



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής.**

**Φοιτητής: Θεόδωρος Καρράς**  
**ΑΜ: 18392062**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ Γεώργιος Σπυρόπουλος**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Οκτώβριος 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
FACULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**Analysis of noise as a pollutant. An example in the region of N. Attica**

**Student: Theodoros Karras  
Registration Number: 18392062**

**Supervisor**

**Dr Georgios Spyropoulos**

**ATHENS-EGALEO, October 2024**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Δρ Γεώργιος Σπυρόπουλος ΕΔΠ Α' Βαθμίδα	Δρ Κωνσταντίνος Μουστρής Καθηγητής	Κλεοπάτρα Ντούρου ΕΔΠ Α' Βαθμίδα
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Θεόδωρος Καρράς, Νοέμβριος 2023

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Θεόδωρος Καρράς του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 18392062 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

#### δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών  
Θεόδωρος Καρράς



## Περίληψη

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύθηκε ο θόρυβος ως ρύπος σε μεγαλύτερο βάθος. Πιο συγκεκριμένα, με την βοήθεια ηχομέτρου που παραχωρήθηκε από το Εργαστήριο των Ήπιων Μορφών Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος, μετρήθηκαν τα επίπεδα του θορύβου σε περιοχή του Νομού Αττικής για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα του ενός μήνα. Στην συνέχεια, συλλέχθηκαν οι μετρήσεις και επεξεργάστηκαν για τον υπολογισμό συγκεκριμένων δεικτών (Traffic Noise Index, Noise Pollution Level). Μέσα από τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκαν διαγράμματα με τα επίπεδα του θορύβου για όλες τις ημέρες, για μία τυπική ημέρα, για μία τυπική εβδομάδα καθώς και διαγράμματα συνολικών υπερβάσεων. Όλα τα διαγράμματα συνοδεύονταν με τα αντίστοιχα όρια που έχουν θεσπιστεί τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Τέλος, βγήκαν τα ανάλογα συμπεράσματα τόσο για την περιοχή λήψης μετρήσεων όσο και για το φαινόμενο της ηχορύπανσης.

## Λέξεις – κλειδιά

Θόρυβος, Ηχορύπανση, Ήσυχες περιοχές, Επιπτώσεις του θορύβου, Όρια θορύβου, Traffic Noise Index, Noise Pollution Level.

## **Abstract**

This thesis presents a more detailed analysis of noise as a pollutant. In particular, noise levels were quantified in an area of the Attica Prefecture over a one-month period with the assistance of a sound meter provided by the Laboratory of Soft Energy Application and Environmental Protection. Subsequently, the data was collated and processed in order to calculate specific indicators, namely the Traffic Noise Index and the Noise Pollution Level. From the data set, charts were created to illustrate the noise levels for each day, for a typical day, for a typical week, and charts of total exceedances. Each chart was accompanied by the corresponding limits established at the national and global levels. Finally, from all the results were drawn the corresponding conclusions about the area of the measurements and the noise pollution issue.

## **Keywords**

Noise, Noise pollution, Quiet areas, Noise impact, Noise limits, Traffic Noise Index, Noise Pollution Level.

<b>Κατάλογος Πινάκων.....</b>	<b>8</b>
<b>Κατάλογος Εικόνων .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Ήχος.....</b>	<b>9</b>
1.1 Ορισμός ήχου.....	9
1.2 Χαρακτηριστικά Ήχου.....	10
1.2.1 Ταχύτητα ήχου.....	10
1.2.2 Πλάτος, Μήκος κύματος, Περίοδος, Συχνότητα .....	10
1.2.3 Πίεση , Ένταση και ορισμός deciBel.....	11
1.2.4 Ύψος, ηχώχρωμα, ακουστική χροιά.....	14
1.3 Αντίληψη του ήχου από τον άνθρωπο.....	15
<b>2 Θόρυβος.....</b>	<b>17</b>
2.1 Θόρυβος και ηχορύπανση.....	17
2.2 Ιστορική αναδρομή του θορύβου.....	17
2.3 Πηγές Θορύβου .....	19
2.3.1 Θόρυβος από ανθρώπινες δραστηριότητες.....	19
2.3.2 Θόρυβος από φυσικές πηγές.....	26
2.4 Επιπτώσεις Θορύβου .....	27
2.4.1 Επιπτώσεις στην ακοή.....	28
2.4.2 Ενόχληση και δυσκολία ύπνου .....	29
2.4.3 Επιπτώσεις στην ψυχική υγεία .....	33
2.4.4 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό .....	34
<b>3 Μέτρηση και αξιολόγηση θορύβου.....</b>	<b>40</b>
3.1 Διαδικασίες μετρήσεων θορύβου.....	40
3.1.1 Εργαλεία μέτρησης.....	40
3.1.2 Συνθήκες μέτρησης.....	44
3.2 Δείκτες θορύβου .....	45
3.3 Όρια θορύβου .....	46
3.4 Ισχύουσα Νομοθεσία.....	48
<b>4 Διαχείριση Θορύβου.....</b>	<b>53</b>
4.1 Τεχνικές Μείωσης Θορύβου .....	53
4.1.1 Συλλογικό επίπεδο.....	53
4.1.2 Ατομικό επίπεδο .....	61
4.2 Ήσυχες Περιοχές.....	63
<b>5 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....</b>	<b>67</b>
<b>6 Μεθοδολογία.....</b>	<b>67</b>
6.1 Τοπογραφία περιοχής λήψης μετρήσεων.....	67
6.2 Εξοπλισμός και λογισμικό λήψης μετρήσεων .....	68
6.3 Διαδικασία λήψης μετρήσεων .....	71
6.4 Παραδοχές .....	73
<b>7 Επεξεργασία Μετρήσεων.....</b>	<b>74</b>
<b>8 Αποτελέσματα-Σχολιασμός .....</b>	<b>76</b>
<b>9 Συμπεράσματα.....</b>	<b>83</b>
<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές .....</b>	<b>87</b>

## **Κατάλογος Πινάκων**

## **Κατάλογος Εικόνων**

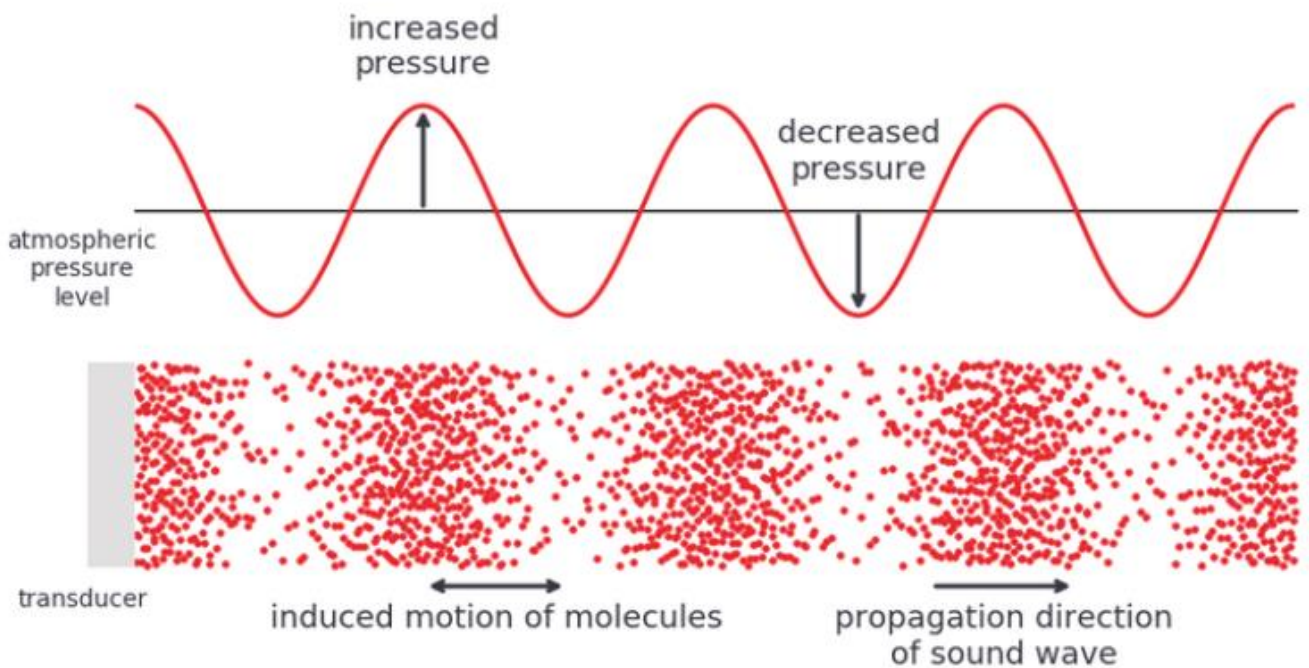


# 1 Ήχος

## 1.1 Ορισμός ήχου

Ο ήχος, σύμφωνα με την φυσική ερμηνεία, χαρακτηρίζεται ως οι δονήσεις που εξαπλώνονται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις από μία πηγή. Η πηγή αυτή μπορεί να είναι οποιοδήποτε ελαστικό μέσο, όπως είναι ο αέρας και το νερό [1]. Γενικότερα ως ήχος, ορίζεται η μετάδοση μίας μηχανικής διαταραχής, η οποία εξαπλώνεται με συγκεκριμένη ταχύτητα μέσα σε ένα υλικό που έχει την δυνατότητα να εκδηλώσει δυνάμεις όπως η εσωτερική τριβή καθώς και η ελαστικότητα. Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της διαταραχής είναι η διέγερση της ακοής [2].

Έστω, κάποια σωματίδια συνδεδεμένα μεταξύ τους με πλήρως ελαστικά ελατήρια. Αν το πρώτο σωματίδιο κινηθεί με οποιοδήποτε είδος κίνησης (απλή αρμονική) θα ακολουθήσουν και τα επόμενα σωματίδια με τον ίδιο τρόπο και θα σχηματίσουν την εικόνα ενός κύματος. Αυτά τα κύματα που σχηματίζονται είναι γνωστά ως διαμήκη κύματα και το χαρακτηριστικό τους είναι ότι ταξιδεύουν στην ίδια διεύθυνση με τα σωματίδια [3]. Επομένως, τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη κύματα τα οποία διαδίδονται σε υγρά, αέρια και στερεά σώματα. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1.1) φαίνεται επακριβώς η διάδοση ενός ηχητικού κύματος και όλα τα στοιχεία της.



Εικόνα 1.1 Διάδοση ηχητικού κύματος

ΠΗΓΗ: [4]

## 1.2 Χαρακτηριστικά Ήχου

### 1.2.1 Ταχύτητα ήχου

Η ταχύτητα του ήχου ισοδυναμεί με την ταχύτητα μετάδοσης μιας διαταραχής μέσα από ένα μέσο, συνήθως αέριο. Οι συνθήκες του αερίου αυτού παραμένουν σταθερές πριν και μετά το πέρασμα της διαταραχής. Εξαιτίας της εξάρτησης της ταχύτητας μετάδοσης από μοριακές συγκρούσεις, η ταχύτητα του ήχου ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του αερίου, όπως είναι ο καθαρός αέρας, το καθαρό οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, και την θερμοκρασία του [5]. Παρακάτω παρουσιάζεται η εξίσωση της ταχύτητας του ήχου:

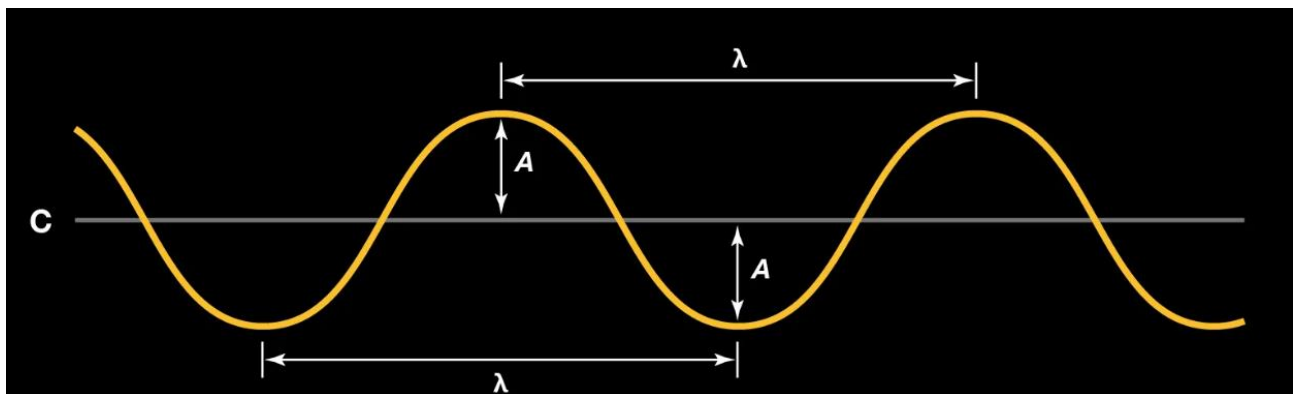
$$c = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} \text{ όπου:}$$

- $c$  : Ταχύτητα του ήχου σε δεδομένη θερμοκρασία (m/sec)
- $P$  : Ατμοσφαιρική πίεση (Newton/m<sup>2</sup> ή Pascal)
- $\rho$  : Πυκνότητα του αέρα (Kg/m<sup>3</sup>)
- $\gamma$  : Λόγος ειδικών θερμοτήτων ( $\gamma=1,401$  για αέρα)

Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα και σε θερμοκρασία 20°C είναι ίση με  $c = 343,2$  m/s.

### 1.2.2 Πλάτος, Μήκος κύματος, Περίοδος, Συχνότητα

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά ενός ηχητικού κύματος είναι το μήκος κύματος, η συχνότητά του και το πλάτος του. Το πλάτος ενός ηχητικού κύματος ( $A$ ) είναι το μέγιστο ύψος από την θέση της ηρεμίας που έχει το κάθε σωματίδιο πριν επηρεαστεί από το κύμα [6]. Το μήκος κύματος μετριέται σε μέτρα, συμβολίζεται με  $\lambda$  και είναι η απόσταση μεταξύ δύο μέγιστων ή ελάχιστων τιμών της πίεσης όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1.2).



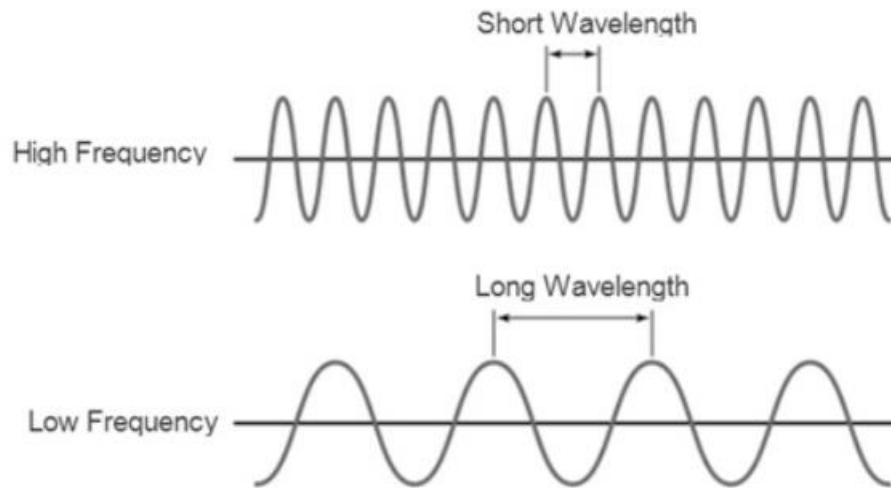
Εικόνα 1.2 Αναπαράσταση ηχητικού κύματος

ΠΗΓΗ: [2]

Το πλήθος των επαναλήψεων του ηχητικού φαινομένου που λαμβάνουν χώρα στην διάρκεια ενός δευτερολέπτου ορίζει την συχνότητα ( $f$ ) η οποία μετριέται σε Hertz. Με βάση τα Hertz ο ήχος μπορεί

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
να χωριστεί σε υποηχητικός (<16Hz), σε υπερηχητικός (>20.000Hz) και σε ηχητικούς, ανάμεσα στα  
16 και 20.000Hz. Το διάστημα αυτό αποτελεί τις συχνότητες όπου μπορεί να ανιληφθεί ο άνθρωπος.  
Περίοδος (T) ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται για την ολοκλήρωση μιας περιοδικής κίνησης [2].

Όσο αυξάνει η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος μικραίνει το μήκος κύματος και αντίστροφα. Η  
σχέση αυτή συχνότητας και μήκους κύματος παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1.3):



Εικόνα 1.3 Μήκος κύματος και συχνότητα

ΠΗΓΗ: [7]

### 1.2.3 Πίεση , Ένταση και ορισμός deciBel

Με την πίεση περιγράφεται το πόσο πυκνά ή αραιά είναι τα πυκνώματα ή τα αραιώματα  
αντίστοιχα κατά την διάδοση ενός ηχητικού κύματος. Μονάδα μέτρησης λαμβάνεται το Pascal και  
συμβολίζεται με P. Κύρια πηγή ενδιαφέροντος κατά την μελέτη ενός ηχητικού κύματος είναι η  
μέγιστη μεταβολή της πίεσης από μία τιμή ισορροπίας. Την πίεση συνήθως την μετράμε σε  
πραγματικές τιμές (R.M.S.) σύμφωνα με τον παρακάτω γενικό τύπο:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

Κατά την διάδοση του ηχητικού κύματος, σε οποιοδήποτε μέσο, μεταφέρεται μαζί και ηχητική  
ενέργεια. Ο ρυθμός μεταφοράς αυτής της ενέργειας ( $\Delta E$ ), δηλαδή το ποσό που μεταφέρεται σε  
συνάρτηση με το χρονικό διάστημα ( $\Delta t$ ), ονομάζεται ισχύς, συμβολίζεται με W και μετριέται σε  
Watt.

$$W = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Η ένταση ενός ηχητικού κύματος ( $I$ ) είναι η ισχύς ( $P$ ) που μεταφέρεται από το κύμα αυτό ανά μονάδα επιφάνειας ( $A$ ) και μονάδα μέτρησης είναι τα  $Watt/m^2$ . Ο γενικός τύπος υπολογισμού της έντασης ενός ηχητικού κύματος φαίνεται παρακάτω [8]:

$$I = \frac{P}{A}$$

Όπου:

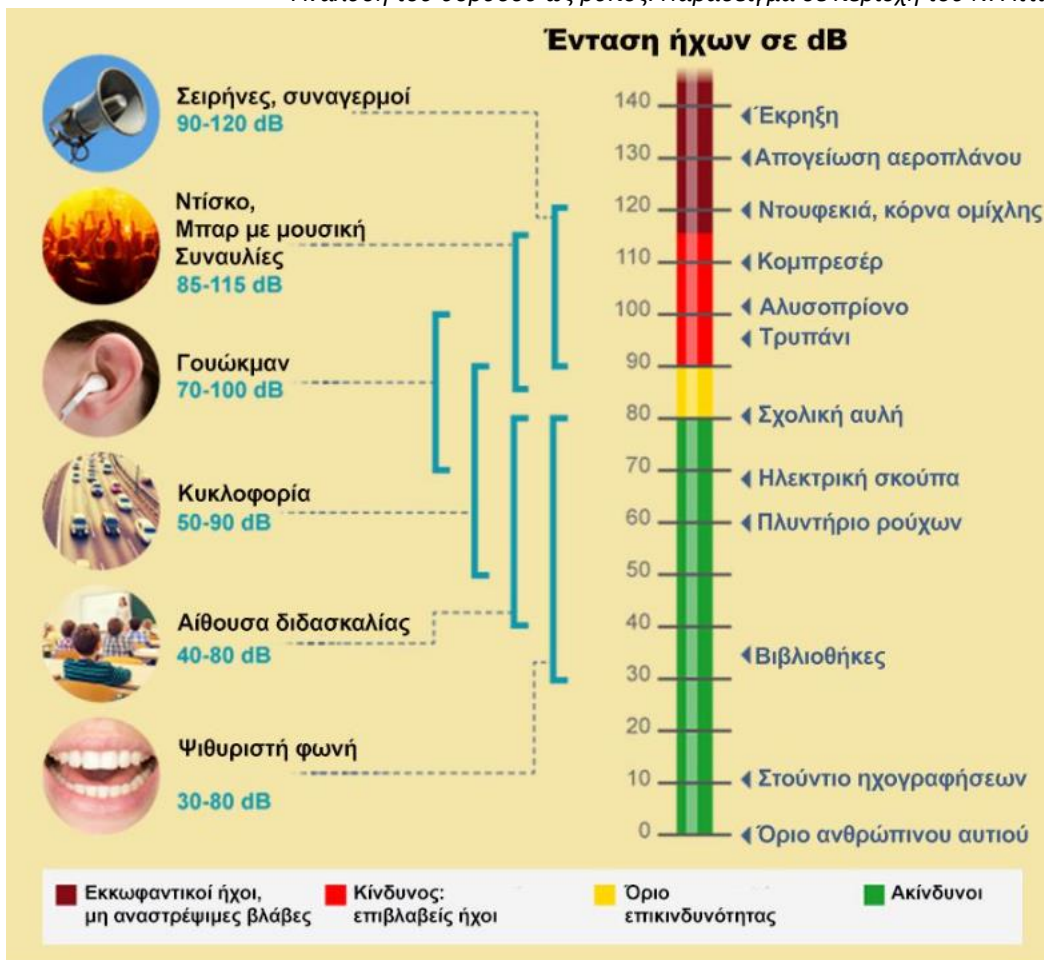
- $P$  : Ισχύς που μεταφέρεται από το ηχητικό κύμα(W)
- $A$  : Επιφάνεια ( $m^2$ )

Το ανθρώπινο αυτί έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται καλύτερα τους ήχους μικρού πλάτους εξαιτίας της μη γραμμικότητάς του. Επομένως η κλίμακα με την οποία μπορούμε να περιγράψουμε την ένταση του ήχου είναι μη γραμμική και χαρακτηρίζεται ως κλίμακα DeciBel. Ο τύπος που μετράει τα decibel (dB) του ήχου φαίνεται παρακάτω:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ όπου}$$

- $I$  : Η μετρούμενη ένταση σε  $W/m^2$
- $I_0$ : Η συχνότητα κατωφλιού κάτω από την οποία δεν αντιλαμβάνεται ήχο το μέσο ανθρώπινο αυτί ( $10^{-12}W/m^2$ )

Το βασικό χαρακτηριστικό της κλίμακας αυτής είναι το γεγονός ότι είναι λογαριθμική, δηλαδή η αύξηση στην κλίμακα decibel και η απόλυτη αύξηση της έντασης συσχετίζονται με έναν λόγο 1 προς 10. Επομένως, η αύξηση της απόλυτης έντασης κατά μία μονάδα αντιστοιχεί στην αύξηση της κλίμακας decibel κατά 10 μονάδες [9]. Παρακάτω (Εικόνα 1.2) φαίνονται διάφορες πηγές ήχου και τα αντίστοιχα deciBel που εκπέμπουν.

