

ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

4. ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ, ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ, ΘΟΡΥΒΟΣ μέρος I

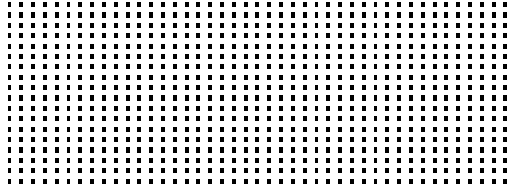
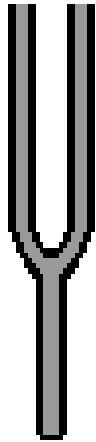
Γιάννης Μουρτζόπουλος



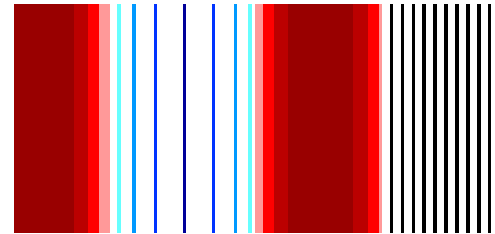
ΟΜΑΔΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

www.wcl.ece.upatras.gr/audiogroup/

ηχητική πηγή



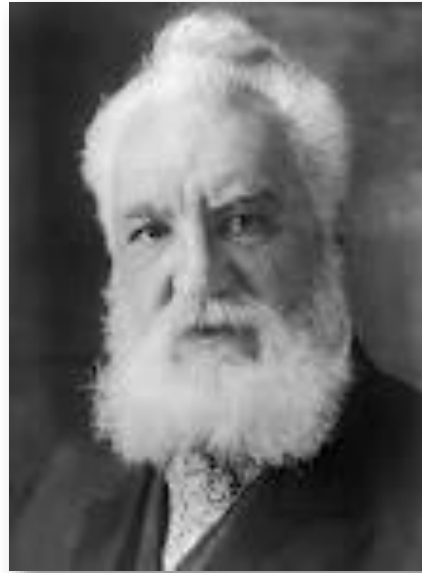
ηχητικό κύμα



ακροατής



- Είναι ένα φυσικό φαινόμενο
 - Μία ταλάντωση (από την πηγή) μεταφέρεται σε ένα μέσο
 - Παράγεται κύμα που διαδίδεται προς τον δέκτη (ακροατή)
 - Αναπαράγει ένα ερέθισμα (ακοή)
-
- **Ήχος** είναι σήμα **χρήσιμο** για τον δέκτη
 - **Θόρυβος** είναι σήμα **άχρηστο** για τον δέκτη



- Η ακουστική πίεση είναι η αξιοποιήσιμη ποσότητα μέτρησης
- Εκφράζεται σε N/m^2 ή Pa
- Πρακτικά, μετρούμε **στάθμες ηχητικής πίεσης**
- Η μονάδα είναι τα γνωστά decibel , dB
- Ονομάστηκαν προς τιμή του **Alexander Graham Bell**
- **deci Bell**

- Η μέτρηση **στάθμης**:

$$L (X_1 \text{ re } X_2) = 10 \log_{10} (X_1/X_2)$$

όπου X_2 είναι ποσότητα αναφοράς

- αναφέρεται σε λογαριθμικές μονάδες
- αφορά αδιάστατες (ομοειδείς) ποσότητες
- Η ποσότητα αναφοράς επιτρέπει ακριβείς μετρήσεις και σχετίζεται με την αίσθηση της ακοής
- Ο λογάριθμος συμπιέζει το εύρος των αριθμητικών τιμών

ακουστικές στάθμες

παράδειγμα	Στάθμη ήχου (dB)	Πίεση ήχου (Pa)	Ένταση ήχου (watts/m ²)
30m από αεροπλάνο jet	140	200	100
Κατώφλι του πόνου	130		10
	120	20	1
Πριόνι	110		0.1
Disco και bar	100	2	0.01
	90		0.001
Δρόμος (με κυκλοφορία)	80	0.2	0.0001
	70		0.00001
Ομιλία	60	0.02	0.000001
	50		0.0000001
	40	0.002	0.00000001
Ήσυχο υπνοδωμάτιο (νύχτα)	30		0.000000001
Υπόβαθρο σε στούντιο	20	0.0002	0.0000000001
	10		0.00000000001
Κατώφλι ακοής (ποσότητα αναφοράς)	0	0.00002	0.000000000001

- σχέσεις λογαρίθμων :

$$\log_b \left(\frac{a}{c} \right) = n \Leftrightarrow \left(\frac{a}{c} \right) = b^n$$

- Ο ορισμός του Bel είναι λογάριθμος του λόγου 2 μεγεθών ισχύος:

$$1\text{Bel} = \log_{10} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)$$

- π.χ. αν $W_1 = 2 W$ και $W_2 = 1 W$, η σχέση είναι ίση με 0,301 Bel
επειδή $1 \text{ Bel} = 10 \text{ deciBel}$, τότε η ίδια σχέση είναι ίση με 3.01 dB
- Στη πράξη μετρούνται συνήθως τα μεγέθη πεδίου, όπως η τάση, η πίεση.
- Ο διπλασιασμός αντιστοιχεί σε αύξηση 6 dB
- ο διπλασιασμός ισχύος αντιστοιχεί σε 3 dB, αφού:

$$\underbrace{10 \log_{10} \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^2}_{\text{ισχύς}} = \underbrace{20 \log_{10} \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)}_{\text{τάση}}$$

