

Ηχητικό Περιβάλλον

Θωμάς Κοντογιάννης

Πολυτεχνείο Κρήτης

Ήχος και θόρυβος

- **Ήχοι:** 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):** Μίγμα ηχητικών κυμάτων με διαφορετικές συχνότητες που προκαλούν ενοχλήσεις στον άνθρωπο
- Κάθε ήχος χαρακτηρίζεται, σύμφωνα με τη Φυσική, από:
 - την ένταση,
 - το φάσμα συχνοτήτων,
 - τη χροιά η οποία καθορίζεται απο το κυρίαρχο ηχητικό κύμα
 - τη διάρκεια.

Μονάδες μέτρησης του ήχου

- Η *ηχητική ένταση ή ενέργεια* που μεταφέρουν οι παλμικές κινήσεις του αέρα, μετράται σε *Watt/m²*.
- 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 είναι μια ηχητική ένταση αναφοράς που ισούται με 10^{-12} Watt/m², και αντιστοιχεί με το κατώφλιο ακουστότητας ενός καθαρού ήχου συγκεκριμένης συχνότητας (περί τα 2 kHz).

Ενδεικτικές τιμές έντασης διαφόρων ήχων

Λόγος ηχητικής 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	Αερόσφουρα, Ηλεκτρικό πριόνι (1m)
10.000.000.000	100	Ηλεκτρική κάμινος
1.000.000.000	90	Τυπογραφείο, Κλωστοϋφαντουργεία
100.000.000	80	Εσωτερικό αυτοκινήτου αγώνων
10.000.000	70	Ηλεκτρική σκούπα (1m), Συνομιλία (0,3m)
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	

Τα dB δεν προστίθενται!

Εάν είναι γνωστή η ένταση του ήχου σε decibel (db) είναι δυνατόν να μετατραπεί σε μονάδες μέτρησης Watt/m² με τον ακόλουθο τύπο:

$$I = 10^{(L-120)/10}$$

όπου I και L είναι οι εντάσεις σε decibel (db) και Watt/m² αντίστοιχα

Η στάθμη θορύβου που προκύπτει από τη συνήχηση δύο πηγών των οποίων οι εντάσεις είναι I_1 και I_2 είναι:

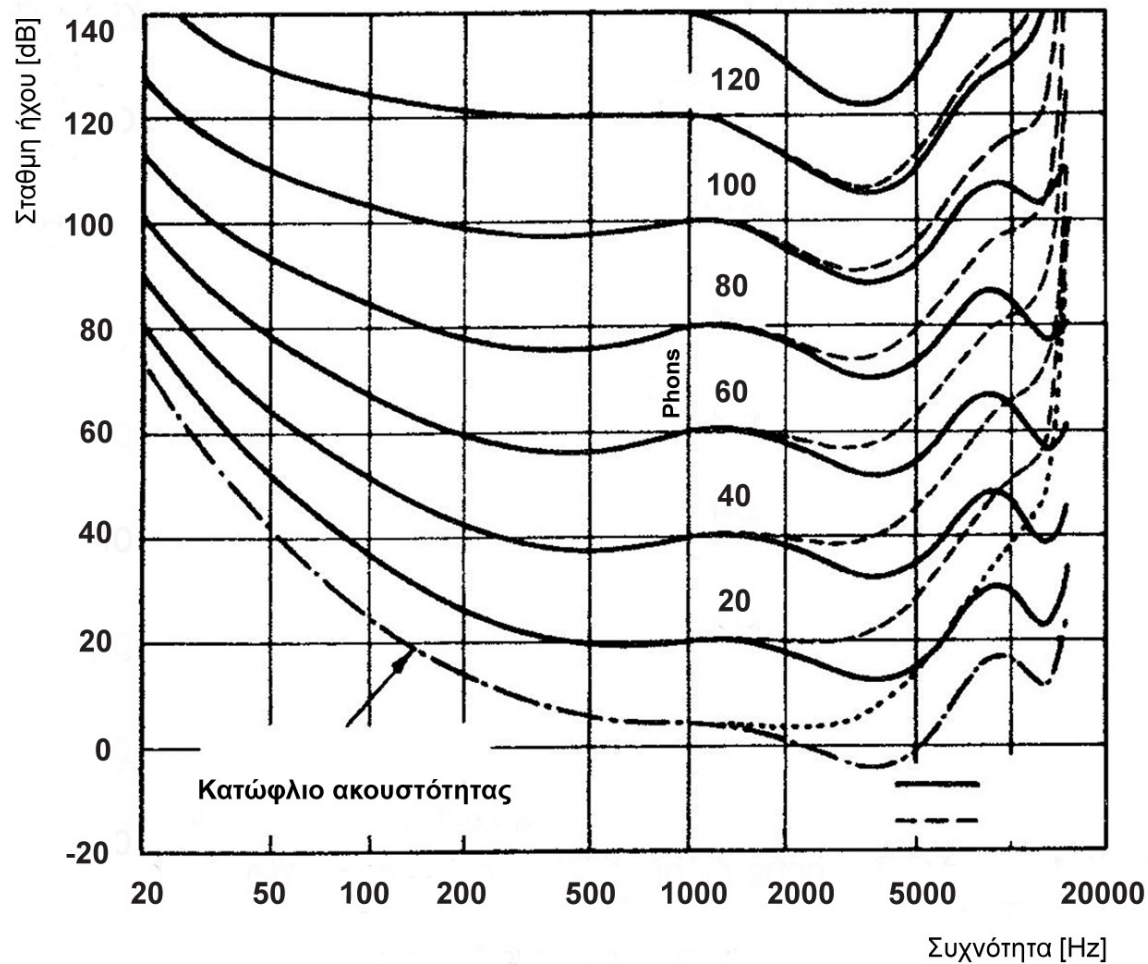
$$I_{\text{συνολικό}} = (I_1 + I_2) \text{ W/m}^2 \text{ ή}$$

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

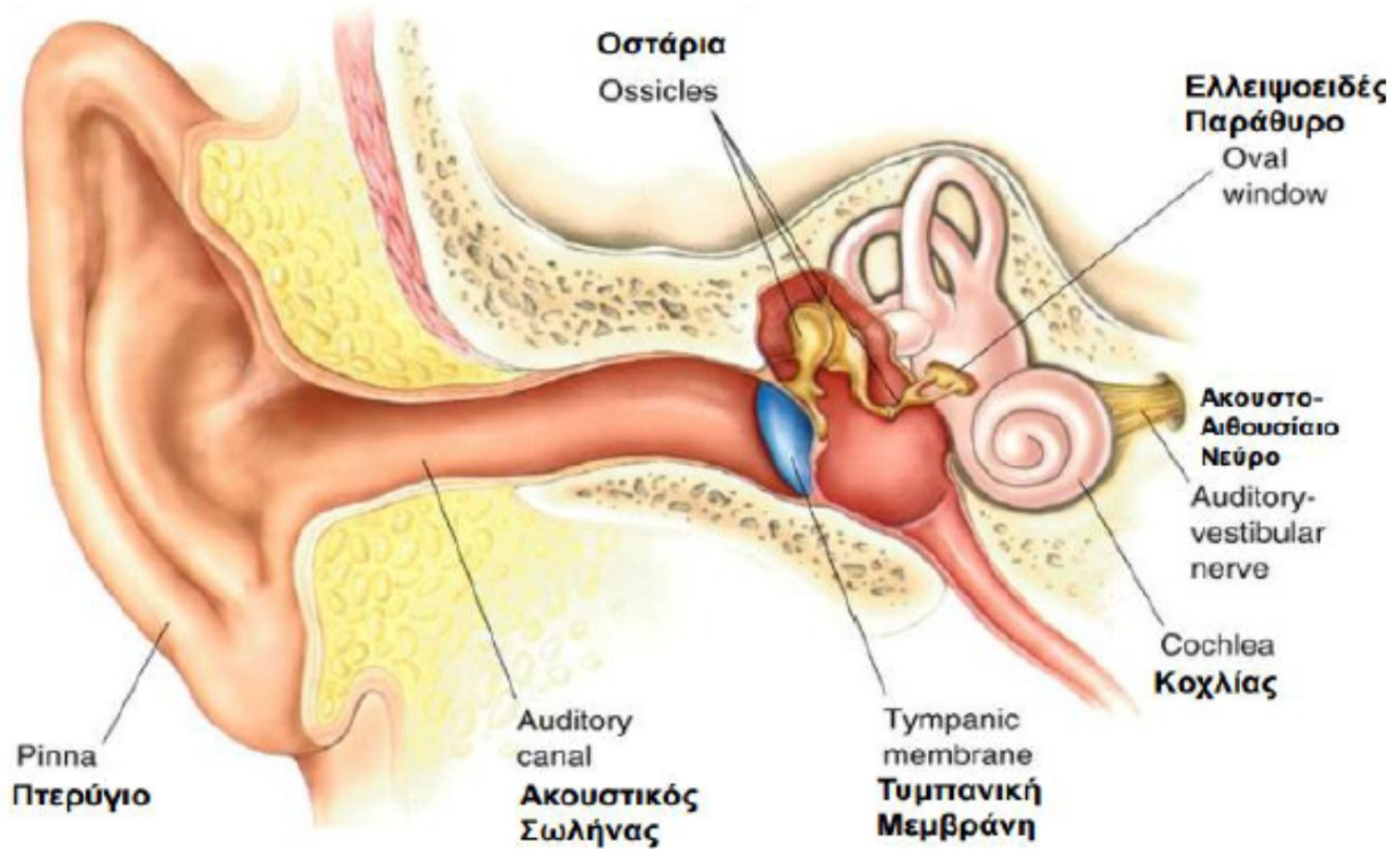
Μονάδες μέτρησης (συνέχεια)

- Για τη μέτρηση της **συχνότητας** των ήχων χρησιμοποιείται η μονάδα των **Hertz (Hz)**. Το εύρος του πεδίου συχνοτήτων που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί είναι και αυτό πολύ μεγάλο, εκτεινόμενο από 16 ως 16000 Hz περίπου.
- Η ένταση του ήχου που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος (**υποκειμενική ένταση**) επηρεάζεται και από τη συχνότητά του.
- Για την **υποκειμενική ένταση** του ήχου χρησιμοποιείται μία ειδική μονάδα, τα **φονς (phons)**. Η μονάδα αυτή ακολουθεί επίσης λογαριθμική κλίμακα, και ταυτίζεται με τα dB για τους ήχους συχνότητας 1000 Hz.

