



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

Επισκόπηση Παραγόντων που επιδρούν στην Ακουστική Υγεία στο Αεροπορικό Περιβάλλον

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Δ. ΛΑΜΠΡΟΣ

Επιβλέπων: Κουτσούρης Δημήτριος-Διονύσιος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα: Δρ. Ουρανία Πετροπούλου

ΕΔΙΠ Α΄ Ε.Μ.Π

Αθήνα, Απρίλιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Επισκόπηση Παραγόντων που επιδρούν στην Ακουστική Υγεία στο Αεροπορικό Περιβάλλον

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Δ. ΛΑΜΠΡΟΣ

Επιβλέπων: Κουτσούρης Δημήτριος-Διονύσιος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα: Δρ. Ουρανία Πετροπούλου

ΕΔΙΠ Α' Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Απριλίου 2020

(Υπογραφή)

.....

Δ.Δ. Κουτσούρης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

(Υπογραφή)

.....

Γ.Ματσόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

(Υπογραφή)

.....

Π.Τσανάκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Απρίλιος 2020

(Υπογραφή)

.....

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Παναγιώτης Λάμπρος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση και αξιολόγηση της πλειοψηφίας των επιπτώσεων του αεροπορικού θορύβου στην υγεία του ανθρώπου, τόσο στις καθημερινές δραστηριότητες όσο και στο χώρο εργασίας.

Ο αεροπορικός θόρυβος αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών σε παγκόσμιο επίπεδο, με στόχο την ποσοτική ανάλυση της επίδρασής του στην ακουστική υγεία και κατ' επέκταση στη ποιότητα ζωής των ανθρώπων που εργάζονται ή κατοικούν στις παρακείμενες αστικές ζώνες όπου εδρεύουν στρατιωτικά ή πολιτικά αεροδρόμια. Για αυτό το λόγο έχουν θεσπιστεί από την Ελληνική και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία συγκεκριμένα όρια, τα οποία πρέπει να τηρούνται στις προδιαγραφές των αεροδρομίων. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο εξέδωσε την οδηγία 2002/49/ΕΚ της 25ης Ιουνίου 2002 με κύριο στόχο την παροχή μιας κοινής βάσης για την αντιμετώπιση των προβλημάτων θορύβου σε όλη την ΕΕ.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της στάθμης του θορύβου, είναι απαραίτητη η συλλογή των απαραίτητων επιστημονικών δεδομένων και τεχνικών προδιαγραφών των διαφόρων μερών του αεροσκάφους. Η λειτουργία του κινητήρα ενός αεροσκάφους σε συνδυασμό με τις δυνάμεις άντωσης και τριβής που δημιουργούνται μέσω της ατράκτου και των κινητών μερών στην αεροπλοΐα, καθιστούν το αεροσκάφος κύρια πηγή ηχορύπανσης.

Μελετώντας τις βασικές αρχές της ακοής και πως αυτή επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες όπως ο θόρυβος, συμπεραίνουμε τις επιπτώσεις του θορύβου τόσο στην φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος (καρδιακή δυσλειτουργία, υπέρταση κτλ.), όσο και στην ψυχολογία (άγχος, έλλειψη συγκέντρωσης).

Τέλος, γίνεται μια ανασκόπηση των αποτελεσμάτων της έρευνας και αναφέρονται προτάσεις για την διαχείριση του θορύβου και την λήψη μέτρων για τον περιορισμό του.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Αεροσκάφος, θόρυβος, νομοθεσία, κινητήρας, άτρακτος, ψυχολογικές επιδράσεις, φυσιολογικές επιδράσεις, υγεία, εργαζόμενοι, κάτοικοι

ABSTRACT

This thesis aims to investigate, document and evaluate the effects of aircraft-related noise on human health, of both airport staff and inhabitants of adjacent neighborhoods.

The aircraft-related is the topic of many research studies worldwide, aiming to quantify noise impact on acoustic health and therefore on quality of life of individuals who reside in urban zones, adjacent to which civil (for commercial use) and military airports are located. For this reason, Greek and European Legislation have enacted specific limitations, to which airports ought to comply. The European Parliament published the Directive 2002/49/EC of 25th of June 2002, whose main objective is to create a common basis, intended to tackle the harmful effects of noise pollution within the EU.

The aircraft engine operation combined with lift (buoyancy) and friction forces generated through the airframe and mobile parts in aviation, render the aircraft as the major source of noise pollution. The accurate determination of the noise levels of an aircraft, requires the combination of necessary scientific data as well as technical standards of various (different) parts of the aircraft.

Studying the basic principles of hearing and how it is affected from exogenous (external) factors, such as noise, the implications of noise in both human body physiology (cardiac dysfunction, hypertension) and psychology (stress, lack of concentration) will enable the better understanding of the effects of aircraft-related noise pollution.

This thesis concludes with a review of the results and attempts to suggest measures to reduce noise-pollution and its effects.

KEYWORDS

Aircraft, noise, legislation, engine, airframe, psychological effects, physiological effects, health, workers, residents

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Κουτσούρη Δημήτριο, τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαιτέρως για την συνολική του στήριξη. Αυτό το έργο είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας μου με την κ. Πετροπούλου που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα της συγγραφής, με τη διαρκή συμπαράστασή της, καθώς και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε, καθ' όλη την διάρκεια διεκπεραίωσης της διπλωματικής μου εργασίας. Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε σε κάθε βήμα των φοιτητικών μου χρόνων και μου έδωσε τα κατάλληλα εφόδια. Επιπροσθέτως, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους συναδέλφους μου, οι οποίοι σεβάστηκαν την όλη προσπάθεια και τον μόχθο μου, παρά τις αντίξοες συνθήκες και τα εξαντλητικά ωράρια εργασίας από τις νυχτερινές βάρδιες. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό ευχαριστώ θέλω να δώσω στους φίλους μου, που ήταν και είναι πάντα δίπλα μου, αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι της προόδου στη ζωή μου.

Λάμπρος Παναγιώτης

Αθήνα, 7 Απριλίου 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	11
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	13
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	14
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	15
1.1. Ήχος Και Μηχανική Μετάδοση.....	15
1.2. Τρόπος Αντίληψης του Ήχου Από Τον Άνθρωπο.....	17
1.3. Ηχητικές Παράμετροι και Ορισμός Θορύβου.....	18
2. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ.....	23
2.1 Η Έννοια του Θορύβου.....	23
2.2 Επιπτώσεις του Θορύβου στην Υγεία.....	25
3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ...	27
3.1 Διεθνής Νομοθεσία.....	27
3.2 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	27
3.3 Τεχνικές Πληροφορίες Νέου Ευρωπαϊκού Δείκτη Αξιολόγησης Περιβαλλοντικού Θορύβου	29
3.4 Στρατηγική Χαρτογράφησης Θορύβου.....	31
4. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ.....	38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2 Θόρυβος Κινητήρα.....	39
4.3 Θόρυβος Εξαγωγής Κινητήρα.....	44
4.4 Θόρυβος Ατράκτου.....	46
4.5 Θόρυβος Συστήματος Προσγείωσης.....	48
4.6 Διάδοση Του Θορύβου του Αεροσκάφους.....	50
4.7 Ποσοτικοποίηση του Θορύβου του Αεροσκάφους.....	52
5. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΗΡΕΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ.....	54
5.1 Εισαγωγή Στην Ανθρώπινη Αρτηριακή Πίεση.....	55

5.1.1	Η δομή και η λειτουργία των αγγείων του αίματος	55
5.1.2	Πίεση του αίματος	57
5.2	Φυσιολογικές Επιδράσεις από τον Θόρυβο του Αεροσκάφους.....	58
5.2.1	Επηρεασμός Ενδοκρινικού και καρδιαγγειακού συστήματος	59
5.2.2	Επηρεασμός κυκλοφορικού συστήματος.....	60
5.2.3	Επηρεασμός νευρικού συστήματος.....	61
5.3	Ψυχολογικές Επιδράσεις από τον Θόρυβο του Αεροσκάφους	62
5.4	Επιδράσεις Αεροπορικού Θορύβου σε Κάτοικους Γειτονικών σε Αεροδρόμια Περιοχών	63
5.5	Επιδράσεις σε Εργαζομένους Αεροδρομίου ή Εντός του Αεροσκάφους	66
6.	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ	69
6.1	Σύνοψη.....	69
6.2	Επόμενα Βήματα.....	70
	Βιβλιογραφία	71

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Ταχύτητα του ήχου σε διαφορετικά μέσα	15
Εικόνα 2. Συχνότητα Κυμάτων	16
Εικόνα 3. Ανατομία του αυτιού	18
Εικόνα 4. Καμπύλες Ακουστότητας	20
Εικόνα 5. Καμπύλες των φίλτρων A,B,C,D.....	22
Εικόνα 6. Διαγραμματική απεικόνιση του ίχνους πτήσης	32
Εικόνα 7. Τρεις διαφορετικοί τύποι αεροκινητήρων και οι λειτουργίες τους	39
Εικόνα 8. Πηγές θορύβου από το εσωτερικό του κινητήρα.....	42
Εικόνα 9. Μισό τμήμα μπροστινού τμήματος κινητήρα που δείχνει τα πτερύγια συμπίεσης.....	44
Εικόνα 10. Θόρυβος καυσαερίων κινητήρα.....	46
Εικόνα 11. Επιφάνειες παραγωγής θορύβου του αεροσκάφους	47
Εικόνα 12. Επιφάνειες παραγωγής θορύβου πτέρυγας αεροσκάφους	48
Εικόνα 13. Πως ο θόρυβος επηρεάζει τους ανθρώπους.....	54
Εικόνα 14. Η αλληλεπίδραση των αιμοφόρων αγγείων ανάλογα με τον όγκο και την κατεύθυνση της ροής του αίματος	55
Εικόνα 15. Ροή του αίματος από και προς την καρδιά	57
Εικόνα 16. Θόρυβος αεροσκάφους κατά την απογείωση	65
Εικόνα 17. Εργαζόμενος σε αεροσκάφος Embraer.....	67
Εικόνα 18. Διάγραμμα αποτελεσμάτων συγκριτικού πειράματος σε εργαζομένους αεροπλοΐας	68

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Συντελεστές A στάθμησης - W_A	21
Πίνακας 2. Είδος θορύβου και ένταση σε dB	24
Πίνακας 3. Απαιτούμενες προσαρμογές σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ECAC 29.....	35

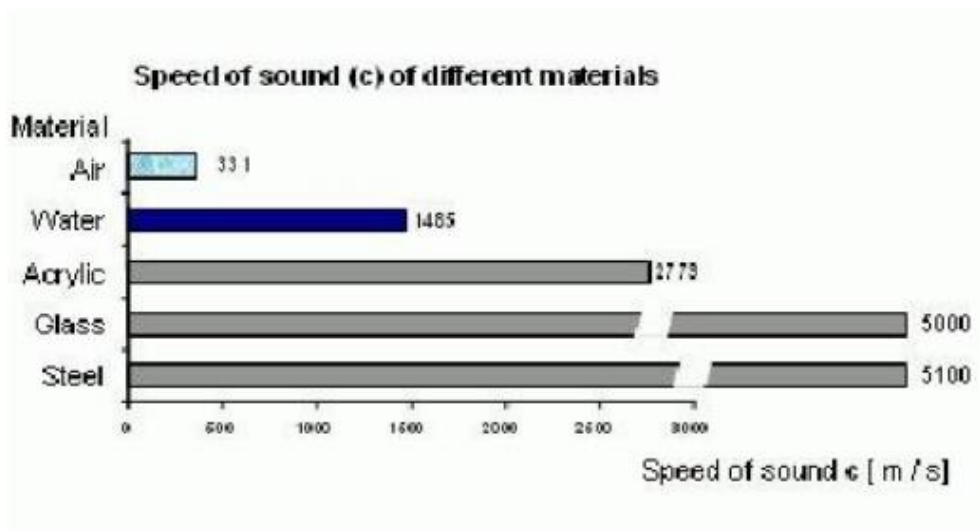
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.1. Ήχος Και Μηχανική Μετάδοσης

Η αίσθηση που προκαλείται λόγω της διέγερσης των αισθητήριων οργάνων της ακοής μέσω μεταβολών της πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται ήχος. Πρόκειται για ένα κύμα πίεσης που δημιουργείται από ένα δονούμενο αντικείμενο. Τα ηχητικά κύματα απαιτούν ένα μέσο, όπως στερεό, υγρό ή αέριο μέσω του οποίου μπορούν να μεταδοθούν οι δονήσεις του ήχου. Αυτές οι δονήσεις θέτουν τα σωματίδια που βρίσκονται στο περιβάλλον μέσο (συνήθως αέρας) σε δονητική κίνηση, μεταφέροντας έτσι ενέργεια μέσω του μέσου. Δεδομένου ότι τα σωματίδια κινούνται σε παράλληλη κατεύθυνση προς την κυματική κίνηση, το ηχητικό κύμα χαρακτηρίζεται ως διάμηκες. Το αποτέλεσμα των διαμηκών κυμάτων είναι η δημιουργία συμπιέσεων και εκρήξεων στον αέρα.

Φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου

Ταχύτητα : Η ταχύτητα του ήχου είναι η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων. Ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιείται, η ταχύτητα διάδοσης διαφέρει από το υλικό του μέσου και από τη θερμοκρασία. Η μονάδα μέτρησης είναι m/s (μέτρα/δευτερόλεπτα).

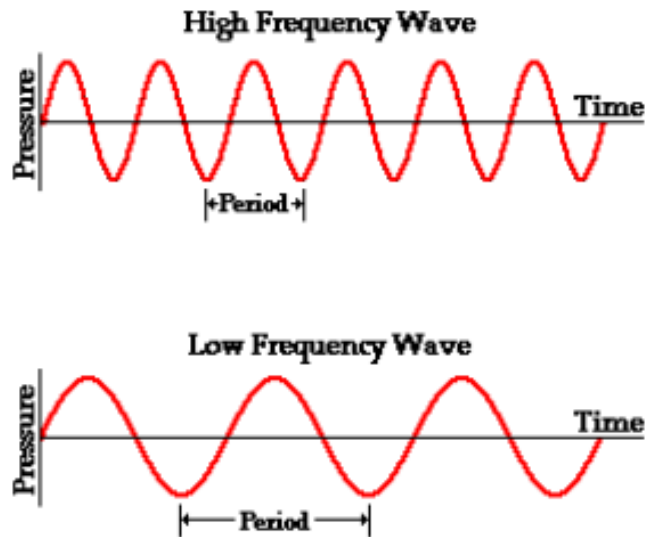


Εικόνα 1. Ταχύτητα του ήχου σε διαφορετικά μέσα, Πηγή: www.plexiglas.net

Τα ηχητικά κύματα, όπως και κάθε κύμα χαρακτηρίζονται από μία συχνότητα f (*frequency*).

Συχνότητα: Ο αριθμός των μεταβολών της πίεσης που υφίστανται τα μόρια του μέσου ανά δευτερόλεπτο και ορίζεται ως κύκλοι ανά δευτερόλεπτο.

Αποτελεί κύρια ιδιότητα του ήχου που καθορίζει τον τόνο και μετριέται σε *Hertz (Hz)*. Όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα, τόσο πιο *ψηλός* είναι ο ήχος (υψίσυχνος), ενώ όσο μειώνεται η συχνότητα ο ήχος γίνεται πιο *μπάσος* (βαθύσυχνος).



Εικόνα 2. Συχνότητα Κυμάτων, Πηγή: www.physicsclassroom.com

Η συχνότητα f είναι ανάλογη της ταχύτητας V του κύματος και αντιστρόφως ανάλογη του μήκους λ του κύματος όπως προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$\text{Wavelength}(\lambda) = \frac{\text{Velocity}(v)}{\text{Frequency}(f)}$$

Ο ήχος δεν αποτελείται από κύματα μιας μόνο συχνότητας, αλλά από την σύνθεση πολλών κυμάτων διαφορετικών συχνοτήτων και πλάτους παράγοντας τον τελικό αντιληπτό ήχο. Παρόλα αυτά υπάρχουν και οι μονοσυχνοτικοί ήχοι, οι οποίοι εντοπίζονται σπάνια στη φύση [1].

Ακουστική Ισχύς: Η διάδοση ενός ηχητικού κύματος έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά ποσότητας ενέργειας (ηχητική ενέργεια). Η ηχητική ισχύς ή η ακουστική ισχύς είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ηχητική ενέργεια εκπέμπεται, ανακλάται, μεταδίδεται ή λαμβάνεται, ανά μονάδα χρόνου και συμβολίζεται με W . Στο S.I. η ισχύς μετριέται σε *Watts* ($1W = 1 \text{ Joule/sec}$).

Το επίπεδο της ακουστικής ισχύος συμβολίζεται με L_w . Σε σχέση με την ακουστική πίεση, η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που διαφέρουν σε κάθε μέσο διάδοσης, η ακουστική ισχύς είναι μέγεθος που ορίζει αντικειμενικά την ηχητική πηγή. Μονάδα μέτρησης είναι τα *dB* και ο τύπος που την ορίζει είναι ο παρακάτω:

$$L_w \text{ (dB)} = 10 * \log(W/W_{ref}), \text{ με } W_{ref} = 1pW$$

Ακουστική Ένταση : Η ισχύς του ηχητικού κύματος που διέρχεται ανά μονάδα επιφανείας S κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος ή η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου ονομάζεται ακουστική ένταση. Συμβολίζεται με I και μετριέται σε *Watt/m* [2].

Η σχέση που συνδέει την ισχύ (W), ένταση (I) και επιφάνεια είναι :

$$W = \int_S \vec{I} * \vec{dS}$$

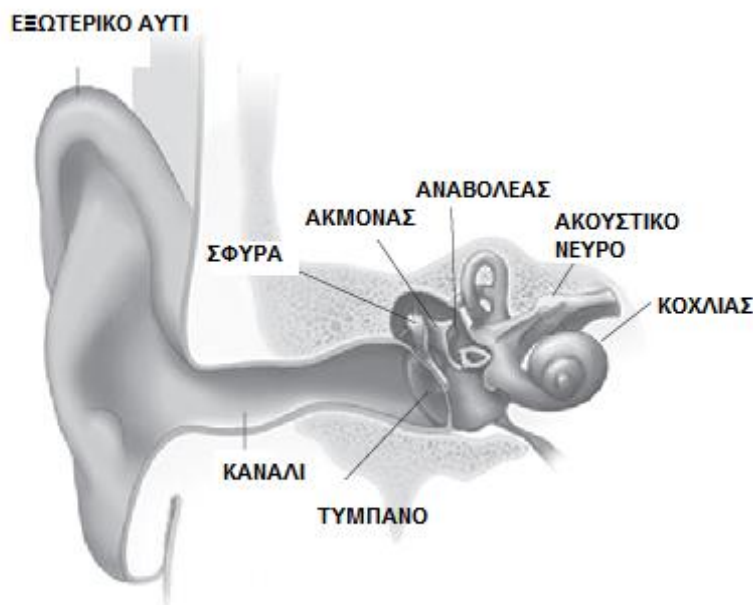
Το επίπεδο της ακουστικής έντασης συμβολίζεται με L_I , μετριέται σε *dB* και ορίζεται βάση του τύπου :

$$L_I \text{ (dB)} = 10 * \log(I/I_{ref}), \text{ με } I_{ref} = 1pW/m^2$$

1.2. Τρόπος Αντίληψης του Ήχου Από Τον Άνθρωπο

Τα ηχητικά κύματα εισέρχονται στο εξωτερικό αυτί και ταξιδεύουν μέσα από ένα στενό πέρασμα που ονομάζεται κανάλι του αυτιού, το οποίο οδηγεί στο τύμπανο. Το τύμπανο δονείται από τα εισερχόμενα ηχητικά κύματα και στέλνει αυτούς τους κραδασμούς σε τρία μικροσκοπικά οστάρια στο μέσο αυτί. Αυτά τα οστά ονομάζονται σφύρα (*malleus*), αναβολέας (*incus*) και άκμονας (*stapes*). Τα οστά στο μέσο αυτί ενισχύουν τους κραδασμούς του ήχου και τους στέλνουν στον κοχλία, μια δομή σχήματος σαλιγκαριού γεμάτη με υγρό στο εσωτερικό αυτί. Ένα ελαστικό διαμέρισμα υπάρχει στο εσωτερικό του κοχλία από την αρχή μέχρι το τέλος του, χωρίζοντάς το σε πάνω και κάτω μέρος. Αυτό το τμήμα ονομάζεται βασική μεμβράνη και χρησιμεύει για την εκτέλεση συχνοτικής ανάλυσης των εισερχόμενων ήχων. Μόλις οι δονήσεις προκαλέσουν κυματισμό του υγρού μέσα στον κοχλία, σχηματίζεται ένα ταξιδεύον κύμα κατά μήκος της

βασικής μεμβράνης. Τα κύτταρα τριχίδια - αισθητήρια κύτταρα, που βρίσκονται στην κορυφή της βασικής μεμβράνης, καθοδηγούν το κύμα. Καθώς οι κυτταρικές τρίχες κινούνται προς τα πάνω και προς τα κάτω, οι μικροσκοπικές προβολές που μοιάζουν με τρίχες (γνωστές ως στερεοκροσσοί), που κρέμονται στην κορυφή των κυττάρων τρίχας, προσκρούουν σε υπερκείμενη δομή και κάμπτονται. Η κάμψη προκαλεί ανοιγόμενα κανάλια που μοιάζουν με πόρους, τα οποία βρίσκονται στα άκρα των στερεοκροσσών. Όταν συμβεί αυτό, τα χημικά βυθίζονται μέσα στα κύτταρα δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό σήμα. Το ακουστικό νεύρο μεταφέρει αυτό το ηλεκτρικό σήμα στον εγκέφαλο, το οποίο μετατρέπεται μέσω των συνάψεων σε πληροφορία που αναγνωρίζουμε και κατανοούμε [3].



Εικόνα 3. Ανατομία του αυτιού, Πηγή: <https://beltonetrystate.com/>

1.3. Ηχητικές Παράμετροι και Ορισμός Θορύβου

Η αντίληψη του ήχου διαφέρει για κάθε άνθρωπο και έχει υποκειμενικό χαρακτήρα ως προς την ένταση. Για τον ακριβή προσδιορισμό με το μικρότερο δυνατό σφάλμα κατά τη μέτρηση, οδηγηθήκαμε στη χρήση λογαριθμικής κλίμακας μονάδων στην ακουστική. Το εύρος των τιμών της έντασης που γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί κυμαίνεται από 10^{-12} W/m^2 έως 10 W/m^2 . Συνεπώς, είναι οφθαλμοφανές ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί γραμμική κλίμακα για την απεικόνιση μιας τόσο ευρείας περιοχής τιμών.

Ο ψυχοφυσικός νόμος των Weber-Fechner μας περιγράφει το πώς συνδέεται η ένταση του ηχητικού κύματος με το πόσο «έντονα» αντιλαμβανόμαστε έναν ήχο συγκεκριμένης συχνότητας, λεγόμενη ως *ακουστότητα*. Αποτελεί ουσιαστικά ένα νόμο με παράλληλη σύνδεση της

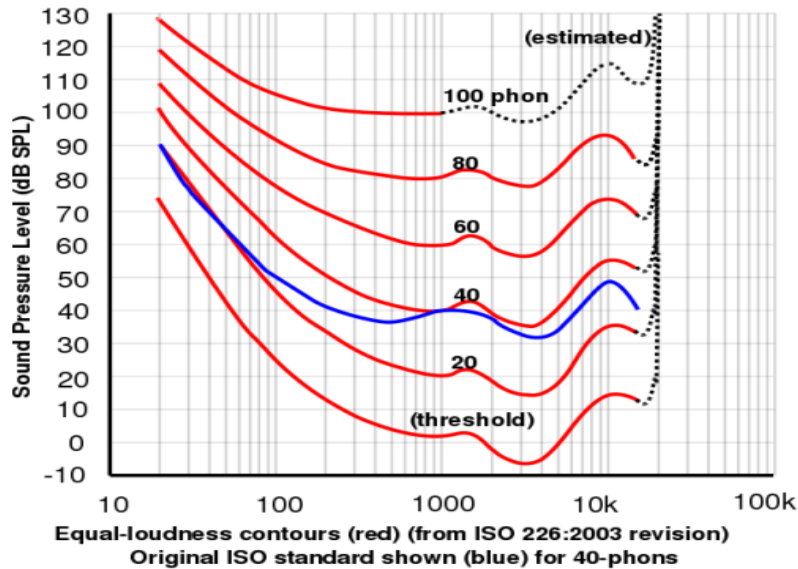
υποκειμενικής αντίληψης με την αντίστοιχη ένταση του ερεθίσματος που την προκαλεί. Παράμετρο στο νόμο αυτό αποτελεί ο λογάριθμος του λόγου της έντασης του ήχου ως προς μια ένταση αναφοράς και είναι ανάλογη της ακουστότητας του ήχου. Για παράδειγμα η αίσθηση που μας προκαλείται όταν η ένταση αυξηθεί από $20\mu W/m^2$ σε $40\mu W/m^2$ είναι η ίδια με την αίσθηση από την αύξηση της έντασης από $40\mu W/m^2$ σε $60\mu W/m^2$. Είναι ανεξάρτητη από την διαφορά αρχικής και τελικής τιμής έντασης και εξαρτάται μόνο από τον λόγο τους.

Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούμε την κλίμακα των ντεσιμπέλ ή κλίμακα dB . Το ντεσιμπέλ δεν αποτελεί απόλυτη μονάδα μέτρησης, αλλά είναι μια αναλογία μεταξύ ενός μετρούμενου μεγέθους και ενός συμφωνημένου επιπέδου αναφοράς. Η κλίμακα dB είναι λογαριθμική και έχει ως ηχητική πίεση αναφοράς τα $20\mu Pa$ [4].

