

Ορισμός δεικτών

L_{eq} , C80, RT, R_w , και άλλων που θα χρειαστούν στο μάθημα και το ηχώμετρο. Τύποι EDT, T60 (sabine) μικροί/ μεσαίοι / μεγάλοι χώροι εξισώσεις σκαρλάτος 153 και με κόσμο 155

1. L_{eq} — Ισοδύναμη συνεχής στάθμη ήχου

Τύπος:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right)$$

Όπου:

$L_p(t)$: στιγμιαία στάθμη ηχητικής πίεσης (dB)

T: χρονική διάρκεια μέτρησης (s)

Φυσική σημασία: Περιγράφει τη μέση ενεργειακή στάθμη ενός μεταβαλλόμενου ήχου κατά τη διάρκεια του χρόνου T. Χρησιμοποιείται σε περιβαλλοντικές και εργασιακές μετρήσεις.

2. C80 — Δείκτης ευκρίνειας (Clarity Index)

Τύπος:

$$C_{80} = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_0^{80\text{ms}} p^2(t) dt}{\int_{80\text{ms}}^{\infty} p^2(t) dt} \right)$$

Όπου:

$p(t)$: στιγμιαία ηχητική πίεση (Pa)

Η άνω ολοκλήρωση 0–80 ms: πρώιμη ενέργεια (early energy)

Η κάτω ολοκλήρωση >80 ms: όψιμη ενέργεια (late energy)

Φυσική σημασία: Μετρά την καθαρότητα του ήχου σε αίθουσες. Μεγάλο C80 → καθαρός ήχος, Μικρό ή αρνητικό C80 → αντηχητικός ή θαμπός ήχος.

3. RT — Χρόνος αντήχησης (Reverberation Time)

Τύπος Sabine:

$$T = 0.161 \frac{V}{A}$$

Όπου:

T: χρόνος αντήχησης (s)

V: όγκος του χώρου (m³)

A: συνολική απορρόφηση (m² Sabine), με $A = \sum \alpha_i S_i$

α_i : συντελεστής απορρόφησης του υλικού i

S_i : επιφάνεια του υλικού i (m²)

Φυσική σημασία: Είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος να μειωθεί κατά 60 dB μετά τη διακοπή της πηγής. Δείχνει πόσο 'ζωντανός' ή 'ξερός' είναι ένας χώρος.

4. EDT — Early Decay Time (Πρώιμος Χρόνος Απόσβεσης)

Τύπος: $EDT = 6 \times \Delta t_{10dB}$

Όπου:

Δt_{10dB} : ο χρόνος που χρειάζεται ο ήχος να μειωθεί κατά 10 dB μετά τη διακοπή της πηγής.

Φυσική σημασία: Εκφράζει την υποκειμενική εντύπωση της αντήχησης. Είναι συνήθως μικρότερος από τον RT60, καθώς αφορά μόνο τα πρώτα στάδια εξασθένησης.

5. Rw — Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης

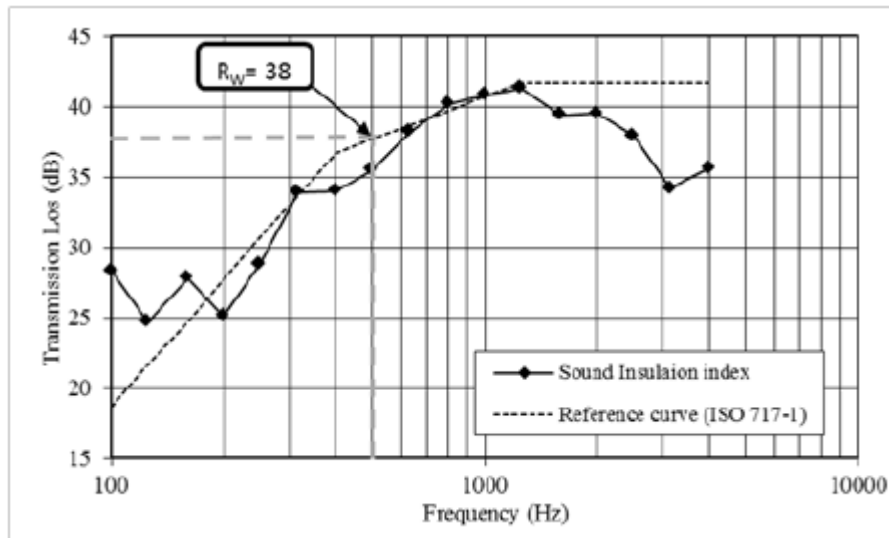
O R_w είναι ένας μονοαριθμητικός δείκτης που προκύπτει από τη σύγκριση της μετρούμενης καμπύλης ηχομείωσης $R(f)$ με την πρότυπη καμπύλη αναφοράς του ISO 717-1 και προκύπτει από εργαστηριακές μετρήσεις του δείκτη $R(f)$ σε 1/3 οκτάβας από 100 Hz έως 3150 Hz.

