



N.K.U.A. - Department of Science

Psachna, Euboea - Euripus Campus

Φυσική Περιβάλλοντος :

“ήχος και θόρυβος κεφ. 10”

Καθ. Μιχάλης Γρ Βραχόπουλος

Energy and Environmental Research Laboratory



ήχος ...

είναι η αίσθηση που προκαλείται λόγω της διέγερσης των αισθητηρίων οργάνων ακοής από μεταβολές πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα.

Αυτές οι μεταβολές διαδίδονται με τη μορφή ηχητικών κυμάτων.

Πολλές φορές στην πράξη, ο όρος χρησιμοποιείται ως ταυτόσημος με την έννοια των ηχητικών κυμάτων

- συνηθίζεται η έκφραση *διάδοση του ήχου* (αντί του ορθότερου *διάδοση των ηχητικών κυμάτων*).

Ορισμός ΕΛΟΤ 263.1 (1.184):

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

Προκαλείται δε, είτε από μία στερεή δονούμενη επιφάνεια είτε από διαταραχές του ρευστού.

Ήχος είναι μια μηχανική διαταραχή που μεταδίδεται δια μέσου ενός στερεού (το οποίο έχει κάποια ελαστικότητα), υγρού ή αερίου με κύματα.

Κατά την πρόσπτωση ενός ηχητικού κύματος σε μία επιφάνεια, τμήμα της ενέργειας του μεταδίδεται δια μέσου της επιφάνειας, τμήμα ανακλάται και τμήμα απορροφάται.

Η μελέτη του ανακλώμενου κύματος γίνεται σύμφωνα με τη γεωμετρική κυματική θεωρία με τη χρησιμοποίηση ενός ειδώλου.

Αν το κύμα συναντήσει κάποιο εμπόδιο, δημιουργείται ηχητική «σκιά», δηλαδή μια ζώνη σιγής.

Η ηχητική «σκιά» γίνεται πιο έντονη, όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος, σε σχέση με το εμπόδιο, επειδή σε αυτή την περίπτωση μειώνεται η περίθλαση.

Καθώς ο ήχος διαδίδεται μέσω του αέρα, προκαλεί μετρήσιμες διαταραχές στην πίεση, στην ταχύτητα, στη θερμοκρασία και στην πυκνότητα του.

Η συχνότητα του είναι τέτοια ώστε να μπορεί να διεγείρει το ανθρώπινο αισθητήριο της ακοής και να προκαλεί ακουστικό αίσθημα. Τυπικά μεγέθη πίεσης από τον ήχο (ηχητική πίεση) κυμαίνεται από 20μPa έως 60μPa (όριο πόνου).

Ο λόγος της ηχητικής πίεσης σε ένα σημείο του ακουστικού μέσου προς την ταχύτητα σε αυτό το σημείο ονομάζεται εμπέδηση:

$$Z = \frac{P}{u}$$

Καθώς τα ηχητικά κύματα διαδίδονται στον χώρο, κάθε σωματίδιο του ελαστικού μέσου μπορεί να διαδίδεται είτε οριζόντια (διαμήκη κύματα) είτε κάθετα (εγκάρσια).

Η διάδοση του κύματος είναι ένα μείγμα αυτών των κινήσεων και εξαρτάται από τις οριακές συνθήκες.

Η ταχύτητα διάδοσης είναι το γινόμενο της συχνότητας επί το μήκος κύματός (1^η προσέγγιση):

$$c_{\eta\chi\omicron\upsilon} = f \cdot \lambda$$

Ταχύτητα του ήχου

Η **ταχύτητα του ήχου** σε ατμοσφαιρικό ξηρό αέρα στους 20 °C είναι 343 m/s ή 1.235 km/h.

Γενικά δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από τις καταστατικές μεταβλητές του συστήματος (πίεση, θερμοκρασία).

Είναι σημαντική παράμετρος για ρευστομηχανικά συστήματα συμπιεστών ρευστών στα οποία η ταχύτητα της ροής πλησιάζει ή ξεπερνά το 0.8 Mach (Mach) (πρακτικώς αεριοστρόβιλοι και υπερηχητικά αεροσκάφη), οπότε το ρευστό παύει να συμπεριφέρεται ως ασυμπιέστο και είναι πλέον συμπιεστό.

Οι πρώτες σημαντικές προσπάθειες για μέτρηση της ταχύτητας του ήχου έγιναν από τον **Isaac Newton** ο οποίος θεωρούσε πως η ταχύτητα του ήχου εντός μιας συγκεκριμένης ουσίας είναι ίση με την τετραγωνική ρίζα της πίεσης που ασκείται στην ουσία, διαιρεμένης με την πυκνότητα της.

$$c_{\eta\chi\omicron\upsilon} \approx \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

Ωστόσο αυτή η θεώρηση ήταν λάθος και ο Γάλλος μαθηματικός Pierre-Simon Laplace διόρθωσε τον τύπο συνεπάγοντας πως το ταξίδι του ήχου δεν είναι ισοθερμικό αλλά αδιαβατικό.

Ο τελικός τύπος που προέκυψε είναι γνωστός ως *τύπος Newton – Laplace*.

$$c_{\eta\chi\omicron\upsilon} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$



Ανάλογα με την ύλη και τη θερμοκρασία του υλικού στο οποίο ταξιδεύουν τα κύματα του ήχου, η ταχύτητα του μπορεί να διαφέρει.

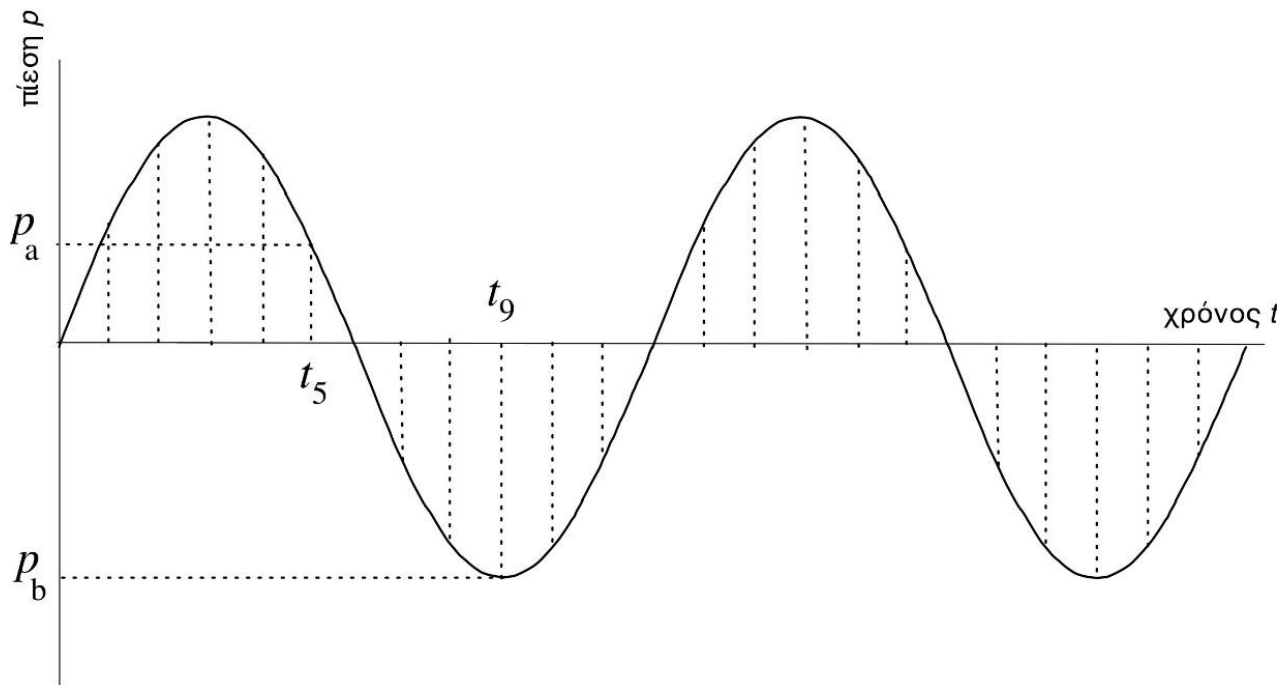
Υλικό	Θερμοκρασία (°C)	Ταχύτητα (m/s)
Αέρας	<u>0</u>	<u>331,5</u>
Αέρας	20	343
Υδρογόνο	0	1286
Διοξείδιο του Άνθρακα	0	258
Νερό	15	1493
Χάλυβας	-	5000
Ήλιο	20	927
Υδρατμοί	35	402

Για διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, στον αέρα μπορεί να υπολογιστεί:

$$c_{sound} = 331,5 + 0,6007 \cdot T_{air,sound}$$

Ο Ήχος ως Κύμα.

Στην καθημερινότητα προσλαμβάνουμε ηχητικά κύματα τα οποία μεταδίδονται στον αέρα. Το ηχητικό κύμα αναπαρίσταται σε καρτεσιανό επίπεδο (δύο διαστάσεων). Από αυτήν την άποψη ο ήχος αποτελεί μια χρονική συνάρτηση μεταβολής της πίεσης.