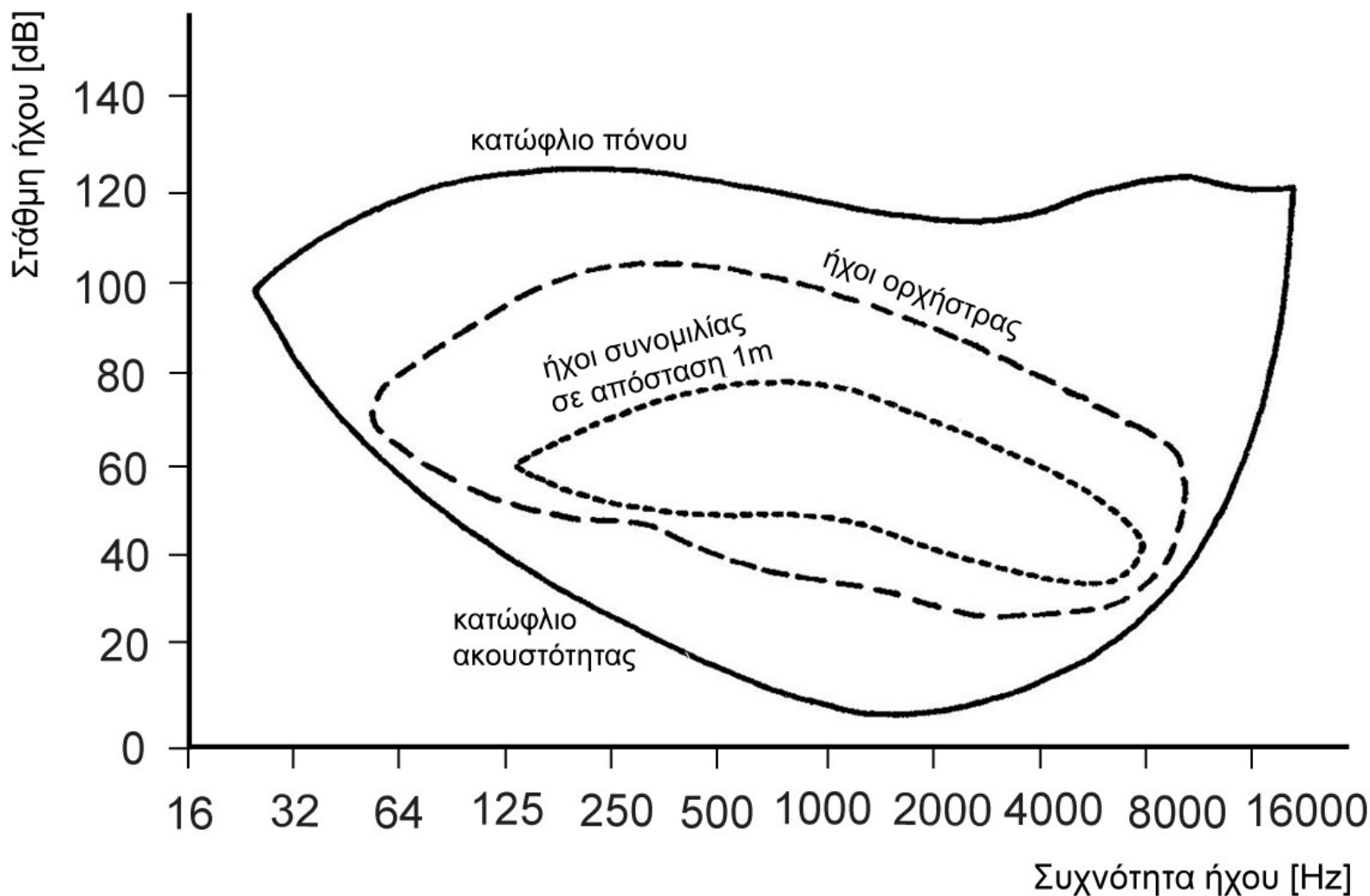
Το σύστημα ισοηχών καμπυλών



Το όργανο της ακοής: το αυτί



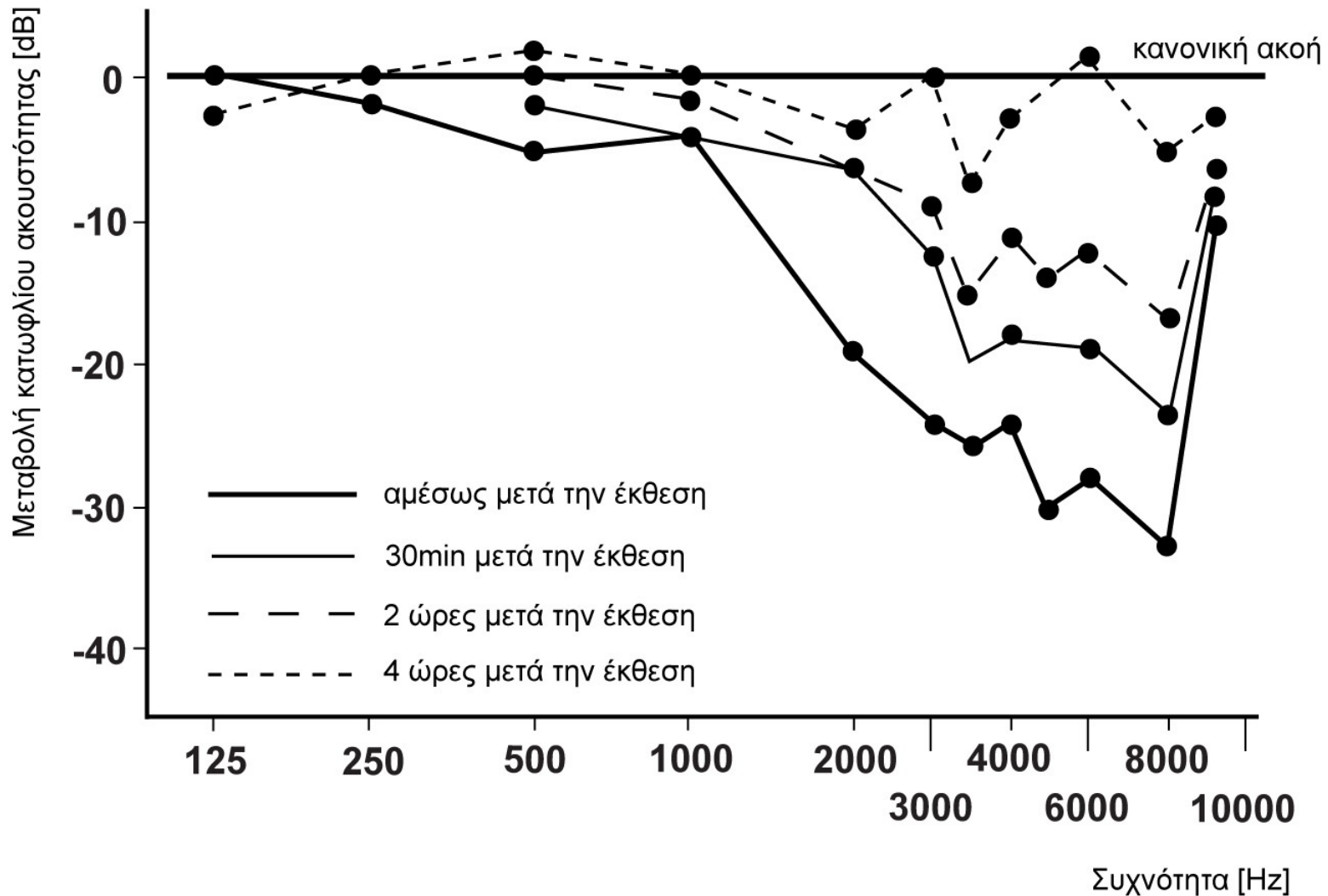
Το ακουστικό πεδίο του ανθρώπου



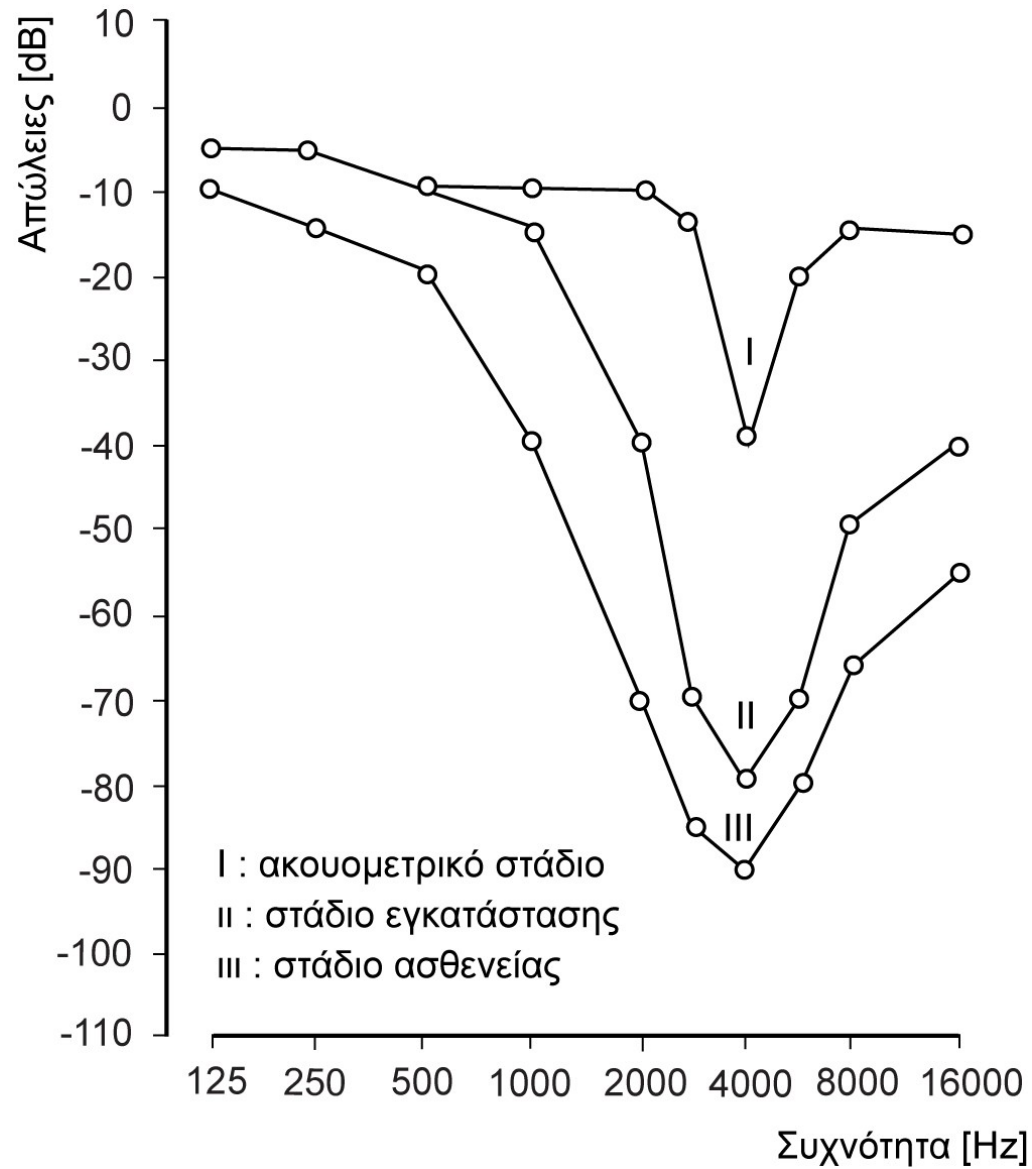
Επιπτώσεις του ηχητικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο

- Οι αρνητικές επιπτώσεις ενός επιβαρυντικού ηχητικού περιβάλλοντος μπορούν να διακριθούν σε:
 - i. επιπτώσεις στο σύστημα ακοής του ανθρώπου (**ακουστική κόπωση** και η **κώφωση**),
 - ii. γενικότερες επιπτώσεις στην υγεία του,
 - iii. επιπτώσεις και στην εργασία του.
- Εκτός από την ένταση των ήχων, στην επιβάρυνση συμβάλλουν επίσης και τα εξής χαρακτηριστικά των ήχων:
 - η σύσταση του φάσματος συχνοτήτων,
 - η διάρκεια έκθεσης στον ήχο,
 - το προβλέψιμο ή μη του ήχου,
 - η κατανομή της ηχητικής ενέργειας στο χρόνο, κατά την εκπομπή ενός ηχητικού γεγονότος.

Πρόσκαιρη μεταβολή του κατωφλίου ακουστότητας που προκαλείται από έκθεση σε δυνατό ήχο, και η σταδιακή αποκατάσταση της ακοής με την πάροδο του χρόνου



Τα τρία στάδια της επαγγελματικής κώφωσης



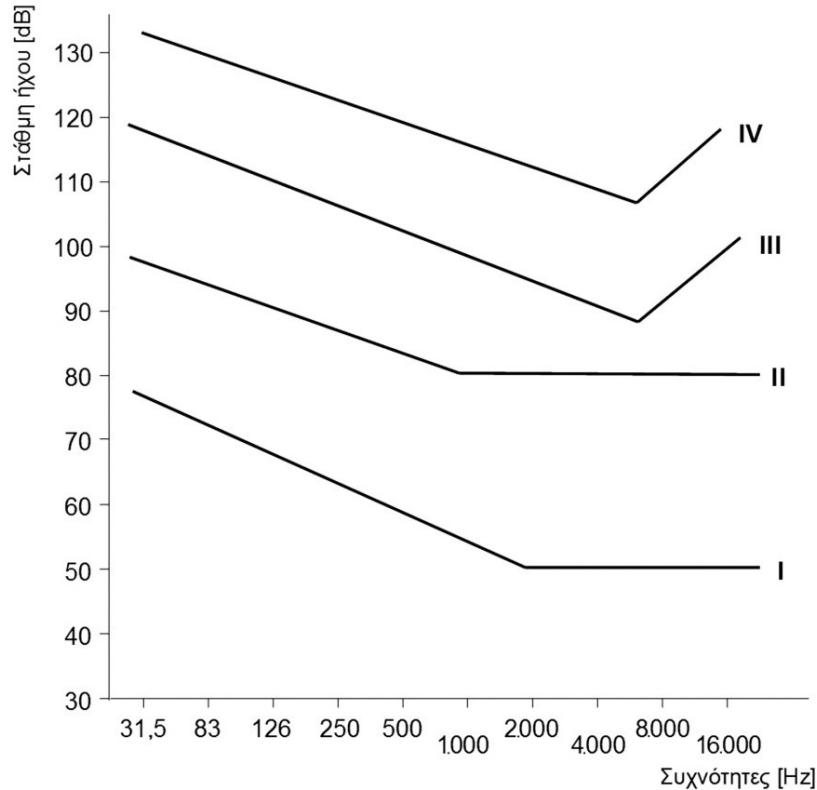
Γενικότερες επιπτώσεις του ηχητικού περιβάλλοντος

- Ένα επιβαρυντικό ηχητικό περιβάλλον μπορεί να έχει και τις εξής επιπτώσεις στην υγεία:
 - καρδιο-αγγειακές ανωμαλίες (αρτηριακή υπέρταση),
 - δυσκολίες στην ισορροπία,
 - διατάραξη της λειτουργίας της πέψης,
 - μυϊκή τάση (αθέλητη ενεργοποίηση ορισμένων μυών),
 - μείωση της αντίστασης των κυττάρων του αυτιού σε μολύνσεις και τοξικές ουσίες,
 - αύξηση της γενικής κόπωσης του οργανισμού,
 - νευρική κόπωση η οποία μπορεί να εκδηλωθεί με ανησυχία, επιθετικότητα, απάθεια, κλπ.
 - διαταραχές στον ύπνο.

Επιπτώσεις του ηχητικού περιβάλλοντος στην εργασία

- Αύξηση του φόρτου από την εργασία και επομένως μείωση της απόδοσης, δυσκολία στην εκτέλεση της εργασίας, κ.λπ.
 - Δυσκολία στη συγκέντρωση, προσοχή και απομνημόνευση
 - Παρεμπόδιση της επικοινωνίας, απομόνωση
 - Αδυναμία αντίληψης των ηχητικών σημάτων
 - Αύξηση κινδύνου εμφάνισης ανθρωπίνων λαθών
 - Αύξηση κινδύνου ατυχημάτων.
-
- Τέλος δεν θα πρέπει να παραβλεφθούν και οι επιπτώσεις της επαγγελματικής κώφωσης στην κοινωνική-εξωεργασιακή ζωή (απομόνωση, δυσκολία στις κοινωνικές σχέσεις, κ.λπ.)