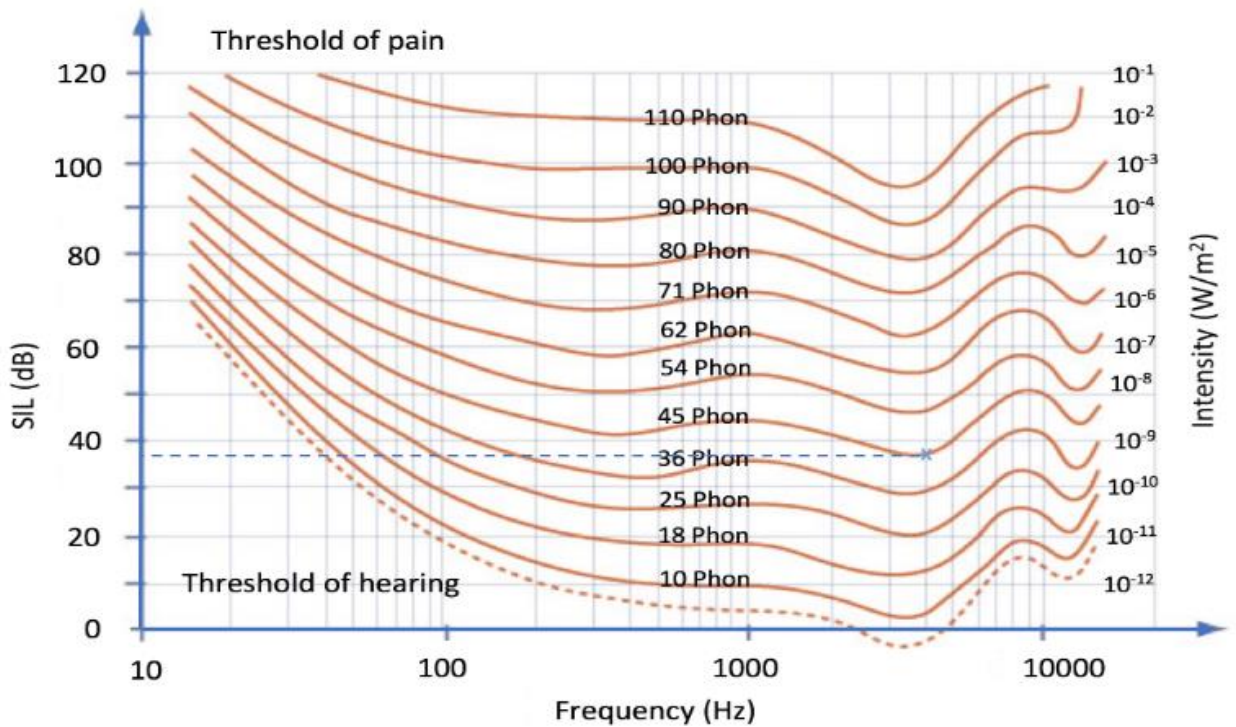


Εικόνα 1.4 Πηγές ήχου και decibel

ΠΗΓΗ: [10]

Παρά την δυνατότητα της αντικειμενικής μέτρησης της έντασης του θορύβου (dB), το ανθρώπινο αυτί αποτελεί ένα ατελές όργανο μέτρησης. Το κάθε άτομο, αντιλαμβάνεται τον ήχο πολύ καλύτερα σε μεσαία επίπεδα συχνοτήτων, παρά σε πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές συχνότητες. Για αυτόν τον λόγο υιοθετήθηκε η κλίμακα phon, η οποία βασίζεται στην προσωπική κρίση ανθρώπων για το πόσο δυνατός ή όχι μπορεί να είναι ένας ήχος. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 1.1) φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ της έντασης του ήχου μετρημένη σε dB και σε  $W/m^2$  και της συχνότητας του ήχου. Από τα 110 dB και μετά θεωρείται ότι ξεκινάει ο πόνος. Στην περίπτωση που το ανθρώπινο αυτί είχε τις ίδιες δυνατότητες με ένα εργαστηριακό ηχόμετρο, οι γραμμές θα ήταν ευθείες, ενώ τώρα παρατηρούμε πως παρουσιάζουν διακυμάνσεις σε συγκεκριμένα σημεία. Επίσης, κοντά σε συχνότητες των 1000Hz η κλίμακα phon και η κλίμακα decibel παρουσιάζουν κοινά σημεία. Αυτό υποδηλώνει πως το ανθρώπινο αυτί λειτουργεί καλύτερα σε αυτά τα επίπεδα συχνοτήτων και αντιλαμβάνεται τον ήχο ακριβώς όπως και ένα ηχόμετρο. Ανάμεσα στα 1000Hz και στα 5000Hz υπάρχει μία πτώση των καμπύλων, κάτι που αποδεικνύει πως ο άνθρωπος παρουσιάζει μία ιδιαίτερη ευαισθησία σε αυτό το εύρος συχνοτήτων. Πιθανό αίτιο τις συγκεκριμένης πτώσης κοντά στα

3500Hz θεωρείται στον κακό συντονισμό του ακουστικού πόρου του αυτιού που καθοδηγεί τον ήχο στο εσωτερικό του [11].

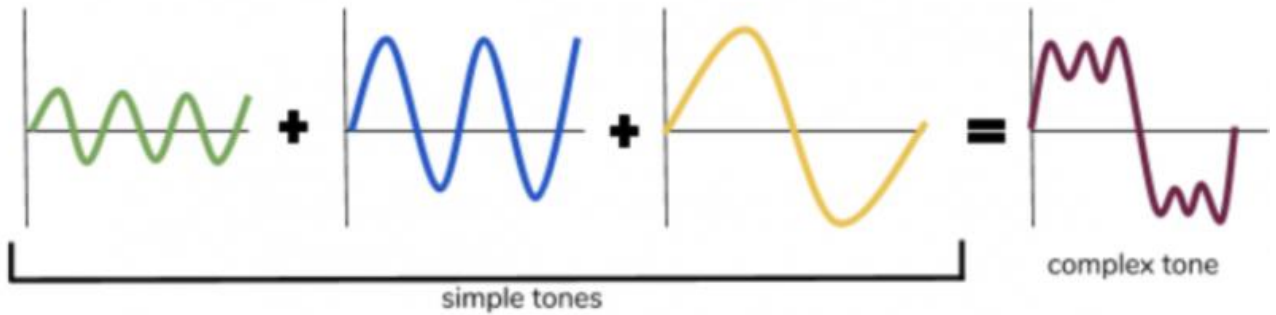


Διάγραμμα 1.1 Συσχέτιση συχνότητας (Hz) και έντασης (dB) του ήχου

ΠΗΓΗ: [11]

#### 1.2.4 Ύψος, ηχόχρωμα, ακουστική χροιά

Ο ήχος χαρακτηρίζεται και από κάποιες ιδιότητες που διαθέτουν έναν πιο υποκειμενικό χαρακτήρα. Οι ιδιότητες αυτές είναι το ύψος, το ηχόχρωμα και η χροιά ή αλλιώς τόνος. Το ύψος συνδέεται άμεσα με την συχνότητα του ήχου. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη δόνηση μεταφέρεται στο ελαστικό μέσο με αποτέλεσμα την αύξηση του πλάτους του κύματος και κατά συνέπεια, την αντίληψη μεγάλου τονικού ύψους [12]. Η χροιά του ήχου, ή αλλιώς τόνος, χαρακτηρίζεται από το είδος των δονήσεών του και το πλήθος των συχνοτήτων που αποτελούν τον ήχο. Στην περίπτωση που το ηχητικό κύμα αποτελείται από παραπάνω από έναν τόνους, ο τόνος με την μικρότερη συχνότητα ονομάζεται ως θεμελιώδης και οι υπόλοιποι ως υπέρτοννοι [13]. Το ηχόχρωμα ενός ήχου έχει άμεση σχέση με την κυματομορφή που διαθέτει, η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με τον αριθμό των κυμάτων που συνδυάζονται για να βγει το τελικό αποτέλεσμα [14]. Παρακάτω (Εικόνα 1.3) φαίνεται ένα παράδειγμα σύνθεσης τριών απλών ηχητικών κυμάτων, με διαφορετικά χαρακτηριστικά το κάθε ένα, σε ένα σύνθετο ηχητικό κύμα. Η πράσινη καμπύλη διαθέτει μεγάλη συχνότητα και μικρό πλάτος και περίοδο, η κίτρινη διαθέτει μικρή συχνότητα και μεγάλο πλάτος και περίοδο, ενώ η μπλε βρίσκεται σε μία ενδιάμεση κατάσταση.

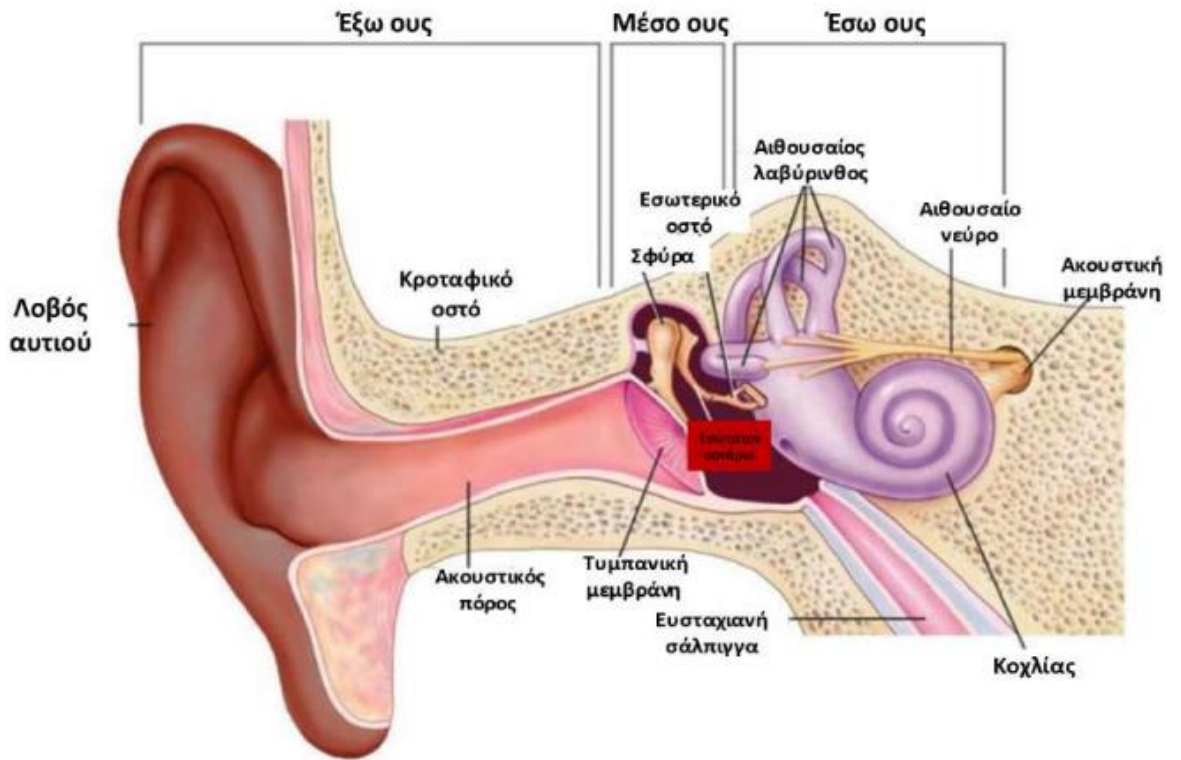


Εικόνα 1.5 Παράδειγμα σύνθεσης κυμάτων διαφορετικών χαρακτηριστικών

ΠΗΓΗ: [15]

### 1.3 Αντίληψη του ήχου από τον άνθρωπο

Το ανθρώπινο αυτί έχει την δυνατότητα να αντιλαμβάνεται ήχους με συχνότητες από 20Hz (υπόηχοι) έως 20kHz (υπέρηχοι). Όσο μεγαλύτερη συχνότητα έχει ένας ήχος τόσο οξύς είναι, ενώ αντίθετα, όσο μικραίνει η συχνότητα ο ήχος γίνεται βαθύς. Η ανατομία του ανθρώπινου αυτιού (Εικόνα 1.4) χωρίζεται σε τρία μέρη, το εξωτερικό, το μέσον και το εσωτερικό αυτί. Το εξωτερικό μέρος του αυτιού, με την βοήθεια του ακουστικού πόρου, μεταδίδει τους ήχους που αντιλαμβάνεται προς το τύμπανο και τα οστάρια (σφύρα, άκμονας, αναβολέας), τα οποία εντοπίζονται στο μέσον αυτί. Στην συνέχεια ο ήχος μεταφέρεται στο εσωτερικό αυτί, και πιο συγκεκριμένα στον λαβύρινθο, ο οποίος και αποτελείται από τον κοχλία (εκεί καταλήγει το ακουστικό νεύρο) και τους ημικύκλιους σωλήνες (εκεί καταλήγει το αιθουσαίο νεύρο, υπεύθυνο για την ισορροπία του ανθρώπου) [16]. Ο κοχλίας που προαναφέρθηκε, είναι μία κοιλότητα, σπειροειδούς σχήματος, γεμάτη με υγρό. Εντοπίζεται στο εσωτερικό μέρος του αυτιού και έχει σημαντικό ρόλο για την αντίληψη του ήχου. Εξαιτίας του ιδιαίτερου σχήματός του επιτρέπει την διέγερση συγκεκριμένων περιοχών από διαφορετικές συχνότητες, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός τονοτοπικού χάρτη ο οποίος βοηθάει τον άνθρωπο στην αντίληψη διαφορετικών συχνοτήτων. Με την βοήθεια των τριχωτών κυττάρων του οργάνου Corti οι δονήσεις των ηχητικών κυμάτων μετατρέπονται σε ηλεκτρικά ερεθίσματα τα οποία στην συνέχεια μεταφέρονται από το κοχλιακό νεύρο στον ακουστικό φλοιό του εγκεφάλου, όπου στην συνέχεια θα ερμηνευτούν σε ήχο [17]. Παρακάτω (Εικόνα 1.4) φαίνεται το εσωτερικό ενός ανθρώπινου αυτιού με μεγάλη λεπτομέρεια.



Εικόνα 1.6 Ανατομία ανθρώπινου αυτιού

ΠΗΓΗ: [17]



## 2 Θόρυβος

### 2.1 Θόρυβος και ηχορύπανση

Ως ηχορύπανση ορίζεται ο υπερβολικός ήχος που δύναται να δημιουργήσει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και όχι μόνο. Συνήθως τέτοιοι ήχοι παρατηρούνται κοντά σε βιομηχανικές περιοχές, σε αυτοκινητόδρομους με αυξημένη κίνηση καθώς και σε περιοχές όπου διέρχονται τραίνα αλλά και αεροπλάνα [18]. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) ως περιβαλλοντικός θόρυβος ορίζονται οι ανεπιθύμητοι ήχοι που δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων αυτών από μεταφορικά μέσα, από οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές μεταφορές καθώς και από χώρους με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα [19].

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος έχει αναδείξει τον θόρυβο ως τον δεύτερο πιο επιβλαβή ρύπο, μετά την ατμοσφαιρική ρύπανση, αφού σχεδόν το 20% των Ευρωπαίων πολιτών (1 στους 5) ζουν σε περιοχή όπου τα επίπεδα θορύβου είναι βλαβερά για την υγεία [20]. Το ίδιο φαινόμενο εντοπίζεται και σε χώρες εκτός Ε.Ε. αφού ο θόρυβος αποτελεί ένα πρόβλημα παγκόσμιου ενδιαφέροντος. Στον Πίνακα 2.1, παρουσιάζονται οι δέκα πιο θορυβώδεις πόλεις στον κόσμο μαζί με τα ελάχιστα και τα μέγιστα επίπεδα θορύβου που έχουν καταγραφεί.

Πόλη (Χώρα)	Μέγιστα επίπεδα θορύβου (dB)	Ελάχιστα επίπεδα θορύβου (dB)
Ντάκα (Μπανγκλαντές)	119	57
Μορανταμπάντ (Ινδία)	114	29
Ισλαμαμπάντ (Πακιστάν)	105	47
Ρατζάσι (Μπανγκλαντές)	103	55
Χο Τσι Μιν (Βιετνάμ)	103	49
Ιμπαντάν (Νιγηρία)	101	59
Αλγέρι (Αλγερία)	100	79
Κουποντόλε (Νεπάλ)	100	70
Μπανγκόκ (Ταϊλάνδη)	99	48
Νέα Υόρκη (ΗΠΑ)	95	56

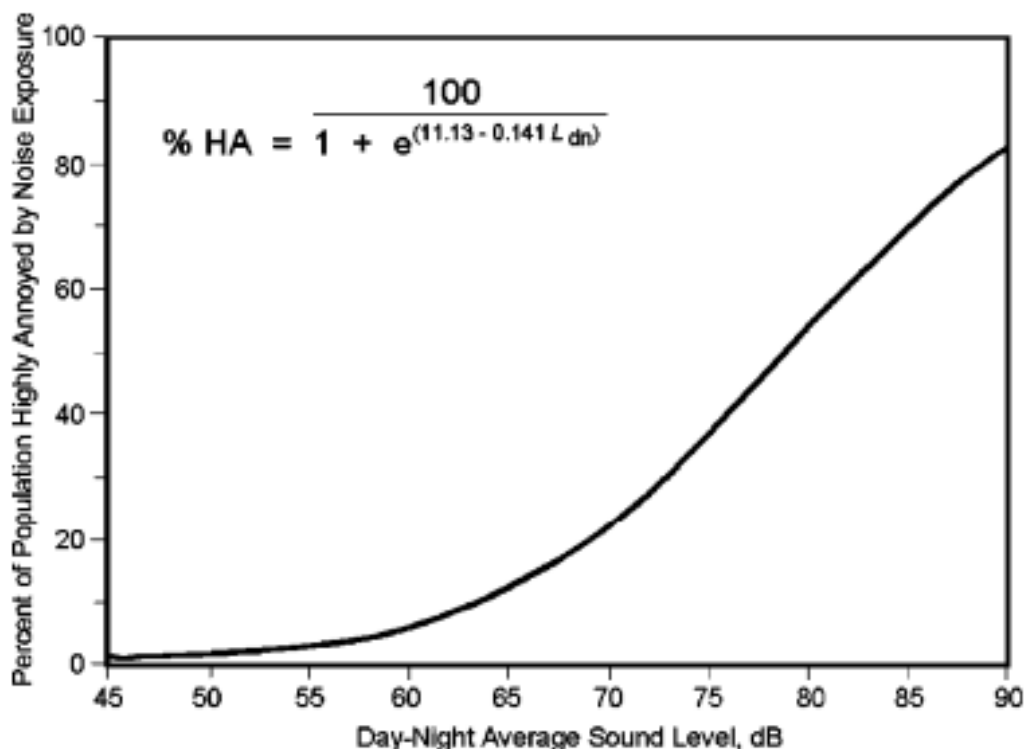
Πίνακας 2.1 Οι δέκα πιο θορυβώδεις χώρες του κόσμου

ΠΗΓΗ: [21] (ιδία επεξεργασία)

### 2.2 Ιστορική αναδρομή του θορύβου

Ο θόρυβος αποτελεί ένα ζήτημα με μακρά ιστορία. Το πρώτο παράπονο εξαιτίας του θορύβου που έχει καταγραφεί εντοπίζεται την δεύτερη χιλιετία π.Χ. στην Μεσοποταμία, όπου ορίστηκε σαν διαταραχές που στερούν τον ύπνο από τους ανθρώπους. Η επόμενη εμφάνιση ενόχλησης από θόρυβο καταγράφεται στην Αγγλία του 18<sup>ου</sup> αιώνα, όπου το συνεχές χτύπημα της καμπάνας κατά την διάρκεια όλης της ημέρας επίσης διέκοπτε τον ύπνο των πολιτών. Επιπλέον, τα βιομηχανικά μηχανήματα που άνθισαν κατά την βιομηχανική επανάσταση καθώς και η γρήγορη ανάπτυξη αρκετών πόλεων κατά την διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου επιδείνωσαν τα προβλήματα που ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024 σχετίζονται με τον θόρυβο [22]. Παρά το γεγονός της ενόχλησης από τον θόρυβο σε όλη την διάρκεια της ιστορίας, αυτός αναγνωρίστηκε πρώτη φορά ως ρύπος το 1972 από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας λόγω των σοβαρών επιπτώσεων που παρατηρήθηκαν στην ανθρώπινη υγεία [23], και ο πρώτος που προσπάθησε να συγκρίνει και να ερμηνεύσει τον θόρυβο ήταν ο Schultz το 1978. Ο Schultz έφτιαξε δύο κλίμακες, μία 11 βαθμίδων και μία 7 βαθμίδων, τις οποίες και χρησιμοποίησε για να ορίσει αν οι άνθρωποι ενοχλούνταν ή όχι από τα υψηλά επίπεδα θορύβου. Όσοι άνθρωποι ανήκαν στο 27% ή 29% των παραπάνω κλιμάκων αντίστοιχα ορίζονταν ως "ιδιαίτερα ενοχλημένοι". Έτσι δημιούργησε ένα διάγραμμα (Διάγραμμα 2.1) όπου δείχνει την αύξηση του ποσοστού των ιδιαίτερα ενοχλημένων ατόμων σε σχέση με την αύξηση του μέσου επιπέδου θορύβου για μέρα και νύχτα όπως φαίνεται και παρακάτω.



Διάγραμμα 2.1 Η καμπύλη Schultz

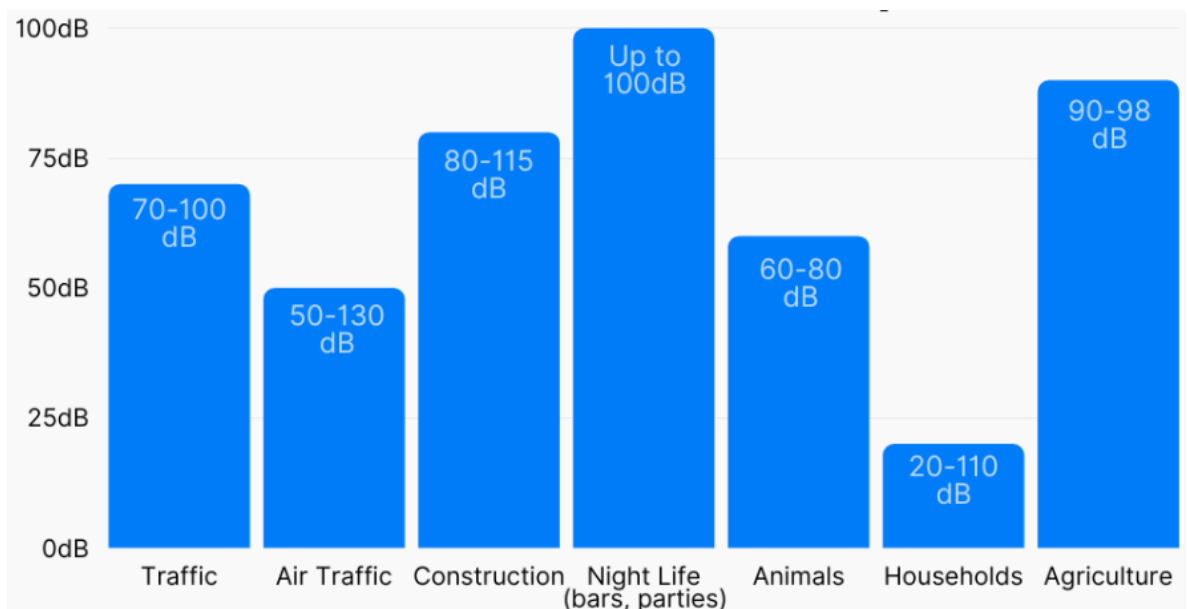
ΠΗΓΗ: [24]

Μετά από μερικά χρόνια, η Διεθνής Επιτροπή για τις Βιολογικές Επιδράσεις του Θορύβου (ICBEN) όρισε έναν διαφορετικό ορισμό κατά τον οποίο η κλίμακα έγινε 5 βαθμίδων και το ποσοστό των ανθρώπων αυξήθηκε στο 40%. Ο παραπάνω ορισμός τελικά έλαβε τον όρο της Τεχνικής Προδιαγραφής (ΤΠ) το 2003 από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO). Στο πέρασμα των ετών, παρουσιάστηκαν μελέτες με σκοπό την σύνθεση καμπυλών ενόχλησης βασισμένες σε διαφορετικούς δείκτες του θορύβου όπως είναι το επίπεδο ημέρας-νύκτας (L<sub>dn</sub>) καθώς και το επίπεδο ημέρας-νύκτας-βράδυ (L<sub>den</sub>). Το 1998, οι μελετητές Miedema & Vos [25], κατέληξαν σε καμπύλες συσχέτισης του επιπέδου ημέρας-νύκτας και του αριθμού των πολιτών που ενοχλείται από τον θόρυβο. Λίγα χρόνια αργότερα, το 2001, οι Miedema & Oudshoorn [26] παρουσίασαν νέες καμπύλες

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
ενόχλησης των παραπάνω δεικτών οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσο αφορά τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου [27].

## 2.3 Πηγές Θορύβου

Ο θόρυβος μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή του, στον θόρυβο από ανθρώπινες δραστηριότητες (κυκλοφοριακό, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εργοτάξια, αεροπλάνα, τρένα) και στον θόρυβο από φυσικές πηγές (καταιγίδες, δυνατός άνεμος, κύματα, σεισμοί). Στο παρακάτω σχήμα (Διάγραμμα 2.2) φαίνονται οι βασικότερες πηγές θορύβου μαζί με τα επίπεδα έντασης σε dB που έχουν καταγραφεί.



Διάγραμμα 2.2 Οι πιο συνηθισμένες πηγές θορύβου

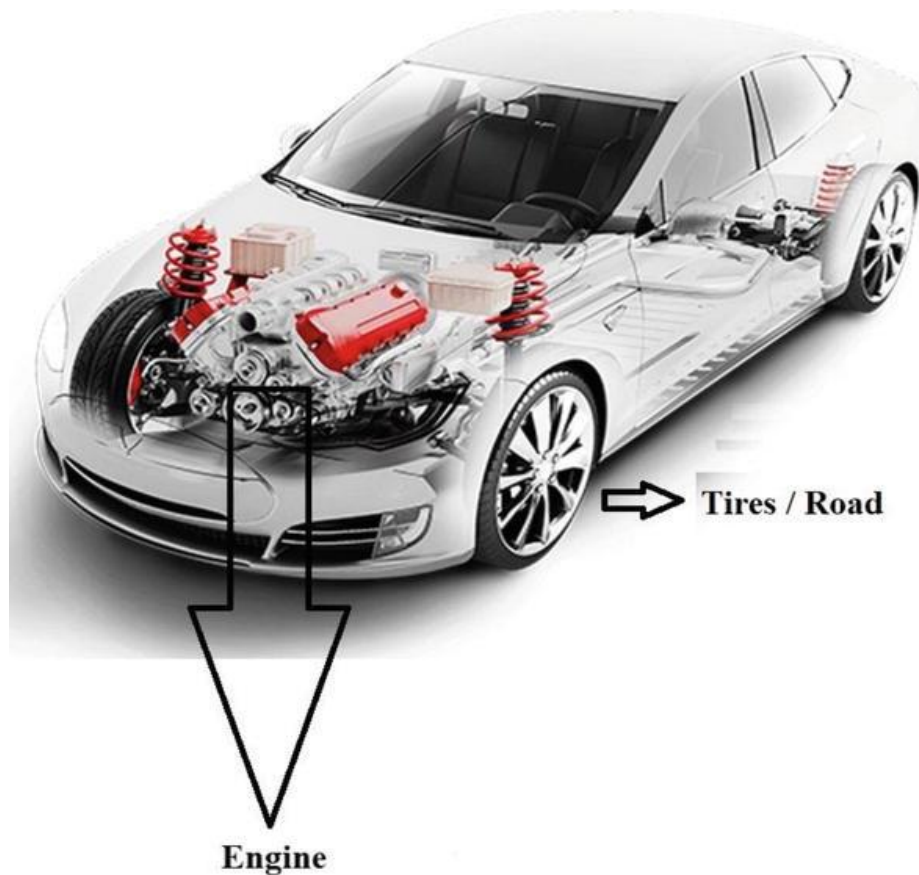
ΠΗΓΗ: [21]

Από τις παραπάνω πηγές, αυτές που βλάπτουν τους περισσότερους κατοίκους της Ε.Ε., με όρια πάνω από τα 55dB, είναι ο θόρυβος από το κυκλοφοριακό, με 100 εκατομμύρια ανθρώπους να εκτίθενται σε αυτόν ετησίως και δεύτερη μεγαλύτερη πηγή είναι ο θόρυβος από τους σιδηροδρόμους, που βλάπτει 19 εκατομμύρια ανθρώπους. Ακολουθεί ο θόρυβος των αεροπλάνων με 4,1 εκατομμύρια ανθρώπους και τέλος ο θόρυβος από την βιομηχανία που βλάπτει 1 εκατομμύριο ανθρώπους [21]. Αυτές οι τέσσερις πηγές καθώς και ο θόρυβος από φυσικές πηγές θα αναλυθούν παρακάτω.