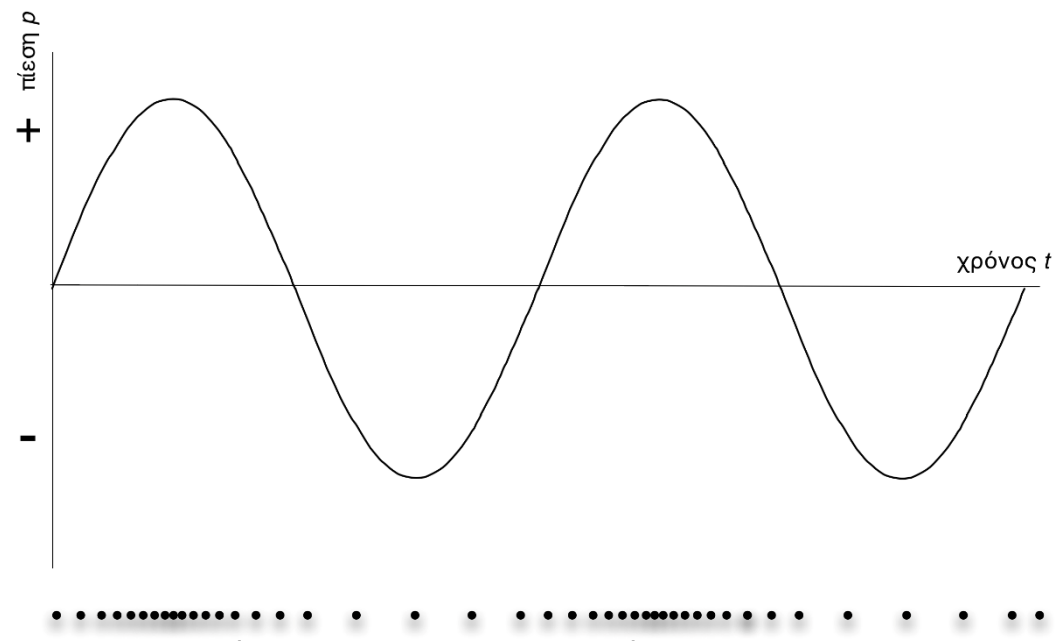


Αποτύπωση της ηχητικής πληροφορίας ως κυματική συνάρτηση στον χρόνο.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα η συνάρτηση αυτή αφορά μεταβολές στις τιμές πίεσης του μέσου.

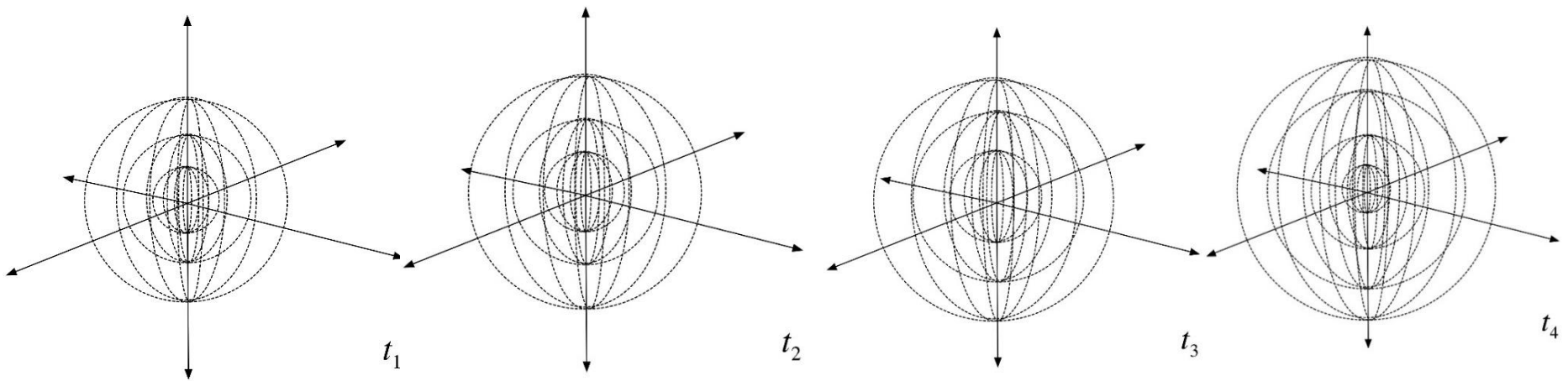
Οι συνεχόμενες αυτές μεταβολές στις τιμές πίεσης επιφέρουν αντίστοιχες μεταβολές στα υλικά σημεία του μέσου.

Για θετικές τιμές πίεσης παρουσιάζονται πυκνώσεις ενώ για αρνητικές, αραιώσεις στο μέσο...



Πυκνώσεις και αραιώσεις στην ύλη του μέσου (κάτω μέρος σχήματος) ως αποτέλεσμα της μεταβολής πίεσης που επιφέρει ένα ηχητικό κύμα.

Ενώ συνηθίζεται το ηχητικό κύμα να αποτυπώνεται στους δύο άξονες, η διάδοση ενός κύματος πραγματοποιείται και στις τρεις διαστάσεις του χώρου, καταλήγοντας έτσι σε σφαιρικές μετατοπίσεις με αντίστοιχες μεταβολές στο μέσο διάδοσης.



Πυκνώσεις και αραιώσεις στην ύλη του μέσου κατά τη μετάδοση ενός ηχητικού κύματος στον τρισδιάστατο χώρο σε τέσσερα διαδοχικά χρονικά στιγμιότυπα.

Θόρυβος

Ως θόρυβος, αναφέρεται οποιοσδήποτε ακανόνιστος μη περιοδικός ήχος του οποίου η τιμή αυξομειώνεται κατά τυχαίο τρόπο και συνήθως είναι ανεπιθύμητος - ενοχλητικός ήχος.

Ο θόρυβος εμφανίζεται ως ένα ποσοστό σε όλα τα φυσικά φαινόμενα, με την έννοια του ανεπιθύμητου στοιχείου σε αυτά.

Ο θόρυβος είναι έννοια σχετική ή και υποκειμενική, καθώς το ίδιο γεγονός (πχ ένας συγκεκριμένος ήχος) άλλοτε θεωρείται θόρυβος και άλλοτε είναι επιθυμητός.

Είναι ένας από τους πιο σοβαρούς λόγους υποβάθμισης του περιβάλλοντος επειδή προκαλεί άμεση ενόχληση στους έμβιους οργανισμούς, στην εργασιακή απόδοση, στην επικοινωνία, στην ανάπτυξη και εν γένει στη διαβίωση.

Μεγέθη μέτρησης του ήχου

Ένταση ήχου:

$$I = \frac{p^2}{\rho c_{\eta\chi\omicron\upsilon}} \text{ (} w / m^2 \text{)}$$

ρ , η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3), p , η πίεση (Pa) και c_{sound} , η ταχύτητα σε (m/s).

Ηχητική ενέργεια:

Είναι η ολική ηχητική ενέργεια που ακτινοβολείται από την πηγή σε ένα εύρος συχνοτήτων για ένα χρονικό διάστημα.

Υπολογίζεται με ολοκλήρωση της ηχητικής έντασης πάνω σε μια υποθετική επιφάνεια που περιβάλλει την πηγή.

Η ισχύς που ακτινοβολείται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, είναι:

$$W = (4\pi r^2) I(w)$$

Κάθε πηγή ήχου εκπέμπει ηχητική ισχύ και προκαλεί ακουστική πίεση στο αυτί.
Το εύρος των ακουστικών πιέσεων που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος είναι μεταξύ 10^{-12} W/m^2 , κατώφλι ακουστικότητας και $5 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$, 20000Hz, όριο μόνιμης βλάβης.
Λόγος , 1/5.000.000

Μέτρηση, **decibel (dB)**

Συχνότητα κάτω των 16Hz, υπήχηχοι και πάνω των 20.000Hz υπέρηχοι

Στάθμη ηχητικής πίεσης (L_p), dB, το δεκαπλάσιο του ηχητικού λογάριθμου του λόγου πιέσεων

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

Όπου, p , η ηχητική πίεση και p_0 , η ηχητική πίεση αναφοράς, ίση με $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 20 \mu\text{Pa}$

