

**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΝΙΚΟΣ Κ. ΜΠΑΡΚΑΣ**

αναπληρωτής καθηγητής οικοδομικής τεχνολογίας - αρχιτεκτονικής ακουστικής

**Σημειώσεις για το ΠΕΓΑ**  
**πρόγραμμα δια βίου μάθησης ΑΕΙ**  
**«Αστικές Αναπλάσεις & Πράσινος Σχεδιασμός».**

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ**

**Ξάνθη Μάρτιος 2014**

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>2</b>
<b>Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ</b>	<b>3</b>
1.1 Η Ακουστική Φυσική	3
1.2 Βασικές έννοιες	4
<b>Κεφάλαιο 2 : ΗΧΟΔΙΑΔΟΣΗ</b>	<b>6</b>
2.1 Η ηχητική ένταση	6
2.2 Μονάδες και καμπύλες διόρθωσης	7
2.3. Ηχητικές στάθμες αναφοράς και βασικές σχέσεις	7
2.4 Φαινόμενα ηχοανάκλασης	8
2.5 Σύνθεση ηχητικών εντάσεων	9
<b>Κεφάλαιο 3 : ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ</b>	<b>10</b>
3.1 Οχλήσεις από τον περιβαλλοντικό θόρυβο	10
3.2 Έλεγχοι Ηχοπροστασίας	11
3.3 Το θεσμικό & κοινωνικό πλαίσιο της Ηχοπροστασίας	12
3.4. Ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού θορύβου	13
3.5. Ηχητικές στάθμες – εκτιμήσεις και δεδομένα	14
3.6. Κυκλοφοριακός θόρυβος - μοντέλα προσομοίωσης	16
3.7. Κριτήρια ησυχίας – ακουστική άνεση	17
3.8. Παράγοντες απομείωσης του περιβαλλοντικού θορύβου	18
<b>Κεφάλαιο 4 : ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ - ΗΧΟΦΡΑΓΜΑΤΑ</b>	<b>20</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>22</b>

## Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

### 1.1. Η Ακουστική Φυσική

Η Ακουστική ως τμήμα της Φυσικής και σε συνδυασμό με άλλους κλάδους της Τεχνικής Μηχανικής μελετά την διάδοση, τις ηχητικές ταλαντώσεις, τα φαινόμενα και τα αποτελέσματα τους.

Τα ακουστικά φαινόμενα δεν περιορίζονται μόνο σε αέρια υλικά αλλά στο σύνολο της Κυματικής Μηχανικής. Η Ακουστική ασχολείται με εκείνο το τμήμα της κυματικής που συνδέεται με την ακοή και με εκείνο το φάσμα των ταλαντώσεων που διεγείρει την ακουστική αίσθηση.

Στην Ακουστική Επιστήμη καταλήγουν ή διαπλέκονται η Μουσική, η Ιατρική, η Ψυχολογία, η Μηχανική των Στερεών και των Ρευστών, η Φυσική των Κατασκευών, η Ηλεκτρονική και η Αρχιτεκτονική.

**Ο ήχος** είναι αποτέλεσμα της ελαστικής μετακίνησης, ταλάντωσης, δόνησης των στοιχείων ενός ρευστού όπου διαδίδεται μια κύμανση. Ο ήχος είναι ταλάντωση, απλή ή περιοδικά σύνθετη, αποτελούμενη από συνιστώσες θεωρητικά ημιτονοειδείς, οι οποίες χαρακτηρίζονται από 3 παραμέτρους :

-το εύρος ταλάντωσης **A**,

-την ταχύτητα κίνησης  **$u = dA / dt$** ,

-τη μεταβολή της πίεσης **p** σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση **P<sub>0</sub>**.

Τα ακουστικά φαινόμενα γίνονται αντιληπτά σε απειροελάχιστα μεγέθη των παραπάνω παραμέτρων, για την ακρίβεια το ανθρώπινο αισθητήριο διεγείρεται και διακρίνει τις ελάχιστες μεταβολές των παραπάνω φυσικών μεγεθών :

-ένα σύνηθες ακουστό εύρος ταλάντωσης στον αέρα είναι 0,05mm,

-το κατώφλι του πόνου αντιστοιχεί σε μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά 0,01 Watt/cm<sup>2</sup>.

Όπως το σύνολο των Φυσικών Επιστημών, η Ακουστική μελετά τη γενική μορφή ενός φαινομένου σε συνάρτηση με τις ιδιομορφίες της πηγής (αρχικές συνθήκες) και τις οριακές συνθήκες του προβλήματος (χώρος, χρονική διάρκεια, απλοποιητικές παραδοχές). Οι βασικές θεωρίες της ακουστικής διακρίνουν την ηχοδιάδοση σε τέλεια ή μη τέλεια ρευστά, ρευστά σε ηρεμία ή σε κίνηση, σε ομογενή ή μη ομογενή υλικά, επιλύοντας αντίστοιχα την γενική συνάρτηση της κυματομορφής στα όρια ενός συγκεκριμένου προβλήματος

Βασικά ηχητικά φαινόμενα και τομείς της Ακουστικής είναι η διάθλαση (αλλαγή ρευστού), η περίθλαση (ακουστική σκιά), η διαύγεια (ηχο-περατότητα), η αντήχηση (ακουστική ποιότητα ενός χώρου), η μη γραμμική ακουστική, η αερο-ακουστική κλπ.

Στη Φυσική των Κατασκευών, η Ακουστική διατηρεί ένα ευρύ πεδίο ενδιαφέροντος και εφαρμογών όπως φαίνεται στον πίνακα :

Κεφάλαια	Εφαρμογές	Φαινόμενα
1. ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ	ακουστικός σχεδιασμός περιβαλλοντικές μελέτες	ΗΧΟΔΙΑΔΟΣΗ ΗΧΟΑΝΑΚΛΑΣΗ
2. ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ	ηχομόνωση εργασιακός θόρυβος αντικραδασμική προστασία κατασκευών σχεδιασμός συνηχητών	ΗΧΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
3. ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ	ηχοφράγματα υπαίθρια ηχοπροστασία συγκοινωνιακά έργα	ΗΧΟΔΙΑΔΟΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
4. ΑΝΤΗΧΗΣΗ	ακουστική ποιότητα - κριτήρια αξιολόγησης αιθουσών	ΗΧΟΔΙΑΧΥΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

### 1.2. Βασικές έννοιες

Η μελέτη των ακουστικών φαινομένων προϋποθέτει δύο αρχικές απλοποιήσεις :

- την ελαστικότητα των κυμάνσεων,
- το απειροστό μέγεθος των ταλαντώσεων.

Οι ακουστικές κυμάνσεις και ταλαντώσεις έχουν περιοδικό χαρακτήρα, δηλαδή όλα τα βασικά μεγέθη τους (μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση) επαναλαμβάνονται σε τακτά διαστήματα διάρκειας  $T$ , την λεγόμενη **περίοδο** του φαινομένου (ανά sec).

**Συχνότητα** ( $f$  ή  $\nu$ ) είναι ο αριθμός των κύκλων της περιόδου στη μονάδα του χρόνου ( $f = 1 / T$ , σε κανονικοποιημένη κλίμακα hertz, **Hz**).

Στην πραγματικότητα, κατά την ηχοδιάδοση οι ταλαντώσεις δεν επαναλαμβάνονται αναλλοίωτες, αλλά υφίστανται απόσβεση (αμελητέα σε πρώτη προσέγγιση) που οδηγεί σε μείωση του εύρους ταλάντωσης εξαιτίας του ιξώδους και των τριβών στο μέσο διάδοσης.

Για τη Μηχανική των Συνεχών Μέσων, η ηχοδιάδοση απαιτεί **πηγή, δέκτη και μέσο διάδοσης**.

Η μετάδοση της ηχητικής δόνησης εξασφαλίζεται μέσω ελαστικών δυνάμεων, με χρονική καθυστέρηση (το διάστημα της εναλλαγής των ρόλων δέκτη και πηγής για κάθε μόριο). Τα ακουστικά κύματα είναι διαμήκη ή εγκάρσια :

- στα στερεά υλικά εντοπίζονται κύματα διαμήκη και εγκάρσια
- στα υγρά κυριαρχούν τα διαμήκη κύματα
- στα αέρια, εκτός της ζώνης των ορίων, τα εγκάρσια κύματα είναι αμελητέα.

Ουσιαστικά, η ηχοδιάδοση συντελείται σε συνθήκες **αδιαβατικής κατάστασης** καθώς η ταχύτητα της θερμότητας στον αέρα (0,5m/s) είναι αμελητέα σε σχέση με την ταχύτητα της ηχοδιάδοσης (340m/s).

