

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΕ
ΘΟΡΥΒΟΣ – ΗΧΟΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ
Σιδεράς Ευστάθιος
Καθηγητής Φυσικής ΑΣΠΑΙΤΕ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Η στάθμη της έντασης του θορύβου μέσα σε μια άδεια αίθουσα εξετάσεων είναι $L_b=50$ dB. Όταν στην αίθουσα αυτή εξετάζονται γραπτώς 100 φοιτητές, η στάθμη της έντασης του θορύβου μέσα στην αίθουσα αυξάνεται στην τιμή $L_{b+100}=55$ dB. Υποθέτοντας ότι όλοι οι φοιτητές συνεισφέρουν στο συνολικό θόρυβο την ίδια ποσότητα ακουστικής ισχύος, να υπολογίσετε τη στάθμη L_{b+40} της έντασης του θορύβου όταν μέσα από την αίθουσα αποχωρήσουν 60 φοιτητές.

ΛΥΣΗ

Πρώτα βρίσκουμε την ένταση I_1 του θορύβου (W/m^2) που συνεισφέρει κάθε φοιτητής στην αίθουσα εξετάσεων. Η συνολική ένταση θορύβου I_{b+100} (background και 100 φοιτητών) είναι:

$$I_{b+100} = I_0 10^{L_{b+100}/10} \quad (1)$$

Η ένταση του υπόβαθρου θορύβου (σε άδεια αίθουσα) είναι:

$$I_b = I_0 10^{L_b/10} \quad (2)$$

Η ένταση του θορύβου I_{100} που προέρχεται αποκλειστικά από τους 100 φοιτητές είναι:

$$I_{100} = I_{b+100} - I_b = I_0 10^{L_{b+100}/10} - I_0 10^{L_b/10} \quad \Rightarrow$$

$$I_{100} = I_0 (10^{L_{b+100}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (3)$$

$$\text{Κάθε φοιτητής συνεισφέρει ένταση: } I_1 = \frac{I_{100}}{100} = \frac{I_0 (10^{L_{b+100}/10} - 10^{L_b/10})}{100} \quad (4)$$

$$\text{Οι 60 φοιτητές συνεισφέρει ένταση: } I_{60} = 60 \times \frac{I_0 (10^{L_{b+100}/10} - 10^{L_b/10})}{100} \quad (5)$$

Η συνολική ένταση I_{b+40} του θορύβου μετά την αποχώρηση των 60 φοιτητών (μέσα στην αίθουσα θα είναι πλέον 40 φοιτητές) θα είναι:

$$I_{b+40} = I_{b+100} - I_{60} = I_0 10^{L_{b+100}/10} - 6 \times \frac{I_0 (10^{L_{b+100}/10} - 10^{L_b/10})}{10} \quad \Rightarrow$$

$$I_{b+40} = I_0 \left(10^{L_{b+100}/10} - 6 \times \frac{(10^{L_{b+100}/10} - 10^{L_b/10})}{10} \right) \quad \Rightarrow$$

$$I_{b+40} = 10^{-12} \times \left(10^{55/10} - 6 \times \frac{(10^{55/10} - 10^{50/10})}{10} \right) W/m^2 \quad \Rightarrow$$

$$I_{b+40} = 10^{-12} \times \left(10^{5,5} - 6 \times \frac{(10^{5,5} - 10^5)}{10} \right) W/m^2 \quad \Rightarrow$$

$$I_{b+40} = 1,9 \times 10^{-6} \frac{W}{m^2} \quad (6)$$

Η στάθμη του θορύβου μέσα στην αίθουσα με τους 40 φοιτητές θα είναι:

$$L_{b+40} = 10 \log \left(\frac{I_{b+40}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{1,9 \times 10^{-7}}{10^{-12}} \right) \quad \Rightarrow \quad L_{b+40} = 53 \text{ dB}$$

ΑΣΚΗΣΗ 2

Ένας εργαζόμενος εργάζεται επί χρονικό διάστημα $T_1=1,00$ h σε περιβάλλον με ισοδύναμη στάθμη έκθεσης $L_1=95$ dB ενώ ένας άλλος εργαζόμενος εργάζεται σε περιβάλλον με ισοδύναμη στάθμη έκθεσης $L_2=84$ dB επί χρονικό διάστημα $T_2=10,0$ h. Ποιος από τους δυο εργαζόμενους επιβαρύνεται περισσότερο από το θόρυβο; Κινδυνεύει η ακοή των δυο αυτών εργαζομένων να υποστεί μη αντιστρεπτή βλάβη;

ΛΥΣΗ

Η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη για 8ωρη ημερήσια εργασία σε εβδομάδα 5 εργάσιμων ημερών είναι $L_{\max,8h} = 87$ dB. Σε 8ωρη ημερήσια εργασία, η μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{\max,8h}$ που μπορεί να δεχθεί το ανθρώπινο αυτί προκύπτει από την αντίστοιχη μέγιστη ένταση $I_{\max,8h}$:

$$I_{\max,8h} = I_0 10^{L_{\max,8h}/10}$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, η αντίστοιχη ηχητική ισχύ που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$P_{\max,8h} = I_{\max,8h} \times S_{\text{ear}} = I_0 10^{L_{\max,8h}/10} \times S_{\text{ear}}$$

Η μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{\max,8h}$ που μπορεί να δεχθεί σε 8ωρη ημερήσια το ανθρώπινο αυτί είναι:

$$E_{\max,8h} = P_{\max,8h} \times T_{8h} = T_{8h} \times I_0 10^{L_{\max,8h}/10} \times S_{\text{ear}} \quad (\text{Joule}) \quad (1)$$

$$E_{\max,8h} = 8 \times 10^{-12} \times 10^{87/10} \times S_{\text{ear}} \quad (\text{Joule}) \quad \Rightarrow \quad E_{\max,8h} = 0,004 \times S_{\text{ear}} \quad (\text{Joule})$$

$$E_{\max,8h} = 0,004 \times S_{\text{ear}} \quad (\text{Joule}) \quad (2)$$

Όταν γνωρίζουμε την ηχοστάθμη L ενός θορύβου μπορούμε να βρούμε την ενέργεια που δέχεται το αυτί σε συνάρτηση με το χρόνο έκθεσης T . Αντικαθιστώντας στην Εξίσωση (1) $E_{\max,8h} \rightarrow E$ και $T_{8h} \rightarrow T$ παίρνουμε:

$$E = I_0 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T \quad (\text{Joule}) \quad (3)$$

