

ΘΟΡΥΒΟΣ – ΗΧΟΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

Σιδεράς Ευστάθιος

Καθηγητής Φυσικής ΑΣΠΑΙΤΕ

1. Θόρυβος

Θόρυβος είναι κάθε υπερβολικός ή ανεπιθύμητος ήχος ο οποίος προκαλεί στον αποδέκτη άνθρωπο δυσφορία ή ακόμα και απώλεια ακοής.

Δεκάδες εκατομμύρια εργαζόμενοι σε όλο τον κόσμο εκτίθενται καθημερινά σε θόρυβο με αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσοστό από αυτούς να υποφέρει από προβλήματα ακοής. Συγκεκριμένα, η έκθεση σε θόρυβο προκαλεί στο όργανο της ακοής λειτουργικές αλλοιώσεις προσωρινού ή μόνιμου χαρακτήρα. Στην πρώτη περίπτωση ανήκει η ακουστική κόπωση, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ανήκει η επαγγελματική βαρηκοΐα.

Επειδή οι θόρυβοι είναι αναπόφευκτοι σε ορισμένα εργασιακά περιβάλλοντα, η προστασία των εργαζόμενων στα περιβάλλοντα αυτά πρέπει να κατοχυρώνεται νομικά. Στην Ελλάδα, η νομική αυτή κατοχύρωση έχει θεσπισθεί με το Προεδρικό Διάταγμα ΠΔ 149/2006 (ΦΕΚ 159/2006 Τεύχος Α). Το Προεδρικό αυτό Διάταγμα προσδιορίζει:

- Τις ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας για την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους που προέρχονται από το θόρυβο.
- Τις υποχρεώσεις των εργοδοτών.
- Τα μέσα που αποσκοπούν στην αποφυγή ή τη μείωση της έκθεσης των εργαζομένων σε θορύβους.
- Τις διαδικασίες ενημέρωσης και εκπαίδευσης των εργαζομένων.
- Τις διαδικασίες που πρέπει να γίνονται για τη διασφάλιση της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε θορύβους.
- Τις κυρώσεις που επιβάλλονται στους εργοδότες εκείνου που παραβαίνουν τις διατάξεις του ΠΔ 149/2006.

2. Ηχοδοσιμετρία

2.1. Βασικοί Ορισμοί.

Οι φυσικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην ηχοδοσιμετρία και είναι απαραίτητες για την πρόβλεψη των κινδύνων που οφείλονται στους θορύβους είναι οι εξής:

1. Η Ένταση του Ήχου I . Είναι η ηχητική ισχύς ΔP_{sound} που διαπερνά κάθετα μια επιφάνεια ΔS δια την επιφάνεια αυτή:

$$I = \frac{\Delta P_{\text{sound}}}{\Delta S} \quad (1)$$

Μονάδα μέτρησης: 1 W/m^2 .

Στην περίπτωση πολλών ταυτόχρονων ήχων με εντάσεις $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$, ο κάθε ένας από αυτούς, η συνολική ένταση I_{net} που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί είναι:

$$I_{net} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^{i=n} I_n \quad (2)$$

2. Η **Στάθμη Έντασης Ήχου L** ή Sound Intensity Level (SIL).

Είναι ο αριθμός που προκύπτει από τη λογαριθμική σύγκριση της έντασης I_I ενός ήχου με την ελάχιστη ένταση $I_0=10^{-12} \text{ W/m}^2$ την μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί:

$$L_I = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3)$$

Μονάδα μέτρησης: 1 dB.

Στην περίπτωση που είναι γνωστή η Στάθμη Έντασης Ήχου L_I , η ένταση I_I του ήχου υπολογίζεται με τη σχέση:

$$I_I = I_0 10^{L_I/10} \quad (4)$$

3. Η **Ηχητική Πίεση P_{sound}** ή Sound Pressure.

Είναι η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης που οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην ύπαρξη του ηχητικού κύματος.

Μονάδα μέτρησης: 1 Pa.

4. Η **Στάθμη Ηχητικής Πίεσης L_P** ή Sound Pressure Level (SPL).