Έναρξη ακούσματος 20dB και στάθμη πόνου 134dB

Επίπεδο ηχητικής έντασης

$$L_I = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

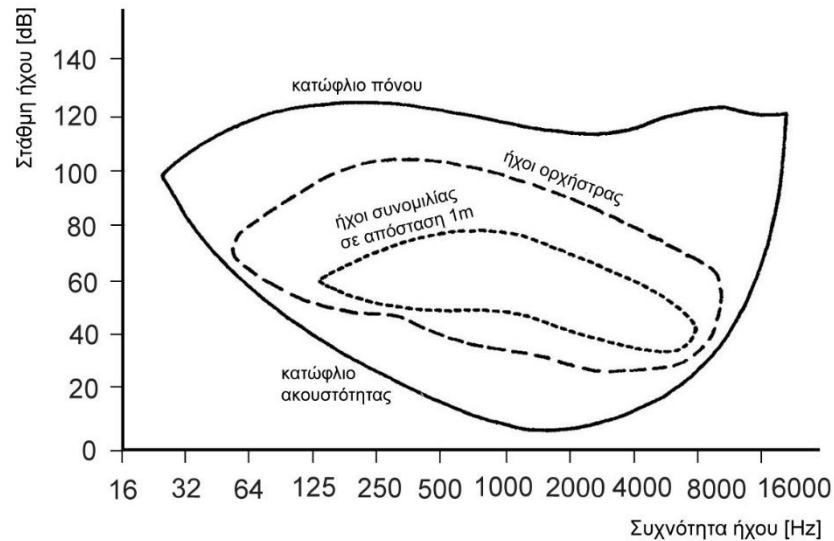
I, I_0 , η ηχητική ένταση και η ένταση αναφοράς $= 10^{-12} \text{W/m}^2$

Επίπεδο ηχητικής ισχύος

$$L_W = 10 \cdot \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

W, W_0 , η ηχητική ισχύς και η ισχύς αναφοράς $= 10^{-12} \text{W/m}^2$

Ακουστικό πεδίο



Είναι διαπιστωμένο ότι ο θόρυβος έχει μεγάλη επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία, αφού επιδρά δυσμενώς στο ανθρώπινο αυτί και μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε απώλεια της ακουστικής οξύτητας.

Επίσης:

Δημιουργία άγχους, ταχυπαλμιών, ιλίγγων, εκνευρισμού κ.λπ.

Δυσμενή επικοινωνία

Επιδείνωση υγείας

Ηχητικά πεδία

1. **Ελεύθερο πεδίο.** Η περιοχή του χώρου όπου ο ήχος διαδίδεται ελεύθερα.
2. **Απευθείας πεδίο.** Το τμήμα του ηχητικού πεδίου που δεν υπόκειται σε ανάκλαση.
3. **Εγγύς πεδίο.** Το διάστημα κοντά στην πηγή όπου η ηχητική πίεση και η ταχύτητα δεν βρίσκονται σε φάση (ένα μήκος κύματος).
4. **Άπω πεδίο.** Ξεκινά από το εγγύς και εκτείνεται μέχρι το άπειρο.
5. **Πεδίο αντήχησης.** Όπου το μέρος του ηχητικού πεδίου που ακτινοβολείται από την ηχητική πηγή υφίσταται τουλάχιστον μία ανάκλαση.

Διάδοση ήχου σε ελεύθερο πεδίο

ένταση και ηχητική πίεση, σε απόσταση r

$$p^2 = \rho c_{sound} I = \frac{\rho c_{sound} W}{4\pi r^2}$$

Με όρους ηχητικής πίεσης

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(\rho c_{sound}) - 10 \log_{10}(4\pi r^2)$$

Προσεγγιστικά

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(4\pi r^2)$$

Για μέτρηση σε απόσταση r_m

$$L_p = L_{W,m} - 10 \log_{10}\left(\frac{r}{r_m}\right)$$

Σε συνθήκες ελευθέρου πεδίου, το επίπεδο θορύβου ελαττώνεται κατά 6dB κάθε φορά που η απόσταση διπλασιάζεται

Κατευθυντικότητα του ήχου

Σε απόσταση από την πηγή, χωρίς την επίδραση από άλλα πεδία, η ηχητική πίεση ελαττώνεται καθώς το κύμα εξαπλώνεται κατά 6dB για κάθε διπλασιασμό της απόστασης.

Ως παράγοντας κατευθυντικότητας ορίζεται αυτός που ορίζει το πεδίο ως προς τη διεύθυνσή του.

Μια σημειακή πηγή ακτινοβολεί προς όλες τις διευθύνσεις, παρόλα αυτά είναι κατευθυντική προς κάποιες διευθύνσεις σε σχέση με κάποιες άλλες.

$$DI = 10 \log_{10} Q$$

Δείκτης κατευθυντικότητας DI , παράγοντας κατευθυντικότητας Q (ο λόγος της ηχητικής έντασης προς μια διεύθυνση, προς την μέση ηχητική ένταση προς όλες τις διευθύνσεις).

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Όταν ο ήχος, κατά τη διάδοση του, συναντήσει μια επιφάνεια αρκετά μεγαλύτερη από το μήκος κύματος του ένα μέρος του ανακλάται, με τη γωνία που προσπίπτει να είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης του. Ένα μικρότερο μέρος του μετατρέπεται σε θερμότητα αφού πρώτα διεγείρει τα μόρια του υλικού. Το ποσοστό του που θα μετατραπεί σε ενέργεια έχει να κάνει με τη φύση του υλικού.

Σε ένα κλειστό χώρο οι ανακλάσεις είναι από τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά του και καθορίζουν κατά πολύ την ακουστική του.

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Ένας ακροατής απολαμβάνει, τη μουσική.

Ο ήχος που τελικά ακούει έρχεται από διαφορετικές κατευθύνσεις.

1. Υπάρχει ο απευθείας ήχος που έρχεται από το ηχείο και έχει τη μεγαλύτερη ενέργεια, αλλά ...
2. υπάρχουν και οι ανακλάσεις του που έρχονται από το πάτωμα, την οροφή και τους πλαϊνούς τοίχους.

Γίνεται αντιληπτό ότι η απόσταση που διανύει ο ήχος μέχρι να φτάσει στον ακροατή είναι διαφορετική αναλόγως από που προέρχεται ο ήχος.

Αν είναι δηλαδή ανακλώμενος ή απευθείας.

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Το γεγονός αυτό, ανάλογα και την εκάστοτε συχνότητα, έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει χρονική διαφορά (διαφορά φάσης) της άφιξης του ήχου στον ακροατή.

Αυτή η κατάσταση έχει ως αποτέλεσμα σε κάποιες συχνότητες να αθροίζεται η ενέργεια ανακλώμενου και απευθείας ήχου, ενώ σε κάποιες άλλες να λαμβάνεται η διαφορά τους.

Αν η απόκριση συχνοτήτων του ηχείου είναι επίπεδη στην ουσία αυτό που φτάνει στα αυτιά δεν είναι.

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των ανακλάσεων που παρουσιάζει ο χώρος. Η πρόβλεψη των ανακλάσεων ενός κλειστού χώρου είναι σχεδόν αδύνατη. Διότι πέραν αυτών (πρωτογενείς), δημιουργούνται πάρα πολλές ακόμα δευτερογενείς, τριτογενείς κ.ο.κ. με εξασθένηση βέβαια κάθε φορά της ενέργειας τους.

Οι ανακλάσεις μπορούν να αποβούν προς όφελος ελέγχοντας την ακουστική ενός χώρου και ενισχύοντας κάποιες συχνότητες που ενδιαφέρουν.

Παράδειγμα είναι τα αρχαία στάδια τα οποία εκμεταλλεύονται τις ανακλάσεις για την ενίσχυση της ηχητικής στάθμης.

ΑΝΑΚΛΑΣΗ

Η παρουσία της ανάκλασης επηρεάζει τον ακτινοβολούμενο ήχο και τις κατευθυντικές ιδιότητες της πηγής.

Εάν υπάρχει μόνο μία ανακλώσα επιφάνεια, τότε:

$$W = I \frac{4\pi r^2}{Q} = p \frac{4\pi r^2}{\rho c_{sound} Q}$$

$$\text{ή: } L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right) = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right) + DI$$

Για ομοιόμορφα ακτινοβολούσα επιφάνεια, η ένταση I , είναι ανεξάρτητη της γωνίας σε περιορισμένο διάστημα διάδοσης οι δε δείκτες Q και DI παίρνουν τιμές ανάλογα με τον χώρο που βρίσκεται η πηγή.

Όταν ο χώρος είναι ελεύθερος ο παράγων και ο δείκτης κατευθυντικότητας παίρνουν τιμές 1 και 0 αντίστοιχα. Δίπλα σε ένα τοίχο είναι 2 ο παράγων, δηλαδή όλη η ηχητική ισχύς αντανακλάται.

ΑΝΤΗΧΗΣΗ

Όταν το κύμα συναντά εμπόδιο, όπως και μια πηγή θορύβου, μέρος της αντανακλάται, απορροφάται και διαδίδεται.

Τα ποσοστά εξαρτώνται από τη φύση του εμποδίου και την επιφάνεια. Σκληρή επιφάνεια αντανακλά περισσότερη και απορροφά λιγότερη.

Όταν προκύπτει συνεχής αντανάκλαση τότε δημιουργείται αντήχηση.

Όταν οι επιφάνειες είναι απορροφητικές, τότε ο χώρος καλείται άηχος.

Το φαινόμενο αυτό έχει μικρή επίδραση στην περιοχή κοντά στην πηγή γιατί εκεί κυριαρχεί ο απευθείας ήχος.

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(I - \alpha)}{Sa} \right)$$

α , ο μέσος παράγων απορρόφησης και S η επιφάνεια του δωματίου.

