

Contents

Ηχομονωτική Συμπεριφορά Διπλών Επιφανειών	1
Γενικά για τις Διπλές Επιφάνειες	1
Ρόλος του Διάκενου και των Ενδιάμεσων Υλικών	2
Το Φαινόμενο της Σύμπτωσης σε Διπλές Επιφάνειες	3
Δείκτης ηχομείωσης διπλής επιφάνειας	3
Πρακτικά σημεία για τις Διπλές Επιφάνειες (Στην Πραγματικότητα)	5
Η μεγάλη παγίδα: Μηχανική σύζευξη	5
Το διάκενο δεν είναι «όσο να ’ναι»	6
Χρειάζεται οπωσδήποτε απορροφητικό υλικό στο διάκενο	7
Τα δύο τοιχώματα δεν πρέπει να είναι ίδια	7
Αποφυγή διαρροών (flanking) — Ο εχθρός των καλών μελετών	8

Ηχομονωτική Συμπεριφορά Διπλών Επιφανειών

Γενικά για τις Διπλές Επιφάνειες

Για να επιτευχθούν υψηλές τιμές ηχομείωσης, μία λύση είναι η χρήση υλικών με μεγάλη επιφανειακή μάζα, όπως προκύπτει από τον **νόμο της μάζας**. Ωστόσο, αυτό οδηγεί σε βαριές και δύσκολες στην κατασκευή επιφάνειες.

Η χρήση **διπλών ή τριπλών τοιχωμάτων** επιτρέπει την επίτευξη **μεγάλων δεικτών ηχομείωσης** με πολύ **ελαφρύτερες κατασκευές**.

Ας θεωρήσουμε αρχικά μία απλή επιφάνεια με δείκτη ηχομείωσης **R = 30 dB**.

Αυτό σημαίνει ότι αν η στάθμη του ήχου στη μία πλευρά είναι **100 dB**, στην άλλη θα είναι **70 dB**.

Αν τοποθετήσουμε **δεύτερη ίδια επιφάνεια** σε κάποια απόσταση, τότε συνολικά έχουμε **σύστημα διπλής επιφάνειας**.

Σε αυτή την περίπτωση, η θεωρητική αύξηση ηχομείωσης είναι περίπου:

$$R_{\text{διπλής}} = R + 6 \text{ dB}$$

δηλαδή **36 dB** στο παράδειγμά μας.

Εάν τώρα η απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών αυξηθεί σημαντικά και **δεν υπάρχει μηχανική σύζευξη** μεταξύ τους (π.χ. δεν ακουμπούν απευθείας), τότε η κάθε επιφάνεια δρα

ανεξάρτητα.

Στην ιδανική περίπτωση:

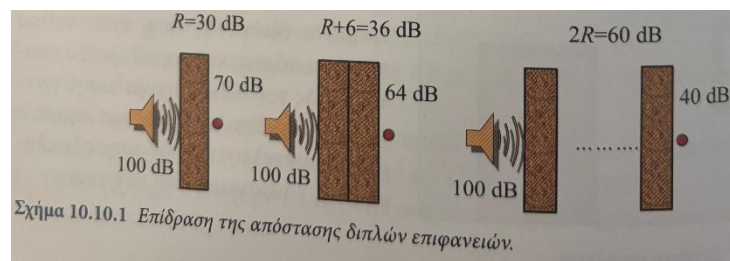
$$R_{\max} \approx 2R$$

άρα $R \approx 60 \text{ dB}$.

Στην πράξη όμως, η πραγματική τιμή βρίσκεται **ανάμεσα** στα:

$$R + 6 \text{ και } 2R$$

Επομένως, η απόσταση και ο τρόπος στήριξης των δύο επιφανειών καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα.



Ρόλος του Διάκενου και των Ενδιάμεσων Υλικών

Για καλή ηχομόνωση, δεν αρκεί να υπάρχουν δύο επιφάνειες.

Απαιτείται:

