)

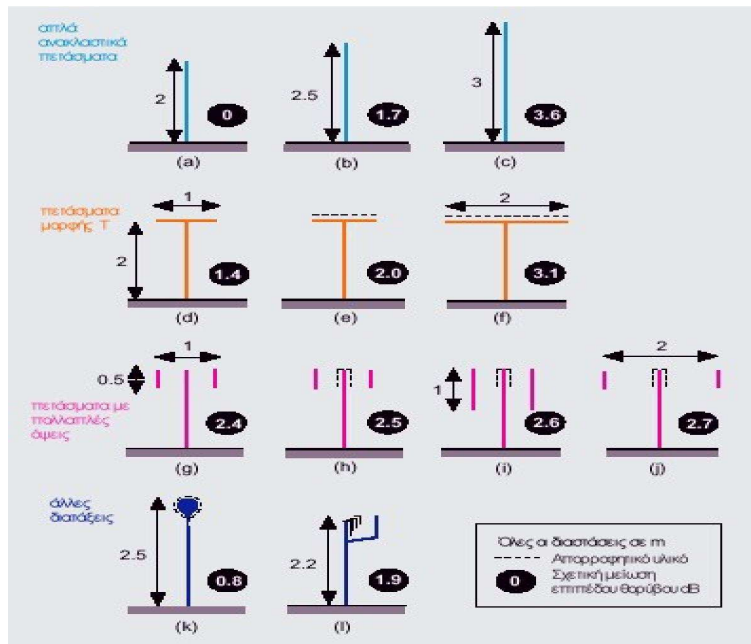


Εικόνα 3.12: Ηχοεξασθένιση απορροφητικών ηχοπετάσμάτων.

Παραπάνω (εικόνα 3.12) 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 ηχοπετάσμάτων, 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  $10^\circ$  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 ηχοπετάσμάτων 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. Παρακάτω (εικόνα 3.13) 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.



Εικόνα 3.13: Επιτυγχονόμενη επιπλέον απομείωση θορύβου από ηχοπετάσματα διαφόρων μορφών, σε σχέση με απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα ύψους 2m.  
<http://www.tsanak.gr/documents/civil/noisebarriers.pdf> (9-8-11)

### 3.4.1.3 Γενικές αρχές τοποθέτησης ηχοπετασμάτων [11]

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.

### 3.4.1.4 Η στατική των ηχοπετασμάτων - Φέρων οργανισμός και θεμελίωση [11]

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 κοχλίωση 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.

### 3.4.1.5 Η αρχιτεκτονική και αισθητική διάσταση - Υλικά κατασκευής [11]

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.

Παρακάτω (εικόνες 3.14, 3.15) δίνονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις όπου έλαβε χώρα προσπάθεια για αισθητική βελτίωση των ηχοπετασμάτων.



Εικόνα 1.14: Ηχοπέτασμα δίπλα από παιδότοπο.



Εικόνα 1.15: Διαφανές ηχοπέτασμα με ξύλινα στοιχεία, για περιορισμό της αλλοίωσης της άποψης του περιβάλλοντος.

<http://www.tsanak.gr/documents/civil/noisebarriers.pdf> (9-8-11)

### 3.4.1.6 Φαινόμενο περίθλασης στα άκρα εμποδίου [9]

Η περίθλαση είναι ένα φυσικό φαινόμενο που προέρχεται από την κυματική φύση του ήχου, και συγκεκριμένα είναι εκείνη η ιδιότητα των κυμάτων να παρακάμπτουν ένα εμπόδιο όταν αυτό είναι μικρό σε σχέση με το μήκος κύματος του. Συγκεκριμένα όταν ένα κύμα (ήχος η φως) προσπίπτει σε ένα αντικείμενο η μια οπή, τότε τα άκρα αυτών λειτουργούν ως δευτερογενείς πηγές μετώπων κύματος (αρχή του Huygens), με αποτέλεσμα το κύμα να παρεκκλίνει της πορείας του και να διαδίδεται σε σημεία που βρίσκονται πίσω από τα εμπόδια, δηλαδή σε σημεία που θα περίμενε κάποιος να βρίσκονται στη γεωμετρική σκιά του εμποδίου. Το ποσό του κύματος που περιθλάται εξαρτάται από το μήκος κύματος και τη γεωμετρία του εμποδίου. Το τελικό ηχητικό πεδίο της πίεσης δημιουργείται από την συμβολή του απευθείας ήχου και των περιθλώμενων.

Προϋπόθεση για τα παραπάνω είναι:

- Το μήκος κύματος να είναι συγκρίσιμο σε μέγεθος με το εμπόδιο / οπή.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε πως το γεγονός ότι μπορούμε να ακούμε ήχους ακόμα και πίσω από τη γωνία ενός τοίχου ή άλλα εμπόδια σχετίζεται με την περίθλαση (και με την ανάκλαση).

Το γεγονός ότι η περίθλαση είναι πιο έντονη στα μεγάλα μήκη κύματος σημαίνει ότι μπορούμε να ακούμε χαμηλές συχνότητες πίσω από εμπόδια καλύτερα από τις υψηλότερες.

Στην περίπτωση ενός ανοιχτού χώρου θεωρούμε ότι ο ήχος κινείται σε ακτίνες. Όταν όμως βρει στη διαδρομή του ένα εμπόδιο, όπως είναι το

ηχοπέτασμα, τότε περιθλάται στα άκρα του, με αποτέλεσμα να αλλάζει πορεία και ένα μέρος του να μεταφέρεται πίσω από αυτό.

### 3.4.1.7 Απόδοση ηχοφράγματος – ηχομείωση [1][9]

Η σχεδίαση ενός πετάσματος γίνεται με γνώμονα την επιθυμητή ηχομείωση, IL (insertion loss), από απλό φράγμα, δηλαδή τη διάφορα:

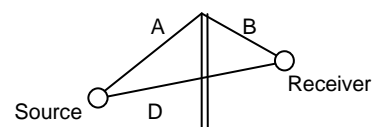
$$IL = SPL_{\text{με πέτασμα}} - SPL_{\text{χωρίς πέτασμα}} = 10 \log \frac{P_{\text{με πέτασμα}}^2}{P_{\text{χωρίς πέτασμα}}^2}$$

για κάποια θέση στην περιοχή πίσω από το πέτασμα.

Με τη μαθηματική επίλυση του προβλήματος της περίθλασης στα άκρα ενός ηχοφράγματος σε ελεύθερο πεδίο ασχολήθηκαν εκτενώς οι Maekawa, Pierce, Anderson, Kurze και άλλοι. Για τον υπολογισμό της ηχομείωσης έχουν χρησιμοποιηθεί οι αρχές της γεωμετρικής οπτικής (θεωρία Kirchhoff – Fresnel), λαμβάνοντας υπόψη και την ανάκλαση από το έδαφος. Έτσι έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση της.

Ένας σημαντικός παράγοντας στην περίθλαση είναι η διαφορά δρόμων πηγής – δέκτη, μεταξύ της περιθλώμενης διαδρομής που περνάει από την κορυφή του πετάσματος και της απευθείας που θα ακλουθούσε ο ήχος αν δεν υπήρχε το πέτασμα. Αυτή η διαφορά δρόμων συγκρινόμενη με το μισό μήκος κύματος του ήχου μας δίνει ένα αδιάστατο μέγεθος, που ονομάζουμε ‘αριθμό Fresnel’, N:

$$N = \pm \frac{\Delta L}{\lambda / 2} = \pm \frac{2(A + B - D)}{\lambda}$$



όπου A απόσταση πηγής – άνω άκρου πετάσματος,

B απόσταση άνω άκρου πετάσματος – δέκτη και

D απευθείας απόσταση πηγής – δέκτη.

Το N αποτελεί μέτρο του πόσο χαμηλότερα από την ορατή ευθύγραμμη πορεία του ήχου βρίσκεται ο δέκτης ή αλλιώς δείχνει αν ο δέκτης βρίσκεται μέσα στην ηχητική σκιά ή όχι.

Ο αριθμός Fresnel εξαρτάται από την γεωμετρία του συστήματος πηγή – φράγμα – δέκτης και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ηχομείωση του φράγματος. Σύμφωνα με τον Kurze, η σχέση που τα συνδέει είναι:

$$IL=10\log\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh\sqrt{2\pi N}}+5\text{dB}, \text{ για } N \geq -0.2 \text{ (δηλαδή όταν ο δέκτης βρίσκεται εντός ηχητικής σκιάς)}$$

$$IL=0, \text{ για } N < -0.2 \text{ (δηλαδή όταν ο δέκτης βρίσκεται εκτός ηχητικής σκιάς)}$$

, με τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Μήκος πετάσματος άπειρο (δεν υπάρχει περίθλαση στα αριστερά – δεξιά άκρα του)
- Ύψος πετάσματος > 2 x ύψος πηγής
- Πέτασμα απολύτως ανακλαστικό (καθόλου διάδοση μέσα από αυτό)
- Πηγή σημειακή

### 3.4.1.8 Διαφορά δρόμων (απευθείας χωρίς πέτασμα – περιθλώμενου με πέτασμα) [9]

Η διαφορά δρόμων μεταβάλλεται ανάλογα με τη σχέση των A και B ως προς την απευθείας απόσταση D. Αυτά με τη σειρά τους εξαρτώνται από τη διαδρομή που θα ακολουθήσει η ακτίνα μετά από την περίθλαση στα άκρα του πετάσματος, από τις διαστάσεις του πετάσματος και από την απευθείας απόσταση D πηγής – δέκτη. Αύξηση στη διαφορά δρόμων προκαλεί αύξηση του αριθμού Fresnel και κατά συνέπεια αύξηση της ηχομείωσης.

Τα ηχοπετάσματα ενώ προτιμώνται και είναι αποτελεσματικά στις εθνικές οδούς, αποφεύγεται η χρήση τους στους δρόμους των πόλεων λόγω της αντήχησης που δημιουργούν και της όχλησης στους πεζούς αφενός και το ότι δεν μπορούν να προστατέψουν τους ενοίκους υψηλών κτιρίων πέραν του 2<sup>ου</sup> ορόφου από το θόρυβο.

### 3.4.2 Φυτικά ηχοπετάσματα [Δ12]

Τα φυτικά ηχοπετάσματα, η φύτευση δηλαδή δέντρων και θάμνων κοντά στην πηγή του θορύβου, είναι ένας από τους πιο οικολογικούς τρόπους ηχομόνωσης που υπάρχουν. Σύμφωνα με πανεπιστημιακές έρευνες, η

βλάστηση κοντά σε πολυσύχναστους δρόμους μπορεί να μειώσει την ένταση του θορύβου από τα αυτοκίνητα έως και 10 ντεσιμπέλ.

Οι βασικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες λειτουργούν τα φυτά ως ηχοπετάσματα είναι:

- Οι ήχοι απορροφώνται από τα φύλλα, τους μίσχους και τα κλαδιά των φυτών.
- Πιο αποτελεσματικά είναι τα δέντρα και οι θάμνοι με σαρκώδη φύλλα και μίσχους.
- Όσο πιο κοντά στην πηγή του θορύβου βρίσκεται ο φράχτης, τόσο καλύτερη ηχομόνωση επιτυγχάνεται.
- Όσο πιο ψηλός και πυκνός είναι ο φράχτης τόσο περισσότερο θόρυβο απορροφά ή αντανακλά.
- Προτιμώνται αειθαλή φυτά που δεν ρίχνουν τα φύλλα τους τον χειμώνα, συνεπώς λειτουργούν «ηχομονωτικά» καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.
- Ένας φράχτης για να είναι αποτελεσματικός πρέπει να περιλαμβάνει φυτά με πλούσιο φύλλωμα ή πολλά είδη θάμνων σε διαφορετικά μεγέθη και σχήματα.
- Και φυσικά η βλάστηση δεν καταπολεμά μόνο τον θόρυβο. Καθαρίζει την ατμόσφαιρα, προστατεύει από τον άνεμο, δροσίζει, περιορίζει την ανάγκη για κλιματιστικά, προσφέρει καταφύγιο σε πουλιά και μορφαίνει το περιβάλλον.

### 3.4.2.1 Προτεινόμενες διεθνώς δενδροφυτεύσεις [13][14][24]

Το κυπαρίσσι Λέυλαντ (*Cupressocyparis Leylandii*) (εικόνα 3.16) είναι το δημοφιλέστερο δέντρο προστασίας από το κυκλοφοριακό θόρυβο γιατί μεγαλώνει σχετικά γρήγορα (περίπου 1μ το έτος). Μπορεί να φτάσει μέχρι και 30μ ύψος. Αυτό το είδος με το πυραμιδοειδές σχήμα παραμένει πράσινο όλο το χρόνο, είναι ανθεκτικό στην ξηρασία και ευδοκιμεί σε όλα τα εδάφη.

Η Τούγια (*Thuja*) (εικόνα 3.17) είναι γένος αποτελούμενο από 5 είδη αειθαλών κωνοφόρων φυτών με λεπιοειδή, σταυρωτά και αντίθετα, ελαφρά αρωματικά φύλλα. Οι καρποί της είναι μικροί σφαιρικοί κώνοι. Προέρχεται από τη Βόρειο Αμερική και την Ανατολική Ασία. Το πιο κοινό είδος είναι η *Thuja Orientalis*.

Αναπτύσσεται σε βαθιά, γόνιμα, στραγγιζόμενα, μέτρια υγρά εδάφη και ηλιόλουστες θέσεις, προστατευμένες από τους δυνατούς παγετούς.

Η Thuja Plicata "Atravirens" είναι κωνικό ψηλό φυτό με πράσινο φύλλωμα και μια από τις κυριότερες επιλογές για την κατασκευή φυτοφραχτών σε περιοχές με ψυχρό κλίμα.

Η Μανόλια (Magnolia Grandiflora) είναι μια άλλη αειθαλής ποικιλία που προτιμάται διότι τα κλαδιά τις αναπτύσσονται σχεδόν από τη βάση του κορμού της.