**Μήκος κύματος  $\lambda$**  είναι η ελάχιστη χωρική απόσταση ανάμεσα σε δύο σημεία του μέσου, τα οποία βρίσκονται στο ίδιο καθεστώς ταλάντωσης.

**Διαστημική ταχύτητα  $c$**  (velocity, celerity) λέγεται η ταχύτητα της ηχοδιάδοσης, όπου ισχύει :

$$c = \lambda / t \quad \Rightarrow \quad \lambda = c / f \quad \Rightarrow \quad \lambda = c \cdot T$$

δηλαδή το γινόμενο μήκους κύματος - συχνότητας είναι μια σταθερά του μέσου της ηχοδιάδοσης.

Προφανώς **δεν υφίσταται ηχοδιάδοση στο κενό**, όπου απουσιάζει κάθε συστατικό στοιχείο ικανό να μεταδώσει την ηχητική κύμανση.

**Στα στερεά**, για τα διαμήκη κύματα (και με βάση το μοντέλο του Young **E**) προκύπτει ότι :

$c = 2500$  m/s στο μόλυβδο,

$c = 6000$  m/s στο ασάλι,

$c = 3500$  m/s στα οστά και

$c = 1500$  m/s στους ιστούς.

**Στα ρευστά**, σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής των Mariotte - Gay Lussac :

$c = 330 - 340$  m/s στον αέρα και

$c = 1400 - 1500$  m/s στο νερό.

## Κεφάλαιο 2 : ΗΧΟΔΙΑΔΟΣΗ

### 2.1. Η ηχητική ένταση

Ο ήχος ως μηχανική δόνηση είναι μια ελαστική μετατόπιση των στοιχείων ενός ρευστού εντός του οποίου διαδίδεται. Ο ήχος αποτελεί μια απλή ή περιοδικά σύνθετη ταλάντωση, που θεωρητικά αποσυντίθεται σε διάφορες ημιτονοειδείς συνιστώσες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από 3 παραμέτρους :

- το εύρος ταλάντωσης
- την ταχύτητα ταλάντωσης
- τη σχετική μεταβολή της πίεσης ως προς την ατμοσφαιρική πίεση.

Στην Ακουστική, η έννοια της έντασης έχει διπλή σημασία :

-για τη φυσική, η ένταση ενός κυματικού φαινομένου είναι το έργο που δαπανάται ή παράγεται στη μονάδα του χρόνου (ή αντίστοιχα, ο ρυθμός κατανομής της ενέργειας σε ολόκληρη την έκταση ενός χώρου),

Για τους ακουστούς ήχους, συμβατικά, η ηχητική ένταση που αναλογεί σε κατανομή ενέργειας :

$I_0 = 10^{-16} \text{ Watt/cm}^2$  αντιστοιχίζεται με το κατώφλι της ακουστότητας

$I_{\max} = 10^{-2} \text{ Watt/cm}^2$  αντιστοιχίζεται με το κατώφλι του πόνου

-για τη φυσιολογία, η ένταση ενός ηχητικού φαινομένου είναι η σχετική μεταβολή της πίεσης του περιβάλλοντος (σε δεδομένο χώρο και χρόνο).

Σύμφωνα με το νόμο των Weber - Fechner, η ακουστική αίσθηση  $S$  μεταβάλλεται λογαριθμικά ως προς την ηχητική ένταση  $I$  της διέγερσης.

Με άλλα λόγια, η αύξηση της φυσικής έντασης και τα 100, 1000, 10.000 φορές κλπ, οδηγεί σε αύξηση της φυσιολογικής έντασης κατά 2, 3, 4 φορές κλπ. Επομένως :

$$S = k \cdot \log ( I / I_0 )$$

όπου  $I_0$  η οριακή, στοιχειώδης ένταση ( πχ το κατώφλι της ακουστότητας).

Η παραπάνω σχέση είναι παραγωγίσιμη, δηλαδή επιτρέπει τη διάκριση κάθε μεταβολής στην υποκειμενική αίσθηση της ηχητικής έντασης :

$$\Delta S = K \cdot (\Delta I / I)$$

## 2.2. Μονάδες και καμπύλες διόρθωσης

Ο σχετικός χαρακτήρας του ορισμού της έντασης οδήγησε στη διαμόρφωση ενός συστήματος λογαριθμικών μονάδων, που παρακολουθεί (συνελίσσεται καλά με) την ακουστική αίσθηση : ένα σύστημα μονάδα προσαρμοσμένο στην ανθρώπινη κλίμακα, όπου η άθροιση μονάδων αντιστοιχεί σε πολλαπλασιασμό δεκάδων.

Προς τιμήν του G.Bell, η λογαριθμική μονάδα μέτρησης των ηχητικών φαινομένων ονομάστηκε **bell**. Για λόγους κανονικοποίησης, κρίθηκε πρόσφορη η αξιολόγηση των μεγεθών σε δέκατα αυτής της μετρικής μονάδας, δηλαδή σε **decibell** (ή συντομογραφικά **dB**).

Σε πρώτη προσέγγιση, η μεταβολή της έντασης δείχνει να είναι ανεξάρτητη της συχνότητας και της στάθμης έντασης (το αυτί μας, ανεξαρτήτως επιπέδου έντασης, διακρίνει τη ίδια, σχετική διαφορά έντασης).

Ο Fletcher προσδιόρισε εμπειρικά ότι για την ακριβή προσέγγιση των μεταβολών της ηχητικής έντασης (συχνοτικά και ποσοτικά) χρειάζονται ορισμένες διορθώσεις στην βαρύτητα των επιμέρους συχνοτήτων, σύμφωνα με πρότυπες καμπύλες διόρθωσης.

Ανάλογα με το προς διερεύνηση ηχητικό φαινόμενο, η ακρίβεια της μέτρησης καθορίζει την προσφορότερη καμπύλη διόρθωσης [πχ **dB(A)**, **dB(C)**, **dB(W)** κλπ].

Ηχομετρήσεις που σχετίζονται με την ανθρώπινη φωνή διεξάγονται με την **καμπύλη C**.

Ακουστικές αξιολογήσεις που σχετίζονται με την ανθρώπινη ακοή πραγματοποιούνται σύμφωνα με την **καμπύλη A** (ενώ οι μετρήσεις του ηλεκτρονικού θορύβου των μηχανημάτων στην καμπύλη W κλπ).

Η ένδειξη dB(A) κλπ προσδιορίζει τη σφαιρική, ή προσεγγιστικά μέση τιμή ενός ηχητικού μεγέθους σύμφωνα με την αντίστοιχη καμπύλη. Αυτό που κάθε φορά αλλάζει σε μια καμπύλη μέτρησης είναι τα συχνοτικά όρια και η κεντροβαρική συνεισφορά των επιμέρους συχνοτήτων.

## 2.3. Ηχητικές στάθμες αναφοράς και βασικές σχέσεις

Δυο ήχοι, ίδιας συχνότητας, με εντάσεις  $I_1$  και  $I_2$  (με αντίστοιχες σχετικές πιέσεις  $P_1$  και  $P_2$  και αντίστοιχες αποστάσεις  $d_1$  και  $d_2$  από την πηγή) διαφέρουν κατά  $N$  δέκατα του bell, ή  $N$  decibell ( $N$  dB) όταν :

$$N_{dB} = 10 \cdot \log (I_1 / I_2) \quad \text{ή}$$

$$N_{dB} = 20 \cdot \log (P_1 / P_2) \quad \text{ή}$$

$$N_{dB} = 20 \cdot \log (d_2 / d_1)$$

Ο διπλασιασμός της λογαριθμικής αναλογίας των πιέσεων οφείλεται στη σχέση :

$$I = p^2 / \rho c$$

η οποία προσδιορίζει την ηχητική ένταση σε περίπτωση επίπεδης ή σφαιρικής διάδοσης της κύμανσης.

Ο διπλασιασμός της λογαριθμικής αναλογίας των αποστάσεων οφείλεται στη σχέση :

$$I = W / E = W / 4\pi d^2$$

η οποία προσδιορίζει την κατανομή της ηχητικής ενέργειας σε σφαιρικό κύμα και συναρτά τη μεταβολή της έντασης αντιστρόφως ανάλογα της σχετικής απόστασης από την πηγή.

Όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί, ανεξαρτήτως του μεγέθους της έντασης, με στάθμη αναφοράς την ένταση σε απόσταση 1m από την πηγή :

- ο διπλασιασμός της έντασης (από δύο ταυτόσημες ή παράλληλες πηγές) οδηγεί σε κέρδος 3dB,
- ο διπλασιασμός της απόστασης από την πηγή καταλήγει σε απώλεια 6dB.

