



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
TOY
ΚΑΠΑΤΣΩΡΗ ΔΙΟΝΥΣΗ**

ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Α. ΜΠΑΛΛΗΣ

AΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2004

Σύνοψη

Τίτλος: «Θόρυβος αεροδρομίων και συμβατές χρήσεις γης»

Όνομα: Καπατσώρης Διονύσης

Επόπτης: Μπαλλής Α., Λέκτορας

Οκτώβριος 2004

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το θέμα του αεροπορικού θορύβου. Παρουσιάζονται οι δείκτες και οι κλίμακες που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την περιγραφή του αεροπορικού θορύβου, τα όργανα μέτρησης και τα μοντέλα πρόβλεψης του. Παρουσιάζονται ακόμη οι επιπτώσεις του θορύβου αεροδρομίων τόσο στον πληθυσμό όσο και στις αξίες κατοικίας της περιοχής που επηρεάζει καθώς επίσης και τα μέτρα που εφαρμόζονται διεθνώς με σκοπό τον περιορισμό του σε αποδεκτά επίπεδα (επιχειρησιακά μέτρα αντιμετώπισης αεροπορικού θορύβου, οικονομικά μέτρα αντιμετώπισης, ηχομόνωση των κτιρίων και καθορισμός συμβατών χρήσεων γης γύρω από το αεροδρόμιο).

Λέξεις-κλειδιά: Θόρυβος αεροδρομίου, ισοθορυβικές καμπύλες, δείκτης θορύβου, ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο, ηχομόνωση, επίδραση θορύβου στις αξίες κατοικίας, μοντέλα πρόβλεψης θορύβου, όργανα μέτρησης θορύβου, μέτρα αντιμετώπισης, συμβατές χρήσεις γης, επιπτώσεις θορύβου αεροδρομίου

Abstract

Title: "Airport noise and compatible land use"

Name: Kapatsoris Dionysis

Supervisor: Ballis A., Lector

October 2004

Object of the present thesis is the airport noise. The most common aircraft noise scales and indices that are being used worldwide are presented, as well as the most known noise forecast models and typical noise monitoring devices for the estimation of the exposure of a community to aircraft noise. Furthermore a presentation of the impacts of aircraft noise on the population and house values of the airport region is realized along with the noise abatement schemes that have been internationally adopted for the alleviation of the problem (operational noise abatement schemes - NAP, noise levies, sound insulation of buildings and definition of compatible land use zones around the airport).

Keywords: Airport noise, noise contours, noise index, annoyance from aircraft noise, sound insulation, impact of airport noise on house values, noise forecast models, noise monitoring devices, noise abatement schemes, compatible land use, effects of airport noise

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή – Στόχος εργασίας	6
2 Κλίμακες και δείκτες αεροπορικού θορύβου.....	8
2.1 Κλίμακες και δείκτες περιγραφής μεμονωμένου ηχητικού γεγονότος	8
2.1.1 Κλίμακα L _A	9
2.1.2 Κλίμακα PNL.....	9
2.1.3 Σχέση μεταξύ κλιμάκων L _A και PNL	10
2.2 Δείκτες περιγραφής αεροπορικού θορύβου.....	11
2.2.1 Δείκτης DNL	13
2.2.2 Δείκτης NEF	13
2.2.3 Δείκτης NNI	14
2.2.4 Δείκτης CNR	14
2.2.5 Δείκτης FBN	15
2.2.6 Δείκτης WECPNL.....	15
2.2.7 Δείκτης B.....	16
2.2.8 Δείκτης Psophique	16
2.2.9 Δείκτης Time-Above	16
2.3 Ποινές δεικτών αεροπορικού θορύβου	17
2.4 Συσχέτιση δεικτών αεροπορικού θορύβου	20
2.5 Σχολιασμός δεικτών αεροπορικού θορύβου	26
3 Μέθοδοι εκτίμησης αεροπορικού θορύβου.....	27
3.1 Όργανα μέτρησης αεροπορικού θορύβου	28
3.2 Μοντέλα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου	33
3.2.1 Η έννοια της ισοθορυβικής καμπύλης.....	33
3.2.2 Μοντέλο Zaporozhets και Tokarev	36
3.2.3 Μοντέλο INM	37
3.2.4 Μοντέλα ISO-1962, NOISEMAP, dBsite	39
3.2.5 Μοντέλο πρόβλεψης θορύβου κατά την τροχοδρόμηση	39
3.2.6 Μοντέλο εκτίμησης της έκτασης κατάληψης ισοθορυβικής καμπύλης.....	40
4 Επιδράσεις του αεροπορικού θορύβου.....	43
4.1 Επιπτώσεις στην υγεία.....	43
4.2 Ενόχληση κοινότητας από αεροπορικό θόρυβο.....	44
4.3 Επιπτώσεις στις αξίες κατοικίας	53
5 Μέτρα αντιμετώπισης / Πολιτικές	58
5.1 Μείωση του αεροπορικού θορύβου στην πηγή του	58
5.2 Επιχειρησιακά μέτρα αντιμετώπισης	59
5.2.1 Τροποποίηση διαδικασιών απογείωσης/προσγείωσης	60
5.2.2 Βελτιστοποίηση κατανομής κινήσεων αεροσκαφών	61
5.2.3 Περιορισμοί χρήσεως αεροδρομίου	61
5.3 Αντιμετώπιση αεροπορικού θορύβου μέσω τελών θορύβου.....	67
5.3.1 Υπολογισμός τελών θορύβου στα αεροδρόμια της Αυστραλίας	68
5.4 Κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης.....	69
5.4.1 Ηχομόνωση	69
5.4.2 Ηχοπετάσματα	74
5.4.3 Κατασκευή νέου διαδρόμου	75
5.5 Λοιπά μέτρα αντιμετώπισης.....	77
5.6 Χρηματοδοτούμενα προγράμματα μείωσης θορύβου από την Ευρωπαϊκή Ένωση	77
5.7 Η Κοινοτική Οδηγία 2002/49/EC	79

5.8	Μοντέλο MAGENTA – Αξιολόγηση των μέτρων αντιμετώπισης αεροπορικού θορύβου.....	80
6	Συμβατές χρήσεις γης.....	81
6.1	Επιτρεπτά όρια θορύβου	81
6.2	Συμβατές χρήσεις γης κατά τη νομοθεσία των ΗΠΑ	83
6.3	Συμβατές χρήσεις γης κατά την Ελληνική νομοθεσία	85
6.4	Σύγκριση Ελληνικής και Αμερικανικής νομοθεσίας συμβατών χρήσεων γης	87
6.5	Σχολιασμός Ελληνικής νομοθεσίας χρήσεων γης	89
7	Συμπεράσματα	92
8	Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα.....	93
9	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	94

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 – Δείκτες αεροπορικού θορύβου που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες.....	12
Πίνακας 2 – Κλίμακα που χρησιμοποιούν οι δείκτες αεροπορικού θορύβου.....	12
Πίνακας 3 – Ποινές θορύβου για τον κάθε δείκτη συναρτήσει της ώρας εκτέλεσης μιας κίνησης.....	18
Πίνακας 4 – Γραφική απεικόνιση ποινών θορύβου για τον κάθε δείκτη συναρτήσει της ώρας εκτέλεσης μιας κίνησης	19
Πίνακας 5 – Αποτελέσματα υπολογισμού δεικτών αεροπορικού θορύβου και σύγκριση με τις αντίστοιχες σχέσεις μετασχηματισμού των Hazard, Horonjeff, McKelvey ανά σενάριο κινήσεων και τύπο αεροσκάφους	25
Πίνακας 6 - Πιθανοί συνδυασμοί επίτευξης 60DNL.....	26
Πίνακας 7 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μέτρησης αεροπορικού θορύβου με χρήση οργάνων.	27
Πίνακας 8 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου με χρήση μοντέλων.....	28
Πίνακας 9 – Παράγοντες που λαμβάνουν υπόψη τα μοντέλα πρόβλεψης INM και Zaporozhets-Tokarev.....	38
Πίνακας 10 – Διορθωτικοί συντελεστές μοντέλου Ignaccolo για πραγματικές συνθήκες αεροδρομίου.....	41
Πίνακας 11 – Πιθανολογούμενες επιπτώσεις του αεροπορικού θορύβου στην υγεία του ανθρώπου.	44
Πίνακας 12 – Στάθμες θορύβου για έναρξη ενόχλησης από μεμονωμένο ηχητικό γεγονός.	48
Πίνακας 13 – Ζώνες ενόχλησης από συνολικό αεροπορικό θόρυβο κατά την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ. 1178/81) και κατά Nelson.	48
Πίνακας 14 – Επιρροή διαφόρων παραγόντων στην ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο.	51
Πίνακας 15 – Ενδεικτικές τιμές NDSI για διάφορες έρευνες διεθνώς.	56
Πίνακας 16 – Σύγκριση τιμών αγοράς μονοκατοικίας στο Δήμο Αρτέμιδος πριν και μετά τη λειτουργία του νέου αεροδρομίου της Αθήνας.	57
Πίνακας 17 – Εφαρμογή εξίσωσης Ignaccolo για ανάδειξη της χρησιμότητας του μέτρου περιορισμών χρήσης αεροδρομίου.....	62
Πίνακας 18 – Αεροδρόμια της Ε.Ε. που εφαρμόζουν πλήρη απαγόρευση αεροσκαφών Κεφαλαίου 2 ICAO και μερική απαγόρευση αεροσκαφών Κεφαλαίου 3 ICAO.....	63
Πίνακας 19 - Επιχειρησιακά μέτρα μείωσης αεροπορικού θορύβου του αεροδρομίου της Αθήνας.....	66
Πίνακας 20 – Ηχομονώσεις κτιρίων και παρεχόμενη μείωση αεροπορικού θορύβου.....	70
Πίνακας 21 – Ποσοτά αιφυπνούμενου πληθυσμού συναρτήσει της μόνωσης κατοικιών	72
Πίνακας 22 – Προβλεπόμενη έκταση και αντίστοιχος πληθυσμός του Δήμου Αρτέμιδος που εκτίθενται στον αεροπορικό θόρυβο του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών.	72
Πίνακας 23 – Παράδειγμα περίττωσης ανεπάρκειας της χρήσης ενός αθροιστικού δείκτη για τον καθορισμό αποζημιώσεων.....	73
Πίνακας 24 – Συμβατές χρήσεις γης στις ΗΠΑ κατά την FAA.....	84
Πίνακας 25 – Συμβατές χρήσεις γης στην Ελλάδα κατά το Π.Δ.1178/81.....	86
Πίνακας 26 – Σύγκριση ορίων συμβατότητας των κυριοτέρων χρήσεων γης κατά την ελληνική και την αμερικανική νομοθεσία.	88
Πίνακας 27 – Παράδειγμα πιθανής ανεπάρκειας αθροιστικών δεικτών για τον καθορισμό της συμβατότητας όλων των χρήσεων γης.....	90

Πίνακας 28 – Προτεινόμενοι δείκτες καθορισμού συμβατότητας χρήσεων γης ανά περίπτωση.....	91
---	----

Ενρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 – Τυπικό διάγραμμα χρόνου παρατήρησης-εκπεμπόμενου θορύβου για μία διέλευση αεροσκάφους... ⁸	8
Διάγραμμα 2 – Περιγραφή του ίδιου ηχητικού γεγονότος με τις δύο κλίμακες, L _A και PNL.....	10
Διάγραμμα 3 – 1° Σενάριο κατανομής αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο.....	21
Διάγραμμα 4 – 2° Σενάριο κατανομής αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο.....	21
Διάγραμμα 5 – 3° Σενάριο κατανομής αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο.....	22
Διάγραμμα 6 – Υποθετικά διαγράμματα θορύβου-χρόνου για τη σύγκριση των δεικτών αεροπορικού θορύβου....	22
Διάγραμμα 7 – Μέθοδος για τον έλεγχο της ακρίβειας των προτεινόμενων κατά Horonjeff, McKelvey, Hazard σχέσεων μετασχηματισμού δεικτών αεροπορικού θορύβου.....	23
Διάγραμμα 8 – Ρυθμός μεταβολής του θορύβου τροχοδρόμησης του αεροσκάφους με την πλευρική απόσταση....	39
Διάγραμμα 9 – Νομογράφημα υπολογισμού έκτασης ισοθρυβικής των 75DNL σύμφωνα	42
Διάγραμμα 10 – Νομογράφημα υπολογισμού έκτασης ισοθρυβικής των 55DNL σύμφωνα	42
Διάγραμμα 11 – Ενόχληση ως ποσοστό του πληθυσμού σε μια συγκεκριμένη ζώνη θορύβου – 1.....	46
Διάγραμμα 12 – Ενόχληση ως ποσοστό του πληθυσμού σε μια συγκεκριμένη ζώνη θορύβου – 2.....	46
Διάγραμμα 13 – Ατομική ενόχληση συναρτήσει διαφόρων επιπέδων αεροπορικού θορύβου.....	47
Διάγραμμα 14 – Ποσοστό πληθυσμού που ξυπνάει για διάφορες στάθμες αεροπορικού θορύβου από μεμονωμένη αεροπορική κίνηση κατά Vijnen, Visser.....	50
Διάγραμμα 15 - Μεταβολή της τιμής μιας κατοικίας συναρτήσει του δείκτη αεροπορικού θορύβου NEF.....	55
Διάγραμμα 16 – Πρόοδος στη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου από το αεροσκάφος.....	59
Διάγραμμα 17 – Μέγιστη δυνατή απόσταση για μια συνομιλία μεταξύ δύο ατόμων συναρτήσει του επιπέδου της συνομιλίας και της στάθμης του θορύβου περιβάλλοντος που την παρεμποδίζει.....	71
Διάγραμμα 18 – Αποδεκτά όρια αεροπορικού θορύβου κατά Yeowart.....	83

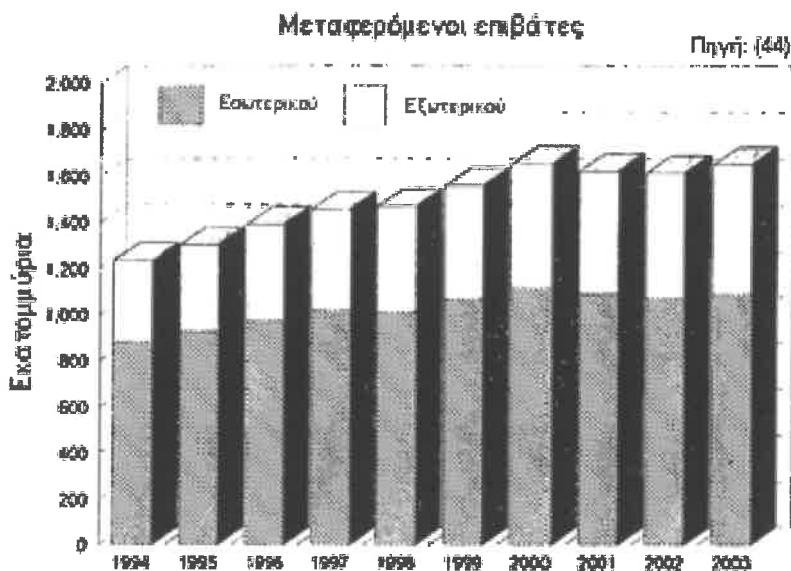
Ενρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1-1 – Μεταβολή αριθμού επιβατών στο διάστημα 1994-2003.....	6
Εικόνα 3-1 - Σύστημα σταθμών μέτρησης αεροπορικού θορύβου του αεροδρομίου του Σίδνεϋ.....	29
Εικόνα 3-2 – Σύστημα NOMOS των σταθμών μέτρησης αεροπορικού θορύβου του αεροδρομίου της Αθήνας.....	30
Εικόνα 3-3 – Ενδεικτική καταγραφή αεροπορικού θορύβου από ένα σταθερό σταθμό μέτρησης του NOMOS.....	30
Εικόνα 3-4 – Κινητές μονάδες πχομέτρησης (πχόμετρα χειρός).....	32
Εικόνα 3-5 – Σταθεροί σταθμοί πχομέτρησης.....	32
Εικόνα 3-6 - Ισοθρυβικές του αεροδρομίου του Μάντσεστερ για το έτος 1999 με χρήση του δείκτη Leq _{16h}	34
Εικόνα 3-7 – Ισοθρυβικές καμπύλες του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλος της Αθήνας για το έτος 2002.....	35
Εικόνα 5-1 – Αεροσκάφος DC-8, κατηγορίας Κεφαλαίου 1 κατά ICAO.....	63
Εικόνα 5-2 – Αεροσκάφος Boeing 727, κατηγορίας Κεφαλαίου 2 κατά ICAO.....	64
Εικόνα 5-3 – Αεροσκάφος DC9, κατηγορίας Κεφαλαίου 2 κατά ICAO.....	64
Εικόνα 5-4 – Αεροσκάφος Boeing 737-400, κατηγορίας Κεφαλαίου 3 κατά ICAO.....	64
Εικόνα 5-5 – Χρήση της αποβάθρας επιβίβασης ως πχοπέτασμα.....	74
Εικόνα 5-6 – Προβλεπόμενες ισοθρυβικές καμπύλες του αερολιμένα “Ν. Καζαντζάκης” του Ηρακλείου για το έτος 2007 με και χωρίς το νέο διάδρομο 11-29.....	76
Εικόνα 6-1 – Σημεία μέτρησης αεροπορικού θορύβου κατά FAA-1969.....	82

1 Εισαγωγή – Στόχος εργασίας

Το πρόβλημα του αεροπορικού θορύβου πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950, οπότε και εισήχθη στην πολιτική αεροπορία το αεροσκάφος τύπου jet. Έκτοτε ο θόρυβος από τη χρήση των υποηχητικών αυτών αεροσκαφών σε συνδυασμό με την ολοένα και πυκνότερη δόμηση των πόλεων μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο συνδέθηκε άμεσα με την ενόχληση των κοινοτήτων γύρω από τα αεροδρόμια. Η ενόχληση αυτή διαρκώς αυξάνεται καθώς η αεροπορική κίνηση έχει κι αυτή με τη σειρά της αυξήθει σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, ιδιαίτερα από το 1980 και μετά.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του ICAO⁽¹⁾ εκτιμάται ότι για τα 15 επόμενα χρόνια η κίνηση θα εξακολουθήσει να αυξάνεται με ρυθμούς 5%-10% για κάθε χρόνο στην Ευρώπη και τη Β. Αμερική, ενώ το ίδιο θα συμβεί και στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες με μικρότερους όμως ρυθμούς. Η αύξηση αυτή ίσως να ήταν ακόμη μεγαλύτερη αν δεν είχαν μεσολαβήσει κάποια καθοριστικά γεγονότα για την πορεία της παγκόσμιας αεροπλοΐας. Το τρομοκρατικό χτύπημα στις ΗΠΑ την 11^η Σεπτεμβρίου του 2001 επέφερε μείωση στην αεροπορική κίνηση κατά 100 εκατομμύρια επιβάτες παγκοσμίως⁽⁴⁴⁾, ενώ η έναρξη του πολέμου στο Ιράκ μαζί με την εμφάνιση του ιού SARS στην Ασία την Άνοιξη του 2003 είχαν ως αποτέλεσμα το Μάιο του 2003 η κίνηση επιβατών να είναι κατά 21% μικρότερη σε σχέση με το Μάιο του 2002⁽⁵⁷⁾. Πάντως κατά την IATA⁽⁵⁷⁾ από το Σεπτέμβριο του 2003 η κίνηση επανήλθε στα κανονικά της επίπεδα και έκτοτε αυξάνει με τους προαναφερθέντες ρυθμούς.



Εικόνα 1-1 – Μεταβολή αριθμού επιβατών στο διάστημα 1994-2003.

Η συνεχής αύξηση της αεροπορικής κίνησης έχει ως αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι άνθρωποι παγκοσμίως να εκτίθενται σε αεροπορικό θόρυβο, τα επίτεδα του οποίου είναι πολλές φορές μη αποδεκτά για την ανθρώπινη υγεία. Έρευνες στην Ευρωπαϊκή Ένωση έδειξαν ότι το 25% του συνολικού πληθυσμού της Ε.Ε. ενοχλείται από θορύβους πάσης φύσεως⁽⁴⁾, ενώ ειδικά για τον αεροπορικό θόρυβο το 1% του συνολικού πληθυσμού της Ευρώπης κατά το έτος 1993 ενοχλείτο λίγο έως πολύ από την αεροπορική κίνηση⁽⁴⁶⁾. Η υψηλής εντάσεως αυτή πηγή θορύβου θεωρείται επίσης υπεύθυνη, αν και δεν έχει αποδειχθεί επισήμως, για αρκετές αρνητικές επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου, όπως διαταραχή ύπνου, βλάβες ακοής, υπέρταση, ψυχολογικό στρες, καρδιαγγειακές παθήσεις κλπ, ενώ και το οικονομικό κόστος θορύβου είναι σημαντικού μεγέθους. Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες οικονομικές επιπτώσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω του περιβαλλοντικού θορύβου γενικότερα κυμαίνονται μεταξύ 13-38 εκατομμύρια ευρώ από μείωση τιμών κατοικίας, ιατρικές δαπάνες, περιορισμούς στην αξιοποίηση γης καθώς και από χαμένες ημέρες εργασίας⁽⁴⁾.

Για τους λόγους αυτούς είναι επιτακτική η ανάγκη μέτρησης και περιγραφής του αεροπορικού θορύβου, επιβολής επιτρεπτών ορίων θορύβου γύρω από τα αεροδρόμια και συνεπαγόμενα η ανάγκη σχεδιασμού μέτρων αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού, έτσι ώστε ο θόρυβος από την αεροπορική κίνηση να μειωθεί σε κοινώς αποδεκτά επίπεδα.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να δοθεί μια γενική εικόνα για το θέμα του αεροπορικού θορύβου, με έμφαση στα εξής επιμέρους θέματα:

- α) δείκτες περιγραφής της έκθεσης στον αεροπορικό θόρυβο**
- β) όργανα μέτρησης και μοντέλα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου**
- γ) επιδράσεις του θορύβου στον άνθρωπο και στις αξίες κατοικίας**
- δ) πολιτικές και τα μέτρα αντιμετώπισης**

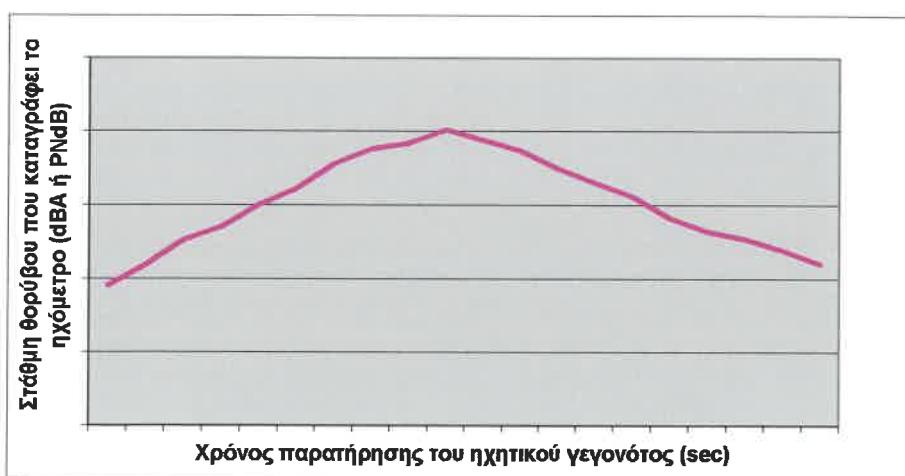
Η διάρθρωση της εργασίας έχει ως εξής. Στο Κεφάλαιο 2 επιχειρείται μια αναλυτική παρουσίαση των κλιμάκων και δεικτών περιγραφής του αεροπορικού θορύβου ενώ στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι μέθοδοι εκτίμησής του. Οι επιπτώσεις του θορύβου αυτού τόσο στον πληθυσμό όσο και στις αξίες κατοικίας αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4 ενώ στα επόμενα δύο Κεφάλαια, 5 και 6, παρατίθενται οι εφαρμοζόμενοι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος του αεροπορικού θορύβου, με έμφαση στο πρόγραμμα συμβατών -με τον αεροπορικό θόρυβο- χρήσεων γης. Στο Κεφάλαιο 7 γίνεται μια σύνοψη των προηγουμένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Ακολουθεί το Κεφάλαιο 8 στο οποίο δίδονται εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα και τέλος στο Κεφάλαιο 9 παρατίθεται η σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας αυτής.

2 Κλίμακες και δείκτες αεροπορικού θορύβου

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται πρώτα οι κλίμακες και οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του εκπεμπόμενου θορύβου από ένα μεμονωμένο ηχητικό γεγονός, όπως είναι η διέλευση ενός αεροσκάφους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σπουδαιότεροι διεθνείς δείκτες περιγραφής της συνολικής έκθεσης σε θόρυβο από αεροσκάφη. Οι δείκτες αυτοί λαμβάνονται υπόψη τη στάθμη θορύβου από κάθε μεμονωμένη κίνηση, των αριθμό των αεροπορικών κινήσεων και την ώρα εκτέλεσής τους δίνουν τη συνολική έκθεση αεροπορικού θορύβου.

2.1 Κλίμακες και δείκτες περιγραφής μεμονωμένου ηχητικού γεγονότος

Το βασικό στοιχείο που υπεισέρχεται στους δείκτες αεροπορικού θορύβου είναι η περιγραφή του μεμονωμένου ηχητικού γεγονότος. Για την περιγραφή του θορύβου που εκπέμπει ένα μεμονωμένο αεροσκάφος τοποθετείται στο σημείο μέτρησης ένα ηχόμετρο από το οποίο και λαμβάνεται το διάγραμμα χρόνου παρατήρησης-εκπεμπόμενον θορύβο της υπόψην διέλευσης. Ο χρόνος παρατήρησης μετράται σε δευτερόλεπτα και κυμαίνεται συνήθως από 8sec έως 60sec περίπου, ενώ για τη μέτρηση του εκπεμπόμενου θορύβου από το αεροσκάφος υπάρχουν δύο διαφορετικές κλίμακες, η L_A και η PNL .



Διάγραμμα 1 – Τυπικό διάγραμμα χρόνου παρατήρησης-εκπεμπόμενου θορύβου για μία διέλευση αεροσκάφους.

2.1.1 Κλίμακα L_A

Η πρώτη κλίμακα που χρησιμοποιείται είναι η συνήθης κλίμακα L_A , δηλαδή η A-σταθμισμένη στάθμη θορύβου SPL (Sound Pressure Level). Μονάδα μέτρησης αυτής είναι το dBA. Για να ληφθεί υπόψη η μεταβολή της στάθμης του ήχου στο χρόνο παρατήρησης, η διάρκεια του γεγονότος και η συχνότητά του, καθώς και για να είναι συγκρίσιμες δύο διελεύσεις διαφορετικής διάρκειας, λαμβάνεται από την κλίμακα L_A ένας δείκτης χαρακτηριστικός για κάθε διέλευση, η τιμή του οποίου και θα εισαχθεί στον τύπο του δείκτη περιγραφής του συνολικού αεροπορικού θορύβου. Ο δείκτης αυτός μιας διέλευσης αεροσκάφους είναι ο λεγόμενος SEL (Sound Exposure Level) και μετράται σε dBA. Ο τύπος του είναι:

$$SEL = 10 \log(1/T_0 * \sum 10^{L_{A,i}/10} \Delta t),$$

όπου Το ο χρόνος παρατήρησης, λαμβάνεται ίσος με 1sec, έτσι ώστε να γίνουν συγκρίσιμες διελεύσεις αεροσκαφών διαφορετικής διάρκειας,
 L_{Ai} η στιγμιαία A-σταθμισμένη στάθμη θορύβου στο i-οστό διάστημα Δt του διαγράμματος στάθμης-χρόνου παρατήρησης του αεροσκάφους
 Δt το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τιμών στο διάγραμμα, λαμβάνεται ίσο με 0.5sec και
Ν επαρκές έτσι ώστε το άθροισμα να καλύψει τουλάχιστον τα υψηλότερα 10dBA του διαγράμματος θορύβου-χρόνου παρατήρησης.

2.1.2 Κλίμακα PNL

Η δεύτερη κλίμακα που χρησιμοποιείται είναι η κλίμακα PNL (Perceived Noise Level). Η κλίμακα αυτή αναπτύχθηκε από την FAA στα τέλη της δεκαετίας του 1960 με σκοπό την περιγραφή αποκλειστικά αεροπορικών ηχητικών γεγονότων. Μονάδα μέτρησης στην κλίμακα αυτή είναι το PNdB. Από την κλίμακα αυτή λαμβάνεται για μια διέλευση αεροσκάφους ο δείκτης EPNL (Effective Perceived Noise Level), κατ' αντιστοιχία με την κλίμακα L_A και το δείκτη SEL. Η δείκτης EPNL δίνει το θόρυβο μεμονωμένης κίνησης αεροσκάφους σε EPNdB και ο τύπος του είναι:

$$EPNL = 10 \log(1/T_0 * \sum 10^{(PNL_i + TCI_i)/10} \Delta t)$$

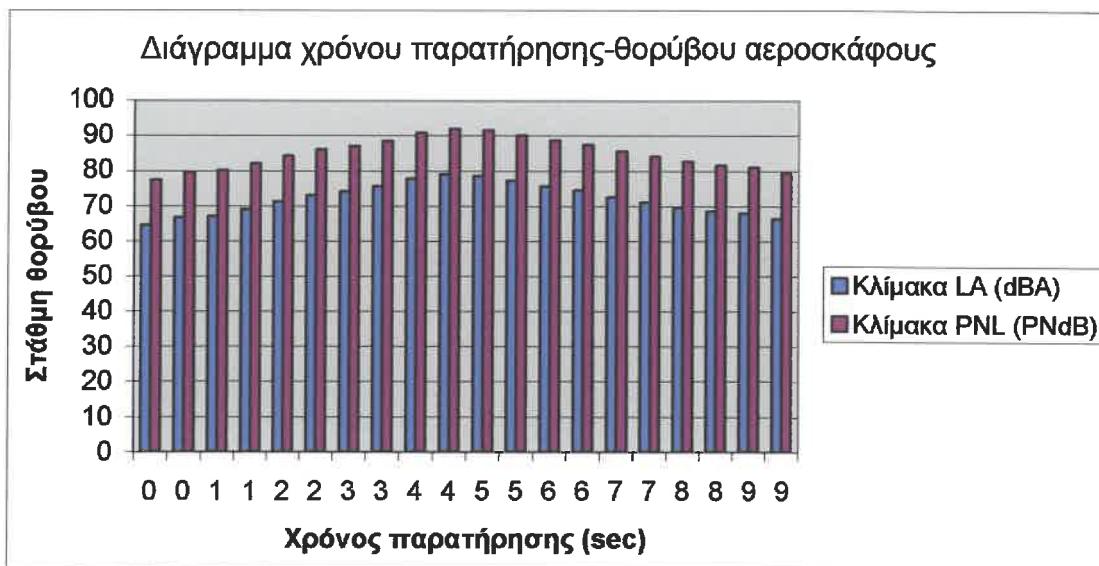
όπου PNL_i η στιγμιαία στάθμη θορύβου στην κλίμακα PNL στο i-οστό διάστημα Δt του διαγράμματος στάθμης-χρόνου παρατήρησης του αεροσκάφους,
 TCi η στιγμιαία διόρθωση τόνου στο i-οστό διάστημα,
 Δt το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τιμών στο διάγραμμα, λαμβάνεται ίσο με 0.5sec,
Το ο χρόνος παρατήρησης, λαμβάνεται ίσος με 10sec και
Ν επαρκές έτσι ώστε το άθροισμα να καλύψει τουλάχιστον τα υψηλότερα 10PNdB του διαγράμματος θορύβου-χρόνου παρατήρησης.

2.1.3 Σχέση μεταξύ κλιμάκων L_A και PNL

Η σχέση που ισχύει μεταξύ των δύο κλιμάκων είναι προσεγγιστικά:

$$PNL = L_A + 13 \text{ και } EPNL = SEL + 3$$

Ως παράδειγμα, δίδεται παρακάτω ένα ενδεικτικό διάγραμμα εκπεμπόμενου θορύβου-χρόνου παρατήρησης για την ίδια διέλευση ενός τυπικού jet αεροσκάφους χρησιμοποιώντας τις δύο κλίμακες L_A και PNL, όπως θα καταγραφόταν από ένα τοποθετημένο ηχόμετρο. Με μπλε χρώμα περιγράφεται το γεγονός με βάση την κλίμακα L_A και με μοβ με βάση την κλίμακα PNL. Ο δείκτης SEL της διέλευσης αυτής χρησιμοποιώντας την L_A είναι 84dB_A, ενώ ο αντίστοιχος δείκτης EPNL χρησιμοποιώντας την PNL είναι 87EPNdB.



Διάγραμμα 2 – Περιγραφή του ίδιου ηχητικού γεγονότος με τις δύο κλίμακες, L_A και PNL.

Υπενθυμίζεται από τη θεωρία ακουστικής ότι αύξηση της στάθμης ενός ήχου κατά 3dB_A ισοδυναμεί με διπλασιασμό της εκπεμπόμενης ηχητικής ενέργειας, ενώ αύξηση κατά 10dB_A ισοδυναμεί με διπλασιασμό της ακουστότητας του ήχου, έτσι όπως τον αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος.

Οι περισσότεροι από τους δείκτες συνολικής έκθεσης θορύβου αεροσκαφών χρησιμοποιούν για την περιγραφή ενός μεμονωμένου ηχητικού γεγονότος το σύστημα PNL-EPNL ενώ λίγοι μόνο χρησιμοποιούν το L_A -SEL.

2.2 Δείκτες περιγραφής αεροπορικού θορύβου

Γενικά ως δείκτης περιγραφής θορύβου θεωρείται ένα μέγεθος που δίνει τον προβλεπόμενο ή τον μετρηθέντα ισοδύναμο θόρυβο, συνήθως 24ώρου, σε ένα σημείο ενδιαφέροντος. Με τον όρο ισοδύναμο θόρυβο 24ώρου εννοείται η υποθετική σταθερή στάθμη θορύβου η οποία αντιστοιχεί σε ίση ηχητική ενέργεια με την πραγματικά μεταβαλλόμενη στάθμη θορύβου στο διάστημα παρατήρησης, που είναι συνήθως 24 ώρες. Ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος δείκτης ισοδύναμου θορύβου είναι ο L_{EQ24h} , ο οποίος δίνει την ισοδύναμη «μέση» σταθερή ηχοστάθμη 24ώρου. Ο τύπος του είναι:

$$L_{EQ24h} = 10 \log (1/T * \sum 10^{LAi/10} \Delta t_i),$$

όπου T ο χρόνος παρατήρησης, ίσος με 86400sec,

LAi η στιγμαία A-σταθμισμένη στάθμη θορύβου στο i-οστό διάστημα Δt του διαγράμματος στάθμης-χρόνου παρατήρησης του αεροσκάφους και
 Δt το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τιμών στο διάγραμμα

Ειδικά για την περιγραφή και μέτρηση της έκθεσης μιας κοινότητας στον αεροπορικό θόρυβο έχουν παρουσιαστεί κατά καιρούς διάφοροι δείκτες. Οι πιο σημαντικοί είναι οι εξής:

- DNL (Day Night Level),
- NNI (Noise and Number Index),
- CNR (Composite Noise Rating),
- CNI (Composite Noise Index),
- NEF (Noise Exposure Forecast),

ενώ υπάρχουν και άλλοι λιγότερο χρησιμοποιούμενοι όπως:

- EFN (Equivalent Noise Aircraft Level - χρησιμοποιείται στη Νορβηγία),
- FBN (παραλλαγή του CNR που χρησιμοποιείται στη Σουηδία),
- CNEL (Community Noise Equivalent Level - χρησιμοποιήθηκε στην πολιτεία της Καλιφόρνιας και αντικαταστάθηκε από τον DNL),
- WECPNL (Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level),
- R (χρησιμοποιήθηκε κατά το παρελθόν στη Γαλλία),
- B (χρησιμοποιείται στην Ολλανδία),
- I (Psophique – χρησιμοποιείται σήμερα στη Γαλλία),
- Stoerindex Q (χρησιμοποιείται στη Γερμανία)
- TA (Time-Above) κ.α.

Όλοι οι παραπάνω δείκτες αεροπορικού θορύβου είναι και αυτοί ισοδύναμοι δείκτες 24ώρου, με εξαίρεση τον Β ο οποίος είναι ισοδύναμος δείκτης έτους. Δίνουν δηλαδή την υποθετική “μέση”, σταθερή στο 24ωρο, στάθμη αεροπορικού θορύβου, η οποία αντιστοιχεί σε ίση ακουστική ενέργεια με αυτήν της μεταβαλλόμενης πραγματικής στάθμης από τις διελεύσεις αεροσκαφών σε ένα 24ωρο.

Οι δείκτες αυτοί λαμβάνουν υπόψη:

- τη στάθμη θορύβου κάθε μεμονωμένης αεροπορικής κίνησης (δείκτης SEL/EPNL, ή η μέγιστη καταγραφείσα τιμή L_{Amax}/PNL_{max} από το διάγραμμα χρόνου παρατήρησης-εκπεμπόμενου θορύβου κάθε αεροπορικής κίνησης),
- τον αριθμό αεροπορικών κινήσεων που εκτελούνται πάνω από το σημείο ενδιαφέροντος,
- και την ώρα της ημέρας που διεξάγεται η κάθε κίνηση, δίνοντας μάλιστα και ένα συντελεστή βαρύτητας, ή αλλιώς ποινή θορύβου, για τις νυχτερινές πτήσεις καθώς θεωρείται ότι αυτές είναι περισσότερο ενοχλητικές για την κοινότητα σε σχέση με πρωινές ή μεσημεριανές πτήσεις.

Με τους δείκτες αυτούς μετράται ή προβλέπεται η έκθεση μιας κοινότητας στον αεροπορικό θόρυβο, εξάγονται οι σχέσεις θορύβου-ενόχλησης και καθορίζονται οι ζώνες επιτρεπτού αεροπορικού θορύβου γύρω από τα αεροδρόμια.

Ακολουθούν δύο πίνακες που αναφέρουν ποιοι δείκτες χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες καθώς και ποια κλίμακα χρησιμοποιούν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι σπουδαιότεροι δείκτες περιγραφής αεροπορικού θορύβου που χρησιμοποιούνται διεθνώς.

Η.Π.Α.	CNR,CNI,NEF,DNL	Γαλλία	Psophique
Μ. Βρετανία	NEF, NNI	Βέλγιο	Psophique
Ιαπωνία	WECPNL	Γερμανία	Stoerindex Q
Σουηδία	FBN	Ιταλία	WECPNL
Νορβηγία	EFN	Ολλανδία	B
Ελλάδα	NEF	Ιρλανδία	NNI

Πίνακας 1 – Δείκτες αεροπορικού θορύβου που χρησιμοποιούνται σε διάφορες χώρες.

Κλίμακα μέτρησης θορύβου ενός α/φ	Δείκτης που εξάγεται από το διάγραμμα χρόνου-θορύβου	Δείκτες θορύβου που χρησιμοποιούν το κάθε σύστημα
L_A (dB)	SEL (dB)	DNL, CNEL, EFN, WECPNL, FBN, B
PNL (PNdB)	EPNL (EPNdB)	NEF, CNR, CNI, NNI, Psophique

Πίνακας 2 – Κλίμακα που χρησιμοποιούν οι δείκτες αεροπορικού θορύβου.

2.2.1 Δείκτης DNL

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται σήμερα στις Ηνωμένες Πολιτείες από την FAA (Federal Aviation Administration – Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας) και αντικατέστησε τον NEF. Ο τύπος του είναι⁽⁵⁾:

$$DNL = 10 \log(1/86400 * \sum_{j=1}^M 10^{(SEL,j + W_j)/10})$$

Όπου M ο αριθμός των αεροπορικών ηχητικών γεγονότων στο 24ωρο,
 SEL,j η στάθμη θορύβου κατά το δείκτη SEL από το αεροσκάφος j και
 W_j η ποινή θορύβου για το κάθε αεροσκάφος, ίση με 0 αν η κίνηση πραγματοποιείται μεταξύ 07:00-22:00 και ίση με 10dBA αν πραγματοποιείται μεταξύ 22:00-07:00.

Χρήσιμος είναι επίσης και ο δείκτης ετήσιου DNL (DNL_{ann}), ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις τιμές DNL για καθεμάτικη ημέρα από τις 365 του έτους και είναι αυτός που χρησιμοποιείται από την FAA για τον καθορισμό των ορίων συμβατών χρήσεων γης⁽⁵⁾:

$$DNL_{ann} = 10 \log(1/365 * \sum_{i=1}^{365} 10^{DNL,i/10}),$$

όπου DNL,i η τιμή DNL για την i -ημέρα του έτους.

