

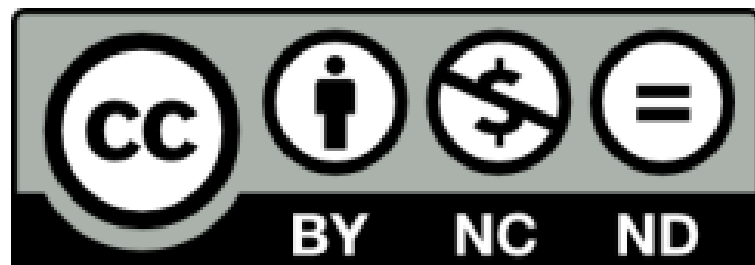


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Εργονομία

Ενότητα 6: Ηχητικό περιβάλλον

*Βασίλειος Παπακωστόπουλος
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης
Προϊόντων και Συστημάτων*



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων

Ηχητικό Περιβάλλον

Διδάσκων: Β. Παπακωστόπουλος

Ήχος – Θόρυβος

Ήχος:

περιοδικές κινήσεις των μορίων του αέρα ή άλλων παλλόμενων υγρών ή στερεών σωμάτων, τις οποίες μπορεί να συλλάβει το σύστημα ακοής του ανθρώπου.

Θόρυβος (για την Εργονομία):

η δυνάμενη να ακουστεί ηχητική ενέργεια η οποία έχει αρνητικές επιπτώσεις στο φυσιολογικό ή ψυχολογικό καλώς έχειν του ανθρώπου

Σχετικές μονάδες μέτρησης

Φυσικές μονάδες

Σύμφωνα με την **φυσική**, τα χαρακτηριστικά κάθε ήχου, αναλύονται με βάση:

- Ένταση
- Φάσμα συχνοτήτων
- Διάρκεια

Ψυχοακουστικές μονάδες

Για την **ψυχοακουστική**, τους ήχους χαρακτηρίζουν επίσης:

- Αντιλαμβανόμενη ένταση
- Τονικό ύψος
- Χροιά
- Αιφνίδιο ή προβλέψιμο του ήχου.

Φυσικές μονάδες μέτρησης (ηχητική ένταση/ 1)

Ηχητική ένταση

- Η ηχητική ένταση ή **ενέργεια** που μεταφέρουν οι παλμικές κινήσεις του αέρα, μετράται σε **Watt/m²**.
- Η **πίεση** που ασκείται στο τύμπανο του αυτιού μετράται σε **Newtons/m²**.

Σχέση ηχητικής ενέργειας - πίεσης:

$$\begin{aligned} \text{ηχητική ενέργεια / μονάδα επιφανείας} \\ = \\ \text{πίεση}^2 / \text{πυκνότητα αέρα} \cdot \text{ταχύτητα} \end{aligned}$$

Φυσικές μονάδες μέτρησης (ηχητική ένταση/ 2)

Ηχητική ένταση

- Για την ηχητική ένταση ή **στάθμη θορύβου**, χρησιμοποιούνται επίσης τα **ντεσιμπέλ (dB)**, τα οποία ορίζονται ως εξής:

$$n(\text{dB}) = 10 \log_{10} I/I_0$$

όπου: I_0 = ηχητική ένταση αναφοράς ίση με $10^{-12} \text{ Watt/m}^2$ (αντιστοιχεί με το κατώφλι ακουστότητας ενός καθαρού ήχου συχνότητας $\sim 2 \text{ kHz}$).

Ένταση ήχων εκφρασμένες σε dB και σε Watt/m^2

Λόγος ηχητική έντασης I/I_0 όπου $I_0 = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$	Ηχητική ένταση [dB]	Παραδείγματα ήχων
100.000.000.000.000	140	Πεδίο βολής, Σειρήνα
10.000.000.000.000	130	Απογείωση αεροπλάνου
1.000.000.000.000	120	
100.000.000.000	110	Αεροσφύρα, Ηλεκτρικό πριόνι (1m)
10.000.000.000	100	Ηλεκτρική κάμινος
1.000.000.000	90	Τυπογραφείο, Κλωστουφαντουργεία
100.000.000	80	Εσωτερικό αυτοκινήτου αγώνων
10.000.000	70	Ηλεκτρική σκούπα (1m), Συνομιλία (0,3μ)
1.000.000	60	Αυτοκινητόδρομος, Πολυσύχναστα καταστήματα
100.000	50	Γραφεία, Δρόμος μικρής κυκλοφορίας
10.000	40	Περιοχή κατοικιών τη νύχτα
1.000	30	Στούντιο ηχογραφήσεων, Ψίθυρος (1,5m)
100	20	
10	10	
1	0	

Φυσικές μονάδες μέτρησης (συνολική ηχητική ένταση)

Η στάθμη θορύβου που προκύπτει από τη **συνήχηση δύο πηγών** των οποίων οι εντάσεις είναι $I_1 \text{ W/m}^2$ και $I_2 \text{ W/m}^2$, θα είναι:

$$\text{Ισυνολικό} = (I_1 + I_2) \text{ W/m}^2$$

ή

$$\text{ησυνολικό} = 10 \log (I_1 + I_2) / I_0 \text{ dB}$$

Φυσικές μονάδες μέτρησης (συχνότητα)

Συχνότητα

- Για τη μέτρηση της συχνότητας των ήχων χρησιμοποιείται η μονάδα των **Hertz (Hz)**.
- Αντιληπτό εύρος συχνοτήτων από το ανθρώπινο αυτί: 16 έως 16000Hz.

Σχέση φυσικών μονάδων μέτρησης και αντιλαμβανομένων ήχων:

- Το αντιλαμβανόμενο χαρακτηριστικά του ήχου **δεν ταυτίζονται απόλυτα** με τις μετρούμενες φυσικές παραμέτρους.
- Η συχνότητα του ήχου επηρεάζει την ηχητική ένταση που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος και αντίστροφα

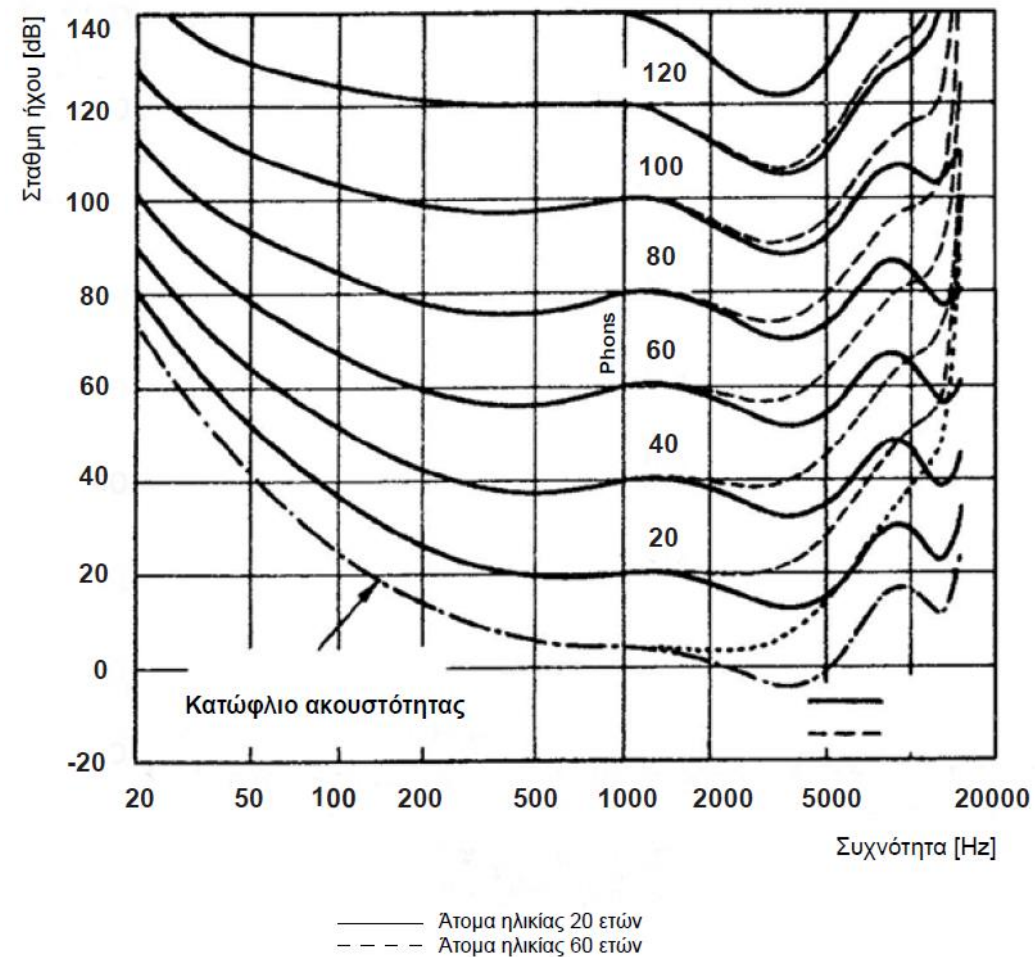
π.χ. ήχος συχνότητας 20 Hz / έντασης 60dB **ακούγεται πολύ πιο σιγανός** από ήχο συχνότητας 10kHz / έντασης 60dB.

