

Η παραπάνω συνάρτηση αποτελείται από το άθροισμα δυο αρμονικών όρων που όταν $\omega_1 \neq \omega_2$ έχουν μέση τιμή μηδέν, άρα:

$$P_{rms}^2 = P_{rms,1}^2 + P_{rms,2}^2 \quad (2.3.5)$$

Η γενίκευση για N πηγές είναι προφανής, συνεπώς μπορούμε να γράψουμε:

$$P_{rms}^2 = P_{rms,1}^2 + P_{rms,2}^2 + \dots + P_{rms,N}^2 \quad (2.3.6)$$

Η πίεση είναι το μέγεθος που μετρούν τα όργανα της ακουστικής. Επειδή συνήθως ο ήχος είναι κυμαινόμενος, όταν μετράμε την στιγμιαία πίεση, δεν μετράμε την ποσότητα $p(t)$ αλλά τη «στηγμαία» τιμή της rms πίεσης. Αυτό σημαίνει ότι τα όργανα υπολογίζουν την πίεση με βάση τη σχέση (2.3.2) ολοκληρώνοντας για ένα διάστημα T .

2.4 Η Συχνότητα του ήχου

Εκτός από την ηχητική πίεση, ένα άλλο σπουδαίο μέγεθος που παίζει μεγάλο ρόλο σε όλα τα φαινόμενα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά, του ήχου είναι και η συχνότητά του.

Ως *συχνότητα του ήχου ορίζεται η συχνότητα ταλάντωσης των σωματιδίων του μέσου διάδοσης*.

Η συχνότητα του ήχου με την κυκλική συχνότητα και το μήκος κύματος συνδέονται με τις γνωστές σχέσεις:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad (2.4.1)$$

Όπου λ το μήκος κύματος.

Λόγω του ότι η ακουστότητα των ήχων εξαρτάται εκτός των άλλων και από την συχνότητα τους οι ήχοι κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

Ήχοι με συχνότητες από 16Hz – 20 KHz είναι ακουστοί από τον άνθρωπο και ονομάζονται *ακουστοί*, ενώ ήχοι με συχνότητα > 20 KHz και < 16 Hz δεν είναι ακουστοί και ονομάζονται *υπέρηχοι* και *υπόηχοι* αντίστοιχα.

2.4.1 Ζώνες συχνότητας

Οι ακουστικές ιδιότητες των υακόν αλλά και η απόκριση του συστήματος πηγή – μέσο διάδοσης – δέκτης δεν είναι ούτε σταθερή ούτε γραμμική σε σχέση με την

συχνότητα. Για τον λόγο αυτό, για την μέλετη ενός ακουστικού φαινομένου απαιτείται η μέλετη σε όλες τις συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Η εργασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και για τον λόγο αυτό όλη η περιοχή των συχνοτήτων χωρίζεται σε διαδοχικές περιοχές που ονομάζονται *ζώνες συχνοτήτων* (bands), και η μέλετη γίνεται σε μία μόνο συχνότητα κάθε ζώνης που ονομάζεται κεντρική. Οι ζώνες μπορεί να έχουν σταθερό ή μεταβλητό εύρος.

Η κάθε ζώνη περιλαμβάνει όλες τις συχνοτητες που βρίσκονται μεταξύ των συχνοτήτων f_1 και f_2 που ονομάζονται *πλευρικές συχνοτητες* και περιγράφονται πλήρως από την *κεντρική συχνότητα* f_0 . Το πλήθος των συχνοτήτων που περιλαμβάνονται μεταξύ των ακραίων συχνοτήτων ονομάζεται *εύρος ζώνης* ή *ζωνικό εύρος*.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε ζώνες μεταβλητού εύρους (που είναι και οι πιο συνηθισμένες), η κεντρική συχνότητα ορίζεται ως ο γεωμετρικός μέσος των δυο ακραίων συχνοτήτων και δίνεται από την σχέση:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2.4.2)$$

Το εύρος ζώνης στην περίπτωση ζωνών μεταβλητού εύρους μεταβάλλεται λογαριθμικά στις διαδοχικές ζώνες.