Είναι ο αριθμός που προκύπτει από τη λογαριθμική σύγκριση της πίεσης P_{sound} που οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στο ηχητικό κύμα με την ελάχιστη ηχητική πίεση $P_{0,\text{sound}} = 20^{-5} \text{ Pa}$ (=20 μPa) να διεγείρει το ανθρώπινο αυτί.:

$$L_P = 10 \log\left(\frac{P_{\text{sound}}^2}{P_{0,\text{sound}}^2}\right) = 20 \log\left(\frac{P_{\text{sound}}}{P_{0,\text{sound}}}\right) \quad (5)$$

Μονάδα μέτρησης: 1 dB.

Τυπικές τιμές Έντασης Ήχου, Ηχητικής Πίεσης και αντίστοιχων Σταθμών:

Παράμετρος	Τιμή	
	Ελάχιστη	Μέγιστη Επιτρεπτή
Ένταση Ήχου	10^{-12} W/m^2	1 W/m^2
Στάθμη Έντασης Ήχου	0 dB	120 dB
Ηχητική Πίεση	$20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$	20 Pa
Στάθμη Ηχητικής Πίεσης	0 dB	120

Ως εργασία για το σπίτι:

Να αποδείξετε ότι η Στάθμη Ηχητικής Πίεσης L_p είναι πρακτικά ίση με τη Στάθμη Έντασης L_I ($L_p = L_I$).

Για την απόδειξη αυτή να λάβετε υπόψη σας ότι η ένταση του ήχου είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ηχητικής πίεσης p :

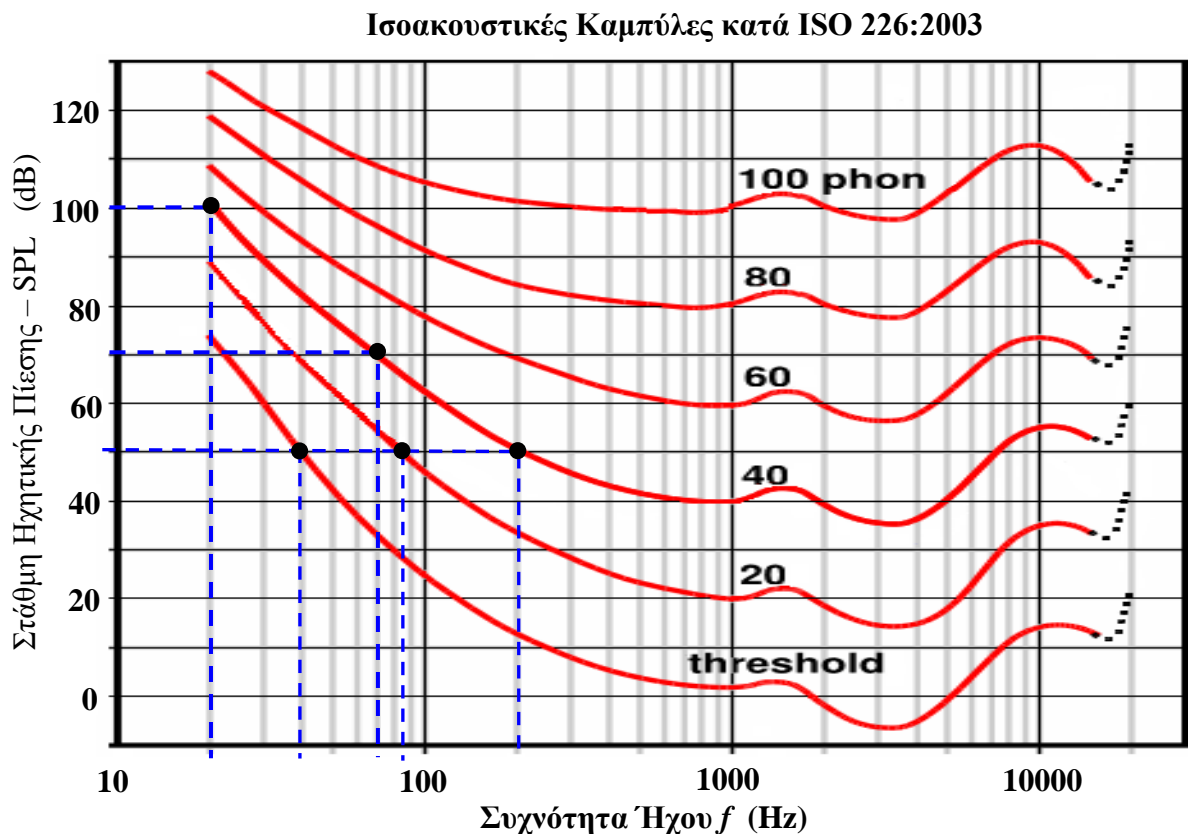
$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

όπου $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$ και $c=343 \text{ m/s}$ είναι η πυκνότητα του αέρα και η ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε θερμοκρασία 20°C .