### 2.3.1 Θόρυβος από ανθρώπινες δραστηριότητες

Ο θόρυβος που προκαλείται από το κυκλοφοριακό αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα την σημερινή εποχή. Οι ασφυκτικά γεμάτοι δρόμοι από αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες αλλά και από Μέσα

Μαζικής Μεταφοράς (λεωφορεία, ταξί) προκαλούν ένα δυσάρεστο συναίσθημα τόσο στους οδηγούς όσο και στους πεζούς. Κύρια πηγή θορύβου σε ένα αυτοκίνητο αποτελεί ο κινητήρας του. Αυτό οφείλεται στις συνεχείς αναφλέξεις της βενζίνης καθώς και στην κίνηση αρκετών εξαρτημάτων του κινητήρα, όπως είναι τα πιστόνια. Επιπλέον πηγές θορύβου στο αυτοκίνητο αποτελούν, η αλληλεπίδραση των ελαστικών και του οδοστρώματος, ιδιαίτερα όταν αυτά δεν είναι σε καλή κατάσταση, ο οξύς ήχος που προκαλείται από το απότομο φρενάρισμα καθώς και οι συνεχείς δονήσεις του αμαξώματος, εξαιτίας ιδιομορφιών του οδοστρώματος [28]. Στις κύριες οδικές αρτηρίες, τα επίπεδα του θορύβου μπορεί να ξεπεράσουν και τα 85dB, ενώ ακόμα και σε πιο απομονωμένους δρόμους τα επίπεδα αυτά παραμένουν υψηλά στα 60-68dB [29]. Παρακάτω (Εικόνα 2.1) φαίνονται οι βασικότερες πηγές θορύβου σε ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο.

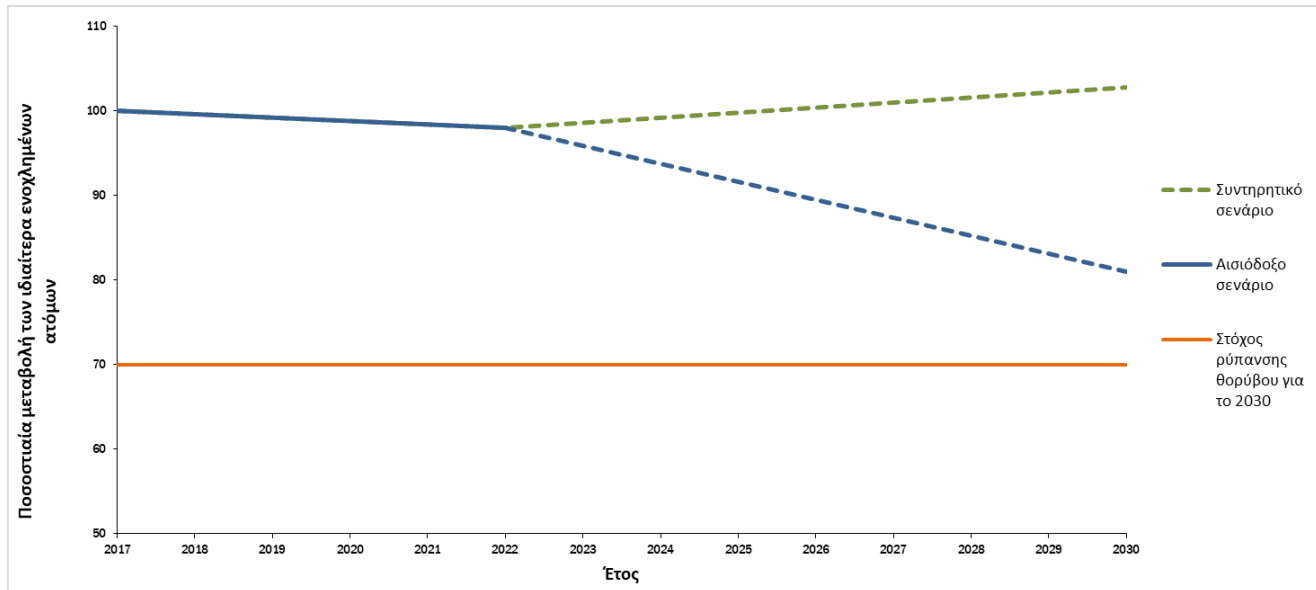


Εικόνα 2.1 Πηγές θορύβου σε ένα αυτοκίνητο

ΠΗΓΗ: [30]

Το 2017, ο θόρυβος από το κυκλοφοριακό ενοχλούσε 14 εκατομμύρια ανθρώπους εντός Ε.Ε. και μέχρι το 2030 ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί κατά 3%. Σε ένα πιο αισιόδοξο σενάριο είναι πιθανή η μείωση κατά 19% όμως απαιτείται η εφαρμογή καθοριστικών μέτρων. Βασικό αίτιο για την συγκεκριμένη πρόβλεψη αποτελεί η συνεχής αύξηση του πληθυσμού και των μεταφορών, ιδίως στις μεγάλες πόλεις. Αν η συγκεκριμένη κατάσταση συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια, θα είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν μέτρα με ουσιαστικό αντίκτυπο στην καταπολέμηση της ηχορύπανσης. Στο παρακάτω σχήμα (Διάγραμμα 2.3) φαίνεται η προβλεπόμενη ποσοστιαία αλλαγή των υψηλά

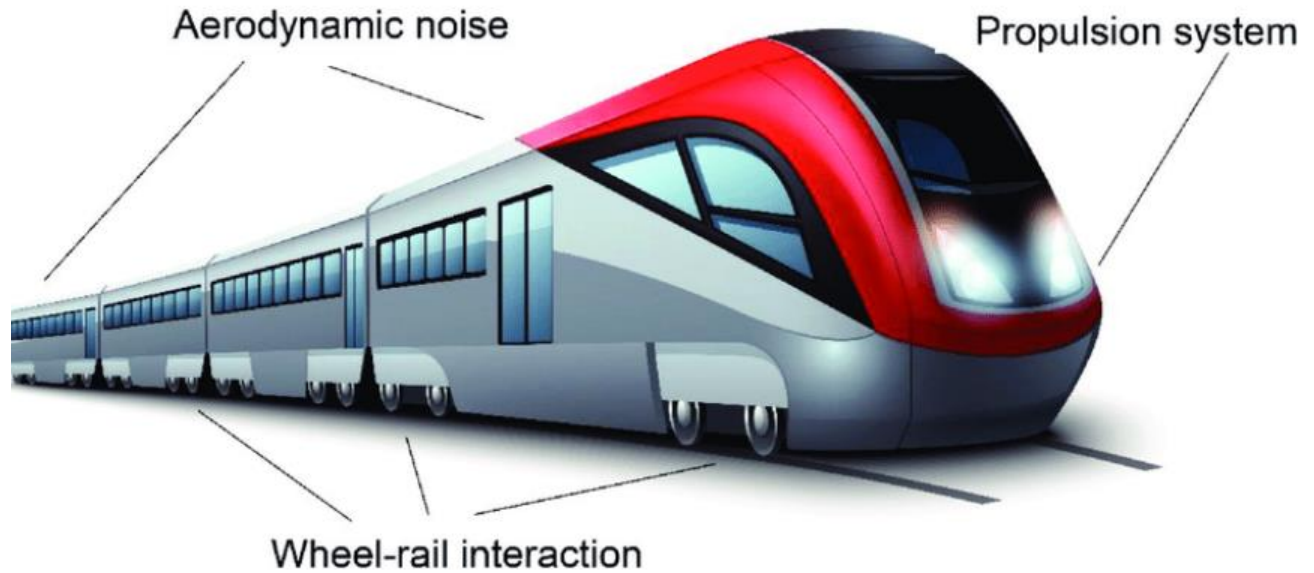
Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
ενοχλημένων κατοίκων εντός Ε.Ε. από το 2017 έως το 2030 καθώς και ο στόχος που έχει τεθεί από  
την Ε.Ε. [31].



Διάγραμμα 2.3 Ποσοστιαία μεταβολή αριθμού ανθρώπων ενοχλημένων μέχρι το 2030

ΠΗΓΗ: [31] (Ιδία επεξεργασία)

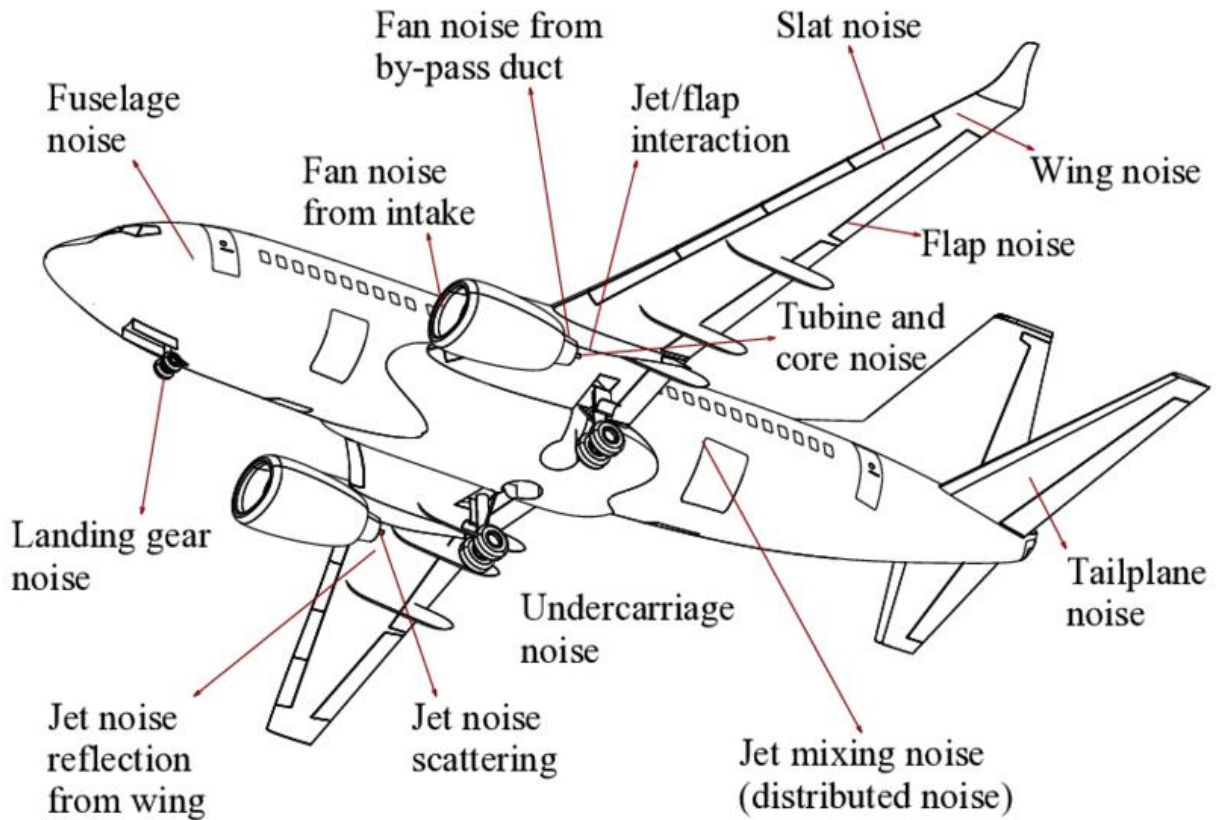
Μία ακόμα πηγή ηχορύπανσης αποτελούν οι σιδηροδρομικοί σταθμοί. Ο σιδηροδρομικός θόρυβος βλάπτει περίπου 22 εκατομμύρια κατοίκους εντός Ε.Ε., με επίπεδα θορύβου πάνω από τα θεσμοθετημένα όρια για κατοικημένες περιοχές (55dB) [32]. Η κύρια πηγή θορύβου από τα τρένα στους σιδηροδρόμους προέρχεται από τους τροχούς όταν αυτοί έρχονται σε επαφή με τις ράγες, αφού πρόκειται για δύο αντικείμενα φτιαγμένα από μέταλλο που αλληλεπιδρούν σε μεγάλες ταχύτητες. Μία ακόμη πηγή θορύβου στα τρένα αποτελεί το σύστημα πέδησης, καθώς δημιουργείται πολύ μεγάλη τριβή, όταν επιχειρείται μείωση των μεγάλων ταχυτήτων που πιάνουν τα συγκεκριμένα μέσα. Επιπλέον πηγές θεωρούνται οι διάφοροι εξοπλισμοί του τρένου, όπως είναι οι σειρήνες, τα κλιματιστικά καθώς και ο εξαερισμός. Τέλος, έντονος θόρυβος δημιουργείται από την αεροδυναμική των βαγονιών, ιδιαίτερα όταν αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες [30]. Δευτερεύοντες πηγές θορύβου στους σιδηροδρόμους αποτελούν τα υλικά με τα οποία κατασκευάζονται. Ως επί το πλείστον στο σιδηροδρομικό δίκτυο χρησιμοποιείται σκυρόδεμα (μπετόν) το οποίο διαθέτει πολύ κακά επίπεδα ηχοαπορροφητικότητας. Για αυτόν τον λόγο όταν ένα τρένο διέρχεται με μεγάλη ταχύτητα μέσα από ένα τούνελ τα επίπεδα του θορύβου ενδέχεται να αυξηθούν ακόμη και κατά 5dB [33]. Παρακάτω (Εικόνα 2.2) φαίνονται οι πηγές θορύβου ενός τρένου μεγάλης ταχύτητας.



Εικόνα 2.2 Πηγές θορύβου από την κίνηση του τρένου

**ΠΗΓΗ:** [30]

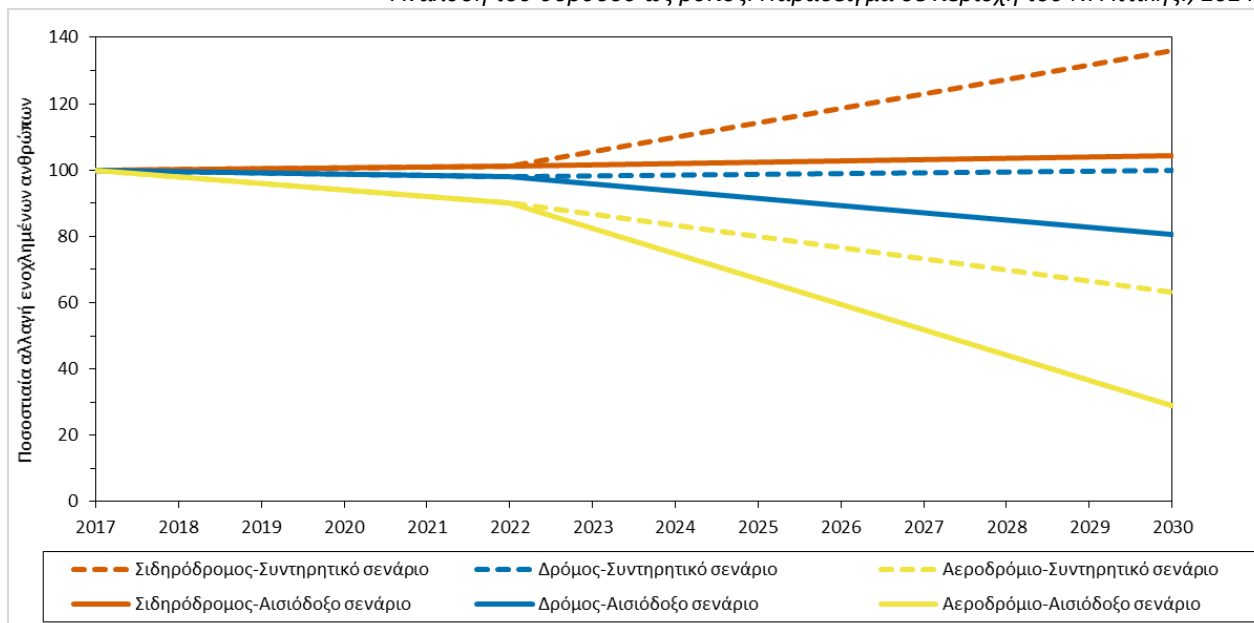
Ο θόρυβος που προκαλείται από τα αεροπλάνα αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα που εμφανίστηκε από την κατασκευή των πρώτων ακόμα αεροκινητήρων. Εξαιτίας αυτού, τα τελευταία χρόνια γίνονται πολλές προσπάθειες για την εύρεση νέων τρόπων με σκοπό την μείωση του συγκεκριμένου τύπου θορύβου. Η κύρια πηγή θορύβου σε ένα αεροσκάφος είναι οι κινητήρες του, αλλά μπορεί να παραχθεί και από το πλαίσιο του αεροσκάφους όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Πηγές θορύβου σε ένα αεροσκάφος

ΠΗΓΗ: [34]

Οι πρώτοι αεροκινητήρες λειτουργούσαν με συμπίεση αέρα, η οποία είχε ως σκοπό την δημιουργία μεγάλης επιτάχυνσης κατά την εξαγωγή του αέρα από τον κινητήρα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργείται μία διαφορά ταχύτητας μεταξύ του αέρα εξαγωγής και του ατμοσφαιρικού αέρα με αποτέλεσμα την δημιουργία θορύβου υψηλής συχνότητας. Οι διάφορες εσοχές και εξοχές που παρουσιάζονται στο σώμα του αεροσκάφους, ευθύνονται για την αύξηση των επιπέδων του θορύβου όταν αλληλεπιδρούν με κύματα αέρα σε μεγάλες ταχύτητες. Το σύστημα προσγείωσης ζυδέχεται να δημιουργεί υψηλά επίπεδα θορύβου όταν είναι ενεργό, αφού με την εξαγωγή των τροχών προσγείωσης από το κάτω μέρος του αεροσκάφους χαλαίει η ομοιόμορφη ροή του αέρα και αντικαθίστανται με αρκετά εμπόδια που προκαλούν ήχους υψηλής συχνότητας. Επιπλέον, συστήματα όπως η βοηθητική μονάδα ισχύος και το σύστημα κλιματισμού, κυρίως στα μεγάλα αεροσκάφη, αποτελούν κάποιες ακόμα πηγές θορύβου σε ένα αεροσκάφος [35]. Οι τρεις πηγές θορύβου που εξετάστηκαν παραπάνω, έχουν συμπεριληφθεί στον στόχο της Ε.Ε. για την μείωση των ενοχλημένων κατοίκων μέχρι το 2030 και η κάθε μία παρουσιάζει διαφορετική πορεία. Παρακάτω (Διάγραμμα 2.4) φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα.



Διάγραμμα 2.4 Ποσοστιαία μεταβολή αριθμού ενοχλημένων ανθρώπων μέχρι το 2030 για κάθε βασική πηγή θορύβου

ΠΗΓΗ:[31] (Ιδία επεξεργασία)

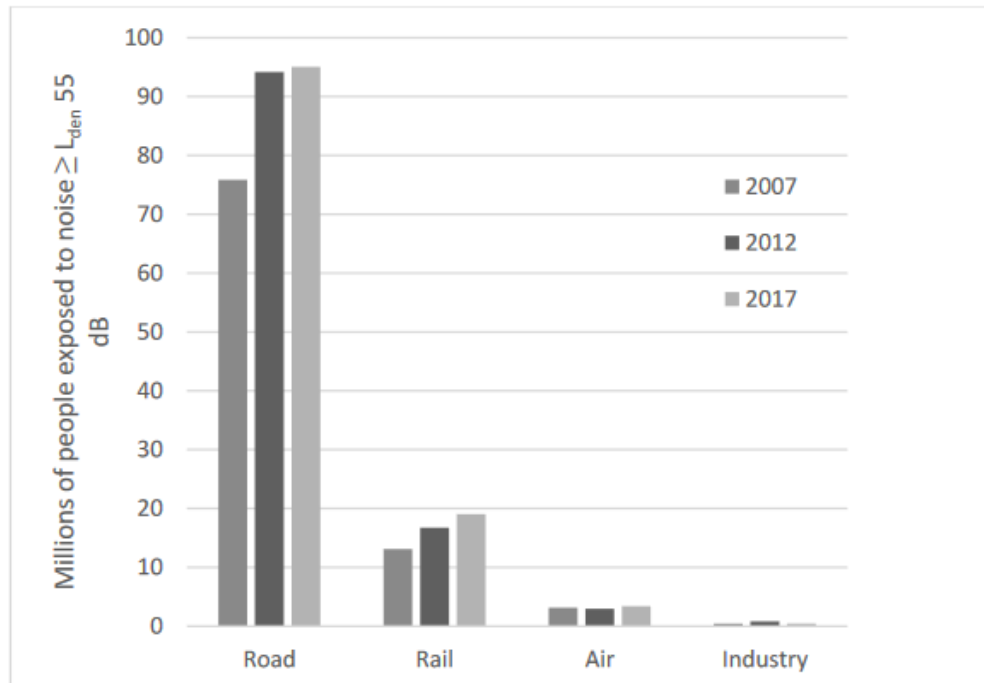
Όπως φαίνεται από το γράφημα, ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται στον σιδηροδρομικό θόρυβο αυξάνεται σημαντικά, καθώς αναμένεται μεγάλη αύξηση των δρομολογίων των επιβατηγών τρένων και όχι μόνο. Αντιθέτως, ο θόρυβος από τα αεροσκάφη ενδέχεται να μειωθεί ακόμη και κατά 70% περίπου, με την λήψη αυστηρών μέτρων που περιλαμβάνουν ακόμη και απαγόρευση κυκλοφορίας αεροσκαφών τις βραδινές ώρες. Σε ένα πιο λογικό και συντηρητικό σενάριο, με την λήψη απλών μέτρων όπως είναι για παράδειγμα η υιοθέτηση αθόρυβων αεροσκαφών καθώς και μεθόδων αποφυγής κατοικημένων περιοχών κατά την απογείωση και την προσγείωση, το ποσοστό μείωσης φτάνει κοντά στο 40%, το οποίο και πάλι θεωρείται υψηλό. Τέλος, ο αριθμός των ατόμων που ενοχλούνται από τον κυκλοφοριακό θόρυβο, ενδέχεται να μειωθεί κατά 20% περίπου, και αυτό μόνο με τον κατάλληλο συνδυασμό μέτρων όπως είναι οι αυστηρότεροι κανονισμοί για τις εκπομπές θορύβου στα οχήματα, η μείωση των ορίων ταχύτητας και η χρήση κατάλληλων ηχοαπορροφητικών υλικών στις ασφάλτους. [31]

Οι βιοτεχνίες, οι βιομηχανίες και τα εργοτάξια ανήκουν όλα στην κατηγορία του μηχανολογικού θορύβου. Ουσιαστικά, ως μηχανολογικός θόρυβος ορίζεται ο θόρυβος ο οποίος προκαλείται από λειτουργικές δραστηριότητες σε σταθερές ή κινητές πηγές. Οι μόνιμες μηχανολογικές εγκαταστάσεις καθώς και οι βιομηχανίες και οι βιοτεχνίες αποτελούν τις σταθερές πηγές, ενώ οι κινητές πηγές είναι μηχανήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στα εργοτάξια, όπως είναι τα τρυπάνια και οι μπετονιέρες [36].