Διάγραμμα για την εκτίμηση των κινδύνων για την ακοή και των επιπτώσεων στην εργασία που προξενεί το ηχητικό περιβάλλον



Ήχοι	Κίνδυνος κώφωσης	Επιπτώσεις στην εργασία
Κάτω από καμπύλη I	Κανένας	Καμία
Μεταξύ καμπύλης I και II	Η καμπύλη II είναι ένα όριο που δεν πρέπει να ξεπερνιέται.	Η νοητική εργασία καθίσταται δυσχερής ως πολύ δυσχερής.
Μεταξύ καμπύλης II και III	Πιθανότητα 0 ως 100% για έκθεση 8 ωρών/ημέρα.	Και η χειρονακτική εργασία καθίσταται δυσχερής. Αυξημένη πιθανότητα λαθών.
Μεταξύ καμπύλης III και IV	Πιθανότητα 25 ως 100% για συνεχή έκθεση 1 ώρας.	Η οποιαδήποτε εργασία καθίσταται πολύ δυσχερής.
Πάνω από καμπύλη IV	Κίνδυνος ακόμη και για στιγμιαία έκθεση.	Η οποιαδήποτε εργασία καθίσταται αδύνατη.

Ανώτερα επιτρεπτά επίπεδα θορύβου

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει τα εξής όρια για έκθεση των εργαζομένων στον θόρυβο (για την Ελλάδα Π.Δ. 149/2006):

- **οριακή τιμή:** ημερήσια έκθεση $L_{eq,8h} = 87 \text{ dB-A}$ και κορυφοτιμή $L_{max} = 140 \text{ dB-C}$. Όταν η έκθεση των εργαζομένων υπερβαίνει την *οριακή τιμή*, ο εργοδότης πρέπει υποχρεωτικά να λαμβάνει μέτρα μείωσης του θορύβου,
- **ανώτερη τιμή ανάληψης δράσης:** ημερήσια έκθεση $L_{eq,8h} = 85 \text{ dB-A}$ και κορυφοτιμή $L_{max} = 137 \text{ dB-C}$. Στην περίπτωση υπέρβασης της τιμής αυτής, πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια μείωσης του θορύβου. Εφόσον τα μέτρα δεν μπορούν να ληφθούν άμεσα ή δεν υπάρχουν τέτοια, (i) οι εργαζόμενοι πρέπει υποχρεωτικά να φορούν κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας, (ii) ο χώρος πρέπει να οριοθετείται με κατάλληλη σήμανση και (iii) η πρόσβαση άλλων εργαζομένων πρέπει να περιορίζεται κατά το δυνατόν,
- **κατώτερη τιμή ανάληψης δράσης:** ημερήσια έκθεση $L_{eq,8h} = 80 \text{ dB-A}$ και κορυφοτιμή $L_{max} = 135 \text{ dB-C}$. Εκτός από τις προσπάθειες για μείωση του θορύβου, εφόσον η έκθεση των εργαζομένων υπερβαίνει την *κατώτερη τιμή ανάληψης δράσης*, ο εργοδότης πρέπει (i) να παρέχει στους εργαζομένους κατάλληλα μέσα ατομικής προστασίας, (ii) να εξασφαλίζει την περιοδική παρακολούθηση της ακουστικής τους οξύτητας από γιατρό, και (iii) να τους ενημερώνει για τους κινδύνους τους οποίους διατρέχει η ακοή τους, τα μέτρα που λαμβάνονται και τη σωστή χρήση των μέσων ατομικής προστασίας.

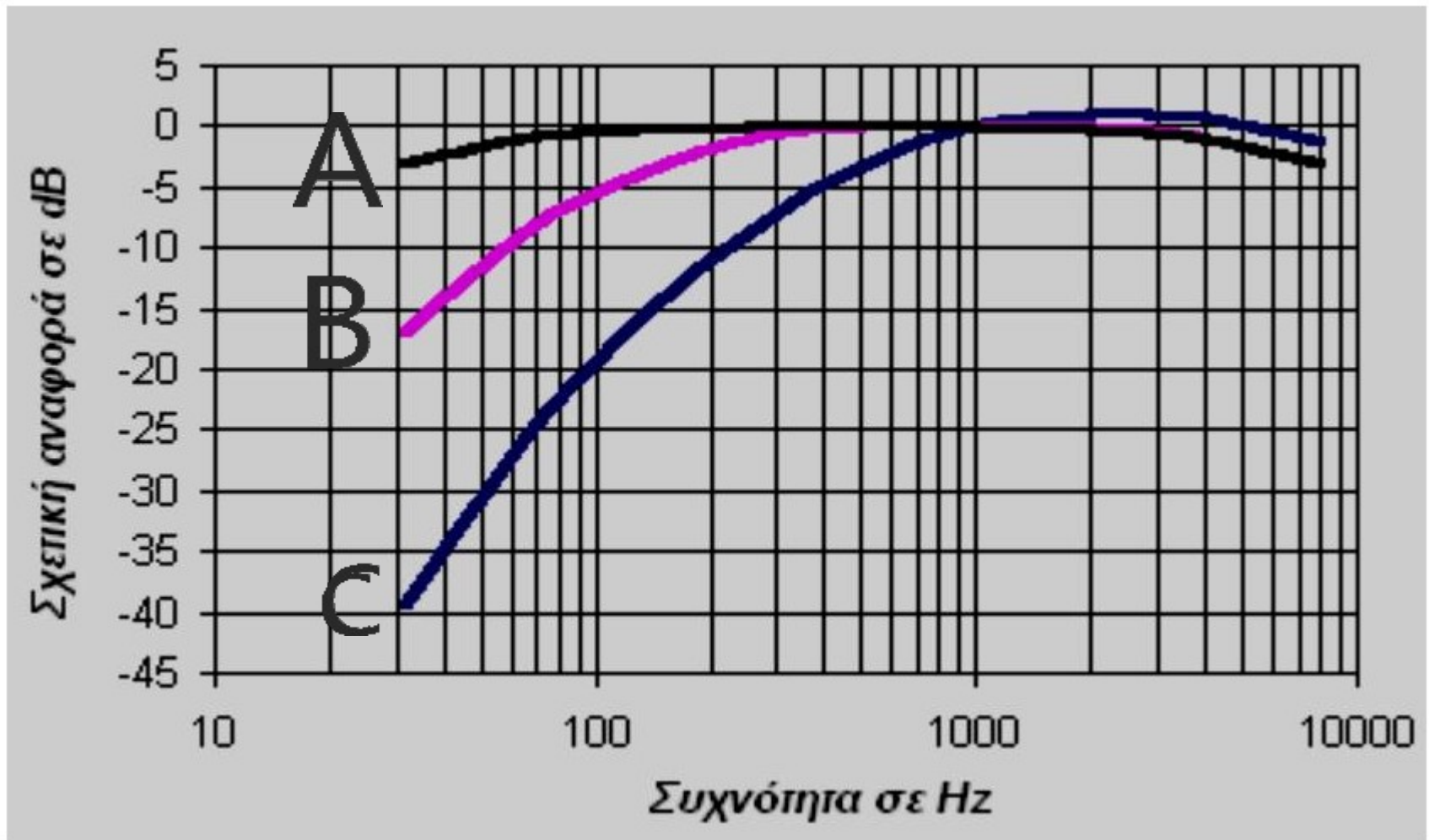
Μελέτη του ηχητικού περιβάλλοντος

- Η μελέτη ενός ηχητικού περιβάλλοντος εργασίας έχει ως σκοπούς:
 - i. την αξιολόγηση της επικινδυνότητας που παρουσιάζει το ηχητικό περιβάλλον για τους εργαζομένους,
 - ii. τον εντοπισμό των ηχογόνων πηγών,
 - iii. την ανάπτυξη μέτρων για τη μείωση της επικινδυνότητας που παρουσιάζει το ηχητικό περιβάλλον.
- Για να μελετηθεί ένα ηχητικό περιβάλλον, πρέπει να γίνουν κατάλληλες μετρήσεις ώστε να προσδιορισθούν:
 - οι στάθμες θορύβου στις οποίες εκτίθενται οι εργαζόμενοι,
 - οι χρόνοι έκθεσης στις αντίστοιχες στάθμες θορύβου,
 - η σύσταση του φάσματος συχνοτήτων των ήχων στους οποίους εκτίθενται οι εργαζόμενοι.

Διάφοροι τύποι ηχομέτρων



Οι καμπύλες που περιγράφουν τις γνωστότερες κλίμακες dB



Ισοδύναμη στάθμη συνεχούς ήχου

Ο τύπος που υπολογισμού της *ισοδύναμης στάθμης συνεχούς ήχου* L_{eq} είναι:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum t_i \times 10^{0.1 L_{pi}} \right]$$

όπου:

T ο συνολικός χρόνος έκθεσης,

t_i οι χρόνοι έκθεσης στις επιμέρους στάθμες ήχου και,

L_i οι επιμέρους στάθμες ήχου μετρούμενες σε dB.

Ημερήσια έκθεση L_{ex}

Τα σχετικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια έκθεσης στον θόρυβο κανονιστικά κείμενα (π.χ. Π.Δ. 149/2009) χρησιμοποιούν πολλές φορές το μέγεθος $L_{ex,8h}$, το οποίο αναφέρεται ως ημερήσια έκθεση στον θόρυβο.

Το $L_{ex,8h}$ ισούται με την Ισοδύναμη Στάθμη Συνεχούς Ήχου για 8ωρη εργασία

$$L_{ex,8h} = L_{eq,8h}$$

Προκειμένου να εκτιμήσουμε αν ο θόρυβος στον οποίο εκτίθενται εργαζόμενοι των οποίων η βάρδια εργασίας διαρκεί λιγότερο ή περισσότερο από 8 ώρες, βρίσκεται εντός των ορίων που καθορίζουν τα σχετικά κανονιστικά κείμενα, χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

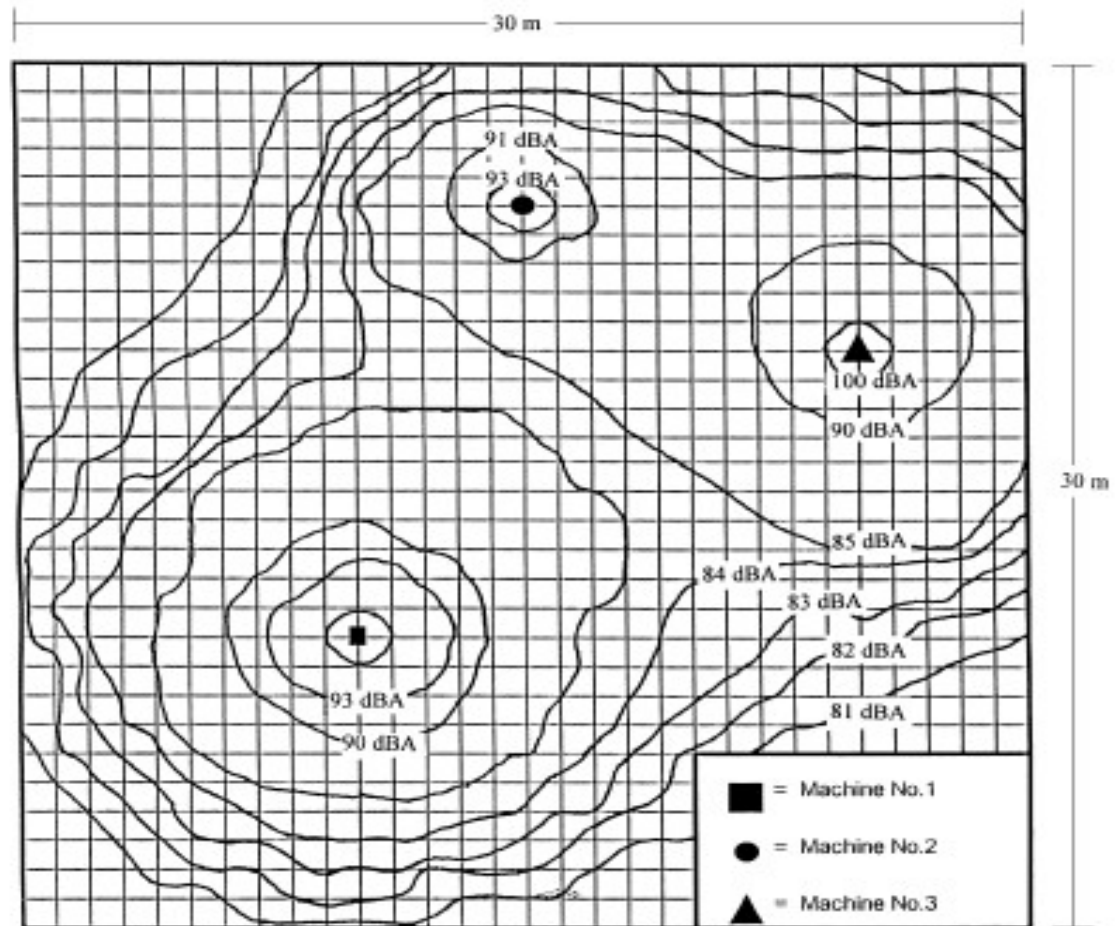
$$L_{ex,8h} = L_{eq} + 10\log(T/8),$$

Όπου: T είναι η διάρκεια της βάρδιας σε ώρες, και

L_{eq} η υπολογιζόμενη ισοδύναμη στάθμη συνεχούς ήχου

Σε ένα μηχανουργείο (30 m x 30m) βρίσκονται τρεις μηχανές (M1, M2, M3) που κάνουν θόρυβο 100, 95 και 100 dB αντίστοιχα. Δίδεται ότι οι μετρήσεις του θορύβου γίνονται σε απόσταση 1 m από την κάθε μηχανή. Για να υπολογίσουμε τη συνολική ένταση του θορύβου σε μια θέση (x,y)=(15,15) πρέπει να εξετάσουμε τη συνεισφορά του θορύβου της κάθε μηχανής και να προσθέσουμε τον περιβάλλοντα θόρυβο (π.χ. $L_p = 60$ dB ή 10^{-6} Watt/m²)

ΧΑΡΤΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ



Επειδή η ένταση του θορύβου μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της αποστάσεως από την πηγή, ισχύει η σχέση:

$$\frac{I_x}{I} = \frac{1^2}{x^2}$$

Όπου I_x και I είναι οι εντάσεις του θορύβου σε αποστάσεις x m και 1 m από τη μηχανή

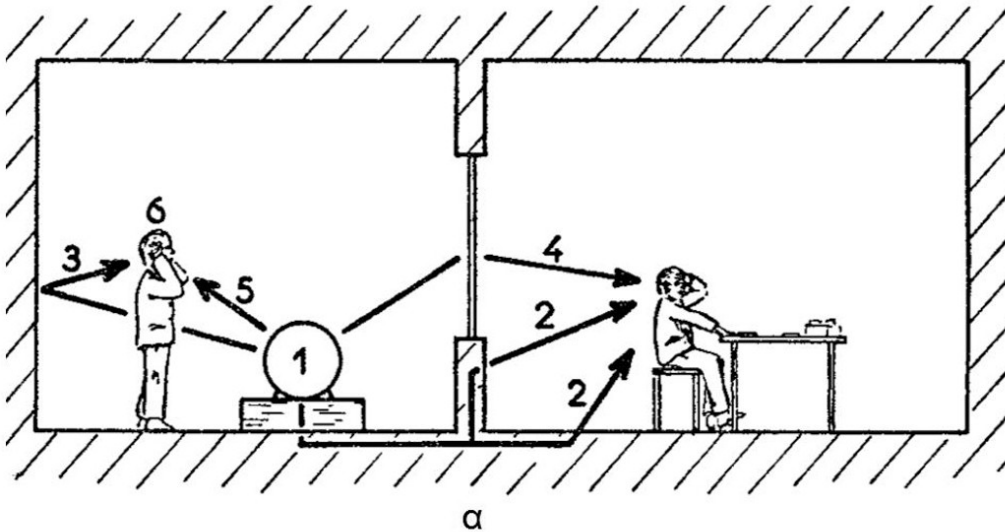
Κάνοντας τη μετατροπή των μονάδων μέτρησης από dB σε Watt/m² η ανωτέρω σχέση μπορεί να αναπαρασταθεί ως :

$$I_x = \frac{10^{(L-120)/10}}{x^2}$$

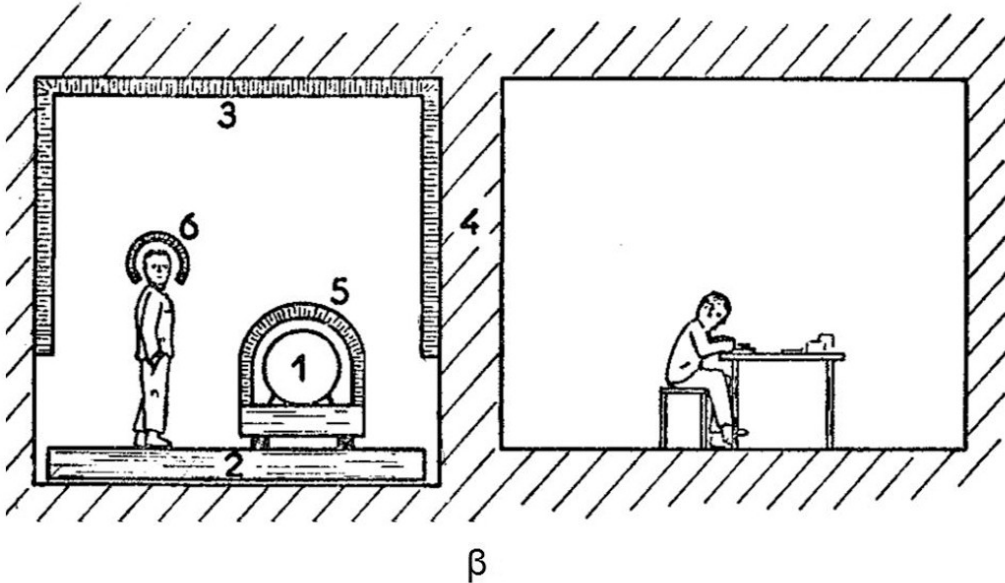
Εφόσον το σημείο μέτρησης (x) βρίσκεται σε αποστάσεις 7,07 m, 10 m και 11,18 m από τις τρεις μηχανές (M1, M2, M3), ο συνολικός θόρυβος θα είναι:

$$I = I_{\pi} + I_1 + I_2 + I_3 = 3,126 \cdot 10^{-6} \text{ Watt/m}^2 \quad \text{ή} \quad 85 \text{ dB.}$$

Διάδοση θορύβου και μέτρα μείωσής του



Οι τρόποι διάδοσης
του θορύβου



Τα κυριότερα μέτρα
καταπολέμησής του

Μέτρα πρόληψης & προστασίας θορύβου

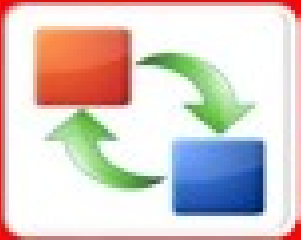


Αποφυγή έκλυσης θορύβου με την καλύτερη συντήρηση του εξοπλισμού

Μείωση θορύβου με την καλύτερη έδραση των μηχανημάτων

Μέθοδοι μείωσης των δονήσεων επιφανειών που προκαλούν θόρυβο

Μέθοδοι αποφυγής μετάδοσης των δονήσεων σε συνδεδεμένα μέρη



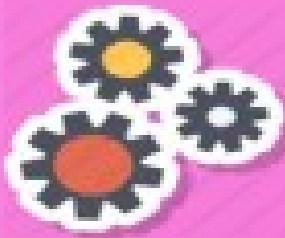
Αντικατάσταση παλαιών μηχανικών μερών με νεότερα

Αντικατάσταση εργαλείων που ενεργοποιούνται με πεπιεσμένο αέρα με ηλεκτρικά εργαλεία

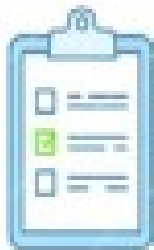
Αντικατάσταση μηχανικών μερών με άλλα που μειώνουν την συχνότητα θορύβου

Αντικατάσταση μεθόδου εργασίας για την έκλυση μικρότερου θορύβου

Μέτρα πρόληψης & προστασίας θορύβου



Εξασθενητές ήχου σε αγωγούς αερίων
Εγκλεισμός μηχανών με κατάλληλα καλύμματα
Χρήση ηχομονωτικών επιφανειών μεταξύ εξοπλισμού και χειριστών
Ηχομόνωση χώρων εργασίας



Προειδοποιητικά σήματα για χρήση ωτοασπίδων
Μείωση της έκθεσης σε θόρυβο με εναλλαγή χειριστών
Αύξηση των διαλειμμάτων εργασίας
Εκπαίδευση χειριστών για την προστασία από πηγές θορύβου



Χρήση καταλλήλων ωτοασπίδων
Σχεδιασμός ωτοασπίδων που επιτρέπουν την αντίληψη ήχων υψηλής συχνότητας (π.χ. προειδοποιητικοί ήχοι)

Σχέση περιοδικότητας κίνησης και συχνότητας θορύβου

Ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο που παράγει θόρυβο δίνει συχνότητες εξαρτώμενες από το χρόνο επαναλήψεων.

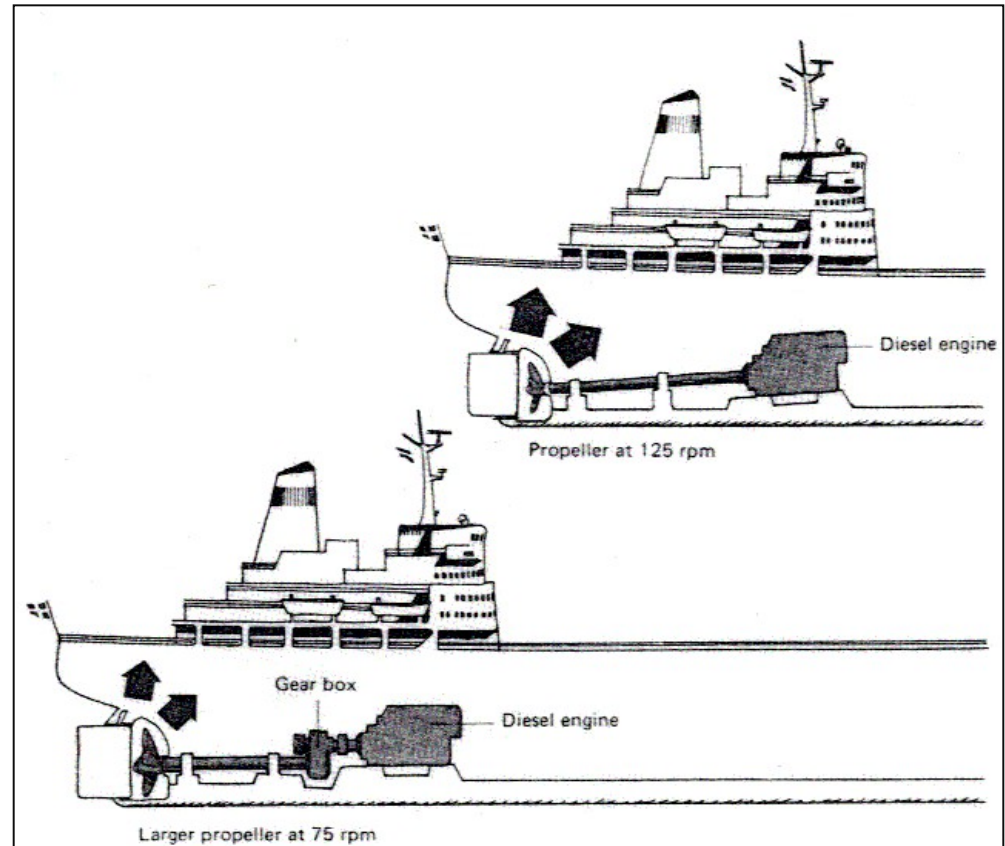
Τα αργά επαναλαμβανόμενα φαινόμενα παράγουν χαμηλές συχνότητες ενώ τα γρήγορα φαινόμενα δίνουν υψηλές.

Αν δυο γρανάζια έχουν το ίδιο μέγεθος αλλά το ένα από αυτά έχει τις διπλάσιες οδοντώσεις τότε θα έχει και διπλάσιες επαφές ανά sec - άρα θα παράγεται θόρυβος με διπλάσια συχνότητα

Κοντά στην πηγή οι θόρυβοι υψηλής συχνότητας θόρυβοι ενοχλούν περισσότερο απ' ότι οι χαμηλής συχνότητας

Παράδειγμα : Η έλικα ενός πλοίου περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο κινητήρας (125 στροφές ανά λεπτό) και είναι η πηγή που παράγει τον περισσότερο θόρυβο στο πλοίο.

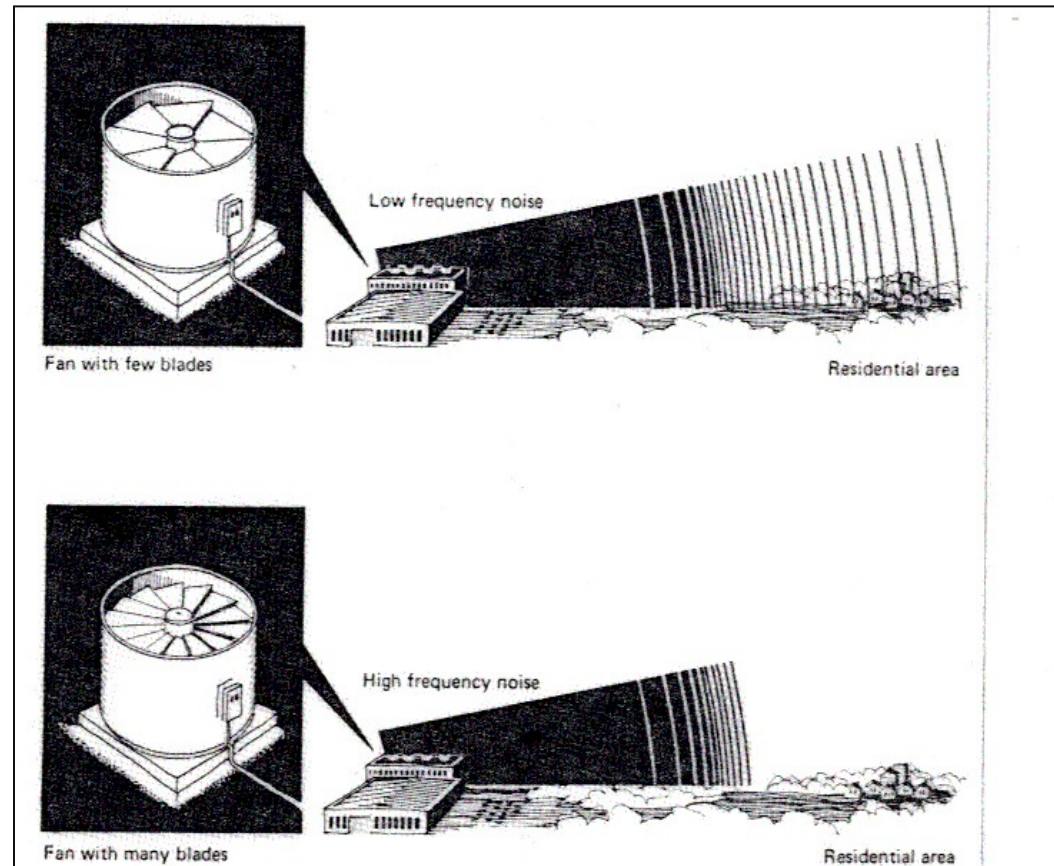
Επίλυση: Η χρήση ενός σχεδιασμού με μεγαλύτερη έλικα που οδηγείται μέσα από ένα κιβώτιο ταχυτήτων σε χαμηλότερη ταχύτητα (75 στροφές ανά λεπτό) και έτσι μειώνονται οι κυρίαρχες συχνότητες και συνεπώς η ενόχληση που προκαλείται.