2.2 Η Ακουστότητα ή Loudness.

Είναι το υποκειμενικό εκείνο χαρακτηριστικό του ήχου το οποίο προσδιορίζει το μέγεθος του παραγόμενου ακουστικού αποτελέσματος στο αισθητήριο όργανο της ακοής ενός παρατηρητή. Η ακουστότητα έχει υποκειμενικό χαρακτήρα δεδομένου ότι ο ίδιο ακριβώς ήχος (σε ένταση και σε συχνότητα) γίνεται με διαφορετικό τρόπο αντιληπτός, κυρίως ως προς την έντασή του, από διαφορετικούς παρατηρητές.

Επίσης, και ήχοι της ίδιας έντασης, αλλά με διαφορετική συχνότητα ο κάθε ένας από αυτούς, γίνονται αντιληπτοί από ένα παρατηρητή ως ήχοι με διαφορετική ένταση. Η διαπίστωση αυτή αποτυπώνεται στις καμπύλες του Σχήματος 1.



ΣΧΗΜΑ 1

Οι καμπύλες του Σχήματος 1 ονομάζονται και ισοακουστικές καμπύλες. Λέγονται ισοακουστικές επειδή, αν και κάθε μια από τις καμπύλες αυτές δημιουργείται από ήχους διαφορετικής Στάθμης Ηχητικής Πίεσης και διαφορετικής συχνότητας, το αυτί του ανθρώπου αντιλαμβάνεται όλους αυτούς τους ήχους με την ίδια ένταση. Για παράδειγμα, οι ήχοι με συχνότητα f και Στάθμη Ηχητικής Πίεσης SPL (20Hz, 100dB), (70Hz, 70dB) και (85Hz, 50dB), οι οποίοι αντιστοιχούν στην καμπύλη με την ένδειξη 40, γίνονται αντιληπτοί από ένα παρατηρητή ως ήχοι με ένταση 40 dB. Επίσης ένας ήχος με συγκεκριμένη Στάθμη Ηχητικής Πίεσης, π.χ, 50 dB, όταν η συχνότητά του είναι 40 Hz γίνεται οριακά αντιληπτός από ένα παρατηρητή, όταν η συχνότητα του ήχου είναι 85 Hz γίνεται αντιληπτός ως ήχος με στάθμη έντασης 20 dB, ενώ όταν η συχνότητά του είναι 110 Hz γίνεται αντιληπτός ως ήχος με στάθμη έντασης 40 dB.

Μονάδα μέτρησης της ακουστότητας: 1 phone. (1 phone = 1 dB όταν η συχνότητα του ήχου είναι 1 kHz = 1000 Hz).

6.2.3 2.3 Παράμετροι Ηχοδοσιμετρίας.

(α) Σταθμισμένες Ηχοστάθμες.

Κάθε ηχητική πηγή αλλά και κάθε όργανο μέτρησης της έντασης του ήχου (ηχόμετρο) ή αντίληψης ή αντίληψης της έντασης του ήχου (ανθρώπινο αυτί) έχει τη δική του απόκριση στις διάφορες συχνότητες.

Απόκριση ηχητικής πηγής. Συνήθως οι ηχητικές πηγές παράγουν ήχους ίδιας περίπου έντασης σε μια πολύ μεγάλη περιοχή διακριτών συχνοτήτων. Ο λευκός ηχητικός θόρυβος αποτελείται από άπειρους ήχους διακριτών συχνοτήτων και τυχαίων εντάσεων που εκπέμπονται στην περιοχή συχνοτήτων από $f_{min}=0$ Hz έως $f_{max}=20$ kHz. Συνήθως, σε ένα τυχαίο ηχητικό θόρυβο, η ένταση του ήχου βαίνει μειούμενη όσο μεγαλώνει η συχνότητα.