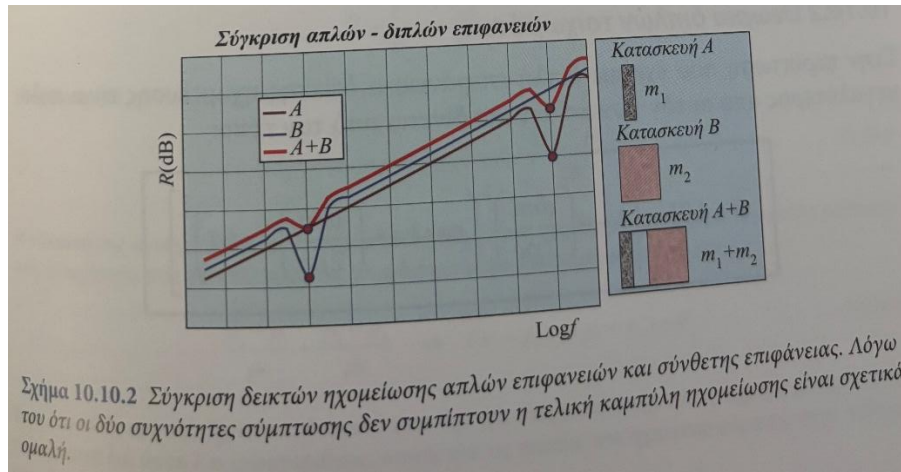
- να υπάρχει **διάκενο αέρα** μεταξύ τους
- το διάκενο **να μην είναι πολύ μικρό**
- και ιδανικά να υπάρχει **απορροφητικό υλικό** μέσα σε αυτό (π.χ. ορυκτοβάμβακας).

Το απορροφητικό υλικό:

- μειώνει την **ανάκλαση** και τη **συσσώρευση ενέργειας** στο διάκενο
- περιορίζει την **ενίσχυση** του ήχου στις συχνότητες συντονισμού
- οδηγεί σε **ομαλότερη καμπύλη ηχομείωσης** σε όλο το φάσμα.

Αν το διάκενο είναι **πολύ μικρό**, τότε οι δύο επιφάνειες συμπεριφέρονται σχεδόν σαν μία ενιαία → σχεδόν **δεν υπάρχει κέρδος ηχομείωσης**.

Αν το διάκενο είναι **πολύ μεγάλο**, τότε εμφανίζεται το **φαινόμενο σύμπτωσης** μέσα στο διάκενο → το σύστημα μπορεί να εμφανίσει **τοπική μείωση ηχομείωσης**.



Το Φαινόμενο της Σύμπτωσης σε Διπλές Επιφάνειες

Κάθε επιφάνεια έχει τη δική της **κρίσιμη συχνότητα** f_c , όπου εμφανίζεται το φαινόμενο σύμπτωσης.

Στις διπλές επιφάνειες, αν οι δύο κρίσιμες συχνότητες **δεν συμπίπτουν**, τότε τα «βουτήματα» της καμπύλης **δεν ταυτίζονται** → η συνολική καμπύλη είναι **ομαλότερη**.

Άρα:

- Δύο **διαφορετικά** υλικά → **καλύτερη συνολική ηχομείωση**
- Δύο **ίδιες** επιφάνειες → η καμπύλη έχει **βαθύτερο βύθισμα** στις ίδιες συχνότητες.

Αυτό είναι ορατό στο Σχήμα **10.10.2**:

Η σύνθετη επιφάνεια **A+B** παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις και **καλύτερη συνολική απόδοση**.

Δείκτης ηχομείωσης διπλής επιφάνειας

Η θεωρητική εξίσωση για τον δείκτη ηχομείωσης R ενός **διπλού τοιχώματος** (δύο πλάκες με διάκενο αέρα μεταξύ τους) ισχύει **μόνο για διπλό τοίχωμα με δύο ίδιες πλάκες**: $m'_1 = m'_2 = m'$ είναι:

$$R = 10 \log \left[1 + 4 \left(\frac{\omega m'}{2\rho c} \right)^2 \left(\cos(kd) - \frac{\omega m'}{2\rho c} \sin(kd) \right)^2 \right]$$

Επεξήγηση των παραμέτρων

Σύμβολο	Μονάδες	Τι αναπαριστά	Φυσική σημασία
R	dB	Δείκτης ηχομείωσης	Πόσα dB μειώνεται ο ήχος καθώς περνά από το τοίχωμα.
m'	kg/m ²	Επιφανειακή μάζα της πλάκας (ανά μονάδα επιφάνειας)	Όσο μεγαλύτερη μάζα → τόσο δυσκολότερη ταλάντωση → καλύτερη ηχομόνωση.
ω	rad/s	Γωνιακή συχνότητα του ήχου $\omega = 2\pi f$	Συνδέει τη συχνότητα με τη δυναμική ταλάντωσης της επιφάνειας.
ρ	kg/m ³	Πυκνότητα του αέρα	Καθορίζει την αντίσταση που ασκεί ο αέρας στην ταλάντωση.
c	m/s	Ταχύτητα του ήχου στον αέρα	Επηρεάζει τη μεταφορά ενέργειας. Συνήθως $c \approx 343$ m/s.
k	rad/m	Αριθμός κυμάτων $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$	Καθορίζει πόσες ταλαντώσεις έχει ανά μονάδα μήκους το ηχητικό κύμα.
d	m	Πάχος διάκενου μεταξύ των δύο τοιχωμάτων	Μεγαλύτερο διάκενο → χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού → καλύτερη ηχομόνωση σε ομιλία.