Σύμφωνα με μελέτες από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, ο αριθμός των ανθρώπων που εκτίθενται σε περιβαλλοντικό θόρυβο μεγαλύτερο των 55dB έχει αυξηθεί από το 2007 έως και το 2017 σχεδόν σε όλους τους τομείς με το μεγαλύτερο πρόβλημα να εντοπίζεται στον κυκλοφοριακό



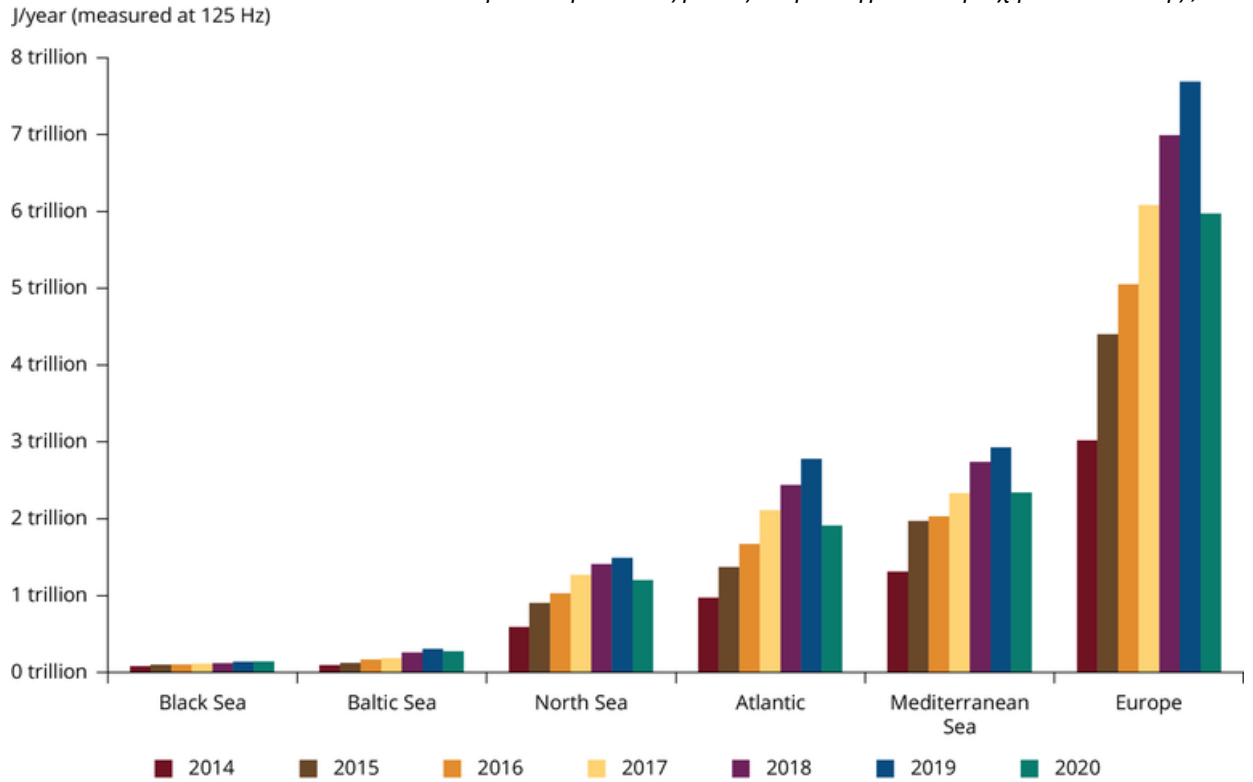
Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
θόρυβο, κάτι που μοιάζει λογικό από την στιγμή που ο πληθυσμός αυξάνεται εκθετικά με συνέπεια να αυξάνονται και οι ανάγκες για κυκλοφορία στους δρόμους είτε με ατομικό μέσο είτε με Μέσο Μαζικής Μεταφοράς. Παρακάτω (Διάγραμμα 2.5) φαίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα [20].



Διάγραμμα 2.5 Αριθμός Ανθρώπων που εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου πάνω από τα 55dB στην Ε.Ε. μέχρι και το 2017

**ΠΗΓΗ:** [20]

Ο ανθρώπινος παράγοντας έχει επηρεάσει σημαντικά και τον θόρυβο της θάλασσας. Το συγκεκριμένο είδος θορύβου προκαλείται από την ναυτιλία και την υπεράκτια βιομηχανία. Περίπου το 91% των Ευρωπαϊκών θαλασσών εκτίθεται σε ναυτιλιακό θόρυβο μεγάλης διάρκειας. Από το 2014 και μετά, ο υποβρύχιος θόρυβος, και πιο συγκεκριμένα ο θόρυβος με συχνότητα σταθερή στα 125Hz, έχει παρουσιάσει σταθερή αύξηση όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2.6) [37].



Διάγραμμα 2.6 Εκπομπές υποβρύχιου θορύβου στην ΕΕ ανά θαλάσσια περιοχή

ΠΗΓΗ: [37]

### 2.3.2 Θόρυβος από φυσικές πηγές

Ο θόρυβος δεν δημιουργείται μόνο από ανθρώπινους παράγοντες αλλά και από φυσικούς. Το γάβγισμα ενός σκυλιού για παράδειγμα μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 80dB [38]. Κάποιες ακόμα φυσικές πηγές του θορύβου που πιθανόν να περνάνε απαρατήρητες μπορεί να είναι οι σεισμοί, οι καταιγίδες, το ερωτικό κάλεσμα κάποιων ζώων, το νερό που μπορεί να πέφτει με ορμή από έναν καταρράκτη και αρκετές ακόμα. Ο θόρυβος που εντοπίζεται στον ωκεανό, προέρχεται κυρίως από τους ήχους που βγάζουν τα διάφορα υδρόβια θηλαστικά με σκοπό την επικοινωνία μεταξύ τους και την αξιολόγηση του περιβάλλοντος χώρου. Οι φάλαινες και τα δελφίνια χρησιμοποιούν πολύπλοκους ήχους για την καλύτερη πλοήγησή τους και την εύρεση τροφής [39]. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2.7) φαίνονται οι υποβρύχιες πηγές θορύβου μαζί με την ένταση που έχει καταγραφεί για την κάθε μία.

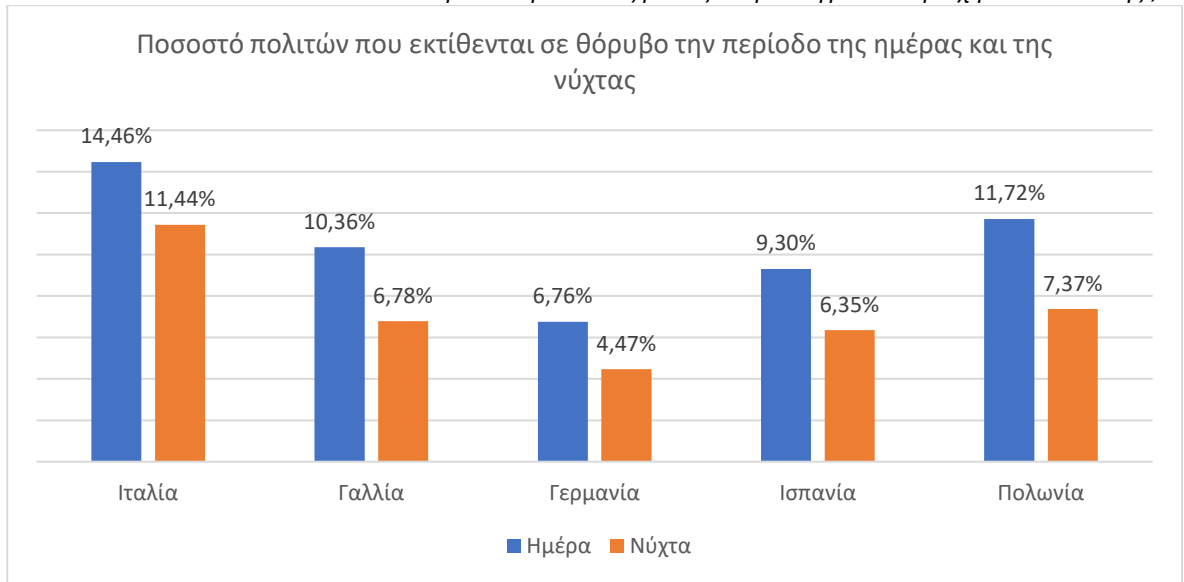


Διάγραμμα 2.7 Ένταση υποβρύχιων πηγών θορύβου

ΠΗΓΗ: [21] (Ιδία επεξεργασία)

## 2.4 Επιπτώσεις Θορύβου

Οι επιπτώσεις του θορύβου στον άνθρωπο μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις ακουστικές, αυτές που σχετίζονται άμεσα με το ανθρώπινο αυτί, και τις μη ακουστικές, αυτές δηλαδή που σχετίζονται με το νευρικό σύστημα, τις ψυχικές λειτουργίες, το κυκλοφορικό και άλλα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Σύμφωνα με τους Hammer et al. η συνεχής έκθεση στον θόρυβο προκαλεί προβλήματα στον άνθρωπο, από την δυσκολία στον ύπνο που είναι και το πιο απλό σύμπτωμα, μέχρι και καρδιακές παθήσεις ή και μειωμένη απόδοση στην μάθηση καθώς και στην παραγωγικότητα [40]. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει αποδείξει πως περίπου 400 με 1500 χρόνια ζωής προσαρμοσμένα στην αναπηρία (DALYs) για κάθε ένα εκατομμύριο Ευρωπαίων κατοίκων σχετίζονται με την έκθεση σε κάθε είδος δυνατού θορύβου. Τα νούμερα αυτά είναι τα δεύτερα μεγαλύτερα αμέσως μετά αυτών που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση [41], όμως αν συγκριθούν με τον αριθμό των ανθρώπων που εκτίθενται στον θόρυβο καθημερινά, καταλήγει κανείς στο συμπέρασμα πως δικαιολογούνται πλήρως. Παρακάτω (Διάγραμμα 2.8) φαίνονται τα ποσοστά των πολιτών που εκτίθενται στον θόρυβο την περίοδο της ημέρας και της νύχτας σε πέντε από τις μεγαλύτερες χώρες της Ε.Ε.

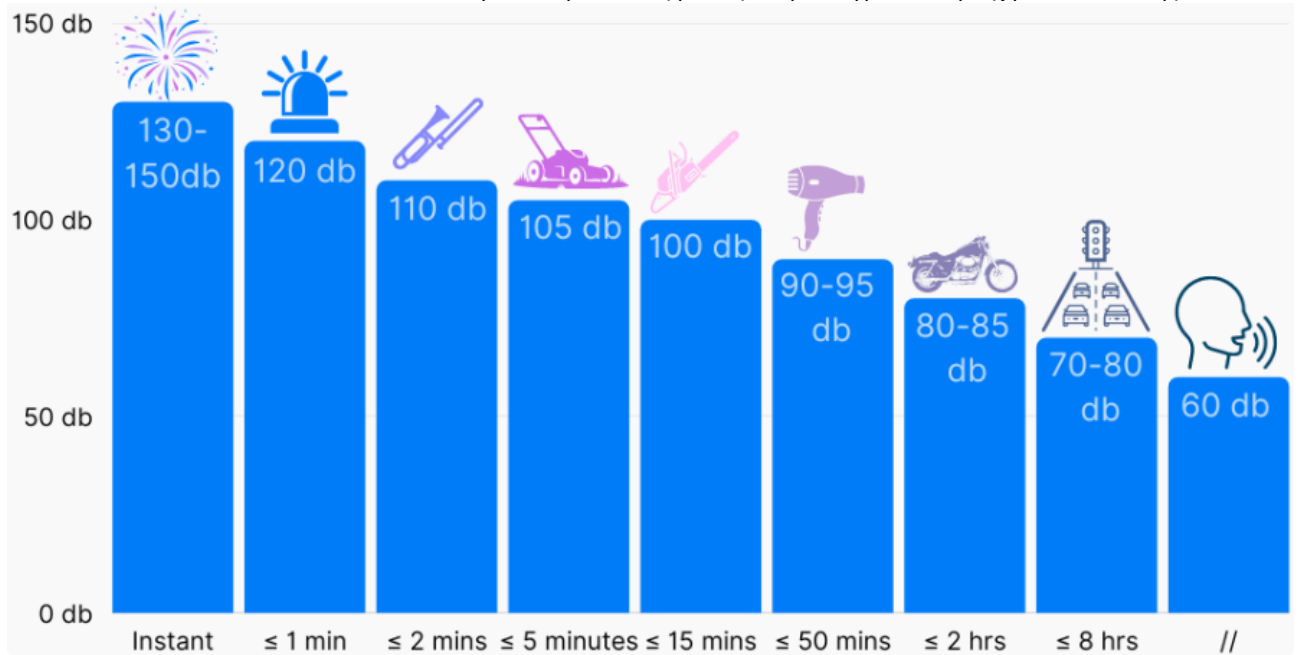


Διάγραμμα 2.8 Άνθρωποι που εκτίθενται καθημερινά σε υψηλά επίπεδα θορύβου

ΠΗΓΗ: [21]

#### 2.4.1 Επιπτώσεις στην ακοή

Μία από τις πιο άμεσες επιπτώσεις έκθεσης σε θόρυβο για αρκετό χρονικό διάστημα είναι η απώλεια της ακοής. Το πρόβλημα αυτό ενδέχεται να προκληθεί είτε από την έκθεση σε έναν πολύ δυνατό ήχο σχεδόν ακαριαία, όπως είναι μία έκρηξη, ή από την συνεχή έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο θόρυβος που παράγεται σε ένα εργοστάσιο επεξεργασίας πρώτων υλών. Όπως φαίνεται και παρακάτω (Διάγραμμα 2.9), ήχοι με ένταση μικρότερη των 60dB δεν προκαλούν καμία βλάβη στην ακοή ανεξαρτήτως του διαστήματος έκθεσης του ανθρώπινου αυτιού σε αυτούς. Αντιθέτως, όταν ο θόρυβος ξεπεράσει τα 85dB το χρονικό διάστημα έκθεσης για την αποφυγή βλάβης πέφτει κάτω από την μία ώρα και φτάνει ακόμη και σε ακαριαία πρόκληση βλάβης (130-150dB) [42].



Διάγραμμα 2.9 Χρόνος που απαιτείται για την πρόκληση βλάβης από διάφορες πηγές θορύβου

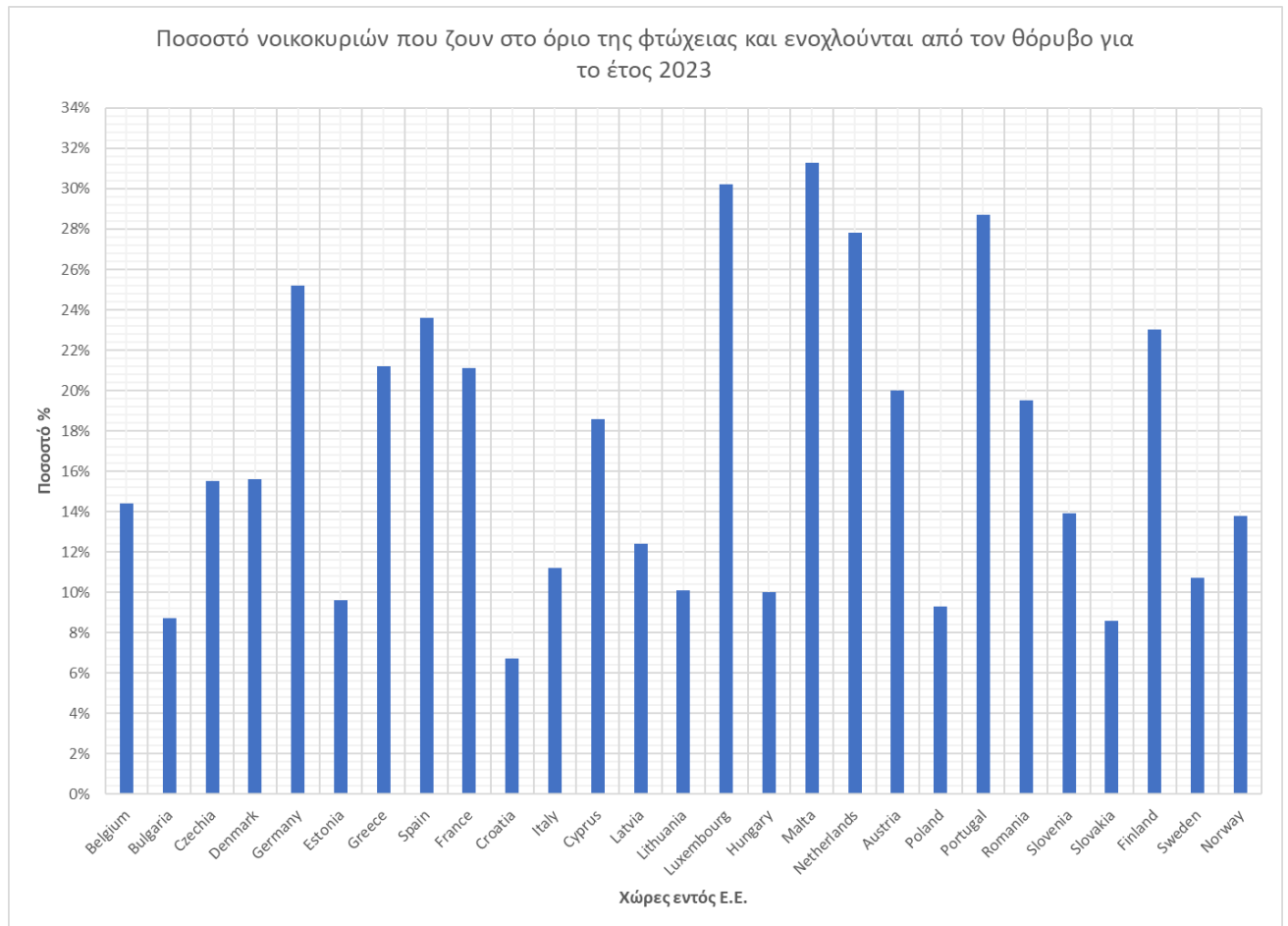
ΠΗΓΗ: [21]

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας περίπου το 5% του πλανήτη (360 εκατομμύρια άνθρωποι) ταλαιπωρείται από προβλήματα ακοής και η βασική αιτία είναι η έκθεση σε δυνατό θόρυβο [43]. Έρευνες έχουν δείξει πως μέχρι το 2050 ο συνολικός αριθμός των ατόμων που αναμένεται να χάσουν την ακοή τους εξαιτίας του θορύβου ενδέχεται να φτάσει τα 2,5 δισεκατομμύρια, ενώ τα αντίστοιχα νούμερα από το 2021 μέχρι και σήμερα, φτάνουν τα 432 εκατομμύρια άτομα παγκοσμίως [21]. Επιπλέον, η παρατεταμένη έκθεση στον δυνατό θόρυβο, ενδέχεται να προκαλέσει δυσκολία στην διάκριση των ήχων της ομιλίας από τον εγκέφαλο. Αυτό σχετίζεται με την βλάβη στα εσωτερικά τριχωτά κύτταρα και στις ακουστικές νευρικές ίνες [44]. Ένα ακόμη πρόβλημα που σχετίζεται με την έκθεση στον θόρυβο είναι η εμφάνιση εμβοών (βουητών). Οι εμβοές εμφανίζονται ως συνέπεια αλλαγών στην κεντρική ακουστική σηματοδότηση και μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της συγκέντρωσης, άγχος ακόμη και κατάθλιψη [43].

#### 2.4.2 Ενόχληση και δυσκολία ύπνου

Η υγεία και η ευεξία του ατόμου επηρεάζεται αρνητικά από τον θόρυβο, καθώς προκαλεί ενόχληση και δυσκολία στον ύπνο. Σύμφωνα με στοιχεία του 2017, ανάμεσα στις 33 χώρες της Ε.Ε. τα συνολικά χρόνια που χάνονται εξαιτίας της έντονης ενόχλησης και της δυσκολίας στον ύπνο είναι 453.000 και 437.000 αντίστοιχα [45]. Μόνο στην Ευρώπη, περίπου 22 εκατομμύρια άνθρωποι αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα όσον αφορά την υψηλή ενόχληση στον θόρυβο και 6,5 εκατομμύρια πάσχουν από χρόνια δυσκολία στον ύπνο [32]. Το παρακάτω γράφημα (Διάγραμμα 2.10) αναπαριστά το ποσοστό των νοικοκυριών τα οποία ζουν στο όριο της φτώχειας και ενοχλούνται από τον θόρυβο σε χώρες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το έτος 2023. Το αντίστοιχο ποσοστό

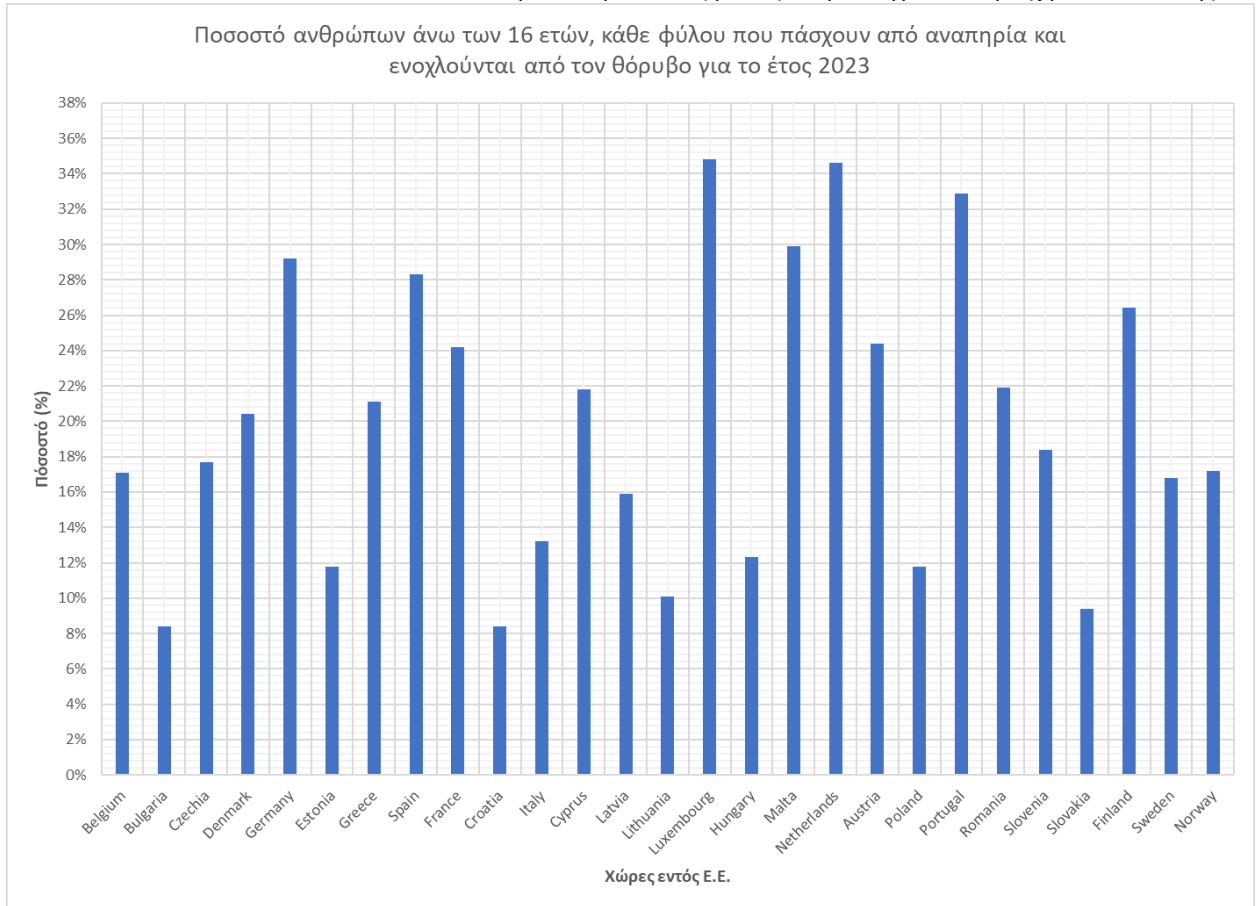
Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024 της Ελλάδας στην συγκεκριμένη έρευνα φτάνει το 22% ενώ την πρωτιά κατέχει η Μάλτα με ποσοστό της τάξεως του 31%.



Διάγραμμα 2.10 Ποσοστό νοικοκυριών που ζουν στο όριο της φτώχειας και ενοχλούνται από τον θόρυβο σε χώρες εντός Ε.Ε.

