

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Θόρυβος

1. Εισαγωγικές έννοιες

Όταν αναφερόμαστε σε ηχητική ρύπανση (θόρυβο), εννοούμε απλά έναν ανεπιθύμητο ήχο που συχνά είναι ανεπιθύμητος επειδή λαμβάνει χώρα σε ακατάλληλο μέρος και/ή ακατάλληλη ώρα.

Ως περιβαλλοντική όχληση, ο θόρυβος είναι ανεπιθύμητος επειδή αναμειγνύεται με την ομιλία και την ακοή ή είναι τόσο δυνατός που μπορεί να βλάψει την ακοή. Πιο λεπτομερειακά, ο θόρυβος ορίζεται σαν ένας ήχος που είναι ανεπιθύμητος λόγω των επιπτώσεών του στους ανθρώπους, τις κατασκευές, στις οποίες μπορεί να επιφέρει κόπωση ή άλλη δυσλειτουργία, καθώς και την παρεμπόδιση της αντίληψης και κατανόησης άλλων ήχων (**McGraw-Hill, Dictionary of Scientific and Technical Terms, 1984**).

Ο ήχος συνίσταται σε μηχανική ενέργεια που μεταδίδεται από παλλόμενα σώματα υπό την μορφή πυκνώσεων και αραιώσεων των μορίων διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών υλικών. Η συχνότητα του ήχου ισούται με τον αριθμό αυτών των πυκνώσεων και αραιώσεων μέσα σε μία χρονική μονάδα, μετριέται δε σε Hertz (Hz).

Διακρίνουμε τις πηγές θορύβου σε:

1. σημειακές (point sources) π.χ. ανεμιστήρας
2. γραμμικές (line sources), π.χ. σιδηρόδρομος, οδικός άξονας
3. εμβαδικές ή εκτατικές (area sources), π.χ. ντισκοτέκ, βιομηχανική εγκατάσταση

Συνήθεις πηγές προέλευσης θορύβου:

- υ γειτονικές κατοικίες
- υ οχλούσες αστικές χρήσεις, π.χ. κέντρα διασκέδασης
- υ μεταφορές, δηλ. οδική κυκλοφορία, σιδηροδρομική κυκλοφορία και αεροδρόμια
- υ εργοτάξια και βιομηχανικές ή βιοτεχνικές μονάδες

2. Ένταση ήχου

Στοιχεία ηχητικών κυμάτων:

- υ η ταχύτητα του ήχου είναι **340 m/s** στους 20°C
- υ στους 20°C, η πυκνότητα του αέρα είναι **1.185 kg/m³**

Η ισχύς ή η πίεση του ήχου δεν συνιστούν πρακτικές μονάδες μέτρησης ήχων

διότι:

- οι δυνατοί ήχοι που μπορούν να παραχθούν κυμαίνονται από περίπου **0.0002** μέχρι **10 000 μbars** (το 1 μbar είναι το ένα εκατομμυριοστό της 1 atm)
- η απόκριση του ανθρώπινου αυτιού στην αύξηση της πίεσης του ήχου είναι μάλλον λογαριθμική παρά γραμμική

Έτσι, ορίζουμε την ένταση (ή "στάθμη") θορύβου ως ακολούθως:

$$SPL = L = 20 \cdot \log \left[\frac{P}{P_0} \right]$$

όπου SPL είναι το "επίπεδο πίεσης ήχου" (Sound Pressure Level ή SPL) ή απλά η στάθμη του ήχου, P είναι η ατμοσφαιρική πίεση και P₀ είναι η ατμοσφαιρική πίεση αναφοράς που αντιστοιχεί στο κατώφλι της ακουστικότητας, δηλαδή το χαμηλότερο επίπεδο θορύβου που ακούει ένας μέσος άνθρωπος (η ατμοσφαιρική πίεση μετριέται σε μονάδες δύναμης ανά επιφάνεια ή N/m²). Αν και σύμφωνα με τον τύπο, η στάθμη του ήχου είναι αδιάστατο μέγεθος, αυτή εκφράζεται σε decibel (dB).

Συχνά, γίνεται αναφορά στην ισχύ, W, ενός ηχητικού σήματος. Αυτή είναι ανάλογη του τετραγώνου της ατμοσφαιρικής πίεσης, δηλαδή $W \sim P^2$.