Ο Βραχυχίτωνας (Brachychiton Populneum) και η Πικροδάφνη (Nerium Oleander) κάποιο είδος κυπαρισσιού και πεύκου, είναι κατάλληλα φυτά. Επειδή, όμως, μεγαλώνουν πολύ, χρειάζονται χώρο.

Άλλες συνιστώμενες ποικιλίες είναι το Δαφνοκέρασο (Prunus Laurocerasus) που είναι θάμνος περιφραξης.

Συνήθως συνιστάται μια γραμμή φύτευσης από ψηλά αειθαλή δέντρα και στη συνέχεια μια σειρά μικρότερων αειθαλών θάμνων και φυτών. Όσο πιο ψηλό είναι ένα δέντρο τόσο περισσότερο μειώνονται τα επίπεδα του θορύβου. Κάθε επιπλέον 1μ ύψους μειώνει το επίπεδο θορύβου κατά 1,5 dB σύμφωνα με τον Leonard Horper πρώην πρόεδρο τις αμερικανικής εταιρίας αρχιτεκτόνων τοπίου στο βιβλίο του Landscape architectural graphic standards .

Τα φυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παγιδεύσουν ή να απορροφήσουν τις δονήσεις των ήχων. Ο ήχος απορροφάται από όλα τα μέρη του φυτού, όπως κορμός, κλαδιά και φύλλα. Όσο τραχύς είναι ο κορμός του φλοιού τόσο καλύτερα απορρόφα τον ήχο. Τα παχιά και σαρκώδη φύλλα είναι επίσης ηχοαπορροφητικά. Βεβαία αυτά τα ειδή πλατύφυλλων χάνουν την αποτελεσματικότητά τους το χειμώνα όταν είναι φυλλοβόλα, όμως έχουν φύλλα τους μήνες που τα παράθυρα είναι ανοιχτά και ο θόρυβος είναι περισσότερο ενοχλητικός.



Εικόνα 3.16: Ηχοφράκτης λέυλαντ  
<http://www.geoponiko-parko.gr/a2.asp?ID=188> (9-8-11)



Εικόνα 3.17: Ηχοφράκτης Τούγια  
[http://www.gardensandplants.com/gr/plant.aspx?plant\\_id=3289](http://www.gardensandplants.com/gr/plant.aspx?plant_id=3289) (9-8-11)

Η χρήση φυτικών ηχοπετασμάτων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει χώρος για την φύτευση σε πολλές σειρές, έτσι ώστε να έχουμε ικανοποιητική ηχομείωση, μπορεί να συνυπάρχει επικουρικά με άλλες μεθόδους αποτροπής του θορύβου.

## **3.5 Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου στο δέκτη**

### **3.5.1 Ηχομονωμένο κτήριο**

Η ηχομόνωση του κτηρίου έχει ως σκοπό να παρεμποδίσει, ή καλύτερα να μετριάσει, τη μετάδοση του ήχου αερόφερτου ή κτυπογενούς, προσφέροντας έτσι ικανοποιητικό ακουστικό περιβάλλον σχεδόν απαλλαγμένο τόσο από θορύβους του εξωτερικού περιβάλλοντος, όσο και από θορύβους που προέρχονται από τις εγκαταστάσεις των κτηρίων και το θόρυβο των γειτονικών εσωτερικών χώρων [12][Δ15].

#### **3.5.1.1 Οι τοίχοι**

Γενικά οι τοίχοι παρέχουν καλή ηχομόνωση καθώς η μάζα τους παίζει σημαντικό ρόλο, αφού η ηχομονωτική ικανότητα είναι ανάλογη αυτής. Οι αρμοί των τοίχων θα πρέπει να είναι πληρωμένοι με κονίαμα σε όλο τους το μήκος. Οι διπλοί τοίχοι θα πρέπει μεταξύ των δύο σειρών να περιλαμβάνουν ηχομονωτικό υλικό. Το πληρωμένο αυτό διάκενο όσο μεγαλύτερο είναι τόσο περισσότερο δυσχεραίνει τη μετάδοση των ηχητικών κυμάτων. Βέλτιστα αποτελέσματα μπορούν να παρατηρηθούν αν από τη μεριά της πηγής δημιουργηθεί χώρισμα και μεταξύ αυτού και του υπάρχοντος τοίχου, στο δημιουργημένο κενό, τοποθετηθεί στρώση ηχομονωτικού υλικού. Χρήση ηχοαπορροφητικών πανό, ανάγλυφων ή διάτρητων, εναλλακτικά της παραπάνω διαδικασίας επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα [12][Δ15].

#### **3.5.1.2 Υλικά ηχομόνωσης [Δ15][Δ16]**

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την ηχομόνωση είναι κυρίως ορυκτοβάμβακες για τα τοιχώματα (πετροβάμβακες ή υαλοβάμβακες) με τον πρώτο να προτιμάται λόγω της αντοχής του στη φωτιά, εξηλασμένη πολυστερίνη, ελαστικές επιστρώσεις ή ελαστικά υποστρώματα για τα δάπεδα.

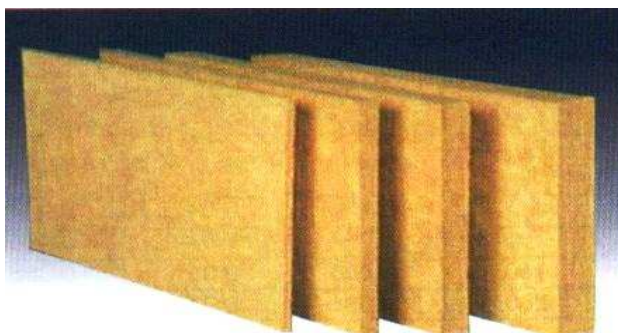
Το πιο διαδεδομένο ηχομονωτικό και ηχοαπορροφητικό υλικό είναι ο πετροβάμβακας (εικόνα 3.18).

Ο πετροβάμβακας ανήκει στην κατηγορία των ινωδών μονωτικών υλικών. Οι ίνες διαμέτρου μικρότερης από 4 ή 5  $\mu\text{m}$ , προέρχονται από ορυκτά, όπως ο βασάλτης, ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης και ο βωξίτης.

Το μίγμα λιώνει σε ηλεκτρικό φούρνο στους 1520° C, ινοποιείται με περιστροφική κίνηση και οι παραγόμενες ίνες αποκτούν την συνεκτικότητά τους με προσθήκη συγκολλητικής ρητίνης ανθεκτικής σε υψηλή θερμοκρασία.



Η υψηλή υδροαπωθητικότητα επιτυγχάνεται με τον ψεκασμό των ινών με ειδικές πυριτικές ενώσεις. Το τελικό προϊόν διατίθεται σε μορφή ρολών, πλακών ή κοχυλιών, σε διάφορες διαστάσεις και πυκνότητες (30-200 Kgr/m<sup>3</sup>), με ποικίλες φυσικές και μηχανικές αντοχές. Ο πετροβάμβακας έχει θερμομονωτικές και ηχοαπορροφητικές ιδιότητες, όπως άλλωστε και ο υαλοβάμβακας, υπερτερώντας όμως στην αντοχή στη φωτιά (οι ίνες του αντέχουν μέχρι και στους 1000° C). Είναι άκαυστο υλικό, δεν φθείρεται με το πέρασμα του χρόνου, διατηρώντας παράλληλα όλες τις ιδιότητές του και τη σταθερότητα των διαστάσεών του. Δεν προσβάλλεται από διαλύτες και δεν προσβάλλει τα μέταλλα. Δεν προσβάλλεται από έντομα και παράσιτα και είναι άοσμος.



Εικόνα 3.18: Φύλλα πετροβάμβακα.

<http://www.easygreen.com.gr/categories.asp?catid=1121> (9-8-11)

Η ικανότητα που παρουσιάζει το υλικό αυτό, όσον αφορά τον έλεγχο της διάδοσης του ήχου, οφείλεται σε δύο ιδιότητες, τον υψηλό συντελεστή ηχοαπορρόφησης, και τον χαμηλό συντελεστή δυναμικής ακαμψίας. Συντελεστής ηχοαπορρόφησης είναι ο λόγος της απορροφώμενης ηχητικής ισχύος προς αυτή που τελικά προσπίπτει σε μία επιφάνεια, ενώ ο συντελεστής δυναμικής ακαμψίας ευθύνεται για τη μετατόπιση των συχνοτήτων συντονισμού της ηχομονωτικής διαμόρφωσης έξω από το φάσμα των συχνοτήτων που πρέπει να ηχομονωθούν.

Σύμφωνα με το Διεθνές Κέντρο Έρευνας για τον Καρκίνο (IARC), τμήμα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), από το 1988 έως το 2002 ο πετροβάμβακας κατατάσσεται στην κατηγορία των πιθανώς καρκινογόνων για τον άνθρωπο υλικών (Group 2B) [Δ35]. Το 2002 αναθεωρήθηκε η κατάταξη αυτή και πλέον ανήκει στην κατηγορία των μη καρκινογόνων για τον άνθρωπο υλικών (Group 3) [Δ36].

Με την χρήση του πετροβάμβακα ως ενδιάμεσο υλικό σε διπλή τοιχοποιία μπορεί να επιτευχθεί ηχομείωση της τάξης των 45-55dB [Δ32][Δ33].

### 3.5.1.3 Κουφώματα εξωτερικά [12][Δ18][Δ19]

Τα παράθυρα (και οι μπαλκονόπορτες αντίστοιχα) αποτελούν τα πλέον ευαίσθητα δομικά στοιχεία των προσόψεων των κτιρίων, τα οποία εντέλει καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό και την ηχοπροστασία που παρέχουν οι προσόψεις.

Το μεγαλύτερο τμήμα της επιφανείας των παραθύρων αποτελεί η υάλωση η οποία είναι το πιο ευαίσθητο στοιχείο του παραθύρου. Το γυαλί είναι ένα δομικό υλικό που λειτουργεί από άποψη ηχομόνωσης μέσα στα πλαίσια του νόμου της μάζας και της κυματοσύμπτωσης με αποτέλεσμα η μονή υάλωση να παρουσιάζει μικρή αύξηση της ηχομόνωσής της με την αύξηση του πάχους.

Με την χρήση ελασματοποιημένων υαλώσεων (περισσότερα του ενός φύλλα λεπτής υάλου σε επαφή, με ενδιάμεσες μεμβράνες), γίνεται δυνατή η αύξηση της ηχομόνωσης (λόγω αύξησης της επιφανειακής μάζας) χωρίς το μειονέκτημα της κρίσιμης συχνότητας (η οποία εξαρτάται από το πάχος των φύλλων που παραμένει λεπτό).

Η ανάγκη για υλικά με υψηλή θερμομόνωση ώθησε στην ανάπτυξη των διπλοκέλυφων υαλοπινάκων. Παρά το μειονέκτημα της περιμετρικής επαφής των δύο κελυφών (δημιουργεί πλευρικές μεταδόσεις), στους διπλούς (ή πολλαπλούς) υαλοπίνακες ο συνδυασμός του διάκενου (συνήθως 8 έως 16mm) με κελύφη από φύλλα υάλου μικρού πάχους ή από ελασματοποιημένη υάλωση, οδηγεί σε καλές επιδόσεις και ως προς την ηχομόνωση.

Η ηχομόνωση των διπλοκέλυφων υαλοπινάκων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση μεταξύ κελυφών. Το κενό μεταξύ των διπλών τζαμιών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 12 mm, καθώς διαφορετικά δεν επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ηχομόνωση από αυτήν μονού τζαμιού με πάχος όσο το άθροισμα των παχών των τζαμιών του διπλού. Γενικώς οι υαλοπίνακες θα είναι ανισοπαχείς με αναλογία 1:2 για το βέλτιστο ηχομονωτικό αποτέλεσμα.

Η τρέχουσα τεχνολογία υαλοπινάκων η οποία αναπτύσσεται συνεχώς, παρέχει συστήματα υαλοπινάκων με κελύφη από ελασματοποιημένες υαλώσεις διαφόρων τύπων, διάκενα πλήρη με ειδικά μίγματα αερίων, συνήθως ευγενών όπως το αργόν, που βελτιώνουν την ηχομόνωση (ή εναλλακτικά την θερμομόνωση αλλά όχι ταυτόχρονα και τις δύο), μεμβράνες θερμοπροστασίας και ηλιοπροστασίας και γενικά πολλά μέσα για τον σχεδιασμό του κατάλληλου υαλοπίνακα για τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης.