Όταν χρησιμοποιούμε ζώνες σταθερού εύρους και γραμμική κλίμακα συχνοτήτων, ως κεντρική συχνότητα χρησιμοποιούμε την αριθμητική μέση τιμή των ακραίων συχνοτήτων:

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (2.4.3)$$

Από τις σπουδαιότερες ζώνες μεταβλητού εύρους είναι οι οκτάβες οι τριτοοκτάβες και οι δεκατοοκτάβες. Οι ζώνες αυτές ορίζονται έτσι ώστε ο λόγος της μεγαλύτερης πλευρικής προς την μικρότερη να είναι ίσος με $2^{1/1}$, $2^{1/3}$, $2^{1/10}$ αντίστοιχα. Δηλαδή έχουμε *οκτάβες* όταν:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2 \quad (2.4.4)$$

τριτοοκτάβες όταν :

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/3} \quad (2.4.5)$$

δεκατοοκτάβες όταν :

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/10} \quad (2.4.6)$$

και γενικά $1/N$ οκτάβες όταν:

$$f_2 = 2^{1/N} f_1 \quad (2.4.7)$$

Όπου f_2 και f_1 η μεγαλύτερη και η μικρότερη πλευρική συχρότητα κάθε ζώνης. Δέκα διαδοχικές τριτοοκτάβες αποτελούν μια **δεκάδα**. Μια ζώνη είναι δεκάδα όταν ο λόγος των πλευρικών συχνοτήτων είναι ίσος με 10. Δηλαδή:

$$f_2 = 2^{10/N} f_1 = 10 f_1 \quad (2.4.8)$$

Ομοίως τρεις διαδοχικές τριτοοκτάβες η δέκα δεκατοοκτάβες δίδουν μια οκτάβα.

Είναι προφανές ότι και οι κεντρικές συχρότητες δύο διαδοχικών οκτάβων, τριτοοκτάβων κ.λπ. θα υπακούει στην ίδια σχέση όπως η σχέση ορισμού των. Πράγματι αν f_{01}, f_{02} οι κεντρικές συχρότητες δύο $1/N$ οκτάβων με πλευρικές συχρότητες f_1, f_2 και f_2, f_3 τότε

$$\frac{f_{02}}{f_{01}} = \frac{\sqrt{f_2 f_3}}{\sqrt{f_1 f_2}} = \sqrt{\frac{f_3}{f_1}} = \sqrt{\frac{2^{1/N} f_2}{f_1}} = \sqrt{\frac{\left(2^{1/N}\right)^2 f_1}{f_1}} = 2^{1/N}$$

Η κεντρική συχρότητα περιγράφει πλήρως την ζώνη, εφόσον όταν γνωρίζουμε την κεντρική συχρότητα μπορούμε να υπολογίσουμε τις ακραίες συχρότητες και το εύρος ζώνης. Πράγματι για μία ζώνη τριτοοκτάβας με κεντρική συχρότητα f_0 οι πλευρικές συχρότητες και το ζωνικό εύρος θα δίνονται από τις σχέσεις:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}, \quad \frac{f_2}{f_1} = 2^{1/3} \Rightarrow f_0 = f_1 \sqrt{2^{1/3}}$$

και

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{2^{1/3}}}, \quad f_2 = f_0 \sqrt{2^{1/3}} \quad \Delta f = f_2 - f_1$$

Πίνακας 2.4.1 Διαίρεση συχνοτήτων σε οκτάβες κατά ISO και EAOI

Ζώνη (Band)	Συχνότητα (Hz)					
	Οκτάβες	f_1	f_2	Τριτοοκτάβες		
	f_1	f_c	f_2	f_1	f_c	f_2
12	11	16	22	14.1	16	17.8
13				17.8	20	22.4
14				22.4	25	28.2
15	22	31.5	44	28.2	31.5	35.5
16				35.5	40	44.7
17				44.7	50	56.2
18	44	63	88	56.2	63	70.8
19				70.8	80	89.1
20				89.1	100	112
21	88	125	177	112	125	141
22				141	160	178
23				178	200	224
24	177	250	355	224	250	282
25				282	315	355
26				355	400	447
27	355	500	710	447	500	562
28				562	630	708
29				708	800	891
30	710	1000	1420	891	1000	1122
31				1122	1250	1413
32				1413	1600	1778
33	1420	2000	2840	1778	2000	2239
34				2239	2500	2818
35				2818	3150	3548
36	2840	4000	5680	3548	4000	4467
37				4467	5000	5623
38				5623	6300	7079
39	5680	8000	11360	7079	8000	8913
40				8913	10000	11220
41				11220	12500	14130
42	11360	16000	22270	14130	16000	17780