- Η ελάχιστη αντιληπτή ακουστική πίεση είναι τα $0,00002 \text{ N/m}^2 = 20 \text{ } \mu\text{N/m}^2$
- σαν ποσότητα αναφοράς, αποτρέπει αρνητικές μετρήσεις στάθμης
- Μετρήσεις ακουστικής πίεσης σε dB εκφράζονται ως προς την στάθμη αναφοράς και αναφέρονται σαν **ηχοστάθμη, dB-SPL**, (Sound Pressure Level, SPL) ή σαν L_p
- για την στάθμη **ακουστικής ισχύος** αναφέρονται σαν **dB-PWL** ή σαν L_w
- για **στάθμη έντασης** είναι τα **dB-IL** ή σαν L_i

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right), p_{ref} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_{ref}} \right), W_{ref} = 10^{-12} \text{ W}$$

$$L_i = 10 \log \left(\frac{I}{I_{ref}} \right), I_{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

- Επίσης:

$$L_p = 20 \log(p) + 94 \quad (dB)$$

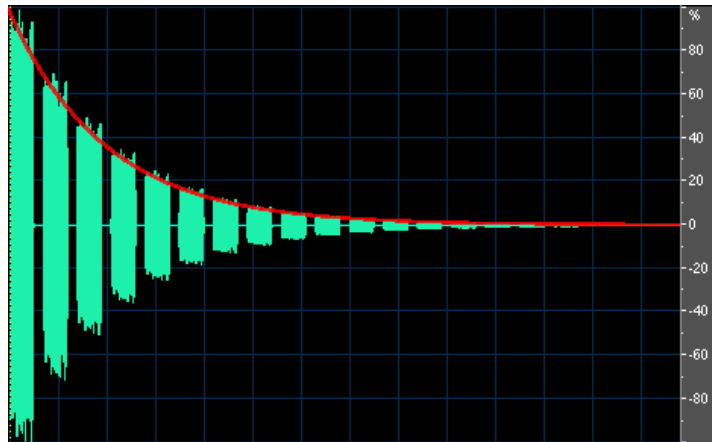
$$L_w = 10 \log(w) + 120 \quad (dB)$$

$$L_i = 10 \log(I) + 120 \quad (dB)$$

- Σε σχέση με ηλεκτρικά μεγέθη:

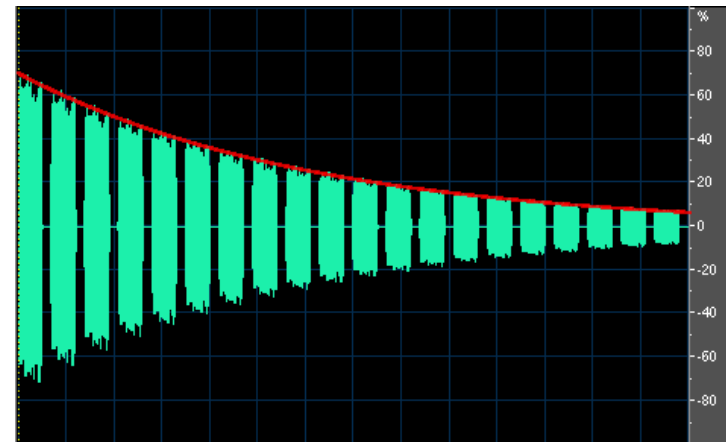
Ποσότητα	Στάθμη αναφοράς	Σύμβολο	Πολ/στής
Πίεση ήχου	0,00002 N/m ²	dB-SPL ή L _p	20
Ένταση ήχου	10 ⁻¹² W/m ²	dB-IL ή L _i	10
Ισχύς ήχου	10 ⁻¹² W	dB-PWL ή L _w	10
Ηλεκτρ. ισχύς	10 ⁻³ W (ή 0,775V στα 600Ω)	dBm	10
Ηλεκτρ. τάση	1 V (ανεξάρτητα αντίστασης)	dBV	20
Ηλεκτρ. τάση	0,775 V στα 600Ω	dBv ή dBu	20

Μείωση ηχοστάθμης κατά 3 dB



time

Μείωση ηχοστάθμης κατά 1 dB



time

ηχοστάθμη σε dB

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right) \quad p_{ref} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

για rms πιέσεις:

$$L_p = 10 \log \frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2}$$

και:

$$\frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} = 10^{L_p/10}$$

ηχητική πίεση – πολλαπλές, ασυσχέτιστες πηγές

$$p_{tot,rms} = \sqrt{p_{1,rms}^2 + p_{2,rms}^2 + \dots + p_{N,rms}^2}$$

ηχοστάθμη σε **dB** – πολλαπλές, ασυσχέτιστες πηγές

$$L_{P,tot} = 10 \log \frac{P_{rms,tot}^2}{P_o^2} = 10 \log (10^{0.1L_{P1}} + 10^{0.1L_{P2}} + \dots + 10^{0.1L_{PN}}) = 10 \log \sum_i^N 10^{0.1L_i}$$