ΠΗΓΗ: [46]

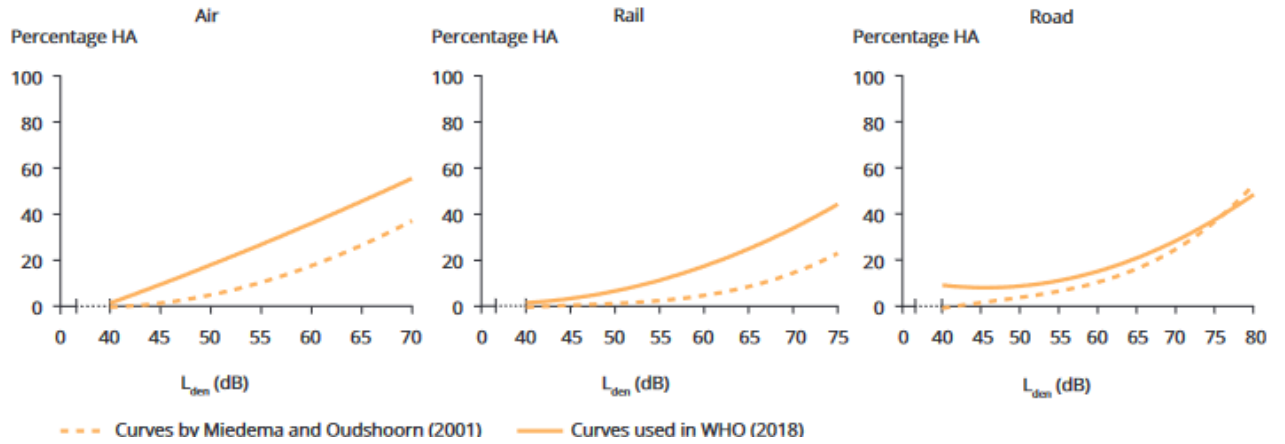
Αντίστοιχα στο επόμενο διαγράμμα (Διάγραμμα 2.11) φαίνεται το ποσοστό των ανθρώπων άνω των 16 ετών, κάθε φύλου, που πάσχουν από αναπηρία και ενοχλούνται από τον θόρυβο είτε από τους γείτονες είτε από τον δρόμο για τις ίδιες Ευρωπαϊκές χώρες το έτος 2023. Η Ελλάδα κατέχει το ίδιο ποσοστό με προηγούμενως, όμως το μεγαλύτερο ποσοστό εντοπίζεται στο Λουξεμβούργο και έπειτα στην Μάλτα.



Διάγραμμα 2.11 Ποσοστό ανθρώπων άνω των 16 ετών, κάθε φύλου που πάσχουν από αναπηρία και ενοχλούνται από τον θόρυβο για το έτος 2023

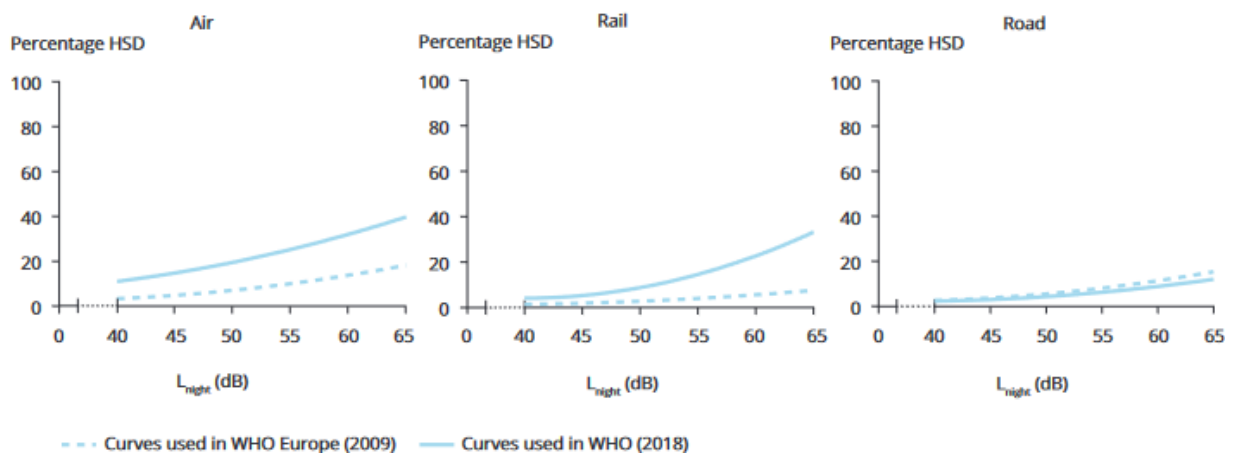
ΠΗΓΗ: [47]

Σύμφωνα με ευρήματα του Π.Ο.Υ., έχει αποδειχθεί πως η ενόχληση και η δυσκολία ύπνου εξαιτίας του θορύβου έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Τα παρακάτω διαγράμματα (Διάγραμμα 2.12 & Διάγραμμα 2.13) δείχνουν την αλλαγή στην ενόχληση και την δυσκολία ύπνου τα έτη 2001, 2009 και 2018. Πιθανότατα τα πράγματα να μην είναι καθόλου καλύτερα την σημερινή εποχή.



Διάγραμμα 2.12 Ποσοστό ατόμων στην κατηγορία “ιδιαίτερα ενοχλημένοι” από τον θόρυβο σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ.

ΠΗΓΗ: [32]

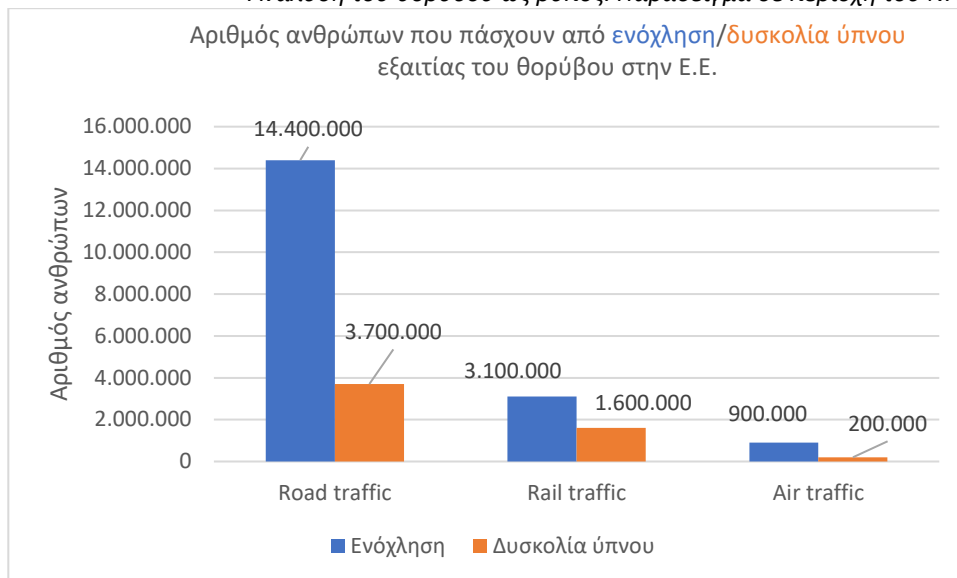


Διάγραμμα 2.13 Ποσοστό ανθρώπων που αντιμετωπίζουν δυσκολία ύπνου εξαιτίας του θορύβου σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ.

ΠΗΓΗ: [32]

Διάφορες μελέτες έχουν δείξει πως ο θόρυβος διακόπτει τον ύπνο, με αποτέλεσμα την συνολική μείωση των ωρών ύπνου κάθε βράδυ και κατά επέκταση την διαταραχή του ανθρώπινου οργανισμού. Τα προβλήματα που δημιουργούνται, μεταξύ άλλων, είναι αλλαγές στον μεταβολισμό, και στην ρύθμιση της όρεξης, αδύναμο ανοσολογικό σύστημα, μειωμένη μνήμη και δυσλειτουργίες στα αιμοφόρα αγγεία [48]. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2.14) συγκρίνεται ο αριθμός των ανθρώπων στην Ε.Ε. (σε εκατομμύρια) που θεωρούνται ως ιδιαίτερα ενοχλημένοι από τον θόρυβο για το 2017 με τον αριθμό ανθρώπων που αντιμετωπίζουν δυσκολία ύπνου.





Διάγραμμα 2.14 Εκατομμύρια άνθρωποι που πάσχουν από ενόχληση/δυσκολία ύπνου εξαιτίας του θορύβου στην Ε.Ε. για το 2017

ΠΗΓΗ: [20] (Ιδία επεξεργασία)

### 2.4.3 Επιπτώσεις στην ψυχική υγεία

Ένας στους τέσσερις ανθρώπους παγκοσμίως έχει υποστεί κάποια ψυχική διαταραχή κατά την διάρκεια της ζωής του έστω μία φορά. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας, ως ψυχική διαταραχή, ορίζεται ο κλονισμός της νόησης, της συμπεριφοράς καθώς και της ρύθμισης των συναισθημάτων [49]. Μελέτες έχουν δείξει πως η χρόνια έκθεση στον θόρυβο ενδέχεται να αυξήσει τα επίπεδα ορμονών του στρες με αποτέλεσμα το αυξημένο άγχος και σε μερικές περιπτώσεις και την κατάθλιψη [50]. Σύμφωνα με τους Clark et al, ο θόρυβος προκαλεί υπερκινητικότητα και διαταραχές συμπεριφοράς, ιδιαίτερα σε παιδιά, όμως ο τομέας αυτός χρειάζεται σίγουρα περαιτέρω ανάλυση, καθώς οι μελέτες πάνω στο θέμα είναι πολύ λίγες και ελλιπής [51]. Έχει αποδειχθεί πως η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου αύξησε κατά πολύ τις ορμόνες του στρες και κατά συνέπεια την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Με την σειρά της η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, συμβάλλει στην εμφάνιση συμπτωμάτων κατάθλιψης μέσα από διαταραχές που προκαλεί στις λειτουργίες αιμάτωσης του οργανισμού [50]. Παρακάτω (Εικόνα 2.4) φαίνεται η πυραμίδα των επιπτώσεων του θορύβου στον ανθρώπινο οργανισμό. Παρά το γεγονός πως το πιο συνηθισμένο πρόβλημα που παρατηρείται είναι το αίσθημα δυσφορίας, με την διαταραχή του ύπνου και την ενόχληση, γίνεται αντιληπτό πως σε ακραίες περιπτώσεις η έκθεση στον θόρυβο ενδέχεται να καταλήξει σε στρες, σε κινδύνους δυσλειτουργίας του οργανισμού (πίεση, χοληστερίνη), σε ασθένειες όπως τα διάφορα καρδιαγγειακά προβλήματα ή ακόμη και στον θάνατο.

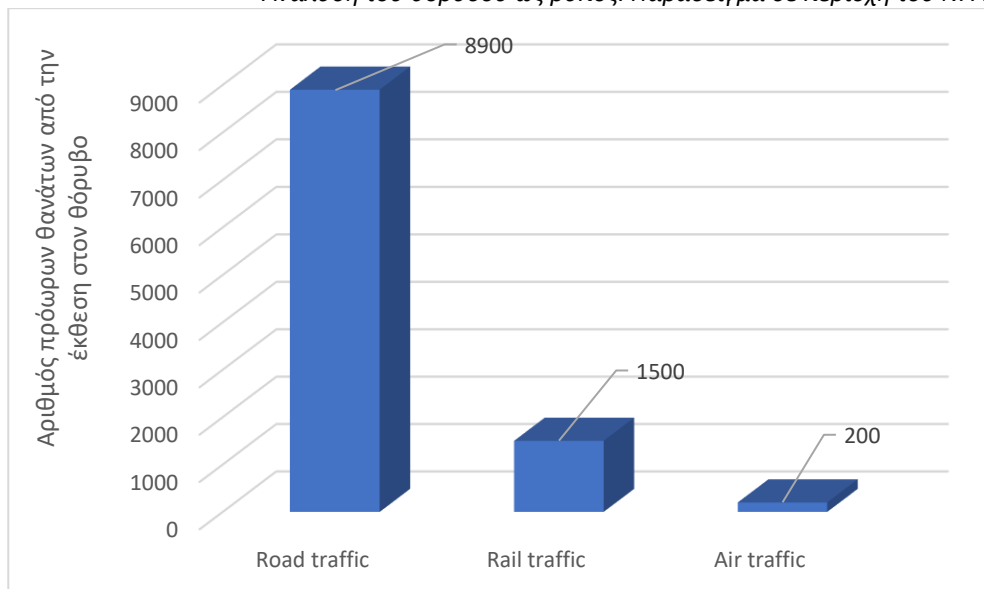


Εικόνα 2.4 Πυραμίδα επιπτώσεων θορύβου στον ανθρώπινο οργανισμό

ΠΗΓΗ: [10]

#### 2.4.4 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό

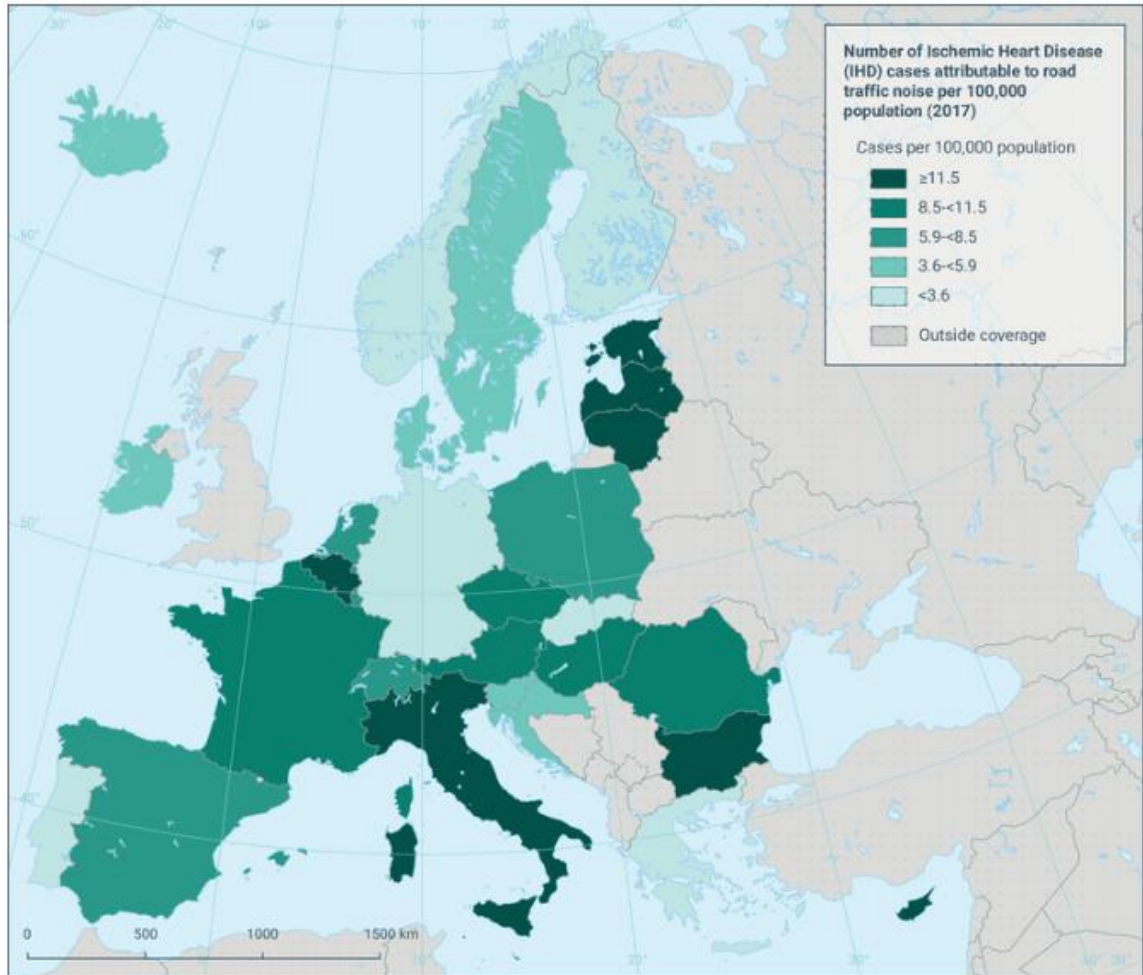
Πέρα από τις επιπτώσεις στην ακοή, την ψυχική υγεία και την ενόχληση, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πιο έντονες οι υποθέσεις για συσχέτιση της έκθεσης στον θόρυβο και σημαντικών προβλημάτων στον ανθρώπινο οργανισμό. Τέτοια προβλήματα είναι διάφορες καρδιαγγειακές ασθένειες όπως η υπέρταση, η ισχαιμική καρδιακή νόσος και σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και ο θάνατος [41]. Μόνο το 2017 καταγράφηκαν στην Ε.Ε. συνολικά 10.600 περιπτώσεις πρόωρων θανάτων που σχετίστηκαν με την έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου για κάθε μία από τις τρεις μεγαλύτερες πηγές [20]. Με τον όρο “πρόωρος θάνατος” ορίζεται ο θάνατος ο οποίος επέρχεται πριν από μία μέση ηλικία θανάτου ενός συγκεκριμένου πληθυσμού. Τα όρια ηλικίας όπου ένας θάνατος θεωρείται πρόωρος διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Παρόλα αυτά ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει ορίσει την μέγιστη ηλικία στα 70 έτη ζωής [52]. Παρακάτω (Διάγραμμα 2.15) φαίνεται ο αριθμός πρόωρων θανάτων στην Ε.Ε. για το έτος 2017 και για κάθε μία από τις πηγές θορύβου που επηρεάζουν τον περισσότερο πληθυσμό (κυκλοφοριακός, θόρυβος από σιδηρόδρομους, θόρυβος από αεροπλάνα).



Διάγραμμα 2.15 Αριθμός πρόωρων θανάτων εξαιτίας της έκθεσης στον θόρυβο στην Ε.Ε. για το 2017

**ΠΗΓΗ:** [20] (Ιδία επεξεργασία)

Γενικότερα η έκθεση σε βραχυπρόθεσμο θόρυβο είναι πιθανό να έχει προβλέψιμες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό όπως είναι η αύξηση του καρδιακού ρυθμού, η αρτηριακή πίεση και τέλος η αυξημένη περιφερειακή αγγειακή αντίσταση. Τα παραπάνω θέματα σε σύντομη έκθεση στον θόρυβο δεν αποδεικνύονται επιβλαβή για τον άνθρωπο, όμως, σε θορύβους μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας, πιθανόν να μην είναι και τόσο ευχάριστα καθώς η εξοικείωση του οργανισμού στα υψηλά dB δεν είναι σίγουρη. Τα καρδιαγγειακά προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω προκαλούνται με την έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου η οποία έχει ως αποτέλεσμα την έκκριση ορμονών που αυξάνουν την αίσθηση του στρες και προκαλούν αγγειοσύσπαση κάτι το οποίο συνεπάγεται την απότομη αύξηση της αρτηριακής πίεσης. Η πολύχρονη έκθεση στον περιβαλλοντικό θόρυβο εκτιμάται πως ευθύνεται για 12.000 θανάτους οι οποίοι θα μπορούσαν να είχαν προληφθεί και ακόμα για 48.000 νέα περιστατικά καρδιοπάθειας κάθε χρόνο στην Ε.Ε. [53], ενώ οι συνολικοί πρόωροι θάνατοι για το έτος 2021 στην Ευρώπη ανέρχονταν στους 253.305 (ποσοστό της τάξεως του 4%) [54]. Ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 2.5) δείχνει τον αριθμό υποθέσεων Ισχαιμικής Καρδιοπάθειας που συνδέονται με τον κυκλοφοριακό θόρυβο για το έτος 2017 στην Ε.Ε.



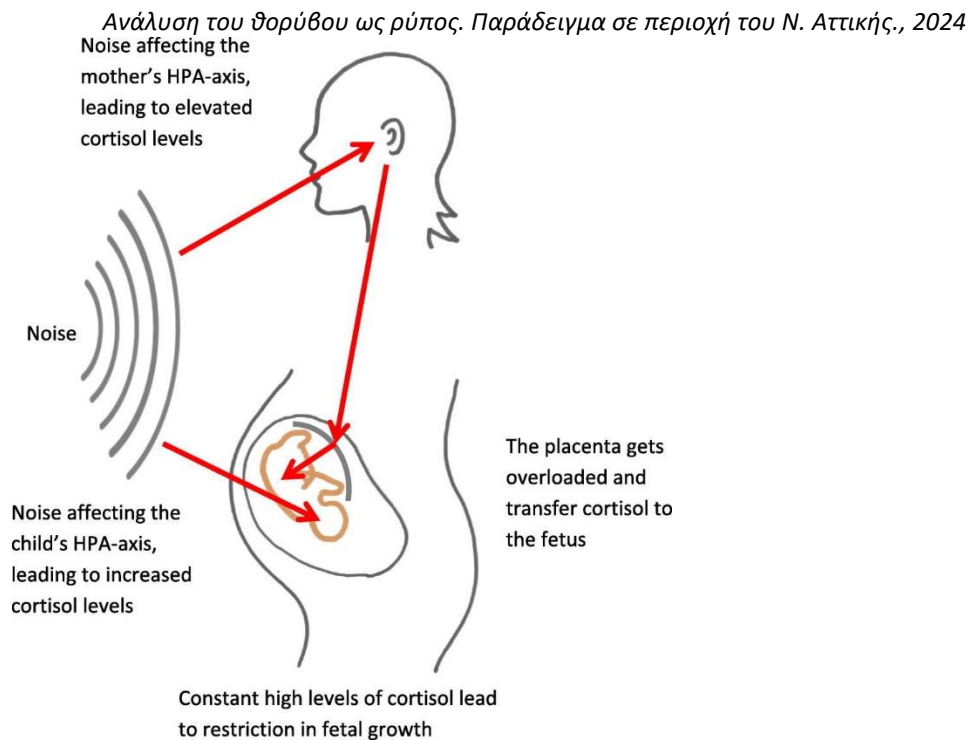
Εικόνα 2.5 Αριθμός υποθέσεων Ισχαιμικής Καρδιοπάθειας εξαιτίας του κυκλοφοριακού θορύβου στην Ε.Ε.

**ΠΗΓΗ:** [53]

Οι van Kempen et al εξέτασαν αρκετές μελέτες που έγιναν με σκοπό την σύνδεση της έκθεσης στον θόρυβο και των καρδιαγγειακών επιπτώσεων, όμως η ποιότητα των δεδομένων κρίνεται τις περισσότερες φορές ως χαμηλή. Βέβαια κάτι τέτοιο δεν σημαίνει πως η παραπάνω υπόθεση είναι αβάσιμη, καθώς, αρκετές είναι οι ανασκοπήσεις που συνδέουν τον θόρυβο με την ισχαιμική καρδιοπάθεια. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω εξέταση του θέματος τα επόμενα χρόνια [55]. Σύμφωνα με μία μελέτη που έγινε κοντά στο αεροδρόμιο του Heathrow, περίπου 3,6 εκατομμύρια άνθρωποι έδειξαν μεγάλο ρίσκο για νοσηλεία σε νοσοκομείο εξαιτίας εμφράγματος. Αντίστοιχα στο Λονδίνο (9.748.000 κάτοικοι) το ίδιο φαινόμενο εμφανίστηκε σε 8,6 εκατομμύρια ανθρώπους, με τα επίπεδα του θορύβου να είναι από 55 έως 60dB [50]. Το 2017, διεξήχθη μια μελέτη κατά την οποία εξετάστηκε η σχέση της ενόχλησης από τον θόρυβο και της υψηλής αρτηριακής πίεσης μεταξύ δύο ομάδων εργαζομένων. Η πρώτη ομάδα εργαζομένων είχαν εκτεθεί για αρκετό καιρό σε υψηλά επίπεδα θορύβου και η δεύτερη ομάδα αποτελούνταν από εργατές σε μία αυτοκινητοβιομηχανία. Ο τελικός αριθμός των ανθρώπων που έλαβαν μέρος στο πείραμα έφτασε τους 250 και η έκθεση στον θόρυβο λάμβανε χώρα για 8 ώρες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας αποδείχθηκε μία σημαντική σχέση ανάμεσα στην ενόχληση των εργατών από τα υψηλά

*Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024*  
επίπεδα θορύβου και την αύξηση της αρτηριακής τους πίεσης [56]. Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται πως ο θόρυβος συνδέεται με έντονα καρδιαγγειακά προβλήματα αφού διαταράσσει τις καθημερινές δραστηριότητες και επηρεάζει τον ύπνο, με αποτέλεσμα το ψυχικό στρες.

Οι κίνδυνοι που διατρέχει μία γυναίκα κατά την περίοδο της εγκυμοσύνης είναι πάρα πολλοί. Παγκοσμίως, το 15% των κυήσεων επηρεάζεται είτε από υπερτασικές διαταραχές είτε από σακχαρώδη διαβήτη, ενώ η προεκλαμψία και η εκλαμψία αποτελούν κύρια αίτια μητρικής θνησιμότητας [57]. Διάφορες μελέτες έχουν εντοπίσει αρκετούς παράγοντες που επηρεάζουν την έκβαση του τοκετού και της γέννας στις γυναίκες. Τέτοιοι παράγοντες είναι η έκθεση σε χημικές ουσίες, η υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, όμως ο πιο συνηθισμένος παράγοντας είναι ο θόρυβος [58]. Οι Zihao Wang et al. εξέτασαν, μέσα από μια πληθώρα ερευνών που συλλέξαν, πιθανή σχέση της έκθεσης στον θόρυβο και διάφορων επιπλοκών κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης. Οι έρευνες αυτές κάλυπταν περιοχές σε όλο τον κόσμο και με μεγάλο πλήθος εθελοντών. Τελικά, μετά από την δική τους ανάλυση κατέληξαν στο συμπέρασμα πως ο θόρυβος σχετίζεται έντονα με προεκλαμψία, όμως δεν βρέθηκαν περαιτέρω στοιχεία όσον αφορά υπερτασικές διαταραχές ή σακχαρώδη διαβήτη [57]. Επιπλέον έρευνες έδειξαν πως υπάρχει σημαντικό ρίσκο για την γέννηση παιδιών με χαμηλό σωματικό βάρος κατά την έκθεση των μητέρων σε θόρυβο πάνω από τα 85dB [58]. Οι Selander et al προκειμένου να εντοπίσουν την πιθανή συσχέτιση ανάμεσα στην έκθεση του θορύβου και στην μειωμένη ανάπτυξη του εμβρύου ή ακόμα και τον πρόωρο τοκετό, διεξήγαγαν μία μελέτη με συνολικά 857.010 γεννήσεις. Προτιμήθηκαν γυναίκες που εργάζονταν σαν πλήρη απασχόληση μέχρι και την 10<sup>η</sup> εβδομάδα κύησης, όπου και συνήθως γίνεται η καταγραφή στις μονάδες προγεννητικής θεραπείας. Όλα τα δεδομένα που χρειάστηκαν συλλέχθηκαν από τους αντίστοιχους φορείς. Από τον συνολικό αριθμό γεννήσεων, το 82% των μητέρων είχαν εκτεθεί σε θόρυβο κλίμακας μικρότερης των 75dB, το 17% σε επίπεδα 75-84dB και μόνο το 1% εκτέθηκαν σε θόρυβο πάνω από τα 85dB. Τελικώς, το συμπέρασμα στο οποίο και κατέληξαν οι ερευνητές ήταν πως όσο μεγαλύτερα ήταν τα επίπεδα του θορύβου τόσο μεγαλύτερο ήταν το ρίσκο για χαμηλό βάρος γέννησης [59]. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 2.6) φαίνεται πώς ακριβώς επηρεάζει ο θόρυβος το βάρος κύησης του εμβρύου. Τα υψηλά επίπεδα θορύβου έχουν ως αποτέλεσμα την έκκριση μεγάλων επιπέδων κορτιζόλης τόσο από την μητέρα όσο και από το έμβρυο, κάτι που επηρεάζει άμεσα την υγιή ανάπτυξη του εμβρύου.