Ψυχο-ακουστικές μονάδες μέτρησης (ένταση)

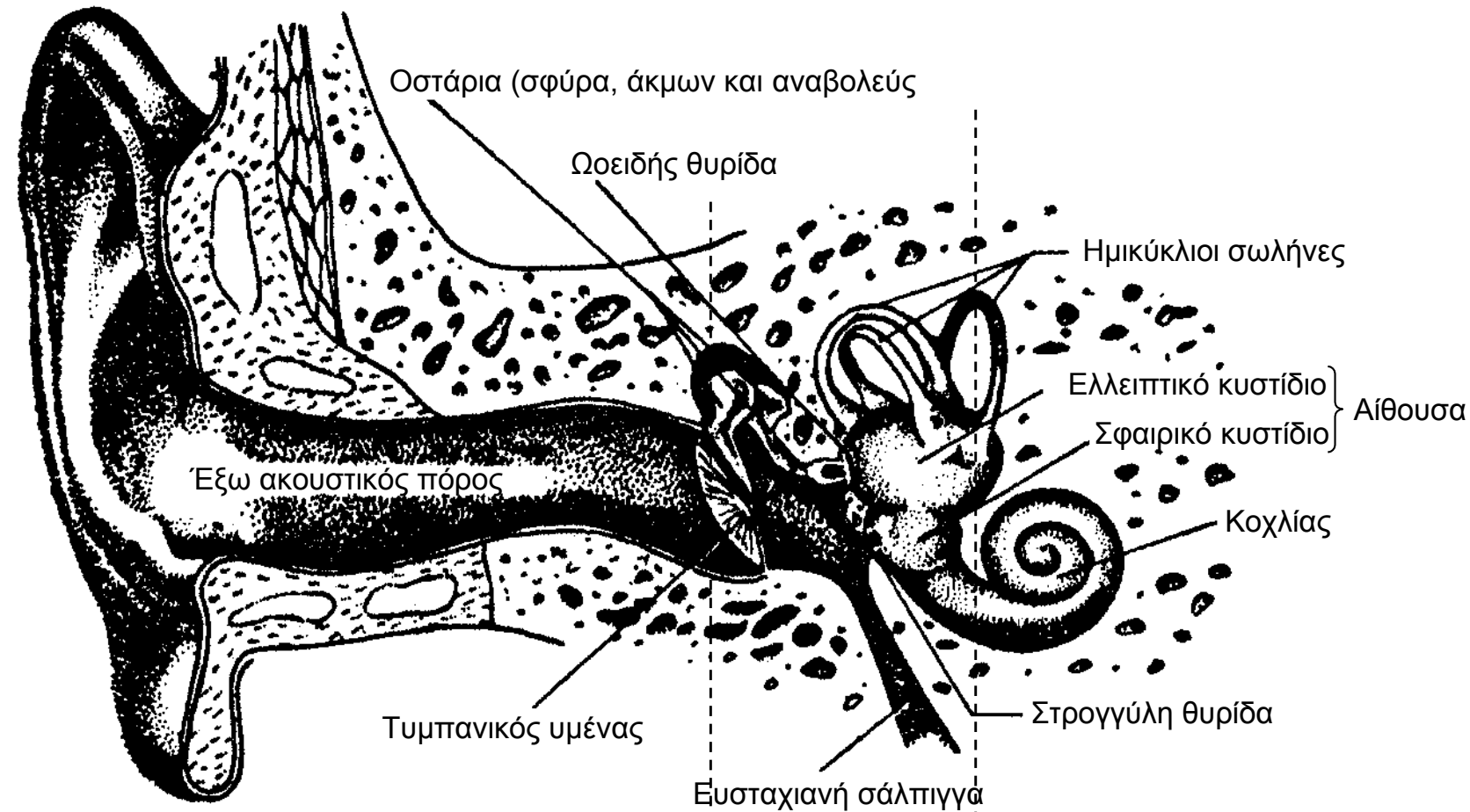
Υποκειμενική ένταση

- Για την υποκειμενική ένταση του ήχου χρησιμοποιείται μια ειδική μονάδα, τα **φονς (phons)**.
- Η μονάδα αυτή ακολουθεί επίσης λογαριθμική κλίμακα, και ταυτίζεται με τα dB για τους ήχους συχνότητας 1000Hz.