Όπως προκύπτει από τον ορισμό οι συχρότητες κάθε ζώνης θα εξαρτώνται από τον ορισμό της χαμηλότερης συχρότητας της πρώτης ζώνης. Για να μην υπάγεται το πρόβλημα αυτό η εκλογή των ζωνών έχει τυποποιηθεί. Ο πίνακας (2.4.1) δίνει τις βασιστοίχες τυποποιήσεις των συχνοτήτων σε οκτάβες και τριτοοκτάβες κατά ISO και EAOI

$$\begin{aligned}
 p_{\text{ref}} &= 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \\
 \rho c_{\text{ref}} &= 400 \text{ Rayls} \\
 s_{\text{ref}} &= 1 \text{ m}^2 \\
 r_{\text{ref}} &= 1 \text{ m} \\
 \tau_{\text{ref}} &= 1 \text{ sec}
 \end{aligned}$$

Η τιμή των 20 μPa αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της πίεσης που θα πρέπει να έχει ένας ήχος ώστε να είναι μόλις ακουστός.

2.5.2 Ηχητικές στάθμες

Σύμφωνα με τα παραπάνω για τις βασικές ποσότητες που γνωρίσαμε μπορούμε κατ' αρχάς να ορίσουμε τις εξής στάθμες:

α) Στάθμη πίεσης ήχου (L_p)

Ορίζεται από τη σχέση:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_{\text{ref}}^2} \quad (2.5.5)$$

όπου p , η πίεση ήχου σε κάποιο σημείο

p_{ref} , η πίεση αναφοράς.

Όπως παρατηρούμε στην παραπάνω σχέση η ακουστική πίεση είναι υψωμένη στο τετράγωνο. Αυτό συμβαίνει γιατί η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων, είναι ανάλογη με το τετράγωνο της πίεσης. Αντίστοιχα με την στάθμη πίεσης του ήχου ορίζεται και οι στάθμες έντασης και ισχύος.

β) Στάθμη έντασης ήχου (L_I)

Για την στάθμη έντασης μπορούμε να γράψουμε:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{\text{ref}}} \quad (2.5.6)$$

όπου I , το μέτρο της έντασης σε κάποιο σημείο, και I_{ref} , η ένταση αναφοράς, που υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{\text{ref}} = \frac{p_{\text{ref}}^2}{(\rho c)_{\text{ref}}}$$

Οπότε με αντικατάσταση των τιμών αναφοράς προκύπτει ότι:

$$I_{\text{ref}} = \frac{(2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa})^2}{400 \text{ Rayls}} = 10^{-12} \text{ W} / \text{m}^2 \quad (2.5.7)$$

γ) Στάθμη ισχύος ήχου (L_W)

Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της ολικής εκπαιμπόμενης ηχητικής ισχύος από μία πηγή. Ορίζεται και αυτή από τη σχέση:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_{\text{ref}}} \quad (2.5.8)$$

Όπου W , η ακουστική ισχύς της πηγής σε watt και W_{ref} η ισχύς αναφοράς.

Η ποσότητα αναφοράς προκύπτει με ανάλογο τρόπο από τη σχέση:

$$W_{\text{ref}} = I_{\text{ref}} \cdot s_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ W} / \text{m}^2 \cdot 1 \text{ m}^2 = 10^{-12} \text{ Watt} \quad (2.5.9)$$

Στην βιβλιογραφία πολλές φορές οι στάθμες πίεσης, έντασης και ισχύος συμβολίζονται ως SPL, SIL και SWL αντίστοιχα.

Το σχήμα 2.5.1 συγκρίνει τις τιμές του εκπαιμπόμενου ήχου από διάφορες πηγές όταν αυτές μετρούνται σε μPa και dB. Από το σχήμα είναι προφανές πόσο πιο εύχρηστη είναι η μονάδα dB, μια και το εύρος των ακουστών ήχων είναι από 0 μέχρι 140 dB ενώ οι αντίστοιχες τιμές σε μPa είναι 0–100.000.000.