Ο ήχος γίνεται οριακά αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί όταν η τιμή της έντασής του ξεπεράσει μια ελάχιστη τιμή, η οποία έχει οριστεί να είναι τα $0 dB$ και αποκαλείται κατώφλι ακουστότητας. Το ίδιο συμβαίνει και με την μέγιστη τιμή έντασης του ήχου που μπορεί να ανεχθεί το ανθρώπινο αυτί, η οποία καλείται όριο πόνου. Όταν η τιμή της έντασης ξεπεράσει την εν λόγω τιμή δημιουργείται αίσθημα πόνου στο εσωτερικό του αυτιού. Τόσο στη τιμή του κατωφλίου ακουστότητας όσο και στο όριο πόνου, η τιμή της έντασης εξαρτάται από τη τιμή της συχνότητας. Στο εύρος τιμών $2 - 4 kHz$ παρατηρείται η μέγιστη ευαισθησία ακοής.

Σύμφωνα με τις παραπάνω επισημάνσεις, μπορούμε να ορίσουμε την ακουστότητα ενός ήχου ως το μέτρο του υποκειμενικού αισθήματος της έντασης του ήχου που μπορεί να αντιληφθεί ένας φυσιολογικός άνθρωπος. Έτσι προκύπτει και η καμπύλη ακουστότητας, η οποία μας περιγράφει ότι η ένταση των καθαρών τόνων εξαρτάται από τη συχνότητα και την πίεση του ήχου. Περιγράφει ότι η ένταση των καθαρών τόνων εξαρτάται από τη συχνότητα και την πίεση του ήχου. Αυτή η καμπύλη βοηθά στη διαφοροποίηση μεταξύ δύο τόνων που έχουν διαφορετική ένταση, λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική τους θέση στην καμπύλη ακουστικής και αναπαριστά τη σχέση μεταξύ έντασης ήχου - συχνότητας, που είναι απαραίτητη για να προκαλέσει μια αίσθηση.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες ίσης ακουστότητας :



Εικόνα 4. Καμπύλες Ακουστότητας, Πηγή:
www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves

Είναι προφανές ότι η ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού είναι μεγαλύτερη σε κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες, γεγονός που μας οδήγησε στη ζύγιση των μετρούμενων τιμών πίεσης του ήχου με καμπύλες. Οι ήχοι μικρής και μεγάλης συχνότητας γίνονται αντιληπτοί από τον ακροατή ως λιγότερο ηχηροί σε αντίθεση με αυτούς μεσαίας συχνότητας. Γι' αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν οι μετρητές στάθμης θορύβου, οι οποίοι εμπλουτίστηκαν με φίλτρα για την απομόνωση των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων για ένα καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα.

A-σταθμισμένη ηχοστάθμη (*dBA*)

Αποτελεί ένα φυσικό μέγεθος που μετρά τη στάθμη του ήχου λαμβάνοντας σαν εισόδο την ακουστική ευαίσθησία του οργάνου του αυτιού σε διαφορετικές συχνότητες. Η μονάδα μέτρησης είναι το *dBA*.

Για την περιγραφή ενός ήχου που περιέχει μεγάλο εύρος συχνοτήτων και ταυτόχρονα είναι αντιπροσωπευτικός της ανθρώπινης αντίληψης απαιτείται ο περιορισμός της επίδρασης των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων με τις μεσαίες συχνότητες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η τελική μορφή ηχοστάθμης λέγεται A-σταθμισμένη ή στάθμη θορύβου. Μια εκτίμηση θορύβου που έχει φιλτραριστεί από A-συνάρτηση βάρους αποτελεί μια καλή προσέγγιση του πώς το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται αυτό το θόρυβο.

Η Α-ζυγισμένη ηχοστάθμη προσαρμόζει τις τιμές των *dB* αναφορικά με την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού στις διάφορες συχνότητες του φάσματος και μετά αθροίζει τις διαφορετικές στάθμες. Προσομοιάζει καλύτερα από τις υπόλοιπες ηχοστάθμες την υποκειμενική αντίληψη του ανθρώπου για την ένταση του ήχου, γι' αυτό και είναι η πιο διαδεδομένη. Ο τύπος που ορίζει τη διόρθωση που πρέπει να υποστεί το χωρίς ζύγισμα *dB* είναι:

$$W_A = 10 \log \frac{1.562339 * f^4}{(f^2 + 107.65265^2) * (f^2 + 737.86223^2)} + 10 * \log \frac{2.24288 * 10^6 * f^4}{(f^2 + 20.598997^2) * (f^2 + 12194.22^2)}$$

<i>Συχνότητα f (Hz)</i>	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Συντελεστές W_A (dB)</i>	-16	-9	-3	0	+1.2	+1

Πίνακας 1. Συντελεστές Α στάθμησης - W_A

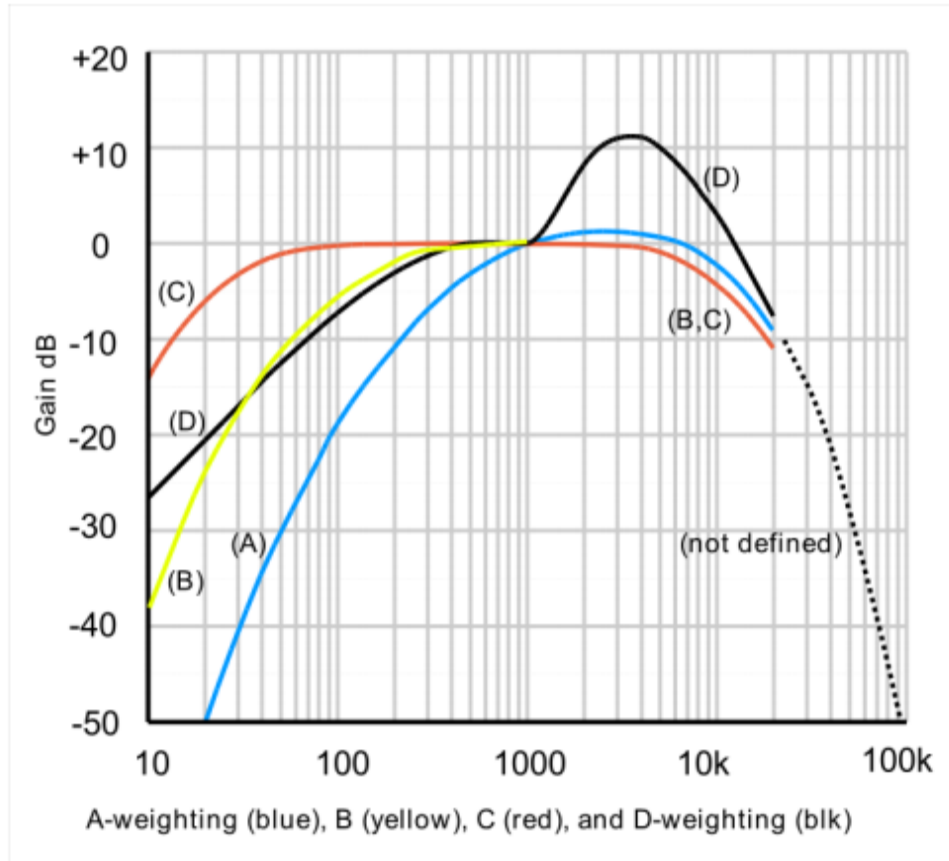
Για να έχει ένα όργανο μέτρησης της στάθμης ηχητικής πίεσης την ίδια απόκριση με το ανθρώπινο αυτί, πρέπει το όργανο αυτό να είναι εφοδιασμένο με ειδικό ηλεκτρονικό φίλτρο.

Τα φίλτρα αυτά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- Το φίλτρο Α (για μεσαίες εντάσεις)
- Τα φίλτρα Β και C (για υψηλές εντάσεις)
- Το φίλτρο D

Ανάλογα με την συχνότητα του ήχου προστίθενται ή αφαιρούνται μερικά *dB*. Η επιλογή του κατάλληλου φίλτρου εξαρτάται από την ένταση του ήχου.

Πιο ευρεία στις μέρες μας είναι η χρήση των φίλτρων C και A. Οι μετρήσεις που γίνονται με τη διόρθωση του φίλτρου A φέρουν το συμβολισμό *dB (A)*.



Εικόνα 5. Καμπύλες των φίλτρων A,B,C,D, Πηγή : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves_\(1\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acoustic_weighting_curves_(1).svg)

Η συνάρτηση μεταφοράς για το φίλτρο A είναι :

$$G_A(s) = \frac{k_A * s^4}{(s+129.4)^2 * (s+676.7) * (s+4636) * (s+76655)^2}$$

Ο λόγος που οι B και C συναρτήσεις βάρους δε χρησιμοποιούνται τόσο διαδεδομένα, είναι γιατί δε συμβαδίζουν με τα υποκειμενικά τεστ. Αυτό συμβαίνει διότι για την κατάστρωση των εξισώσεων που τα ορίζουν, έχουν χρησιμοποιηθεί μονοσυχνωτικοί θόρυβοι, οι οποίοι όμως δε συναντώνται ευρέως στη φύση [5], [6], [7], [8].

2. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

2.1 Η Έννοια του Θορύβου

Ως θόρυβος, σε καθημερινή χρήση, αναφέρεται συνήθως οποιοσδήποτε ανεπιθύμητος ήχος. Ο θόρυβος εμφανίζεται ως ένα ποσοστό σε όλα τα φυσικά φαινόμενα, με την έννοια του ανεπιθύμητου στοιχείου σε αυτά. Ο θόρυβος είναι έννοια σχετική ή και υποκειμενική, καθώς το ίδιο γεγονός (πχ ένας συγκεκριμένος ήχος) άλλοτε θεωρείται θόρυβος και άλλοτε είναι επιθυμητό [9].

Ηχητικός θόρυβος: Αποτελείται από συχνότητες που είτε είναι αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί είτε όχι. Ο θόρυβος, ο οποίος δεν ακούγεται, ονομάζεται υπόηχος και επηρεάζει τις σωματικές κοιλότητες του ανθρώπου προκαλώντας δυσφορία.

Ακουστικός θόρυβος: Αποτελείται από συχνότητες που μπορεί να συλλάβει η αίσθηση της ακοής, αλλά προκαλούν ενόχληση στο ακουστικό όργανο. Τέτοιους θορύβους εντοπίζουμε καθημερινά στη ζωή μας και επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο θόρυβος των αεροσκαφών που αποτελεί αντικείμενο της συγκεκριμένης μελέτης.

Θόρυβος δεδομένων: Στην επιστήμη της πληροφορικής και της ηλεκτρονικής ο θόρυβος αφορά ανεπιθύμητες παραμορφώσεις σε σύνολα δεδομένων.

Ο θόρυβος δεν είναι κατ' ανάγκη ανεπιθύμητος.

- Αποδεικνύεται πως χάριν του θορύβου αποκτούν ευστάθεια και τάξη χαοτικά συστήματα που αυτό-οργανώνονται.
- Φαίνεται ακόμη πως ο θόρυβος βοηθά στη συγκρότηση ισχυρής μνήμης σε συστήματα που αυτο-οργανώνονται.

Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) δίνονται δύο ορισμοί του ακουστικού θορύβου [10]:

1. Θόρυβος ονομάζεται κάθε απεριοδικός σύνθετος ήχος που η στιγμιαία τιμή του αυξομειώνεται με τυχαίο τρόπο.
2. Θόρυβος ονομάζεται κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος.

Στη καθημερινή μας ζωή εντοπίζουμε θορύβους οι οποίοι πρόερχονται από ήχους του περιβάλλοντος και οφείλονται στην ευρύτερη δραστηριότητα του ανθρώπου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι θόρυβοι που προκαλεί η βιομηχανία με τα εργοστάσια και ο θόρυβος από τα μεταφορικά μέσα, ο οποίος θα μας απασχολήσει στη συγκεκριμένη μελέτη.

Στο αεροπορικό περιβάλλον η ηχορύπανση που προκαλούν τα αεροπλάνα αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τη δημιουργία επιβλαβών συμπτωμάτων στην ανθρώπινη υγεία. Οι κυριότερες πηγές θορύβου των αεροσκαφών είναι οι κινητήρες, οι κινητές επιφάνειες της ατράκτου, η αντιστροφή ώσης κατά την προσγείωση και οι εργασίες σύντηξης εδάφους. Η διαφορά με τα υπόλοιπα μεταφορικά μέσα είναι ότι η διάδοση του θορύβου μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο στον αέρα, κατά την πτήση του αεροσκάφους, όσο και στο έδαφος στις διαδικασίες συντήρησης.

Ο θόρυβος των αεροσκαφών είναι διακεκομμένος και ποικίλλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες, όπως π.χ. ο τύπος του αεροσκάφους, η κατάσταση λειτουργίας (προσγείωση ή απογείωση), η θέση του δέκτη και οι καιρικές συνθήκες, οι οποίοι θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω.

Είδος ήχου	decibel
Κανονική αναπνοή	10
Θρόισμα φύλλων στο αεράκι (αύρα)	20
Ήσυχη βιβλιοθήκη, Ψίθυρος	30
Συνηθισμένη ομιλία, Γραφείο ήσυχου, Συνήθης κίνηση στο σπίτι	40
Κίνηση δρόμου από απόσταση, Ψυγείο, Εστιατόριο ήσυχου, Ήπια κυκλοφορία	50
Κλιματιστικό από τα 6m, Συναμιλία	60
Πυκνή κυκλοφορία δρόμου, Θορυβώδεις εστιατόριο (συνεχής έκθεση)	70
Υπόγειος, Κίνηση δρόμου σε ώρες αιχμής, Θόρυβος εργοστασίου, Οικιακή συσκευή, Κουδούνισμα τηλεφώνου	80
Δρόμος με φορτηγά, Θορυβώδεις οικιακές συσκευές, Μηχανή που κουρεύει γρασίδι, Καταράκτες του Νιαγάρα στην βάση	90
Αλυσσοπριονο, Κομπρεσέρ, Πέρασμα Jet αεροπλάνου, Πυκνή κυκλοφορία αυτοκινήτων	100
Ροκ συναυλία μπροστά στα μεγάφωνα, Εκπυρσακρότηση όπλου, ήχοι τυμπάνου	120
Κοντινός πυροβολισμός, Απογείωση Jet	140
Απογείωση διαστημόπλοιου	180

Πίνακας 2. Είδος θορύβου και ένταση σε dB, Πηγή: www.teteleste.wordpress.com/

2.2 Επιπτώσεις του Θορύβου στην Υγεία

Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης του περιβάλλοντος και επομένως της ποιότητας ζωής του ανθρώπου. Το είδος των επιπτώσεων του θορύβου στην ανθρώπινη υγεία ήταν για πολλά χρόνια βασικό πεδίο έρευνας και μελέτης. Σήμερα έχει επαρκώς τεκμηριωθεί ότι οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο διακρίνονται σε φυσιολογικές και ψυχολογικές. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (W.H.O.), "υγεία" δεν θεωρείται μόνο η απουσία αρρώστιας, αλλά γενικότερα η φυσική και ψυχολογική ευεξία. Παρότι οι ακουστικές βλάβες αποτελούν προτεραιότητα των κανονισμών ασφαλείας, δεν μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες οι φυσικές και ψυχολογικές επιπτώσεις του θορύβου. Υπάρχουν προφανείς ψυχολογικές αντιδράσεις, όπως θυμός, ένταση ή νεύρα και φυσικές αντιδράσεις όπως αύξηση αρτηριακής πίεσης ή αυξημένη έκκριση μαγνησίου, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μακροχρόνιες ψυχικές ή και σωματικές διαταραχές, ακόμη και σε επίπεδα ακουστικής πίεσης χαμηλότερα των 85dB-A.

Επιπλέον, μπορεί να επηρεαστεί και η απόδοση, σε βαθμό που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της απαιτούμενης εργασίας. Η πολυπλοκότητα σχετίζεται με τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της εργασίας και με την υποκειμενική αξιολόγηση του επιπέδου δυσκολίας της. Επομένως ενδέχεται μια εργασία να θεωρηθεί πιο πολύπλοκη για ένα μη εκπαιδευμένο προσωπικό. Γενικά μια δουλειά είναι πιο πολύπλοκη όσο περισσότερες πληροφορίες θα πρέπει να διατηρούνται στη μνήμη, όσο επιτελούνται περισσότερες πνευματικές λειτουργίες, όσο υψηλότερες είναι οι απαιτήσεις για ακριβή χρήση μηχανημάτων ή όσο πιο υπεύθυνος είναι ο εργαζόμενος για τις συνέπειες πιθανού λάθους. Όσο πιο πολύποκος είναι ο στόχος της εργασίας, τόσο αυξάνεται η ευαισθησία του ατόμου στην ενόχληση από το θόρυβο, συνεπώς τόσο θα αυξηθεί και ο αριθμός των λαθών, ενώ η ολοκλήρωση του στόχου θα επιβραδυνθεί. Οδηγούμαστε λοιπόν σε πτώση της απόδοσης.

Τρεις περιπτώσεις που συνδέουν το θόρυβο με την υγεία είναι αναγνωρισμένες πλέον διεθνώς :

- Ο θόρυβος επιδρά δυσμενώς στο σύστημα ακοής του ανθρώπου. Υπάρχει αποδεδειγμένα ένας βιολογικός μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο ο θόρυβος προκαλεί ουσιαστικές δυσμενείς επιπτώσεις στην ακοή με τη μορφή παροδικής ή μόνιμης ακουστικής απώλειας.
- Ο θόρυβος επιδρά δυσμενώς στην ψυχική και σωματική υγεία, δεδομένης της συνεισφοράς του στη δημιουργία άγχους (stress).
- Ο θόρυβος έχει καθοριστική επίπτωση στους ανθρώπους που ήδη πάσχουν από κάποια αρρώστια ή μη ομαλή φυσιολογία. Ορισμένα μέρη του πληθυσμού είναι περισσότερο ευπαθή στις υψηλότερες στάθμες θορύβου, παραδείγματος χάριν αυτοί που πάσχουν από υπέρταση ή που έχουν ψυχικά προβλήματα κλπ.

Τέλος, εκτός των παραπάνω επιπτώσεων που αφορούν την υγεία, η ενόχληση από το θόρυβο έχει επιπτώσεις στην ικανότητα απόδοσης του ατόμου και κατ' επέκταση στην Εθνική Οικονομία.

Οι ομάδες ατόμων που επηρεάζονται από τον θόρυβο μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε δύο κατηγορίες:

- 1) Ενεργητική Ομάδα ή Ομάδα-χρήστης
- 2) Παθητική Ομάδα ή Ομάδα-μη χρήστης

Η ενεργητική ομάδα αποτελείται από τους ανθρώπους που επηρεάζονται από τις συνέπειες του θορύβου, όταν οι ίδιοι χρησιμοποιούν άμεσα τις συσκευές ή τα αντικείμενα που παράγουν το θόρυβο ή εργάζονται στο συγκεκριμένο περιβάλλον (εργαζόμενοι στη βιομηχανία, οδηγοί λεωφορείων, οδηγοί τρένων, εργαζόμενοι στο αεροδρόμιο). Η ομάδα μη χρήστες είναι άτομα που δε σχετίζονται με την πηγή θορύβου ή δε λειτουργούν με αυτήν (π.χ πεζοί, γειτονιές κατά μήκος των αεροδρομίων, σπίτια κοντά στις καθορισμένες εναέριες διαδρομές πτήσης των αεροσκαφών, βιομηχανική περιοχή).

3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η τρέχουσα πολιτική στις αερομεταφορές παρουσιάζεται στο έγγραφο διαβούλευσης DETR «The Future of Aviation» και στο Παράρτημα Α στο “ The Future Development of Air Transport in the United Kingdom: Northern Ireland» [11].

3.1 Διεθνής Νομοθεσία

Η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (International Civil Aviation Organisation – ICAO) είναι το όργανο του ΟΗΕ που διέπει τη Βιομηχανία Πολιτικής Αεροπορίας και Αερομεταφορών. Μέσω της ICAO ορίζεται το κανονιστικό πλαίσιο εντός του οποίου ο θόρυβος των αεροσκαφών ελέγχεται σε παγκόσμιο επίπεδο. Η οδηγίες της ICAO έχουν οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία περιορισμού του θορύβου των αεροσκαφών, αρχικά θέτοντας στόχους επιδόσεων θορύβου για αεροσκάφη που έχουν άδεια προς πτήση και δεύτερον μέσω της εισαγωγής στόχων για τη σταδιακή απόσυρση των εν λειτουργία παλιότερης τεχνολογίας αεροσκαφών. Στην πιο πρόσφατη Γενική Συνέλευση της ICAO που πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 2001, υιοθετήθηκαν αυστηρότερα πρότυπα θορύβου για τα αεροσκάφη πιστοποιημένα μετά το 2006. Εγκρίθηκε επίσης η οδηγία, γνωστή ως «ασορροπημένη προσέγγιση» για τον έλεγχο του θορύβου των αεροσκαφών.

3.2 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως βασικό στρατηγικό στόχο να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει αύξηση του αριθμού των ατόμων που βρίσκονται σε τοποθεσίες των αεροδρομίων, αλλά και γύρω από αυτά, που πλήττονται δηλαδή σοβαρά από το θόρυβο των αεροσκαφών. Μακροπρόθεσμος στόχος της είναι επίσης η μείωση του πληθυσμού που εκτίθεται σε υψηλότερα επίπεδα θορύβου σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, στόχος που συμπεριλαμβάνεται στο έκτο Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για την περίοδο 2001-2006 (6EAP). Η Οδηγία 2002/30(EK) προβλέπει ρητά τη βάση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων θορύβου σε μεμονωμένα αεροδρόμια που επιτρέπουν τόσο την ανάπτυξη όσο και τη δράση, προσαρμοσμένη στα τοπικά θέματα θορύβου και τις ειδικές περιστάσεις αεροδρομίου. Δεν προσδιορίζει συγκεκριμένα μέτρα που πρέπει να ληφθούν, αλλά ορίζει τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί σε περίπτωση που επιβάλλεται η λήψη μέτρων (Άρθρα 4, 5 και Παράρτημα 2). Η «ασορροπημένη» προσέγγιση για τον έλεγχο του θορύβου, όπως έχει υιοθετηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αποτελείται από τέσσερα ανεξάρτητα, αλλά αλληλένδετα στοιχεία:

- τη μείωση του θορύβου στην πηγή
- το σχεδιασμό της χρήσης γης
- τις διαδικασίες για τη μείωση του θορύβου
- τους λειτουργικούς περιορισμούς για τα αεροσκάφη

συμπεριλαμβανομένης και της δυνατότητας αποκλεισμού χρήσης σε συγκεκριμένες κατηγορίες των πιο θορυβωδών αεροσκαφών στο συγκεκριμένο αεροδρόμιο. Όλες οι δράσεις υπόκεινται σε μια διαδικασία, η οποία προσπαθεί να εντοπίσει και να αξιολογήσει τον κίνδυνο έκθεσης στο θόρυβο (μια διαδικασία που απαιτεί μοντελοποίηση του θορύβου ή παρακολούθηση) και η οποία επιτρέπει την αξιολόγηση των μέτρων ελέγχου του θορύβου για τον προσδιορισμό της πλέον οικονομικά αποδοτικής μεθόδου για τον έλεγχο αυτό.

Η διαδικασία προβλέπει επίσης τόσο δημόσια κοινοποίηση όσο και τις διαδικασίες διαβούλευσης, καθώς και, αναφορικά με την «εποπτεία» από εθνικές αρχές, έναν μηχανισμό για την επίλυση διαφορών. Όσον αφορά την απόσυρση των εν υπηρεσία αεροσκαφών σε κάποιους αερολιμένες, η Οδηγία μειώνει τους περιορισμούς λειτουργίας σε «οριακά συμμορφούμενους» τύπους αεροσκαφών. Ο τύπος αυτών των αεροσκαφών ορίζονται ως «πολιτικά υποηχητικά αεριωθούμενα αεροσκάφη» που πληρούν τα πιστοποιημένα όρια της ICAO, όπως προβλέπονται στο Κεφάλαιο 3 του Παραρτήματος 16, με αθροιστικό περιθώριο που δεν υπερβαίνει τα 5 EPNdB (Effective Perceived Noise in decibels). Τα Αεροδρόμια Πόλεων – όπως ορίζεται στην Οδηγία – μπορούν να υιοθετήσουν έναν πιο αυστηρό ορισμό των «οριακά συμμορφούμενων», λόγω της πεποίθησης ότι κάθε πρόσθετη αύξηση του θορύβου στους αερολιμένες αυτούς θα λειτουργούσε αθροιστικά, δημιουργώντας ιδιαίτερα έντονη ενόχληση σε αυτά τα αεροδρόμια.

Η Οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2002/49/EK (Αξιολόγηση και Διαχείριση του Περιβαλλοντικού Θορύβου) έχει καθιερώσει σε όλη την ΕΕ μονάδες μέτρησης του θορύβου και εναρμονισμένες τεχνικές αξιολόγησης του θορύβου. Η Οδηγία απαιτεί την έγκριση τοπικών σχεδίων δράσης (βάσει των Ευρωπαϊκών ασκήσεων χαρτογράφησης του θορύβου) για την πρόληψη ή τη μείωση του περιβαλλοντικού θορύβου από, μεταξύ άλλων πηγών, τα μεγάλα αεροδρόμια (περισσότερες από 50.000 κινήσεις ετησίως). Περιέχει επίσης μια διάταξη που υποχρεώνει την Επιτροπή να προτείνει νέα νομοθεσία σχετικά με συγκεκριμένες πηγές θορύβου (συμπεριλαμβανομένων των αεροσκαφών, οδικών και σιδηροδρομικών οχημάτων και των υποδομών) εντός τεσσάρων ετών από την έναρξη ισχύος της.