Σύστημα ισόηχων καμπυλών

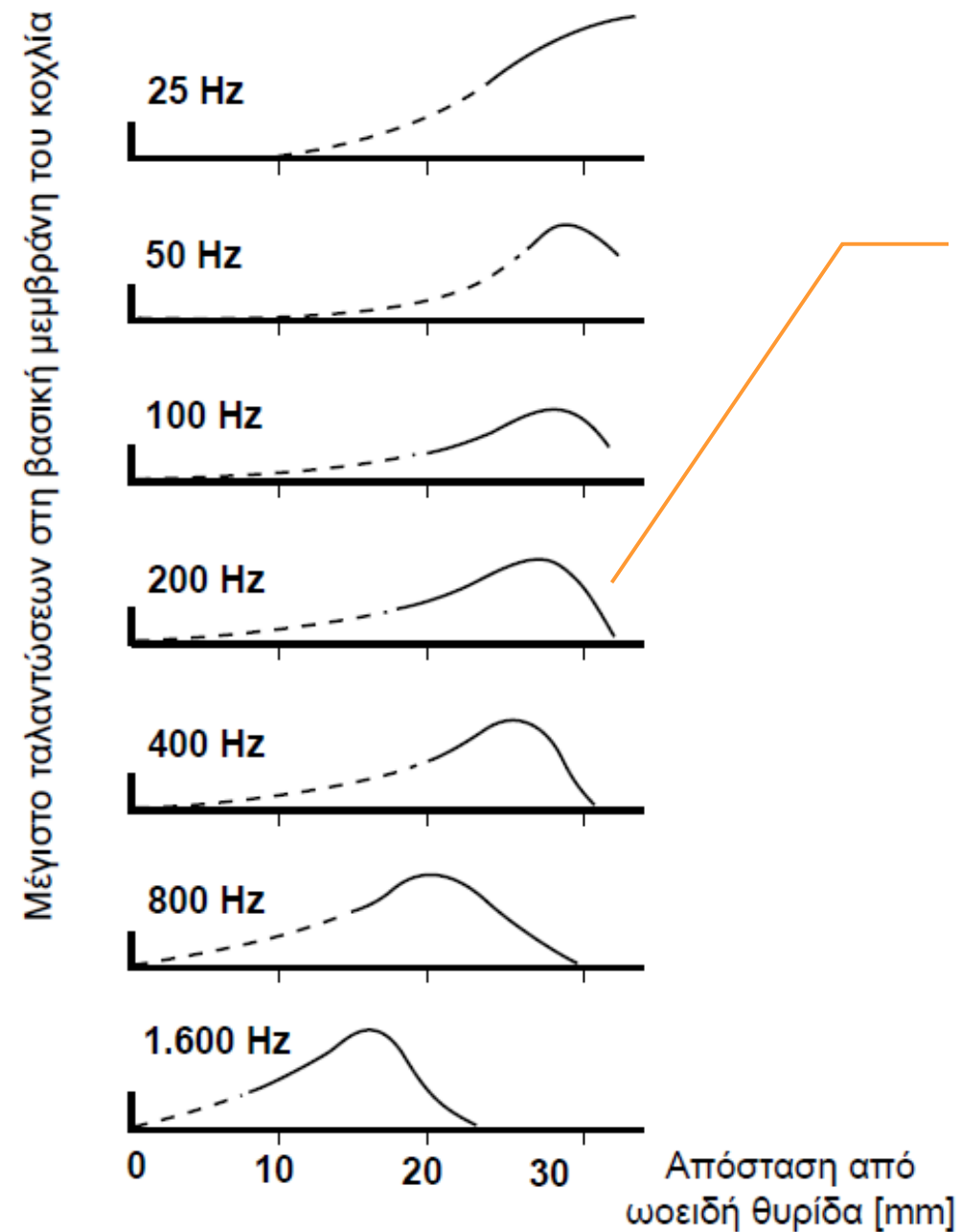


Το ανθρώπινο αυτί



Έξω ους	Μέσο ους	Έσω ους
<ul style="list-style-type: none"> • Προστατεύει το τύμπανο • Ενισχύει το ηχητικό σήμα (~10 dB ενός ήχου 3000Hz) 	Επικοινωνεί με το φάρυγγα	<ul style="list-style-type: none"> • Αρχική ανάλυση συχνοτήτων

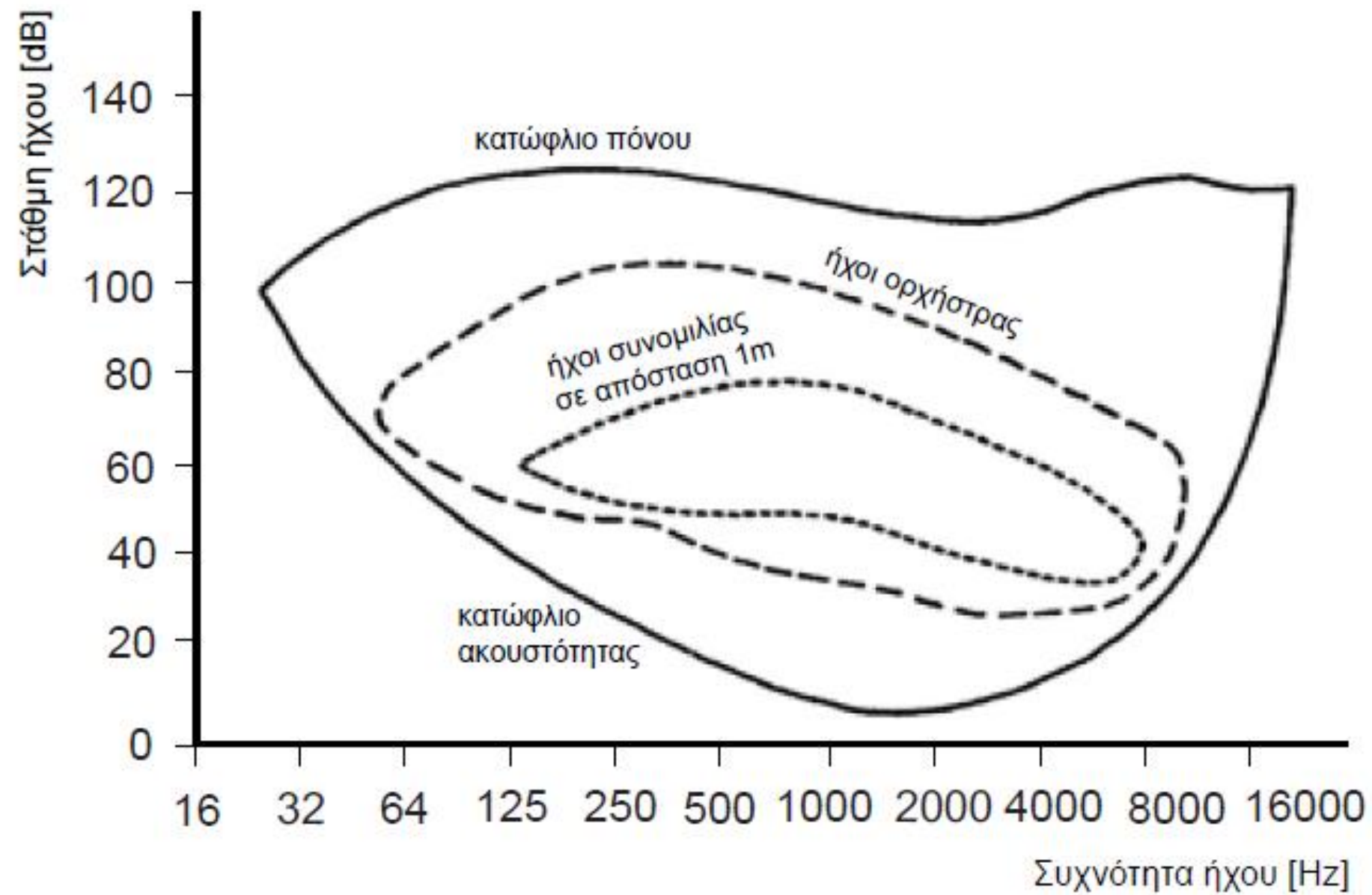
Αρχική ανάλυση συχνοτήτων



Ήχοι διαφορετικών συχνοτήτων θέτουν τη βασική μεμβράνη σε διαφορετικές αποστάσεις από την ωοειδή θύρα.

Οι ταλαντώσεις της βασικής μεμβράνης αποτελούν σήμα για την αρχική ανάλυση συχνοτήτων.

Το ακουστικό πεδίο του ανθρώπου



Επιπτώσεις του ηχητικού περιβάλλοντος

Θόρυβος

- Οι αρνητικές επιπτώσεις ενός ακατάλληλου ηχητικού περιβάλλοντος μπορούν να διακριθούν σε επιπτώσεις στο σύστημα ακοής του ανθρώπου (**ακουστική κόπωση** και/ ή **κώφωση**) στην **υγεία** του καθώς επίσης και στην **εργασία** του.