Θεωρητικά στον αέρα δεν μπορεί να παραχθεί ήχος με στάθμη μεγαλύτερη από 194 dB και αυτό γιατί η δημιουργούμενη υποπίεση δεν μπορεί να πάρει μεγαλύτερη τιμή από την ατμοσφαιρική. Αν συνέβαινε αυτό στην ολική πίεση θα αντιστοιγούσαν και αρνητικές τιμές.

Δημιόση

Η μονάδα decibel είναι η κατ'εξοχήν μονάδα που χρησιμοποιείται στην ακουστική. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις (αν και σπάνια) χρησιμοποιείται και η μονάδα bel. Στους κινονισμούς ISO 9296 προτείνεται η στάθμη ισχύος μιας μηχανής να εκφράζεται σε bel και η μονάδα στάθμης πίεσης σε decibel. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η σύγχυση μεταξύ των δύο μεγεθών.

2.5.3 Φασματικές στάθμες θορύβου

Στις στάθμες που ορίσαμε στην παράγραφο (2.5.1), δεν υπεισέρχεται η συγγνότητα του ήχου. Όταν μιας ενδιάφερει πως καταναέεται ο θόρυβος στις διάφορες συγγνότητες χρησιμοποιούμε τις παρακάτω στάθμες θορύβου:

ι) Φασματική στάθμη πίεσης (L_{ps})

Δίδει τη στάθμη αλάων ήχων (τόνων) και ορίζεται από τη σχέση:

$$L_{ps} = 10 \log \frac{P_s^2}{P_{ref}^2} \quad (2.5.10)$$

Όπου P_s , η πίεση που οφείλεται σε μια συγκεκριμένη ζώνη συγγνότητας με κεντρική συγγνότητα f και εύρος $\Delta f = 1 \text{ Hz}$.

ιι) Ζωνική στάθμη πίεσης (L_{pB})

Δίδει τη στάθμη του ήχου όταν αυτός καταναέεται σε μια ζώνη (1/1, 1/3, 1/10 οκτάβας) και ορίζεται από τη σχέση:

$$L_{pB} = 10 \log \frac{\int_{f_1}^{f_2} P_{f, rms}^2 df}{P_{ref}^2} \quad (2.5.11)$$

Όπου f_1, f_2 οι πλεύρικές συγγνότητες κάθε ζώνης και

$P_{f, rms}$ η rms φασματική πίεση κάθε συγγνότητας.

Όταν ο θόρυβος ισοκατανέμεται σε όλες τις συγγνότητες μιας ζώνης τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$L_{pB} = 10 \log \frac{P_s^2 \Delta f}{P_{ref}^2} = L_{ps} + 10 \log \Delta f \quad (2.5.12)$$

όπου Δf το εύρος ζώνης, P_s^2 το τετράγωνο της πίεσης της κεντρικής συγγνότητας της ζώνης και L_{ps} η αντίστοιχη φασματική στάθμη της κεντρικής συγγνότητας της ζώνης.

ιιι) Ολική στάθμη πίεσης

Όπως είναι προφανές η ολική στάθμη πίεσης δηλαδή η στάθμη που οφείλεται στον ήχο ανεξάρτητα από τη συγγνότητά του θα δίδεται από τη σχέση:

$$L_{p_{ολκ}} = 10 \log \frac{\int_0^{20000} P_{f, rms}^2 df}{P_{ref}^2} \quad (2.5.13)$$

Όταν έχουμε θόρυβο που καταναέεται ομοιόμορφα σε κάθε ζώνη συγγνότητας τότε η ολική στάθμη πίεσης δίδεται από τη σχέση:

$$L_{p_{ολκ}} = 10 \log \frac{1}{P_{ref}^2} \sum_i^N P_{si}^2 \Delta f_i = 10 \log \sum_i^N 10^{0.1 L_{pB_i}} \quad (2.5.14)$$