2.2.2 Δείκτης NEF

Ο δείκτης αυτός αντικατέστησε το 1967 στις ΗΠΑ τον CNR και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα σε πολλές χώρες, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα σύμφωνα με το Π.Δ.1178/81. Ο τύπος του είναι⁽⁵⁾:

$$NEF = 10 \log(\sum_{j=1}^M 10^{(EPNL,j + W_j)/10}) - 88$$

όπου $EPNL,j$ η στάθμη θορύβου του j -αεροσκάφους κατά το δείκτη EPNL,
 W_j η ποινή θορύβου για το κάθε αεροσκάφος, ίση με 0 αν η κίνηση πραγματοποιείται μεταξύ 07:00-22:00 και ίση με 12EPNdB αν πραγματοποιείται μεταξύ 22:00-07:00 και M ο αριθμός των αεροπορικών ηχητικών γεγονότων στο 24ωρο

Μια άλλη ισοδύναμη διατύπωση του δείκτη NEF είναι η παρακάτω⁽⁶⁾:

Αν η έκθεση στο θόρυβο που προκαλείται από μια j -κατηγορία σκαφών είναι

$$NEF_j = EPNL_j + 10 \log(N_D + 16.67N_N) - 88,$$

όπου N_D το πλήθος αεροπορικών κινήσεων κατά το διάστημα της ημέρας και N_N το πλήθος αεροπορικών κινήσεων κατά το διάστημα της νύχτας,

τότε η συνολική έκθεση θορύβου NEF από όλες τις κατηγορίες αεροσκαφών είναι

$$NEF = 10 \log [\sum \text{antilog}(NEF_j/10)].$$

Στις αναφορές (4),(7) και (8) δίνονται κι άλλες εναλλακτικές ισοδύναμες εκφράσεις του δείκτη NEF.

2.2.3 Δείκτης NNI

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται ευρέως στη Μεγάλη Βρετανία. Βασίστηκε σε έρευνα το 1961 στις περιοχές γύρω από το αεροδρόμιο του Heathrow. Για τις κινήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας ο δείκτης NNI είναι^{(6),(7),(9),(58)}:

$$NNI_{d,n} = PNL_{max,m} + 15\log N - 80,$$

όπου N είναι ο αριθμός των αεροπορικών κινήσεων που εκτελούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας και

$PNL_{max,m}$ είναι ο ενεργειακός μέσος όρος των μέγιστων τιμών PNL από το διάγραμμα χρόνου-θορύβου κάθε κίνησης που εκτελείται κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας.

Ο ενεργειακός αυτός μέσος όρος δίνεται από τον τύπο:

$$PNL_{max,m} = 10\log[(1/N) * \sum^N_i 10^{(PNL_{max,i}/10)}],$$

όπου N το πλήθος των κινήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας και $PNL_{max,i}$ η μέγιστη στάθμη PNL που καταγράφηκε από την κάθε κίνηση.

Στη συνέχεια, αν είναι NNI_d και NNI_n η έκθεση θορύβου κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας αντίστοιχα όπως υπολογίζονται από τον παραπάνω τύπο, τότε η συνολική ισοδύναμη έκθεση 24ώρου είναι:

$$NNI = 10\log\{antilog(NNI_d/10) + antilog[(NNI_n+17)/10]\}$$

2.2.4 Δείκτης CNR

Ο δείκτης αυτός είναι από τους πρώτους που χρησιμοποιήθηκαν στις ΗΠΑ για την περιγραφή του αεροπορικού θορύβου και αντικαταστάθηκε από τον NEF το 1967. Η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο από την j – κατηγορία αεροσκαφών είναι^{(6),(7)}:

$$CNRj = PNL_{max,m,j} + 10\log(N_{Dj} + 20N_{Nj}) - 12 ,$$

Όπου N_{Dj} το πλήθος των κινήσεων αεροσκαφών τύπου j κατά τη διάρκεια της ημέρας,

N_{Nj} το πλήθος των κινήσεων αεροσκαφών τύπου j κατά τη διάρκεια της νύχτας και

$PNL_{max,m,j}$ ο ενεργειακός μέσος όρος των μεγίστων τιμών PNL για την κατηγορία j, όπως ορίζεται και στο δείκτη NNI παραπάνω.

Τότε η συνολική έκθεση θορύβου από όλες τις κατηγορίες αεροσκαφών θα είναι:

$$CNR = 10\log [\Sigma antilog(CNRj/10)],$$

όπου M το πλήθος των διαφορετικών -ως προς το θόρυβο- κατηγοριών αεροσκαφών.

Παραλλαγή του δείκτη CNR αποτελεί ο δείκτης CNI, στον οποίο απλά οι διάφοροι συντελεστές έχουν διαφορετικές τιμές.

2.2.5 Δείκτης FBN

Ο Συνηδικός αυτός δείκτης αποτελεί παραλλαγή του παλαιότερου δείκτη CNR. Η έκθεση θορύβου με βάση το δείκτη FBN δίνεται από τον τύπο⁽¹¹⁾:

$$FBN = 10 \log \left[\sum_{i=1}^N 10^{(L_{Agi}/10)} \right],$$

$$\text{με } L_{Agi} = L_{Agih} + 10 \log [(N_D + 3N_K + 10N_N)/24],$$

όπου L_{Agih} είναι η μέγιστη στάθμη θορύβου σε dBA που καταγράφηκε από τα διαγράμματα χρόνου-θορύβου τουλάχιστον 3 φορές μέσα στο 24ωρο για την n -κατηγορία αεροσκαφών,
 N_D είναι ο αριθμός των κινήσεων μεταξύ 7μμ-7μμ,
 N_K ο αριθμός των κινήσεων μεταξύ 7μμ-10μμ,
 N_N ο αριθμός των κινήσεων μεταξύ 10μμ-7μμ και
 n το πλήθος διαφορετικών -ως προς το θόρυβο- κατηγοριών αεροσκαφών.

2.2.6 Δείκτης WECPNL

Πρόκειται για το δείκτη περιγραφής αεροπορικού θορύβου που χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία και την Ιταλία και είναι ο δείκτης που είχε προταθεί αρχικώς από τον ICAO. Σύμφωνα με αυτόν, η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο είναι⁽¹²⁾:

$$WECPNL = L_{Amax,m} + 10 \log N - 27,$$

όπου $L_{Amax,m}$ ο ενεργειακός μέσος όρος των μέγιστων τιμών L_A που καταγράφηκαν από τα διαγράμματα χρόνου-θορύβου κάθε αεροπορικής κίνησης σε dBA,
 N η τιμή της εξίσωσης $N = N_2 + 3N_3 + 10(N_1 + N_4)$,
με N_1 τον αριθμό των αεροπορικών κινήσεων μεταξύ 24:00-07:00,
 N_2 τον αριθμό κινήσεων μεταξύ 10:00-12:00,
 N_3 τον αριθμό κινήσεων μεταξύ 19:00-22:00 και
 N_4 τον αριθμό κινήσεων μεταξύ 22:00-24:00.

Ο ενεργειακός μέσος όρος $L_{Amax,m}$ δίνεται από τον τύπο:

$$L_{Amax,m} = 10 \log \left[(1/N) * \sum_{i=1}^N 10^{(L_{Amax,i}/10)} \right],$$

όπου N το πλήθος όλων των αεροπορικών κινήσεων και $L_{Amax,i}$ η μέγιστη στάθμη L_A που καταγράφηκε από την κάθε κίνηση.

2.2.7 Δείκτης Β

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε κατά το παρελθόν στην Ολλανδία και η ιδιομορφία του είναι ότι προσδιορίζεται για τη χρονική περίοδο ενός έτους. Παραλλαγή του αποτελεί ο B_{65} που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες του αεροδρομίου Schiphol του Άμστερνταμ. Σύμφωνα με το δείκτη B η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο είναι^{(7),(58)}:

$$B = 20 \log \left[\sum_{i=1}^M (n_i 10^{L_{Amax,i}/15}) \right] - 157 ,$$

όπου $L_{Amax,i}$ η μέγιστη στάθμη θορύβου του διαγράμματος χρόνου-θορύβου κάθε αεροπορικής κίνησης σε dBA,

Μ ο αριθμός των ηχητικών γεγονότων (αεροπορικές κινήσεις) κατά τη διάρκεια ενός έτους n_i μια σταθερά που εκφράζει την ποινή θορύβου για καθεμιά νυχτερινή κίνηση,

με $n=1$ για κινήσεις μεταξύ 08:00-18:00,

$n=2$ για κινήσεις μεταξύ 18:00-19:00,

$n=3$ για κινήσεις μεταξύ 19:00-20:00,

$n=4$ για κινήσεις μεταξύ 07:00-08:00 και 20:00-21:00,

$n=6$ για κινήσεις μεταξύ 21:00-22:00,

$n=8$ για κινήσεις μεταξύ 06:00-07:00 και 22:00-23:00 και

$n=10$ για κινήσεις μεταξύ 23:00-06:00

2.2.8 Δείκτης Psophique

Πρόκειται για το δείκτη περιγραφής αεροπορικού θορύβου που χρησιμοποιείται στη Γαλλία και το Βέλγιο. Συμβολίζεται με το γράμμα I και ο τύπος του είναι^{(52),(58)}:

$$I = 10 \log \left(\sum_{j=1}^M 10^{(PNL_{max,j} + W_j)} \right) - 32 ,$$

όπου $PNL_{max,i}$ η μέγιστη στάθμη θορύβου του διαγράμματος χρόνου-θορύβου κάθε αεροπορικής κίνησης σε PNdB και

W_j η ποινή θορύβου ίση με 10PNdB αν η κίνηση είναι μεταξύ 22:00-06:00 και 0 αν είναι μεταξύ 06:00-22:00

2.2.9 Δείκτης Time-Above

Ο δείκτης αυτός δίνει το συνολικό χρόνο σε δευτερόλεπτα μέσα στο διάστημα παρατήρησης (συνήθως 24 ώρες) όπου η στάθμη θορύβου ξεπέρασε ένα συγκεκριμένο όριο. Το όριο αυτό είναι συνήθως τα 60dBA για εξωτερικούς χώρους ή 75dBA για εσωτερικούς χώρους και ονομάζεται Στάθμη Διαταραχής Συνομιλίας (Speech Interference Level - SIL). Θεωρείται ότι ο αεροπορικός θόρυβος διακόπτει την ομαλή συνομιλία μεταξύ 2 ατόμων στις παραπάνω στάθμες θορύβου. Στη βιβλιογραφία ο δείκτης αυτός αναφέρεται και ως D_{60} ή D_{75} αντίστοιχα⁽⁶⁾.

2.3 Ποινές δεικτών αεροπορικού θορύβου

Οι δείκτες θορύβου όπως προαναφέρθηκε δίνουν την ισοδύναμη 24ωρη έκθεση αεροπορικού θορύβου σε μια κοινότητα κοντά σε ένα αεροδρόμιο, συναρτήσει της στάθμης θορύβου που εκπέμπουν τα αεροσκάφη, της συχνότητας διέλευσης αυτών και της ώρας που συμβαίνει το κάθε ηχητικό γεγονός. Από τους τρεις αυτούς παράγοντες, αντός που έχει περισσότερο ενδιαφέρον είναι η ώρα εκτέλεσης της κάθε αεροπορικής κίνησης, καθώς ο κάθε δείκτης από τους παραπάνω την αντιμετωπίζει διαφορετικά.

Η ποινή θορύβου για μια κίνηση κατά τη διάρκεια της νύχτας διαφέρει σημαντικά από δείκτη σε δείκτη. Όπως φαίνεται και από τους Πίνακες 3 και 4 κάποιοι δείκτες επιβάλλουν την ποινή προσθέτοντας μια συγκεκριμένη τιμή, ανάλογα με την ώρα εκτέλεσης της κίνησης, στη στάθμη θορύβου της μεμονωμένης κίνησης, ενώ άλλοι τη λαμβάνουν υπόψη πολλαπλασιάζοντας το πλήθος των νυχτερινών κινήσεων με ένα συντελεστή.

Διαφέρει επίσης από δείκτη σε δείκτη και το διάστημα του 24ώρου στο οποίο επιβάλλεται ποινή θορύβου. Υπάρχουν δείκτες όπου δίνουν κάποια ποινή για τις νυχτερινές μόνο κινήσεις και μηδενική για τις μεσημεριανές ή πρωινές (πχ NEF, DNL, Psophique), ενώ άλλοι όπως ο FBN ή ο WECPNL δίνουν την ποινή ως συνεχή συνάρτηση της ώρας της ημέρας, δίνοντας και ενδιάμεσες τιμές για τις απογευματινές πτήσεις. Οι τελευταίοι αυτοί δείκτες θεωρούν δηλαδή ότι μια αεροπορική κίνηση καθίσταται ολοένα και πιο ενοχλητική για την κοινότητα καθώς περνάει η ώρα.

Έτσι διαφορετική είναι από δείκτη σε δείκτη η αντίληψη της έννοιας “νυχτερινή κίνηση”. Οι δείκτες DNL και NEF επιβάλλουν ποινή για κίνηση μεταξύ των ωρών 22:00 και 07:00, θεωρώντας ότι αυτό είναι το διάστημα όπου μια κίνηση είναι νυχτερινή και επομένως επιτλέον ενοχλητική. Ο δείκτης Psophique επιβάλει ποινή θορύβου στις κινήσεις μεταξύ 22:00 και 06:00, ενώ ο δείκτης FBN επιβάλλει θεωρεί νυχτερινή κίνηση επίσης στο διάστημα 22:00-07:00, όμως δίνει συντελεστή βαρύτητας και στο διάστημα 19:00-22:00. Ο B επιβάλλει τη μέγιστη ποινή θορύβου για κίνηση μεταξύ των ωρών 23:00-06:00 με μικρότερες τιμές για τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας, ο WECPNL επιβαρύνει ξεχωριστά τις κινήσεις στα διαστήματα 10:00-12:00, 19:00-22:00 και 22:00-07:00, αγνοώντας τις κινήσεις που πραγματοποιούνται κατά τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου., ενώ τέλος ο EFN δίνει μέγιστη ποινή για νυχτερινές κινήσεις και ενδιάμεσες τιμές για απογευματινές. Οι υπόλοιποι δείκτες, NNI και CNR, δεν καθορίζουν επακριβώς ποιο διάστημα του 24ώρου θεωρείται ως “νύχτα”.

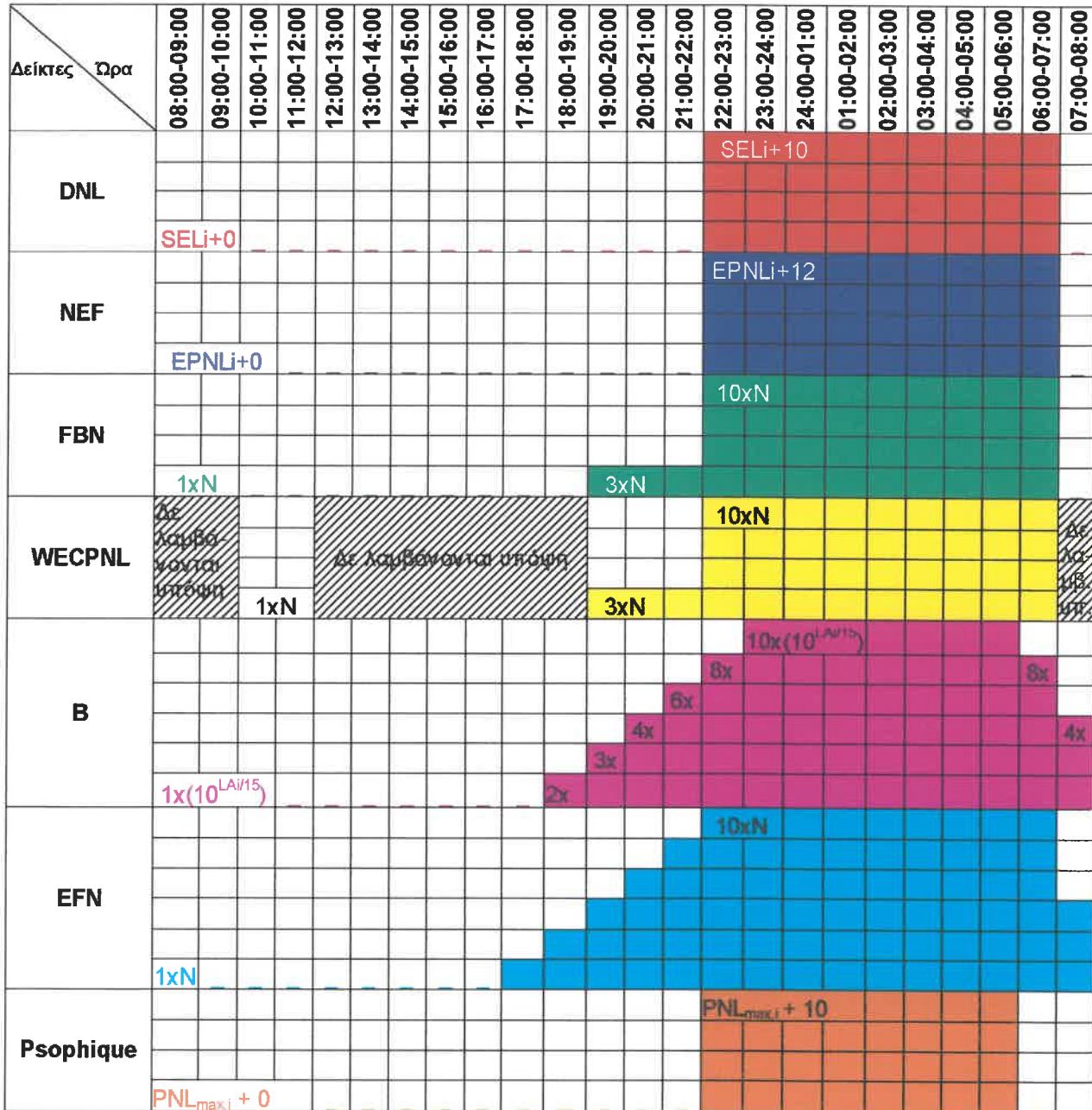
Το σκεπτικό της επιβολής ποινής και για τις απογευματινές πτήσεις είναι ίσως ότι στις βόρειες χώρες, όπως η Σουηδία, η Νορβηγία, η Ιαπωνία κ.α., η μικρότερη διάρκεια ημέρας επιβάλλει να ληφθούν υπόψη ως ενοχλητικές για την κοινότητα και οι απογευματινές κινήσεις με κάποιο χαμηλότερο συντελεστή, αφού οι δραστηριότητες του πληθυσμού σταματούν νωρίτερα και επομένως η έναρξη της ανάπτυσης ξεκινά κι αυτή νωρίτερα.

Πάντως τα παραπάνω χρονικά όρια των δεικτών δεν είναι δεσμευτικά. Κάθε κράτος έχει τη δυνατότητα τροποποίησης του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο μια αεροπορική κίνηση θεωρείται επιπλέον ενοχλητική, ανάλογα με τις ανάγκες του και με τις εκάστοτε κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της υπόψη χώρας. Ως παράδειγμα αναφέρονται τα ελληνικά

αεροδρόμια, στα οποία ορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία ως έναρξη νύχτας οι 22:00 και λήξη οι 07:00⁽⁴⁾.

Δείκτης	Ποινή νυχτερινής κίνησης	
	Διάστημα	Ποινή
DNL	22:00-07:00	SEL _j + 10dBA
	07:00-22:00	SEL _j + 0dBA
NEF	22:00-07:00	EPNL _j + 12EPNdB
	07:00-22:00	EPNL _j + 0EPNdB
NNI	Δεν ορίζει	NNI _n + 17
CNR	Δεν ορίζει	20*N _{Dj}
FBN	07:00-19:00	1*N _D
	19:00-22:00	3*N _K
	22:00-07:00	10*N _N
WECPNL	24:00-07:00	10*N ₁
	07:00-10:00	0
	10:00-12:00	1*N ₂
	12:00-19:00	0
	19:00-22:00	3*N ₃
	22:00-24:00	10*N ₄
B	08:00-18:00	1*(10 ^{LAI/15})
	18:00-19:00	2*(10 ^{LAI/15})
	19:00-20:00	3*(10 ^{LAI/15})
	20:00-21:00	4*(10 ^{LAI/15})
	21:00-22:00	6*(10 ^{LAI/15})
	22:00-23:00	8*(10 ^{LAI/15})
	23:00-06:00	10*(10 ^{LAI/15})
	06:00-07:00	8*(10 ^{LAI/15})
	07:00-08:00	6*(10 ^{LAI/15})
	08:00-18:00	1*(10 ^{LAI/15})
EFN	22:00-07:00	10*N _D
	07:00-22:00	Ενδιάμεσες τιμές
Psophique	22:00-06:00	PNL _{max,i} + 10PNdB
	06:00-22:00	PNL _{max,i} + 0PNdB

Πίνακας 3 – Ποινές θορύβου για τον κάθε δείκτη συναρτήσει της ώρας εκτέλεσης μιας κίνησης.



Πίνακας 4 – Γραφική απεικόνιση ποινών θορύβου για τον κάθε δείκτη συναρτήσει της ώρας εκτέλεσης μιας κίνησης.

2.4 Συσχέτιση δεικτών αεροπορικού θορύβου

Τέλος, όσον αφορά τη σχέση μεταξύ των δεικτών, ο W.R. Hazard⁽⁶⁾ ύστερα από έρευνα το 1972 κατέληξε ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δεικτών CNR, NEF και NNI. Συγκεκριμένα αποδείχτηκε ότι ισχύουν προσεγγιστικά οι εξής σχέσεις :

$$\text{CNR} = \text{NEF} + 72$$

$$\text{CNR} = \text{NNI} + 56$$

Επίσης οι Horonjeff και McKelvey⁽⁵⁾ δίνουν μια σχέση μεταξύ DNL, NEF και CNR που ισχύει προσεγγιστικά με σφάλμα $\pm 3\text{dB}$:

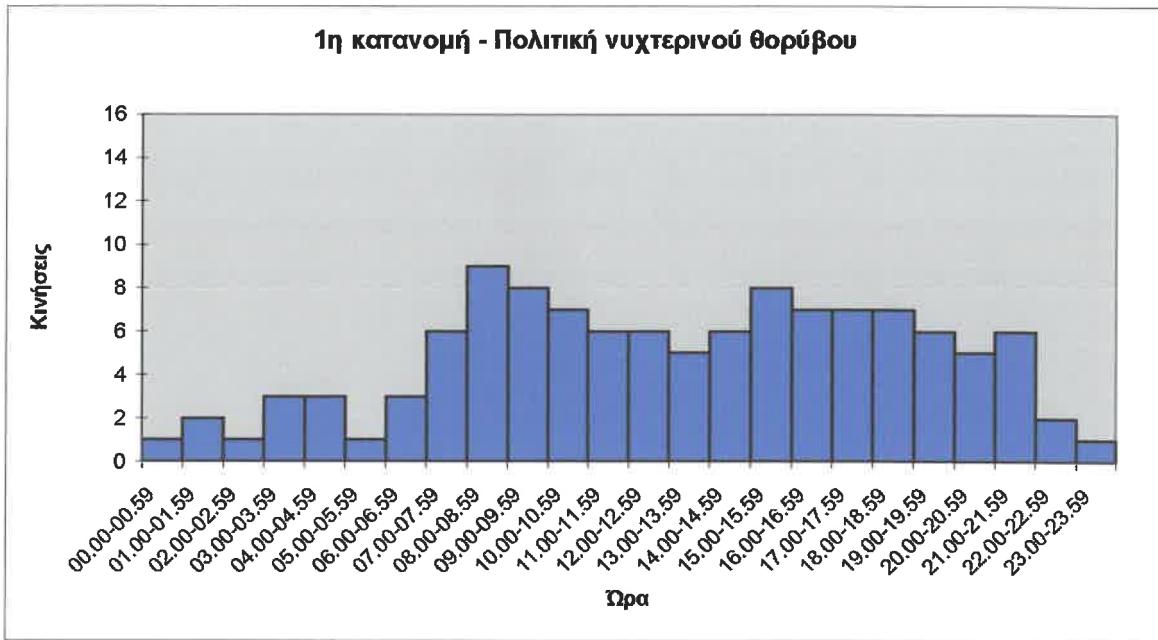
$$\text{DNL} = \text{NEF} + 35 = \text{CNR} - 35$$

Έτσι για παράδειγμα τιμή DNL ίση με 65, CNR ίση με 100 και NEF ίση με 30 δίνουν σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση την ίδια έκθεση σε αεροπορικό θόρυβο.

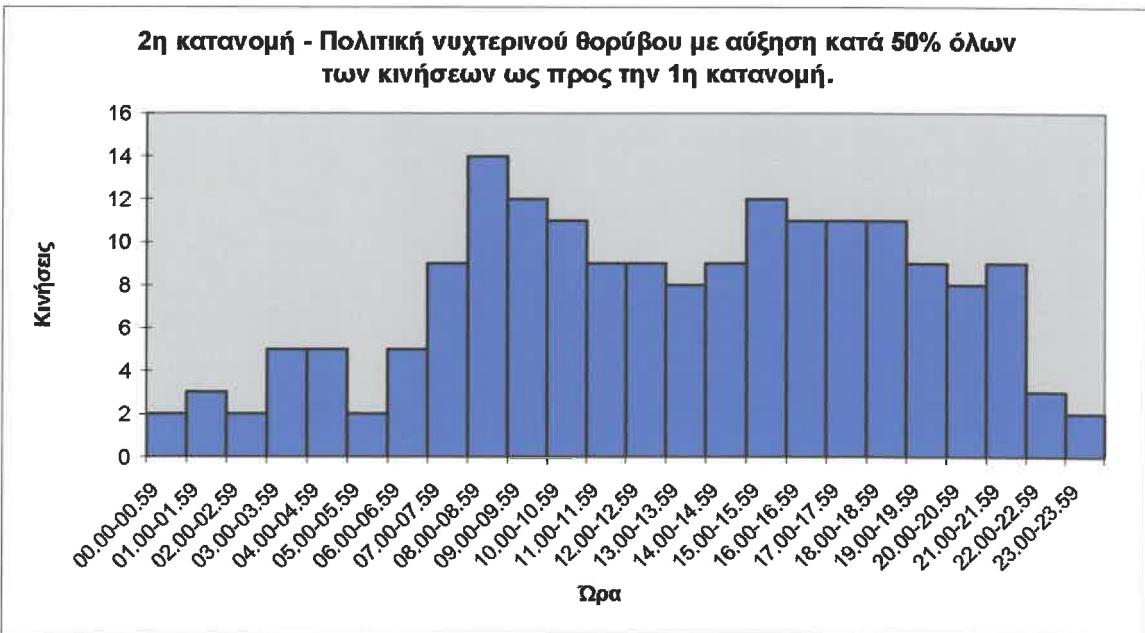
Για την επαλήθευση των παραπάνω σχέσεων μεταξύ των δεικτών αεροπορικού θορύβου θεωρήθηκαν τρία υποθετικά σενάρια κατανομών αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο, τα οποία αποδίδουν την κατάσταση που επικρατεί πάνω από ένα θεωρητικό σημείο μέτρησης. Τα σενάρια αυτά είναι τα εξής:

- 1^o Σενάριο: αρχική κατανομή αεροπορικών κινήσεων εφαρμόζοντας πολιτική νυχτερινού θορύβου, δηλαδή λιγότερες κινήσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- 2^o Σενάριο: αύξηση των κινήσεων κατά 50% για όλες τις ώρες, σε σχέση με το 1^o Σενάριο.
- 3^o Σενάριο: αύξηση των νυχτερινών αεροπορικών κινήσεων κατά 5 για κάθε ώρα, σε σχέση με το 1^o Σενάριο, θεωρώντας ως νυχτερινές κινήσεις αυτές που γίνονται στο διάστημα 22:00-07:00.

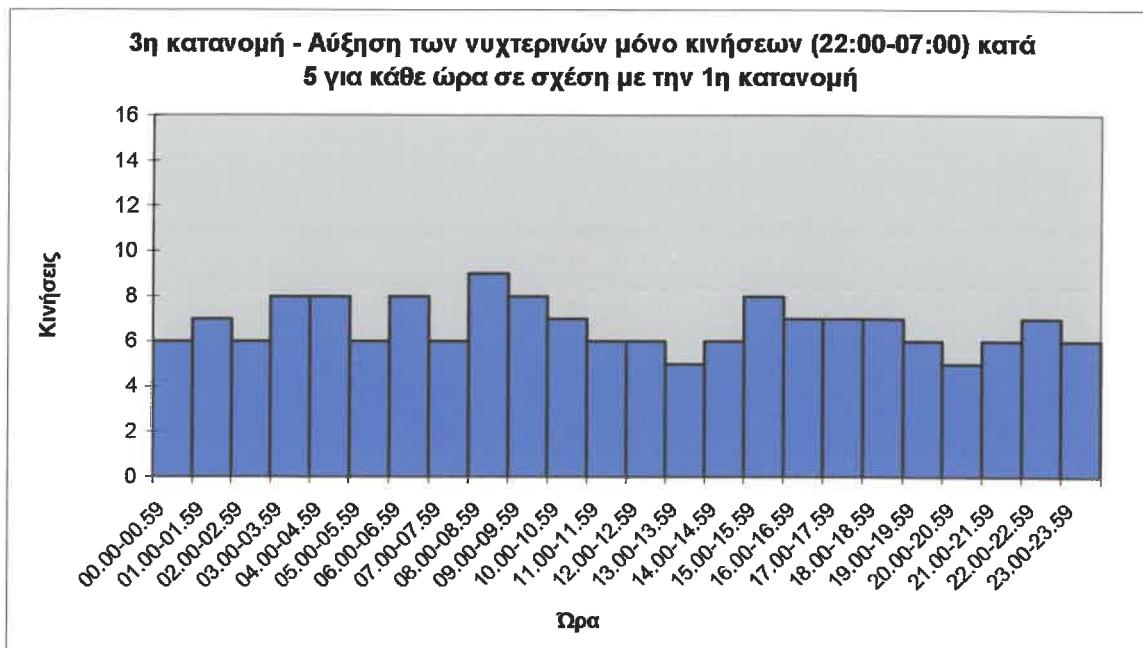
Οι κατανομές αυτές των αεροπορικών κινήσεων δίνονται εποπτικά στα παρακάτω διαγράμματα 3,4 και 5.



Διάγραμμα 3 – 1^ο Σενάριο κατανομής αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο.

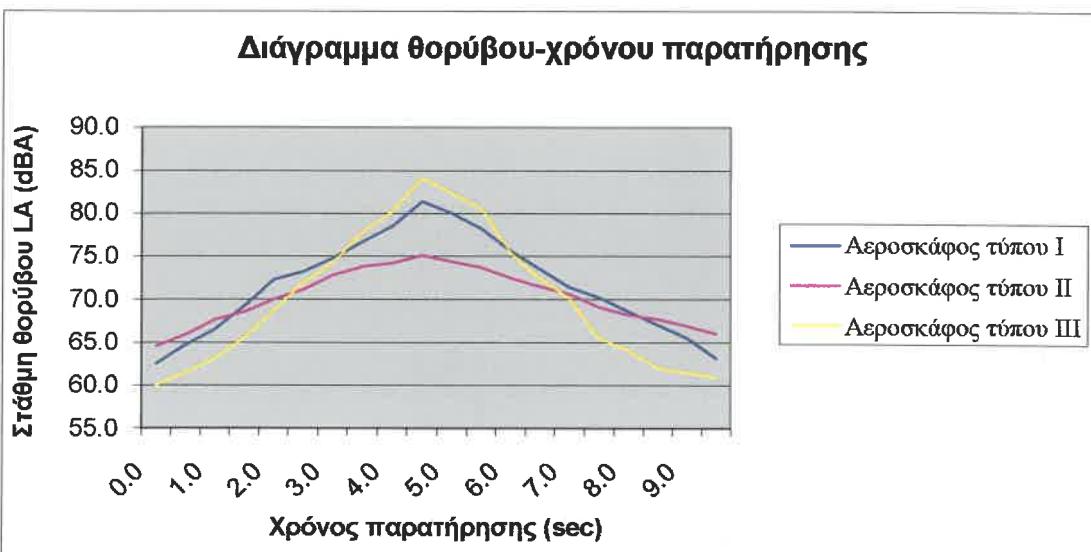


Διάγραμμα 4 – 2^ο Σενάριο κατανομής αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο.

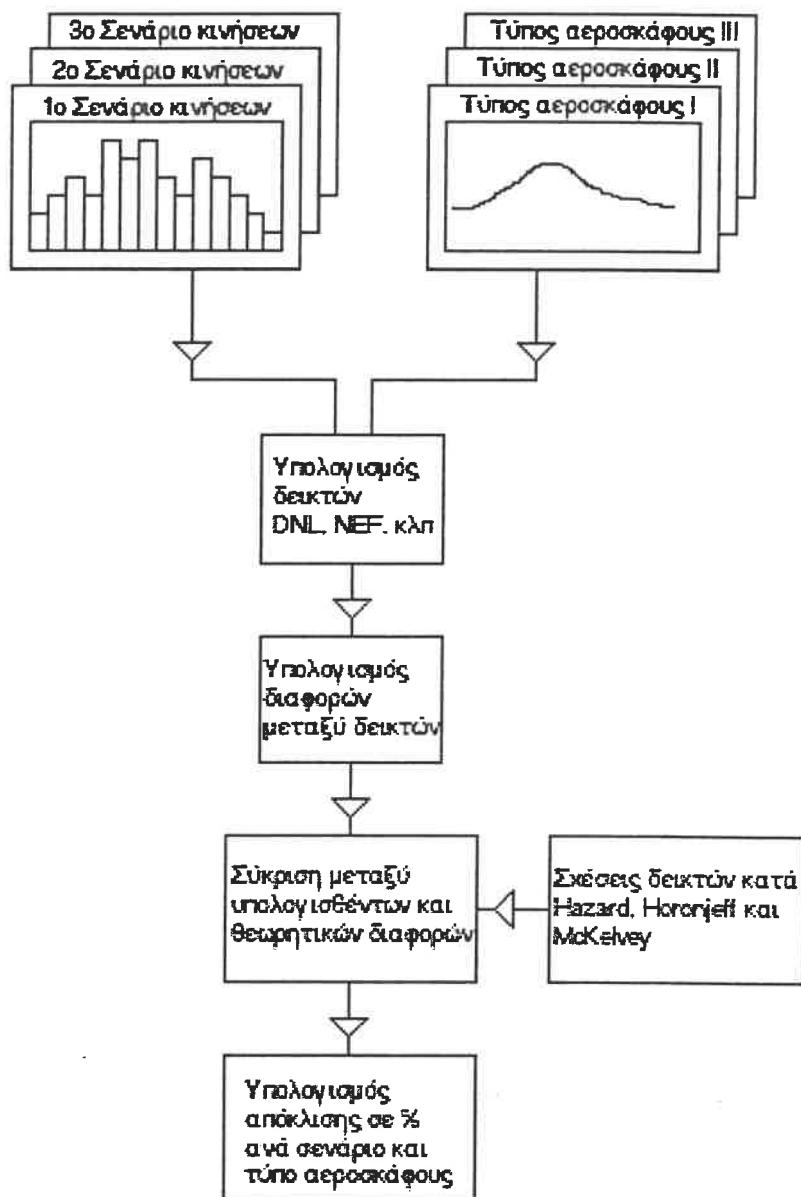


Διάγραμμα 5 – 3^ο Σενάριο κατανομής αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο.

Υποθέτουμε επίσης ότι τοποθετούμε στο σημείο μέτρησης ένα ηχόμετρο, το οποίο καταγράφει τις στάθμες θορύβου συναρτήσει του χρόνου παρατήρησης για τα αεροσκάφη που διέρχονται πάνω από το σημείο αυτό, σύμφωνα με τα παραπάνω 3 σενάρια αεροπορικών κινήσεων. Για απλοποίηση στους υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι όλες οι κινήσεις γίνονται από ένα μόνο τύπο αεροσκαφών, δηλαδή είτε όλες γίνονται με αεροσκάφος τύπου I, είτε με τύπου II, είτε με τύπου III. Το διάγραμμα θορύβου-χρόνου για τους τρεις διαφορετικούς τύπους αεροσκαφών δίδεται παρακάτω⁽⁵⁾, ενώ η διαδικασία υπολογισμού των ζητουμένων δίδεται στο Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 6 – Υποθετικά διαγράμματα θορύβου-χρόνου για τη σύγκριση των δεικτών αεροπορικού θορύβου.



Διάγραμμα 7 – Μέθοδος για τον έλεγχο της ακρίβειας των προτεινόμενων κατά Horonjeff, McKelvey, Hazard σχέσεων μετασχηματισμού δεικτών αεροπορικού θορύβου.

Τα παραπάνω δεδομένα εισήχθησαν στους τύπους των δεικτών αεροπορικού θορύβου, όπως αυτοί ορίζονται παραπάνω. Σημειώνεται πως για τους δείκτες CNR και NNI, στους οποίους δεν καθορίζεται σαφώς σε ποιο διάστημα του 24ώρου πρέπει να επιβληθεί ποινή θορύβου στις κινήσεις, θεωρήθηκε ότι ημέρα είναι το διάστημα 07:00-22:00 και νύχτα το 22:00-07:00. Τα αποτελέσματα των δεικτών αεροπορικού θορύβου βάσει των παραπάνω σεναρίων αεροπορικών κινήσεων και τύπων αεροσκαφών δίνονται στον Πίνακα 5.

Όπως φαίνεται και στον πίνακα αυτόν, τα αποτελέσματα των δεικτών για τις τρεις κατανομές αεροπορικών κινήσεων και τους τρεις τύπους αεροσκαφών συμφωνούν με τα αποτελέσματα ερευνών των W.R Hazard και Horonjeff-McKelvey (αποκλίσεις από -1,4% έως 16.5% για τις σχέσεις CNR-NEF, CNR-NNI, DNL-NEF), με εξαίρεση τη σχέση των δεικτών CNR και DNL, περίπτωση η οποία αποκλίνει κατά πολύ από την προβλεπόμενη σχέση των Horonjeff-McKelvey (απόκλιση από 32.3% έως 45.7%). Η διαφορά αυτή ίσως οφείλεται στην ανωτέρω παραδοχή για το χρονικό διάστημα επιβολής ποινής θορύβου κατά τον υπολογισμό του δείκτη CNR.

Διαφορά CNR-NEF								
	1o Σενάριο - Τύπος α/φ I	1o Σενάριο - Τύπος α/φ II	2o Σενάριο - Τύπος α/φ III	2o Σενάριο - Τύπος α/φ I	2o Σενάριο - Τύπος α/φ II	3o Σενάριο - Τύπος α/φ III	3o Σενάριο - Τύπος α/φ I	3o Σενάριο - Τύπος α/φ II
CNR	108.82	102.52	111.62	111.05	104.75	113.85	113.67	107.37
NEF	26.49	22.93	27.94	28.69	25.14	30.14	31.17	27.61
Υπολογ. Διαφορά Hazard	82.33	79.59	83.68	82.36	79.61	83.71	82.5	79.76
Απόκλιση	14.3%	10.5%	16.2%	14.4%	10.6%	16.3%	14.6%	10.8%
Διαφορά CNR-NNI								
CNR	108.82	102.52	111.62	111.05	104.75	113.85	113.67	107.37
NNI	50.93	44.63	53.73	54.27	47.97	57.07	58.46	52.16
Υπολογ. Διαφορά Hazard	57.89	57.89	57.89	56.78	56.78	56.78	55.21	55.21
Απόκλιση	3%	3.4%	3.4%	1.4%	1.4%	1.4%	-1.4%	-1.4%
Διαφορά DNL-NEF								
DNL	59.76	56.20	61.21	61.92	58.36	63.36	64.03	60.47
NEF	26.49	22.93	27.94	28.69	25.14	30.14	31.17	27.61
Υπολογ. Διαφορά Hazard	33.27	33.27	33.27	33.23	33.23	33.22	32.86	32.86
Διαφορά Horonjeff	35	35	35	35	35	35	35	35
Απόκλιση	-4.9%	-4.9%	-4.9%	-5.1%	-5.1%	-5.1%	-6.1%	-6.1%
Διαφορά CNR-DNL								
CNR	108.82	102.52	111.62	111.05	104.75	113.85	113.67	107.37
DNL	59.76	56.20	61.21	61.92	58.36	63.36	64.03	60.47
Υπολογ. Διαφορά Hazard	49.06	46.32	50.41	49.13	46.39	50.49	49.64	46.9
Διαφορά Horonjeff	35	35	35	35	35	35	35	35
Απόκλιση	40.2%	32.3%	44.0%	40.4%	32.5%	44.3%	41.8%	34.0%

Πίνακας 5 – Αποτελέσματα υπολογισμού δεικτών αεροπορικού θορύβου και σύγκριση με τις αντίστοιχες σχέσεις μετασχηματισμού των Hazard, Horonjeff, McKelvey ανά σενάριο κινήσεων και τύπο αεροσκάφους.

2.5 Σχολιασμός δεικτών αεροπορικού θορύβου

Ένα σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να προσεχθεί στους ισοδύναμους δείκτες περιγραφής αεροπορικού θορύβου είναι ο αθροιστικός τους χαρακτήρας. Όπως υποστηρίζει και η FAA⁽⁴³⁾, οι δείκτες αυτοί, λαμβάνοντας υπόψη την ένταση, τον αριθμό και την ώρα εκτέλεσης των ηχητικών γεγονότων, αποδίδουν μια συνολική “μέση” κατάσταση αεροπορικού θορύβου σε μια κοινότητα, υποβαθμίζοντας ίσως τη σημασία του θορύβου που προκαλεί ένα μεμονωμένο ηχητικό γεγονός.