Το κατώφλι πόνου για την ανθρώπινη ακοή ευρίσκεται στα **134 dB**, ενώ το ψηλότερο επίπεδο θορύβου που μπορεί να μεταφέρει ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι **194 dB** (Anastassakis, 1989).

Για την καλύτερη αντιπροσώπευση όλων των συχνοτήτων που ακούει το ανθρώπινο αυτί, αντί της απλής τιμής SPL (που μετριέται σε dB), χρησιμοποιείται η αποκαλούμενη A-weighted τιμή που μετρείται σε **dBA** και η οποία προκύπτει ως ο ζυγισμένος μέσος όρος των χαμηλών, μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων. Για καλύτερη κατανόηση της κλίμακας αυτής, μερικές τυπικές τιμές SPL σε dBA δίνονται κατωτέρω, με επιλεγμένες ισοδύναμες τιμές ακουστικής πίεσης (διάφορες βιβλιογραφικές πηγές):

Πίνακας 1. Ενδεικτικές στάθμες θορύβου

	dB(A)
κατώφλι ακουστικότητας	0
θρόισμα φύλλων, αναπνοή	10
ψίθυρος	20
ήσυχη αγροτική περιοχή (νύχτα)	30
πολύ ήσυχο δωμάτιο (π.χ. βιβλιοθήκη)	40
ήσυχη αστική περιοχή (μέρα)	50
κανονική ομιλία	60
ηλεκτρική σκούπα, τηλεόραση, οδική κυκλοφορία στα 30 m	70
αυτοκίνητο στα 6 m	74
πλυντήριο, τυπικό εργοστάσιο, μικρό φορτηγό στα 6 m	80
υπόγειος σιδηρόδρομος στα 6 m	90
δυνατή μοτοσικλέτα στα 6 m	110
ηλεκτρικό πριόνι	120
αεριοθούμενο (τζετ) στα 6 m	140

Σημειώνεται ότι στα 10~30 dB(A) ο άνθρωπος έχει την εντύπωση ότι επικρατεί πολύ ησυχία, στα 30~50 dB(A) είναι μάλλον ήσυχα, τα 50~75 dB(A) είναι μάλλον δυνατά, τα 75~100 dB(A) είναι πολύ δυνατά, 80 dB(A) είναι η στάθμη θορύβου της φωνής του συγγραφέα αυτών των σημειώσεων κατά τις παραδόσεις του, ενώ θόρυβος πάνω από 100 dB(A) είναι τόσο δυνατός που προκαλεί ενόχληση.

3. Συχνότητες ηχητικών σημάτων

Το ακουστικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού μπορεί να αντιληφθεί ήχους συχνότητας περίπου από **16** έως **20 000 Hz (20 kHz)** περίπου.

Η ένταση ενός ήχου ανά συχνότητα μετρείται σε αναφορά με τις ακόλουθες ζώνες συχνότητων:

Πίνακας 2. Οκταβικές ζώνες συχνοτήτων (octave bands)

μέσον ζώνης συχνοτήτων (kHz)	min – max ζώνης συχνοτήτων (kHz)
0.0315	0.022 – 0.044
0.063	0.044 – 0.088
0.125	0.088 – 0.176
0.25	0.176 – 0.353
0.5	0.353 – 0.707
1	0.707 – 1.414
2	1.414 – 2.825
4	2.825 – 5.650
8	5.65 – 11.3
16	11.3 – 22.5

4. Υπολογισμοί

Αφού η στάθμη θορύβου ορίζεται λογαριθμικά, οι τιμές dB δεν αθροίζονται αλγεβρικά. Για να προστεθούν δύο ήχοι που δρουν ταυτόχρονα, πρέπει οι τιμές dB (έστω SPL_1 και SPL_2) να μετατραπούν σε ισχύ (έστω W_1 και W_2), να προστεθούν αλγεβρικά οι προκύπτουσες τιμές ισχύος και να υπολογισθεί το νέο επίπεδο πίεσης ήχου που αντιστοιχεί στην συνολική ισχύ $W_{tot} = W_1 + W_2$.