Μεταξύ της υάλωσης και των δομικών στοιχείων της πρόσοψης (εξωτερικός τοίχος) υπάρχουν συνήθως 3 αρμοί:

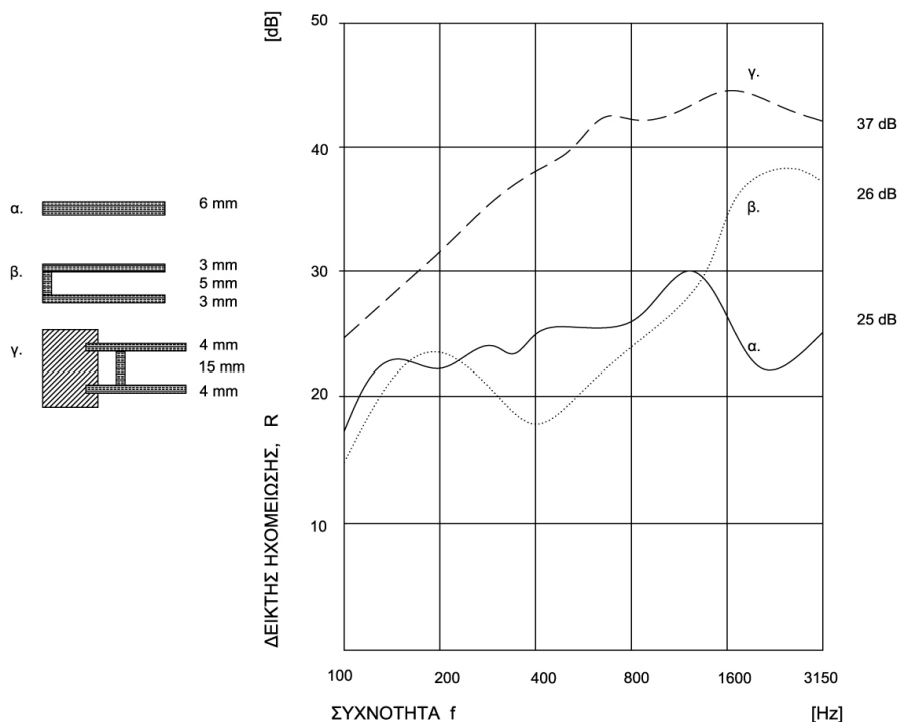
- ένας μεταξύ της υάλωσης και του κινητού πλαισίου του φύλλου
- ένας μεταξύ του πλαισίου του φύλλου και του πλαισίου της κάσας
- ένας μεταξύ του πλαισίου της κάσας και του δομικού στοιχείου (τοίχου)

Από αυτούς οι δύο είναι σταθεροί και ο ένας (μεταξύ του πλαισίου του φύλλου και του πλαισίου της κάσας) λειτουργικός αρμός. Η κατασκευή όλων των αρμών πρέπει να είναι απολύτως αεροστεγής, ο δε λειτουργικός αρμός πρέπει να διαθέτει σφραγίσματα υψηλής ποιότητας, συνήθως διπλά, με εξασφαλισμένη περιμετρική επαφή και μεγάλες αντοχές σε μακροχρόνια χρήση υπό πίεση.

Από τους τρεις αυτούς αρμούς, ο ένας (μεταξύ της κάσας και τοίχου) κατασκευάζεται επί τόπου του έργου με αποτέλεσμα να παρέχει συνήθως περιορισμένη ηχομόνωση, καθόσον η εύκολη λύση που συνήθως ακολουθείται (με πολυουρεθάνη) δεν έχει τα ίδια αποτελέσματα με την σωστή λύση (πορώδες ηχοαπορροφητικό σε όλο το πλάτος του αρμού, κορδόνι και σφράγισμα με σιλικόνη και στις δύο πλευρές).

Τα πλαίσια (του φύλλου και της κάσας) πρέπει να είναι άκαμπτα, ώστε να γίνεται δυνατό το περιμετρικό σφράγισμα με πίεση (με τα κατάλληλα εξαρτήματα) χωρίς παραμόρφωση η οποία θα οδηγούσε σε άρση της στεγανότητας και μείωση της ηχομόνωσης. Αν και τα πλαίσια αποτελούν μικρό ποσοστό της επιφάνειας των παραθύρων (περίπου 20%) εν τούτοις θα πρέπει να παρέχουν ως δομικά στοιχεία ηχομόνωση τουλάχιστον ίση προς την ηχομόνωση της υάλωσης.

Παράθυρα με ηχομόνωση έως 27dB θεωρούνται κοινά παράθυρα. Παράθυρα με ηχομόνωση από 27dB και πάνω θεωρούνται ηχομονωτικά παράθυρα. Η ηχομόνωσή τους φτάνει συνήθως μέχρι 42dB. Παράθυρα με ηχομόνωση πάνω από 42dB θεωρούνται ειδικά ηχομονωτικά παράθυρα (εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.19: Ηχομόνωση διαφόρων τύπων παραθύρων ανάλογα με την συχνότητα.  
<http://www.ntua.gr/vitruvius/ty2.pdf> (9-8-11)

### 3.5.1.4 Σύστημα κλιματισμού [Δ21]

Επειδή τα εξωτερικά κουφώματα έχουν την δυνατότητα να προστατεύουν από τον θόρυβο μόνο όταν είναι κλειστά, πράγμα δύσκολο τους μήνες που η θερμοκρασία ανεβαίνει θα πρέπει να τοποθετηθούν κλιματιστικές μονάδες καθώς και αεραγωγοί με ηχοπαγίδες για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου για τον αερισμό του.

Οι ηχοπαγίδες (εικόνα 3.20), αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα των μηχανολογικών εγκαταστάσεων διότι επιτρέπουν την κυκλοφορία του αέρα, αποσβένοντας τον θόρυβο που περιέχει.

Όπως κάθε ρευστό σε κίνηση, έτσι και ο διερχόμενος από τις ηχοπαγίδες αέρας, παράγει και θόρυβο από την ροή του. Ο θόρυβος αυτός πρέπει να συνυπολογισθεί.

Κατά συνέπεια, για να επιλέξουμε τις κατάλληλες ηχοπαγίδες, πρέπει να εξετάσουμε πολλές παραμέτρους. Από αυτές, υποχρεωτικές για τον υπολογισμό είναι ο διερχόμενος αέρας, και η απαιτούμενη ηχομείωση ανά συχνότητα. Προαιρετικά, μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν οι μέγιστες διαθέσιμες διαστάσεις υποδοχής της, (περιορίζοντας τις διαθέσιμες επιλογές), η

συχνοτική ανάλυση του παραγόμενου θορύβου (για ακριβή υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος), το βάρος (για μεταφορά και ανάρτηση), η πτώση πίεσης (για τον υπολογισμό του ανεμιστήρα), και άλλα στοιχεία.



*Εικόνα 3.20: Ηχοπαγίδα εσωτερικού χώρου.*

<http://www.alphacoustic.com/Product.asp?ID=44> (9-8-11)

Η χρήση κλιματιστικών και αεραγωγών όμως, είναι ενεργοβόρα, περιβαλλοντικά και οικονομικά ασύμφορη. Όπου μπορεί να αποφεύγεται, όπως στη περίπτωση ενός σχολείου, που ο αερισμός των αιθουσών μπορεί να γίνεται με φυσικό τρόπο, πρέπει να μη προτιμάται.



Θόρυβος  
&  
Ψυχολογία

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ 4<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

Στο κεφάλαιο αυτό προσεγγίζονται οι ψυχολογικές συνέπειες του θορύβου και αναλύεται η κοινωνική συμπεριφορά των ανθρώπων σε σχέση με αυτόν. Επίσης καταγράφονται οι θέσεις του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας για τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές της έντασης του θορύβου και τις επιπτώσεις στην υγεία.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να αναδειχθεί η σπουδαιότητα των επιδράσεων του θορύβου στην υγεία στην ψυχολογία και την μαθησιακή συμπεριφορά του ατόμου.

#### **4.1 Ο θόρυβος από την ματιά της ψυχολογικής επιστήμης** [18][19]

Το σχολικό πλαίσιο είναι ένα από τα πλαίσια εκείνα στα οποία οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν περάσει ένα μεγάλο μέρος της ζωής τους. Ο Gumr (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.

#### **4.2 Ψυχολογικές συνέπειες του θορύβου [17]**

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

#### 4.2.1 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)

#### 4.2.2 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)

#### 4.2.3 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).

### **4.3 Θόρυβος και κοινωνική συμπεριφορά [16]**

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.

#### 4.3.1 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 γειτονιές, 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)

#### 4.3.2 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 λόγου 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

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

#### **4.4 Οι θέσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας σχετικά με τον θόρυβο [Δ22]**

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 4.1:

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

Πίνακας 4.1: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την ένταση του θορύβου σε διάφορους περιβάλλοντες χώρους.

# Μετρήσεις Στο Πεδίο



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο υπό μελέτη χώρος και η διαδικασία διεξαγωγής των μετρήσεων. Γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων με πίνακες και γραφήματα.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να αποδειχθεί το μέγεθος της ηχορύπανσης στη συγκεκριμένη περιοχή και να καταδειχτεί η ανάγκη λήψης μέτρων για την αντιμετώπιση της.

## 5.1 Διαδικασία μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε οικόπεδο ιδιοκτησίας του Δήμου Καλαμαριάς, όπου πρόκειται να ανεγερθεί σχολικό συγκρότημα δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (γυμνάσιο). Οι οδοί που περικλείουν το οικόπεδο είναι οι: Παπακυρίτση, Αριστοφάνους και Ανδριανουπόλεως, ενώ η τέταρτη πλευρά του εφάπτεται με υπάρχουσα πολυκατοικία. Από τις ανωτέρω οδούς εκείνη με την μεγάλη κυκλοφορία είναι η οδός Ανδριανουπόλεως, ένας πολυσύχναστος μονόδρομος με έντονη και ταχεία κυκλοφορία. Είναι ο δρόμος που συνδέει την πόλη με το αεροδρόμιο, την περιφερειακή οδό και την ανατολική Θεσσαλονίκη. Έχει τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας, ενώ πολλά αστικά λεωφορεία, φορτηγά, επιβατικά αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες τον διασχίζουν καθημερινά. Το οικόπεδο βρίσκεται στο μέσον δυο φωτεινών σηματοδοτών επί της Ανδριανουπόλεως.

Τα σημεία που επιλέχθηκαν για την μέτρηση του θορύβου, βρίσκονται στις τέσσερις άκρες του οικοπέδου (εικόνα 5.1, σημεία 1,2,3,4) και προτιμήθηκαν λόγω του περίπου ορθογώνιου σχήματος αυτού.



Εικόνα 5.1: Αεροφωτογραφία του υπό μελέτη οικοπέδου.

<http://maps.google.com/> (11-8-11)



Σε όλες τις μετρήσεις που έγιναν ακολουθήθηκαν τα ίδια βήματα και έγιναν κάτω από τις ίδιες συνθήκες έτσι ώστε να υπάρχει μια ομοιομορφία στα αποτελέσματα των μετρήσεων και να μπορούμε να εξάγουμε σωστά συμπεράσματα.

Οι μετρήσεις έγιναν σε δυο χρονικές περιόδους. Η πρώτη από 4 έως και 8 Απριλίου και η δεύτερη από 2 έως και 6 Μαΐου 2011. Και τις δύο εβδομάδες υπήρχε ηλιοφάνεια και καλές καιρικές συνθήκες. Οι συγκεκριμένες περιόδους επιλέχθηκαν με γνώμονα ότι από τον Απρίλιο η εξωτερική θερμοκρασία ανεβαίνει και στα σχολεία το μάθημα γίνεται με ανοιχτά παράθυρα για τον καλύτερο αερισμό του χώρου. Έγιναν καθημερινά 3 μετρήσεις σε κάθε ένα από τα τέσσερα επιλεγμένα σημεία δηλαδή τρεις σειρές μετρήσεων. Οι μετρήσεις ξεκινούσαν από τις 11 η ώρα το πρωί και τελείωναν μέχρι τις 2 η ώρα το μεσημέρι που είναι και οι ώρες λειτουργίας των σχολείων, καθώς επίσης και οι ώρες που υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη αερισμού και δροσιάς των αιθουσών. Κάθε μέτρηση είχε διάρκεια 5 λεπτών.

Για την διαδικασία χρησιμοποιήθηκε το ηχόμετρο CEL 440 του οίκου CASELLA το οποίο τοποθετήθηκε σε τρίποδα σε ύψος 1,5 μέτρου από το έδαφος και σε οριζόντια απόσταση ενός μέτρου από την κάθε γωνία του οικοπέδου (εικόνα 5.2) [1]. Το ηχόμετρο ήταν πάντα τοποθετημένο παράλληλα με το έδαφος και το μικρόφωνο του εστίαζε την εμπρόσθια όψη του οικοπέδου δηλαδή την οδό Ανδριανουπόλεως.



Εικόνα 5.2: Σημείο 1 μετρήσεων.

Μετρήθηκαν τα εξής στοιχεία [Δ26]:

$LAF_{MX}$ ,  $LAF_{MN}$ ,  $LA_{eq}$ ,  $LZ_{pk}$ ,  $LAE$ ,  $LEP,d$ ,  $LT_{m3}$ ,  $LT_{m5}$ ,  $LAF_{10}$ ,  $LAF_{50}$ ,  $LAF_{90}$ ,  $LAF_{95}$ ,  $LAF_{99}$ .

<b><math>LAF_{MX}</math></b>	Μέγιστο επίπεδο, με τις τρέχουσες σταθμίσεις (Maximum level, with current weightings),
<b><math>LAF_{MN}</math></b>	Ελάχιστο επίπεδο, με τις τρέχουσες σταθμίσεις (Minimum level, with current weightings),
<b><math>LA_{eq}</math></b>	Ισοδύναμη συνεχής στάθμη, με την τρέχουσα στάθμιση συχνότητας (Equivalent continuous level, with current frequency weighting),
<b><math>LZ_{pk}</math></b>	Γραμμική κορυφή (Linear peak),
<b><math>LAE</math></b>	Επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο (SEL) (Sound exposure level (SEL)),
<b><math>LEP,v</math></b>	Δόση θορύβου που ρυθμίζεται σύμφωνα με την περίοδο (μεταβλητή) των ωρών και των λεπτών που επιλέγει ο χρήστης. Όταν η περίοδος ορίζεται στις 8 ώρες, αυτό εμφανίζεται ως $LEP,d$ (Noise dose normalised to a user selected (variable) period of hours and minutes. When the period is set to 8 hours, this will be shown as $LEP,d$ ),
<b><math>LT_{m3}</math></b>	Αθροιστικός μέσος όρος των «γρήγορα» σταθμισμένων μέγιστων τιμών που λαμβάνονται σε περιόδους των 3s (Cumulative average of fast weighted maximum values taken over 3 s periods) (Taktmaximal 3),
<b><math>LT_{m5}</math></b>	Αθροιστικός μέσος όρος των «γρήγορα» σταθμισμένων μέγιστων τιμών που λαμβάνονται σε περιόδους των 5s (Cumulative average of fast weighted maximum values taken over 5 s periods) (Taktmaximal 5),
<b><math>LAF_{NN,N}</math></b>	Πέντε ποσοστιαίες τιμές χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες σταθμίσεις με τιμές μεταξύ 0,0% και 99,9% που μπορεί να ρυθμιστούν από το χρήστη (Five percentile values using current weightings with values between 0.0% and 99.9% that can be set by the user).