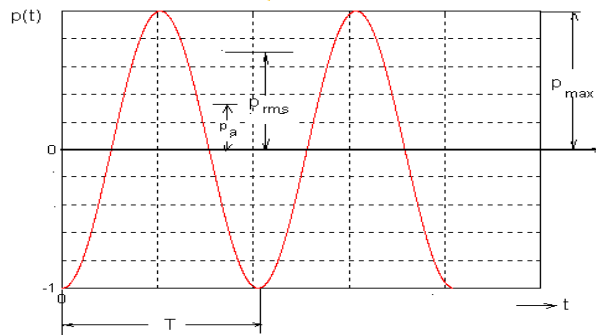
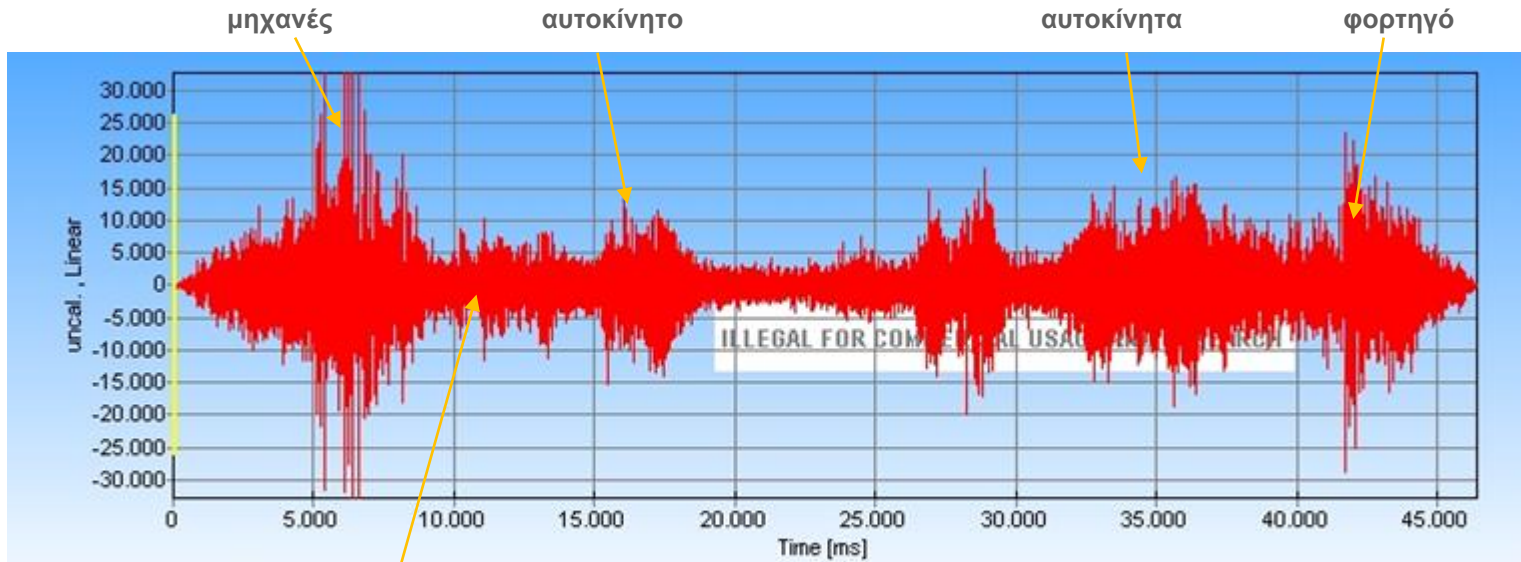
ηχοστάθμη σε **dB** – πολλαπλές, N ασυσχέτιστες πηγές **ίσης** πίεσης

$$L_{P,tot} = 10 \log \frac{P_{rms,tot}^2}{P_o^2} = 10 \log \frac{P_{rms}^2}{P_o^2} + 10 \log(N)$$