όπου P_{si} , οι πιέσεις στις κεντρικές συγγνότητες κάθε ζώνης,

Δf_i , το εύρος κάθε ζώνης και

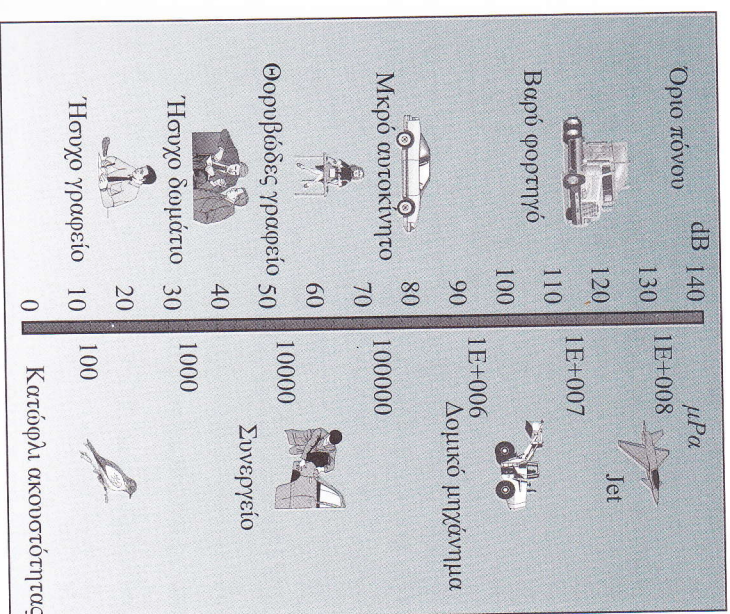
L_{pB_i} , η στάθμη ζώνης

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το εύρος ζώνης είναι διαφορετικό για κάθε ζώνη. Για οκτάβες το εύρος ζώνης είναι ίσο με την χαμηλότερη συγγνότητα ενώ για τριτοοκτάβες το εύρος ζώνης είναι ίσο με $(2^{1/3} - 1)f_i$, όπου f_i η χαμηλότερη συγγνότητα της τριτοοκτάβας.

Η σχέση (2.5.14) είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον υπολογισμό της ολικής στάθμης πίεσης όταν γνωρίζουμε τις ζωνικές στάθμες ενός ήχου. Η ολική στάθμη όταν γνωρίζουμε τις ζωνικές στάθμες μπορεί συμβολικά να γραφεί με την σχέση:

$$L_{p_{ολκ}} = L_{B1} \oplus L_{B2} \oplus L_{B3} \oplus \dots \quad (2.5.15)$$

Όπου \oplus το σύμβολο άθροισης των dB που περιγράφεται παρακάτω. Ανάλογες σχέσεις ισχύουν για την ένταση και την ισχύ των πηγών.



Σχήμα 2.5.1: Σύγκριση ηχητικής πίεσης και στάθμης πίεσης για μερικούς ήχους

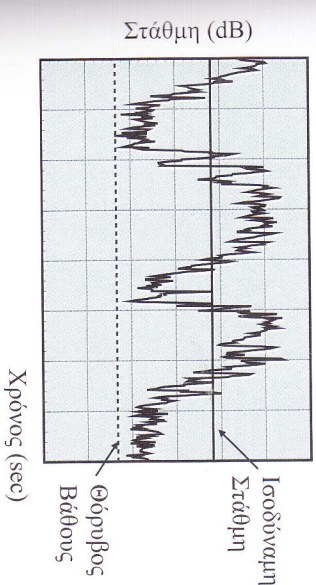
2.5.3 Ισοδύναμη στάθμη θορύβου (L_{eq})

Οι στάθμες που αναφέρθηκαν προηγουμένα μετρούν σταθερούς ήχους, δηλαδή ήχους των οποίων το πλάτος δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις δεν συμβαίνει αυτό και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε άλλες στάθμες που ονομάζονται και δείκτες. Η ισοδύναμη στάθμη είναι μία από αυτές. Η ισοδύναμη στάθμη θορύβου είναι από τους πιο εύχρηστους δείκτες θορύβου και πολλαπλές φορές χρησιμοποιείται για τον ορισμό άλλων δεικτών. Η ισοδύναμη στάθμη εκφράζει την στάθμη που θα πρέπει να έχει ένας σταθερός στάθμης ήχος που περικλείει την ίδια ακουστική ενέργεια με τον κυμαινόμενο. Μαθηματικά ορίζεται από τη σχέση:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0.1L(t)} dt \quad (2.5.16)$$

όπου T , ο χρόνος παρατήρησης

$L(t)$, η στιγμιαία στάθμη θορύβου.