Πράγματι, ας υποθέσουμε σε ένα σημείο μέτρησης τρεις διαφορετικές περιπτώσεις συνδυασμού αριθμού διελεύσεων αεροσκαφών και έντασης της καθεμιάς, με την παραδοχή ότι όλες γίνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας για απλοποίηση στους υπολογισμούς:

- 500 κινήσεις στο 24ωρο με μέσο SEL=82.4 η καθεμία
=> DNL=10log[1/86400 x 500 x 10^{82.4/10})]= 60
- 100 κινήσεις στο 24ωρο με μέσο SEL=89.4 η καθεμία
=> DNL=10log[1/86400 x 100 x 10^{89.4/10})]= 60
- 50 κινήσεις στο 24ωρο με μέσο SEL=92.4 η καθεμία
=> DNL=10log[(1/86400 x 50 x 10^{92.4/10})]= 60

Συνοπτικά:

αριθμός κινήσεων α/φ	μέσο SEL καθεμιάς	DNL
500	82.4dBA	60
100	89.4dBA	60
50	92.4dBA	60

Πίνακας 6 - Πιθανοί συνδυασμοί επίτευξης 60DNL.

Φαίνεται δηλαδή ότι τα 60DNL μπορούν να επιτευχθούν με πολλούς συνδυασμούς. Έτσι είναι δυνατόν ο ισοδύναμος δείκτης να μην αντικατοπτρίζει την πραγματική κατάσταση θορύβου σε μια περιοχή, όσον αφορά την ενόχληση της κοινότητας για ένα στιγμαίο ηχητικό γεγονός. Για παράδειγμα έστω δύο κοινότητες, η μία κοντά σε ένα μικρό αεροδρόμιο (πχ 50 κινήσεις στο 24ωρο) και μία κοντά σε ένα μεγάλο (πχ 500 κινήσεις στο 24ωρο). Εστω επίσης ότι και οι δύο εκτίθενται σε αεροπορικό θόρυβο 60DNL. Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα είναι δυνατό η μέση στάθμη θορύβου κάθε κίνησης για το μικρό αεροδρόμιο να είναι SEL = 92.4dBA, ενώ για το μεγάλο SEL = 82.4dBA. Έτσι ναι μεν μπορεί να υποστηρίζει κανείς ότι και οι δύο κοινότητες εκτίθενται σε ίσο “μέσο” αεροπορικό θόρυβο, όμως είναι εμφανές πως οι κάτοικοι κοντά στο μικρό αεροδρόμιο θα ενοχλούνται πολύ περισσότερο κάθε φορά που θα διέρχεται ένα αεροσκάφος (92.4dBA έναντι 82.4dBA κάθε διέλευσης).

Το συμπέρασμα είναι πως η χρήση ισοδύναμων δεικτών (DNL, NEF, NNI κλπ) δίνουν μεν μια - αναμφίβολα χρήσιμη- εποπτική κατάσταση της έκθεσης μιας κοινότητας σε αεροπορικό θόρυβο, όμως αδυνατούν σε κάποιο βαθμό να αποδώσουν την ενόχληση από μεμονωμένα ηχητικά γεγονότα. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό πιθανών μέτρων αντιμετώπισης του θορύβου.

3 Μέθοδοι εκτίμησης αεροπορικού θορύβου

Όσον αφορά την εκτίμηση της έκθεσης μιας κοινότητας σε θόρυβο αεροδρομίου, υπάρχουν δύο εναλλακτικοί τρόποι.

Ο πρώτος είναι η τοποθέτηση ειδικών οργάνων μέτρησης (ηχόμετρα), μεμονωμένων ή συστήματος, σε σημεία ενδιαφέροντος και η καταγραφή του θορύβου από αυτά χρησιμοποιώντας κάποιον από τους προαναφερθέντες δείκτες. Η εκτίμηση θορύβου που δίνουν είναι η πραγματική (real-time) κατάσταση θορύβου που επικρατεί στην υπόψην περιοχή.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η πρόβλεψη της έκθεσης αεροπορικού θορύβου με τη βοήθεια ανεπτυγμένων μοντέλων θορύβου. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε θεωρίες ακουστικής και πειραματικές έρευνες, είναι προγραμματισμένα για χρήση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και δίνουν την προβλεπόμενη έκθεση θορύβου με κάποιον από τους γνωστούς δείκτες, είτε για την παρούσα χρονική στιγμή είτε για μια μελλοντική. Χρησιμοποιούνται ευρέως κατά το στάδιο μελέτης ενός μελλοντικού αερολιμένα για την εκτέλεση της απαραίτητης περιβαλλοντικής μελέτης.

Το μοντέλο υπερτερεί της χρήσης ηχομέτρου, καθώς έχει τη δυνατότητα εξαγωγής ισοθορυβικών καμπυλών για όλη την περιοχή του αεροδρομίου, ενώ τα συστήματα ηχομέτρων δίνουν την έκθεση θορύβου μόνο για μια μικρή περιοχή γύρω από το σημείο όπου είναι τοποθετημένα. Επίσης η δυνατότητα πρόβλεψης μελλοντικών καταστάσεων αεροπορικού θορύβου γύρω από ένα αεροδρόμιο τα καθιστά πολύτιμο εργαλείο για τη λήψη προληπτικών μέτρων αντιμετώπισης. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο τρόπων εκτίμησης του αεροπορικού θορύβου δίνονται συνοπτικά στους Πίνακες 7 και 8. Πάντως τόσο η χρήση ηχομέτρων όσο και η εφαρμογή μοντέλων πρόβλεψης θορύβου είναι αποδεκτές από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δύο αυτές μέθοδοι εκτίμησης του αεροπορικού θορύβου.

Μέτρηση αεροπορικού θορύβου με χρήση οργάνων	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ακριβέστερη εκτίμηση του θορύβου για το σημείο μέτρησης	Τοπική εκτίμηση αεροπορικού θορύβου (μόνο για το σημείο μέτρησης)
Δυνατότητα για ταυτόχρονη χρήση με ειδική τηλεφωνική γραμμή και συσχέτιση παραπόνων με καταγεγραμμένες κινήσεις	Υψηλό κόστος σταθερών σταθμών μέτρησης

Πίνακας 7 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μέτρησης αεροπορικού θορύβου με χρήση οργάνων.

Πρόβλεψη αεροπορικού θορύβου με χρήση μοντέλων	
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πρόβλεψη θορύβου για όλο το γεωγραφικό χώρο γύρω από το αεροδρόμιο	Λιγότερο ακριβής εκτίμηση θορύβου από ότι τα ηχόμετρα
Δυνατότητα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου και για μελλοντικές καταστάσεις κινήσεων του αεροδρομίου	Μεγάλος όγκος απαιτούμενων δεδομένων

Πίνακας 8 – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου με χρήση μοντέλων.

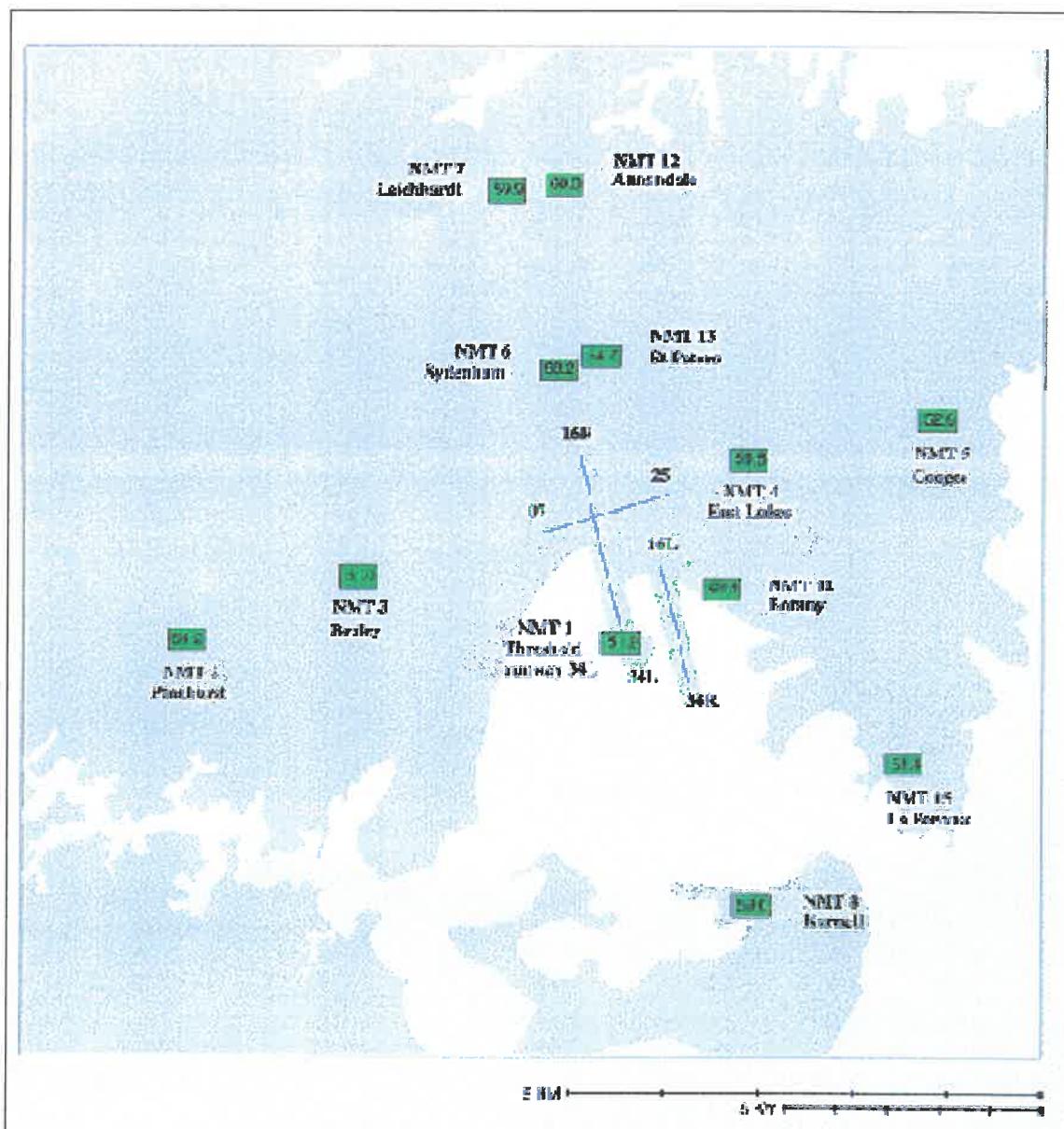
3.1 Όργανα μέτρησης αεροπορικού θορύβου

Πρόκειται για κινητά ή σταθερά συστήματα ηχομέτρησης του αεροπορικού θορύβου. Τα αεροδρόμια χρησιμοποιούν συνήθως διατάξεις σταθερών ηχομέτρων τα οποία δίνουν την έκθεση αεροπορικού θορύβου στα σημεία όπου είναι τοποθετημένα (στις γύρω κοινότητες κυρίως) εκφρασμένη με διάφορους δείκτες, ανάλογα με την κατασκευή τους και τις απαιτήσεις της διοίκησης του αεροδρομίου. Οι διατάξεις αυτές είναι συνδεδεμένες με έναν κεντρικό υπολογιστή στο κέντρο διοίκησης του αεροδρομίου, όπου αποστέλλονται οι καταγεγραμμένες μετρήσεις προς επεξεργασία.

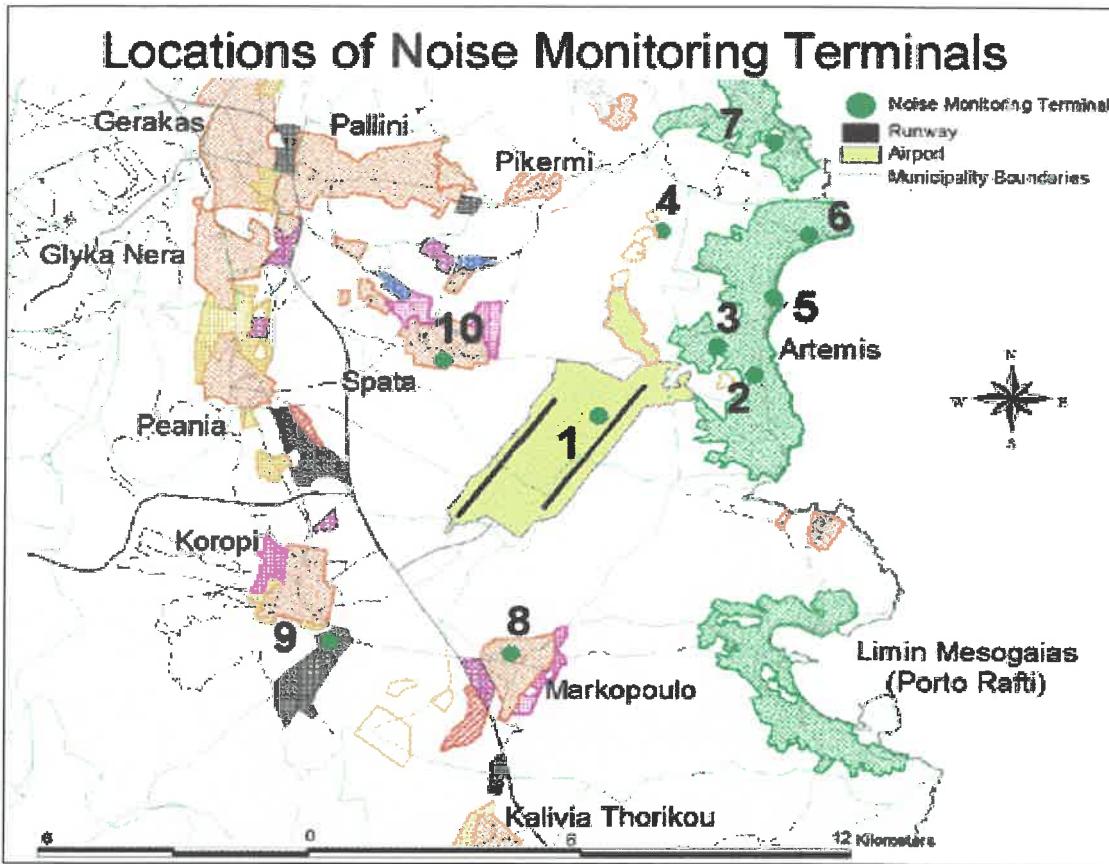
Εκτός από την εκτίμηση της έκθεσης θορύβου, τα συστήματα ηχομέτρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με μία ειδική τηλεφωνική γραμμή παραπόνων για αεροπορικό θόρυβο. Για κάθε κλήση που εκφράζει παράπονα ενόχλησης γίνεται αντιστοίχιστη με τη στάθμη θορύβου του γεγονότος που την προκάλεσε όπως αυτή καταγράφηκε από τη συσκευή ηχομέτρησης και έτσι δίνεται η δυνατότητα για εξαγωγή χρήσιμων στατιστικών στοιχείων όπως επίπεδα θορύβου που προκαλούν ενόχληση, αριθμός παραπόνων συναρτίσει της ώρας της ημέρας κλπ, καθώς επίσης και για επιβολή χρηματικών ποινών στα αεροσκάφη που ξεπέρασαν τυχόν επιτρεπόμενο όριο θορύβου. Το ολοκληρωμένο αυτό σύστημα παρακολούθησης του θορύβου εφαρμόζεται σε πολλά αεροδρόμια, όπως για παράδειγμα στο αεροδρόμιο του Μάντσεστερ⁽²³⁾ (σύστημα MANTIS - Manchester Aircraft Noise and Track Information System) αλλά και στο αεροδρόμιο των Αθηνών.

Στο αεροδρόμιο “Έλευθεριος Βενιζέλος” των Αθηνών αναπόσπαστο μέρος της περιβαλλοντικής του πολιτικής αποτελεί η ελαχιστοποίηση της όχλησης από τη λειτουργία του αερολιμένα⁽⁴⁹⁾. Για το λόγο αυτό έχει εγκατασταθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης θορύβου, το NOMOS (NOise MONitoring System). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει 10 σταθερούς σταθμούς μέτρησης αεροπορικού θορύβου και έναν κινητό (NMT - Noise Monitoring Terminal), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στις κοινότητες που εκτίθενται άμεσα στο θόρυβο που προκαλεί το αεροδρόμιο, όπως Σπάτα, Κορωπί, Μαρκόπουλο, Άρτεμις (Λούτσα), Άγιος Ιωάννης, Ραφήνα κ.α. Οι σταθμοί μέτρησης NMT έχουν προμηθευτεί από την εταιρία Lochard PTY Ltd. και καταγράφουν τον αεροπορικό θόρυβο, το θόρυβο περιβάλλοντος και το συνιστάμενο συνολικό

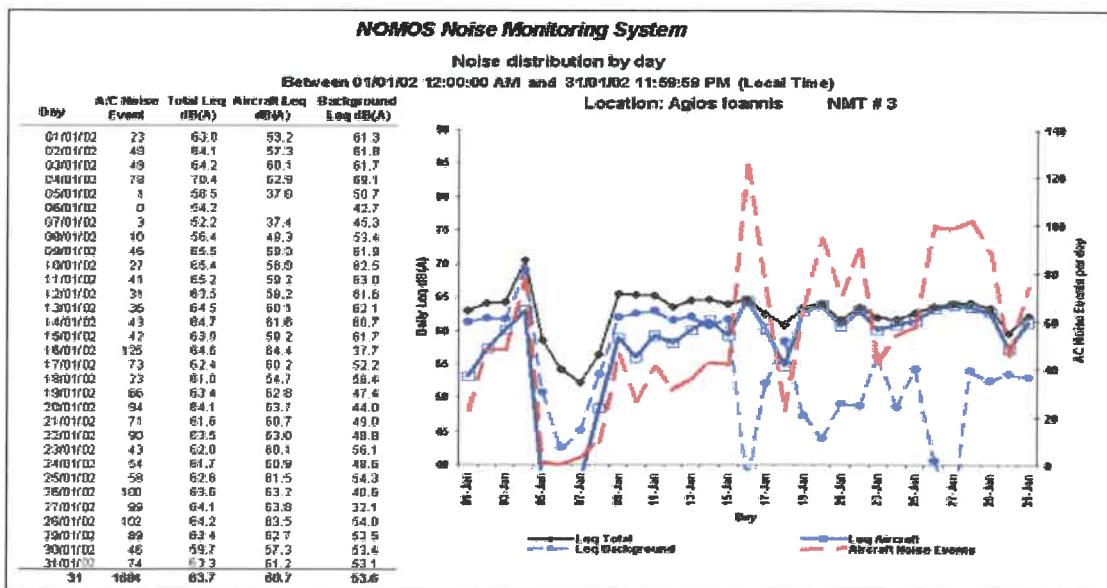
θόρυβο στην κάθε κοινότητα χρησιμοποιώντας το δείκτη L_{EQ} . Οι σταθμοί αυτοί καταγραφής θορύβου λειτουργούν παράλληλα με την ειδική τηλεφωνική γραμμή “Σας ακούμε”, στην οποία οι πολίτες μπορούν σε 24ωρη βάση να απευθύνουν τα παράπονα και τις απορίες τους πάνω σε θέματα θορύβου που σχετίζονται με τη λειτουργία του αεροδρομίου. Έτσι πραγματοποιούνται αυτομάτως συσχετισμοί περιστατικών αεροπορικού θορύβου με συγκεκριμένες κινήσεις αεροσκαφών. Παρόμοιο είναι και το σύστημα σταθμών παρακολούθησης του αεροπορικού θορύβου στο αεροδρόμιο Kingsford Smith του Σίδνευ⁽⁵¹⁾.



Εικόνα 3-1 - Σύστημα σταθμών μέτρησης αεροπορικού θορύβου του αεροδρομίου του Σίδνευ.



Εικόνα 3-2 – Σύστημα NOMOS των σταθμών μέτρησης αεροπορικού θορύβου του αεροδρομίου της Αθήνας.



Εικόνα 3-3 – Ενδεικτική καταγραφή αεροπορικού θορύβου από ένα σταθερό σταθμό μέτρησης του NOMOS.

Οι σταθμοί ηχομέτρησης αποτελούνται από την κυρίως μονάδα και το μικρόφωνο. Στους κινητούς σταθμούς η κυρίως μονάδα και το μικρόφωνο είναι ενσωματωμένα σε μια συσκευή χειρός, ενώ στους σταθερούς είναι ξεχωριστά, με το μικρόφωνο να τοποθετείται σε ύψος 2.5m-3m από το έδαφος.

Οι σταθμοί μέτρησης, σταθεροί ή κινητοί, πρέπει να πληρούν τουλάχιστον τις παρακάτω προδιαγραφές για τη σωστή καταγραφή του θορύβου:

- εξοπλισμένοι με φίλτρο A
- καταγραφή ηχητικού γεγονότος σε κλίμακα L_A και απόδοση των PNL_{max} , EPNL και SEL για κάθε αεροπορική κίνηση που καταγράφεται
- διάστημα μετρήσεων 0.5sec-1.0sec
- εύρος μετρήσεων 25dB-140dB της κλίμακας SPL
- σύστημα εφεδρικής πηγής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος
- ανθεκτικότητα σε ακραίες κλιματολογικές συνθήκες και πρυσκρούσεις αντικειμένων
- δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων για ένα χρονικό διάστημα τουλάχιστον 10 ημερών (για τους σταθερούς σταθμούς)
- δυνατότητα σύνδεσης με H/Y για επεξεργασία των μετρήσεων
- γενικά να είναι υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας

!

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά φωτογραφίες μερικών συστημάτων μέτρησης αεροπορικού θορύβου των εταιριών Lochard, Topsonic και Norsonic.^{(53),(54),(55)}



Εικόνα 3-4 – Κινητές μονάδες ηχομέτρησης (ηχόμετρα χειρός).



Εικόνα 3-5 – Σταθεροί σταθμοί ηχομέτρησης.

3.2 Μοντέλα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου

Τα μοντέλα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου είναι ολοκληρωμένα προγράμματα για χρήση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Συνεκτιμώντας όλες τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στη λειτουργία του αεροδρομίου, όπως τοπογραφικά στοιχεία της υπόψην περιοχής, σύστημα διαδρόμων του αεροδρομίου, τόπος μίξης αεροσκαφών που χρησιμοποιούν το αεροδρόμιο, κλιματολογικά στοιχεία κλπ, τα μοντέλα πρόβλεψης εξάγουν την ισοδύναμη 24ωρη προβλεπόμενη έκθεση της ευρύτερης περιοχής του αεροδρομίου στον αεροπορικό θόρυβο, τόσο εποπτικά με τη μορφή ισοθορυβικών καμπυλών όσο και αναλυτικά με τη μορφή πινάκων.

Όπως προαναφέρθηκε, η μεγάλη χρησιμότητα των μοντέλων πρόβλεψης είναι η δυνατότητά τους για μελλοντική πρόβλεψη καθώς και για εποπτική κατάσταση του θορύβου όλης της περιοχής γύρω από ένα αεροδρόμιο. Τα μοντέλα θορύβου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με διατάξεις ηχομέτρων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που δίνουν να επαληθεύονται από τις μετρηθείσες τιμές. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται το “καλυπτράρισμα” του μοντέλου με αποτέλεσμα αυτό να γίνεται ολοένα και πιο ακριβές. Τα ολοκληρωμένα αυτά μοντέλα χρησιμοποιούνται από όλους τους μεγάλους οργανισμούς και φορείς για την εκτίμηση του θορύβου που προκαλεί η λειτουργία ενός αερολιμένα.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται το μοντέλο εκτίμησης αεροπορικού θορύβου των Zaporozhets και Tokarev καθώς και το πολύ διαδεδομένο μοντέλο INM (Integrated Noise Model) που έχει αναπτυχθεί από την ομοσπονδιακή υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας των ΗΠΑ (Federal Aviation Administration – FAA). Παρακάτω επιχειρείται μια συνοπτική παρουσίαση των δύο αυτών μοντέλων πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου, καθώς και κάποιων συμπληρωματικών μοντέλων, όπως ένα μοντέλο υπολογισμού της γεωγραφικής έκτασης που καταλαμβάνει μια δεδομένη ισοθορυβική καμπύλη και ένα μοντέλο πρόβλεψης θορύβου κατά τη διαδικασία τροχοδρόμησης ενός αεροσκάφους. Προηγείται μια σύντομη επεξήγηση της έννοιας της ισοθορυβικής καμπύλης.

3.2.1 Η έννοια της ισοθορυβικής καμπύλης

Ος ισοθορυβική καμπύλη ορίζεται η καμπύλη εκείνη σε κάθε σημείο της οποίας η έκθεση θορύβου είναι η ίδια. Οι ισοθορυβικές καμπύλες χρησιμοποιούν τους προαναφερθέντες δείκτες αεροπορικού θορύβου, όπως για παράδειγμα DNL, NEF, NNI. Έτσι στην ευρύτερη περιοχή ενός αερολιμένα εμφανίζονται για παράδειγμα οι ισοθορυβικές των 60DNL, 65DNL, 70DNL κ.ο.κ. Όπως γίνεται αντιληπτό ισοθορυβικές μικρότερης τιμής θορύβου περικλείουν ισοθορυβικές μεγαλύτερης τιμής, καθώς η στάθμη θορύβου ελαττώνεται όσο αυξάνει η απόσταση από την πηγή.

Οι ισοθορυβικές καμπύλες δίνουν το θόρυβο σε απόσταση συνήθως 2m-3m από την επιφάνεια του εδάφους. Το σχήμα τους έχει άμεση σχέση με τη διάταξη των διαδρόμων του αεροδρομίου. Για κάθε διάδρομο οι αντίστοιχες ισοθορυβικές έχουν τη διεύθυνσή του και προεκτείνονται αρκετά κατά μήκος αυτού και ελαφρώς πλευρικά. Η «συνισταμένη» των αντίστοιχων ισοθορυβικών όλων των διαδρόμων του αεροδρομίου συνθέτει τη συνολική εικόνα αεροπορικού θορύβου της περιοχής. Η μορφή των ισοθορυβικών ενδέχεται να παρουσιάζει ανωμαλίες λόγω φυσικών ή τεχνητών εμποδίων στη διάδοση του εκπεμπόμενου ήχου, όπως κτίρια, λόφοι κλπ.

Η έκταση που περικλείουν οι ισοθορυβικές καμπύλες είναι συνάρτηση της τιμής του δείκτη θορύβου, του μήκους του διαδρόμου απογείωσης/προσγείωσης, του τύπου μίξης του στόλου, των κλιματολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής και του ανάγλυφου του εδάφους στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου. Η έκταση μιας δεδομένης ισοθορυβικής μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και με αύξηση του υψομέτρου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τόσο η αύξηση της θερμοκρασίας όσο και του υψομέτρου συνεπάγεται μείωση της πυκνότητας του αέρα άρα και πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Από τον ορισμό της στάθμης έντασης ήχου⁽⁴⁸⁾:

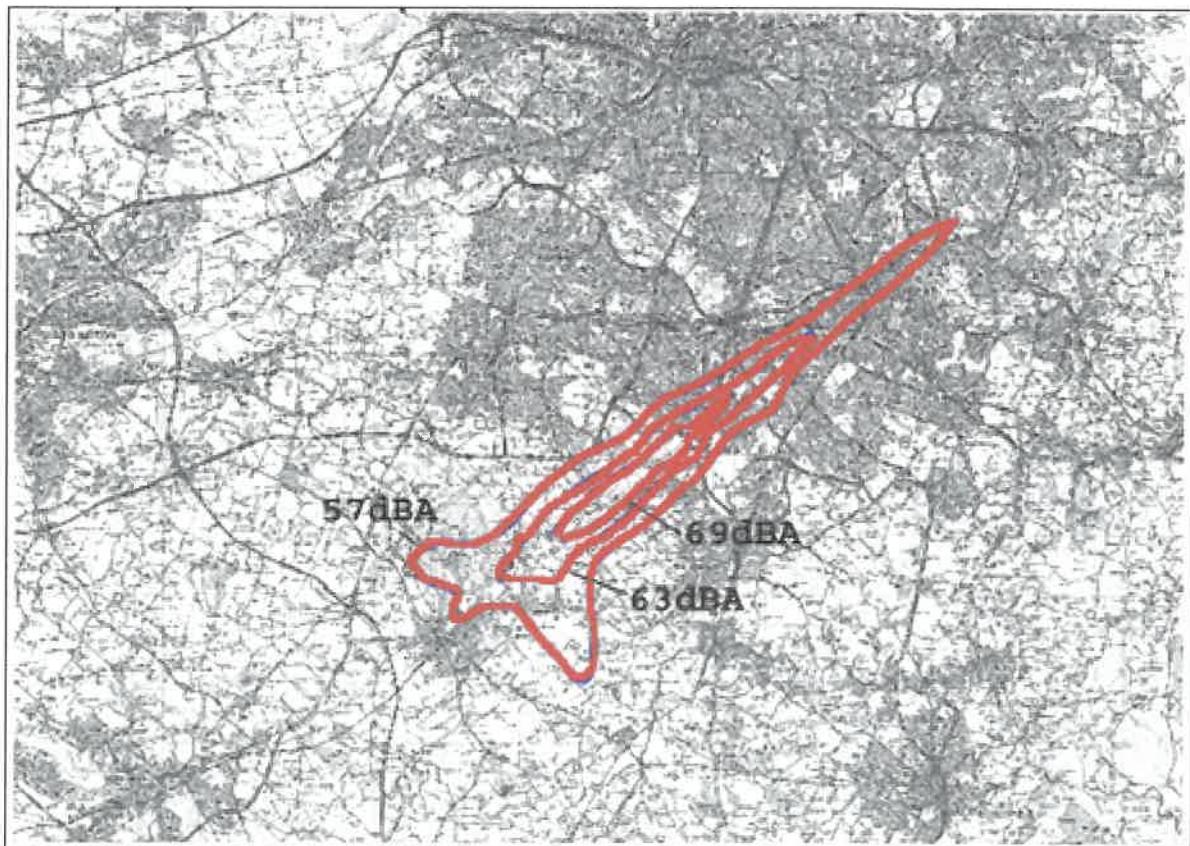
$$SPL = 10 \log(P_m^2/P_o^2),$$

όπου P_m η μετρηθείσα πίεση του ήχου σε N/m² και

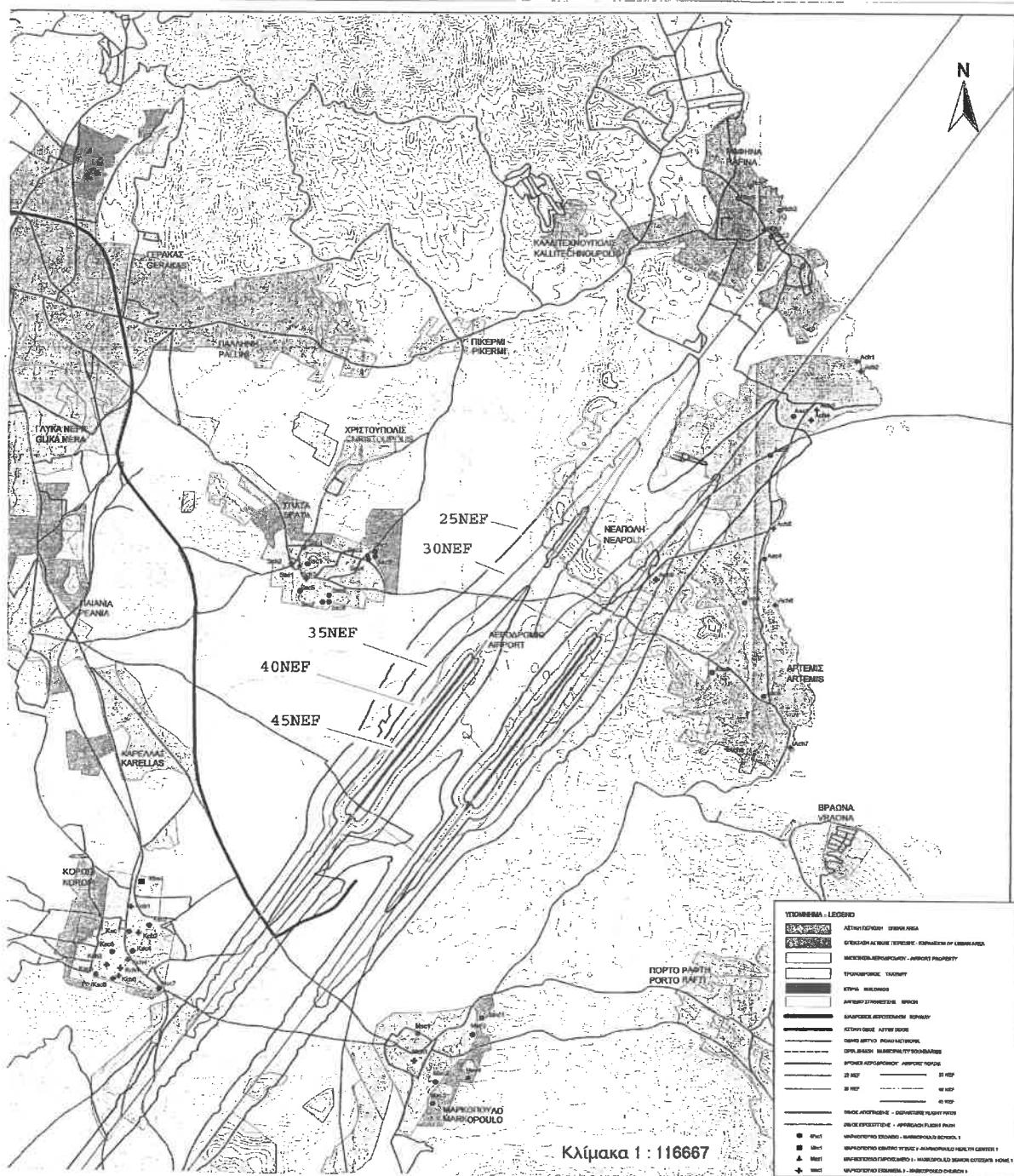
P_o η πίεση αναφοράς ίση με 2×10^{-5} N/m²,

συμπεραίνουμε ότι πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης σημαίνει και μείωση του P_m , δηλαδή μικρότερη στάθμη ήχου στο σημείο μέτρησης, άρα και συρρίκνωση της ζητούμενης ισοθορυβικής καμπύλης προς την πηγή του ήχου.

Οι ισοθορυβικές αυτές καμπύλες τοποθετούνται επάνω στον τοπογραφικό χάρτη της υπόψην περιοχής και έτσι λαμβάνεται μια εποπτική εικόνα της έκθεσης σε αεροπορικό θόρυβο κάθε σημείου ενδιαφέροντος, όπως κοινότητες, σχολεία κλπ. Στη συνέχεια δίνονται ως παράδειγμα οι προβλεπόμενες ισοθορυβικές καμπύλες του αεροδρομίου του Μάντσεστερ για το έτος 1999 και του νέου αεροδρομίου της Αθήνας για το έτος 2002⁽⁵²⁾.



Εικόνα 3-6 - Ισοθορυβικές του αεροδρομίου του Μάντσεστερ για το έτος 1999 με χρήση του δείκτη Leq_{16h}.

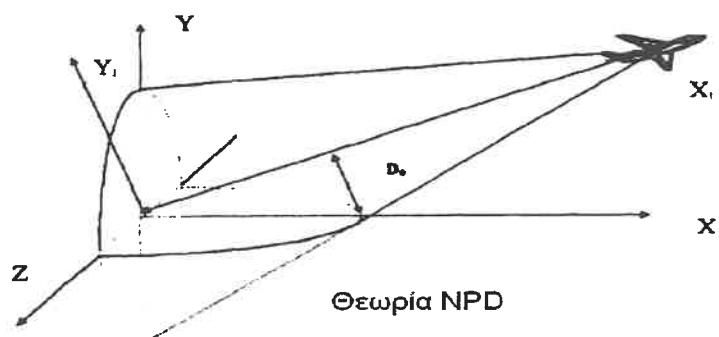
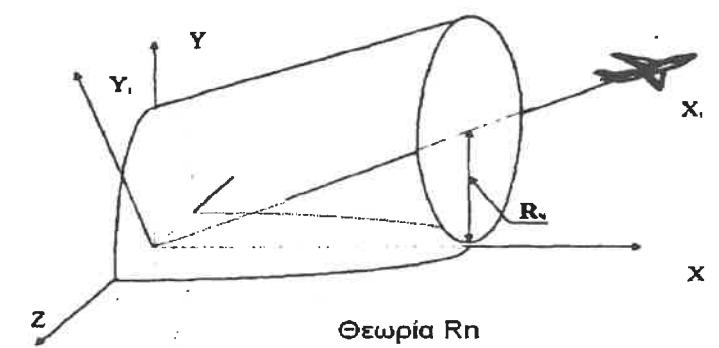


Εικόνα 3-7 – Ισοθορυβικές καμπύλες του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλος της Αθήνας για το έτος 2002.

3.2.2 Μοντέλο Zaporozhets και Tokarev

Το μοντέλο⁽²⁶⁾ αυτό αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα: α) Ένα μοντέλο προσομοίωσης της τροχιάς του αεροσκάφους, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις διάφορες παραμέτρους πτήσεως, όπως ταχύτητα, ώθηση μηχανής, γωνίες ανόδου/καθόδου κλπ. Στο μοντέλο αυτό γίνεται κατάτμηση της τροχιάς του αεροσκάφους σε επιμέρους τμήματα, σε καθένα από τα οποία

θεωρείται ότι οι παράμετροι πτήσης είναι σταθερές. β) Ένα ακουστικό μοντέλο παραγωγής και διάδοσης του ήχου βασισμένο στην κλίμακα Στάθμης Πίεσης Ήχου (Sound Pressure Level - SPL). γ) Ένα ακουστικό μοντέλο που βασίζεται στη θεωρία της Ακτίνας Ήχου R_N (noise radius), εν αντιθέσει με παλαιότερα μοντέλα που χρησιμοποιούσαν τη θεωρία Noise-Power-Distance (NPD). Σύμφωνα με τη θεωρία της ακτίνας ήχου, το αεροσκάφος θεωρείται όχι σημειακή πηγή (θεωρία NPD) αλλά γραμμική πηγή θορύβου. Το μέτωπο του ήχου είναι κύλινδρος με άξονα την τροχιά του αεροσκάφους και η ακτίνα μιας δεδομένης κυλινδρικής επιφάνειας είναι η ακτίνα ήχου για μια δεδομένη στάθμη αυτού. Η τομή μιας κυλινδρικής επιφάνειας ακτίνας R_N με την επιφάνεια του εδάφους δίνει την



αντίστοιχη ισοθορυβική καμπύλη R_N που παράγεται από το αεροσκάφος αυτό και για το εκάστοτε τμήμα της τροχιάς του. Η εξίσωση της ισοθορυβικής αυτής καμπύλης, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, είναι:

$$\sin^2 \Theta (x \cos \varphi - z \sin \varphi)^2 + (x \sin \varphi + z \cos \varphi)^2 = R_N^2,$$

όπου Θ είναι η γωνία ανόδου/καθόδου του αεροσκάφους στο υπόψην τμήμα της τροχιάς, φ είναι η γωνία περιστροφής του αεροσκάφους ως προς το οριζόντιο επίπεδο και x, z η τετμημένη και η τεταγμένη αντίστοιχα σε ένα αυθαίρετα καθορισμένο σύστημα συντεταγμένων.

Η ολοκληρωμένη μορφή του μοντέλου προγραμματίστηκε για χρήση σε H/Y και αφού εισαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα, όπως τύποι αεροσκαφών που χρησιμοποιούν τον αερολιμένα, αριθμός απογειώσεων και προσγειώσεων, κατανομή αεροσκαφών σε συγκεκριμένες τροχιές (flight routes), διαδικασίες προσγείωσης και απογείωσης, τοπογραφικά χαρακτηριστικά

περιοχής, μετεωρολογικά στοιχεία, χαρακτηριστικά διαδρόμων αεροδρομίου και πιθανά εμπόδια στη διάδοση του ήχου, το μοντέλο υπολογίζει την προβλεπόμενη στάθμη θορύβου L σε κάθε σημείο (x,z) του καννάβου. Πρώτα υπολογίζεται η στάθμη θορύβου σε κάθε σημείο (x,z) από μεμονωμένο αεροσκάφος από την εξίσωση:

$$L(x,z) = L_{RN} + \Lambda(\beta,R) + dL_\theta + dLv + dLt + dLs ,$$

όπου L_{RN} είναι η στάθμη θορύβου από τη σχέση ακτίνας θορύβου R_N ,

$\Lambda(\beta,R)$ είναι η πλευρική ως προς το αεροσκάφος εξασθένιση του ήχου συναρτήσει του είδους του εδάφους (πχ γρασίδι ή τσιμέντο), την απόσταση R και τη γωνία β του υπόψην σημείου (x,z) ,

dL_θ είναι η διόρθωση λόγω κατασκευαστικής διεύθυνσης του ήχου ανάλογα με τον τύπο του αεροσκάφους (για παράδειγμα στα αεροσκάφη τύπου jet η “κύρια” διεύθυνση μετάδοσης του ήχου είναι οι 140° θεωρώντας 0° τη μύτη του αεροσκάφους),

dLt είναι η διόρθωση για μεταβολές στη διάρκεια της μέγιστης στάθμης θορύβου,

dLv είναι η διόρθωση για μεταβολές στην ταχύτητα του αεροσκάφους και τέλος

dLs είναι η εξασθένιση του ήχου λόγω εμποδίων στη διάδοσή του, για παράδειγμα από κτίρια ή ηχοπετάσματα.