Για να μη διατρέχει κίνδυνο ο εργαζόμενος σε περιβάλλον με ηχοστάθμη L θα πρέπει η αντίστοιχη ενέργεια E να μην υπερβαίνει την ενέργεια $E_{\max,8h}$ της Εξίσωσης (2). Η ενέργεια E στην Εξίσωση (3) αυξάνεται αναλογικά με το χρόνο T . Από το γεγονός ότι η ενέργεια αυτή δεν πρέπει να ξεπεράσει την ενέργεια $E_{\max,8h}$ της Εξίσωσης (2) προκύπτει ένας μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης T_{\max} στον οποίο η ενέργεια που δέχεται το αυτί είναι το πολύ ίση με την μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια. Θέτοντας στην Εξίσωση (3) όπου $T = T_{\max}$ η ενέργεια που θα προκύψει θα είναι ίση με την ενέργεια $E_{\max,8h}$. Οπότε από τις Εξισώσεις (2) και (3) παίρνουμε:

$$I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{\max} = 0,004 \times S_{\text{ear}} \quad \Rightarrow \quad T_{\max} = \frac{0,004}{10^{-12} \times 10^{L/10}} \text{ h} \quad (4)$$

Μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης του 1^{ου} εργαζόμενου σε ηχοστάθμη $L_1=95$ dB:

$$T_{\max,1} = \frac{0,004}{10^{-12} \times 10^{L_1/10}} \text{ h} = \frac{0,004}{10^{-12} \times 10^{95/10}} \text{ h} \quad \Rightarrow \quad T_{\max,1} = 1,3 \text{ h}$$

Σε χρόνο εργασίας $T_1 = 1,00$ h, ο πρώτος εργαζόμενος θα δεχθεί ηχοδόση:

$$D_1(\%) = \frac{T_1}{T_{\max,1}} = \frac{1,00 \text{ h}}{1,3 \text{ h}} \times 100 \quad \Rightarrow \quad D_1(\%) = 77\%$$

Μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης του 2^{ου} εργαζόμενου σε ηχοστάθμη $L_2=84$ dB:

$$T_{\max,1} = \frac{0,004}{10^{-12} \times 10^{L_2/10}} \text{ h} = \frac{0,004}{10^{-12} \times 10^{84/10}} \text{ h} \Rightarrow T_{\max,1} = 16 \text{ h}$$

Σε χρόνο εργασίας $T_2 = 10,0 \text{ h}$, ο δεύτερος εργαζόμενος θα δεχθεί ηχοδόση:

$$D_2(\%) = \frac{T_2}{T_{\max,1}} = \frac{10,0 \text{ h}}{16 \text{ h}} \times 100 \Rightarrow D_1(\%) = 62\%$$

Η μια ώρα εργασίας σε περιβάλλον με ηχοστάθμη 95 dB είναι πιο επιβαρυντική για την ακοή του εργαζόμενου από 10 ώρες εργασίας σε περιβάλλον με ηχοστάθμη 84 dB.

Και οι δυο εργαζόμενοι δεν διατρέχουν κίνδυνο για την ακοή τους.

ΑΣΚΗΣΗ 3

Ένας εργάτης προσπαθεί να σπάσει ένα βράχο με ένα κομπρεσέρ. Επειδή ο βράχος πρέπει να σπάσει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα έρχεται προς βοήθεια ένας δεύτερος εργάτης με το δικό του κομπρεσέρ το οποίο είναι πανομοιότυπο με το πρώτο κομπρεσέρ. Αν το κάθε ένα από τα δυο κομπρεσέρ παράγει ήχο με ισοδύναμη στάθμη έντασης $L=85 \text{ dB(A)}$, τότε:

- Να υπολογίσετε την ισοδύναμη ηχοστάθμη του θορύβου που παράγεται όταν λειτουργούν και τα δυο κομπρεσέρ ταυτόχρονα.
- Αν η εργασία με τη λειτουργία των δυο κομπρεσέρ διαρκεί 2 ώρες, τότε να υπολογίσετε την ηχοδόση που έλαβε ο κάθε εργαζόμενος.

ΛΥΣΗ

Οι ηχοστάθμες από διαφορετικές πηγές δεν προστίθενται. Προστίθενται οι εντάσεις, οι ισχύς και οι ενέργειες των ήχων.

Στην περίπτωση δυο ή περισσότερων πηγών θορύβου, βρίσκουμε την ένταση του θορύβου που δημιουργεί η κάθε πηγή και στη συνέχεια προσθέτουμε τις εντάσεις αυτές για να βρούμε τη συνολική ένταση του παραγόμενου θορύβου. Στην περίπτωση των δυο ίδιων κομπρεσέρ, η συνολική ένταση θα είναι ίση με το διπλάσιο της έντασης θορύβου που προέρχεται από το ένα κομπρεσέρ. Αφού η ηχοστάθμη του ενός κομπρεσέρ είναι $L=85 \text{ dB}$, αντίστοιχη ένταση είναι:

$$I = I_0 \times 10^{L/10}$$

Η συνολική ένταση και από τα δυο κομπρεσέρ είναι:

$$I_{net} = 2 \times I = 2 \times I_0 \times 10^{L/10}$$

Η ένταση αυτή αντιστοιχεί σε ηχοστάθμη:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{I_{net}}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{2 \times I_0 \times 10^{L/10}}{I_0} \right) \Rightarrow L_{eq} = 10 \log 2 + 10 \log(10^{L_{eq}/10})$$

$$L_{eq} = 10 \log 2 + 10 \frac{L_{eq}}{10} = 10 \log 2 + L_{eq} \Rightarrow L_{eq} = 88 \text{ dB}$$