ΗΧΗΡΟΤΗΤΑ

Στο κατώφλι ακουστικότητας ένας θόρυβος είναι αρκετά ηχηρός ώστε να ανιχνευθεί από το ανθρώπινο αυτί. Πάνω από το κατώφλι έχει υποκειμενική ερμηνεία του επιπέδου ακουστικής πίεσης.

Είναι σημαντική για τον υπολογισμό της έκθεσης σε θόρυβο.

Το ανθρώπινο αυτί έχει διαφορετικές ευαισθησίες σε διαφορετικές συχνότητες.

Το επίπεδο ηχηρότητας μετράται σε phon, που έχει αριθμητική τιμή ίση με 1000Hz.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Είναι η διαδικασία στην οποία ένα χρονικά μεταβαλλόμενο σήμα στο πεδίο του χρόνου μετασχηματίζεται στις συνιστώσες συχνοτήτων.

Χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση του προβλήματος θορύβου.

Διακρίνεται ο τονικός και ο ευρυζωνικός θόρυβος (ευρεία περιοχή συχνοτήτων).

Η ευρύτερη περιοχή είναι η περιοχή της οκτάβας.

Το ανθρώπινο αυτί δεν είναι ευαίσθητο με τον ίδιο τρόπο σε διαφορετικές συχνότητες, έτσι ορίζεται τα **σταθμισμένα δίκτυα συχνοτήτων**.

Δύο τέτοια δίκτυα είναι τα A και C.

Το A μέχρι 40dB (εσωτερικούς χώρους) ενώ το C ακολουθεί την καμπύλη (βιομηχανικοί θόρυβοι).

Επίπεδα θορύβου dBA & dBC

Τύποι θορύβου

1. **Σταθερός θόρυβος.** Παρουσιάζει αμελητέες διαταραχές στο επίπεδο της ηχητικής πίεσης.
2. **Ασταθής θόρυβος.** Τα επίπεδα ηχητικής πίεσης μεταβάλλονται σημαντικά. Διακρίνεται σε διακυμαινόμενο και διαλείποντα θόρυβο.
Διακυμαινόμενος: το επίπεδο μεταβάλλεται συνεχώς και σε μεγάλη έκταση.
Διαλείπων: το επίπεδο μειώνεται συνεχώς μέχρι το επίπεδο του θορύβου υποβάθρου αρκετές φορές.
3. **Τοπικός θόρυβος.** Συνεχής ή διακυμαινόμενος, χαρακτηρίζεται από μία ή δύο συχνότητες. Είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός και χαρακτηρίζεται από ενέργεια σε πολλές διαφορετικές συχνότητες στην ίδια στάθμη ηχητικής πίεσης.
4. **Κρότος.** Χαρακτηρίζεται από ένα ή περισσότερους πολύ οξείς ήχους διάρκειας 1s.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του ήχου- θορύβου

Τα ηχητικά κύματα μπορούν να εκπέμπονται από σημειακές, γραμμικές ή επιφανειακές πηγές.

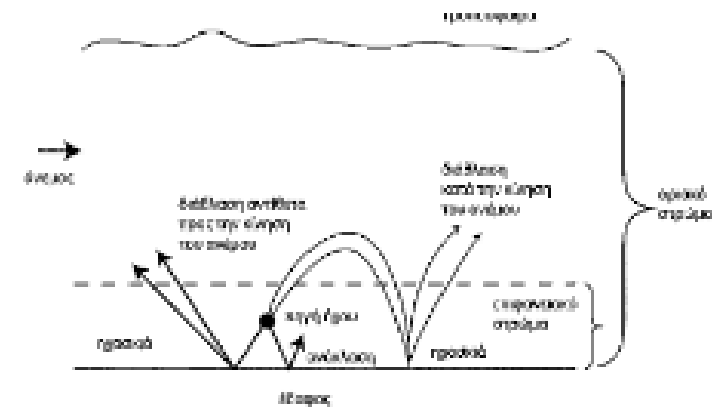
Στην σημειακή η ισχύς είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης.

Στην γραμμική αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση.

Επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως οι βαθμίδες ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας στον ατμοσφαιρικό αέρα, η τύρβη που τον παραμορφώνει και τριβή που προκαλεί απορρόφηση.

Ο άνεμος κάμπτει τις ακτίνες κατά τη διεύθυνση του ανέμου προς το έδαφος και αντίθετα με την κατεύθυνση προς τα πάνω στο επιφανειακό στρώμα

Έτσι δημιουργείται μια περιοχή ενίσχυσης του ήχου κατά τη διεύθυνση του ανέμου και μια ηχοσκιά αντίθετα με αυτή.



Η ένταση του ήχου εξαρτάται από τη βαθμίδα του ανέμου.

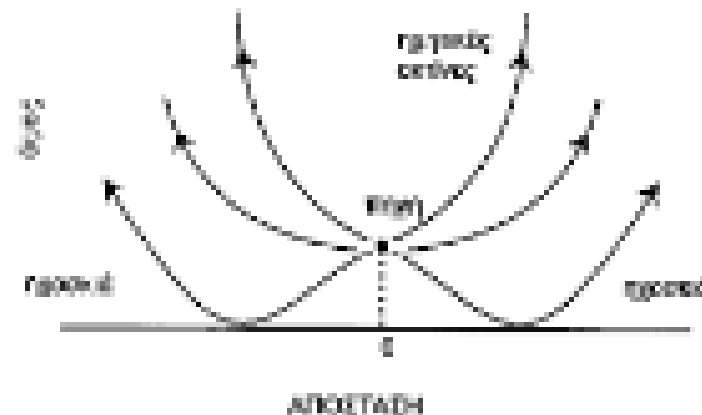
Η εξασθένηση στην ηχοσκιά μπορεί να φτάσει τα 30dB ενώ η αύξηση κατά τη διεύθυνση είναι μικρότερη.

Η θερμοβαθμίδα μεταβάλλει επίσης τη διεύθυνση των ηχητικών κυμάτων.

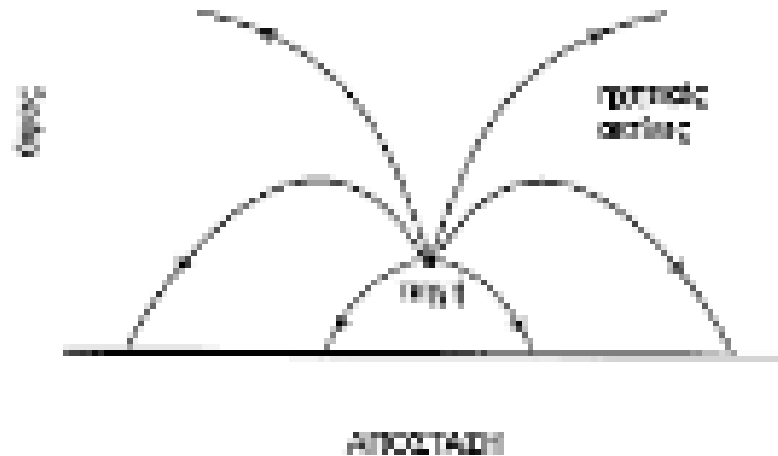
Υφίσταται ελάττωση της ταχύτητας όπως μεταβαίνει σε στρώμα με μικρότερη θερμοκρασία.

Απουσία ανέμου κάμπτονται από την επιφάνεια του εδάφους.

Η περιοχή ηχοσκιάς εξαρτάται από την ισχύ της θερμοβαθμίδας.



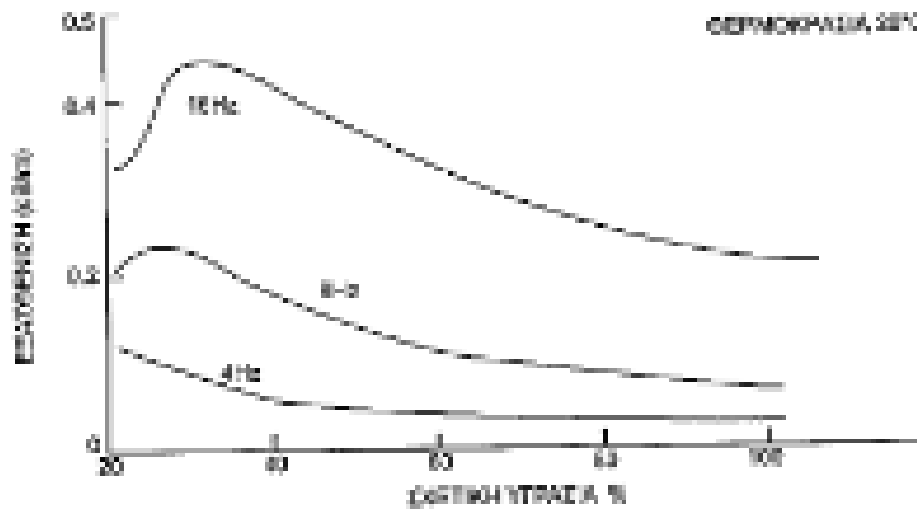
Τη νύχτα ή κάτω από ειδικές ατμοσφαιρικές συνθήκες όταν η θερμοβαθμίδα είναι κοντά στο έδαφος (αναστροφή) η ηχητική ακτίνα διαθλάται προς το έδαφος και κατά τη διέλευση του από το στρώμα θερμοβαθμίδας ενισχύεται.