Φυσική σημασία: Εκφράζει τη συνολική ικανότητα ενός πετάσματος να μειώνει τη μετάδοση του ήχου. Μεγαλύτερο R_w σημαίνει καλύτερη ηχομόνωση.

O δείκτης ηχομείωσης $R(f)$ υπολογίζεται για κάθε συχνότητα f με βάση τη μέτρηση της διαφοράς στάθμης μεταξύ των δύο θαλάμων:

$$R(f) = L_1(f) - L_2(f) + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{A} \right)$$

Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδα
$L_1(f)$	Ηχοστάθμη στο θάλαμο εκπομπής	dB
$L_2(f)$	Ηχοστάθμη στο θάλαμο λήψης	dB
S	Επιφάνεια του διαχωριστικού στοιχείου	m ²
A	Ισοδύναμη απορρόφηση στον θάλαμο λήψης ($A = 0.16 \times V / T$)	m ²



Πώς υπολογίζεται ο R_w

- 1) Μετράμε $R(f)$ για κάθε ζώνη οκτάβας ή 1/3 οκτάβας (π.χ. 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, ... 3150 Hz).
- 2) Τοποθετούμε την καμπύλη αναφοράς ISO 717-1 (μια τυπική καμπύλη που δίνεται από το πρότυπο).
- 3) Μετακινούμε την καμπύλη κατακόρυφα μέχρι η διαφορά $R(f) - R_{ref}(f)$ να ικανοποιεί τον κανόνα των αποκλίσεων:
 - Κανένα σημείο δεν μπορεί να πέσει κάτω από την καμπύλη περισσότερο από 8 dB,
 - και το άθροισμα όλων των αρνητικών αποκλίσεων δεν πρέπει να ξεπερνά 32 dB.
- 4) Η τιμή της καμπύλης αναφοράς στα 500 Hz (στο νέο ύψος) είναι ο R_w .

Ο R_w δείχνει πόσο «ανθεκτικός» είναι ένας τοίχος ή χώρισμα στην **ακουστική ενέργεια που τον διαπερνά.**

Αντιστοιχεί στην **ενεργειακή διαφορά** μεταξύ των δύο πλευρών.

Τύπος στοιχείου	R_w (dB)	Ενδεικτική χρήση
Ελαφρύς τοίχος γυψοσανίδας	35–40	Εσωτερικά χωρίσματα
Τοιχοποιία 20 cm	45–50	Καλή ηχομόνωση κατοικίας
Διπλός τοίχος με κενό	55–60	Στούντιο ή ξενοδοχεία
Τζάμι διπλό	32–38	Παράθυρα υψηλής απόδοσης

6. DnT,w (Weighted Standardized Level Difference)

Ο DnT,w είναι ο δείκτης ηχομείωσης όπως μετρείται σε πραγματικά κτίρια, όχι σε εργαστήριο.

☞ Δηλαδή:

- τοίχοι, δάπεδα, κουφώματα όπως έχουν τοποθετηθεί στο κτίριο,
- με όλες τις πραγματικές διαρροές, αρμούς, πρίζες, σωληνώσεις, αεραγωγούς,
- και με χώρους λήψης και εκπομπής που δεν είναι πλήρως απομονωμένοι.

