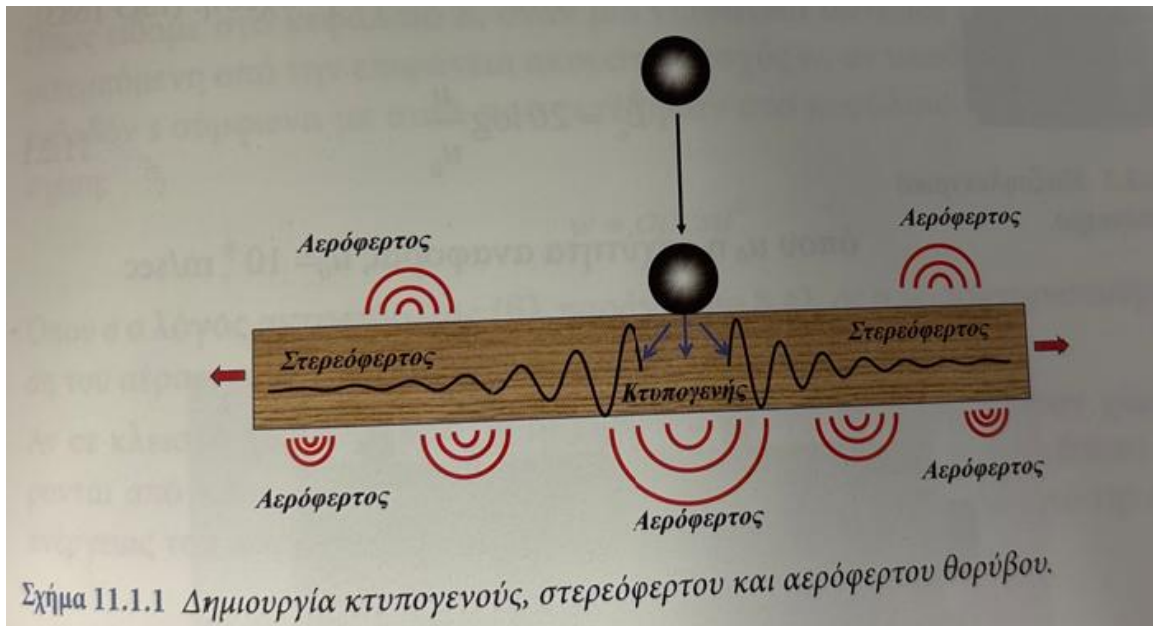


## Contents

|  |    |
|--|----|
| Τι είναι ο Κτυπογενής Θόρυβος.....                           | 1  |
| Χαρακτηριστικά του κτυπογενή θορύβου.....                    | 2  |
| Μέτρηση Κτυπογενή Θορύβου.....                               | 5  |
| Με τι μετράμε (ISO 1683).....                                | 5  |
| Πρότυπη Κτυπογεννήτρια.....                                  | 5  |
| Εκπομπή Κτυπογενή Θορύβου από Επιφάνειες.....                | 6  |
| Τρόποι Μείωσης Κτυπογενή Θορύβου.....                        | 8  |
| Μείωση από Αλλαγή Διατομής.....                              | 8  |
| Μείωση από Γωνίες (ασυνέχειες).....                          | 9  |
| Μείωση από Αλλαγή Υλικού.....                                | 10 |
| Μόνωση Ταλαντώσεων – Θεμελιώδης Φυσική.....                  | 10 |
| Συστήματα χωρίς Απόσβεση.....                                | 10 |
| Συστήματα με Απόσβεση.....                                   | 11 |
| Ευσκινησία (Mobility).....                                   | 12 |
| Μόνωση Μηχανών.....  | 12 |
| Α) Μόνωση με Προσθήκη Μάζας (Mass Loading).....              | 12 |
| Β) Αντικραδαστική Έδραση με Ελατήρια (Spring Isolation)..... | 13 |
| Πρακτικά.....  | 15 |
| 1. Κτυπογενής ≠ Αερόφερτος Θόρυβος.....                      | 15 |
| 2. Τοποθέτηση Κτυπογεννήτριας σε δοκιμή.....                 | 15 |
| 3. Αποφυγή άκαμπτων συνδέσεων.....                           | 15 |
| 4. Floating floors.....                                      | 15 |
| 5. Επιπλέον μέτρα.....                                       | 16 |

## Τι είναι ο Κτυπογενής Θόρυβος

Ο κτυπογενής θόρυβος παράγεται όταν **αντικείμενα χτυπούν ή ασκούν δυνάμεις** σε μία συμπαγή επιφάνεια, η οποία αρχίζει να ταλαντώνεται.