Το φίλτρο που επιλέχθηκε είναι το A αφού είναι το πιο αντιπροσωπευτικό για να μας δώσει την τιμή του θορύβου, όπως ακριβώς την αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί. Ακόμη για τον ίδιο λόγο επιλέχθηκε η ρύθμιση fast στο ηχόμετρο καθώς γίνεται πιο γρήγορα ο υπολογισμός των εισερχόμενων σημάτων θορύβου που είναι και το επιθυμητό στην περίπτωση μας.

Πριν και μετά από κάθε σειρά μετρήσεων στα τέσσερα σημεία του οικοπέδου, γινόταν βαθμονόμηση (calibration) του ηχομέτρου με το βαθμονομητή (calibrator) CEL 284/2 [Δ31] του οίκου CASELLA με 113,6 dB στο 1KHz.

## **5.2 Αποτελέσματα μετρήσεων και ανάλυση**

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε πίνακες και γίνεται ανάλυση και σχολιασμός του πιο βασικού στοιχείου  $L_{Aeq}$ , σε σχέση με τα όρια θορύβου που ορίζει η νομοθεσία, καθώς επίσης και διαφόρων άλλων σημαντικών παραμέτρων για την καλύτερη κατανόηση τους.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 1

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAFMX	76	73,1	69,3	67,4	70	88,2	70,3	77,6	78,7	78
LAFMN	51	53,5	49,7	51,5	52,1	52,4	53,5	51,6	52,5	52,1
LAeq	64,2	63,1	62,2	61,1	62,1	64	62	62,3	62,8	63,1
LZpk	99,7	112,3	95,3	92,7	98,7	100,8	94,5	103,9	99,7	99,7
LAΕ	89	87,9	86,9	85,9	86,9	88,8	86,8	87,1	87,6	87,9
LEP, d	44,4	43,3	42,3	41,3	42,3	44,2	42,2	42,5	43	43,3
LTm3	67,3	65	64,2	62,9	63,9	70	63,4	65,3	66,2	66,5
LTm5	68	65,4	64,7	63,6	64,4	71,3	63,9	66,2	67,1	67,4
LAF10	67	66	65	63,5	64,5	64	64	65	64,5	65
LAF50	63	61,5	61,5	61	61,5	61	61	61	61	61,5
LAF90	56,5	57	57	56,5	57	56	58	56	56,5	56,5
LAF95	55	56	55	55	56	54,5	57	54	55	55
LAF99	53	55	53	52,5	54	53,5	54,5	52,5	53,5	53,5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 1** και **ώρα 11:00** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	71,4	75,5	75,5	73,9	73,1	70	67,5	51,3	62,9	65,1
LAF <sub>MN</sub>	52,7	54,4	53,1	52,6	52,9	52,2	51,6	50,6	51,5	51,8
LA <sub>eq</sub>	61,3	63,9	62,8	62,8	62,7	60,9	61,1	61	61	61,1
LZ <sub>pk</sub>	92	94,8	99,2	91,7	94,9	95,4	93,7	94	94,4	93,8
LA <sub>E</sub>	86,1	88,7	87,7	87,6	87,5	85,7	85,8	85,7	85,7	85,8
LEP, d	41,5	44,1	43,1	43	42,9	41,1	41,3	41,1	41,2	41,3
LT <sub>m3</sub>	64	67,1	66,1	66,3	65,5	63,4	62,5	63,1	63	63,3
LT <sub>m5</sub>	64,6	68,4	67	67	66,3	64	62,9	63,7	63,5	63,8
LAF <sub>10</sub>	64	66,5	65,5	65	65	63,5	63,5	64	63,5	64
LAF <sub>50</sub>	61	63	62	62	62	60	60,5	60	60,5	60,5
LAF <sub>90</sub>	55	58,5	57	58	57,5	56,5	55,5	54,5	55,5	55,5
LAF <sub>95</sub>	54	57	55,5	56,5	56	55,5	55	53,5	54,5	54,5
LAF <sub>99</sub>	53,5	55,5	54	54,5	54,5	54,5	53	52	53	53,5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 1** και **ώρα 12:00** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>Mx</sub>	71,8	69,1	76,7	68,1	73,2	78,9	78,7	72	76,5	75,4
LAF <sub>MN</sub>	53,7	50,2	49	53,4	51,1	52	51,6	52	51,9	52,3
LA <sub>eq</sub>	63,3	62,2	62	59,8	61,6	61,9	62,4	61,2	61,8	62,2
LZ <sub>pk</sub>	97,2	95,7	99,2	91,3	95,1	94,8	94,1	95,1	94,7	95,3
LA <sub>E</sub>	88,1	87	86,8	84,6	86,4	86,7	87,2	86	86,6	87
LEP, d	43,5	42,4	42,2	40	41,8	42,2	42,6	41,4	42,1	42,4
LT <sub>m3</sub>	65,6	64	65,1	62,5	64,4	65,3	65,8	63	64,7	64,9
LT <sub>m5</sub>	66,3	64,6	66,2	63,2	65,3	66,6	67	63,6	65,7	65,9
LAF <sub>10</sub>	66	64,5	64,5	62	64	64,5	64,5	63,5	64	64,5
LAF <sub>50</sub>	63	62	60	59	60,5	60,5	61,5	60,5	61	61,5
LAF <sub>90</sub>	58,5	57	54,5	56,5	56	56	55,5	55	55,5	56,5
LAF <sub>95</sub>	57,5	55	52,5	55,5	54,5	55	54,5	54	54,5	55,5
LAF <sub>99</sub>	56	52	50,5	54,5	52,5	53	53	53	53	54

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 1** και **ώρα 13:00** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 4

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	82,2	87,4	77,1	77,1	81,3	81,1	83,7	77,9	80,9	81,8
LAF <sub>MN</sub>	50,6	53	55,8	55,8	54,2	54,1	52	54,4	53,5	52,8
LA <sub>eq</sub>	71,5	69,7	69,1	67,8	69	68,8	69,2	69,4	69,1	69,7
LZ <sub>pk</sub>	101,3	102,3	97,8	99,1	100	102,5	100,6	96,3	99,8	100,2
LA <sub>E</sub>	96,3	94,5	93,9	92,6	93,8	93,6	94	94,1	93,9	94,5
LEP, d	51,7	49,9	49,3	48	49,2	49	49,4	49,5	49,3	49,9
LT <sub>m3</sub>	74,1	72,9	71,2	69,6	71,3	71,5	71,6	71,3	71,5	72,1
LT <sub>m5</sub>	74,5	74,1	71,8	70	72,1	72,3	72,3	72,2	72,3	72,8
LAF <sub>10</sub>	75	72,5	72,5	70,5	72	72	72	72	72	73
LAF <sub>50</sub>	70,5	69,5	68	67	68	67,5	68	69	68	69
LAF <sub>90</sub>	56,5	58	59,5	60	59	60,5	57,5	61,5	60	59
LAF <sub>95</sub>	53,5	56,5	58,5	58	57	59	55,5	59,5	58	57
LAF <sub>99</sub>	51,5	54,5	56,5	56,5	55	55,5	53	57	55	54,5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 2** και **ώρα 11:10** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	82,2	77,6	85,7	81,7	80,5	78,3	76,9	78,4	79,9	79
LAF <sub>MN</sub>	53,3	54,1	51,8	49,9	52,4	53,2	53,7	53,5	53,5	53,4
LA <sub>eq</sub>	70	67,3	70,3	68,1	68,8	68	69,5	68,4	68,6	69
LZ <sub>pk</sub>	102	104,7	104,1	99,9	102,4	102,3	100,8	97,3	100,1	100,6
LA <sub>E</sub>	94,8	92,1	95,1	92,9	93,6	92,8	94,3	93,1	93,4	93,8
LEP, d	50,2	47,5	50,5	48,3	49	48,2	49,7	48,5	48,8	49,2
LT <sub>m3</sub>	72,3	69,5	73,4	70,8	71,3	70,4	71,5	70,7	70,9	71,2
LT <sub>m5</sub>	73,2	70,1	74,4	72,3	72,2	71,1	72,1	71,6	71,6	72
LAF <sub>10</sub>	73	69,5	73	71	71,5	71,5	72,5	71,5	72	72
LAF <sub>50</sub>	69	67	68,5	66	68	67	69,5	67	68	68
LAF <sub>90</sub>	58	60,5	60	58	59,5	56,5	58,5	59,5	58	58
LAF <sub>95</sub>	56	59	57,5	56	57,5	55,5	56,5	57,5	56,5	56,5
LAF <sub>99</sub>	54,5	56	55,5	52,5	54,5	54	54,5	54,5	54,5	54,5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 2** και **ώρα 12:10** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)



## ΠΙΝΑΚΑΣ 6

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	79,6	83,5	78,3	78,5	79,2	81,6	76,6	84,9	81	80,7
LAF <sub>MN</sub>	51,1	52,8	50,9	58,4	53	51,9	49,9	52,6	51,5	51,4
LA <sub>eq</sub>	68,3	69,7	68,3	66,6	68,4	68,7	69	69,5	69,1	68,9
LZ <sub>pk</sub>	96,5	104	99,5	104,3	102,6	104,7	102,4	106,1	104,4	102,4
LA <sub>E</sub>	93,1	94,5	93,2	91,4	93,2	93,5	93,8	94,3	93,9	93,7
LEP, d	48,5	49,9	48,6	46,8	48,6	48,9	49,2	49,7	49,3	49,1
LT <sub>m3</sub>	70,7	72	70,8	69,3	70,9	71,3	71,3	72,6	71,7	71,5
LT <sub>m5</sub>	71,3	72,8	71,6	69,9	71,5	72,2	71,8	73,5	72,5	72,2
LAF <sub>10</sub>	71	72,5	71,5	70	71,5	72	72,5	72,5	72,5	72
LAF <sub>50</sub>	67,5	68,5	67,5	64	67	67,5	68	68	68	68
LAF <sub>90</sub>	56	58	56,5	60	58	56,5	56,5	58,5	57	57
LAF <sub>95</sub>	54,5	56,5	54,5	60,5	56,5	55	54	57	55,5	55
LAF <sub>99</sub>	52,5	54,5	52	59	54,5	53,5	51,5	54,5	53	53

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 2** και **ώρα 13:10** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 7

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	78,6	74,8	75,1	80,9	78,3	81,4	82,5	85,4	83,1	82
LAF <sub>MN</sub>	53,8	52,6	53,2	54,8	52,8	57,5	50,6	55	54,4	54,2
LA <sub>eq</sub>	63,5	67,1	65,5	68,6	67,6	67,2	69,1	69	68,4	67,2
LZ <sub>pk</sub>	97,5	98	98,7	100,8	99,3	95,4	99,6	108,1	101	100,2
LA <sub>E</sub>	88,3	91,9	90,3	93,4	92,4	92	93,8	93,8	93,2	92
LEP, d	43,7	47,3	45,7	48,8	47,8	47,4	49,2	49,2	48,6	47,4
LT <sub>m3</sub>	66,6	69,2	67,7	70,5	69,5	70,6	71,7	71,6	71,3	70,1
LT <sub>m5</sub>	67,7	69,8	68,6	71,2	70,5	71,5	72,3	72,6	72,1	71
LAF <sub>10</sub>	65,5	70,5	68,5	71	70,5	70	72	71,5	71	70
LAF <sub>50</sub>	61,5	66	64,5	67,5	66,5	66	67,5	66,5	66,5	65,5
LAF <sub>90</sub>	57	58,5	57,5	62	59	60	58	61	59,5	59
LAF <sub>95</sub>	55,5	57	56,5	60	57,5	59	55,5	59	58	57,5
LAF <sub>99</sub>	54,5	54	54,5	56,5	54,5	58	52	56	55,5	55

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 3** και **ώρα 11:20** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 8

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>Mx</sub>	79,9	75,1	80,2	78,2	78,4	82,4	80	80,9	81,1	80,8
LAF <sub>MN</sub>	53,5	51	50,6	50,4	51,1	54,1	52,2	53,6	53,3	53,4
LA <sub>eq</sub>	68,2	66,8	67,9	64,8	67,3	67,4	69,7	68	68,4	68,3
LZ <sub>pk</sub>	97,7	98,3	99,1	97,5	99	107	101,1	102,2	103,4	102
LA <sub>E</sub>	93	91,5	92,7	89,6	92,1	92,1	94,5	92,8	93,1	93,1
LEP, d	48,4	46,9	48,1	45	47,5	47,5	49,9	48,2	48,9	48,5
LT <sub>m3</sub>	70,3	68,8	70,7	67,1	69,6	70,8	71,9	70,9	71,2	71
LT <sub>m5</sub>	71	69,5	72	67,7	70,4	71,9	72,5	71,5	72	71,7
LAF <sub>10</sub>	71	70	71	67,5	70,5	69	72,5	71	71	71
LAF <sub>50</sub>	67	65	65,5	64	66	65,5	68,5	66,5	67	67
LAF <sub>90</sub>	59	59	57,5	58,5	58,5	58,5	59	59	59	59
LAF <sub>95</sub>	57,5	57,5	55,5	54,5	56	57	56	57	56,5	57
LAF <sub>99</sub>	55,5	52,5	52,5	51,5	52,5	55	53,5	54,5	54,5	54,5

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 3** και **ώρα 12:20** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 9