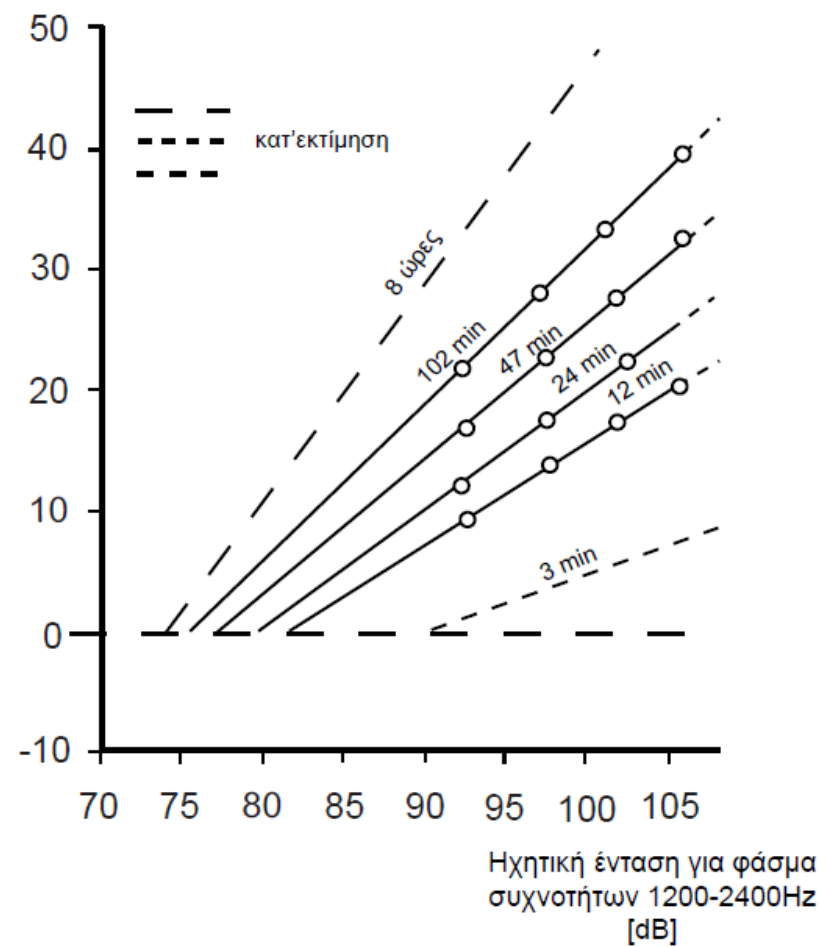
Στις αρνητικές επιπτώσεις συμβάλλουν :

- Ένταση των ήχων
- Σύσταση του φάσματος συχνοτήτων
- Διάρκεια έκθεσης στον ήχο
- Προβλέψιμο ή μη του ήχου
- Κατανομή της ηχητικής ενέργειας στο χρόνο, κατά την εκπομπή ενός ηχητικού γεγονότος.

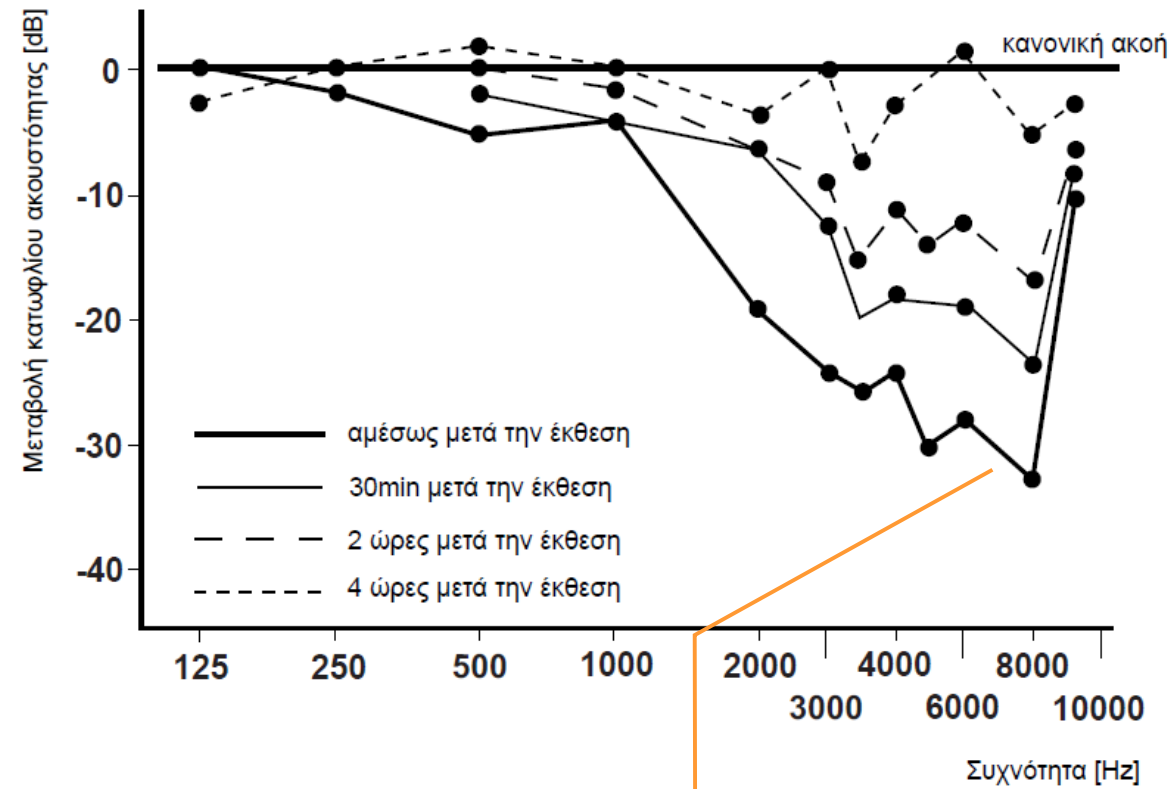
Ακουστική κόπωση

Αύξηση κατωφλίου ακουστότητας συναρτήσει της διάρκειας έκθεσης

Αύξηση του κατωφλίου ακουστότητας πάνω από το κανονικά, στις 4.000Hz 2min μετά την έκθεση [dB]