Πιο απλά, για τον υπολογισμό του συνολικού επιπέδου θορύβου, L_{tot} , μπορούμε να αθροίσουμε N πηγές θορύβου που δρουν ταυτόχρονα σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$L_{tot} = \sum_{i=1}^N L_i = 10 \cdot \log \left[\sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right]$$

όπου L_i είναι η στάθμη θορύβου της πηγής i .

Για τον υπολογισμό του μέσου επιπέδου θορύβου, L_{ave} , ενός ηχητικού σήματος που αποτελείται από πολλές συχνότητες, κάνουμε χρήση του ακόλουθου τύπου (Davis & Cornell, 1998):

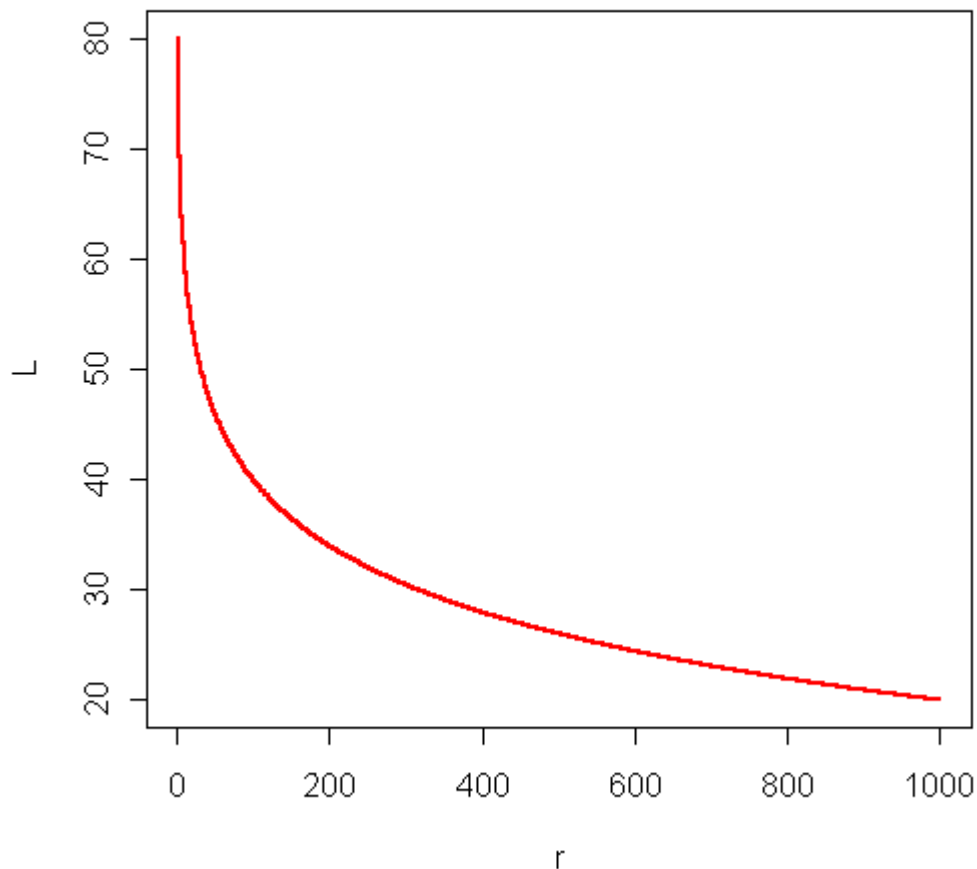
$$L_{ave} = 20 \cdot \log \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N 10^{L_j/20} \right]$$

Τέλος, για τη μείωση σήματος θορύβου στάθμης L_o με την απόσταση r χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο (Vesilind, 1997):

$$L_r = L_o - 10 \cdot \log(r^2)$$

όπου η έκφραση είναι εμπειρική και η απόσταση r πρέπει να είναι εκφρασμένη σε m .

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ενδεικτικά η μείωση ήχου έντασης **80 dB** (που εκπέμπει μια πηγή) καθώς η απόσταση αυξάνεται έως τα **1000 m**.