Στη συνέχεια, αφού ληφθούν υπόψη και τα προαναφερθέντα δεδομένα για το αεροδρόμιο, γίνεται σύνδεση των σημείων με ίση στάθμη $L(x,z)$ και εξάγονται οι προβλεπόμενες συνολικές ισοθορυβικές καμπύλες. Με το μοντέλο αυτό μπορούμε επίσης να διερευνήσουμε τι επιδραση θα έχει στο θόρυβο μια μεταβολή σε μια μεταβλητή, για παράδειγμα στη θερμοκρασία, και επομένως είναι δυνατόν να εξάγουμε τη βέλτιστη λύση για μετριασμό του προβλήματος του αεροπορικού θορύβου.

3.2.3 Μοντέλο INM

Το μοντέλο αυτό παρουσιάστηκε από την FAA για πρώτη φορά το 1978 με σκοπό την εκτίμηση της επίδρασης του αεροπορικού θορύβου στην ευρύτερη περιοχή των αεροδρομίων των ΗΠΑ^{(5),(22)}. Εκτούτοις έχουν κυκλοφορήσει νέες βελτιωμένες εκδόσεις, τόσο ως προς τη αύξηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων όσο και ως προς την ανανέωση της βάσης δεδομένων των αεροσκαφών, με τελευταία έκδοση την v6.1. Το μοντέλο αυτό είναι το πλέον διαδεδομένο παγκοσμίως και χρησιμοποιείται εκτενώς στις περισσότερες χώρες για την πρόβλεψη του αεροπορικού θορύβου. Είναι προγραμματισμένο για χρήση με H/Y και τα απαραίτητα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν είναι:

- αναλυτική περιγραφή των διαδρόμων του αεροδρομίου (αριθμός, διεύθυνση, πιθανά μετατοπισμένα κατώφλια απογείωσης/προσγείωσης)
- ποσοστά χρησιμοποίησης κάθε διαδρόμου
- αριθμός αεροπορικών κινήσεων ανά κατηγορία αεροσκάφους
- χρονική κατανομή των αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο

- περιγραφή αεροδιαδρόμων (τροχιών / ιχνών πτήσεων) και ποσοστό χρησιμοποίησης του καθενός από τα αεροσκάφη
- “settings” αεροσκαφών κατά τη διαδικασία απογείωσης/προσγείωσης
- τοπογραφικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής του αεροδρομίου
- φυσικά ή τεχνητά εμπόδια στη διάδοση του ήχου

Τα εξαγόμενα από το πρόγραμμα είναι ισοθορυβικές καμπύλες σε μονάδες NEF/DNL/L_{EQ}/TA/SEL και αναλυτικοί πίνακες για κάποια δοσμένη περιοχή, οι οποίοι δείχνουν όχι μόνο τη συνολική έκθεση αεροπορικού θορύβου αλλά και τη συμβολή σ' αυτήν κάθε μεμονωμένου αεροσκάφους.

Παρακάτω ακολουθεί ο Πίνακας 9 με τις μεταβλητές που υπεισέρχονται στα μοντέλα πρόβλεψης INM και Zaporozhets-Tokarev. Παρατηρείται ότι και τα δύο αυτά μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τους ίδιους ακριβώς παράγοντες για τον υπολογισμό των ισοθορυβικών καμπυλών ενός αερολιμένα.

	Zaporozhets-Tokarev	INM
Τύπος αεροσκαφών	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Χαρακτηριστικά διαδρόμων αεροδρομίου	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Αριθμός αεροπορικών κινήσεων	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Αεροδιάδρομοι (εναέριες τροχιές)	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Διαδικασίες απογείωσης/προσγείωσης	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ωρα κίνησης	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Κλιματολογικές συνθήκες	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Τοπογραφικά στοιχεία	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Εμπόδια στη διάδοση του ήχου	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Πίνακας 9 – Παράγοντες που λαμβάνουν υπόψη τα μοντέλα πρόβλεψης INM και Zaporozhets-Tokarev.

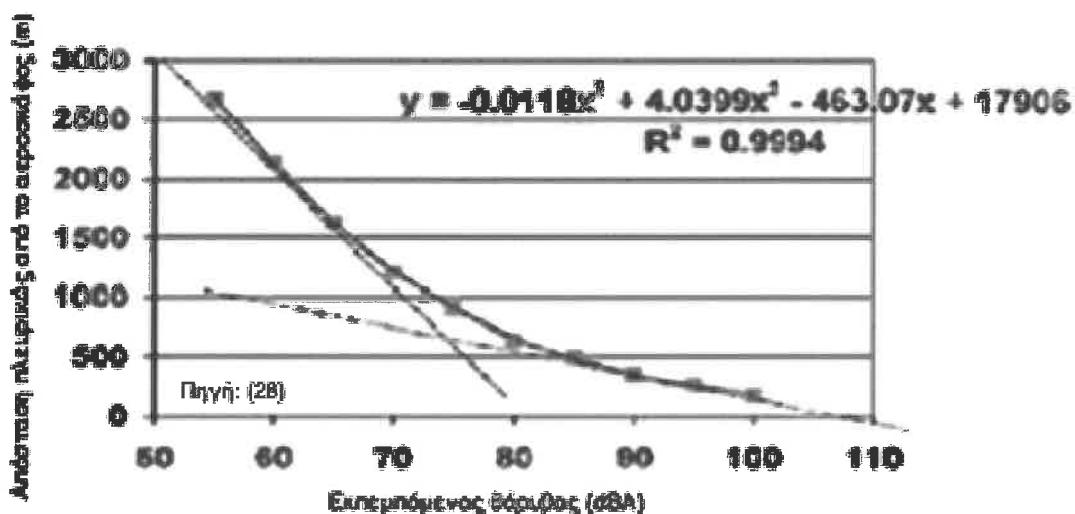
3.2.4 Μοντέλα ISO-1962, NOISEMAP, dBsite

Άλλα μοντέλα που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι αυτό που προτάθηκε από τον ISO⁽²⁷⁾ το 1962 και το NOISEMAP⁽⁵⁾, το οποίο είναι παραλλαγή του INM που αναπτύχθηκε από την Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ για χρήση σε στρατιωτικά αεροδρόμια. Επίσης υπάρχει το dBsite το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (εκπομπών ρύπων και θορύβου από επίγειες δραστηριότητες) του νέου αεροδρομίου “Ελ. Βενιζέλος” της Αθήνας⁽⁵²⁾.

3.2.5 Μοντέλο πρόβλεψης θορύβου κατά την τροχοδρόμηση

Εκτός από τα παραπάνω ολοκληρωμένα μοντέλα πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου υπάρχουν και κάποια μοντέλα πρόβλεψης για εξειδικευμένες περιπτώσεις, όπως αυτό των Zaporozhets, Tokarev και Attenborough που προβλέπει το θόρυβο από τη λειτουργία των αεροσκαφών όσο αυτά βρίσκονται στο έδαφος και τροχοδρομούν ή ζεσταίνουν τις μηχανές⁽²⁸⁾. Το συμπέρασμα που προέκυψε από αυτό είναι ότι πέρα από τα 500m πλευρικά από τον διάδρομο ο ρυθμός εξασθένισης του θορύβου είναι μεγαλύτερος απ'ότι μέχρι τα 500m, όπως φαίνεται κι από το παρακάτω διάγραμμα.

Αυτό εξηγείται από το ότι κοντά στο διάδρομο το υλικό το εδάφους είναι σκυρόδεμα που δεν απορροφά μεγάλο μέρος της ηχητικής ενέργειας, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από τον διάδρομο το γρασίδι ή χώμα που συνήθως καλύπτει το χώρο απορροφά την ηχητική ενέργεια σε υψηλό βαθμό.



Διάγραμμα 8 – Ρυθμός μεταβολής του θορύβου τροχοδρόμησης των αεροσκάφους με την πλευρική απόσταση.

3.2.6 Μοντέλο εκτίμησης της έκτασης κατάληψης ισοθορυβικής καμπύλης

Ο Ignaccolo σε εργασία του κατόρθωσε να συνδέσει την έκθεση σε αεροπορικό θόρυβο, την έκταση που καταλαμβάνει η αντίστοιχη ισοθορυβική καμπύλη, τον αριθμό αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο και τον τύπο των αεροσκαφών που χρησιμοποιούν το αεροδρόμιο⁽²⁹⁾. Η εξίσωση είναι:

$$\log_{10}S = -0.066DNL + (1.5211x^3 - 1.2925x^2 + 0.4036x + 0.2548)\ln N - 9.1749x^3 + 7.5897x^2 - 2.5833x + 4.3557$$

όπου x το ποσοστό επί του συνόλου των αεροσκαφών του στόλου που πληρούν τις προδιαγραφές του Κεφαλαίου 3 (Stage 3) του ICAO (βλ. Παράγραφο 5.2.3),
DNL η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο,
Ν ο αριθμός των αεροπορικών κινήσεων που διεξάγονται στο αεροδρόμιο σε 24ώρες και
S η έκταση σε km² που καταλαμβάνει η ισοθορυβική της αντίστοιχης τιμής DNL.

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για ιδεατές συνθήκες, δηλαδή για ένα μόνο διάδρομο σε μηδενικό υψόμετρο ως προς το επίπεδο θαλάσσης, θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C, μηδενική ταχύτητα ανέμου, 50% των κινήσεων προς τη μία κατεύθυνση του διαδρόμου, 50% των κινήσεων προς την άλλη και καθόλου νυχτερινές πτήσεις. Μπορεί όμως να ισχύσει και για πραγματικές συνθήκες με τη χρήση κατάλληλων διορθωτικών συντελεστών. Οι συντελεστές αυτοί δίνονται στον Πίνακα 10. Το αποτέλεσμα από την παραπάνω εξίσωση πρέπει να ανξάνεται ή να μειώνεται κατά το ποσοστό που δίνεται στον πίνακα για τις εκάστοτε συνθήκες.

Παρατηρώντας τον πίνακα αυτόν βλέπουμε ότι επαληθεύεται η επίδραση της μεταβολής του υψομέτρου και των κλιματολογικών στοιχείων της περιοχής στην έκταση των ισοθορυβικών καμπυλών, όπως αναφέρθηκε ήδη στην Παράγραφο 3.2.1. Πράγματι η αύξηση της θερμοκρασίας ή του υψομέτρου συνεπάγεται όλο και μικρότερον αυξητικούς συντελεστές, από ένα σημείο μάλιστα και μετά αυτοί γίνονται αρνητικοί.

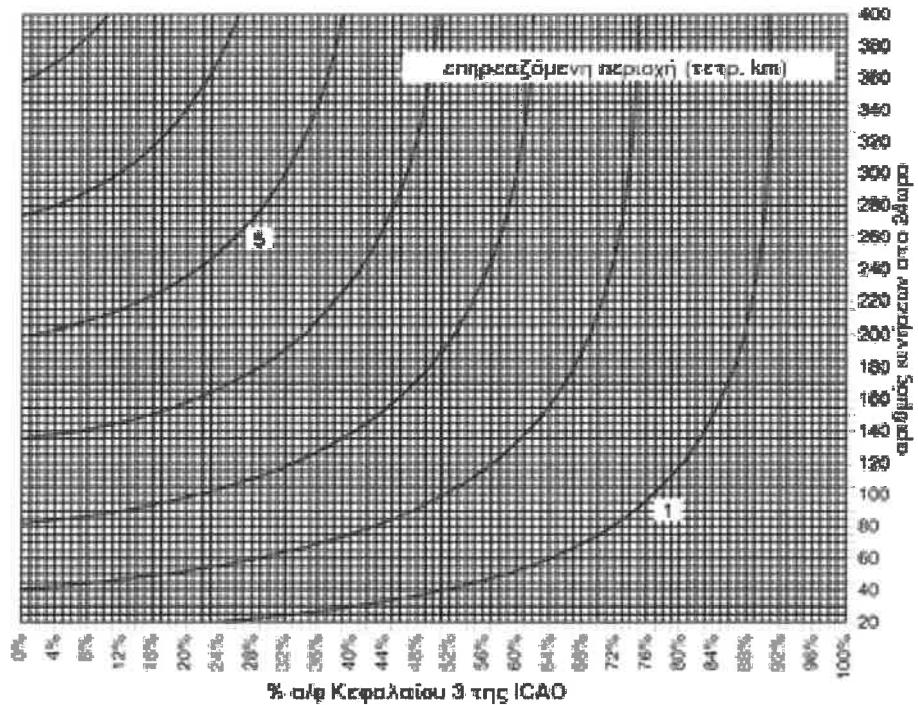
Η εξίσωση υπολογισμού της έκτασης ισοθορυβικής καμπύλης του Ignaccolo δίνεται επίσης και σε μορφή νομογραφημάτων για απευθείας υπολογισμό του ζητούμενου μεγέθους, για τις ισοθορυβικές καμπύλες των 55DNL και των 75DNL και για ιδεατές πάλι συνθήκες (Διαγράμματα 9 και 10).

Η χρησιμότητα του μοντέλου αυτού έγκειται στη δυνατότητα εξεύρεσης δυνατών συνδυασμών αριθμού αεροπορικών κινήσεων και ποσοστού αεροσκαφών Κεφαλαίου 3, ώστε να κρατηθεί σταθερή η έκταση που καταλαμβάνει μια δεδομένη ισοθορυβική. Για παράδειγμα αν θεωρήσουμε 120 κινήσεις στο 24ωρο και ποσοστό αεροσκαφών Κεφαλαίου 3 ίσο με 80%, τότε η έκταση που θα καταλαμβάνει η ισοθορυβική των 55DNL με ιδεατές συνθήκες θα είναι, σύμφωνα με το αντίστοιχο νομογράφημα, περίπου 25km². Αν η κίνηση του αεροδρομίου για κάποιο λόγο πρέπει να αυξηθεί στις 170 κινήσεις στο 24ωρο, τότε κατά το μοντέλο αυτό για να παραμείνει σταθερή η έκταση που καταλαμβάνει η ισοθορυβική των 55DNL, πρέπει το ποσοστό αεροσκαφών Κεφαλαίου 3 να αυξηθεί στο 87%. Πρόκειται δηλαδή για ένα χρήσιμο εργαλείο στην εξεύρεση τρόπων αντιμετώπισης του προβλήματος του αεροπορικού θορύβου.

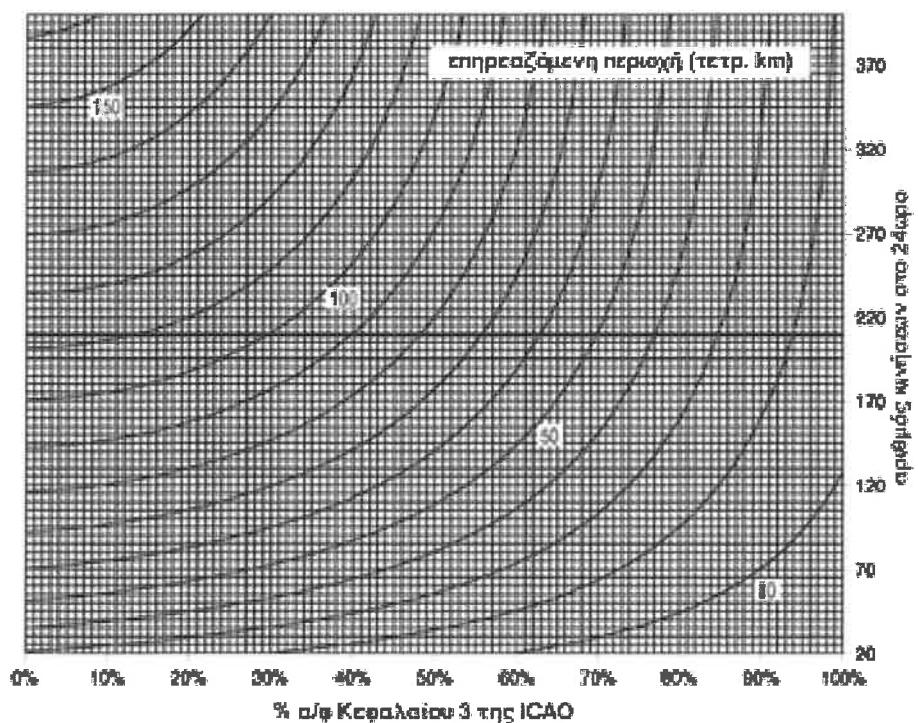
Το αρνητικό σημείο του μοντέλου αυτού είναι ότι προβλέπει την έκταση των ισοθορυβικών καμπυλών για αεροδρόμια με ένα μόνο διάδρομο.

Διορθωτικοί συντελεστές					
Θερμοκρασία °C	Συντελεστής %	Νυχτερινές Κινήσεις (%)	Συντελεστής %	Ποσοστό χρήσης διαδρόμου	Συντελεστής %
0	35.00	0	0.00	50%	0.00
1	33.60	1	5.00	55%	-0.80
2	32.20	2	10.00	60%	-1.60
3	30.80	3	15.00	65%	-2.40
4	29.40	4	20.00	70%	-3.20
5	28.00	5	25.00	75%	-4.00
6	26.60	6	30.00	80%	-4.80
7	25.20	7	35.00	85%	-5.60
8	23.80	8	40.00	90%	-6.40
9	22.40	9	45.00	95%	-7.20
10	21.00	10	50.00	100%	-8.00
11	19.60	11	55.00		
12	18.20	12	60.00	0	0.00
13	16.80	13	65.00	5	-1.50
14	15.40	14	70.00	10	-3.00
15	14.00	15	75.00	15	-4.50
16	12.60	16	80.00	20	-6.00
17	11.20	17	85.00	25	-7.50
18	9.80	18	90.00	30	-9.00
19	8.40	19	95.00	35	-10.50
20	7.00	20	100.00	40	-12.00
21	5.60	21	105.00		
22	4.20	22	110.00	0	0.00
23	2.80	23	115.00	50	-0.33
24	1.40	24	120.00	100	-0.67
25	0.00	25	125.00	150	-1.00
26	-1.40	26	130.00	200	-1.33
27	-2.80	27	135.00	250	-1.67
28	-4.20	28	140.00	300	-2.00
29	-5.60	29	145.00	350	-2.33
30	-7.00	30	150.00	400	-2.67
31	-8.40	31	155.00	450	-3.00
32	-9.80	32	160.00	500	-3.33
33	-11.20	33	165.00	550	-3.67
34	-12.60	34	170.00	600	-4.00
35	-14.00	35	175.00	650	-4.33
36	-15.40	36	180.00	700	-4.67
37	-16.80	37	185.00	750	-5.00
38	-18.20	38	190.00	800	-5.33
39	-19.60	39	195.00	850	-5.67
40	-21.00	40	200.00	900	-6.00

Πίνακας 10 – Διορθωτικοί συντελεστές μοντέλου Ignaccolo για πραγματικές συνθήκες αεροδρομίου.



Διάγραμμα 9 – Νομογράφημα υπολογισμού έκτασης ιεοθορυβικής των 75DNL σύμφωνα με το πρότυπο Ignaccolo.



Διάγραμμα 10 – Νομογράφημα υπολογισμού έκτασης ιεοθορυβικής των 55DNL σύμφωνα με το πρότυπο Ignaccolo.

4 Επιδράσεις του αεροπορικού θορύβου

Τις επιδράσεις του αεροπορικού θορύβου μπορεί κανείς να τις διακρίνει σε δύο κατηγορίες:

- επιπτώσεις στον άνθρωπο, που διακρίνονται περαιτέρω σε επιπτώσεις στην υγεία και σε ενοχλήσεις
- και επιπτώσεις στις αξίες κατοικίας των γειτνιαζόντων στο αεροδρόμιο περιοχών.

4.1 Επιπτώσεις στην υγεία

Όσον αφορά τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία, θα μπορούσαν ενδεικτικά να αναφερθούν οι παρακάτω: μείωση ικανότητας ακοής (hearing loss), διαταραχές του κυκλοφορικού συστήματος, διαταραχές χημικών διεργασιών του οργανισμού, αναπνευστικά προβλήματα, κατάθλιψη, νευρικότητα, υπερένταση, ψυχολογικά προβλήματα κ.α. Για τα παραπάνω συμπτώματα υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι ευθύνεται ο αεροπορικός θόρυβος.

Για την απώλεια ακοής οι Horonjeff και McKelvey υποστηρίζουν ότι αυτή είναι μάλλον απίθανη⁽⁵⁾. Χαρακτηριστικά αναφέρουν ότι θα χρειαζόταν συνεχής έκθεση σε περισσότερες από 1000 αεροπορικές κινήσεις ημερησίως με στάθμη SEL ίση με 100dBA η καθεμιά, έτσι ώστε η ισοδύναμη ημερήσια σταθμισμένη έκθεση L_{EQ24h} να είναι 85dBA. Αν αυτό συνέβαινε 5 μέρες την εβδομάδα για 40 χρόνια και αν οι άνθρωποι εκτίθονταν στο θόρυβο αυτό σε εξωτερικό χώρο χωρίς καμία μόνωση, τότε η απώλεια ακοής θα ήταν της τάξης των 10dBA (δηλαδή το κατώφλι του μικρότερου δυνατού ήχου που μπορεί να ακουστεί θα μετατοπιζόταν κατά 10dBA προς τα πάνω) για το περισσότερο ευαίσθητο 10% του πληθυσμού. Ωστόσο πιο πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι ο αεροπορικός θόρυβος είναι δυνατόν στις υψηλές συχνότητες να προκαλέσει άμεση μείωση της οξύτητας της ακοής κατά 3dB⁽⁴⁾. Πάντως για παν ενδεχόμενο πρέπει να λαμβάνονται προστατευτικά μέτρα, ειδικά για τους εργαζόμενους κοντά στους διαδρόμους του αεροδρομίου (χρήση ωτοασπίδων).

Έρευνες στην Ιαπωνία το 1973 και 1996 έδειξαν ότι ο αεροπορικός θόρυβος συνδέεται με αναπνευστικά και πεπτικά προβλήματα, κατάθλιψη, νευρικότητα και ψυχολογικές παθήσεις^{(12),(13)}. Για έκθεση στο θόρυβο αυτό από 65-70DNL και πάνω εμφανίζονται εκτεταμένα τα συμπτώματα αυτά και ο αριθμός των εμφανίσεών τους στον υπόψη πληθυσμό αυξάνει με την αύξηση του θορύβου πέρα από το όριο αυτό. Από τις παραπάνω επιπτώσεις στην υγεία η κυριότερη που συνδέεται με τον αεροπορικό θόρυβο είναι οι ψυχολογικές/διανοητικές παθήσεις (mental diseases). Παρότι όμως υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για τη σύνδεση του θορύβου με τις παθήσεις αυτές δεν κατορθώθηκε να αποδειχτεί επιστημονικά η υπαιτιότητα του θορύβου.

Το ίδιο ισχύει και για την υπερένταση. Υστερα από έρευνα που έγινε στο αεροδρόμιο Schiphol του Άμστερνταμ το 1992 προέκυψε ότι για έκθεση σε αεροπορικό θόρυβο έως 30Ke (Ke: Kosten Unit, μονάδα μέτρησης χρησιμοποιώντας τον Ολλανδικό δείκτη B65) δεν παρουσιάζονται συμπτώματα υπερέντασης στον πληθυσμό περί το αεροδρόμιο, όμως για στάθμες θορύβου από 50Ke και πάνω το φαινόμενο είναι εκτεταμένο⁽¹⁴⁾. Εμφανίστηκε δηλαδή μια πιθανή άμεση υπαιτιότητα του αεροπορικού θορύβου για το πρόβλημα αυτό. Με συμπληρωματική έρευνα όμως στα νοσοκομεία της περιοχής και χρησιμοποιώντας δημογραφικά στοιχεία δεν προέκυψε κάποια συγκεκριμένη κατανομή των συμπτωμάτων γύρω από το αεροδρόμιο, όπως θα περίμενε κανείς,

αλλά η κατανομή αυτή ήταν τυχαία. Έτσι και πάλι αν και υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις ότι ο θόρυβος προκαλεί προβλήματα υγείας, αυτό δεν κατέστη δυνατόν να αποδειχθεί.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχουν μεν σοβαρές ενδείξεις αλλά μέχρι σήμερα δεν υπάρχει αποδειγμένη σχέση και ακριβής συσχέτιση του αεροπορικού θορύβου με σωματικές βλάβες. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η εκλογή του υπόψην δείγματος και της μεθοδολογίας της έρευνας, η στατιστική ακρίβεια, η υποκειμενική ευαισθησία του καθενός στα συμπτώματα αυτά, η χρονική διαφορά μεταξύ έκθεσης στο θόρυβο και εμφάνισης του συμπτώματος, κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες κ.α. Πάντως είναι κοινά παραδεκτό ότι αν περιοριστεί η στάθμη θορύβου έτσι ώστε να αποφευχθεί η απώλεια ακοής και η διαταραχή συνομιλίας και ύπνου τότε κατά πάσα πιθανότητα εκμηδενίζονται και οι όποιες επιπτώσεις στην υγεία.

- Απώλεια ακοής
- Υπερένταση
- Αναπνευστικά προβλήματα
- Πεπτικά προβλήματα
- Νευρικότητα
- Κατάθλιψη / Ψυχολογικές παθήσεις

Πίνακας 11 – Πιθανολογούμενες επιπτώσεις του αεροπορικού θορύβου στην υγεία του ανθρώπου.

4.2 Ενόχληση κοινότητας από αεροπορικό θόρυβο

Εν αντιθέσει με τις σωματικές βλάβες λόγω αεροπορικού θορύβου, για το θέμα της ενόχλησης υπάρχει μεγαλύτερη συμφωνία διεθνώς.

Η ενόχληση από θόρυβο αεροδρομίου μπορεί να εκφραστεί με δύο τρόπους: είτε στην απλή της μορφή ως απάντηση στην ερώτηση “πόσο ενοχλείστε από τον αεροπορικό θόρυβο”, είτε στην πιο σύνθετη μορφή συναρτήσει των δραστηριοτήτων που διακόπτονται λόγω του θορύβου αυτού, για παράδειγμα ενόχληση λόγω διατάραξης ύπνου (αφύπνιση, μείωση βάθους ύπνου), λόγω διατάραξης συγκέντρωσης και απόδοσης (διάβασμα, σκέψη, εργασία), λόγω διατάραξης επικοινωνίας (τηλεόραση, ραδιόφωνο, συνομιλία), λόγω φόβου/ανησυχίας για αεροπορικό δυστύχημα, λόγω δημιουργία κραδασμών κλπ. Έχει αποδειχτεί ότι η ενόχληση στην απλή της έκφραση συσχετίζεται σε υψηλότερο βαθμό (μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης r) με τη στάθμη αεροπορικού θορύβου εκφρασμένη με οποιονδήποτε δείκτη⁽¹⁵⁾.

Η ενόχληση σε όλες σχεδόν τις έρευνες μέχρι σήμερα είναι κατά προσέγγιση γραμμικής μορφής, δηλαδή:

$$\text{ενόχληση} = \alpha + \beta * \text{θόρυβος}, \text{ με } \alpha, \beta \text{ σταθερές και } \beta > 0$$

Η ενόχληση δηλαδή από αεροπορικό θόρυβο αυξάνεται με την αύξηση της έκθεσης στο θόρυβο αυτό, όπως άλλωστε και αναμενόταν. Ενδεικτικά αναφέρεται η εξής σχέση δόσης-απόκρισης όπως προέκυψε από έρευνα στα αεροδρόμια της Ισπανίας το 1990⁽²²⁾:

$$\text{ANA} = 1.86 + 0.048\text{NEF},$$

όπου ANA (Aircraft Noise Annoyance) η ατομική ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο στην κλίμακα 1-καθόλου έως 5-πολύ και NEF η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο.

Ανάλογη είναι και η σχέση που δίνουν οι Rylander, Bjorkman και Ahrlin από παλαιότερη έρευνά τους το 1979 στα αεροδρόμια της Σκανδιναβίας⁽¹¹⁾. Στην εξίσωση αυτή το $L_{A,\text{MAX}}$ θεωρείται ως μια σταθερά και ο αριθμός κινήσεων N είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή.

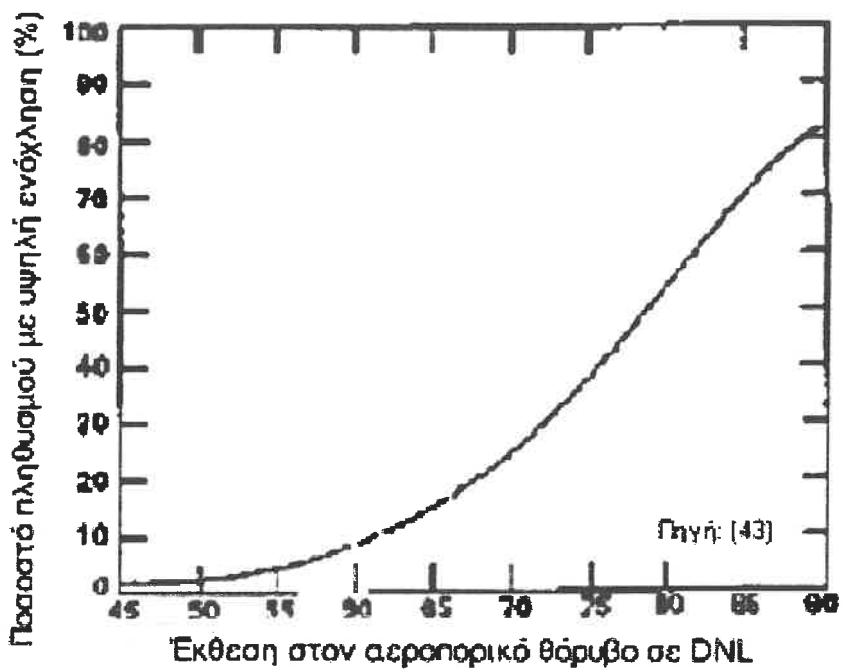
$$\alpha = L_{A,\text{MAX}}[0.0664N - 1.8245] - 4.2299N + 112.263, \text{ για } 35 < N < 50$$

όπου α είναι το ποσοστό του δείγματος που δηλώνει “πολύ ενοχλημένο” στην κλίμακα από “καθόλου - 0” έως “πολύ - 3”,

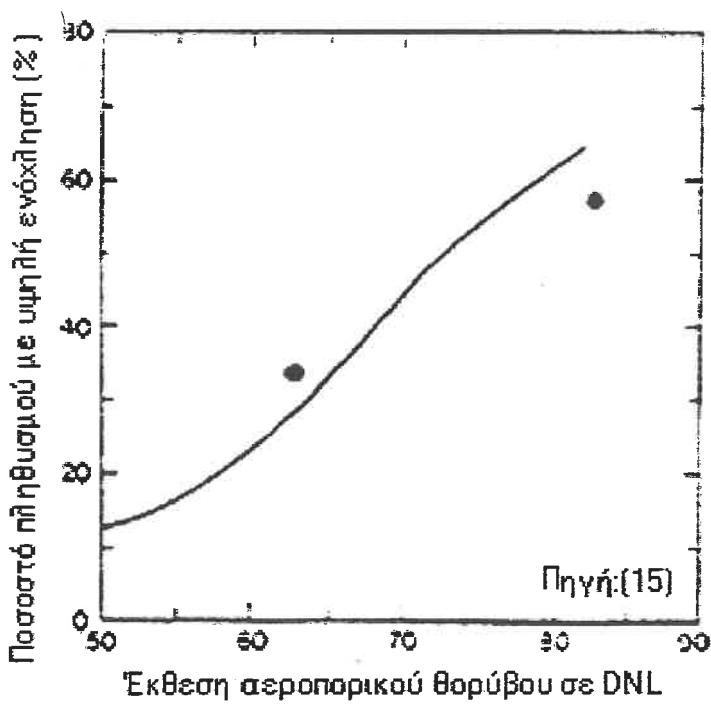
N ο αριθμός των αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο και

$L_{A,\text{MAX}}$ η μέγιστη στάθμη θορύβου που καταγράφηκε τουλάχιστον 3 φορές στο 24ωρο.

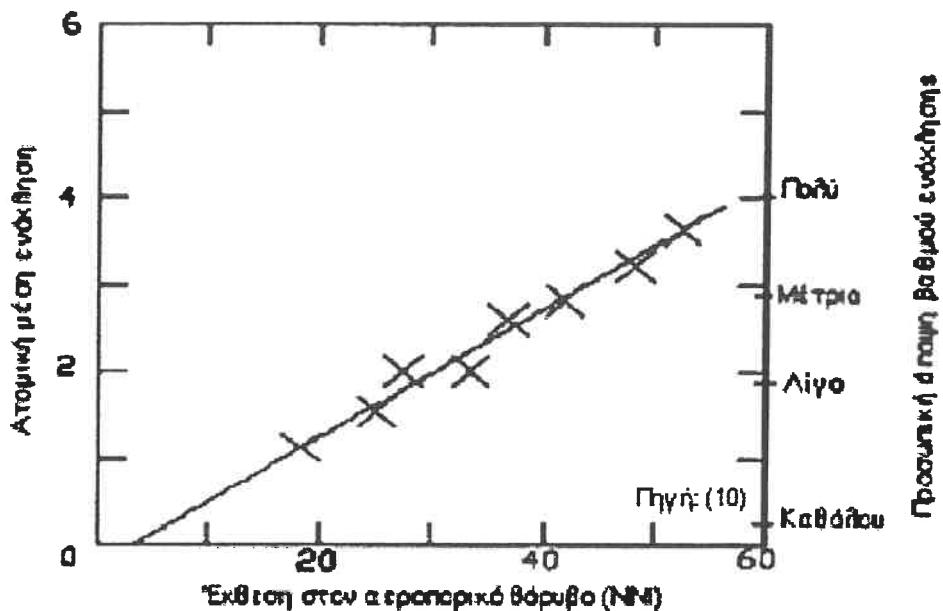
Παρακάτω παρατίθενται κάποια τυπικά διαγράμματα ενόχλησης-αεροπορικού θορύβου από τη διεθνή βιβλιογραφία^{(43),(10),(15)}. Στα διαγράμματα αυτά η ενόχληση εκφράζεται είτε ως το ποσοστό σε % του πληθυσμού που ζει στην περιοχή με την αντίστοιχη έκθεση θορύβου και δηλώνει ότι ενοχλείται (για παράδειγμα στο Διάγραμμα 12 το 30% περίπου του πληθυσμού που ζει εντός της περιοχής των 65DNL δηλώνει “πολύ ενοχλημένο”), είτε ως η ατομική ενόχληση του καθενός εκφρασμένη σε μια κλίμακα, για παράδειγμα από “καθόλου” έως “πάρα πολύ”, συναρτήσει διαφόρων σταθμών θορύβου που μπορεί να δέχεται (Διάγραμμα 13). Και στις δύο περιπτώσεις η ενόχληση είναι προσεγγιστικά γραμμική συνάρτηση της έκθεσης θορύβου και αυξάνει με την αύξηση αυτού.



Διάγραμμα 11 – Ενόχληση ως ποσοστό του πληθυσμού σε μια συγκεκριμένη ζώνη θορύβου – 1.



Διάγραμμα 12 – Ενόχληση ως ποσοστό του πληθυσμού σε μια συγκεκριμένη ζώνη θορύβου – 2.



Διάγραμμα 13 – Ατομική ενόχληση συναρτήσει διαφόρων επιπέδων αεροπορικού θορύβου.

Εδώ τίθεται το ερώτημα ποιο είναι το κατώτατο επίπεδο αεροπορικού θορύβου στο οποίο αρχίζει να γίνεται ενοχλητικός για τη γύρω κοινότητα. Οι Horonjeff και McKelvey υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη τιμή εκκίνησης της ενόχλησης⁽⁵⁾. Όταν ο θόρυβος από αεροσκάφη γίνεται ίσος με το θόρυβο του περιβάλλοντος τότε εμφανίζονται σποραδικά παράπονα ενόχλησης, ενώ όταν τον ξεπεράσει κατά 3DNL έως 5DNL το φαινόμενο γίνεται έντονο. Αντίθετα, από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο αεροπορικός θόρυβος ξεκινάει να γίνεται ενοχλητικός για τιμές **50-55DNL** περίπου (5% του πληθυσμού δηλώνει ότι ενοχλείται) ή για **25-30NNI**, όπου η ατομική ενόχληση στην κλίμακα 0-6 είναι 2, ανεξάρτητα από το θόρυβο περιβάλλοντος. Ο Nelson υποστηρίζει ότι για επίπεδα θορύβου **15-25NEF** η ενόχληση είναι μηδενική ή μόλις εμφανίζεται, για **25-40NEF** είναι μέτρια ενώ για περισσότερο από **40NEF** είναι έντονη⁽³⁶⁾. Ανάλογα είναι τα όρια που δίνονται και από την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ. 1178/81).

Επίσης από πρόσφατη έρευνα των Aasvang και Engdahl το 1998 προέκυψε ότι για στάθμη SEL μεμονωμένης αεροπορικής κίνησης ίση με **80dBA** -μετρημένη πάντα εξωτερικά των κτιρίων- η κίνηση αυτή καθίσταται ενοχλητική για την κοινότητα⁽²¹⁾, ενώ κατά τους Hume, Gregg, Thomas και Terranova αυτό συμβαίνει για μέγιστη στάθμη θορύβου αεροσκάφους ίση με **97PNdB** περίπου, με χρήση της κλίμακας PNL⁽²³⁾. Οι τιμές αυτές έχουν εξαχθεί από έρευνες σε τμήματα του εκτιθέμενου πληθυσμού και εκφράζουν το μέσο άτομο. Λόγω της υποκειμενικότητας όμως της αντύληψης του θορύβου δεν αποκλείεται η ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο να εκκινεί από μικρότερες ή μεγαλύτερες τιμές θορύβου από τις παραπάνω.

Ελάχιστη στάθμη θορύβου μεμονωμένης αεροπορικής που την καθιστά ενόχλητη	
SEL _{εξ} ή EPNL _{εξ}	80dBA ή 83EPNdB
PNLmax	97PNdB

Πίνακας 12 – Στάθμες θορύβου για έναρξη ενόχλησης από μεμονωμένο ηχητικό γεγονός.

Όχληση κοινότητας	Για θόρυβο κατά ΠΔ1178/81	Για θόρυβο κατά Nelson
Χαμηλή	<30NEF	<25NEF
Μέτρια	30NEF-40NEF	25NEF-40NEF
Υψηλή	>40NEF	>40NEF

Πίνακας 13 – Ζώνες ενόχλησης από συνολικό αεροπορικό θόρυβο κατά την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ. 1178/81) και κατά Nelson.

Ένας παράγοντας που είναι αμφιλεγόμενος ως προς το κατά πόσο επηρεάζει την ενόχληση από τα αεροσκάφη είναι ο ήδη υπάρχων θόρυβος του περιβάλλοντος. Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω οι Horonjeff και McKelvey⁽⁵⁾ υποστηρίζουν ότι αυτός πράγματι παίζει ρόλο, αφού για να εκδηλωθούν τα πρώτα παράπονα για ενοχλήσεις πρέπει ο αεροπορικός θόρυβος να εξισωθεί με το θόρυβο του περιβάλλοντος. Υπέρ της επιφροής του θορύβου αυτού είναι και οι Sonoko Kuwano και Seiichiro Namba⁽¹⁷⁾, οι οποίοι με την έρευνά τους απέδειξαν ότι για σταθερό αεροπορικό θόρυβο μια αύξηση στο θόρυβο περιβάλλοντος κατά 8.3dBA επιφέρει μείωση στην ατομική ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο - εκφρασμένη σε κλίμακα από 0-καθόλου έως 6-πάρα πολύ - κατά μία κατηγορία. Αντίθετα έρευνες των F.L. Sawyer⁽¹⁰⁾ το 1965, των S.M. Taylor, F.L. Hall, S.E. Birnie⁽¹⁸⁾ το 1978 και των S.M. Taylor⁽¹⁹⁾ το 1982 έδειξαν ότι ο θόρυβος περιβάλλοντος γενικά δεν επηρεάζει την ενόχληση από την έκθεση σε αεροπορικό θόρυβο, παρά μόνο ίσως στην περίπτωση μιας μεμονωμένης αεροπορικής κίνησης. Πάντως έχει αποδειχθεί⁽²⁰⁾ ότι η ενόχληση από αεροσκάφη συνοδεύεται και με μείωση της ενόχλησης από άλλες πηγές θορύβου όπως κυκλοφοριακή κίνηση, ενώ η ενόχληση τόσο εντός κλειστού χώρου όσο και εκτός είναι η ίδια για την ίδια έκθεση στο θόρυβο⁽²¹⁾.

