

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	
1.ΓΕΝΙΚΑ.....	σελ.5
2.ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	σελ.6
2.1 Ηχητικά κύματα στον αέρα (Αερομεταφερόμενος θόρυβος).....	σελ.6
2.2 Ήχος στα στερεά (Στερεομεταφερομενος ήχος).....	σελ.7
3.ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ Του ΗΧΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	σελ.11
4.ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	σελ.14
4.1 Βαθμος απορροφησης, ισοδυναμη ηχοαπορροφητικη επιφανεια,χρονος αντηχησης	σελ.14
5.ΜΕΤΡΗΣΗ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	σελ.16
5.1 Σταθμη ηχητικης πιεσης	σελ.17
5.2 Ενταση του ηχου –Ισχυς –Σταθμη ηχητικης ισχυος.....	σελ.18
5.3 Πραξεις με σταθμες	σελ.19
5.4 Φασμα του ηχου.....	σελ.21
5.5 Σταθμισμενη Α-ηχοσταθμη.....	σελ.24
5.6 Ισοδυναμη συνεχης ηχοσταθμη Leq.....	σελ.25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΘΟΡΥΒΟΣ - ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

1.ΓΕΝΙΚΑ.....	σελ.26
2. ΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	σελ.26
3. Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	σελ.27
4. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	σελ.30
5. ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΡΟΛΗΨΗ.....	σελ.31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΟΔΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

1.ΓΕΝΙΚΑ.....	σελ.33
2.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	σελ.33
3.ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	σελ.35
4.ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.....	σελ.36
5.ΠΡΟΒΛΕΨΗ.....	σελ.40
5.1 Υπολογισμος της βασικης σταθμης θορυβου.....	σελ.41
5.2 Διορθωση ταχυτητας και ποσοστου βαρεων οχηματων.....	σελ.41
5.3 Διορθωση για την κλιση.....	σελ.42
5.4 Διορθωση λογω αποστασης από το δρομο.....	σελ.43
5.5 Δρομοι με στροφες.....	σελ.44
5.6 Λογισμικο.....	σελ.45
6.ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ.....	σελ.46
6.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού ηχοπετασμάτων.....	σελ.46

6.2 Υπολογισμός του ύψους.....σελ.47
6.3 Υπολογισμός του μήκους.....σελ.48
7. Οδηγίες για τη μέτρηση του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου.....σελ.49
8. Μετρητές Στάθμης Ήχου και Καμπύλες Ζύγισης Συχνότητας.....σελ.50
9. Βαθμονόμηση Μετρητών Ηχητικής Στάθμης (calibration).....σελ.51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4⁰

1.ΓΕΝΙΚΑ.....σελ.53
2.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....σελ.53
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....σελ.54
4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....σελ.56

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο οδικός κυκλοφοριακός θόρυβος αποτελεί σημαντικό παράγοντα όχλησης γιατί επιβαρύνει σημαντικά μέρος του πληθυσμού με υψηλές στάθμες θορύβου. Η οδική κίνηση συνεχώς αυξάνεται, καθώς νέοι μεγαλύτεροι δρόμοι κατασκευάζονται για να καλύψουν επιτακτικές ανάγκες διακίνησης. Έτσι, το πρόβλημα του οδικού θορύβου γίνεται ολοένα και πιο έντονο αν μάλιστα πάρουμε υπόψη ότι μείωση στην πηγή δε φαίνεται δυνατή.

Τις τελευταίες δεκαετίες ο θόρυβος θεωρείται ένα σημαντικό περιβαλλοντικό θέμα. Σε πολλές χώρες οι μελέτες που διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10-20 ετών έδειξαν ότι ένας μεγάλος αριθμός κατοίκων παραπονιούνται πως ζουν σ' ένα πολύ θορυβώδες περιβάλλον. Στην περίπτωση των αστικών περιοχών, πέρα από τις άλλες πηγές θορύβου, αυτά τα παράπονα οφείλονται κυρίως σε θόρυβο που προκαλείται από τα μέσα μεταφοράς, π.χ. θόρυβος τρένων, αεροπλάνων με τον πρώτο να είναι η πιο σημαντική πηγή θορύβου στις περισσότερες περιπτώσεις.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να δούμε σε τι στάθμες κυμαίνετε ο οδικός κυκλοφοριακός θόρυβος αν οι στάθμες αυτές είναι επιβλαβείς για τον άνθρωπο και επίσης αν τα διάφορα μέτρα που λαμβάνει η τροχαία και το κράτος έχουν μειώσει τον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο.

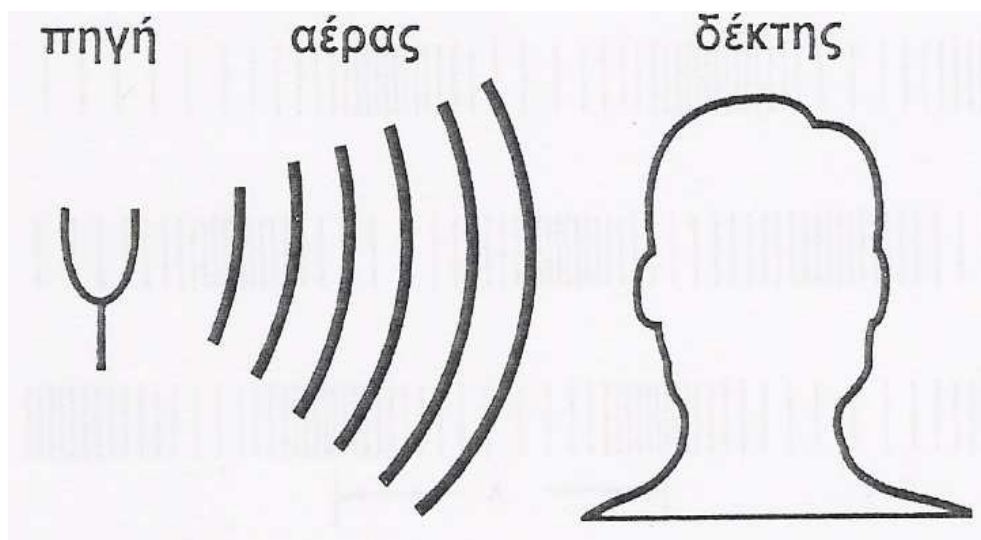
Στο ξεκίνημα της πτυχιακής εργασίας γίνεται μια εισαγωγή γενικά στο πρόβλημα του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου, το στόχο που έχει η εργασία αυτή καθώς και τον τρόπο με τον οποίο επιτεύχθηκε. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου το πως διαδίδεται αυτός, διάφορες κλίμακες θορύβου και διαβαθμίσεις καθώς και το πως μπορεί να μετρηθεί ο ήχος. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα γενικά του θορύβου και οι επιπτώσεις του. Στο τρίτο κεφάλαιο θα μας απασχολήσουν τα χαρακτηριστικά του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου η νομοθεσία που υπάρχει το πως γίνεται η μέτρηση του καθώς και τα μέτρα ηχοπροστασίας που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση του. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο που είναι και το πιο ουσιώδες περιγράφεται το μέγεθος του προβλήματος, παρουσιάζονται μετρήσεις. Προτείνονται κάποια μέτρα αντιμετώπισης, γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τέλος βγαίνουν τα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ-ΘΟΡΥΒΟΥ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο "ήχος" καταλαβαίνει κανείς κατ' αρχήν κάθε τι που διεγείρει το αισθητήριο της ακοής. Προσεκτικότερη όμως εξέταση δείχνει ότι μεταξύ ηχητικής πηγής και αισθητήριου ακοής μεσολαβεί πάντα ένα ελαστικό μέσο (συνήθως ο αέρας) που είναι απαραίτητο για τη διάδοση του ήχου. Μέσα στο ελαστικό μέσο ο ήχος διαδίδεται με τη μορφή κυμάνσεων των ηχητικών κυμάτων (Σχ. 1). Σαν "ήχο" επομένως μπορεί να ορίσει κανείς γενικά μηχανικές ταλαντώσεις που η συχνότητα τους βρίσκεται μέσα στην περιοχή από 16Hz μέχρι 20KHz, που αποτελεί και την περιοχή διέγερσης του ανθρώπινου αισθητήριου της ακοής.



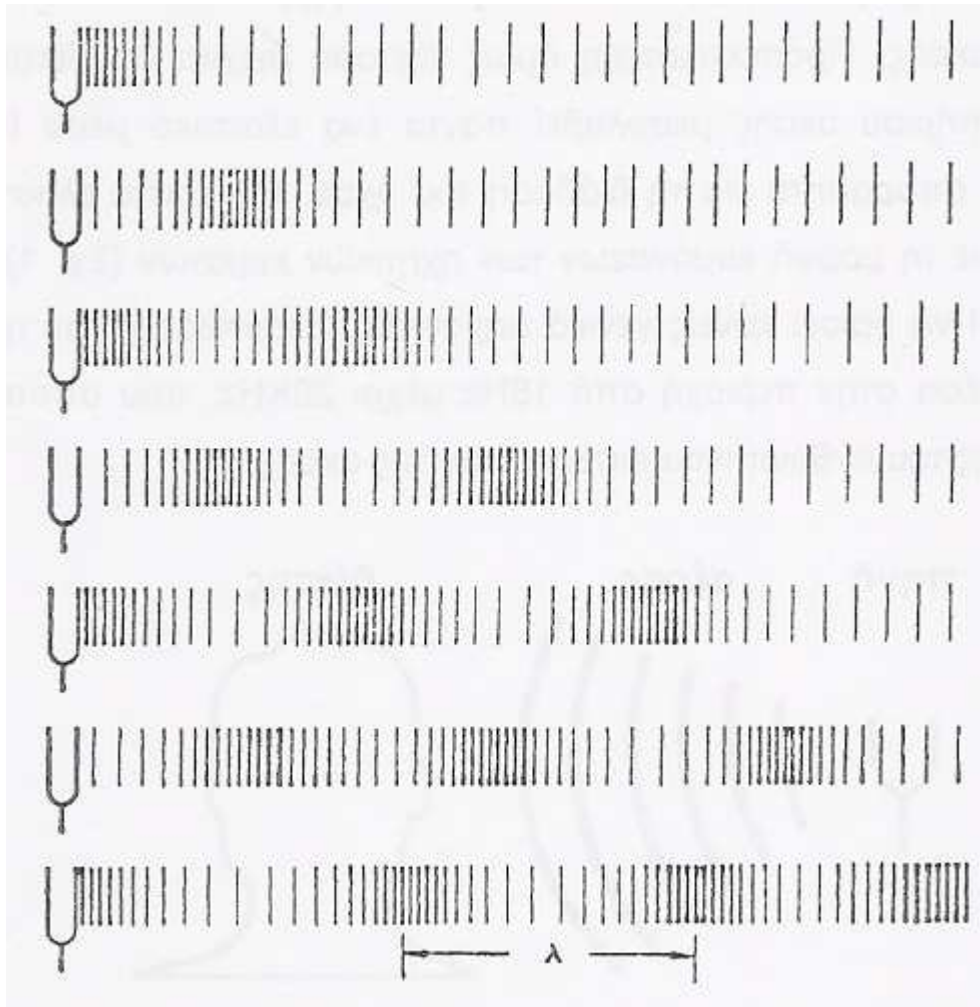
Σχήμα 1. Διάδοση ηχητικών κυμάτων

Ανάλογα με το ελαστικό μέσο που διαδίδονται τα ηχητικά κύματα, διακρίνει κανείς τον ήχο στα αέρια και στα υγρά (ρευστά), που η συμπεριφορά τους ως προς τη διάδοση του ήχου είναι βασικά η ίδια, και τον ήχο στα στερεά. Ο βασικός αυτός διαχωρισμός είναι απαραίτητος γιατί, εξ αιτίας της διαφορετικής δομής των μέσων έχουμε και διαφορετικά βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες.

2. ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

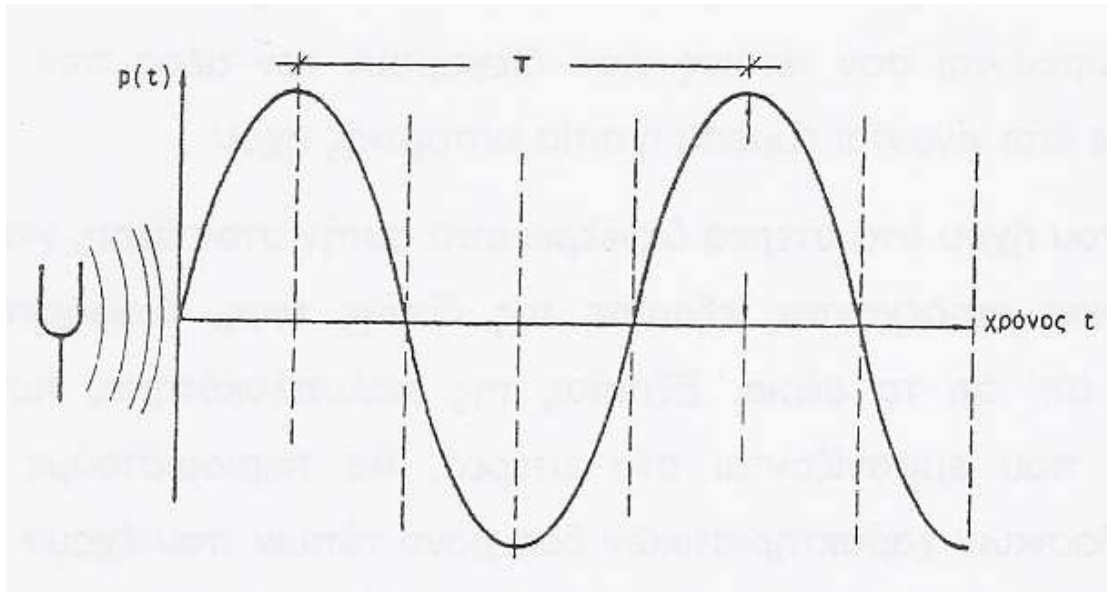
2.1 Ηχητικά κύματα στον αέρα (Αερομεταφερόμενος θόρυβος)

Τα ηχητικά κύματα στον αέρα προκαλούνται από τοπικές χρονικές μεταβολές της πίεσης στην περιοχή της ηχητικής πηγής και έχουν σαν αποτέλεσμα μεταβολές στην πυκνότητα του αέρα, την εμφάνιση δηλ. πυκνωμάτων και αραιωμάτων. Η διάδοση αυτών των πυκνωμάτων και αραιωμάτων στον αέρα (και γενικότερα σ' ένα ρευστό) αποτελεί τον ήχο στον αέρα (Σχ. 2).



Σχήμα 2. Διάδοση του ήχου στον αέρα.

Το χαρακτηριστικό μέγεθος στην περίπτωση της διάδοσης του ήχου στον αέρα είναι η στιγμιαία ηχητική πίεση $p(i)$, η πίεση δηλ. που προκύπτει αν στην στατική πίεση (που συνήθως είναι η ατμοσφαιρική) προστεθεί η μεταβολή της πίεσης που δημιουργεί η ηχητική πηγή (Σχ. 3).



Σχήμα 3. Μεταβολή της πίεσης από τον ήχο ενός διαπασών.

Όπως σε κάθε περιοδικό φαινόμενο έτσι και στην περίπτωση των ηχητικών κυμάτων ορίζεται η συχνότητα f που είναι ο αριθμός των επαναλήψεων του φαινομένου (στην προκειμένη περίπτωση η μεταβολή της πίεσης) στη διάρκεια ενός sec. Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι οι κύκλοι ανά δευτερόλεπτο cycles/s δηλ. το Hertz(Hz) Αντίστοιχα ως περίοδος T ορίζεται ο απαιτούμενος χρόνος για τη συμπλήρωση ενός κύκλου (Σχ. 3). Τέλος, το μήκος κύματος λ είναι το διάστημα που διανύει το κύμα σε χρόνο ίσο με την περίοδο.

Βασικό μέγεθος για την περιγραφή της διάδοσης του ήχου στον αέρα είναι και η ταχύτητα διάδοσης c . Αυτή δίνεται από τη σχέση

$$c = \sqrt{\gamma \frac{\rho_0}{\rho}}$$

όπου ρ_0 η στατική πίεση, ρ η πυκνότητα του αέρα (ή γενικότερα του ρευστού) και γ ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων, που για τον αέρα ειδικά έχει την τιμή 1.4. Για κανονικές συνθήκες (20°C, 1 atm), η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα προκύπτει ίση με 344m/s. Ανάμεσα στα τρία μεγέθη f, λ και c που περιγράφουν τα ηχητικά κύματα ισχύει η σχέση

$$c = \lambda * f.$$

2.2 Ήχος στα στερεά (Στερεομεταφερόμενος ήχος)

Τα ηχητικά κύματα στον αέρα είναι άμεσα αντιληπτά από το ανθρώπινο αισθητήριο της ακοής, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο με τα κύματα στα στερεά. Για το λόγο αυτό οι ταλαντώσεις στα στερεά δεν αποτελούν "ήχο" κάτω από τη στενή έννοια, αλλά θεωρούνται σαν τέτοιος γιατί διεγείρουν τον αέρα που βρίσκεται σ' επαφή μ' αυτά και έτσι γίνονται έμμεσα η αιτία εκπομπής ήχου.

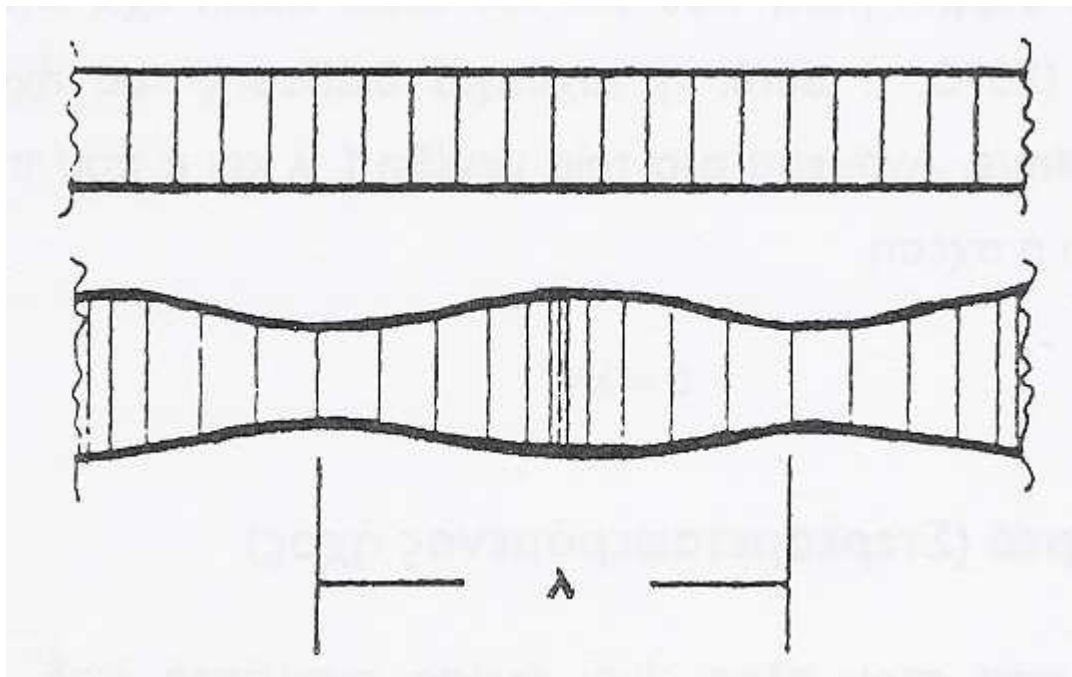
Η διάδοση του ήχου στα στερεά διαφέρει από αυτήν στον αέρα, γιατί τα στερεά σαν ελαστικά μέσα επιδέχονται, εξαιτίας της δομής τους, διαφορετικού είδους παραμορφώσεις απ' ό,τι τα αέρια. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των διαφόρων τύπων κυμάτων που εμφανίζονται στα στερεά, θα περιοριστούμε απλά στην περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών δύο μόνο τύπων που έχουν σημασία για την Ακουστική. Οι δύο αυτοί τύποι κυμάτων, τα διαμήκη και τα εγκάρσια κύματα, είναι οι φορείς του στερεόφερτου ήχου και η αιτία εκπομπής ήχου από στερεά που διεγείρονται σε δονήσεις.

α. Διαμήκη κύματα

Το είδος αυτό κυμάτων εμφανίζεται σε στερεά σχήματος ράβδου και παρουσιάζει ομοιότητες με τα ηχητικά κύματα στον αέρα. Στην περίπτωση των διαμηκών κυμάτων η διεύθυνση διάδοσης τους συμπίπτει με τη διεύθυνση των ταλαντώσεων. Όπως φαίνεται στο Σχ. 4 η διεύθυνση αυτή συμπίπτει με τον άξονα της ράβδου. Η

ταχύτητα διάδοσης των διαμηκών κυμάτων δίνεται από τη σχέση $c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας και ρ η πυκνότητα του υλικού. Τιμές της ταχύτητας διάδοσης c_L καθώς και άλλων χαρακτηριστικών για διάφορα υλικά δίνονται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 4. Διαμήκη κύματα σε ράβδο.

β. Εγκάρσια κύματα

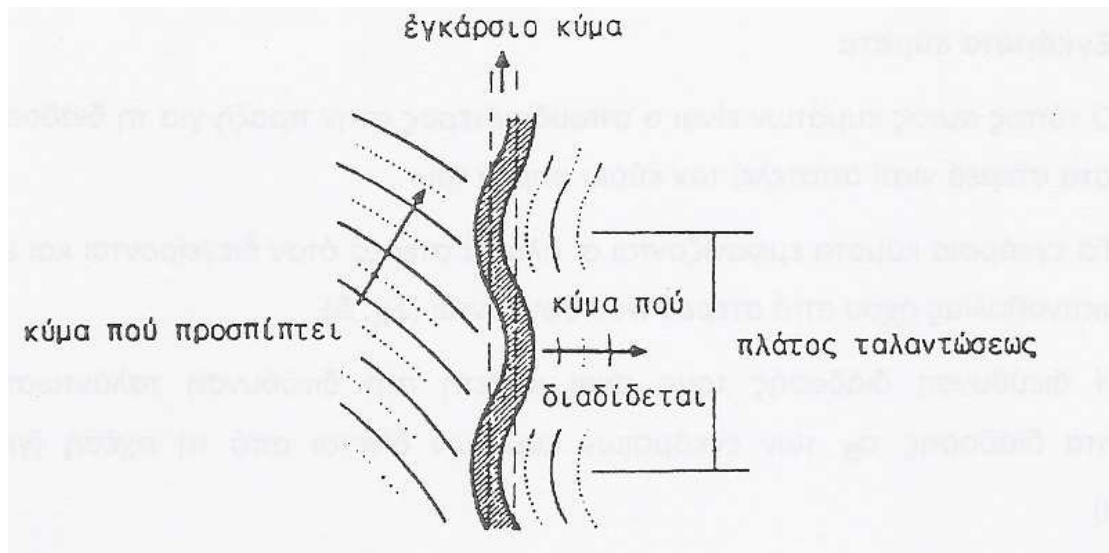
Ο τύπος αυτός κυμάτων είναι ο σπουδαιότερος στην πράξη για τη διάδοση του ήχου στα στερεά γιατί αποτελεί τον κύριο φορέα του.

