

**ΑΝΩΤΑΤΗ
ΣΧΟΛΗ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ**

ΜΑΘΗΜΑ	ΤΜΗΜΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ
ΦΥΣΙΚΗ	Μηχανολόγων Μηχανικών
	Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Καθηγητής Σιδεράς Ευστάθιος

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ - ΗΧΟΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

Αντικειμενικά και Υποκειμενικά Χαρακτηριστικά του Ήχου

Κλίμακα decibel (dB)

Ηχοδοσιμετρία

Ισοδύναμη Ηχοστάθμη L_{eq} Πολλών Ηχητικών Πηγών

Αντικειμενικά και Υποκειμενικά Χαρακτηριστικά του Ήχου

Αντικειμενικά Χαρακτηριστικά	Υποκειμενικά Χαρακτηριστικά
<p>Συχνότητα f του ήχου (Hz) (Υπόηχοι – Ακουστικοί ήχοι – Υπέρηχοι)</p>	<p>Ύψος του Ήχου Υψίφωνος (υψηλές συχνότητες) Βαρύτονος (χαμηλές συχνότητες) Μεσόφωνος (μεσαίες συχνότητες) ($20 \text{ Hz} < f < 20000 \text{ Hz}$)</p>
<p>Ένταση I του Ήχου (W/m^2) Ηχοαστάθμη ήχου (dB) Μέγιστη ηχοστάθμη θορύβου σε εργασιακό περιβάλλον για 8ωρη εργασία: $L_{\text{max,8h}}=87 \text{ dB}$</p>	<p>Ακουστότητα Ήχου A (phon) Σε τι ένταση αντιλαμβάνεται ένα ήχο το αυτί του ανθρώπου ($0 < A < 100 \text{ phon}$)</p>
	<p>Χροιά Ήχου (Σύνθετος ήχος διαφορετικών συχνοτήτων – Αναγνώριση ηχητικής πηγής)</p>

ΚΛΙΜΑΚΑ deciBel (dB)

Περιοχή Εντάσεων Ήχου που μπορεί να αντιληφθεί το αυτί μας χωρίς κίνδυνο:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad \text{έως} \quad I_{\max} = 10^0 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ W/m}^2$$

Κατώφλι Ακουστότητας
Threshold of Hearing
(TOH)

$$\delta p \approx 0,3 \times 10^{-9} \text{ atm}$$

$$D \approx 10^{-11} \text{ m}$$

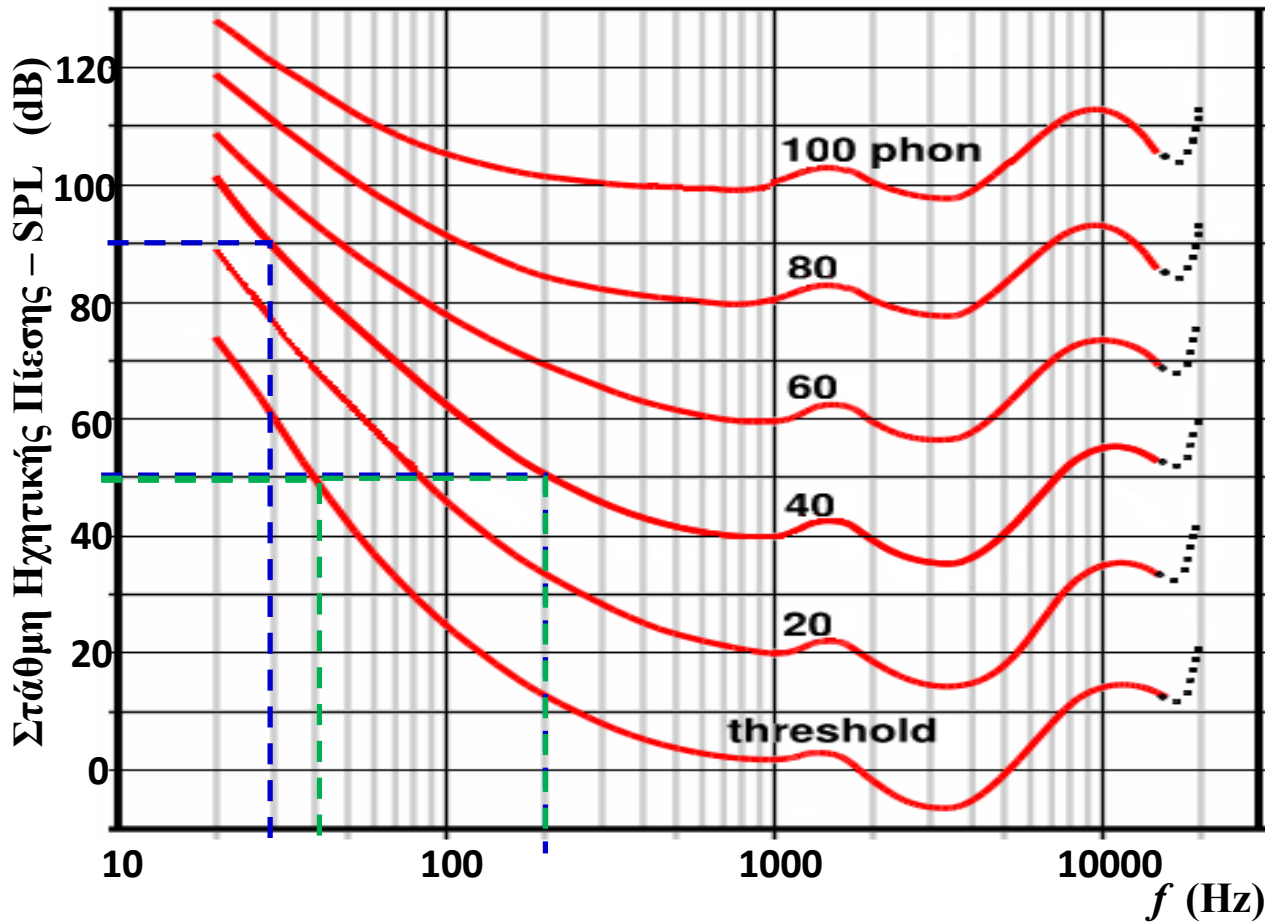
$I > I_{\max}$: Προκαλεί πόνο στο αυτί και μόνιμη κώφωση