Αυτός είναι ο λόγος που λέμε:

«DnT,w είναι ο *επιτόπιος δείκτης ηχομείωσης*» (Weighted Standardized Level Difference, σύμφωνα με ISO 16283-1)

Υπολογίζεται ως:

$$D_{nT}(f) = L_1(f) - L_2(f) + 10 \log_{10} \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

όπου:

- L_1, L_2 = στάθμες ήχου στους δύο χώρους (πηγής και λήψης),
- T = χρόνος αντήχησης στον χώρο λήψης (μετρημένος),
- $T_0 = 0.5$ s (τυποποιημένη τιμή αναφοράς).

Πρακτική ρουτίνα μέτρησης

- Μετράς τον θόρυβο βάσης στον χώρο λήψης πριν ενεργοποιήσεις την πηγή.
- Ρυθμίζεις το pink noise ώστε το L_2 (στον χώρο λήψης) να είναι τουλάχιστον 10–15 dB πάνω από το background.
- Ελέγχεις κάθε ζώνη οκτάβας ή 1/3 οκτάβας — ειδικά στις χαμηλές, όπου το SNR είναι πιο δύσκολο.
- Αν χρειάζεται, αυξάνεις τη στάθμη ή επαναλαμβάνεις με MLS ή sine sweep (που δίνουν καλύτερο S/N ratio).

Σύμφωνα με ISO 16283-1:2014 (μέτρηση αερόφερτης ηχομείωσης in-situ):

«Η στάθμη ηχητικής πίεσης του σήματος δοκιμής (L_1, L_2) πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 dB πάνω από τη στάθμη θορύβου υποβάθρου σε κάθε ζώνη συχνοτήτων. Προτείνεται διαφορά τουλάχιστον 15 dB για αξιόπιστα αποτελέσματα.»

Τι γίνεται αν δεν μπορώ να πετύχω ≥ 10 dB;

- Αν η διαφορά είναι < 10 dB, **αφαιρείς τη συνεισφορά του θορύβου** μαθηματικά:

$$L_{2,cor} = 10 \log_{10}(10^{L_2/10} - 10^{L_b/10})$$

όπου L_b = background level.

- Αν όμως η διαφορά πέσει κάτω από 6 dB, το ISO λέει:

«Η μέτρηση θεωρείται μη αξιόπιστη και η ζώνη πρέπει να απορριφθεί.»

7. D50 — Δείκτης καθαρότητας λόγου (Definition Index)

Τύπος:

$$D_{50} = 100 \times \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

Όπου:

- $p(t)$: στιγμιαία ηχητική πίεση (σε Pa),
- ο αριθμητής εκφράζει την πρώιμη ενέργεια (μέχρι 50 ms),
- ο παρονομαστής εκφράζει τη συνολική ενέργεια της ηχητικής απόκρισης (όλη την ενέργεια που φτάνει στο μικρόφωνο από τη στιγμή του παλμού μέχρι να σβήσει τελείως ο ήχος — τόσο την άμεση όσο και τις ανακλώμενες και αντηχητικές συνιστώσες).

Φυσική σημασία:

- Όσο μεγαλύτερο το D_{50} , τόσο καλύτερη ευκρίνεια λόγου υπάρχει, χαμηλό D_{50} σημαίνει θολός ήχος λόγω έντονης αντήχησης.
- Τυπικά, τιμές:
 - $D_{50} < 30\%$ → φτωχή καθαρότητα λόγου
 - $30\% \leq D_{50} \leq 50\%$ → μέτρια
 - $D_{50} > 50\%$ → καλή έως πολύ καλή καθαρότητα

8. STI — Speech Transmission Index

Ο δείκτης STI (Speech Transmission Index) ποσοτικοποιεί πόσο καθαρά μεταδίδεται η ομιλία μέσα από ένα ακουστικό σύστημα ή έναν χώρο.