Απόκριση ανθρώπινου αυτιού. Η απόκριση του ανθρώπινου αυτιού αποτυπώνεται στις καμπύλες του Σχήματος 6.1. Είναι γνωστό ότι το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται ήχους που έχουν συχνότητες από $f_{min}=20$ Hz έως $f_{max}=20$ kHz. Από τις ίδιες καμπύλες προκύπτει επίσης ότι ένας ήχος με συγκεκριμένη Στάθμη Ηχητικής Πίεσης γίνεται αντιληπτός με μεγαλύτερη ένταση όσο η συχνότητά του μεγαλώνει μέχρι και τη συχνότητα $f \approx 5$ kHz. Στην περιοχή συχνοτήτων $0,6 \text{ kHz} < f < 5 \text{ kHz}$, το ανθρώπινο αυτί έχει τη μεγαλύτερη απόκριση.

Απόκριση οργάνων μέτρησης της Στάθμης Ηχητικής Πίεσης ή της Στάθμης της Έντασης του Ήχου. Συνήθως όλα τα όργανα μέτρησης ή καταγραφής σημάτων έχουν την ίδια απόκριση σε όλες τις συχνότητες. Εξαιρέση του κανόνα αυτού αποτελούν τα ηχόμετρα με τα οποία μετρείται η ένταση του ήχου ή η ηχητική πίεση. Τα ηχόμετρα πρέπει να έχουν την ίδια απόκριση με την απόκριση του ανθρώπινου αυτιού έτσι ώστε αυτά, όταν διεγείρονται με ήχο συγκεκριμένης συχνότητας και έντασης, να δίνουν ως μέτρηση την ένταση που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί, δηλαδή την ακουστότητα. Για παράδειγμα, όταν ένα ηχόμετρο διεγείρεται με ήχο που έχει στάθμη ηχητικής πίεσης 50 dB και συχνότητα 70 Hz πρέπει το ηχόμετρο αυτό να καταγράφει στάθμη ηχητικής πίεσης περίπου 40 dB, δηλαδή τη στάθμη ηχητικής πίεσης την οποία αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί (βλέπε την καμπύλη με την ένδειξη 40 στο Σχήμα 1). Για να έχει ένα όργανο μέτρησης της στάθμης ηχητικής πίεσης την ίδια απόκριση με το ανθρώπινο αυτί, πρέπει το όργανο αυτό να είναι εφοδιασμένο με ειδικό ηλεκτρονικό φίλτρο. Η προσομοίωση του ηχομέτρου με το ανθρώπινο αυτί επισημαίνεται στις μετρήσεις με τον όρο **A-σταθμισμένη ηχοστάθμη** της οποίας η μονάδα μέτρησης είναι το **1 dB(A)**.

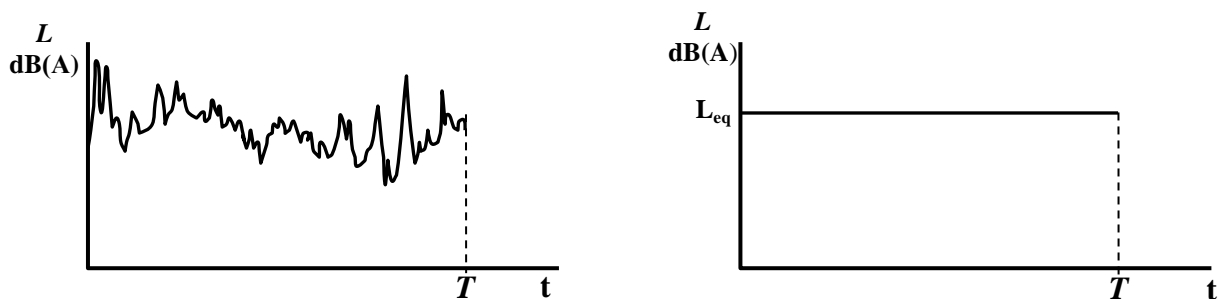
Εκτός από τα ηχόμετρα που καταγράφουν την Α-σταθμισμένη ηχοστάθμη υπάρχουν και τα ηχόμετρα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ήχων μεγαλύτερης έντασης από αυτήν που το ανθρώπινο αυτί μπορεί να δεχθεί και τα οποία καταγράφουν την καλούμενη **C-σταθμισμένη ηχοστάθμη**.

(β) Η **Κορυφοτιμή Ηχητικής Πίεση P_{peak}** .

Είναι η μέγιστη τιμή της C-σταθμισμένης στιγμιαίας πίεσης θορύβου. Χρησιμοποιείται μόνο στις περιπτώσεις όπου η ένταση του ήχου είναι πολύ μεγάλη (π.χ. πλησίον αεροπλάνου που ετοιμάζεται για απογείωση).