ηχοστάθμη σε **dB** – 2 ασυσχέτιστες πηγές **ίσης** πίεσης

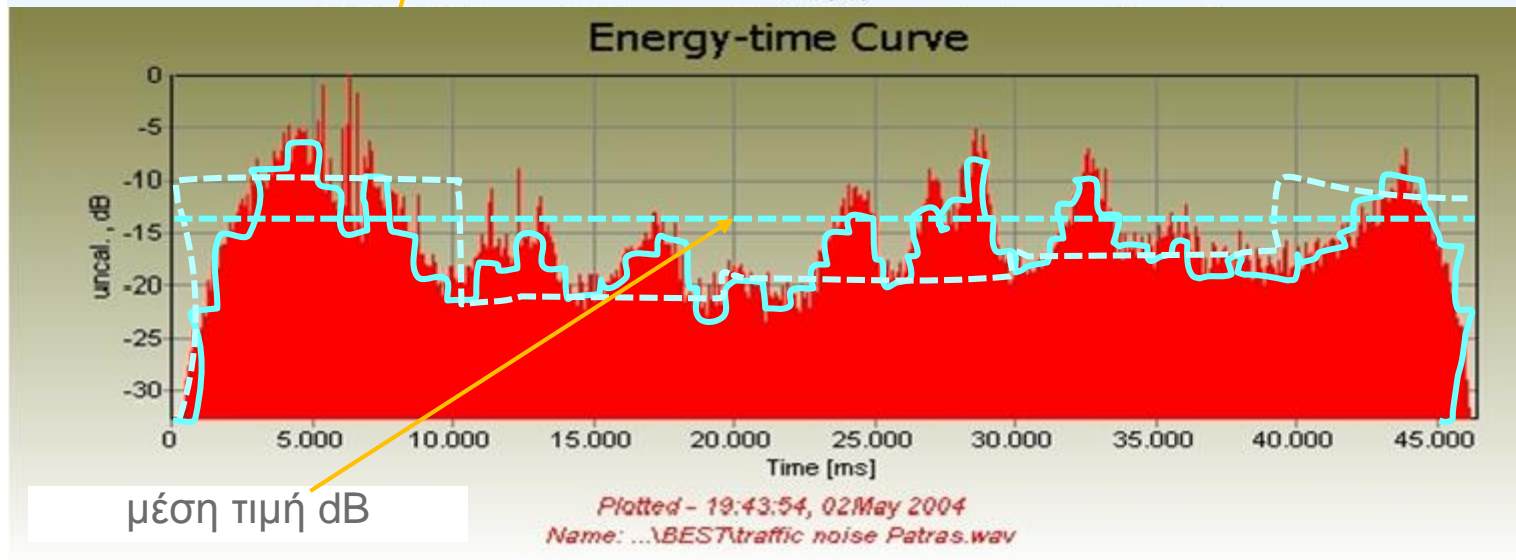
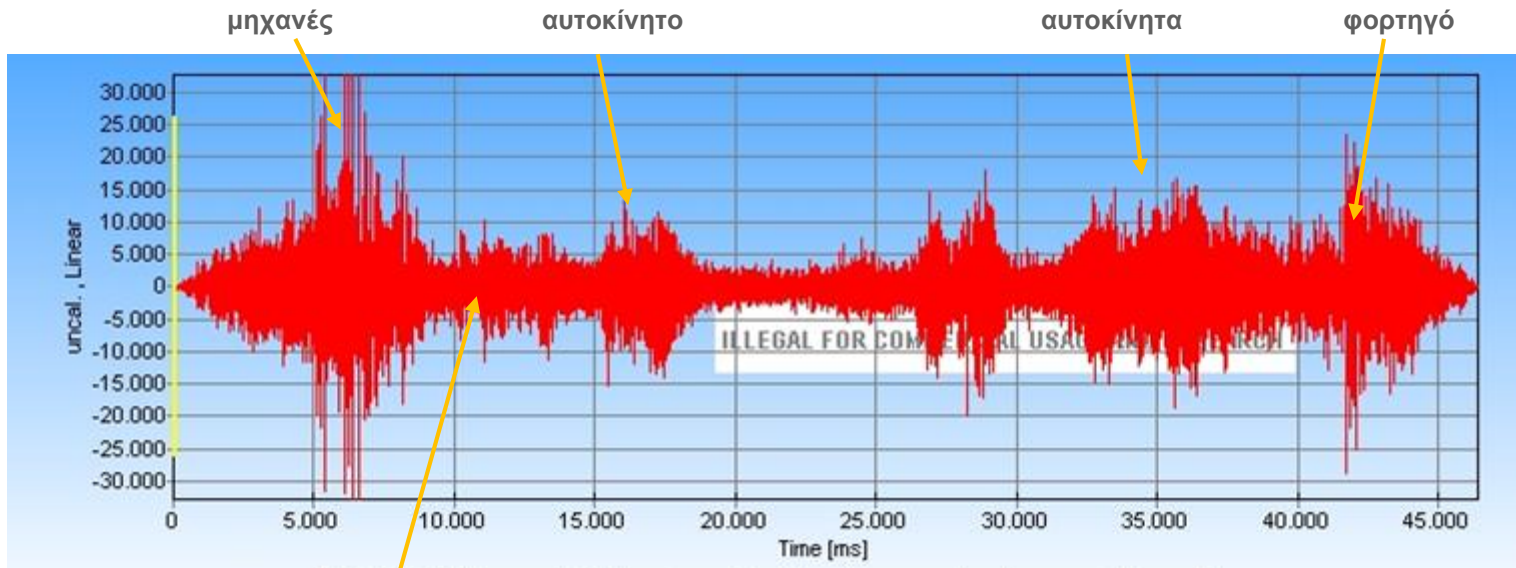
$$L_{P,tot} = 10 \log \frac{P_{rms}^2}{P_o^2} + 10 \log(2) = L_{p1} + 3dB$$