Οι ταλαντώσεις αυτές μεταδίδονται:

- **Μέσα στο υλικό** → στερεόφερτος θόρυβος
- **Από την επιφάνεια στον αέρα** → αερόφερτος θόρυβος

Συνήθως είναι **χαμηλών συχνοτήτων**, άρα δύσκολα αποσβένεται.

**Παράγοντες που επηρεάζουν τον κτυπογενή θόρυβο:**

- Το μέγεθος και η φύση της μηχανικής διέγερσης
- Το φάσμα της
- Η απόσταση μεταξύ πηγής και παρατηρητή
- Η δομή του δαπέδου
- Η γενικότερη γεωμετρία διάδοσης

**Σημαντικό:**

Η βέλτιστη μείωση επιτυγχάνεται όταν μειώνουμε την ταχύτητα ταλάντωσης της πλάκας, δηλαδή **κόβουμε την ενέργεια πριν διαδοθεί.**

## Χαρακτηριστικά του κτυπογενή θορύβου

**1. Έχει μεγάλη ενέργεια σε χαμηλές συχνότητες (<200 Hz)**

Ο κτυπογενής θόρυβος, επειδή προέρχεται από *άμεση μηχανική κρούση* (βήματα, πτώσεις αντικειμένων, χτυπήματα), δημιουργεί αρχικά **παλμική διέγερση**. Ένας παλμός στο χρόνο έχει *πολύ πλατύ φάσμα*, αλλά στην πράξη η δομή (πλάκα, δάπεδο, ξύλινη κατασκευή) δεν μπορεί να πάλλεται αποτελεσματικά στις πολύ υψηλές συχνότητες.

Λόγω φυσικών ιδιοτήτων των πλακών:

- Όσο χαμηλότερη η συχνότητα → τόσο μεγαλύτερο το μήκος κύματος κάμψης.
- Οι μεγάλες πλάκες μπετόν έχουν **χαμηλές ιδιοσυχνότητες** και άρα «απαντούν» δυνατά σε χαμηλές συχνότητες.

Επομένως:

→ Το κτύπημα δημιουργεί **μηχανική ενέργεια που η πλάκα μετατρέπει κυρίως σε χαμηλοσυχνές ταλαντώσεις.**

Αυτό είναι κρίσιμο γιατί:

- Οι χαμηλές συχνότητες διαδίδονται πιο μακριά.
- Δύσκολα αποσβένονται.
- Δίνουν την αίσθηση «βαριάς» ενόχλησης, ακόμη κι αν η στάθμη δεν είναι πολύ υψηλή.

## **2. Διαδίδεται πολύ αποτελεσματικά σε άκαμπτες δομές (όπως μπετόν)**

Το μπετόν είναι:

- **πολύ άκαμπτο υλικό**
- έχει υψηλό μέτρο ελαστικότητας (E)
- μεταφέρει ενέργεια με πολύ μικρές απώλειες

Σε αντίθεση με μαλακότερα υλικά (ξύλο, γυψοσανίδα) που έχουν:

- μεγαλύτερη απόσβεση
- χαμηλότερη ακαμψία
- μεγαλύτερη εσωτερική τριβή

Επειδή το μπετόν είναι άκαμπτο:

- Τα κύματα κάμψης ταξιδεύουν μέσα στην πλάκα με **πολύ μικρή εξασθένηση**.
- Η ενέργεια φτάνει σε μακρινά σημεία του κτιρίου.
- Γι' αυτό οι ένοικοι συχνά ακούν *βουητά, χτυπήματα, σιγανές δονήσεις* σε άλλους ορόφους.

Άρα:

→ Όσο πιο άκαμπτη η δομή, τόσο πιο «αποτελεσματικός αγωγός» γίνεται για τον κτυπογενή θόρυβο.

### **3. Είναι δύσκολο να αποσβεστεί, αν δεν φροντίσουμε τη μηχανική αποσύζευξη και τη μείωση της ταχύτητας ταλάντωσης**

Η ενέργεια που παράγεται από κρούση **εισέρχεται κατευθείαν στην κατασκευή** ως μηχανικές ταλαντώσεις.