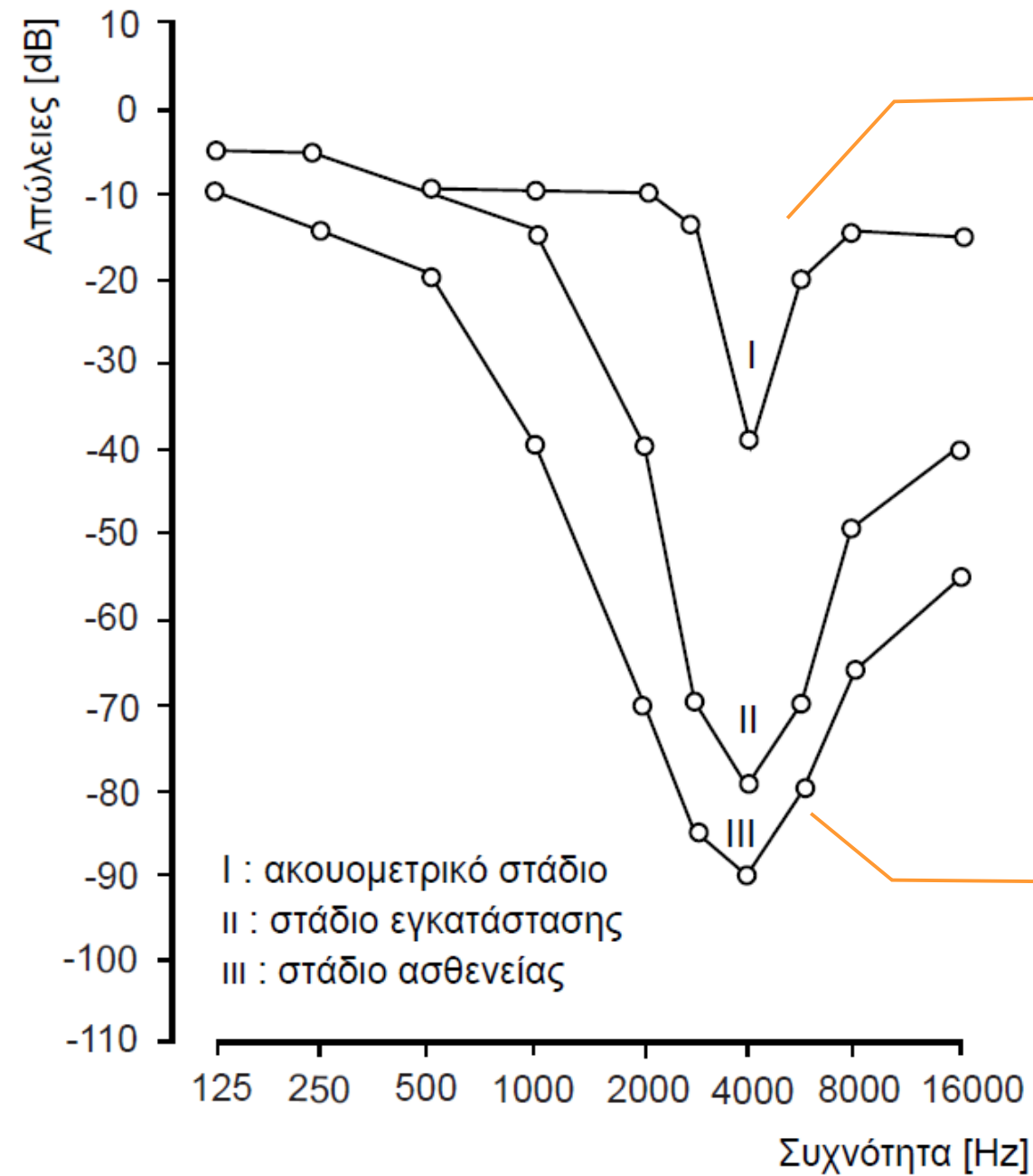


Σταδιακή αποκατάσταση της ακοής μετά από έκθεση σε δυνατό ήχο



Πιο έντονο το φαινόμενο της κόπωσης στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων

Επαγγελματική κώφωση



Ο πάσχων συνήθως δεν αντιλαμβάνεται την απώλεια της ακοής

Ο πάσχων αδυνατεί να επικοινωνήσει με το περιβάλλον και έχει ενοχλήσεις (π.χ. πόνο στα αφτιά, βουητά)

Ανώτερα επιτρεπτά επίπεδα θορύβου

Η ΕΕ έχει θεσπίσει τα εξής όρια για έκθεση εργαζομένων στο θόρυβο:

	Ημερήσια έκθεση	Μέγιστη στιγμιαία έκθεση ή κορυφογραμμή
i. Οριακή τιμή	$L_{ex,8h} = 87\text{dB-A}$	$L_{max} = 140 \text{ dB-C}$
ii. Ανώτερη τιμή ανάληψης δράσης	$L_{ex,8h} = 85\text{dB-A}$	$L_{max} = 137 \text{ dB-C}$
iii. Κατώτερη τιμή ανάληψης δράσης	$L_{ex,8h} = 80\text{dB-A}$	$L_{max} = 135 \text{ dB-C}$

ΥΠΕΡΒΑΣΗ

ΔΡΑΣΕΙΣ

> ορίου i:

ο εργοδότης πρέπει υποχρεωτικά να λάβει μέτρα μείωσης θορύβου

> ορίου ii:

αν δεν μπορούν να ληφθούν άμεσα μέτρα, τότε,

- οι εργαζόμενοι πρέπει υποχρεωτικά να φορούν μέσα ατομικής προστασίας
- ο χώρος πρέπει να οριοθετείται με κατάλληλη σήμανση
- η πρόσβαση άλλων εργαζομένων πρέπει να περιορίζεται κατά το δυνατό

> ορίου iii:

ο εργοδότης πρέπει

- να παρέχει στους εργαζόμενους κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας
- να εξασφαλίζει περιοδική παρακολούθηση της ακουστικής τους οξύτητας.

Μελέτη ηχητικού περιβάλλοντος

Σκοπός

- Αξιολόγηση της επικινδυνότητας που πιθανόν να παρουσιάζει το ηχητικό περιβάλλον για τους εργαζόμενους
- Εντοπισμός των ηχογόνων πηγών
- Ανάπτυξη μέτρων για τη μείωση της επικινδυνότητας που πιθανόν παρουσιάζει το ηχητικό περιβάλλον.

Μετρικές

Προκειμένου να μελετηθεί ένα ηχητικό περιβάλλον, πρέπει να γίνουν κατάλληλες μετρήσεις, ώστε να προσδιορισθούν:

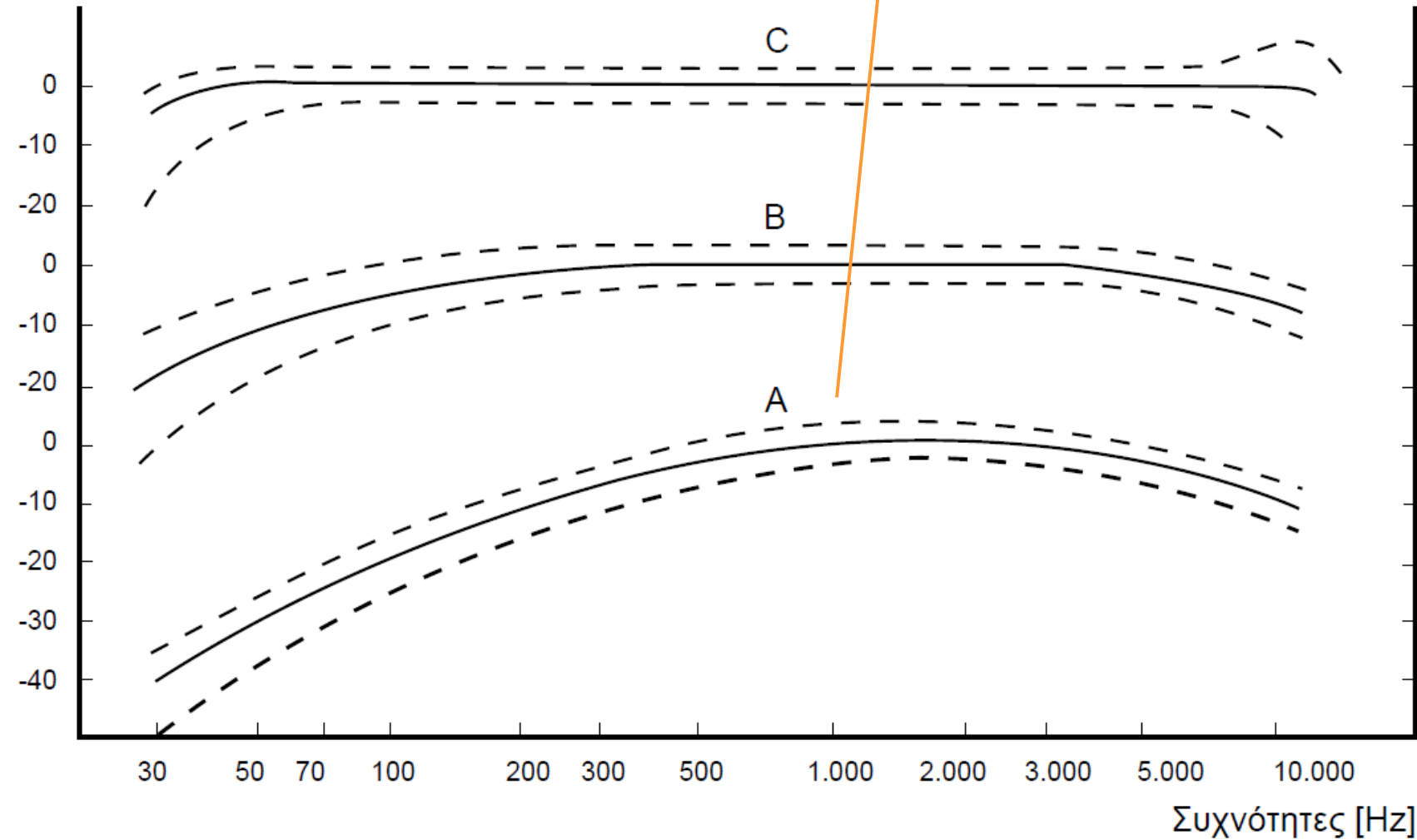
- Στάθμες θορύβου στις οποίες εκτίθενται οι εργαζόμενοι
- Χρόνοι έκθεσης στις αντίστοιχες στάθμες θορύβου
- Σύσταση του φάσματος συχνοτήτων των ήχων στους οποίους εκτίθενται οι εργαζόμενοι.