3.3 Τεχνικές Πληροφορίες Νέου Ευρωπαϊκού Δείκτη Αξιολόγησης Περιβαλλοντικού Θορύβου

Σύμφωνα με τα προτεινόμενα στο σχέδιο της παραπάνω Οδηγίας, για την αξιολόγηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου θα χρησιμοποιείται ο δείκτης L_{den} (Day-evening-night level) σε dB(A). Ο L_{den} είναι ο νέος εναρμονισμένος δείκτης στάθμης θορύβου για το 24ωρο με κατηγοριοποίηση κατά την ημέρα, το απόγευμα και τη νύχτα. Ο L_{night} θα είναι ο δείκτης διαταραχών του ύπνου. Οι δείκτες θορύβου χρησιμοποιούνται για να καταρτιστούν οι χάρτες θορύβου, να εκπονηθούν και να αναθεωρηθούν οι κανονιστικές διατάξεις σχετικά με τη στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου, το σχεδιασμό μέτρων και την οριοθέτηση θορύβου. Ο δείκτης L_{den} έχει αποδεδειγμένη σχέση με το βαθμό κοινής όχλησης θορύβου και ειδικότερα με το ποσοστό αντιδράσεων ισχυρής όχλησης (%HA) και προσδιορίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$L_{den} = 10 * \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening*5}}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night+10}}{10}} \right)$$

Όπου:

- L_{day} : είναι η στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου ημέρας , σταθμισμένη ως προς A μέση στάθμη θορύβου κατά ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη για όλες τις ημερήσιες περιόδους ενός έτους.
- $L_{evening}$: είναι η στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου απογεύματος, σταθμισμένη ως προς A μέση στάθμη θορύβου κατά ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη για όλες τις απογευματινές περιόδους ενός έτους.
- L_{night} : είναι η στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου νύκτας, σταθμισμένη ως προς A μέση στάθμη θορύβου κατά ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη για όλες τις νυκτερινές περιόδους ενός έτους. Σε κάθε 24ωρο υπάρχει ημέρα 12 ωρών, απόγευμα 4 ωρών και νύκτα 8 ωρών. Αν και τα χρονικά διαστήματα ενδέχεται να επανακαθοριστούν σε μελλοντικό στάδιο, οι βασικές ώρες εκκίνησης και λήξης των τριών (3) χρονικών περιόδων αξιολόγησης είναι:
 - 07.00 – 19.00 για την ημέρα (12 ώρες)
 - 19.00 – 23.00 για το απόγευμα (4 ώρες)
 - 23.00 – 07.00 για τη νύκτα (8 ώρες)

Να σημειωθεί ότι θα εξετάζεται ο προσπίπτων θόρυβος, γεγονός που σημαίνει ότι ο ήχος που ανακλάται στην πρόσοψη ενός κτιρίου ή άλλης κατασκευής, δεν θα λαμβάνεται υπόψη. Το ύψος για μετρήσεις και αξιολογήσεις του L_{den} εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση, αλλά για τους σκοπούς της στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου είναι περίπου 4 μέτρα πάνω από το έδαφος και περίπου 2 μέτρα μπροστά από την πιο εκτεθειμένη πρόσοψη.

Σε ειδικές περιπτώσεις, που αναφέρονται σε παράρτημα της οδηγίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι δείκτες, ενώ σε άλλο παράρτημα ορίζεται η σχέση δόσης / επίπτωσης, η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του θορύβου στην υγεία. Οι τιμές των ανωτέρω δεικτών ορίζονται χρησιμοποιώντας τις προσωρινές μεθόδους υπολογισμού και μέτρησης, οι οποίες καθορίζονται σε ειδικό παράρτημα της οδηγίας.

Τα κράτη μέλη μπορούν να χρησιμοποιούν άλλες μεθόδους για τον καθορισμό των δεικτών, στο βαθμό που οι εν λόγω μέθοδοι ανταποκρίνονται στον ορισμό του παραρτήματος. Επισημαίνεται ότι σε μερικές περιπτώσεις, εκτός των δεικτών L_{den} και L_{night} , και, κατά περίπτωση, των δεικτών L_{day} και $L_{evening}$, μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική η χρησιμοποίηση ειδικών δεικτών θορύβου και αντίστοιχων οριακών τιμών.

Δίνονται τα ακόλουθα παραδείγματα:

- η εξεταζόμενη πηγή θορύβου λειτουργεί μόνο για μικρό χρονικό διάστημα (για παράδειγμα λιγότερο από το 20 % του χρόνου των ολικών ημερήσιων, βραδινών ή νυχτερινών περιόδων ενός έτους),
- ο μέσος αριθμός ηχητικών γεγονότων, σε μια ή περισσότερες περιόδους, είναι πολύ μικρός (π.χ. λιγότερο από ένα ηχητικό γεγονός ανά ώρα. Ως ηχητικό γεγονός θα μπορούσε να ορισθεί ο θόρυβος που διαρκεί λιγότερο από πέντε λεπτά, π.χ. ο θόρυβος από διερχόμενο αεροπλάνο),
- η εμπειροχόμηνη συνιστώσα χαμηλών συχνοτήτων είναι ισχυρή,
- LA_{max} ή SEL (επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο) για προστασία κατά τη διάρκεια της νυχτερινής περιόδου στην περίπτωση αιχμών θορύβου,
- επιπρόσθετη προστασία κατά τα Σαββατοκύριακα ή σε ορισμένες χρονικές στιγμές του έτους,
- επιπρόσθετη προστασία της ημερήσιας περιόδου,
- επιπρόσθετη προστασία της βραδινής περιόδου,
- συνδυασμός θορύβων από διάφορες πηγές
- θόρυβος με έντονα τονικά συστατικά,
- θόρυβος με απότομο (ωθητικό) χαρακτήρα.

Ο έλεγχος της ακρίβειας των μεθόδων αξιολόγησης αποτελεί αρμοδιότητα των κρατών μελών. Θα πρέπει να κοινοποιούνται από τα κράτη μέλη στην Επιτροπή – και σε συγκεκριμένη ημερομηνία – οι οριακές τιμές των εκπομπών θορύβου που ισχύουν ή προβλέπεται να ισχύσουν σε κάθε κράτος

μέλος για τις οδικές μεταφορές, τις σιδηροδρομικές μεταφορές, το θόρυβο των αεροσκαφών σε περιοχές (μεγάλων) αεροδρομίων και βιομηχανιών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει λοιπόν θεσπίσει ένα περιφερειακό κανονιστικό πλαίσιο που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την ανάπτυξη των αερομεταφορών, αναγνωρίζοντας τις ανάγκες των διαφόρων τμημάτων της ΕΕ και των διαφορετικών αεροδρομίων και κοινοτήτων, ενώ την ίδια στιγμή επιδιώκει να διευκολύνει το μακροπρόθεσμο στόχο της μείωσης του αριθμού των ανθρώπων που εκτίθενται σε θόρυβο. Αυτό το κανονιστικό πλαίσιο της ΕΕ έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο των κρατών μελών της ΕΕ και εφαρμόζεται από αυτά.

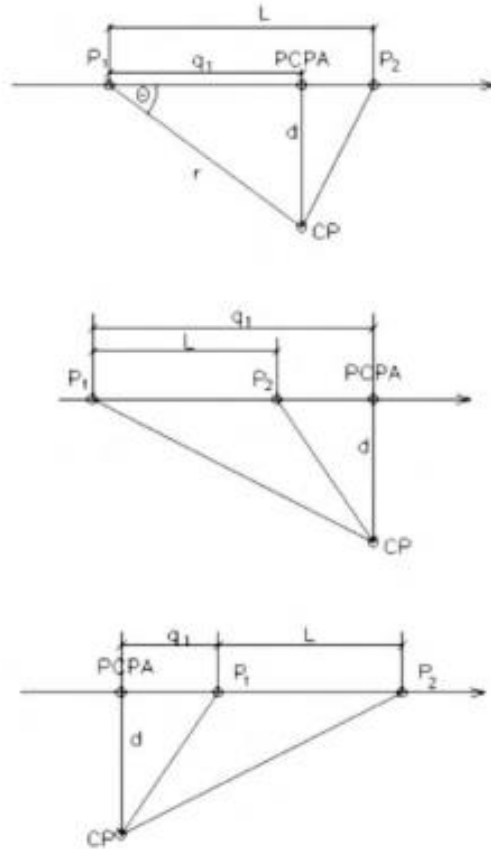
Είναι προφανές ότι οι διαφορές των κρατών μελών ως προς το είδος των πηγών, τα διαφορετικά ωράρια, τις κλιματολογικές συνθήκες, τον τύπο των κατοικιών, τις συνθήκες ή την ευαισθησία στον θόρυβο, πρέπει να μελετηθούν και να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά την εφαρμογή αυτής της Οδηγίας, με δεδομένο ότι : η ημέρα διαρκεί δώδεκα ώρες, το βράδυ τέσσερις ώρες και η νύχτα οκτώ ώρες, όπως αναλύθηκε ανωτέρω.

Ο δείκτης νυχτερινού θορύβου L_{night} είναι η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη, όπως ορίζεται στο πρότυπο ISO 1996-2: 1987, προσδιορισμένη με βάση όλες τις νυχτερινές περιόδους επί ένα έτος, με δεδομένο ότι:

- Η νύχτα διαρκεί οκτώ ώρες, όπως ορίζεται ανωτέρω,
- Ένα έτος είναι το υπ' όψη έτος, όσον αφορά στις ηχητικές εκπομπές και ένα μέσο έτος, όσον αφορά στις καιρικές συνθήκες,
- Λαμβάνεται υπ' όψη ο προσπίπτων θόρυβος,
- Σημείο αξιολόγησης είναι αυτό που προβλέπεται για τον δείκτη L_{den} [12].

3.4 Στρατηγική Χαρτογράφησης Θορύβου

Για το σκοπό της Στρατηγικής Χαρτογράφησης Θορύβου (ΣΧΘ), η Οδηγία 2002/49/ΕΚ ορίζει το σημείο δέκτη (ή «σημείο αξιολόγησης») σε ύψος $4 \pm 0,2$ m πάνω από το έδαφος. Δεδομένου ότι ο δείκτης L_{den} είναι σύνθετος δείκτης που υπολογίζεται με βάση τους δείκτες L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} , το ως άνω ύψος είναι υποχρεωτικό και για αυτούς τους δείκτες. Η πτητική οδός, δηλαδή το ίχνος πτήσης (τόσο τα ευθύγραμμα όσο και τα κυκλικά τμήματα) διαιρείται σε ευθύγραμμα τμήματα (με σταθερή ισχύ και ταχύτητα). Η ελάχιστη τιμή μήκους ενός τμήματος είναι 3 m.



Εικόνα 6. Διαγραμματική απεικόνιση του ίχνους πτήσης,
 Πηγή: <http://www.ypeka.gr/>

Για κάθε υποτόξο υπολογίζονται τρία σημεία x-y. Αυτά τα τρία σημεία ορίζουν δύο γραμμικά τμήματα· το πρώτο σημείο βρίσκεται στην αρχή του υποτόξου, το τρίτο σημείο στο τέλος του υποτόξου και το δεύτερο σημείο στο μέσο του υποτόξου. Για καθένα από τα τμήματα της πτητικής οδού ή εάν είναι απαραίτητο της προέκτασης του τμήματος της πτητικής οδού, προσδιορίζεται το κατακόρυφο πλησιέστερο σημείο προσέγγισης (PCPA) ως προς τον παρατηρητή και της διαγώνιας απόστασης του παρατηρητή από το σημείο PCPA. Ορισμός του κατακόρυφου πλησιέστερου σημείου προσέγγισης PCPA επί της πτητικής οδού και της διαγώνιας απόστασης d ενός τμήματος P_1P_2 , όταν το σημείο υπολογισμού CP βρίσκεται ή επί του τμήματος ή εμπρός από το τμήμα ή πίσω από το τμήμα. Η διαγώνια απόσταση d από το σημείο PCPA ορίζει τα δεδομένα που πρέπει να ληφθούν από τις καμπύλες θορύβου ισχύος-απόστασης (NPD) όπως και τη γωνία ανύψωσης. Η απόσταση στο οριζόντιο επίπεδο από το σημείο υπολογισμού CP επί του εδάφους έως την κατακόρυφη προβολή του σημείου PCPA ορίζει την πλευρική απόσταση για τον υπολογισμό της πλευρικής εξασθένισης (εφόσον υφίσταται).

Όταν μεταβάλλεται εντός του τμήματος, το ύψος ορίζεται ως εξής: όταν το σημείο υπολογισμού CP βρίσκεται επί του τμήματος, χρησιμοποιείται το ύψος στο σημείο PCPA (γραμμική

παρεμβολή)· όταν το σημείο CP βρίσκεται πίσω ή εμπρός από το τμήμα, χρησιμοποιείται το ύψος στο πλησιέστερο στο σημείο CP άκρο του τμήματος.

Όταν μεταβάλλεται εντός του τμήματος, η ταχύτητα ορίζεται ως εξής: όταν το σημείο υπολογισμού CP βρίσκεται επί του τμήματος, χρησιμοποιείται η ταχύτητα στο σημείο PCPA (γραμμική παρεμβολή)· όταν το σημείο CP βρίσκεται πίσω ή εμπρός από το τμήμα, χρησιμοποιείται η ταχύτητα στο πλησιέστερο στο σημείο CP άκρο του τμήματος.

Εάν μεταβάλλεται η ισχύς εντός του τμήματος ή η ηχοστάθμη μεταβάλλεται ανάλογα με την ισχύ (Δξ), το επίπεδο ορίζεται ως εξής: όταν το σημείο υπολογισμού CP βρίσκεται επί του τμήματος, χρησιμοποιείται το επίπεδο στο σημείο PCPA (γραμμική παρεμβολή)· όταν το σημείο CP βρίσκεται πίσω ή εμπρός από το τμήμα, χρησιμοποιείται το αντίστοιχο επίπεδο στο πλησιέστερο στο σημείο CP άκρο του τμήματος, όπου v η πραγματική ταχύτητα σε μέτρα/δευτερόλεπτο και t η διάρκεια της διέλευσης σε δευτερόλεπτα.

Η «κλιμακωτή απόσταση» χρησιμοποιείται προκειμένου να διασφαλισθεί ότι η ολική έκθεση που προκύπτει από τον υπολογισμό του «ποσοστού θορύβου» είναι συμβατή με τα δεδομένα NPD. Η ηχοστάθμη του όλου συμβάντος της διέλευσης υπολογίζεται με πρόσθεση της ηχοστάθμης των συμβάντων διέλευσης των επιμέρους τμημάτων σε ενεργειακή βάση. Σε ότι αφορά στον υπολογισμό των συνολικών επιπέδων θορύβου και προτού καταστεί δυνατός ο υπολογισμός της έκθεσης στο θόρυβο από το σύνολο της κυκλοφορίας σε δεδομένο σημείο υπολογισμού, πρέπει να υπολογισθεί το επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο (SEL) για κάθε επιμέρους πτήση αεροσκάφους ως ακολούθως:

Εάν οι υπολογισμοί βασίζονται σε δεδομένα SEL NPD για μια ταχύτητα αναφοράς (συνήθως 160 κόμβοι για αεριωθούμενα αεροσκάφη και 80 κόμβοι για μικρά ελικοφόρα αεροσκάφη) τότε:

$$SEL(x, y) = SEL(\xi, d)_{v_{ref}} - \Lambda(\beta, 1) + \Delta_L + \Delta_V + \Delta_F$$

$$SEL(x, y) = L_A(\xi, d) - \Lambda(\beta, 1) + \Delta_L + \Delta_A + \Delta_F$$

όπου:

- $SEL(\xi, d)_{v_{ref}}$ είναι το επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο σε σημείο με συντεταγμένες (x, y) που προκαλείται από την κίνηση στην πορεία άφιξης ή αναχώρησης αεροσκάφους με ώση ξ , στη μικρότερη απόσταση d , υπολογιζόμενη από την καμπύλη θορύβου-ισχύος-απόστασης για την ώση ξ και τη μικρότερη απόσταση d

- $L_A(\xi, d)$ είναι η ηχοστάθμη σε σημείο με συντεταγμένες (x, y) που προκαλείται από την κίνηση στην πορεία άφιξης ή αναχώρησης ενός αεροσκάφους με ώση ξ , στη μικρότερη απόσταση d , υπολογιζόμενη από την καμπύλη θορύβου-ισχύος-απόστασης για την ώση ξ και τη μικρότερη απόσταση d

- $\Lambda(\beta, l)$ είναι η πρόσθετη εξασθένιση του ήχου κατά τη διάδοση πλευρικά προς την πορεία του αεροσκάφους, σε οριζόντια πλευρική απόσταση l και υπό γωνία ανύψωσης β
- Δ_L είναι η συνάρτηση της κατευθυντικότητας του θορύβου κύλισης πίσω από το σημείο έναρξης της κύλισης
- Δ_v είναι η διόρθωση για την πραγματική ταχύτητα στην πτητική οδό
- V_{ref} η ταχύτητα που χρησιμοποιείται στα δεδομένα NPD
- V είναι η πραγματική ταχύτητα στην πτητική οδό
- Δ_A είναι η προβλεπόμενη διάρκεια ανάλογα με την ταχύτητα v
- Δ_F είναι η διόρθωση για το καθορισμένο μήκος του τμήματος της πτητικής οδού.

Πρέπει να προσδιορισθεί ξεχωριστά ο αριθμός των κινήσεων οποιασδήποτε ομάδας αεροσκαφών σε οποιαδήποτε πτητική οδό καθ' όλη τη διάρκεια ενός έτους, για τις χρονικές περιόδους ημέρας, βραδιού και νυκτός. Κατόπιν αυτού, οι δείκτες θορύβου L_{den} και L_{night} της Οδηγίας 2002/49/EK υπολογίζονται ως εξής:

$$L_{den} = 10 * \log(1/86400 * \sum_{i,j} (N_{d,i,j} + 3,16 * N_{e,i,j} + 10 * N_{n,i,j}) * 10^{SEL_{i,j}/10})$$

Και

$$L_{night} = 10 * \log(1/T_n * \sum N_{n,i,j} * 10^{SEL_{i,j}/10})$$

όπου:

- $N_{d,i,j}$, ο αριθμός των κινήσεων της ομάδας αεροσκαφών j στην πτητική οδό i κατά τη χρονική περίοδο ημέρας μιας συνήθους ημέρας,
- $N_{e,i,j}$, ο αριθμός των κινήσεων της ομάδας αεροσκαφών j στην πτητική οδό i κατά τη βραδινή χρονική περίοδο μιας συνήθους ημέρας,
- $N_{n,i,j}$ ο αριθμός των κινήσεων της ομάδας αεροσκαφών j στην πτητική οδό i κατά τη νυκτερινή χρονική περίοδο μιας συνήθους ημέρας,
- T_n , η διάρκεια της νυκτερινής περιόδου σε δευτερόλεπτα,
- $SEL_{i,j}$, το επίπεδο έκθεσης στο θόρυβο που προκαλεί η ομάδα αεροσκαφών j στην πτητική οδό i .

Ο αριθμός των κινήσεων κατά τη διάρκεια μιας συνήθους ημέρας υπολογίζεται ως ο μέσος αριθμός κινήσεων κατά τη χρονική περίοδο ενός έτους σύμφωνα με τον τύπο:

$$N_{i,j} = N_{year,i,j}/365$$

όπου οι κινήσεις μετρώνται χωριστά για τις χρονικές περιόδους ημέρας, βραδιού και νύκτας και διακρίνονται με το δείκτη d για την περίοδο, της ημέρας, το δείκτη e για τη βραδινή περίοδο και το δείκτη n για τη νυκτερινή περίοδο.

Ο τύπος υπολογισμού του L_{den} περιλαμβάνει επιπλέον +5 dB για τη βραδινή περίοδο (συντελεστής 3,16) προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός κινήσεων κατά τη βραδινή περίοδο και +10 dB για τη νυκτερινή περίοδο (συντελεστής 10) προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός κινήσεων κατά τη νυκτερινή περίοδο.

Πίνακας 3. Απαιτούμενες προσαρμογές σύμφωνα με τη μεθοδολογία του ECAC 29, Πηγή:www.ypeka.gr

Κεφάλαιο του πρωτότυπου κειμένου	Απαιτούμενες προσαρμογές
Εισαγωγή	Προσαρμογή της τεχνικής της τμηματοποίησης και των κοινών δεικτών θορύβου σύμφωνα με το Παράρτημα II της Οδηγίας 2002/49/EK.
Επεξήγηση όρων και συμβόλων	Προσαρμογή για τη χρήση των δεικτών θορύβου της Οδηγίας 2002/49/EK. Η μονάδα θορύβου πρέπει να είναι η Α-σταθμισμένη συνολική ηχοστάθμη. Η κλίμακα θορύβου πρέπει να είναι η Α-σταθμισμένη ισοδύναμη ηχοστάθμη. Αντικατάσταση του «δείκτη θορύβου» με τους δείκτες θορύβου της Οδηγίας. 2002/49/EK.
Υπολογισμός περιγραμμάτων	Η «περίοδος μερικών μηνών» πρέπει να μετονομασθεί σε «περίοδο ενός έτους» προκειμένου να πληρούται η απαίτηση της Οδηγίας 2002/49/EK σχετικά με το «μέσο έτος». Διόρθωση (η πλευρική εξασθένιση $L(\beta,1)$ πρέπει να αφαιρείται και όχι να προστίθεται) και προσαρμογή του τύπου (1) στο σημείο 3.3 του εγγράφου ECAC doc. 29.
Μορφή του θορύβου των αεροσκαφών και πληροφορίες σχετικά με τις επιδόσεις που πρέπει να χρησιμοποιηθούν	Στο σημείο 4.1.3 του εγγράφου ECAC doc. 29, προσαρμογή των οριακών επιπέδων ώστε να διασφαλισθεί η συμβατότητα με τα ελάχιστα επίπεδα περιγράμματος που πρέπει να υπολογισθούν σύμφωνα με την Οδηγία 2002/49/EK: Βλέπε σημείο 2.3 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές για περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα εκπομπής θορύβου (συμπεριλαμβανομένης μιας έξω ορισμού σύστασης που παρέχει πληροφορίες σχετικές με τα χαρακτηριστικά πτήσης, την ώση του κινητήρα και τις ταχύτητες πτήσης) για το σκοπό της στρατηγικής χαρτογράφησης του θορύβου.

Ταξινόμηση τύπων αεροσκαφών	Η προσέγγιση της ταξινόμησης των αεροσκαφών χρειάζεται προσαρμογή ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι σύγχρονοι στόλοι που κυκλοφορούν στους ευρωπαϊκούς αερολιμένες. Βλέπε σημείο 2.3.2 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές για προκαθορισμένα δεδομένα NPD με βάση την ενημερωμένη ταξινόμηση των αεροσκαφών. Το μέρος 5.4 του εγγράφου ECAC doc. 29 προβλέπει την ολοκλήρωση των δεδομένων εκπομπής, όταν αυτή είναι απαραίτητη.
Κάναβος υπολογισμού	Οι αποστάσεις στην κάναβο πρέπει να επιλέγονται από τις αρμόδιες αρχές, ώστε να λαμβάνονται υπόψη ειδικές περιπτώσεις κατά τη στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου.
Βασικός υπολογισμός του θορύβου που προκαλούν μεμονωμένες κινήσεις αεροσκαφών	<p>Η διόρθωση για τη διάρκεια/ ανοχή που αναφέρεται στο σημείο 7.3 του εγγράφου ECAC doc. 29 ενδεχομένως να χρειάζεται προσαρμογή ανάλογα με το αν το είδος των δεδομένων NPD που χρησιμοποιούνται βασίζεται στην τιμή LA,MAX (βλέπε σημείο 1.4.3 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές).</p> <p>Ειδικότερα, όταν χρησιμοποιούνται τα προτερότιμα δεδομένα που συνιστώνται στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές, η τιμή ΔΑ πρέπει να αντικαταστήσει την τιμή ΔV (βλέπε σημείο 2.3.2 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές). Στο μέρος 7.5 του εγγράφου ECAC doc. 29 πρέπει να εφαρμοσθεί η τεχνική τμηματοποίησης (βλέπε σημείο 1.4.2 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές).</p> <p>Το μέρος 7.6 του εγγράφου ECAC doc. 29 δεν έχει εφαρμογή όταν χρησιμοποιείται η τεχνική τμηματοποίησης.</p>
Θόρυβος κατά την απογείωση και την κύλιση επί του εδάφους κατά την προσγείωση	Στο μέρος 8.2 του εγγράφου ECAC doc. 29, χρησιμοποιείται η εξίσωση (16) για $90 < \Phi < 148,4^\circ$ (προς αποφυγή της ασυνέχειας υπό γωνία $148,4^\circ$) και ορίζεται ότι $\Delta L = 0$ για $\Phi < 90^\circ$. Η εξίσωση (18) του εγγράφου ECAC doc. 29 για τον προσδιορισμό του επιπέδου έκθεσης στο θόρυβο, ενδεχομένως να χρειάζεται προσαρμογή προκειμένου να ληφθεί υπόψη διόρθωση για τη διάρκεια /ανοχή εάν το είδος των δεδομένων NPD που χρησιμοποιούνται βασίζεται στην τιμή LA,max (βλέπε σημείο 2.3.2 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές).
Άθροιση των επιμέρους τιμών ηχοστάθμης	Υιοθέτηση των κοινών δεικτών θορύβου της Οδηγίας 2002/49/EK. Βλέπε σημείο 1.4.3 στις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές.