ΑΣΚΗΣΗ 4

Οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε ένα εργασιακό περιβάλλον παράγουν θόρυβο με ισοδύναμη ηχοστάθμη $L=90 \text{ dB}$. Στο εργασιακό αυτό περιβάλλον πρέπει να εργαστείτε επί

5,0 συνεχόμενες ώρες. Να υπολογίσετε την παράμετρο $L_{EX,8h}$, δηλαδή την ημερήσια στάθμη έκθεσης στο συγκεκριμένο θόρυβο καθώς και την ηχοδόση που δέχθηκε ο εργαζόμενος στην 5ωρη εργασία του.

ΛΥΣΗ

Βρίσκουμε την ενέργεια που δέχεται το αυτί του εργαζόμενου όταν αυτός εργάζεται για χρονικό διάστημα $T = 5,0$ h σε περιβάλλον με θόρυβο που έχει ηχοστάθμη $L=90$ dB:

$$\text{Ένταση θορύβου: } I = I_0 \times 10^{L/10} \quad (1)$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, η ισχύς θορύβου που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$P = I \times S_{ear} \quad (2)$$

Ενέργεια στο χρονικό διάστημα $T = 5,0$ h:

$$E = P \times T \quad (3)$$

Από τις Σχέσεις (1), (2) και (3) προκύπτει ότι:

$$E = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T \quad (4)$$

Αν η ηχοστάθμη είχε την τιμή $L_{ex,8h}$, τότε το αυτί θα δεχότανε την ενέργεια $E = E_{ex,8h}$ σε χρονικό διάστημα $T_{8h} = 8,0$ h.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ενέργεια } E_{ex,8h} = P_{ex,8h} \times T_{8h} \\ \text{Ισχύς } P_{ex,8h} = I_{ex,8h} \times S_{ear} \\ \text{Ένταση } I_{ex,8h} = I_0 \times 10^{L_{ex,8h}/10} \end{array} \right\} \Rightarrow E_{ex,8h} = I_0 \times 10^{L_{ex,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h} \quad (5)$$

Εξισώνοντας τις Σχέσεις (4) και (5) παίρνουμε:

$$I_0 \times 10^{L_{ex,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T \Rightarrow$$

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

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

$$L_{ex,8h} = L + \log\left(\frac{T}{T_{8h}}\right) = 90 \text{ dB} + \log\left(\frac{5,0 \text{ h}}{8,0 \text{ h}}\right) \Rightarrow L_{ex,8h} = 88 \text{ dB}$$

Για να βρούμε την ηχοδόση πρέπει πρώτα να βρούμε το μέγιστο επιτρεπτό ημερήσιο χρονικό διάστημα T_{max} εργασίας σε περιβάλλον με ηχοστάθμη $L = 90$ dB. Με τις παραμέτρους L και T_{max} υπολογίζουμε την μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια που δέχεται το αυτί:

$$\left. \begin{array}{l} E_{max} = P \times T_{max} \\ \text{Ισχύς: } P = I \times S_{ear} \\ \text{Ένταση: } I = I_0 \times 10^{L_{eq}/10} \end{array} \right\} \Rightarrow E_{max} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T_{max} \quad (3)$$

Η ενέργεια E_{max} πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη ηχητική ενέργεια $E_{max} = E_{ex,8h,max}$ η οποία αντιστοιχεί σε 8ωρη ημερήσια εργασία μέσα σε περιβάλλον με ηχοστάθμη $L_{ex,8h,max} = 87$ dB. Η ενέργεια αυτή προκύπτει από Εξίσωση που είναι αντίστοιχη της Εξίσωσης (3) με τις εξής αντικαταστάσεις: $L \rightarrow L_{max,8h}$, $T_{max} \rightarrow T_{8h}$ και $E_{max} \rightarrow E_{max,8h}$:

$$E_{ex,8h,max} = I_0 \times 10^{L_{max,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h} \quad (4)$$

Εξισώνοντας τις εξισώσεις (3) και (4) βρίσκουμε:

$$I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{\text{max}} = I_0 \times 10^{L_{\text{max,8h}}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{8\text{h}} \Rightarrow$$

$$T_{\text{max}} = \frac{10^{L_{\text{max,8h}}/10}}{10^{L/10}} \times T_{8\text{h}} = \frac{10^{87/10}}{10^{90/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{\text{max}} = 4,0 \text{ h}$$

$$\text{Ηχοδότηση: } D(\%) = \frac{T}{T_{\text{max}}} \times 100 = \frac{5}{4} \times 100 \Rightarrow D(\%) = 125\%$$

ΑΣΚΗΣΗ 5

Ένας εργαζόμενος σε αλευρόμυλο κάνει τέσσερις (4) δωρες βάρδιες κάθε εβδομάδα. Σε μια τυπική βάρδια η ισοδύναμη στάθμη έκθεσης σε θόρυβο μετρήθηκε και βρέθηκε να είναι ίση με $L = 88 \text{ dB}$. Στο συγκεκριμένο εργασιακό περιβάλλον, κινδυνεύει να υποστεί βλάβη η ακοή του εργαζόμενου; Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη για οχτώωρη συνεχόμενη εργασία σε εβδομάδα 5 εργάσιμων ημερών είναι ίση με 87 dB .

ΛΥΣΗ

Ο συγκεκριμένος εργαζόμενος εργάζεται $T_{32\text{h}} = 32 \text{ h}$ την εβδομάδα. Για να μην υποστεί βλάβη η ακοή του, πρέπει η συνολική ηχητική ενέργεια που δέχεται σε εβδομαδιαία βάση να είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια που λάμβανε αν εργαζόταν $T_{40\text{h}} = 40$ ώρες την εβδομάδα, [(5 ημέρες) x (8 ώρες/ημέρα)], σε περιβάλλον με τη μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη $L_{\text{max,8h}} = 87 \text{ dB}$.