Στάθμες θορύβου

Καμπύλες που περιγράφουν τις πιο γνωστές κλίμακες dB:

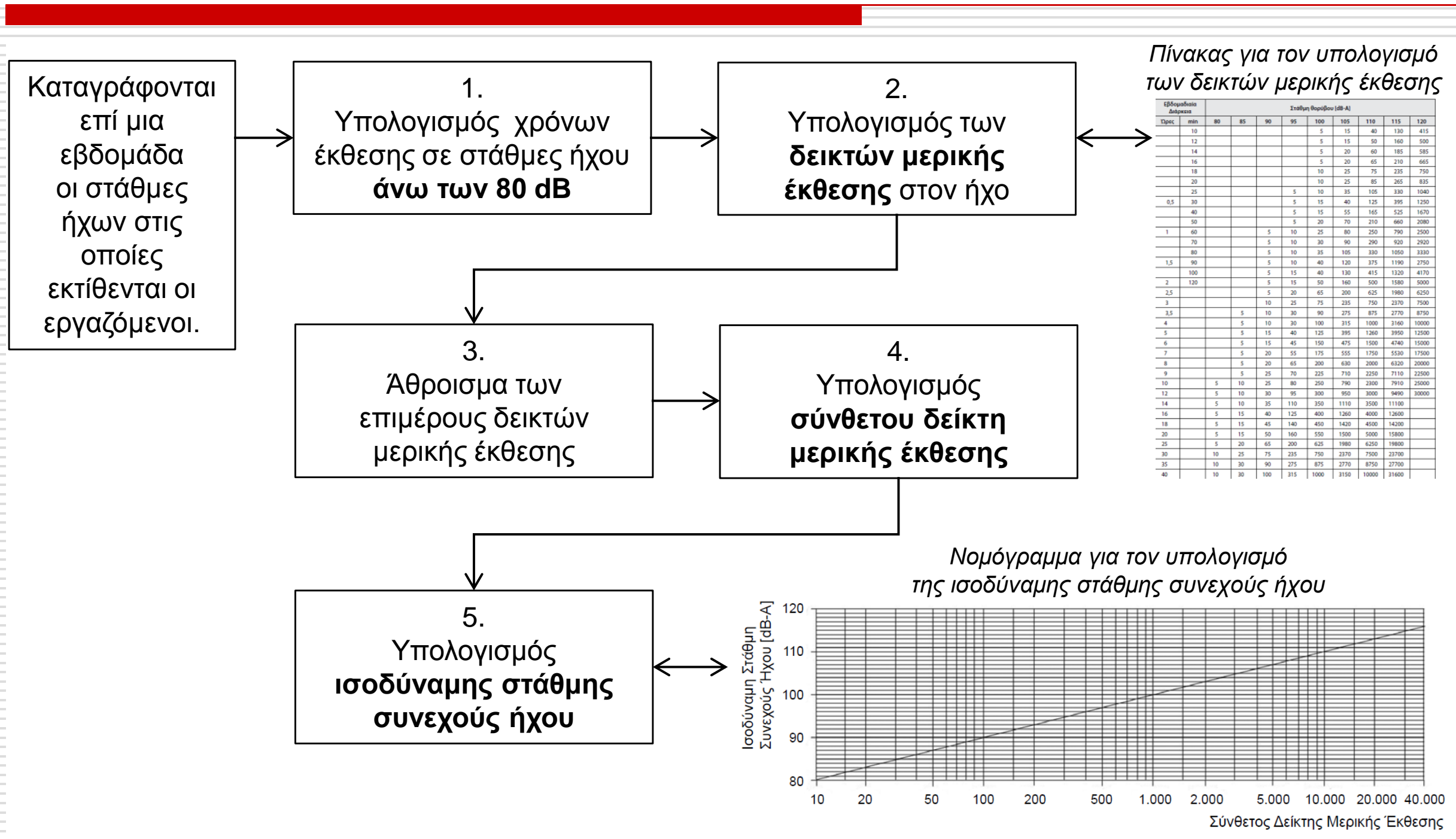
- dB-A
- dB-B
- dB-C

Απόκριση [dB]

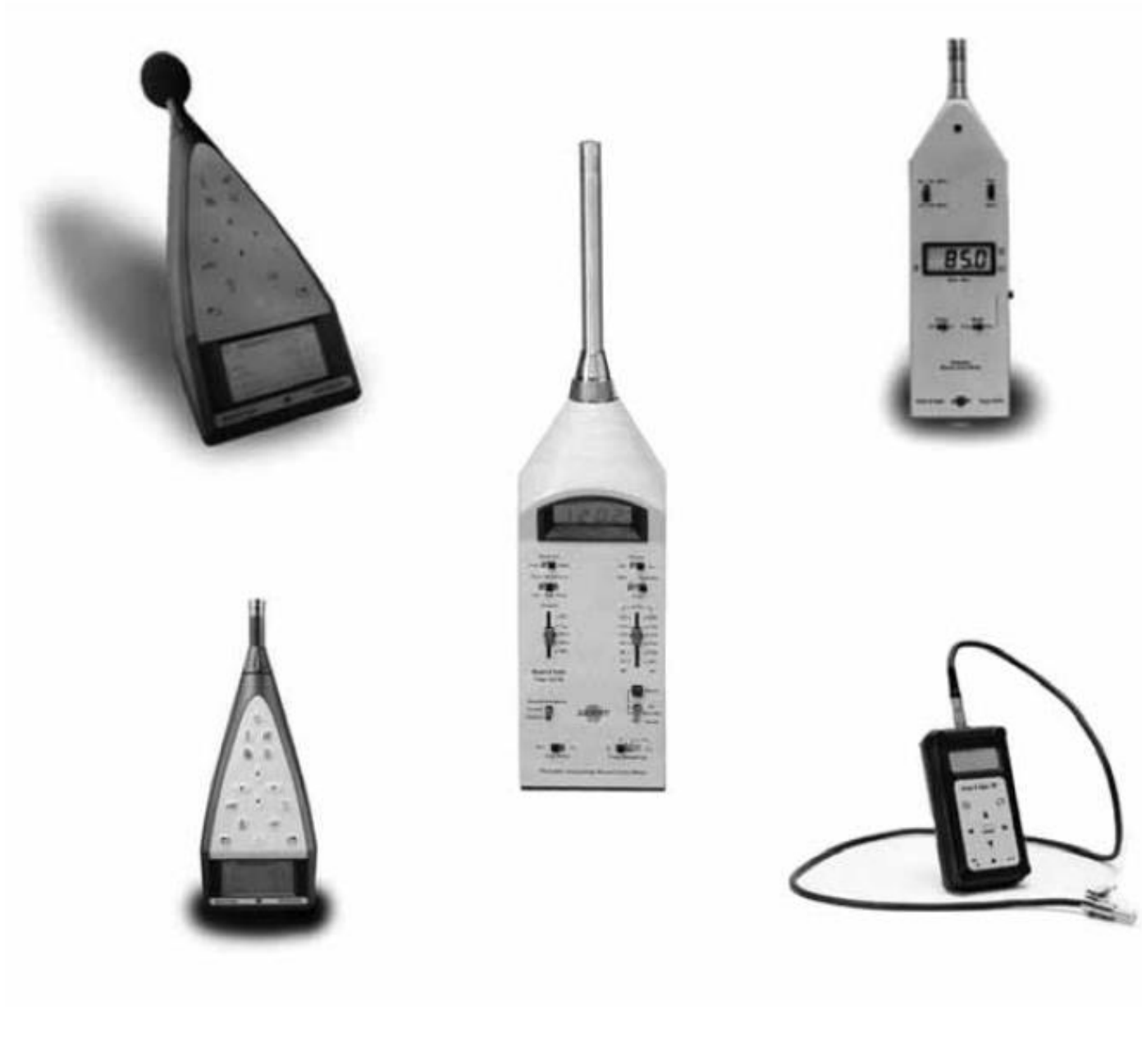


dB-A: Η περισσότερο χρησιμοποιούμενη κλίμακα (σχετίζεται καλύτερα με την υποκειμενική αντίληψη της έντασης των ήχων, και με την ενόχληση που αισθάνονται οι άνθρωποι)