<p>Προσομοίωση της πλευρικής και της κατακόρυφης διασποράς πτητικών οδών</p>	<p>Δεν απαιτείται καμία προσαρμογή.</p>
<p>Υπολογισμός του επιπέδου έκθεσης στο θόρυβο με διόρθωση για τη γεωμετρία του ίχνους</p>	<p>Το συγκεκριμένο κεφάλαιο δεν έχει εφαρμογή όταν χρησιμοποιείται η τεχνική τμηματοποίησης.</p>
<p>Γενικές κατευθύνσεις σχετικές με τον υπολογισμό των περιγραμμάτων θορύβου</p>	<p>Αυτό το κεφάλαιο κατευθύνσεων δεν χρειάζεται τροποποιήσεις, ωστόσο συνιστάται η μελέτη του υπό το πρίσμα των απαιτήσεων της Οδηγίας 2002/ 49/EK, ιδίως εκείνων που αφορούν τους δείκτες θορύβου.</p>

4. ΑΝΑΛΥΣΗ-ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

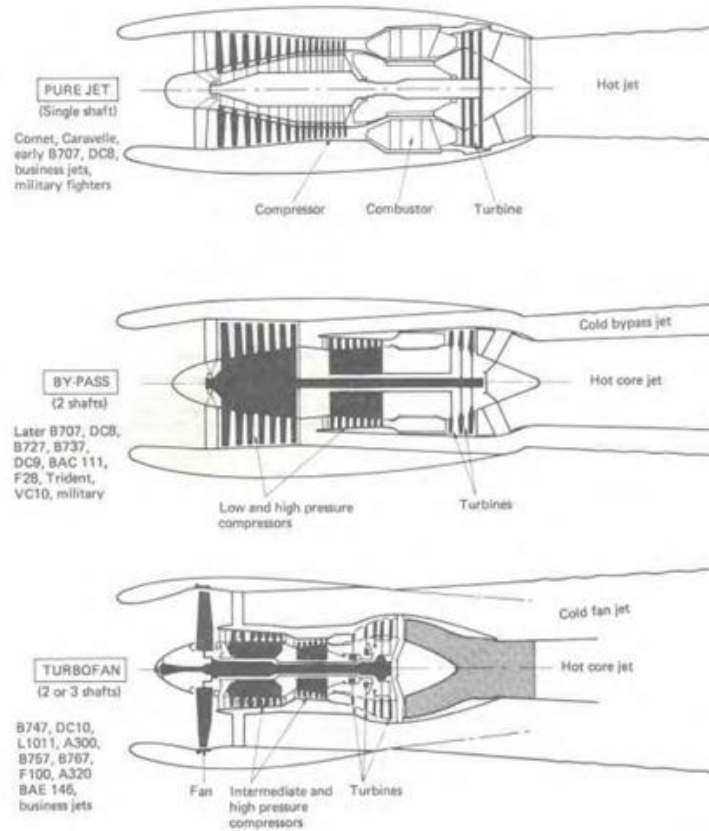
4.1 Εισαγωγή

Ο θόρυβος του αεροσκάφους συνιστά έννοια κεντρικής σημασίας για την παρούσα διπλωματική εργασία. Η λεπτομερής συζήτηση που έχει διεξαχθεί αναφορικά αφενός με τη φύση του θορύβου του αεροσκάφους (στην οποία φύση περιλαμβάνεται η πηγή θορύβου του αεροσκάφους, η παραγωγή του θορύβου και η εξάπλωση του θορύβου στο δέκτη), αφετέρου με την ποσοτικοποίηση, πιστοποίηση και προβλεψιμότητα του θορύβου παρατίθεται στις υποενότητες που ακολουθούν.

Οι πρωταρχικές λειτουργίες του αεροσκάφους που επηρεάζουν τους ανθρώπους που εργάζονται σε αεροδρόμια είναι οι διαδικασίες απογείωσης και προσγείωσης, τροχοδρόμησης καθώς και η διαδικασία επίγειου ελέγχου του κινητήρα στα πλαίσια τακτικής συντήρησης-επιθεώρησης. Οι θόρυβοι του αεροσκάφους μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες : σε αυτούς που παράγονται εσωτερικά και σε αυτούς που παράγονται εξωτερικά. Η σημαντικότερη πηγή εσωτερικού θορύβου είναι ο θόρυβος του κινητήρα του αεροσκάφους, ο οποίος μπορεί ειδικότερα να διακριθεί σε τρία μέρη : στο θόρυβο που πηγάζει από τον ανεμιστήρα και το συμπιεστή, στο θόρυβο καύσης και στο θόρυβο του στροβίλου. Από την άλλη, η σημαντικότερη πηγή εξωτερικού θορύβου παράγεται από την ανάμειξη των καυσαερίων υψηλής ταχύτητας από το ακροφύσιο του κινητήρα με τον αέρα του περιβάλλοντος χώρου. Ο θόρυβος αεριοώθησης (jet noise) είναι η κυρίαρχη πηγή θορύβου του αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της υψηλής ώσης που επικρατεί στις διαδικασίες απογείωσης, ενώ αντίθετα ο θόρυβος των μηχανημάτων (machinery noise) είναι η κυρίαρχη πηγή θορύβου του αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της χαμηλής ώσης που επικρατεί στις διαδικασίες προσγείωσης. Τόσο ο θόρυβος του κινητήρα όσο και ο θόρυβος του υπόλοιπου τμήματος του αεροσκάφους (εκτός του κινητήρα, ήτοι της ατράκτου) αμφότεροι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο θόρυβο του αεροσκάφους, ιδίως κατά τις διαδικασίες προσγείωσης.

4.2 Θόρυβος Κινητήρα

Από την εποχή της εμφάνισης των jet αεροσκαφών, η εξέλιξη του jet κινητήρα (αεροκινητήρας) υπήρξε ραγδαία : από τον απλό στροβιλοκινητήρα (turbojet engine, που αποκαλείται και «pure jet») στον jet κινητήρα παράκαμψης (by-pass jet engine) και στον στροβιλοανεμιστήρα διπλής ροής (turbofan jet engine, που αποκαλείται και «υψηλού ρυθμού παράκαμψη»). Η εικόνα 7 απεικονίζει αυτούς του τρεις κλασικούς τύπους κινητήρα, καθώς και παραδείγματα της λειτουργίας τους, όπως επεξηγούνται αυτοτελώς στις παραγράφους που ακολουθούν.



Εικόνα 7. Τρεις διαφορετικοί τύποι αεροκινητήρων και οι λειτουργίες τους, Πηγή: www.sciencedirect.com/topics/engineering/jet-propulsion

Τα τρία βασικότερα συστατικά του στροβιλοκινητήρα είναι ο συμπιεστής, ο θάλαμος καύσης και ο στρόβιλος. Η κυριότερη προωθητική ώση παράγεται από τις υψηλές ταχύτητες αποβολής αερίου διαμέσου του μοναδικού οπίσθιου ακροφυσίου [13]. Πρώτα θα εξηγηθεί η λειτουργία του απλού στροβιλοκινητήρα. (turbojet ή pure jet).

Ο αέρας διοχετεύεται στο σύστημα συμπίεσης, αναμειγνύεται με καύσιμο και καίγεται στο θάλαμο καύσης. Ακολούθως, ο αέρας διαστέλλεται ραγδαία από τη θερμότητα και διοχετεύεται στο τμήμα εκείνο που αποτελεί τον κινητήριο άξονα του στροβίλου, ο οποίος και παρέχει τη δύναμη που κινεί το συμπιεστή. Εν τέλει, θερμός αέρας εκλύεται διαμέσου του οπίσθιου ακροφυσίου, παρέχοντας την αναγκαία προωθητική δύναμη ώσης που κινεί το αεροπλάνο. Η ταχύτητα του εξερχόμενου αέρα είναι κατά προσέγγιση 600-700 m/s. Αυτή η υψηλή ταχύτητα είναι ο βασικότερος παράγοντας που δημιουργεί το θόρυβο του αεροκινητήρα (jet κινητήρα) [14], [15], [16].

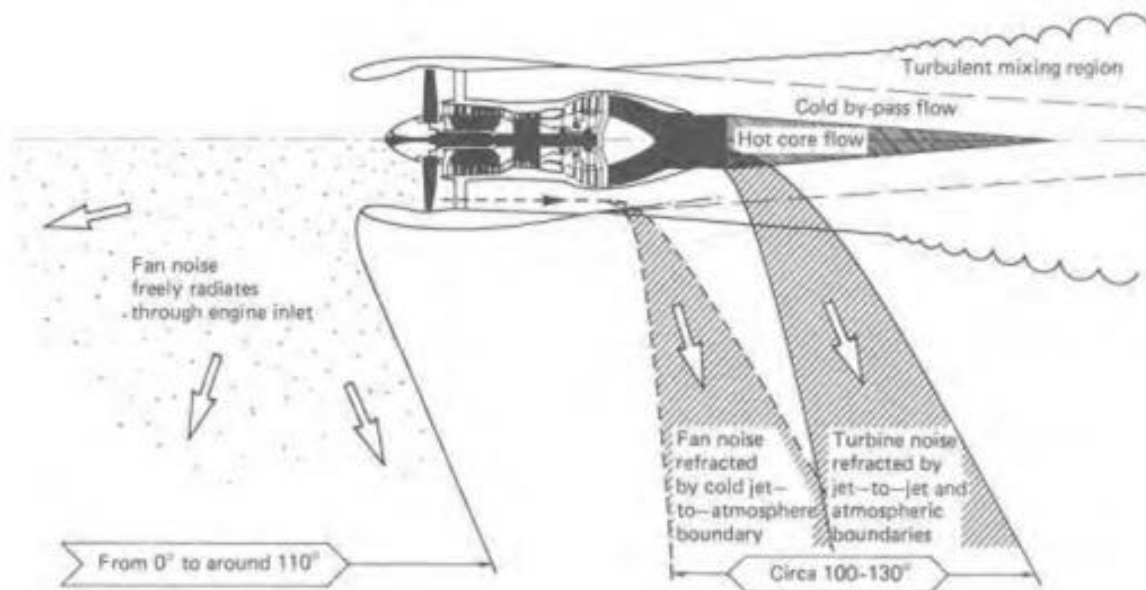
Μολονότι χαρακτηριστικό του απλού στροβιλοκινητήρα (turbojet) είναι η παραγωγή ιδιαίτερα ισχυρής ώσης που είναι αναγκαία για πτήσεις υψηλής ταχύτητας, συνήθως πολεμικού αεροσκάφους, αντίθετα αποτελεί από θερμοδυναμικής και οικονομικής άποψης ένα σύστημα μη αποδοτικό. Κατά αποτέλεσμα, για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, εισήχθη το σύστημα παράκαμψης (by-pass). Ο χαμηλός ρυθμός παράκαμψης απεικονίζεται στην Εικόνα 8. Στο εν λόγω σύστημα, η ροή αέρα από το τμήμα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης χωρίζεται σε δύο κομμάτια, το ένα, που αποκαλείται θερμό αέριο, διοχετεύεται στο τμήμα υψηλής πίεσης του συμπιεστή και έπειτα περνά μέσα από το θάλαμο καύσης για να παραχθεί η ώση του κινητήρα στον πυρήνα του ακροφυσίου σε υψηλές θερμοκρασίες και με μεγάλη ταχύτητα (περίπου 600 m/s), πριν προλάβει ο αέρας να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα [17]. Η εναπομείνασα ροή (που αποκαλείται «ψυχρός αέρας») παραμένει σε χαμηλή πίεση σε ένα ξεχωριστό αγωγό, ώστε να «παρακάμψει» τη ροή του πυρήνα του κινητήρα. Στη συνέχεια εξέρχεται διαμέσου του ακροφυσίου στα 2/3 της ταχύτητας του θερμού αερίου. Γενικότερα, η δύναμη ώσης παράγεται ισομερώς τόσο από το θερμό αέριο (hot gas) όσο και από το ψυχρό (cold by-pass gas). Η φράση «ρυθμός παράκαμψης» (by-pass ratio) σημαίνει την αναλογία ανάμεσα στον όγκο της ροής του αέρα διαμέσου του αγωγού του αεροδυναμικού καλύμματος και στον όγκο της ροής του αέρα διαμέσου του πυρήνα του κινητήρα.

Το σύστημα του υψηλού ρυθμού παράκαμψης, όπως έχει καθιερωθεί με τη μορφή του σύγχρονου στροβιλοανεμιστήρα διπλής ροής (turbofan jet engine), βελτιστοποιεί τόσο τη θερμοδυναμική όσο και την οικονομική αποδοτικότητα του αεροσκάφους. Ο στροβιλοκινητήρας διπλής ροής αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία : τον ανεμιστήρα, το συμπιεστή, την καύση και το στροβίλο. (βλ. Εικόνα 7) Συνήθως, η ποσότητα του αέρα από τον ανεμιστήρα είναι 3 με 4 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του απλού στροβιλοκινητήρα, 15 % της ροής του αέρα διοχετεύεται στον πυρήνα του κινητήρα, διαμέσου των τμημάτων μεσαίας και υψηλής πίεσης του συμπιεστή ώστε να συμπιεστεί σε περίπου 40 φορές της ατμοσφαιρικής πίεσης, στη συνέχεια αναμειγνύεται με καύσιμο, αναφλέγεται σε θερμοκρασία περίπου 1500 °C στο θάλαμο καύσης, κατόπιν περνά στο τμήμα του στροβίλου και τελικά εξέρχεται μέσω του τελικού ακροφυσίου με ταχύτητα περίπου 400-500 m/s [18], [19]. Το 85% της συνολικής ροής αέρα (αποκαλείται ανεμιστήρας ψύξης) περνά τον ξεχωριστό αγωγό και απελευθερώνεται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα, δημιουργώντας ώση του κινητήρα. Συνεπώς, η συνολική δύναμη ώσης του εν λόγω συστήματος προέρχεται κατά μείζονα λόγο από τον ανεμιστήρα ψύξης κι όχι από τον πυρήνα του Jet κινητήρα. Ο κύριος ρόλος

του πυρήνα είναι να ενεργοποιεί τις βαθμίδες των αεραγωγών του κινητήρα ώστε να κινείται ο ανεμιστήρας [15], [16].

Η συγκέντρωση θορύβου από τα δομικά μέρη του κινητήρα του αεροσκάφους που περιγράφονται ανωτέρω δημιουργεί το συνολικό μέγεθος του θορύβου του αεροσκάφους. Όλες αυτές οι πηγές παράγουν θόρυβο με διαφορετικούς τρόπους και σε διαφορετικά επίπεδα, ανάλογα με την εκάστοτε υπάρχουσα λειτουργία του αεροσκάφους, τον τύπο του κινητήρα του αεροσκάφους αλλά και τη ρύθμιση των παραμέτρων του. Κατωτέρω γίνεται ανάλυση του θορύβου που δημιουργείται από τον στροβιλοανεμιστήρα διπλής ροής (turbofan engine), καθώς αυτός αποτελεί το συνηθέστερο τύπο κινητήρα αεροσκάφους.

Πρώτα από όλα, ας μιλήσουμε για το θόρυβο του ανεμιστήρα. Ο ευρυζωνικός θόρυβος δημιουργείται από την αλληλεπίδραση των ακροπτερυγίων των περιστρεφόμενων πτερυγίων με την τύρβωση γύρω από την επιφάνεια του αγωγού εισαγωγής. Η πρόσπτωση των πτερυγίων συνιστά σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει το θόρυβο του ανεμιστήρα. Αν η γωνία πρόσπτωσης του πτερυγίου έχει σχεδιαστεί λανθασμένα, ο ευρυζωνικός θόρυβος αυξάνεται. Το πτερύγιο του ανεμιστήρα επίσης παράγει το χαρακτηριστικό θόρυβο στη συχνότητα περάσματος πτερυγίου (blade passing frequency-BPF) και μπορεί ολοφάνερα κανείς να τον ακούσει ιδίως σε συνθήκες υπερηχητικής ταχύτητας ακροπτερυγίου [20]. Ο θόρυβος του ανεμιστήρα συνήθως επικρατεί κάθε άλλης πηγής θορύβου του κινητήρα, κυρίως κατά τη διάρκεια που το αεροπλάνο πλησιάζει το αεροδρόμιο ή κατά τη διάρκεια υπερπτήσης που προσεγγίζει τη μονάδα πομποδέκτη. Αυτό συμβαίνει διότι ο θόρυβος του ανεμιστήρα πάντοτε μεταδίδεται προς τα εμπρός με τον κινητήρα του αεροσκάφους, όπως απεικονίζεται γραφικά στην Εικόνα 8 .



Εικόνα 8. Πηγές θορύβου από το εσωτερικό του κινητήρα, Πηγή: <http://www.sea-acustica.es/>

Αφού περάσει τον ανεμιστήρα, ο αέρας μεταφέρεται καθοδικά και ακολουθεί δύο διαφορετικές διαδρομές, η μία προς τον αγωγό του ανεμιστήρα και η άλλη προς τον αγωγό του πυρήνα του κινητήρα. Ο θόρυβος του αγωγού του ανεμιστήρα οφείλεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στο στροβιλιζόμενο αέρα και τα οδηγία πτερύγια εξόδου (που αποκαλούνται στάτορες). Αυτοί οι στάτορες αποτελούν μεγάλη πηγή θορύβου. Ο διακριτός θόρυβος δημιουργείται όταν τα απορρεύματα του αέρα από τη ροή του ανεμιστήρα χτυπούν πάνω στους στάτορες με συχνότητα περάσματος πτερυγίου (blade passage frequency) [21]. Επιπρόσθετα, ο ευρυζωνικός θόρυβος προκαλείται από την αλληλεπίδραση της τύρβωσης, που δημιουργείται από την ασταθή ροή αέρα από τον ανεμιστήρα με τους στάτορες. Αυτός ο ευρυζωνικός θόρυβος γίνεται συχνά αντιληπτός σαν ένας βροντερός ήχος και συνήθως διαδίδεται προς τα πίσω σε σχέση με τον κινητήρα, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 9.

Όταν ο αέρας προωθείται στον αγωγό του πυρήνα του κινητήρα, συμπιέζεται από μια σειρά από στροφεία και στάτορες. Ο διακριτός θόρυβος που δημιουργείται οφείλεται στην αλληλεπίδραση της τυρβώδους ροής με τις προσκείμενες περιστρεφόμενες και στατικές σειρές πτερυγίων. Η απόσταση μεταξύ του στροφείου και του στάτορα συνιστά σημαντικό παράγοντα ελέγχου του θορύβου του συμπιεστή.

Αν η απόσταση είναι πολύ μικρή, μια έντονη πίεση θα παράξει και θα επιφέρει ένα μεγαλύτερο, διακριτό θόρυβο. Υπάρχουν πολλοί τρόποι ώστε να μειωθεί αυτός ο χαρακτηριστικός θόρυβος,

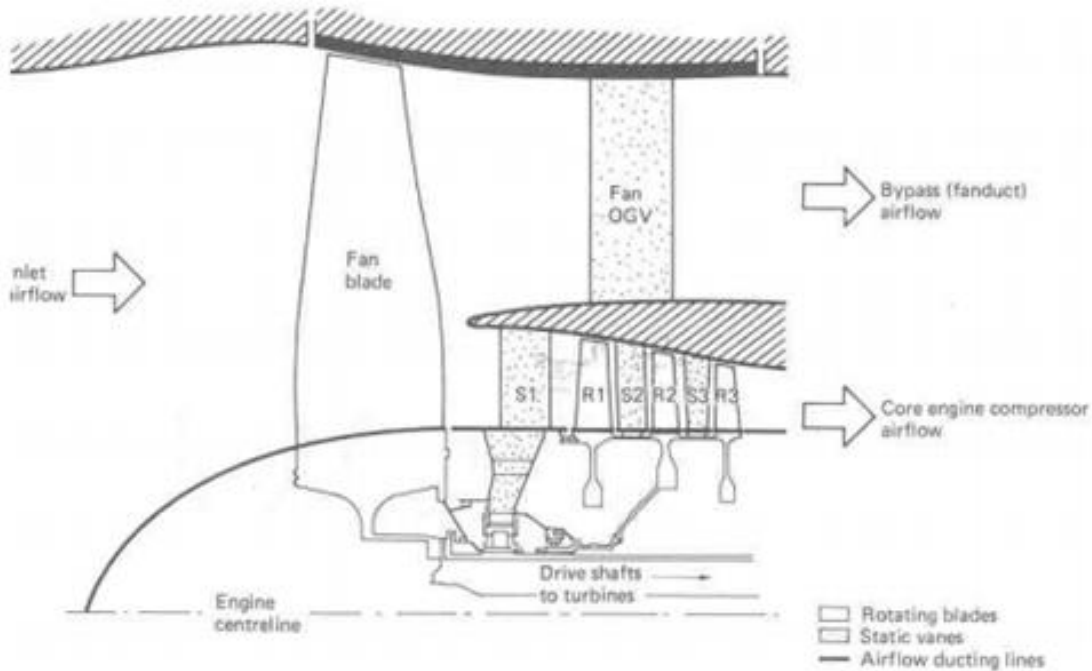
κυρίως μέσω της διατήρησης μιας βέλτιστης απόστασης (σ.σ. μεταξύ στροφείου και στάτορα), η οποία και θα οδηγήσει σε έναν λιγότερο διακριτό θόρυβο σε σχέση με αυτόν που θα υπήρχε αν οι μεταξύ τους αποστάσεις ήταν αντίστοιχα μεγαλύτερες ή μικρότερες. Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στο διακριτό αυτό θόρυβο είναι ο αριθμός των στροφείων και των στατόρων, καθώς και η διαρρύθμισή τους.

Κανονικά, η διαδικασία καύσης παράγει τυρβώδη ροή, ώστε ο θάλαμος καύσης να αποτελεί την πηγή του ευρυζωνικού θορύβου. Ο θάλαμος καύσης έχει κατασκευαστεί για να αναμειγνύει ταχύτατα τον αέρα με το καύσιμο, ώστε αυτά να καίγονται στη ζώνη καύσης. Στη συνέχεια, ροή αέρα πολύ υψηλής πίεσης και πολύ μεγάλης ταχύτητας ανακατεύεται εντός της ζώνης ανάμειξης και αραίωσης (διάλυσης) με το συμπιεσμένο αέρα και κατά αυτόν τον τρόπο διατηρείται ένα μπροστινό μέρος σταθερής φλόγας. Ο έντονος ευρυζωνικός θόρυβος δημιουργείται γύρω από την εσωτερική επιφάνεια του θαλάμου καύσης [19],[20], [21], [22].

Ευτυχώς, σε σχέση με το μέγεθος και τη ρύθμιση παραμέτρων του θαλάμου καύσης, ο θόρυβος της καύσης δεν είναι και τόσο σημαντικός, ειδικά αν συγκριθεί με άλλες πηγές θορύβου που βρίσκονται πλησίον του κινητήρα (όπως ο θόρυβος που προέρχεται από το συμπιεστή ή από το στρόβιλο).

Η κύρια λειτουργία του στροβίλου είναι να παρέχει τη δύναμη που θα κινητοποιήσει όλα τα στάδια του ανεμιστήρα και της συμπίεσης στο εμπροσθεν μέρος του κινητήρα. Οι μηχανισμοί παραγωγής θορύβου είναι ταυτόσημοι με εκείνους που συναντάμε στον ανεμιστήρα και στο συμπιεστή. Το αέριο που έχει καεί από το θάλαμο καύσης, πριν διέλθει μέσα από το τελικό ακροφύσιο, διοχετεύεται κατευθείαν στο στρόβιλο μέσω των οδηγών πτερυγίων ακροφυσίου (NGVs) και του στροφείου στροβίλου υψηλής πίεσης (HRPs). Τόσο ο ευρυζωνικός όσο και ο διακριτός θόρυβος δημιουργούνται σε αυτό το τμήμα του κινητήρα, αλλά είναι ο διακριτός θόρυβος που υπερिशύει. Παρά το γεγονός ότι οι παραγωγές θορύβου του στροβίλου είναι παρόμοιες με αυτές του ανεμιστήρα, το επίπεδο των σοβαρών θορύβων είναι χαμηλότερο κι αυτό συμβαίνει διότι είναι μεγαλύτερος ο αριθμός των πτερυγίων και η λειτουργία τους γίνεται σε ταχύτητες πολύ υψηλές σε σχέση με τον ανεμιστήρα. Όλες οι συχνότητες του διακριτού θορύβου από το τμήμα του στροβίλου σχεδόν ξεπερνούν το ανθρώπινο ακουστικό φάσμα. Επιπρόσθετα, ο συνολικός όγκος της ροής αέρα από το στρόβιλο σε ένα στροβιλοκινητήρα διπλής ροής είναι πολύ χαμηλός, εν συγκρίσει με αυτόν από τον ανεμιστήρα. Η Εικόνα 10 απεικονίζει τη διαδρομή της διάδοσης του θορύβου του στροβίλου, όπως εξαπλώνεται με φορά προς τα πίσω από τον κινητήρα. Μπορεί κανείς να τον ακούσει για σύντομο χρονικό διάστημα, καθόσον ο θόρυβος του στροβίλου πρέπει να περάσει διαμέσου της υψηλής θερμοκρασίας και ταχύτητας του θορύβου εξαγωγής

ταχυρεύματος (jet exhaust noise), με αποτέλεσμα άμεσα να διαθλάται προς τα κάτω με γωνία 100-120° σε σχέση με την γωνία εισόδου.