Η απορρόφηση του ήχου στον αέρα εξαρτάται από τη συχνότητα, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Η θερμοδυναμική και η τριβή ευθύνονται για την πολύπλοκη συμπεριφορά.

Η εξασθένιση του ήχου εξαρτάται από το τετράγωνο της ταχύτητας διάδοσής του. Προβλήματα επίσης δημιουργούν, η βροχή, η ομίχλη και το χιόνι.

Η ακουστική εξασθένιση ανά μήκος κύματος στους 20° C σαν συνάρτηση της σχετικής υγρασίας.



Ισοδύναμη ηχητική στάθμη

Συχνά ο θόρυβος υφίσταται διακύμανση.

Παρατηρείται εύκολα από τις ταλαντώσεις της οπτικής απεικόνισης εντός μετρητή σταθμών στάθμης ήχου.

Η ισοδύναμη σταθερή στάθμη A είναι αυτή που σε μια χρονική περίοδο έχει την ίδια ολική ενέργεια με τον πραγματικό θόρυβο.

Το σταθμισμένο ισοδύναμο συνεχές επίπεδο ορίζεται ως L_{Aeg} , για χρονική περίοδο T ωρών:

$$L_{Aeg,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right)$$

$p_A(t)$, είναι η μεταβαλλόμενη στο χρόνο ηχητική πίεσης στο (A) και p_0 η ηχητική πίεση αναφοράς.

Αν ο συνολικός χρόνος αποτελεί άθροισμα M χρονικών διαστημάτων, στο κάθε ένα μετράται L_{Aeg,T_i}, \dots

$$L_{Aeg,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^M T_i 10^{L_{Aeg,T_i}/10} \right)$$

Η σχέση μεταξύ της σταθμισμένης (δίκτυο A) έκθεσης σε ήχο και της ισοδύναμης συνεχούς στάθμης θορύβου:

$$E_{A,T} = 4 \cdot T \cdot 10^{L_{Aeg,T} - 100 / 10}$$

Το επίπεδο έκθεσης σε κανονικοποιημένο για οκτάωρη εργασία:

$$L_{Aeg,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_{A,8h}}{3,2 \cdot 10^{-9}} \right)$$

Ποσοστομοριακές ηχητικές στάθμες

Για να μελετηθεί ο θόρυβος στο περιβάλλον, έχουν εισαχθεί ποσοστομοριακές στάθμες ηχητικής πίεσης και διάφοροι δείκτες.

Γενικά η μορφή ορίζεται ως ποσοστό της υπέρβασης της μέσης στάθμης μιας περιόδου

Έτσι ορίζεται ένα πλήθος από στάθμες θορύβου του περιβάλλοντος.

Λ.χ. ως μέση τιμή ορίζεται αυτή που υπερβαίνει το 50% του χρόνου παρατήρησης και παριστάνει την διάμεσο των κυμαινομένων επιπέδων θορύβου.

Ως στάθμη κορυφής ορίζεται αυτή που ξεπέρασε το 10% του χρόνου παρατήρησης.

Η στάθμη βάθους είναι αυτή που ξεπέρασε το 90% και είναι ο θόρυβος υποβάθρου.

$$L_{10} > L_{50} > L_{90} \text{ΚΟΚ}$$

Δείκτες θορύβου

Στην ευρωπαϊκή νομοθεσία ορίζονται κάποιοι δείκτες θορύβου, επίπεδο 24ώρου, επίπεδο νύκτας, απογεύματος, ημέρας κ.λπ.

$$L_{Den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

L_{day} Σταθμισμένη 07.00~19.00ΤΩ

$L_{evening}$ Σταθμισμένη 19.00~23.00ΤΩ

L_{night} Σταθμισμένη 23.00~07.00ΤΩ

Πηγές θορύβου

Κεραυνός !!! ... σημειακή

Αεροσκάφος Σημειακή μετακινούμενη

Βιομηχανικός Σημειακή ή εμβαδική

Πόλεις... οδικός, μέσα μεταφοράς κ.λπ. ... γραμμικοί

Πηγή θορύβου	Επίπεδο θορύβου (dB)
Μεγάλοι ρυθμιστές αερίου	150
Χυτήριο	128
Γραμμή παραγωγής αεροκινήτων	125
Μεγάλος κύργος ψύξης	120–130
Μπουλντόζα	90–105
Τρισύδη	122–128
Απογείωση αεριωθούμενου αεροσκάφους	130–140
Βαρύ φορτηγό με ντζελ	85–110
Επιβατηγό αυτοκίνητο	70–80
Μετρό	110
Μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος	110
Κομπρεσέρ	92–98
Γόβγισμα	65
Ηχοπίεση	125
Ομοιακός αναμείκτης	90–95
Ηλεκτρική ξυριστική μηχανή	75–90

ΕΙΔΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΣΕ DB	
Είδος ήχου	decibel
Κανονική αναπνοή	10
Θρόισμα φύλλων στο αεράκι (αύρα)	20
Ήσυχη βιβλιοθήκη, Ψίθυρος	30
Συνηθισμένη ομιλία, Γραφείο ήσυχου, Συνήθης κίνηση στο σπίτι	40
Κίνηση δρόμου από απόσταση, Ψυγείο, Εστιατόριο ήσυχου, Ήπια κυκλοφορία	50
Κλιματιστικό από τα 6m, Συνομιλία	60
Πυκνή κυκλοφορία δρόμου, Θορυβώδεις εστιατόριο (συνεχής έκθεση)	70
Υπόγειος, Κίνηση δρόμου σε ώρες αιχμής, Θόρυβος εργοστάσιου, Οικιακή συσκευή, Κουδούνισμα τηλεφώνου	80
Δρόμος με φορτηγά, Θορυβώδεις οικιακές συσκευές, Μηχανή που κουρεύει γρασίδι, Καταράκτες του Νιαγάρα στην βάση	90
Αλυσσοπριονο, Κομπρεσέρ, Πέρασμα Jet αεροπλάνου, Πυκνή κυκλοφορία αυτοκινήτων	100
Ρακ συναυλία μπροστά στα μεγάφωνα, Εκπυρσοκρότηση όπλου, ήχοι τυμπάνου	120
Κοντινός πυροβολισμός, Απογείωση Jet	140
Απογείωση διαστημόπλοιου	180

Οδικός θόρυβος

Η εκτίμηση των επιπέδων θορύβου από ένα δρόμο σε ένα πεδίο υπολογισμού με σταθερό ή μεταβλητό βήμα, την ανάλυση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών και την εκτίμηση των επιπτώσεων του στον άνθρωπο.

Η κυκλοφορία των οχημάτων αποτελεί τον σημαντικότερο λόγο του οδικού θορύβου (κινητήρας, κραδασμοί, φρένα κ.λπ.) επίσης επιδρά το βάρος η παλαιότητα κ.λπ.

Για τον υπολογισμό του θορύβου υφίστανται διάφορα μοντέλα:

- το αμερικάνικο μοντέλο, FHWA, και την βελτιωμένη έκδοσή του,
- τη βρετανική μέθοδο, CRTN,
- το γερμανικό μοντέλο, RLS-90,
- το σουηδικό μοντέλο, STL-86,
- το ιαπωνικό, ASJ-1993.

Εξετάζεται συνήθως ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ταχύτητα των οχημάτων, η κλίση του οδοστρώματος και τα ηχοπετάσματα (παίζουν καθοριστικό ρόλο στα εκτιμώμενα επίπεδα θορύβου σε αντίθεση με την απόσταση του αποδέκτη από το έδαφος και το ποσοστό των βαρέων οχημάτων).

Το ηχοπέτασμα επιδρά και στην κατανομή της επιβάρυνσης του πληθυσμού.

Σταματημένο όχημα, στάσιμη σημειακή πηγή

$$L_p = L_w - 20 \log d - 8$$

d: απόσταση από πηγή L_w : τελική στάθμη ηχητικής πίεσης dB

+Κινούμενο όχημα, κινούμενη σημειακή πηγή

Η συνολική τιμή είναι:

$$L_p = L_w - 20 \log d - 8 + 10 \log \left[2 \tan^{-1} \left(\frac{l}{2d} \right) \right]$$

d: κάθετη απόσταση από πηγή, l: το μήκος του δρόμου L_w : τελική στάθμη ηχητικής πίεσης dB

Δείκτης θορύβου οδικής κυκλοφορίας (TNI) $TNI = L_{90} + (L_{10} - L_{90}) - 30$

Επίπεδο ρύπανσης θορύβου (LNP)

$$LNP = L_{50} + \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{60} + (L_{10} - L_{90})$$

Πρόγνωση ...