Άρα, για να μειώσουμε τον θόρυβο πρέπει:

1. **Να μειώσουμε την ταχύτητα ταλάντωσης  $u$  της πλάκας**
  - Μικρότερη ταχύτητα → μικρότερη ακουστική ισχύς που ακτινοβολείται.
2. **Να εφαρμόσουμε αποσύζευξη (decoupling)** ώστε η ενέργεια:
  - να μη μεταφέρεται απευθείας σε άλλες δομές
  - να περνά μέσα από υλικά υψηλής απόσβεσης ή χαμηλής ακαμψίας

Η αποσύζευξη (π.χ. floating floors) εισάγει:

- ελατηριώδη συμπεριφορά
- απόσβεση
- μείωση της ευκινησίας

Έτσι: Το σύστημα «κόβει» την ενέργεια πριν φτάσει στα θεμέλια ή στους τοίχους.

Οι μοκέτες και τα χαλιά μειώνουν αποτελεσματικά τις **καθημερινές κρούσεις** (βήματα, τακούνια, μικροχτυπήματα), επειδή περιορίζουν την αρχική μηχανική διέγερση που φτάνει στην πλάκα. Ωστόσο **δεν αποτελούν πλήρη λύση**, γιατί **δεν σταματούν τη χαμηλοσυχνή στερεόφερτη μετάδοση** μέσα από το μπετόν.

Αν υπάρξουν **χαμηλές συχνότητες** (μπάσα, δυνατή μουσική, δονήσεις), η πλάκα θα ταλαντωθεί κανονικά και ο θόρυβος θα μεταδοθεί, ανεξάρτητα από το αν υπάρχει χαλί. Επιπλέον, το χαλί είναι **προσωρινό μέτρο**: ο επόμενος ένοικος μπορεί να το αφαιρέσει (και δικαίωμά του), οπότε το πρόβλημα επανεμφανίζεται. Για πραγματική

αντιμετώπιση απαιτούνται **κατασκευαστικές λύσεις** (floating floor, αποσύζευξη, ελαστομερή).

## Μέτρηση Κτυπογενή Θορύβου

### Με τι μετράμε (ISO 1683)

- Χρησιμοποιούμε **επιταχυνσιόμετρο** για να μετρήσουμε την ταχύτητα ταλάντωσης  $u$ .
- Η **στάθμη ταχύτητας** ( $L_u$ ) δείχνει “πόσο δυνατά πάλλεται η κατασκευή”. Όσο **μεγαλύτερη** είναι, τόσο **περισσότερη ακουστική ενέργεια ακτινοβολεί το κτίριο**.

$$L_u = 20 \log \left( \frac{u}{u_0} \right), u_0 = 10^{-9} \text{ m/s}$$

### Παράμετροι

- $u$  = ταχύτητα ταλάντωσης της επιφάνειας (m/s)
- $u_0 = 10^{-9}$  m/s = ταχύτητα αναφοράς
- $L_u$  = στάθμη ταχύτητας (dB)

Μεγαλύτερη ταχύτητα → μεγαλύτερη ακουστική εκπομπή.

### Πρότυπη Κτυπογεννήτρια

- Αποτελείται από **πέντε κυλινδρικές σφύρες**, 0.5 kg η κάθε μία
- Πέφτουν από ύψος 40 cm
- Συχνότητα κρούσης: **10 Hz**

Μετράμε στο **δωμάτιο λήψης** τη στάθμη πίεσης  $L_p$ .



# Εκπομπή Κτυπογενή Θορύβου από Επιφάνειες

Μία επιφάνεια που δονείται με ταχύτητα  $u$  εκπέμπει ακουστική ισχύ:

$$w = \sigma \rho c S u^2$$

Όπου:

- $\sigma$ : λόγος ακτινοβολίας (0.1–1.1), αδιάστατη ποσότητα που εκφράζει το ποσοστό της ταλαντωμένης δομής που μετατρέπεται σε ακουστική ακτινοβολία.