Σχήμα 2.5.2: Κυμαινόμενος θόρυβος (αεθλοκείμενη γραμμή) και ισοδύναμη στάθμη (Συνεχής ευθεία)

γραμμή). Η συνεχής ευθεία δίνει την ισοδύναμη στάθμη και η διακεκομμένη τον θόρυβο βάθος, που ορίζεται στο κεφάλαιο 3.

Συνήθως στην πράξη γίνεται στατιστική ανάλυση του θορύβου και από το ιστόγραμμα των δειγμάτων του θορύβου υπολογίζεται η ισοδύναμη στάθμη βάσει του τύπου:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N f_i 10^{0.1L_i} \quad (2.5.17)$$

Όπου f_i , η % συχνότητα επανάληψης της στάθμης L_i

Για το θόρυβο του περιβάλλοντος χρησιμοποιείται επίσης και η ποσοστιαία (ή ποσοστμοριακή) στάθμη L_{ns} , η οποία ορίζεται στο κεφάλαιο 15.

2.5.4 Ηχώμετρα

Για τη μέτρηση της στάθμης του θορύβου χρησιμοποιούμε τα ηχώμετρα. Η μετρούμενη ποσότητα ουσιαστικά είναι η rms τιμή πίεσης. Τα ηχώμετρα είναι εφοδιασμένα με ένα κύκλωμα χρόνου που δίνει δύο σταθερές χρόνου ως προς τις οποίες γίνεται ο υπολογισμός της rms τιμής. Η πρώτη σταθερά είναι 125 ms και αντιστοιχεί στην ένδειξη fast και η δεύτερη 1000 ms και αντιστοιχεί στην ένδειξη Slow.

Εκνήθως τα καλής ποιότητας ηχώμετρα είναι εφοδιασμένα με κύκλωμα ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό της ισοδύναμης στάθμης και έχουν έξοδο αναλογική ή ψηφιακή για την εισοδο των δεδομένων σε υπολογιστή.

Τα ηχώμετρα ανάλογα με την ακρίβεια που έχουν διακρίνονται σε τρεις τύπους: τα ηχώμετρα τύπου 1, τα ηχώμετρα τύπου 2 και τα ηχώμετρα τύπου εκτίμησης (surve).

3.3 Είδη ήχων και θορύβων

Οι ήχοι ανάλογα με την κυματομορφή ή το φασματικό περιεχόμενο τους κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. Γενικά ως ήχο θεωρούμε το ερέθισμα που μεταφέρει κάποια πληροφορία, ενώ ως θόρυβο κάθε ανεπιθύμητο ήχο. Σύμφωνα με τον κανονισμό ΕΛΟΤ 263.1 μπορούμε να ορίσουμε τα παρακάτω είδη ήχων.

3.3.1 Απλοί ήχοι

Απλός ήχος ή **απλός τόνος** ή **καθαρός τόνος** είναι ο ήχος που παράγεται από αρμονική διαταραχή.

Ο απλός ήχος χαρακτηρίζεται από το πλάτος του, τη συχνότητά του και το μήκος κύματος. Η μαθηματική έκφραση ενός απλού τόνου, με τη μορφή επίπεδου ηχητικού κύματος όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο είναι:

$$p(x, t) = P_0 \cos(\omega t - kx) \quad (3.3.1)$$

όπου p , η πίεση του ηχητικού σήματος

l , χρόνος

x , η απόσταση από την αρχή των αξόνων.

Σύνθετος ήχος είναι κάθε ήχος που δεν είναι απλός τόνος.

Σύνθετος τόνος είναι κάθε περιοδικός σύνθετος ήχος.

3.3.2 Λευκός και ροζ θόρυβος

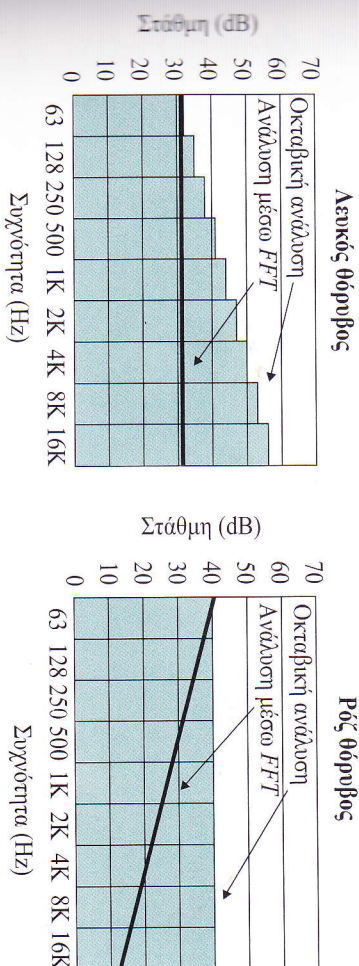
Για το θόρυβο σύμφωνα με τον κανονισμό ΕΛΟΤ 263.1 (1.201) μπορούμε να δώσουμε τους ορισμούς:

Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται γενικά με τυχαίο τρόπο ή

Θόρυβος ονομάζεται κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος.

Ο θόρυβος οφείλεται στις ηχητικές συνθήκες του χώρου και προκαλείται από την συμβολή πολλών ηχογόνων παραγόντων (άνεμος, τροχαία κίνηση, βιομηχανία, ανθρώπινες δραστηριότητες κ.λπ.)

Αν υποθέσουμε ότι ο θόρυβος που εκπέμπεται από μια πηγή κατανέμεται ομοίμορφα σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων, δηλαδή περιλαμβάνει την ίδια ηχητική ενέργεια ανά Ηz, τότε ο θόρυβος ονομάζεται **λευκός** (white noise).



Πίνακας 3.3.1: Φάσματα λευκού και ροζ θορύβου μέσω αναλόγου (συνεχής γραμμή) και ψηφιακών μετα-ψηφισμένων εθνικών [οκτάβες].

Για το λευκό θόρυβο μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό [ΕΛΟΤ 263.1 (1.203)]:

Λευκός θόρυβος είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρει και σταθερή φασματική πυκνότητα

δηλαδή με άλλα λόγια το φάσμα του λευκού θορύβου είναι μία γραμμική παράλληλη στον άξονα των συχνοτήτων.

Στην περίπτωση λευκού θορύβου συνεπώς ισχύει:

$$P_f^2 = \text{σταθ.} \quad (3.3.2)$$

Η στάθμη ζώνης του λευκού θορύβου θα παρουσιάζει μία αύξηση +3 dB /οκτάβα.

Απόδειξη:

Η διαφορά των ζωνικών σταθμών για δύο διαδοχικές οκτάβες σύμφωνα με την σχέση (1.9.9) θα δίνεται από την σχέση:

$$\Delta L = L_{f_2} + 10 \log \Delta f_2 - L_{f_1} - 10 \log \Delta f_1 = 10 \log \frac{\Delta f_2^2}{\Delta f_1^2} \quad (3.3.3)$$

Για διαδοχικές οκτάβες ο λόγος των ευρών των συχνοτήτων είναι ίσος με 2 που αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 3 dB /οκτάβα.

Όταν ο θόρυβος κατανέμεται περισσότερο στις χαμηλές συχνοότητες και μάλιστα η κατανομή αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συχνότητα τότε ο θόρυβος ονομάζεται **ροζ** θόρυβος (pink noise).

Για το ροξ θόρυβο μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό (ΕΝΟΤ 263.1 (1.204):

Ροξ θόρυβος είναι ο θόρυβος που έχει συνεχές ηχητικό φάσμα με σταθερή ηχητική ισχύ σε κάθε φασματική ζώνη μεταβλητού ζωνικού εύρους.

Στην περίπτωση ροξ θορύβου ισχύει:

$$P_f^2 = \frac{k}{f} \quad (3.3.4)$$

Όπου k σταθερά

Το φάσμα του ροξ θορύβου όταν αυτό ληφθεί με φίλτρα σταθερού εύρους ή ψηφιακά μέσω FFT λόγω της παραπάνω ιδιότητας θα αποτελεστεί από μία ευθεία γραμμή με κλίση $-3\text{dB}/\text{οκτάβα}$. Όταν όμως το φάσμα ληφθεί μέσω φίλτρων μεταβλητού εύρους (π.χ. φίλτρα οκτάβας, τριτοοκτάβας κ.λπ.) λόγω του ότι το εύρος των φίλτρων αυξάνει με τη συχνότητα με ρυθμό αντίστροφο από ότι ελαττώνεται το τετράγωνο της rms πίεσης τότε οι τιμές του ζωνικών σταθμών θα βρίσκονται σε ευθεία γραμμική παράλληλη με τον άξονα των συχνοτήτων.