η μέτρηση της ακουστικής πίεσης



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

η ακουστική πίεση

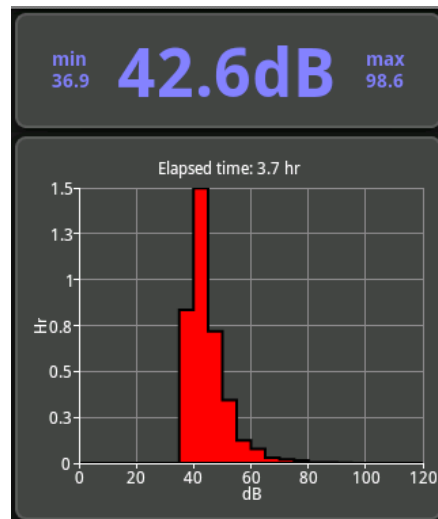


η μέτρηση της ακουστικής πίεσης

ισοδύναμη ηχοστάθμη σε **dB** – πολλαπλές μετρήσεις σε διάρκεια T (sec)

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L_p(t)} dt$$

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \left(10^{0.1L_1} \Delta t_1 + 10^{0.1L_2} \Delta t_2 + \dots \right) \right]$$



$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i}$$

ισοδύναμη ηχοστάθμη σε **dB** –
ιστόγραμμα τιμών για διάρκεια T (sec)

η μέτρηση της ακουστικής πίεσης

Παράδειγμα

Σε μία περιοχή γίνεται δειγματοληψία του θορύβου. Οι τιμές που πήραμε είναι:

45, 57, 66, 55, 56, 57, 63, 60, 62, 66, 56, 66, 60, 50, 53, 52, 50, 55, 48 dB.

Αν η χρονική διάρκεια των δειγμάτων είναι 1 min, να υπολογισθεί η ισοδύναμη στάθμη και να συγκριθεί με τη μέση τιμή.

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \left(10^{0.1L_1} \Delta t_1 + 10^{0.1L_2} \Delta t_2 + \dots \right) \right]$$

$$T = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots = N \Delta t$$

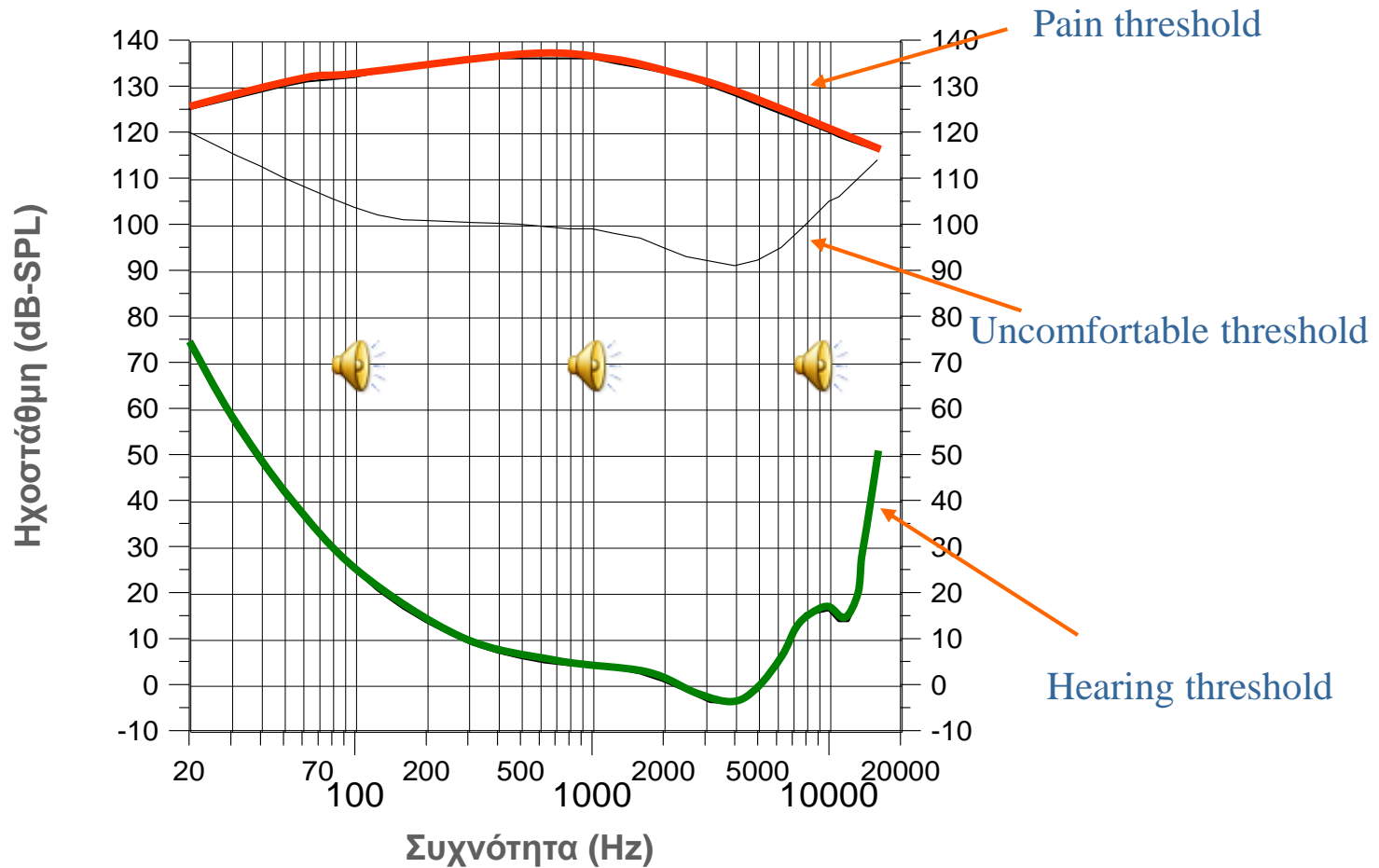
$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{N \Delta t} \left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i} \Delta t \right) = 10 \log \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i} \right)$$