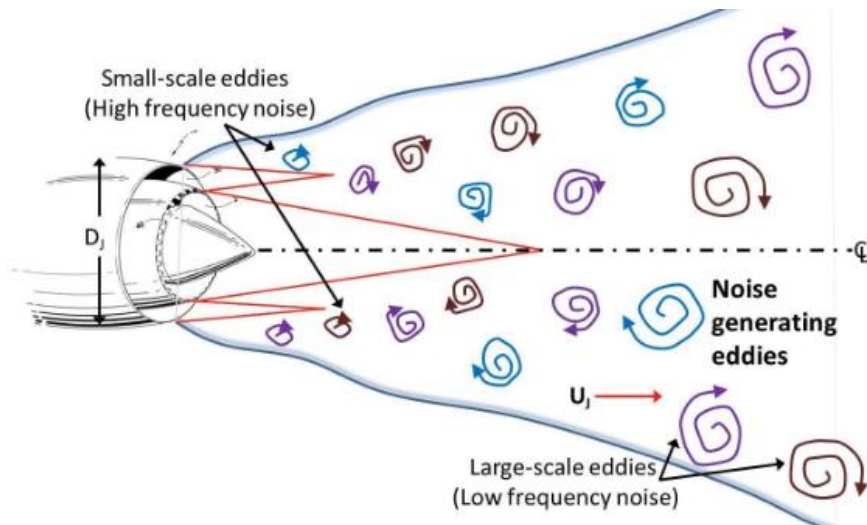
Εικόνα 9. Μισό τμήμα μπροστινού τμήματος κινητήρα που δείχνει τα περύγια συμπίεσης, Πηγή: <https://link.springer.com/>

4.3 Θόρυβος Εξαγωγής Κινητήρα

Ο θόρυβος εξαγωγής του κινητήρα κατηγοροποιείται σε θόρυβο καύσης (shock noise) και σε θόρυβο μείξης καυσαερίων (jet mixing noise). Ο θόρυβος καύσης κανονικά προκύπτει σε μηδενικό/πολύ χαμηλό λόγο παράκαμψης του jet κινητήρα που λειτουργεί εν πλήρη ισχύ, όπου οι ταχύτητες εξαγωγής φτάνουν τα 600/700 m/s και η ροή των καυσαερίων είναι τοπικά υπερηχητική. Με το που εμφανιστεί το αεροσκάφος, μπορεί κανείς να τον ακούσει σαν έναν τραχύ, γρήγορο θόρυβο, ο οποίος θα εξαφανιστεί μαζί με το αεροσκάφος. Αυτός ο θόρυβος υπάρχει και στο στροβιλοκινητήρα διπλής ροής, αλλά εμφανίζεται μόνο κατά τις διαδικασίες απογείωσης με υψηλή δύναμη ώσης, όταν το ακροπερύγιο του ανεμιστήρα λειτουργεί σε υπερηχητικές συνθήκες. Ευτυχώς, στον στροβιλοκινητήρα διπλής ροής έχει ήδη περιοριστεί το πρόβλημα του θορύβου, μέσω της μείωσης της ταχύτητας εξαγωγής. Μπορεί να αναφερθεί ως συμπέρασμα ότι ο θόρυβος καύσης δεν αποτελεί ζήτημα στο σύγχρονο εμπορικό jet κινητήρα.

Μια άλλη σημαντική πηγή θορύβου είναι ο θόρυβος μείξης καυσαερίων, που συναντάται σε όλους τους τύπους jet κινητήρα αεροσκαφών. Σε μηδενικό/χαμηλό ρυθμό παράκαμψης, υπερισχύει τόσο στις διαδικασίες απογείωσης όσο και στις διαδικασίες προσγείωσης. Σε υψηλό ρυθμό παράκαμψης, είναι σημαντικός μόνο κατά την απογείωση. Όπως αφήνει να εννοηθεί και η ίδια η ονομασία του, ο συγκεκριμένος θόρυβος παράγεται από τη ανάμειξη που συντελείται μεταξύ των θερμών καυσαερίων του κινητήρα (hot-core jet), του ανεμιστήρα ψύξης (cold-fan jet) και του αέρα του περιβάλλοντος χώρου, αφότου ο αέρας αυτός αποβληθεί διαμέσου του τελευταίου ακροφυσίου. Το πρότυπο ανάμειξης, οι διαστάσεις του ακροφυσίου και η ταχύτητα εξαγωγής, όλα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που δημιουργούν τον εν λόγω θόρυβο. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι προτύπου μείξης καυσαερίων : το μη-μεικτό πρότυπο και το μεικτό πρότυπο.

Το μη μεικτό πρότυπο κινητήρα (unmixed engine) αποτελεί την πρώιμη μορφή κινητήρα με ρυθμό παράκαμψης. Το αέριο από τον ανεμιστήρα ψύξης και το αέριο από το θερμό πυρήνα αναμειγνύονται μετά την αποβολή τους από το ξεχωριστό ακροφύσιο. Δημιουργείται κατόπιν μια τυρβώδης ροή, η οποία βασικά χωρίζεται σε δύο ζώνες : τη ζώνη μικρών δινών και τη ζώνη μεγάλων δινών. Αμφότερες οι ζώνες δημιουργούν τον ευρυζωνικό θόρυβο. (Βλέπε εικόνα 10). Η ζώνη μικρών δινών εμφανίζεται πλησίον του ακροφυσίου και δημιουργεί ένα ευρυζωνικό θόρυβο ιδιαίτερα υψηλής συχνότητας. Αντίστροφα, στα κατώτερα επίπεδα της εξαγωγής, με χαμηλής συχνότητας ευρυζωνικό θόρυβο δημιουργείται η ζώνη μεγάλων δινών. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η ζώνη μεγάλων δινών σχηματίζεται σε μακρινή απόσταση και έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ υψηλό επίπεδο θορύβου. Επίσης, δημιουργεί το θόρυβο κρούσης στον πυρήνα του τελευταίου ακροφυσίου. Ο σύγχρονος στροβιλοκινητήρας διπλής ροής βέβαια έχει ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα μέσω μιας διαδικασίας πρώιμης ανάμειξης (που αποκαλείται μεικτό πρότυπο) του αερίου του ανεμιστήρα ψύξης με το αέριο του θερμού πυρήνα, προτού αυτό αποβληθεί στην ατμόσφαιρα. Το μέγεθος της ζώνης μεγάλων δινών συρρικνώνεται, ενώ αντίστροφα αυτής των μικρών δινών αυξάνεται. Παρόλα αυτά, ο θόρυβος υψηλής συχνότητας εύκολα απορροφάται στην ατμόσφαιρα, πριν προλάβει να γίνει αντιληπτός σε μεγάλη κλίμακα, ενώ και ο θόρυβος κρούσης επίσης εξαλείφεται.



Εικόνα 10. Θόρυβος καυσαερίων κινητήρα, Πηγή: www.southampton.ac.uk

4.4 Θόρυβος Ατράκτου

Από τη στιγμή που εισήχθη ο στροβιλοκινητήρας διπλής ροής, ο θόρυβος της ατράκτου του αεροσκάφους απέκτησε μεγάλη σημασία. Ο εν λόγω θόρυβος μπορεί να είναι σημαντικός μόνο όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε χαμηλή ισχύ, ιδίως κατά την προσέγγιση του αεροδιαδρόμου προσγείωσης. Κανονικά, ο θόρυβος της δομής του αεροσκάφους είναι ευρυζωνικός και είναι αυτός που συμβάλλει περισσότερο στο συνολικό θόρυβο κατά τη διαδικασία προσέγγισης για την προσγείωση του αεροσκάφους, όταν μάλιστα είναι εφοδιασμένο με κινητήρες σχετικά υψηλού ρυθμού παράκαμψης [23]

Η επιτυχία του υψηλού ρυθμού παράκαμψης στροβιλοκινητήρα διπλής ροής όσον αφορά τη μείωση του εξωτερικού θορύβου του αεροσκάφους πολιτικής αεροπορίας κατά τις διαδικασίες απογείωσης και προσγείωσης, παράλληλα με την ταυτόχρονη βελτίωση του κόστους αερομεταφοράς, έχει ανοίξει μια συζήτηση σχετικά με το αν και κατά πόσο είναι πιθανόν να μειωθεί κι άλλο ο θόρυβος του αεροσκάφους, μέσω της εισαγωγής νέων αεροσκαφών ή τον εκσυγχρονισμό των ήδη υπαρχόντων με νέους κινητήρες [24]

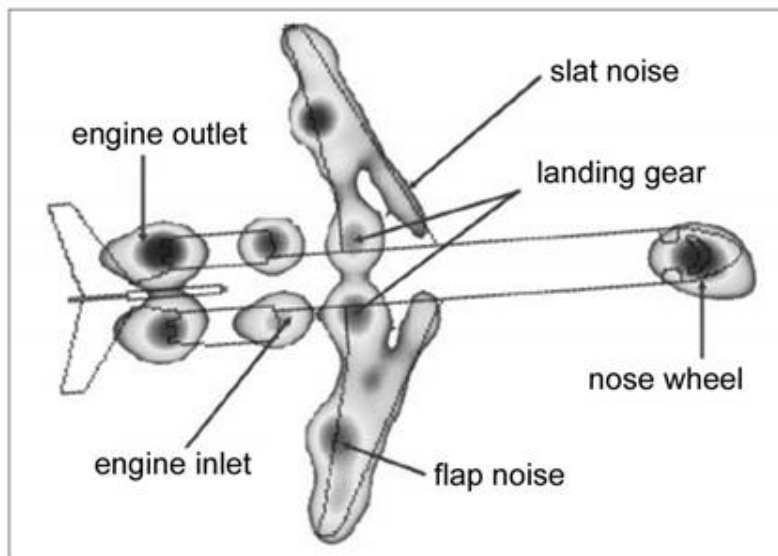
Επιπλέον, ο θόρυβος της ατράκτου είναι ο θόρυβος που παράγεται από ένα αεροσκάφος που πετά χωρίς το σύστημα προώθησης ή τις βοηθητικές μονάδες ισχύος σε λειτουργία. Ο θόρυβος αυτός δημιουργείται εξαιτίας του αέρα που ρέει πάνω και γύρω από το αεροσκάφος και γίνεται δυνατότερος κατά το σχηματισμό προσγείωσης, από τη στιγμή που παράγονται τμήματα

τυρβώδους ροής όταν τα πτερύγια καμπυλότητας και τα εσωτερικά πηδάλια κλίσης εκτείνονται και το σύστημα προσγείωσης ενεργοποιείται.

Οι πηγές θορύβου της δομής του αεροσκάφους είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της αυξομείωσης της ροής με σκληρές επιφάνειες (hard walls) και κυρίως με ανωμαλίες της επιφάνειας (ταχεία μεταβολή των οριακών συνθηκών). Ο χαρακτήρας των παραγόμενων πηγών θορύβου, ήτοι η κατευθυντικότητα και η φασματική κατανομή της ηχητικής πίεσης, επηρεάζεται σημαντικά από το χαρακτήρα της ροής (το στάτους του οριακού στρώματος, τον αριθμό Reynolds, τον αριθμό Strouhal, τον αριθμό Mach)

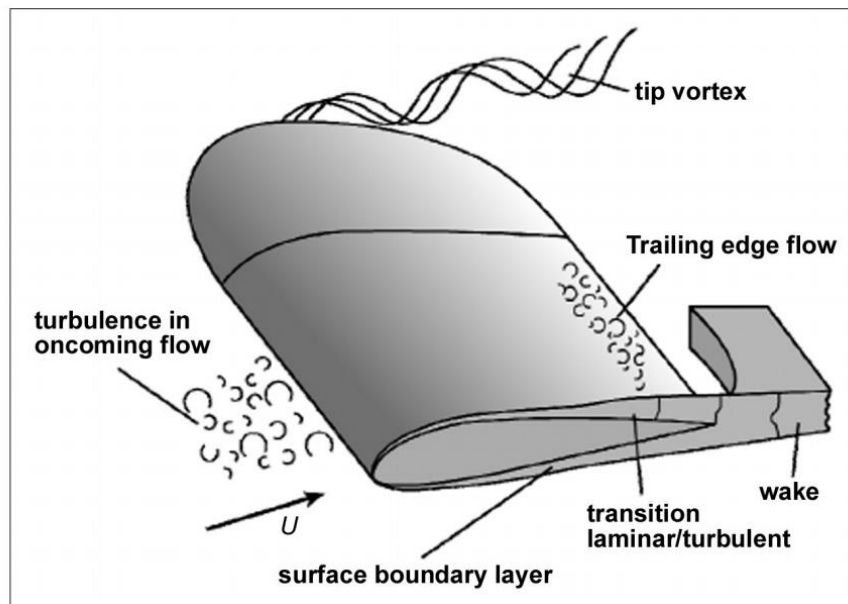
Οι ακόλουθοι τύποι ροής όταν αλληλεπιδρούν με σκληρές επιφάνειες είναι καθοριστικής σημασίας (Εικόνα 11) :

- Τυρβώδη οριακά στρώματα κατά το πέρασμά τους από αιχμηρά χείλη εκφυγής (sharp trailing edges)
- Στρωτά ή μεταβατικά οριακά στρώματα μαζί με περιοδική διακύμανση της μέσης ροής, εξαιτίας ασταθειών κατά το πέρασμα από αιχμηρά χείλη εκφυγής
- Ξεχωριστές ροές κατά το πέρασμά τους από αιχμηρά χείλη εκφυγής
- Προσκολλημένες ροές κατά το πέρασμά τους από αμβλυμένα χείλη εκφυγής
- Ροή γύρω από πλευρικά χείλη προσβολής (εξέλιξη πλευρικών χειλών στροβίλου).



Εικόνα 11. Επιφάνειες παραγωγής θορύβου του αεροσκάφους, Πηγή : researchgate.net

Επιπλέον πηγές θορύβου μπορεί να παραχθούν από κενά ή κοιλότητες, όπως είναι για παράδειγμα οι τρύπες που προκαλούνται από υπερβολική πίεση καυσίμου[25]. Η εικόνα 11 απεικονίζει κάποιες από τις πηγές θορύβου της δομής του αεροσκάφους, οι οποίες περιλαμβάνουν την άτρακτο, τις κύριες πτέρυγες, το σύστημα προσγείωσης και τις υπεραντωτικές διατάξεις. Παρά το γεγονός ότι κάθε μία από τις εν λόγω πηγές θορύβου παράγει ήχο μέσω διαφορετικών φυσικών μηχανισμών, ο παραγόμενος θόρυβος είναι παρόμοιος σε εύρος, αλλά μπορεί να ακολουθεί διαφορετικά κατευθυνόμενα μονοπάτια. Ο θόρυβος από τα πτερύγια ανύψωσης και τα πηδάλια κλίσης χαρακτηρίζεται από τυρβώδη οριακά στρώματα κατά το πέρασμά τους από αιχμηρά χείλη εκφυγής και από πλευρικά χείλη προσβολής.



Εικόνα 12. Επιφάνειες παραγωγής θορύβου πτέρυγας αεροσκάφους, Πηγή : www.researchgate.net

4.5 Θόρυβος Συστήματος Προσγείωσης

Το σύστημα προσγείωσης συνιστά αναπόσπαστο σύστημα του αεροσκάφους. Απορροφά τη ενέργεια από την ισχύ πρόσκρουσης κατά την προσγείωση και κουβαλά το βάρος του αεροσκάφους σε όλες τις επιχειρήσεις εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της απογείωσης, της τροχοδρόμησης και της ρυμούλκησης. Ο θόρυβος που παράγεται από το σύστημα προσγείωσης του αεροσκάφους συμβάλλει καταλυτικά στο συνολικό θόρυβο της δομής του αεροσκάφους κατά την προσέγγιση για προσγείωση [26], [27], [28].

Το σύστημα προσγείωσης αποτελεί μια σημαντική πρόκληση εξαιτίας της μη ομοιόμορφης ροής πεδίου στην πτέρυγα και της πολύπλοκης γεωμετρίας με τις μικρής κλίμακας λεπτομέρειες που

επιηρεάζουν τον θόρυβο υψηλής συχνότητας. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος προσγείωσης και του συστήματος των πτερυγίων ανόδου-καθόδου συμβάλλουν σε αυτή την περίπλοκη μορφή θορύβου [29].

Η πηγή του θορύβου είναι η τυρβώδης, ασταθής, ξεχωριστή ροή γύρω από τα διάφορα δομικά εξαρτήματα του συστήματος προσγείωσης [30], [31]. Από τη στιγμή που το σύστημα προσγείωσης διαθέτει πολλές κοιλότητες και πολλά αιχμηρά χείλη προσβολής, το πεδίο ροής αέρα είναι αρκετά περίπλοκο με περιοχές απεικόνισης τριών διαστάσεων και πολλαπλών μεγεθών. Το περισσότερο από το υπόλοιπο αυτού του θορύβου είναι αποτέλεσμα μη αεροδυναμικού σώματος και της προεξοχής του από τα διάφορα δομικά εξαρτήματα.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το μέγεθος των δομικών συστατικών ποικίλει αρκετά, το φάσμα του θορύβου είναι ευρυζωνικό. Μολαταύτα, το ανώτατο σημείο του φάσματος εμφανίζεται ιδιαίτερα χαμηλό (μόλις λίγες εκατοντάδες hertz). Η απομάκρυνση των μικρών κομματιών, όπως οι υδραυλικές γραμμές και τα περικόχλια, έχει αποδειχθεί ότι ελαττώνει το θόρυβο υψηλής συχνότητας κατά αρκετά ντεσιμπέλ. Παρά το γεγονός ότι η πραγματική αφαίρεση των μικρών κομματιών μπορεί να είναι στην πράξη μη εφαρμόσιμη, εντούτοις κάποια από τα μικρά εξαρτήματα μπορούν να αποκρυβούν πίσω από μεγαλύτερα στις «νεκρές ζώνες» της ροής. Μεγαλύτερα άλλωστε δομικά μέρη θα μπορούσαν να εσωκλείουν μέσα τους κάποια από τα μικρότερα [32].

Η ένταση του θορύβου του συστήματος προσγείωσης αυξάνεται κατ'αναλογία με την 6^η δύναμη της ταχύτητας ροής, ενώ οι συχνότητες του ήχου αυξάνονται γραμμικά με την ταχύτητα [33].

Η μείωση των μη αεροδυναμικών δομικών στοιχείων και ο παθητικός έλεγχος της πτώσης του στροβίλου μέσω πλακών διαχωρισμού τοποθετημένων πίσω από τα κυλινδρικά στυλίδια (στηρίγματα) είναι οι λύσεις που συνήθως υιοθετούνται ώστε να μειωθεί ο θόρυβος του συστήματος προσγείωσης [34]. Επιπρόσθετα, η χρήση αεροδυναμικών καλυμμάτων προστασίας των δομικών εξαρτημάτων από την επίδραση της υψηλής ταχύτητας μειώνει το θόρυβο. Το φαινόμενο του απομαστευόμενου αέρα μέσω ενός αεροδυναμικού καλύμματος στην αεροακουστική επίδοση του συστήματος προσγείωσης συνιστά ένα θέμα που απασχόλησε σχετικά πρόσφατα την επιστημονική κοινότητα. Νεότερες μελέτες επί του θέματος έχουν επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών πτήσεων, αν και η αντίστοιχη συμπεριφορά της ροής δεν είχε εξεταστεί ενδελεχώς [35].

Μια γενική θεωρία η οποία περιγράφει μια μέθοδο παθητικού ελέγχου του θορύβου μη αεροδυναμικού σώματος υποστηρίζει ότι αν δύο σώματα μπορούν να αντιμετωπιστούν ως ακουστικώς συμπαγή και τοποθετούνται σε κοντινή απόσταση (εγγύτητα), τότε θα επιτευχθεί σίγηση του θορύβου στην περίπτωση που καταστεί εφικτή η ύπαρξη ευνοϊκού πλάτους και συσχετισμών φάσης [36].

Ο Λι και οι συνάδελφοί του [37] μελέτησαν την αποτελεσματικότητα της χρήσης ενεργοποιητών πλάσματος για τον πειραματικό έλεγχο του ευρυζωνικού θορύβου που παράγεται από μη

αεροδυναμικό σώμα. Έχουν μελετήσει τη δυνατότητα των ενεργοποιητών πλάσματος να μειώνουν το θόρυβο του συστήματος προσγείωσης κατά τη φάση προσέγγισης ενός αεροσκάφους. Η αποτελεσματικότητα ελέγχου τόσο της αποφόρτωσης του διηλεκτρικού υλικού όσο και των ενεργοποιητών πλάσματος με ολίσθηση δοκιμάστηκε σε εργαστηριακό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας ένα αντιπροσωπευτικό, μη αεροδυναμικό σώμα, αποτελούμενο από ένα κυκλικό κύλινδρο και ένα πλάγιο στυλίδιο. Απέδειξαν ότι η ταχύτητα ροής που προσκρούει στην αντίθετη προς το ρεύμα δοκό μειώθηκε από την ανάνηψη του πλάσματος, συμβάλλοντας στον μειωμένο θόρυβο.

4.6 Διάδοση Του Θορύβου του Αεροσκάφους

Η διάδοση του θορύβου του αεροσκάφους βασικά χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: τη διάδοση του ήχου κατά τη διάρκεια υπερπήτης (αέρους-εδάφους) και τη διάδοση του ήχου κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων εδάφους (εδάφους-εδάφους). Οι κυριότερες εξασθενήσεις του θορύβου υπέρπτησης αφορούν την εξασθένηση εξάπλωσης και την ατμοσφαιρική εξασθένηση [38]. Ο άνεμος και η θερμοκρασία επίσης επηρεάζουν το θόρυβο υπερπήτης, ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η εξασθένηση εδάφους διαδραματίζει τον κύριο ρόλο όσον αφορά την εξασθένηση του θορύβου κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων εδάφους.

Βασικά, η αέρους-εδάφους διάδοση του θορύβου του αεροσκάφους έχει θεωρηθεί ότι συνιστά μια γραμμική εξίσωση που παρέχει μια μαθηματική φόρμουλα υπολογισμού της ατμοσφαιρικής εξασθένησης του θορύβου του αεροσκάφους [39]. Παρά το γεγονός ότι δεν εντάσσεται στους σκοπούς της παρούσας εργασίας η παρουσίαση της εν λόγω φόρμουλας, μπορεί να ειπωθεί ως συμπέρασμα ότι η συνολική αέρους-εδάφους εξασθένηση του θορύβου του αεροσκάφους εξαρτάται κυρίως από τη συχνότητα του θορύβου του αεροσκάφους κι από τη χαλάρωση των μορίων του αέρα. Οι υψηλότερες συχνότητες θορύβου του αεροσκάφους συνήθως απορροφώνται ευκολότερα σε σχέση με τις χαμηλές συχνότητες.

Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις αφύσικα χαμηλής εξασθένησης του θορύβου του αεροσκάφους ανάμεσα στο προβλεπόμενο επίπεδο του θορύβου και στο μετρούμενο. Τέτοιες περιπτώσεις οφείλονται στο φαινόμενο Ντόπλερ (Doppler – shifted frequency είναι η παρατηρούμενη αλλαγή στη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός κύματος από παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή των κυμάτων της συχνότητας) και στον Αριθμό Μαχ (flight Mach number είναι ο λόγος της ταχύτητας ενός αντικειμένου προς την τοπική ταχύτητα μετάδοσης του ήχου), ιδίως κατά τη διάρκεια υπερπτήσεων, από τη στιγμή που θόρυβος παράγεται από την κινούμενη πηγή (αεροσκάφος) που κινείται σε μεγάλες ταχύτητες [40], [41].

Η διάδοση του θορύβου μάλλον θεωρείται ότι αποτελεί μια μη γραμμική εξίσωση. Αυτού του είδους η διάδοση απαιτεί σύνθετη μαθηματική γνώση και επαναλαμβάνουμε βαίνει πέρα από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Εντούτοις, αναφορικά με την εν λόγω μη γραμμική διάδοση έχει

προηγηθεί σχετική έρευνα [42]. Για παράδειγμα, οι Morfey και Howell (1981) έχουν εξελίξει ένα μοντέλο πρόγνωσης της μη γραμμικής διάδοσης του θορύβου του αεροσκάφους στην ατμόσφαιρα. Ανακάλυψαν ότι η μη γραμμική διάδοση είναι αποτέλεσμα της αθροιστικής παραμόρφωσης της μορφής του ακουστικού κύματος κατά τη διάρκεια της μεγάλης διάδοσης, ιδίως εντός της ζώνης υψηλής συχνότητας (5-10 kHz). Οι Yamamoto και Donelson (1993) έχουν εξελίξει ένα μοντέλο πρόγνωσης του θορύβου του αεροσκάφους κατά την πτήση, συμπεριλαμβάνοντας μεταβλητές τόσο του φαινομένου Ντόπλερ όσο και του Αριθμού Μαχ. Το μοντέλο φανερώνει ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα σε σχέση με τα δεδομένα που έχουν υπολογιστεί.

Το έδαφος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την εξασθένηση του ήχου όταν διαδίδεται σε χαμηλή γωνία πρόσπτωσης. Τέτοιοι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν είναι η φυτοκάλυψη του εδάφους, το είδος του χώματος, η απόσταση και η γωνία πρόσπτωσης ανάμεσα στην πηγή του θορύβου και στον αποδέκτη [43]. Επιπλέον, με βάση τις διαστάσεις του πραγματικού κόσμου, οι μετεωρολογικές συνθήκες (ο άνεμος και η θερμοκρασία) διατηρούν την επίδραση του εδάφους σε μερικές περιπτώσεις (αναστροφή της θερμοκρασίας, κατακρημνίσματα του περιβάλλοντος).

Η εξασθένηση του επί του εδάφους θορύβου του αεροσκάφους διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: στους εντός και στους εκτός του κτιρίου. Οι εσωτερικές επιχειρήσεις εδάφους συχνά θα αναφέρονται στις διαδικασίες τακτικής συντήρησης και στις εργασίες επιδιόρθωσης/αναβάθμισης του αεροσκάφους. Συνήθως τέτοιου είδους εργασίες λαμβάνουν χώρα σε ένα καλυμμένο χώρο, όπως στο υπόστεγο ή στο χώρο στάθμευσης αεροσκαφών. Ηχητικά φράγματα και καταστολείς τοποθετούνται ώστε να μειωθούν τα επίπεδα του θορύβου, προτού αυτός διαδοθεί στον εξωτερικό χώρο. Η φυσική επί του εδάφους εξασθένηση του θορύβου είναι ελάσσων σε σχέση με τα εν λόγω τεχνητά εμπόδια διάδοσης του ήχου [44]. Παρόλα αυτά, από τη στιγμή που θα διαδοθεί μέσα στο κτίριο, η επί του εδάφους εξασθένηση λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο με την εξασθένηση κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων εδάφους που γίνονται εκτός του κτιρίου.