## Ο λόγος ακτινοβολίας $\sigma$

- Περιγράφει πόσο αποτελεσματικά μια ταλαντούμενη επιφάνεια μετατρέπει τη μηχανική ταλάντωση σε ακουστική ακτινοβολία.
- Στην πράξη **λαμβάνεται από πίνακες** ανάλογα με το υλικό και τη συχνότητα.
- Η θεωρητική του εξαγωγή είναι πολύπλοκη (απαιτεί vibroacoustic μοντέλα).
- Εξαρτάται έντονα από τη συχνότητα, το πάχος, το υλικό και το φαινόμενο σύμπτωσης.

| Υλικό                       | Χαμηλές συχνότητες (< 150–200 Hz) | Μεσαίες συχνότητες (200–1 kHz) | Υψηλές συχνότητες (>1 kHz) | Σχόλια  |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---|
| Γυψοσανίδα 12.5 mm          | 0.02–0.05                         | 0.1–0.3                        | 0.5–0.9                    | Από τα πιο “ήπια” υλικά. Μεγάλη αύξηση κοντά στη σύμπτωσης.                           |
| Ξύλο (π.χ. MDF/plywood)     | 0.03–0.1                          | 0.2–0.4                        | 0.6–1.0                    | Η σύμπτωσης εμφανίζεται συχνά ~1–3 kHz.   |
| Μπετόν / σκυρόδεμα          | 0.005–0.02                        | 0.03–0.1                       | 0.2–0.4                    | Πολύ άκαμπτο → χαμηλή ακτινοβολία. Η σύμπτωσης εμφανίζεται σε πολύ υψηλές συχνότητες. |
| Χάλυβας / μεταλλικές πλάκες | 0.05–0.2                          | 0.3–0.7                        | 0.8–1.1                    | Μεταλλικές πλάκες έχουν υψηλή ακτινοβολία λόγω χαμηλής εσωτερικής απόσβεσης.          |
| Γυαλί 6–10 mm               | 0.02–0.06                         | 0.1–0.3                        | 0.5–0.9                    | Παρόμοιο με MDF αλλά λίγο πιο άκαμπτο — υψηλότερη συχνότητα σύμπτωσης.                |

- **S**: επιφάνεια
- **ρc**: χαρακτηριστική αντίσταση του αέρα  $\rho \approx 1.21 \text{ kg/m}^3$ ,  $c \approx 343 \text{ m/s}$

### Μετατροπή σε $L_p$

$$u \rightarrow W \propto u^2 \rightarrow L_W = 10 \log (W/W_0) \rightarrow L_p$$

**Σε ελεύθερο πεδίο (free field):**  $L_p = L_W - 10 \log (4\pi r^2) + 11$

**Σε δωμάτιο (reverberant field):**  $L_p = L_W + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$

με:

- **u**: ταχύτητα ταλάντωσης επιφάνειας
- **W**: ακουστική ισχύς
- **$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$** : ισχύς αναφοράς
- **$L_W$** : στάθμη ισχύος σε dB
- **$L_p$** : στάθμη πίεσης (SPL) σε dB
- **r**: απόσταση
- **A**: απορρόφηση χώρου
- **Q**: κατευθυντικότητα

### Πυκνότητα ακουστικής ενέργειας

Η πυκνότητα ακουστικής ενέργειας είναι το μέγεθος που εκφράζει **πόση συνολική ηχητική ενέργεια περιέχεται ανά μονάδα όγκου αέρα** μέσα σε έναν χώρο.

**Αποτελεί άθροισμα:**

1. **Κινητικής ενέργειας**, που σχετίζεται με την ταχύτητα ταλάντωσης των μορίων του αέρα (particle velocity  $u$ )
2. **Δυναμικής ενέργειας**, που σχετίζεται με τις μεταβολές της ακουστικής πίεσης ( $p$ ), δηλαδή με τη συμπίεση/αραίωση του αέρα

Με φυσικά λόγια:

**Δείχνει πόσο “γεμάτος” είναι ο χώρος με ηχητική ενέργεια ανά κυβικό μέτρο.**

Όσο πιο μεγάλη η ακουστική διέγερση και όσο μικρότερη η απορρόφηση, τόσο

μεγαλύτερη η πυκνότητα ενέργειας. Αντίθετα, σε χώρους με πολλή απορρόφηση (στούντιο, control room), η πυκνότητα είναι χαμηλή γιατί ο ήχος «χάνεται» πιο γρήγορα στα απορροφητικά υλικά.