(γ) Η **Ισοδύναμη Στάθμη έκθεσης σε θόρυβο L_{eq}** .

Είναι η ισοδύναμη σταθερή μέση στάθμη θορύβου στην οποία εκτίθεται ο εργαζόμενος εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος T . Επειδή ο επαγγελματικός θόρυβος είναι συνήθως σύνθετος με πολλές διακυμάνσεις μέσα στο χρονικό διάστημα T εργασίας, ο εργαζόμενος πρέπει να καταγράφει τη στάθμη του θορύβου καθ' όλη τη χρονική διάρκεια T με ψηφιακό ηχόμετρο το οποίο να έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει με ολοκλήρωση την ισοδύναμη στάθμη έκθεσης L_{eq} (βλέπε Σχήμα 2).



ΣΧΗΜΑ 2

Για να περιγράψουμε την έκθεση ενός εργαζόμενου στο θόρυβο καθώς και τις συνέπειες που έχει αυτή η έκθεση, πρέπει να γνωρίζουμε σε πρώτη φάση την ισοδύναμη στάθμη έκθεσης L_{eq} καθώς και το χρονικό διάστημα T παραμονής του εργαζόμενου στο συγκεκριμένο θόρυβο. Από αυτό το ζεύγος τιμών μπορούμε να υπολογίσουμε την ακουστική ενέργεια $E_{eq,T}$ που συλλέγει το ανθρώπινο αυτί στο χρονικό διάστημα T . Συγκεκριμένα, από τη Σχέση 4 υπολογίζουμε την ένταση I_{eq} η οποία αντιστοιχεί στην Ισοδύναμη Ηχοστάθμη έκθεσης L_{eq} :

$$I_{eq} = I_0 10^{L_{eq}/10}$$

και από τον ορισμό της έντασης (βλέπε Σχέση 6.1) υπολογίζουμε την ισχύ ΔP_{eq} του ήχου που εισέρχεται στο αυτί του ανθρώπου:

$$\Delta P_{eq} = I_p \Delta S_{ear} = I_0 10^{L_{eq}/10} \Delta S_{ear}$$

όπου ΔS_{ear} τη επιφάνεια του αυτιού η οποία συλλέγει τον ήχο. Στο χρονικό διάστημα T που ο εργαζόμενος εκτίθεται στον ήχο, η ηχητική ενέργεια $E_{eq,T}$ που θα εισέλθει μέσα στο αυτί του θα είναι ίση με:

$$E_{eq,T} = \Delta P_{eq} T \quad \Rightarrow \quad E_{eq,T} = I_0 10^{L_{eq}/10} \Delta S_{ear} T \quad (6)$$

Το ζεύγος τιμών (L_{eq} , T) από μόνο του δεν είναι εύκολο να συγκριθεί με ένα άλλο ζεύγος αντίστοιχων τιμών.

Η αξιολόγηση ως προς τις επιπτώσεις ενός θορύβου αλλά και η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών επαγγελματικών θορύβων γίνεται άμεσα με την Ημερήσια Στάθμη έκθεσης σε θόρυβο $L_{EX,8h}$.

(δ) **Η Ημερήσια Ισοδύναμη Στάθμη Έκθεσης σε θόρυβο $L_{ex,8h}$.**

Μετρείται σε dB(A) με κατώφλι πίεσης τα 20×10^{-6} Pa (=20 μPa) ή με κατώφλι έντασης τα 10^{-12} W/m². Είναι η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή των σταθμών έκθεσης σε θόρυβο για οχτάωρη ημέρα εργασίας όπως ορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 1999:1990. Η παράμετρος αυτή καλύπτει όλα τα είδη θορύβου που απαντώνται στο εργασιακό περιβάλλον, περιλαμβανομένου και του παλμικού θορύβου. Με άλλα λόγια, η Ημερήσια Στάθμη $L_{ex,8h}$ έκθεσης σε θόρυβο συσσωρεύει σε χρονικό διάστημα $T_{8h}=8$ h τόση ηχητική ενέργεια $E_{x,8h}$ όση και η Ισοδύναμη Στάθμη L_{eq} σε χρονικό διάστημα T :

$$E_{ex,8h} = E_{eq,T} \quad (7)$$

Πειραματικές μελέτες και διεθνείς συμφωνίες έχουν θεσπίσει στην Ελληνική Εργατική Νομοθεσία τον εξής κανόνα:

«Στο χρονικό διάστημα $T_{8h}=8$ hr της ημερήσιας εργασίας, η μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια, που μπορεί να συλλέξει το ανθρώπινο αντί χωρίς αυτό να υποστεί βλάβη, πρέπει να αντιστοιχεί σε Ημερήσια Στάθμη Έκθεσης σε θόρυβο $L_{ex,8h} \leq 87$ dB».