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	78,6	74,8	75,1	80,9	78,3	81,4	82,5	85,4	83,1	82
LAF <sub>MN</sub>	53,8	52,6	53,2	54,8	52,8	57,5	50,6	55	54,4	54,2
LA <sub>eq</sub>	63,5	67,1	65,5	68,6	67,6	67,2	69,1	69	68,4	67,2
LZ <sub>pk</sub>	97,5	98	98,7	100,8	99,3	95,4	99,6	108,1	101	100,2
LA <sub>E</sub>	88,3	91,9	90,3	93,4	92,4	92	93,8	93,8	93,2	92
LEP, d	43,7	47,3	45,7	48,8	47,8	47,4	49,2	49,2	48,6	47,4
LT <sub>m3</sub>	66,6	69,2	67,7	70,5	69,5	70,6	71,7	71,6	71,3	70,1
LT <sub>m5</sub>	67,7	69,8	68,6	71,2	70,5	71,5	72,3	72,6	72,1	71
LAF <sub>10</sub>	65,5	70,5	68,5	71	70,5	70	72	71,5	71	70
LAF <sub>50</sub>	61,5	66	64,5	67,5	66,5	66	67,5	66,5	66,5	65,5
LAF <sub>90</sub>	57	58,5	57,5	62	59	60	58	61	59,5	59
LAF <sub>95</sub>	55,5	57	56,5	60	57,5	59	55,5	59	58	57,5
LAF <sub>99</sub>	54,5	54	54,5	56,5	54,5	58	52	56	55,5	55

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 3** και **ώρα 13:20** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 10

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>Mx</sub>	66,9	72,7	70,3	72,5	72,4	73,3	74,1	80	75,8	73,6
LAF <sub>MN</sub>	49,5	54,4	50	50,1	51,5	53,1	<<50	50	51,6	50,9
LA <sub>eq</sub>	59,1	60,8	60,3	60,6	61	60,3	62,3	61,4	61,3	60,8
LZ <sub>pk</sub>	97	95,6	94,8	93,1	94,5	97	94,5	95,3	95,6	96
LA <sub>E</sub>	84	85,6	85,1	85,4	85,8	85,1	87,1	86,3	86,2	85,6
LEP, d	40	41	40,5	40,8	41,2	40,5	42,5	41,7	41,6	41,2
LT <sub>m3</sub>	60,8	62,9	62,4	63,2	63,2	63,6	64,4	65,3	64,4	63,5
LT <sub>m5</sub>	61,3	63,6	63,1	63,7	63,9	64,3	65,2	66,6	65,4	64,4
LAF <sub>10</sub>	62	63	63	62,5	63,5	62,5	65,5	63,5	64	63,5
LAF <sub>50</sub>	58	60	59	60,5	60	58,5	61	60	60	59,5
LAF <sub>90</sub>	53	57	55	56	56	56	55,5	54,5	55,5	55
LAF <sub>95</sub>	52	56,5	54	54,5	54,5	55,5	52	54	54	53,5
LAF <sub>99</sub>	50,5	56	52	53	53,5	54	<<50	51,5	53	52

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 4** και **ώρα 11:30** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 11

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>Mx</sub>	75,4	70,7	75,9	69,3	72,6	76,2	74,5	74,6	75,1	75,2
LAF <sub>MN</sub>	53	53,2	50,5	51,7	51,5	53,2	50,5	<<50	51,9	52,2
LA <sub>eq</sub>	63	61,2	61,2	59,5	60,8	62,1	61,3	60,8	61,4	61,8
LZ <sub>pk</sub>	96,2	92,8	102,8	95,2	96,1	94,8	93,7	95,1	94,5	95
LA <sub>E</sub>	87,8	86	86	84,3	85,6	86,9	86,1	85,5	86,2	86,6
LEP, d	43,2	41,4	41,4	40	41,1	42,3	41,5	40,9	41,6	42
LT <sub>m3</sub>	65,2	63	64,4	61,9	63,4	65,3	64,3	64,2	64,6	64,8
LT <sub>m5</sub>	65,8	63,6	66,1	62,8	64,4	66,4	65,2	65,1	65,6	65,6
LAF <sub>10</sub>	66	63,5	63	62,5	63	64,5	63,5	63	63,5	64,5
LAF <sub>50</sub>	59,5	60,5	59,5	58,5	59,5	60,5	60	59	60	60
LAF <sub>90</sub>	55,5	56	55,5	54	55,5	56,5	55,5	53	55	55
LAF <sub>95</sub>	54,5	55	53,5	53,5	54	56	53,5	51,5	53,5	54
LAF <sub>99</sub>	54	54	51,5	52,5	52,5	55	51,5	<<50	53,5	53,5

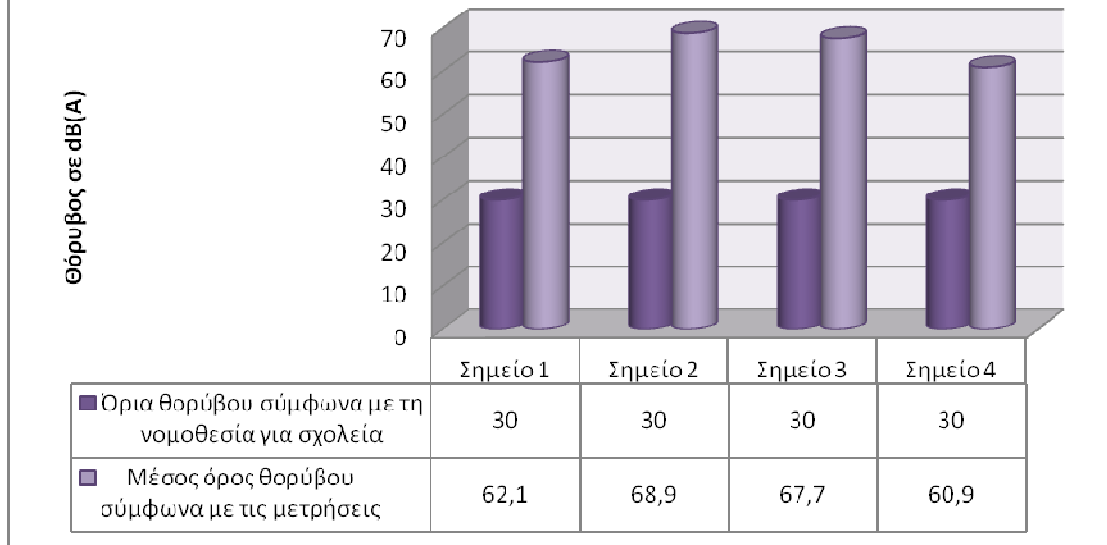
**ΠΙΝΑΚΑΣ 11:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 4** και **ώρα 12:30** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## ΠΙΝΑΚΑΣ 12

	4/4/2011	5/4/2011	6/4/2011	7/4/2011	8/4/2011	2/5/2011	3/5/2011	4/5/2011	5/5/2011	6/5/2011
LAF <sub>MX</sub>	70,7	70,5	79	72,9	77,1	69,1	85,9	70,7	75,2	74,1
LAF <sub>MN</sub>	<< 50	51	49,1	52,2	50,9	52,3	51,2	51,2	51,6	51,6
LA <sub>eq</sub>	60,3	61	59,5	58,2	60,9	58,9	64,7	60,2	61,3	61
LZ <sub>pk</sub>	90,5	92,5	98,2	96,6	95,9	95	96,3	93,5	94,9	93,8
LA <sub>E</sub>	85,1	85,8	84,3	83	85,7	83,7	89,5	85	86,1	85,8
LEP, d	40,5	41,2	40	40	41,5	40	44,9	40,4	41,8	41,5
LT <sub>m3</sub>	62	62,9	63,7	62,4	65	61,3	71,1	63,1	65,2	64,4
LT <sub>m5</sub>	62,6	63,7	65,2	63,2	66,2	62,1	72,8	63,8	66,2	65,3
LAF <sub>10</sub>	62,5	63,5	61	60	62	61,5	63,5	63	62,5	62,5
LAF <sub>50</sub>	60	60,5	58	57	59	58	60	59	59	59,5
LAF <sub>90</sub>	54	55,5	53,5	54,5	55	55	56,5	54,5	55,5	55
LAF <sub>95</sub>	53	53,5	52	54	53,5	54	55	53,5	54	54
LAF <sub>99</sub>	50	52	50,5	53	52,5	53	53,5	52	53	52

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12:** Αποτελέσματα μετρήσεων για 13 διαφορετικούς παράγοντες στο **σημείο 4** και **ώρα 13:30** για 10 διαφορετικές μέρες. (όλες οι τιμές αναφέρονται σε dB)

## Μέσος όρος μετρηθέντος θορύβου σε σχέση με τον επιτρεπόμενο



Γράφημα 5.1: Σύγκριση μέσου όρου μετρηθέντος θορύβου  $L_{Aeq}$  σε σχέση με τον επιτρεπόμενο στα τέσσερα σημεία του οικοπέδου.

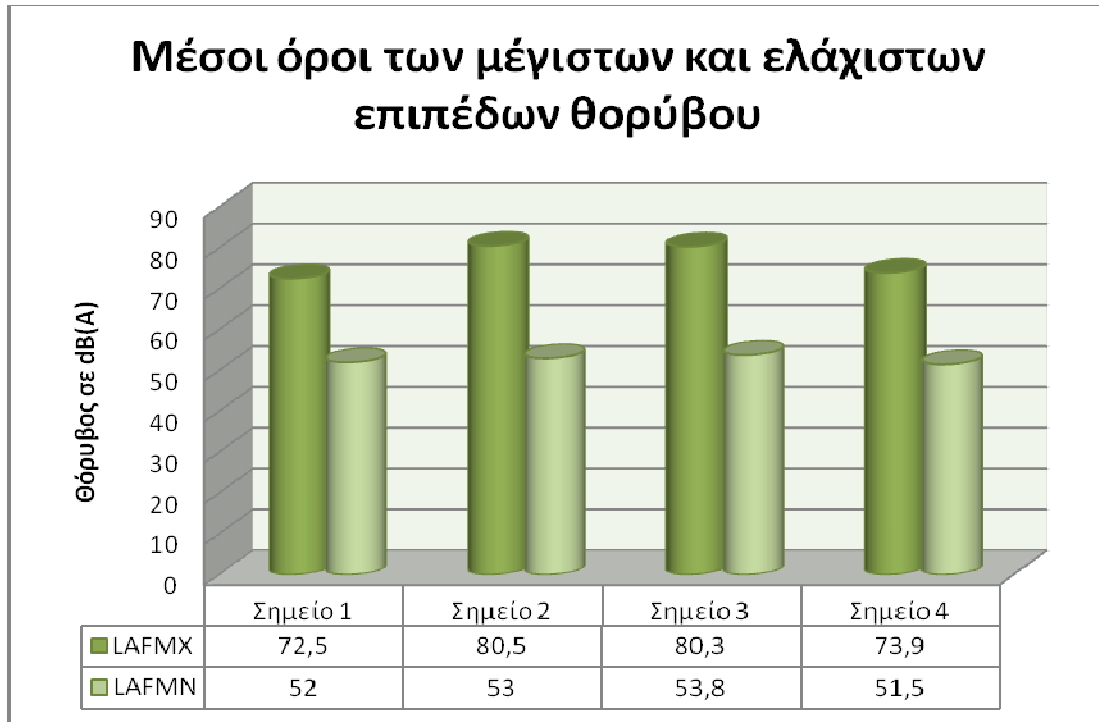
Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας, μέσα στις σχολικές αίθουσες, για να μην υπάρχει ενόχληση στην κατανόηση της ομιλίας, η προτεινόμενη ένταση του θορύβου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 35 dB(A) καθ' όλη τη διάρκεια του μαθήματος.

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία (κτιριοδομικός κανονισμός) ο χώρος της εκπαίδευσης ανήκει στην κατηγορία A «υψηλή ακουστική άνεση» όσον αφορά στα κριτήρια ηχομόνωσης – ηχοπροστασίας. Συγκεκριμένα όσον αφορά στη ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους η ανώτατη επιτρεπτή τιμή  $L_{Aeq}$  είναι τα 30 dB(A).

Έτσι απομονώθηκε η παράμετρος  $L_{Aeq}$  από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και υπολογίστηκε ο αριθμητικός μέσος όρος όλων των ημερών και των ωρών στα τέσσερα σημεία του οικοπέδου.

Από το γράφημα 5.1 προκύπτει ότι για την ηχοπροστασία των σχολικών αιθουσών θα πρέπει να μειωθεί ο εξωτερικός θόρυβος κατά 39 dB(A).

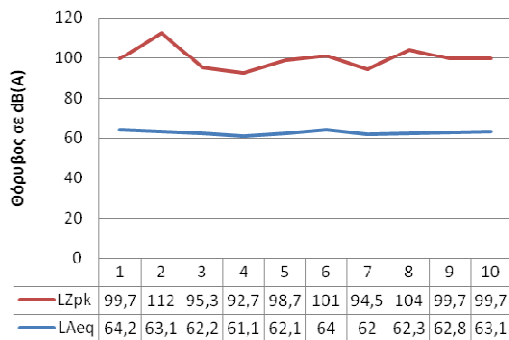




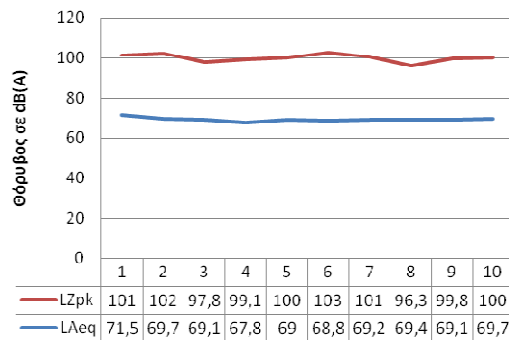
*Γράφημα 5.2: Σύγκριση μέσων όρων μέγιστου  $L_{AFmx}$  και ελάχιστου  $L_{AFmn}$  επιπέδου θορύβου στα τέσσερα σημεία του οικοπέδου.*

Από το γράφημα 5.2 διαπιστώνεται ότι στα σημεία των μετρήσεων 2 και 3 (εικόνα 5.1) υπάρχει μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων επιπέδων θορύβου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ηχοπροστασία από τα σημεία 2 και 3 διότι η προσοχή ενός μαθητή διασπάται ευκολότερα από διακυμάνσεις του θορύβου παρά από ένα συνεχή θόρυβο.