Εξαρτάται από:

- την αντήχηση (RT),
- το λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR),

- και τις παραμορφώσεις του πλάτους και της διαμόρφωσης του σήματος λόγου.

STI > 0.75: Εξαιρετική ευκρίνεια ομιλίας

STI 0.6–0.75: Καλή ευκρίνεια

STI < 0.45: Δύσκολη κατανόηση λόγου

9. NC και NR — Noise Criteria / Noise Rating

Οι καμπύλες NC και NR χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό του υποβάθρου θορύβου σε εσωτερικούς χώρους. Υποδεικνύουν τα αποδεκτά επίπεδα θορύβου ανά συχνότητα, ώστε να εξασφαλίζεται ακουστική άνεση.

Ηχόμετρο (Sound Level Meter)

- Μετρά $L_p(t)$ σε dB SPL.
- Ενσωματώνει A-weighting (προσομοίωση ακουστικής ευαισθησίας του ανθρώπου).
- Τρόποι μέτρησης: *Fast (125 ms)*, *Slow (1 s)*, *Peak*.
- Υπολογίζει L_{eq} , L_{max} , L_{min} , L_{Aeq} , LA_{10} , LA_{90}

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right)$$

L_{max} = μέγιστη τιμή του $L_p(t)$ μέσα στο διάστημα T

L_{min} = ελάχιστη τιμή του $L_p(t)$ μέσα στο διάστημα T

$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A(t)/10} dt \right)$, Το ίδιο με το L_{eq} , αλλά λαμβάνει υπόψη την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού στις διάφορες συχνότητες.

L_{A10} = στάθμη που ξεπεράστηκε για το 10% του συνολικού χρόνου μέτρησης.

L_{A90} = στάθμη που ξεπεράστηκε για το 90% του χρόνου μέτρησης.

Δείκτης	Ορισμός / Εξίσωση	Φυσική σημασία	Μονάδα
L_{eq}	$10 \log_{10}(1/T \int 10^{(L_p/10)} dt)$	Μέση ενεργειακή στάθμη	dB
L_{max}	Μέγιστη στιγμιαία τιμή L_p	Αιχμή ήχου	dB
L_{min}	Ελάχιστη στιγμιαία τιμή L_p	Ελάχιστος θόρυβος	dB

Δείκτης	Ορισμός / Εξίσωση	Φυσική σημασία	Μονάδα
LAeq	Leq με A-weighting	Αντιληπτή μέση στάθμη από τον άνθρωπο	dB(A)
LA10	Υπέρβαση 10% χρόνου	Πιο δυνατές στιγμές	dB(A)
LA90	Υπέρβαση 90% χρόνου	Θόρυβος υποβάθρου	dB(A)

Δείκτης μεταβλητότητας θορύβου

Συχνά χρησιμοποιούμε:

$$\Delta L = L_{A10} - L_{A90}$$

Φυσική σημασία:

- Αν ΔL μικρό (<5 dB) → σταθερός ήχος (π.χ. συνεχής βόμβος).
- Αν ΔL μεγάλο (>10 dB) → έντονα μεταβαλλόμενος ήχος (π.χ. δρόμος με κυκλοφορία, εργοτάξιο).

Πρόσθεση dB

$$L_{\text{total}} = 10 \log_{10} \left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right)$$

Μέτρηση Ηχομείωσης Κτιριακού Κελύφους (Sound Insulation / Transmission Loss)

Σκοπός: Να μετρηθεί πόσο ήχος περνά μέσα από το δομικό στοιχείο (τοιίχο, παράθυρο, πόρτα, οροφή κ.λπ.). Άρα θέλουμε ομοιόμορφο πεδίο στον χώρο πηγής, ώστε να προσπίπτει ήχος από όλες τις κατευθύνσεις στο δομικό στοιχείο.

Μέτρηση:

π.χ. σύμφωνα με ISO 16283-3:

- τοποθετήσεις το dodecahedron speaker μέσα (ή έξω) από τον χώρο,
- παράγεις ένα σήμα διέγερσης (pink noise, MLS ή sine sweep),
- μετράς τις στάθμες ήχου στις δύο πλευρές (L_1 , L_2),
- και υπολογίζεις την ηχομείωση (DnT, R, Rw κ.λπ.).