Μέγιστη επιτρεπόμενη ηχητική ενέργεια σε εβδομαδιαία βάση:

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{max,40h}} &= P_{\text{max,8h}} \times T_{40\text{h}} \\ \text{Ισχύς: } P_{\text{max,8h}} &= I_{\text{max,8h}} \times S_{\text{ear}} \\ \text{Ένταση: } I_{\text{max,8h}} &= I_0 \times 10^{L_{\text{max,8h}}/10} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$E_{\text{ex,40h,max}} = I_0 \times 10^{L_{\text{max,8h}}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{40\text{h}} \quad (1)$$

Αντικαθιστώντας στην Εξίσωση (1) το $L_{\text{max,8h}} \rightarrow L_{\text{eq}}$ προσδιορίζουμε την εξίσωση για την ηχητική ενέργεια E_{eq} που δέχεται ο εργαζόμενος αν παραμένει σε περιβάλλον με ηχοστάθμη $L_{\text{eq}} = 88 \text{ dB}$ για χρονικό διάστημα T :

$$E_{\text{eq}} = I_0 \times 10^{L_{\text{eq}}/10} \times S_{\text{ear}} \times T \quad (2)$$

Το μέγιστο χρονικό διάστημα T_{max} εργασίας σε εβδομαδιαία βάση προκύπτει αν στην Εξίσωση (2) θέσουμε $E_{\text{eq}} = E_{\text{max,40h}}$. Οπότε εξισώνοντας τις Σχέσεις (1) και (2) παίρνουμε:

$$I_0 \times 10^{L_{\text{eq}}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{\text{max}} = I_0 \times 10^{L_{\text{max,8h}}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{40\text{h}} \Rightarrow$$

$$T_{\text{max}} = \frac{10^{L_{\text{max,8h}}/10}}{10^{L_{\text{eq}}/10}} \times 40 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{88/10}} \times 40 \text{ h} \Rightarrow T_{\text{max}} = 31,8 \text{ h}$$

$$\text{Ηχοδότηση: } D(\%) = \frac{T}{T_{\text{max}}} \times 100 = \frac{32}{31,8} \times 100 \Rightarrow D(\%) = 101\%$$

Ο εργοδότης ρύθμισε το εβδομαδιαίο πρόγραμμα του εργαζόμενου περίπου σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

ΑΣΚΗΣΗ 6

Σε ένα εργοτάξιο ο κάθε ένας από τους εργάτες στην 5ωρη βάρδια του εκτίθεται σε θόρυβο με ισοδύναμη ηχοστάθμη $L_1=88,0$ dB. Αντίθετα, ο μηχανικός έχει 8ωρη βάρδια την οποία διαχειρίζεται ως εξής: Τις δυο (2) πρώτες ώρες βρίσκεται στο εργοτάξιο, στον ίδιο χώρο με τους εργάτες, για να επιβλέψει την έναρξη των εργασιών. Στις επόμενες τέσσερις (4) βρίσκεται στο γραφείο του όπου εκτίθεται σε ισοδύναμη ηχοστάθμη $L_2=84,5$ dB. Ο μηχανικό ολοκληρώνει την 8ωρη βάρδια του στο εργοτάξιο για να επιβλέψει την έναρξη των εργασιών της επόμενης 5ωρης βάρδιας εργατών. Να εκτιμήσετε τον κίνδυνο που ενδεχομένως διατρέχουν τόσο οι εργάτες όσο και ο επιβλέπων μηχανικός. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη για οχτάωρη συνεχόμενη εργασία είναι ίση με 87 dB.

ΛΥΣΗ

Θα υπολογίσουμε τις ηχοδόσεις $D_1(\%)$ και $D_2(\%)$ που δέχτηκαν οι εργαζόμενοι και ο Μηχανικός, αντίστοιχα. Για το σκοπό αυτό υπολογίζουμε πρώτα τους μέγιστους επιτρεπτούς χρόνους $T_{\max 1}$ των εργατών στο περιβάλλον με ηχοστάθμη $L_1=88$ dB και $T_{\max 2}$ του μηχανικού στα περιβάλλοντα με ηχοστάθμες $L_1=88$ dB για χρονικό διάστημα $T_1 = 2$ h, $L_2=84$ dB για χρονικό διάστημα $T_2 = 4$ h και $L_{\text{eq}3}=88$ dB για χρονικό διάστημα $T_4 = 2$ η.

Σε κάθε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί και ένας μέγιστος επιτρεπτός χρόνος T_{\max} ηχοέκθεσης ο οποίος προκύπτει εξισώνοντας την ηχητική ενέργεια E_{\max} την οποία παρέχει η ηχοστάθμη L σε χρονικό διάστημα T_{\max} με τη μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{\max,8h}$ την οποία παρέχει η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη $L_{\max,8h} = 87$ dB σε χρονικό διάστημα $T_{8h} = 8$ h.

Η οποιαδήποτε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί σε ένταση ήχου:

$$I = I_0 \times 10^{L/10} \text{ W/m}^2$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, τότε μέσα σε αυτό εισέρχεται ηχητική ισχύ:

$$P = I_{\text{eq}} \times S_{\text{ear}} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \text{ W}$$

Σε χρονικό διάστημα T , η ενέργεια που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$E = P \times T \Rightarrow E = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T \quad (1)$$

Αν στη Σχέση (1) θέσουμε όπου $L = L_{\max,8h}$ και όπου $T = T_{8h}$ τότε βρίσκουμε τη μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια $E_{\max,8h}$ την οποία μπορεί να δεχθεί ο εργαζόμενος σε ημερήσια βάση κινδυνεύει η ακοή του:

$$E_{\max,8h} = I_0 \times 10^{L_{\max,8h}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{8h} \quad (2)$$

Η ενέργεια E γίνεται ίση με την μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{\max,8h}$ όταν $T = T_{\max}$. Οπότε, από τις Σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{\max} = I_0 \times 10^{L_{\max,8h}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{8h} \Rightarrow$$

$$T_{\max} = \frac{10^{L_{\max,8h}/10}}{10^{L/10}} \times T_{8h} = \frac{10^{87/10}}{10^{L/10}} \times 8 \text{ h} \quad (3)$$

Από τη Σχέση (3) προκύπτουν οι μέγιστοι χρόνοι ηχοέκθεσης ανάλογα με την ηχοστάθμη στην οποία εκτίθενται.