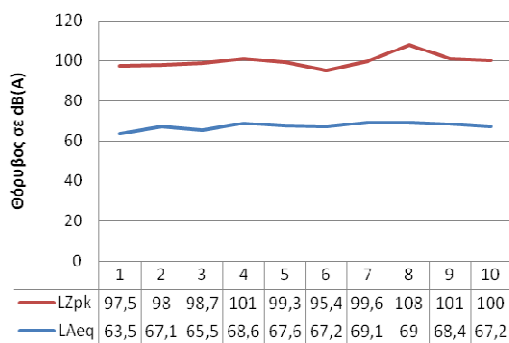
**Μέγιστες στιγμιαίες τιμές  
θορύβου σε σχέση με το  $L_{Aeq}$   
στο σημείο 1 και ώρα 11:00**



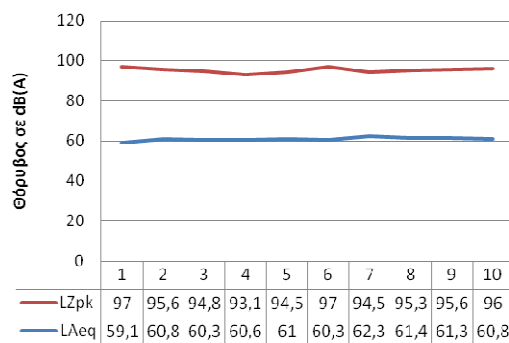
**Μέγιστες στιγμιαίες τιμές  
θορύβου σε σχέση με το  $L_{Aeq}$   
στο σημείο 2 και ώρα 11:10**



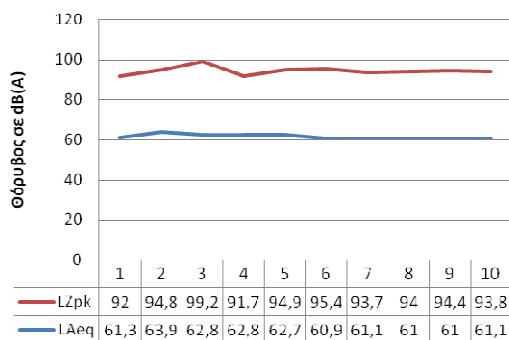
**Μέγιστες στιγμιαίες τιμές  
θορύβου σε σχέση με το  $L_{Aeq}$   
στο σημείο 3 και ώρα 11:20**



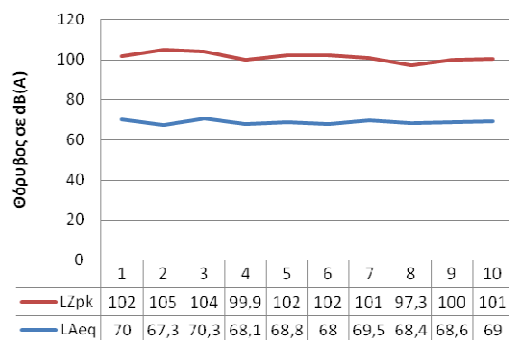
**Μέγιστες στιγμιαίες τιμές  
θορύβου σε σχέση με το  $L_{Aeq}$   
στο σημείο 4 και ώρα 11:30**

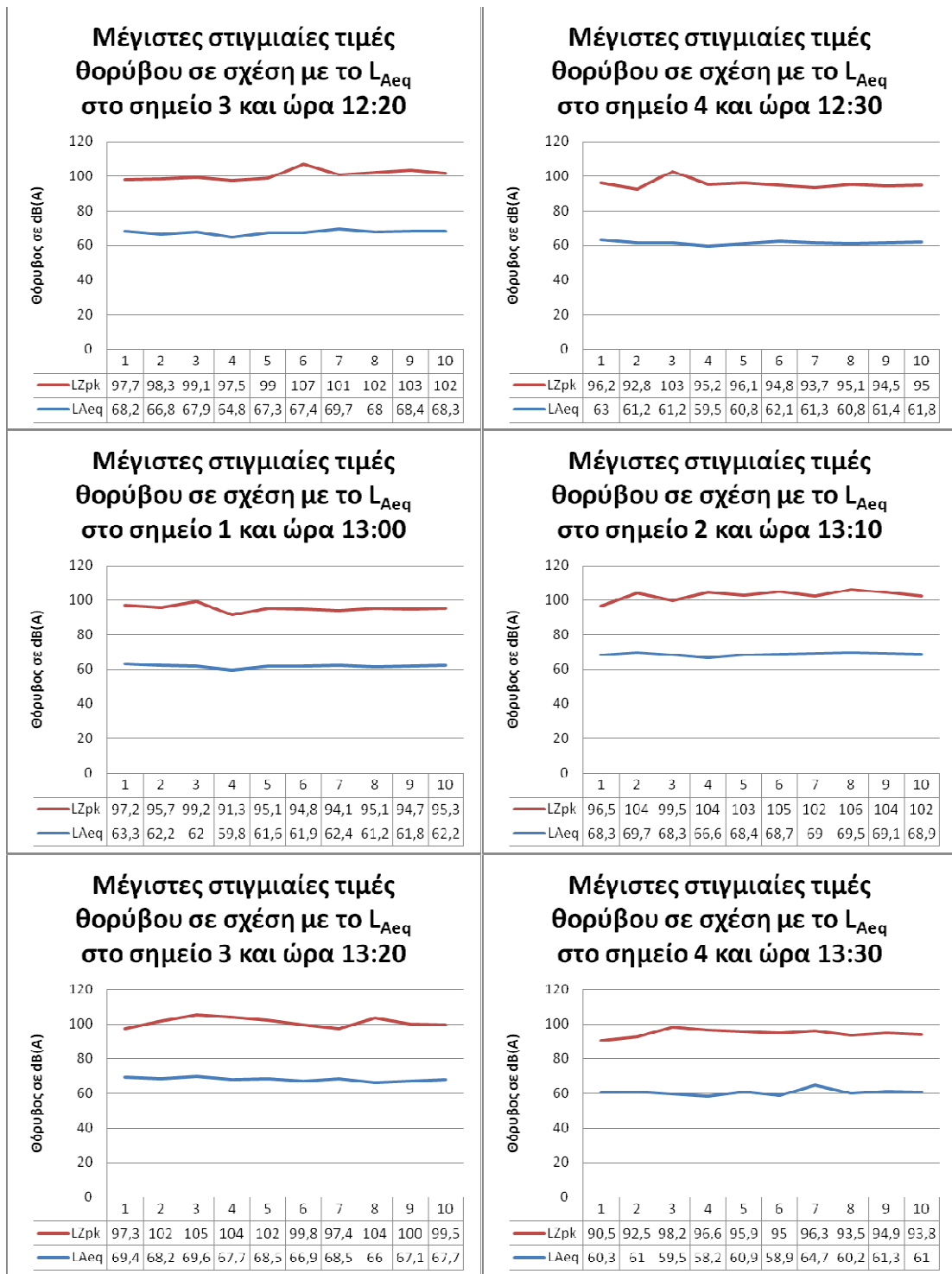


**Μέγιστες στιγμιαίες τιμές  
θορύβου σε σχέση με το  $L_{Aeq}$   
στο σημείο 1 και ώρα 12:00**



**Μέγιστες στιγμιαίες τιμές  
θορύβου σε σχέση με το  $L_{Aeq}$   
στο σημείο 2 και ώρα 12:10**





Ομάδα Γραφημάτων 5.3: Σύγκριση μέγιστων στιγμιαίων τιμών θορύβου  $L_{Zpk}$  σε σχέση με το  $L_{Aeq}$  στα τέσσερα σημεία του οικοπέδου (οι αριθμοί 1 έως 10 αντιστοιχούν στις μέρες των μετρήσεων).

Από την ομάδα γραφημάτων 5.3 διαπιστώνεται ότι όλες τις ημέρες, όλες τις ώρες και σε όλα τα σημεία των μετρήσεων καταγράφηκαν μέγιστες στιγμιαίες τιμές θορύβου (π.χ. κρότοι, κόρνες οχημάτων) πάνω από 100dB(A). Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4 όλοι οι ψυχολόγοι συμφωνούν ότι ο διακοπτόμενος και απρόβλεπτος ήχος είναι τελικά ο πιο ενοχλητικός και επιβλαβής με σημαντικές επιπτώσεις στη μαθησιακή διεργασία. Αυτό εδρεώνει ακόμη περισσότερο την ανάγκη να ληφθούν μέτρα ηχοπροστασίας στο υπό κατασκευή κτίριο.

Συμπεράσματα  
&  
Προτάσεις



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6<sup>ΟΥ</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τα επίπεδα της ηχορύπανσης στην περιοχή που μελετήθηκε, προτείνοντας τα κατάλληλα μέτρα, σύμφωνα με όσα έχουν αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η επίτευξη υψηλής ακουστικής άνεσης μέσα στις σχολικές αίθουσες όταν κατασκευασθούν.

## 6.1 Αντιμετώπιση του προβλήματος και προτάσεις

Όπως έγινε σαφές, η περιοχή του υπό κατασκευή σχολείου έχει αυξημένο κυκλοφοριακό θόρυβο και η ανάγκη ηχοπροστασίας του σχολικού κτιρίου κρίνεται απαραίτητη.

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και μετά την επεξεργασία διαφόρων σημαντικών παραμέτρων όπως τα  $L_{AFmx}$ ,  $L_{AFmn}$ ,  $L_{Zpk}$ ,  $L_{Aeq}$  που υπολογίστηκαν για τα τέσσερα σημεία του οικοπέδου αντίστοιχα, προκειμένου να έχουμε μέσα στις σχολικές αίθουσες υψηλή ακουστική άνεση, θα πρέπει η ένταση του θορύβου να μειωθεί από την πηγή (οδός Ανδριανουπόλεως) έως τον δέκτη (σχολική αίθουσα) κατά 39dB περίπου λαμβάνοντας υπόψη την παράμετρο  $L_{Aeq}$  όπως και η σχετική νομοθεσία.

Για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα και σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια για μεθόδους ηχοπροστασίας προτείνονται τα εξής:

- Στην πηγή:
  1. Μείωση του ορίου ταχύτητας κυκλοφορίας των οχημάτων στην οδό Ανδριανουπόλεως κατά 10 km/h. Έτσι επιτυγχάνεται αντίστοιχα και μείωση του θορύβου της τάξης των 2-3dB.
  2. Αστυνόμευση της περιοχής όσον αφορά στα όρια εκπομπής θορύβου των διερχόμενων οχημάτων και στο ανώτερο επιτρεπτό όριο ταχύτητας.
  3. Τακτική συντήρηση του ασφαλτοτάπητα με τη μέθοδο δημιουργίας μικροπορώδους και μακροπορώδους οδοστρώματος στην οδό Ανδριανουπόλεως. Η μέθοδος αυτή μπορεί να μην ενδείκνυται τους χειμερινούς μήνες όπου με τις βροχές και τις λάσπες μειώνεται γρήγορα η αποτελεσματικότητά της, όμως τους μήνες από Απρίλιο μέχρι Ιούνιο που στα σχολεία τα παράθυρα είναι ανοιχτά μπορεί να επιτευχθεί μείωση του θορύβου της τάξης των 3dB τουλάχιστον.
  
- Στη διαδρομή πηγής – δέκτη:
  1. Φύτευση στα όρια του οικοπέδου του σχολείου από την μεριά της οδού Ανδριανουπόλεως μιας σειράς αιθαλών δέντρων. Προτείνεται η φύτευση μιας σειράς από Τούγιες που έχουν αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες όπως αυτές της βόρειας Ελλάδας και συγκεκριμένα της Θεσσαλονίκης και έχουν καλή ανάπτυξη της τάξης 1-2m ετησίως. Έτσι φυτεύοντας δένδρα με αρχικό ύψος 2m σε δύο

χρόνια περίπου θα δημιουργηθεί ένας φυτικός ηχοφράχτης ύψους 4m που θα προσφέρει ηχομείωση της τάξης των 6dB περίπου. Επίσης εκτός της ηχοαπορροφητικότητας ο φυτοφράχτης θα προσφέρει και περιβαλλοντικά οφέλη καταναλώνοντας το CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από τα οχήματα, προσφέροντας O<sub>2</sub>.

Άλου τύπου ηχοπετάσματα δεν προτείνονται, λόγω του ότι η τοποθέτηση τους μέσα σε αστικά κέντρα, δημιουργεί αύξηση των επιπέδων του θορύβου από την μεριά της πηγής, εξαιτίας της ανακλαστικής συμπεριφοράς τους.

- Στο δέκτη:

1. Σωστή επιλογή προσανατολισμού του κτιρίου και των σχολικών αιθουσών. Προτείνεται να κατασκευασθεί στον άξονα των σημείων 2 έως 3 (εικόνα 5.1, σελ. 63) και με τέτοιο προσανατολισμό ώστε τα παράθυρα των σχολικών αιθουσών να «βλέπουν» προς τον προαύλιο χώρο, στον άξονα των σημείων 1 έως 4 (εικόνα 5.1, σελ. 63). Με τον τρόπο αυτό θα υπάρχει το πλεονέκτημα του ηχομονωμένου τοίχου χωρίς ανοίγματα από τη θορυβώδη πλευρά.
2. Κατασκευή διπλών τοίχων με ενδιάμεση τοποθέτηση ηχομονωτικού υλικού. Προτείνεται σαν υλικό ο πετροβάμβακας λόγω του υψηλού συντελεστή ηχοαπορρόφησης που παρέχει σε συνδυασμό με την οικονομική τιμή του. Ανάλογα με το πάχος και την πυκνότητα του ηχοαπορροφητικού υλικού καθώς και το πάχος των τοίχων και το ενδιάμεσο κενό τους μπορούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή ηχομείωση η οποία θα είναι της τάξης των 45dB τουλάχιστον.
3. Τοποθέτηση ηχομονωτικών κουφωμάτων. Προτείνονται κουφώματα με διπλούς υαλοπίνακες, ανισοπαχείς με αναλογία 1:2, κενό μεταξύ τους τουλάχιστον 12mm και πλήρωση του κενού με ειδικό ηχομονωτικό αέριο όπως το αργόν. Έτσι θα επιτύχουμε μείωση της τάξης των 27-42dB περίπου.