Απόσταση σε m	Ελάττωση σε W/m <sup>2</sup>	Απομείωση σε dB	Παρατηρήσεις
1	1	0	
1,4	2	3	διπλασιασμός της απομείωσης
2	4	6	απομείωση 3dB
5	25	14	
10	100	20	διπλασιασμός της απόστασης
20	400	26	απομείωση 6dB
30	900	29,5	

Εξ ορισμού, η ηχητική ένταση είναι σχέση ενός επιπέδου (στάθμης) ως προς ένα άλλο επίπεδο (στάθμη), το λεγόμενο επίπεδο αναφοράς (στάθμη αναφοράς).

Η στάθμη αναφοράς 0dB προσδιορίζεται για συνθήκες έντασης που αντιστοιχούν στο κατώφλι της ακουστότητας :

$$I_0 = 10^{-16} \text{ Watt/cm}^2 \quad \text{ή} \quad P_0 = 210^{-5} \text{ Pascal,}$$

#### 2.4. Φαινόμενα ηχοανάκλασης

Κατά την πρόσπτωση του ήχου σε ένα λείο, ανακλαστικό τοίχο εμφανίζεται το φαινόμενο της ανάκλασης : η ηχοδιάδοση φαίνεται να προέρχεται από μια συμμετρική ηχητική πηγή, είδωλο της αυθεντικής πηγής ως προς τον τοίχο. Ο ανακλώμενος, ως προς τον προσπίπτοντα ήχο παρουσιάζει :

- χρονική καθυστέρηση,
- μεταβολή έντασης,
- αλλαγή φασματικής σύνθεσης.

Σύμφωνα με την οπτική (τη λεγόμενη γεωμετρική χάραξη), η ηχοανάκλαση ακολουθεί συγκεκριμένη διαδρομή (η γωνία ανάκλασης ίση της γωνίας πρόσπτωσης). Σύμφωνα με την κυματική, η ηχοανάκλαση διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις σε συνάρτηση με το ηχητικό φάσμα, τη γωνία πρόσπτωσης, τις διαστάσεις και την ανακλαστική ικανότητα του τοίχου.

Με μια σειρά απλοποιητικών παραδοχών, στις τεχνικές εφαρμογές, η ηχοανάκλαση χαρακτηρίζεται από την κεντρική της δέσμη (κατά τους νόμους της γεωμετρικής οπτικής) και μια ποικιλία άλλων κατευθύνσεων (τις τοπικές συνθήκες ηχοδιάχυσης). Ανάλογα με την διακύμανση των παραπάνω παραμέτρων, το φαινόμενο της ηχοανάκλασης μπορεί να βελτιώσει ή να επιδεινώσει το ηχητικό περιβάλλον.

Στη γενική μορφή του φαινομένου της ηχοανάκλασης, ο ανακλώμενος ήχος λειτουργεί ως παρασιτικό φίλτρο του κατευθείαν ήχου, δηλαδή επιδρά στην ακουστική επικοινωνία σαν μάσκα, προκαλώντας μια σύνθετη ακουστική ενόχληση (ανάλογα με τη σχετική διαφορά των ηχοδιαδρομών και των εντάσεων).



## 2.5. Σύνθεση ηχητικών εντάσεων

Οι ηχοανακλάσεις και ο κατευθείαν ήχος εμφανίζουν πάντοτε διαφορές έντασης, λόγω αποσβέσεων στην ατμόσφαιρα ή στα τοιχώματα (ηχοαπορρόφηση).

Σύμφωνα με διεθνή πειράματα, η σύνθεση δύο όμοιων ήχων (είτε λευκός θόρυβος, είτε ανθρωπίνη φωνή) εμφανίζει ιδιόμορφα αποτελέσματα :

-στην περίπτωση μεγάλης διακύμανσης των επιμέρους τιμών ( $> 7\text{dB}$ ), η άθροιση των ηχητικών εντάσεων είναι ανεξάρτητη της ύπαρξης της μικρότερης συνιστώσας (**+0dB**),

-στην περίπτωση μικρής διακύμανσης των επιμέρους τιμών ( $\leq 6\text{dB}$ ), η άθροιση των ηχητικών εντάσεων είναι μια γραμμική συνάρτηση (ανάλογη της διαφοράς των συνιστωσών).

Αναλυτικά, το αποτέλεσμα της σύνθεσης δύο ήχων, με την προϋπόθεση της συχνοτικής ομοιότητας, ανεξάρτητα του μεγέθους των εντάσεων είναι :

-για αποκλίσεις κάτω από 1dB, διπλασιασμός του ήχου της μεγαλύτερης έντασης (**+3dB**),

-για αποκλίσεις 1 ως 2dB, αύξηση της ηχητικής έντασης του ισχυρότερου κατά **2,5dB**

-για αποκλίσεις 2 ως 3dB, αύξηση της ηχητικής έντασης του ισχυρότερου κατά **2dB**,

-για αποκλίσεις 3 ως 4dB, αύξηση της ηχητικής έντασης του ισχυρότερου κατά **1,5dB**

-για αποκλίσεις 4 ως 5dB, αύξηση της ηχητικής έντασης του ισχυρότερου κατά **1dB**

-για αποκλίσεις 5 ως 6dB, αύξηση της ηχητικής έντασης του ισχυρότερου κατά **0,5dB**

-για αποκλίσεις πάνω από 6dB, διάκριση του ήχου της μεγαλύτερης ηχητικής έντασης.

## Κεφάλαιο 3 : ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

### 3.1. Οχλήσεις από τον περιβαλλοντικό θόρυβο

Οι κυκλοφοριακοί θόρυβοι επιφέρουν σημαντικές οχλήσεις στους ανθρώπους. Για τους κατοίκους των αστικών περιοχών, όπως διαπιστώνουν έγκυρες κοινωνικές έρευνες τα τελευταία 50 χρόνια, ο θόρυβος (ανεξάρτητα από τη σύνθεση και την προέλευση του) αποτελεί το ιεραρχικά σημαντικότερο αστικό πρόβλημα.

Οι τελευταίες έρευνες του Οργανισμού Παγκόσμιας Υγείας (WHO, 2011) συνδέουν ευθέως τα καρδιο-αγγειακά επεισόδια με την έκθεση στο θόρυβο, ενώ εκτιμούν σε περίπου 1.000.000 τα χαμένα προσδόκιμα χρόνια υγιούς διαβίωσης που συσσωρεύονται κάθε χρόνο εξαιτίας (μόνο) του κυκλοφοριακού θορύβου, στις χώρες της Ε.Ε.

Ευδιάκριτες είναι δευτερογενείς επιπλοκές στις περιπτώσεις μεγάλης εγγύτητας σε κυκλοφοριακούς άξονες (ναυτία, ζάλη, πονοκέφαλος), ιδίως σε φάσεις κατασκευής. Εξαιρετικά διαδεδομένες είναι οι επιπτώσεις του κυκλοφοριακού θορύβου στην ψυχική υγεία, κυρίως κατά τη νυχτερινή περίοδο και ιδιαίτερα σε ανθρώπους 1ης και 3ης ηλικίας (νευρικότητα, αϋπνία).

Το ακριβές μέγεθος και η σοβαρότητα της κατάστασης ποικίλλουν ανάλογα με :

- την απόσταση του δέκτη από τον άξονα κυκλοφορίας,
- τα χαρακτηριστικά και την πυκνότητα του κυκλοφοριακού φόρτου,
- την μορφολογία και την διαμόρφωση της περιοχής,
- την κοινωνική σύνθεση (δηλαδή την προσδοκώμενη άνεση) των κατοίκων.

Δεν έχουν αξιολογηθεί επαρκώς οι επιπτώσεις του κυκλοφορικού θορύβου στην ποιότητα ζωής των κατοίκων ημιαστικών & αγροτικών περιοχών. Σε πρώτη φάση, μια νέα οδική χάραξη είναι κοινωνικά ευπρόσδεκτη, καθώς θεωρείται ως προϋπόθεση ανάπτυξης της περιοχής ή ως διευκόλυνση των ενδοεπαρχιακών μετακινήσεων. Στη συνέχεια, ο αυστηρός προσδιορισμός των προσβάσεων και οι περιορισμένες δυνατότητες παράλληλης εμπορικής εκμετάλλευσης (για λόγους ασφαλείας) των μεγάλων οδικών δικτύων, σε συνδυασμό με το κόστος των διοδίων, επιφέρουν σταδιακά τη μεταστροφή του κλίματος, όπως και στις αστικές περιοχές.