Για τους εργάτες

Μέγιστος χρόνος $T_{\max 1}$ ηχοέκθεσης εργαζομένων σε περιβάλλον με ηχοστάθμη $L_1=88,0$ dB:

$$T_{\max 1} = \frac{10^{87/10}}{10^{L_1/10}} \times 8 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{88/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{\max} = 6,35 \text{ h}$$

Στην 5ωρη βάρδια ($T = 5,00 \text{ h}$), οι εργάτες δέχθηκαν ηχοδόση:

$$D_1(\%) = \frac{T}{T_{\max 1}} \times 100 = \frac{5,00 \text{ h}}{6,35 \text{ h}} \times 100 \Rightarrow D_1(\%) = 78,7\%$$

Για το μηχανικό

Στις 2 πρώτες ώρες ($T_1 = 2,00 \text{ h}$) εργασίας στο εργοτάξιο με ηχοστάθμη $L_1=88,0 \text{ dB}$, όπου $T_{\max 2,1} = T_{\max 1} = 6,35 \text{ h}$, ο μηχανικός δέχεται ηχοδόση:

$$D_{2,1}(\%) = \frac{T_{2,1}}{T_{\max 2,1}} \times 100 = \frac{2,00 \text{ h}}{6,35 \text{ h}} \times 100 \Rightarrow D_1(\%) = 31,5\%$$

Μέγιστος χρόνος $T_{\max 2,2}$ ηχοέκθεσης του μηχανικού στο γραφείο με ηχοστάθμη $L_2=85,0 \text{ dB}$:

$$T_{\max 2,2} = \frac{10^{87/10}}{10^{L_2/10}} \times 8 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{84,5/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{\max 2,2} = 14,2 \text{ h}$$

Στις 4 ώρες ($T_2 = 4,00 \text{ h}$) εργασίας στο γραφείο με ηχοστάθμη $L_2=85,0 \text{ dB}$, ο μηχανικός δέχεται ηχοδόση:

$$D_{2,2}(\%) = \frac{T_2}{T_{\max 2,2}} \times 100 = \frac{4,00 \text{ h}}{14,2 \text{ h}} \times 100 \Rightarrow D_{2,2}(\%) = 28,2\%$$

Μέγιστος χρόνος $T_{\max 2,3}$ ηχοέκθεσης του μηχανικού στο εργοτάξιο με ηχοστάθμη $L_3=88,0 \text{ dB}$:

$$T_{\max 2,3} = \frac{10^{87/10}}{10^{L_3/10}} \times 8 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{88/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{\max 2,3} = 6,35 \text{ h}$$

Στις 2 τελευταίες ώρες ($T_3 = 2,00 \text{ h}$) εργασίας στο εργοτάξιο με ηχοστάθμη $L_3=88,0 \text{ dB}$, ο μηχανικός δέχεται ηχοδόση:

$$D_{2,3}(\%) = \frac{T_{2,3}}{T_{\max 2,3}} \times 100 = \frac{2,0 \text{ h}}{6,35 \text{ h}} \times 100 \Rightarrow D_{2,3}(\%) = 31,5\%$$

Ο μηχανικός δέχθηκε συνολική ηχοδόση:

$$D_2(\%) = D_{2,1}(\%) + D_{2,2}(\%) + D_{2,3}(\%)$$

$$D_2 = 31,5\% + 28,2\% + 31,5\% \Rightarrow D_2(\%) = 94,5\%$$

Ηχοδόση εργαζομένων : $D_1(\%) = 78,1\%$

Ηχοδόση μηχανικού : $D_2(\%) = 91,2\%$

Επειδή οι ηχοδόσεις είναι μικρότερες του 100%, η ακοή των εργατών και του μηχανικού δεν διατρέχει κίνδυνο.

ΑΣΚΗΣΗ 7

Ένας εργαζόμενος κάνει δωρη συνεχόμενη βάρδια σε περιβάλλον με σταθερή ισοδύναμη ηχοστάθμη L . Το ηχοδοσίμετρο που διαθέτει καταγράφει ηχοδόση $D_1(\%)=65\%$ στις πέντε (5) πρώτες ώρες της βάρδιας του. Να υπολογίσετε:

- Το μέγιστο επιτρεπτό χρονικό διάστημα στο οποίο θα μπορούσε να εργαστεί ένας εργαζόμενος στο συγκεκριμένο εργασιακό περιβάλλον χωρίς να κινδυνεύει η ακοή του.
- Τη συνολική ηχοδόση $D_{\text{tot}}(\%)$ που θα έχει δεχθεί ο εργαζόμενος με την ολοκλήρωση της βάρδιας του.
- Την ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{eq} .