Η ώρα της ημέρας στην οποία εκτελούνται οι απογειώσεις και προσγειώσεις έχει επίσης σημασία στην όχληση της κοινότητας. Είναι γενικά παραδεκτό ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας και τις πρώτες πρωινές ώρες (23:00-06:00) οι αεροπορικές κινήσεις είναι περισσότερο ενοχλητικές από οποιαδήποτε άλλη στιγμή. Από έρευνα των Hume, Gregg, Thomas και Tippanova το 1998 στο αεροδρόμιο του Μάντσεστερ προκύπτει ότι σε απόλυτους αριθμούς ο αριθμός των παραπόνων για αεροπορικό θόρυβο κατά το χρονικό διάστημα αυτό είναι χαμηλός⁽²³⁾. Αυτό συμβαίνει επειδή τα περισσότερα αεροδρόμια εφαρμόζουν πολιτική απαγόρευσης ή περιορισμού των νυχτερινών πτήσεων με αποτέλεσμα ο αριθμός των κινήσεων να είναι χαμηλός. Αν όμως τα παράπονα ενόχλησης αναχθούν σε παράπονα/κινήσεις τότε γίνεται φανερό ότι τις

πρώτες πρωινές ώρες εμφανίζονται υψηλές τιμές σε σχέση με τις απογευματινές ή τις βραδινές. Αυτό οφείλεται στη διαταραχή του ύπνου των παραπονούμενων, κατά τη διάρκεια του οποίου η ανοχή στο θόρυβο από οποιαδήποτε πηγή είναι η ελάχιστη, για αυτό άλλωστε εφαρμόζονται και οι ποινές κατά την περιγραφή του θορύβου από τους δείκτες. Εάν μάλιστα δεν υφίστατο η παραπάνω πολιτική νυχτερινού θορύβου ο αριθμός παραπόνων ανά κίνηση θα ήταν αναμφίβολα ακόμη μεγαλύτερος.

Παρ' όλα αυτά σύμφωνα με έρευνα των Fidell και Jones το 1975 στο αεροδρόμιο των Los Angeles, μία προσπάθεια για παύση των νυχτερινών πτήσεων (κόπηκαν 50 κινήσεις στο διάστημα μεταξύ 23:00 και 06:00) δεν απέφερε το επιθυμητό αποτέλεσμα⁽¹⁵⁾. Το 60% των ερωτηθέντων δεν αντιλήφθηκε καμία μεταβολή στον αριθμό των κινήσεων κατά τη διάρκεια της νύχτας ούτε και μεταβλήθηκε η όχληση της κοινότητας. Το φαινόμενο αυτό έχει δύο εξηγήσεις: είτε ο αριθμός των 50 πτήσεων που κόπηκαν δεν ήταν αρκετός, είτε υπάρχει τελικά μια εξοικείωση του ανθρώπου με το θόρυβο κάτι όμως που αποκλείεται από άλλες έρευνες.

Ενδιαφέρον επίσης έχει το αν και πώς τα ατομικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού (φύλο, ηλικία, εισόδημα, επίπεδο μόρφωσης, τύπος κατοικίας, χρόνος διαμονής στην περιοχή) επηρεάζουν την ενόχληση από το θόρυβο αεροσκαφών. Ο F.L. Sawyer υποστηρίζει ότι τα ατομικά αυτά χαρακτηριστικά δεν παίζουν κανένα ρόλο στο πόσο ενοχλητικός εκλαμβάνεται ο αεροπορικός θόρυβος⁽¹⁰⁾, ενώ αντίθετα οι Rylander, Sorensen και Kajland⁽⁷⁾ και οι Garcia και Faus⁽²²⁾ σε νεότερες έρευνές τους ισχυρίζονται ότι η ηλικία, το επίπεδο μόρφωσης, ο τύπος κατοικίας και ο χρόνος διαμονής συνδέονται άμεσα με το επίπεδο ατομικής ενόχλησης. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι στην κλίμακα 1(καθόλου) - 5(πολύ) η ενόχληση μειώνεται με την ηλικία και αυξάνεται με το επίπεδο μόρφωσης.

Επίσης άτομα που ζουν σε μονοκατοικίες ενοχλούνται περισσότερο από τον αεροπορικό θόρυβο απ' ότι άτομα που ζουν σε άλλου είδους κατοικίες και τέλος μεγαλύτερη ενόχληση εμφανίζεται σε άτομα που ζουν στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου για περισσότερα από 10 χρόνια σε σχέση με άτομα που έχουν πρόσφατα μετακομίσει εκεί. Το τελευταίο αποτελεί και ένδειξη ότι δεν τίθεται τελικά θέμα εξοικείωσης του ανθρώπου με τον αεροπορικό θόρυβο. Το μοναδικό ίσως ατομικό χαρακτηριστικό που αναμφισβήτητα παίζει ρόλο στο πώς εκλαμβάνεται ο θόρυβος από αεροσκάφη είναι η ευαισθησία του καθενός στο ερέθισμα που προκαλεί ο θόρυβος αυτός.

Τέλος, στις ειδικές περιπτώσεις όπου το αεροδρόμιο χρησιμοποιείται και από στρατιωτικά αεροσκάφη (σύντομες στρατιωτικές ασκήσεις) ή από ελικόπτερα, η ενόχληση δεν αλλάζει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ούτε τα στρατιωτικά αεροσκάφη (για μικρής διάρκειας χρήσης του αεροδρομίου) ούτε τα ελικόπτερα μεταβάλλουν σε σημαντικό βαθμό την συνολική έκθεση της περιοχής γύρω από ένα αεροδρόμιο στο θόρυβο^{(24),(25)}. Πάντως στο σχέδιο μείωσης του αεροπορικού θορύβου που εφαρμόζεται στο αεροδρόμιο "Ελ. Βενιζέλος" των Αθηνών συνίσταται να αποφεύγεται η πτήση ελικοπτέρων πάνω από κατοικημένες περιοχές αν αυτό είναι δυνατόν.

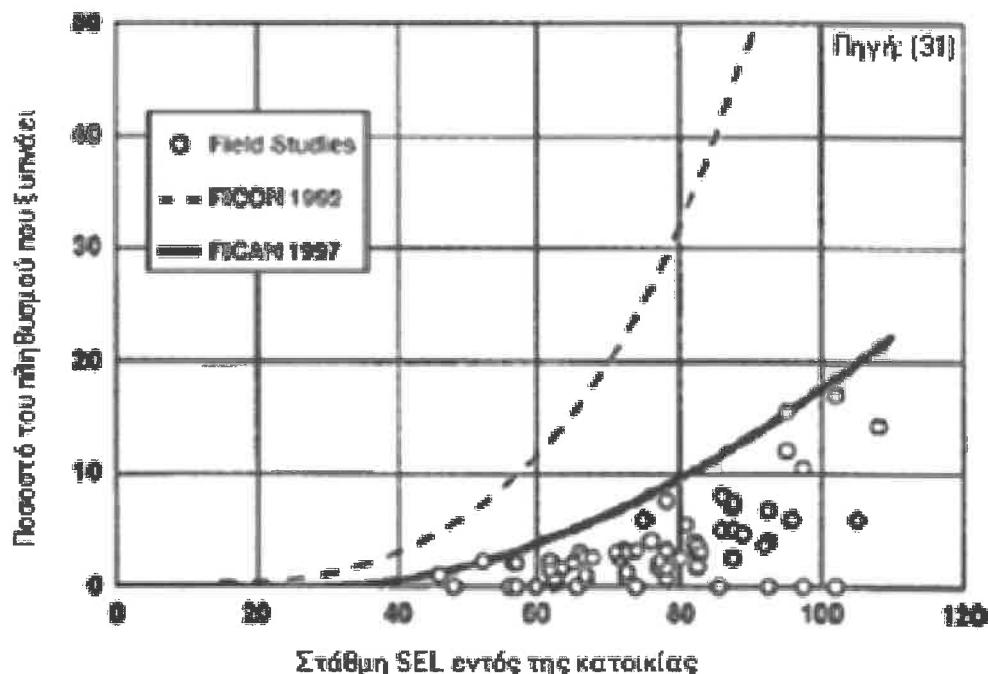
Όσον αφορά την αντίδραση του κοινού στον αεροπορικό θόρυβο, αν και η ενόχληση όπως αναλύθηκε παραπάνω είναι εμφανής μεταξύ του πληθυσμού, έχει αποδειχθεί ότι η πλειοψηφία των ενοχλούμενων δεν καταφεύγει σε επίσημη διαμαρτυρία προς τις αρχές, καθώς δεν πιστεύουν ότι οι απόψεις τους θα εισακουστούν από τους αρμόδιους φορείς⁽²²⁾.

Από τις δραστηριότητες που διακόπτονται λόγω του θορύβου αυτού, αυτές που έχουν αναφερθεί στις περισσότερες έρευνες είναι η διακοπή συνομιλίας μεταξύ δύο ατόμων, η αδυναμία παρακολούθησης τηλεόρασης ή χρήσης ραδιοφώνου, η αφύπνιση ή μείωση του βάθους ύπνου (Διάγραμμα 14), η αδυναμία εργασίας/σκέψης/διαβάσματος και τέλος οι κραδασμοί από τις δονήσεις του διερχόμενου αεροσκάφους. Ειδικά για την περίπτωση αφυπνίσεων λόγω θορύβου από αεροσκάφος, οι Wijnen και Visser δίνουν την παρακάτω σχέση⁽³¹⁾:

$$A\% = 0.0087 (SEL_{eq} - 30)^{1.79},$$

όπου A% είναι το ποσοστό του πληθυσμού που ξυπνάει λόγω διέλευσης ενός αεροσκάφους και SEL_{eq} η αντιληπτή στάθμη θορύβου από το αεροσκάφος αυτό εντός της κατοικίας, η οποία ισούται με τη στάθμη SEL στο εξωτερικό της όπως ορίζεται στο κεφάλαιο περί δεικτών αεροπορικού θορύβου μείον την παρεχόμενη μόνωση ($SEL_{eq} = SEL_{ex} - \text{μόνωση}$)

Οι παραπάνω διακοπτόμενες δραστηριότητες, μαζί με την εναισθησία στο θόρυβο και τη γενικότερη στάση απέναντι στα μεταφορικά μέσα και ειδικά στα αεροπλάνα, αποτελούν και τις αιτίες για την εμφάνιση της ενόχλησης⁽¹⁹⁾.



Διάγραμμα 14 – Ποσοστό πληθυσμού που ξυπνάει για διάφορες στάθμες αεροπορικού θορύβου από μεμονωμένη αεροπορική κίνηση κατά Wijnen, Visser.

Συμπερασματικά από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η ενόχληση μιας κοινότητας λόγω αεροπορικού θορύβου είναι ένα σύνθετο φαινόμενο και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (έκθεση στο θόρυβο αεροσκαφών, θόρυβος περιβάλλοντος, ώρα της ημέρας, ατομικά χαρακτηριστικά πληθυσμού, δραστηριότητες που διακόπτονται). Ακόμη και αν μπορούσαμε να θέσουμε σε όλα τα αεροδρόμια ίσες τιμές για τους παραπάνω παράγοντες, πάλι δεν θα ήταν δυνατό να προβλέψουμε επακριβώς την ενόχληση σε μια νέα περιοχή χωρίς να κάνουμε μια νέα έρευνα. Αυτό οφείλεται στην υποκειμενικότητα του φαινομένου της ενόχλησης, καθώς κύριος παράγοντας της είναι η ευαισθησία του καθενός αλλά και στις διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

Παράγοντας	Πώς επηρεάζει την ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο
Θόρυβος από α/φ	Ενόχληση, ατομική ή ως ποσοστό επί το εκτιθέμενου πληθυσμού, γραμμική συνάρτηση της έκθεσης σε αεροπορικό θόρυβο και αυξάνει με αύξηση αυτού.
Θόρυβος περιβάλλοντος	Πιθανώς δεν παίζει ρόλο στην ενόχληση από θόρυβο αεροδρομίου
Είδος χώρου	Ενόχληση σε εξωτερικό χώρο ίδια με εσωτερικό χώρο για ίση έκθεση σε αεροπορικό θόρυβο
Ώρα της ημέρας	Υψηλότερη ενόχληση κατά τη διάρκεια της νύχτας (23:00-06:00)
Ατομικά χαρακτηριστικά	Ηλικία και μόρφωση παίζουν ρόλο. Η ενόχληση αυξάνει με το επίπεδο μόρφωσης και μειώνεται με την ηλικία
Τύπος κατοικίας	Άτομα που ζουν σε μονοκατοικίες ενοχλούνται περισσότερο
Χρόνος διαμονής στην περιοχή	Η ενόχληση αυξάνει με το χρόνο διαμονής στην περιοχή. Δεν τίθεται θέμα εξοικείωσης με τον αεροπορικό θόρυβο
Στρατιωτικά α/φ	Σύντομες στρατιωτικές ασκήσεις δεν ενοχλούν περαιτέρω
Ελικόπτερα	Δεν ενοχλούν σημαντικά, να αποφεύγονται όμως αν είναι δυνατόν

Πίνακας 14 – Επιρροή διαφόρων παραγόντων στην ενόχληση από αεροπορικό θόρυβο.

Στο παράρτημα δίδεται ένα τυπικό ερωτηματολόγιο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μια μελλοντική έρευνα δόσης-ενόχλησης αεροπορικού θορύβου σε ένα αεροδρόμιο της Ελλάδας. Το ερωτηματολόγιο αυτό δίδεται προς συμπλήρωση σε ένα προκαθορισμένο δείγμα του πληθυσμού που ζει κοντά στο υπόψην αεροδρόμιο και οι απαντήσεις διασταυρώνονται με την προβλεπόμενη ή μετρηθείσα έκθεση θορύβου στην περιοχή κατοικίας του κάθε ατόμου του δείγματος, έτσι ώστε να εξαχθούν οι σχέσεις θορύβου-ενόχλησης και οι διακοπτόμενες από τον αεροπορικό θόρυβο δραστηριότητες.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εγκυρότητα και την ακρίβεια της έρευνας είναι η κατάρτιση ενός τέτοιου ερωτηματολογίου κατά τέτοιον τρόπο ώστε να αποκρύπτεται από τον ερωτώμενο πληθυσμό ο στόχος της έρευνας (τεχνική “masking”). Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα θέτοντας κάποιες ερωτήσεις γενικού ενδιαφέροντος για την κατάσταση του περιβάλλοντος, προτού ερωτηθούν για το πρόβλημα του αεροπορικού θορύβου. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει το σοβαρό ενδεχόμενο της εκ των προτέρων αρνητικής προδιάθεσης στις απαντήσεις έχοντας την ψευδαίσθηση ότι με αυτόν τον τρόπο θα δοθεί έμφαση στο πρόβλημα του θορύβου από τους αρμόδιους φορείς. Για τον ίδιο λόγο συνηθίζεται επίσης οι συνεντεύξιαστές που θα παρουσιάσουν το ερωτηματολόγιο στον πληθυσμό να μην είναι ενημερωμένοι για το σκοπό της έρευνας, ή αν είναι να το παρουσιάσουν αποκρύπτοντας και πάλι το σκοπό της.

Οι κλίμακες που χρησιμοποιούνται στις απαντήσεις μπορούν να είναι μικρές ή μεγάλες. Μεγάλες κλίμακες (πχ 0-9) προσδίδουν μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα, μπορεί όμως να προκαλέσουν σύγχυση στον ερωτώμενο. Συνηθίζεται στις έρευνες αυτές η χρησιμοποιούμενη κλίμακα να είναι τεσσάρων ή πέντε βαθμών (πχ δυνατές απαντήσεις στο ερώτημα «πόσο σας ενοχλεί ο θόρυβος από τη λειτουργία του αεροδρομίου»: 0-καθόλου, 1-λίγο, 2-μέτρια, 3-πολύ).

4.3 Επιπτώσεις στις αξίες κατοικίας

Ο αεροπορικός θόρυβος έχει σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο και στις αξίες κατοικίας της ευρύτερης περιοχής του αεροδρομίου. Η υποβάθμιση του περιβάλλοντος που προκαλείται από την ηχορύπανση εκτός του ότι είναι ανεπιθύμητη για τους ανθρώπους για λόγους ενόχλησης και υγείας είναι και ζημιογόνα για τις τιμές πώλησης/αγοράς των κατοικιών.

Το κόστος αυτό που προκαλεί ο θόρυβος στην αγορά κατοικιών είναι αναγκαίο να αποτιμηθεί σε χρηματικές μονάδες, έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η αναγκαία αποζημίωση των κατοίκων μέσω διαφόρων προγραμμάτων, όπως χρηματοδότηση για εγκατάσταση διπλών τζαμιών στις κατοικίες, και γενικότερα για να είναι δυνατή η ορθολογική λήψη αποφάσεων. Για την αποτίμηση του κόστους θορύβου έχουν χρησιμοποιηθεί δύο μέθοδοι, η Hedonic Price Method (HPM), που είναι και η κυρίως χρησιμοποιούμενη, και η Contingent Valuation Method (CVM).

Η πρώτη είναι μέθοδος αποτίμησης αγαθών που δεν υπάρχουν στην αγορά (non-market goods), όπως για παράδειγμα η ποιότητα περιβάλλοντος, κάνοντας χρήση διαθέσιμων πληροφοριών αγαθών της αγοράς, όπως οι αξίες κατοικίας. Είναι η πιο διαδεδομένη στις έρευνες κόστους αεροπορικού θορύβου αλλά το μεγάλο μειονέκτημά της είναι ότι στο κόστος αυτό δεν συμπεριλαμβάνει το πρόσθετο κόστος από τη λεγόμενη “απώλεια δυνατότητας χρήσης γης” (land utility loss).

Πράγματι εκτός από την υποβάθμιση στην αξία μιας κατοικίας λόγω αεροπορικού θορύβου υπάρχει και η πιθανότητα η κατοικία αυτή να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί ως κατοικία. Το πρόσθετο αυτό κόστος δε λαμβάνεται υπόψη από την HPM σε αντίθεση με την CVM που συνυπολογίζει και τη συνιστώσα αυτή. Η μέθοδος CVM βασίζεται στο ερώτημα προς τους κατοίκους “τι ποσό είστε διατεθειμένοι να δώσετε για μια κατοικία” (Willingness To Pay - WTP) συναρτήσει διαφόρων συνθηκών αεροπορικού θορύβου που θα επικρατούσαν στην περιοχή της υποθετικής κατοικίας. Η μέθοδος αυτή δίνει μια πιο ρεαλιστική κατάσταση του κόστους θορύβου.

Έρευνα των Feitelson, Hurd και Mudge⁽³⁵⁾ δείχνει ότι το WTP συνεχώς μειώνεται για όλο και χειρότερες συνθήκες αεροπορικού θορύβου στην υπόψη κατοικία, ενώ από ένα επίπεδο θορύβου και μετά το WTP μηδενίζεται. Τα συμπεράσματά τους από την έρευνα ήταν ότι οι αποζημιώσεις που παρέχονται στους ενοχλούμενους κατοίκους είναι ανεπαρκείς, ακριβώς επειδή δε λαμβάνεται υπόψη το land utility loss, ενώ και οι μονώσεις κατοικιών που επιδοτούνται από τα αεροδρόμια είναι μεν ένα θετικό μέτρο όμως τελικά δεν λύνουν το πρόβλημα του θορύβου. Πάντως, αν και η CVM δίνει ακριβέστερη εκτίμηση του κόστους, αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς είναι η HPM, η οποία λαμβάνει υπόψη μόνο την υποτίμηση αξίας γης.

Μία άποψη που υποστηρίζεται από πολλούς ερευνητές είναι ότι το αεροδρόμιο μπορεί μεν να επιδρά αρνητικά στις αξίες κατοικίας λόγω του αυξημένου θορύβου, από την άλλη όμως η παρουσία του σε μια περιοχή επιφέρει και οικονομική ανάπτυξη με αποτέλεσμα την αύξηση στις τιμές των κατοικιών. Πρόκειται δηλαδή για δύο αντίθετες συνιστώσες, οι οποίες και καθορίζουν την τελική αξία της κατοικίας.

Πράγματι, κατά τον Nelson η αξία V μιας κατοικίας είναι γενικά συνάρτηση⁽³⁶⁾:

- των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών S της κατοικίας,
- των τοπικών χαρακτηριστικών L ,
- των χαρακτηριστικών περιβάλλοντος Q (θόρυβος, καθαριότητα περιοχής κλπ),
- των επιβαλλόμενων φόρων T και
- των παρεχόμενων υπηρεσιών E (σχολεία, εμπορικά καταστήματα κλπ).

Πρόκειται δηλαδή για μια σχέση της μορφής $V = V(S, L, Q, T, E)$. Μια τέτοια σχέση που προτείνει ο Nelson και η οποία βασίζεται στην μέθοδο HPM είναι η:

$$V = b_0 Z^{b_1} A^{b_2} u_1,$$

όπου V είναι η τιμή της κατοικίας,

Z είναι όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά της περιοχής,

A είναι η ενόχληση του πληθυσμού από αεροπορικό θόρυβο και
 b_0, b_1, u_1 σταθερές.

Η ενόχληση A με τη σειρά της μπορεί να εκφραστεί ως:

$$A = c_0 e^{c_1 \text{NEF}} u_2,$$

όπου NEF την έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο και

c_0, c_1, u_2 σταθερές.

Αν λογαριθμήσουμε παίρνουμε την τελική εξίσωση θορύβου-αξίας που είναι:

$$\boxed{\ln V = d_0 + d_1 \ln Z + d_2 \text{NEF} + u_3, \text{ με } d_0, d_1, d_2, u_3 \text{ σταθερές και } d_2 < 0}$$

Ανάλογης μορφής είναι και η εξίσωση του McMillen⁽⁸⁾. Η τιμή για μιας κατοικίας είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών αυτής και του περιβάλλοντος - x , καθώς και του αεροπορικού θορύβου:

$$y = b^*x - \delta^* \text{NOISE} + u,$$

όπου NOISE ίσο με 0 αν η κατοικία βρίσκεται εκτός ζώνης των $65 \text{DNL}_{\text{ann}}$ ή ίσο με 1 αν

είναι εντός και

b , δ , u σταθερές

Τέλος παρόμοια σχέση δίνουν και οι Uyeno, Hamilton και Biggs, με το λογάριθμο της τιμής της κατοικίας να είναι γραμμική συνάρτηση του NEF, όταν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της παραμένουν σταθερά⁽³⁷⁾.



Διάγραμμα 15 - Μεταβολή της τιμής μιας κατοικίας συναρτήσει του δείκτη αεροπορικού θορύβου NEF.

Από τις εξισώσεις αυτές φαίνεται καθαρά ότι η αξία μιας κατοικίας δεν εξαρτάται μόνο από το θόρυβο αλλά και από τα γενικότερα χαρακτηριστικά της ίδιας της κατοικίας και της ευρύτερης περιοχής. Ετσι ο μεν θόρυβος τείνει να υποβαθμίσει την περιοχή και επομένως να μειώσει τις αξίες κατοικίας, η δε εγγύτητα στον αερολιμένα επιφέρει αύξηση στις τιμές αυτές αφού η ευρύτερη περιοχή ενός αεροδρομίου θεωρείται ότι αναπτύσσεται οικονομικά με την παρουσία του. Βλέπουμε δηλαδή ότι ο θόρυβος δεν είναι απαραίτητα ο καθοριστικός παράγοντας στην τελική αξία μιας κατοικίας. Οι Pennington, Topham και Ward υποστηρίζουν ότι τον πλέον καθοριστικό ρόλο στην αξία παιζουν οι μεταβλητές “κατάσταση γειτονιάς της κατοικίας” και “κατάσταση περιβάλλοντος”⁽⁹⁾.

Αν όμως θεωρήσουμε δύο κατοικίες οι οποίες είναι πανομοιότυπες τόσο ως προς την κατασκευή τους όσο και ως προς τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά (πχ πρόσβαση στον αυτοκινητόδρομο, εγγύτητα στον αερολιμένα, ποιότητα περιβάλλοντος κλπ) και διαφέρουν μόνο ως προς την έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο τότε πράγματι αναμένεται η κατοικία με τον υψηλότερο θόρυβο να έχει και μικρότερη αξία.

Η επίδραση αυτή του θορύβου στην αξία της κατοικίας περιγράφεται τότε με το δείκτη Noise Depreciation Sensitivity Index (NDSI ή αλλιώς NDI), οποίος ορίζεται ως εξής:

$$NDSI(\%) = (D / \text{αρχική αξία κατοικίας}) \times 100 ,$$

όπου D = διαφορά στην τιμή των δύο κατοικιών / διαφορά στην έκθεσή τους στο θόρυβο.

Ο δείκτης αυτός βασίζεται στη μέθοδο αποτίμησης αεροπορικού θορύβου HPM και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της αξίας της κατοικίας για μεταβολή της έκθεσης στο θόρυβο κατά 1dBA, 1NEF, 1NNI κ.ο.κ, ανάλογα με το δείκτη θορύβου που χρησιμοποιείται. Παλαιότερες έρευνες⁽³⁶⁾ των Abelson, De Vany, Dygert, Emerson, Gautrin, McDougall, McMillan et al., Maser et al., Mieszkowski and Saper, Nelson, Paik και Price έχουν δώσει ένα φάσμα τιμών NDSI από 0.40% έως 1.10% με μέση τιμή 0.62%, ενώ νεότερη έρευνα του Nelson⁽³⁶⁾ το 1979 έδωσε τιμές από 0.50% έως 0.55%. Για τις περισσότερες από τις παραπάνω έρευνες ως δείκτης θορύβου

χρησιμοποιήθηκε ο NEF. Οι Morrell και Cherie⁽³⁴⁾ δίνουν τιμή NDSI = 0.60%-0.62% για δεύτη θορύβου των NEF, οι Uyeno, Hamilton, Biggs⁽³⁷⁾ δίνουν 0.65% για έκθεση στο θόρυβο μεγαλύτερη ή ίση των 25NEF, ενώ τέλος ο OECD⁽⁴⁶⁾ δίνει 0.50% για αεροπορικό θόρυβο μεγαλύτερο των 50dBA. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι όσο ακριβότερη είναι μια περιοχή τόσο μεγαλύτερη αναμένεται να είναι η τιμή του NDSI.

Ως μια τυπική μέση τιμή NDSI θα μπορούσαμε σύμφωνα με τα παραπάνω να επιλέξουμε 0.60%-0.65%. Εδώ τίθεται το ερώτημα αν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για μια περιοχή κάποιος δείκτης NDSI που έχει προκύψει από έρευνα σε άλλη περιοχή. Οι Schipper, Nijkamp και Rietveld⁽³⁸⁾ είναι κατηγορηματικοί πως η αντούσια μεταφορά και εφαρμογή του είναι άστοχη, καθώς οι τιμές NDSI παρουσιάζουν στατιστικώς μεγάλη διακύμανση, η οποία αν δεν συνεκτιμήθει οδηγεί στην υποεκτίμηση ή την υπερεκτίμηση της κατάστασης. Για το λόγο αυτό προτείνεται από τους ίδιους η μέθοδος “meta-analysis”, η οποία λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς επίσης και το σύνολο των αποτελεσμάτων από προηγούμενες έρευνες δεικτών NDSI και αποδίδει σωστά την επίδραση του αεροπορικού θορύβου στις αξίες κατοικίας⁽³⁸⁾.

Έρευνα	Έτος	NDSI	Ανά μονάδα
Pearce	1985	0.50%	dBA
Morrell - Cherie	1999	0.60% - 0.62%	NEF
Uyeno - Hamilton - Biggs	-	0.65%	NEF
Nelson	1978	1.10%	NEF
	1979	0.50% - 0.55%	NEF
Abelson	1979	0.40% - 0.50%	NEF
De Vany	1976	0.58%	NEF
Dygert	1973	0.50% - 0.70%	NEF
Emerson	1972	0.58%	NEF
Gautrin	1975	0.56% - 0.68% 0.25% - 0.30%	NEF NNI
McMillan et al.	1978	0.50%	NEF
Maser et al.	1977	0.82% - 0.95% για κέντρο πόλης 0.55% - 0.68% για προάστια	NEF NEF
Mieszkowski - Saper	1978	0.5% - 1.3%	NEF
Price	1974	0.83%	NEF
Μέση τιμή		0.65%	NEF

Πίνακας 15 – Ενδεικτικές τιμές NDSI για διάφορες έρευνες διεθνώς.

Για μια σύγκριση με τις παραπάνω τιμές επιχειρήθηκε η εξαγωγή του δείκτη NDSI για την περιοχή της Αρτέμιδος, η οποία σύμφωνα με το χάρτη ισοθορυβικών του αεροδρομίου της Αθήνας είναι και η πλέον εκτιθέμενη στον αεροπορικό θόρυβο. Ύστερα από έρευνα αγοράς κατοικίας στην περιοχή Νεάπολης του Δήμου Αρτέμιδος, προέκυψαν οι παρακάτω μέσες τιμές ανά κτισμένο τετραγωνικό, πριν τη λειτουργία του νέου αεροδρομίου (2000) και μετά (2002):

Έτος	Αεροπορικός θόρυβος	Τιμή αγοράς κτισμένου m^2
2000	ONEF	1030 ευρώ/ m^2
2002	25-30NEF	1470 ευρώ/ m^2
Μεταβολή	<u>25-30NEF</u>	<u>+ 42.7%</u>

Πίνακας 16 – Σύγκριση τιμών αγοράς μονοκατοικίας στο Δήμο Αρτέμιδος πριν και μετά τη λειτουργία του νέου αεροδρομίου της Αθήνας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν αυτό ακριβώς που αναφέρθηκε παραπάνω περί θετικής επίδρασης ενός αερολιμένα στην οικονομική ανάπτυξη της γύρω περιοχής. Παρά την αύξηση του αεροπορικού θορύβου στην περιοχή κατά 25-30NEF οι τιμές κατοικίες αντί να μειωθούν αυξήθηκαν κατά 42.7%. Δηλαδή ναι μεν ο θόρυβος στην περιοχή της Αρτέμιδος αυξήθηκε κατακόρυφα μετά την λειτουργία ου αεροδρομίου των Σπάτων, όμως η όποια μείωση στις αξίες κατοικίας λόγω του θορύβου υπερκαλύφθηκε από την αύξηση στις αξίες λόγω ανάπτυξης. Εποιητικής αδύνατη η εξαγωγή του δείκτη NDSI.

Ο δείκτης αυτός ίσως γίνει δυνατό να εξαχθεί μετά την πάροδο μερικών ετών, όπου ο θόρυβος με δεδομένη την προβλεπόμενη αύξηση των κτινήσεων θα αυξηθεί, ενώ ταυτόχρονα τα όποια οφέλη από την παρουσία του νέου αερολιμένα θα έχουν ήδη καρπωθεί. Τότε η μόνη μεταβλητή στην εξίσωση τιμής κατοικίας που θα αλλάξει θα είναι η έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο, οπότε και θα καταστεί δυνατός ο υπολογισμός της «καθαρής» επίδρασης του θορύβου στις αξίες κατοικίας.

5 Μέτρα αντιμετώπισης / Πολιτικές

Για το ολοένα και εντεινόμενο πρόβλημα του αεροπορικού θορύβου έχουν προταθεί και εφαρμοστεί κατά καιρούς πολλά μέτρα, τόσο σε μεμονωμένο επίπεδο, για παράδειγμα λήψη από τη διοίκηση ενός αεροδρομίου κάποιων μέτρων μείωσης του θορύβου κατά την κρίση της, όσο και σε επίπεδο διεθνών φορέων, όπως οδηγίες από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το πιο αποτελεσματικό μέτρο που θα έδινε τη δυνατότητα για άμεση λύση του προβλήματος του θορύβου αεροδρομίου θα ήταν η μείωση των αεροπορικών κινήσεων. Ωστόσο κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατον καθώς η ζήτηση για αεροπορική μετάβαση από το κοινό είναι τεράστια⁽⁴⁷⁾, με αποτέλεσμα όχι μόνο να μην μπορούν να μειωθούν οι αεροπορικές κινήσεις αλλά μάλιστα να αυξάνονται θεαματικά κάθε χρόνο, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή (5%-10% για κάθε χρόνο για τα επόμενα 10-15 χρόνια). Εποι αναζητήθηκαν και τελικώς εφαρμόστηκαν εναλλακτικές λύσεις με πιο σημαντικές τις εξής:

- μείωση του αεροπορικού θορύβου στην πηγή του,
- μείωση με αλλαγή των προφίλ πτήσεων και με επιβολή περιορισμών χρήσης των αεροδρομίων (επιχειρησιακά μέτρα - operational schemes),
- οικονομικά μέτρα (επιβολή τελών θορύβου),
- κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης,
- καθορισμός συμβατών χρήσεων γης γύρω από το αεροδρόμιο και
- λοιπά μέτρα αντιμετώπισης.

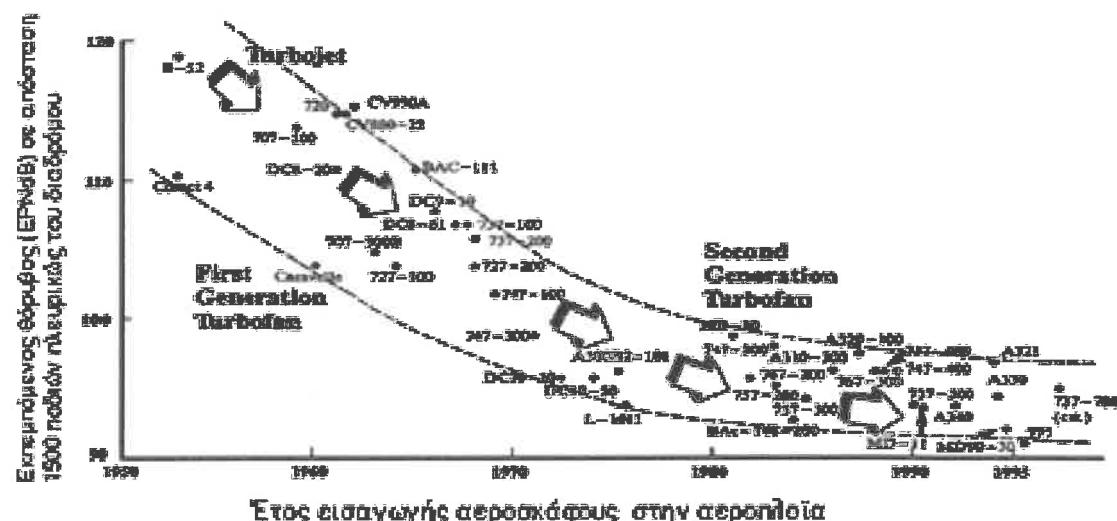
Παρακάτω επεξηγούνται τα μέτρα αυτά και στο τέλος παρουσιάζονται κάποια σημαντικά Προγράμματα και Κανονισμοί που έχουν εκπονηθεί διεθνώς για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του αεροπορικού θορύβου. Σημειώνεται πως η χωροθέτηση συμβατών χρήσεων γης αποτελεί από μόνη της μια ειδική κατηγορία μέτρων αντιμετώπισης και για το λόγο αυτό παρουσιάζεται ξεχωριστά στο κεφάλαιο 6.

5.1 Μείωση του αεροπορικού θορύβου στην πηγή του

Το μέτρο αυτό αποτελεί την πιο άμεση λύση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί. Πρόκειται για την κατασκευή λιγότερο θορυβωδών αεροσκαφών και την εισαγωγή τους στη διεθνή αεροπλοΐα. Ήδη η NASA σε πρόγραμμά της από το 1966 είχε προτείνει κάποιες κατασκευαστικές λύσεις τόσο για τη μηχανή του αεροσκάφους όσο και για την άτρακτο⁽³⁰⁾. Συγκεκριμένα είχε βρεθεί ότι μηχανές υψηλού bypass ratio εκπέμπουν λιγότερο θόρυβο ενώ μικρή αύξηση στην απόσταση μεταξύ στατικών και περιστρεφόμενων μερών της μηχανής οδηγεί σε μείωση του θορύβου κατά 12dBA-16dBA. Μόνωση μέσα στο περιβλήμα της μηχανής επέφερε περαιτέρω μείωση κατά 17dB περίπου και η τοποθέτηση των μηχανών πάνω από τα πτερύγια αντί κάτω από αυτά όπως συνηθίζεται μείωσε τον εκπεμπόμενο θόρυβο κατά 5dBA επιπλέον. Τέλος βρέθηκε ότι η χρήση ακροφυσίων τετραγωνικής διατομής στις εξατμίσεις του jet αεροσκάφους τείνει να “κατευθύνει” το θόρυβο προς τα πάνω, καθιστώντας έτσι το αεροσκάφος λιγότερο ενοχλητικό.

Έκτοτε η τεχνολογία κατασκευής των αεροσκαφών έχει προχωρήσει πολύ με αποτέλεσμα σήμερα ένα τυπικό αεροσκάφος jet (πχ A340) να εκπέμπει περίπου 95EPNdB (θόρυβος μετρημένος στο μέσο του διαδρόμου, σε απόσταση 1500 ποδιών πλευρικώς από αυτόν) σε αντίθεση με τα αεροσκάφη των δεκαετιών του 1960 και 1970 που εξέπεμπαν 105EPNdB-110EPNdB (B747-100, DC8-20).

Παρ' όλα αυτά τα περιθώρια για περαιτέρω μείωση του θορύβου στην πηγή του έχουν εξαντληθεί και όπως φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα η εκπομπή θορύβου από ένα μελλοντικό αεροσκάφος τείνει ασυμπτωτικά στα 90EPNdB-95EPNdB⁽⁴⁷⁾. Νέες μειώσεις θα μπορέσουν να πραγματοποιηθούν μόνο αν εξευρεθούν επαναστατικές μέθοδοι στην κατασκευή μηχανών και ατράκτων αεροσκαφών.



Διάγραμμα 16 – Πρόοδος στη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου από το αεροσκάφος.

5.2 Επιχειρησιακά μέτρα αντιμετώπισης

Πρόκειται για μέτρα που επιτρέπουν τη μείωση του αεροπορικού θορύβου με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Αποκαλούνται διεθνώς ως NAP – Noise Abatement Procedures (Διαδικασίες Μείωσης Θορύβου) και πρόκειται για τα εξής:

- Τροποποίηση των διαδικασιών απογείωσης/προσγείωσης
- Βελτιστοποίηση της κατανομής των αεροπορικών κινήσεων σε διαδρόμους και αεροδιαδρόμους (flight routes) και
- Επιβολή περιορισμών χρήσης ενός αεροδρομίου από αεροσκάφη κάποιου συγκεκριμένου τύπου.

5.2.1 Τροποποίηση διαδικασιών απογείωσης/προσγείωσης

Το πρώτο μέτρο, αλλαγή των διαδικασιών απογείωσης/προσγείωσης, στοχεύει στη μείωση του αντιληπτού θορύβου από την κοινότητα μέσω της μετατόπισης της αρχικής τροχιάς του αεροσκάφους κατακορύφως ή οριζόντιως. Η NASA στο πρόγραμμά της το 1966 προτείνει για την απογείωση είτε η τροχοδρόμηση να γίνεται με υψηλότερη ταχύτητα και η αποκόλληση να γίνεται πριν το τέλος του διαδρόμου και με μεγαλύτερη γωνία ανόδου, είτε να γίνεται κανονική τροχοδρόμηση και αποκόλληση αλλά με μείωση της ισχύος του κινητήρα μετά από ένα σημείο⁽³⁰⁾. Ειδικά η πρώτη λύση μπορεί να περιορίσει την ισοθορυβική των 100EPNdB εντός 0.5 μιλίου από κάθε πλευρά του διαδρόμου. Για την προσγείωση προτείνεται η κάθοδος του αεροσκάφους σε δύο στάδια, το πρώτο με γωνία 6° ως προς την επιφάνεια του εδάφους και το δεύτερο με γωνία 3°, εν αντιθέσει με την τυπική διαδικασία προσέγγισης που προβλέπει οριζόντια πορεία και μετά κάθοδο με γωνία 3°.

Οι Zaporozhets και Tokarev σε έρευνά τους προτείνουν για τη διαδικασία απογείωσης μείωση της ισχύος του κινητήρα σε απόσταση 4km περίπου από το σημείο εκκίνησης της τροχοδρόμησης (περίπου 1km μετά το τέλος του διαδρόμου) και επαναφοράς της 1km μετά⁽³²⁾. Η ενέργεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της έκτασης μιας οποιασδήποτε ισοθορυβικής καμπύλης κατά 30% κατά μέσο όρο (20% για θερμοκρασία -10°C και 50% για 30°C, καθώς η θερμοκρασία επηρεάζει τη δυνατότητα ανακοπής της ισχύος του κινητήρα), ενώ στο σημείο μέτρησης του θορύβου, 6.5km από το σημείο εκκίνησης της τροχοδρόμησης, ο μετρηθείς θόρυβος είναι 11EPNdB-15EPNdB χαμηλότερος για αεροσκάφος τύπου jet.

Για τη διαδικασία της προσέγγισης στο αεροδρόμιο υποστηρίζουν ότι αυτή που προτείνει και η NASA⁽³⁰⁾ (πρώτο στάδιο καθόδου με 6° και δεύτερο με 3°), αν και είναι δύνατό να επιφέρει μείωση κατά 10-15EPNdB, παρουσιάζει τεχνικά προβλήματα. Γι αυτό προτείνουν την εναλλακτική διαδικασία “low drag/low power” που συνδυάζει αεροδυναμικές ρυθμίσεις (flaps κ.α.) με ρυθμίσεις ταχύτητας και γωνίας καθόδου. Με τη μέθοδο αυτή μειώνεται η έκταση μιας ισοθορυβικής κατά 25%, ενώ η στάθμη θορύβου ελαττώνεται κατά 20EPNdB κοντά στο διάδρομο και 7-10EPNdB μακριά από αυτόν.