Σε **κλειστό χώρο**, η **πυκνότητα ακουστικής ενέργειας**:

$$D = \frac{4\rho c \sum \sigma_i V_{s,i}}{C_A}$$

### Παράμετροι

- $V_{s,i}$  = όγκος της κατασκευής που συμμετέχει στην ταλάντωση, το υλικό  $i$  ( $m^3$ )
- $\sigma_i$  = λόγος ακτινοβολίας επιφάνειας  $i$
- $C_A$  = **ολική απορρόφηση του δωματίου**, σε Sabine  $C_A = \sum_j S_j \alpha_j$ , όπου:  $S_j$  = επιφάνεια υλικού  $j$  ( $m^2$ ),  $\alpha_j$  = συντελεστής απορρόφησης του υλικού  $j$  (0–1)
- $\rho c$  = χαρακτηριστική αντίσταση αέρα
- $D$  = μέση πυκνότητα ενέργειας στον χώρο

Πρακτικά η τελική στάθμη στο δωμάτιο:

$$L_k = L_u + 10 \log \left( \frac{4S_k}{A} \right)$$

### Παράμετροι

- $S_k$  = επιφάνεια που δονείται ( $m^2$ )
- $A$  = συνολική απορρόφηση χώρου ( $m^2$  Sabine),  $A = \sum_i S_i \alpha_i$

**Σημαντικό:** Σε μικρές συχνότητες ο τύπος έχει περιορισμένη ακρίβεια γιατί το  $\sigma$  διαφέρει ισχυρά.

## Τρόποι Μείωσης Κτυπογενή Θορύβου

### Μείωση από Αλλαγή Διατομής

Όταν τα διαμήκη κύματα συναντούν μία απότομη μεταβολή διατομής, προκαλείται ανάκλαση και η ενέργεια μειώνεται.

Αυτή η συγκεκριμένη ηχομείωση είναι **καθαρά γεωμετρικό φαινόμενο**.

Δεν εξαρτάται από:

- είδος υλικού,
- πυκνότητα,
- Young's modulus,
- loss factor.

Μόνο από **το πόσο αλλάζει η διατομή**.

Η ηχομείωση:

$$R_B = 10 \log \left[ \frac{x^4 + x^{3/2}}{1 + \frac{x^2}{2} + \sqrt{x}} \right]$$

### Παράμετροι

- $R_B$  = ηχομείωση λόγω αλλαγής διατομής (dB)
- $x = \frac{s_2}{s_1}$  = λόγος διατομών
  - $s_1$  = αρχική διατομή
  - $s_2$  = νέα διατομή

Εδώ τοποθετούμε **βαριά υλικά**, αλλαγές πάχους, ενισχύσεις.

### Μείωση από Γωνίες (ασυνέχειες)

Οι γωνίες μειώνουν τα κύματα κάμψης με τη σχέση Cremer, αναλυτικός τύπος που περιγράφει πόσο **μειώνεται το κύμα κάμψης όταν συναντά μία δομική ασυνέχεια** τύπου “γωνία”:

$$R = \frac{2 \sqrt{1.8 \frac{hf}{c}}}{1 + \sqrt{1.8 \frac{hf}{c}} + 0.9 \frac{hf}{c}}$$

### Παράμετροι

- $R$  = μείωση στάθμης (dB)
- $h$  = πάχος υλικού που σχηματίζει γωνία (m)
- $f$  = συχνότητα (Hz)
- $c$  = ταχύτητα ήχου (m/s)

Γωνία T junction → ~6.5 dB (Το T-junction είναι μια ένωση όπου ένα δομικό στοιχείο συναντά ένα άλλο κάθετα, σχηματίζοντας ένα “Τ”.)

Γωνία X junction → ~9 dB (Το X-junction είναι ένωση όπου τέσσερα δομικά στοιχεία ενώνονται σε σημείο, σχηματίζοντας “σταυρό”.)

Χρησιμοποιείται συχνά σε δάπεδα με υποστρώματα ή σε πυκνά δικτυώματα.

## Μείωση από Αλλαγή Υλικού

Όταν το κύμα περνά από υλικό  $Z_1$  σε  $Z_2$ :

$$R = 10 \log \left( \frac{(Z_1 + Z_2)^2}{4Z_1Z_2} \right)$$

### Παράμετροι

- $Z_1, Z_2$  = εμπεδήσεις των δύο μέσων (Pa·s/m)
- $R$  = ηχομείωση λόγω αλλαγής υλικού (dB)

Η **εμπέδηση Z** ενός υλικού εκφράζει **πόσο αντιστέκεται το υλικό στην κίνηση** που του προκαλεί ένα ακουστικό ή δομικό κύμα. Ορίζεται ως λόγος δύναμης προς ταχύτητα. Μεγάλες διαφορές εμπέδησης μεταξύ δύο υλικών δημιουργούν ισχυρή ανάκλαση και μεγάλη ηχομείωση.