ΛΥΣΗ

α. Αν T_{\max} είναι ο μέγιστος επιτρεπτός χρόνος ηχοέκθεσης σε περιβάλλον με ηχοστάθμη L_{eq} , η ηχοδόση $D_1(\%)=65\%$ στο χρονικό διάστημα $T_1 = 5,0$ h προκύπτει από τη σχέση:

$$D_1(100\%) = \frac{T_1}{T_{\max}} \times 100 \Rightarrow T_{\max} = \frac{T_1 \times 100}{D_1(100\%)} = \frac{(5,0 \text{ h}) \times 100}{65} \Rightarrow$$

$$T_{\max} = 7,7 \text{ h}$$

β. Συνολική ηχοδόση στην 8ωρη βάρδια ($T = 8,0$ h):

$$D_{\text{tot}}(100\%) = \frac{T}{T_{\max}} \times 100 = \frac{8,0 \text{ h}}{7,7 \text{ h}} \times 100 \Rightarrow D_{\text{tot}}(100\%) = 104\%$$

γ. Σε κάθε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί και ένας μέγιστος επιτρεπτός χρόνος T_{\max} ηχοέκθεσης ο οποίος προκύπτει εξισώνοντας την ηχητική ενέργεια E_{\max} την οποία παρέχει η ηχοστάθμη L σε χρονικό διάστημα T_{\max} με τη μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{\max,8h}$ την οποία παρέχει η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη $L_{\max,8h} = 87$ dB σε χρονικό διάστημα $T_{8h} = 8$ h.

Η οποιαδήποτε ηχοστάθμη L_{eq} αντιστοιχεί σε ένταση ήχου:

$$I = I_0 \times 10^{L/10} \text{ W/m}^2$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, τότε μέσα σε αυτό εισέρχεται ηχητική ισχύ:

$$P = I_{eq} \times S_{ear} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \text{ W}$$

Σε χρονικό διάστημα T , η ενέργεια που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$E = P \times T \Rightarrow E_{eq} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T \quad (1)$$

Αν στη Σχέση (1) θέσουμε όπου $L = L_{\max,8h}$ και όπου $T = T_{8h}$ τότε βρίσκουμε τη μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια $E_{\max,8h}$ την οποία μπορεί να δεχθεί ο εργαζόμενος σε ημερήσια βάση κινδυνεύει η ακοή του:

$$E_{\max,8h} = I_0 \times 10^{L_{\max,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h} \quad (2)$$

Η ενέργεια E γίνεται ίση με την μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{\max,8h}$ όταν $T = T_{\max}$. Οπότε, από τις Σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T_{\max} = I_0 \times 10^{L_{\max,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h}$$

Λύνουμε την τελευταία Εξίσωση ως προς την ηχοστάθμη L_{eq} :

$$10^{L/10} = 10^{L_{\max,8h}/10} \times \frac{T_{8h}}{T_{\max}} \Rightarrow \log(10^{L/10}) = \log\left(10^{L_{\max,8h}/10} \times \frac{T_{8h}}{T_{\max}}\right)$$

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

$$L = L_{\max,8h} + 10 \times \log\left(\frac{T_{8h}}{T_{\max}}\right) \Rightarrow L_{eq} = 87 \text{ dB} + 10 \times \log\left(\frac{8,0 \text{ h}}{7,7 \text{ h}}\right) \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 87,2 \text{ dB}$$

ΑΣΚΗΣΗ 8

Είστε επιβλέπων μηχανικός σε μια γραμμή παραγωγής η οποία περιλαμβάνει τρεις (3) διακριτές εργασιακές μονάδες στις οποίες οι ισοδύναμες ηχοστάθμες έκθεσης σε θόρυβο είναι αντίστοιχα $L_1=90$ dB, $L_2=89$ dB και $L_3=86$ dB. Οι εργαζόμενοι υποχρεούνται να μοιράζουν το ωράριό τους ισόχρονα σε κάθε μια από αυτές τις μονάδες. Εσείς ως μηχανικός καλείστε να υπολογίσετε:

(α) Το μέγιστο επιτρεπτό ωράριο κάθε εργαζομένου σε ημερήσια βάση.

(β) Την ισοδύναμη ηχοστάθμη L_{eq} σε θόρυβο για κάθε εργαζόμενο.

ΛΥΣΗ

α. Σε κάθε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί και ένας μέγιστος επιτρεπτός χρόνος T_{max} ηχοέκθεσης ο οποίος προκύπτει εξισώνοντας την ηχητική ενέργεια E_{max} την οποία παρέχει η ηχοστάθμη L σε χρονικό διάστημα T_{max} με τη μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{ex,8h,max}$ την οποία παρέχει η μέγιστη επιτρεπτή ηχοστάθμη $L_{max,8h} = 87$ dB σε χρονικό διάστημα $T_{8h} = 8$ h.

Σε οποιαδήποτε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί ένταση ήχου:

$$I = I_0 \times 10^{L/10} \text{ W/m}^2$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, τότε μέσα σε αυτό εισέρχεται ηχητική ισχύ:

$$P = I \times S_{ear} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \text{ W}$$

Σε χρονικό διάστημα T , η ενέργεια που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$E = P \times T \Rightarrow E = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T \quad (1)$$

Αν στη Σχέση (1) θέσουμε όπου $L = L_{max,8h}$ και όπου $T = T_{8h}$ τότε βρίσκουμε τη μέγιστη επιτρεπτή ηχητική ενέργεια $E_{max,8h}$ την οποία μπορεί να δεχθεί ο εργαζόμενος σε ημερήσια βάση χωρίς να κινδυνεύει η ακοή του:

$$E_{max,8h} = I_0 \times 10^{L_{max,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h} \quad (2)$$

Η ενέργεια E γίνεται ίση με την μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια $E_{max,8h}$ όταν $T = T_{max}$. Οπότε, από τις Σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$I_0 \times 10^{L/10} \times S_{ear} \times T_{max} = I_0 \times 10^{L_{max,8h}/10} \times S_{ear} \times T_{8h} \Rightarrow$$
$$T_{max} = \frac{10^{L_{max,8h}/10}}{10^{L/10}} \times T_{8h} = \frac{10^{87/10}}{10^{L/10}} \times 8 \text{ h} \quad (3)$$

Ο μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης στην ηχοστάθμη $L_1=90$ dB είναι:

$$T_{max1} = \frac{10^{87/10}}{10^{L_1/10}} \times 8 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{90/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{max1} = 4,0 \text{ h}$$