Τοποθέτηση κλιματιστικών και αεραγωγών με ηχοπαγίδες δεν προτείνονται διότι είναι ενεργοβόρα και περιβαλλοντικά μη αποδεκτά.

Σύμφωνα με τις παραπάνω προτάσεις καταλήγουμε στα εξής στοιχεία:

- Ηχομείωση στην πηγή: 6dB
- Ηχομείωση στην διαδρομή πηγής - δέκτη: 6dB
- Ηχομείωση στον δέκτη: 27-45dB περίπου

Αυτή η πτυχιακή εργασία είχε ως σκοπό την μελέτη της ηχοπροστασίας ενός υπό κατασκευή σχολικού κτιρίου σε κεντρικό δρόμο της Θεσσαλονίκης. Το αποτέλεσμα των μετρήσεων θορύβου στο συγκεκριμένο οικόπεδο ήταν της τάξης των 69dB περίπου όσον αφορά στην ισοδύναμη στάθμη θορύβου  $L_{Aeq}$ . Με στόχο να μειωθεί η τιμή αυτή ώστε να εναρμονιστεί με την Ελληνική νομοθεσία, η οποία ορίζει ως τιμή υψηλής ακουστικής άνεσης τα 30dB μέσα σε μια σχολική αίθουσα, συγκεντρώθηκαν και μελετήθηκαν διάφοροι τρόποι ηχομείωσης και τελικά προτείνεται ένας κατάλληλος συνδυασμός αυτών που θα μειώσει τον εξωτερικό θόρυβο κατά 39dB τουλάχιστον μέσα στις αίθουσες. Στο τελικό αποτέλεσμα ηχομείωσης έχει συμπεριληφθεί και ο αστάθμητος μα ουσιαστικός παράγοντας της κατασκευαστικής αστοχίας (π.χ. μάστορες, υλικά, διατάξεις) και για το λόγο αυτό η τελική ηχομείωση προτείνεται να είναι παραπάνω από τα επιθυμητά όρια.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

# Κτιριοδομικός κανονισμός

Υπουργική απόφαση 3046/304/89 (Φ.Ε.Κ. 59/Δ' /3-2-89)

## Άρθρο 12

Ηχομόνωση - Ηχοπροστασία.

### **1. Στόχος.**

Τα κτίρια πρέπει να σχεδιάζονται και κατασκευάζονται έτσι, ώστε να προστατεύονται οι ένοικοι από κάθε μορφής θορύβους μέσα στα όρια της κατοικίας, του τόπου εργασίας και διαμονής τους, όταν οι θόρυβοι προέρχονται από άλλους. Δηλαδή, να εξασφαλίζεται αποδεκτή ακουστική άνεση, λαμβάνοντας τα απαραίτητα μέτρα κτιριακής ηχομόνωσης και ηχοπροστασίας.

Οι παράμετροι και τα κριτήρια ακουστικής άνεσης, από όπου εξαρτάται η ηχομόνωση - ηχοπροστασία για κάθε είδους κτιρίου ή χώρου αυτού, και οι κατηγορίες ακουστικής άνεσης καθορίζονται στις επόμενες παραγράφους. Σε ειδικά κτίρια είναι δυνατόν να εφαρμόζονται κανονισμοί με αυστηρότερα κριτήρια.

### **2. Παράμετροι ακουστικής άνεσης.**

Η ακουστική άνεση ενός κτιρίου είναι η ικανότητά του να προστατεύει τους ενοίκους από εξωγενείς θορύβους και να παρέχει ακουστικό περιβάλλον κατάλληλο για διαμονή ή για διάφορες δραστηριότητες.

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

- τον αερόφερτο ήχο, που παράγεται σε γειτονικούς χώρους.
- τον κτυπογενή ήχο, που παράγεται σε γειτονικούς χώρους.
- τον αερόφερτο ήχο, που παράγεται από κοινόχρηστες ή ιδιωτικές εγκαταστάσεις του ίδιου κτιρίου.
- τον αερόφερτο ήχο που παράγεται από εξωτερικές πηγές. Οι ορισμοί των παραμέτρων ακουστικής άνεσης  $R_w$ ,  $R'_w$ ,  $L'_{nw}$ ,  $L_{Aegh}$ ,  $L_{pa}$  φαίνονται στον πίνακα 1 της παραγρ. 8 του παρόντος άρθρου.

### **3. Κατηγορίες ακουστικής άνεσης.**

Όλα τα νέα κτίρια που κατασκευάζονται μετά την ισχύ του παρόντος υπάγονται σε μία από τις πιο κάτω «κατηγορίες ακουστικής άνεσης».

α. Κατηγορία Α. «υψηλή ακουστική άνεση».

Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 2 της παρ. 8.

β. Κατηγορία β. «κανονική ακουστική άνεση».

Όταν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 3 της παραγράφου 8.

γ. Κατηγορία γ. «χαμηλή ακουστική άνεση».

Όταν δεν πληρούνται όλα τα κριτήρια του πίνακα 3.

### **4. Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας.**

Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας είναι οι οριακές τιμές των παραμέτρων ακουστικής άνεσης για κάθε είδος ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας και κάθε κατηγορία ακουστικής άνεσης.

Οι απαιτήσεις για όλα τα είδη των κτιρίων εκφράζονται με εννέα συνολικά κριτήρια που περιλαμβάνονται στους πίνακες 2 και 3.

Κατά τη σύνταξη μελετών, είναι δυνατόν να λαμβάνεται μεταξύ  $R_w$  &  $R'_w$  η σχέση που ορίζεται στον πίνακα 4. Κατά την κατασκευή, θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα, ώστε οι διαφορές μεταξύ  $R_w$  &  $R'_w$  - που οφείλονται στις πλευρικές μεταδόσεις - να μην είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που προκύπτουν από τον πίνακα 4. Μέτρα μείωσης των πλευρικών μεταδόσεων είναι, μεταξύ άλλων, η διακοπή συνέχειας των οικοδομικών στοιχείων μεταξύ των δύο χώρων και η αύξηση της επιφανειακής μάζας των πλευρικών στοιχείων (π.χ. άνω των 350 Kg/m<sup>2</sup>). Αν λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για τη μείωση των πλευρικών μεταδόσεων, είναι δυνατόν να γίνονται αποδεκτές μικρότερες τιμές για τη διαφορά αυτή.

#### **4.1. Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης και ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης του κτιρίου.**

Αφορά όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα ανάμεσα σε:

- δύο διαμερίσματα του ίδιου κτιρίου (κατοικίες).

- χώρο κύριας χρήσης και γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης (όλα τα άλλα κτίρια εκτός από κατοικίες).
- ένα διαμέρισμα ή ένα χώρο κύριας χρήσης και τους κοινής χρήσης χώρους του κτιρίου (εκτός από μονοκατοικίες).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'_{w}$  σε ντεσιμπέλ (dB).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι μέγιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $L'_{nw}$  σε ντεσιμπέλ (dB).

#### **4.2. Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης.**

Αφορά όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα ανάμεσα σε:

- ένα διαμέρισμα και χώρους κτιρίου, που προορίζονται για άλλη κύρια χρήση εκτός κατοικίας. Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'_{w}$  σε ντεσιμπέλ (dB).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι μέγιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $L'_{nw}$  σε ντεσιμπέλ (dB).

#### **4.3. Ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους.**

Αφορά τον εξωτερικό θόρυβο περιβάλλοντος (κυκλοφοριακό, αστικό) που μεταδίδεται μέσα από όλα τα εξωτερικά οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα για όλα ανεξαιρέτως τα κτίρια.

Το κριτήριο ηχοπροστασίας είναι οι μέγιστες τιμές της ωριαίας ισοδύναμης A-ηχοστάθμης  $L_{Aeq,h}$  σε ντεσιμπέλ -A(dB(A)).

#### **4.4. Ηχοπροστασία από εγκαταστάσεις.**

Αφορά το θόρυβο που προέρχεται από τις κοινόχρηστες και ιδιωτικές

εγκαταστάσεις, που μεταδίδεται μέσα από όλα τα οριζόντια και κατακόρυφα χωρίσματα και από όλες τις άλλες ηχητικές διαδρομές για όλα ανεξαιρέτως τα κτίρια.

Το κριτήριο ηχοπροστασίας είναι οι μέγιστες τιμές της A - ηχοστάθμης  $L_{pa}$  σε ντεσιμπέλ - A (dB(A)) μέσα στους χώρους κύριας χρήσης.

Κοινόχρηστες εγκαταστάσεις, για την εφαρμογή του παρόντος άρθρου είναι η υδραυλική, η ηλεκτρική, η εγκατάσταση κεντρική θέρμανσης - ψύξης - αερισμού, οι ανελκυστήρες, οι αντλίες και τα κάθε είδους μηχανήματα που εξυπηρετούν από κοινού τα διαμερίσματα και τους άλλους χώρους.

Ιδιωτικές εγκαταστάσεις είναι εγκαταστάσεις ανάλογες με τις κοινόχρηστες που εξυπηρετούν αποκλειστικά μια κατοικία ή ένα άλλο χώρο.

#### **4.5. Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας.**

Αφορά τα εσωτερικά κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα της ίδιας κατοικίας. Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'_w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

#### **4.6. Ηχομόνωση χώρου κύριας χρήσης από χώρους εγκαταστάσεων.**

Αφορά τα κατακόρυφα και οριζόντια χωρίσματα ανάμεσα σε χώρους κύριας χρήσης και χώρους εγκαταστάσεων για όλες τις περιπτώσεις των κτιρίων εκτός από τα κτίρια κατοικίας.

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση αερόφερτου ήχου για τα κατακόρυφα και τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι ελάχιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $R'_w$  σε ντεσιμπέλ (dB).

Το κριτήριο ηχομόνωσης στην περίπτωση κτυπογενή ήχου για τα οριζόντια χωρίσματα είναι οι μέγιστες τιμές του μονότιμου μεγέθους  $L_{n,w}$  σε ντεσιμπέλ (dB).

### **5. Ελάχιστες απαιτήσεις ακουστικής άνεσης.**

Όλα ανεξαιρέτως τα νέα κτίρια πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον τις απαιτήσεις της κατηγορίας ακουστικής άνεσης B.

## **6. Μέτρηση και πιστοποίηση.**

Για την αντιμετώπιση των αναγκών σε μετρήσεις - πιστοποιήσεις που απορρέουν από την εφαρμογή του παρόντος άρθρου, χρησιμοποιούνται εργαστήρια μετρήσεων κτιριακής ηχοπροστασίας. Αυτά λειτουργούν κάτω από την επίβλεψη εξειδικευμένου διπλωματούχου μηχανικού και διαθέτουν εξοπλισμό για τις εργαστηριακές και επιτόπιες μετρήσεις σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ.

## **7. Έλεγχος.**

Ο έλεγχος των εργασιών ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας γίνεται από τις κατά τόπους αρμόδιες πολεοδομικές υπηρεσίες. Σε περιπτώσεις ελέγχου που απαιτούν ειδικές συσκευές και εξειδίκευση, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα εργαστήρια μετρήσεων της προηγούμενης παραγράφου 6.

**8. Οι πίνακες 1, 2 και 3 που ακολουθούν προσδιορίζουν τις παραμέτρους ακουστικής άνεσης  $R'_w$ ,  $R'_{n,w}$ ,  $L_{Aeq,h}$ ,  $L_{pa}$  καθώς και τις τιμές των κριτηρίων ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας για τις κατηγορίες (A) και (B). Ο πίνακας 4 προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ  $R_w$  και  $R'_w$ .**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Παράμετροι ακουστικής άνεσης

Είδος Ηχομόνωσης - Ηχοπροστασίας	Παράμετρος ακουστικής άνεσης				Μετρούμενο μέγεθος			
	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο ΕΛΟΤ	Ονομασία	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	Πρότυπο ΕΛΟΤ
Ηχομόνωση από αερόφερτο ήχο	σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης	$R_w$	dB	461.1	δείκτης ηχομείωσης	R	dB	370.3
	σταθμισμένος φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	$R'_w$	dB	461.1	φαινόμενος δείκτης ηχομείωσης	$R'$	dB	370.4
Ηχομόνωση από κτυπογενή ήχο	Σταθμισμένη κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	$L'_{n,w}$	dB	461.2	Κανονικοποιημένη στάθμη ηχητικής πίεσης κτυπογενούς ήχου	$L'_n$	dB	370.7 370.8
Ηχοπροστασία από αερόφερτο θόρυβο εξωτερικών πηγών	Όρια ισοδύναμη A - ηχοστάθμη	$L_{Aeq,h}$	dB (A)	230	A - ηχοστάθμη	$L_{pA}$	dB (A)	230
Ηχοπροστασία από τον αερόφερτο θόρυβο που παραγεται από εγκαταστάσεις	A - ηχοστάθμη	$L_{pA}$	dB (A)	229	A - ηχοστάθμη	$L_{pA}$	dB (A)	229

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας. Κατηγορία Α «υψηλή ακουστική άνεση».

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης (§ 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης. (§ 4.2)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων	
					εξωτερικούς θορύβους	θορύβους εγκαταστάσεων			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$R_w$	$L'_{n,w}$	$R'_w$	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	$L_{pA}$	$R'_w$	$R'_w$	$L'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)	dB	dB	dB
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	54	55	-	-	30	25	48	60	45
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΜΠΟΡΙΟ	52	60	58	52	35	30	-	55	55
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	57	58	58	52	30	25	-	60	45
ΥΓΕΙΑ	57	55	58	52	30	25	-	60	45
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)

Παρατηρήσεις.