Η μέγιστη μείωση επιτυγχάνεται όταν τα υλικά χωρίζονται με **ελαστομερές** → λάστιχο, φελλός κ.λπ.

## Μόνωση Ταλαντώσεων – Θεμελιώδης Φυσική

### Συστήματα χωρίς Απόσβεση

Μαζο-ελατήριο:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = F_0 \cos \omega t$$

### Παράμετροι

- $m$  = μάζα συστήματος (kg)
- $k$  = σταθερά ελατηρίου (N/m)
- $x(t)$  = μετατόπιση (m)
- $F_0 \cos \omega t$  = εξωτερική διέγερση (N)

Λόγος συχνοτήτων:

$$r = \frac{f}{f_0}$$

Συχνότητα συντονισμού:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Μεταδοτικότητα:

$$T = \frac{1}{|1 - r^2|}$$

Τελική ηχομείωση:

$$\Delta L_w = 20 \log T$$

Κρίσιμη παρατήρηση:

**Για  $f > \sqrt{2} f_0$  το σύστημα γίνεται απομονωτής.**

## Συστήματα με Απόσβεση

Με απόσβεση  $b$ :

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F_0 \cos \omega t$$

$b$  = συντελεστής απόσβεσης (N·s/m)

Συντελεστής απόσβεσης:

$$\xi = \frac{b}{2m\omega_0}$$

Μεταδοτικότητα:

$$T = \left| \frac{F}{F_0} \right| = \frac{1 + (2\xi r)^2}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}}$$

Αποτελέσματα:

- Καλό για **μείωση στο συντονισμό**
- Μειώνει την κορυφή
- Βελτιώνει χαμηλές συχνότητες

## Ευσκινησία (Mobility)

$$M = \frac{u}{F}$$

Όπου:

- $u$  = ταχύτητα απόκρισης (m/s)
- $F$  = διεγείρουσα δύναμη (N)

Beraneck:

$$T = \frac{M_m + M_i}{M_m + M_s + M_i}$$

Παράμετροι:

- $M_m$  = ευκινησία προστιθέμενης μάζας
- $M_i$  = ευκινησία κατασκευής
- $M_s$  = ευκινησία απόσβεσης

→ Όσο πιο μαλακό το υλικό απόσβεσης, τόσο καλύτερη ηχομείωση.

## Μόνωση Μηχανών

Οι δονούμενες μηχανές (ανεμιστήρες, αντλίες, συμπιεστές, HVAC units κ.λπ.) μπορούν να διεγείρουν την κατασκευή και να μεταδίδουν δομικό θόρυβο.

Βασικοί στόχοι της μόνωσης:

- μείωση της ταχύτητας ταλάντωσης  $u$
- αποφυγή συντονισμών
- μείωση μεταδιδόμενης δόνησης στη δομή

### A) Μόνωση με Προσθήκη Μάζας (Mass Loading)

Όσο μεγαλύτερη η συνολική μάζα που συμμετέχει στη δόνηση, τόσο **μικρότερη η ταχύτητα ταλάντωσης  $u$  της βάσης.**

Επειδή η ακτινοβολούμενη ισχύς είναι  $W \propto u^2$ , η μείωση της  $u$  οδηγεί σε σημαντική μείωση θορύβου.

**Μείωση λόγω πρόσθετης μάζας (μείωση θορύβου σε dB):**

$$\Delta L = 20 \log \left( 1 + \frac{m_b}{m} \right)$$

όπου:

- $m$  = αρχική μάζα (βάση, πλάκα κ.λπ.)
- $m_b$  = προστιθέμενη μάζα (πέδλο μηχανής, μπετονένια βάση, χαλύβδινη πλάκα)

**Φυσική σημασία:**

- Η πρόσθετη μάζα **χαμηλώνει την ιδιοσυχνότητα  $f_0$** :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

- Όσο μεγαλύτερη η μάζα  $\rightarrow$  τόσο μικρότερο το  $f_0 \rightarrow$  τόσο λιγότερος συντονισμός  $\rightarrow$  μικρότερη δόνηση.
- Μικραίνει η ταχύτητα  $u \rightarrow$  μικραίνει δραστικά ο θόρυβος.