Ο θόρυβος του αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της τροχοδρόμησης ή της προσέγγισης του εδάφους, εξασθενίζεται από το ίδιο το έδαφος. Εξαρτάται βέβαια αυτό κι από τα δεδομένα του εδάφους σε κοντινή απόσταση, όπως για παράδειγμα από την περιοχή δίπλα στον αεροδιάδρομο ή στο οδόστρωμα τροχοδρόμησης (αν είναι από άοπλο σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα ασφάλτου), αν καλύπτεται από χορτάρι, πέτρες ή δέντρα [45]. Σε κάποιες περιπτώσεις, κτίρια όπως ο τερματικός σταθμός (επιβατών ή εμπορευμάτων) είναι επίτηδες κατασκευασμένα σε τέτοια θέση, ώστε να εμποδίζουν το θόρυβο των επιχειρήσεων εδάφους. Τα φυσικά εμπόδια (για παράδειγμα λόφοι ή βουνά) είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη μείωση του θορύβου του αεροσκάφους όταν η ευθυγράμμιση του αεροδιαδρόμου είναι σωστά μελετημένη και πρακτική.

Κάποιες από τις προηγούμενες μελέτες έχουν εξελίξει μοντέλα πρόγνωσης του επιπέδου του θορύβου του αεροσκάφους που εξασθενίζεται από το έδαφος. Για παράδειγμα, οι Blumrich και Altmann (1999) διερεύνησαν το αντίκτυπο του μη πορώδους και καλυμμένου με χορτάρι εδάφους σε μια στρατιωτική αεροπορική βάση στο Jever-Schortens της Βόρειας Γερμανίας [46]. Ανακάλυψαν ότι το μέγεθος της εξασθένησης βελτιστοποιείται σε συχνότητες ήχου 100-200 Hz

με την εξασθενιση να είναι περίπου 20 dB σε απόσταση 100 μέτρων. Η πρόβλεψη αυτή βασίζεται στην εξίσωση Weyl-van der Pol.

4.7 Ποσοτικοποίηση του Θορύβου του Αεροσκάφους

Ο στόχος της ποσοτικοποίησης του θορύβου του αεροσκάφους έγκειται στο να καθορίσει και να αξιολογήσει όλες τις παραμέτρους του θορύβου του αεροσκάφους που σχετίζονται με την ανθρώπινη αντίδραση. Ο τρόπος με τον οποίο αντιδρά ο άνθρωπος έχει ποικίλες κατευθύνσεις που εξαρτώνται από αρκετούς παράγοντες που συμβάλλουν στο θόρυβο του αεροσκάφους: η συχνότητα της διείσδυσης/εισβολής των θορύβων, η ώρα της ημέρας που αυτές λαμβάνουν χώρα και ο αριθμός των εν λόγω διεισδύσεων σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο [47]. Η παρούσα εργασία λαμβάνει υπόψη δύο βασικές αντιλήψεις (concepts) για τους δείκτες ανάπτυξης του θορύβου του αεροσκάφους.

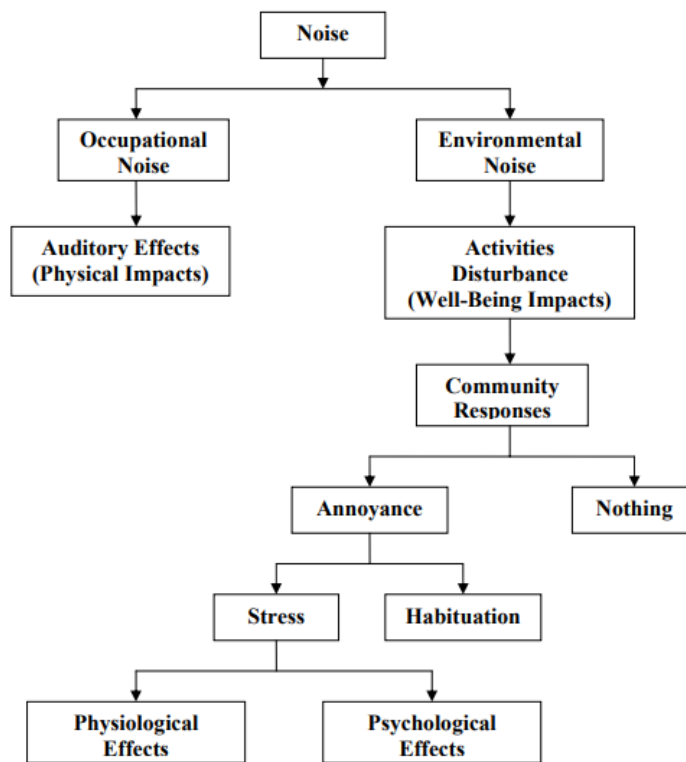
Η πρώτη αντίληψη, η οποία αποτελεί και την πλέον δημοφιλή μέθοδο, αποκαλείται η αρχή της ενεργειακής ισοδυναμίας. Το απλό νόημα της εν λόγω μεθόδου είναι ότι οι αντιδράσεις του ανθρώπου είναι ίδιες είτε πρόκειται για ένα δυνατό θόρυβο λίγες φορές την ημέρα είτε πρόκειται για ένα ηπιότερο θόρυβο πολλές φορές την ημέρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται ότι έχει υψηλή τεχνική ακρίβεια και πληρότητα, η οποία την καθιστά κατάλληλη ώστε να αναπτυχθεί η ανάγλυφη χαρτογράφηση των θορύβων που θα χρησιμοποιηθεί για την προετοιμασία και διαχείριση των θορύβων του αεροσκάφους στο έδαφος και στα αεροδρόμια (Βλέπε Κεφάλαιο 3.4). Παρόλα αυτά, αναπόφευκτα, θεωρείται ιδιαίτερα περίπλοκη μέθοδος που την καθιστά δύσκολα κατανοητή και λιγότερο προσβάσιμη στους μη ειδικούς. Έτσι, ίσως να μην είναι επαρκής ώστε να εφαρμοσθεί η εν λόγω αρχή για να αποδώσει τις ανθρώπινες αντιδράσεις στο θόρυβο του αεροσκάφους [48]. Τέτοια παραδείγματα δεικτών θορύβων του αεροσκάφους που βασίζονται στην αρχή της ενεργειακής ισοδυναμίας είναι το DNL (Day-Night Level) και NEF (Noise Exposure Forecast) που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ, το NNI (Noise and Number Index) που χρησιμοποιείται στο Ηνωμένο Βασίλειο, το WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level) που χρησιμοποιείται στην Ιταλία, το Noise Exposure που χρησιμοποιείται στην Ολλανδία και το ANEF (Australian Noise Exposure Forecast) που χρησιμοποιείται στην Αυστραλία, σε μερικά από τα οποία αναφορά έγινε στο κεφάλαιο 3 [49].

Η δεύτερη μέθοδος προσδιορισμού του θορύβου του αεροσκάφους ονομάζεται «δείκτης μέγιστου επιπέδου» (peak level index), ο οποίος απλούστατα αναφέρεται σε ένα μέγιστο επίπεδο ηχητικής πίεσης ενός θορύβου. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αντιστοιχία με τον αριθμό εμφάνισης ενός θορύβου. Συνακόλουθα, σε μια απόπειρα να αξιοποιηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια ακριβής αντίληψη για τον ήχο, ενώ παράλληλα ο εν λόγω δείκτης να διατηρεί την απλότητά του ώστε να γίνεται εύκολα κατανοητός από ένα μη ειδικό άνθρωπο, το Τμήμα Μεταφορών και Περιφερειακών Δρομολογίων (Department of Transport and Regional Services -

DoTARS) έχει εισηγηθεί την αρχή της διαφανούς πληροφόρησης για το θόρυβο του αεροσκάφους (transparent aircraft noise information) που βασίζεται στην αντίληψη του «δείκτη μεγίστου επιπέδου» αλλά και της πληροφορίας από απλούς καθημερινούς ανθρώπους [50], [51].

5. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΗΡΕΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

Το εύρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με τον θόρυβο του αεροσκάφους και την ανθρώπινη υγεία απεικονίζεται στην Εικόνα 13. Το διάγραμμα υποδεικνύει πώς ο θόρυβος μπορεί να επηρεάσει την υγεία μας. Σε γενικές γραμμές, ο θόρυβος διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες: τον επαγγελματικό θόρυβο και τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Το να πάσχει κανείς από χρόνια στρες μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υγείας, τα οποία δύνανται να σχετίζονται είτε με τη φυσιολογία του ανθρώπινου οργανισμού είτε να είναι ψυχολογικής φύσεως. Μολονότι, η Εικόνα 13 έχει εφαρμογή σε όλους τους περιβαλλοντικούς θορύβους, η βιβλιογραφική ανασκόπηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται αποκλειστικά στο θόρυβο του αεροσκάφους και στην ανθρώπινη υγεία. Αυτό το κεφάλαιο επιθεωρεί τη βιβλιογραφία αναφορικά με το αντίκτυπο του θορύβου του αεροσκάφους στην ανθρώπινη υγεία. Η δομή του κεφαλαίου ξεκινά με μια βασική εισαγωγή στο ανθρώπινο κυκλοφορικό σύστημα και κατόπιν εξετάζει όλες τις πιθανές παρενέργειες της έκθεσης του ανθρώπου στο θόρυβο του αεροσκάφους.



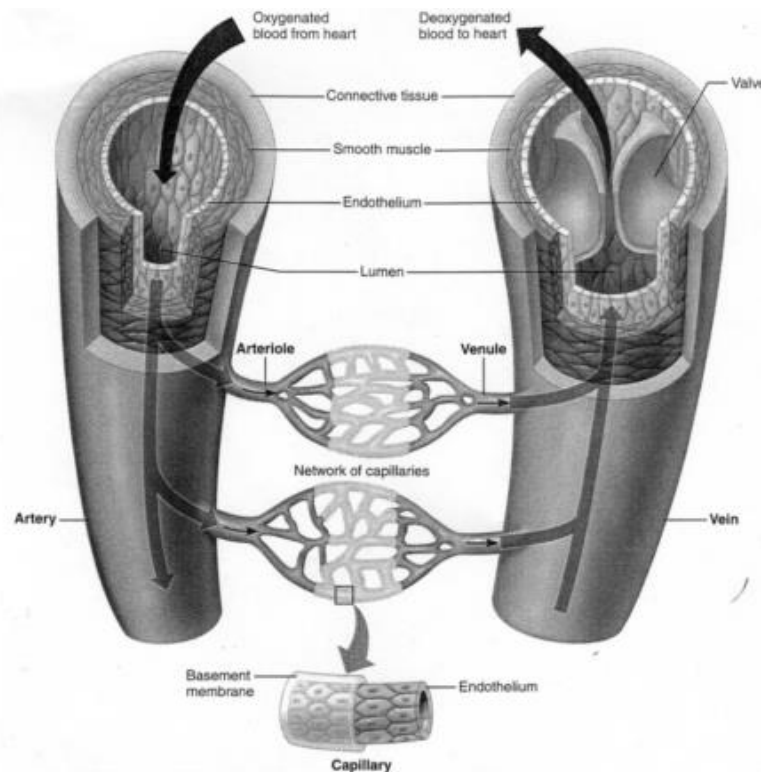
Εικόνα 13. Πώς ο θόρυβος επηρεάζει τους ανθρώπους, Πηγή : www.wikipedia.com

5.1 Εισαγωγή Στην Ανθρώπινη Αρτηριακή Πίεση

5.1.1 Η δομή και η λειτουργία των αγγείων του αίματος

Τα αιμοφόρα αγγεία είναι ταξινομημένα σύμφωνα με το αν φέρουν το αίμα από ή προς την καρδιά και ανάλογα με το μέγεθος τους. Υπάρχουν πέντε βασικά είδη αιμοφόρων αγγείων στους ανθρώπους: οι αρτηρίες, τα αρτηρίδια, τα τριχοειδή αγγεία, τα φλεβίδια και οι φλέβες (Βλ. εικόνα 14).

Οι αρτηρίες και τα μικρότερα αρτηρίδια μεταφέρουν το αίμα από την καρδιά στα τριχοειδή αγγεία, τα οποία αιματώνονται από τα φλεβίδια και τις μεγαλύτερες φλέβες και επιστρέφουν το αίμα στην καρδιά [52].



Εικόνα 14. Η αλληλεπίδραση των αιμοφόρων αγγείων ανάλογα με τον όγκο και την κατεύθυνση της ροής του αίματος, Πηγή: www.experimentalphysiology.gr

Οι αρτηρίες οδηγούν το αίμα μακριά από τη καρδιά και προς τους ιστούς, έχουν σχετικά μεγάλη διάμετρο και τοιχώματα. Η μεγαλύτερη αρτηρία έχει εσωτερική διάμετρο περίπου 12.5 mm. Η μικρότερη έχει εσωτερική διάμετρο κυμαινόμενη από 2 mm έως 6 και ένα τοίχωμα όχι παχύτερο από 1 mm. Τα αρτηριακά τοιχώματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες ελαστικού και ινώδους ιστού, ενεργοποιώντας τις αρτηρίες, ώστε να αντέξουν σχετικά υψηλές αρτηριακές πιέσεις, που είναι υψηλότερες σε αυτά τα αγγεία από οπουδήποτε αλλού στο αγγειακό σύστημα [53].

Το πάχος των αρτηριακών τοιχωμάτων και ο ελαστικός ιστός τους επιτρέπει μια ορισμένη δυσκαμψία, αλλά και την ικανότητα να εξαπλωθεί και να συσπαστεί, καθώς η πίεση του αίματος αυξάνεται και μειώνεται σε κάθε παλμό. Αυτός ο συνδυασμός της δυσκαμψίας και της ελαστικότητας δίνει τη δυνατότητα στις αρτηρίες να διατηρούν την πίεση του αίματος, ώστε να εξασφαλίσουν μια συνεχή ομαλή κυκλοφορία του αίματος μέσω του αγγειακού συστήματος.

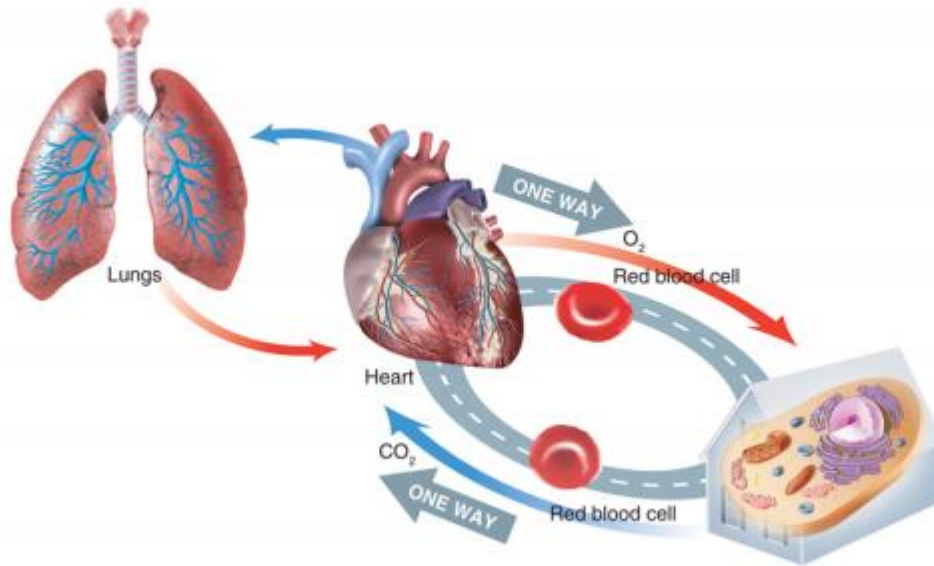
Τα αρτηρίδια είναι αιμοφόρα αγγεία που οδηγούν το αίμα από τις αρτηρίες στα τριχοειδή αγγεία. Τα αρτηρίδια δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι. Η εσωτερική τους διάμετρος είναι κατά μέσο όρο 0.03 mm. Η κύρια λειτουργία τους είναι να χρησιμεύσουν ως σημεία ελέγχου για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας του αίματος μέσω των τριχοειδών αγγείων.

Η κυκλοφορία του αίματος ρυθμίζεται στα αρτηρίδια από τη σύσπαση ή τη χαλάρωση του κυκλικού λείου μυός. Η σύσπαση των κυττάρων του κυκλικού λείου μυός επιτρέπει τη συστολή των αρτηριδίων, η οποία μειώνει τη κυκλοφορία του αίματος μέσω αυτών και των τριχοειδών προς τα κάτω. Έτσι, η χαλάρωση αυτών των κυττάρων του κυκλικού λείου μυός επιτρέπει στα αρτηρίδια να διασταλούν, αυξάνοντας την κυκλοφορία του αίματος [54].

Τα τριχοειδή αγγεία είναι τα μικρότερα και τα πολυπληθέστερα αιμοφόρα αγγεία στο σώμα με διάμετρο που κυμαίνεται από 5 mm έως 10 mm. Η βασική λειτουργία των τριχοειδών είναι να επιτρέψει την ανταλλαγή ουσιών μεταξύ των κυττάρων στους ιστούς και στο αίμα. Η λεπτότητα των τοιχωμάτων των τριχοειδών επιτρέπει στα μικρά μόρια (για παράδειγμα οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, σάκχαρα, αμινοξέα και νερό) να εισέρχονται και να αφήνουν τα τριχοειδή αγγεία εύκολα, προωθώντας την αποτελεσματική ανταλλαγή ουσιών [55]. Τα φλεβίδια είναι ελαφρώς μικρότερα από τα αρτηρίδια, με διάμετρο περίπου 20 mm. Τα φλεβίδια όπως και τα τριχοειδή αγγεία λειτουργούν ως ανταλλαγείς ουσιών και μεταφέρουν το αίμα από τα τριχοειδή αγγεία στις φλέβες.

Οι φλέβες έχουν περίπου την ίδια διάμετρο με τις αρτηρίες. Μια συνηθισμένη φλέβα έχει εσωτερική διάμετρο 5 mm αλλά πάχος τοιχώματος μόνο 0,5 mm. Οι μεγαλύτερες φλέβες είναι ακόμα μεγαλύτερες σε διάμετρο κι απο τη μεγαλύτερη αρτηρία (30 mm, σε αντίθεση με 12,5 mm) αλλά έχουν πάχος τοιχώματος μόλις 1,5 mm, σε σύγκριση με 2 mm για τη μεγαλύτερη αρτηρία [56]. Η σχετική λεπτότητα των τοιχωμάτων των φλεβών αντανακλά το γεγονός ότι η πίεση του αίματος στις φλέβες είναι σημαντικά χαμηλότερη από ό, τι στις αρτηρίες. Σε αντίθεση με άλλα αιμοφόρα αγγεία του σώματος, οι φλέβες είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες μονής κατεύθυνσης που

επιτρέπουν στο αίμα να ρέει προς την καρδιά, αλλά παράλληλα αποτρέπουν τη ροή του αίματος προς τα όργανα και τους ιστούς (βλ. Εικόνα 15)



Εικόνα 15. Ροή του αίματος από και προς την καρδιά, Πηγή: /www.nclor.org/

5.1.2 Πίεση του αίματος

Η πίεση του αίματος είναι αποτέλεσμα της αντλητικής δράσης της καρδιάς στο να δημιουργήσει αρκετή ισχύ ώστε να στείλει το αίμα μέσω των αρτηριών στα αρτηρίδια και τελικά στα μικροσκοπικά τριχοειδή αγγεία. Η πίεση του αίματος εκφράζεται με δυο αριθμούς (για παράδειγμα 120/80). Ο πρώτος είναι η πίεση κατά τη διάρκεια της συστολής [57]. Αυτή μετράει τη δύναμη την οποία το αίμα ασκεί στα αρτηριακά τοιχώματα, καθώς φεύγει από τη καρδιά. Ο δεύτερος αριθμός είναι η πίεση στη διαστολή. Αυτή μετράει τη δύναμη με την οποία το αίμα ρέει προς τη καρδιά, καθώς αυτή ξεκουράζεται. Οι μονάδες μέτρησης της πίεσης είναι τα χιλιοστά της στήλης υδραργύρου (mm Hg) [58].

Η αρτηριακή πίεση του αίματος υποχωρεί σε μεγάλο βαθμό όταν το αίμα εισέρχεται στα τριχοειδή αγγεία. Ωστόσο, η εναπομείνουσα αρτηριακή πίεση εξακολουθεί να είναι αρκετή, ώστε να ωθήσει μια σημαντική ποσότητα νερού και κάποιες πρωτεΐνες πλάσματος να διέλθουν μέσω των τοιχωμάτων των τριχοειδών στο χώρο των ιστών. Όταν το αίμα φεύγει από τα τριχοειδή αγγεία εισέρχεται στα φλεβίδια και στις φλέβες. Αυτό είναι απλώς αποτέλεσμα συμπίεσης από τη σύσπαση των μυών στις φλέβες που τους διαπερνά. Η ροή μίας κατεύθυνσης προς την καρδιά επιτυγχάνεται με βαλβίδες εντός των φλεβών [59].

Η υψηλή αρτηριακή πίεση (ή υπέρταση) είναι η αυξημένη πίεση του αίματος στις αρτηρίες. Δύο κύριοι παράγοντες προκαλούν υπέρταση:

- η καρδιά αντλεί αίμα με υπερβολική δύναμη
- τα αρτηρίδια στενεύουν με αποτέλεσμα η ροή του αίματος να ασκεί μεγαλύτερη πίεση στα τοιχώματα των αγγείων.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας όρισε συστολική αρτηριακή πίεση πάνω από 160 mmHg ή διαστολική αρτηριακή πίεση πάνω από 90 mmHg ως κατώτατο όριο υψηλής αρτηριακής πίεσης. Η υπέρταση κατηγοριοποιείται κυρίως σε δύο κατηγορίες: πρωτοπαθή και δευτερεύουσα υπέρταση. Οι αιτίες της πρωτοπαθούς υπέρτασης είναι άγνωστες, αλλά σίγουρα βασίζονται σε σύνθετες διεργασίες σε όλα τα κύρια όργανα και συστήματα, συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς, των αιμοφόρων αγγείων, των ορμονών των νεύρων και των νεφρών. Από την άλλη πλευρά, η αιτία της δευτεροπαθούς υπέρτασης, η οποία αποτελεί βασική μέριμνα αυτής της διατριβής, μπορεί να αναγνωριστεί και να αντιμετωπιστεί. Οι κύριες αιτίες της δευτερεύουσας υπέρτασης είναι οι ιατρικές παθήσεις (όπως η νεφροπάθεια ιδιαίτερα στους ηλικιωμένους, η απώλεια ύπνου ή η προσωρινή διακοπή της αναπνοής κατά τη διάρκεια του ύπνου και η εγκυμοσύνη), φάρμακα (όπως κορτικοστεροειδή, μακροχρόνια χρήση μη στεροειδών αντιφλεγμονωδών φαρμάκων, κρύα φάρμακα που περιέχουν ψευδοεφεδρίνη και από του στόματος αντισυλληπτικά), αλκοόλ, καφέ, τσιγάρα και συναισθηματικοί παράγοντες (όπως ψυχικό στρες, άγχος και κατάθλιψη) [60].

5.2 Φυσιολογικές Επιδράσεις από τον Θόρυβο του Αεροσκάφους

Ο θόρυβος έχει προσδιοριστεί ως ένας στρεσογόνος περιβαλλοντικός παράγοντας. Η έκθεση σε ξαφνικό και ανεξέλεγκτο ισχυρό θόρυβο ενεργοποιεί το αυτόνομο (νευρικό) και το ορμονικό σύστημα και οδηγεί σε παροδικές αλλαγές, όπως είναι η αυξημένη πίεση του αίματος, ο αυξημένος καρδιακός παλμός και η αγγειοσυστολή. Σε περίπτωση που η έκθεση σε ισχυρό θόρυβο είναι παρατεταμένη, ευπαθή άτομα εντός του συνολικού πληθυσμού μπορεί να εμφανίσουν μόνιμες διαταραχές (σταθερά αυξημένα επίπεδα στρες (άγχους) και υψηλή πίεση) που με τη σειρά τους οδηγούν σε υπέρταση και σε καρδιαγγειακές παθήσεις. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας με τον όρο «στρες» εννοούμε το συναισθηματικό άγχος [61].

5.2.1 Επηρεασμός Ενδοκρινικού και καρδιαγγειακού συστήματος

Η επίδραση στο ανθρώπινο σώμα από την έκθεση σε θόρυβο υψηλής έντασης συχνότατα σχετίζεται με το άγχος. Αν έτσι έχουν τα πράγματα, τότε τα άτομα που εκτίθενται παρατεταμένα σε θορυβώδη περιβάλλοντα αναμένεται να παρουσιάσουν ανωμαλίες στο ενδοκρινικό τους σύστημα και στη λειτουργία του καρδιαγγειακού τους συστήματος.

Οι ενδοκρινείς αδένες που έχουν περισσότερο μελετηθεί σε σχέση με τη συμπεριφορά του ατόμου υπό την επίδραση άγχους και σε σχέση με τη συναισθηματική συμπεριφορά είναι τα επινεφρίδια (επινεφριδικοί αδένες). Υπάρχουν δύο τέτοιου είδους αδένες, ο πρώτος βρίσκεται πάνω από τον αριστερό νεφρό και ο άλλος πάνω από τον δεξιό : και οι δύο είναι αποδέκτες ιδιαίτερα μεγάλης (πλούσιας) παροχής αίματος. Κάθε επινεφρίδιο αποτελείται από ένα εξωτερικό στρώμα, τον επινεφριδιακό φλοιό κι έναν εσωτερικό πυρήνα, τον επινεφριδιακό μυελό, ο οποίος αποτελεί απόφυση του συμπαθητικού τμήματος του αυτόνομου νευρικού συστήματος (ΑΝΣ). Ο μυελός του επινεφριδίου εκκρίνει αδρεναλίνη, η οποία, υπό φυσιολογικές συνθήκες, διοχετεύεται στο κυκλοφορικό σύστημα με αργό και σχετικά ακανόνιστο ρυθμό. Η παραγωγή όμως της αδρεναλίνης αυξάνεται αισθητά σε περιπτώσεις όπου το άτομο αντιλαμβάνεται ότι βιώνει ένα κίνδυνο, μια απειλή [62]. Ο φλοιός του επινεφριδίου παράγει μια σειρά από διαφορετικές ορμόνες και η έκκριση μίας από αυτές, της υδροκορτιζόνης, συνιστά τον πρωταρχικό τρόπο με τον οποίο ο οργανισμός προστατεύεται από τις επιπτώσεις του στρες ή από τη βλάβη που προξενείται από την αποκατάσταση ενός στρεσογόνου ερεθίσματος. Τέτοιου είδους ερεθίσματα συνήθως τείνουν να διαταράσσουν την ψυχολογική και βιοχημική ισορροπία του σώματος και η υδροκορτιζόνη αυξάνει τα αποθέματα σακχάρου στο ήπαρ, τα οποία και ελαττώνονται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εξαιτίας της δράσης του μυελού του επινεφριδίου. Η υδροκορτιζόνη διατηρεί αυτά τα αποθέματα, διασπώντας από τη μία τις πρωτεΐνες που υπάρχουν στους μυς και από την άλλη εμποδίζοντας την περαιτέρω παραγωγή πρωτεϊνών, έως ότου η κατάσταση έκτακτης ανάγκης τερματιστεί.