Ως παράδειγμα εφαρμογής του μέτρου αυτού αναφέρεται το αεροδρόμιο Schiphol του Αμστερνταμ. Οι Wijnen και Visser σε πρόσφατη έρευνά τους επισημαίνουν ότι τόσο μια κατακόρυφη αλλαγή της τροχιάς, όπως πχ αυτή που περιγράφεται παραπάνω, όσο και μια πλευρική/οριζόντια μετάθεσή του ίχνους πτήσης επιφέρει μείωση στον αριθμό αφυπνίσεων στις κοινότητες γύρω από τον αερολιμένα του Schiphol κατά 10% - 20% σε σχέση με την προκαθορισμένη τυπική τροχιά⁽³¹⁾.

Για την πρακτική εφαρμογή των διαδικασιών αυτών έχουν εισαχθεί συστήματα αυτοματισμού, όπως το CTAS, καθώς ο μεγάλος αριθμός κινήσεων κατά τις ώρες αιχμής καθιστά προβληματική τη διαχείρισή τους για τους χειριστές εναέριας κυκλοφορίας⁽⁴⁷⁾.

Πάντως σε κάθε περίπτωση η ασφάλεια των πτήσεων είναι το πρώτο ζητούμενο και οποιαδήποτε αλλαγή στις παραπάνω διαδικασίες πρέπει να εξασφαλίζει ότι δεν τίθεται θέμα για την ασφάλεια του αεροσκάφους. Οι διαδικασίες που προτείνονται από την ICAO για μειωμένη έκθεση σε αεροπορικό θορύβου περιγράφονται αναλυτικά στο Annex 16, Volume I, Part V.

5.2.2 Βελτιστοποίηση κατανομής κινήσεων αεροσκαφών

Το δεύτερο μέτρο αφορά τη βελτιστοποίηση στην κατανομή των αεροπορικών κινήσεων σε διαδρόμους και εναέριες τροχιές. Κατά τους Horonjeff και McKelevy πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση της ανομοιόμορφης κατανομής του πληθυσμού γύρω από το αεροδρόμιο και να επιλέγεται προς χρησιμοποίηση ο διάδρομος εκείνος που θα επιφέρει τη λιγότερη ενόχληση στην κοινότητα⁽⁵⁾. Αντίθετα οι Nero και Black υποστηρίζουν ότι σε αεροδρόμια δύο ή περισσοτέρων διαδρόμων το κοινωνικό κόστος θορύβου από αεροσκάφη αυξάνει με τον αριθμό αεροπορικών κινήσεων ανά διάδρομο⁽³³⁾. Έτσι με ομοιόμορφη κατανομή των κινήσεων σε όλους τους διαδρόμους επιτυγχάνεται χαμηλότερο συνολικό κόστος θορύβου αεροδρομίου.

Οι Zaporozhets και Tokarev δίνουν και ένα πρότυπο κατανομής των αεροπορικών κινήσεων σε τροχιές⁽³²⁾. Το πρότυπο αυτό λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς θορύβου που υφίστανται σε κρίσιμες ζώνες γύρω από ένα αεροδρόμιο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό πτήσεων με χρονικό ορίζοντα έως και ένα έτος, κατά τέτοιον τρόπο ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί.

5.2.3 Περιορισμοί χρήσεως αεροδρομίου

Ένα ακόμη επιχειρησιακό μέτρο με ευρεία εφαρμογή είναι η επιβολή περιορισμών στη χρήση του αεροδρομίου από θορυβώδη αεροσκάφη καθώς και η επιβολή απαγόρευσης νυχτερινών πτήσεων. Η επιβολή περιορισμών στη χρήση του αεροδρομίου βασίζεται στην κατηγοριοποίηση των αεροσκαφών από την ICAO ανάλογα με το θόρυβο που εκπέμπουν. Έτσι σταδιακά αποκλείστηκαν από τα διεθνή αεροδρόμια αεροσκάφη παλαιότερης τεχνολογίας που προκαλούσαν υπερβολικό για τα σημερινά δεδομένα θόρυβο⁽⁴⁴⁾.

Τα πρώτα που αποκλείστηκαν ήταν τα λεγόμενα “μη πιστοποιημένα” αεροσκάφη NNC, ή αλλιώς Κεφαλαίου 1 (Non-Noise Certificated / Chapter 1, κατασκευασμένα πριν το 1971), όπως περιγράφεται στο Annex 16, Volume 1 του ICAO, με παράδειγμα τα Boeing 707 και Douglas DC-8. Τα αεροσκάφη που ανήκουν στην κατηγορία αυτή θεωρούνται παλαιάς τεχνολογίας κι έχουν απαγορευτεί από όλα σχεδόν τα αεροδρόμια παγκοσμίως.

Στη συνέχεια επιβλήθηκαν περιορισμοί για τα αεροσκάφη που πληρούν τις προδιαγραφές του Κεφαλαίου 2 (Chapter 2) του ICAO, όπως τα Boeing 727, Boeing 737-200 και Douglas DC-9, τα οποία είχαν κατασκευαστεί πριν το 1977. Τα αεροσκάφη αυτά είναι προς απόσυρση αν και χρησιμοποιούνται ακόμα από ορισμένες αεροπορικές εταιρίες, όπως η Ολυμπιακή Αεροπορία καθώς και αμερικανικές εταιρίες που τα χρησιμοποιούν ως αεροσκάφη για μεταφορά εμπορευμάτων. Το αεροδρόμιο των Σπάτων έχει ήδη αποκλείσει όλα τα αεροσκάφη Κεφαλαίου 2 από τον Απρίλιο του 2002⁽⁵²⁾.

Η επόμενη κατηγορία αεροσκαφών ως προς το θόρυβο είναι αυτά που πληρούν τις προδιαγραφές του Κεφαλαίου 3 (Chapter 3) του ICAO τα οποία σήμερα είναι και τα αποδεκτά από τα διεθνή αεροδρόμια, όπως τα Boeing 737-300/400, Boeing 767 και Airbus A319. Ωστόσο κάποια αεροδρόμια της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εκτός από την απαγόρευση αεροσκαφών Κεφαλαίου 2, έχουν επιβάλει περιορισμούς και στα πιο θορυβώδη αεροσκάφη του Κεφαλαίου 3 με σκοπό την περαιτέρω μείωση του θορύβου.

Τον Ιούνιο του 2001 αποφασίστηκε από την Επιτροπή για την Προστασία Περιβάλλοντος από την Αεροπλοΐα (Committee on Aviation Environmental Protection - CAEP) οι προδιαγραφές θορύβου να γίνουν ακόμα πιο αυστηρές με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η κατηγορία αεροσκαφών Κεφαλαίου 4 (Chapter 4). Το νέο αυτό στάνταρ θα ισχύσει από την 1η Ιανουαρίου 2006 και αποτελεί το επόμενο βήμα προς την εξάλειψη των θορυβωδών αεροσκαφών.

Η αποτελεσματικότητα του μέτρου επιβολής περιορισμών χρήσεως μπορεί να αποδοθεί με απλή εφαρμογή της εξίσωσης Ignaccolo για τον υπολογισμό της έκτασης μιας δεδομένης ισοθορυβικής καμπύλης. Ας υποθέσουμε ότι ένα αεροδρόμιο με ένα διάδρομο εξυπηρετεί κάτω από ιδεατές συνθήκες 170 κινήσεις ημερησίως, οι οποίες εκτελούνται κατά 50% από αεροσκάφη Chapter 2 του ICAO και κατά 50% από αεροσκάφη Chapter 3. Τότε η ισοθορυβική καμπύλη των 55DNL καταλαμβάνει έκταση ίση με 70km^2 . Αν με σταδιακή εφαρμογή του μέτρου περιορισμού χρήσεως αεροδρομίου η αναλογία γίνει 30/70 υπέρ των αεροσκαφών Chapter 3, τότε η αντίστοιχη έκταση της ισοθορυβικής των 55DNL θα είναι μόλις 47km^2 , θα επέλθει δηλαδή μείωση κατά 32.9%. Αν εφαρμοστεί περαιτέρω το μέτρο και πλέον όλες οι κινήσεις γίνονται από αεροσκάφη Chapter 3 μόνο, η έκταση της 55DNL θα περιοριστεί σε μόλις 13km^2 , δηλαδή επιπλέον μείωση κατά 72.3%.

Ποσοστό αεροσκαφών Chapter 2 ICAO	50%	30%	0%
Ποσοστό αεροσκαφών Chapter 3 ICAO	50%	70%	100%
Αριθμός κινήσεων στο 24ωρο	170	170	170
Ισοθορυβική καμπύλη	55DNL	55DNL	55DNL
Έκταση κατάληψης της καμπύλης	70km^2	47km^2	13km^2
Ποσοστιαία μεταβολή	- 32.9%		
	- 72.3%		

Πίνακας 17 – Εφαρμογή εξίσωσης Ignaccolo για ανάδειξη της χρησιμότητας του μέτρου περιορισμών χρήσης αεροδρομίου.

Στον παρακάτω Πίνακα 18 δίδονται τα αεροδρόμια εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα οποία όχι μόνο έχουν απαγορεύσει πλήρως τα αεροσκάφη Κεφαλαίου 2 του ICAO αλλά έχουν επιβάλει περιορισμούς και σε μερικά Κεφαλαίου 3⁽⁵⁰⁾. Στις Εικόνες 5-1 ως 5-4 παρατίθενται μερικές φωτογραφίες των πιο σημαντικών αεροσκαφών ανά κατηγορία προδιαγραφών θορύβου του ICAO⁽⁵¹⁾.

Χώρα	Αεροδρόμιο	Χώρα	Αεροδρόμιο
Αυστρία	- Salzburg Airport W.A. Mozart	Γερμανία	- Bremen Airport
Βέλγιο	- Brussels National		- Dresden
	- Charleroi Airport		- Dusseldorf
	- Liege Airport		- Frankfurt
Τσεχία	- Ruzyně (Prague) Airport		- Hamburg
Δανία	- Copenhagen Airport Roskilde		- Hannover-Langenhagen
Φινλανδία	- Lappeenranta Airport		- Kōln-Bonn (Cologne-Bonn)
Γαλλία	- Charles de Gaulle		- Munich
	- Orléans		- Nürnberg
	- Basel-Mulhouse Airport		- Paderborn-Lippstadt Airport
	- Beauvais Airport		- Schonefeld
	- Lyon Saint Exupéry		- Tegel
	- Strasbourg International		- Tempelhof
Ιταλία	- Alghero Airport (Milan)	Hν. Βασίλειο	- Biggin Hill Airport (London)
Λουξεμβούργο	- Luxembourg International Airport		- Gatwick Airport Limited
Ολλανδία	- Schiphol		- Heathrow
Νορβηγία	- Oslo Gardermoen Airport		- London City Airport
Σουηδία	- Göteborg City Airport		- London Manston Airport
Ισπανία	- Barajas Airport (Madrid)		- Manchester Airport
Πηγή: (50)			- Southampton Intl. Airport
			- Stansted Airport Limited

Πίνακας 18 – Αεροδρόμια της Ε.Ε. που εφαρμόζουν πλήρη απαγόρευση αεροσκαφών Κεφαλαίου 2 ICAO και μερική απαγόρευση αεροσκαφών Κεφαλαίου 3 ICAO.



Εικόνα 5-1 – Αεροσκάφος DC-8, κατηγορίας Κεφαλαίου 1 κατά ICAO.



Εικόνα 5-2 – Αεροσκάφος Boeing 727, κατηγορίας Κεφαλαίου 2 κατά ICAO.



Εικόνα 5-3 – Αεροσκάφος DC9, κατηγορίας Κεφαλαίου 2 κατά ICAO.



Εικόνα 5-4 – Αεροσκάφος Boeing 737-400, κατηγορίας Κεφαλαίου 3 κατά ICAO.

Τέλος, εκτός από την απαγόρευση χρήσης των αεροδρομίων από αεροσκάφη συγκεκριμένης κατηγορίας θορύβου, σε πολλές χώρες εφαρμόζεται και η πολιτική της απαγόρευσης ή περιορισμού των νυχτερινών πτήσεων (Night Noise Policy). Η μείωση με τον τρόπο αυτόν στον αριθμό των αεροπορικών κινήσεων στο 24ωρο, έστω και μικρή, επιφέρει σημαντική μείωση στην έκθεση θορύβου καθώς ως γνωστόν οι νυχτερινές πτήσεις επιβαρύνονται με πρόσθετη ποινή (12dBA στον DNL, 12EPNdB στον NEF κ.ο.κ.). Έτσι κατορθώνεται να μετριαστεί αρκετά η ενόχληση κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Τα χρονικά όρια είναι συνήθως από τις 23:00 ως τις 06:00 ή 07:00 και στο διάστημα αυτό συνήθως επιτρέπονται μόνο κινήσεις πτήσεων charter, καθώς αυτές εκτελούνται από μικρότερα αεροσκάφη. Οι όποιοι περιορισμοί δεν πρέπει να ισχύουν σε καμία περίπτωση για πτήσεις έκτακτης ανάγκης, πτήσεις ταχυδρομείου, κυβερνητικές πτήσεις και κινήσεις ελικοπτέρων της αστυνομίας. Στο αεροδρόμιο της Αθήνας η πολιτική νυχτερινού θορύβου ισχύει για το χρονικό διάστημα από 23:00 έως 07:00.

Ακολουθεί στον Πίνακα 19 το πρόγραμμα διαδικασιών μείωσης αεροπορικού θορύβου (NAP) που εφαρμόζεται στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών⁽⁴⁹⁾. Σε αυτό φαίνονται όλα τα επιχειρησιακά μέτρα που λαμβάνονται κατά την προσέγγιση και απογείωση των αεροσκαφών για τη μείωση της έκθεσης των γύρω κοινοτήτων (Λούτσα, Κορωπί) στο θόρυβο από τη λειτουργία του αεροδρομίου.

Γενικά

Ταχείες μεταβολές στην ισχύ της μηχανής θα πρέπει να αποφεύγονται εκτός κι αν επιβάλλονται από λόγους ασφαλείας της πτήσεως

Πρες λεπτουργίας

Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών λειτουργεί 24ώρες την ημέρα. Παρ'όλα αυτά εφαρμόζονται

οι ακόλουθοι περιορισμοί κατά τη διάρκεια της νύχτας (23:00-07:00):

- Όλες οι νυχτερινές πτήσεις απαιτούν έγκριση του Airport Duty Officer
- Περιορισμοί για νυχτερινές πτήσεις δεν επιβάλλονται για πτήσεις ταχυδρομείου, κυβερνητικές πτήσεις, νοσοκομειακές πτήσεις, ελικόπτερα της αστυνομίας και λοιπές πτήσεις ανάγκης

Χρήση διαδρόμου

- Η χρήση του διαδρόμου 21L για προσγείωση θα πρέπει να αποφεύγεται κατά τη διάρκεια της νύχτας
- Η χρήση του διαδρόμου 03R για απογείωση θα πρέπει να αποφεύγεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, ειδικά για α/φ Κεφαλαίου 2 του ICAO.
- Η χρήση του διαδρόμου 03R από α/φ με συνολικό βάρος μεγαλύτερο των 300t θα πρέπει να αποφεύγεται κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Αποκλίσεις από τα παραπάνω επιπρέπονται όταν το απαιτεί η χωρητικότητα του αεροδρομίου ή κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων

Χρήση αντίστροφης ώθησης

- Να χρησιμοποιείται η ελάχιστη αντίστροφη ώθηση και πάντα σε συμφωνία με ασφαλείς επιχειρησιακές διαδικασίες
- Περιορισμοί δοκιμών αεροσκαφών

-Εργασίες συντήρησης μηχανών αεροσκαφών επιπρέπονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και μόνο σε ειδικά διαμορφωμένες εγκαταστάσεις στους προκαθορισμένους χώρους.

-Ο Airport Duty officer πρέπει να δώσει την έγκριση για κάθε δοκιμαστική έναρξη μηχανής

Χρήση βοηθητικών μονάδων ενέργειας (APUs)

-Κατά τη διάρκεια της στάθμευσης του α/φ η χρήση βοηθητικών μονάδων ενέργειας (APUs) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 λεπτά πριν την αναχώρηση του α/φ ή 15 λεπτά μετά την άφιξή του.

Διαδικασίες προσέγγισης

- Να ακολουθούνται αυστηρώς οι προκαθορισμένες διαδικασίες προσέγγισης
- Η χρήση ρυθμίσεων "delayed gear & flap extension" και "low drag/power" να συμφωνεί με ασφαλείς επιχειρησιακές διαδικασίες
- Οι πτήσεις VFR που προσεγγίζουν το α/δ να κάνουν ρυθμίσεις για μια σύντομη τελική προσέγγιση εκτός και αν ζητηθεί διαφορετικά από το ATC.

Διαδικασίες Αναχώρησης

-Όλα τα α/φ με συνολικό βάρος μεγαλύτερο από 5700kg που αναχωρούν από τους διαδρόμους 03L και 03R να ανέβουν τουλάχιστον στα 3000ft αμέσως μετά την απογείωση, με την ταχύτητα, ισχύ μηχανής και flaps όπως προβλέπονται στο τεύχος ICAO - Procedures for Air Navigation Services-Aircraft Operations Noise Abatement Take-off Climb-Procedure B.

-Όλα τα α/φ με συνολικό βάρος μεγαλύτερο από 5700kg που αναχωρούν από τους διαδρόμους 21L και 21R να ανέβουν τουλάχιστον στα 3000ft αμέσως μετά την απογείωση, με την ταχύτητα, ισχύ μηχανής και flaps όπως προβλέπονται στο τεύχος ICAO - Procedures for Air Navigation Services-Aircraft Operations Noise Abatement Take-off Climb-Procedure A.

Περιορισμοί υψόμετρου

- Όλα τα α/φ που αναχωρούν ή προσεγγίζουν τον αερολιμένα "Ελ. Βενιζέλος" πρέπει να αποφεύγουν να διέρχονται πάνω από κατοικημένες περιοχές. Εάν αυτό δεν είναι δυνατόν τότε θα πρέπει να διέρχονται πάνω από τις κατοικημένες περιοχές για τον ελάχιστο δυνατό χρόνο διαπρώντας το ελάχιστο υψόμετρο ασφαλείας.
- Α/φ που πετούν εντός του TMA Αθηνών και δε σκοπέουν να προσγειωθούν στον αερολιμένα "Ελ. Βενιζέλος" θα πρέπει να αποφεύγουν να διέρχονται από κατοικημένες περιοχές πετώντας σε υψόμετρο κάτω των 3000ft. Πηγή: (49)

Πίνακας 19 - Επιχειρησιακά μέτρα μείωσης αεροπορικού θορύβου του αεροδρομίου της Αθήνας.

5.3 Αντιμετώπιση αεροπορικού θορύβου μέσω τελών θορύβου

Πρόκειται για μέτρο που βασίζεται στην αρχή “ο ρυπαίνων πληρώνει”. Όπως υποστηρίζει και ο OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) στο συνέδριό του το 1972⁽³³⁾, αυτός που προκαλεί το πρόβλημα θορύβου, στη συγκεκριμένη περίπτωση οι αεροπορικές εταιρίες και εμμέσως το επιβατικό κοινό, είναι και ο υπενθυνος για την επύλυσή του. Μάλιστα από πολλούς θεωρείται ότι το μέτρο αυτό είναι χαμηλότερου κόστους ακόμα και από τα επιχειρησιακά μέτρα. Έτσι σε πολλά αεροδρόμια επιβάλλονται επιπλέον χρεώσεις χρήσεως αεροδρομίου στα θορυβώδη αεροσκάφη (noise charge) ώστε να αποθαρρυνθεί η χρήση τους από τις αεροπορικές εταιρίες, ενώ σε μερικά αεροδρόμια υπάρχει επίσης και η δυνατότητα παροχής έκπτωσης στα χαμηλού θορύβου αεροσκάφη. Εναλλακτικά μπορεί να τεθεί υψηλότερη χρέωση για προσγείωση ενός αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της νύχτας σε σχέση με προσγείωση του ίδιου αεροσκάφους κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Φαίνεται λοιπόν ότι η επιπλέον χρέωση, είτε ως προκαθορισμένο ποσό είτε ως ποσοστό επί της συνήθους χρέωσης χρήσης αεροδρομίου, στοχεύει στην αποθάρρυνση χρήσης θορυβωδών αεροσκαφών, όπως για παράδειγμα σήμερα αυτά που υπάγονται στο Κεφάλαιο 2 του ICAO. Τα έσοδα από το μέτρο αυτό προορίζονται κυρίως για τη χρηματοδότηση των εκάστοτε επιχειρησιακών μέτρων μείωσης θορύβου και για τις αποζημιώσεις των κατοίκων (επιχορηγήσεις τοποθέτησης διτλών τζαμιών στις κατοικίες τους), σε καμία περίπτωση όμως δεν αποτελούν κέρδος για τη διοίκηση του αεροδρομίου ή για οποιονδήποτε άλλο φορέα. Η μέθοδος όμως αυτή έχει παρουσιάσει διεθνώς προβλήματα κατά την εφαρμογή της.

Πρώτον, το ύψος της χρέωσης ανά προσγείωση συχνά καθορίζεται όχι με βάση τη στάθμη θορύβου καθαντή που προκαλεί το αεροσκάφος αλλά με άλλους δείκτες όπως το βάρος του αεροσκάφους, την ώρα προσγείωσης κλπ. Έτσι εμφανίζονται σημαντικές παραφωνίες στη χρέωση. Αεροσκάφη του ίδιου συνολικού βάρους χρεώνονται το ίδιο αν και μπορεί το ένα να είναι θορυβότερο του άλλου, ενώ το ίδιο μπορεί να συμβαίνει και για την ώρα προσγείωσης.

Το δεύτερο πρόβλημα του μέτρου χρέωσης θορύβου είναι ότι το ύψος χρέωσης ανά προσγείωση δεν είναι επαρκές ώστε να καλυφθεί το συνολικό κοινωνικό κόστος αεροπορικού θορύβου. Έρευνα των Morrell και Cherie⁽³⁴⁾ ειδικά για το αεροδρόμιο Schiphol του Άμστερνταμ έδειξε ότι για μέση επιπλέον χρέωση 157.3 ευρώ/προσγείωση αποσβένονται μεν οι επενδύσεις των προγραμμάτων μείωσης θορύβου (αποζημιώσεις, επιχειρησιακά μέτρα), είναι όμως μικρή σε σχέση με τα 623.6 ευρώ/προσγείωση που θα έπρεπε να είναι η έξτρα χρέωση ώστε να καλυφθεί το συνολικό κόστος θορύβου στην κοινότητα (κόστος από υποτιμήσεις κατοικιών υπολογισμένο με τη μέθοδο HPM). Γενικά στα περισσότερα αεροδρόμια διεθνώς οι χρεώσεις είναι ανεπαρκείς.

Τρίτον, η φύση του μέτρου αυτού είναι δυνατόν αντί για θετικά να επιφέρει τελικώς αρνητικά αποτελέσματα. Όπως και αναμενόταν, οι αεροπορικές εταιρίες συνηθίζουν για οικονομικούς λόγους να μεταβιβάζουν σημαντικό μέρος της χρέωσης αυτής στους επιβάτες μέσω αύξησης της τιμής του εισιτηρίου, γεγονός που ανάλογα με την ελαστικότητα της ζήτησης μπορεί να επηρεάσει τον αριθμό των πραγματοποιούμενων πτήσεων. Η έρευνα των Nero και Black το 2000 στο αεροδρόμιο Kingsford Smith του Σίδνεϋ έδειξε ότι η τιμή του εισιτηρίου στις αυστραλιανές αεροπορικές εταιρίες αυξήθηκε κατά μέσο όρο κατά Aus\$3.40 λόγω επιβολής πρόσθετης χρέωσης θορύβου⁽³³⁾. Η αύξηση αυτή επέφερε μείωση στη ζήτηση για διεθνείς πτήσεις κατά 0.113% - 0.453% (ανάλογα με το αν η πτήση είναι για εργασία ή για αναψυχή αντίστοιχα) και

στη ζήτηση για πτήσεις εσωτερικού κατά 0.204% - 1.564%. Τελικό αποτέλεσμα ήταν η μείωση των πτήσεων που διέρχονται από το αεροδρόμιο Kingsford Smith κατά 322-2298 συνολικά ετησίως. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι το μέτρο μπορεί μεν να συμβάλλει θετικά στη λύση του προβλήματος του αεροπορικού θορύβου αλλά είναι πιθανόν να συμβάλλει και αρνητικά από οικονομικής απόψεως στις εταιρίες και τα αεροδρόμια.

Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι το μέτρο αυτό πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σε αεροδρόμια που πραγματικά παρουσιάζουν πρόβλημα θορύβου και ακόμα ότι το μέτρο δεν πρέπει να κάνει διαχωρισμό μεταξύ των εταιριών, ούτε να είναι τόσο υψηλό ώστε να καθιστά απαγορευτική τη χρήση του αεροδρομίου από ένα αεροσκάφος. Σημειώνεται ότι το αεροδρόμιο των Σπάτων μέχρι σήμερα δεν προβλέπει κάποιο τέλος θορύβου για τα αεροσκάφη.

5.3.1 Υπολογισμός τελών θορύβου στα αεροδρόμια της Αυστραλίας

Οι Nero και Black σε έρευνά τους περιγράφουν τον τρόπο υπολογισμού της χρέωσης αυτής όπως εφαρμόζεται στους αερολιμένες της Αυστραλίας, ο οποίος θεωρείται ορθολογικός καθώς η επιπλέον χρέωση είναι πράγματι ανάλογη του εκτεμπόμενου θορύβου κάθε αεροσκάφους⁽³³⁾. Στόχος της χρέωσης θορύβου στα αεροδρόμια της Αυστραλίας ήταν η συγκέντρωση εσόδων ικανών να καλύψουν το ύψος της χρηματοδότησης των μέτρων αντιμετώπισης και αποζημίωσης των κατοίκων. Η επιπλέον χρέωση θορύβου NLC (Noise Levy Charge) σε χρηματικές μονάδες ανά προσγείωση jet αεροσκάφους δίνεται από τον τύπο⁽³³⁾:

$$NLC = LUR \times 2^{(ANL-265)^{15}},$$

όπου LUR (Levy Unit Rate) το κόστος μιας μονάδας θορύβου (τυπικές τιμές Aus\$155-Aus\$165) και $2^{(ANL-265)^{15}}$ ο αριθμός των μονάδων θορύβου (NU - Noise Units), με ANL (Assessed Noise Level) έναν ειδικό δείκτη θορύβου σε μονάδες EPNdB.

Το ANL υπολογίζεται ως εξής. Για ένα αεροσκάφος που έχει πιστοποιηθεί σύμφωνα με το Annex 16, Volume 1 του ICAO ως Κεφαλαίου 2, το ANL είναι το άθροισμα των μετρηθέντων επιπέδων θορύβου στα 3 σημεία μετρήσεων (απογείωσης, προσγείωσης και πλευρικώς του διαδρόμου, όπως αυτά περιγράφονται αναλυτικά από την ICAO), συν 3.2EPNdB ώστε οι μετρήσεις πλευρικώς του διαδρόμου να είναι συμβατές με αυτές των αεροσκαφών Κεφαλαίου 3. Για αεροσκάφη Κεφαλαίου 3 το ANL είναι το άθροισμα των μετρήσεων στα τρία παραπάνω σημεία.

Το βασικό προτέρημα της μεθόδου αυτής είναι ότι τα περισσότερο θορυβώδη αεροσκάφη χρεώνονται σαφώς περισσότερο απ' ότι άλλα λιγότερο θορυβώδη. Ακόμα και στην ίδια κατηγορία πιστοποίησης να ανήκουν πάλι αυτό που είναι πιο θορυβώδες θα χρεώνεται περισσότερο (συνεχής σχέση μεταξύ NU και NLC). Είναι εμφανές δηλαδή ότι πρόκειται για έναν ορθολογικό τρόπο υπολογισμού της χρέωσης. Στα αρνητικά του συγκαταλέγονται το ότι δε λαμβάνει υπόψη το συνολικό κοινωνικό κόστος θορύβου (υπολογισμένο με τη μέθοδο HPM) καθώς και ότι το διρι έκκινησης της χρέωσης στα 265EPNdB είναι αυθαίρετο και δε σημαίνει ότι μέχρι τα 265EPNdB το αεροσκάφος δεν ενοχλεί την κοινότητα.

5.4 Κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης

Στην τελευταία αυτή κατηγορία ανήκουν τα βραχυπρόθεσμα και άμεσα εκτελέσιμα μέτρα αντιμετώπισης. Τα κυριότερα είναι η τοποθέτηση ηχομονωτικών υλικών για την προστασία από το θόρυβο, καθώς και η γνωστή λύση των ηχοπετασμάτων που εφαρμόζεται ευρέως για την αντιμετώπιση του κυκλοφοριακού θορύβου σε αρτηρίες που διέρχονται μέσα από κατοικημένες περιοχές.

5.4.1 Ηχομόνωση

Το πιο συνηθισμένο μέτρο της κατηγορίας αυτής είναι η μόνωση των κατοικιών. Ως γνωστόν ο αδύναμος κρίκος στην προφύλαξη ενός κτιρίου από το θόρυβο είναι τα παράθυρα. Με αυτά ανοιχτά επιτυγχάνεται μείωση του θορύβου στο εσωτερικό του κτιρίου μόλις κατά 15dBA, ενώ με κλειστά η μείωση είναι σαφώς μεγαλύτερη αλλά εξαρτάται από τα εναπομείναντα κενά, όπως αρμοί παραθύρων, θυρών, σοφίτες, αγωγοί εξαερισμού, από τον αριθμό και το πάχος των υαλοπινάκων των παραθύρων και από το βάρος των εξωτερικών θυρών, της οροφής και των τοίχων.

Με τοποθέτηση απλών (μονών) υαλοπινάκων η μείωση που επιτυγχάνεται είναι κατά τους Wijnen και Visser⁽³¹⁾ της τάξης των 20.5dBA. Σύμφωνα με τους Horonjeff και McKelvey⁽⁵⁾, με προσεκτική μόνωση των παραθύρων με διπλούς υαλοπίνακες και μόνωση σοφιτών/οροφών ο θόρυβος στο εσωτερικό θα είναι μειωμένος κατά 25dBA ως 35dBA, ενώ οι Ford και Kerry⁽⁴⁵⁾ σε έρευνά τους το 1972-1973 βρήκαν ότι και μόνο η χρήση διπλών υαλοπινάκων με ενδιάμεση απόσταση 200mm είναι ικανή να μειώσει τον αεροπορικό θόρυβο κατά 40dBA. Απέδειξαν επίσης ότι μια στρώση fiberglass των 75mm στις οροφές μπορεί να μειώσει περαιτέρω το θόρυβο κατά 4dBA σε σχέση με μια “γυμνή” οροφή και τέλος, ότι ακόμα και οι καπνοδόχοι θα πρέπει να μονώνονται (με ειδικό αφρό) αλλιώς ο θόρυβος εντός της κατοικίας θα είναι 3-4dBA μεγαλύτερος.

Φυσικά υπάρχει και δυνατότητα για τοποθέτηση στα παράθυρα τριών υαλοπινάκων ή και ειδικής τζαμαρίας βαρέως τύπου, ωστόσο κάτι τέτοιο καθιστά το κόστος απαγορευτικό και ενδείκνυται μόνο για δημόσια κτίρια και εμπορικά καταστήματα. Σημειώνεται πως οι παραπάνω μειώσεις ισχύουν τόσο για στιγμιαίες στάθμες θορύβου L_{Ai} όσο και για τις τιμές SEL μιας διέλευσης.

Μόνωση	Μείωση θορύβου
Ανοιχτά παράθυρα	15dBA
Απλοί (μονοί) υαλοπίνακες	20dBA
Διπλοί υαλοπίνακες με ενδιάμεσο κενό 200mm	35dBA - 40dBA
Ειδικοί υαλοπίνακες βαρέως τύπου	>50dBA
Στρώση 75mm fiberglass στην οροφή του κτιρίου	4dBA
Μόνωση καπνοδόχων με ειδικό αφρό	3dBA-4dBA

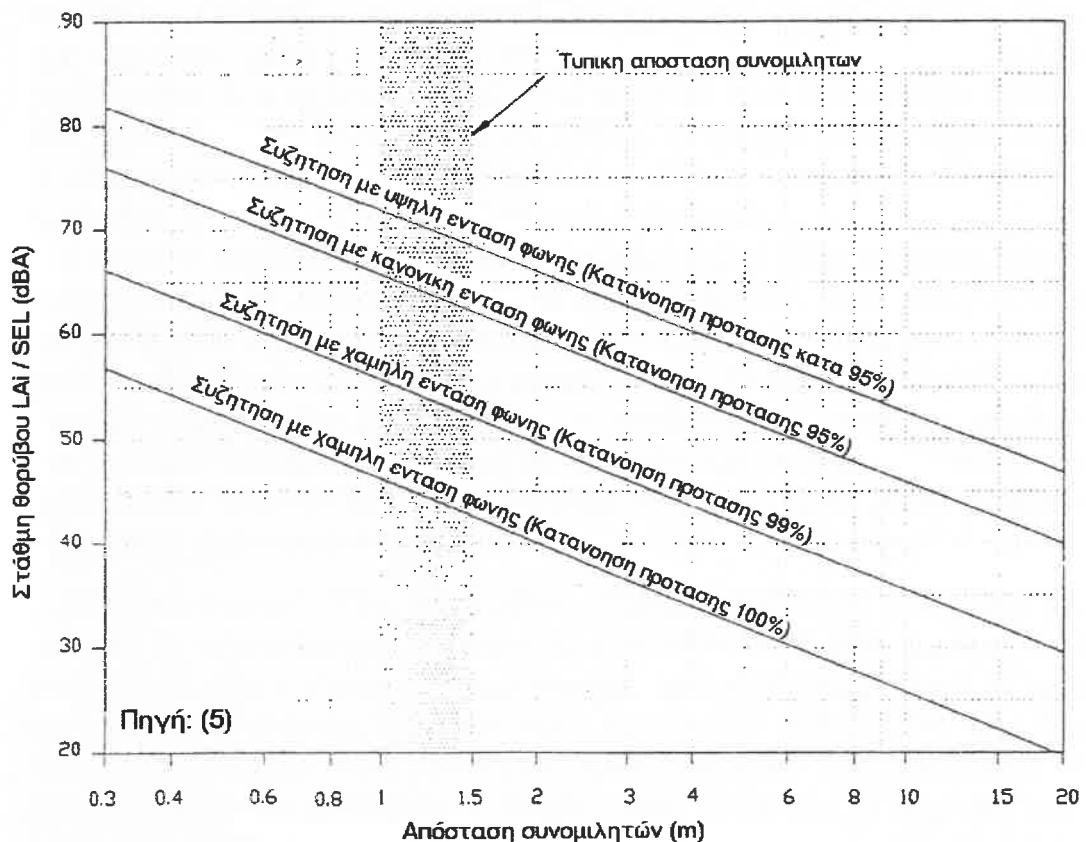
Πίνακας 20 – Ηχομονώσεις κτιρίων και παρεχόμενη μείωση αεροπορικού θορύβου.

Η ανάγκη τοποθέτησης διπλών υαλοπινάκων φαίνεται από το παρακάτω Διάγραμμα 17. Σύμφωνα με αυτό η μέγιστη επιτρεπτή σταθερή στάθμη θορύβου για ομαλή διεξαγωγή της συνομιλίας εξαρτάται από το επιθυμητό επίπεδο της συνομιλίας και την απόσταση των δύο συνομιλητών. Για μια απόσταση μεταξύ δύο συνομιλητών ίση με 1m έως 1.5m, συνομιλία με υψηλή ένταση της φωνής και καταληπτότητα των λεγομένων κατά 95%, η στάθμη του θορύβου στο περιβάλλον (και στη περίπτωσή μας του θορύβου αεροδρομίου) μπορεί να είναι έως 70dBA περίπου. Για κανονική ένταση φωνής και καταληπτότητα πάλι 95% η μέγιστη στάθμη μπορεί να είναι γύρω στα 63dBA, για χαλαρή συνομιλία με καταληπτότητα 99% η μέγιστη στάθμη πέφτει στα 53dBA και τέλος για χαλαρή συνομιλία με πλήρη καταληπτότητα 100%, όπως είναι επιθυμητό εντός μιας κατοικίας, η μέγιστη στάθμη θορύβου θα έπρεπε να είναι γύρω στα 45dBA.

Έτσι αν υποθέσουμε μια τυπική διέλευση αεροσκάφους με $SEL = 80\text{dBA}$ (ελάχιστο SEL που προκαλεί ενόχληση) και απλή μόνωση κατοικίων με μονούς υαλοπίνακες που προσφέρουν μείωση στο εσωτερικό της κατοικίας κατά 20dBA περίπου, δηλαδή $SEL_{\text{εσωτερικό κτιρίου}} = 80 - 20 = 60\text{dBA}$, τότε από το διάγραμμα πάρινουμε:

- για συνομιλία με υψηλή ένταση φωνής και καταληπτότητα 95% max απόσταση ίση με 4m,
- για συνομιλία με κανονική ένταση φωνής και καταληπτότητα 95% max απόσταση ίση με 2m,
- για συνομιλία με χαμηλή ένταση φωνής και καταληπτότητα 99% max απόσταση ίση με 0.6m,
- ενώ συνομιλία με χαμηλή ένταση φωνής και καταληπτότητα 100%, δηλαδή όπως είναι επιθυμητό εντός των κατοικιών, δεν είναι δυνατό να διεξαχθεί σε καμία απόσταση για το θόρυβο αυτό ($SEL_{es} = 60\text{dBA}$), γι αυτό και άλλωστε η διακοπή της συνομιλίας είναι από τις πιο συνηθισμένες απαντήσεις στο ερώτημα “ποιες δραστηριότητές σας διακόπτονται από τον αεροπορικό θόρυβο”.

Αποδεικνύεται λοιπόν ότι η τοποθέτηση μονών τζαμιών (20dBA μείωση της τιμής SEL) δεν επαρκεί για την εξάλειψη του φαινομένου της διακοπής της συνομιλίας εντός της κατοικίας. Αντίθετα, η μόνωση με διπλά τζάμια κατορθώνει να μειώσει το θόρυβο στο εσωτερικό του κτιρίου κατά 40dBA ($SEL_{\text{es}} = 80 - 40 = 40\text{dBA}$) με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η συνομιλία με χαμηλή ένταση φωνής και καταληπτότητα 100% σε απόσταση έως και 2m.



Διάγραμμα 17 – Μέγιστη δυνατή απόσταση για μια συνομιλία μεταξύ δύο ατόμων συναρτήσει του επιπέδου της συνομιλίας και της στάθμης του θορύβου περιβάλλοντος που την παρεμποδίζει.

Η αναγκαιότητα τοποθέτησης διπλών υαλοπινάκων στις κατοικίες που εκτίθενται σε αεροπορικό θόρυβο φαίνεται επίσης και με εφαρμογή της σχέσης των Vijnen, Visser για τις αφυπνίσεις⁽³¹⁾. Έτσι για παράδειγμα μια διέλευση αεροσκάφους με τυπική τιμή SEL -μετρημένη πάντα εξωτερικά της κατοικίας- ίση με 80dBA (η ελάχιστη στάθμη θορύβου που προκαλεί ενόχληση από μεμονωμένο αεροσκάφος) είναι ικανή να αφυπνίσει το:

- 5% του πληθυσμού που εκτέθηκε στο θόρυβο αυτό, για καθόλου μόνωση (ανοιχτά παράθυρα, $SEL_{\text{εσ}} = SEL_{\text{εξ}} - 15 \text{dBA} = 80 \text{dBA} - 15 \text{dBA} = 65 \text{dBA}$),
- 4% του πληθυσμού που εκτέθηκε στο θόρυβο αυτό, για μόνωση κατοικίας με απλούς υαλοπίνακες ($SEL_{\text{εσ}} = SEL_{\text{εξ}} - 20 \text{dBA} = 80 \text{dBA} - 20 \text{dBA} = 60 \text{dBA}$) και
- 0.5% του πληθυσμού που εκτέθηκε στο θόρυβο αυτό, για μόνωση κατοικίας με διπλούς υαλοπίνακες ($SEL_{\text{εσ}} = SEL_{\text{εξ}} - 40 \text{dBA} = 80 \text{dBA} - 40 \text{dBA} = 40 \text{dBA}$).

$SEL_{\text{εξ}} = 80 \text{dBA}$	Ανοιχτά παράθυρα ($SEL_{\text{εσ}} = 65 \text{dBA}$)	Μονοί υαλοπίνακες ($SEL_{\text{εσ}} = 60 \text{dBA}$)	Διπλοί υαλοπίνακες ($SEL_{\text{εσ}} = 40 \text{dBA}$)
Ποσοστό πληθυσμού που αφυπνά	5%	4%	0.5%
% Μείωση	20%		87.5%

Πίνακας 21 – Ποσοστά αφυπνούμενου πληθυσμού συναρτήσει της μόνωσης κατοικιών

Σήμερα τα περισσότερα αεροδρόμια καλύπτουν εξ ολοκλήρου ή μερικώς την εγκατάσταση διπλών υαλοπινάκων στα παράθυρα των κατοικιών, ως αποζημίωση για το θόρυβο που προκαλεί η λειτουργία τους.