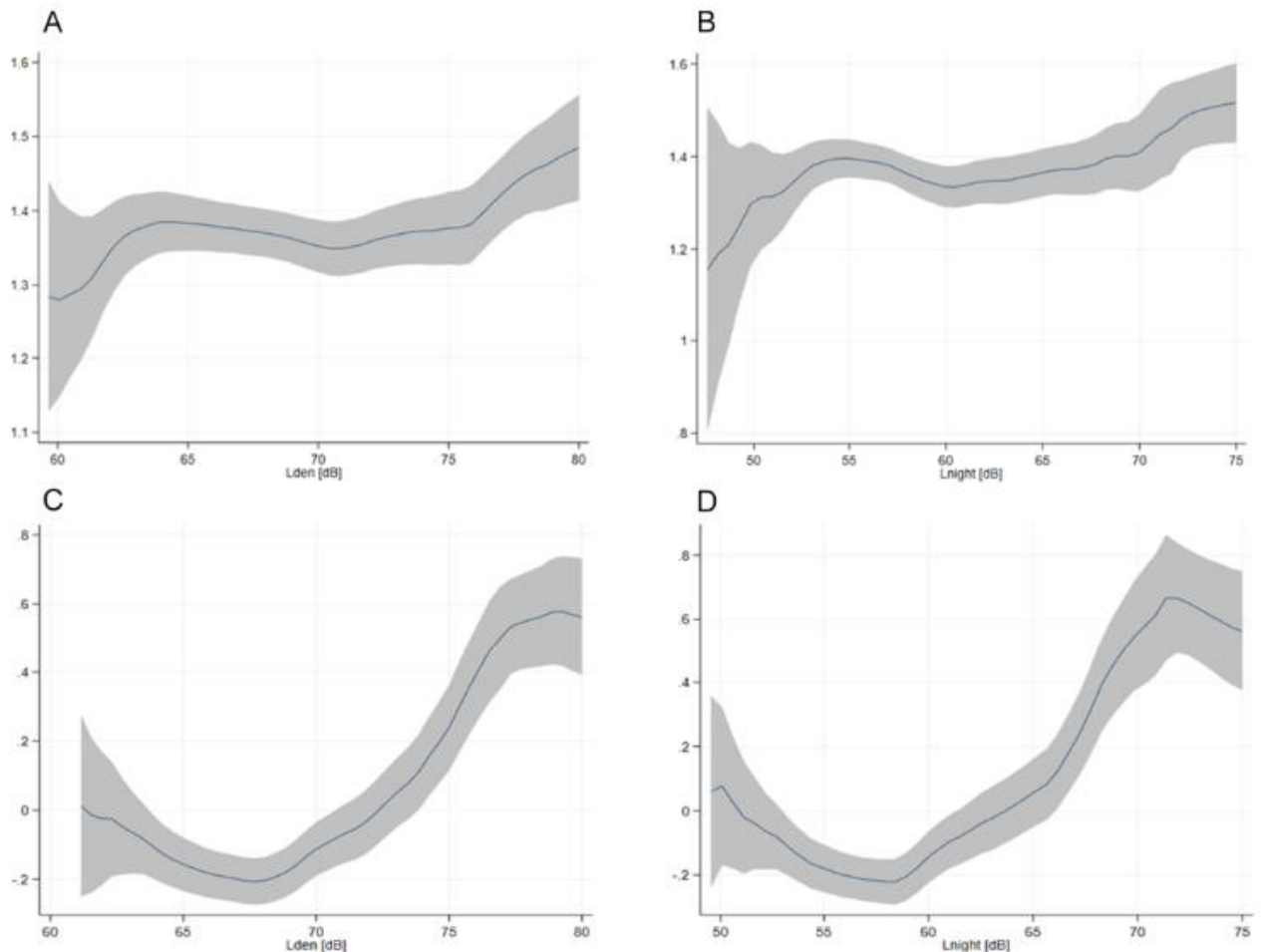


Εικόνα 2.6 Θόρυβος και βάρος εμβρύου

ΠΗΓΗ: [59]

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. κάθε χρόνο στην Ευρώπη χάνονται περίπου 45.000 χρόνια ζωής σε παιδιά ηλικιών μεταξύ 7 και 19 χρονών, εξαιτίας της έκθεσής τους στον θόρυβο [60]. Εκτός από τις παραπάνω επιπτώσεις που επιφέρει στην ανθρώπινη υγεία και ευεξία, ο θόρυβος, αποτελεί και σημαντικό παράγοντα όσον αφορά την γνωστική εργασία και το κίνητρο που διέπει τους ανθρώπους για την ολοκλήρωση κάποιας δραστηριότητας. Σε αυτές τις αρνητικές επιδράσεις, πιο ευάλωτα μπορεί να θεωρηθούν τα παιδιά, σε σύγκριση με τους ανθρώπους μεγαλύτερης ηλικίας, εξαιτίας της ακόμα αναπτυσσόμενης γνώσης που έχουν, της μειωμένης ικανότητας πρόβλεψης αποτυχιών καθώς και των λιγοστών, λόγω ηλικίας, τρόπων αντιμετώπισης προβλημάτων [61]. Έρευνες έχουν συσχετίσει τον θόρυβο και με την καθυστερημένη εκμάθηση της ανάγνωσης από τα παιδιά. Το πρόγραμμα RANCH (Road Traffic Noise and Aircraft Noise Exposure and Children's Cognition and Health) αποτελεί την μεγαλύτερη μελέτη που διεξήχθη ποτέ με σκοπό την συσχέτιση του θορύβου με την γνώση των παιδιών. Συνολικά έλαβαν μέρος 2.844 μαθητές δημοτικού σχολείου, ηλικίας 9 έως 10 ετών, που ζούσαν κοντά σε αεροδρόμιο. Με αυτό το πρόγραμμα αποδείχθηκε η δυνατή συσχέτιση ανάμεσα στον θόρυβο και στις επιπτώσεις που προκαλεί στην γνώση των παιδιών [60]. Σε μία μελέτη που έλαβε χώρα στο Σάο Πάολο της Βραζιλίας, πάρθηκαν μετρήσεις σε δύο χρονικά διαστήματα του έτους, μία εβδομάδα τον Φεβρουάριο και μία εβδομάδα τον Αύγουστο, με σκοπό την μελέτη της σχέσης ανάμεσα στην έκθεση στον θόρυβο και στην ανάπτυξη των παιδιών τόσο σε γνωστικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο συμπεριφοράς. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, ο θόρυβος δεν επηρεάζει μόνο την συμπεριφορά των παιδιών περιστασιακά, αλλά ενδεχομένως να προκαλέσει και διαχρονικό πρόβλημα δυσκολίας στην συμπεριφορά και επίσης και

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
μειωμένη γνωστική λειτουργία [62]. Παρακάτω (Διάγραμμα 2.16) φαίνεται η σχέση ανάμεσα στα επίπεδα του θορύβου ( $L_{den}$  και  $L_{night}$ ) και στην συμπεριφορά αλλά και τα γνωστικά επίπεδα των παιδιών. Η εξακρίβωση των δύο παραπάνω χαρακτηριστικών έγινε με κατάλογο ελέγχου συμπεριφοράς (Child Behavior Checklist (A & B)) καθώς και με ένα ερωτηματολόγιο δυσκολιών και δυνατοτήτων (Strengths and Difficulties Questionnaire (C & D)) που συμπληρώθηκε.



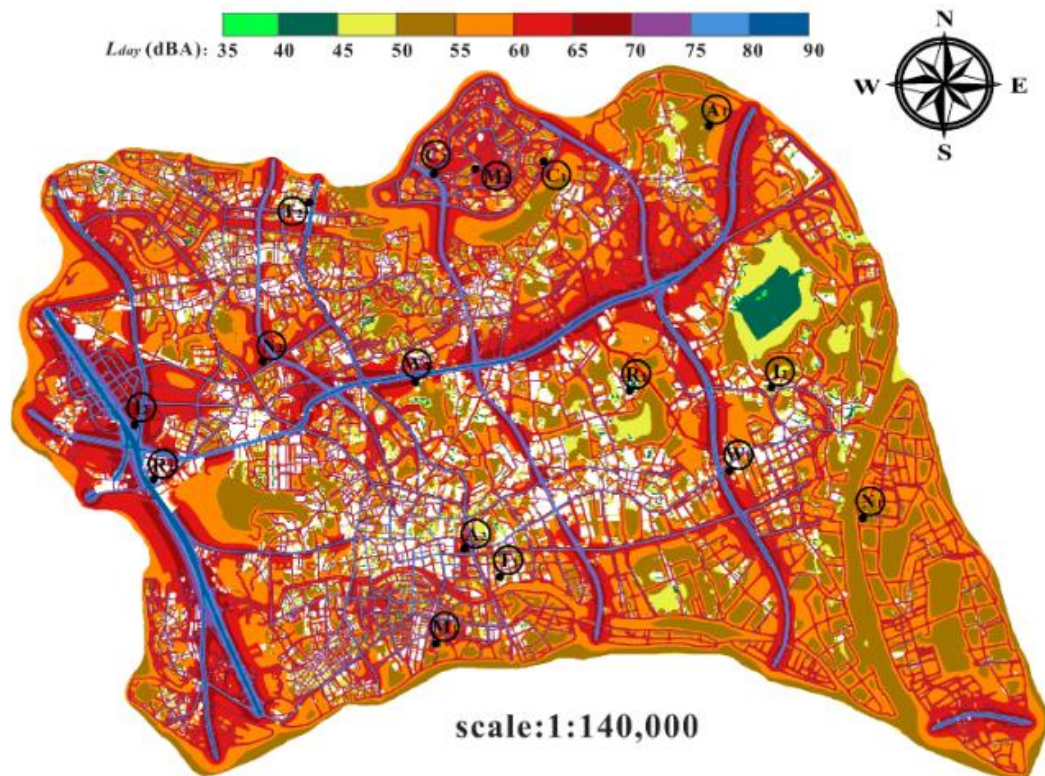
Διάγραμμα 2.16 Διάγραμμα ανάλυσης γραμμικότητας της σχέσης ανάμεσα στην έκθεση σε θόρυβο και στην ανάπτυξη συμπεριφοράς και γνωστικής ικανότητας των παιδιών

ΠΗΓΗ: [62]

### 3 Μέτρηση και αξιολόγηση θορύβου

#### 3.1 Διαδικασίες μετρήσεων θορύβου

Μία σημαντική διαδικασία που σκοπό έχει την καλύτερη κατανόηση του θορύβου, και κατά συνέπεια την σωστή αντιμετώπισή του, είναι η μέτρηση των επιπέδων του. Ο θόρυβος, μπορεί να προέρχεται από μία ή και παραπάνω πηγές, ακίνητες ή κινούμενες. Σε μία σταθερή πηγή, η μέτρηση του θορύβου γίνεται κοντά στην πηγή όπου και η πίεση του ήχου είναι πιο υψηλή σε σύγκριση με άλλες περιοχές. Στην περίπτωση όπου η στάθμη του θορύβου, από την πηγή, ποικίλλει χρησιμοποιείται ο τύπος του δείκτη  $L_{day}$  που φαίνεται παρακάτω, με σκοπό να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα στους πιο δυνατούς θορύβους [63]. Μία σημαντική διαδικασία για την καλύτερη κατανόηση του θορύβου σε μία περιοχή είναι η χαρτογράφησης της. Η στρατηγική χαρτογράφηση θορύβου απαιτεί τον υπολογισμό των επιπέδων καθώς και της κατανομής των ατόμων ή κατοικιών που εκτίθενται στον θόρυβο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή χαρτογραφικών χαρτών και πινάκων [64]. Παρακάτω (Εικόνα 3.1) φαίνεται ένα παράδειγμα χαρτογράφησης θορύβου σε μία πόλη της Κίνας.



Εικόνα 3.1 Παράδειγμα χαρτογράφησης θορύβου στην πόλη Guangzhou της Κίνας

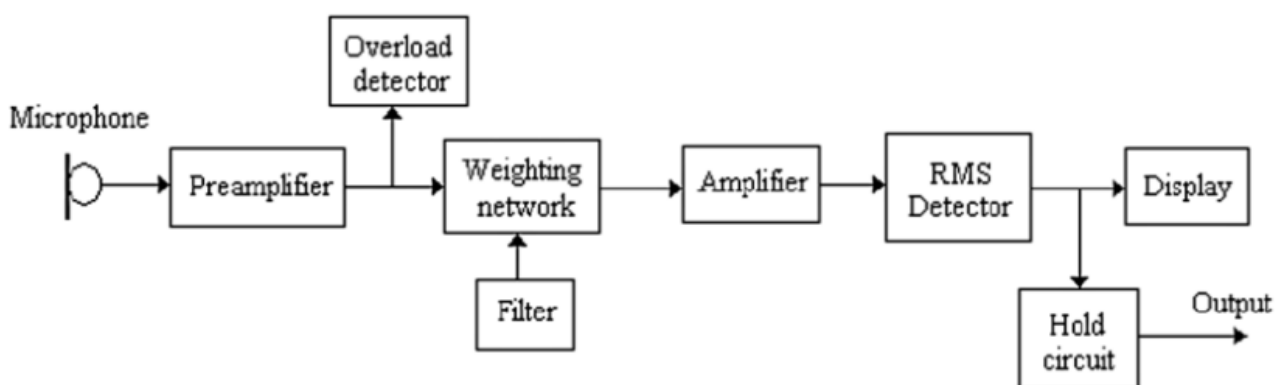
ΠΗΓΗ: [65]

##### 3.1.1 Εργαλεία μέτρησης

Τα εργαλεία με τα οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις του θορύβου μπορεί να είναι ηχόμετρα, καθώς και διάφορες εφαρμογές σε κινητά τηλέφωνα. Ξεκινώντας με τα ηχόμετρα, ή αλλιώς μετρητές



θορύβου (Sound Level Meters), τα συγκεκριμένα εργαλεία μπορούν να μετρήσουν επίπεδα πίεσης του ήχου σε διάφορα περιβάλλοντα και από διαφορετικές πηγές. Έχουν κομβικό ρόλο στην παρακολούθηση του ήχου, εξαιτίας της ικανότητάς τους να συλλέγουν δεδομένα από πολλές πηγές την ίδια χρονική στιγμή, βοηθώντας να σχηματιστεί μια πιο σαφής εικόνα των επιπέδων του θορύβου σε μία περιοχή. Επιπλέον, καθιστούν ευκολότερο τον εντοπισμό της κύριας πηγής θορύβου, με αποτέλεσμα την ανάδειξη των δραστηριοτήτων που συμβάλλουν στο πρόβλημα [66]. Για να ληφθούν οι μετρήσεις από ένα ηχομέτρο το πρώτο βήμα είναι η είσοδος των δεδομένων, στην προκειμένη περίπτωση του ήχου. Αυτό επιτυγχάνεται με το μικρόφωνο το οποίο μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε ηλεκτρικό. Η επεξεργασία του ηχητικού σήματος ξεκινάει από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο μεταβάλλει την ευαισθησία σύμφωνα με την συχνότητα. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως σύστημα στάθμισης και αποτελείται από τρεις τύπους στάθμισης τον "A", τον "B" και τον "C". Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι η A στάθμιση. Επόμενο βήμα είναι η ανάλυση συχνότητας, όπου εδώ χρησιμοποιείται η ανάλυση σε οκταβικές ζώνες, μία οκτάβα είναι η ζώνη συχνοτήτων στην οποία η υψηλότερη συχνότητα είναι διπλάσια από την χαμηλότερη, με σκοπό την εξαγωγή λεπτομερέστερων πληροφοριών για τον ήχο. Οι συχνότητες που μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί (20Hz-20kHz) διαιρούνται σε ζώνες με την βοήθεια ειδικών φίλτρων. Τα φίλτρα αυτά λέγονται ζωνοπερατά και με την χρήση τους ο ήχος δεν αλλάζει πλάτος και συχνότητα κατά την διάρκεια της ανάλυσης. Το αποτέλεσμα βγαίνει σε dB, αφού η μεταβολή της πίεσης στον χρόνο μέσα από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε φασματογράφημα μετατρέπεται σε μεταβολή dB ανά συχνότητα, όμως είναι πιθανή και η λήψη του σε σήμα AC ή DC [67]. Παρακάτω (Διάγραμμα 3.1) φαίνεται ένα διάγραμμα λειτουργίας ενός ηχομέτρου.



Διάγραμμα 3.1 Λειτουργία ενός ηχομέτρου

ΠΗΓΗ: [67]

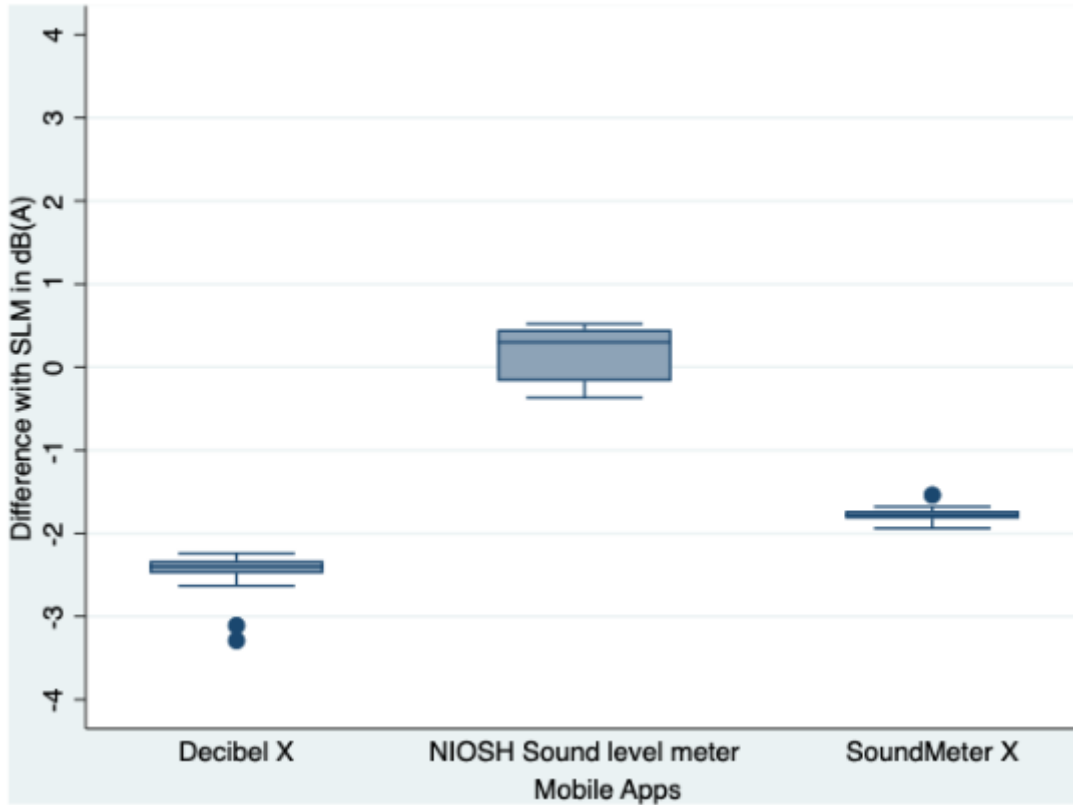
Σύμφωνα με διεθνή πρότυπα, τα ηχομέτρα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την ακρίβεια που έχουν. Οι κατηγορίες αυτές είναι η Κλάση 1, ιδανική για βιομηχανική και εργοστασιακή χρήση με ανοχή  $\pm 0,5\text{dB}$ , και η Κλάση 2, η οποία είναι κατάλληλη για μετρήσεις περιβαλλοντικού θορύβου και έχει ανοχή  $\pm 1\text{dB}$  [68]. Παρακάτω (Εικόνα 3.2) φαίνεται το ηχομέτρο

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
Κλάσης 2, που θα χρησιμοποιηθεί αργότερα στο πειραματικό μέρος της διπλωματικής για την καταμέτρηση του θορύβου. Λεπτομερής επεξήγηση του οργάνου θα γίνει σε επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 3.2 Ηχόμετρο εργαστηρίου ΗΜΕ & ΠροΠε

Μία ακόμα συσκευή που μπορεί να βοηθήσει στην μέτρηση των επιπέδων του θορύβου είναι τα κινητά τηλέφωνα (smartphones). Εξαιτίας του ενσωματωμένου μικροφώνου που διαθέτουν και των πληθώραν εφαρμογών μέτρησης ήχου που κυκλοφορούν, η λήψη μετρήσεων καθίσταται κάτι απλό και προσβάσιμο από όλους. Πλέον, τα κινητά τηλέφωνα έχουν εξελιχθεί σε πανίσχυρες συσκευές ικανές να συναγωνιστούν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές στο κομμάτι της καταγραφής και ανάλυσης σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Αρκετές μελέτες τα τελευταία χρόνια έχουν αποδείξει την ικανότητα των κινητών τηλεφώνων να λαμβάνουν μετρήσεις του ήχου με ακρίβεια που μπορεί να συγκριθεί με οποιοδήποτε ηχόμετρο [69]. Οι Huyan et al εξέτασαν την ακρίβεια και την εργονομία εφαρμογών μέτρησης θορύβου για κινητά τηλέφωνα. Παρακάτω (Διάγραμμα 3.2) φαίνονται οι διαφορές των μετρούμενων τιμών από τρεις εφαρμογές που εξετάστηκαν, σε σχέση με τις τιμές του συμβατικού ηχομέτρου σε συνθήκες προσομοίωσης εντός του εργαστηρίου.



Διάγραμμα 3.2 Απόκλιση μετρούμενων τιμών ανάμεσα στις τρεις διαφορετικές εφαρμογές και στο συμβατικό ηχόμετρο σε συνθήκες προσομοίωσης εντός εργαστηρίου

ΠΗΓΗ: [70]

Μετά την σύγκριση που έκαναν ανάμεσα σε εφαρμογή για κινητό τηλέφωνο και σε ένα ηχόμετρο κατέληξαν στο συμπέρασμα πως μία καλά δομημένη εφαρμογή τέτοιου τύπου μπορεί να αποτελέσει την πλέον καταλληλότερη επιλογή για την παρακολούθηση των επιπέδων του θορύβου με το χαμηλότερο δυνατό κόστος [70]. Βέβαια, για αξιολόγηση κινδύνου από τον θόρυβο, η εφαρμογές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα ηχόμετρα για να αποφευχθεί το οποιοδήποτε πιθανό λάθος. Παρακάτω (Εικόνα 3.3) φαίνεται ένα παράδειγμα μιας εφαρμογής μέτρησης θορύβου σε android smartphone.