Κλίμακα deciBel Η στάθμη ή το επίπεδο έντασης ενός ηχητικού κύματος (ηχοστάθμη) ορίζεται με τη σχέση:

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Όρια Ακουστότητας Ήχων: $0 \text{ dB} \leq L \leq 120 \text{ dB}$

Ισοακουστικές Καμπύλες κατά ISO 226:2003



Μονάδα Ακουστότητας: **1 phon**

phon = Ηχοστάθμη του ήχου σε dB στη συχνότητα $f = 1000$ Hz

Δυο ήχοι διαφορετικής ηχοστάθμης σε dB και διαφορετικής συχνότητα μπορούν να έχουν την ίδια ακουστότητα σε phon, π.χ.

Ήχος ηχοστάθμης $L = 90$ db
 συχνότητας $f = 30$ Hz
 Και
 Ήχος ηχοστάθμης $L = 50$ db
 συχνότητας $f = 200$ Hz } **40 phon**

Δυο ήχοι ίδιας ηχοστάθμης σε dB και διαφορετικής συχνότητα έχουν διαφορετική ακουστότητα σε phon, π.χ.

Ήχος ηχοστάθμης $L = 50$ db
 συχνότητας $f = 40$ Hz } **0 phon**
 Και
 Ήχος ηχοστάθμης $L = 50$ db
 συχνότητας $f = 200$ Hz } **40 phon**

Ηχοδοσιμετρία

Μέγιστη ασφαλής ηχοστάθμη θορύβου σε εργασιακό περιβάλλον για δωρη εργασία: $L_{\max,8h} = 87$ dB

Ενέργεια ήχου ηχοστάθμης L (σε dB) που εισέρχεται στο αυτί σε χρονικό διάστημα T (σε ώρες h)

Ο παράγοντας που επηρεάζει το ακουστικό σύστημα του ανθρώπου είναι **η ηχητική ενέργεια** που συσσωρεύεται σε αυτό

Η ηχητική ενέργεια που συσσωρεύεται στο ακουστικό σύστημα του ανθρώπου εξαρτάται από την ηχοστάθμη L του ήχου και από το χρόνο έκθεσης T στην ηχοστάθμη αυτή.