Ο θόρυβος των σιδηροδρόμων αποτελεί μια ιδιαίτερη παραλλαγή. Αν και προκαλεί ηχητικές εντάσεις ισχυρότερες του οδικού, έχει διαπιστωθεί πως επιφέρει μικρότερες και κυρίως υποφερτές (ανεκτές) οχλήσεις, καθώς :

-στην περίπτωση των βιομηχανικών πόλεων, οι σιδηροδρομικές γραμμές προϋπάρχουν των συνοικιών, δηλαδή αποτελούν μέρος του τοπίου εγκατάστασης,

-η προσέγγιση του σιδηροδρόμου, γίνεται αντιληπτή πολύ πριν την εξέλιξη του βασικού ηχητικού γεγονότος (με εξαίρεση τα τούνελ), κατάσταση που ενεργοποιεί έγκαιρα τους αμυντικούς μηχανισμούς της ακοής και δεν αιφνιδιάζει με τον τυχαίο ή απρόβλεπτο πάταγο του θορύβου διέλευσης,

-η διάρκεια, ο χρόνος, ο ρυθμός αλλά και τα υπόλοιπα ιδιοχαρακτηριστικά κάθε σιδηροδρομικού γεγονότος είναι σχεδόν σταθερά, περιοδικά και επαναλαμβανόμενα, δηλαδή πλήρως καταγεγραμμένα και άρα αναμενόμενα στη συνείδηση των κατοίκων.

Οι παραπάνω θετικές διαπιστώσεις, για την ψυχοακουστική εξοικείωση και ανοχή των περιοίκων εντοπίζονται σε σιδηροδρομικά δίκτυα χαμηλού φόρτου ( < 30 διελεύσεις / 24h) ή

περιορισμένης νυχτερινής λειτουργίας και σχετίζονται με θορυβικές επιδράσεις από τις ήδη υπάρχουσες σιδηροδρομικές γραμμές. Αξιοσημείωτο είναι πως, σε περιπτώσεις επεκτάσεων ή εγκατάστασης νέων γραμμών, οι διαθέσιμες μεταστρέφονται τάχιστα και καταγράφονται αρνητικές επιδράσεις από τις καινούργιες, πρόσθετες θορυβικές οχλήσεις.

Είναι βέβαιο πως οι ηχητικά ευπαθείς και ψυχοακουστικά ευαίσθητοι άνθρωποι επηρεάζονται σοβαρότερα από τις θορυβικές οχλήσεις του περιβάλλοντος, κινδυνεύοντας άμεσα με απώλεια της ψυχικής τους ισορροπίας.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις ισχύουν σε υπερθετικό βαθμό σε εκείνα τα είδη της Πανίδας για τα οποία η ακουστική αίσθηση (γενικότερα οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης) εξασφαλίζουν (ή επισκιάζουν) την δυνατότητα επιβίωσης και επικοινωνίας (προσανατολισμός, κίνηση, ασφάλεια, εξεύρεση τροφής, ζευγάρισμα, επώαση-τοκετός, ανατροφή-θηλασμός κλπ). Ειδικά για την άγρια Πανίδα (πηνά ή θηλαστικά) δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα που να διερευνούν τα ιδιο-χαρακτηριστικά του κυκλοφορικού θορύβου με τα ανεκτά όρια συνύπαρξης ή επιβίωσης, ούτε υπάρχουν καταγεγραμμένες έρευνες που να συνδέουν τις διάφορες φάσεις του κύκλου της ζωής (όπως διατροφή, ανάπαυση, αναπαραγωγή) με σχετικά όρια περιβαλλοντικού θορύβου.

### 3.2. Έλεγχοι Ηχοπροστασίας

Η θεμελιώδης σχέση που συνδέει τις βασικές παραμέτρους της ακουστικής 'άνεσης είναι :

$$L_o - L_1 = D \quad \Rightarrow \quad L_o = L_1 + D \quad \text{και}$$

$$D = \sum \alpha_i \quad \text{όπου}$$

$L_o$  ο αναμενόμενος, μέγιστος εξωτερικός θόρυβος στην πηγή

$L_1$  η επιτρεπόμενη, μέγιστη όχληση στη θέση προστασίας (δηλαδή η ελάχιστη αποδεκτή ησυχία)

$D$  η διαφορά στάθμης (*difference level*) ανάμεσα στις θέσεις που θεωρούνται ως εξωτερικός και ως προστατευόμενος χώρος

$\alpha_i$  μια σειρά επιμέρους παράγοντες απογείωσης της εκπεμπόμενης ηχητικής ενέργειας όπως η απόσταση, η ηχοαπορρόφηση στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος, η επίδραση της υγρασίας και του ανέμου, οι γωνίες εκπομπής & λήψης (η σχετική θέση των περιοχών), η επιρροή των φυσικών/τεχνητών ηχοφραγμάτων κλπ.

Στην παραπάνω απλή, γραμμική σχέση, οι βασικές παράμετροι ακουστικής άνεσης εκφράζονται στη λογαριθμική κλίμακα *decibel* [σε σφαιρικές τιμές dB(A) ή συχνοτικές τιμές dB Lin]. Επομένως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση των υπολοίπων μεγεθών τα οποία, για να υπεισέλθουν στον τύπο, θα πρέπει να μετασχηματιστούν κατάλληλα.

Κατά την κατάσταση ενός ελέγχου ηχοπροστασίας (πχ σε μια Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων), η παραπάνω θεμελιώδης σχέση τροποποιείται κατάλληλα ώστε να διαμορφωθεί η ανισοσύνη από την οποία θα προκύψει η μέγιστη επιτρεπόμενη όχληση (η ελάχιστη αποδεκτή ησυχία) στην προστατευόμενη περιοχή

$$L_o - L_1 = D \quad \Rightarrow \quad L_1 = L_o - D$$

$$L_1 (\text{προτεινόμενο}) \leq L_{\text{Aeq,h}} (\text{επιτρεπόμενο})$$

Όμως, λόγω της συχνοτικά μεταβαλλόμενης συμπεριφοράς των θορύβων, η επίλυση ενός ελέγχου δεν αφορά την κατάσταση και επαλήθευση μίας ανισοσύνης, αλλά ενός συστήματος τέτοιων πράξεων για την σφαιρική και κάθε συχνοτική τιμή (σε οκταβικές ή τριτοκταβικές ζώνες).

### 3.3. Το θεσμικό και κοινωνικό πλαίσιο της Ηχοπροστασίας

Σύμφωνα με την Ελληνική & Διεθνή Νομοθεσία όλες οι Χωροταξικές, Πολεοδομικές, Συγκοινωνιακές και Κτιριολογικές Εφαρμογές, λαμβάνουν υπόψη την Ηχοπροστασία των κοινωνικών δραστηριοτήτων, αποσκοπούν στην εξασφάλιση συγκεκριμένων παραμέτρων ησυχίας & ακουστικής άνεσης για τους περιοίκους/ κατοίκους/ χρήστες μιας περιοχής ή ενός κτιρίου. και οφείλουν να τηρούν τις, κατά περίπτωση ανεκτές, στάθμες θορύβου.

Η παραπάνω γενική, κανονιστική διατύπωση είναι στην πραγματικότητα απατηλή :

-η ελληνική νομοθεσία δεν έχει θεσπίσει κάποια μέγιστα ανεκτά, εξωτερικά όρια (τα αντίστοιχα Outdoor Noise Levels των χωρών της Ε.Ε.) που να συνδέουν τον κυκλοφοριακό θόρυβο με τις επιμέρους χρήσεις γης και τη χρονική περίοδο αναφοράς δεν κατοχυρώνει την διάκριση αστικών, βιομηχανικών ή αγροτικών περιοχών, ούτε τη διάκριση περιόδων δραστηριότητας / κοινής ησυχίας,

-από το 1989, εξακολουθεί να εκκρεμεί η θεσμοθέτηση των αστικών περιοχών στις οποίες θα ισχύουν οι διατάξεις της ακουστικής άνεσης Α` ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ του Κτιριοδομικού Κανονισμού,

-το ισχύον θεσμικό πλαίσιο για την έκδοση οικοδομικών αδειών και την έγκριση συγκοινωνιακών έργων, δεν υποχρεώνει την Πολιτεία και τους Μελετητές-Κατασκευαστές-Ιδιοκτήτες είτε των νέων / ανακατασκευαζόμενων οικοδομών, είτε των συγκοινωνιακών δικτύων να υποβάλλουν τεύχος Μελέτης Ηχοπροστασίας ή Ηχομόνωσης (δηλαδή δεν υφίσταται προληπτικός, τεχνικός έλεγχος),

-επομένως, τα υφιστάμενα / νέα κτίρια ή δίκτυα δεν υποχρεούνται να συμμορφωθούν με τις απαιτήσεις του άρθρου 12 του Κτιρ. Κανονισμού (ούτε ως προς την ακουστική άνεση Β` ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ).