Τα εγκάρσια κύματα εμφανίζονται σ' όλα τα στερεά όταν διεγείρονται και είναι η αιτία ακτινοβολίας ήχου από στερεά που δονούνται (Σχ. 5).

Η διεύθυνση διάδοσης τους είναι κάθετη στη διεύθυνση ταλάντωσης. Η ταχύτητα διάδοσης c_B των εγκάρσιων κυμάτων δίνεται από τη σχέση (για μια πλάκα)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Ταχύτητα διάδοσης διαμηκών κυμάτων σε διάφορα υλικά.

Υλικό	Πυκνότης ρ (GR/CM ³)	Μέτρο Ελαστικότητας E (dyn/cm ²)	cL_(cm/sec)
Αλουμίνιο	2,7	$72 \cdot 10^{10}$	$5,2 \cdot 10^5$
Μολύβι	11 ,3	$17 \cdot 10^{10}$	$1,25 \cdot 10^5$
Σίδηρος	7,8	$200 \cdot 10^{10}$	$5,05 \cdot 10^5$
Ατσάλι	7,8	$210 \cdot 10^{10}$	$5,1 \cdot 10^5$
Χρυσός	19,3	$80 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^5$
Χαλκός	8,9	$125 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^5$
Μπρούντζος	8,5	$95 \cdot 10^{10}$	$3,2 \cdot 10^5$
Ψευδάργυρος	7,13	$13 \cdot 10^{10}$	$1,35 \cdot 10^5$
'Ασβεστοκονίαμα	2,0	$28 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^5$
Άσφαλτος	1 ,8-2,3	$7,7 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^5$
Δρυς	0,7-1,0	$2 \cdot 10^{10}$	$1 ,5-3,5 \cdot 10^5$
Πεύκο	0,4-0,7	$1-5 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^5$
Φελλός	0,12-0,25	$0,03 \cdot 10^{10}$	$0,43 \cdot 10^5$
Γυψοσανίδες	1,2	$7 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^5$
Γυαλί	2,5	$60 \cdot 10^{10}$	$4,9 \cdot 10^5$
Νονοραν	0,6-0,7	$4,6 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^5$
Σοβάς	1,7	$4,4 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^5$
Μπετόν	2,3	$26 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^5$
Άμμος	1,5	$0,03 \cdot 10^{10}$	$0,1-0,17 \cdot 10^5$
Plexiglas	1,15	$5,6 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^5$
Τούβλο	1,9-2,2	$16 \cdot 10^{10}$	$2,5-3 \cdot 10^5$
Κοντραπλακέ	0,6	$5,4 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^5$



Σχήμα 5. Εγκάρσια κύματα σε ένα χώρισμα.

$$C_B = \sqrt[4]{\frac{\omega^2 B}{m}}$$

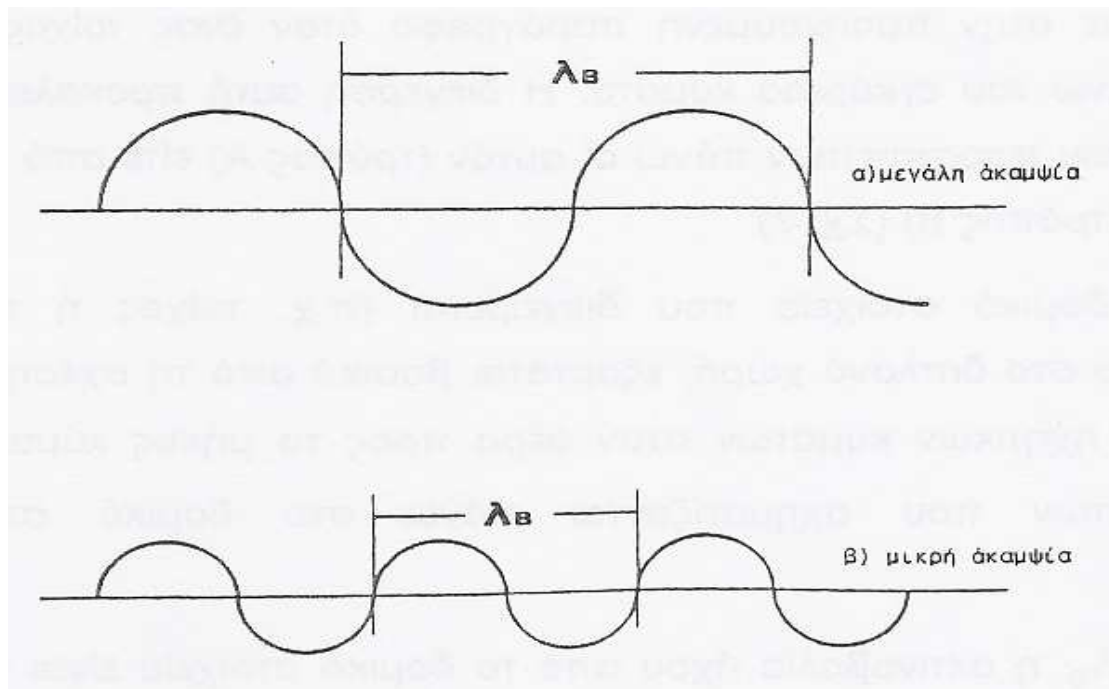
Όπου $B = \frac{Eh^2}{12}$ η ακαμψία της πλάκας, $\omega = 2\pi f$ η κυκλική συχνότητα, m η μάζα ανά μονάδα επιφανείας και h το πάχος της πλάκας.

Παίρνοντας υπόψη ότι $C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, η παραπάνω σχέση μπορεί να απλουστευθεί στην

$$C_B = \sqrt{1.8 * C_L * h * f}$$

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω εξισώσεις η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων εξαρτάται από τη συχνότητα διέγερσης και τα χαρακτηριστικά του δομικού στοιχείου και συγκεκριμένα την ακαμψία του B και την επιφανειακή του μάζα m .

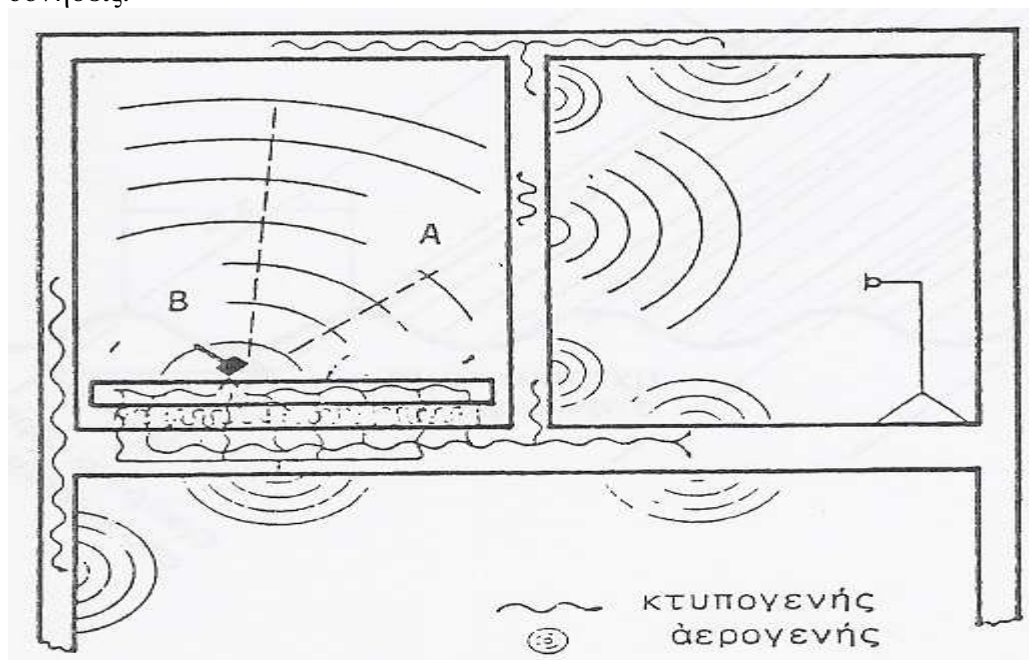
Έτσι για την ίδια συχνότητα διέγερσης και την ίδια επιφανειακή μάζα, το μήκος κύματος λ_B των εγκάρσιων κυμάτων που θα προκύψουν καθορίζεται από την ακαμψία της πλάκας (Σχ. 6), γεγονός που όπως θα δούμε στα επόμενα έχει ιδιαίτερη σημασία για την ηχομονωτική συμπεριφορά της.



Σχήμα 6. Εγκάρσια κύματα σε πλάκες διαφορετικής ακαμψίας.

3. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για τη μελέτη και κατανόηση της ηχομονωτικής συμπεριφοράς των διαφόρων δομικών στοιχείων είναι πολύ βασικό να γνωρίζει κανείς το μηχανισμό εκπομπής του ήχου από τα δομικά στοιχεία (όπως π.χ. ένας τοίχος) όταν αυτά διεγείρονται σε δονήσεις.



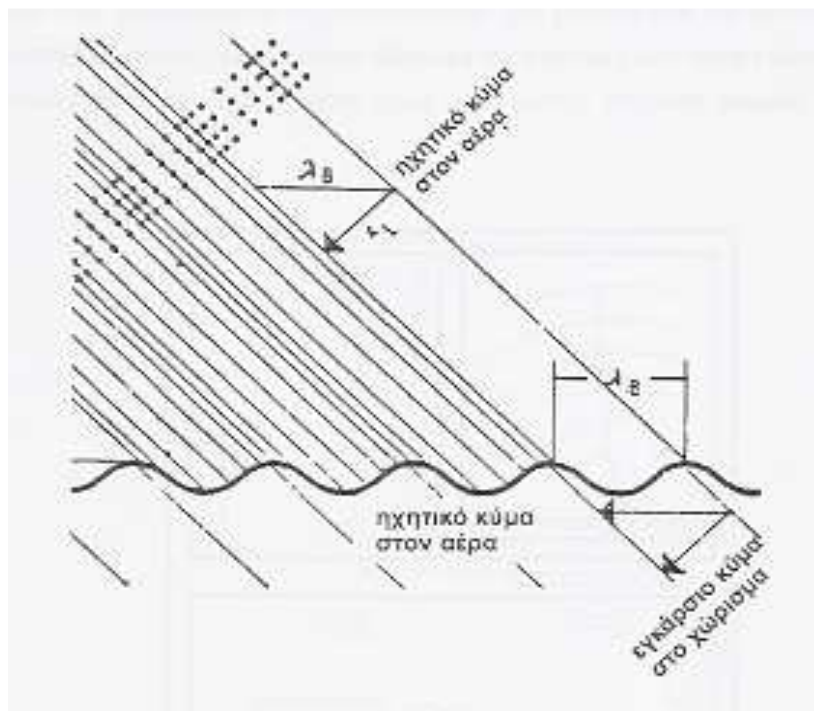
Σχήμα 7. Αλληλεπίδραση ηχητικών κυμάτων και δομικών στοιχείων.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο όταν ένας τοίχος διεγείρεται, σχηματίζονται πάνω του εγκάρσια κύματα. Η διέγερση αυτή προκαλείται είτε από ηχητικά κύματα που προσπίπτουν πάνω σ' αυτόν (τρόπος Α) είτε από εφαρμογή σ' αυτόν δυνάμεων (τρόπος Β) (Σχ. 7).

Το αν το δομικό στοιχείο που διεγείρεται (π.χ. τοίχος ή πάτωμα) θα ακτινοβολήσει ήχο στο διπλανό χώρο, εξαρτάται βασικά από τη σχέση του μήκους κύματος λ_0 των ηχητικών κυμάτων στον αέρα προς το μήκος κύματος λ_B των εγκάρσιων κυμάτων που σχηματίζονται πάνω στο δομικό στοιχείο. Πιο συγκεκριμένα:

α) για $\lambda_B < \lambda_0$ η ακτινοβολία ήχου από το δομικό στοιχείο είναι ελάχιστη και περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή που είναι κοντά στο δομικό στοιχείο (Σχ. 8).

β) αντίθετα για $\lambda_B > \lambda_0$ έχουμε έντονη ακτινοβολία του ήχου από το δομικό στοιχείο στο γύρω χώρο.



Σχήμα 8. Ακτινοβολία ήχου από χώρισμα που δονείται.

Είναι φανερό ότι η συνθήκη $\lambda_B = \lambda_0$ αποτελεί ένα χαρακτηριστικό όριο για την ακτινοβολία του ήχου από ένα χώρισμα και ισχύει για μια ορισμένη συχνότητα f_g που ονομάζεται οριακή συχνότητα. Επειδή

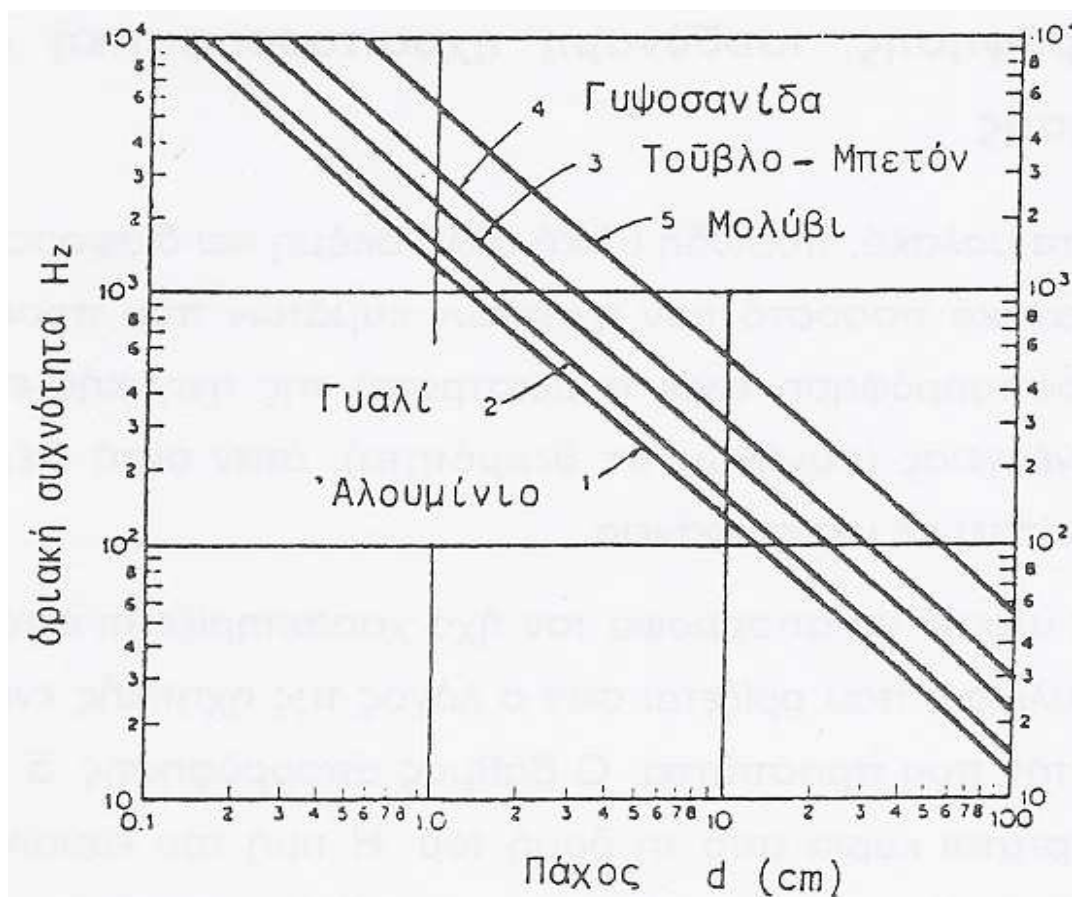
$$\lambda_B = 2\pi \sqrt{\frac{B}{\omega^2 m''}} \quad \text{και} \quad \lambda_0 = \frac{2\pi C}{\omega} \quad \text{για} \quad \lambda_B = \lambda_0 \quad \text{προκύπτει}$$

$$f_g = \frac{C^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B}}$$

όπου C η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα. Η οριακή συχνότητα αποτελεί ένα από τα βασικότερα μεγέθη της Δομικής Ακουστικής, γιατί έχει καθοριστικό ρόλο στην ηχομονωτική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων.

Όπως προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση η οριακή συχνότητα είναι συνάρτηση βασικών χαρακτηριστικών του δομικού στοιχείου και συγκεκριμένα του βάρους και της ελαστικότητας του. Για ένα χώρισμα πάχους h η οριακή συχνότητα δίνεται προσεγγιστικά και από τη σχέση

$$f_g = \frac{C^2}{1.8 * C_L * h}$$



Σχήμα 9 Διάγραμμα υπολογισμού της οριακής συχνότητας χωρισμάτων.

Στο Σχήμα 9 δίνεται ένα διάγραμμα από το οποίο μπορεί να υπολογισθεί εύκολα η οριακή συχνότητα διαφόρων χωρισμάτων σαν συνάρτηση του πάχους τους. Στην πράξη προσπαθούμε να σχεδιάσουμε τα χωρίσματα κατά τέτοιο τρόπο ώστε η οριακή τους συχνότητα να βρίσκεται έξω από την περιοχή των 100-3200Hz που ενδιαφέρει τη Δομική Ακουστική.

4. ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

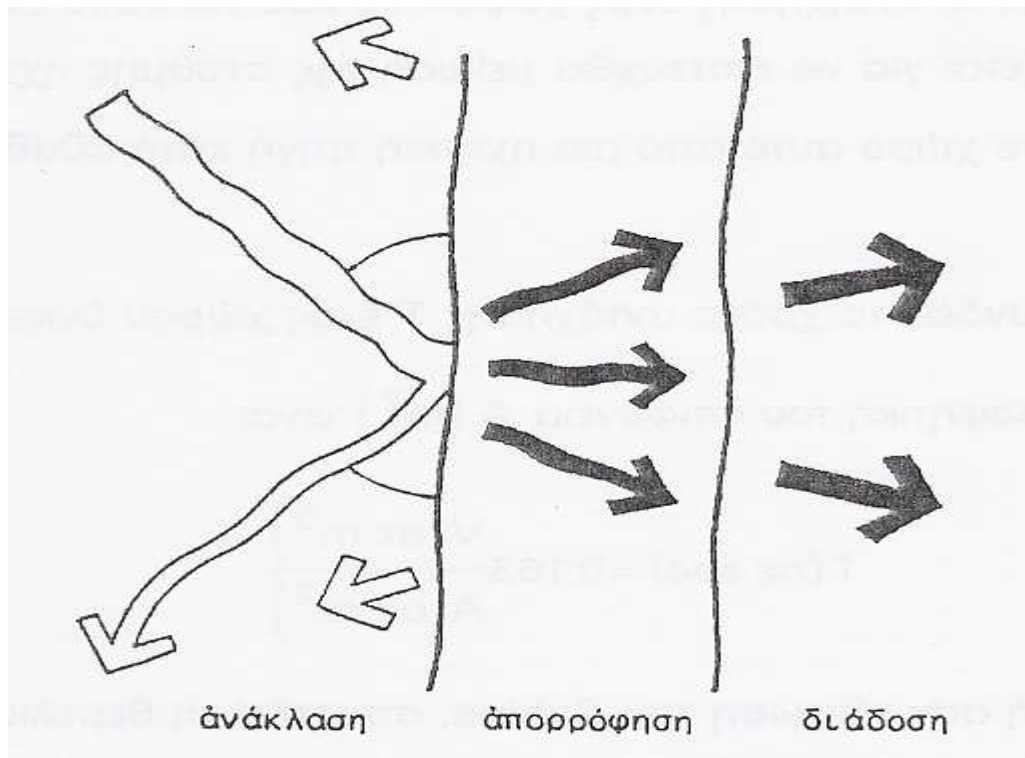
Σε πολλά προβλήματα μείωσης του θορύβου είναι δύσκολο ή και αδύνατο να λάβει κανείς μέτρα περιορισμού της εκπομπής θορύβου στην πηγή. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την απορρόφηση της εκπεμπόμενης ηχητικής ενέργειας, την μετατροπή της δηλαδή σε θερμότητα. Εξ άλλου η "ακουστική" συμπεριφορά ενός χώρου εξαρτάται βασικά από τις ηχοαπορροφητικές ιδιότητες των επιφανειών του. Για τους λόγους αυτούς είναι φανερό ότι η κατανόηση του μηχανισμού απορρόφησης του ήχου είναι πολύ σημαντική και αναγκαία και από άποψη μείωσης του θορύβου αλλά και ελέγχου και διαμόρφωσης της ακουστικής συμπεριφοράς ενός χώρου.

Παρακάτω θα εξετάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της ηχοαπορρόφησης και τις βασικές ηχοαπορροφητικές κατασκευαστικές διατάξεις.

4.1 Βαθμός απορρόφησης, ισοδύναμη ηχοαπορροφητική επιφάνεια, χρόνος αντήχησης

Είναι γνωστό ότι τα μαλακά, πορώδη υλικά αλλά ακόμη και διάφορα αντικείμενα απορροφούν ένα σημαντικό ποσοστό των ηχητικών κυμάτων που προσπίπτουν σ' αυτά. Εξ ορισμού ηχοαπορρόφηση είναι η μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας (συνήθως σε θερμότητα), όταν αυτή διέρχεται μέσα από ένα υλικό ή προσπίπτει σε μια επιφάνεια.

Η ικανότητα ενός υλικού να απορροφά τον ήχο χαρακτηρίζεται από τον βαθμό απορρόφησης α του υλικού, που ορίζεται σαν ο λόγος της ηχητικής ενέργειας που απορροφάται προς αυτήν που προσπίπτει. Ο βαθμός απορρόφησης α ενός υλικού είναι μέγεθος που εξαρτάται κύρια από τη δομή του. Η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ του 1 (στην περίπτωση τέλει απορρόφησης) και 0 (στην περίπτωση τέλει ανάκλασης).



Σχήμα 10. Σχηματική παράσταση της ηχοαπορρόφησης.

Ο βαθμός απορρόφησης \bar{a} είναι επίσης συνάρτηση της συχνότητας και της γωνίας πρόσπτωσης των ηχητικών κυμάτων. Στην πράξη δίνονται οι τιμές του \bar{a} για τις διάφορες οκτάβες στις αντίστοιχες κεντρικές τους συχνότητες 125, 250, 500, 1000, 2000 και 4000Hz. Οι τιμές που δίνονται είναι μέσοι όροι για όλες τις δυνατές γωνίες πρόσπτωσης στη συγκεκριμένη συχνότητα.