Υπολογισμός της ενέργειας που συσσωρεύεται στο ακουστικό σύστημα του ανθρώπου:

Ορισμός ηχοστάθμης σε dB: $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$ $\left\{ \begin{array}{l} I = \text{ενταση ηχου σε } W/m^2 \\ I_0 = 10^{-12} W/m^2 \end{array} \right.$

$\frac{L}{10} = \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{L/10} \Rightarrow I = I_0 10^{L/10}$

$I = \frac{\text{Ισχυς ηχου που εισρχεται στο αυτι}}{\text{Εμβαδο αυτιου}} \Rightarrow I = \frac{P}{A_{\text{αυτι}}} \Rightarrow P = IA_{\text{αυτι}}$

$P = \frac{\text{Ενεργεια που εισερχεται στο αυτι}}{\text{Χρονικο διαστημα εκθεσης}} \Rightarrow P = \frac{E}{T} \Rightarrow E = PT$

$E = IA_{\text{αυτι}}T$

$E = I_0 10^{L/10} A_{\text{αυτι}} T$

Ενέργεια ήχου ηχοστάθμης L (dB) που εισέρχεται στο αυτί σε χρονικό διάστημα T :

Ηχοδοσιμετρία

Μέγιστη ασφαλής ηχοστάθμη θορύβου σε εργασιακό περιβάλλον για 8ωρη εργασία: $L_{\max,8h} = 87 \text{ dB}$

Μέγιστος χρόνος έκθεσης T_{\max} σε περιβάλλον με ήχο (ή θόρυβο) με ηχοστάθμη L (σε dB)

Ενέργεια ήχου ηχοστάθμης L (dB) που εισέρχεται στο αυτί σε χρονικό διάστημα T :

$$E = I_0 10^{L/10} A_{\text{αυτι}} T$$

Στις συνθήκες $L = L_{\max,8h} = 87 \text{ dB}$ και $T = T_{8h} = 8 \text{ h}$ στο αυτί εισέρχεται η μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια $E = E_{\max}$

$$E_{\max} = I_0 10^{L_{\max,8h}/10} A_{\text{αυτι}} T_{8h}$$

Σε περιβάλλον με ηχοστάθμη θορύβου L (dB), στο αυτί εισέρχεται η μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια $E = E_{\max}$ σε χρονικό διάστημα $T = T_{\max}$:

$$E_{\max} = I_0 10^{L/10} A_{\text{αυτι}} T_{\max}$$

$$\cancel{I_0 10^{L/10} A_{\text{αυτι}} T_{\max}} = \cancel{I_0 10^{L_{\max,8h}/10} A_{\text{αυτι}} T_{8h}} \Rightarrow 10^{L/10} T_{\max} = 10^{L_{\max,8h}/10} T_{8h} \Rightarrow T_{\max} = \frac{10^{L_{\max,8h}/10}}{10^{L/10}} T_{8h}$$

Ηχοδότηση: $D(\%) = \frac{\text{Πραγματικό χρονικό διαστημα εργασιας}}{\text{Μεγιστο επιτρεπτο χρονικό διαστημα εργασιας}} \times 100 \Rightarrow D(\%) = \frac{T}{T_{\max}} \times 100$

Ισοδύναμη Ηχοστάθμη L_{eq} Πολλών Ηχητικών Πηγών

Στο αντί εισέρχεται ενέργεια:

Σε μια βάρδια χρονικού διαστήματος T λειτουργούν N μηχανήματα

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ μηχανήμα με ηχοστάθμη θορύβου } L_1 \text{ για χρονικό διάστημα } T_1: E_1 = I_0 10^{L_1/10} A_{\text{αυτι}} T_1 \\ 1 \text{ μηχανήμα με ηχοστάθμη θορύβου } L_2 \text{ για χρονικό διάστημα } T_2: E_2 = I_0 10^{L_2/10} A_{\text{αυτι}} T_2 \\ 1 \text{ μηχανήμα με ηχοστάθμη θορύβου } L_3 \text{ για χρονικό διάστημα } T_3: E_3 = I_0 10^{L_3/10} A_{\text{αυτι}} T_3 \\ \dots \dots \dots \\ 1 \text{ μηχανήμα με ηχοστάθμη θορύβου } L_N \text{ για χρονικό διάστημα } T_N: E_N = I_0 10^{L_N/10} A_{\text{αυτι}} T_N \end{array} \right.$$