Πρακτικός τρόπος υπολογισμού του L_{eq} (για $L_{ex,8h}$) (ISO1999:1990)



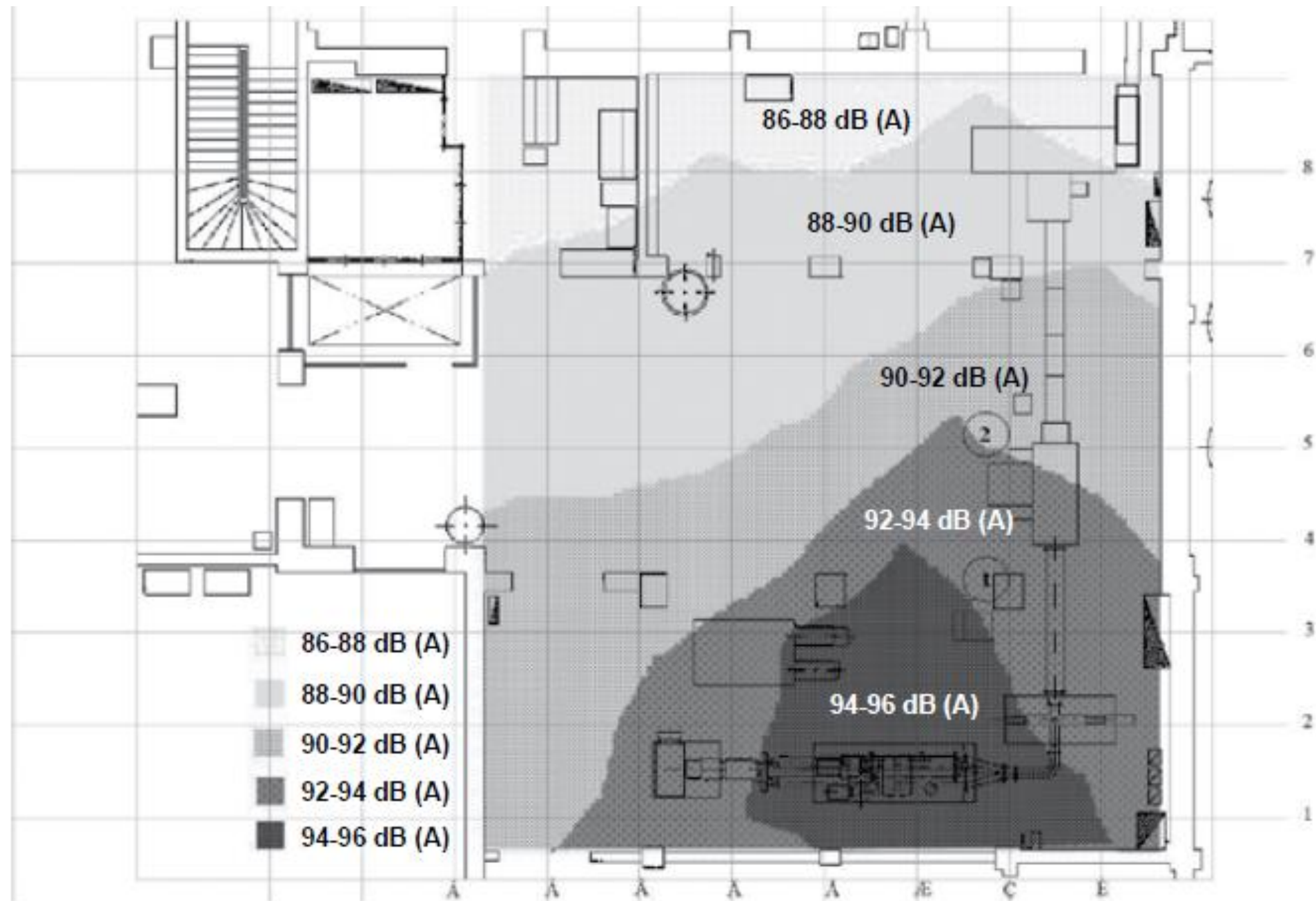
Μέτρηση ήχου



Πρωτόκολλα μέτρησης ήχου

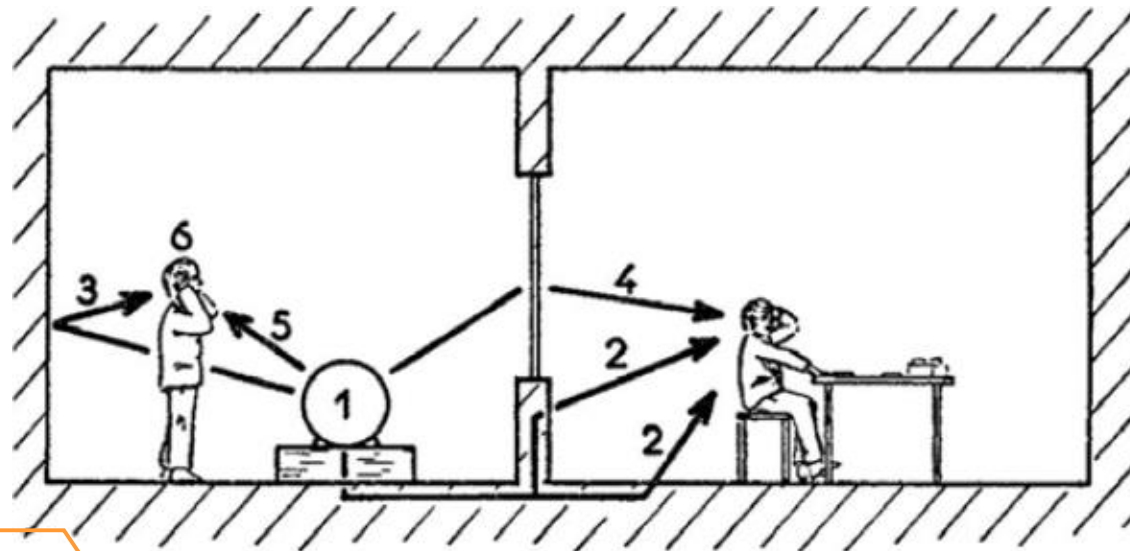
ISO 2204	Είναι ένας γενικός οδηγός για τη μελέτη των προβλημάτων του ήχου, και καλύπτει τις γενικές διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται για τη μέτρηση των ήχων και την εκτίμηση των επιπτώσεων του στον άνθρωπο.
ISO 5130 & ISO 1996	Ασχολούνται με τη μέτρηση του ήχου των οχημάτων, καθώς και του ήχου σε ανοικτούς χώρους που προέρχεται κυρίως από την κυκλοφορία των οχημάτων.
ISO 3740	Είναι ένας οδηγός για την μέτρηση των ήχων που προέρχονται από μηχανές και βιομηχανικό εξοπλισμό.
ISO 3741 – ISO 3746	Τα πρότυπα αυτά αποτελούν εξειδικεύσεις του ISO 3740, και καθορίζουν λεπτομερώς τις μεθόδους μέτρησης του ήχου ανάλογα με το είδος των βιομηχανικών χώρων στους οποίους πρόκειται να γίνουν οι μετρήσεις.