Ο μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης στην ηχοστάθμη $L_2=89$ dB είναι:

$$T_{max2} = \frac{10^{87/10}}{10^{L_2/10}} \times 8 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{89/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{max2} = 5,0 \text{ h}$$

Ο μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης στην ηχοστάθμη $L_3=86$ dB είναι:

$$T_{\max 3} = \frac{10^{87/10}}{10^{L_3/10}} \times 8 \text{ h} = \frac{10^{87/10}}{10^{86/10}} \times 8 \text{ h} \Rightarrow T_{\max 3} = 10,0 \text{ h}$$

Αν ο μέγιστος επιτρεπτός ημερήσιος χρόνος εργασίας είναι T_{\max} , τότε οι εργαζόμενοι θα πρέπει να εργάζονται σε κάθε εργασιακή μονάδα χρονικό διάστημα $T_{\max}/3$, δεδομένου ότι το ημερήσιο ωράριο των εργαζομένων ισοκατανέμεται στις τρεις εργασιακές μονάδες. Η συνολική ηχοδόση θα πρέπει να είναι το πολύ ίση με $D_{\text{tot}}(\%) = 100\%$. Οπότε:

$$D_{\text{tot}}(\%) = \left(\frac{T_{\max}}{3} + \frac{T_{\max}}{3} + \frac{T_{\max}}{3} \right) \times 100 = \frac{T_{\max}}{3} \left(\frac{1}{T_{\max 1}} + \frac{1}{T_{\max 2}} + \frac{1}{T_{\max 3}} \right) \times 100 \Rightarrow$$

$$T_{\max} = \frac{3 \times D_{\text{tot}}(\%)}{\left(\frac{1}{T_{\max 1}} + \frac{1}{T_{\max 2}} + \frac{1}{T_{\max 3}} \right) \times 100} = \frac{3 \times 100}{\left(\frac{1}{4,0 \text{ h}} + \frac{1}{5,0 \text{ h}} + \frac{1}{10,0 \text{ h}} \right) \times 100} \Rightarrow$$

$$T_{\max} = 5,5 \text{ h}$$

β. Από τα δεδομένα κάθε εργασιακής μονάδας, δηλαδή των ηχοσταθμών L_1 , L_2 και L_3 καθώς και των χρόνων εργασίας σε αυτές ($T_1 = T_2 = T_3 = T_{\max}/3$) μπορούμε να υπολογίσουμε την ημερήσια δόση ηχητικής ενέργειας που έλαβε κάθε εργαζόμενος.

Για κάθε ηχοστάθμη L και σε χρονικό διάστημα T , κάθε εργαζόμενος λαμβάνει ηχητική ενέργεια E η οποία προσδιορίζεται ως εξής:

Σε οποιαδήποτε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί ένταση ήχου:

$$I = I_0 \times 10^{L/10} \text{ W/m}^2$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, τότε μέσα σε αυτό εισέρχεται ηχητική ισχύ:

$$P = I \times S_{\text{ear}} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \text{ W}$$

Σε χρονικό διάστημα T , η ενέργεια που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$E = P \times T \Rightarrow E = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T \quad (1)$$

Στην πρώτη εργασιακή μονάδα όπου $L = L_1 = 90 \text{ dB}$ και $T_1 = T_{\max}/3$, η ενέργεια που δέχεται ο εργαζόμενος είναι:

$$E_1 = I_0 \times 10^{L_1/10} \times S_{\text{ear}} \times \frac{T_{\max}}{3}$$

Στη δεύτερη εργασιακή μονάδα όπου $L = L_2 = 89 \text{ dB}$ και $T_2 = T_{\max}/3$, η ενέργεια που δέχεται ο εργαζόμενος είναι:

$$E_2 = I_0 \times 10^{L_2/10} \times S_{\text{ear}} \times \frac{T_{\max}}{3}$$

Στην τρίτη εργασιακή μονάδα όπου $L = L_3 = 86 \text{ dB}$ και $T_3 = T_{\max}/3$, η ενέργεια που δέχεται ο εργαζόμενος είναι:

$$E_{\text{eq}3} = I_0 \times 10^{L_3/10} \times S_{\text{ear}} \times \frac{T_{\max}}{3}$$

Η συνολική ενέργεια που λαμβάνει κάθε εργαζόμενος σε ημερήσια βάση είναι ίση με το άθροισμα των επί μέρους ενεργειών: $E_{tot} = E_{eq1} + E_{eq2} + E_{eq3}$. Οι παράγοντες I_0 , S_{ear} και $T_{max}/3$ είναι κοινοί και ως εκ τούτου βγαίνουν κοινός παράγοντας:

$$E_{tot} = I_0 \times (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10}) \times S_{ear} \times \frac{T_{max}}{3}$$

Η ενέργεια E_{tot} θα μπορούσε να ληφθεί από τον κάθε ένα εργαζόμενο αν σε όλο το χρόνο T_{max} η ηχοστάθμη ήταν σταθερή και ίση με L_{eq} . Θέτοντας τις ποσότητες T_{max} και L_{eq} στη Σχέση (1) έχουμε:

$$E_{eq} = I_0 \times 10^{L_{eq}/10} \times S_{ear} \times T_{max}$$

Εξ ορισμού, $E_{eq} = E_{tot}$. Οπότε, από εξισώνοντας τις δυο τελευταίες σχέσεις, παίρνουμε:

$$I_0 \times (10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10} + 10^{L_{eq3}/10}) \times S_{ear} \times \frac{T_{max}}{3} = I_0 \times 10^{L_{eq}/10} \times S_{ear} \times T_{max}$$