Μακριά απ' την πηγή, οι υψηλής συχνότητας θόρυβοι ενοχλούν λιγότερο απ' ότι οι χαμηλής συχνότητας θόρυβοι

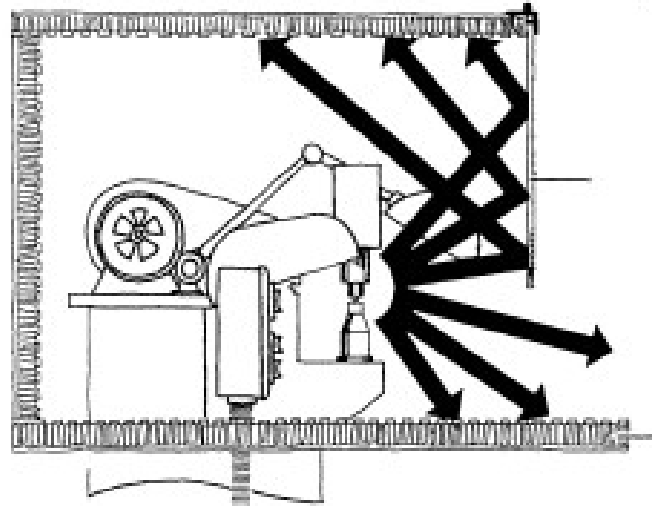
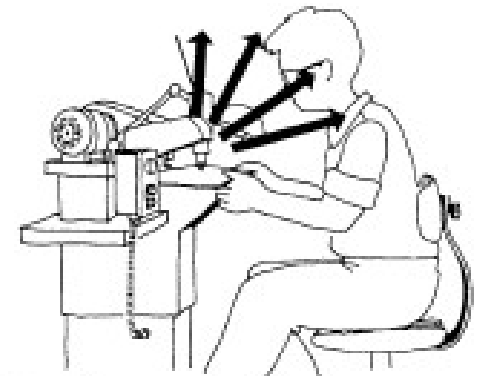
Παράδειγμα : Οι θόρυβοι χαμηλής συχνότητας που παράγονται από ανεμιστήρες είναι ενοχλητικοί για τις κατοικημένες περιοχές που βρίσκονται σε μακρινές αποστάσεις.

Επίλυση: Οι ανεμιστήρες μπορούν να αντικατασταθούν με ένα τύπο με περισσότερες λεπίδες που μετατοπίζουν τις κυρίαρχες πηγές θορύβου σε υψηλότερες συχνότητες. Αυτές συχνότητες απορροφούνται επαρκώς από τη ατμόσφαιρα και έτσι δεν προκαλούν ενοχληση



Ο ήχος υψηλής συχνότητας είναι κατευθυντήριος και αντανακλάται εύκολα

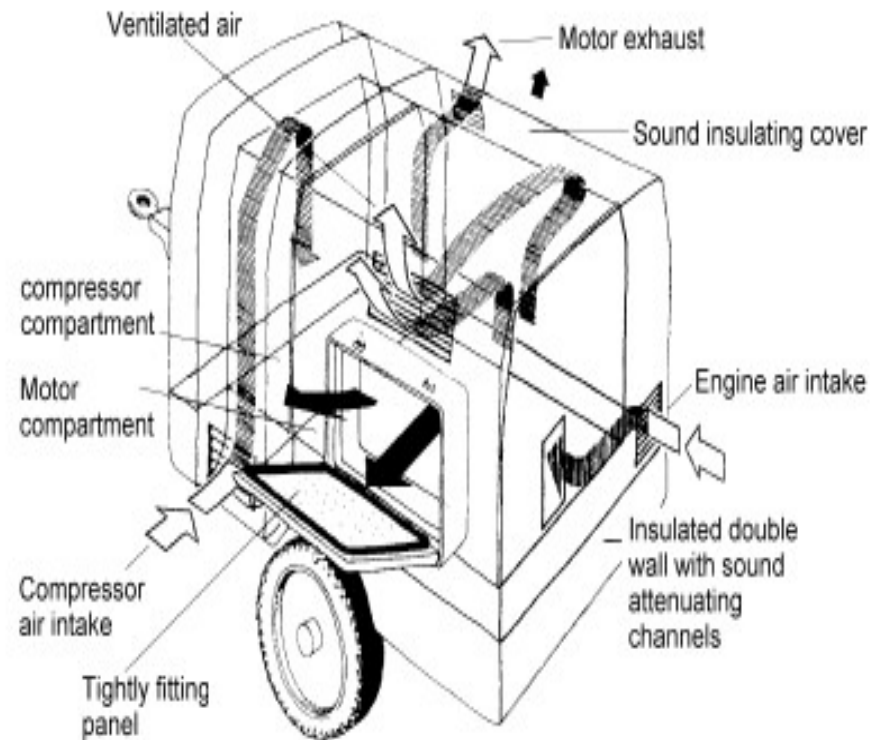
Ο θόρυβος από διάτρηση - σφυροκόπημα ή άλλες μορφές συγκρούσεις διακρίνεται από υψηλές συχνότητες. Μία τοπική περίφραξη γύρω από την πηγή θορύβου με άνοιγμα για τη λειτουργία προστατεύει την ακοή του εργαζόμενου από τον άμεσο ήχο της μηχανής. Οι ανακλάσεις και ο άμεσος ήχος απορροφούνται από την ήχο-απορροφητική επένδυση. Η μικρή ανοιχτή περιοχή κατά τη λειτουργία της μηχανής εκπέμπει ήχο που δεν απειλεί τον εργαζόμενο.



Ο ήχος χαμηλής συχνότητας μεταδίδεται ομοίως προς όλες τις κατευθύνσεις

Οι συμπιεστές παράγουν υψηλά επίπεδα θορύβου με χαμηλή συχνότητα. Επίσης τα μισανοιγμένα καπάκια για τον αέρα ψύξης του κινητήρα δεν βοηθάνε κατά του θορύβου. Έτσι ο θόρυβος εύκολα αντανακλάται μέσω των κενών.

Πρόταση Πρέπει τα καλύμματα να είναι καλώς σφραγισμένα ώστε να αποκλείουν διαρροές αέρα και θορύβου. Μπορούν επίσης να κατασκευαστούν με δίπλα τοιχώματα λειτουργώντας ως αγωγοί με ηχο-απορροφητικές επενδύσεις. Επίσης ο σιγαστήρας της εξάτμισης είναι και αυτός περιφραγμένος. Όλες οι καταπακτές επιθεώρησης και εισόδου πρέπει να είναι εφαρμόζουν καλά και να είναι σφικτά σφραγισμένες.



Θόρυβος προκαλείται από αλλαγές στην πίεση, στη δύναμη και στην ταχύτητα

Σε πολλές περιπτώσεις το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί είτε με ισχυρή δύναμη για μικρό που χρονικό διάστημα είτε με λίγη δύναμη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο πρώτος τρόπος προκαλεί υψηλά επίπεδα θορύβου ενώ ο δεύτερος παράγει πολύ χαμηλότερα επίπεδα θορύβου.

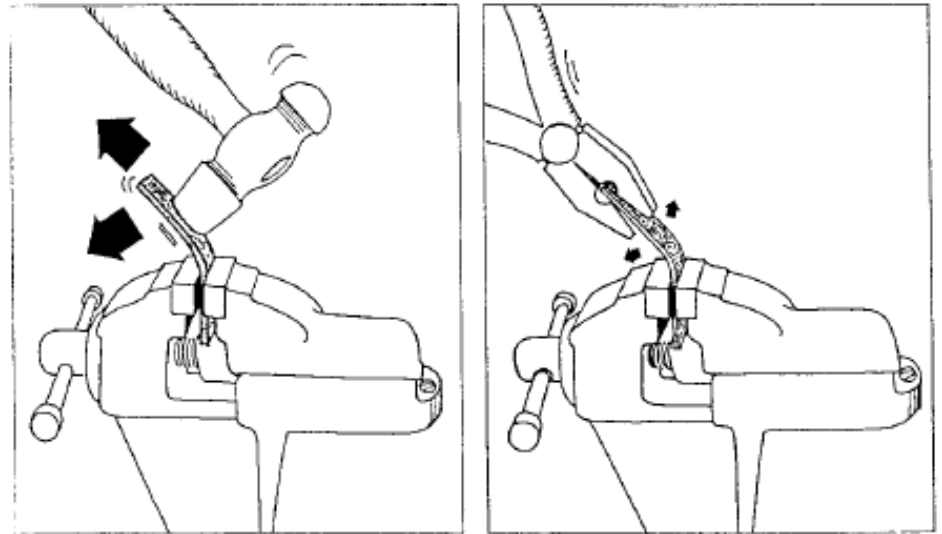


Figure 10.3. Example of bending instead of hammering (ASF, 1977)

Θόρυβος προκαλείται από αλλαγές στην πίεση, στη δύναμη και στην ταχύτητα

Τα παραδοσιακά κομπρεσέρ ήταν πεπιεσμένου αέρα και χρήσης χειρός. Έτσι παράγονται υψηλά επίπεδα θορύβου από τη λειτουργία του εργαλείου και από την εξαέρωση του αέρα. Τέλος ο χρήστης εκτίθεται σε υψηλά επίπεδα θορύβου και δονήσεις.

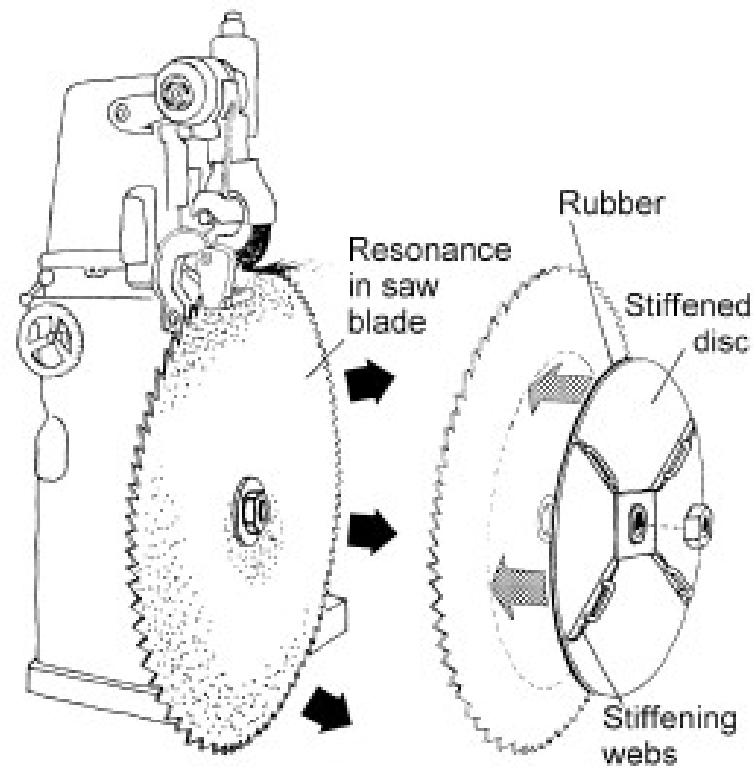
Χρησιμοποιώντας υδραυλικό έμβολο τοποθετημένο σε εκσκαφέα μπορούμε να δουλεύουμε σε υψηλές στατικές δυνάμεις και δονήσεις. Έτσι η οδόστρωση σπάει και μαζεύεται από τον εκσκαφέα. Τα επίπεδα θορύβου είναι χαμηλότερα και ο χρήστης είναι μακριά.



Ο συντονισμός ενισχύει τα επίπεδα θορύβου

Μια κυκλική λεπίδα πριονιού σε ένα μηχάνημα ακονίσματος δημιουργεί υψηλά επίπεδα θορύβου λόγω συντονισμού και μικρής εσωτερικής απόσβεσης.

Ένας δίσκος ελαστικού αποσβεστικού υλικού που προσδένεται στην λεπίδα με τη χρήση ενός άλλου δύσκαμπτου δίσκου κατά την διαδικασία του ακονίσματος, είναι δυνατόν να προσδώσει μεγαλύτερη μάζα και απόσβεση στο δίσκο, μειώνοντας τον συντονισμό.



Μετάδοση ήχου σε στερεές επιφάνειες

Οι δονησεις και τα τραντάγματα ενός ανελκυστήρα μπορούν να ακουστούν σε όλη την περιοχή του κτηρίου.

Ο ήχος μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς απόσβεση από τα τσιμεντένια πλαίσια.