Εικόνα 3.3 Μετρητής θορύβου σε smartphone

### 3.1.2 Συνθήκες μέτρησης

Το πρώτο βήμα για την λήψη μετρήσεων θορύβου είναι ο προσδιορισμός του χώρου. Η προς μελέτη περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως εμπορική, βιομηχανική, οικιστική, ήσυχη ή μικτή ανάλογα με τις υπηρεσίες που εξυπηρετεί. Μετά τον προσδιορισμό της περιοχής επιλέγεται η θέση όπου θα στηθεί η συσκευή. Η συσκευή μέτρησης τοποθετείται μακριά από άμεσες πηγές θορύβου, δονήσεων ή εμποδίων για να είναι εφικτή η μελέτη του περιβαλλοντικού θορύβου και όχι του θορύβου από μία πηγή [63]. Σημαντική προϋπόθεση για την ουσιαστική λήψη μετρήσεων του θορύβου είναι ο προσδιορισμός των κατάλληλων ημερών και ωρών για την διεξαγωγή των μετρήσεων. Είναι σημαντική η ποικιλία που εμφανίζεται όσον αφορά τον θόρυβο από ημέρα σε ημέρα αλλά και από ώρα σε ώρα μέσα στην ίδια ημέρα. Συμπερασματικά, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται μετρήσεις σε διαφορετικές ώρες και ημέρες έτσι ώστε να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το χρονικό διάστημα στο οποίο εμφανίζεται καλύτερα ο θόρυβος. Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση των ηχόμετρων όπως ορίζεται από την Υπουργική Απόφαση 211773 [71]. Σύμφωνα με την παραπάνω απόφαση, οι θέσεις στις οποίες θα τοποθετηθούν τα ηχόμετρα πρέπει να είναι επαρκείς ώστε να αποτυπώνουν τον ηχητικό χαρακτήρα της περιοχής και να απλώνονται σε όλο το πεδίο επίδρασης της πηγής του θορύβου. Το ύψος στο οποίο τοποθετούνται τα ηχόμετρα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 1,5 μέτρο από το έδαφος και ανάλογα τον σκοπό της μέτρησης εκτείνεται έως τα  $4 \pm 0,2$  μέτρα και σε απόσταση μεγαλύτερη των 2 μέτρων από ηχο-ανακλαστικές επιφάνειες, με σκοπό την αποφυγή ανακλάσεων οι οποίες θα επιβαρύνουν την στάθμη του θορύβου. Είναι απαραίτητο οι μετρήσεις να λαμβάνονται υπό ευνοϊκές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Με τον όρο ευνοϊκές νοείται να μην υπάρχει βροχή, χιόνι ομίχλη και άνεμοι πάνω από 3m/s. Επιπλέον, θα πρέπει να μην παρατηρείται υπερβολική κίνηση στην περιοχή μέτρησης καθώς τα αποτελέσματα που θα βγουν δεν θα είναι αντιπροσωπευτικά. Αιτίες που ενδέχεται να προκαλέσουν τα παραπάνω είναι κάποιο ατύχημα ή ακόμα και η αυξημένη κίνηση τις Κυριακές και τις αργίες [72]. Η αλλοίωση των

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
 μετρήσεων ενδέχεται να εξαρτάται και από άλλες πηγές θορύβου όπως είναι ο θόρυβος βάθους  
 (background noise). Εφόσον η διαφορά ανάμεσα στον συγκοινωνιακό θόρυβο και τον θόρυβο βάθους  
 είναι μεγαλύτερη των 10dB(A) δεν είναι αναγκαίος ο περαιτέρω έλεγχος [71].

### 3.2 Δείκτες θορύβου

Οι δείκτες θορύβου βοηθάνε στην περιγραφή του καθώς και στην ερμηνεία της βλαβερότητάς  
 του. Αποτελούν βασικό κομμάτι στην διαδικασία της στρατηγικής χαρτογράφησης του θορύβου και  
 δύο από τους βασικότερους εξ αυτών είναι οι δείκτες  $L_{den}$  και  $L_{night}$ . Από αυτούς τους δύο, ο δείκτης  
 με τον οποίο διεξάγονται τα τελικά συμπεράσματα είναι ο  $L_{den}$  (επίπεδο ημέρας-βραδιού-νύχτας) ο  
 οποίος υπολογίζεται σε dB όπως φαίνεται από τον παρακάτω γενικό τύπο.

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

Όπου:

- $L_{day}$  θεωρείται η μέση Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη στάθμη του ήχου κατά την περίοδο της ημέρας (07.00-19.00).
- $L_{evening}$  θεωρείται η μέση Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη στάθμη του ήχου κατά την βραδινή περίοδο (19.00-23.00).
- $L_{night}$  θεωρείται η μέση Α-σταθμισμένη μακροπρόθεσμη στάθμη του ήχου κατά την περίοδο της νύχτας (23.00-07.00).

Βεβαίως, οι παραπάνω περίοδοι ενδέχεται να αλλάζουν από χώρα σε χώρα ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, όμως τυχόν αλλαγές πρέπει να αναφέρονται υποχρεωτικά στην Επιτροπή. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη μόνο ο προσπίπτων ήχος, δηλαδή, όχι ο ήχος που ανακλάται στην πρόσοψη του κτιρίου [19]. Όσον αφορά τον ισοδύναμο συνεχή ήχο, ο δείκτης που χρησιμοποιείται είναι ο  $L_{eq}$  και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

Όπου:

- T: Η χρονική περίοδος μέτρησης
- p(t): Η ηχητική πίεση
- $p_0$ : Η ηχητική πίεση αναφοράς στα 20μPa [73].

Μερικές φορές είναι πιο αποτελεσματική στην σωστή λήψη μετρήσεων και η χρήση κάποιων άλλων δεικτών θορύβου, με βασική όμως προϋπόθεση η χρήση των δεικτών αυτών να γίνεται γνωστή στην επιτροπή από το αντίστοιχο Ευρωπαϊκό κράτος. Για παράδειγμα, αν η εξεταζόμενη πηγή λειτουργεί σποραδικά, δεν είναι εφικτή η χρήση του παραπάνω τύπου. Επομένως, για τον λόγο αυτό υπολογίζονται επιπλέον παράμετροι όπως είναι οι  $L_{10}$  (το επίπεδο του θορύβου που ξεπερνιέται για ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
το 10% του συνολικού χρόνου μέτρησης),  $L_{50}$  (το επίπεδο του θορύβου που ξεπερνιέται για το 50% του συνολικού χρόνου μέτρησης),  $L_{90}$  (το επίπεδο του θορύβου που ξεπερνιέται για το 90% του συνολικού χρόνου μέτρησης), TNI (Δείκτης κυκλοφοριακού θορύβου), NPL (Επίπεδο ηχορύπανσης), με σκοπό την ποσοτικοποίηση του τυχαίου και σποραδικού θορύβου. Κάποιοι άλλοι παράμετροι για την μέτρηση του ήχου είναι η πίεση του θορύβου που υπολογίζεται από τους παρακάτω δύο τύπους:

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P^2}{P_{ref}^2} \right) dB$$

Όπου:

$$P_{ref}: 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Η ένταση του ήχου συμβολίζεται με  $L_I$  ή SIL και υποδηλώνει το πηλίκο της ισχύς που μεταφέρουν τα ακουστικά κύματα ως προς την επιφάνεια:

$$SIL = L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) dB$$

Όπου:

$$I_{ref}: 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Τέλος, η στάθμη ισχύος του θορύβου συμβολίζεται με  $L_W$  ή SWL και υποδηλώνει την ένταση του ήχου ανά τετραγωνικό μέτρο:

$$SWL = L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right) dB$$

Όπου:

$$W_{ref} = I_{ref} * S_{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2 * 1 \text{ m}^2 = 10^{-12} \text{ W}$$

Το επίπεδο ηχορύπανσης (Noise Pollution Level) υπολογίζεται:

$$NPL = L_{50} + L_{10} - L_{90} + \left[ \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{60} \right] dB$$

Τέλος, ο δείκτης κυκλοφοριακού θορύβου (Traffic Noise Index) υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$TNI = 4 * (L_{10} - L_{90}) + [L_{90} - 30] dB [74]$$

### 3.3 Όρια θορύβου

Για την προστασία του ανθρώπινου οργανισμού από τους κινδύνους που ελλοχεύει η έκθεση στον θόρυβο, κρίθηκε αναγκαία η θέσπιση κάποιων επιτρεπτών ορίων, με σκοπό την μείωση των εκπομπών ιδιαίτερα στο εσωτερικό των οικισμών. Πολλά όρια ορίζονται σε όρους  $L_{eq}$ , όπως συνιστάται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ενώ άλλα όρια ακολουθούν πιο στατιστικούς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
 όρους όπως είναι οι δείκτες  $L_{10}$ ,  $L_{90}$ . Σημαντικός παράγοντας για την θέσπιση των ορίων αυτών είναι και η αντίστοιχη χρήση γης στην εκάστοτε περιοχή, για παράδειγμα διαφορετικά όρια θα έχουμε μπροστά από ένα σχολείο και μπροστά από ένα νοσοκομείο. Παρακάτω (Πίνακας 3.1) φαίνονται τα αντίστοιχα όρια σε dB με βάση τις συστάσεις του Π.Ο.Υ και της Ομοσπονδιακής Διοίκησης Αυτοκινητοδρόμων (Federal Highway Administration).

Sr. no.	WHO		FHWA	
	Land use	Prescribed $L_{eq}$ dB(A)	Description	Prescribed $L_{eq}$ dB(A)
1	Outdoor residential areas	55 (16-h time)	Quiet and serene areas	57
2	Schools, classrooms	55	Residential areas	67
3	Playgrounds	55 (during play)	Hotels, motels, and other developed lands	72
4	Industrial, commercial, shopping, and traffic areas	70 (24-h time)	Sports facility, amphitheatres, hospitals, libraries, medical facilities, parks, places of worship, playgrounds, public meeting rooms, recreation areas, and schools (www.healthimpactproject.org; Federal Register, 2010)	67
5	Hospital, wards	30–35 (indoor 8- to 16-h time)	—	—

Πίνακας 3.1 Όρια θορύβου από τον Π.Ο.Υ και από την FHWA

ΠΗΓΗ:[75]

Τα παραπάνω όρια διαφέρουν από χώρα σε χώρα, τόσο εντός συνόρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και έξω από αυτά. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει εξαιτίας των διαφορετικών αναγκών που έχει η κάθε χώρα όσον αφορά τον θόρυβο. Παρακάτω (Πίνακας 3.2) φαίνονται τα αντίστοιχα όρια ημέρας και νύχτας σε διάφορες χώρες του κόσμου εκτός Ε.Ε.

Country	Industrial area		Commercial area		Residential area		Silence zone	
	Day	Night	Day	Night	Day	Night	Day	Night
India	75	70	65	55	55	45	50	40
Australia	65	55	55	45	45	35	45	35
Canada	65	60	60	55	55	45	—	—
Israel	70		55		50		45	
Japan	60	50	60	50	50	40	45	35
USA	60–80	55–75	60–65	55–65	55–65	50–60	—	—

Πίνακας 3.2 Όρια θορύβου σε χώρες εκτός Ε.Ε.

ΠΗΓΗ: [76]

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, προκειμένου να μειώσει τον υπέρτοπο αριθμό ανθρώπων που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα θορύβου καθημερινά, έχει θεσπίσει τα όρια του θορύβου στα 55dB για την περίοδο ημέρα-βράδυ-νύχτα και στα 50dB για την περίοδο την νύχτας [53]. Επιπλέον, έχει θεσπίσει το όριο των 55dB για τον δείκτη ημέρας-βράδυ-νύχτας ( $L_{den}$ ) [77]. Το 2018, ο Π.Ο.Υ., πρότεινε την μείωση των επιπέδων του θορύβου κάτω από κάποια συγκεκριμένα όρια (Πίνακας 3.4).

Δείκτης θορύβου	Πηγές θορύβου		
	Αυτοκινητόδρομοι	Σιδηρόδρομοι	Αεροδρόμια
L <sub>day</sub>	53 dB	54 dB	45 dB
L <sub>night</sub>	45 dB	44 dB	40 dB

Πίνακας 3.3 Συστάσεις για την μείωση των επίπεδων θορύβου από τον Π.Ο.Υ.

**ΠΗΓΗ:** [32] (ιδία επεξεργασία)

Γενικότερα έχει παρατηρηθεί πως με την υπέρβαση των παραπάνω ορίων αυξάνονται εκθετικά οι αρνητικές επιπτώσεις από τον θόρυβο. Για τις περισσότερες περιπτώσεις οι συστάσεις αυτές ενδέχεται να μπορούν να υιοθετηθούν σαν πολιτική, με αποτέλεσμα την αισθητή μείωση του θορύβου καθώς και των πληθώραν αρνητικών επιπτώσεων που προκαλούνται. Τα παραπάνω όρια έχουν προταθεί για περιοχές που εκτίθενται από μία πηγή θορύβου και όχι από πιθανό συνδυασμό αυτών [32].

Στην Ελλάδα, τα όρια του θορύβου, διαφέρουν σε σχέση με αυτά που έχει θεσπίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.). Πιο συγκεκριμένα, για νομοθετημένες βιομηχανικές περιοχές το όριο του δείκτη  $L_{eq}$  είναι 70 dB(A), για τις περιοχές όπου παρατηρείται και το αστικό και το βιομηχανικό στοιχείο (Κατοικημένες περιοχές με εργοστάσια κοντά) το όριο είναι 55 dB(A) και σε περιοχές οι οποίες είναι αστικές και μόνο το όριο είναι 50 dB(A) [78]. Επιπλέον, ο εικοσιτετράωρος δείκτης  $L_{den}$  έχει σαν όριο τα 70 dB(A) και ο νυκτερινός δείκτης ( $L_{night}$ ) τα 60 dB(A) [79], ενώ ο ημερήσιος δείκτης ( $L_{day}$ ) έχει σαν όριο τα 67 dB(A) [80]. Όσον αφορά τον δείκτη Επιπέδου Ηχορύπανσης (Noise Pollution Level), καθώς και τον δείκτη Κυκλοφοριακού Θορύβου (Traffic Noise Index), τα όρια έχουν προκύψει από αντίστοιχη μελέτη που έγινε σε περιοχές του Βιετνάμ [81]. Πιο συγκεκριμένα, για τον Δείκτη Επιπέδου Ηχορύπανσης (Noise Pollution Level), τα όρια διακρίνονται σε τιμές μικρότερες των 60dB όπου η ηχορύπανση θεωρείται αποδεκτή, σε τιμές ανάμεσα στα 60 dB και 70 dB, όπου η ηχορύπανση θεωρείται πιο έντονη χωρίς όμως να παρουσιάζονται άμεσα θέματα στην υγεία, και τέλος σε τιμές πάνω από τα 70 dB όπου πλέον η ηχορύπανση είναι υψηλή και υπάρχει κίνδυνος για την υγεία του ανθρώπου. Αντίστοιχα τα επίπεδα ενόχλησης για τον Δείκτη Κυκλοφοριακού Θορύβου (Traffic Noise Index) χωρίζονται σε τιμές μικρότερες των 50 dB όπου η ενόχληση είναι ελάχιστη, σε τιμές ανάμεσα στα 50 dB και στα 74 dB, όπου η ενόχληση είναι υπαρκτή αλλά αντιμετωπίζεται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία, και τέλος σε τιμές μεγαλύτερες των 74 dB όπου πλέον η ενόχληση είναι σημαντική και θεωρείται ανυπόφορη σε αρκετές περιπτώσεις.

### 3.4 Ισχύουσα Νομοθεσία

Για τον έλεγχο του θορύβου σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, είναι απαραίτητη η θέσπιση κανόνων, οδηγιών και κατευθυντήριων γραμμών σε όλα τα πιθανά επίπεδα διακυβέρνησης.



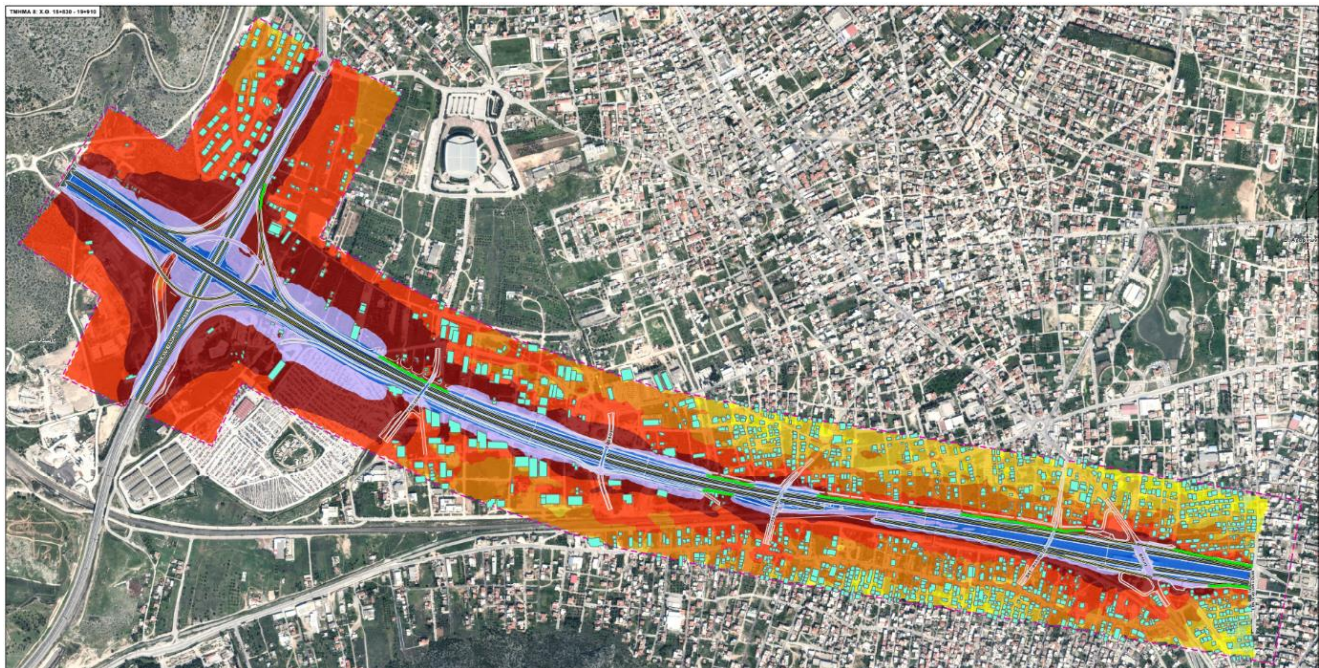
Τα επίπεδα αυτά είναι το εθνικό, όπου εκεί χρησιμοποιείται μία προσέγγιση πολύ πιο συγκεντρωτική και καθολική και τα όρια του θορύβου ορίζονται από την ανώτατη διοικητική αρχή. Παραδείγματα χωρών που χρησιμοποιούν τέτοια πολιτική είναι κυρίως χώρες που εντάσσονται στην Ε.Ε. αλλά και μερικές έξω από αυτήν (Νορβηγία). Άλλες χώρες, όπως είναι η Αυστραλία και η Βόρεια Αμερική, χρησιμοποιούν ένα πιο πολιτειακό επίπεδο, όπου η προσέγγιση είναι και αρκετά πιο αποκεντρωμένη. Εξαιτίας αυτού, οι κανόνες που έχουν θεσπιστεί ανά τα χρόνια ανάμεσα σε χώρες του κόσμου είναι αρκετοί και διαφέρουν μεταξύ τους ανάλογα με τις ανάγκες που έχει η κάθε χώρα ή γεωγραφική περιοχή. Για να μπορέσει να γίνει σύγκριση ανάμεσα σε όλους αυτούς είναι απαραίτητη η μέτρηση των τιμών αυστηρά και μόνο σε μονάδες dB(A) καθώς και η χρήση του ίδιου ακουστικού δείκτη θορύβου. Τρανταχτό παράδειγμα της κρισιμότητας που έχει η μέτρηση με τους ίδιους δείκτες και στην ίδια κλίμακα στην σύγκριση των κανόνων αποτελεί η έρευνα που έγινε το 2009 από το Διεθνές Ινστιτούτο Μηχανικής Θορύβου (I-INCE). Στην συγκεκριμένη έρευνα, έγινε απόπειρα παροχής πληροφοριών για την αναβάθμιση των κανόνων σε παγκόσμιο επίπεδο. Συλλέχθηκαν όρια θορύβου ανάλογα με την χώρα, την πηγή του θορύβου, την ώρα της ημέρας και αρκετά ακόμα κριτήρια, με σκοπό να υπάρξει μία πιο σφαιρική άποψη. Όμως τα όρια αυτά δεν μπορούσαν να συγκριθούν μεταξύ τους εξαιτίας των διαφορετικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν από την κάθε αρχή κατά την θέσπιση των κανόνων [82].

Τα πρώτα βήματα για την καταπολέμηση του θορύβου εμφανίζονται το 1999, όπου ο Π.Ο.Υ. εξέδωσε οδηγίες για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Οι οδηγίες αυτές μέχρι και σήμερα αναβαθμίζονται και προστίθενται καινούργιες πληροφορίες σε σχέση με τις διάφορες επιπτώσεις του θορύβου στην υγεία. Η ενημέρωση των οδηγιών όμως δεν είναι κάτι απλό. Χρειάζεται η συνεργασία πολλών αυτόνομων ομάδων. Οι ομάδες αυτές είναι, η Διευθύνουσα ομάδα του Π.Ο.Υ., η ομάδα εξωτερικής ανασκόπησης (ERG), υπεύθυνη για τον έλεγχο της σαφήνειας των οδηγιών καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις εφαρμογής τους, η ομάδα Κατευθυντήριων Γραμμών (GDG), υπεύθυνη για την ανάπτυξη συστάσεων με βάση τα αποτελέσματα συνεχούς μελέτης των στοιχείων, και τέλος η ομάδα συστηματικής ανασκόπησης (SRT), η ομάδα αυτή εξετάζει την σχετική βιβλιογραφία στα όρια των κατευθυντήριων γραμμών και αποτελείται από έμπειρους επιστήμονες στον τομέα του περιβαλλοντικού θορύβου [83].

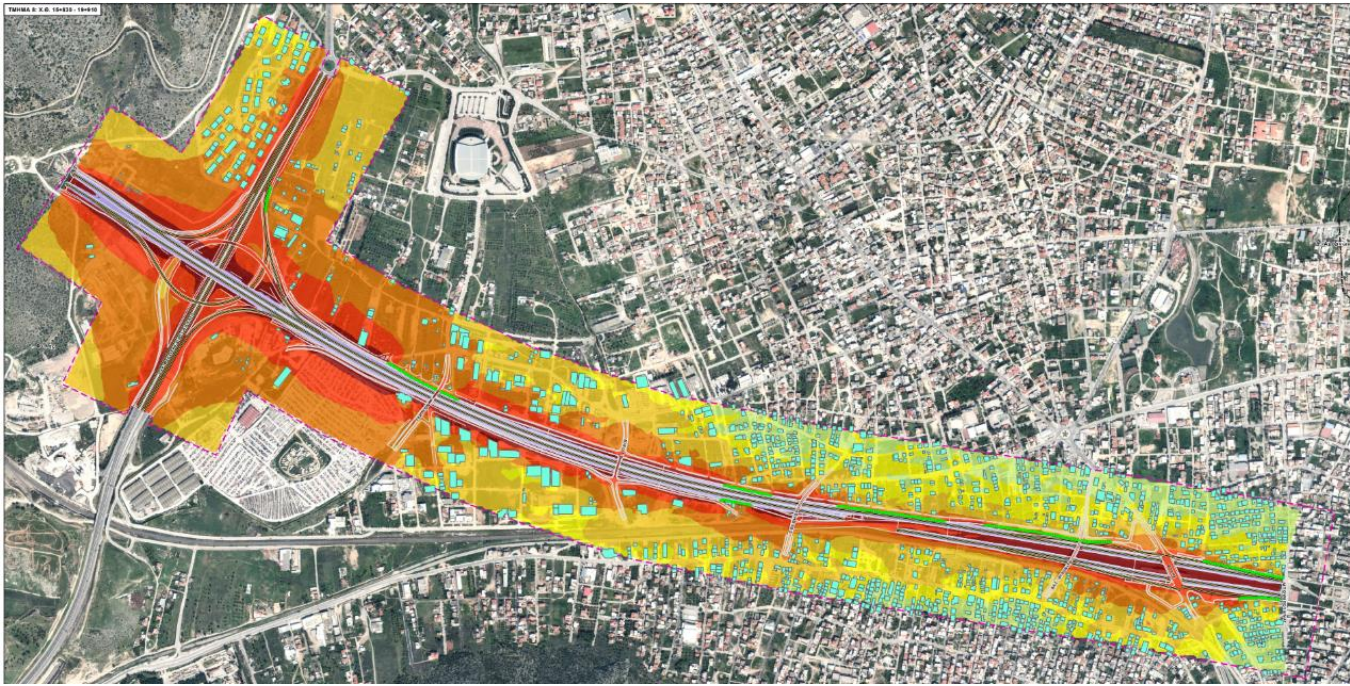
Όσον αφορά τα κράτη μέλη της Ε.Ε., το 2002 εκδόθηκε η Οδηγία Περιβαλλοντικού Θορύβου (Environmental Noise Directive), με την οποία και επιδιώχθηκε η αντιμετώπιση του θορύβου και η μείωση των επιβλαβών επιπτώσεων του στην ανθρώπινη υγεία. Για την δημιουργία της συγκεκριμένης οδηγίας, συνεργάστηκαν η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, ο οποίος και σύλλεξε δεδομένα έκθεσης στον θόρυβο [83]. Στόχος της συγκεκριμένης οδηγίας είναι η παραγωγή στρατηγικών χαρτών χαρτογράφησης του θορύβου, ώστε να μπορούν να εντοπιστούν οι περιοχές που αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα [82]. Για την

*Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024*

αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της οδηγίας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκδίδει κάθε πέντε έτη μία έκθεση προόδου πάνω στην εφαρμογή της. Η πρώτη έκθεση εκδόθηκε το 2011 όπου και διαπιστώθηκε σημαντική πρόοδος όσον αφορά την εφαρμογή της οδηγίας και η δεύτερη έκθεση το 2017 ήρθε να επιβεβαιώσει τα παραπάνω, σημειώνοντας και περαιτέρω πρόοδο. Η τελευταία έκθεση του 2023, καταδεικνύει μια πιο συστηματική αξιολόγηση των επιπέδων του θορύβου καθώς και την θέσπιση σχεδίων για την καλύτερη διαχείριση του θορύβου. Οι χώρες της Ε.Ε. οφείλουν να εκδίδουν ειδικούς χάρτες θορύβου καθώς και τα σχέδια τους για την αντιμετώπιση του κάθε πέντε χρόνια για συγκεκριμένους τύπους περιοχών. Αυτοί είναι, όλοι οι οικισμοί που διαθέτουν πάνω από 100.000 μόνιμους κατοίκους, οι κύριες οδικές αρτηρίες με πάνω από 3 εκατομμύρια οχήματα ετησίως, όπως και οι κύριοι σιδηρόδρομοι με πάνω από 30.000 τρένα ετησίως και τέλος τα μεγάλα αεροδρόμια όπου οι απογειώσεις ή οι προσγειώσεις πρέπει να ξεπερνούν τις 50.000 ετησίως [84]. Το 2022 ήταν η χρονιά εφαρμογής της οδηγίας για τέταρτη φορά και σε αυτόν τον γύρο εφαρμογής συμμετείχε και η Ελλάδα η οποία εξέδωσε χάρτες θορύβου για μεγάλους οδικούς άξονες και αεροδρόμια σε ολόκληρη την χώρα. Παρακάτω (Εικόνες 3.4 & 3.5) φαίνεται ένα παράδειγμα τέτοιου χάρτη στην Αττική οδό και για τους δύο δείκτες  $L_{den}$  και  $L_{night}$  αντίστοιχα. Για την συγκεκριμένη μελέτη δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο συμπεριλάμβανε τους οικισμούς που εντάχθηκαν στην έρευνα καθώς και στοιχεία κυκλοφοριακού, γεωμετρικού, πολεοδομικού και πληθυσμιακού χαρακτήρα. Η περιοχή εφαρμογής της μελέτης καλύπτει τμήμα της Αττικής Οδού με πλάτος περίπου 200 μέτρα δεξιά και αριστερά από τον άξονα της οδού. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι ο προσδιορισμός στάθμης θορύβου σε κάθε σημείο του επιλεγμένου συγκροτήματος, για μελλοντικές αλλά και τωρινές κυκλοφοριακές συνθήκες σε όλου τους πιθανούς δείκτες θορύβου ( $L_{den}$  &  $L_{night}$ ) [85].