Ουσιαστικά, με τα υφιστάμενα όρια της εξάσκησης του μελετητικού επαγγέλματος και με τις τρέχουσες διαδικασίες παραγωγής κτιρίων & συγκοινωνιακών έργων, ο Κτιριοδομικός Κανονισμός δεν ισχύει : δεν κατοχυρώνει την τεχνική αρμοδιότητα των Μελετητών, δεν προσδιορίζει την ευθύνη Κατασκευαστών & Πολιτείας, ούτε εξασφαλίζει την ακουστική άνεση των Περιοίκων/Χρηστών μιας περιοχής ή των Κατοίκων/ Ενοίκων ενός κτιρίου.

Μέσω ενός ατέρμονος και ατελούς νομοθετικού πλέγματος (διοικητικές εγκύκλιοι, ή διατάξεις) τα θέματα της Ηχοπροστασίας ανάγονται σε έλεγχο πληρότητας (αλλ` όχι αρτιότητας) στο Συμβούλιο Επικρατείας ή σε κατασταλτικά μέτρα κατόπιν έγκλισης. Δηλαδή είναι μη αυτεπάγγελα αδικήματα, διώκονται ύστερα από αυτοψία (τεχνική ή/ και εμπειρική), στην περίπτωση πραγματικής (αλλ` όχι εν δυνάμει) διαπίστωσης της υπέρβασης ορισμένων ορίων θορύβου :

-υπέρβαση των 35 dB(A) σε χώρους κατοικίας, τις ώρες κοινής ησυχίας (από γειτονικές κατοικίες ή κέντρα διασκέδασης),

-υπέρβαση των 50 dB(A) σε χώρους κατοικίας, τις ώρες κοινής ησυχίας από προϋπάρχουσες βιοτεχνικές εγκαταστάσεις σε αστικές περιοχές,

-υπέρβαση των 65 dB(A), στα όρια του οικοπέδου, από επαγγελματική δραστηριότητα σε βιοτεχνικές ή βιομηχανικές περιοχές.

### 3.4. Ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού θορύβου

Ανάλογα με το είδος της πηγής όχλησης, την κοινωνική χρήση της προστατευόμενης περιοχής και το ενδιαμέσο περιβάλλον, οι βασικές παράμετροι της ακουστικής άνεσης αποκτούν διακριτούς δείκτες και επιτρεπτά όρια (μέγιστες ή ελάχιστες τιμές).

Επειδή οι θόρυβοι του περιβάλλοντος προέρχονται από ήχους μεταβλητής εκπομπής (πχ κυκλοφορία αυτοκινήτων διαφόρων τύπων, μουσική, μηχανές ρυθμικής ή ακανόνιστης λειτουργίας) η **ισοδύναμη ηχοστάθμη** είναι ένα στατιστικό μέγεθος που εξισώνει τη μεταβαλλόμενη ηχητική ενέργεια με μια σταθερή, ενεργειακά ισοδύναμη στάθμη, σε δεδομένη χρονική περίοδο (24ωρο, 18ωρο, 12ωρο, 1 ώρα κλπ)

Για παράδειγμα, στη στήλη 5 του Κτιριοδομικού Κανονισμού (άρθρο 12), αναφορικά με την ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους (έλεγχος ηχομονωτικής ικανότητας των όψεων ενός κτιρίου), οι μέγιστες τιμές εσωτερικής ησυχίας του προστατευόμενου χώρου εμφανίζονται με τη μορφή ωριαίας ισοδύναμης A-ηχοστάθμης  $L_{Aeq,h}$

Στην περίπτωση που η προστατευόμενη περιοχή υφίσταται τις οχλήσεις διακεκριμένων ή συμπληρωματικών πηγών θορύβου, ο τελικός έλεγχος εφαρμόζεται προφανώς για την δυσμενέστερη περίπτωση, δηλαδή την ανώτερη τιμή θορύβου ή την ηχητική σύνθεση των εξωτερικών θορύβων.

Σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία

*Γενικές Προδιαγραφές ΜΠΕ Α` κατηγορίας*, υπουργική απόφαση ΥΠΕΧΩΔΕ 17252/20.5.92, ΦΕΚ Β395/13.6.92,

η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του αναμενόμενου κυκλοφοριακού θορύβου στα νέα συγκοινωνιακά έργα καθορίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω στατιστικά ισοδύναμες στάθμες :

-L10(18) = 67dB(A), του βρετανικού δείκτη 18ωρου (6πμ - 24μμ), ή

-Leq(12) = 70dB(A), του γαλλικού δείκτη 12ωρου (8πμ - 20μμ).

Επιπλέον, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία

*Μέγιστα ανεκτά όρια θορύβου από εγκαταστάσεις προς το περιβάλλον* ΠΔ 1180/81,

*Προσδιορισμός ηχητικής εκπομπής μηχανημάτων & συσκευών εργοταξίου* 56206/163, ΦΕΚ Β570/ 9.9.86,

*Έγκρισης οριακής τιμής στάθμης θορύβου μηχανημάτων και συσκευών εργοταξίου* 69001/1921, ΦΕΚ Β751/18.10.88,

*Περί της χρήσεως κατασιγασμένων αεροσφυρών* Α5/2375, ΦΕΚ Β6 89),

η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του αναμενόμενου θορύβου κατά την κατασκευή, μετρούμενη στα όρια του εργοταξίου είναι :

-Leq(12) = 50dB(A), σε περιοχές πλήρους επικράτησης του αστικού στοιχείου

-Leq(12) = 65dB(A), σε περιοχές υπεροχής των βιομηχανικών χρήσεων.

Οι διεθνείς κανονισμοί, επιβάλλουν επίσης πρόσθετους δείκτες αξιολόγησης (για τη διόρθωση των *Outdoor Noise Levels*) σύμφωνα με τις ιδιαίτερες συνθήκες της ηχοδιάδοσης κατά περίπτωση :

**G (όχληση) = B (θόρυβος) + C (επαύξηση) - R (απομείωση)** όπου

-παράγοντες διόρθωσης είναι η χρήση της γης, η χρονική περίοδος (νύχτα ή μέρα), η εποχή (χειμώνας ή καλοκαίρι), το συχνοτικό φάσμα, η διάρκεια, η επαναληψιμότητα, ο βαθμός εξοικείωσης και η σχετική θέση της πηγής.

-παράγοντες απομείωσης είναι η απόσταση, η γωνία εκπομπής και οι συνθήκες επιφανειακής ή ατμοσφαιρικής ηχοαπορρόφησης.

Στην ίδια κατεύθυνση, κατά την διεθνή πρακτική, εφαρμογές σε χώρους υψηλής σπουδαιότητας (πχ αρχαιολογικά σύνολα, πάρκα ή πολιτιστικά κέντρα) επιβάλλεται η υιοθέτηση (κατά την δυσμενέστερη εκδοχή) την μέγιστης ένδειξης του εξωτερικού θορύβου  $L_{max}$ , αντί μιας διορθωμένης, στατιστικά ισοδύναμης στάθμης.

### 3.5. Ηχητικές στάθμες – εκτιμήσεις και δεδομένα

Η ακριβής πρόβλεψη, επιλογή, προσομοίωση και αξιολόγηση του εξωτερικού θορύβου εναπόκειται στην αποκλειστική ευθύνη του μελετητή ( εκτίμηση της φύσης & της θέσης των πιθανών πηγών και στην συνέχεια η αποτίμηση τους).

#### α) θόρυβοι κυκλοφορίας (οδικής ή σιδηροδρομικής ή αεροπορικής)

Η ακριβής αποτίμηση του κυκλοφοριακού θορύβου προκύπτει από την ηχητική χαρτογράφηση των περιοχών που γειτονεύουν με κυκλοφοριακούς άξονες, δρόμους ή αεροδιαδρόμους (ύστερα από συστηματικές ηχομετρήσεις της περιοχής).

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος μετρείται σε συγκεκριμένη απόσταση αναφοράς (6 ή 10 ή 20m κλπ από τα όρια ή τον άξονα του δικτύου κυκλοφορίας). Τα ηχητικά δεδομένα προσαυξάνονται κατά ένα παράγοντα ασφαλείας (συνήθως +3dB λόγω αναμενόμενης αύξησης της μελλοντικής κυκλοφορίας) και αποτελούν την στάθμη αναφοράς της περιοχής.