Με άλλα λόγια, σε ένα εργασιακό περιβάλλον, η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη θορύβου στην οποία μπορεί να εκτεθεί ένας εργαζόμενος σε 8ωρη ημερήσια εργασία είναι:

$$L_{max,8h} = 87 \text{ dB}$$

Αν στη Σχέση 6 αντικαταστήσουμε την Ισοδύναμη Στάθμη L_{eq} με την Ημερήσια Στάθμη έκθεσης $L_{ex,8h}$ και το χρονικό διάστημα T με το χρονικό διάστημα της 8ωρης ημερήσιας εργασίας $T_{8h}=8$ hr, τότε θα βρούμε την αντίστοιχη ενέργεια που δέχεται το ανθρώπινο αντί στις συνθήκες ($L_{ex,8h}$, T_{8h}):

$$E_{ex,8h} = I_0 10^{L_{ex,8h}/10} \Delta S_{ear} T_{8h} \quad (8)$$

Σύμφωνα με τη Σχέση 7, εξισώνοντας τις Σχέσεις 6 και 8 παίρνουμε:

$$10^{L_{ex,8h}/10} T_{8h} = 10^{L_{eq}/10} T \quad (9)$$

Η Σχέση 9 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους εξής τρόπους στις παρακάτω περιπτώσεις:

Περίπτωση 1^η:

Δίνεται το ζεύγος (L_{eq} , T).

Από τη Σχέση 9 υπολογίζουμε την Ημερήσια Ισοδύναμη Στάθμη έκθεσης $L_{ex,8h}$:

$$10^{L_{ex,8h}/10} T_{8h} = 10^{L_{eq}/10} T \quad \Rightarrow \quad 10^{L_{ex,8h}/10} = 10^{L_{eq}/10} \frac{T}{T_{8h}} \quad \Rightarrow$$

$$\log(10^{L_{ex,8h}/10}) = \log\left(10^{L_{eq}/10} \frac{T}{T_{8h}}\right) \Rightarrow L_{ex,8h} = 10 \log(10^{L_{eq}/10}) + 10 \log\left(\frac{T}{T_{8h}}\right)$$

$$L_{ex,8h} = L_{eq} + 10 \log\left(\frac{T}{T_{8h}}\right) \quad (10)$$

Διερεύνηση: Περίπτωση $L_{ex,8h} \leq 87$ dB. Ο εργαζόμενος μπορεί να εργάζεται σε περιβάλλον με Ισοδύναμη Στάθμη L_{eq} έκθεσης σε θόρυβο και για χρονικό διάστημα T χωρίς κανένα κίνδυνο για την ακοή του.

Περίπτωση $L_{ex,8h} > 87$ dB. Πρέπει να ληφθούν μέτρα μείωσης του θορύβου και μέτρα ατομικής προστασίας του εργαζόμενου.

Περίπτωση 2^η:

Δίνεται μόνο η Ισοδύναμη Στάθμη L_{eq} .

Στην περίπτωση αυτή θέτουμε $L_{ex,8h} = L_{max,8h} = 87$ dB και στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τη Σχέση 9 για να υπολογίσουμε το μέγιστο επιτρεπτό χρονικό διάστημα T_{max} συνεχούς εργασίας του εργαζόμενου σε περιβάλλον με θόρυβο Ισοδύναμης Στάθμης L_{eq} :

$$10^{L_{max,8h}/10} T_{8h} = 10^{L_{eq}/10} T \quad \Rightarrow \quad 10^{8,7} T_{8h} = 10^{L_{eq}/10} T_{max} \quad \Rightarrow$$