Τα εν λειτουργία μηχανήματα πρέπει να απομονωθούν πλήρως από την κατασκευή με την χρήση ελατηρίων στήριξης

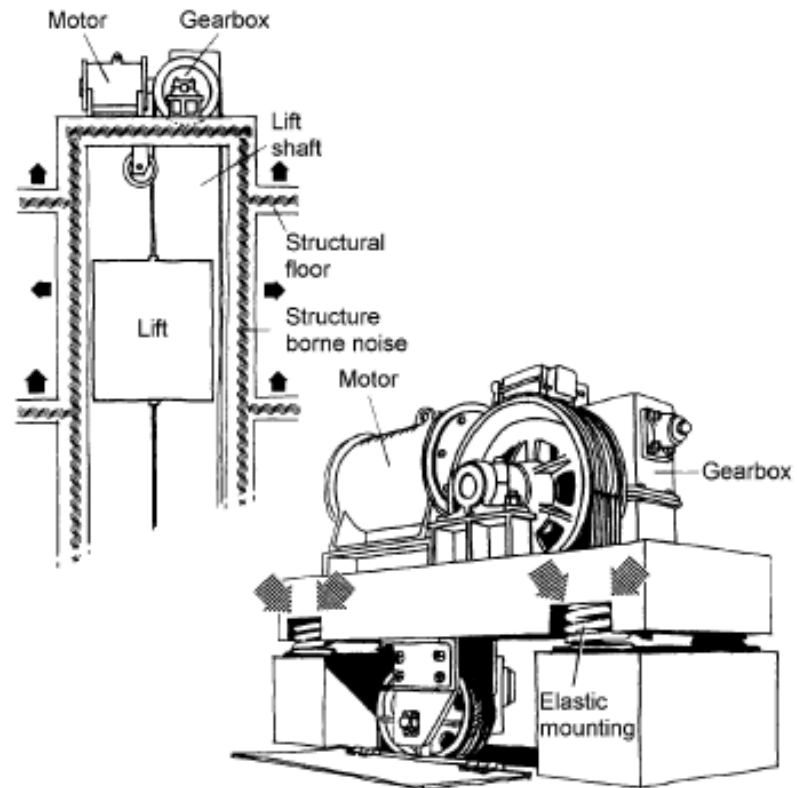
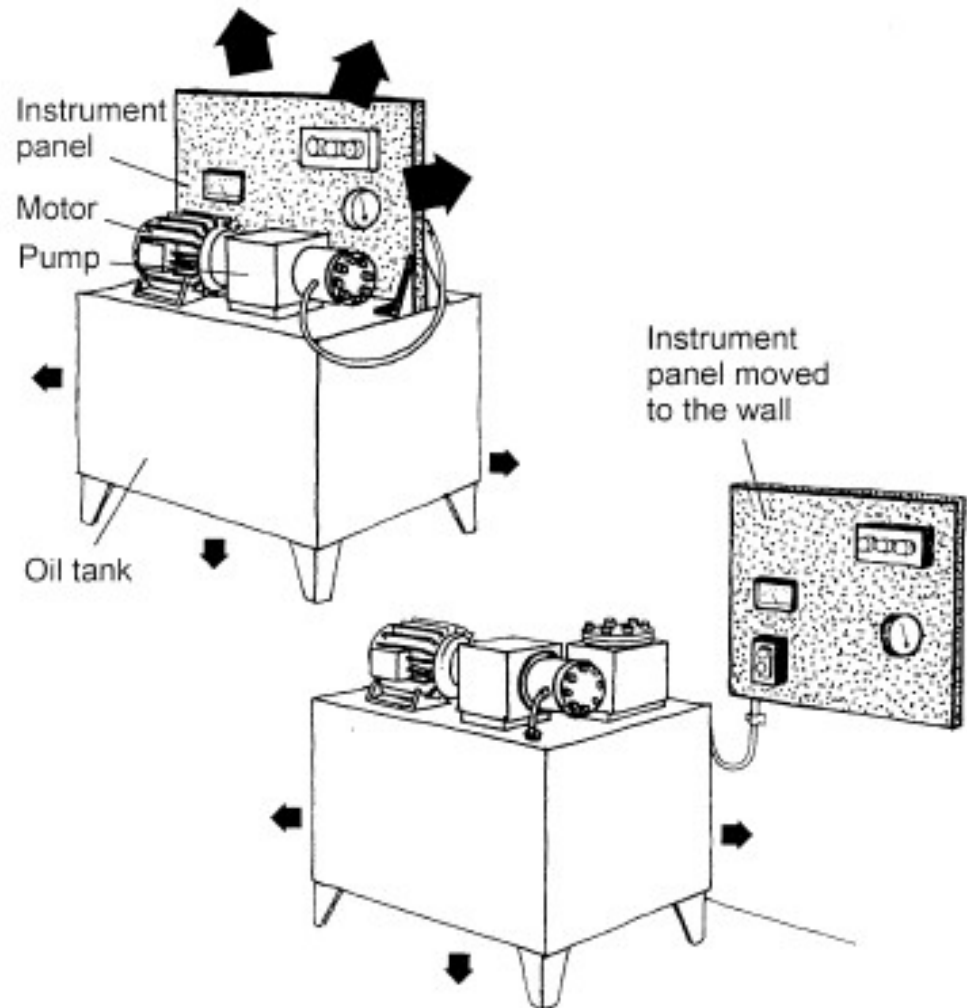


Figure 10.12. Vibration isolation of a lift to minimise lift noise transmitted throughout a building structure and then into occupied spaces (ASF, 1977).

Τα μεγάλα αντικείμενα που δονούνται παράγουν μεγαλύτερο θόρυβο - (απομόνωση)

Ένα υδραυλικό σύστημα εφοδιασμού βρέθηκε να κάνει πολύ θόρυβο. Ως κύρια πηγή θορύβου εντοπίστηκε όμως να είναι το πάνελ των ενδείξεων το οποίο δονούταν λόγω της μηχανής. Η απομάκρυνση του πάνελ των ενδείξεων από την μηχανή αποσύνδεσε την πηγή των δονήσεων από την πηγή του ήχου και μείωσε τα επίπεδα έντασης του τελευταίου.



Τα μεγάλα αντικείμενα που δονούνται παράγουν μεγαλύτερο θόρυβο - (τρόπος σύνδεσης)

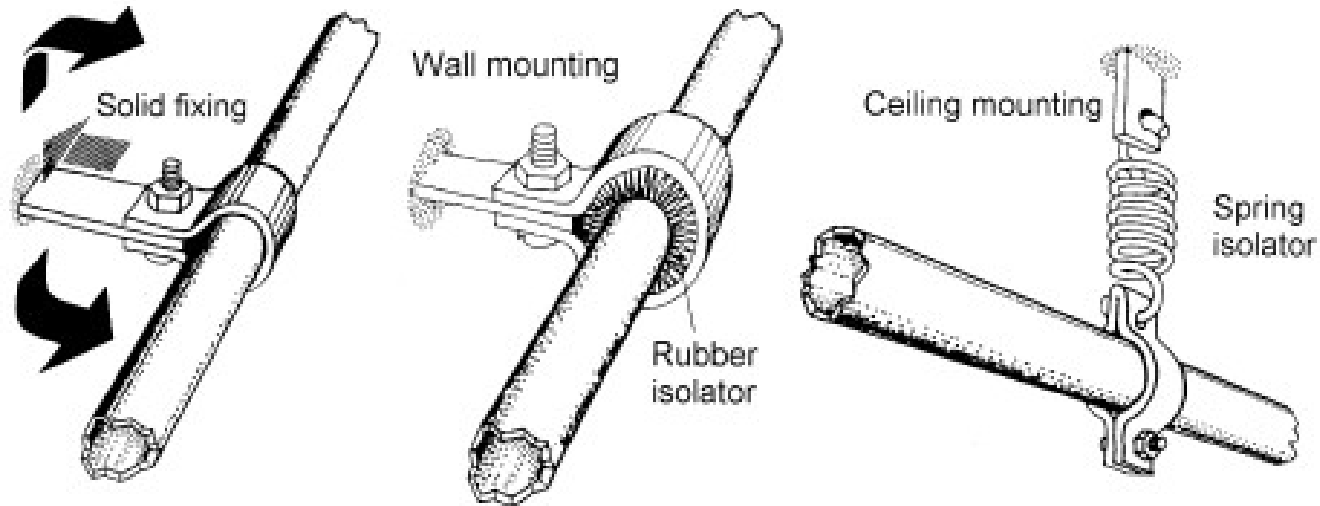


Figure 10.11. Reduction of vibration transmission from piping systems (ASF, 1977).

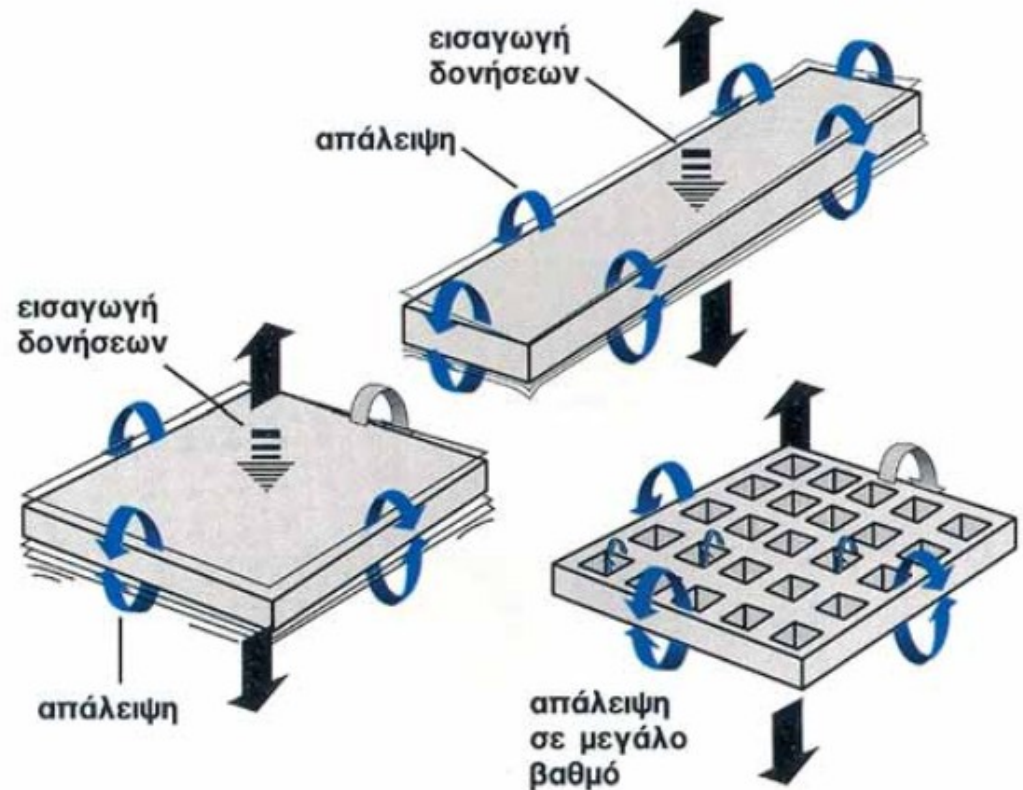
Η δόνηση από μια αντλία κυκλοφορίας δεν έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει μεγάλο θόρυβο διότι εκτείνεται σε μικρή επιφάνεια. Απεναντίας, το στερέωμα του σωλήνα σε ένα τοίχο ή ένα πλαίσιο δίνει στη δόνηση τη δυνατότητα να καταλάβει μεγάλη επιφάνεια και έτσι να δημιουργήσει υψηλά επίπεδα θορύβου.

Οι σωληνώσεις πρέπει να τοποθετηθούν και να μονωθούν κατάλληλα από τον τοίχο ή τα πλαίσια έτσι ώστε να μη δονούνται. Αυτό μπορεί να γίνει με την χρήση διάφορων τύπων μονωτών όπως ελατήρια, ελαστικές λωρίδες, και ελαστικές ροδέλες.

Αντικατάσταση μεγάλων δονούμενων επιφανειών από διάτρητες ή μικρότερες επιφάνειες

Ένα απλό πλαίσιο μεταδίδει θόρυβο μέσω όλης της επιφάνειας του καθώς υπάρχουν μόνο τέσσερις πλευρές κατά μήκος των οποίων η πίεση του ήχου μπορεί να ακυρωθεί μερικώς από την πίεση της απέναντι πλευράς.

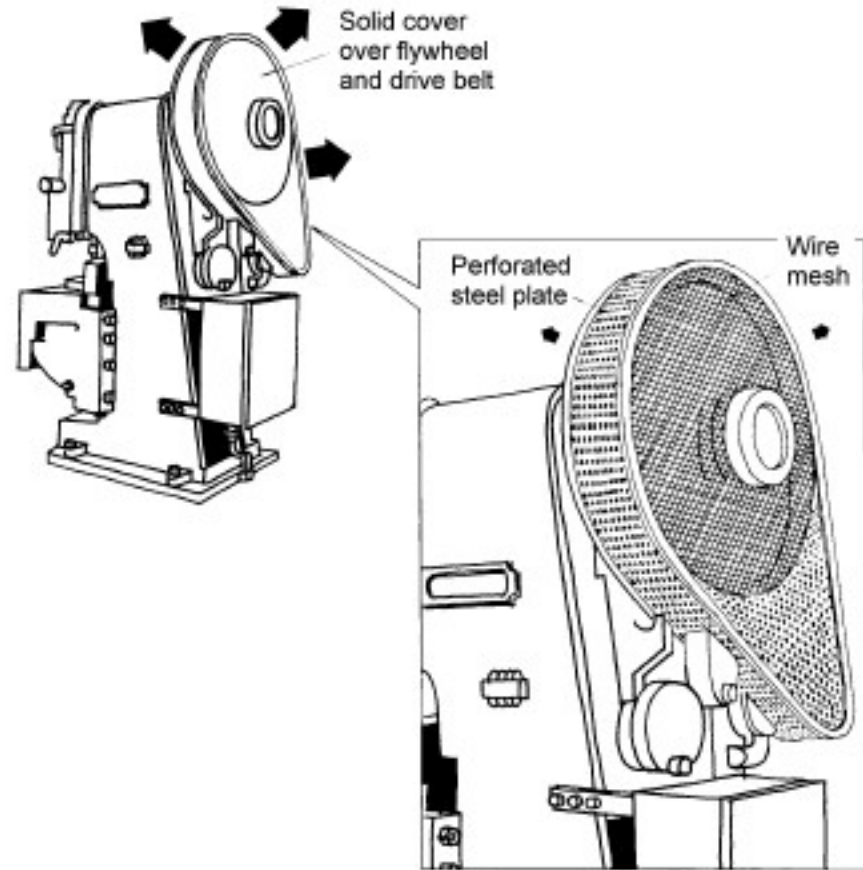
Αν το πλαίσιο είναι διάτρητο, όχι μόνο υπάρχει λιγότερη επιφάνεια για να μεταδοθεί ο ήχος, αλλά υπάρχουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για να λάβει χώρα η εξίσωση της πίεσης. Έτσι τα επίπεδα του ήχου μειώνονται σημαντικά.