Η ανταπόκριση του ενδοκρινικού συστήματος στο θόρυβο έχει κυρίως αποτελέσει αντικείμενο μελέτης σε ζώα, ενώ τα επιλεγόμενα προς ανάλυση δείγματα συνήθως αποτελούν εκκρίσεις του επινεφριδικού αδένα. Συμπεράσματα για τα επίπεδα της δραστηριότητας του επινεφριδίου μπορούν να εξαχθούν από δείγματα αίματος ή ούρων, αλλά και να συμπληρωθούν από ιστολογικές και ιστοχημικές αναλύσεις [63]. Οι περισσότερες μελέτες φαίνεται να συμφωνούν στο ότι υπάρχουν λίγες ενδείξεις που να συνηγορούν στο ότι ο θόρυβος επιφέρει μόνιμες αλλαγές στη δραστηριότητα του επινεφριδικού αδένα, αν και κατά τη διάρκεια που πράγματι κάποιος εκτίθεται σε θόρυβο, η δραστηριότητα αυτή μπορεί να εμφανίζεται αυξημένη.

Το ενδοκρινικό σύστημα πράγματι φαίνεται να δρα σαν ένα σύστημα πολλαπλών βρόγχων ανάδρασης που αντισταθμίζει τις παρενέργειες του θορύβου στο κεντρικό νευρικό σύστημα,

κυρίως στο ακουστικό σύστημα. Πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι σημειώθηκε μείωση των επιπέδων του σακχάρου στο αίμα σε ανθρώπους που είχαν εκτεθεί σε υπερήχους και σε θορύβους υψηλής συχνότητας, γεγονός που με τη σειρά του είχε δυσμενή επίπτωση στην αποδοτικότητα. Θα πρέπει εξάλλου να επισημανθεί ότι προηγούμενη έρευνα είχε καταλήξει στο ότι οι μεταβολές στη δραστηριότητα του ενδοκρινικού συστήματος, όπως διαπιστώθηκαν από μετρήσεις του αίματος, συνεχίστηκαν ακόμη κι όταν εργαζόμενοι στο χώρο της αεροπλοΐας είχαν συνηθίσει την ύπαρξη θορύβου.

5.2.2 Επηρεασμός κυκλοφορικού συστήματος

Η κυκλοφορία του αίματος εντός του αρτηριακού συστήματος του οργανισμού επηρεάζεται από τη διακοπτόμενη συστολική λειτουργία της καρδιάς. Η εν λόγω συστολική λειτουργία μπορεί να διαφέρει τόσο από άποψη ισχύος (ένταση του καρδιακού παλμού) όσο και από άποψη καρδιακού ρυθμού. Η αρτηριακή πίεση καθορίζεται εν μέρει από την απόδοση της καρδιάς και αποτελείται από μια μέση τιμή στην οποία αποτυπώνονται παλμικές μεταβολές που αντιστοιχούν στις διαστολικές και συστολικές φάσεις του καρδιακού κύκλου [64].

Η κυκλοφοριακή λειτουργία επίσης καθορίζεται από τη διάμετρο των αρτηριών και των φλεβών διαμέσου των οποίων κυκλοφορεί το αίμα. Αν η απόδοση της καρδιάς παραμένει σταθερή, η διαστολή της διαμέτρου των αγγείων του αίματος που παροχετεύουν ένα συγκεκριμένο όργανο (αγγειοδιαστολή) οδηγεί σε αύξηση της ροής του αίματος στο όργανο αυτό. Αντίστοιχα, η συστολή της διαμέτρου (αγγειοσυστολή) μειώνει την παροχή αίματος που είναι διαθέσιμη στο όργανο και έχει ως αποτέλεσμα το δέρμα να γίνεται πιο λευκό. Από τη στιγμή που η ποσότητα του αίματος στο οργανισμό είναι σταθερή, η συστολή των αγγείων του αίματος σε ένα οργανικό σύστημα σημαίνει ότι η ποσότητα του αίματος που κανονικά είναι διαθέσιμη για το συγκεκριμένο σύστημα, έχει διοχετευθεί κάπου αλλού.

Για παράδειγμα, η ποσότητα του αίματος που υπάρχει στα περιφερικά συστήματα, όπως των άκρων, μπορεί να συγκριθεί με την ποσότητα του αίματος στο κεφάλι. Η επίδραση του στρες σχετίζεται συνήθως με τη μείωση της ροής του αίματος στα άκρα (περιφερική αγγειοσυστολή) και την παράλληλη αύξηση της ροής στο κεφάλι [65].

Μία από τις λίγες έρευνες που έχουν γίνει αναφορικά με τις μεταβολές στην αρτηριακή πίεση εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης σε θόρυβο ήταν αυτή του Jensen (1959). Ο Jensen διαπίστωσε ότι οι εργαζόμενοι στην αεροπλοΐα που είχαν εκτεθεί στο θόρυβο του αεροκάβου για μακρύ χρονικό διάστημα εμφάνιζαν αύξηση της πίεσης του αίματος και αύξηση στην αστάθεια του καρδιακού ρυθμού. Αν και η συγκεκριμένη έρευνα δεν είναι απαλλαγμένη από επικρίσεις, εντούτοις τα αποτελέσματα του Jensen ευθυγραμμίζονται με άλλα παρόμοια ευρήματα σχετικά με τις μεταβολές της αρτηριακής πίεσης που οφείλονταν σε στρες άλλου είδους.

Για παράδειγμα, ένας επιστήμονας μέτρησε την αρτηριακή πίεση στρατιωτών που είχαν βρεθεί για καιρό στο πεδίο της μάχης στην αφρικανική έρημο κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου και διαπίστωσε ότι το 27% αυτών εμφάνιζε σημαντική διαστολική αρτηριακή πίεση για αρκετούς μήνες μετά το τέλος του. Σε μεταγενέστερη έρευνα, διαπιστώθηκε ότι ο ευρυζωνικός θόρυβος περιόρισε σημαντικά την περιφερική κυκλοφορία του αίματος, ενώ κάτι τέτοιο δε συνέβη με το θόρυβο στενής ζώνης.

Γενικά, η περιφερική αγγειοσυστολή εμφανίζεται να επιμένει περισσότερο σε σχέση με άλλες αντιδράσεις στο θόρυβο, ακόμη κι όταν ο θόρυβος είναι οικείος και επίσης φαίνεται να συνδέεται με τα επίπεδα του άγχους [66]. Παρόλα αυτά, έχει διαπιστωθεί ότι κατά την εκτέλεση των συνήθων εργασιών, αγχωτικά άτομα είναι περισσότερο αποδοτικά όταν επικρατεί θόρυβος σε σχέση με άτομα που είναι λιγότερο αγχώδη. Η διατήρηση της περιφερικής αγγειοσυστολής σε απάντηση στα ερεθίσματα του θορύβου μπορεί να οδηγήσει σε ελάττωση της απόδοσης σε εργασίες που απαιτούν λεπτές κινητικές δεξιότητες στα δάχτυλα.

5.2.3 Επηρεασμός νευρικού συστήματος

Τυχαίες διαταραχές των σημάτων συνιστούν ένα θεμελιώδες πρόβλημα όσον αφορά την επεξεργασία της πληροφορίας και επηρεάζουν όλες της εκφάνσεις της λειτουργίας του νευρικού συστήματος. Παρόλα αυτά, η φύση, η ποσότητα και η επίδραση του θορύβου στο νευρικό σύστημα μόλις πρόσφατα τέθηκε επί τάπητος κατά ποσοτικό τρόπο. Πειραματικές και υπολογιστικές μέθοδοι έχουν δείξει ότι πολλές πηγές θορύβου συμβάλλουν σε μια διαφορετική δραστηριότητα των νευρώνων από περίπτωση σε περίπτωση. Αν εξετάσουμε τις πηγές του θορύβου στο νευρικό σύστημα, από ένα μοριακό σε ένα συμπεριφορικό επίπεδο, μπορούμε να αντιληφθούμε πώς ο θόρυβος συμβάλλει σε αυτή τη διαφορετικότητα από περίπτωση σε περίπτωση [67].

Η διαφορετικότητα (μεταβλητότητα) αποτελεί μόνιμο γνώρισμα της συμπεριφοράς. Η μεταβλητότητα στην αντίληψη και στη δράση είναι εμφανής ακόμη κι όταν οι εξωτερικές συνθήκες, όπως η αισθητηριακή αντίληψη ή ο καθορισμένος στόχος παραμένουν μεγέθη μονίμως σταθερά. Τέτοιου είδους διαφορετικότητα απαντάται και στο επίπεδο του νευρικού συστήματος

Ο θόρυβος διεισδύει σε κάθε πτυχή του νευρικού συστήματος, από την αντίληψη των αισθητηριακών σημάτων μέχρι την παραγωγή κινητικών αντιδράσεων και συνιστά θεμελιώδες πρόβλημα κατά την επεξεργασία της πληροφορίας [68]. Τα τελευταία χρόνια, η έκταση της παρουσίας του θορύβου, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο ο θόρυβος διαμορφώνει τη δομή και τη λειτουργία του νευρικού συστήματος αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης.

Όπως προαναφέρθηκε, ο θόρυβος έχει αναδειχθεί ως βασικό συστατικό μιας μεγάλης ποικιλίας βιολογικών συστημάτων, από τη γονιδιακή έκφραση μέχρι τη λειτουργία της καρδιάς [69] Στη

νευρολογία, ο θόρυβος περιλαμβάνεται σε όλα τα στάδια του αισθητικοκινητικού βρόχου (κυκλώματος), από το επίπεδο μιας πρωτεΐνης απλού σήματος στην κίνηση του σώματος. Ο θόρυβος έχει άμεσες συμπεριφορικές συνέπειες, από το να θέτει αντιληπτικά όρια μέχρι το να επηρεάζει την ακρίβεια των κινήσεων. Παρά το γεγονός ότι υφίσταται εδώ και περισσότερο από μισό αιώνα επίγνωση του αισθητηριακού θορύβου, ο κυτταρικός και ο κινητικός θόρυβος μόλις πολύ πρόσφατα προσέλαβαν την απαιτούμενη σημασία.

Το ερώτημα σε ποιά έκταση ο θόρυβος παράγει μεταβλητότητα στο κεντρικό νευρικό σύστημα πολύ πιθανόν να απαιτεί τόσο πειραματικές έρευνες όσο και στοχαστική μοντελοποίηση (στην οποία κάθε πηγή μεταβλητότητας θα μπορεί να ελεγχθεί). Αρχίζουμε να αναπτύσσουμε μια από κάτω προς τα πάνω αντίληψη του πώς ο θόρυβος που είναι παρών σε μοριακό επίπεδο (ο θόρυβος των καναλιών στις μεμβράνες και ο βιοχημικός θόρυβος στις συνάψεις των νευρών) επηρεάζουν την επεξεργασία της πληροφορίας σε μακροσκοπικό επίπεδο (ολόκληροι νευρώνες, νευρικά δίκτυα και συμπεριφορά). Σε όλα αυτά τα επίπεδα, σημαντική πρόοδος έχει αποτελέσει η χρήση στοχαστικών μοντέλων, που μπορούν να εξηγήσουν την πειραματικώς διαπιστωθείσα μεταβλητότητα και να ενεργοποιήσουν μηχανισμούς που μπορούν να προσδιοριστούν με πιο αναλυτικό και συχνά απλούστερο τρόπο από ότι τα ντετερμινιστικά μοντέλα [70].

5.3 Ψυχολογικές Επιδράσεις από τον Θόρυβο του Αεροσκάφους

Από επιστημονικής και ιατρικής απόψεως, η συσχέτιση μεταξύ συναισθηματικού στρες και καρδιακών παθήσεων αποτελεί αντικείμενο χρόνιας έρευνας με λιγιστά αποτελέσματα. Ωστόσο, είναι προφανές ότι οι άνθρωποι που ζουν σε μια χρόνια αγχωτική κατάσταση είναι πιο πιθανό να συμπεριφέρονται με τέτοιο τρόπο (δηλαδή, κάπνισμα, υπερκατανάλωση τροφής, λιγότερη άσκηση, κατανάλωση οινόπνευματος) που έχουν άμεση επίδραση στην ανάπτυξη καρδιακών παθήσεων.

Επιπλέον, είναι κλινικά αποδεδειγμένο το συναισθηματικό στρες προκαλεί την πήξη του αίματος στις στεφανιαίες αρτηρίες που οδηγούν σε μείωση της ροής του αίματος στον καρδιακό μυ και τελικά μπορεί να αποτελέσει μείζονα παράγοντα στις καρδιακές προσβολές. Αν η ενόχληση από τον θόρυβο των αεροσκαφών αποτελούσε πηγή συναισθηματικού στρες στον άνθρωπο, η υπόθεση ότι η χρήση αντιστρεσογόνων φαρμάκων είναι υψηλότερη σε περιοχή υψηλού θορύβου από ότι σε περιοχές χαμηλού θορύβου, θα ήταν πραγματική.

Οι Knipschild και Oudshoorn μελέτησαν αυτό το ζήτημα σε άτομα που εργάζονται στο αεροδρόμιο Schiphol, στο Άμστερνταμ της Ολλανδίας [71]. Διαπιστώθηκε ότι η συχνότητα λήψης των φαρμάκων (π.χ. υπνωτικά, αντιοξέα, καρδιαγγειακά φάρμακα και αντιυπερτασικά φάρμακα) από άτομα που εργάζονταν σε περιβάλλον υψηλής έντασης θορύβου ($L_{dn} > 64$) ήταν μεγαλύτερη από τους ανθρώπους που εργάζονταν σε χαμηλή ένταση θορύβου ($L_{dn} < 62,5$), με άμεση εξάρτηση από την ηλικία, το φύλο, τις συνήθειες καπνίσματος και το βάρος. Μια άλλη

μελέτη στο αεροδρόμιο του Μονάχου έλαβε δείγματα ούρων από τους εργαζόμενους και ανέλυσε τα επίπεδα άγχους, δείχνοντας ότι η επινεφρίνη και η νορεπινεφρίνη αυξήθηκαν ταχύτατα σε περιοχές εκτεθειμένες στο θόρυβο [72].

Οι αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ του θορύβου και των ψυχολογικών επιπτώσεων όπως η ενόχληση, οι ψυχιατρικές διαταραχές και οι επιδράσεις στην ψυχοκοινωνική ευημερία έχουν αναλυθεί σε βάθος [73]. Η έκθεση σε έντονα επίπεδα θορύβου μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στη προσωπικότητα. Ο θόρυβος έχει επίσης αποδειχθεί ότι είναι ένας παράγοντας που αποδίδεται σε βίαιες αντιδράσεις

Οι ψυχολογικές επιπτώσεις στην υγεία από τον θόρυβο περιλαμβάνουν την κατάθλιψη και το άγχος. Τα άτομα που έχουν απώλεια ακοής, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας ακοής που προκαλείται από το θόρυβο, μπορεί να ανακτήσουν σημαντικά τα επίπεδα της ακοής με τη χρήση ακουστικών βοηθημάτων. Τα άτομα που δεν αναζητούν θεραπεία για αυτό το πρόβλημα είναι κατά 50% πιθανότερο να πάσχουν από κατάθλιψη. Αυτές οι ψυχολογικές επιπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε έλλειψη σωματικής φροντίδας με τη μορφή μειωμένης αυτο-φροντίδας, και αυξημένης απομόνωσης από το οικείο περιβάλλον τους [74].

5.4 Επιδράσεις Αεροπορικού Θορύβου σε Κάτοικους Γειτονικών σε Αεροδρόμια Περιοχών

Οι επιπτώσεις του θορύβου στους ανθρώπους που κατοικούν σε περιοχές κοντά σε αεροδρόμια, όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια, είναι περισσότερο ψυχολογικές παρά φυσιολογικές,

Η ενόχληση από τον θόρυβο είναι ευρέως αποδεκτή ως το τελικό σημείο του περιβαλλοντικού θορύβου που μπορεί να ληφθεί ως βάση για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του θορύβου στον εκτεθειμένο πληθυσμό. Κατά συνέπεια, η οδηγία 2002/49/ΕΚ της ΕΕ συνιστά την αξιολόγηση της έκθεσης στο περιβαλλοντικό θόρυβο με βάση την εκτιμώμενη ενόχληση του θορύβου. Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3, ο ΠΟΥ ορίζει την υγεία ως "κατάσταση πλήρους σωματικής, πνευματικής και κοινωνικής ευεξίας και όχι απλώς απουσίας ασθένειας ή αναπηρίας". Αυτό σημαίνει ότι η προκαλούμενη από το θόρυβο ενόχληση μπορεί να θεωρηθεί ως δυσμενή επίδραση στην υγεία. Οι άνθρωποι που ενοχλούνται από το θόρυβο ενδέχεται να εμφανίσουν μια ποικιλία αρνητικών συμπεριφορών, όπως οργή, απογοήτευση, δυσαρέσκεια, απόσυρση, αδυναμία, κατάθλιψη όπως προαναφέρθηκε, άγχος, απόσπαση προσοχής, υπερδιέγερση ή και εξάντληση. Ορισμένοι εμπειρογνώμονες στον τομέα της δημόσιας υγείας πιστεύουν ότι οι σοβαρές μορφές ενόχλησης που σχετίζονται με το θόρυβο πρέπει να θεωρούνται μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα, καθώς επηρεάζουν την ευημερία και την ποιότητα ζωής του πληθυσμού που εκτίθεται στον περιβαλλοντικό θόρυβο [75].

Η διαταραχή του ύπνου αποτελεί επίσης σημαντική επίπτωση και είναι ένα από τα πιο κοινά παράπονα που αφορούν τον αεροπορικό θόρυβο που απασχολεί τους κατοίκους στις γειτνιάζουσες περιοχές με αεροδρόμια. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο θόρυβος επηρεάζει τον ύπνο από την άποψη των άμεσων επιδράσεων (π.χ. αποκρίσεις διέγερσης, αλλαγές στο στάδιο του ύπνου, αφυπνίσεις, κινήσεις σώματος, χρόνος ολικής αφύπνισης), μεταγενέστερες επιδράσεις στη μέρα (π.χ. υπνηλία, ημερήσια απόδοση, γνωστική λειτουργία υποβάθμιση) και μακροπρόθεσμες επιδράσεις (π.χ. μόνιμη διαταραχή του ύπνου). Ο επαρκώς ανενόχλητος ύπνος είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της απόδοσης κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως καθώς και για τη γενική καλή υγεία [76]. Ο ανθρώπινος οργανισμός αναγνωρίζει, αξιολογεί και αντιδρά σε περιβαλλοντικούς ήχους ακόμα και όταν κοιμάται. Αυτές οι αντιδράσεις είναι αναπόσπαστο μέρος στη διαδικασία ενεργοποίησης του οργανισμού και εκφράζονται ως, για παράδειγμα, αλλαγές στη δομή του ύπνου ή αύξηση του καρδιακού ρυθμού.

Τόσο ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), όσο και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνιστούν τη χρήση του L_{night} ως κύριο δείκτη για τη διαταραχή του ύπνου. Παρόλα αυτά, ένα βασικό ερώτημα για την πολιτική θορύβου είναι εάν μπορεί να υπάρξει βελτίωση της ποιότητας του ύπνου λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των γεγονότων (events), εκτός από το L_{night} [77].

Στην μελέτη αυτή διερευνάται η συσχέτιση μεταξύ της ποιότητας του ύπνου και του αριθμού των αεροσκαφών στα συμβάντα θορύβου. Επιπλέον, διερευνήθηκε εάν ο συνολικός αριθμός των συμβάντων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την ποιότητα του ύπνου ή μόνο ο αριθμός των συμβάντων που υπερβαίνουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο ηχητικής στάθμης. Η μελέτη αυτή βασίζεται σε δεδομένα μεταξύ 418 ατόμων που ζουν σε απόσταση 20 km από το αεροδρόμιο Schiphol του Άμστερνταμ. Η ποιότητα του ύπνου μετρήθηκε με ηλεκτρονικά μέσα, δηλαδή από μετρητές που φοριούνται στον καρπό και βαθμονομήθηκε η ποιότητα του ύπνου σε συγκεκριμένη κλίμακα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα συμβάντα με $L_{Amax} > 60$ dB(A) σχετίζονται με αύξηση των καρδιακών παλμών, γεγονός που υποδηλώνει χαμηλότερη ποιότητα ύπνου. Εκτός από τον δείκτη L_{night} , θα μπορούσε να θεσμοθετηθεί και ως δείκτης μέτρησης θορύβου το L_{Amax} και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την προστασία της δραστηριότητας του ύπνου από εξωτερικούς θορύβους. Σε κάποια αεροδρόμια, όπως π.χ. το Heathrow που οι κάτοικοι παραπονιούνται για την ύπαρξη έντονου θορύβου, έχει θεσμοθετηθεί αυτό το μέτρο και επιβάλλεται πρόστιμο στις αεροπορικές εταιρείες που το υπερβαίνουν.

Η διαταραχή ύπνου λόγω του θορύβου της νύχτας αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τη δημόσια υγεία. Θεωρείται ότι οδηγεί σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συνέπειες για την απόδοση, την ευημερία και την υγεία του ανθρώπου που εκτίθεται σε αυτόν. Επομένως, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος της έκθεσης του θορύβου στον ύπνο σε πληθυσμιακό επίπεδο. Οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ για την Ευρώπη αναφέρονται κατά κύριο λόγο στις σχέσεις μεταξύ της υγείας και της έκθεσης στο θόρυβο στην πιο εκτεθειμένη πρόσοψη κατά τη διάρκεια της νύχτας (L_{night}). Τόσο ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας όσο και η Ευρωπαϊκή Ένωση συμβουλεύουν σχετικά με τη χρήση του L_{night} ως κύριο δείκτη διαταραχής του ύπνου [78].

Τέλος, τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει αντιληπτό ότι ο περιβαλλοντικός θόρυβος μπορεί να επηρεάσει την εκμάθηση και τη μνήμη των παιδιών. Πάνω από 20 μελέτες έχουν δείξει αρνητικές επιπτώσεις του θορύβου στην ανάγνωση και τη μνήμη των παιδιών. Οι πειραματικές μελέτες αναφέρουν τις συνέπειες της χρόνιας έκθεσης στο θόρυβο και συγκεκριμένα στον οξύ θόρυβο. Η ύπαρξη θορύβου κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων μάθησης στο σχολείο μπορεί δυνητικά να επηρεάσει την ανάπτυξη, τη συγκέντρωση του μαθητή και να έχει αρνητικά αποτελέσματα στην επίτευξη του εκπαιδευτικού έργου. Στοιχεία από πρόσφατες μελέτες με αντιπροσωπευτικά δείγματα παιδιών κάνουν μία προσπάθεια, ακόμα σε αρχικό στάδιο, να ποσοτικοποιήσουν το μέγεθος του θορύβου που προκαλεί βλάβη στην παιδική νοημοσύνη και να προσδιοριστεί η σχετική συνεισφορά από τις διαφορετικές πηγές θορύβου [79].



Εικόνα 16. Θόρυβος αεροσκάφους κατά την απογείωση, Πηγή: www.airportwatch.org.uk

Χαρακτηριστική είναι η μελέτη RANCH, η οποία αφορούσε την εξάμηνη παρακολούθηση 461 παιδιών ηλικίας 15 και 16 ετών που συμμετείχαν σε σχολεία της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης γύρω από το αεροδρόμιο του Heathrow στο Λονδίνο. Για την εξέταση των αποτελεσμάτων στη μελέτη αυτή έγινε χρήση των Στρατηγικών Χαρτών Θορύβου, που έχουν πραγματοποιηθεί για το αεροδρόμιο και δείχνει την έκθεση του μόνιμου πληθυσμού στις διάφορες στάθμες θορύβου, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο συνδέεται με μια μικρή μείωση στην κατανόηση της ανάγνωσης και στην παρακολούθηση των παιδιών. Ο θόρυβος των αεροσκαφών στο Δημοτικό σχολείο δεν συνδέθηκε με την ψυχολογική υγεία κατά την παρακολούθηση. Αυτή είναι η πρώτη επιδερμική μελέτη τέτοιου τύπου, γεγονός που υποδηλώνει ότι η έκθεση του θορύβου των αεροσκαφών στο σχολείο μπορεί να επηρεάσει την κατανόηση της ανάγνωσης, καθώς και την αύξηση της ενόχλησης στα παιδιά [80].