Η απορροφητική ικανότητα μιας επιφάνειας εκφράζεται σε sabins. Ένα sabin αντιπροσωπεύει επιφάνεια ενός m^2 βαθμού απορρόφησης $\bar{a}=1$. Η απορροφητική ικανότητα ενός χώρου εξαρτάται από την ηχοαπορροφητική ικανότητα των επιφανειών του (τοίχοι, δάπεδα κλπ) και από την ηχοαπορροφητική ικανότητα των αντικειμένων που πιθανόν βρίσκονται μέσα σ' αυτόν (π.χ. καθίσματα, έπιπλα, άνθρωποι κλπ). Έτσι η ηχοαπορροφητική ικανότητα ενός χώρου σαν σύνολο εκφράζεται με την βοήθεια της ισοδύναμης ηχοαπορροφητικής επιφάνειας A που ορίζεται από τη σχέση

$$A = \sum s * \bar{a}$$

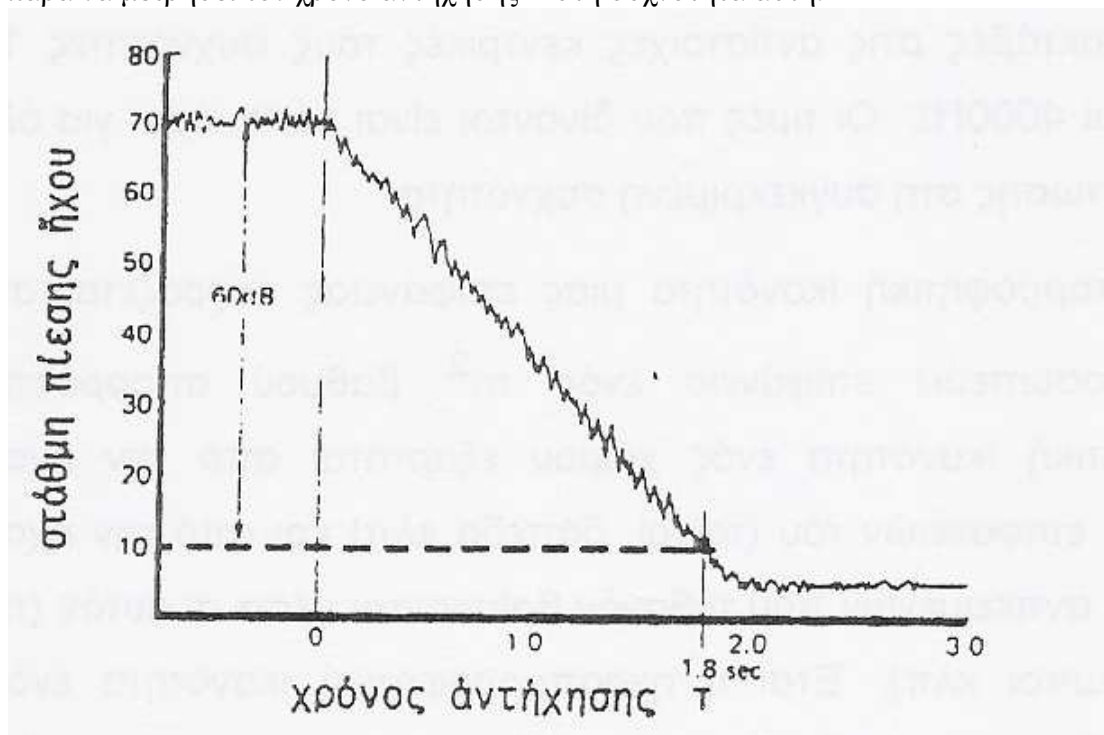
όπου s οι διάφορες επιφάνειες του χώρου και \bar{a} οι αντίστοιχοι βαθμοί απορρόφησης. Ένα άλλο βασικό μέγεθος που χαρακτηρίζει την ηχητική συμπεριφορά ενός χώρου και εξαρτάται άμεσα από την ηχοαπορροφητική του ικανότητα είναι ο χρόνος

αντήχησης T . Ως χρόνος αντήχησης ενός χώρου σε sec για κάθε συχνότητα ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να επιτευχθεί μείωση της στάθμης ηχητικής πίεσης L_p που δημιουργείται στο χώρο αυτό από μια ηχητική πηγή κατά 60dB μετά την παύση της.

Η σχέση που συνδέει το χρόνο αντήχησης T ενός χώρου όγκου V (m^3) με την ισοδύναμη ηχοαπορροφητική του επιφάνεια A (m^2) είναι :

$$T(\text{σε sec}) = 0.163 \frac{V(m^3)}{A(m^2)}$$

Η σχέση αυτή γνωστή σαν εξίσωση του Sabine, αποτελεί τη θεμελιώδη εξίσωση της ακουστικής των χώρων. Έτσι για να προσδιορίσει κανείς την ισοδύναμη ηχοαπορροφητική επιφάνεια A ενός χώρου για μια ορισμένη συχνότητα δεν έχει παρά να μετρήσει τον χρόνο αντήχησης T στη συχνότητα αυτή.



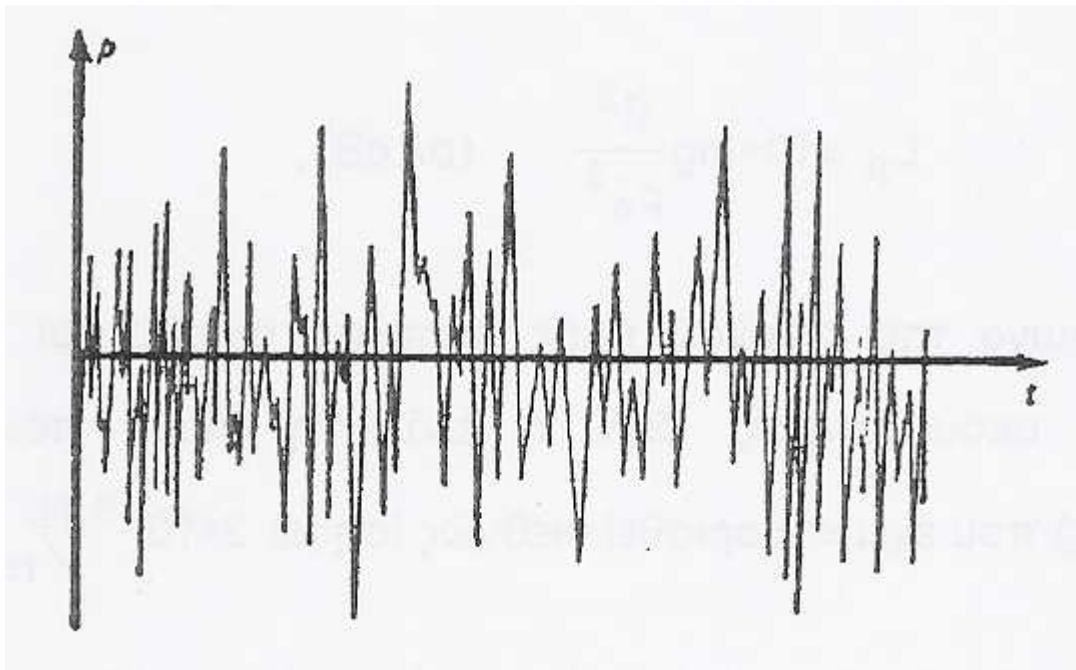
Σχήμα 11. Προσδιορισμός του χρόνου αντήχησης.

5. ΜΕΤΡΗΣΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Η μέτρηση και ο χαρακτηρισμός του ήχου γίνεται με την βοήθεια μεγεθών που διαφέρουν απ' αυτά που χρησιμοποιούνται σε διάφορους άλλους τομείς της τεχνικής. Η κυριότερη διαφορά συνίσταται στη χρησιμοποίηση μιας λογαριθμικής κλίμακας με μονάδα μέτρησης το Desibel(dB) αντί των συνηθισμένων γραμμικών κλιμάκων με μονάδες όπως Kg m, sec κλπ. Ο βασικός λόγος χρησιμοποίησης λογαριθμικής κλίμακας είναι η μεγάλη ποικιλία ηχητικών πηγών που υπάρχει. Η ποικιλία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να κυμαίνονται οι τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών σε μεγάλες περιοχές. Έτσι, π.χ. για την ηχητική πίεση μπορούμε να έχουμε, ανάλογα με την πηγή, τιμές από 20 έως 10.000.000 μPa . Για την αποφυγή επομένως πράξεων με μεγάλους εκθέτες είναι αναγκαία η χρήση λογαριθμικής κλίμακας.

5.1 Στάθμη ηχητικής πίεσης

Είδαμε στα προηγούμενα ότι το χαρακτηριστικό μέγεθος κατά τη διάδοση του ήχου είναι η στιγμιαία ηχητική πίεση $p(t)$, η πίεση δηλ. που προκύπτει αν στη στατική πίεση p_0 προστεθεί η μεταβολή πίεσης λόγω της παρουσίας της ηχητικής πηγής (Σχ. 12)



Σχήμα 12. Μεταβολή της ηχητικής πίεσης κατά τη διάδοση ενός θορύβου.

Όπως φαίνεται, η στιγμιαία ηχητική πίεση εξαιτίας της μορφής της δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χαρακτηρισμό ενός ήχου. Στη θέση της χρησιμοποιείται η ενεργός τιμή \tilde{p} που δίνεται από τη σχέση

$$\tilde{p} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

όπου T η χρονική διάρκεια της μέτρησης.

Μερικές χαρακτηριστικές τιμές της ενεργού ηχητικής πίεσης διαφόρων ηχητικών πηγών δίνονται στον Πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Τιμές ενεργού ηχητικής πίεσης

Είδος θορύβου	Ενεργός πίεση \tilde{p} {N/m ² }	Στάθμη ηχητικής πίεσης L _p (dB)
θρόισμα φύλλων	2.10 ⁻⁴	20
Συζήτηση	2.10 ⁻³	40
Ηλ.σκούπα σε δωμάτιο	2.10 ⁻²	60
Δυνατή φωνή (απόστ.1m)	2.10 ⁻¹	80
Μοτοποδηλατο (απόστ.10m)	2	100

Με τη βοήθεια της ενεργού ηχητικής πίεσης p μπορεί κανείς να καθορίσει τον ήχο ηχητικής πηγής ορίζοντας τη στάθμη ηχητικής πίεσης L_p από τη σχέση

$$L_p = 10 * \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (\text{σε dB})$$

όπου p^2 το τετράγωνο της ενεργού τιμής ηχητικής πίεσης και p_0 μια πίεση αναφοράς (κατώφλι ακουστότητας, δηλ. η ελάχιστη πίεση που διεγείρει το αισθητήριο της ακοής) που έχει καθορισθεί διεθνώς ίση με $2 * 10^{-5} \text{ N/m}^2$

5.2 Ένταση του ήχου - Ισχύς - Στάθμη ηχητικής ισχύος

Εκτός από την ηχητική πίεση υπάρχουν χαρακτηριστικά μεγέθη που περιγράφουν τη μεταφορά ενέργειας κατά τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων.

Έτσι, η ένταση του ήχου I κατά μία διεύθυνση παριστάνει την ισχύ P που διέρχεται από την μονάδα της επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στη διεύθυνση αυτή (μονάδα έντασης Watt/m^2). Για τη συνολική ισχύ P που ακτινοβολείται από μια ηχητική πηγή μέσα από μια επιφάνεια S θα ισχύει

$$P = \int_S I dS$$

Επειδή η ακουστική πίεση που ακτινοβολείται από τις συνήθεις ηχητικές πηγές είναι πολύ μικρή, ορίζεται για πρακτικούς λόγους η στάθμη ηχητικής ισχύος L_p (σε αντιστοιχία με τη στάθμη ηχητικής πίεσης) από τη σχέση

$$L_p = 10 * \log \frac{P}{P_0} \quad (\text{σε dB})$$

όπου P η ακτινοβολούμενη από την πηγή ισχύς και P_0 μια ισχύς αναφοράς ίση με 10^{-12} Watts . Αντιπροσωπευτικές τιμές της στάθμης ηχητικής ισχύος L_p για

διάφορες πηγές δίνονται στον Πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Στάθμη ηχητικής ισχύος διαφόρων πηγών

Πηγή	Ηχητική Ισχύς P (Watt)	Στάθμη ηχητικής ισχύος Lp(dB)
Συζήτηση	$10^{-6} \dots 10^{-5}$	60...70 I
Φωνές	$10^{-3} \dots 10^{-2}$	90...100
Μεγάλα μεγάφωνα	$10^1 \dots 10^2$	130...140
Εξαεριστήρες(1-100 Kw)	$10^{-2} \dots 10^0$	100...120
Ηλεκτροκινητήρας (800 Kw)	10^{-1}	110
Ντιζελοκινητήρας (600 Ps)	10^2	140
Αεριοθούμενα	$10^3 \dots 10^4$	150...160
Βαλβίδες ασφάλειας	$10^3 \dots 10^5$	150...170
Πύραυλοι	$10^4 \dots 10^8$	160...200

5.3 Πράξεις με στάθμες

Όταν έχει κανείς συγχρόνως περισσότερες από μία ηχητικές πηγές, θα πρέπει να προσθέσει την επίδραση τους, για να υπολογίσει την ολική στάθμη που δημιουργείται. Για τον υπολογισμό της συνολικής στάθμης δεν αθροίζουμε στάθμες αλλά ενεργές τιμές ηχητικής πίεσης.

Έστω ότι έχουμε 2 πηγές με στάθμες L_1 και L_2 αντίστοιχα. Τότε θα ισχύει

$$L_1 = 10 * \log \frac{P_1^2}{P_0^2}$$

$$L_2 = 10 * \log \frac{P_2^2}{P_0^2}$$

Λύνοντας για τις τιμές της ενεργούς ηχητικής πίεσης κάθε πηγής, εύκολα προκύπτει:

$$\frac{P_1^2}{P_0^2} = 10^{L_1/10} \quad \text{και} \quad \frac{P_2^2}{P_0^2} = 10^{L_2/10}$$

Προσθέτοντας τις τιμές της ηχητικής πίεσης βρίσκουμε για την ολική στάθμη

$$L_{ολ} = 10 * \log \left[\frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} \right] = 10 * \log \left[\frac{P_1^2}{P_0^2} + \frac{P_2^2}{P_0^2} \right] = 10 * \log \left[10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right]$$

Αν είχαμε n πηγές με στάθμες L_1, L_2, \dots, L_n η ολική στάθμη θα ήταν

$$L_{ολ} = 10 * \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \quad (\text{σε dB}).$$

Στην περίπτωση δύο όμοιων ηχητικών πηγών προκύπτει:

$$L_{ολ} = 10 * \log \left[\frac{P_1^2 + P_2^2}{P_0^2} \right] = 10 * \log \left[\frac{2P_1^2}{P_0^2} \right] = 10 * \log \left[\frac{P_1^2}{P_0^2} \right] + 10 * \log 2$$

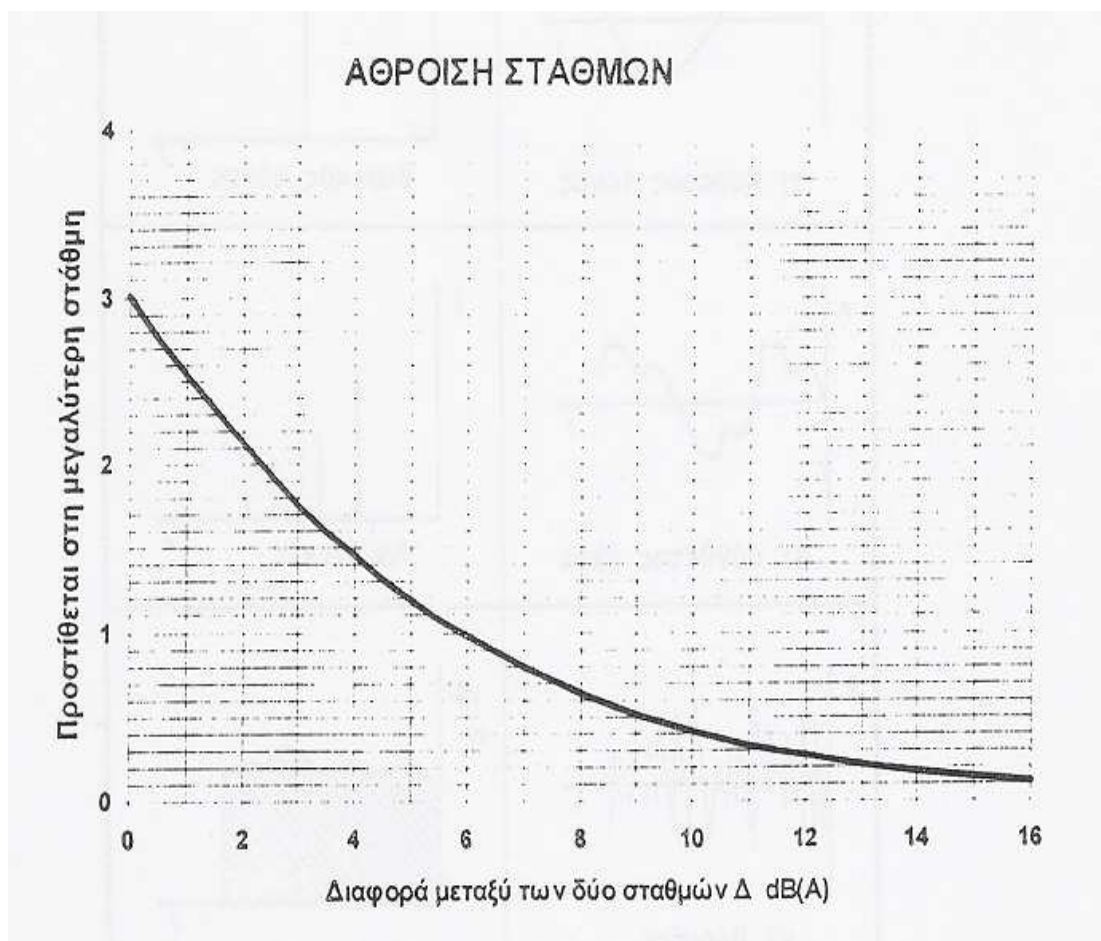
$$\text{ή } L_{ολ} = L_1 + 3 \text{ dB}$$

Συνεπώς, διπλασιασμός των πηγών οδηγεί σε αύξηση της στάθμης μόνο κατά 3dB.

Η παραπάνω διαδικασία άθροισης μπορεί εύκολα να γίνει με τη βοήθεια του διαγράμματος του Σχήματος 13.

Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος αναγράφεται η διαφορά μεταξύ των δύο σταθμών που θέλουμε να αθροίσουμε, ενώ στον κατακόρυφο άξονα δίνεται η διόρθωση που πρέπει να προστεθεί στη μεγαλύτερη στάθμη για να προκύψει η συνολική στάθμη.

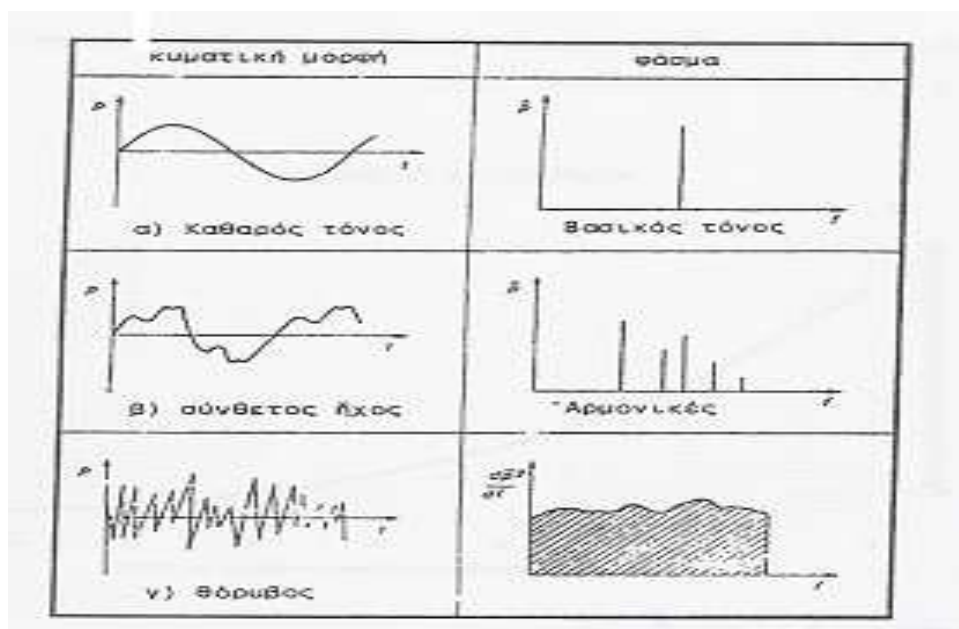
Έστω ότι έχουμε να αθροίσουμε δύο στάθμες $L_1=80\text{dB}$ και $L_2=85\text{dB}$. Επομένως, $\Delta L = L_2 - L_1 = 85 - 80 = 5\text{dB}$. Για τη διαφορά αυτή προκύπτει από το διάγραμμα διόρθωση 1.2dB. Άρα η ολική στάθμη που προκύπτει από τις δύο πηγές θα είναι $I_{ολ} = L_2 + 1.2 = 85 + 1.2 = 86.2\text{ dB}$.



Σχήμα 13. Πρόσθεση δύο σταθμών.

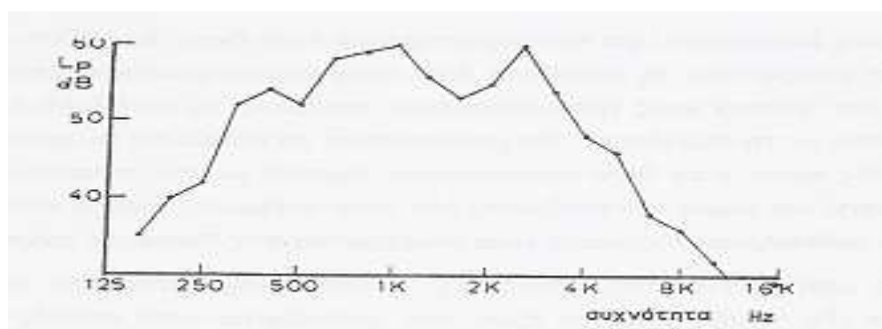
5.4 Φάσμα του ήχου

Είναι φανερό ότι η τιμή της στάθμης ηχητικής πίεσης L_p ή η αντίστοιχη της ηχητικής ισχύος δεν επαρκεί για τον χαρακτηρισμό ενός ήχου. Χρειάζεται να γνωρίζει κανείς και το φάσμα του, τη μεταβολή δηλ. ενός χαρακτηριστικού μεγέθους με τη συχνότητα. Σαν φάσμα ενός ήχου θεωρούμε συνήθως τη μεταβολή της στάθμης ηχητικής πίεσης με τη συχνότητα. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι το φάσμα καθορίζει το "είδος" ενός ήχου γιατί δίνει πληροφορίες σχετικά με την προέλευση του, τον τρόπο διάδοσης και κύρια την επίδραση του στον άνθρωπο, γιατί η ευαισθησία του ανθρώπινου αισθητήριου της ακοής είναι διαφορετική στις διάφορες συχνότητες. Ο ήχος μιας συχνότητας, όπως π.χ. ο ήχος ενός διαπασών, αποτελεί ένα καθαρό τόνο (Σχ. 14α). Αντίθετα ήχος που αποτελείται από πολλές συχνότητες αρμονικά συνδυασμένες (η μια προκύπτει από την άλλη με βάση κάποιο κανόνα) αποτελεί σύνθετο ήχο (Σχ. 14β) με φάσμα γραμμικό. Τέλος, ένας σύνθετος ήχος με τυχαίες συχνότητες αποτελεί θόρυβο (Σχ. 14γ) και παρουσιάζει φάσμα συνεχές.