Σιδηροδρομικός θόρυβος

Οφείλεται στην κίνηση κατά μήκος της γραμμής
Σημαντικές οχλήσεις
Συνάρτηση με το πλήθος των βαγονιών

Αεροπορικός θόρυβος

Διαδίδεται σφαιρικά

Αεροδυναμικός
Μηχανής – τουρμπίνα

Ενεργός στάθμη αντιληπτού θορύβου (EPNL)... max 112dBA

Πρόγνωση έκθεσης σε θόρυβο (NEF)

$$NEF = EPNL + 10 \log(N_D + 16,7N_N) - 88$$

N_D : Αριθμός πτήσεων διάστημα 07.00~22.00ΤΩ,

N_N : Αριθμός πτήσεων διάστημα 22.00~07.00ΤΩ και

EPNL ενεργός στάθμη αντιληπτού θορύβου

Βιομηχανικός θόρυβος

Θόρυβος από κατασκευαστικές εργασίες

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} (4\pi r^2)$$

Θόρυβος από οικιακές συσκευές και ήχοι εσωτερικών χώρων

Πηγή θρύβου στους εσωτερικούς χώρους είναι οι διάφορες συσκευές και ο εισερχόμενος θόρυβος, κλιματιστικά, ψύκτες αέρα, ανεμιστήρες κ.λπ.

Ο εξωτερικά εισερχόμενος θόρυβος αποκαλείται εξωγενής θόρυβος βάθους όπως και μέρος από τις εσωτερικές πηγές ... ενδογενής

Ακόμη και τα συνηθισμένα επίπεδα θορύβου των οικιακών συσκευών μπορεί να είναι επιβλαβή για την ακοή σας με την πάροδο του χρόνου. Επειδή οι ζημιές στην ακοή από τον υπερβολικό θόρυβο είναι συσσωρευτικές:

- Ηλεκτρική σκούπα: 60-85 dB
- Πιστολάκι μαλλιών: 60-95 dB
- Μίξερ: 80-90 dB
- Πλυντήριο: 50-75 dB
- Ήχος τηλεόρασης: 70 dB
- Κουδούνι και τηλέφωνο: 80 dB
- Σκουπιδοφάγος: 70-95 dB

ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Ένα από τα πιο συνήθη προβλήματα που αντιμετωπίζει το περιβάλλον από τη λειτουργία ενός οδικού έργου είναι η ενόχληση από τον παραγόμενο θόρυβο της κυκλοφορίας.

Ο οδικός θόρυβος, που νοείται ως ένας ανεπιθύμητος ήχος που προκαλεί δυσάρεστο αίσθημα, όχι μόνο παρενοχλεί τους ανθρώπους που βρίσκονται κοντά στην οδό, αλλά μακροχρόνια υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής, τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για πάσης φύσεως οικοσυστήματα παραπλεύρως της οδού.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος μπορούν να ακολουθηθούν διάφορες τακτικές απομείωσης του θορύβου, που αφορούν τα οχήματα, τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής της οδού και τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου, ωστόσο ένα από τα πιο συνήθη, και πολλές φορές χωρίς εναλλακτική λύση, μέτρα είναι η εφαρμογή στην οδό ηχοπετασμάτων.

ΗΧΟΠΕΤΑΣΜΑΤΑ

Τα ηχοπετάσματα είναι διαμήκεις κατασκευές παραπλεύρως της οδού, στη μία ή και στις δύο πλευρές της, με σκοπό την ελάττωση του επιπέδου του θορύβου που παράγεται από την κυκλοφορία.

Η εφαρμογή ηχοπετασμάτων σε μία οδό είναι μία απόφαση που λαμβάνεται κατά βούληση, αφού δεν υπάρχουν, πέρα από γενικές κατευθύνσεις, συγκεκριμένες αριθμητικές υποδείξεις από τους ανά τον κόσμο κανονισμούς και προδιαγραφές

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

- Ηχοπετάσματα ανάκλασης: Τα ηχοπετάσματα αυτά μειώνουν το επίπεδο του θορύβου, ανακλώντας τον ήχο που παράγεται από την πλευρά της οδού.
- Ηχοπετάσματα απορρόφησης: Ο ήχος που φτάνει στο ηχοπέτασμα απορροφάται από τα κατάλληλης μορφής υλικά κατασκευής του.
- Ηχοπετάσματα διασποράς ήχου: Διατάξεις οι οποίες μέσω της γωνιώδους μορφής τους διασπείρουν τον ήχο σε διάφορες κατευθύνσεις. Πιο συνήθη είναι τα κεκλιμένα προς τα έξω, τα οποία στέλνουν τον ήχο προς τα πάνω.
- Ηχοπετάσματα ειδικής διαμόρφωσης κορυφής: Είναι ηχοπετάσματα με ειδική διαμόρφωση στην κορυφή τους, όπως οριζόντια στοιχεία ή πρόσθετες όψεις.

Ηχοπετάσματα

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης του περιβάλλοντος και επομένως της ποιότητας ζωής.

Εκτιμάται ότι πάνω από το 60% του πληθυσμού της Αθήνας και του Πειραιά κατοικεί σε συνθήκες θορύβου πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

Τα ηχοπετάσματα αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της ηχορύπανσης που προέρχεται από συγκοινωνιακούς άξονες όπως οδικές αρτηρίες και σιδηροδρομικές γραμμές.

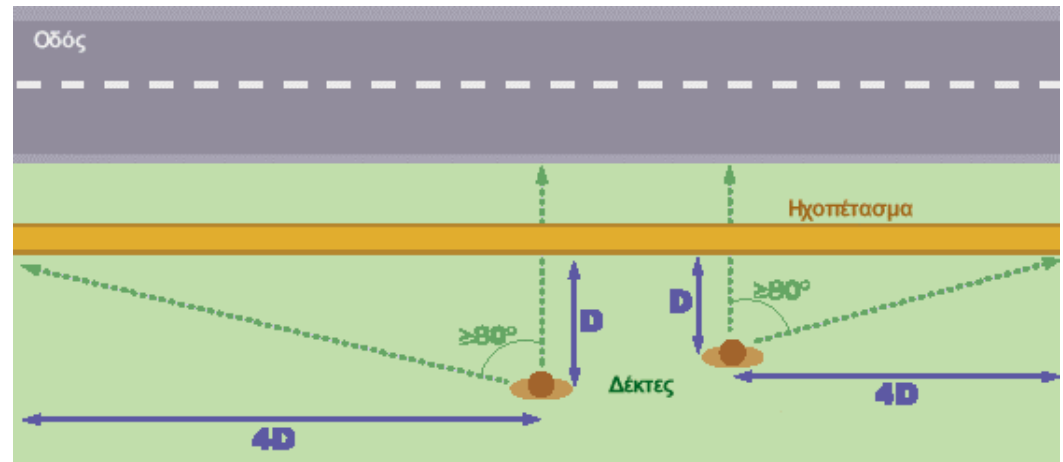
Τα ηχοπέτασματα είναι συμπαγείς, ηχομονωτικές επιφάνειες, συχνά επενδυμένες με ηχοαπορροφητικά υλικά. Τοποθετημένα μεταξύ της πηγής θορύβου και του δέκτη δημιουργούν «ακουστική σκιά» μειώνοντας τη στάθμη θορύβου στις προστατευόμενες περιοχές στα επιθυμητά επίπεδα.

Κατασκευάζονται με ηχομονωτικά ανακλαστικά ή απορροφητικά panel για την αντιμετώπιση της πίεσης ανέμου.

$$P = P_0 e^{-\lambda x}$$

λ , παράγων εξασθένισης

Ελάχιστο μήκος ηχοπετάσματος εκατέρωθεν της προστατευόμενης περιοχής.



Μείωση θορύβου από απλό ανακλαστικό ηχοπέτασμα ύψους 2 m.

Ενδεικτικά είδη Ηχοπετάσματος



Αντιθορυβικά οδοστρώματα

Πορώδη υλικά που αυξάνουν τις αντιθορυβικές ιδιότητες του οδοστρώματος
Μείωση κατά 3-6dB για οχήματα 50~120km/h

Επιτρεπόμενα όρια θορύβου ΠΒ 1180/81 (κατοικίες κλπ)

Περιοχή	Ανώτατο όριο θορύβου dB(A)	Ημέρα	Βραδινές ώρες	Νύκτα
Νομοθετημένες βιομηχανικές περιοχές	70	45-55	40-50	35-45
Περιοχές στις οποίες επικρατεί το βιομηχανικό στοιχείο	65	50-60	45-55	40-50
Περιοχές στις οποίες επικρατεί εξ ίσου το βιομηχανικό και το αστικό στοιχείο	55	55-65	50-60	45-55
Περιοχές στις οποίες επικρατεί το αστικό στοιχείο	50	60-70	55-65	50-60

Κατοικίες 40~45dB ημέρα και 35dB νύκτα μέγιστο

ΦΕΚ 395/Β/19.6.1992: $L_{eq(8-20)}=67\text{dBA}$, $L_{eq(\text{νύκτας})}=60\text{dBA}$, $L_{10}=70\text{dBA}$,

$L_{Den(24\omega\rho\sigma)}=60\text{dBA max}$,

Επιτρεπόμενα όρια θορύβου ΤΕΕ 2008α

Χαρακτηρισμός	dB(A)
Απαράδεκτη κατάσταση	≥81
Πολύ θορυβώδης κατάσταση	78-80
Θορυβώδης κατάσταση	75-77
Σχετικά ανεκτή κατάσταση	72-74
καλή κατάσταση	69-71
Άνετη κατάσταση	≤68

Αντιπροσωπευτικά επίπεδα έκθεσης στα clubs

Θέση εργασίας	dB
Στο μπαρ	89 - 99
Σαρβιτόροι	102
DJs	93 - 99
Τεχνικοί φωτισμού	104
Προσωπικό ασφάλειας	97
Προσωπικό πόρτας	84
Πίστα	94 - 104

Διάρκεια έκθεσης (ώρες/ημέρα)	Μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη dB (A)
8	87
4	90
2	93
1	96
½	99
¼	102

Δονήσεις

Τα μέσα σταθερής τροχιάς (μετρό, σιδηρόδρομος, τραμ) – τα βαρέα οχήματα -.αλλά και τα αεροπλάνα προκαλούν κραδασμούς.