Σχήμα 1. Μείωση επιπέδου ήχου 80 dB με την απόσταση

5. Μέτρηση θορύβου

Στη μέτρηση του θορύβου, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι δείκτες:

- L_{eq} Το ονομαζόμενο **ισοδύναμο επίπεδο θορύβου** εφαρμόζεται σε μια κυμαινόμενη χρονικά πηγή θορύβου και ισούται με το σταθερό επίπεδο θορύβου που παράγεται από το ίδιο ποσό ενέργειας με την κυμαινόμενη εκπομπή.
- L_N Με το γενικό σύμβολο L_N (όπου N ακέραιος αριθμός από 0 έως 100) παριστάνουμε οποιοδήποτε επίπεδο θορύβου που υπερβαίνεται για το N% του χρόνου κατά τον οποίο έγινε η μέτρηση, π.χ. το L_{10} αντιπροσωπεύει το επίπεδο θορύβου που υπερβαίνεται στο 10% του χρόνου.

Πρακτικά, το L_{eq} και το L_{10} συνδέονται με την εμπειρική σχέση

$$L_{eq} = L_{10} + 3 \text{ dB}$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορετικού τύπου ντεσιμπελομέτρων που διατίθενται στο εμπόριο (**Kiely, 1997· σύνθεση διαφόρων στοιχεία από το Internet**).

Πίνακας 3. Τύποι ηχομέτρων ή ντεσιμπελομέτρων (sound level meters)

Τύπος	Περιγραφή	Ακρίβεια (dB)
Type 0	Εργαστηριακές μετρήσεις υψηλής ακριβείας (laboratory reference)	±0.4
Type 1	Μετρήσεις πεδίου ακριβείας (precision grade)	±0.7
Type 2	Συνήθεις μετρήσεις πεδίου (industrial grade)	±1
Type 3	Πρόχειρες μετρήσεις πεδίου (survey grade)	±1.5

6. Περιεχόμενα έκθεσης μετρήσεων θορύβου

Σύμφωνα με την **Bruel & Kjer** (κατασκευάστρια εταιρεία των καλύτερων ίσως ντεσιμπελομέτρων), τα περιεχόμενα μιας τεχνικής έκθεσης που παρουσιάζει τα αποτελέσματα μετρήσεων θορύβου, πρέπει να είναι τα ακόλουθα (**Kiely, 1997**):

1. Τύπος, μοντέλο και αριθμός σειράς ηχομέτρου
2. Ημερομηνία τελευταίας βαθμονόμησης και συνοπτική περιγραφή βαθμονόμησης στο πεδίο μετρήσεων
3. Βαρυτικά δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν (dBA ή dBC) και ταχύτητα απόκρισης

(fast ή slow)

4. Χάρτης του πεδίου μετρήσεων με σήμανση θέσεων μικροφώνου και πηγών θορύβου
5. Ημερομηνία και ώρα μετρήσεων
6. Περιγραφή μετεωρολογικών συνθηκών
7. Μέτρηση θορύβου βάθους και περιγραφή τυχόν παρεμβολών
8. Ονόματα και επαγγελματικές ιδιότητες ατόμων που συμμετείχαν στις μετρήσεις
9. Περιγραφή των μετρήσεων με μνεία καθαρών τόνων (π.χ. σφυριγμάτων τρένου) ή αιφνίδιων ήχων μικρής διάρκειας (π.χ. εκρήξεις, κρότοι)
10. Παρουσίαση μετρήσεων σε πίνακες και γραφήματα ώστε να φαίνεται η χρονική διακύμανσή τους
11. Το L_{10} συχνά χρησιμοποιείται για εκτίμηση του επιπέδου θορύβου που αποτελεί όχληση. Το L_{90} ή το L_{95} συχνά χρησιμοποιούνται για εκτίμηση του θορύβου βάθους

Βιβλιογραφικές αναφορές

Anastassakis, M.S.: *Road Traffic Noise from Semi-Suburban Motorways: the Case of the SW Quadrant of the M25*, M.Sc. Thesis, Imperial College, September 1989.

Davis, M.L. & D.A. Cornwell: *Introduction to Environmental Engineering*, 3rd edition, WCB/McGraw-Hill, 1998.

Kiely, G.: *Environmental Engineering*, Irwin McGraw-Hill, 1997

Κραψίτης, Ι. & Τ. Γκινάλας: *Θόρυβος - Μέθοδοι Μείωσης στους Χώρους Εργασίας*, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Μάιος 1996.

Vesilind, P.A.: *Introduction to Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, 1997.