Οι ποσότητες I_0 , S_{ear} και T_{max} είναι κοινές και στα δυο σκέλη της τελευταίας εξίσωσης και απλοποιούνται:

$$(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10}) \times \frac{1}{3} = 10^{L_{eq}/10} \Rightarrow$$

$$\log \left[(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10}) \times \frac{1}{3} \right] = \log(10^{L_{eq}/10}) \Rightarrow$$

$$\log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10}) + \log \frac{1}{3} = \frac{L_{eq}}{10} \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 10 \times \log(10^{90/10} + 10^{89/10} + 10^{86/10}) + 10 \times \log \frac{1}{3} = 93,4 \text{ dB} - 4,8 \text{ dB} \Rightarrow$$

$$L_{eq} = 88,4 \text{ dB}$$

ΑΣΚΗΣΗ 9

Σε ένα εργοτάξιο οι εργαζόμενοι είναι εκτεθειμένοι σε θόρυβο με ηχοστάθμη $L_1 = 83 \text{ dB}$ για εννέα (9) ώρες. Στο μέσο περίπου του θωρου χρειάστηκε να τεθεί σε λειτουργία ένα κομπρεσέρ για μια ώρα. Στο χρονικό διάστημα της μιας ώρας στο εργασιακό περιβάλλον προστέθηκε άλλος ένα θόρυβος με ηχοστάθμη $L_2 = 91 \text{ dB}$. Να υπολογίσετε την ηχοδότηση $D_{tot}(\%)$ που πήρε κάθε εργαζόμενος.

ΛΥΣΗ

Από τα δεδομένα του εργασιακού περιβάλλοντος, δηλαδή της ηχοστάθμης $L_1 = 83 \text{ dB}$ για χρονικό διάστημα $T_1 = 9,0 \text{ h}$, και της ηχοστάθμης του κομπρεσέρ $L_2 = 91 \text{ dB}$ για χρονικό διάστημα $T_2 = 1,0 \text{ h}$ μπορούμε να υπολογίσουμε την ημερήσια δόση ηχητικής ενέργειας που έλαβε κάθε εργαζόμενος.

Για κάθε ηχοστάθμη L και σε χρονικό διάστημα T , κάθε εργαζόμενος λαμβάνει ηχητική ενέργεια E η οποία προσδιορίζεται ως εξής:

Σε οποιαδήποτε ηχοστάθμη L αντιστοιχεί ένταση ήχου:

$$I = I_0 \times 10^{L/10} \text{ W/m}^2$$

Αν S_{ear} είναι το εμβαδό του αυτιού, τότε μέσα σε αυτό εισέρχεται ηχητική ισχύ:

$$P = I \times S_{\text{ear}} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \quad W$$

Σε χρονικό διάστημα T , η ενέργεια που εισέρχεται στο αυτί είναι:

$$E = P \times T \quad \Rightarrow \quad E = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T \quad (1)$$

Η μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια που μπορεί να δεχθεί το αυτί είναι η $E_{\text{max},8h}$ η οποία προκύπτει από τη Σχέση (1) αν θέσουμε, $L = L_{\text{max},8h} = 87 \text{ dB}$ και $T = T_{8h} = 8,0 \text{ h}$:

$$E_{\text{max},8h} = I_0 \times 10^{L_{\text{max},8h}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{8h} \quad (2)$$

Για δεδομένη ηχοστάθμη L , η ενέργεια στην Σχέση (1) γίνεται ίση με τη μέγιστη επιτρεπτή ενέργεια ($E = E_{\text{max},8h}$) όταν $T = T_{\text{max}}$:

$$E_{\text{ex},8h,\text{max}} = I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{\text{max}} \quad (3)$$

Εξισώνοντας τις Σχέσεις (2) και (3) βρίσκουμε το μέγιστο επιτρεπτό χρόνο ηχοέκθεσης σε περιβάλλον με ηχοστάθμη L :

$$I_0 \times 10^{L/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{\text{max}} = I_0 \times 10^{L_{\text{max},8h}/10} \times S_{\text{ear}} \times T_{8h} \quad \Rightarrow$$
$$T_{\text{max}} = \frac{10^{L_{\text{max},8h}/10}}{10^{L/10}} \times T_{8h} \quad (4)$$

Μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης $T_{\text{max}1}$ σε περιβάλλον με ηχοστάθμη $L_1 = 83 \text{ dB}$:

$$T_{\text{max}1} = \frac{10^{L_{\text{max},8h}/10}}{10^{L_1/10}} \times T_{8h} = \frac{10^{87/10}}{10^{83/10}} \times 8,0 \text{ h} \quad \Rightarrow \quad T_{\text{max}1} = 20,1 \text{ h}$$

Στο χρονικό διάστημα $T_1 = 9,0 \text{ h}$ η ηχοδότηση $D_1(\%)$ την οποία θα δεχθεί ο εργαζόμενος θα είναι:

$$D_1(\%) = \frac{T_1}{T_{\text{max}1}} \times 100 = \frac{9,0 \text{ h}}{20,1 \text{ h}} \times 100 \quad \Rightarrow \quad D_1(\%) = 45\%$$

Μέγιστος χρόνος ηχοέκθεσης $T_{\text{max}2}$ σε περιβάλλον με ηχοστάθμη $L_2 = 91 \text{ dB}$:

$$T_{\text{max}2} = \frac{10^{L_{\text{max},8h}/10}}{10^{L_2/10}} \times T_{8h} = \frac{10^{87/10}}{10^{91/10}} \times 8,0 \text{ h} \quad \Rightarrow \quad T_{\text{max}2} = 3,2 \text{ h}$$

Στο χρονικό διάστημα $T_2 = 1,0 \text{ h}$ η ηχοδότηση $D_2(\%)$ την οποία θα δεχθεί ο εργαζόμενος θα είναι:

$$D_2(\%) = \frac{T_2}{T_{\text{max}2}} \times 100 = \frac{1,0 \text{ h}}{3,2 \text{ h}} \times 100 \quad \Rightarrow \quad D_2(\%) = 31\%$$

Η συνολική ηχοδότηση $D_{\text{tot}}(\%)$ θα είναι ίση με:

$$D_{\text{tot}}(\%) = D_1(\%) + D_2(\%) = 45\% + 31\% \quad \Rightarrow \quad D_{\text{tot}}(\%) = 76\%$$