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{19} \left(10^{4.5} + 10^{5.7} + 10^{6.6} + \dots \right) = 60.35 \text{ dB}$$

$$\bar{L} = \frac{45 + 57 + 66 + \dots}{19} = 56.68 \text{ dB}$$

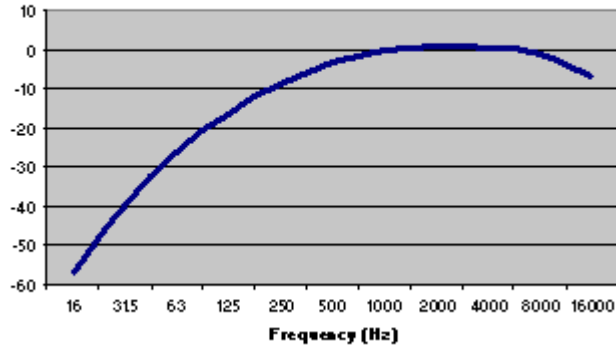
η αντίληψη της ακουστικής πίεσης

ισοδύναμη ηχοστάθμη σε dB – πολλαπλές μετρήσεις σε διάρκεια T (sec)

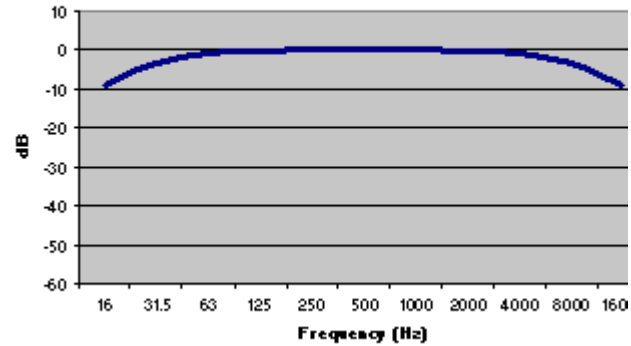


η μέτρηση της ακουστικής πίεσης

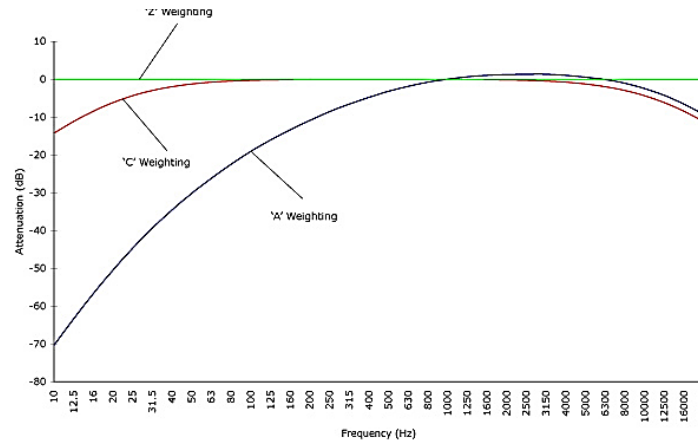
σταθμισμένη ηχοστάθμη σε dB(A)



σταθμισμένη ηχοστάθμη σε dB(C)



σταθμισμένη ηχοστάθμη σε dB(Z)

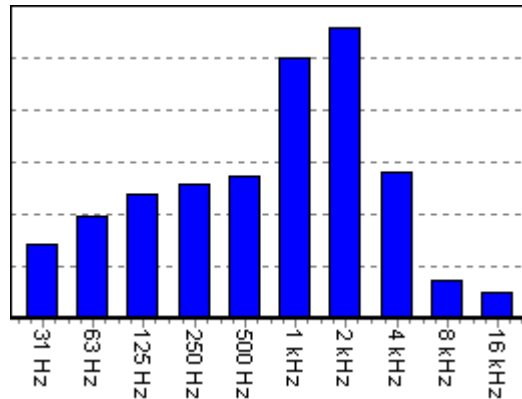


η μέτρηση της ακουστικής πίεσης

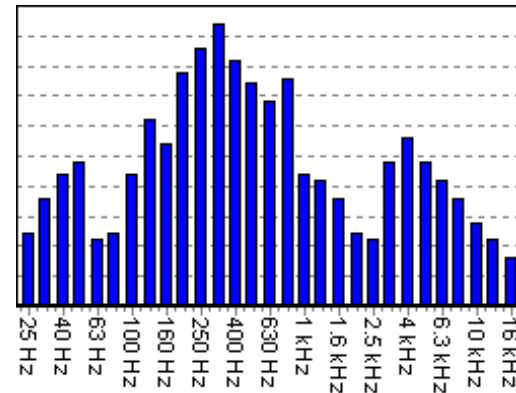
ζωνική ηχοστάθμη σε **dB** – μέτρηση σε ζώνη συχνοτήτων $f_1 - f_2$