Σχετικά αξιόπιστη εκτίμηση του υπάρχοντος ή του αναμενόμενου οδικού θορύβου είναι επίσης εφικτή ύστερα από συστηματική καταμέτρηση ή πρόβλεψη του κυκλοφοριακού φόρτου (ιδίως σε χρονικές περιόδους αιχμής). Η ισοδύναμη ωριαία A-ηχοστάθμη  $L_{Aeq,h}$  δίδεται από τον παρακάτω πίνακα :

φόρτος οχημάτων / h	απόσταση του οδικού άξονα απο τη θέση μέτρησης (m)			
	5,0	15,0	50,0	150,0
15	49	44	39	34
50	54	49	44	39
150	59	54	49	44
500	64	59	54	49
1500	69	64	59	54
5000	74	69	64	59

Για κάθε διπλασιασμό ή υποδιπλασιασμό του φόρτου ή της απόστασης, η ισοδύναμη ωριαία ηχοστάθμη αυξάνεται ή μειώνεται κατά 3 dB(A). Για ενδιάμεσους φόρτους ή αποστάσεις εφαρμόζεται γραμμική παρεμβολή. Η συντηρητική προσέγγιση των παραπάνω εκτιμήσεων επιβάλλει ένα παράγοντα ασφαλείας (συνήθως +6dB) λόγω αναμενόμενης επιβάρυνσης της κυκλοφορίας από βαρέα οχήματα, δίκτροχα, ή απορριμματοφόρα.

β) θόρυβος από Η/Μ εγκαταστάσεις (κέντρα αναψυχής, βιομηχανίες) ή συναθροίσεις

Αξιόπιστη αποτίμηση αυτών των θορύβων προκύπτει από ηχομέτρηση της υπάρχουσας κατάστασης (σε απόσταση αναφοράς 3 ως 10m από τα όρια). Σχετικά αξιόπιστη εκτίμηση είναι επίσης εφικτή με βάση τις τυπικές στάθμες θορύβου, ένας ενδεικτικός κατάλογος των οποίων δίνει :

ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΗΓΗ	ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΤΙΜΗ dB(A)	ΣΥΧΝΟΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ dB Lin						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
σωληνώσεις WC	80	59	69	65	67	73	71	73
disco	105	88	98	102	100	101	104	98
αίθουσα μουσικής	100	90	94	96	06	96	91	91
έντονη συνομιλία	93	64	67	82	85	82	72	62
auto, 6m	74	76	77	73	69	65	62	56
moto, 6m	91	92	96	87	90	93	88	78
κόρνα, προσπέραση	94	92	90	87	90	93	88	78
φορτηγό, 6m	83	89	86	81	77	73	70	67
νταλικά, 6m	86	85	95	88	77	76	71	71
σκουπιδιάρα, 6m	84	82	101	87	74	73	68	68
τραίνο, 35m	98	95	102	94	90	86	87	83
αεριοθούμενο 3Km	105	90	95	100	98	95	88	80
προθάλαμοι	85	60	63	72	77	74	68	60
μαγειρείο	96	72	78	84	89	86	80	72
εργαστήριο	85	65	70	73	75	72	69	65
αίθουσα Η/Υ	90	78	75	73	78	80	78	74

Σε περιπτώσεις επικράτησης δύο, παράλληλων, διαφορετικών πηγών θορύβου, η συντηρητική αξιοποίηση των βιβλιογραφικών δεδομένων επιβάλλει την πρόβλεψη μιας, μη πραγματικής, ηχητικής πηγής σύμφωνα με τις υψηλότερες συχνοτικές τιμές των υπαρκτών πηγών (ή/και την προσαύξηση τους κατά ένα παράγοντα ασφαλείας +3dB).

### 3.6. κυκλοφοριακός θόρυβος - μοντέλα προσομοίωσης

Τα συγκοινωνιακά στοιχεία πρόβλεψης του κυκλοφοριακού φόρτου σε κάποιο άξονα κυκλοφορίας δίνουν τον προβλεπόμενο πλήθος οχημάτων, τη σύνθεση του κυκλοφοριακού φόρτου, καθώς και την ταχύτητα σχεδιασμού.

Τα δεδομένα ενός συγκοινωνιακού μοντέλου μετατρέπονται σε κυκλοφοριακούς φόρτους 18ωρου, 12ωρου, ή σε ωριαίους φόρτους ημερήσιας αιχμής.

Για την καλύτερη προσέγγιση του κυκλοφοριακού θορύβου, κατά την κατάσταση ενός μοντέλου προσομοίωσης, πρέπει να συνυπολογίζονται :

-η ταχύτητα κυκλοφορίας και η ταχύτητα εισόδου ή εξόδου σε στροφή, ανάλογα με το είδος του οχήματος,

-η κλίση του οδοστρώματος στο δεδομένο τμήμα,

-η σύνθεση του κυκλοφοριακού φόρτου σε ελαφρά ή βαρέα οχήματα,

-ειδικές κυκλοφοριακές συνθήκες (πράσινο ρεύμα, μπουτιλιάρισμα, προσπέραση, κορνάρισμα, σηματοδοτούμενοι κόμβοι, ζήτηση δεξιών ή αριστερών στροφών κλπ).

Για τον υπολογισμό της στατιστικά ισοδύναμης ηχοστάθμης είναι δόκιμη η γαλλική μέθοδος Guide du Bruit des Transports Terrestres, σύμφωνα με τον τύπο :

$$L_{eq}(T) = L_{max} + 10 * \log \{ N * t_e \} - 10 * \log \{ T \} \quad \text{όπου}$$

$L_{max}$  η μέγιστη μετρημένη ή αναμενόμενη στάθμη θορύβου κάθε είδους οχήματος, στην προσδιορισμένη απόσταση αναφοράς  $d$ ,

$N$  το πλήθος των οχημάτων κάθε κατηγορίας, κατά την περίοδο υπολογισμού  $T$

$t_e$  ο χρόνο έκθεσης στην προσδιορισμένη απόσταση αναφοράς  $d$ , για κάθε είδος οχήματος, με βάση τη σχέση  $[ t_e = ( 2 * d + l ) / v ]$ , όπου  $l$  το μήκος &  $v$  η ταχύτητα του οχήματος,

$T$  η περίοδος υπολογισμού του στατιστικού δείκτη.

Στους παραπάνω τύπους, τα μεγέθη χρόνου εκφράζονται σε sec, τα διαστήματα σε m και οι ταχύτητες σε m/s.

Η αναλυτική κατάσταση ενός υπολογιστικού μοντέλου προσομοίωσης της ισοδύναμης ηχοστάθμης μπορεί να εμφανιστεί όπως παρακάτω:

ΟΧΗΜΑ	$L_{max}$	$N$	$V$ (Km/h)	$v$ (m/s)	$d$ (m)	$l$ (m)	$t_e$ (s)	$T$ (s)	$L$
auto									
λεωφορεία									
κλπ									

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών, για κάθε ακουστικό γεγονός, ακολουθεί η άθροιση των επιμέρους  $L_{eq}$  σύμφωνα με τη μέθοδο σύνθεσης των ηχητικών πηγών.

Είναι ευνόητο πως δεν είναι συμβατή η συσχέτιση της ισοδύναμης ηχοστάθμης ενός κυκλοφοριακού θορύβου μεγάλης χρονικής διάρκειας (π.χ. 12ωρου, 18ωρου ή 24ωρου) με τα διεθνή Κριτήρια Θορύβου NC (που αναφέρονται σε ωριαίες ισοδύναμες ηχοστάθμες. Οι δείκτες των μεγάλων χρονικών διαστημάτων πρέπει να μετατραπούν σε αντίστοιχους ωριαίους δείκτες αιχμής.



### 3.7. Κριτήρια ησυχίας – ακουστική άνεση

Η μέγιστη επιτρεπόμενη όχληση από εξωτερικούς θορύβους στις όψεις κτιρίων διαφόρων κατηγοριών δίδεται στο **άρθρο 12 του Κτιριοδομικού Κανονισμού (στήλη 5)**.