Αντικατάσταση μεγάλων δονούμενων επιφανειών από διάτρητες ή μικρότερες επιφάνειες

Το προστατευτικό κάλυμμα του τροχού ταχυτήτων και του ιμάντα μιας πρέσας διαδίδει αποδοτικά θόρυβο.

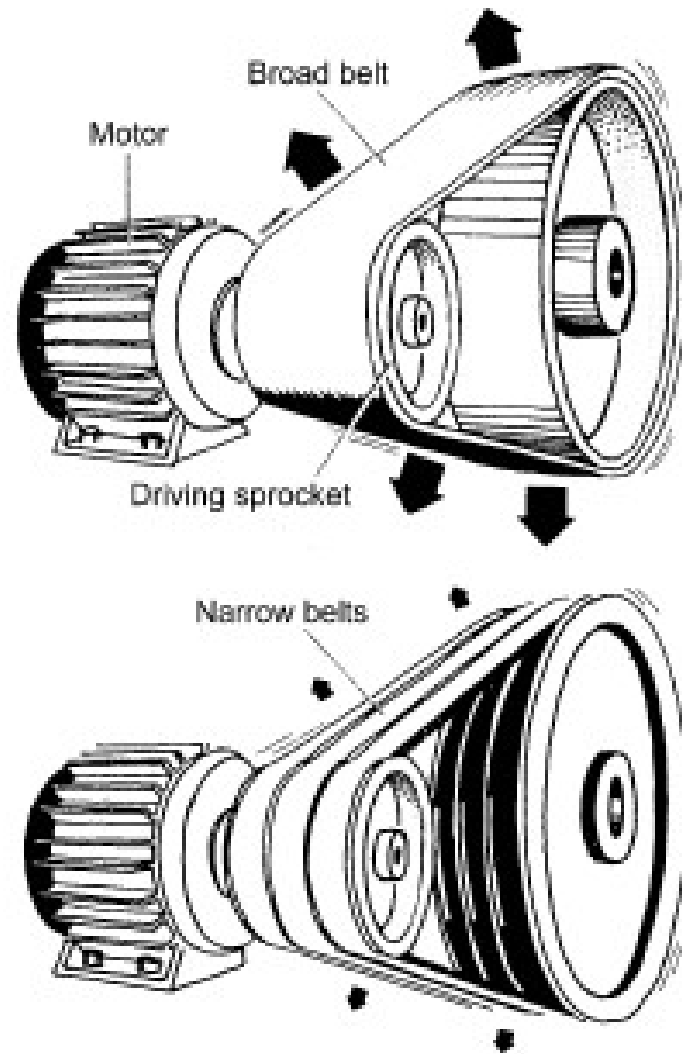
Η αντικατάσταση του καλύμματος με ένα άλλο από πλέγμα σύρματος μειώνει την διάδοση του θορύβου.



Αντικατάσταση μεγάλων δονούμενων επιφανειών από διάτρητες ή μικρότερες επιφάνειες

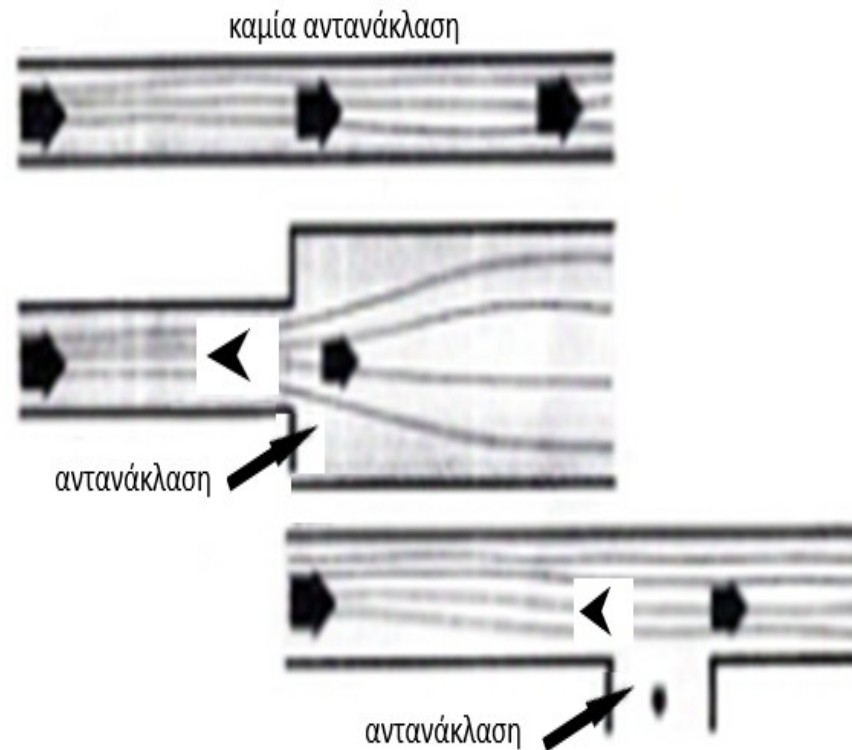
Η δόνηση πλατιών ιμάντων εργοστασιακών ζωνών κίνησης μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα θορύβου χαμηλής συχνότητας.

Η αντικατάσταση του μονού ιμάντα με ένα αριθμό στενότερων ιμάντων με κενά μεταξύ τους, αυξάνει την ικανή ποσότητα ακύρωσης του θορύβου μεταξύ της πάνω και κάτω επιφάνειας του, και μεταξύ αυτού και του επομένου του. Έτσι το επίπεδο του θορύβου μειώνεται.



Θόρυβοι σε αγωγούς

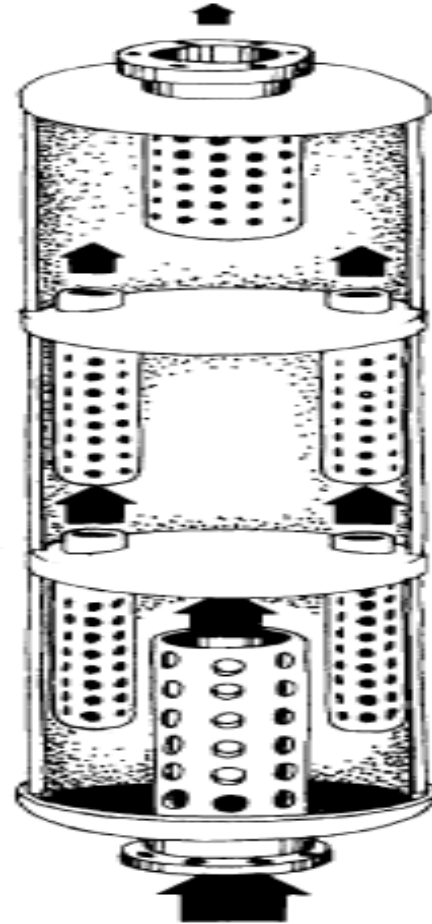
Οι αλλαγές σε αγωγούς μπορούν να μειώσουν τη μετάδοση θορύβου. Σε όλες τις μεταβολές κατά μήκος της διαδρομής κίνησης ενός υγρού, ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας ανακλάται πίσω στην πηγή. Σε έναν αγωγό, η αλλαγή αυτή μπορεί να είναι το σχήμα ή η περιοχή της εγκάρσιας διατομής, οι στροφές, και οι διακλαδώσεις. Το γεγονός αυτό, μπορεί συχνά να αξιοποιηθεί κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος αγωγού για να επιτευχθεί ένα επιθυμητό επίπεδο εξασθένησης. Η εξασθένηση που λαμβάνονται με αυτόν τον τρόπο ονομάζεται αντιδραστική.



Θόρυβοι σε αγωγούς - Απορροφητικοί εξασθενητές

Απορροφητικοί εξασθενητές είναι εύκολοι να σχεδιαστούν και να παραχθούν, και είναι κατάλληλοι για την μείωση του θορύβου σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Ωστόσο, το απορροφητικό υλικό μπορεί εύκολα να καλυφθεί με κατάλοιπα και αποθέσεις άνθρακα. Επίσης η απορρόφηση εύφλεκτων υλικών μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο ανάφλεξης.

Ένας βαθμωτός εξασθενητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το πιστώνη ενός κινητήρα. Εξασθενίζει τον ήχο σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και είναι λιγότερο ευαίσθητος σε αποθέματα υλικών.

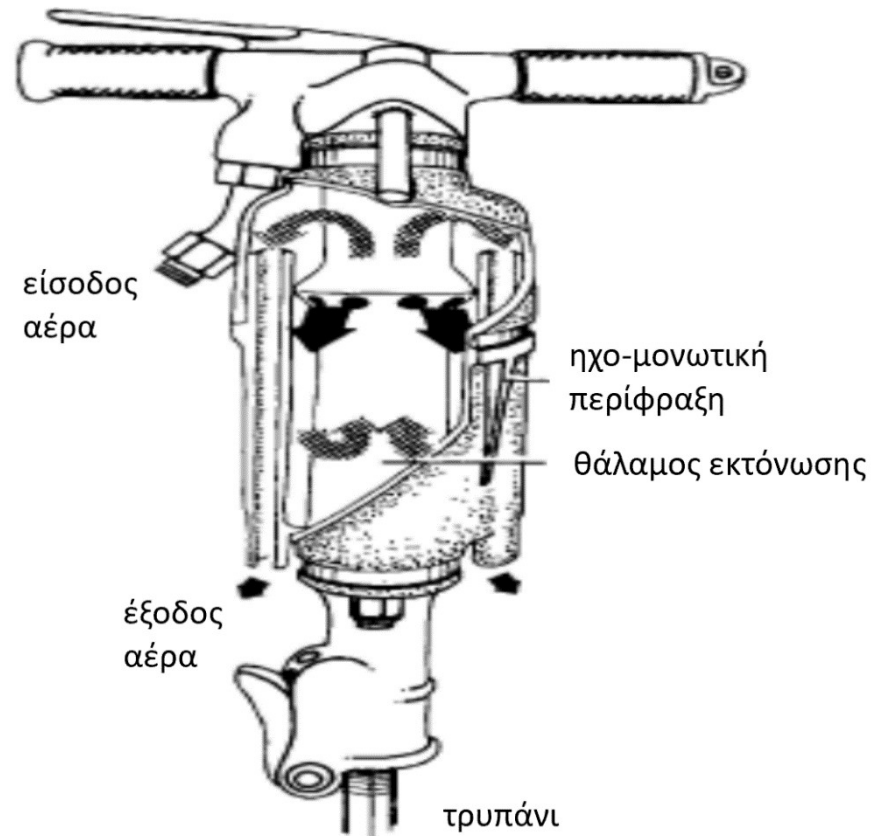


Θόρυβοι σε αγωγούς

Η εξάτμιση ενός τρυπανιού που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα παράγει θόρυβο υψηλής και χαμηλής συχνότητας.

Με την περίκλειση του σώματος του τρυπανιού μέσω ενός καλύμματος που λειτουργεί ως θάλαμος διόγκωσης για τις χαμηλές συχνότητες, και ως πάνελ ανάκλασης του ήχου για τις υψηλές, τα επίπεδα του θορύβου μειώνονται σημαντικά.

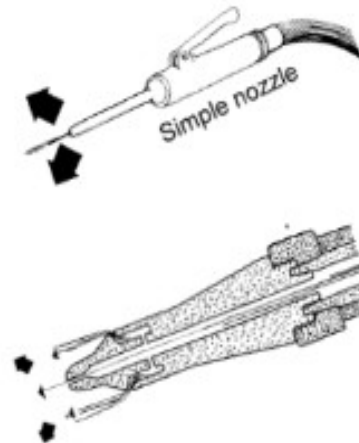
Επειδή η ενέργεια του παλμού εξαπλώνεται ομαλότερα σε μεγαλύτερο χρόνο εντός του καλύμματος, ο θόρυβος μειώνεται επίσης και με αυτό τον τρόπο.



Θόρυβοι σε αγωγούς

Για παράδειγμα, ο καθαρισμός των εξαρτημάτων μηχανημάτων μέσω πεπιεσμένου αέρα για την απομάκρυνση γρεζιών και ακαθαρσιών συνήθως πραγματοποιείται με την χρήση μονού πίδακα από ένα απλό ακροφύσιο.