5.5 Επιδράσεις σε Εργαζομένους Αεροδρομίου ή Εντός του Αεροσκάφους

Στους κινδυνώδεις παράγοντες που σχετίζονται με την απώλεια της ακοής περιλαμβάνονται η γήρανση, η γενετική κληρονομικότητα, ο τραυματισμός στο κεφάλι, οι λοιμώξεις, συγκεκριμένες ναρκωτικές ουσίες, η υψηλή αρτηριακή πίεση, το κάπνισμα αλλά και ο θόρυβος, τόσο ο επαγγελματικός όσο και εκείνος που εμφανίζεται στον ελεύθερο χρόνο. Στη βιομηχανία της αεροπλοΐας είναι ιδιαίτερα συνηθισμένα τα υψηλά επίπεδα θορύβου και η ακουστική ικανότητα των εργαζομένων στις αερογραμμές συνήθως συνοδεύεται από επαναλαμβανόμενα ακουομετρικά τεστ. Έχουν δημοσιευθεί κατά το παρελθόν δεδομένα, αναφορικά με την κατάσταση στο ζήτημα της ακοής και την έκθεση πιλότων και μελών του πληρώματος σε θόρυβο [81]. Και για τις δύο ομάδες εργαζομένων, το συμπέρασμα το οποίο εξήχθη είναι ότι είχαν εκτεθεί σε ισοδύναμα επίπεδα θορύβου, κάτω από τα επαγγελματικά στάνταρντ (προδιαγραφές) των 85 dB(A), ενώ το επίπεδο του ορίου της ακουστικής τους ικανότητας ήταν φυσιολογικό και συμβάδιζε με την ηλικία τους.

Μια άλλη κατηγορία εργαζομένων που εκτίθενται στο θόρυβο είναι οι εργαζόμενοι στη συντήρηση του αεροσκάφους. Η έκθεση στο θόρυβο λαμβάνει χώρα στο υπόστεγο κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης και στη γραμμή πτήσεων κατά τη διάρκεια των διαδικασιών απογείωσης και προσγείωσης. Πρόσφατη μελέτη διερεύνησε την απώλεια της ακοής στους εργαζόμενους στο χώρο της συντήρησης του αεροσκάφους, σε πυροσβέστες και αστυνομικούς του αεροδρομίου, στο επί εδάφους προσωπικό των αερογραμμών και σε δημοσίους υπαλλήλους του αεροδρομίου [82]. Το ποσοστό της απώλειας υψηλής συχνότητας ήταν 42%, με το μεγαλύτερο ποσοστό να εντοπίζεται στους εργαζομένους στη συντήρηση (65%). Ως κινδυνώδεις παράγοντες που έχουν καταγραφεί είναι το επίπεδο της έκθεσης στο θόρυβο, τα χρόνια που κάποιος είχε εκτεθεί στο θόρυβο, η έκθεση σε εξωεπαγγελματικό θόρυβο, το ιστορικό ασθενειών του αυτιού,

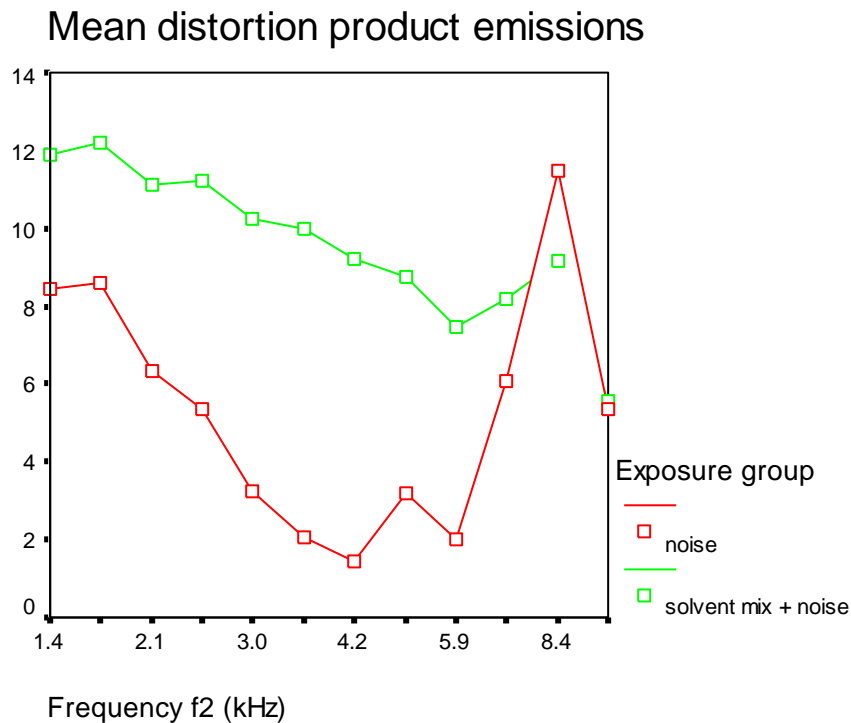


Εικόνα 17. Εργαζόμενος σε αεροσκάφος Embraer, Πηγή:
Προσωπικό αρχείο

η χρήση φαρμάκων για την ωτοτοξικότητα, το κάπνισμα τσιγάρου, η υπέρταση και η χρήση συσκευών προστασίας της ακοής.

Το προσωπικό της συντήρησης του αεροσκάφους μπορεί εξάλλου να εκτεθεί σε καύσιμα και διαλύτες του κινητήρα που μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στην ακοή και ο συνδυασμός της έκθεσης σε διαλύτες και της έκθεσης στο θόρυβο μπορεί να επαυξήσει τους κινδύνους [83]. Άτομα που έχουν εκτεθεί στο θόρυβο και σε καύσιμα του κινητήρα εμφάνισαν αύξηση της απώλειας ακοής, ακόμη κι όταν από μόνη της η έκθεση στα καύσιμα ήταν σημαντικά μικρότερη από τις κατώτερες επιτρεπόμενες τιμές. Επίσης οι επιπτώσεις των καυσίμων φάνηκε να είναι μεγαλύτερες όταν η διάρκεια της έκθεσης ήταν συντομότερη σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα.

Σχετικό πείραμα [84] έδειξε ότι σε άνδρες εργαζόμενους στη βιομηχανία της αεροπλοΐας, η συνισταμένη επίδραση που είχε στην απώλεια της ακοής τους η επαγγελματική τους έκθεση σε θορύβους και σε οργανικούς διαλύτες ήταν μεγαλύτερη του αναμενομένου. Τα στοιχεία από τακτική ακουομετρική εξέταση, που γίνεται κάθε δύο έτη, σε εργαζόμενους που έρχονται σε επαφή με ηχητικά ερεθίσματα και χημικά συστατικά (διαλύτες) και με κριτήριο την ηλικία, ο σχετικός κίνδυνος απώλειας της ακοής ήταν 8,1 στην ομάδα ατόμων που έχουν εκτεθεί και σε θόρυβο και σε διαλύτες, 4,3 σε όσους έχουν εκτεθεί μόνο σε θόρυβο και 2,6 σε όσους έχουν εκτεθεί αποκλειστικά σε διαλύτες [85].



Εικόνα 18. Διάγραμμα αποτελεσμάτων συγκριτικού πειράματος σε εργαζομένους αεροπλοΐας. Πηγή: www.ec.europa.eu

Παρόλα αυτά, οι έρευνες αναφορικά με το θόρυβο και την απώλεια της ακοής στους εργαζόμενους στη συντήρηση των αεροσκαφών είναι προς το παρόν λίγες. Εξάλλου, αυτές σπάνια εξετάζουν τις μακροχρόνιες επιπτώσεις, μη μελετώντας την απώλεια της ακοής και σε άτομα που έχουν πολλά χρόνια εργασιακής εμπειρίας.

Η απώλεια της ακοής έχει τεκμηριωθεί μέσα από πολλές έρευνες κι έτσι υπάρχει μια διεθνής, τυποποιημένη βάση δεδομένων για τα επίπεδα της ακουστικής ικανότητας με βάση την ηλικία, το ISO 7029, που περιγράφουν τα επίπεδα της ακουστικής ικανότητας σε ένα φυσιολογικό, από ωτολογικής πλευράς, πληθυσμό [86].

Επιπρόσθετα, υπάρχει μια σουηδική βάση δεδομένων που αφορά τα όρια της ακουστικής ικανότητας πληθυσμού που δεν έχει εκτεθεί σε επαγγελματικό θόρυβο. Η εν λόγω σουηδική βάση δεδομένων δεν εξαιρεί άτομα με προϋφιστάμενη παθολογία στο αυτί ούτε εξαιρεί εξωεπαγγελματικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την ακοή. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να είναι κατάλληλη όταν διενεργείται έρευνα αναφορικά με την απώλεια ακοής πληθυσμών, οι οποίοι δεν έχουν ελεγχθεί διεξοδικά από ωτολογικής άποψης, σχετικά με την ηλικία και τον επαγγελματικό θόρυβο [87].

6. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΕΠΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη

Όπως παρουσιάστηκε και ανωτέρω, ο αεροπορικός θόρυβος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα για τους εργαζόμενους στο χώρο των αεροδρομίων και εξίσου σημαντικός για την ποιότητα ζωής των κατοίκων των γύρω περιοχών. Για το λόγο αυτό, έχουν εφαρμοστεί μία σειρά από νομοθεσίες και διαδικασίες με στόχο τον μετριασμό του. Η έρευνα για την δημιουργία νέων τύπων αεροσκαφών και κινητήρων, περισσότερο φιλικών προς την υγεία του ανθρώπου, είναι ένα από τα μέτρα αυτά που μπορούν να περιορίσουν ή να μειώσουν αποτελεσματικά την έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο. Ο Π.Ο.Υ. αναγνωρίζει ότι "οι πιο αποτελεσματικές ενέργειες για τη μείωση της έκθεσης στο θόρυβο τείνουν να είναι αυτές που μειώνουν τον θόρυβο στην πηγή". Ειδικότερα, σχετικά με τον θόρυβο των αεροσκαφών, σημειώνει ότι παρουσιάζεται πρόοδος στην έρευνα και την ανάπτυξη των πιο αθόρυβων αεροσκαφών.

Επιπρόσθετα, η αναβάθμιση των υποδομών των αεροδρομίων και η απομάκρυνσή τους από τις περισσότερες αστικές ζώνες αποτελεί αντικείμενο προς μελέτη. Ωστόσο, δεν μπορεί να υποστηριχθεί ότι τέτοιες αλλαγές είναι αποτελεσματικές σε όλες τις περιπτώσεις και θα πρέπει να υιοθετηθεί ως πολιτική στις περισσότερα καταστάσεις. Η επίτευξη μιας τέτοιας λύσης είναι απίθανο να είναι συμβατή με υπάρχουσες απαιτήσεις για τη διαχείριση του θορύβου στην Ευρώπη. Όπως προβλέπεται από τον σχετικό Κανονισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η κατάσταση του θορύβου σε κάθε αερολιμένα πρέπει να αξιολογείται μεμονωμένα και η πιο κατάλληλη παρέμβαση να επιλέγεται ανάλογα. Έχουν εξεταστεί μόνο επτά μελέτες και στην πλειοψηφία τους η έρευνα επικεντρώθηκε στο άνοιγμα και το κλείσιμο των διαδρόμων, οδηγώντας σε μεταγενέστερες αλλαγές σε διαδρομές πτήσης. Από αυτή την άποψη, φαίνεται ότι η σύσταση για την εφαρμογή αλλαγών στην υποδομή αντικατοπτρίζουν απλώς την περιορισμένη διαθεσιμότητα σχετικής έρευνας.

Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να συμπεράνουμε πως στην Ελλάδα είναι περιορισμένη η βάση δεδομένων για τις επιπτώσεις στην υγεία από τον αεροπορικό θόρυβο και σίγουρα οι επιπτώσεις αυτές δεν είναι επαρκώς τεκμηριωμένες. Έχει παρατηρηθεί κατά τις διαδικασίες προσγείωσης και απογείωσης τα αεροσκάφη να παραμένουν για αρκετό χρονικό διάστημα στον εναέριο χώρο κατοικημένων περιοχών, ακόμη και σε περιπτώσεις απλής διέλευσης λόγω του σχεδίου πτήσης, με αποτέλεσμα να επιδεινώνεται η κρισιμότητα της κατάστασης πέραν της αναγκαιότητας χρήσης του αεροδιαδρόμου.

6.2 Επόμενα Βήματα

Παρά τα πολλά επιτεύγματα όσον αφορά την αντιμετώπιση του θορύβου των αεροσκαφών, υπάρχει σαφώς μακρύς δρόμος που πρέπει να διανύσουμε για την επίτευξη προόδου σε αυτό το θέμα. Μία από τις κύριες προκλήσεις του μετριασμού του θορύβου είναι η εξεύρεση μιας αρμονικής ισορροπίας μεταξύ της μείωσης του θορύβου και του κοινωνικού ρόλου που έχει η αεροπλοΐα στην παροχή της συνδετικότητας που δημιουργεί αξία, κάνοντας τις πόλεις να ευδοκιμούν. Η κινητικότητα και η υγεία είναι αναπόφευκτα θέματα στη σημερινή κοινωνία - είτε ζούμε σε μια πόλη είτε στην ύπαιθρο.

Η νομοθεσία πρέπει να βασίζεται σε ολοκληρωμένες επιστημονικές γνώσεις σχετικά με τις θετικές και αρνητικές επιπτώσεις του αεροπορικού θορύβου, συμβάλλοντας στην επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων όσον αφορά τη μείωση των επιπτώσεων και την ενίσχυση των οφελών για τις τοπικές κοινωνίες.

Συνεπώς, όσον αφορά τον προσδιορισμό της σχέσης του αεροπορικού θορύβου και τις επιπτώσεις του στην Ελλάδα θα μπορούσαν να εξεταστούν τα εξής:

- Η συναίνεση της έρευνας σχετικά με ένα ισορροπημένο προσδιορισμό των δεικτών της ποιότητας ζωής που σχετίζονται με το αεροπορικό αντικείμενο, για την αξιολόγηση συνολικά των θετικών και αρνητικών επιπτώσεών τους στις τοπικές κοινότητες, χωρίς αυτή να υποβαθμίζεται στο βωμό της τεχνολογικής προόδου.
- Να καθιερωθεί μια διεθνώς αναγνωρισμένη μεθοδολογία που να επιτρέπει μια διαρθρωμένη και συνεπή προσέγγιση για την αξιολόγηση των πρωτοβουλιών και των αποτελεσμάτων, αξιολογώντας και προσδιορίζοντας στο περιβάλλον τις θετικές και αρνητικές επιπτώσεις των νέων μοντέλων αεροσκαφών.
- Όλα τα αεροσκάφη που αναχωρούν ή αφίκνυνται στα ελληνικά αεροδρόμια να αποφεύγουν να πετούν πάνω από κατοικημένες περιοχές. Όταν δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα, πρέπει να πετούν πάνω από κατοικημένες περιοχές κατά τον ελάχιστο δυνατό χρόνο, διατηρώντας παράλληλα το ελάχιστο ύψος ασφάλειας.
- Οι περιορισμοί κατά τις νυχτερινές ώρες να εφαρμόζονται μεταξύ άλλων και για τις ταχυδρομικές πτήσεις.
- Τέλος, η χρήση του Reverse Thrust (αναστροφή ώσης) κατά την επιβράδυνση του αεροσκάφους στον αεροδιάδρομο να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Βιβλιογραφία

- [1] L. Stearns, Introduction to music production, Online instructor, 2014.
- [2] A. Serway, «wikipedia,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/>.
- [3] National Institute on Deafness and Other Communication Disorders / Health Info/ Hearing, 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nidcd.nih.gov/>.
- [4] K. Bruel, «“Measuring Sound”,» 1984.
- [5] W. Robinson et al, «“A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones”,» 1956, pp. Phys.7, 166-181.
- [6] T. Rossing, Springer Handbook of Acoustics, 2015.
- [7] M. Möser et al, Handbook of Engineering Acoustics, 2012.
- [8] K. Leonard et al, «“Perceptual restoration of masked speech in human cortex,”»,» *Nat. Commun.*, τόμ. 7, αρ. 13619, 2016.
- [9] G. Jose, M. Sancho, « «Noise-Induced Order in Extended Systems: A Tutorial»,» pp. 235-246.
- [10] Π. ΕΛΟΤ, « 48021-ISO R/266,» [Ηλεκτρονικό].
- [11] «www.assets.publishing.service.gov.uk,» [Ηλεκτρονικό].
- [12] S. Evans et al, «A prospective study of some effects of aircraft noise,» 2007.
- [13] O. Jose, M. Sancho et al, « «Noise-Induced Order in Extended Systems: A Tutorial»,» pp. 235-246.
- [14] M. Dante, R. Chialvo et al ««Noise-induced memory in extended excitable systems»,» p. 5654–5657.
- [15] A. Gorji-Bandpy, « Jet Noise Technologies in Turbofan Engines, Aviation,» 2012, p. 25–32.
- [16] P. Nelson, Transportation Noise Reference Book, London: Butterworth & Co. Ltd, 1987.

- [17] H. Oertel et al, *Strömungsmechanik*, Heidelberg: Springer Vieweg,, 2015.
- [18] B. Packman et al, «Jet noise characteristics of unsuppressed duct burning turbofan exhaust system,» *Pratt and Whitney Aircraft*, pp. 76-149, 1976.
- [19] J. Ruijgrok, *Elements of Aviation Acoustics.*, Delft: Delft University Press, 2004.
- [20] K. Gersten, *Grenzschichttheorie*, Berlin: Springer Verlag, 2006.
- [21] H. Sigloch, *Technische Fluidmechanik*, Heidelberg: Springer Vieweg, 2014.
- [22] U. Siller et al, «OPENAIR Test Data Analysis. Report D2.4.11,» DLR German Aerospace Center, 2013.
- [23] T. Smith et al, «Aircraft Noise,» Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, 1989.
- [24] W. Malalasekera et al, «An Introduction to Computational Fluid Dynamics,» Pearson Education Ltd., second edition, 2007.
- [25] J. Czech et al, «Measurement and Modeling of Effect of Forward Flight on Jet Noise. Technical Report AIAA-2010-3921,» σε *16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, Stockholm, Sweden, 2010.
- [26] A. Turner et al, «Model Tests Demonstrating Under-Wing Installation Effects on Engine Exhaust Noise.,» *National Gas Turbine Establishment*, 1980.
- [27] J. Hileman et al, «Development of Approach Procedures for Silent Aircraft,» σε *45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition*, Reno, Nevada , 2007.
- [28] G. Lilley, «The Prediction of Airframe Noise and Comparison with Experiment,» 2001.
- [29] S. Probsting, «Coherent Structures at The Serrated Trailing-Edge of a NACA 0012, Master of Science Thesis,» Delft university of technology, Aerospace department.
- [30] Y. Li et al, *Measurement and Control of Aircraft Landing Gear Broadband Noise*, Aerospace Science and Technology, 2011.
- [31] M. Khorrami, «Toward Establishing a Realistic Benchmark for Airframe Noise Research: Issues and Challenges,» σε *IUTAM Symposium on Computational Aero-Acoustics for Aircraft Noise Prediction*, 2010.

- [32] Y. Guo, «Effects of Local Flow Variations on Landing Gear Noise Prediction and Analysis,» *Journal of Aircraft*, τόμ. 47, 2010.
- [33] Y. Li et al, Measurement and control of aircraft landing gear broadband noise, *Aerospace Science and Technology*, 2011.
- [34] Y. Guo, «Development of Computational Aeroacoustics Tools for Airframe Noise Calculations,» *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, τόμ. 18, αρ. 6, 2004.
- [35] M. Dobrzynski, Airframe Noise–Landing Gear Noise, *Encyclopedia of Aerospace Engineering*, 2010.
- [36] S. Hosder, Clean Wing Airframe Noise Modeling for Multidisciplinary Design and Optimization, Doctorate Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [37] P. Lockard et al, The Airframe Noise Reduction Challenge, NASA/TM–2004–213013., 2004.
- [38] W. Dobrzynski et al, «Research at DLR towards airframe noise prediction and reduction,» *Aerospace Science and Technology*, τόμ. 12, pp. 80-90, 2008.
- [39] Y. Li et al, «The use of plasma actuators for bluff body broadband noise control,» *Exp Fluids*, p. 367–377, 2010.
- [40] Atchley, «Measurement and prediction of noise propagation from a high-power jet aircraft,» *AIAA J.45*, p. 3003–3006, 2007.
- [41] H. Schlinker et al, «Supersonic jet noise source characteristics and propagation: Engine and model scale,» 2007.
- [42] V. Gee et al, «The role of nonlinear effects in the propagation of noise from high-power jet aircraft,» p. 4082–4093 , 2008.
- [43] A. Krothapalli, «On the far-field propagation of high-speed jet noise,» July 2008.
- [44] R. McKinley et al, «Acoustic pressure waveforms measured in high speed jet noise experiencing nonlinear propagation,» p. 193–215, 2006.
- [45] M. Olcmen et al, «High-intensity rocket noise: Nonlinear propagation, atmospheric absorption, and characterization,» p. 578–591, 2005.

- [46] A. J. Blumrich Reinhard, «Aircraft Sound Propagation Near to the Ground: Measurements and Calculations,» pp. 495-504, 1999.
- [47] L. Gee et al, «Bicoherence analysis of model-scale jet noise,» 2010.
- [48] Wall, «Nonlinear evolution of noise from a military jet aircraft during ground run-up,» 2012.
- [49] Noise and Public Health: Acoustical Measurement and Social Survey Around Sydney Kingsford Smith Airport.
- [50] Department of Transport and Regional Services (DoTARS), 2002, pp. 9,62.
- [51] «Measurement of near-field and far-field noise from full scale high performance jet engines,» 2010.
- [52] J. Alkadhim et al, « The surgical vascular anatomy of the minimally invasive lateral lumbar interbody approach: a cadaveric and radiographic analysis,» 2015.
- [53] A. Aggarwal et al, «Abdominal aortic aneurysm: A comprehensive review,» 2011.
- [54] S. Kandoria et al, «Left atrial myxoma complicated by acute embolism to the left subclavian artery,» 2016.
- [55] J. Reyes et al, « Origin of endothelial progenitors in human postnatal bone marrow,» Clin. Invest., 2008.
- [56] F. Matsushima et al, «Anatomy of jugular foramen and hypoglossal canal,» 2015.
- [57] H. Chobanian et al, «Hypertension, prevention,detection, evaluation, and treatment of high blood pressure,» Seventh report of the joint national committee, 2003.
- [58] N. Lewington et al, «Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: A meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies,» Lancet, Prospective Studies Collaboration, 2002.
- [59] J. Stamler et al, «Blood pressure, systolic and diastolic, and cardiovascular risks-US population data.,» Arch Intern Med., 1993.
- [60] M. Cutler , « Trends in hypertension prevalence, awareness, treatment, and control rates in united states adults between 1988-1994 and 1999-2004,» 2008.

- [61] A. Brodish, Changes in blood ACTH under various experimental conditions by means of a crosscirculation technique, 1956, p. 666–676.
- [62] K. Schwartz, «Stress-induced adrenal ascorbic acid depletion in the cat.,» 1960, pp. 308-310.
- [63] « The role of the rhinencephalon in the activation of the hypophyseal-adrenocorticogonad system and in the formation of emotional and sexual behaviour,» Moscow, p. 18–25.
- [64] B. Medoff, «Audiogenic stimulation and blood pressure,» *American Journal of Physiology*, p. 300–305.
- [65] M. Smith, «Fitness to fly for passengers with cardiovascular disease Heart,» 2010.
- [66] N Guettler et al, «Heart Pre-and post-cardiac surgical assessment and management of aircrew,» 2018.
- [67] W. Shadlen, The variable discharge of cortical neurons: implications for connectivity, computation, and information coding, 1998.
- [68] A. Aldo Faisal et al, «Noise in the nervous system,» 2008, pp. 292-303.
- [69] A. Onsy Abdel-Alim et al, «Heart diseases diagnosis using heart sounds,» σε *Radio Science Nineteenth National Conference of the Proceedings NRSC*, 2002.
- [70] S. Philip et al, «Spontaneous Pallidal Neuronal Activity in Human Dystonia: Comparison,» *Neurophysiol*, pp. 3165-3176, 2004.
- [71] O. N. Knipschild, «Medical effects of aircraft noise: drug survey.,» *Int Arch Occup Environ Health.*, pp. 197-200, 1977.
- [72] P. W. Passchier-Vermeer W, «"Noise exposure and public health",» *Environmental Health Perspectives*, 2000.
- [73] FJ Elizondo-Garza, «"Noise problems, savage approaches. From just forget it, to physical violence",» *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1999.
- [74] R. Hammer, «"Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response",» *Environmental Health Perspectives*, 2014.
- [75] *Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 ΕΕ και 96/61 ΕΕ. ΦΕΚ 91/25.04.2002, 25 Απρίλιος 2002. .*

- [76] Financial Express, «<http://www.financialexpress.com/news/air-transportation-and-economicgrowth/>,» December 2002. [Ηλεκτρονικό].
- [77] M. Brink et al, «Conversion between noise exposure indicators Leq24h, LDay, LEvening, LNight, Ldn and Lden: Principles and practical guidance,» *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2017.
- [78] W. H. Organization, «Infection prevention and control in health care: time for collaborative action,» σε *Regional Committee for the Eastern Mediterranean* , Geneva, 2010.
- [79] M. Basner, «Auditory and non-auditory effects of noise on health,» pp. 1325-1332, 2014.
- [80] C. Clark et al, «Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort,» *Journal of Environmental Psychology*, τόμ. 35, pp. 1-9, 2013.
- [81] D. Lindgren et al, «Hearing status among cabin crew in a Swedish commercial airline company,» 2009.
- [82] O. Chen et al, «Effects of aircraft noise on hearing and auditory non-pathway function of airport employees,» 1992.
- [83] P. Kaufman et al, «Effects of concurrent noise and jet fuel exposure on hearing loss,» 2005.
- [84] S. Kim et al, «Combined effects of noise and mixed solvents exposure on the hearing function among workers in the aviation industry».
- [85] A. Prasher et al, «Effect of exposure to a mixture of solvents and noise on hearing and balance in aircraft maintenance workers».
- [86] P. Kaufman et al, «Effects of concurrent noise and jet fuel exposure on hearing loss,» 2005.
- [87] International Organization for Standardization. Acoustics Threshold of hearing by air conduction as a function of age and sex for otologically normal persons, Geneva, 1984.
- [88] M. Sancho et al, ««Noise-Induced Order in Extended Systems: A Tutorial»,» 2000, pp. 235-246.