Σχήμα 14. Παραδείγματα ήχων με τα αντίστοιχα φάσματα τους.

Στο Σχ. 15 φαίνεται το φάσμα του θορύβου που εκπέμπεται από ένα ηλεκτροκινητήρα ισχύος 11 KW.



Σχήμα 15. Φάσμα θορύβου ενός ηλεκτροκινητήρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Όρια και κεντρικές συχνότητες των οκταβικών και τριτοκταβικών ζωνών.

Όκτάβα			Τρίτο οκτάβας		
κατώτερο όριο ζώνης	κεντρική συχνότητα	ανώτερο όριο ζώνης	κατώτερο όριο ζώνης	κεντρική ή συχνότητα	ανώτερο όριο ζώνης
11	16	22	14.1	16	17.8
			17.8	20	22.4
			22.4	25	28.2
22	31.5	44	28.2	31.5	35.5
			35.5	40	44.7
			44.7	50	56.2
44	63	88	56.2	63	70.8
			70.8	80	89.1
			89.1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	173
			178	200	224
177	250	355	224	250	282
			232	315	355
			355	400	447
355	500	710	447	500	562
			562	630	708
			708	800	891
710	1000	1420	891	1000	1122
			1122	1250	1413
			1413	1600	1778
1420	2000	2840	1778	2000	2239
			2239	2500	2818
			2818	3150	3548
2840	4000	5680	3548	4000	4467
			4467	5000	5623
			5623	6300	7079
3680	8000	11360	7079	8000	8913
			3913	10000	11220
			11220	12500	14130
11360	16000	22720	14130	16000	17780

Για να πάρει κανείς το φάσμα του ήχου που εκπέμπεται από μια πηγή απαιτούνται ειδικές διατάξεις (αναλυτές) που περιέχουν κατάλληλα φίλτρα που ρυθμίζουν ανάλογα το διάστημα συχνοτήτων της ανάλυσης. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε προβλήματα Δομικής Ακουστικής είναι φίλτρα οκτάβας ή τρίτου οκτάβας.

Για τα φίλτρα αυτά υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ κατώτερου και ανώτερου ορίου συχνότητας για κάθε διάστημα και συγκεκριμένα ισχύει

$$\begin{aligned} \text{για το φίλτρο οκτάβας :} & \quad f_a = 2 f_k \\ \text{για το φίλτρο τρίτου οκτάβας :} & \quad f_a = \sqrt[3]{2} f_k \end{aligned}$$

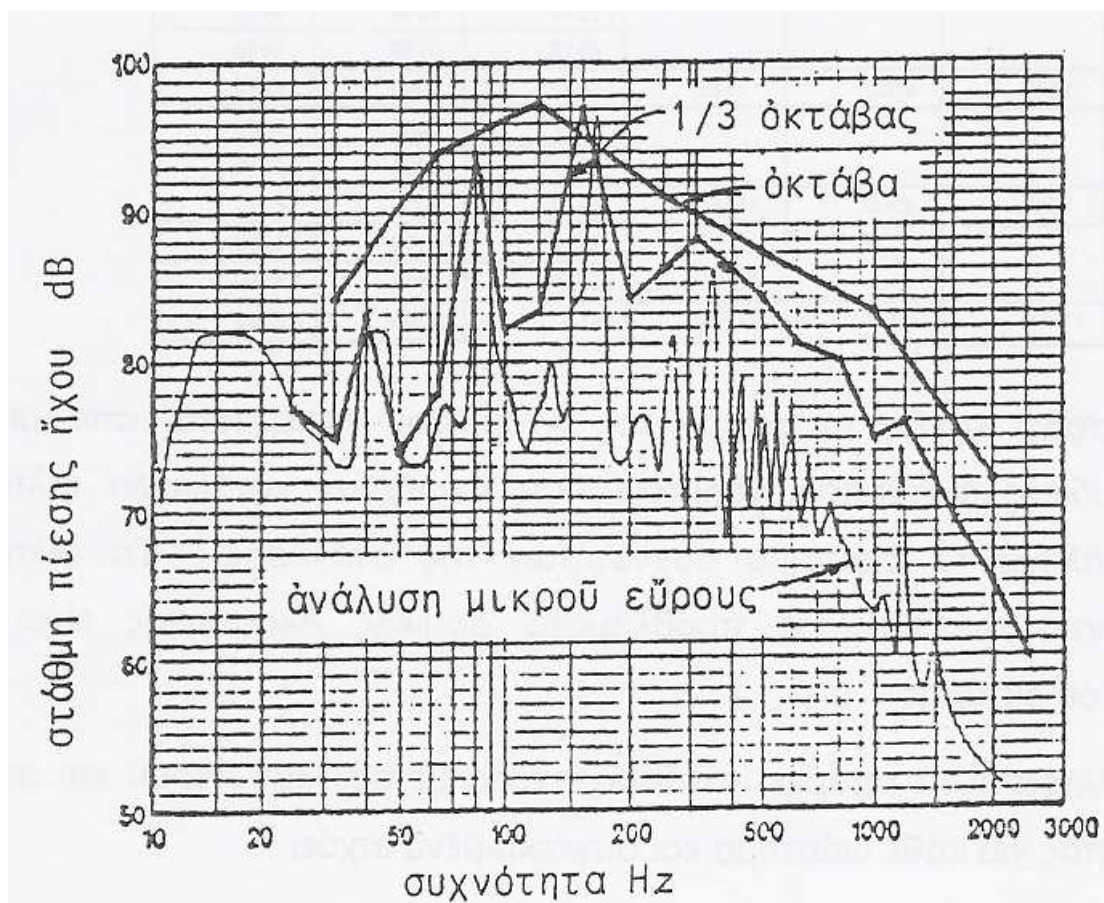
όπου f_a και f_k τα αντίστοιχα ανώτερα και κατώτερα όρια που καθορίζουν το πλάτος του διαστήματος συχνοτήτων.

Κατά την παράσταση του φάσματος, η τιμή της στάθμης που μετρήθηκε σε κάποια οκτάβα ή τρίτο οκτάβας σημειώνεται στην αντίστοιχη κεντρική συχνότητα που αντιστοιχεί στην οκτάβα ή το τρίτο οκτάβας.

Στον Πίνακα 4 δίνονται τα όρια των οκταβικών ή τριτοοκταβικών ζωνών.

Το φίλτρο που θα χρησιμοποιήσει κανείς για μια μέτρηση εξαρτάται βασικά από το είδος του θορύβου. Όσο πιο ιδιόμορφος είναι ο θόρυβος, με συνιστώσες σε συγκεκριμένες συχνότητες, τόσο μικρότερο εύρος φίλτρου θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί.

Στο Σχ. 16 φαίνεται το φάσμα του θορύβου μιας μηχανής με ανάλυση οκτάβας και 1/3 οκτάβας. Όπως μπορεί να δει κανείς η "ακρίβεια" των δύο φασμάτων είναι διαφορετική. Στο φάσμα 1/3 οκτάβας π.χ. φαίνονται οι κορυφές στα 100 και 150Hz ενώ στο οκταβικό δεν διακρίνονται. Το είδος του φίλτρου που θα χρησιμοποιήσει κανείς εξαρτάται επομένως και από την απαιτούμενη ακρίβεια. Στη Δομική Ακουστική χρησιμοποιείται συνήθως ανάλυση 1/3 οκτάβας.



Σχήμα 16. Σύγκριση φάσματος οκτάβας και 1/3 οκτάβας.

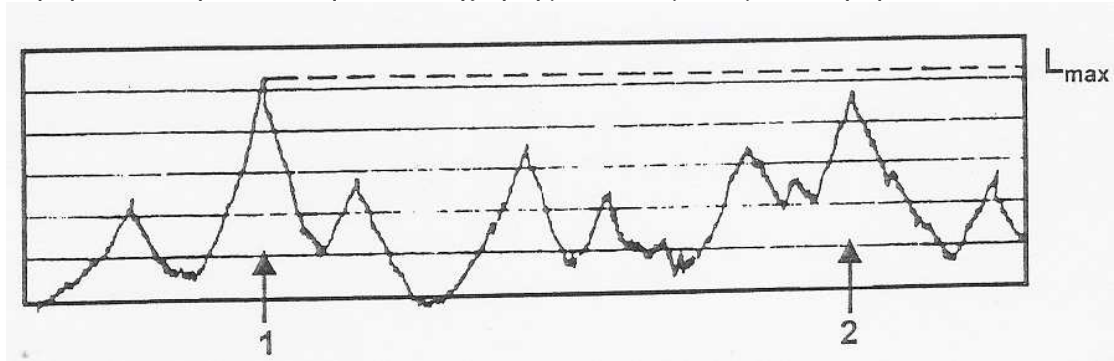
5.5 Σταθμισμένη A-ηχοστάθμη

Όπως προαναφέρθηκε το ανθρώπινο αισθητήριο της ακοής λειτουργεί στην περιοχή από 16Hz μέχρι 20KHz. Η ευαισθησία του όμως δεν είναι η ίδια σ' όλες τις συχνότητες. Συγκεκριμένα, το ανθρώπινο αυτί έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεσαίες συχνότητες και τη μέγιστη ευαισθησία στη συχνότητα των 1000Hz.

Για το λόγο αυτό και για να προσαρμοστεί ο μετρούμενος θόρυβος στον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου αυτιού χρησιμοποιείται το φίλτρο A. Το φίλτρο αυτό δίνει διαφορετική βαρύτητα σε κάθε περιοχή συχνοτήτων και προσεγγίζει σε μορφή τις ιδιομορφίες της ανθρώπινης ακοής σε διάφορες συχνότητες. Η στάθμη ηχητικής πίεσης που προκύπτει από τις μετρήσεις με φίλτρο A ονομάζεται σταθμισμένη A-Ηχοστάθμη L_A και μετριέται σε dB (A). Σχεδόν όλες οι μετρήσεις που αφορούν αστικό θόρυβο γίνονται σε dB(A).

5.6 Ισοδύναμη συνεχής ηχοστάθμη L_{eq} (Equivalent Continuous Sound Level)

Όλες οι πηγές αστικού θορύβου (π.χ. κυκλοφοριακός θόρυβος) προκαλούν μια κυμαινόμενη με το χρόνο στάθμη ηχητικής πίεσης (Σχ. 17). Επομένως ο θόρυβος αυτός δεν μπορεί να περιγραφεί και να αξιολογηθεί με τη βοήθεια της στάθμης ηχητικής πίεσης L_p . Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιείται η ισοδύναμη συνεχής ηχοστάθμη L_{eq} (Equivalent Continuous Sound Level) που σ' ένα ορισμένο χρονικό διάστημα έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο μ' αυτό του πραγματικού θορύβου. Συνεπώς η στάθμη L_{eq} αντιπροσωπεύει την ηχοστάθμη ενός αμετάβλητου θορύβου που προκαλεί την ίδια ενόχληση με τον κυμαινόμενο θόρυβο.



Σχήμα 17. Κυμαινόμενη με το χρόνο στάθμη ηχητικής πίεσης.

Η ισοδύναμη συνεχής ηχοστάθμη L_{eq} ορίζεται από τη σχέση

$$L_{eq} = 10 * \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_{A(t)}} dt \right] \quad \text{σε dB(A)}$$

όπου T η χρονική διάρκεια της μέτρησης και $L_{A(t)}$ η κυμαινόμενη χρονικά A -ηχοστάθμη.

Ο δείκτης L_{eq} δεν πρέπει να συγχέεται με την αριθμητική μέση τιμή γιατί παίρνει υπόψη και τις υψηλές στάθμες μικρής διάρκειας (π.χ. πέρασμα ενός φορτηγού) οι οποίες αν και είναι μικρής διάρκειας επηρεάζουν σημαντικά την στάθμη λόγω της λογαριθμικής εξάρτησης. Έτσι, αν π.χ. σε μια μέτρηση στο 10% του χρόνου μετρήθηκε στάθμη 80dB και στο 90% στάθμη 30dB προκύπτει ότι η μέση τιμή είναι 35dB ενώ η τιμή του L_{eq} είναι 70dB!

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΘΟΡΥΒΟΣ - ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης του περιβάλλοντος και επομένως της ποιότητας ζωής . Το είδος των επιπτώσεων του θορύβου στην ανθρώπινη υγεία ήταν για πολλά χρόνια βασικό πεδίο έρευνας και μελέτης. Σήμερα έχει επαρκώς τεκμηριωθεί ότι οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο διακρίνονται σε φυσιολογικές και ψυχολογικές . Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (W.H.O.), "υγεία" δεν θεωρείται μόνο η απουσία αρρώστιας αλλά γενικότερα η φυσική και ψυχολογική ευεξία.

Τρεις περιπτώσεις που συνδέουν το θόρυβο με την υγεία είναι αναγνωρισμένες πλέον διεθνώς :

- Ο θόρυβος επιδρά δυσμενώς στο σύστημα ακοής του ανθρώπου. Υπάρχει αποδεδειγμένα ένας βιολογικός μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο ο θόρυβος προκαλεί ουσιαστικές δυσμενείς επιπτώσεις στην ακοή με τη μορφή παροδικής ή μόνιμης ακουστικής απώλειας.
- Ο θόρυβος επιδρά δυσμενώς στην ψυχική και σωματική υγεία, δεδομένης της συνεισφοράς του στη δημιουργία άγχους (stress).
- Ο θόρυβος έχει καθοριστική επίπτωση στους ανθρώπους που ήδη πάσχουν από κάποια αρρώστια ή μη ομαλή φυσιολογία.

Ορισμένα μέρη του πληθυσμού είναι περισσότερο ευπαθή στις ψηλότερες στάθμες θορύβου, παραδείγματος χάριν αυτοί που πάσχουν από υπέρταση ή που έχουν ψυχικά προβλήματα κλπ. Τέλος, εκτός των παραπάνω επιπτώσεων που αφορούν στην υγεία, η ενόχληση από το θόρυβο έχει επιπτώσεις στην ικανότητα απόδοσης του ατόμου και κατ' επέκταση στην Εθνική Οικονομία.

ΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Οι πιο σημαντικές πηγές θορύβου, που ευθύνονται για την υποβάθμιση του ακουστικού περιβάλλοντος, είναι οι ακόλουθες :

- Η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς κάθε είδους
- Οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις
- Οι εγκαταστάσεις αναψυχής και διασκέδασης
- Οι οικιακές συσκευές

Ο περιοχές με ιδιαίτερο πρόβλημα υποβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος, όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, είναι σχεδόν όλες οι αστικές περιοχές της χώρας. Βεβαίως το πρόβλημα είναι σαφώς εντονότερο στα μεγάλα αστικά κέντρα όπως στην Αθήνα, (που συγκεντρώνει το 40% του πληθυσμού, το 50% της βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας, το 55 % των οχημάτων και το 70 % των Υπηρεσιών), στη Θεσσαλονίκη κλπ.

Εκτός από τις μεγάλες αστικές περιοχές, εντονότατο πρόβλημα θορύβου αντιμετωπίζουν και σχεδόν όλες οι τουριστικές περιοχές της χώρας. Οι συνέπειες φαίνεται ότι επηρεάζουν τόσο την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, με αποτέλεσμα τη μείωση του τουριστικού ρεύματος, όσο και την ποιότητα ζωής των μόνιμων κατοίκων αυτών των περιοχών. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος έχει εντάξει, στο Β' ΚΠΣ, ένα ειδικό έργο αντιμετώπισης του θορύβου στις τουριστικές περιοχές, με στόχο την διαμόρφωση στρατηγικής για την εφαρμογή δέσμης ειδικών μέτρων και παρεμβάσεων.

Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Τον θόρυβο μπορούμε να τον μετρήσουμε με βάση

- την ΕΝΤΑΣΗ του με μονάδα μέτρησης το ντεσιμπέλ dB

Η κλίμακα των ντεσιμπέλ κυμαίνεται από το μείον άπειρο □□□ έως το συν άπειρο □□□ αλλά το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ακούσει από τα 0 dB (φυσιολογική έναρξη ανθρώπινης ακοής) έως τα 130 dB (όριο που δημιουργεί πόνο στο αυτί). Ο τρόπος με τον οποίο αντιστοιχεί η κλίμακα των ντεσιμπέλ με τους καθημερινούς θορύβους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Παρατηρείστε ότι λόγω της λογαριθμικής φύσης του ντεσιμπέλ αύξηση 20 ντεσιμπέλ σημαίνει 100 φορές μεγαλύτερη ένταση του ήχου.

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

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

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

- την ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ με μονάδα μέτρησης το Hertz Hz

Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των ταλαντώσεων των ηχητικών κυμάτων ανά δευτερόλεπτο στον αέρα. Συνήθως η ακουστική συχνότητα είναι από 20 έως 20000 Hertz για ένα υγιές άτομο. Το ανθρώπινο αυτί όμως έχει διαφορετική ευαισθησία του ήχου σε διαφορετικές συχνότητες. Συνήθως είναι πιο ευαίσθητο σε συχνότητα 1000 Hz - 5000 Hz. Οι ήχοι των υψηλών συχνοτήτων είναι οι περισσότεροι επικίνδυνοι για την πρόκληση βαρηκοίας σε σχέση πάντα με την ένταση και την διάρκεια της έκθεσης.

- την ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ.

ΟΔΗΓΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΤΡΕΠΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

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

Δωμάτια ύπνου για προσχολική ηλικία	Διαταραχή ύπνου	30	Διάρκεια ύπνου	45
Σχολικές αυλές	Ενόχληση	55	Διάρκ.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

(ΠΗΓΗ : ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΥΓΕΙΑΣ)

ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ (ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ dB)

> 81	ΑΠΑΡΑΔΕΚΤΗ
81	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
80	ΠΟΛΥ ΘΟΡΥΒΩΔΗΣ

79	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
78	
77	ΘΟΡΥΒΩΔΗΣ
76	
75	
74	ΣΧΕΔΟΝ ΑΝΕΚΤΗ
73	
72	
71	ΚΑΛΗ
70	
69	
68	ΑΝΕΤΗ
< 68	

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Στα πλαίσια της αναβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος οι ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιούνται πρέπει να ακολουθούν το κλασσικό μοντέλο ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ:

- έλεγχος στην πηγή
- έλεγχος κατά τη διάδοση
- έλεγχος στον αποδέκτη .

Έκτος της Τεχνικής Πρόληψης πρέπει να γίνονται ενέργειες και στο επίπεδο του ανθρώπου – ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΡΟΛΗΨΗ.

Αναλυτικά η ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΛΗΨΗ περιλαμβάνει :

ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

- Μέτρα τροποποίησης της ίδιας της παραγωγικής διαδικασίας.
- Μέτρα για την βελτίωση του σχεδιασμού των μηχανών και των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών για τη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου (π.χ. αερόσφυρα με σιγαστήρα).

- Μέτρα βελτίωση του σχεδιασμού συνολικά της παραγωγικής διαδικασίας σε κάθε συγκεκριμένο χώρο, ώστε να εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση της ηχορύπανσης.

ΣΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

- Την κατασκευή καμπίνων χειρισμού - όταν είναι τεχνικά δυνατό - ηχομονωμένων, για την προστασία του εργαζομένου χειριστή.
- Μέτρα που εξασφαλίζουν - όπου είναι τεχνικά δυνατό - πλήρη ηχομόνωση της πηγής του θορύβου.
- Μέτρα που στοχεύουν στην αύξηση της απόστασης ανάμεσα στη πηγή του θορύβου και τον εργαζόμενο δέκτη.
- Μέτρα εφαρμογής κατάλληλων ηχοαπορροφητικών υλικών στα τοιχώματα, τις οροφές και τα δάπεδα των χώρων, με αυξημένο θόρυβο.

ΣΤΟ ΔΕΚΤΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.

Δηλαδή τον εργαζόμενο, που είναι εκτεθειμένος στο θόρυβο:

- Με τη χορήγηση ατομικών μέσων προστασίας όπως κατάλληλες για κάθε περίπτωση ΩΤΟΑΣΠΙΔΕΣ (έσχατο μέτρο).
- Την κυκλική εναλλαγή των εργαζομένων στις θέσεις εργασίας που είναι περισσότερο επιβαρημένες από τον θόρυβο.
- Τη

θέσπιση διακοπών - διαλειμμάτων ανάπαυσης - σε ήσυχους χώρους κατά την εργασία.

ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΡΟΛΗΨΗ

Αυτή περιλαμβάνει :

Την ενημέρωση - από τον Γιατρό Εργασίας - των εργαζομένων που εκτίθενται σε ψηλά επίπεδα θορύβου - άνω των 85 dB(A) - για τους κινδύνους που διατρέχει, η ακοή τους και η υγεία τους γενικότερα.

Την προληπτική ιατρική εξέταση του εργαζομένου πριν την οριστική τοποθέτηση του, σε θέση εργασίας που συνεπάγεται, έκθεση σε ισχυρό θόρυβο, μετά από χαρτογράφηση του χώρου και ακριβή προσδιορισμό της ηχοέκθεσης με τις απαραίτητες για τον σκοπό αυτό μετρήσεις. Αυτή η ιατρική εξέταση περιλαμβάνει: Λήψη Ιστορικού - Πλήρη κλινική εξέταση και ωτοσκόπηση – Ακοομετρικό έλεγχο , με τονικό ακοογράφημα στον εργαζόμενο.

- Τον υπολογισμό της δόσης του θορύβου που

δέχεται ο συγκεκριμένος εργαζόμενος, στη συγκεκριμένη θέση εργασίας προκειμένου να διαπιστωθεί, τυχόν υπέρβαση των θεσπισμένων - κάθε φορά - οριακών τιμών έκθεσης στο θόρυβο.

- Την υποβολή των εργαζομένων σε περιοδικό έλεγχο, με την διενέργεια επανειλημμένων ακουογραφημάτων. Η συχνότητα αυτών των εξετάσεων μπορεί να είναι κάθε 12 μήνες ή 5 χρόνια εφ'όσον η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζομένου είναι μικρότερη από 90 dB(A).
- Την τήρηση σχετικών αρχείων

από τον Γιατρό εργασίας για την διαχρονική εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την γνωστοποίηση τους στους ενδιαφερόμενους εργαζομένους κατατάσσοντας τους με βάση τα αποτελέσματα σ' ένα από τα παρακάτω στάδια της επαγγελματικής νευροαισθητικής βαρηκοίας.