$$L_{pb} = 10 \log \frac{\int_{f_1}^{f_2} p_{f,rms}^2 df}{p_{ref}^2}$$

ζώνες σε διαστήματα οκτάβας



ζώνες σε διαστήματα 1/3 οκτάβας

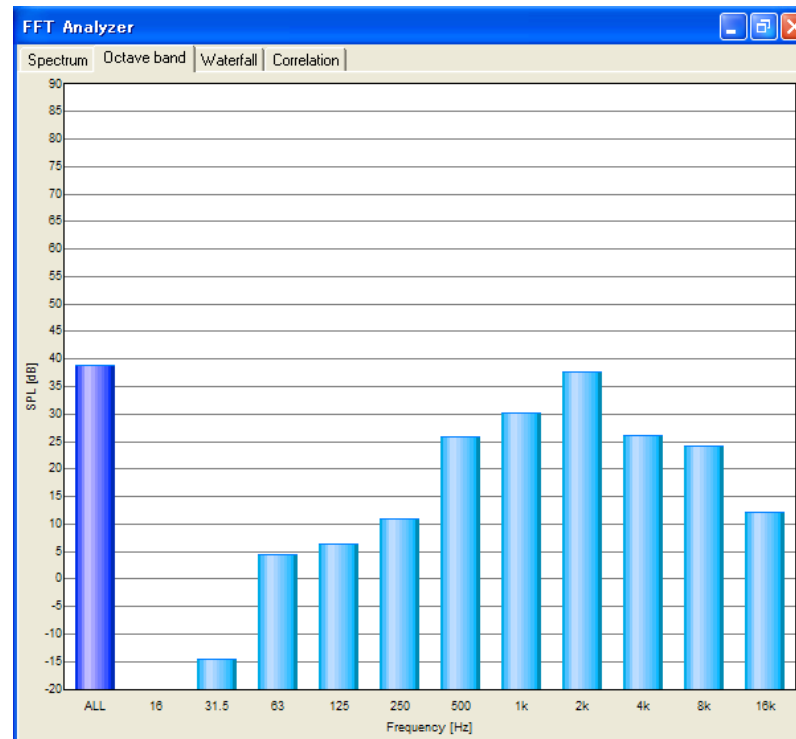


συνολική ηχοστάθμη σε **dB** – από μετρήσεις επιμέρους σταθμών σε ζώνες

$$L_{Pb,tot} = 10 \log(10^{0.1L_{Pb1}} + 10^{0.1L_{Pb2}} + \dots + 10^{0.1L_{PbN}})$$

η μέτρηση της ακουστικής πίεσης

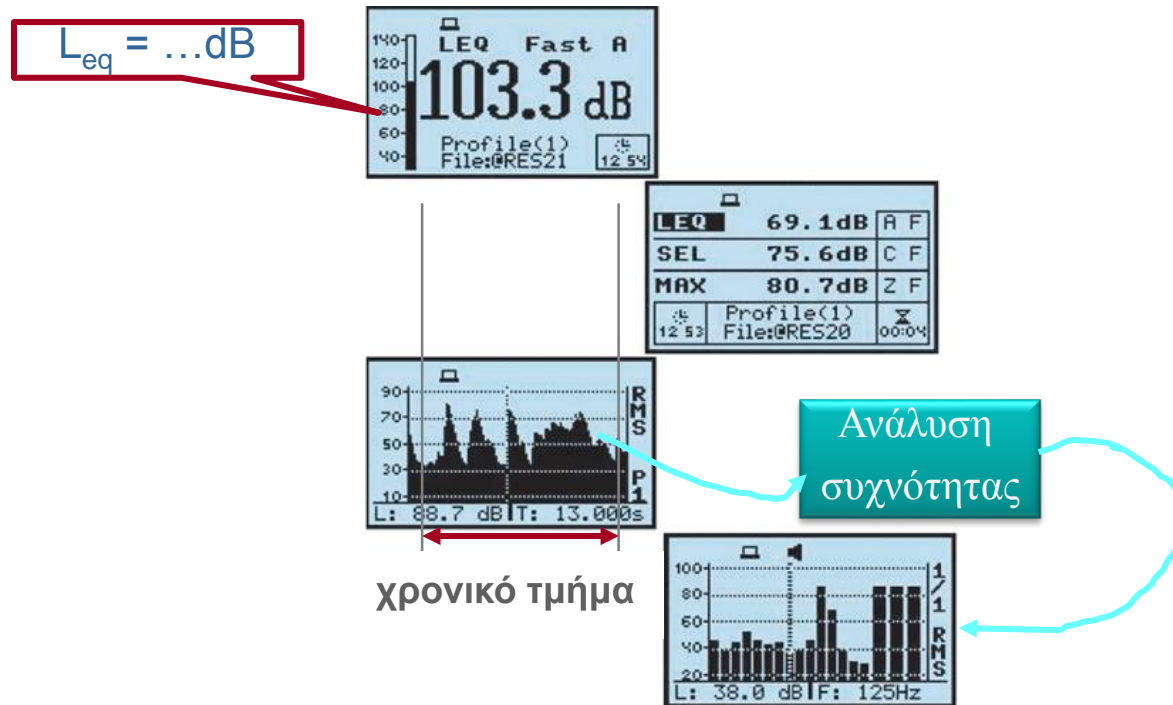
ζωνική ηχοστάθμη σε **dB** – μέτρηση σε ζώνη συχνοτήτων $f_1 - f_2$