Διαδίδεται:

A) διαμέσω του υλικού του εδάφους, διεγείρεται το κτίριο μέσω της διεπιφάνειας εδάφους – θεμελίωσης

B) Διαμέσω του αέρα, ήχοι χαμηλών συχνοτήτων (ανοίγματα και τρίξιμο υαλοπετασμάτων)

Οι πηγές δονήσεων μεταδίδουν την δόνηση στα υλικά και στα κτίρια υπό μορφή κυμάτων (εγκάρσια, διαμήκη και Rayleigh)

$$a = 2\pi f c_{sound} = -(2\pi f)^2 x$$

a , επιτάχυνση, f , συχνότητα, c_{sound} , ταχύτητα και x , το πλάτος δόνησης

$$VI = 1,4\alpha t^{\frac{1}{4}}$$

VI, εκτιμώμενη συνολική δόση δόνησης κατά το χρόνο t ,

Ο δείκτης πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 τη νύκτα και από 1,6 την ημέρα

Όργανα μέτρησης των ήχων

Βασικό όργανο για τη μέτρηση της στάθμης των ήχων είναι το ηχώμετρο. Υπάρχουν πολλοί τύποι ηχομέτρων, από τα πλέον απλά που μετρούν τη στάθμη θορύβου σε dB και σε dB-A, ως τα πλέον σύνθετα. Τα όργανα αυτά, εκτός από τη μέτρηση του θορύβου σε όλες τις καθιερωμένες κλίμακες, παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης και της ταχύτητας απόκρισης στις διακυμάνσεις της στάθμης θορύβου (FAST για ταχύτητα απόκρισης 200 msec και SLOW για ταχύτητα απόκρισης 500 ms). Επιπλέον, τα όργανα αυτά μπορούν να υπολογίζουν την *ισοδύναμη στάθμη συνεχούς ήχου*, την ένταση των απότομων μικρής διάρκειας ήχων, κ.λπ.



Πρωτόκολλα μέτρησης των ήχων

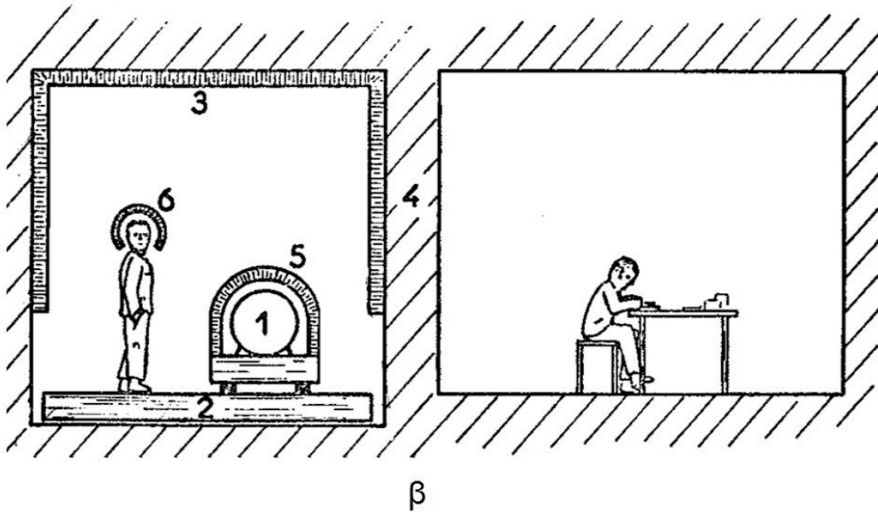
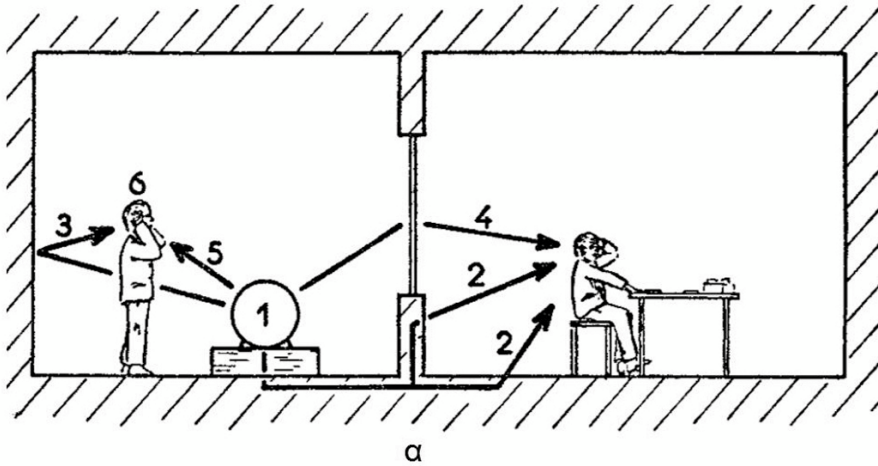
Για την ορθή μέτρηση των ήχων ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) έχει καθιερώσει συγκεκριμένα πρότυπα πρωτόκολλα μετρήσεων, τα οποία πρέπει να ακολουθούνται κάθε φορά, προκειμένου οι μετρήσεις να είναι έγκυρες. Τα κυριότερα πρότυπα πρωτόκολλα μετρήσεων των ήχων κατά ISO, τα οποία ενδιαφέρουν την Εργονομία είναι:

ISO 2204	Είναι ένας γενικός οδηγός για τη μελέτη των προβλημάτων του ήχου και καλύπτει τις γενικές διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται για τη μέτρηση των ήχων και την εκτίμηση των επιπτώσεών του στον άνθρωπο.
ISO 5130 και ISO 1996	Ασχολούνται με τον τρόπο μέτρησης του ήχου που εκπέμπουν τα οχήματα, καθώς και του ήχου σε ανοικτούς χώρους που προέρχεται κυρίως από την κυκλοφορία των οχημάτων.
ISO 3740 εξοπλισμό.	Είναι ένας οδηγός για τη μέτρηση των ήχων που προέρχονται από μηχανές και βιομηχανικό
ISO 3741 ως ISO 3746	Τα πρότυπα αυτά αποτελούν εξειδικεύσεις του ISO 3740 και καθορίζουν λεπτομερώς τις μεθόδους μέτρησης του ήχου ανάλογα με το είδος των βιομηχανικών χώρων στους οποίους πρόκειται να γίνουν οι μετρήσεις.

Μέτρα μείωσης του θορύβου

Υπάρχουν πολλά μέτρα που μπορούν να ληφθούν για τη μείωση των θορύβων και τη βελτίωση του ηχητικού περιβάλλοντος. Τα κυριότερα από αυτά είναι (Σχήμα):

- Ανασχεδιασμός των πηγών εκπομπής των ήχων, για τη μείωση και την αλλαγή του φάσματος συχνοτήτων των εκπεμπόμενων από αυτές ήχων.
- Ανασχεδιασμός του χώρου εργασίας και αναχωροθέτηση των ηχογόνων πηγών, για τη μείωση της ενίσχυσης των ήχων λόγω συμβολής των κυμάτων του αέρα και τη μείωση του αριθμού των εργαζομένων που εκτίθενται στο ακατάλληλο ηχητικό περιβάλλον.
- Απομόνωση των ηχογόνων πηγών σε χώρο όπου δεν υπάρχουν εργαζόμενοι.
- Έδραση των ηχογόνων πηγών σε ηχοαπορροφητικά υλικά, για τη μείωση της διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στα στερεά στα οποία εδράζεται η ηχογόνος πηγή.
- Επικάλυψη των ηχογόνων πηγών με ηχοαπορροφητικά υλικά.
- Επικάλυψη με ηχοαπορροφητικά υλικά των επιφανειών που ενισχύουν τους ήχους λόγω αντανάκλασεως (π.χ. τοίχοι, μεγάλες μεταλλικές επιφάνειες, κ.λπ.).