- ΣΤΑΔΙΟ 0 απώλεια μικρότερη των 20 dB.
- ΣΤΑΔΙΟ 1 απώλεια από 20 - 40 dB.
- ΣΤΑΔΙΟ 2 απώλεια από 40 - 60 dB.
- ΣΤΑΔΙΟ 3 απώλεια ίση ή μεγαλύτερη από 60dB .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

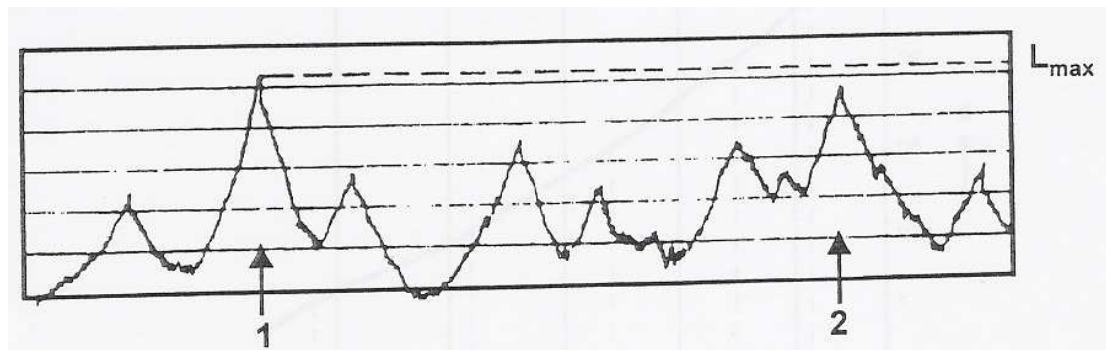
ΟΔΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο οδικός κυκλοφοριακός θόρυβος αποτελεί σημαντικό παράγοντα όχλησης γιατί επιβαρύνει σημαντικά μέρος του πληθυσμού με υψηλές στάθμες θορύβου. Η οδική κίνηση συνεχώς αυξάνεται, καθώς νέοι μεγαλύτεροι δρόμοι κατασκευάζονται για να καλύψουν επιτακτικές ανάγκες διακίνησης. Έτσι, το πρόβλημα του οδικού θορύβου γίνεται ολοένα και πιο έντονο αν μάλιστα πάρουμε υπόψη ότι μείωση στην πηγή δε φαίνεται δυνατή.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος προκαλεί μία κυμαινόμενη με το χρόνο στάθμη ηχητικής πίεσης. Ένα παράδειγμα καταγραφής οδικού κυκλοφοριακού θορύβου φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχήμα 1. Στάθμη ηχητικής πίεσης (SPL) οδικού κυκλοφοριακού θορύβου.

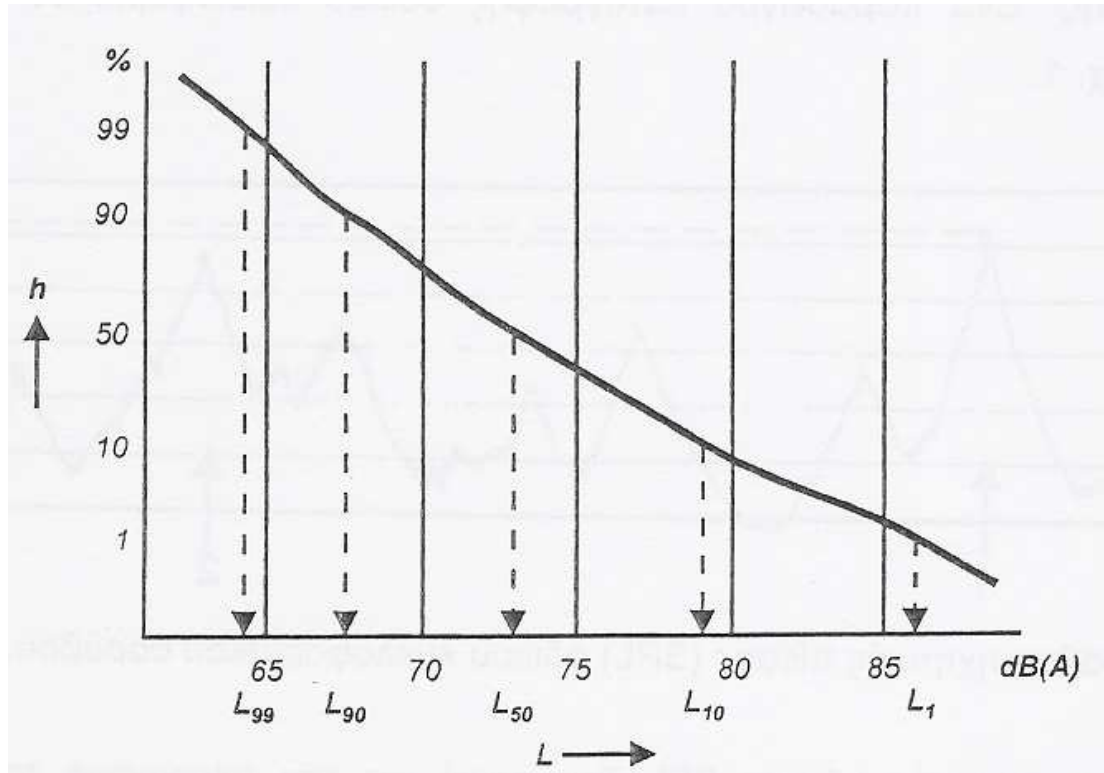
Η στάθμη ηχητικής πίεσης SPL δεν αρκεί για την περιγραφή του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου γιατί δεν παίρνει υπόψη της το φασματικό περιεχόμενο ούτε τη διακύμανση του θορύβου. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιείται η ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{eq} (Equivalent Continuous Sound Level) που σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα έχει το ίδιο ενεργειακό περιεχόμενο με αυτό του πραγματικού θορύβου.

Συνεπώς η στάθμη $L_{\theta\varsigma}$ αντιπροσωπεύει την ηχοστάθμη ενός αμετάβλητου θορύβου που προκαλεί την ίδια ενόχληση με τον κυμαινόμενο θόρυβο. Η ισοδύναμη στάθμη L_{eq} ορίζεται από τη σχέση

$$L_{eq} = 10 * \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_{A(t)}} dt \right] \text{ σε dB(A)}$$

όπου T είναι η χρονική διάρκεια της μέτρησης και $L_{A(t)}$ κυμαινόμενη χρονικά A-ηχοστάθμη.

Για την περιγραφή του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου χρησιμοποιούνται οι ποσοστομετρικοί δείκτες L_n (L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , κ.λ.π.) που προκύπτουν από στατιστική ανάλυση του θορύβου. Ο δείκτης L_n εκφράζει την στάθμη που ξεπερνιέται στο $n\%$ του χρόνου μέτρησης. Έτσι, για παράδειγμα η στάθμη L_{10} είναι η στάθμη που μετρήθηκε στο 10% του συνολικού χρόνου μέτρησης. Από τις στάθμες αυτές η L_1 αντιπροσωπεύει τις κορυφοτιμές του θορύβου, η L_{50} τη μεση τιμή και η L_{90} ή L_{95} τον θόρυβο βάθους (Σχ. 2).



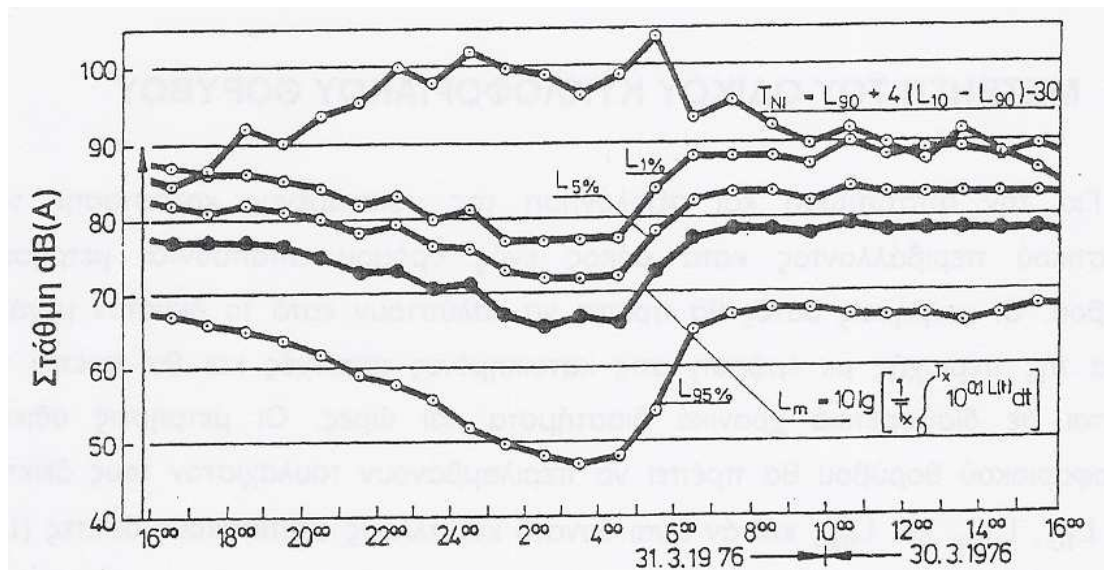
Σχήμα 2. 28 Ποσοστομετρικοί δείκτες.

Για την περιγραφή της ενόχλησης που προκαλείται από τον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο χρησιμοποιούνται οι παρακάτω δείκτες:

$$TNI(\text{Traffic Noise Index}) = L_{90} + 4(L_{10} - L_{90}) - 30 \text{ dB}$$

$$L_{NP} (\text{Noise Pollution Level}) = L_{eq} + 1.1(L_1 - L_{50})$$

Στο Σχ. 3 φαίνεται η σχέση μεταξύ των διαφόρων δεικτών που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση και αξιολόγηση του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου. Το διάγραμμα απεικονίζει τον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο κατά την διάρκεια ενός 24-ώρου. Βλέπει π.χ. κανείς ότι ο δείκτης L_{95} (θόρυβος βάθους) μειώνεται αισθητά τις βράδυνες ώρες ενώ αντίθετα ο δείκτης TNI (που αντιπροσωπεύει την ενόχληση) αυξάνεται αισθητά.



Σχήμα 3. Σχέση μεταξύ των δεικτών του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου.

3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Για την εκτίμηση του θορύβου που προέρχεται από τη λειτουργία αυτοκινητοδρόμων ταχείας κυκλοφορίας και άλλων οδών, η Ελληνική νομοθεσία (Υπ. Απ. 17252, ΦΕΚ 395/Β/19-6-92) καθορίζει τους παρακάτω δείκτες:

α) Ισοδύναμη Συνεχή Στάθμη Θορύβου L_{eq} και πιο συγκεκριμένα το δείκτη $L_{eq}(8.00$ έως 20.00 ωρ), τη στάθμη δηλαδή L_{eq} για τη χρονική περίοδο από 8.00 έως 20.00 ώρες.

β) Το δείκτη L_{10} (18 ωρ) που είναι η μέση τιμή των 18 ωριαίων τιμών του L_{10} (από 06.00 έως 24.00).

Και στις δύο περιπτώσεις το μετρούμενο μέγεθος είναι η Α-σταθμισμένη στάθμη ηχητικής πίεσης σε Desibel A ή dB(A). Ως ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των παραπάνω δεικτών κυκλοφοριακού θορύβου, καθορίζονται τα εξής:

α) Για τον δείκτη L_{eq} (08.00 έως 20.00) τα 67dB(A)

β) Για τον δείκτη L_{10} (18ωρ) τα 70dB(A).

Οι στάθμες αυτές πρέπει να μετρηθούν σε απόσταση 2m από την πρόσοψη των πλησιέστερων προς το οδικό έργο κτιρίων της πολεοδομικής ενότητας. Σε περιπτώσεις ύπαρξης ειδικών κτιρίων, π.χ. νοσοκομεία, κοινωνικά ιδρύματα κτλ, επιτρέπεται μείωση των παραπάνω ορίων κατά 5-10dB(A).

4.ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΠΟ ΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Ο θόρυβος από τα μέσα μεταφοράς αποτελεί διεθνώς την κυριότερη ενόχληση του αστικού πληθυσμού.

Σύμφωνα με τον ΟΟΣΑ

- το 50% των κατοίκων του Οργανισμού (πάνω από 330 εκατομ. άτομα) ζουν σε περιοχές όπου η στάθμη θορύβου ξεπερνά το όριο ενόχλησης
- το 15% ακόμη (πάνω από 100 εκατ.) σε περιοχές με στάθμη θορύβου που ξεπερνά το μέγιστο ανεκτό.
Η τελευταία αυτή κατηγορία αναμένεται να φτάσει το 25% μέχρι το 2000.

Σύμφωνα με τις πλέον πρόσφατες εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης (XI Γενική Διεύθυνση - Περιβάλλον, Μάρτιος 1994),

- το 20-25% περίπου του πληθυσμού των περισσότερο ανεπτυγμένων χωρών της Ένωσης ενοχλείται από το θόρυβο της οδικής κυκλοφορίας, ενώ
- το 19% του συνολικού πληθυσμού της ευρίσκεται σε περιοχές με υψηλές στάθμες θορύβου.

Έτσι, ο θόρυβος από την οδική κυκλοφορία θεωρείται ως η πλέον ενοχλητική πηγή θορύβου για τον αστικό πληθυσμό.

Βάσει των μέχρι τώρα μελετών και μετρήσεων του ΥΠΕΧΩΔΕ ποσοστό μεγαλύτερο του 60 % του πληθυσμού της Αθήνας και του Πειραιά, ζει με απαράδεκτα υψηλές στάθμες κυκλοφοριακού θορύβου.

Οι στάθμες θορύβου αιχμής κυμαίνονται από: 90 - 100 dB(A), όλες τις ημέρες και δυστυχώς και τις νύχτες, στις σημαντικές αρτηρίες της πρωτεύουσας.

Η κατάσταση αυτή οφείλεται ουσιαστικά στην ΟΔΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ και κατά κύριο λόγο στα ΔΙΚΥΚΛΑ (Μοτοποδήλατα - Μοτοσικλέτες).

Από τα στοιχεία

- του Υπουργείου Δημόσιας Τάξης, αρμόδιου για τη διαχείριση των μοτοποδηλάτων, φαίνεται ότι κυκλοφορούν 478.000 μοτοποδήλατα στην Αττική 1.303.000 μοτοποδήλατα στο σύνολο της χώρας
- του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών, αρμόδιου για τη διαχείριση των μοτοσικλετών, φαίνεται ότι κυκλοφορούν 195.000 Μοτοσικλέτες στην Αττική 430.000 Μοτοσικλέτες στο σύνολο της χώρας

Αν ληφθεί όμως υπόψη ότι συνήθως δεν αναφέρεται η απόσυρση των δικύκλων λόγω παλαιότητας, μια ρεαλιστική εκτίμηση, είναι ότι κυκλοφορούν περίπου 550.000 δίκυκλα στην Αττική 1.400.000 δίκυκλα στο σύνολο της χώρας.

Σημειώνεται επίσης ότι ο σημερινός ρυθμός αύξησης των δικύκλων στη χώρα είναι ετησίως περίπου 40.000 Μοτοσικλέτες και 70.000 μοτοποδήλατα.

Από τους ελέγχους, τις μετρήσεις καθώς και πρόσφατες δειγματοληπτικές έρευνες του Υπουργείου Περιβάλλοντος, εκτιμάται ότι περίπου το 5% των αυτοκινήτων και το 20-25% των δικύκλων, που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή, στα πάνω από 5000 χιλιόμετρα δρόμων του λεκανοπεδίου, **εκπέμπουν παράνομες στάθμες θορύβου.**

Σύμφωνα με στοιχεία της Τροχαίας Αθηνών, κατά το 1994, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι θορύβου σε 3.717 δίκυκλα και οι βεβαιωμένες παραβάσεις ήταν 810 δηλαδή ποσοστό περίπου 22%. Το ίδιο ποσοστό παραβάσεων παρατηρήθηκε για το Α' εξάμηνο του 1995 σε 2.211 ελέγχους. Το ποσοστό των παραβάσεων κρίνεται πολύ υψηλό.

Όμως, ο αριθμός των 4000 περίπου ελέγχων ετησίως που πραγματοποιούνται στην Αττική, είναι εξαιρετικά μικρός και για το λόγο αυτό έχει αποφασισθεί, εκτός των άλλων μέτρων, η εντατικοποίηση του ελέγχου του θορύβου των δικύκλων στους δρόμους.

Η καταπολέμηση του θορύβου από την οδική κυκλοφορία περιλαμβάνει αναλυτικά τα ακόλουθα μέτρα :

- Έλεγχος Θορύβου Μοτοσικλετών και Μοτοποδηλάτων
- Κατασκευή Ηχοπετασμάτων - Κτιριακή Ηχοπροστασία
- Χαρτογράφηση και Παρακολούθηση του Θορύβου

Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ (ΜΟΤΟΣΙΚΛΕΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΤΟΠΟΔΗΛΑΤΩΝ) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο θόρυβος από την οδική κυκλοφορία -σύμφωνα με τις πλέον πρόσφατες εκτιμήσεις της Δ/σης DG XI της Ευρωπαϊκής Ένωσης- ενοχλεί το 20-25% περίπου του πληθυσμού των ανεπτυγμένων κρατών της Δυτ. Ευρώπης, ενώ το 19% του συνολικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης (περίπου 67 εκατ.) ευρίσκεται σε περιοχές με υψηλές στάθμες θορύβου.

Ο οδικός θόρυβος θεωρείται ως η πλέον ενοχλητική πηγή θορύβου για τον αστικό πληθυσμό και ειδικά ο θόρυβος από τις Μοτοσικλέτες και τα μοτοποδήλατα.

Οι περιοχές με πρόβλημα υποβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος είναι όλες οι αστικές περιοχές της χώρας αλλά κυρίως η περιοχή της Πρωτεύουσας που είναι συγκεντρωμένο περίπου το 40% του πληθυσμού, το 35% της βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας και το 70% των Υπηρεσιών της Ελλάδος.

Βάσει των μέχρι τώρα μελετών και μετρήσεων του ΥΠΕΧΩΔΕ, ένα ποσοστό περίπου 23% του πληθυσμού του Δήμου Αθηναίων, ζει σε απαράδεκτα υψηλές στάθμες κυκλοφοριακού θορύβου. [Ισοδύναμη ενεργειακή μέση ηχοστάθμη $L_{eq} > 72$ dB(A)]. Οι στάθμες θορύβου αιχμής [L_{max} dB(A)] κυμαίνονται από 90 - 100 dB(A), όλες τις ημέρες και δυστυχώς και τις νύχτες, στις σημαντικές αρτηρίες της πρωτεύουσας. Η κατάσταση αυτή οφείλεται ουσιαστικά στην οδική κυκλοφορία και κατά ένα μεγάλο μέρος στα δίκυκλα. Από τα στοιχεία του Υπουργείου Δημόσιας Τάξης, αρμόδιου για τα μοτοποδήλατα, φαίνεται ότι συνολικά στη χώρα κυκλοφορούν 1.303.000 ενώ στην Αττική κυκλοφορούν 478.000 μοτοποδήλατα.

Από τα στοιχεία του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών, στην αρμοδιότητα του οποίου εμπίπτουν οι Μοτοσικλέτες, φαίνεται ότι συνολικά στη χώρα κυκλοφορούν 430.000 ενώ ο αντίστοιχος αριθμός για την Αττική είναι 195.000 Μοτοσικλέτες.

Μια ρεαλιστική εκτίμηση, δεδομένου ότι συνήθως δεν αναφέρεται η απόσυρση τους λόγω παλαιότητας, είναι ότι, συνολικά στη χώρα, κυκλοφορούν περίπου 1.400.000 δίκυκλα, ενώ στην Αττική κυκλοφορούν περίπου 550.000 δίκυκλα. Σημειώνεται επίσης ότι ο σημερινός ρυθμός αύξησης των δικύκλων είναι ετησίως περίπου 40.000 Μοτοσικλέτες και 70.000 μοτοποδήλατα.

Από τους ελέγχους και τις μετρήσεις που έγιναν τα τελευταία χρόνια, εκτιμάται ότι περίπου το 5% των αυτοκινήτων και το 25% των δικύκλων, που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή, στα πάνω από 5000 χιλιόμετρα δρόμων του λεκανοπεδίου, εκπέμπουν στάθμες θορύβου υψηλότερες από τις επιτρεπόμενες.

Οι πολεοδομικές και κυκλοφοριακές συνθήκες, σε συνδυασμό με τις δυσκολίες αστυνόμευσης στους δρόμους, έχουν δικαιολογημένα, οξύνει δραματικά την δυσαρέσκεια των κατοίκων, ποσοστό των οποίων, πάνω από 80% πιστεύει ότι ο θόρυβος από την οδική κυκλοφορία έχει αυξηθεί υπερβολικά τα τελευταία χρόνια. Για τους λόγους αυτούς, από τον Απρίλιο 1996, το Τμήμα Καταπολέμησης Θορύβου της Δ/σης Ελέγχου Ατμοσφ. Ρύπανσης και Θορύβου του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, μαζί με το Υπουργείο Δημόσιας Τάξης ανέλαβε με την Τροχαία Αθηνών τον έλεγχο θορύβου των δικύκλων "παρά την οδό" κατά τα ευρωπαϊκά πρότυπα (βάσει της ΚΥΑ υπ' αριθμ. 28340/2440/92 - ΦΕΚ 532/Β/18-8-92), με αποκλειστική χρήση δύο μικτών συνεργειών από τις δύο υπηρεσίες και μέχρι τις αρχές Νοεμβρίου 1997 έχει ελέγξει περισσότερες από 23.000 Μοτοσικλέτες και μοτοποδήλατα.

Από τους ελέγχους αυτούς φαίνεται ότι δυστυχώς ένα μεγάλο ποσοστό, βρέθηκε να υπερβαίνει τις κατά περίπτωση νόμιμες στάθμες θορύβου. Πρέπει όμως εδώ να σημειωθεί, πως αυτό δεν σημαίνει ότι η ίδια αναλογία ισχύει και για το σύνολο του στόλου των δικύκλων δεδομένου ότι το δείγμα στατιστικά είναι κάπως βεβιασμένο εφόσον υπάρχει μια τάση -η οποία είναι λογική- τα συνεργεία ελέγχου, ορισμένες φορές, να σταματούν τα δίκυκλα που κατά την αντίληψη τους θορυβούν περισσότερο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχει μια μικρή υπέρβαση όπου γίνεται στους παραβάτες μια απλή σύσταση. Σε περιπτώσεις λίγο μεγαλύτερης υπέρβασης υποχρεώνονται σε επανέλεγχο ενώ όταν υπάρχουν μεγάλες υπερβάσεις τότε δίνονται κλήσεις και αφαιρείται και η άδεια κυκλοφορίας.

Οι έλεγχοι γίνονται σε καθημερινή βάση και τα Σαββατοκύριακα αλλά και

νυκτερινές ώρες. Οι θέσεις ελέγχου των συνεργείων είναι σε διάφορα σημεία της Αθήνας κυρίως σε οδούς μεγάλης κυκλοφορίας.