Τα διεθνή πρότυπα *Noice Criteria (NC)* δίνουν τα παρακάτω ανεκτά όρια θορύβου σε ωριαία ισοδύναμη ηχοστάθμη, για διακεκριμένες συνθήκες ακουστικής άνεσης :

<b>ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΝΕΣΗ</b>	<b>ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΘΟΡΥΒΟΥ</b>	<b>ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ dB(A)</b>
Εξαιρετικές ακουστικές συνθήκες	NC-15 / NC-20	25 - 30
Περιοχές ύπνου και ανάπαυσης	NC-20 / NC-25	30 - 35
Χώροι επικοινωνίας - εκπαίδευσης	NC-25 / NC-35	35 - 45
Περιοχές αναψυχής – συναλλαγών	NC-35 / NC-40	45 - 50
Περιοχές εργασίας (ελάχιστα ανεκτές)	NC-40 / NC-55	50 - 65

### 3.8. Παράγοντες απομείωσης του περιβαλλοντικού θορύβου

Η ακριβής επιλογή, προσομοίωση και αξιολόγηση των παραγόντων οι οποίοι παρεμβάλλονται στην ηχοδιάδοση (μεταξύ πηγής θορύβου και προστατευόμενης περιοχής) είναι αποκλειστική ευθύνη του μελετητή. Ο προσδιορισμός της φύσης κάθε παράγοντα και η ακριβής αποτίμηση του είναι ζήτημα αξιοπιστίας μιας ακουστικής πρόγνωσης.

Το σύνολο των παραγόντων απομείωσης είναι δυναμικό, κυμαινόμενο, αλλά και εντός ορίων περιορισμένου εύρους. Σε γενικές γραμμές, οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ηχοδιάδοση, καθώς και τα όρια επιρροής τους είναι :

#### α) απόσταση

Η απομείωση λόγω απόστασης δεν πρέπει να συγχέεται με την απόσβεση στην ατμόσφαιρα. Η ηχητική ένταση υφίσταται απομείωση, σε συνθήκες ηχοδιάδοσης σφαιρικού, κυλινδρικού ή επίπεδου κύματος, ακόμη και σε ιδανικές συνθήκες (έστω και αν η ηχητική ενέργεια μεταφερόταν χωρίς αποσβέσεις).

Η έννοια της ισοδύναμης ηχοστάθμης, αλλά και η ηχορύπανση σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή προσομοιάζουν με συνθήκες σφαιρικού κύματος.

#### β) ηχοπορρόφηση στην ατμόσφαιρα

Η υγρασία επηρεάζει την ηχοδιάδοση (η μέγιστη ηχοαπορροφητική ικανότητα του αέρα τοποθετείται στην περιοχή 1,5 ως 4gr/m<sup>3</sup>).

#### γ) η επίδραση του ανέμου

Ο άνεμος τείνει να καμπυλώνει τα ηχητικά κύματα προς το έδαφος, κατά τη διεύθυνση πνοής. Είναι λοιπόν σκόπιμο να λαμβάνονται υπόψη οι βασικές κατευθύνσεις των

πνεόντων ανέμων σε μια προστατευόμενη περιοχή, όσον αφορά τη χωροθέτηση της πηγής όχλησης.

δ) οι γωνίες εκπομπής & λήψης (η σχετική θέση πηγής - δέκτη)

Κρίσιμο ζήτημα για την επιλογή μιας χάραξης (πχ σε διατομή του κυκλοφοριακού άξονα) είναι η σχετική θέση της προστατευόμενης περιοχής :

-με όρους οδοποιίας, παράγων επίδρασης είναι η θέση του ορύγματος ως προς τον άξονα σε σχέση με την προστατευόμενη περιοχή,

-με όρους ακουστικής ενδιαφέρον έχει ο περιορισμός του κώνου εκπομπής & λήψης από την προστατευόμενη περιοχή.

Στην περίπτωση που ο άξονας και η προστατευόμενη περιοχή είναι περίπου συνεπίπεδοι, η επίδραση του ορύγματος είναι μηδενική, η δυνατότητα απομείωσης της όχλησης επαφίεται στην επενέργεια των φυτεύσεων ή των τεχνικών ηχοφραγμάτων.

Στην περίπτωση που ο άξονας βρίσκεται σχετικά υψηλότερα από την προστατευόμενη περιοχή, η επίδραση ενός πιθανού ανάντη ορύγματος είναι μηδενική έως και αρνητική (σε περίπτωση ηχοανάκλασης), οπότε η απομείωση διευκολύνεται με την τοποθέτηση ενός ηχοφράγματος σχετικά χαμηλού (αλλά στην πραγματικότητα μεγάλου ενεργού) ύψους.

Στην περίπτωση που ο άξονας βρίσκεται σχετικά χαμηλότερα από την προστατευόμενη περιοχή, η επίδραση του ορύγματος είναι συνάρτηση της σχετικής γωνίας εκπομπής - λήψης  $\varphi$  σε σχέση με τον ορίζοντα στη θέση της πηγής (παράγων  $-10 * \log [ \cos (\varphi) ]$ ) :

απόκλιση από την οριζόντιο (μοίρες)	απομείωση dB(A)	απόκλιση από την οριζόντιο (μοίρες)	απομείωση dB(A)
15 <sup>0</sup>	-6	90 <sup>0</sup> - 105 <sup>0</sup>	0
30 <sup>0</sup>	-3	120 <sup>0</sup>	-0,5
45 <sup>0</sup>	-1,5	135 <sup>0</sup>	-1,5
60 <sup>0</sup>	-0,5	150 <sup>0</sup>	-3
75 <sup>0</sup> - 90 <sup>0</sup>	0	165 <sup>0</sup>	-6

ε) ηχοαπορρόφηση στο έδαφος (φυτεύσεις)

Η επίδραση του εδάφους και των φυτεύσεων αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο παράγοντα απομείωσης του περιβαλλοντικού θορύβου. Η ηχοαπορρόφηση και η διάχυση της ηχητικής ενέργειας στο έδαφος και τη βλάστηση μπορούν να διευκολυνθούν στη φάση της αισθητικής αποκατάστασης του τοπίου μετά την κατασκευή ενός τεχνικού έργου.

Το έδαφος ή η βλάστηση σε υπαίθρια, υπεραστική κλίμακα δεν έχουν διαρκή μορφή, ούτε σταθερή ηχοαπορροφητική ικανότητα. Επομένως έχει μεγάλη σημασία η εξασφάλιση φυτεύσεων που ευδοκιμούν στο συγκεκριμένο κλίμα & έδαφος, η πρόβλεψη της ανάπτυξης τους (ύψος και πυκνότητα φυλλώματος) στις συγκεκριμένες τοπικές συνθήκες, αλλά κυρίως ο συνυπολογισμός του αειθαλούς ή φυλλοβόλου χαρακτήρα τους στην εποχιακή μεταβολή της ηχοαπορρόφησης.

Οι βασικές μελέτες της ηχοαπορροφητικής ικανότητας των φυτεύσεων πραγματοποιήθηκαν από τον C. Eyring στη ζούγκλα του Παναμά. Οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης δίδονται σε μονάδες dB / m απόστασης, για ζώνες συχνοτήτων :

<b>ΒΛΑΣΤΗΣΗ</b>	<b>50 - 250 Hz</b>	<b>500 - 1000 Hz</b>	<b>2000 - 8000 Hz</b>
Αραιό χόρτο 10-20cm	0,03	0,05	-
Πυκνό χόρτο 40-50cm	0,05	0.07	0.10
Καλλιέργειες ύψους 1,80m	0,15	0.20	0.25
Δάσος	0,10	0.15	0.30

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ακτίνα επιρροής **R**, μιας αποτελεσματικής φύτευσης με συντελεστή ηχοαπορρόφησης **α**, για την απομείωση του περιβαλλοντικού θορύβου κατά μία επιβεβλημένη στάθμη **dl** (με απόσταση αναφοράς **R<sub>o</sub>**) είναι :

$$R = [ R_o / (1 + R_o * a) ] * 10^{(dl / 10)}$$

## Κεφάλαιο 4 : ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ - ΗΧΟΦΡΑΓΜΑΤΑ

Διερευνώντας τα φαινόμενα της ηχοανάκλασης αναφέρθηκε ότι, κατά την ηχοδιάδοση δεν ισχύουν απόλυτα οι νόμοι της γεωμετρικής οπτικής. Δηλαδή, η αυστηρά γεωμετρική συμπεριφορά του ήχου (ανάκλαση σε προκαθορισμένη κατεύθυνση, ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης) ισχύει μόνο για μια συχνότητα περιορισμένη ζώνη, τα μήκη κύματος της οποίας σχετίζονται με το μέγεθος των εμποδίων.