Χάρτης θορύβου



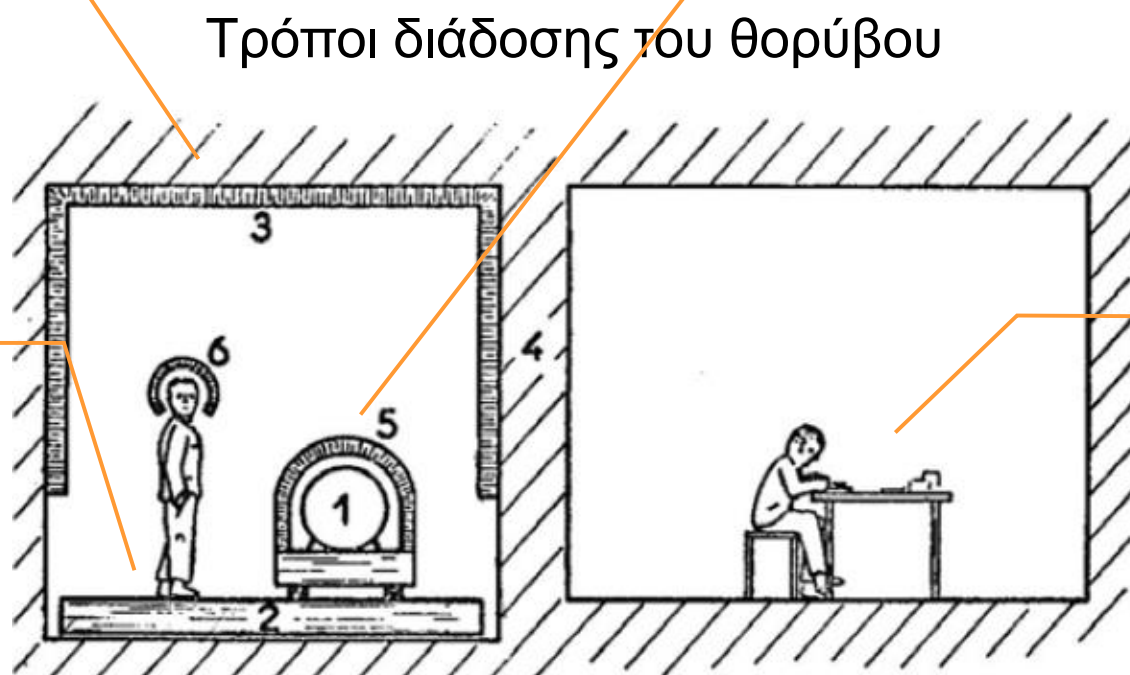
Διάδοση θορύβου και μέτρα καταπολέμησης

1. Ανασχεδιασμός των πηγών εκπομπής των ήχων ή/και του χώρου εργασίας



6. Μέτρα ατομικής προστασίας (ωτοασπίδες)

3. Επικάλυψη των επιφανειών που ενισχύουν τους ήχους λόγω αντανάκλασης (π.χ., τοίχοι, μεταλλικές επιφάνειες) με ηχοαπορροφητικά υλικά



5. Επικάλυψη των ηχογόνων πηγών με ηχοαπορροφητικά υλικά

2. Έδραση των ηχογόνων πηγών σε ηχοαπορροφητικά υλικά (μείωση διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στα στερεά στα οποία εδράζεται η ηχογόνος πηγή)

4. Απομόνωση των ηχογόνων πηγών σε χώρο όπου δεν υπάρχουν εργαζόμενοι

Κυριότερα μέτρα καταπολέμησής του

Αξιολόγηση των 7 συνηθέστερων μέτρων μείωσης του θορύβου ως προς τα κριτήρια εργονομικότητας

Μέτρα μείωσης του θορύβου	Κριτήρια εργονομικότητας					
	Αύξηση φόρτου εργασίας	Ενόχληση στους εργαζομένους	Προσβολή της υγείας	Παρεμπόδιση αντίληψης ομιλίας & τυπικών ηχητικών σημάτων	Παρεμπόδιση αντίληψης ανεπίσημων ηχητικών σημάτων σταθερού εξοπλισμού	Παρεμπόδιση αντίληψης ανεπίσημων ηχητικών σημάτων κινούμενου εξοπλισμού
Μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου στην πηγή	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία
Ανασχεδιασμός του χώρου και αναχωροθέτηση του εξοπλισμού	πιθανά	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία
Απομόνωση των ηχογόνων πηγών	πιθανά	πιθανά	καμία	καμία	μεγάλη	καμία
Έδραση των ηχογόνων πηγών σε ηχοαπορροφητικά υλικά	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία
Επικάλυψη των ηχογόνων πηγών με ηχομονωτικά υλικά	πιθανά	πιθανά	καμία	καμία	πιθανά	καμία
Επικάλυψη αντανακλώντων επιφανειών με ηχοαπορροφητικά υλικά	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία	καμία
Ατομικά μέσα προστασίας	καμία	μεγάλη	πιθανά	μεγάλη	μεγάλη	μεγάλη

Ολοκληρωμένη μελέτη βελτίωσης ηχητικού περιβάλλοντος

Παράλληλα με τη μελέτη του θορύβου, υπάρχει ανάγκη να γίνεται και μια **ανάλυση των δραστηριοτήτων της εργασίας** των εργαζομένων στο χώρο όπου γίνεται η μελέτη. Η ανάλυση αυτή ως κύριο αντικείμενο θα έχει τον εντοπισμό:

- των μεθόδων εργασίας που μετέρχονται οι εργαζόμενοι
- των ανεπίσημων σημάτων που χρησιμοποιούν οι εργαζόμενοι για την εκτέλεση της εργασίας (ιδιαίτερα των ηχητικών και των οπτικών σημάτων)
- των πληροφοριών που μεταδίδουν τα παραπάνω σήματα
- των πιθανών πηγών επικινδυνότητας που δημιουργούν τα διάφορα στοιχεία του τεχνολογικού και μορφολογικού συστήματος εργασίας και των τρόπων με τους οποίους οι εργαζόμενοι εξουδετερώνουν αυτή την επικινδυνότητα.

Αναφορές

Μαρμαράς, Ν. (2010). *Εισαγωγή στην Εργονομία*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.

Bekesy, G. von. (1972). The missing fundamental and periodicity detection of hearing. *Journal of Acoustics Society of America*, 51, 631-637.

Grandjean, E. (1997). *Fitting the task to the Man*, 5th edition., London: Taylor & Francis.

Jones, D.M. & Chapman, A.J. (1984). *Noise and Society*, Chichester: John Wiley.

Haslegrave, C. (1995). Auditory environment and noise assessment. In J.R. Wilson & E.N. Corlett (eds), *Evaluation of Human Work*, London: Taylor & Francis.

Kryter, K.D. (1985). *The Effects of Noise on Man*, London: Academic Press.

Loeb, M. (1986). *Noise and Human Efficiency*, Chichester: John Wiley.

Sanders, M.S. & McCormick, E.S. (1992). *Human Factors in Engineering and Design*. 5th edition, New York: McGraw-Hill.

Wilson, J.R. & Corlett, E.N. (1995). *Evaluation of Human Work*, London: Taylor & Francis.

Wisner, A. (1982). *Physiologie du travail et ergonomie*. Paris : Conservatoire National des Arts et Métiers.