Σήμα	Τι είναι	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Καταλληλότερο για
Ροζ Θόρυβος (Pink Noise)	Τυχαίο σήμα με ίση ενέργεια ανά οκτάβα	<ul style="list-style-type: none"> • Σταθερό, ISO-συμβατό • Κατάλληλο για συνεχείς μετρήσεις • Ανθεκτικό σε θόρυβο 	<ul style="list-style-type: none"> • Χρειάζεται averaging • Όχι impulse response 	In-situ building envelope (Rw, DnT)
Ψευδοτυχαίο MLS	Διαδική ακολουθία ± 1 , συσχέτιση \rightarrow IR	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλό S/N • Ακριβής IR • Γρήγορο 	<ul style="list-style-type: none"> • Ευαίσθητο σε μη γραμμικότητες • Μειωμένη ακρίβεια άκρων φάσματος 	Εργαστηριακές μετρήσεις ή RT60 σε ήσυχους χώρους
Sine Sweep (Log Sweep)	Ημιτονικό κύμα με λογαριθμική μεταβολή συχνότητας	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή ακρίβεια • Διαχωρισμός παραμορφώσεων • Επαναλήψιμο 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλη διάρκεια • Χρειάζεται deconvolution • Όχι για θορυβώδες περιβάλλον 	Πιστοποιημένες / εργαστηριακές μετρήσεις RT, IR

Πώς μετράω RT (χρόνο αντήχησης)

Ο χρόνος αντήχησης (RT_{60}) είναι ο **χρόνος που χρειάζεται ο ήχος να μειωθεί κατά 60 dB** μετά τη διακοπή της πηγής. Μετράται σύμφωνα με τα πρότυπα **ISO 3382-2** (για δωμάτια) και **ISO 16283** (για κτίρια).

Βήμα 1: Εκπομπή

- Τοποθέτησε το 12-εδρικό ηχείο στο κέντρο ή σε μια γωνία του χώρου.
- Εκπομπή **ροζ θορύβου** σε επαρκή στάθμη (τουλάχιστον **35 dB πάνω από τον θόρυβο βάσης**).

Βήμα 2: Διακοπή

- Σταμάτα απότομα το σήμα (mute).
- Το ηχόμετρο ή ο αναλυτής καταγράφει την **πτώση στάθμης ήχου**.

Βήμα 3: Υπολογισμός RT

- Υπολογίζεται ο **χρόνος για πτώση 60 dB** με γραμμική παρεμβολή.
- Αν δεν μπορεί να μετρηθεί 60 dB πλήρως, χρησιμοποιούνται υποδιαστήματα:

Πηγή Διέγερσης	Τύπος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Κατάλληλο για
12-εδρικό ηχείο	Steady (Pink Noise / MLS / Sweep)	Ομοιόμορφη εκπομπή, πλήρης έλεγχος, ISO συμβατό	Ακριβό, απαιτεί ενισχυτή	Πιστοποιημένες μετρήσεις (Rw, RT)
Μπαλόκι	Impulse	Πολύ φτηνό, απλό, γρήγορο	Ανομοιογενές φάσμα, μικρή ακρίβεια, μη επαναλήψιμο	Εκπαίδευση, πρόχειρες RT μετρήσεις
Start Gun	Impulse	Πολύ δυνατός παλμός, ευρύ φάσμα	Επικίνδυνο, θορυβώδες, όχι πιστοποιημένο	Μεγάλοι χώροι, επιτόπιες RT60 μετρήσεις

Μικροί χώροι (στούντιο, αίθουσες συνεδρίων): $RT \approx 0.3-0.8$ s

Μεσαίοι χώροι (αίθουσες διδασκαλίας, θέατρα): $RT \approx 0.8-1.5$ s

Μεγάλοι χώροι (εκκλησίες, συναυλιακοί χώροι): $RT \approx 1.5-3.0$ s