Συνολικά, μέχρι στιγμής, έχουν δοθεί κλήσεις στο περίπου 8% των ελεγχθέντων (το οποίο ισοδυναμεί με το 15% των εκτός ορίων). Η κάθε κλήση κοστίζει σήμερα για τον παραβάτη 37.000 δρχ. -εκτός από τις χαμένες ώρες στα συνεργεία και τις υπηρεσίες- αλλά περισσότερο αποτρεπτική φαίνεται ότι είναι η αφαίρεση της άδειας κυκλοφορίας, η οποία δίδεται πίσω από την Τροχαία μόνο μετά τον επιτυχή επανέλεγχο θορύβου του δικύκλου από την Δ/νση ΕΑΡΘ του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. Τα συνοπτικά αποτελέσματα από τους ελέγχους θορύβου των δικύκλων, στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, παρουσιάζονται στο διάγραμμα στη συνέχεια.

Το αναμφισβήτητο μεγάλο ποσοστό των δικύκλων που ευρέθηκαν να εκπέμπουν στάθμες θορύβου εκτός ορίων, καθιστά αναπόφευκτη την αύξηση των συνεργείων ελέγχου και φυσικά επιβεβαιώνει την ανάγκη καθιέρωσης της Κάρτας Τεχνικού Ελέγχου Δικύκλων (ΚΤΕΔ) που προωθείται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και το ΥΜΕΤ.

Για την αποτύπωση και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης του ακουστικού περιβάλλοντος κατά μήκος ενός δρόμου απαιτούνται μετρήσεις θορύβου. Οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να καλύπτουν κατά το δυνατόν μεγάλο τμήμα της περιοχής με έμφαση στις κατοικημένες περιοχές και θα πρέπει να γίνονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και ώρες. Οι μετρήσεις οδικού κυκλοφοριακού θορύβου θα πρέπει να περιλαμβάνουν τουλάχιστον τους δείκτες L_{eq} , L_{10} , L_{max} και L_{min} και αν είναι δυνατό και άλλους στατιστικούς δείκτες (L_1 , L_{50} , L_{90}).

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων θορύβου θα πρέπει να υπολογίζονται και οι αντίστοιχοι κυκλοφοριακοί φόρτοι καθώς και η σύνθεση τους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναγωγή των δεικτών που μετρήθηκαν στους δείκτες L_{eq} (08.00-20.00) και L_{10} (18ωρο).

Όπως καθορίζεται από τα πρότυπα, η ελάχιστη απαιτούμενη διάρκεια μέτρησης εξαρτάται από τη ροή οχημάτων και καθορίζεται από τη σχέση:

$$t_{ελ} = \left(\frac{4000}{q} + \frac{120}{r} \right) \text{ σε πρώτα λεπτά,}$$

όπου q ο αριθμός των οχημάτων ανά ώρα και r ο αντίστοιχος αριθμός οχημάτων ανά λεπτό.

Για ένα μεγάλο δρόμο με μεγάλη κυκλοφορία όπως π.χ. ο Περιφερειακός της Θεσσαλονίκης, οι μέσες τιμές για τις παραπάνω παραμέτρους είναι $q=3000$ (οχήματα/ώρα) και $r=50$ (οχήματα/λεπτό). Συνεπώς προκύπτει ως ελάχιστος απαραίτητος χρόνος μέτρησης $t_{ελ} = 4$ λεπτά. Συνήθως, για δρόμους με συνήθη κυκλοφοριακό φόρτο αρκούν μετρήσεις διάρκειας 15 λεπτών.

Για την αναγωγή των δειγματοληπτικών μετρήσεων του δείκτη L_{eq} σε L_{eq} (08.00-20.00) χρησιμοποιείται η σχέση

$$L_{eq}(08.00-20.00) = L_{eq, 0} + 10 \log Nt/N_0$$

όπου

$L_{eq,0}$ είναι η ισοδύναμη στάθμη που μετρήθηκε

Nt ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα) στο διάστημα 08.00 μέχρι 20.00

N_0 ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα) στο χρονικό διάστημα της μέτρησης

Για τη μέτρηση του δείκτη L_{10} (18ωρο) θα πρέπει να γίνουν 18 δειγματοληπτικές μετρήσεις σ' όλα τα διαστήματα μιας ώρας του 18ωρου και να εξαχθεί ο μέσος όρος με τη βοήθεια της σχέσης

$$L_{10}(18\omega\rho\omicron) = \frac{1}{18} \sum_{t=6}^{23} L_{10} \text{ (ωριαίο)}$$

Για να αποφευχθεί η παραπάνω επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία πραγματοποιούνται συνήθως 3-ωρες μετρήσεις του δείκτη L_{10} και η αναγωγή σε L_{10} (18ωρο) γίνεται με τη βοήθεια της σχέσης

$$L_{10}(18\omega\rho\omicron) = L_{10}(3\omega\rho\omicron) - 1 \text{ dB(A).}$$

Η παραπάνω σχέση δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα σε περιπτώσεις δρόμων με μεγάλη κυκλοφορία.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι για δρόμους με μεγάλη και ομοιόμορφη κυκλοφορία ισχύει μεταξύ των δεικτών L_{10} και L_{eq} η σχέση

$$L_{eq} = L_{10} + 3 \text{ dB(A).}$$

5. ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη στάθμη θορύβου από ένα δρόμο είναι οι παρακάτω:

- i) ο κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα)
- ii) η ταχύτητα των οχημάτων
- iii) η σύνθεση της κυκλοφορίας (ποσοστό % των φορτηγών - επιβατικών)
- iv) η κλίση του δρόμου
- v) το είδος του οδοστρώματος

Όπως προαναφέραμε, στην περίπτωση του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου, η πρόβλεψη εκφράζεται με τον υπολογισμό του δείκτη L_{10} ή του δείκτη L_{eq} . Για τον υπολογισμό π.χ. του δείκτη L_{10} (18 ώρου) που προέρχεται από τμήματα ενός δρόμου ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία βημάτων.

5.1 Υπολογισμός της βασικής στάθμης θορύβου

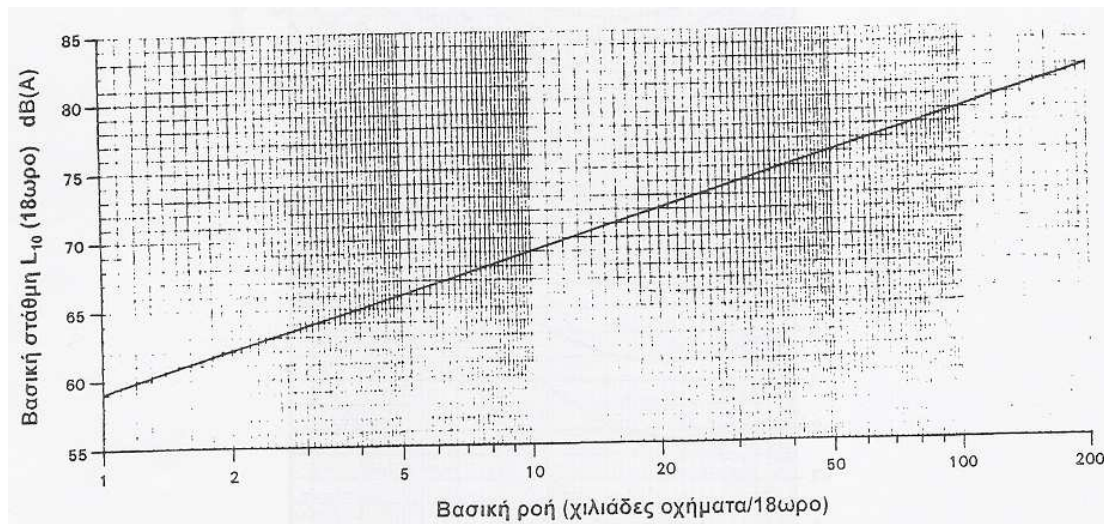
Η στάθμη αυτή είναι η στάθμη $L_{10}(18 \text{ ώρου})$ για το χρονικό διάστημα από ώρες 06.00 έως 24.00, σε απόσταση 10m από το άκρο του δρόμου όταν δεχθούμε μια σταθερή ταχύτητα $V = 75 \text{ km/h}$ για τα οχήματα, δρόμο με μηδενική κλίση και καθόλου βαρέα οχήματα. Η βασική στάθμη δίνεται από τη σχέση

$$L_{10} (18 \text{ ώρο}) = 29.1 + 10 * \log Q \quad \text{dB(A)}$$

όπου Q ο κυκλοφοριακός φόρτος του 18ώρου (δηλ. ο αριθμός οχημάτων στο 18ωρο). Η σχέση αυτή ισχύει για φόρτους τουλάχιστον 200 οχήματα/ώρα.

Η βασική στάθμη υπολογίζεται εύκολα από το διάγραμμα του Σχήματος 4. Για την περίπτωση π.χ. ενός φόρτου 5000 οχημάτων στο 18ωρο, η αντίστοιχη βασική στάθμη είναι $L_{10}(18\omega\rho\omicron) = 66\text{dB(A)}$.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ $L_{10} (18\omega\rho\omicron)$ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΟΔΙΚΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ Q ($V=75\text{km/h}$), $\rho=0$, $G=0$



Σχήμα 4. Διάγραμμα πρόβλεψης της βασικής στάθμης θορύβου.

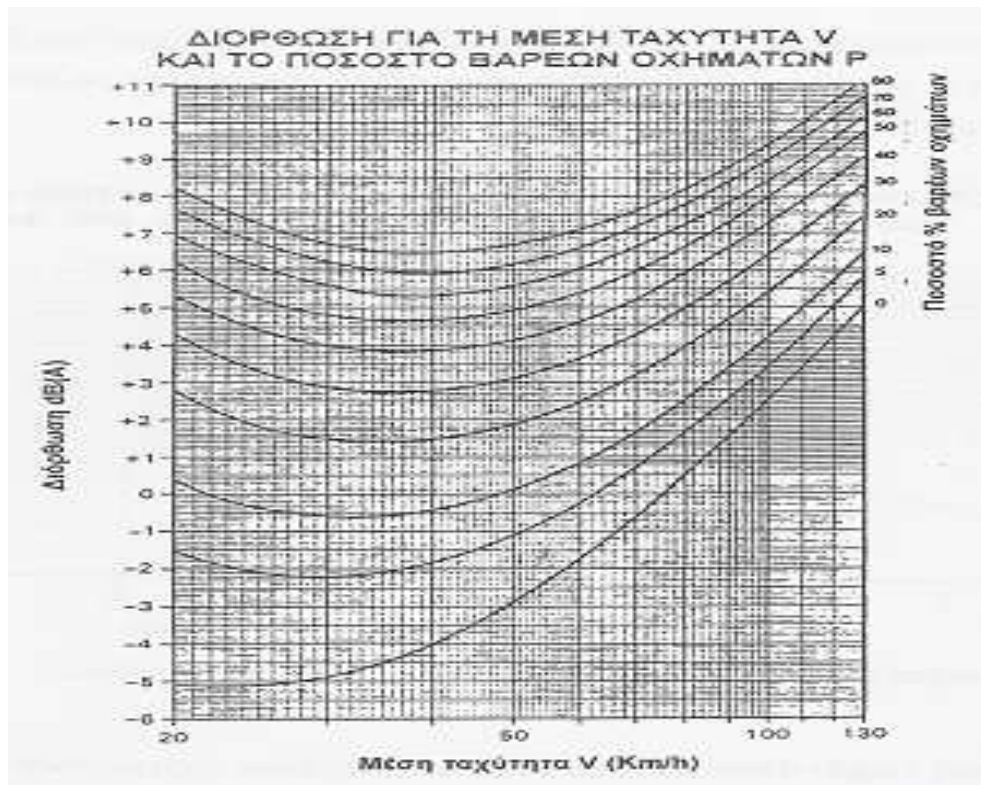
5.2 Διόρθωση ταχύτητας και ποσοστού βαρέων οχημάτων

Στο δεύτερο βήμα, η βασική στάθμη που υπολογίστηκε διορθώνεται παίρνοντας υπόψη την πραγματική ταχύτητα και το ποσοστό % των βαρέων οχημάτων. Η διόρθωση αυτή δίνεται από τη σχέση

$$33 * \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 * \log \left(1 + \frac{5p}{V} \right) - 68.8 \text{dB(A)}$$

όπου V η ταχύτητα σε km/h και p το ποσοστό % των βαρέων οχημάτων.

Η διόρθωση αυτή μπορεί να γίνει εύκολα με τη βοήθεια του διαγράμματος του Σχήματος 5. Για την περίπτωση π.χ. κυκλοφορίας με ταχύτητα 100 km/h και ποσοστό βαρέων οχημάτων 10% η διόρθωση είναι περίπου +4 dB (A).

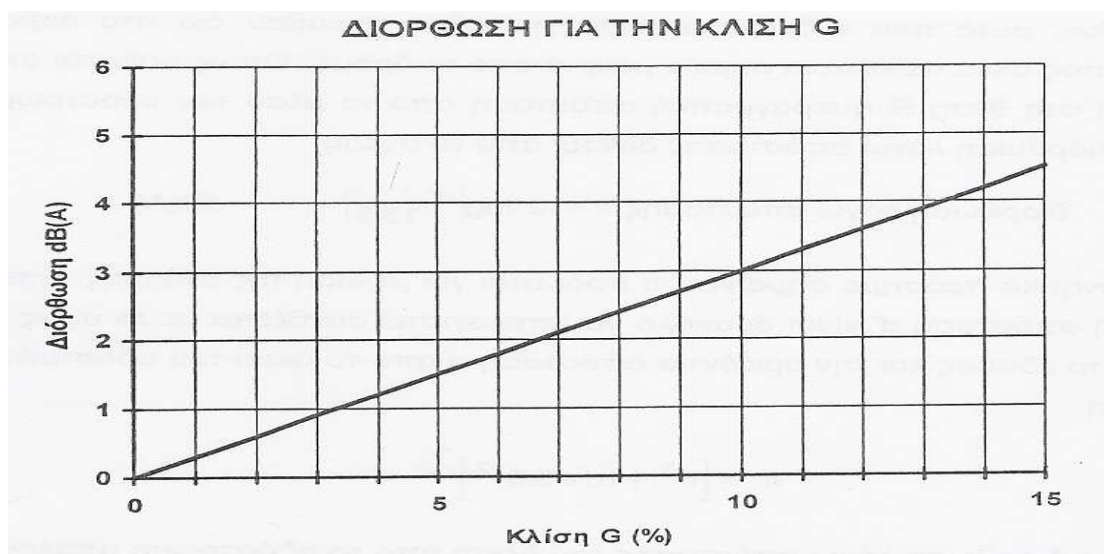


Σχήμα 5. Διάγραμμα διόρθωσης για την ταχύτητα και το ποσοστό βαρέων οχημάτων.

5.3 Διόρθωση για την κλίση

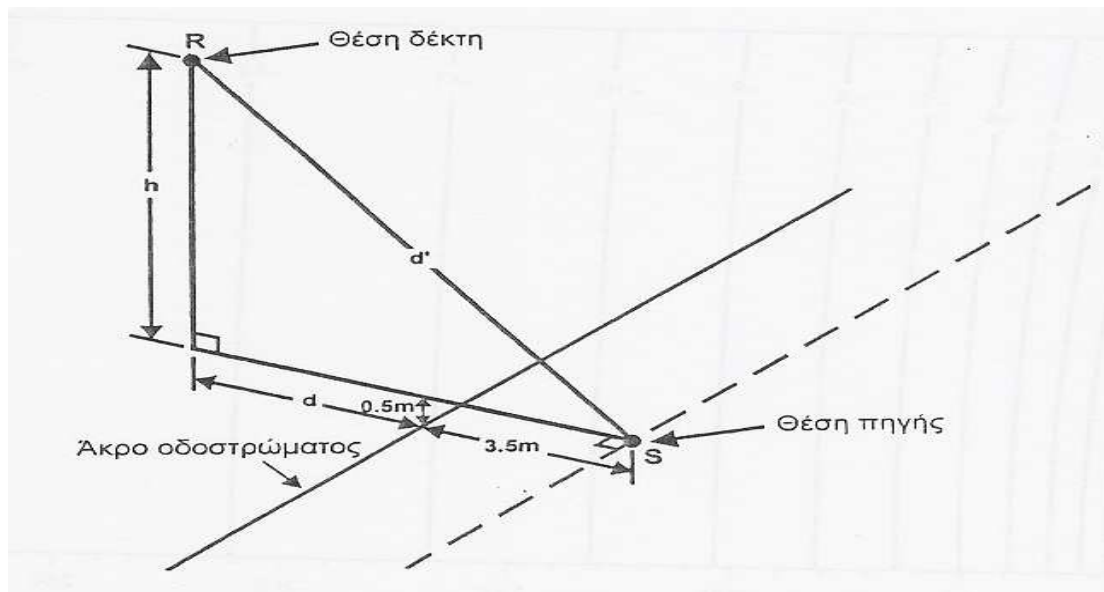
Η διόρθωση λόγω κλίσης του δρόμου δίνεται από τη σχέση
 διόρθωση κλίσης = $0.3 \cdot G$ dB(A),
 όπου G η κλίση %.

Η διόρθωση λόγω κλίσης δίνεται και στο διάγραμμα του Σχήματος 6.



Σχήμα 6. Διάγραμμα διόρθωσης για την κλίση G.

5.4 Διόρθωση λόγω απόστασης από το δρόμο



Σχήμα 7. Πραγματική απόσταση μεταξύ δέκτη - πηγής.

Συνήθως αυτό που ενδιαφέρει είναι η στάθμη θορύβου όχι στο άκρο του οδοστρώματος αλλά σε κάποιο σημείο μακριά από το δρόμο. Όπως φαίνεται στο Σχ. 7 για δέκτη στη θέση K η πραγματική απόσταση από το μέσο του οδοστρώματος είναι a'' . Η διόρθωση λόγω απόστασης δίνεται από τη σχέση

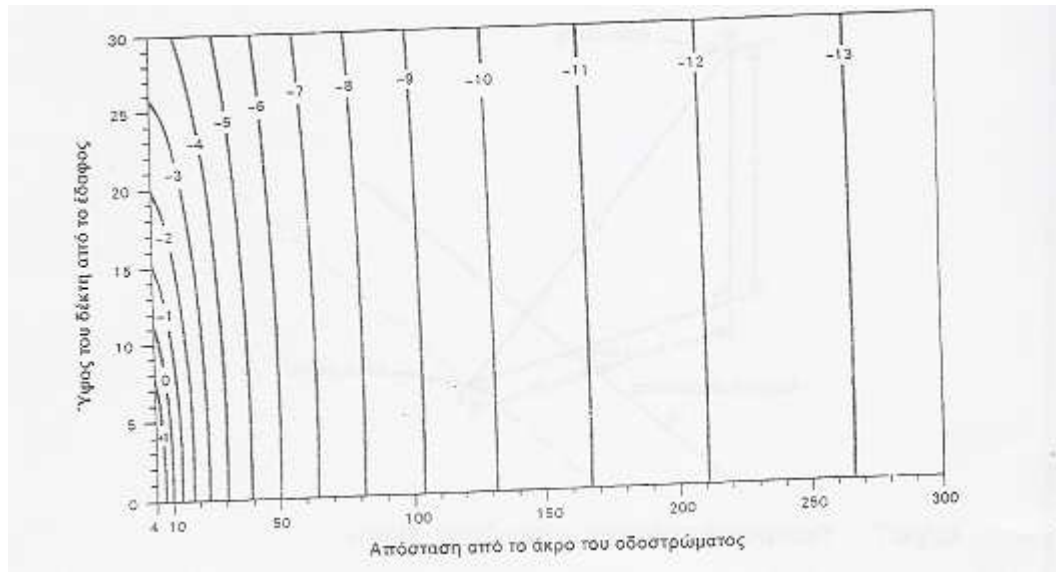
$$\text{διόρθωση λόγω απόστασης} = -10 \cdot \log(d'/13.5) \quad \text{άB(A)}$$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι πρόκειται για μείωση της στάθμης. Επειδή η πραγματική απόσταση d' είναι δύσκολο να υπολογιστεί συνδέεται με το ύψος h του δέκτη από το έδαφος και την οριζόντια απόσταση d από το άκρο του οδοστρώματος με τη σχέση

$$d' = \left[h^2 + (d + 3.5)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Έτσι, η διόρθωση λόγω απόστασης του δέκτη από το οδόστρωμα υπολογίζεται από το διάγραμμα του Σχήματος 8. Για ένα δέκτη π.χ. σε απόσταση 100m από την άκρη του οδοστρώματος και ύψος 10m η διόρθωση λόγω απόστασης είναι περίπου -9dB(A).

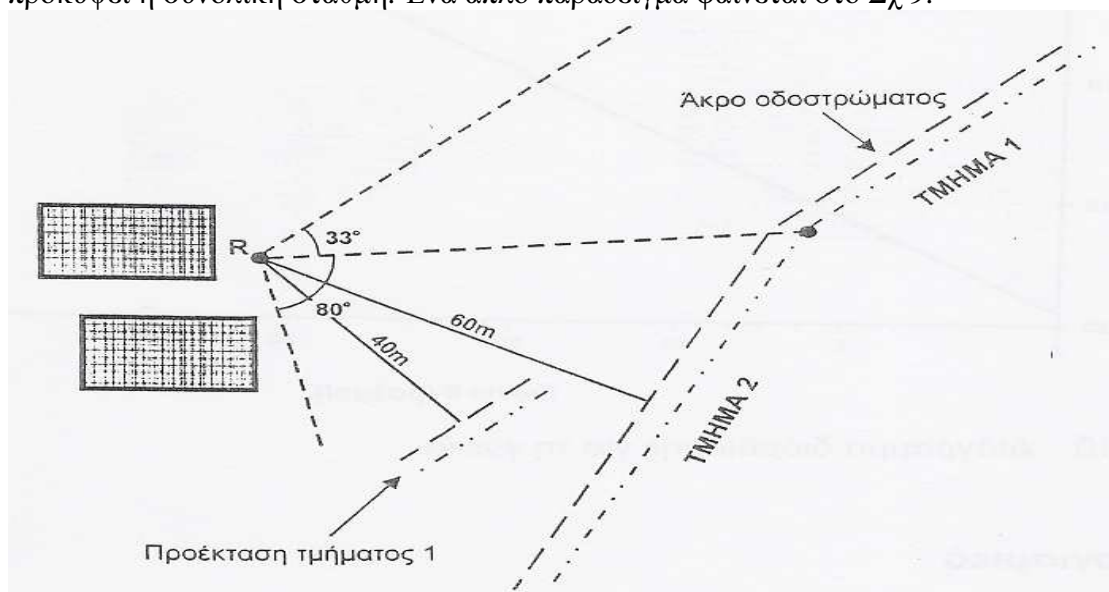
ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΠΑ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ ΑΠΟ ΤΟ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ



Σχήμα 8. Διάγραμμα διόρθωσης για την απόσταση.