Απόδειξη:

Σύμφωνα με τον ορισμό της ζωνικής στάθμης (σχέση (1.9.8), για μία ζώνη μεταβλητού εύρος μπορούμε να γράψουμε:

$$L_{pb} = 10 \log \frac{\int_{f_1}^{f_2} P_{f,rms}^2 df}{P_{ref}^2} = 10 \log \frac{\int_{f_1}^{f_2} \frac{k}{f} df}{P_{ref}^2} = 10 \log \frac{k}{P_{ref}^2} \left[\ln \frac{f_2}{f_1} \right] \quad (3.3.5)$$

Για τις ζώνες μεταβλητού εύρους όμως ισχύει $f_2 f_1 = 2^{1/N}$ οπότε η σχέση (3.3.5) τελικά καταλήγει στην:

$$L_{pb} = 10 \log \frac{k}{P_{ref}^2} \left[\ln 2^{1/N} \right] = \text{σταθ.} \quad (3.3.6)$$

Για τις δύο ακραίες συχνότητες μιας οκτάβας η διαφορά των φασματικών σταθμών θα είναι:

$$\Delta L = 10 \log \frac{k}{f_2 P_{ref}^2} - 10 \log \frac{k}{f_1 P_{ref}^2} = 10 \log \frac{f_1}{f_2} = -3\text{dB} \quad (3.3.7)$$

Το σχήμα (3.3.1) δείχνει τα φάσματα του λευκού και ροξ θορύβου μέσω φίλτρων σταθερού εύρους (ευθεία Α) και μέσω φίλτρων μεταβλητού εύρους [οκτάβας, τριτοοκτάβας κ.λπ. (γραμμή Β)].

3.3.3 Θόρυβος περιβάλλοντος και βάθους

Θόρυβος περιβάλλοντος (Ambient noise) Είναι ο θόρυβος που εκπέμπεται από απηκεκρυμμένες πηγές που δεν μας ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης. Παράδειγμα τέτοιου θορύβου είναι ο θόρυβος ενός κλιματιστικού μηχανήματος σε αθλοσά δισακάλιας.

Για το θόρυβο περιβάλλοντος μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό: (ΕΝΟΤ 263.1 (1.209):

Θόρυβος περιβάλλοντος είναι το συνολικό αποτέλεσμα όλων των αερόφερτων ήχων που παράγονται από πολλές πηγές κοντινές ή μακρινές σε δοσμένο περιβάλλον, από τους οποίους κανένας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Θόρυβος βάθους (Background Noise) ονομάζεται ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δεν μας ενδιαφέρουν. Ο θόρυβος περιβάλλοντος είναι μέρος του θορύβου βάθους

Σύμφωνα, με τον ΕΝΟΤ 263.1 (1210) ως θόρυβος βάθους ορίζεται ως ο θόρυβος που προέρχεται από όλες τις πηγές που δεν έχουν σχέση με έναν ορισμένο ήχο ο οποίος αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος. Στην περίπτωση αξιολόγησης του θορύβου βάθους σε κατοικημένες περιοχές ως θόρυβος βάθους λαμβάνεται η Α ηχοστάθμη που ξεπερνιέται στα 95% του χρόνου μέτρησης (L_{95}).

Για το θόρυβο επίσης μπορούμε να κάνουμε τις εξής διακρίσεις, πάντοτε σύμφωνα με τον ΕΝΟΤ 263.1:

Διαθρόπος θόρυβος είναι ο θόρυβος που παρουσιάζει αμελητέα μικρές διακυμάνσεις στάθμης κατά την διάρκεια της παρατήρησης.

Μεταβλητός θόρυβος είναι ο θόρυβος που δεν είναι στάθερός

Κοιμημένος είναι ο μεταβλητός θόρυβος που η στάθμη του αλλάζει συνεχώς και οι σημαντικοί βαθμοί κατά την διάρκεια της παρατήρησης.

Παραδείγματα

Φάσμα λευκού θορύβου

Η φασματική στάθμη πίεσης λευκού θορύβου στην συχνότητα των 1000 Hz είναι 50 dB. Να υπολογισθεί η ολική στάθμη πίεσης στην οκτάβα και την τριτοοκτάβα των 1000 Hz.