Εξαιτίας της κυματικής φύσης και της συχνотικής ποικιλίας των ήχων του περιβάλλοντος, τα ηχητικά κύματα, όταν τους παρεμβάλλονται φυσικά σώματα ή τεχνητά αντικείμενα, υφίστανται φασματικές παραμορφώσεις (ως προς τη χρονική φάση, την ένταση και τη συχνότητα τους σύνθεση) οι οποίες ανάγονται στο (μαθηματικά περίπλοκο) φαινόμενο της περίθλασης.

Κεντρικός στόχος της υπαίθριας ηχοπροστασίας είναι η εκμετάλλευση του φαινομένου της ακουστικής περίθλασης, δηλαδή η παρεμβολή ηχοφραγμάτων ανάμεσα στην πηγή του θορύβου και στην προστατευόμενη περιοχή. Οι εφαρμογές ηχοφραγμάτων επιτρέπουν τη δημιουργία ενός κατάλληλου κώνου ηχητικής σκιάς, η οποία περιορίζει το συχνотικό φάσμα του ανακλώμενου κύματος και εξασφαλίζει ένα κρίσιμο μέγεθος ηχομείωσης.

Απαραίτητη συνθήκη για την δημιουργία εκτεταμένης ηχητικής σκιάς είναι ο περιορισμός της γωνίας του κώνου πρόσπτωσης και η μεγέθυνση των διαστάσεων του ηχοφράγματος σε σχέση με το οριακό μήκος κύματος του θορύβου.

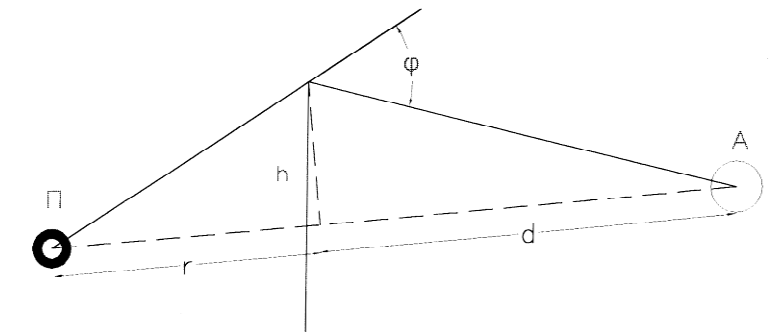
Ακριβής επίλυση του προβλήματος σε τεχνικές εφαρμογές δίδεται με τον τύπο του *Bruckmayer*, όπου η επιθυμητή στάθμη ηχομείωσης ( $R_w$  σε dB) εκφράζεται ως λογαριθμική συνάρτηση :

-ευθέως ανάλογη του ύψους του ηχοφράγματος ( $h$  το ενεργό ύψος σε m)

-αντιστρόφως ανάλογη της οριακής συχνότητας ( $\lambda$  το μήκος του προσπίπτοντος κύματος σε m),

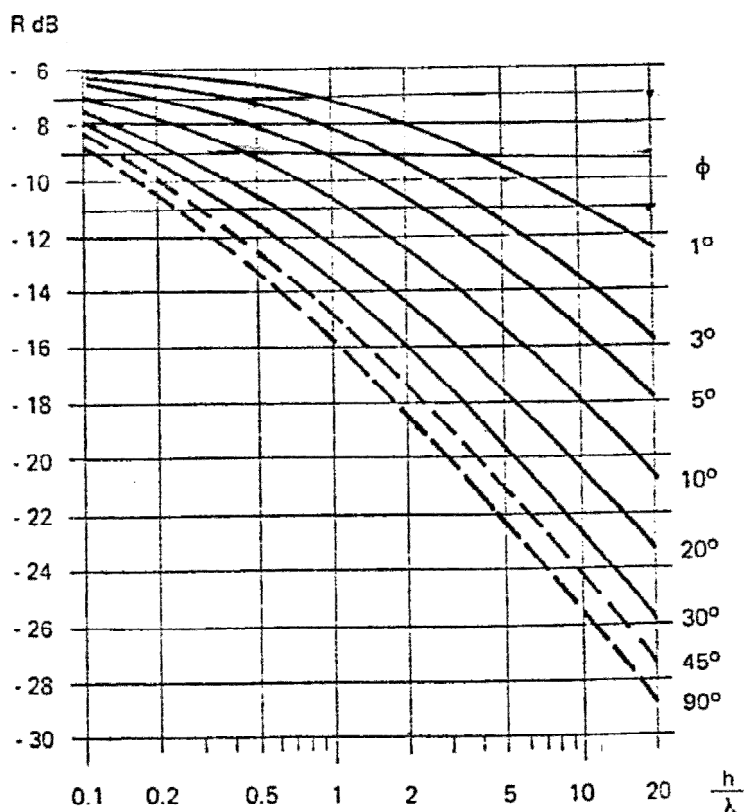
-αντιστρόφως ανάλογη των αποστάσεων της πηγής και της προστατευόμενης περιοχής ( $r$ ,  $d$  σε m) από το παρεμβαλλόμενο ηχοφράγμα

$$R_w = 10 \log(40/\lambda) \cdot \{ r \cdot [1 + (h/r)^2]^{1/2} - 1 \} + d \cdot [1 + (h/d)^2]^{1/2} - 1 \} / [1 + (h/r)^2]$$



Το *διάγραμμα Harris* δίνει προσεγγιστικά την απομείωση της ηχητικής έντασης ως συνάρτηση :

- της γωνίας  $\phi$  (μεταξύ προσπίπτουσας και περιθλώμενης ακτίνας) και
- του λόγου των μεγεθών μήκους (ενεργό ύψος φράγματος  $h$  προς μήκος κύματος  $\lambda$ ).



Η αποτελεσματική εφαρμογή ενός ηχοφράγματος απαιτεί την εξαντλητική διερεύνηση των αρχικών και οριακών συνθηκών της ηχοδιάδοσης :

-σε ελεύθερο, ανοικτό πεδίο (από σημειακή πηγή - με σφαιρικά κύματα), η ηχομείωση είναι ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης.

-κατά τη συσσωμάτωση επιμέρους, σημειακών πηγών σχηματίζεται μια γραμμική ηχητική πηγή (π.χ. η σύνθεση των οχημάτων στον άξονα ενός αυτοκινητοδρόμου, ο σιδηρόδρομος), οπότε η ηχοδιάδοση περιλαμβάνει κυλινδρικά κύματα (ηχομείωση ανάλογη της απόστασης),

-κατά τη σύνθεση γραμμικών πηγών σε περιορισμένο χώρο, με λεία και ηχοανακλαστικά όρια (σωλήνας, οδικός κόμβος, πλατεία) η ηχοδιάδοση λαμβάνει τη μορφή επιπέδου κύματος (ελάχιστες ενεργειακές απώλειες, ανεξάρτητα της απόστασης).

Στην ακουστική (σε αντίθεση με την οπτική), δεν είναι εύκολη η δημιουργία ενεργειακής σκιάς. Ένα αποτελεσματικό ηχοφράγμα (ένα ακουστικό σκίαστρο) απαιτεί τεράστιες διαστάσεις και αυστηρές προϋποθέσεις (απόλυτα λείες παρειές, διαστάσεις συγκρίσιμες με το οριακό μήκος κύματος). Στην πραγματικότητα, το φαινόμενο της περίθλασης αποδίδει πεπερασμένα ακουστικά κέρδη, σε περιορισμένο συχνοτικό φάσμα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**Αθανασόπουλος Χρ.** “Προστασία κτιρίων, θερμομόνωση - ηχομόνωση - ηχοπροστασία” Αθήνα 1991.

**Bruneau M.** “Introduction aux théories de l’acoustique” Πανεπιστημιακή έκδοση, Le Mans 1984.

**Doelle L** “Environmental acoustics” έκδοση Mc Graw-Hill, N.Y1972.

**Lehmann R.** “L’acoustique des bâtiments” έκδοση PUF, France 1977.

**Lehmann R.** “Eléments de physio et de psycho-acoustique” έκδοση Dunod, Paris 1969

**Lienard P.** “Décibels et indices de bruit“ έκδοση Masson, Paris 1978

**Lord P. - Templeton D.** “The architecture of sound” έκδοση Architectural Press, London 1986.

**Μπάρκας Ν.** «Η Ηχοπροστασία ως Παράμετρος Σχεδιασμού στην Αρχιτεκτονική Τοπίου: Τεχνικές Εφαρμογές & Κέρδη Ακουστικής Άνεσης» Πρακτικά Συνεδρίου “Αρχιτεκτονική Τοπίου : Εκπαίδευση, Έρευνα, Εφαρμοσμένο Έργο», Θεσσαλονίκη 2005.

**Stryjenski J.** “L’acoustique appliqué a l’urbanisme” éditions Techniques, Genève 1978.