$$L_{Pb,tot} = 10 \log(10^{0.1L_{Pb1}} + 10^{0.1L_{Pb2}} + \dots + 10^{0.1L_{PbN}})$$

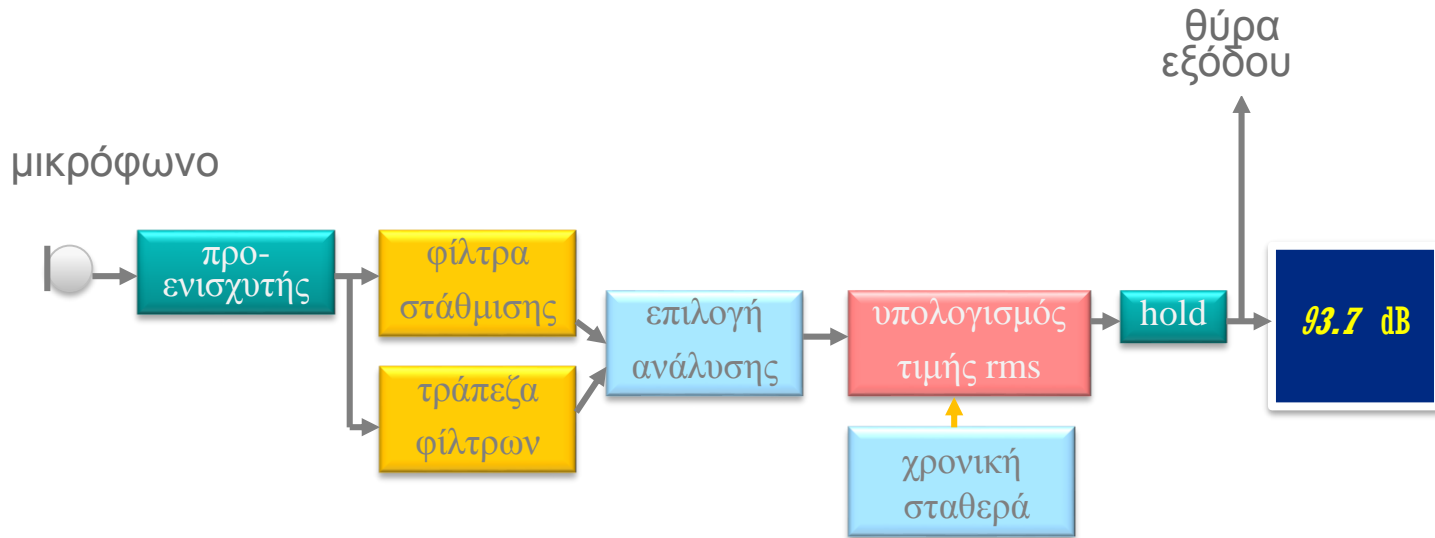
η μέτρηση της ακουστικής πίεσης

ζωνική ηχοστάθμη σε dB – μέτρηση σε ζώνη συχνοτήτων $f_1 - f_2$

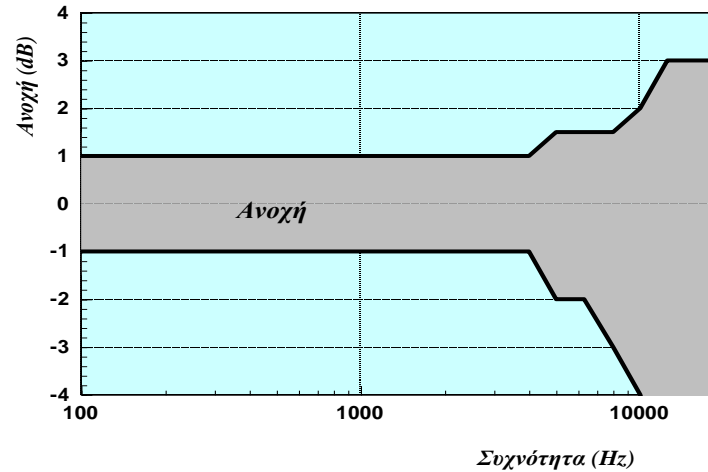


$$L_{Pb,tot} = 10 \log(10^{0.1L_{Pb1}} + 10^{0.1L_{Pb2}} + \dots + 10^{0.1L_{PbN}})$$

η μέτρηση της ακουστικής πίεσης



Ανοχή ηχομέτρων τύπου 1 κατά IEC 179





ομάδα τεχνολογίας ήχου & ακουστικής

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

<http://www.wcl.ece.upatras.gr/AudioGroup/>