Κριτήριο για την παροχή ή όχι αυτής της αποζημίωσης είναι φυσικά η τιμή του θορύβου. Ένα λογικό όριο εκκίνησης αποζημίωσης θα ήταν τα 25-30NEF, καθώς αυτό θεωρείται σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ. 1178/81) ως το όριο έναρξης της ενόχλησης από έκθεση στον αεροπορικό θόρυβο.

Το κόστος μιας τέτοιας αποζημίωσης ποικίλλει ανάλογα με την προσβαλλόμενη από το θόρυβο έκταση. Παρατηρώντας το χάρτη ισοθρούβικών καμπυλών για το αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος φαίνεται ότι οι μοναδικές κατοικημένες περιοχές που εκτίθενται στον αεροπορικό θόρυβο σε σημαντικό βαθμό (έστω $>25\text{NEF}$) είναι τμήμα του Δήμου Αρτέμιδος (Λούτσας), συμπεριλαμβανομένου και του οικισμού της Νεάπολης, και τμήμα του Δήμου Κορωπίου. Από τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έγινε για το Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών προέκυψε η εξής προσβαλλόμενη από αεροπορικό θόρυβο περιοχή⁽⁵²⁾:

ΕΤΟΣ	2002		2007		2012	
	Κατάταξη	Έκταση km^2	Πληθυσμός	Έκταση km^2	Πληθυσμός	Έκταση km^2
Κατηγορία I (25-30NEF)	2.474	2717	2.392	3346	2.833	4533
Κατηγορία II (30-40NEF)	0.969	758	0.950	952	1.201	1495
Κατηγορία III ($>40\text{NEF}$)	-	-	-	-	0.033	?

Πίνακας 22 – Προβλεπόμενη έκταση και αντίστοιχος πληθυσμός του Δήμου Αρτέμιδος που εκτίθενται στον αεροπορικό θόρυβο του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών.

Έτσι αν υποθέσουμε 4 κάτοικους ανά οικία, τότε ο αριθμός των κατοικιών που εκτίθενται σε θόρυβο άνω των 25NEF είναι $(2717 + 758 + 0) / 4 = 869$, για το έτος 2002. Αν επίσης υποθέσουμε $20m^2$ ανοιγμάτων ανά οικία, και μέσο κόστος μόνωσης ανά m^2 ίσο με 60 ευρώ (διπλοί υαλοπίνακες και κουφώματα αλουμινίου μέσης ποιότητας συμπεριλαμβανομένων και των εργασιών τοποθέτησης), τότε το απαιτούμενο συνολικό ποσό για την αποζημίωση των κατοίκων μόνο του Δήμου Αρτέμιδος θα ήταν με μια πρώτη εκτίμηση:

$$\boxed{\text{Κόστος} = 20m^2/\text{κατοικία} * 869 \text{ κατοικίες} * 60 \text{ ευρώ}/m^2 = 1.042.800 \text{ ευρώ}}$$

Σε αυτό το σήμειο πάντως θα πρέπει να γίνει υπενθύμιση της αθροιστικής φύσεως των δεικτών αεροπορικού θορύβου, όπως αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 2.5. Πράγματι, η επιλογή των 25NEF ως το κατώτατο όριο για αποζημίωση ίσως αδικεί κάποιους κάτοικους που ζουν σε περιοχή με μικρότερη έκθεση σε αεροπορικό θόρυβο, πχ 20NEF, με τον εξής τρόπο: υπάρχει το ενδεχόμενο τα 25NEF να επιτευχθούν για παράδειγμα με 500 κινήσεις των 86.1EPNdB η καθεμιά και τα 20NEF να επιτευχθούν με 50 κινήσεις των 91.1EPNdB η καθεμιά. Δηλαδή αν και η μέση συνολική έκθεση είναι ασφαλώς υψηλότερη για 25NEF απ' ότι για 20NEF, μπορεί τα μεμονωμένα ηχητικά γεγονότα που συνθέτουν τα 20NEF να είναι περισσότερο θορυβώδη απ' ότι αυτά που συνθέτουν τα 25NEF. Έτσι με τη χρήση ισοδύναμων δεικτών υπάρχει το ενδεχόμενο άνισης αντιμετώπισης των κατοίκων.

NEF	# α/φ	EPNL	Αποζημίωση σύμφωνα με NEF	Αποζημίωση σύμφωνα με EPNL
20	50	91.1	ΟΧΙ	ΝΑΙ
25	500	86.1	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Πίνακας 23 – Παράδειγμα περίπτωσης ανεπάρκειας της χρήσης ενός αθροιστικού δείκτη για τον καθορισμό αποζημιώσεων.

Για το λόγο αυτό προτείνεται το μέτρο αποζημίωσης να βασίζεται σε κάποιον δείκτη θορύβου μεμονωμένου γεγονότος όπως SEL ή EPNL. Έτσι για παράδειγμα κάτοικοι που εκτίθενται σε θόρυβο τουλάχιστον $80dB_A$ κατά την κλίμακα SEL ή $83EPNdB$ κατά την κλίμακα EPNL κάθε φορά που διέρχεται αεροσκάφος (ελάχιστη στάθμη θορύβου μεμονωμένης διέλευσης που προκαλεί ενόχληση), είναι λογικό να διεκδικούν αποζημίωση.

Τα απαιτούμενα χρήματα για την αποζημίωση των κατοίκων έναντι του αεροπορικού θορύβου μπορούν να συγκεντρωθούν με την επιβολή τελών θορύβου ανά προσγείωση αεροσκάφους. Παρόλα αυτά στο αεροδρόμιο της Αθήνας δεν εφαρμόζεται το μέτρο αυτό, ίσως γιατί οι δοθέντες αποζημιώσεις είναι περιορισμένης έκτασης.

Σημειώνεται πως στις χώρες με θερμό κλίμα, όπως είναι η Ελλάδα, το μέτρο αποζημίωσης των κατοίκων καλό θα ήταν να συνδυάζεται με εγκατάσταση συστήματος κλιματισμού, έτσι ώστε και κατά τους θερινούς μήνες να υπάρχει αποτελεσματική ηχομόνωση. Κάτι τέτοιο δύμας θα πρέπει να αναληφθεί με προσωπικά έξοδα από κάθε νοικοκυρίο καθώς το κόστος για αποζημίωση μόνωσης και κλιματισμού θα εκτοξευόταν σε πολύ υψηλά επίπεδα.

5.4.2 Ηχοπετάσματα

Η τοποθέτηση ηχοπετασμάτων (noise barriers) πλευρικώς των διαδρόμων αποτελεί μια ακόμη άμεση λύση για τον περιορισμό του προβλήματος θορύβου^{(5),(20)}. Περιορίζεται όμως στη μείωση του θορύβου του αεροσκάφους όσο αυτό βρίσκεται ακόμα στο έδαφος και τροχοδρομεί, προθερμαίνει τις μηχανές ή υφίσταται εργασίες συντήρησης. Από τη στιγμή που το αεροσκάφος θα αποκολληθεί από το έδαφος παύει η χρησιμότητα των ηχοπετασμάτων.

Για να είναι αποτελεσματικό πρέπει το ηχοπέτασμα να διακόπτει τη γραμμή οπτικής επαφής μεταξύ πηγής και δέκτη. Για το λόγο αυτό πρέπει το ύψος τους να είναι τουλάχιστον 12m. Η μείωση θορύβου που προσφέρουν είναι περίπου 5dBA αν μόλις διακόπτουν την οπτική επαφή, ενώ αν είναι μεγαλύτερα η μόνωση μπορεί να φτάσει τα 10dBA-25dBA. Επίσης η απόδοσή τους είναι υψηλότερη αν αυτά τοποθετηθούν είτε κοντά στην πηγή είτε κοντά στις κατοικίες, πάντως όχι στο μέσο της απόστασης πηγής-δέκτη.

Το σύνηθες υλικό κατασκευής τους είναι σκυρόδεμα, πλαστικό ή γυαλί (fiberglass), ενώ υπάρχει και η εναλλακτική λύση για κατασκευή τεχνητών λοφίσκων από γαιώδες υλικό ή ακόμα και η χρήση κτισμάτων του αεροδρομίου, όπως για παράδειγμα το κτίριο του αεροσταθμού, ως εμπόδιο στη διάδοση του ήχου.



Εικόνα 5-5 – Χρήση της αποβάθρας επιβίβασης ως ηχοπέτασμα.

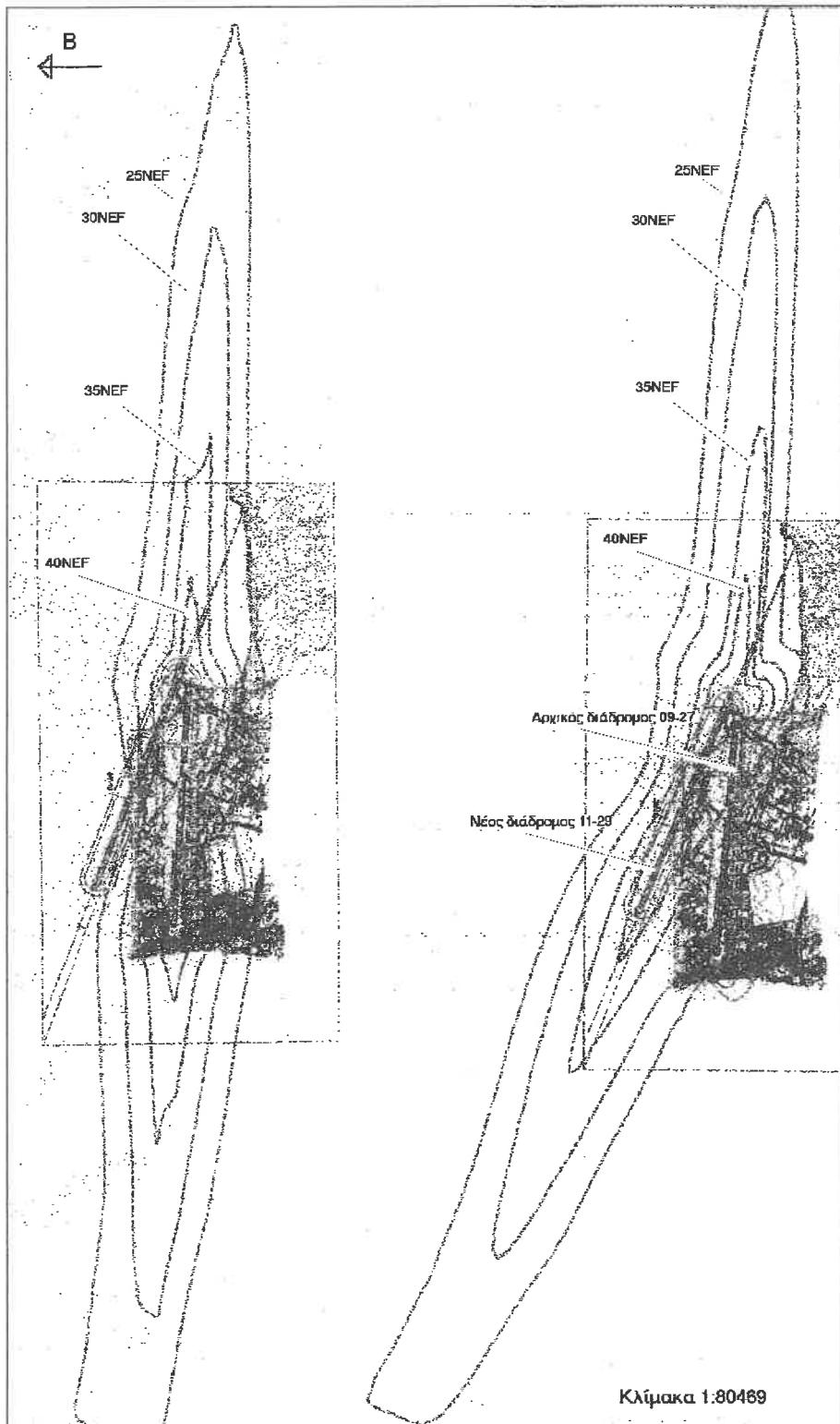
5.4.3 Κατασκευή νέου διαδρόμου

Πρόκειται για την πρόσθεση ενός ακόμη διαδρόμου στο σύστημα των ήδη υπαρχόντων διαδρόμων του αερολιμένα. Σκοπός είναι να αποσυμφορήσει την υπάρχουσα κατάσταση από πλευράς θορύβου αναλαμβάνοντας τμήμα των αεροπορικών κινήσεων. Με τον τρόπο αυτό «μεταφέροντα» οι ισοθρυβικές καμπύλες κατά το δυνατόν εκτός κατοικημένης ζώνης.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το αεροδρόμιο “Νικόλαος Καζαντζάκης” του Ηρακλείου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται στα αριστερά οι προβλεπόμενες ισοθρυβικές καμπύλες για το έτος 2007 θεωρώντας ότι λειτουργεί μόνο ο υπάρχων διάδρομος 09-27, ενώ στα δεξιά δίνονται οι ισοθρυβικές καμπύλες δεδομένης της συνλειτουργίας των διαδρόμων 09-27 και του νέου 11-29⁽⁵⁸⁾. Είναι εμφανές ότι η νέα κατάσταση αεροπορικού θορύβου επιβαρύνει σαφώς λιγότερο την πόλη του Ηρακλείου.

Παρά όμως την αποτελεσματική δράση του μέτρου αυτού παρουσιάζονται κάποια βασικά μειονεκτήματα. Πρώτον, η λύση αυτή προϋποθέτει ότι οι καιρικές συνθήκες θα επιτρέπουν στο νέο διάδρομο να λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί, κάτι όμως που δε συμβαίνει πάντα. Η διεύθυνση του νέου διαδρόμου λαμβάνεται περισσότερο με γνώμονα να μεταφερθούν οι ισοθρυβικές καμπύλες εκτός κατοικημένης ζώνης και λιγότερο βάσει του ανεμολογίου της περιοχής. Έτσι οι προβλεπόμενες καμπύλες ίσως να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα παρά μόνο όταν είναι δυνατή από άποψη ανεμολογίου η λειτουργία όλων των διαδρόμων ταυτοχρόνως.

Δεύτερον, το κόστος μελέτης και κατασκευής ενός νέου διαδρόμου είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές λύσεις (ηχομονώσεις, επιχειρησιακά μέτρα κλπ). Το υψηλό αυτό κόστος επιβαρύνεται επιπλέον αν ληφθεί υπόψη και η στενότητα χώρου των αεροδρομίων που βρίσκονται εντός παραθαλάσσιων αστικών κέντρων, όπως του Ηρακλείου ή του παλαιού αερολιμένα του Ελληνικού. Στις περιπτώσεις αυτές η κατασκευή νέου διαδρόμου γίνεται με προέκταση στο θαλάσσιο χώρο, γεγονός που συνεπάγεται σαφώς υψηλότερο κόστος από το αρχικά προβλεπόμενο.



Εικόνα 5-6 – Προβλεπόμενες ισοθορυβικές καμπύλες του αερολιμένα “Ν. Καζαντζάκης” του Ηρακλείου για το έτος 2007 με και χωρίς το νέο διάδρομο 11-29.

5.5 Λοιπά μέτρα αντιμετώπισης

Λοιπά μέτρα περιορισμού του αεροπορικού θορύβου είναι:

- απαλλοτριώσεις γαιών στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα από τη διοίκηση αυτού, έτσι ώστε να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ πηγής θορύβου και κοινότητας,
- ειδικός μηχανολογικός εξοπλισμός (σιγαστήρες) που προσφέρουν μείωση του θορύβου κατά τις εργασίες συντήρησης κατά 10dBA-20dBA,
- χρήση «αθόρυβων» οχημάτων για τις λειτουργίες εδάφους του αερολιμένα,
- παροχή ειδικών προστατευτικών ακοής στους εργαζομένους στα αεροδρόμια (μείωση κατά 10dBA-20dBA) και τέλος
- μεταφορά του αεροδρομίου σε μια πιο απομακρυσμένη περιοχή, κάτι όμως που είναι δαπανηρό και χρονοβόρο.

5.6 Χρηματοδοτούμενα προγράμματα μείωσης θορύβου από την Ευρωπαϊκή Ένωση

Το ολοένα και αυξανόμενο πρόβλημα του αεροπορικού θορύβου έχει απασχολήσει έντονα και την Ευρωπαϊκή Ένωση, στο γενικότερο πλαίσιο ενός βιώσιμου περιβάλλοντος. Στην Πράσινη Βίβλο για τη μελλοντική θορύβου η Ε.Ε. αντιμετωπίζει το πρόβλημα του περιβαλλοντικού γενικά θορύβου ως ένα από τα κύρια προβλήματα της Ευρώπης. Η ραγδαία αύξηση των αεροπορικών κινήσεων στις ευρωπαϊκές χώρες κάθε χρόνο ανάγκασε την Ε.Ε. να χρηματοδοτήσει κάποια προγράμματα καταπολέμησης του αεροπορικού θορύβου, με πιο πρόσφατο το πρόγραμμα X-Noise, το οποίο ξεκίνησε το 1993 και ολοκληρώθηκε το 2000, αποτελώντας τη δεύτερη φάση μείωσης θορύβου που εντάσσεται στο 5th Framework Programme^{(1),(2),(3)}. Το κόστος του προγράμματος αυτού ξεπερνά τα 30 εκατομμύρια ευρώ και για την υλοποίησή του συνεργάζονται περισσότεροι από 50 οργανισμοί από 11 ευρωπαϊκές χώρες.

Απότερος σκοπός του προγράμματος X-Noise είναι ο περιορισμός του θορύβου από αεροσκάφη κατά 10dBA μέχρι το 2010 μέσω εξεύρεσης νέων τεχνολογιών στην κατασκευή αεροσκαφών καθώς επίσης και μέσω εξελιγμένων διαδικασιών απογείωσης/προσγείωσης. Συγκεκριμένα στοχεύει στη μείωση του θορύβου κατά 6dBA μέσω νέων τεχνολογιών στα επόμενα 8 χρόνια και κατά άλλα 4dBA μέσω νέων διαδικασιών. Το αποτέλεσμα αναμένεται να επιφέρει μείωση στην έκταση μιας δεδομένης ισοθορυβικής καμπύλης κατά 70%-80%. Το πρόγραμμα X-Noise περιλαμβάνει τέσσερα επιμέρους υποπρογράμματα, τα RESOUND, RANTAC, RAIN, και DUCAT, ενώ αργότερα αναπτύχθηκαν δύο ακόμα, τα TURBONOISE και SOURDINE.

Το πρόγραμμα RESOUND (Reduction of Engine Source nOise through Understanding and Novel Design) ξεκίνησε το 1998 και ολοκληρώθηκε το 2000. Η εκπόνησή του αναλήφθηκε από 18 οργανισμούς, συμπεραλαμβανομένων αεροναυπηγικών εταιριών, ερευνητικών ίνστιτούτων και πανεπιστημίων, με συντονίστρια εταιρία τη Rolls Royce. Σκοπός του RESOUND ήταν η εξεύρεση τεχνολογιών ικανών για σχεδιασμό μηχανών αεροσκαφών που θα ήταν κατά 4dBA

χαμηλότερου θορύβου. Η εξέλιξη αυτή θα αποτελούσε τη βάση για την μεσοπρόθεσμη προοπτική περαιτέρω μείωσης μέχρι την επιθυμητή των 6dBA και θα μετέτρεπε την E.E σε ισχυρό ανταγωνιστή των ΗΠΑ στο θέμα της μείωσης του θορύβου.

Το RANTAC (Reduction of Aircraft Noise by Nacelle Treatment and Active Control) ξεκίνησε επίσης το 1998 και τελείωσε το 2000. Αναλήφθηκε από 20 οργανισμούς, μεταξύ των οποίων πανεπιστήμια και αεροναυπηγικές κατασκευαστικές εταιρίες με την Aerospatiale Matra Airbus να κατέχει το συντονιστικό ρόλο. Παρομοίως με το RESOUND, και αυτό στοχεύει στο σχεδιασμό μηχανών χαμηλότερου θορύβου.

Το πρόγραμμα RAIN (Reduction of Airframe and Installation Noise) στοχεύει στη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου μέσω του σχεδιασμού βελτιωμένων ατράκτων. Έχει παρατηρηθεί ότι σημαντική συμβολή στο θόρυβο που προκαλεί ένα αεροσκάφος έχει και η άτρακτος, τόσο έμμεσα με την ανάκλαση/περιθλαση των ηχητικών κυμάτων που εκπέμπονται από τη μηχανή, όσο και άμεσα από τα μηχανικά της μέρη, όπως για παράδειγμα από το σύστημα προσγείωσης του αεροσκάφους. Το πρόγραμμα αυτό αναμένεται να επιφέρει μείωση στο θόρυβο κατά 5-10dBA μόνο από τη βελτίωση της ατράκτου, ενώ αν συνδυαστεί με τα υπόλοιπα προγράμματα που αφορούν τη μηχανή του αεροσκάφους η βελτίωση αναμένεται να είναι της τάξης των 5EPNL. Το πρόγραμμα αυτό αναλήφθηκε από 17 οργανισμούς με συντονίστρια την British Aerospace Airbus Ltd και ολοκληρώθηκε το 2000.

Το πρόγραμμα DUCAT ξεκίνησε το 1998 και ολοκληρώθηκε το 2000. Αναλήφθηκε από 11 οργανισμούς με το συντονισμό από την Netherlands National Aerospace Laboratory. Σκοπός του είναι η εξεύρεση επαναστατικών τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν στην κατασκευή της μηχανής του αεροσκάφους. Οι τεχνολογίες αυτές βασίζονται στην θεωρία της ακουστικής αγωγών (duct acoustics), κάτι το πρωτοποριακό στο χώρο της αεροναυπηγικής.

Το πρόγραμμα TURBONOISE είναι το πιο πρόσφατο από όλα, καθώς ξεκίνησε μόλις το Φεβρουάριο του 2000 έχοντας συνολικό κόστος 5 εκατομμύρια ευρώ. Στοχεύει και αυτό στο σχεδιασμό νέων και χαμηλότερου θορύβου μηχανικών μερών της μηχανής του αεροσκάφους, εκμεταλλεύμενο την θεωρία της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (computational fluid dynamics).

Τέλος, το SOURDINE (Study of Optimisation procedURes for Decreasing the Impact of Noise around airports) με συνολικό κόστος 1 εκατομμύριο ευρώ στοχεύει στη μείωση του θορύβου μέσω εξεύρεσης νέων διαδικασιών απογείωσης και προσγείωσης αεροσκαφών, οι οποίες θα είναι τυποποιημένες και εναρμονισμένες διεθνώς, χωρίς όμως να επηρεάζεται η χωρητικότητα του αεροδρομίου. Αναλήφθηκε το 1998 από 11 οργανισμούς 5 χωρών με συντονίστρια εταιρία την ISR s.a. και ολοκληρώθηκε το 1999. Τα αποτελέσματα του προγράμματος αυτού μακροπρόθεσμα πρόκειται να αποτελέσουν τη βάση για ένα μελλοντικό πρόγραμμα εισαγωγής νέων διαδικασιών στην αεροπλοΐα, το SOURDINE II.

Με το πέρας του X-Noise ξεκίνησε το 2000 το τρίτο στάδιο που εντάσσεται στο 5th Framework Programme, με την ονομασία X-Noise². Πρόκειται για το στάδιο ολοκλήρωσης, ο προϋπολογισμός του οποίου ανέρχεται στα 100 εκατομμύρια ευρώ.

5.7 Η Κοινοτική Οδηγία 2002/49/ΕC

Πρόκειται για μια καινούρια οδηγία στο πλαίσιο της συλλογικής δράσης από όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό τη μείωση των επιπέδων θορύβου και της συνεπαγόμενης ενόχλησης του πληθυσμού. Σύμφωνα με αυτήν πρέπει πλέον τα δεδομένα σχετικά με το θόρυβο από οποιαδήποτε πηγή να συλλέγονται, να επεξεργάζονται και να αντιταραβάλλονται σύμφωνα με συγκρίσιμα κριτήρια⁽⁵⁶⁾. Για το λόγο αυτό σταδιακά εισάγεται στα κράτη-μέλη της Ε.Ε. ένας νέος δείκτης περιγραφής θορύβου, ο οποίος θα αντικαταστήσει τους τοπικούς ανά χώρα, έτσι ώστε να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία θορύβου μεταξύ των χωρών μελών και να μπορεί να υπάρξει κοινή αντιμετώπιση του προβλήματος.

Ο δείκτης αυτός (Day-Evening-Night Level – Lden) δίνει τη μέση ημερήσια έκθεση στο θόρυβο, προσδιορισμένη όμως στο σύνολο ημερών του έτους, και θα χρησιμοποιείται για την περιγραφή του θορύβου ανεξαρτήτως πηγής και για την εκτίμηση της συνολικής ενόχλησης στο 24ωρο. Ο τύπος του είναι⁽⁵⁶⁾:

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

όπου -Lday η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη προσδιορισμένη επί του συνόλου των περιόδων ημέρας ενός έτους,

-Levening η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη προσδιορισμένη επί του συνόλου των βραδινών περιόδων ενός έτους και

-Lnigh η Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη μέση ηχοστάθμη προσδιορισμένη επί του συνόλου των νυχτερινών περιόδων ενός έτους,

με δεδομένο ότι:

- η ημέρα διαρκεί δώδεκα ώρες, το βράδυ τέσσερις ώρες και η νύχτα οκτώ ώρες.

Τα κράτη μέλη μπορούν να περικόψουν τη βραδινή περίοδο κατά μία ή δύο ώρες και να αυξήσουν αναλόγως την περίοδο της ημέρας ή/και της νύχτας, υπό τον όρο ότι η επιλογή αυτή ισχύει για όλες τις πηγές και ότι θα παράσχουν στην Επιτροπή πληροφορίες για τις συστηματικές διαφορές σε σχέση με τις βασικές επιλογές,

- η αρχή της ημέρας (και κατά συνέπεια η αρχή του βραδιού και της νύχτας) καθορίζεται από το κράτος-μέλος (η επιλογή αυτή ισχύει για όλες τις πηγές θορύβου). Οι εξ ορισμού τιμές είναι 07.00 έως 19.00, 19.00 έως 23.00 και 23.00 έως 07.00 τοπική ώρα,

- ένα έτος αντιστοιχεί στο υπόψην έτος όσον αφορά την εκπομπή θορύβων και σε ένα μέσο έτος όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες.

Εκτός από το δείκτη αυτόν, η συνιστώσα Lnigh, όπως ορίζεται παραπάνω, θα αποτελεί από μόνη της έναν ακόμη δείκτη για την περιγραφή του θορύβου και την ενόχληση λόγω διαταραχής ύπνου κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Χρησιμοποιώντας τους δείκτες αυτούς θα γίνεται η στρατηγική χαρτογράφηση του θορύβου κάθε πέντε χρόνια σε όλα τα πολεοδομικά συγκροτήματα, συγκοινωνιακούς άξονες και

αεροδρόμια της χώρας-μέλους. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να είναι ελεύθερα στη διάθεση του κοινού και με βάση αυτούς τους χάρτες θορύβου θα λαμβάνονται τα όποια μέτρα αντιμετώπισης με στόχο την πρόληψη και τον περιορισμό του περιβάλλοντος θορύβου.

5.8 Μοντέλο MAGENTA – Αξιολόγηση των μέτρων αντιμετώπισης αεροπορικού θορύβου

Το MAGENTA (Model for Assessing Global Exposure to the Noise of Transport Aircraft) είναι ένα μοντέλο για την εκτίμηση της έκθεσης στον θόρυβο παγκοσμίως, το οποίο χρησιμοποιείται από την ICAO για λήψη μέτρων μείωσης αεροπορικού θορύβου και για την εκτίμηση της απόδοσης των μέτρων αυτών⁽⁴²⁾. Χρησιμοποιώντας μια παραλλαγή του μοντέλου θορύβου INM υπολογίζει τον αριθμό ατόμων που εκτίθενται σε θόρυβο από αεροσκάφη και δίνει τη δυνατότητα για την εκτίμηση της μελλοντικής κατάστασης ύστερα από την επιβολή περιορισμών χρήσεως αεροδρομίου και απόσυρσης αεροσκαφών. Έχοντας δεδομένα από το έτος 1998 ως το 2002 το μοντέλο αυτό έδειξε μια μείωση στον αριθμό ατόμων που εκτίθενται σε αεροπορικό θόρυβο, τόσο στις ανεπτυγμένες χώρες (Β. Αμερική, Ευρώπη, Αυστραλία, Ιαπωνία) όσο και στις υποανάπτυκτες (Ασία, Αφρική κλπ), ενώ έδωσε και μια πρόβλεψη για τα επόμενα 20 χρόνια.

Το κύριο συμπέρασμα που προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων είναι ότι για τις υποανάπτυκτες χώρες είναι αρκετή η συνέχιση του μέτρου απόσυρσης θορυβωδών αεροσκαφών (no-ICAO action) για τη μείωση του θορύβου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στις χώρες αυτές αντιστοιχεί το μεγαλύτερο μερίδιο του συνολικού αριθμού ενοχλουμενών ατόμων παγκοσμίως, οπότε υπάρχει περιθώριο περαιτέρω βελτίωσης. Αντίθετα στις ανεπτυγμένες χώρες το μέτρο αυτό δεν είναι πλέον αρκετό, καθώς η ολοένα και αυξανόμενη αεροπορική κίνηση που παρατηρείται στις χώρες αυτές αναιρεί την όποια βελτίωση της κατάστασης από την απόσυρση των παλαιοτέρων αεροσκαφών. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η εφαρμογή των προαναφερθέντων επιχειρησιακών μέτρων (ICAO action) για τη μείωση του θορύβου.

Οι παραπάνω πληροφορίες κρίθηκαν πιο ικανοποιητικές από άλλες προηγούμενων μοντέλων, με αποτέλεσμα το μοντέλο MAGENTA να θεωρείται πλέον ως βασικό εργαλείο για παρόμοιες μελλοντικές μελέτες.

6 Συμβατές χρήσεις γης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα επιτρεπτά όρια θορύβου αεροδρομίου που υφίστανται σε διάφορες χώρες και ο καθορισμός ζωνών συμβατών χρήσεων γης με βάση τα όρια αυτά, έτσι ώστε η ενόχληση από τον αεροπορικό θόρυβο να είναι σε αποδεκτά για την κοινότητα επίπεδα. Πρόκειται δηλαδή για ένα ακόμη μέτρο αντιμετώπισης της ενόχλησης από τον αεροπορικό θόρυβο, “παθητικής” όμως φύσεως. Η ξεχωριστή αυτή φύση του μέτρου καθώς και η εμπλοκή της νομοθεσίας κάθε κράτους στο σχεδιασμό του ανάγουν την κατηγορία αυτή σε ειδική, γι' αυτό και αναλύεται εδώ ξεχωριστά από τα προαναφερθέντα μέτρα αντιμετώπισης.

6.1 Επιτρεπτά όρια θορύβου

Η τοποθέτηση ενός αεροδρομίου όσο πιο μακριά γίνεται από την πλησιέστερη κοινότητα θα ήταν από άποψη θορύβου η βέλτιστη λύση για την εξάλειψη του προβλήματος. Αυτό δεν είναι όμως σωστό από οικονομοτεχνική πλευρά, καθώς η μεγάλη απόσταση του αεροδρομίου από το αστικό κέντρο το καθιστά προβληματικό όσον αφορά το χρόνο και τον τρόπο μετάβασης σε αυτό, ενώ χάνονται και οι όποιες ενεργετικές συνέπειες που θα επέφερε στην ευρύτερη περιοχή, όπως η ενδεχόμενη οικονομική ανάπτυξη. Έτσι κατά το σχεδιασμό του πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο αντίρροπες συνιστώσες: πρέπει να είναι κοντά στο αστικό κέντρο αλλά όχι τόσο ώστε να αποτελεί πηγή υπερβολικής ενόχλησης για την κοινότητα.

Φαίνεται λοιπόν ότι αρνητική επίδραση του αεροδρομίου σε κάποιο βαθμό στην κοινότητα είναι αναπόφευκτη. Για το λόγο αυτό εκτός από τα προαναφερθέντα μέτρα περιορισμού του αεροπορικού θορύβου, ένα βασικό ακόμα είναι και η σωστή χωροθέτηση των χρήσεων γης γύρω από το αεροδρόμιο. Πρόκειται δηλαδή για τη βέλτιστη εκμετάλλευση της γης γύρω από αυτό, τοποθετώντας τις πιο ευαίσθητες στο θόρυβο χρήσεις γης (κατοικίες, νοσοκομεία κλπ) μακριά από αυτό και τις λιγότερο ευαίσθητες (βιομηχανίες, αγροτικές εκτάσεις) κοντά του, δημιουργώντας έτσι ζώνες επιτρεπτού θορύβου. Τα αποδεκτά όρια αεροπορικού θορύβου των διαφόρων ζωνών θέτονται κάθε φορά από την αρμόδια αρχή της χώρας.

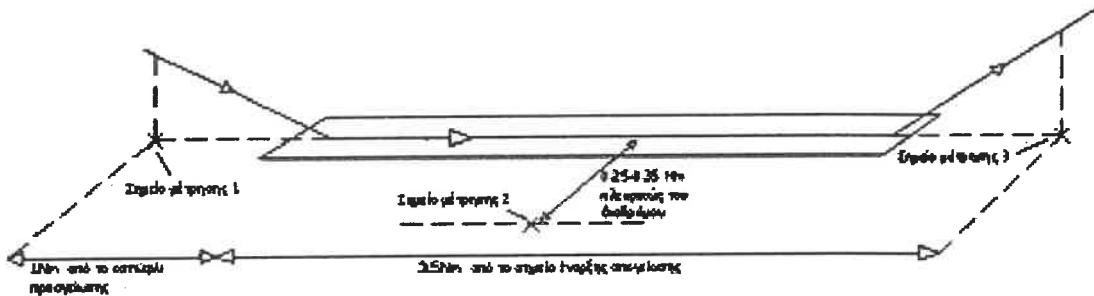
Η νομοθετική ρύθμιση του προβλήματος του αεροπορικού θορύβου δεν ξεκίνησε με τον καθορισμό συμβατών χρήσεων γης, έτσι όπως είναι γνωστός σήμερα, αλλά με την εφαρμογή επιτρεπόμενων ορίων θορύβου σε κάποια καθορισμένα σημεία μέτρησης περί τον διάδρομο του αεροδρομίου. Ο χώρος γύρω από τον αερολιμένα θεωρούνταν συμβατός για οποιαδήποτε χρήση γης εφόσον ο μετρηθείς θόρυβος σε αυτά τα σημεία μέτρησης ήταν αποδεκτός.

Ήδη από το 1958 πρωτεμφανίστηκε η ιδέα της αποδοχής ενός επιτρεπτού ορίου θορύβου αεροδρομίου, χωρίς όμως το σχεδιασμό ζωνών. Οι αρμόδιες αρχές στη Νέα Υόρκη έθεσαν όριο στο αεροδρόμιο JFK τα $PNL_{max} = 112\text{PNdB}$ για κάθε αεροπορική κίνηση, ενώ το 1960 το αεροδρόμιο του Heathrow νιοθέτησε όριο $PNL_{max} = 110\text{PNdB}$ για την ημέρα και $PNL_{max} = 102\text{PNdB}$ για τη νύχτα⁽³⁹⁾.

Στο Συνηδικό πρότυπο του 1959 το αποδεκτό όριο θορύβου δεν είναι σαφώς καθορισμένο⁽⁴⁰⁾. Πρόκειται για εκείνη τη στάθμη θορύβου, στην οποία το 20% του πληθυσμού (ή 10% σε νεότερη έκδοση) θεωρεί τον εαυτό του υψηλώς ενοχλούμενο. Το όριο αυτό του 20% επιτυγχάνεται με 8

διελεύσεις αεροσκαφών ημερησίως με μέγιστη στάθμη 85dB_A της καθημιάς, με τις απογευματινές πτήσεις να υπολογίζονται ως 3 πρωινές και τις βραδινές ως 10 πρωινές.

Το 1969 η FAA και η αρμόδια υπηρεσία της Μ. Βρετανίας υιοθέτησαν ως μονάδα θορύβου το EPNdB ώστε να λαμβάνεται υπόψη η διάρκεια του ηχητικού γεγονότος. Τα επιτρεπτά όρια τότε τέθηκαν στα 93-108EPNdB για την απογείωση και 102-108EPNdB για την προσγείωση, ανάλογα με το βάρος του αεροσκάφους, μετρημένος σε 3 προκαθορισμένα σημεία μέτρησης όπως φαίνονται στην Εικόνα 6-1.



Εικόνα 6-1 – Σημεία μέτρησης αεροπορικού θορύβου κατά FAA-1969.

Στη συνέχεια το 1970 λήφθηκε υπόψη στον καθορισμό των επιτρεπτών ορίων και η συχνότητα διέλευσης των αεροσκαφών. Η πολιτεία της Καλιφόρνια εξέδωσε τότε τις πρώτες ισοθορυβικές καμπύλες για τα αεροδρόμια της, κάτι που αποτέλεσε και την έναρξη για την εκτεταμένη προσέγγιση στον έλεγχο του θορύβου και τον καθορισμό συμβατών χρήσεων γης διεθνώς.

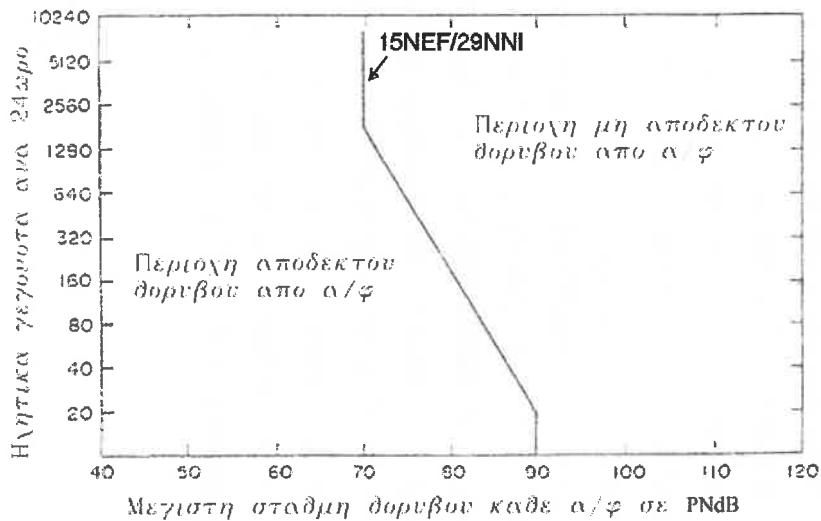
Σε έρευνά του ο Yeowart το 1972 για τα αεροδρόμια της Αγγλίας προτείνει ως αποδεκτό όριο θορύβου τα $PNL_{max} = 90 \pm 5PNdB$ κάθε διέλευσης αεροσκάφους με 20 διελεύσεις ημερησίως συνολικά, με σημείο μέτρησης πλευρικώς του διαδρόμου όπως στην Εικόνα 6-1⁽³⁹⁾. Για κάθε διπλασιασμό στον αριθμό των κινήσεων, η στάθμη θορύβου του καθενός πρέπει να μειωθεί κατά 3PNdB ώστε η έκθεση στο θόρυβο να διατηρηθεί σταθερή και αποδεκτή. Η μείωση αυτή κατά 3PNdB για διπλασιασμό των κινήσεων σταματάει στα 70PNdB, καθώς από το σημείο αυτό και μετά το ηχητικό γεγονός “χάνεται” μέσα στο θόρυβο του περιβάλλοντος. Η εξίσωση του αποδεκτού ορίου θορύβου που προτείνει ο Yeowart είναι:

$$PNL_{max} = 90 - 10\log(N/20),$$

όπου N ο αριθμός των εκτελούμενων αεροπορικών κινήσεων και

PNL_{max} η μέγιστη στάθμη θορύβου που θα έπρεπε να εκπέμπει το κάθε αεροσκάφος έτσι ώστε η συνολική έκθεση να είναι αποδεκτή.

Το παραπάνω όριο μεταξύ αποδεκτής και μη αποδεκτής κατάστασης αεροπορικού θορύβου συναρτήσει του PNL και του N ισοδυναμεί με $15NEF \approx 29NNI$.



Διάγραμμα 18 – Αποδεκτά όρια αεροπορικού θορύβου κατά Yeowart.

6.2 Συμβατές χρήσεις γης κατά τη νομοθεσία των ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ η FAA έχει θέσει ως επιτρεπτό όριο θορύβου από αεροσκάφη τα $65\text{DNL}_{\text{ann}}$ για κατοικίες⁽⁵⁾. Για την τιμή αυτή όλες οι χρήσεις γης είναι συμβατές, ενώ για υψηλότερες τιμές θορύβου έχει εκδώσει πίνακα με συμβατές χρήσεις γης για κάθε στάθμη αυτού. Σημειώνεται για το όριο των $65\text{DNL}_{\text{ann}}$, και γενικά για όλα τα προτεινόμενα όρια θορύβου, ότι δε σημαίνει πως για την έκθεση αυτή αποκλείεται να παρουσιαστεί ενόχληση ή παράπονα από μεμονωμένα άτομα. Πρόκειται απλά για ένα όριο στο οποίο η συνολική ενόχληση της κοινότητας θεωρήθηκε ύστερα από έρευνα ως χαμηλή/αποδεκτή. Δεν μπορεί δηλαδή να βρεθεί κάποιο “απόλυτο” όριο θορύβου κάτω από το οποίο η ενόχληση θα είναι μηδενική, αφού η αντίληψη του θορύβου είναι κάτι το τελείως υποκειμενικό. Μάλιστα η FAA επιτρέπει στις διάφορες κοινότητες να νιοθετήσουν αυστηρότερα ή χαλαρότερα όρια από αυτά που δίνει ανάλογα με τις ανάγκες τους. Παρακάτω δίνεται και ο πίνακας συμβατών χρήσεων γης της FAA.