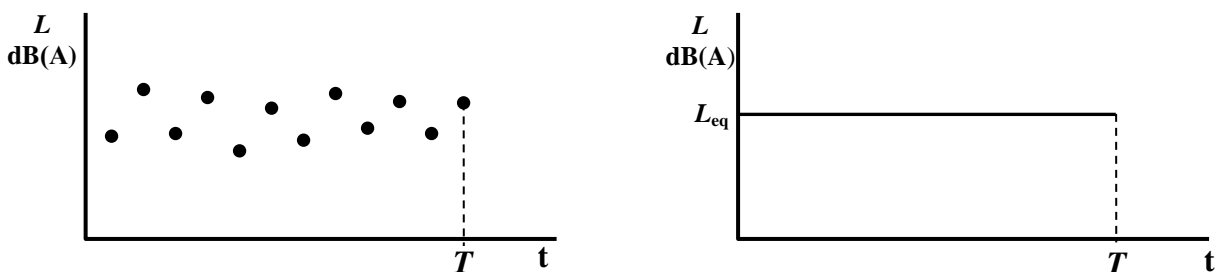
$$T_{max} = 5,01 \times 10^{-L_{eq}/10} \times 10^8 T_{8h} \quad (11)$$

(ε) Η Εβδομαδιαία Στάθμη έκθεσης σε θόρυβο $L_{x,8h}$.

Είναι η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή των ημερήσιων σταθμών έκθεσης σε θόρυβο για εβδομάδα πέντε οχτάωρων εργάσιμων ημερών.

2.4 Υπολογισμός της Ισοδύναμης Στάθμης L_{eq} .

A. Περίπτωση δειγματοληπτικής καταγραφής στιγμιαίων Σταθμών Ηχητικής Πίεσης:



ΣΧΗΜΑ 2

Στην περίπτωση αυτή, με το ηχόμετρο καταγράφεται μόνο τη στιγμιαία ηχοστάθμη ανά τακτά χρονικά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια της έκθεσης στο συγκεκριμένο θόρυβο (βλέπε Σχήμα 2).

Στην περίπτωση αυτή, για να υπολογίσουμε τη Μέση Ισοδύναμη Ηχοστάθμη L_{eq} , ακολουθούμε τα εξής βήματα:

Βήμα 1^ο: Μετρούμε με το ηχόμετρο τις στάθμες ήχου $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

Βήμα 2^ο: Υπολογίζουμε τις εντάσεις ήχου $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ που αντιστοιχούν στις μετρήσεις στάθμης ήχου. Για παράδειγμα, η ένταση I_i η οποία αντιστοιχεί στην στάθμη L_i δίνεται από τη σχέση:

$$I_i = I_0 10^{L_i/10} \quad \text{όπου} \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad (12)$$

Βήμα 3^ο: Υπολογίζουμε την συνολική ένταση I_{net} και στη συνέχεια υπολογίζουμε την μέση ένταση I_{avg} :

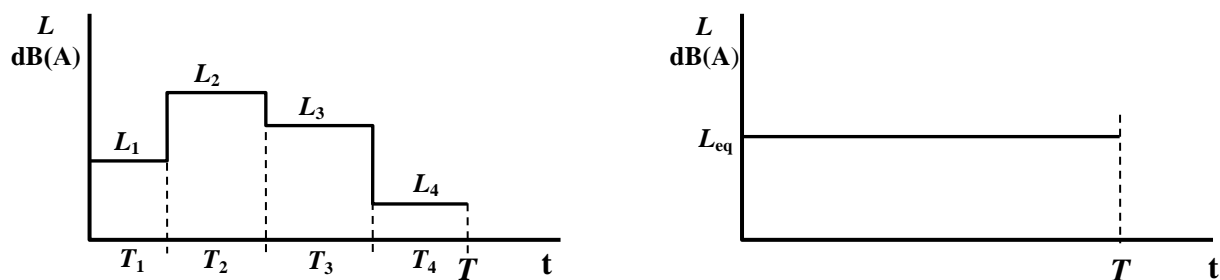
$$I_{net} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^{i=n} I_n \quad \text{ή ισοδύναμα:}$$

$$I_{net} = I_0 \sum_{i=1}^{i=n} 10^{L_i/10} \quad \Rightarrow \quad I_{avg} = \frac{I_0}{n} \sum_{i=1}^{i=n} 10^{L_i/10} \quad (13)$$

Βήμα 4^ο: Υπολογίζουμε την Ισοδύναμη Ηχοστάθμη L_{eq} :

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{I_{avg}}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} 10^{L_i/10}\right) \quad (14)$$

Β. Περίπτωση καταγραφής σταθερών Σταθμών Ηχητικής Πίεσης ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα:



ΣΧΗΜΑ 3

Το Σχήμα 3 δείχνει μια περίπτωση στην οποία ο θόρυβος μεταβάλλεται ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ενώ σε κάθε χρονικό διάστημα η αντίστοιχη ισοδύναμη στάθμη διατηρείται εν γένει σταθερή.