- Οι τιμές σε παρένθεσις αποτελούν μόνο οδηγό για σχεδιασμό θεάτρων, κινηματογράφων, αθ. συγκεντρώσεων, αθ. μουσικής χώρων ηχογράφησης και επέξεργασίας ήχου, εκκλησιών και άλλων χώρων, στους οποίους η αυξημένη ηχοπροστασία αποτελεί προϋπόθεση για τη διαμόρφωση της εσωτερικής ακουστικής τους.
- Για κτίρια στα οποία συνυπάρχουν επιμέρους τμήματα διαφορετικών κύριων χρήσεων, η επιλογή των τιμών των κριτηρίων γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε ηχομόνωση, ηχοπροστασία κάθε χώρου κύριας χρήσης. Η επιλογή ακολουθεί τις τιμές των χώρων με περισσότερο αυξημένες απαιτήσεις, έτσι ώστε να καλύπτονται και οι απαιτήσεις των άλλων χώρων.
- Οι τιμές της στήλης 9 αφορούν μόνο την επιφάνεια έδρασης των μηχανημάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας. Κατηγορία Β «κανονική ακουστική άνεση».

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης. Ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης (§ 4.1)		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης. (§ 4.2)		Ηχοπροστασία από		Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων		
	1	2	3	4	εξωτερικούς θορύβους	θορύβους εγκαταστάσεων		8	9	
	$R'_w$	$L'_{n,w}$	$R'_w$	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	$L_{pA}$		$R'_w$	$R'_w$	$L'_{n,w}$
	dB	dB	dB	dB	dB (A)	dB (A)		dB	dB	dB
ΚΑΤΟΙΚΙΑ - ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΔΙΑΜΟΝΗ	50	60	-	-	35	30	42	55	50	
ΓΡΑΦΕΙΑ - ΕΜΠΟΡΙΟ	40	65	52	55	40	35	-	53	60	
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	50	65	55	55	35	30	-	55	50	
ΥΓΕΙΑ	50	60	55	55	35	30	-	53	50	
ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)	

Παρατηρήσεις:

- Οι τιμές σε παρενθέσεις αποτελούν μόνο οδηγό για σχεδιασμό θεάτρων, κινηματογράφων, αθ. συγκεντρώσεων, αθ. μουσικής χώρων ηχογράφησης και επεξεργασίας ήχου, εκκλησιών και άλλων χώρων, στους οποίους η αυξημένη ηχοπροστασία αποτελεί προϋπόθεση για τη διαμόρφωση της εσωτερικής ακουστικής τους.
- Για κτίρια στα οποία συνυπάρχουν επιμέρους τμήματα διαφορετικών κύριων χρήσεων, η επιλογή των τιμών των κριτηρίων γίνεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε ηχομόνωση, ηχοπροστασία κάθε χώρου κύριας χρήσης. Η επιλογή ακολουθεί τις τιμές των χώρων με περισσότερο αυξημένες απαιτήσεις, έτσι ώστε να καλύπτονται και οι απαιτήσεις των άλλων χώρων.
- Οι τιμές της στήλης 9 αφορούν μόνο την επιφάνεια έδρασης των μηχανημάτων.

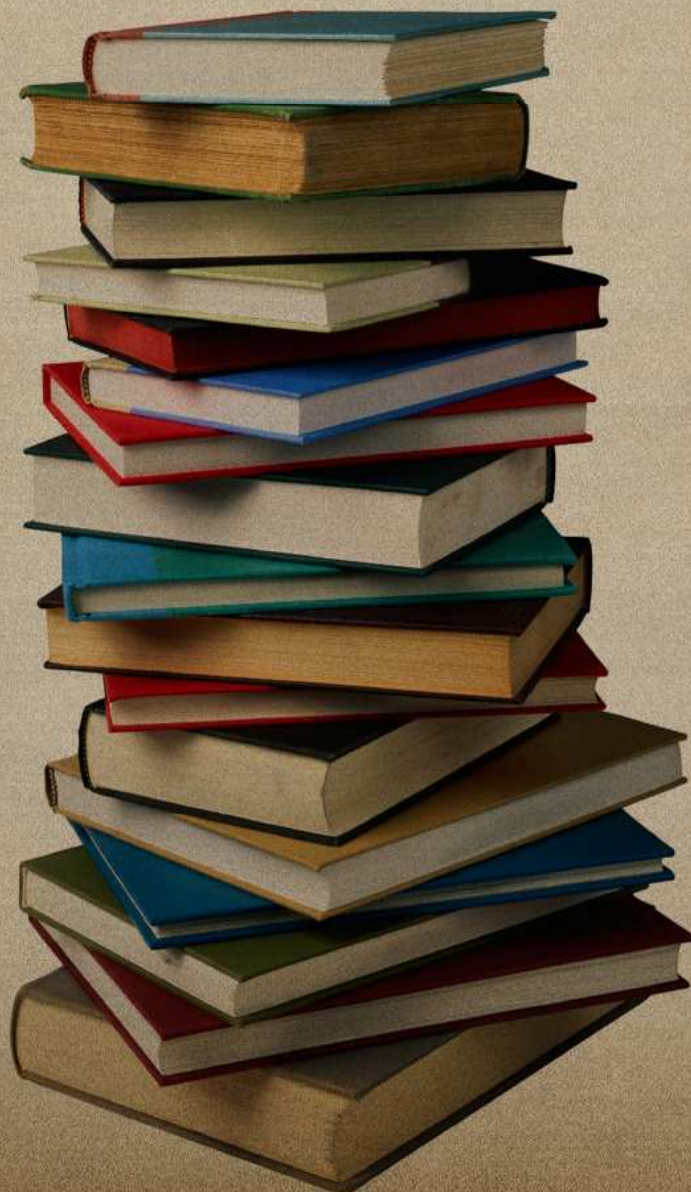
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Σχέση μεταξύ  $R'_w$  &  $R'_w$ 

$R'_w$ (dB)	$R'_w$ (dB)
έως 42	$R'_w + 0$
από 43 έως 48	$R'_w + 2$
από 48 έως 52	$R'_w + 3$
από 53 έως 55	$R'_w + 4$
από 56 έως 60	$R'_w + 6$

9. Οι αποδεκτές κατασκευαστικές λύσεις είναι αυτές που αναφέρονται στις ισχύουσες κάθε φορά τεχνικές οδηγίες. Σε περίπτωση κατασκευαστικών λύσεων που δεν περιλαμβάνονται σε τεχνικές οδηγίες, απαιτούνται εργαστηριακές μετρήσεις, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου αυτού.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



## **Βιβλιογραφία:**

1. Σκαρλάτος Δημήτρης (Πάτρα 2003), Εφαρμοσμένη Ακουστική (δεύτερη έκδοση), εκδόσεις Φιλομάθεια, ISBN 960-87710-1-3.
2. Ευθυμιάτος Διονύσιος (Αθήνα 2007), Ακουστική & Κτιριακές Εφαρμογές – θεωρία και πράξη, εκδόσεις Παπασωτηρίου, ISBN 978-960-7530-94-3.
3. John M. Eargle (Μετάφραση: Συμεωνίδου Ειρήνη) (Αθήνα 1999), Μουσική Ακουστική Τεχνολογία (δεύτερη έκδοση), εκδόσεις «ΙΩΝ», ISBN 960-405-940-8.
4. Πρότυπο ΕΛΟΤ 263.1 της ορολογίας της ακουστικής.
5. Δρακόπουλος Παναγιώτης (Αθήνα 2008), Ακουστικός θόρυβος - μέτρηση, επιπτώσεις και αντιμετώπιση, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
6. Δρίβας Σ., Γκινάλας Τ., Βαφείδου Ε. (Αθήνα 2005), Ο θόρυβος στην εργασία. Φύση κίνδυνοι και προστασία, εκδόσεις ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., ISBN 960-7678-52-4.
7. Καραντωνάκη Αφροδίτη (Ρέθυμνο 2009), Η ηχορύπανση και οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ειδικότερα στην ακοή, Πτυχιακή εργασία, Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης – Παράρτημα Ρεθύμνου.
8. Εθνικό Τυπογραφείο.
9. Πασχαλίδου Στέλλα, Εφαρμοσμένη ακουστική Ι, Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων, Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης – Παράρτημα Ρεθύμνου.
10. Σκαρλάτος Δημήτριος (Αθήνα 2008), Δραστηριότητες του ΕΛΙΝΑ στην πρόβλεψη και αντιμετώπιση του κυκλοφοριακού θορύβου, Ημερίδα ΤΕΕ «Οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης στα αστικά κέντρα – Αναγκαία μέτρα και παρεμβάσεις».
11. Τσανακτσίδης Δ., Τσίτσουλας Δ. (Θεσσαλονίκη 2003), Σύγχρονα συστήματα εξοπλισμού των οδών, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
12. Κορωναίος Αιμ., Πουλάκος Γ. (Αθήνα 2005), Τεχνικά υλικά τόμος 2, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
13. Ζήσιμος Ιωάννης (Αθήνα 2008), Ηχομόνωση εγκαταστάσεων τόμος Α, εκδόσεις «Ηχοπαρέμβαση», ISBN 9789609306263.

14. ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. (Αθήνα 1999), Οδηγός νομοθεσίας για την προστασία του περιβάλλοντος, εκδόσεις ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.
15. Raymond D. Berendt, And Others (Washington D.C. 1976), Quieting: A Practical Guide to Noise Control. NBS HandBook 119, Institution National Bureau of Standards.
16. Συγκολίτου Έφη (Αθήνα 2007), Περιβαλλοντική Ψυχολογία, εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα.
17. Μανιού - Βακάλη Μαρία, (Θεσσαλονίκη 1995), Μάθηση – Μνήμη – Λήθη, εκδόσεις Γραφικές Τέχνες Α.Ε.
18. Weinstein C. S., David T. G. (New York 1987), Spaces for children: The built environment and child development, Plenum press, ISBN 0306424231.
19. Allan W. Wicker (Cambridge 1984), An introduction to ecological psychology, Cambridge University Press, ISBN 0521319749.

## **Διαδικτυακές Πηγές:**

1. <http://www.translatum.gr/forum/index.php?topic=121841.0> (3-8-11).
2. <http://artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/UI/1.0/Display/artemis.ntua.ece/DT2008-0242> (3-8-11).
3. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%87%CE%BF%CF%82> (11-8-11).
4. [http://www.elinyae.gr/el/lib\\_file\\_upload/thorivos.1138629114265.pdf](http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/thorivos.1138629114265.pdf) (11-8-11).
5. <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/mta/2009/KarantonakiAfroditi/document.tkl> (11-8-11).
6. <http://www.et.gr/> (9-8-11).
7. [http://europa.eu/documentation/legislation/index\\_el.htm](http://europa.eu/documentation/legislation/index_el.htm) (9-8-11).
8. <http://www.caroto.gr/2009/02/11/the-art-of-noise/> (7-8-11).
9. <http://www.noise-control.gr/%CE%9F%CE%B4%CE%BF%CF%83%CF%84%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1.htm> (7-8-11).
10. [http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301\\_skarlatos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2301/m2301_skarlatos.pdf) (7-8-11).
11. <http://www.tsanak.gr/roadequip.htm> (11-8-11).
12. <http://www.diasnews.com/syntag/fita1.htm> (11-8-11).
13. <http://www.kipologio.gr/2011/01/cupressocyparis-leylandii.html> (3-8-11).
14. [http://www.gardensandplants.com/gr/plant.aspx?plant\\_id=3289](http://www.gardensandplants.com/gr/plant.aspx?plant_id=3289) (7-8-11).
15. [http://www.realestatecorner.gr/el/article\\_groups/5/articles/241](http://www.realestatecorner.gr/el/article_groups/5/articles/241) (11-8-11).
16. [http://www.alto.gr/?pname=products\\_category&la=1&cat\\_id=62](http://www.alto.gr/?pname=products_category&la=1&cat_id=62) (11-8-11).
17. <http://monosimacon.blogspot.com/> (9-8-11).
18. [http://www.window.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=79&Itemid=141](http://www.window.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=79&Itemid=141) (3-8-11).

19. <http://www.alunet.gr/LinkClick.aspx?fileticket=F%2FUyV3cE%2B8g%3D&tabid=36&mid=513> (11-8-11).
20. <http://www.ntua.gr/vitruvius/edu.htm> (7-8-11).
21. <http://www.dynaduct.gr/Noise%20Traps%20Greek.htm> (9-8-11).
22. <http://www.who.int/en/> (11-8-11).
23. <http://www.fhwa.dot.gov/> (3-8-11).
24. <http://www.ehow.com/ehow-home/> (7-8-11).
25. <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED145550.pdf> (11-8-11).
26. [http://www.casellausa.com/en/docs/manuals/cel/cel-400\\_slm\\_hb\\_i7.pdf](http://www.casellausa.com/en/docs/manuals/cel/cel-400_slm_hb_i7.pdf) (11-8-11).
27. <http://maps.google.com/> (11-8-11).
28. <http://www.casellameasurement.com/> (9-8-11).
29. <http://www.ypeka.gr/> (9-8-11).
30. <http://ixoripansi.gr/> (11-8-11).
31. [http://www.casellausa.com/en/docs/data/cel/cel\\_accessories/cel-282-284\\_brochure.pdf](http://www.casellausa.com/en/docs/data/cel/cel_accessories/cel-282-284_brochure.pdf) (7-8-11).
32. <http://www.michanikos.gr/showthread.php?t=14279&page=2> (11-8-11).
33. <http://www.trastic.gr/flatsheets.php> (11-8-11).
34. <http://www.iarc.fr/> (7-9-11).
35. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol43/volume43.pdf> (7-9-11).
36. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol81/volume81.pdf> (7-9-11).