(α) Οι τόποι διάδοσης του θορύβου και (β) τα κυριότερα μέτρα καταπολέμησής του.
 (Πηγή: [Wisner, 1982](#))

Ασκήσεις

Υφίστανται τρεις ήχοι διαφορετικών συχνοτήτων και ένας παρατηρητής. Εάν οι ήχοι είναι 90, 88, 85dB, ποιος ο σύνθετος ήχος που ακούει ο παρατηρητής.

Λύση:

Για την πηγή α:
$$p_1^2 = p_0^2 \cdot 10^{90/10} = p_0^2 \cdot 10 \cdot 10^8$$

Για την πηγή β:
$$p_2^2 = p_0^2 \cdot 10^{88/10} = p_0^2 \cdot 6,31 \cdot 10^8$$

Για την πηγή γ:
$$p_3^2 = p_0^2 \cdot 10^{85/10} = p_0^2 \cdot 3,16 \cdot 10^8$$

Η συνολική ηχητική πίεση που δέχεται ο παρατηρητής είναι:

$$p^2 = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 = p_0^2 \cdot 19,47 \cdot 10^8$$

Το επίπεδο της ηχητικής πίεσης είναι:

$$L_p = 10 \log_{10} \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] = 10 \log_{10} \left[19,47 \cdot 10^8 \right] = 92,9 \text{ dB}$$

Ασκήσεις

Το επίπεδο θορύβου που μετρήθηκε σε ένα σημείο εργοστασίου που λειτουργεί μια θορυβώδης μηχανή ανέρχεται σε 92dB. Όταν η μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας το επίπεδο θορύβου μετρήθηκε στο ίδιο σημείο και είναι 88dB. Ποιο το επίπεδο θορύβου που οφείλεται στη μηχανή;

Λύση:

$$L_p = 10 \log_{10} \left[10^{\frac{92}{10}} - 10^{\frac{88}{10}} \right] = 10 \log_{10} \left[9,54 \cdot 10^8 \right] = 89,8 \text{ dB}$$

Thanks for your attention!

Prof. Mic.Gr.Vrachopoulos

Τέλος κεφαλαίου



HELLENIC REPUBLIC
**National and Kapodistrian
University of Athens**
— EST. 1837 —

Ασκήσεις

- Υποθέτουμε ότι ένα αεροπλάνο πετά στα 9,000 m. Πόσος χρόνος θα χρειαστεί ο ήχος που παράγει για να φτάσει στο έδαφος; Η θερμοκρασία του εδάφους είναι 30°C και η θερμοκρασία του ξηρού αέρα μειώνεται 1°C κάθε 150 m.
- Η ηχητική στάθμη σε απόσταση 3 m από την πηγή είναι 120 dB. Σε ποια απόσταση θα είναι η ηχητική στάθμη 100 dB και σε ποια 10 dB;
- Ένα ηχείο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο παρατηρητές οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση 110 m μεταξύ τους κατά μήκος της γραμμής που τους συνδέει. Αν ο ένας παρατηρητής καταγράφει μια ηχητική στάθμη 60 dB και ο άλλος 80 dB, πόσο μακριά βρίσκεται το ηχείο από τους παρατηρητές;
- Ένας παρατηρητής βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ηχεία που έχουν απόσταση μεταξύ τους 5 m και σχηματίζουν γωνία με τον παρατηρητή 30° και 45° αντίστοιχα. Αν η ηχητική στάθμη από το ένα ηχείο είναι 40 dB και από το άλλο 60 dB, να βρεθεί η ηχητική στάθμη στον παρατηρητή.

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ-ΑΝΑΚΛΑΣΗ-ΔΙΑΧΥΣΗ - ΔΙΑΘΛΑΣΗ

Για τη διάδοση του ήχου απαραίτητο είναι να υπάρχει ένα μέσον, στη περίπτωση μας ο αέρας. Όταν ο ήχος κατά τη διάδοση του συναντήσει διαφορετική πυκνότητα του υλικού μέσω του οποίου διαδίδεται, τότε αλλάζει η διεύθυνση διάδοσης του. Σε ένα κλειστό χώρο, λόγω της σταθερής θερμοκρασίας, η πυκνότητα του αέρα είναι δεδομένη, άρα η διάθλαση δε μας απασχολεί για κλειστούς χώρους αλλά μόνο για ανοιχτούς.

ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

Είναι και αυτή ένα είδος ανάκλασης με τη διαφορά ότι η ανακλαστική επιφάνεια δεν έχει διαστάσεις μεγαλύτερες από το μήκος κύματος αλλά συγκρίσιμες με αυτό.

Σε αυτή την περίπτωση στα όρια της επιφάνειας (άκρες της), δημιουργούνται δευτερογενείς ηχητικές πηγές ίδιας συχνότητας με την αρχική. Αυτές βέβαια είναι ανεπιθύμητες και προσπαθούμε να τις εξαλείψουμε. Παράδειγμα αυτού είναι η ανάγκη ύπαρξης πατούρας, στη καμπίνα των ηχείων, για τα μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων (τουίτερς).

Αυτό διότι στην ακμή του «σασί» τους που δεν εφάπτεται στη καμπίνα θα έχουμε ανεπιθύμητη εκπομπή συχνοτήτων άρα και έμφαση στο συγκεκριμένο σημείο του φάσματος. Το ποια ακριβώς θα είναι αυτή η συχνότητα εξαρτάται από την ακτίνα του «σασί» του μεγαφώνου και αντίστοιχη στη συχνότητα με το ίδιο μήκος κύματος. Συνήθως είναι από επτά έως δέκα χιλιοκύκλους.

ΔΙΑΧΥΣΗ

Το φαινόμενο της διάχυσης συμβαίνει όταν ένα ηχητικό κύμα προσκρούει σε μια επιφάνεια με ακανόνιστες διαστάσεις. Τότε αυτό θα διασπαστεί σε πολλές μικρότερες, ενεργειακά, και με διαφορετικές κατευθύνσεις ανακλάσεις. Αυτό προσπαθούμε να πετύχουμε όταν καμπυλώνουμε τις ακμές ενός ηχείου ή όταν χρησιμοποιούμε τους λεγόμενους διαχύτες στη ηχητική διαμόρφωση ενός δωματίου.

Βιβλιογραφία

Ευθύμιουσα:

Beck Richard & David Stork (2005). *The Physics of Sound*. Pearson Education.

Bose Tarit (2013). *Aeroacoustic Noise. An Introduction for Physicists and Engineers*, Springer.

Hansen C. (2005). *Fundamentals of Acoustics*, Australia.

Holton J. (1979). *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Second Edition, Academic Press Inc.

Kephalopoulos Stylianos, Marco Paviotti, Fabienne Anfosso (2012). *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*.

Liu David H.F. & Howard C. Roberts (1999). *Noise Pollution*. CRC Press.

Noise in Europe (2014). EEA 10/2014 Report.

Russing Thomas (2007). *Handbook of Acoustics*. Springer Verlag, New York.

Singal S.P. (2005). *Noise Pollution and Control Strategy*. Alpha Science International Ltd. Oxford U.K.

Wilson Keith D., Pettit Chris L., Ostashev Vladimir E. (2015). *Sound propagation in the Atmospheric Boundary Layer*. *Acoustics today*, Spring 2015, Vol 11, issue 2, 44–53.

Ελληνική:

Βογιατζής Κ. (2012). *Περιβαλλοντική τεχνική. Θεωρητικό πλαίσιο και εφαρμογές*. Εκδόσεις Συμμετρία.

Βογιατζής Κ., Μουζιάκης Χ. (1999). *Κριτήριο δομήσεων για την προστασία κτιρίων και την αποφυγή σκλήσεων σε κατοίκους από την κατασκευή συγκοινωνιακών έργων σταθερής τροχιάς*, ΕΠΕΤΗΜΟΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ, Β/1999, σ. 57-59.

Βογιατζής Κ., Σ. Χαϊκόλη, Α. Χατζηποτάμου, 2009. *Προστασία του ελληνικού ακουστικού τοπίου*. Εκδόσεις Παπασοπούλου.

Οδηγία 2002/49 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση περιβαλλοντικού θορύβου.

ΕΑ 1180/81. *Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναρτημένων ως τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και την εκ τούτων διασφαλίσεως του περιβάλλοντος εν γένει*.

Καρράτος Δημήτρης (2001). *Εφαρμοσμένη ακουστική. Γενικές έννοιες – Ακουστική κλειστών χώρων – Ακουστική ανοικτών χώρων – Ακουστική ρευστών*. Εκδόσεις Ίλιον.

ΠΕΕ 2008α. *Το πρόβλημα της οπτικής ηχορύπανσης. Η σημασία των τεχνικών πρόληψης στην κηγή κατά τη διάδοση στον αποδόκτη και ο ρόλος του καταναλωτή*.

ΠΕΚ 395/Β/19.6.92. *Καθορισμός δεκτών και ανωτάτων επιτρεπόμενων ορίων θορύβου που προέρχονται από την κυκλοφορία σε οδικά και σιδηροδρομικά έργα*.