Στο αντί εισέρχεται συνολική ενέργεια:

$$E_{\text{net}} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N = I_0 10^{L_1/10} A_{\text{αυτι}} T_1 + I_0 10^{L_2/10} A_{\text{αυτι}} T_2 + I_0 10^{L_3/10} A_{\text{αυτι}} T_3 + \dots + I_0 10^{L_N/10} A_{\text{αυτι}} T_N \Rightarrow$$

$$E_{\text{net}} = I_0 A_{\text{αυτι}} (10^{L_1/10} T_1 + 10^{L_2/10} T_2 + 10^{L_3/10} T_3 + \dots + 10^{L_N/10} T_N)$$

Η ζητούμενη ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{eq} του συνολικού θορύβου θα παρέχει στο αντί την ίδια ποσότητα ενέργειας E_{net} σε χρονικό διάστημα T

$$E_{\text{net}} = I_0 A_{\text{αυτι}} 10^{L_{eq}/10} T$$

~~$$I_0 A_{\text{αυτι}} 10^{L_{eq}/10} T = I_0 A_{\text{αυτι}} (10^{L_1/10} T_1 + 10^{L_2/10} T_2 + 10^{L_3/10} T_3 + \dots + 10^{L_N/10} T_N)$$~~

$$10^{L_{eq}/10} = \frac{10^{L_1/10} T_1 + 10^{L_2/10} T_2 + 10^{L_3/10} T_3 + \dots + 10^{L_N/10} T_N}{T} = 10^{L_1/10} \frac{T_1}{T} + 10^{L_2/10} \frac{T_2}{T} + 10^{L_3/10} \frac{T_3}{T} + \dots + 10^{L_N/10} \frac{T_N}{T}$$

Ισοδύναμη Ηχοστάθμη L_{eq} Πολλών Ηχητικών Πηγών

Αποδείξουμε: $10^{L_{eq}/10} = 10^{L_1/10} \frac{T_1}{T} + 10^{L_2/10} \frac{T_2}{T} + 10^{L_3/10} \frac{T_3}{T} + \dots + 10^{L_N/10} \frac{T_N}{T} \Rightarrow$

$$\frac{L_{eq}}{10} = \log \left(10^{L_1/10} \frac{T_1}{T} + 10^{L_2/10} \frac{T_2}{T} + 10^{L_3/10} \frac{T_3}{T} + \dots + 10^{L_N/10} \frac{T_N}{T} \right) \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 10 \log \left(10^{L_1/10} \frac{T_1}{T} + 10^{L_2/10} \frac{T_2}{T} + 10^{L_3/10} \frac{T_3}{T} + \dots + 10^{L_N/10} \frac{T_N}{T} \right)$$

Περίπτωση 1η:

Τα μηχανήματα

λειτουργούν ταυτόχρονα: $T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_N = T \Rightarrow$

$$L_{eq} = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + \dots + 10^{L_N/10})$$

Περίπτωση 2η:

Τα μηχανήματα

παράγουν την ίδια ηχοστάθμη: $L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_N = L \Rightarrow L_{eq} = 10 \log \left(10^{L/10} \frac{T_1}{T} + 10^{L/10} \frac{T_2}{T} + 10^{L/10} \frac{T_3}{T} + \dots + 10^{L/10} \frac{T_N}{T} \right)$

$$L_{eq} = 10 \log(10^{L/10}) \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N}{T} \right) = 10 \log(10^{L/10}) + 10 \log \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N}{T} \right)$$

$$L_{eq} = 10 \frac{L}{10} + 10 \log \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N}{T} \right) \Rightarrow L_{eq} = L + 10 \log \left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N}{T} \right)$$

Ισοδύναμη Ηχοστάθμη L_{eq} Πολλών Ηχητικών Πηγών

Αποδείξαμε:

$$L_{eq} = 10 \log \left(10^{L_1/10} \frac{T_1}{T} + 10^{L_2/10} \frac{T_2}{T} + 10^{L_3/10} \frac{T_3}{T} + \dots + 10^{L_N/10} \frac{T_N}{T} \right)$$

Περίπτωση 3η:

N το πλήθος μηχανήματα

λειτουργούν ταυτόχρονα: $T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_N = T$

και παράγουν την ίδια ηχοστάθμη $L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_N = L$

$$L_{eq} = 10 \log(10^{L/10} + 10^{L/10} + 10^{L/10} + \dots + 10^{L/10}) \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 10 \log(N 10^{L/10}) \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 10 \log(N) + 10 \log(10^{L/10}) \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 10 \log(N) + 10 \frac{L}{10} \Rightarrow$$

$$L_{eq} = L + 10 \log(N)$$