Χρήσεις γης	Έκθεση στο θόρυβο α/φ σε ετήσιο DNL (DNL _{ann})					
	< 65	65-70	70-75	75-80	80-85	> 85
Κατοικίες						
-Κατοικίες εκτός τροχόσπιτων και προσωρινών καταλυμάτων	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Τροχόσπιτα	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Προσωρινά καταλύματα	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Δημόσια χρήση						
-Σχολεία	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Νοσοκομεία	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Εκκλησίες, θέατρα, αίθουσες συναυλιών	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Δημόσιες υπηρεσίες	ΝΑΙ	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Μέσα μεταφοράς	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
-Πάρκη	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Εμπορική χρήση						
-Γραφεία και επιχειρήσεις	ΝΑΙ	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Καταστήματα λιανικού και χονδρικού εμπορίου (υλικά οικοδομών, σιδηρικά, εξοπλισμός αγροκτημάτων)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
-Καταστήματα λιανικού εμπορίου (γενικά)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Κοινωφελείς υπηρεσίες	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
-Επικοινωνίες	ΝΑΙ	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Παραγωγή / Κατασκευή						
-Κατασκευή γενικά (βιομηχανίες, βιοτεχνίες)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
-Φωτογραφεία	ΝΑΙ	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Αγροτικές χρήσεις / δασοκομία	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
-Εκτροφή ζώων	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Μεταλλεία / εξόρυξη πόρων	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Αναψυχή						
-Ανοιχτά γήπεδα	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Ανοιχτοί συναυλιακοί χώροι	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Ζωολογικοί κήποι / φυσικά εκθέματα	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ
-Πάρκα, θέρετρα, κατασκηνώσεις	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
-Γήπεδα γκολφ, κολυμβητήρια	ΝΑΙ	ΝΑΙ	25	30	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Υπόμνημα

ΝΑΙ :

Οι χρήσεις γης είναι συμβατές χωρίς περιορισμούς

ΟΧΙ :

Οι χρήσεις γης δεν είναι συμβατές - απαγορεύεται η χρήση τους

25 ή 30 :

Οι χρήσεις γης γενικά είναι συμβατές, με την προϋπόθεση ότι κατά την κατασκευή του κτίσματος θα επιτευχθεί ο θόρυβος εσωτερικά να είναι κατά 20dBΑ ή 30dBΑ χαμηλότερος απ'όπι εξωτερικά.

Πίνακας 24 – Συμβατές χρήσεις γης στις ΗΠΑ κατά την FAA.

Ενδιαφέρον εδώ έχει το πρόγραμμα συμβατών χρήσεων γης όπως εφαρμόζεται στις ΗΠΑ. Σύμφωνα με το FAR Part 150 Airport Noise Compatibility Planning Program⁽⁴¹⁾, συγκεντρώνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία του υπόψην αεροδρομίου και εισάγονται στο μοντέλο πρόβλεψης αεροπορικού θορύβου INM. Από το μοντέλο αυτό εξάγονται οι χάρτες θορύβου για την παρούσα και τη μελλοντική (ύστερα από 5 χρόνια) κατάσταση και συγκρίνονται οι υπάρχουσες χρήσεις γης για τα διάφορα επίπεδα αεροπορικού θορύβου που προέκυψαν με τις επιτρεπόμενες από τον πίνακα της FAA. Έτσι καθορίζονται ποιες χρήσεις γης είναι συμβατές με το θόρυβο αεροδρομίου και ποιες όχι. Για αυτές που είναι συμβατές λαμβάνονται προληπτικά μέτρα ώστε να αποτραπεί η μετατροπή τους σε μη συμβατές σύμφωνα με το χάρτη μελλοντικής πρόβλεψης, ενώ για αυτές που ήδη είναι μη συμβατές λαμβάνονται διορθωτικά μέτρα περιορισμένης όμως έκτασης (αποζημιώσεις). Η χρηματοδότηση του προγράμματος αυτού γίνεται εμμέσως από τρίτους με την επιβολή πρόσθετων φόρων στα καύσιμα αεροσκάφους, στα εισιτήρια επιβατών και στα εμπορεύματα. Γίνεται δηλαδή εφαρμογή της αρχής “ο ρυπαίνων πληρώνει”.

6.3 Συμβατές χρήσεις γης κατά την Ελληνική νομοθεσία

Στην Ελλάδα τα επιτρεπτά επίπεδα αεροπορικού θορύβου για κάθε χρήση γης καθορίζονται στο προεδρικό διάταγμα⁽⁴⁾ Π.Δ. 1178/81. Ως δείκτης θορύβου έχει επιλεγεί ο NEF που ορίζεται ως εξής:

$$NEF = 10 \log [1/24 * \sum g(t) * 10^{EPNL/10} dt] - 48.65 ,$$

όπου EPNL = Αντιληπτή Ενεργός Στάθμη Θορύβου κάθε αεροπορικής κίνησης όπως ορίζεται το κεφάλαιο περί δεικτών θορύβου και
 $g(t) = 1$ για 07:00-22:00 και $g(t) = 16.67$ για 22:00-07:00.

Με βάση το δείκτη αυτό έχουν οριστεί τρεις ζώνες όχλησης, οι οποίες προκύπτουν από τη χάραξη των ισοθορυβικών καμπυλών:

- Ζώνη 1η: Δείκτης θορύβου μεγαλύτερος των 40NEF. Περιοχή σημαντικής όχλησης.
- Ζώνη 2η: Δείκτης θορύβου μεταξύ 30 και 40NEF. Περιοχή μέτριας όχλησης.
- Ζώνη 3η: Δείκτης θορύβου μικρότερος των 30NEF. Περιοχή μικρής όχλησης.

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 25 με τις συμβατές χρήσεις γης για διάφορες στάθμες έκθεσης αεροπορικού θορύβου, όπως ορίζεται από την ελληνική νομοθεσία στο Π.Δ.1178/8, Κεφάλαιο Δ, Άρθρο 11.

α/α	Κατηγορίες χρήσεως γης	Χρήσεις γης και πιθανή απόκριση των κατοίκων για στάθμες NEF					
		A	B	Γ	Δ	Ε	Z
1	Περιοχές κατοικών, Μονοκατοικίες, Λυόμενα	<30	27-35	30-40 ή >37			
2	Περιοχές κατοικών, Πολυκατοικίες, Ορφανοτροφεία, Γηροκομεία κλπ	<35	35-43	>40	30-40		
3	Ξενοδοχεία	<33			30-45	>40	
4	Σχολεία, Βιβλιοθήκες, Εκκλησίες, Νοσοκομεία	<30		>30	27-35		
5	Υπαίθρια θέατρα			>30			<35
6	Υπαίθριοι χώροι αθλήσεως			>37			<43
7	Παιδικές χαρές, Πάρκα	<35	32-43	>40			
8	Γήπεδα γκαλφ, Ιππόδρομοι, Πισίνες, Νεκροταφεία	<40	37-50	>45			
9	Κτήρια γραφείων, Επιχειρήσεις και Γενική Επαγγελματική Εξυπηρέτηση	<35	30-40		37-45	>42	
10	Εμπορική περιοχή λιανικής, Κινηματογράφοι, Θέατρα, Εσπατόρια	<35			32-45	>42	
11	Εμπορική περιοχή χονδρικής, Βιομηχανικές-Μεταφορές, Τηλεπικοινωνίες	<43			40-53	>47	
12	Βιομηχανίες-Τηλεπικοινωνίες ευαισθητες στο θορύβο	<35			30-45	40-50	
13	Κτηνοτροφικές περιοχές, πτηνοτροφεία κλπ	<40			37-50 ή >45		
14	Γεωργική περιοχή-Μεταλλεία, Αλιεία	<55					

Υπόμνημα

- A Ικανοποιητική διαμονή, χωρίς ειδικές απαιτήσεις ηχομόνωσης για νέες κατασκευές
- B Αποφεύγονται νέες κατασκευές ή αστική ανάπτυξη, εξαιρέσει κατά το δυνατό, εντός των υφιστάμενων αστικών περιοχών. Σπις περιπτώσεις αυτές εκτελείται λεπτομερής ανάλυση των απαιτήσεων για τη μείωση του θορύβου και τα χαρακτηριστικά ηχομονώσεων περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό των κτιρίων.
- Γ Απαγορεύεται η κατασκευή και η ανάπτυξη νέων κατασκευών
- Δ Δέον όπως μη αναλαμβάνεται η κατασκευή νέων οικιών και η ανάπτυξη αυτών, εκτός αν περιλαμβάνονται στη μελέτη λεπτομερής ανάλυση των απαιτήσεων μέίωσης του θορύβου και τα χαρακτηριστικά ηχομόνωσης.
- Ε Νέες κατασκευές ή ανάπτυξη υφισταμένων δεόν όπως μη αναλαμβάνονται, εκτός αν είναι σχετικές προς τις δραστηριότητες του αερολιμένα. Τυπική μορφή κατασκευών είναι γενικώς αποδεκτή και ειδική ηχομόνωση περιλαμβάνεται σε αυτές. Εκτελείται λεπτομερής ανάλυση των απαιτήσεων για τη μείωση του θορύβου και περιλαμβάνεται η απαραίτητη ηχομόνωση στις κατασκευές νέων και υφιστάμενων κτιρίων.
- Z Εκτελείται λεπτομερής ανάλυση του περιβάλλοντος ως συνάρτηση του θορύβου.

Πίνακας 25 – Συμβατές χρήσεις γης στην Ελλάδα κατά το Π.Δ.1178/81.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, τα όρια συμβατών χρήσεων γης σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία δεν είναι σαφώς διαχωρισμένα μεταξύ τους, αλλά υπάρχει αλληλοκάλυψη. Υπάρχει λοιπόν ανάγκη για επανακαθορισμό των σχετικών ορίων θορύβου για κάθε χρήση γης.

Τέλος, όπως προαναφέρθηκε και στα περί συμβατών χρήσεων γης κατά την αμερικανική νομοθεσία, τα παραπάνω αποδεκτά όρια θορύβου δε σημαίνουν απαραίτητα ότι προκαλούν και μηδενική ενόχληση στον πληθυσμό. Πρόκειται απλά για όρια θορύβου που προκύπτουν μετά από συμψηφισμό της επιθυμητής από την κοινότητα κατάστασης και της εφικτής από τη διοίκηση του εκάστοτε αερολιμένα.

6.4 Σύγκριση Ελληνικής και Αμερικανικής νομοθεσίας συμβατών χρήσεων γης

Με αντιταραβολή των πινάκων συμβατών χρήσεων γης της ελληνικής και της αμερικανικής νομοθεσίας και με χρήση της σχέσης μεταξύ των δεικτών αεροπορικού θορύβου DNL και NEF ($DNL = NEF + 35$) μπορεί να γίνει μια σύγκριση μεταξύ των ορίων συμβατών χρήσεων γης για τις δύο αυτές νομοθεσίες. Ο παρακάτω Πίνακας 26 δίνει τα όρια συμβατότητας για τις κυριότερες χρήσεις γης κατά τις νομοθεσίες Ελλάδας και ΗΠΑ.

Οι χρήσεις γης για βιομηχανίες/βιοτεχνίες, για υπαίθριους χώρους άθλησης, για κτίρια γραφείων, για νοσοκομεία και για εμπορικά καταστήματα δε διαφέρουν σημαντικά στις νομοθεσίες των δύο χωρών ως προς τα επιτρεπτά όρια αεροπορικού θορύβου. Αντίθετα χαρακτηριστική είναι η υπερβολικά μεγάλη ανοχή κατά την αμερικανική νομοθεσία για αεροπορικό θόρυβο σε πάρκα και παιδικές χαρές αφού τα αυτός μπορεί να ξεπεράσει ακόμη και τα 50NEF εν αντιθέσει με την ελληνική νομοθεσία όπου η μέγιστη επιτρεπτή τιμή είναι 43NEF και μάλιστα υπό προϋποθέσεις. Τέλος, όσον αφορά τις κατοικίες και τα σχολεία η αμερικανική νομοθεσία είναι σαφώς πιο ανστηρή από την αντίστοιχη ελληνική (ανώτατο όριο: 5NEF χαμηλότερο στις ΗΠΑ).

Χρήσεις γης	Νομοθεσία Ελλάδας	Νομοθεσία ΗΠΑ (*)	Αυστηρότερη νομοθεσία
Κατοικίες	< 30NEF ή < 35NEF υπό προϋποθέσεις	< 30NEF	ΗΠΑ
Κτίρια γραφείων	< 35NEF ή < 45NEF υπό προϋποθέσεις	< 35NEF ή < 45NEF υπό προϋποθέσεις	Δε διαφέρουν σημαντικά
Σχολεία	< 30NEF ή < 35NEF υπό προϋποθέσεις	< 30NEF	ΗΠΑ
Νοσοκομεία	< 30NEF ή < 35NEF υπό προϋποθέσεις	< 30NEF ή < 40NEF υπό προϋποθέσεις	Δε διαφέρουν σημαντικά
Πάρκα, παιδικές χαρές	< 35NEF ή < 43NEF υπό προϋποθέσεις	Συμβατή και για > 50NEF	Ελλάδα
Βιομηχανίες, βιοτεχνίες	<43NEF ή < 53NEF υπό προϋποθέσεις	< 50NEF	Δε διαφέρουν σημαντικά
Εμπορικά καταστήματα	< 35NEF ή < 45NEF υπό προϋποθέσεις	< 35NEF ή < 45NEF υπό προϋποθέσεις	Δε διαφέρουν σημαντικά
Υπαίθριοι χώροι αθλήσεως	< 37NEF ή < 43NEF υπό προϋποθέσεις	< 40NEF	Δε διαφέρουν σημαντικά

(*) Τα όρια της αμερικανικής νομοθεσίας προέκυψαν με χρήση της σχέσης μετασχηματισμού
 $DNL = NEF + 35$

Πίνακας 26 – Σύγκριση ορίων συμβατότητας των κυριοτέρων χρήσεων γης κατά την ελληνική και την αμερικανική νομοθεσία.

6.5 Σχολιασμός Ελληνικής νομοθεσίας χρήσεων γης

Βασικό μειονέκτημα της παρούσας ελληνικής νομοθεσίας συμβατών χρήσεων γης είναι ότι καθορίζει τη συμβατότητα όλων των χρήσεων γης με τον ίδιο δείκτη NEF, μη λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε χρήση γης έχει τις ιδιαιτερότητές της όσον αφορά τις δραστηριότητες που διακόπτονται.

Για παράδειγμα στις κατοικίες η βασικές δραστηριότητες που διακόπτονται κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι η ανάγνωση, η παρακολούθηση τηλεόρασης, η συνομιλία, καθώς επίσης και η ηρεμία των κατοίκων, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι ο ύπνος. Σε χρήσεις γης για χώρους εργασίας, όπως γραφεία ή σχολεία, η δραστηριότητα που διακόπτεται έντονα είναι η συνομιλία, σε πάρκα και χώρους αναψυχής διακόπτεται η ηρεμία και η απόλαυση του περιβάλλοντος κλπ.

Η διαφορετική φύση των παραπάνω διακοπτόμενων δραστηριοτήτων απαιτεί περιγραφή και επιβολή ορίων με ξεχωριστό δείκτη, αναλόγως της κάθε περιπτωσης. Ο καθορισμός όμως όλων των συμβατών χρήσεων γης βάσει ενός μόνο δείκτη, και μάλιστα αθροιστικής φύσεως όπως είναι ο NEF, αγορεί τις ιδιαιτερότητες της κάθε χρήσης γης.

Ως παράδειγμα θα μπορούσε να αναφερθεί η χρήση γης για χώρους εργασίας. Σύμφωνα με τον πίνακα συμβατών χρήσεων γης του Π.Δ.1178/81 για αεροπορικό θόρυβο ίσο με 25NEF η χρήση για γραφεία είναι συμβατή. Τα 25NEF θα μπορούσαν να επιτευχθούν με διάφορους συνδυασμούς κινήσεων και τόπων αεροσκαφών, όπως για παράδειγμα με τους δύο παρακάτω. Οι στιγμιαίες τιμές θορύβου στο διάστημα παρατήρησης που υπερβαίνουν τα 75dBΑ κατά την κλίμακα L_A διακόπτουν τη συνομιλία εσωτερικού χώρου, σύμφωνα με τον ορισμό του δείκτη D₇₅. Γίνεται η παραδοχή ότι όλες οι κινήσεις εκτελούνται κατά τη διάρκεια του 8ώρου εργασίας και επομένως δεν επιδέχονται καμία ποινή θορύβου.

Χρόνος παρατήρησης (sec)	L_A α/φ τύπου I (dBA)	L_A α/φ τύπου II (dBA)
0.0	67.5	70.3
0.5	68.9	72.1
1.0	69.3	75.0
1.5	72.1	75.4
2.0	74.3	76.0
2.5	76.2	76.4
3.0	79.1	77.0
3.5	82.7	77.8
4.0	85.4	78.5
4.5	87.5	79.1
5.0	86.3	80.0
5.5	85.1	78.7
6.0	82.6	78.1
6.5	80.5	77.5
7.0	78.6	76.8
7.5	76.0	76.3
8.0	74.2	76.0
8.5	72.6	75.3
9.0	70.1	75.0
9.5	68.9	72.1
SEL καθεμιάς κίνησης	91.0	86.7
EPNL καθεμιάς κίνησης (= SEL + 3)	94.0	89.7
Αριθμός κινήσεων στο 8ωρο εργασίας	80	215
Έκθεση θορύβου σε NEF	25	25
D₇₅ (sec/κίνηση στο 8ωρο εργασίας)	5.5	8.5
D₇₅ (sec συνολικά στο 8ωρο εργασίας)	440	1828
D₇₅ σε min στο 8ωρο εργασίας	7.3	30.5
Αποδεκτό όριο: έστω 5% του 8ώρου (min)	24	24

Πίνακας 27 – Παράδειγμα πιθανής ανεπάρκειας αθροιστικών δεικτών για τον καθορισμό της συμβατότητας όλων των χρήσεων γης.

Από τον πίνακα αυτόν φαίνεται ότι αν και στις δύο περιπτώσεις η συνολική έκθεση αεροπορικού θορύβου είναι 25NEF, και επομένως επιτρέπτη για χρήσεις γης ως γραφεία, ο συνολικός χρόνος που ο θόρυβος θα διακόπτει τη συνομιλία, δηλαδή τη βασική δραστηριότητα για γραφεία, θα είναι διαφορετικός. Στην πρώτη περίπτωση (αεροσκάφος τύπου I) σύμφωνα με το δείκτη D₇₅ η συνολική διάρκεια που θα διακόπτεται η συνομιλία σε εσωτερικό χώρο θα είναι μόλις 7 λεπτά περίπου στο 8ωρο εργασίας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση (αεροσκάφος τύπου II) η συνολική αυτή διάρκεια θα είναι περίπου 31 λεπτά. Αν υποθέσουμε ότι επιτρέπεται να διακόπτεται η επικοινωνία στο 5% των 8ώρου εργασίας, δηλαδή για 24min το πολύ, φαίνεται ότι για την ίδια έκθεση θορύβου (25NEF) η πρώτη περίπτωση είναι αποδεκτή, ενώ η δεύτερη όχι. Για αυτή δηλαδή τη χρήση γης δεν ενδιαφέρει αν ο ισοδύναμος θόρυβος 24ώρου είναι για παράδειγμα 20 ή 40NEF, αλλά το ότι εφόσον υπάρχουν στιγμαίες τιμές θορύβου άνω των 75dBA στο διάστημα παρατήρησης η συνομιλία θα διακόπτεται. Για το λόγο αυτό θα ήταν

καλύτερο λοιπόν η συμβατότητα χρήσεων γης για κτίρια γραφείων να καθορίζεται με έναν τέτοιον δείκτη όπως ο D_{75} .

Έτσι με το ίδιο σκεπτικό σε ευαίσθητες χρήσεις γης, όπως νοσοκομεία, γηροκομεία και ξενοδοχεία ίσως θα ήταν προτιμότερο η συμβατότητα να καθορίζεται με έναν δείκτη θορύβου μεμονωμένης αεροπορικής κίνησης, όπως ο SEL ή ο EPNL, καθώς η ευαισθησία αυτών των χρήσεων γης είναι κυρίως η αφύπνιση, η οποία επιτυγχάνεται με μεμονωμένα ηχητικά γεγονότα και όχι με τη συνολική ημερήσια έκθεση θορύβου. Παρομοίως σε πάρκα και υπαίθριους χώρους η συμβατότητα θα έπρεπε ίσως να καθορίζεται με το δείκτη D_{60} αφού αυτός δείχνει για πόσο χρόνο διακόπτεται η συνομιλία δύο ατόμων σε εξωτερικό χώρο ή έστω με ένα δείκτη μεμονωμένου ηχητικού γεγονότος όπως SEL ή EPNL, καθώς η ηρεμία που αποζητείται σε τέτοιους χώρους διακόπτεται πάλι από τις μεμονωμένες διελεύσεις και όχι από τη συνολική έκθεση θορύβου.

Ο παρακάτω Πίνακας 28 απεικονίζει την ιδιαίτερη ευαισθησία κάθε χρήσεως γης και προτείνει για κάθε περίπτωση τον καλύτερο δείκτη που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί υπόψην η ιδιαιτερότητα της κάθε χρήσης γης και να καθοριστεί η συμβατότητά της ή όχι.

Χρήση γης	Ευαισθησία	Κατάλληλοι δείκτες για καθορισμό συμβατότητας	Προτεινόμενος δείκτης
Κατοικίες	Όχληση	NEF, DNL, SEL, EPNL	NEF
	Αφύπνιση	SEL, EPNL	EPNL
Γραφεία, σχολεία κλπ	Ευκρίνεια ομιλίας, συγκέντρωση	D_{75}	D_{75}
Βιομηχανίες	Συγκέντρωση	NEF, DNL	NEF
Πάρκα, υπαίθρια θέατρα κλπ	Αναψυχή, απόλαυση	SEL, EPNL, D_{60}	D_{60}
Νοσοκομεία, γηροκομεία, ξενοδοχεία κλπ	Ηρεμία, αφύπνιση	SEL, EPNL	EPNL

Πίνακας 28 – Προτεινόμενοι δείκτες καθορισμού συμβατότητας χρήσεων γης ανά περίπτωση.

Κλείνοντας, μια άποψη που υποστηρίζεται από πολλούς ερευνητές, όπως ο Ahlberg⁽⁴⁰⁾ στην έρευνά του το 1959, είναι ότι ίσως τα όρια θορύβου για μια συμβατή χρήση γης θα έπρεπε να είναι απλώς συμβουλευτικού χαρακτήρα και όχι απαραιτήτως δεσμευτικά. Ίσως δηλαδή δεν θα πρέπει να θεωρείται αυστηρά ως ένας διαχωρισμός μεταξύ περιοχών όπου απαγορεύεται σε κάθε περίπτωση η τοποθέτηση για παρόδειγμα κατοικιών και περιοχών όπου αυτή επιτρέπεται, αλλά θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια υπενθύμιση κατά το σχεδιασμό ότι στα αρνητικά της περιοχής θα πρέπει να ληφθεί και ο αεροπορικός θόρυβος. Πράγματι, εφόσον δεν έχει αποδειχτεί επιστημονικά ότι ο θόρυβος ευθύνεται άμεσα για κάποια πάθηση, υπάρχει το ενδεχόμενο κάποιος να ήταν διατεθειμένος αφού σταθμίσει τα υπέρ και τα κατά μιας περιοχής να κατοικήσει σε περιοχή με υψηλότερο αεροπορικό θόρυβο από το επιτρεπτό με δική του ευθύνη. Σε κάτι τέτοιο βέβαια, και ειδικά στην περίπτωση της Ελλάδας, ελλοχεύει ο κίνδυνος να καταπατηθεί εντελώς το πρόγραμμα συμβατών χρήσεων γης.

7 Συμπεράσματα

Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για αεροπορικές μετακινήσεις έχει θέσει το ζήτημα του θορύβου αεροδρομίων ως ένα από τα κυριότερα προς επίλυση προβλήματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και παγκοσμίως. Τα διάφορα επιχειρησιακά, κατασκευαστικά και οικονομικά μέτρα αντιμετώπισης που εφαρμόζονται σήμερα κατορθώνουν να περιορίσουν σημαντικά το πρόβλημα του αεροπορικού θορύβου, η ραγδαία όμως αύξηση της αεροπορικής κίνησης σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα ζωής που επιθυμεί η σημερινή κοινωνία δεν επιτρέπουν την πλήρη επίλυση του προβλήματος.

Τα μέτρα αντιμετώπισης αναμένεται να ενταθούν και να εμφανιστούν και αρκετά ακόμη, όπως η πλήρης αντικατάσταση των αεροσκαφών Κεφαλαίου 3 του ICAO και η σταδιακή εισαγωγή νέων που θα πληρούν τις αυστηρότερες προδιαγραφές του Κεφαλαίου 4 και τα οποία θα βελτιώσουν περαιτέρω την κατάσταση. Η σταδιακή όμως δεδομένη αύξηση του θορύβου και τα συνεπαγόμενα αυστηρότερα μέτρα δεν οδηγούν σε μόνιμη επίλυση του προβλήματος της ενόχλησης μιας κοινότητας, αλλά αντιθέτως αποτελούν μια συνεχιζόμενη αρνητική κατάσταση.

Η πιο αποτελεσματική λύση θα ήταν θεωρητικά η επέμβαση στην πηγή του προβλήματος. Η κατασκευή λιγότερο θορυβωδών αεροσκαφών είναι ένα μέτρο που θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά προς την κατεύθυνση επίλυσης του προβλήματος, τα περιθώρια όμως για κάτι τέτοιο τείνουν πλέον να εξαντληθούν, εκτός κι αν εξευρεθούν νέες επαναστατικές τεχνολογίες. Ακόμα όμως και αν γίνει αυτό τα αποτελέσματα θα φανούν στο απότερο μέλλον και όχι άμεσα καθώς η διάρκεια ζωής των αεροσκαφών, 20-30 χρόνια, μας αναγκάζει να αντιμετωπίζουμε σήμερα το πρόβλημα θορύβου αεροσκαφών παλαιότερης γενιάς, έως ότου αυτά εκλείψουν τελείως.

Μια ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση για την εξάλειψη των επιπτώσεων του αεροπορικού θορύβου στον πληθυσμό είναι αναμφισβήτητα ο καθορισμός συμβατών χρήσεων γης, δηλαδή ο σωστός πολεοδομικός-χωροταξικός σχεδιασμός που βασίζεται στην αύξηση κατά το δοκούν της απόστασης πηγής θορύβου (αεροδρόμια) και δέκτη (κοινότητες). Με τον τρόπο αυτό επιλύεται οριστικά το θέμα αφού, εφόσον έχουν απομακρυνθεί οι ευαίσθητες χρήσεις γης από την πηγή του θορύβου, παύει να υφίσταται πλέον θέμα αεροπορικού θορύβου, όσο έντονος κι αν είναι αυτός. Ειδικά με εφαρμογή της πρότασης της προηγούμενης παραγράφου περί καθορισμού της συμβατότητας των διαφόρων χρήσεων γης χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο δείκτη κάθε φορά θα μπορούσε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή χωροταξική διαμόρφωση της γύρω περιοχής ενός αερολιμένα.

Τέλος, με την εφαρμογή της κοινοτικής οδηγίας 2002/49/ΕC γίνεται ένα ακόμη βήμα προς την εξάλειψη του περιβαλλοντικού θορύβου, τόσο από αεροσκάφη όσο και από άλλες πηγές. Η αποδοχή ενός κοινού δείκτη περιγραφής θορύβου (L_{den}) από όλες τις χώρες μέλη της Ε.Ε. και η στρατηγική για συλλογή στοιχείων θορύβου, σύγκριση μεταξύ τους και κοινή αντιμετώπιση αναμένεται να διευκολύνει σημαντικά την εκτίμηση του προβλήματος αυτού και τη λήψη αποφάσεων για την εξάλειψή του.

8 Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα

Κάποιες ενδιαφέρουσες προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω στο αντικείμενο του αεροπορικού θορύβου, και ειδικά για τον ελλαδικό χώρο, είναι:

- Η εξεύρεση της σχέσης δόσης αεροπορικού θορύβου-απόκρισης σ' αυτόν (dose - response relationship) για τον ελλαδικό χώρο, και ειδικά για το αεροδρόμιο “Ελ. Βενιζέλος” της Αθήνας που αποτελεί το μεγαλύτερο από άποψη κινήσεων άρα και από αεροπορικό θόρυβο στην Ελλάδα.
- Η σταδιακή εισαγωγή του νέου δείκτη L_{den} στην ελληνική νομοθεσία βάσει της κοινοτικής οδηγίας 2002/49/EC επίσης παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον. Η εξαγωγή μιας σχέσης της μορφής $L_{den} = NEF + X$ θα αποτελούσε ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μετάβαση από το δείκτη NEF στον L_{den} .
- Ο καθορισμός του ύψους τέλους θορύβου ανά αεροπορική κίνηση για τον αερολιμένα της Αθήνας, είτε με τη μέθοδο NLC Αυστραλίας είτε με κάποια άλλη. Ως γνωστόν στο αεροδρόμιο της Αθήνας δεν εφαρμόζεται κάποιο οικονομικό μέτρο χρέωσης θορύβου, κάτι που σε αντίθετη περίπτωση ίσως μείωνε ακόμη περισσότερο τις επιπτώσεις του στις γύρω κοινότητες.

9 Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Air & Space Europe, Vol. 2, No 3, 2000, pages 18-23: Research on Reduction Of Aircraft Noise, Supported by the European Union
2. Air & Space Europe, Vol. 2, No ¾, 2001, pages 282-284: The SOURDINE Project: Developing Environmentally Friendly Arrival and Departure Procedures
3. Air & Space Europe, Vol. 2, No 1, 2000, page 115: News from AECMA: European Team to Reduce Aircraft Noise
4. Αεροδρόμια - Σχεδιασμός και Λειτουργία - 1ο Διεθνές Συνέδριο, σελίδες 679-693, 712-725
5. R. Horonjeff and F.X. McKelvey: Planning and Design of Airports, 1994
6. W.R. Hazard, Journal of Sound and Vibration, Vol. 15, Issue 4, 1971, pages 425-445: Predictions of noise disturbance near large airports
7. R. Rylander, S. Sorensen and A. Kajland, Journal of Sound and Vibration, Vol. 24, Issue 4, 1972, pages 419-444: Annoyance reactions from aircraft noise exposure
8. D. P. McMillen, Journal of Urban Economics, Vol. 55, 2004, pages 627-640: Airport expansions and property values: the case of Chicago O' Hare Airport
9. G. Pennington, N. Topham and R. Ward, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 24, No. 3, 1990, pages 49-59: Aircraft Noise and Residential Property Values Adjacent to Manchester International Airport
10. F. L. Sawyer, Journal of Sound and Vibration, Vol. 5, Issue 2, 1967, pages 355-363: Aircraft Noise and The Siting of a Major Airport
11. R. Rylander, M. Bjorkman, U. Ahrling, S. Sorensen and K. Berglund, Journal of Sound and Vibration, Vol. 69, Issue 4, 1980, pages 583-595: Aircraft noise annoyance contours: importance of overflight frequency and noise level
12. K. Hiramatsu, T. Yamamoto, K. Taira, A. Ito, and T. Nakasone, Journal of Sound and Vibration, Vol. 205, Issue 4, 1997, pages 451-460: A survey on health effects due to aircraft noise on residents living around Kadena air base in the Ryukyus
13. T. Iyakita, T. Matsui, A. Ito, T. Tokuyama, K. Hiramatsu, Y. Osada and T. Yamamoto, Journal of Sound and Vibration, Vol. 250, Issue 1, 2002, pages 129-144: Population based questionnaire survey on health effects of aircraft noise on residents living around U.S. airfields in the Ryukyus
14. E. Franssen, B. Staatsen and E. Lebret, Environmental Impact Assessment Review, Vol. 22, Issue 6, 2002, pages 633-653: Assessing health consequences in an environmental impact assessment-The case of Amsterdam Airport Schiphol
15. S. Fidell and G. Jones, Journal of Sound and Vibration, Vol. 42, Issue 4, 1975, pages 411-427: Effects of late-night flights on an airport community
16. R. Rylander and M. Bjorkman, Journal of Sound and Vibration, Vol. 205, Issue 4, 1997, pages 533-537: Annoyance by aircraft noise around small airports
17. S. Kuwano and S. Namba, Environment International, Vol. 22, No. 1, 1996, pages 131-144: Evaluation of aircraft noise: effects of number of flyovers
18. S.M. Taylor, F.L. Hall and S.E. Birnie, Journal of Sound and Vibration, Vol. 71, Issue 2, 1980, pages 261-270: Effect of background levels on community responses to aircraft noise
19. S.M. Taylor, Journal of Sound and Vibration, Vol. 96, Issue 2, 1984, pages 243-260: A path model of aircraft noise annoyance

20. R. Mato and T.S. Mufuruki, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 4, Issue 2, 1999, pages 81-89: Noise pollution associated with the operation of the Dar es Salaam International Airport
21. G.M. Aasvang and B. Engdahl, *Journal of Sound and Vibration*, 2003: Subjective responses to aircraft noise in an outdoor recreational setting: a combined field and laboratory study
22. A. Garcia, L.J. Faus and A.M. Garcia, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 164, Issue 1, 1993, pages 45-52: The community response to aircraft noise around six Spanish airports
23. K. Hume, M. Gregg, C. Thomas and D. Terranova, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 9, 2003, pages 153-160: Complaints caused by aircraft operations: an assessment of annoyance by noise level and time of day
24. T. Gjestland, K. H. Liasjo and I. L. N. Granoien, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 182, Issue 2, 1995, pages 221-228: Community response to noise from short-term military aircraft exercise
25. T. Gjestland, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 171, Issue 4, 1994, pages 453-458: Assessment of helicopter noise annoyance: A comparison between noise from helicopters and from jet aircraft
26. O. I. Zaporozhets and V. I. Tokarev, *Applied Acoustics*, Vol. 55, No. 2, 1998, pages 99-127: Aircraft Noise Modelling for Environmental Assessment Around Airports
27. F. Ingerslev, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 3, Issue 1, 1966, pages 95-99: Measurement and description of aircraft noise in the vicinity of airports
28. O. Zaporozhets, V. Tokarev and K. Attenborough, *Applied Acoustics*, Vol. 64, 2003, pages 941-953: Predicting noise from aircraft operated on the ground
29. M. Ignaccolo, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 6, Issue 4, 2000, pages 191-199: Environmental capacity: noise pollution at Catania-Fontanarossa international airport
30. H. H. Hubbard, D.J. Maglieri and W. L. Copeland, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 5, Issue 2, 1967, pages 377-390: Research approaches to alleviation of airport community noise
31. R.A.A. Wijnen and H.G. Visser, *Aerospace Science and Technology*, Vol. 7, 2003, pages 81-91: Optimal departure trajectories with respect to sleep disturbance
32. O. I. Zaporozhets and V. I. Tokarev, *Applied Acoustics*, Vol. 55, No. 2, 1998, pages 129-143: Predicted Flight Procedures for Minimum Noise Impact
33. G. Nero and J.A. Black, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 5, Issue 6, 2000, pages 433-461: A critical examination of an airport noise mitigation scheme and an aircraft noise charge: the case of capacity expansion and externalities at Sydney (Kingsford Smith) airport
34. P. Morrell and H. Cherie, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 5, Issue 4, 2000, pages 305-320: Aircraft noise social cost and charge mechanisms - a case study of Amsterdam Airport Schiphol
35. E. Feitelson, R. Hurd and R. Mudge, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 1, Issue 1, 1996, pages 1-14: The impact of airport noise on willingness to pay for residences
36. J.P. Nelson, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 14, No. 1, 1980, pages 37-52: Airports and property values
37. Boardman, Greenberg, Vining and Weimer, *Cost-Benefit Analysis - Concepts and Practice - 2nd Edition* - page 407
38. Y. Schipper, P. Nijkamp and P. Rietveld, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 4, 1998, pages 117-124: Why do aircraft noise value estimates differ? A meta-analysis

39. N.S. Yeowart, Journal of Sound and Vibration, Vol. 25, Issue 2, 1972, pages 245-254: An acceptable exposure level for aircraft noise in residential communities
40. C.F. Ahlberg, Journal of Sound and Vibration, Vol. 43, Issue 2, 1975, pages 363-374: Airports, noise and town planning
41. The FAR Part 150 Airport Noise Compatibility Planning Program
42. Air & Space Europe, Vol. 3, No. ¾, 2001, pages 247-249: MAGENTA - Assessments of Future Aircraft Noise Policy Options
43. <http://www.aee.faa.gov/noise/index.htm>
44. <http://www.icao.int>
45. R.D. Ford and G. Kerry, Applied Acoustics, Vol. 7, Issue 3, 1974, pages 193-211: Insulating one house against aircraft noise
46. Getting the Prices Right, 1993, pages 87-106
47. J.P. Clarke, Journal of Air Transport Management, Vol. 9, 2003, pages 161-165: The role of advanced air traffic management in reducing the impact of aircraft noise and enabling aviation growth
48. Γ. Κανελλαϊδης, Α. Μπαλλής, Σημειώσεις Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας – Κυκλοφοριακός Θόρυβος, 2003, Ε.Μ.Π.
49. <http://www.aia.gr>
50. <http://www.nlr.nl>
51. <http://www.boeing.com>
52. SGI-Trademco Ε.Π.Ε, Μελέτη επιπτώσεων θορύβου από τις εναέριες κινήσεις του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών, 2000.
53. <http://www.lochard.com>
54. <http://www.topsonic.com>
55. <http://www.norsonic.com>
56. <http://www.minenv.gr>, “Οδηγία 2002/49/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 25^{ης} Ιουνίου 2002 σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου”
57. http://money.cnn.com/2003/04/03/news/companies/airlines_traffic/
58. OANAK, ENVECO A.E., ET&T Ε.Π.Ε., Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του νέου λοξού διαδρόμου του κρατικού αερολιμένα “Νικόλαος Καζαντζάκης” Ηρακλείου Κρήτης, 1999

ПАРАРТНМА

Ερωτηματολόγιο

1. Φύλο ερωτώμενου: Άνδρας Γυναίκα
2. Ηλικία ερωτώμενου: 18-30 30-40 40-50 50-60 60+
3. Επίπεδο μόρφωσης ερωτώμενου:
 Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση Τριτοβάθμια Εκπαίδευση
4. Εισόδημα ερωτώμενου: <600 ευρώ/μήνα 600-1000 1000-3000 >3000
5. Τύπος κατοικίας: Μονοκατοικία Πολυκατοικία
6. Πόσο καιρό ζείτε στην περιοχή αυτή; 0-5 χρόνια 5-10 χρόνια 10-15 χρόνια Πάνω από 15 χρόνια
7. Πόσο ευχαριστημένοι είστε από το επίπεδο ζωής σας;
 Καθόλου Λίγο Μέτρια Πολύ
8. Πόσο ικανοποιημένοι είστε από την ποιότητα του περιβάλλοντος στη γεντονιά σας;
 Καθόλου Λίγο Μέτρια Πολύ
9. Σας ενοχλεί ο θόρυβος στη γεντονιά σας;
 Καθόλου Λίγο Μέτρια Πολύ
10. Ποιες πηγές θορύβου σας ενοχλούν περισσότερο;
 Κυκλοφορία οχημάτων Σιδηρόδρομος Αεροσκάφη Δραστηριότητες κοινότητας Άλλη
(αναφέρατε).....
11. Πόσο σας ενοχλεί ο αεροπορικός θόρυβος;
 Καθόλου Λίγο Μέτρια Πολύ
12. Ποιο διάστημα της ημέρας θεωρείτε τον αεροπορικό θόρυβο περισσότερο ενοχλητικό;
 07:00-12:00 12:00-19:00 19:00-22:00 22:00-07:00
13. Εχετε ξυπνήσει ποτέ λόγω του αεροπορικού θορύβου;
 Ναι Όχι
14. Εχετε διακόψει τη συνομιλία σας με ένα άλλο άτομο λόγω του αεροπορικού θορύβου;
 Ναι Όχι
15. Εχετε διακόψει την εργασία σας λόγω του αεροπορικού θορύβου;
 Ναι Όχι
16. Ποιες άλλες δραστηριότητές σας διακόπτονται λόγω του αεροπορικού θορύβου;
.....
17. Εχετε προβλήματα ακοής;
 Ναι Όχι
18. Αν ναι, πιστεύετε ότι ευθύνεται ο θόρυβος από τα αεροσκάφη;
 Ναι Όχι
19. Κατά πόσο πιστεύετε ότι οι υπεύθυνοι του αεροδρομίου λαμβάνουν υπόψη την ενόχληση που προκαλούν τα αεροσκάφη στην κοινότητα;
 Καθόλου Λίγο Μέτρια Πολύ
20. Εχετε διαμαρτυρηθεί για τον αεροπορικό θόρυβο με οποιονδήποτε τρόπο;
 Ναι Όχι