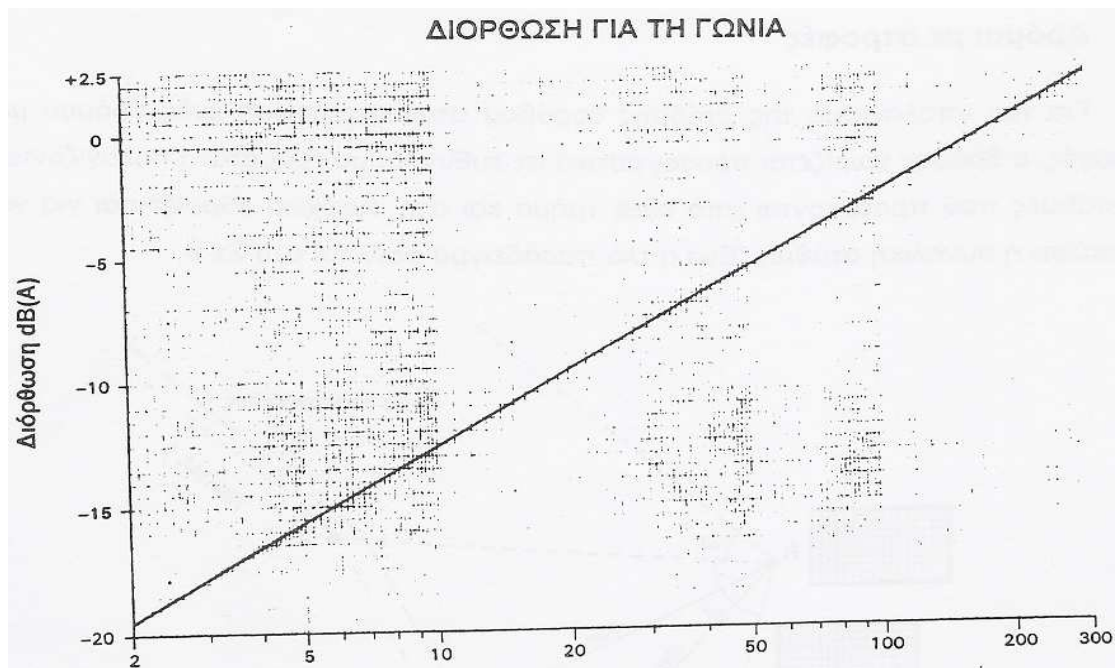
5.5 Δρόμοι με στροφές

Για τον υπολογισμό της στάθμης θορύβου στην περίπτωση ενός δρόμου με στροφές, ο δρόμος χωρίζεται προσεγγιστικά σε ευθύγραμμα τμήματα. Υπολογίζονται οι στάθμες που προέρχονται από κάθε τμήμα και στη συνέχεια αθροίζονται για να προκύψει η συνολική στάθμη. Ένα απλό παράδειγμα φαίνεται στο Σχ 9.



Σχήμα 9. Στροφή δρόμο

Η διαδικασία για τον υπολογισμό της στάθμης κάθε τμήματος είναι αυτή που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Θα πρέπει όμως να παρθεί υπόψη για κάθε τμήμα **μία** επιπλέον διόρθωση ανάλογα με τη γωνία θ με την οποία "βλέπει" ο δέκτης το κάθε τμήμα. Η γωνία αυτή, όπως φαίνεται και στο σχήμα, είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της παράλληλης από τον δέκτη Κ προς το οδικό τμήμα και της ευθείας που ενώνει τον δέκτη με την αρχή του τμήματος. Η διόρθωση με βάση τη γωνία θ υπολογίζεται εύκολα με τη βοήθεια του διαγράμματος του Σχήματος 10. Έτσι για γωνία $\theta=33^\circ$ που αντιστοιχεί στο τμήμα 2 του παραδείγματος μας η διόρθωση είναι περίπου -12dB(A) .



Σχήμα 10. Διάγραμμα διόρθωσης για τη γωνία.

5.6 Λογισμικό

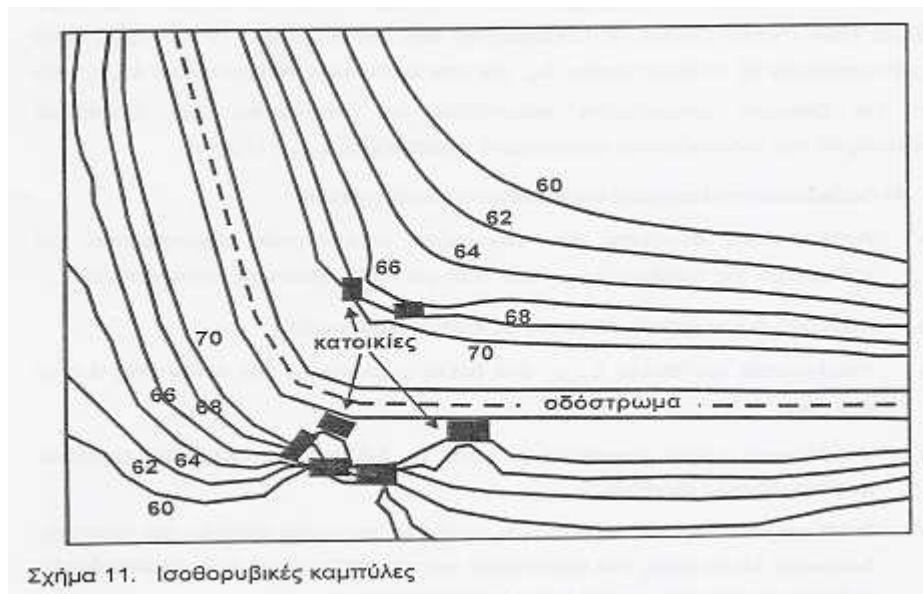
Με βάση τη διαδικασία πρόβλεψης που περιγράψαμε παραπάνω έχει δημιουργηθεί λογισμικό που υπολογίζει σε πολλά σημεία εκατέρωθεν ενός δρόμου την αναμενόμενη στάθμη θορύβου και στη συνέχεια χαράζει τις ισοθορυβικές καμπύλες στην περιοχή, τις ζώνες δηλ. με ίση στάθμη θορύβου.

Η διαδικασία πρόβλεψης περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- ◆ Χωρίζεται η συνολική διαδρομή σε επιμέρους τμήματα με τα ίδια χαρακτηριστικά (γεωμετρία, τοπογραφία, εμπόδια κλπ).
- ◆ Υπολογίζεται η στάθμη θορύβου σε απόσταση 10ιπ από την άκρη του οδοστρώματος (για κάθε επιμέρους τμήμα) παίρνοντας υπόψη τον κυκλοφοριακό φόρτο, τη σύνθεση του και την ταχύτητα κίνησης.
- ◆ Λαμβάνεται υπόψη η μείωση λόγω απόστασης και τυχόν εμποδίων.
- ◆ Γίνονται διορθώσεις παίρνοντας υπόψη τοπογραφικά στοιχεία, ποιότητα οδοστρώματος καθώς και τη γωνία υπό την οποία φαίνεται από το δέκτη κάθε τμήμα του δρόμου.

- ◆ Αθροίζονται οι συνεισφορές των επιμέρους τμημάτων για να προκύψει η τελική στάθμη στο σημείο λήψης.

Ένα παράδειγμα χάραξης ισοθρουβικών καμπύλων ενός απλού δρόμου με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού φαίνεται στο Σχ 11.



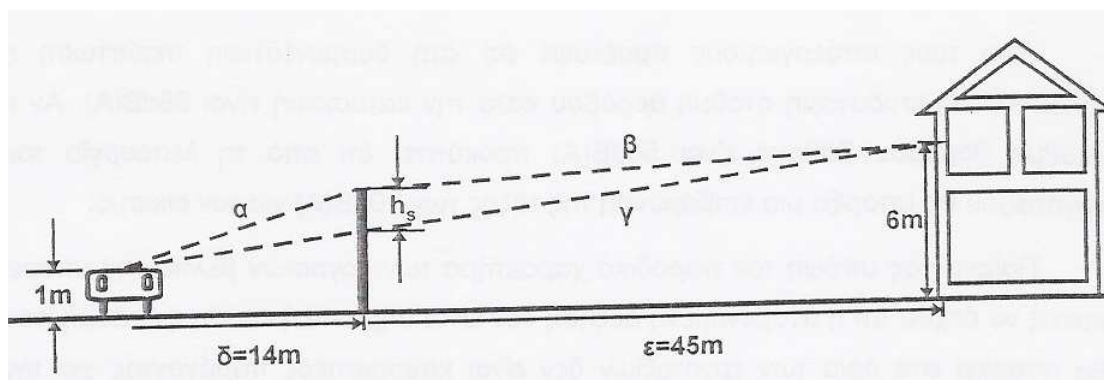
Σχήμα 11. Ισοθρουβικές καμπύλες

6. ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Ένα μέτρο αποτελεσματικής ηχοπροστασίας στον οδικό κυκλοφοριακό θόρυβο αποτελεί η τοποθέτηση ηχοπετασμάτων μεταξύ του δρόμου (πηγής) και του δέκτη. Τα ηχοπετάσματα είναι χωρίσματα που εμποδίζουν τον θόρυβο να φθάσει στο δέκτη. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να έχουν επιφανειακό βάρος αρκετά μεγάλο (π.χ. 10Kg/m^2) έτσι ώστε να παρουσιάζουν την απαιτούμενη ηχομονωτική ικανότητα. Τα ηχοπετάσματα κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως π.χ. λαμαρίνα, plexiglas, ξύλο, τούβλο και ανάλογα με την επιφάνεια τους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα ανακλαστικά και τα απορροφητικά.

6.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού ηχοπετασμάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ηχοπετάσματος είναι το ύψος και το μήκος του, γιατί καθορίζουν και την ηχομείωση που προκαλεί. Έστω ότι θεωρούμε μια περίπτωση με γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως αυτά του Σχήματος 12.



Σχήμα 12. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ηχοπετάσματος.

Το βασικό μέγεθος για τον υπολογισμό των διαστάσεων ενός ηχοπετάσματος είναι η διαφορά δρόμου Z . Το μέγεθος αυτό αντιπροσωπεύει την επιπλέον διαδρομή του ήχου λόγω της παρουσίας του ηχοπετάσματος σε σχέση με την απευθείας διαδρομή γ και ορίζεται από τη σχέση $Z = \alpha + \beta - \gamma$.

6.2 Υπολογισμός του ύψους

Θέτοντας μια συγκεκριμένη απαίτηση ηχομείωσης ΔL λόγω ηχοπετάσματος μπορεί κανείς με τη βοήθεια του διαγράμματος του Σχήματος 13 να υπολογίσει τη διαφορά δρόμου Z . Η διακεκομμένη γραμμή του διαγράμματος αντιστοιχεί σε ανακλαστικό ηχοπέτασμα ενώ η πλήρης σε ηχοαπορροφητικό.

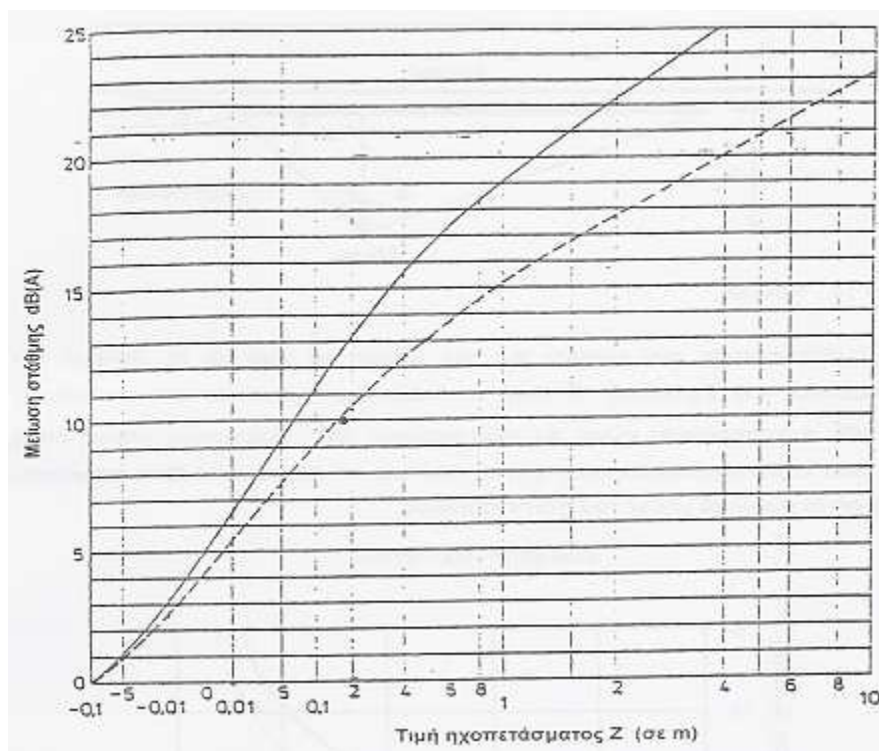
Αν π.χ. η επιδιωκόμενη μείωση είναι της τάξης των 13dB προκύπτει για την τιμή Z του ηχοπετάσματος $Z = 0.5m$. Παίρνοντας υπόψη ότι

$$Z = \alpha + \beta - \gamma = \sqrt{\delta^2 + h_s^2} + \sqrt{\varepsilon^2 + h_s^2} - \varepsilon - \delta$$

προκύπτει για το ενεργό ύψος $h_s = \sqrt{\frac{Z}{\frac{1}{\delta} + \frac{1}{\varepsilon}}} = 2.3m$

και για το πραγματικό ύψος του ηχοπετάσματος

$$h = 1 + \frac{(6-1) \cdot 14}{45} + 2.3 = 4.8m$$

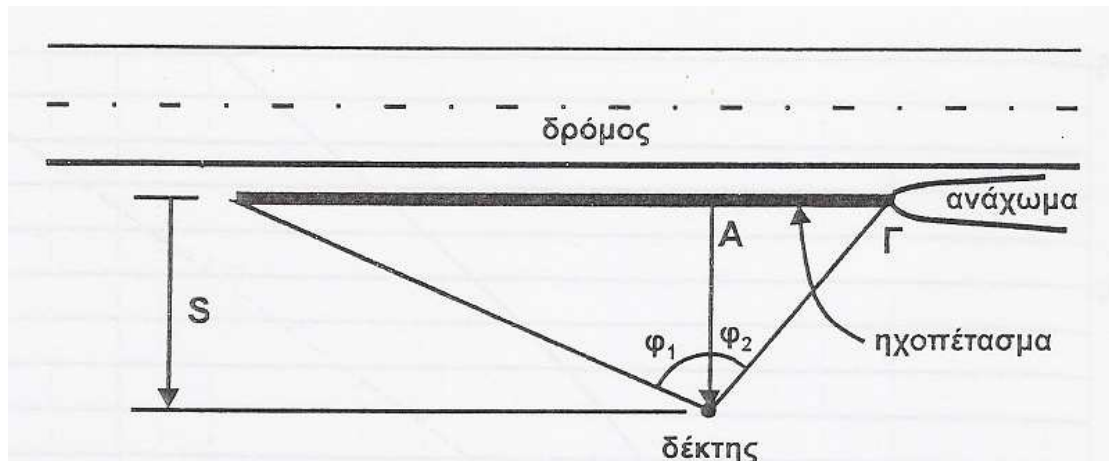


Σχήμα 13. Αναμενόμενη μείωση στάθμης κυκλοφοριακού θορύβου ΔL σε συνάρτηση της τιμής ηχοπετάσματος Z .

6.3 Υπολογισμός του μήκους

Η παραπάνω τιμή της αναμενόμενης ηχομείωσης $\Delta L=13\text{dB}$ αντιστοιχεί σε ηχοπέτασμα απείρου μήκους. Για ηχοπέτασμα πεπερασμένου μήκους η μείωση είναι μικρότερη λόγω ενδεχόμενης "πλευρικής" μετάδοσης από τα άκρα.

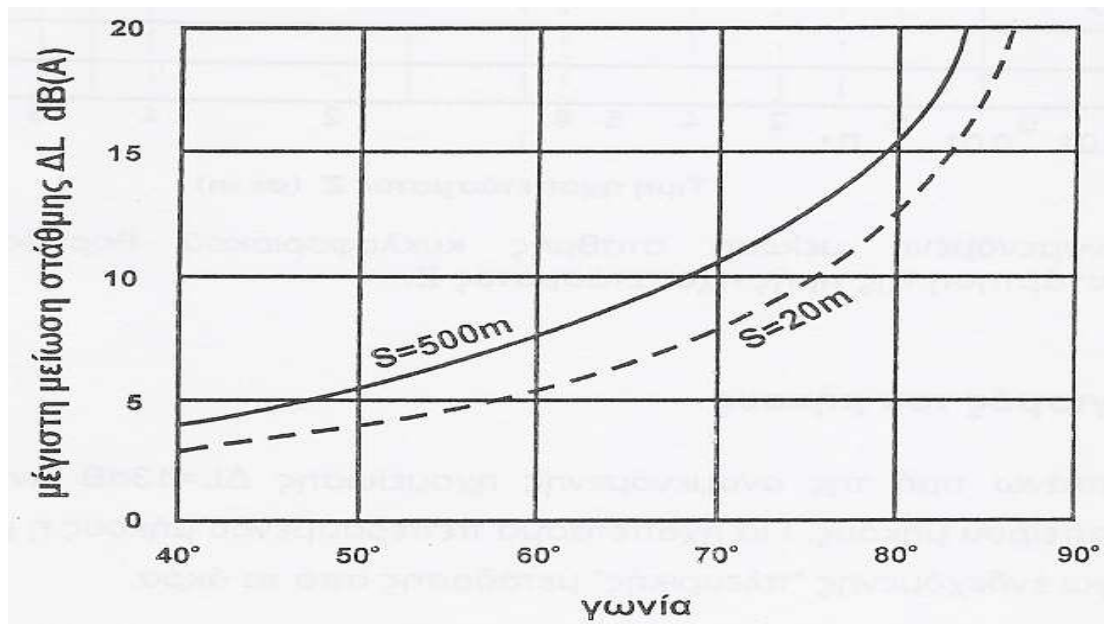
Στο Σχήμα 14 δίνεται η κάτοψη της περίπτωσης που εξετάζουμε. Για να υπολογιστεί το μήκος του ηχοπετάσματος θα πρέπει να καθοριστούν οι γωνίες φ_1 και φ_2 , έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή μείωση $\Delta L=13\text{dB}$.



Σχήμα 14. Κάτοψη.

Ο υπολογισμός των γωνιών φ_1 , φ_2 μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του διαγράμματος του Σχήματος 15. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι, για μείωση $\Delta L=13\text{dB}$, η απαιτούμενη γωνία φ_1 είναι περίπου 80° . Παίρνοντας υπόψη ότι η απόσταση κτιρίου-ηχοπετάσματος s είναι 45m και το τμήμα $A\Gamma$ 100m , προκύπτει τελικά για το συνολικό μήκος του ηχοπετάσματος

$$45 \cdot \varepsilon_{\varphi 80^\circ} + 100 = 355\text{m}$$



Σχήμα 15. Μέγιστη δυνατή μείωση στάθμης ΔΙ σε συνάρτηση της γωνίας ϕ_1 και ϕ_2 για την περίπτωση υψηλού ηχοπετάσματος πεπερασμένου μήκους.

7. Οδηγίες για τη μέτρηση του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες χρήσιμες συμβουλές για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

- I. Μετρήσεις δεν γίνονται όταν το οδόστρωμα είναι υγρό και όταν φύσει.
 - II. Το σημείο μέτρησης πρέπει να έχει οπτική επαφή με το δρόμο τουλάχιστον 160 μοιρών .
 - III. Το ηχόμετρο πρέπει να είναι τοποθετημένο σταθερά πάνω σε τρίποδο, σε ύψος 1,2 m (ύψος αναφοράς) από το έδαφος.
 - IV. Το ηχόμετρο πρέπει να είναι τοποθετημένο μπροστά από κάποιο κτίριο (για ανάκλαση ήχου) και σε απόσταση 2m από την πρόσοψη του. Σε περίπτωση που αυτό δεν συμβαίνει να αναφέρεται στο φύλλο μέτρησης.
 - V. Το μικρόφωνο του ηχομέτρου πρέπει να είναι στραμμένο προς το δρόμο.
 - VI. Πριν από κάθε μέτρηση πρέπει απαραίτητα να γίνεται έλεγχος του μικροφώνου (calibration).
 - VII. Κατά την διάρκεια της μέτρησης πρέπει να γίνεται καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου ανά ρεύμα κυκλοφορίας .Επίσης ,καλό είναι να γίνεται εκτίμηση του ποσοστού των βαρέων οχημάτων , για να γίνει διόρθωση στάθμης .
- Οι μετρήσεις γίνονται πάντοτε με φίλτρο A, ενώ οι δείκτες που μετριοούνται είναι οι L_{eq} , L_{10} , L_{max} , L_{min} καθώς και οι στατιστικοί δείκτες L_1 , L_{10} , L_{90} .

8. Μετρητές Στάθμης Ήχου και Καμπύλες Ζύγισης Συχνότητας

Ο μετρητής στάθμης ήχου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της rms στάθμης ηχητικής πίεσης αποτελείται από ένα μικρόφωνο , ένα ενισχυτή και ένα μετρητή , όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

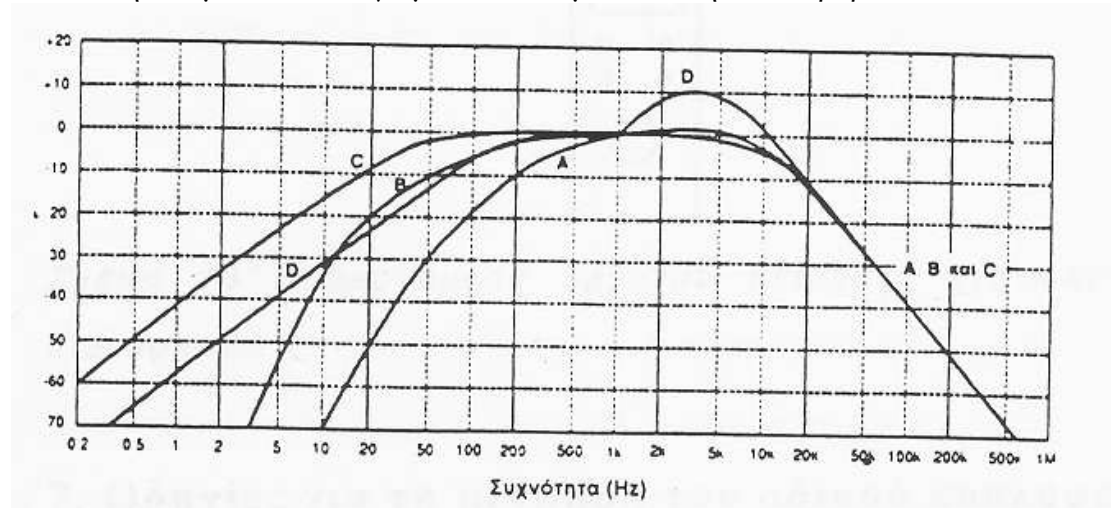


Το μικρόφωνο μετατρέπει τα κύματα ηχητικής πίεσης σε ηλεκτρικές δονήσεις ,οι οποίες ενισχύονται και λειτουργούν το μετρητή. Δυστυχώς ,κανένας μετρητής δε μπορεί να λειτουργήσει με ακρίβεια σε ένα τόσο μεγάλο εύρος από 30dB έως 120dB και παραπάνω .Για το λόγο αυτό η ενίσχυση μεταβάλλεται συνεχώς ,όπως απαιτείται, σε βήματα των 10dB και ο μετρητής χρειάζεται να διαβάσει μόνο τη διαφορά ανάμεσα στα δεδομένα του ενισχυτή και τη στάθμη ηχητικής πίεσης .Οι περισσότεροι μετρητές επιλέγουν τα φίλτρα που θα χρησιμοποιήσουν ώστε να πάρουν εκείνες τις συχνότητες του ήχου που επιθυμούν .Συνηθίζεται μια έξοδος στο μετρητή η οποία επιτρέπει τη καταγραφή του ήχου σε κασέτα.