**Χρήση:**

Όταν η μηχανή δονεί το δάπεδο μέσω της βάσης της, η προσθήκη μάζας είναι λύση πρώτης γραμμής, συχνά σε συνδυασμό με ελαστομερή.

## B) Αντικραδασμική Έδραση με Ελατήρια (Spring Isolation)

Εδώ η μόνωση επιτυγχάνεται **όχι με μάζα**, αλλά με **ελαστική στήριξη** (ελατήρια, λάστιχα, αντικραδασμικά pads).

Σκοπός:

- να “αποσυνδέσει” μηχανικά τη μηχανή από τη δομή
- να μειώσει τη δύναμη που μεταδίδεται στην πλάκα
- να τοποθετήσει την ιδιοσυχνότητα του συστήματος *κάτω* από τη συχνότητα λειτουργίας της μηχανής

## 1. Βασική Ιδέα – Μάζα–Ελατήριο

Η μηχανή + βάση + ελατήριο σχηματίζουν σύστημα:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

όπου:

- $k$  = σκληρότητα ελατηρίου (N/m)
- $m$  = συνολική μάζα (μηχανή + βάση)

Θέλουμε το  $f_0 \ll f_{\text{λειτουργίας}}$  (αναλογία  $r = f/f_0 > \sqrt{2}$ ).

## 2. Μείωση μεταδιδόμενης δόνησης (Isolation)

Η απόσβεση λόγω ελατηρίου δίνεται από τον κλασικό λόγο μεταφοράς:

$$T = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

και η ηχομείωση σε dB:

$$\Delta L = 20 \log (T)$$

όπου:

- $r = f / f_0$  (αναλογία διεγέρσεως που καθορίζει την απόσβεση),  $f$  = συχνότητα διέγερσης της μηχανής (συνήθως 25–50 Hz για μοτέρ, 50–100 Hz για ανεμιστήρες, 100–300 Hz για συμπιεστές),  $f_0$  = ιδιοσυχνότητα συστήματος **μηχανή + βάση + ελατήριο**
- $\zeta$  = λόγος απόσβεσης (χαμηλός στα ελατήρια, μεγαλύτερος στα ελαστομερή)

Για  $r > 2 \rightarrow$  μόνωση  $> 80\%$

Για  $r > 3 \rightarrow$  μόνωση  $> 90\%$

## 3. Πρακτικές Οδηγίες Μόνωσης

- ✓ Τοποθέτηση **ελατηρίων ή ελαστομερών** κάτω από τα πόδια της μηχανής
- ✓ Επιλογή της **σωστής σκληρότητας  $k$** , ώστε το  $f_0$  να πέσει χαμηλά
- ✓ Συχνά συνδυάζουμε:

- **Μεγάλη μάζα (mass loading) +**
- **Ελατήρια χαμηλής σκληρότητας**

✓ Αποφεύγουμε:

- άκαμπτες μεταλλικές βάσεις χωρίς απομόνωση
- στήριξη σε λεπτά μεταλλικά πατάκια
- άκαμπτες συνδέσεις σωληνώσεων/καλωδίων με το κτίριο (χρειάζονται εύκαμπτοι σύνδεσμοι)

## Πρακτικά

### 1. Κτυπογενής ≠ Αερόφερτος Θόρυβος

Οι λύσεις είναι εντελώς διαφορετικές:

- Στον αερόφερτο → μάζες & διπλοί τοίχοι
- Στον κτυπογενή → **απόσβεση, ελαστομερή, floating floors**

### 2. Τοποθέτηση Κτυπογεννήτριας σε δοκιμή

Πρέπει να γίνεται:

- Στο κατάλληλο ύψος
- Σε επιφάνεια αντιπροσωπευτική
- Με σταθερό ρυθμό κρούσεων

### 3. Αποφυγή άκαμπτων συνδέσεων

Κάθε άκαμπτη σύνδεση **καταστρέφει πλήρως** την ηχομόνωση.

### 4. Floating floors

Είναι η πιο αποτελεσματική λύση:

- Ελαστομερές στρώμα
- Πλάκα σκυροδέματος από πάνω
- Χωρίς ακουμπή σε τοίχους

## 5. Επιπλέον μέτρα

- Βαριά χαλιά, μοκέτες
- Μαλακές υποδομές σε κινητές συσκευές
- Διακοπή ηχογεφυρών