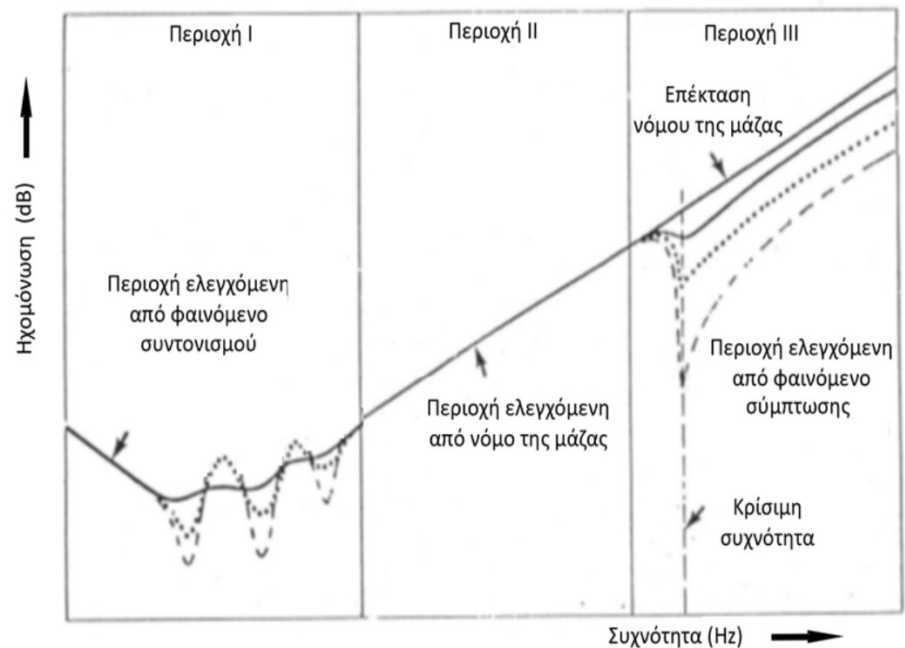
Η υψηλή ταχύτητα της ροής του αέρα που είναι απαραίτητη δημιουργεί απαράδεκτο θόρυβο υψηλής συχνότητας. Το απλό ακροφύσιο μπορεί να αντικατασταθεί με ένα άλλον πιο σύνθετο το οποίο δημιουργεί μια δακτυλιοειδή ροή αέρα περιφερειακά της κύριας ροής. Έτσι, η μετάβαση από την κεντρική ροή αέρα στον ακίνητο αέρα είναι πολύ λιγότερο ξαφνική και το επίπεδο του θορύβου μειώνεται σημαντικά.



Ηχομόνωση σε απλό πάνελ

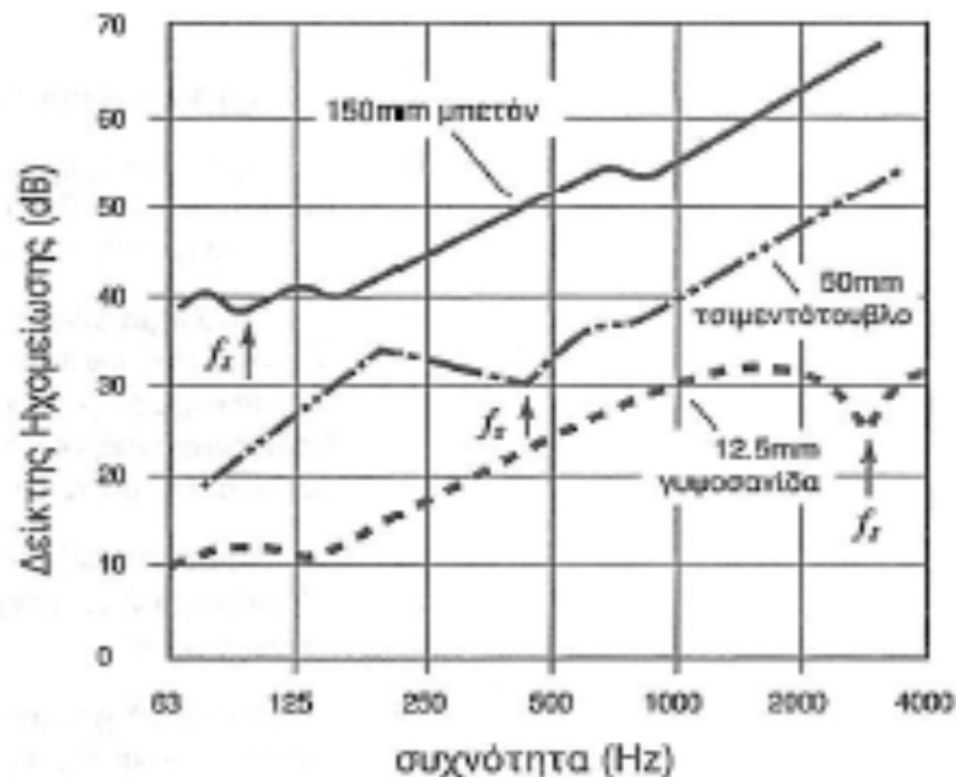
Στην περιοχή χαμηλών συχνοτήτων (I) η ηχομόνωση εξαρτάται από τη σκληρότητα/ακαμψία του υλικού του πάνελ. Εδώ συμβαίνει το φαινόμενο συντονισμού όπου ηχητικά κύματα προσπίπτουν πάνω στο πάνελ με συχνότητα ίδια με την 'ιδιοσυχνότητα' του πάνελ με αποτέλεσμα αυτό να εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση πράγμα που μειώνει την ηχομονωτική του ικανότητα.

Στην περιοχή (III) έχουμε μια μεγάλη μείωση του δείκτη ηχομόνωσης λόγω του 'φαινομένου της σύμπτωσης' (coincidence) όπου το μήκος κύματος του προσπίπτοντος ηχητικού κύματος στο πάνελ είναι ίσο με το μήκος του κύματος που αναπτύσσεται στο πάνελ λόγω κάμψης



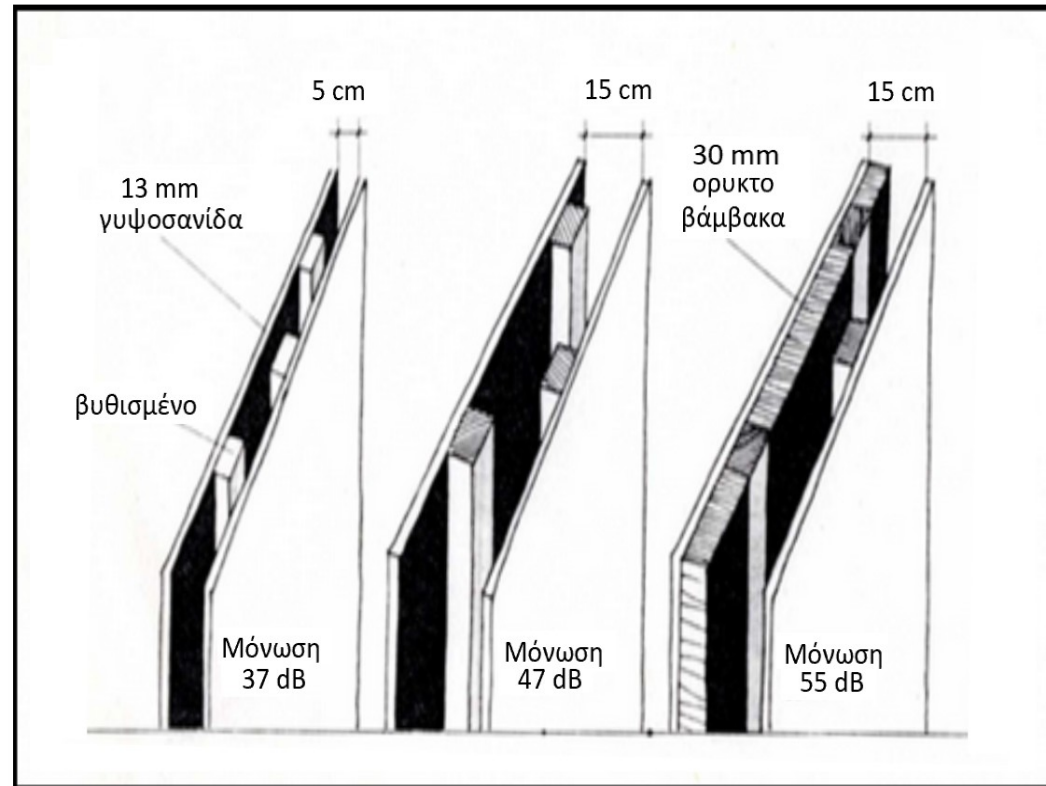
Δείκτες ηχομόνωσης μονών πάνελ

Το πρώτο χώρισμα είναι μια λεπτή πλάκα γυψοσανίδας με κρίσιμη συχνότητα περίπου 2600 Hz. Η δεύτερη περίπτωση αφορά βαρύ, άκαμπτο χώρισμα από μπετόν με κρίσιμη συχνότητα 80 Hz. Τέλος, το τρίτο χώρισμα από τσιμεντοτοούβλα παρουσιάζει κρίσιμη συχνότητα στα 300 Hz. Σε γενικές γραμμές, το χώρισμα θα πρέπει να έχει κρίσιμη συχνότητα εκτός της περιοχής 300 Hz - 3000 Hz που αφορά στις περισσότερες εφαρμογές



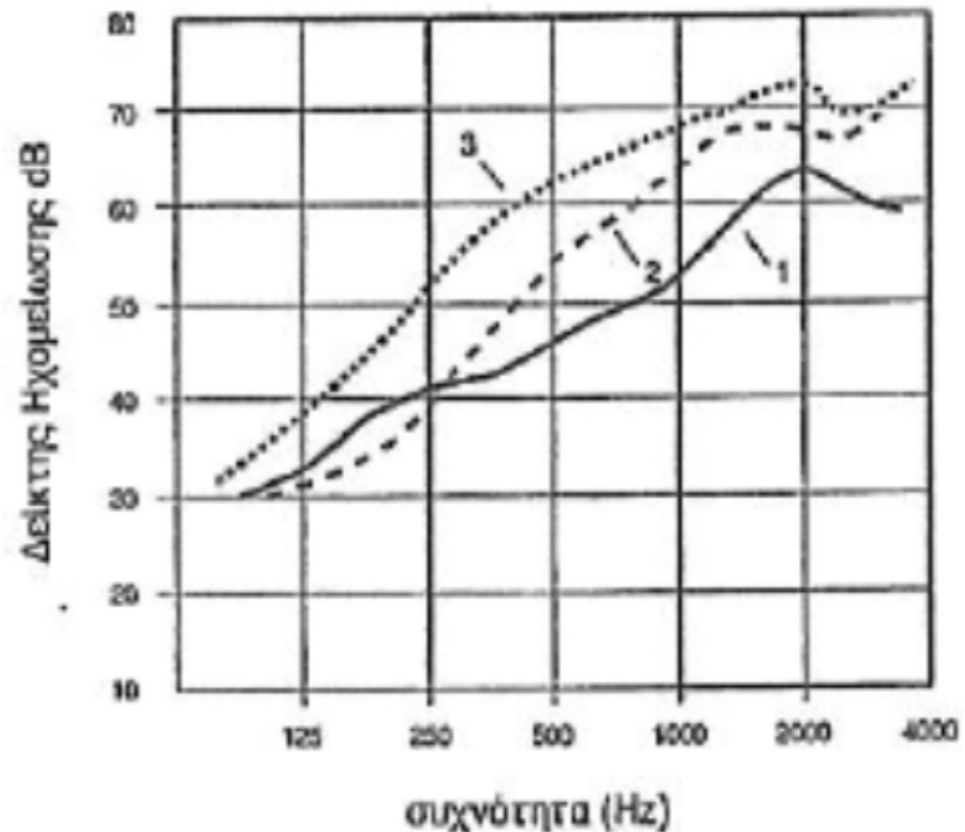
Δείκτες ηχομόνωσης διπλών πάνελ

Δυο ελαφριά πάνελ/διαμερίσματα ανάμεσα στα οποία υπάρχει κενό αέρος, δίνουν καλύτερη μόνωση η οποία αυξάνεται όσο αυξάνεται το κενό αέρος. Εάν τοποθετηθεί ένα απορροφητικό υλικό στο κενό, τότε η μόνωση αυξάνεται ακόμα περισσότερο. Η καλύτερη δυνατή μόνωση επιτυγχάνεται εφόσον τα δυο πάνελ είναι τελείως αποσυνδεδεμένα μεταξύ τους, τοποθετημένα σε ξεχωριστά πλαίσια. Πρακτικά η μόνωση που επιτυγχάνεται με δύο πάνελ ισοδυναμεί με τη μόνωση ενός πάνελ που ζυγίζει 5 ή 10 φορές περισσότερο



Περίπτωση Βελτίωσης ηχομόνωσης

Η βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση ενός δεύτερου πάνελ σε απόσταση από το πρώτο. Πρέπει το δεύτερο πάνελ να είναι εύκαμπτο (ώστε η κρίσιμη συχνότητα να είναι μεγάλη) και να έχει μεγάλη απόσβεση. Εδώ φαίνεται ότι η ηχομόνωση μιας τοιχοποιίας 15 cm (με επιφανειακή μάζα 200 kg/m^2) (περίπτωση 1) είναι δυνατόν να βελτιωθεί με τη τοποθέτηση μιας γυψοσανίδας (1,4 cm) σε απόσταση 6 cm, χωρίς ηχοαπορροφητικό υλικό στο διάκενο (περίπτωση 2). Τέλος, η τοποθέτηση ενδιάμεσου ηχοαπορροφητικού υλικού (περίπτωση 3) φαίνεται ότι μπορεί να αυξήσει σημαντικά την τελική ηχομόνωση του διπλού πάνελ



Βελτίωση μόνωσης πάνελ (1) με προσθήκη γυψοσανίδας (2) και ηχοαπορροφητικού υλικού στο διάκενο (3)