Εκτός από τη γραμμική απεικόνιση της στάθμης ηχητικής πίεσης ,οι περισσότεροι μετρητές χρησιμοποιούν τις καμπύλες A και B οι οποίες μεταβάλλονται με τη συχνότητα ,όπως φαίνεται στο σχήμα και τον πίνακα .Είναι φανερό πως στη συχνότητα 30Hz και για στάθμη ηχητικής πίεσης 70dB, θα λάβουμε $70-40=30\text{dB(A)}$ ή $70-17=53\text{dB(B)}$ ή $70-3=67\text{dB(C)}$. Η καμπύλη C θεωρείται γραμμική για τις περισσότερες εφαρμογές , αλλά στην πραγματικότητα αυτό συμβαίνει για τις συχνότητες από 200 έως 1250 Hz. Σκοπός της καμπύλης B είναι να δώσει στο ηχόμετρο τη απόκριση που αντιστοιχεί στην καμπύλη ίσης ακουστότητας των 70dB. Η καμπύλη A αντιστοιχεί προσεγγιστικά με την καμπύλη ίσης ακουστότητας των 40dB.

Έχει αποδειχθεί πως η καμπύλη A αποκρίνεται σύμφωνα με τις αντιδράσεις του αυτιού και για το λόγο αυτό η καμπύλη A, σε dB(A), είναι η καταλληλότερη για μετρήσεις .

Η καμπύλη D αφορά ειδικές εφαρμογές οι οποίες έχουν να κάνουν με αεροπορικό θόρυβο , είναι το αντίστροφο ακριβώς της καμπύλης των 40ny . Ο λόγος γι' αυτό είναι η καμπύλη των 40ny είναι ικανοποιητικά αντιπροσωπευτική του εύρους ζώνης και της στάθμης του θορύβου ιπτάμενων αεροσκαφών . Επίσης, το φάσμα αεροπορικού θορύβου που προκύπτει απ' αυτήν την καμπύλη συμπίπτει ικανοποιητικά με τον υπολογισμό των σταθμών αντιληπτού θορύβου .

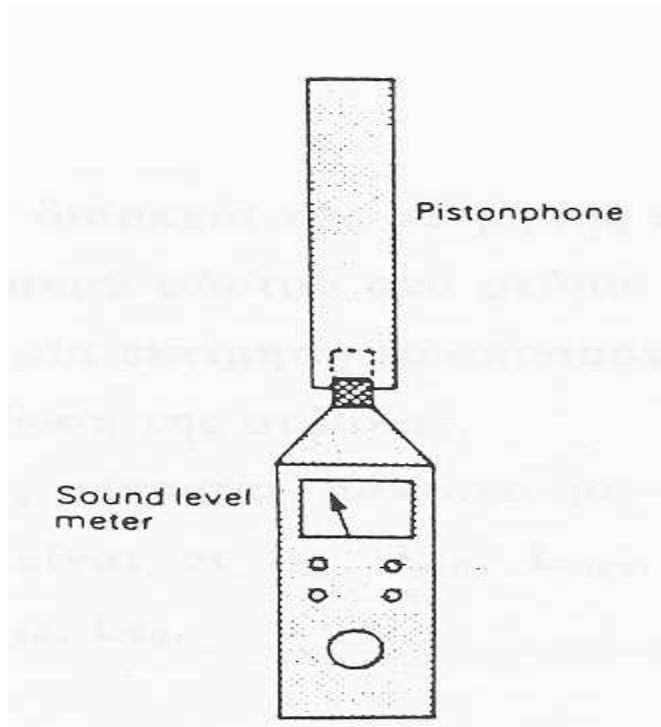


Σχήμα 19.

9. Βαθμονόμηση Μετρητών Ηχητικής Στάθμης (calibration)

Αυτό γίνεται με τη βοήθεια μιας πηγής γνώστης στάθμης θορύβου, όπως για παράδειγμα το πιστοφωνο.

Η βαθμονόμηση με τη βοήθεια πιστοφώνου είναι μια απλή διαδικασία , γιατί δεν υπάρχει δυσκολία τοποθέτησης της πηγής στο μετρητή όπως φαίνεται και στο σχήμα 20. Το πιστοφωνο τοποθετείται στο μικρόφωνο και παράγει ένα ήχο 250 Hz στα 124dB. Οι εξωτερικοί θόρυβοι δεν επηρεάζουν τη διαδικασία αλλά πρέπει να τονίσουμε πως οι υποδοχές πιστοφώνου και μικρόφωνου πρέπει να ταιριάζουν .



Σχήμα 20.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει μια σειρά μετρήσεων κυκλοφοριακού θορύβου στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Η πόλη, με πληθυσμό περίπου 1.000.000 χωρίζεται σε δυο τμήματα, ανατολικό και δυτικό που συνδέονται με το κέντρο. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στην οδό Μοναστηρίου. Οι πρωταρχικοί στόχοι αυτής της εργασίας ήταν:

α) να καθορίσει το επίπεδο του κυκλοφοριακού θορύβου υπολογίζοντας το ισοδύναμο του συνεχούς επιπέδου ήχου βάρους A_{Leq} (08:00-22:00).

β) να εξετάσει τη σχέση ανάμεσα στις διαφορές των ηχητικών επιπέδων και στην αλλαγή της κυκλοφοριακής ροής.

γ) να ερμηνεύσει τα επίπεδα ήχου από τις 8:00π.μ. έως 22:00μ.μ.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων εξετάστηκε η οδός Μοναστηρίου. Η Μοναστηρίου είναι δρόμος διπλής κατεύθυνσης με τρεις λωρίδες σε κάθε κατεύθυνση. Ψηλά κτήρια βρίσκονται και από της δυο πλευρές της οδού αν και υπάρχουν και μερικά κομμάτια από τα κτήρια είναι πιο χαμηλά.

Έχουν οριστεί για μετρήσεις 4 τοποθεσίες οι οποίες καθορίστηκαν σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν για κάθε ώρα από τις 8 π.μ. έως τις 22μ.μ. και για κάθε μέρα της εβδομάδας. Ένα μετρό ηχητικού επιπέδου τύπου 1 με βάρους A χρησιμοποιήθηκε για όλες τις μετρήσεις ακολουθώντας την διαδικασία που ορίστηκε από τον Ελληνικό Οργανισμό Δεδομένων, μια διαδικασία παρόμοια μ'αυτή που ορίστηκε από τα Γερμανικά και τα Βρετανικά δεδομένα. Αυτή η μέθοδος συνεπάγεται ότι οι μετρήσεις γίνονται μόνο όταν η επιφάνεια του δρόμου είναι στεγνή και η ταχύτητα του ανέμου στο μικρόφωνο προς κάθε κατεύθυνση είναι λιγότερο από 10m/s, η θέα του δρόμου από το σημείο μέτρησης είναι ουσιαστικά μετρά από την επιφάνεια του δρόμου και σε μια απόσταση 2 μετρά από την πρόσοψη των κτιρίων, επιπλέον καταγράφηκε επίσης η κυκλοφοριακή ροή κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Συνολικά διεξήχθησαν περίπου 400 μετρήσεις.

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις που συγκεντρώθηκαν αναλύθηκαν αργότερα συμφωνά με την ακόλουθη διαδικασία. Η άξια του L_{eq} που δόθηκε από μια μέτρηση σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία περιγράφει το επίπεδο θορύβου για μια συγκεκριμένη ημερομηνία, ώρα και συνθήκες κυκλοφοριακής ροής. Για να προκύψει το επίπεδο ήχου βάρους A ανά ώρα $L_{eq,h}$ από όλες τις μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της ίδιας ώρας πρέπει να εφαρμοστούν τα ακόλουθα βήματα. Οι μεμονωμένες αξίες L_{eq} που μετρηθήκαν διορθώνονται χρησιμοποιώντας τη φόρμουλα

$$\text{διορθωμενο}L_{Leq} = \text{μετρημενο}L_{Leq} + 10\log\left(\frac{N}{N_m}\right)$$

όπου N είναι η μέση κυκλοφοριακή ροή για όλες τις μετρήσεις που έγιναν σ' αυτήν την ώρα της ημέρας και όπου N_m είναι η κυκλοφοριακή ροή κατά τη διάρκεια της διορθωμένης μέτρησης. Η μέση άξια των παραπάνω διορθωμένων επιπέδων L_{eq} το οποίο αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου βάρους A ανά ώρα $L_{eq,h}$ το οποίο αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου αυτής της συγκεκριμένης ώρας της μέρας ανεξάρτητα από την ημέρα της εβδομάδας και από τις συνθήκες της κυκλοφοριακής ροής. Ακολούθως πρέπει να υπολογιστεί το επίπεδο θορύβου βάρους A που καλύπτει την περίοδο 8:00π.μ. έως 22:00μ.μ. $L_{eq,h}$. Αυτό το επίπεδο αντιστοιχεί στο ολικό επίπεδο θορύβου για μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Για να προκύψει το $L_{eq,h}$, τα προηγούμενα επίπεδα θορύβου που μετρήθηκαν $L_{eq,h}$ πρέπει να διορθωθούν χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\text{διορθωμενο}L_{Aeq,h} = \text{μετρημενο}L_{Aeq,h} + 10\log\left(\frac{N}{N_t}\right)$$

όπου N δείχνει τη μέση κυκλοφοριακή ροή από τις 8:00π.μ. έως 20:00μ.μ. και όπου N_t είναι η κυκλοφοριακή ροή κατά τη διάρκεια των διορθωμένων μετρήσεων.

Ο τύπος των μετρήσεων

Σημείο 1^ο



Σημείο 2°



Σημείο 3°



Σημείο 4^ο



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αναλυτικά αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Παράρτημα. Στον Πινάκα Ι φαίνονται οι τιμές Leq,h (από Δευτέρα έως Σάββατο).

Πινάκας Ι Leq,h (8:00-22:00)

Οδός Μοναστηρίου	Leq,h (8:00-22:00) σε dB(A)
Σημείο 1 ^ο	74.8 dB(A)
Σημείο 2 ^ο	74.2 dB(A)
Σημείο 3 ^ο	74.9 dB(A)
Σημείο 4 ^ο	74.2 dB(A)

Στον Πίνακα ΙΙ φαίνονται οι τιμές Leq,h (Κυριακή)

Πινάκας ΙΙ Leq,h (8:00-22:00)

Οδός Μοναστηρίου	Leq,h (8:00-22:00) σε dB(A)
Σημείο 1 ^ο	74.0 dB(A)
Σημείο 2 ^ο	72.7 dB(A)
Σημείο 3 ^ο	72.1 dB(A)
Σημείο 4 ^ο	72.5 dB(A)

Στον Πινάκα Ι φαίνονται οι τιμές L10,h (από Δευτέρα έως Σάββατο).

Πινάκας Ι L10,h (8:00-22:00)

Οδός Μοναστηρίου	L10,h (8:00-22:00) σε dB(A)
Σημείο 1 ^ο	76.8 dB(A)
Σημείο 2 ^ο	76.5 dB(A)
Σημείο 3 ^ο	77.5 dB(A)
Σημείο 4 ^ο	76.4 dB(A)

Στον Πίνακα ΙΙ φαίνονται οι τιμές L10,h (Κυριακή)

Πινάκας ΙΙ L10,h (8:00-22:00)

Οδός Μοναστηρίου	L10,h (8:00-22:00) σε dB(A)
Σημείο 1 ^ο	75.7 dB(A)
Σημείο 2 ^ο	75.7 dB(A)
Σημείο 3 ^ο	75.1 dB(A)
Σημείο 4 ^ο	75.9 dB(A)

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το επίπεδο θορύβου Leq,h (8:00-22:00) βασίζεται έντονα στην τοπολογία της περιοχής γύρω από το σημείο μέτρησης. Ποιο συγκεκριμένα στην περίπτωση των ανοικτών χώρων παρατηρείτε μείωση από 1 έως 2 dB(A). Αυτό συμβαίνει στο σημείο 4. Στο παράρτημα φαίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε Leq, και L10 καθώς και το διορθωμένο Leq, και L10 σε κάθε σημείο από τις 8:00-22:00. Επίσης φαίνονται κάποια επιπρόσθετα τυπικά αποτελέσματα που προέκυψαν από μετρήσεις και αναλύσεις δεδομένων. Για κάθε σημείο δίνονται κάποιες σελίδες L-1,L-2,L-3,L-4,L-5,L-6,L-7,L-8. Τα L-1, L-2, L-3, L-4 αναφέρονται στα τέσσερα σημεία για τις μέρες από Δευτέρα έως Σάββατο ενώ οι σελίδες L-5,L-6,L-7,L-8 αναφέρονται στα τέσσερα σημεία για την μέρα της Κυριακή. Στις σελίδες αυτές φαίνεται αναλυτικά ο μέσος όρος Leq το διορθωμένο Leq και ο μέσος όρος των αυτοκινήτων από 8:00-22:00 κάθε ώρα. Σε κάθε σελίδα παρουσιάζονται δυο γραφικές παραστάσεις οι οποίες δείχνουν α) την μεταβολή της στάθμης Leq μεταξύ των ωρών 08:00 και 22:00 και β) το Leq και τον κυκλοφοριακό φόρτο μεταξύ των ωρών 08:00 και 22:00. Τέλος υπάρχει μια σελίδα η οποία δίνει μια συνολική εικόνα του μέσου όρου του Leq και των αυτοκινήτων για κάθε σημείο ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται με δυο γραφικές παραστάσεις οι οποίες δείχνουν α) την στάθμη θορύβου Leq(08:00-22:00) στις θέσεις μέτρησης και β) το Leq (08:00-22:00) και μέση κυκλοφοριακή ροή στις θέσεις μέτρησης.

Από τα διαγράμματα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το επίπεδο θορύβου Leq ακολουθεί τις αλλαγές της κυκλοφορικής ροής. Αυτό είναι ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα αφού συμφωνά με τη σχετική βιβλιογραφία υπό συνθήκες ελεύθερης κυκλοφοριακής ροής ο διπλασιασμός των οχημάτων που περνάνε προκαλεί μια αύξηση στο επίπεδο του θορύβου της τάξης των 3 dB(A). Παρόλα αυτά στον δρόμο που έγιναν οι μετρήσεις είχαμε φανάρια με αποτέλεσμα να έχουμε κάποια μπουτιλιάρια και να μην έχουμε συνθήκες ελεύθερης ροής. Γι'αυτό το λόγω η τάση των διαγραμμάτων που αναφερθήκαν πιο πάνω δεν ακολουθείται σε μερικές περιπτώσεις.

Όσο για το L10 παρατηρούμε ότι είναι αυξημένο κατά 2 έως 3 dB(A) και αυτό είναι αναμενόμενο σύμφωνα με την σχετική θεωρία.

Η Κυριακή αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση. Συγκρίνοντας με τις υπόλοιπες μέρες τις εβδομάδας ,παρατηρούμε ότι και ο κυκλοφοριακός φόρτος αλλά και οι

στάθμες των L_{eq} και L_{10} είναι μειωμένες κατά 2 dB(A) περίπου. Και αυτό οφείλεται στην μειωμένη κίνηση των οχημάτων κατά τις πρωινές ώρες, αλλά αύξηση της κίνησης κατά τις βραδινές επειδή η Μοναστηριού αποτελεί μια κυρία είσοδο.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν πιο πάνω δείχνουν ότι και στα 4 σημεία τα επίπεδα θορύβου βρίσκονται πιο πάνω από το όριο της Ελληνικής Νομοθεσίας το οποίο ορίζεται στα 67dB(A). Η διαφορά μέτρησης που ξεπερνά τα 8 dB(A) στο $L_{eq}(08:00-22:00)$ θεωρείται δραματικά υψηλή αφού όπως είναι γνωστό τόσο υψηλά επίπεδα θορύβου μπορούν να προκαλέσουν ουσιαστικές ενοχλήσεις στους κατοίκους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σεμινάριο, (Αστικός Θόρυβος: Πηγές, Ηχοπροστασία , Νομοθεσία), Γ.Γ.Ε.Τ. (Ανθρώπινο Δίκτυο) με θέμα Αστικός Θόρυβος, University Press,1998
2. B.Smith,R.Peters, S.Owen,Acoustics and Noise Control, Longman Pub.Group, 1996
3. D.A.Bies, C.H.Hansen, Engineering Noise Control: Theory and Practice, E&Fn Spon,1996
4. A.Barder, Handbook of Noise and Vibration Control , Elsevier Science Ltd,1992
5. John M.Eargl, Music, Sound and Technology, 2nd edition, International Thomson Publishers Inc,1996
6. www.noise-pollution.gr

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

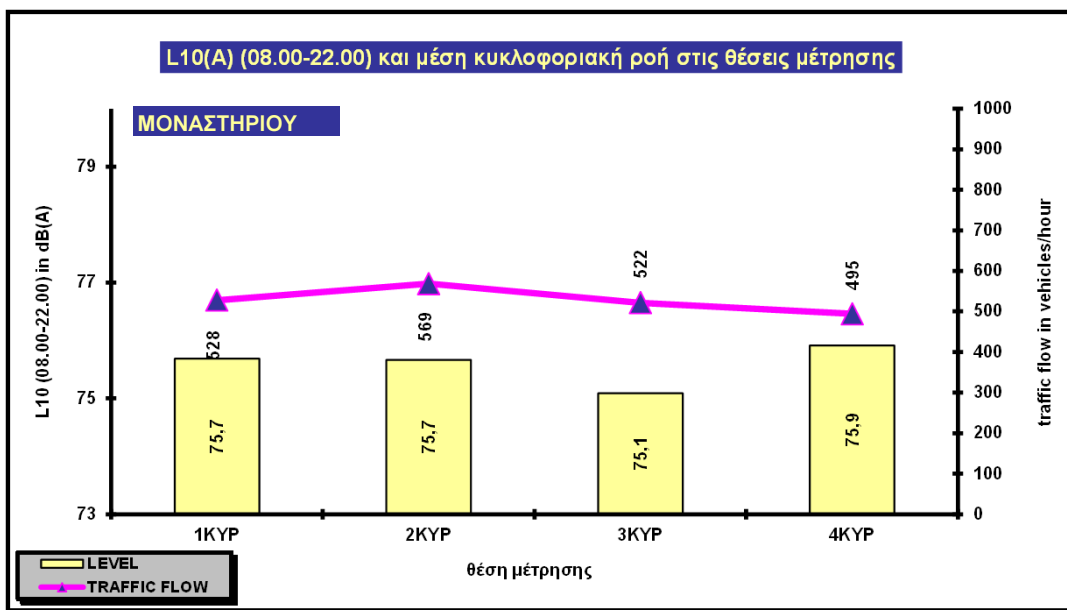
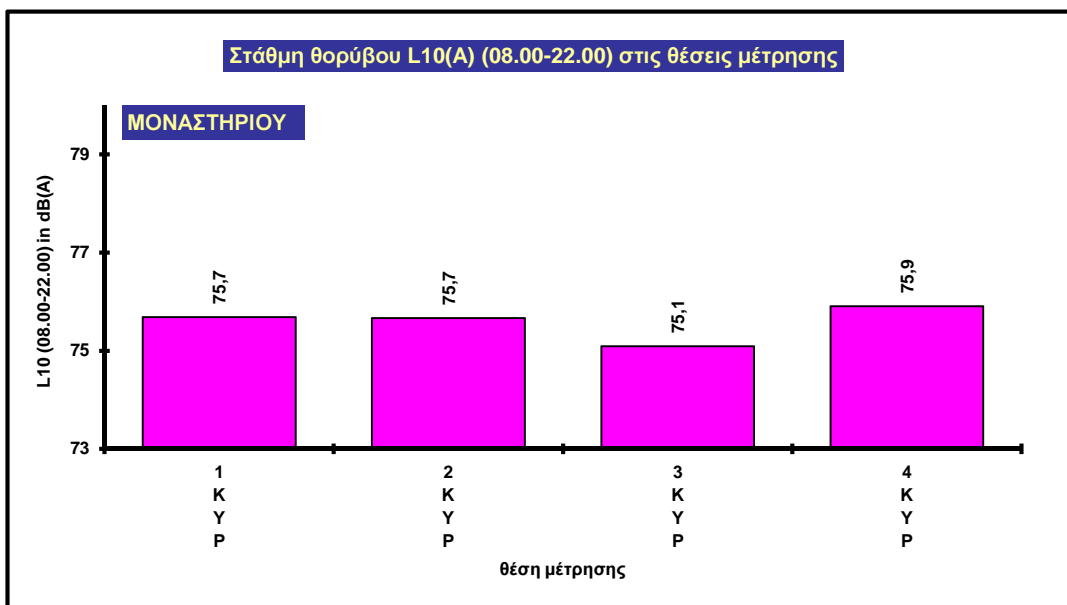
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ

ΟΔΟΣ: ΜΟΝΑΣΤΗΡΙΟΥ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΡΙΑΚΗ				
ΣΗΜΕΙΟ	1ΚΥΡ	2ΚΥΡ	3ΚΥΡ	4ΚΥΡ
ΣΤΑΘΜΗ Leq σε dB(A)	75,7	75,7	75,1	75,9
κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα)	528	569	522	495

Μέση τιμή κυκλοφοριακού φόρτου : 528 (οχήματα/ώρα)

Οι στάθμες L10 (08.00-22.00) σε dB(A) βρίσκονται μεταξύ: 75,1 και 75,9



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ
ΟΔΟΣ: ΜΟΝΑΣΤΗΡΙΟΥ ΔΕΥΤΕΡΑ-ΣΑΒΒΑΤΟ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΕΥΤΕΡΑ-ΣΑΒΒΑΤΟ

ΣΗΜΕΙΟ	1	2	3	4
ΣΤΑΘΜΗ Leq σε dB(A)	74,8	74,2	74,9	74,2
κυκλοφοριακός φόρτος (οχήματα/ώρα)	1514	1310	1365	1148

Μέση τιμή κυκλοφοριακού φόρτου : 1334 (οχήματα/ώρα)

Οι στάθμες Leq (08.00-22.00) σε dB(A) βρίσκονται μεταξύ: 74,2 και 74,9