Notes:

1. Ο δείκτης ηχομείωσης $R(f)$ **εξαρτάται από τη συχνότητα**, μέσω της γωνιακής συχνότητας $\omega = 2\pi f$ και του κυματάριθμου $k = \omega/c$.
2. Η **επιφανειακή μάζα** αναφέρεται στις **πλάκες**, ενώ το **διάκενο δεν έχει μάζα** αλλά λειτουργεί σαν **ελατήριο** που συνδέει τις δύο μάζες.
3. Ο κυματάριθμος k καθορίζει τη **φασική σχέση** μέσα στο διάκενο και άρα τη συμπεριφορά **συντονισμού** και **σύμπτωσης**.

Πρακτικά σημεία για τις Διπλές Επιφάνειες (Στην Πραγματικότητα)

Η μεγάλη παγίδα: Μηχανική σύζευξη

Στην πράξη, η μεγαλύτερη απώλεια απόδοσης ενός διπλού τοιχώματος **δεν είναι το υλικό**, αλλά το πώς **συνδέονται οι επιφάνειες** μεταξύ τους.

- Αν οι δύο τοίχοι **συνδέονται άκαμπτα** (π.χ. κοινά μεταλλικά προφίλ, μπετονένιες κολόνες, δοκοί, σωληνώσεις, αγκύρια κλπ.) **→ η ηχομόνωση μειώνεται δραματικά**, πολλές φορές **χειρότερη και από απλή επιφάνεια**.

Άρα:

→ Αποφυγή άκαμπτων συνδέσεων

→ Χρήση **αποσυζευγμένων προφίλ**, αντικραδασμικών συνδέσμων και **συστημάτων πλωτού σκελετού**.

Γιατί μπορεί η διπλή επιφάνεια να γίνει χειρότερη από μία απλή;

Αν μεταξύ των δύο τοιχωμάτων υπάρχει **άκαμπτη σύνδεση**, τότε το σύστημα **δεν λειτουργεί πλέον σαν μάζα-ελατήριο-μάζα**. Αντίθετα, οι δύο επιφάνειες **δονούνται μαζί**, σαν **μία ενιαία ελαστική πλάκα**.

Αυτό οδηγεί σε:

1. Κατάρρευση του νόμου της μάζας

Αντί να παίρνουμε το **άθροισμα** των επιφανειακών βαρών, πρακτικά λειτουργεί μόνο η **μικρότερη μάζα** → άρα μικρότερη ηχομόνωση.

Γιατί σε διπλό τοίχωμα με άκαμπτες συνδέσεις ισχύει:

$$m'_{\text{effective}} \approx \min(m'_1, m'_2)$$

Φυσική εξήγηση

Όταν δύο τοίχοι είναι **μηχανικά συνδεδεμένοι άκαμπτα** (π.χ. με κοινό μεταλλικό σκελετό, βίδες, σωλήνες, μπετονένιες δοκούς), τότε:

- Η **δυναμική απόκριση** του συστήματος δεν ελέγχεται από το άθροισμα των μαζών.
- Οι δύο πλάκες **δεν πάλλονται ανεξάρτητα**.
- Αντίθετα, **συμπεριφέρονται ως μία ενιαία δομική επιφάνεια**.

Σε μια ταλάντωση, η **πλάκα με τη μικρότερη μάζα** είναι αυτή που:

- Δονείται περισσότερο,
- Απαιτεί λιγότερη δύναμη για να κινηθεί,

- «Παρασέρνει» τη μεγαλύτερη μάζα μέσω της άκαμπτης σύνδεσης.

Δηλαδή, η ελαφριά πλάκα καθορίζει την καμπτική ταλάντωση ολόκληρου του συστήματος.

2. **Παράκαμψη μέσω στερεής μετάδοσης (flanking transmission)**

Οι δονήσεις παρακάμπτουν τον αέρα στο διάκενο και μεταδίδονται απευθείας μέσα από τις άκαμπτες συνδέσεις (π.χ. μεταλλικά προφίλ, υποστυλώματα, σωληνώσεις, βίδες).

3. **Ακύρωση της απορρόφησης στο διάκενο**

Ο αέρας στο διάκενο δεν προλαβαίνει να λειτουργήσει ως "ελατήριο", άρα δεν μειώνεται η μεταφερόμενη ενέργεια.