Με τη Σχέση 6 υπολογίζουμε την ηχητική ενέργεια E_i που δέχεται ο εργαζόμενος σε κάθε χρονικό διάστημα T_i :

$$E_i = I_0 10^{L_i/10} \Delta S_{ear} T_i$$

Η ολική ηχητική ενέργεια E_{tot} που δέχεται ο εργαζόμενος στο χρονικό διάστημα $T=T_1+T_2+T_3+\dots$ θα είναι ίση με:

$$E_{tot} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^{i=n} (I_0 10^{L_i/10} \Delta S_{ear} T_i) \Rightarrow$$

$$E_{tot} = I_0 \Delta S_{ear} \sum_{i=1}^{i=n} (10^{L_i/10} T_i)$$

Εξ ορισμού, η ενέργεια αυτή πρέπει να είναι ίση με την ηχητική ενέργεια που θα δεχόταν ο εργαζόμενος αν η στάθμη του θορύβου ήταν σταθερή και ίση με την ισοδύναμη στάθμη L_{eq} σε όλη τη χρονική διάρκεια T :

$$E_{eq} = I_0 10^{L_{eq}/10} \Delta S_{ear} T$$

Εξισώνοντας τις δυο τελευταίες σχέσεις παίρνουμε:

$$I_0 10^{L_{eq}/10} \Delta S_{ear} T = I_0 \Delta S_{ear} \sum_{i=1}^{i=n} (10^{L_i/10} T_i) \Rightarrow 10^{L_{eq}/10} T = \sum_{i=1}^{i=n} (10^{L_i/10} T_i)$$

$$10^{\frac{L_{eq}}{10}} = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{T_i}{T} 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{T_i}{T} 10^{L_i/10} \right) \right) \quad (15)$$

2.5 Υπολογισμός της Ηχοδόσης.

Ορίζουμε ως ηχοδόση D το πηλίκο του πραγματικού χρόνου T στον οποίο εκτίθεται ο εργαζόμενος σε περιβάλλον με ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{eq} δια του μέγιστου επιτρεπτού χρόνου T_{max} έκθεσης στο ίδιο θορυβώδες περιβάλλον. Ο μέγιστος επιτρεπτός χρόνος T_{max} υπολογίζεται με τη Σχέση 11 και η ηχοδόση D εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό επί τοις εκατό:

$$D(\%) = \frac{T}{T_{max}} \times 100 \quad (16)$$

Επανεξετάζουμε τώρα την Περίπτωση Γ της προηγούμενης παραγράφου. Σε κάθε επί μέρους χρονικό διάστημα T_i υπολογίζουμε πρώτα με τη Σχέση 11 το μέγιστο επιτρεπτό χρόνο $T_{max,i}$ για κάθε ισοδύναμη ηχοστάθμη $L_{eq,i}$, στη συνέχεια, με τη Σχέση 6.17, υπολογίζουμε την επί

μέρους αντίστοιχη ηχοδότηση $D_i(\%)$ και τέλος υπολογίζουμε τη συνολική ηχοδότηση $D_{net}(\%)$ αθροίζοντας τις επί μέρους ηχοδόσεις. Συγκεκριμένα:

$$D_{net}(\%) = \left(\frac{T_1}{T_{max,1}} + \frac{T_2}{T_{max,2}} + \frac{T_3}{T_{max,3}} + \dots + \frac{T_n}{T_{max,n}} \right) \times 100 \quad (17)$$

Διερεύνηση της Σχέσης 17

$D_{net}(\%) \leq 100\%$: Εργασιακό περιβάλλον ασφαλές για την υγεία του εργαζόμενου.

$D_{net}(\%) > 100\%$: Εργασιακό περιβάλλον επικίνδυνο για την υγεία του εργαζόμενου. Επιβάλλονται μέτρα μείωσης του θορύβου και μέτρα ατομικής προστασίας για τον εργαζόμενο.