4. **Εμφάνιση ισχυρού συντονισμού σε χαμηλές συχνότητες**

Ο συντονισμός του συστήματος μεταφέρεται σε συχνότητες λόγου (100–500 Hz), δηλαδή εκεί όπου το αυτί είναι πιο ευαίσθητο → αντιλαμβανόμαστε τη μετάδοση ως πολύ έντονη.

Το διάκενο δεν είναι «όσο να 'ναι»

Στην πράξη:

Διάκενο	Συμπεριφορά
< 2 cm	Οι δύο επιφάνειες λειτουργούν ως μία → Κακή ηχομόνωση
5–15 cm	Ιδανική απόσταση για απορρόφηση και απόσβεση
> 20–30 cm	Κίνδυνος ανάπτυξης συντονισμού διάκενου → πιθανή μείωση ηχομόνωσης

Άρα:

➔ Δεν κάνουμε ποτέ πολύ μικρά ή πολύ μεγάλα διακενά χωρίς υπολογισμό.

Σε διπλά τοιχώματα, ο αέρας στο διάκενο λειτουργεί σαν **ελατήριο**, ενώ οι δύο επιφάνειες σαν δύο **μάζες**. Το σύστημα **μάζας-ελατηρίου-μάζας** παρουσιάζει μια χαρακτηριστική **συχνότητα συντονισμού**:

$$f_r \approx \frac{60}{\sqrt{m_1 m_2 d}}$$

όπου:

- m_1, m_2 : μάζες ανά μονάδα επιφάνειας των δύο τοιχωμάτων (kg/m^2)
- d : πάχος διάκενου (m)

- f_r : συχνότητα συντονισμού (Hz)

Πρακτικές συνέπειες

- **Πολύ μικρό διάκενο (< 2 cm)** → η f_r ανεβαίνει → Πέφτει στην περιοχή **150–500 Hz** → **Κακή ηχομόνωση λόγου / ομιλίας.**
- **Ιδανικό διάκενο (5–15 cm)** → η f_r κατεβαίνει κάτω από **~100 Hz** → **Άριστη ηχομονωτική συμπεριφορά** στις συχνότητες ομιλίας.
- **Πολύ μεγάλο διάκενο (> 25 cm)** → εμφανίζονται **στάσιμα κύματα στο διάκενο** → Απόδοση **ασταθής** και συχνά **χειρότερη.**

Χρειάζεται οπωσδήποτε απορροφητικό υλικό στο διάκενο

Ο ορυκτοβάμβακας (ή πετροβάμβακας) **δεν προσθέτει μάζα**, αλλά είναι **κρίσιμος για να αποσβένονται οι στάσιμες κυματικές αντηχήσεις στο διάκενο.**

Χωρίς απορροφητικό:

→ Το σύστημα εμφανίζει ισχυρότατο **συντονισμό** → **ηχομόνωση πέφτει κατά 10–20 dB.**

Με απορροφητικό:

→ Η καμπύλη ηχομείωσης γίνεται **ομαλή** και **προβλέψιμη.**

Άρα:

→ Ορυκτοβάμβακας στο διάκενο **είναι υποχρεωτικός.**

Τα δύο τοιχώματα δεν πρέπει να είναι ίδια

Αν οι δύο επιφάνειες έχουν **το ίδιο πάχος / μάζα**, τότε έχουν **ίδια κρίσιμη συχνότητα.**

Άρα, και το βύθισμα λόγω σύμπτωσης εμφανίζεται **στο ίδιο σημείο** → το σύστημα γίνεται **κακό** στη συγκεκριμένη συχνότητα.

Αν οι δύο επιφάνειες είναι **διαφορετικές**, τότε:

- έχουν **διαφορετικές κρίσιμες συχνότητες**
- άρα οι «κοιλίες» δεν συμπίπτουν
- άρα η συνολική καμπύλη γίνεται **ομαλότερη και πιο αποτελεσματική**

Άρα:

→ Χρησιμοποιούμε **ασύμμετρες** διπλές τοιχοποιίες.

Αποφυγή διαρροών (flanking) — Ο εχθρός των καλών μελετών

Ακόμα και αν ο τοίχος έχει **πολύ υψηλό R_w**, η ηχομόνωση μπορεί να είναι **κακή**, λόγω:

- δαπέδου
- οροφής
- τοιχοπλήρωσης
- καναλιών εξαερισμού
- κοινών κουτιών ηλεκτρολογικών
- ακάλυπτων σχισμών και αρμών

Στην πράξη, **το 70% των αποτυχιών** ηχομόνωσης σε κτίρια οφείλεται σε **flanking paths**.

Άρα:

- Πάντα ελέγχουμε την **ολική αεροστεγανότητα**.
- Ποτέ διαμπερή κουτιά πριζών ή διακόπτες σε κοινό τοίχο.