Εικόνα 3.4 Παράδειγμα Στρατηγικού χάρτη χαρτογράφησης για κομμάτι της Αττικής Οδού  $L_{den}$   
ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

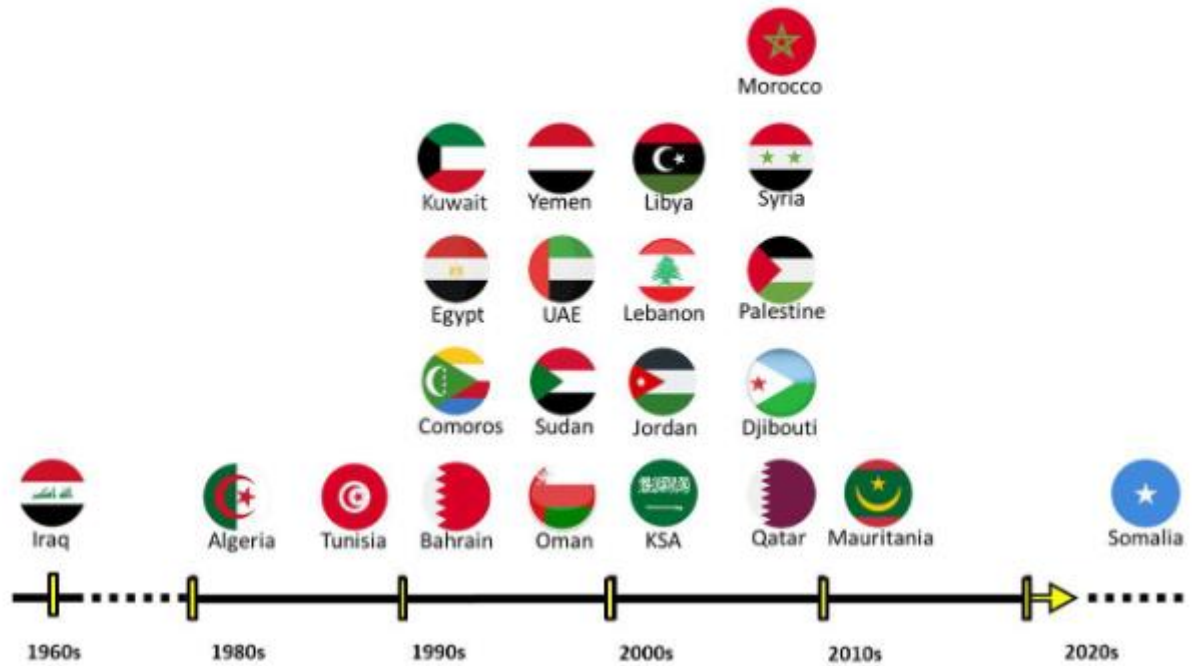


Εικόνα 3.5 Παράδειγμα Στρατηγικού χάρτη χαρτογράφησης για κομμάτι της Αττικής Οδού Lnight

ΠΗΓΗ: [85]

Η ανάγκη για συγκρότηση των δεδομένων του θορύβου σε ολόκληρη την Ε.Ε. έφερε την ίδρυση της Υπηρεσίας Παρατήρησης και Πληροφόρησης για τον Θόρυβο στην Ευρώπη (Noise Observation and Information Service for Europe). Η συγκεκριμένη υπηρεσία αποτελεί μία βάση δεδομένων, η μεγαλύτερη μέχρι τώρα, στην οποία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που επιφέρουν οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου. Στόχος του Noise είναι η συλλογή και δημοσιοποίηση πληροφοριών που θα βοηθήσουν στην κάλυψη όλων των γεωγραφικών περιοχών της Ευρώπης που πάσχουν από υψηλά επίπεδα θορύβου. Οι αντίστοιχες πληροφορίες αντλούνται από τα κράτη μέλη της Ε.Ε. τα οποία με την σειρά τους εκδίδουν κάθε πέντε χρόνια στοιχεία και πληροφορίες για την εξέλιξη των επιπέδων του θορύβου στις ευαίσθητες γεωγραφικές περιοχές [86].

Πέρα από την Ε.Ε. και τις χώρες της Αμερικής, σημαντικό πρόβλημα με τον περιβαλλοντικό θόρυβο αντιμετωπίζουν και οι χώρες του αραβικού κόσμου. Εκεί, το πρόβλημα του θορύβου έγινε εμφανές κυρίως τα μέσα της δεκαετίας του 60, όταν και το Ιράκ αποτέλεσε την πρώτη χώρα στην Μέση Ανατολή όπου και έβγαλε νόμο για την χρήση μεγάλων μόνο μετά από ειδική άδεια, με τους παραβάτες να πληρώνουν πρόστιμο ή ακόμη και να φυλακίζονται. Από την δεκαετία του 80 και μετά άρχισαν και οι υπόλοιπες αραβικές χώρες να εκδίδουν τέτοιους νόμους, με μοναδική χώρα έως σήμερα χωρίς κάτι τέτοιο να είναι η Σομαλία όπως φαίνεται και παρακάτω (Διάγραμμα 3.2).



Διάγραμμα 3.3 Εξέλιξη αραβικής νομοθεσίας σχετικής με τον θόρυβο μέσα στα χρόνια

ΠΗΓΗ: [87]

Παρά το γεγονός ότι σε αυτές τις χώρες έχουν εκδοθεί μεμονωμένοι νόμοι για τον θόρυβο, υπάρχουν πολλές ελλείψεις όσον αφορά την διαχείρισή του. Πιο συγκεκριμένα, δεν έχουν αναπτυχθεί καθόλου χάρτες θορύβου, σε λίγες μόνο από αυτές εκδίδονται δεδομένα μετρήσεων θορύβου και δεν υπάρχουν στατιστικά όσον αφορά τις επιπτώσεις του. Σε οποιαδήποτε σύγκριση αραβικών και Ευρωπαϊκών χωρών γίνεται αντιληπτή η μεγάλη διαφορά που επικρατεί στην κρισιμότητα με την οποία αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του θορύβου, καθώς στις αραβικές χώρες δεν έχει αναπτυχθεί περαιτέρω νομοθεσία για την αντιμετώπιση άλλων ειδών θορύβου πέρα από τον περιβαλλοντικό [87].

## 4 Διαχείριση Θορύβου

### 4.1 Τεχνικές Μείωσης Θορύβου

Για την μείωση των επιπέδων του θορύβου και των επιπτώσεών του στην ανθρώπινη υγεία, είναι αναγκαία η λήψη μέτρων και η υιοθέτηση τεχνικών που συμβάλλουν στην ελαχιστοποίησή του. Τα μέτρα αυτά, θα πρέπει να στοχεύουν όχι μόνο σε ομάδες πληθυσμών που πλήττονται από την ηχορύπανση, αλλά και σε ομάδες πληθυσμών που δεν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αυτό. Επομένως, απαιτείται ο συνδυασμός μέτρων σε όλους τους τομείς που ευθύνονται για τις εκπομπές υψηλών επιπέδων θορύβου. Επιπλέον, τα μέτρα αυτά, πρέπει να μειώνουν όχι μόνο τα επίπεδα θορύβου που εκπέμπονται αλλά και τον αριθμό των ανθρώπων που εκτίθενται στα επίπεδα αυτά [31]. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος που έχει θέσει η Ε.Ε. για το έτος 2030, δηλαδή η μείωση των ενοχλημένων ατόμων κατά 30%, απαιτείται ο αριθμός αυτός να πέσει κατά 5,3 εκατομμύρια κατοίκους. Παρά το γεγονός ότι αρκετά κράτη της Ε.Ε. έχουν προβεί σε ενέργειες με σκοπό την μείωση του θορύβου, τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο, αυτός ο ρύπος δεν μοιάζει εύκολα αντιμετωπίσιμος [88]. Παρακάτω αναλύονται διάφορα μέσα για την αντιμετώπιση του θορύβου τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο.

#### 4.1.1 Συλλογικό επίπεδο

##### 4.1.1.1 Κυκλοφοριακός Θόρυβος

Για να μειωθεί αισθητά ο θόρυβος, είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων που αφορούν τον γενικότερο πληθυσμό μιας πόλης ή ενός κράτους. Αυτά τα μέτρα ενδέχεται να αφορούν κάποια αλλαγή στο θεσμικό πλαίσιο, την εφαρμογή διάφορων προγραμμάτων που ξεκίνησαν να ισχύουν τα τελευταία χρόνια ή την αλλαγή κάποιων παραμέτρων στα μέσα που προκαλούν τα μεγαλύτερα ποσοστά θορύβου, όπως είναι τα αυτοκίνητα, τα τρένα και τα αεροπλάνα. Το 2019 τέθηκε σε εφαρμογή το σχέδιο Whissper, με επικεφαλής τον Bart Willems, το οποίο αποσκοπούσε στην μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου με την χρήση τεχνολογίας ανακατεύθυνσης. Για την επίτευξη του σχεδίου αυτού χρησιμοποιήθηκε το φαινόμενο της περίθλασης. Το μέσο που θα πετύχαινε κάτι τέτοιο ήταν ένα είδος φράγματος το οποίο κάμπτει τα ηχητικά κύματα με αποτέλεσμα να τα καθοδηγεί μακριά από κατοικήσιμες περιοχές. Το συγκεκριμένο φράγμα αποτελείται από αυλακώσεις, διαφορετικού βάθους η κάθε μία, που κάμπτουν τον οριζόντιο θόρυβο στην κατακόρυφη κατεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται τα επίπεδα θορύβου από 7 έως 9dB. Ακόμα ένα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης ιδέας είναι το χαμηλό κόστος που έχει καθώς έχει υπολογισθεί πως τα φράγματα αυτά απαιτούν τα μισά χρήματα για την κατασκευή και εγκατάστασή τους από τους κλασικούς τρόπους μείωσης του θορύβου [89]. Παρακάτω (Εικόνα 4.1) φαίνεται το συγκεκριμένο φράγμα σε χρήση σε έναν δρόμο του Βελγίου.



Εικόνα 4.1 Παράδειγμα εγκατάστασης φράγματος στο Βέλγιο

**ΠΗΓΗ:** [90]

Ένα ακόμη πρόγραμμα, με το όνομα Silent Rubber Pave, έχει εστιάσει στην αντικατάσταση της ασφάλτου των δρόμων με ένα πιο σπογγώδες και αθόρυβο είδος ασφάλτου. Η ισπανική εταιρία με το όνομα Cirtec, διαθέτει έτοιμο προς πώληση ένα πρόσθετο υλικό για την ασφάλτο με την ονομασία RARx. Το υλικό αυτό βασίζεται στο καουτσούκ που έχουν τα ελαστικά τα οποία έχουν φτάσει στο τέλος της ζωής τους και προστίθεται στην ασφάλτο με σκοπό την απορρόφηση του κυκλοφοριακού θορύβου [89]. Πιο συγκεκριμένα, το καουτσούκ αυτό, που αποτελεί το 60% του μίγματος, μετατρέπεται σε σκόνη η οποία πριν ενσωματωθεί τελικώς στην ασφάλτο, επεξεργάζεται με άλλα ορυκτά πρόσθετα. Το RARx αυξάνει την ανθεκτικότητα της ασφάλτου καθώς και τις ιδιότητες ανάκτησης που διαθέτει. Ενσωματώνεται εύκολα σε κάθε είδος ασφαλτομίγματος και δεν δημιουργεί δυσκολίες κατά την αποθήκευση, την μεταφορά και την επεξεργασία του. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της εισαγωγής του RARx στα ασφαλτομίγματα είναι η εξοικονόμηση χρημάτων που επιφέρει. Ενδέχεται να εξοικονομούνται έως και 50.000 ευρώ ανά χιλιόμετρο δρόμου που κατασκευάζεται [91]. Το RARx, με τις ηχοαπορροφητικές ικανότητες που διαθέτει το καουτσούκ, κάνει πιο ελαστική την ασφάλτο, με αποτέλεσμα να μειώνει σημαντικά τους κραδασμούς που προκαλούνται από την διέλευση των οχημάτων στο οδόστρωμα. Επιπλέον, αυξάνει την διάρκεια ζωής των δρόμων και

*Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024*  
απαιτεί λιγότερη συντήρηση, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κατά την διάρκεια ζωής του [92]. Η πρώτη επιτυχημένη χρήση RARx εντοπίζεται το 2022 στην Αμερική και συγκεκριμένα στο Μίσιγκαν (Εικόνα 4.2), όπου χρησιμοποιήθηκαν περίπου 40 τόνοι RARx και στρώθηκε πάνω από 1 χιλιόμετρο νέα άσφαλτος [93].



Εικόνα 4.2 Στρώση ασφάλτου με RARx στο Μίσιγκαν της Αμερικής

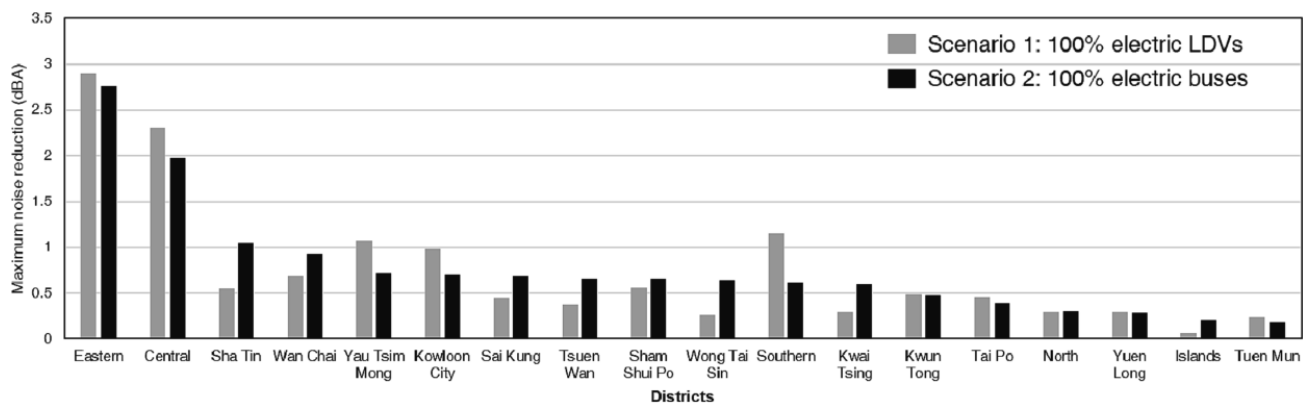
**ΠΗΓΗ:** [93]

Η ιδέα της παρασκευής ασφαλτομίγματος για την μείωση του θορύβου έχει δοκιμαστεί και στην Ευρώπη, και συγκεκριμένα στο Παρίσι της Γαλλίας, το 2022 όπου και έλαβε χώρα το έργο ‘‘LIFE C-LOW-N ASPHALT’’. Για το συγκεκριμένο έργο παρασκευάστηκαν τρία διαφορετικά ασφαλτομίγματα και στρώθηκαν σε σημαντικές περιοχές του Παρισιού περίπου 600 μέτρα από αυτά. Τα αποτελέσματα ήταν εντυπωσιακά. Ανάμεσα σε 1000 κατοίκους Παρισιού το 63% δήλωσε πως παρατήρησε σημαντική μείωση του θορύβου και ιδιαίτερα την περίοδο της νύχτας. Επιπλέον, αποδείχθηκε και πιθανή εξοικονόμηση έως και 400 εκατομμυρίων ευρώ, σε διάστημα πέντε ετών, στην περίπτωση εφαρμογής του έργου σε ολόκληρο το Παρίσι [94].

Το σχέδιο ECODRIVE, αποτελεί μια ιδέα, χρηματοδοτούμενη από την Ε.Ε., η οποία παρέχει γνώση πάνω στο θέμα του θορύβου που δημιουργείται στα αυτοκίνητα κατά την καύση του καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, στόχος του ECO DRIVE είναι η δημιουργία τεχνολογιών που θα μειώσουν κατά πολύ όλους τους ενοχλητικούς ήχους που προέρχονται από τα συστήματα των αυτοκινήτων, είτε αυτά είναι βενζινοκίνητα είτε είναι ηλεκτρικά [95]. Το έργο ECO DRIVE έχει χωριστεί σε τρία διαφορετικά μέρη. Το πρώτο μέρος είναι η εξέταση των θεωρητικών μοντέλων όπου κρίνονται αναγκαία για την δημιουργία ενός εργαλείου προσομοίωσης, το 2ο μέρος, αφορά την

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024 εφαρμογή πολιτικών διαχείρισης της κυκλοφορίας ώστε να ελεγχθεί ο μέρος αφορά την κατασκευή και την βαθμονόμηση του συγκεκριμένου εργαλείου και τέλος, το τρίτο αντίκτυπός τους στην μείωση του θορύβου. Τέτοιες πολιτικές είναι η μείωση των ορίων ταχύτητας, η ρύθμιση των εισροών και εκροών οχημάτων από έναν δρόμο ή ακόμα και η πρόταση εναλλακτικών διαδρομών για την αποσυμφόρηση των οδών. Να σημειωθεί εδώ πως το πρώτο μέρος έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς και αναμένονται τα επόμενα [28].

Ένας ακόμη τρόπος με τον οποίο θα μειωθούν αισθητά τα επίπεδα θορύβου στις πόλεις είναι η ηλεκτροκίνηση. Τα ηλεκτρικά οχήματα εκπέμπουν πολύ λιγότερα επίπεδα θορύβου στην ατμόσφαιρα από τα συμβατικά οχήματα βενζίνης ή πετρελαίου. Με την αγορά ηλεκτροκίνητων οχημάτων ολοένα να αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο, η υιοθέτηση αυτού του τύπου οχημάτων για την μείωση του θορύβου φαντάζει μια λύση πιο βιώσιμη από ποτέ. Πέρα όμως από τα ηλεκτρικά οχήματα ιδιωτικής χρήσης, μεγάλο ρόλο στην μείωση του θορύβου μπορούν να διαδραματίσουν και τα ηλεκτρικά οχήματα βαρέως τύπου. Τα λεωφορεία που κυκλοφορούν στις μεγάλες πόλεις δημιουργούν αρκετό θόρυβο με τις συχνές στάσεις που κάνουν αλλά και με τις χαμηλές ταχύτητες που κινούνται. Μία έρευνα που έγινε στο Χονγκ Κονγκ, προσπάθησε να μελετήσει τα αποτελέσματα της αντικατάστασης των συμβατών οχημάτων με ηλεκτρικά αυτοκίνητα αλλά και λεωφορεία. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα ηλεκτρικά λεωφορεία παρουσίαζαν μεγαλύτερα οφέλη σε σχέση με τα αυτοκίνητα όσο αφορά την μείωση του θορύβου, αφού ευθύνονται για την μεταφορά πολύ μεγαλύτερου αριθμού ατόμων. Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 4.1) φαίνεται η μέγιστη μείωση του θορύβου την περίοδο της νύχτας σε περιοχές του Χονγκ Κονγκ για τα δύο σενάρια αντικατάστασης των οχημάτων με ηλεκτρικά [96].



Διάγραμμα 4.1 Μέγιστη μείωση θορύβου κατά την διάρκεια της νύχτας για τα 2 σενάρια ηλεκτρικών οχημάτων

ΠΗΓΗ: [96]

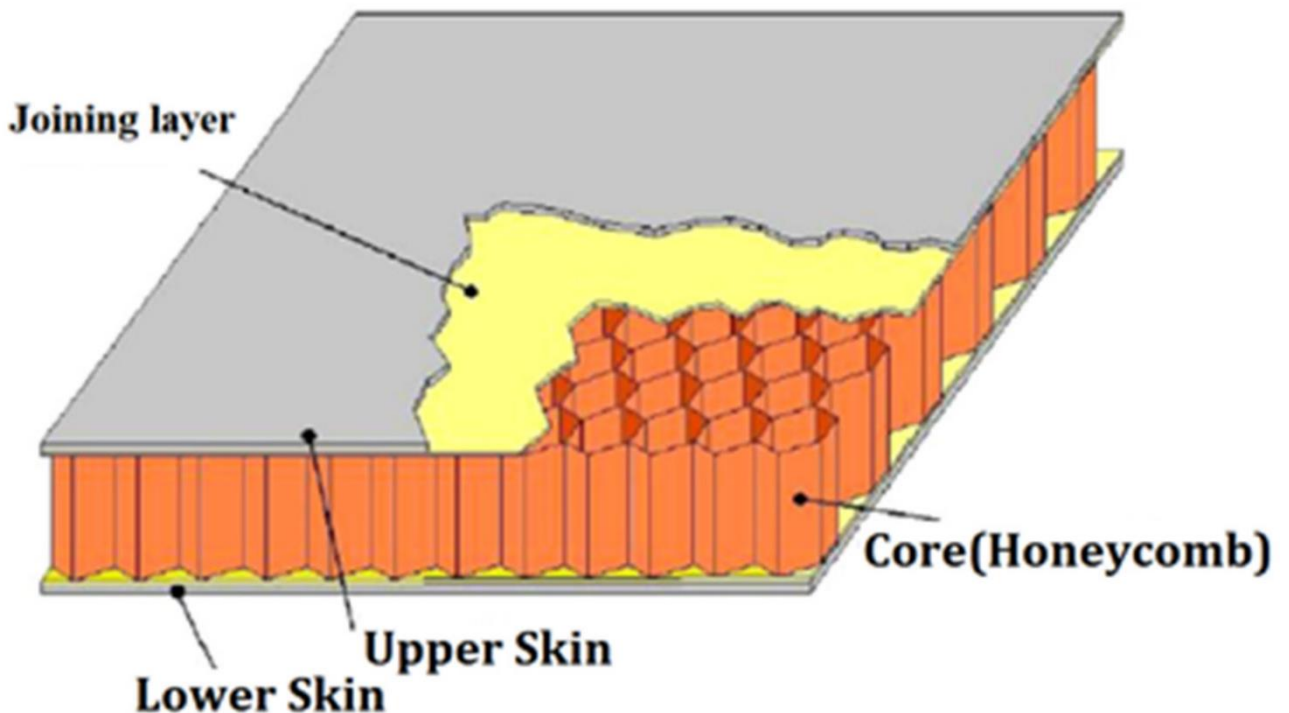
#### 4.1.1.2 Σιδηροδρομικός Θόρυβος

Ο θόρυβος που παράγεται από την κίνηση των τρένων στους σιδηροδρόμους μπορεί να μειωθεί με πολλές εναλλακτικές. Μία από αυτές αποτελεί η μείωση των κραδασμών του τρένου κατά την ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων. Για να επιτευχθεί αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται πλωτές πλάκες στους ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς



Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024

σιδηροδρόμους οι οποίες τοποθετούνται κάτω από τις γραμμές και έχουν την ικανότητα να απορροφούν τους κραδασμούς, τροχοί υψηλής απόδοσης, ανοιχτές τάφροι καθώς και η κατασκευή φραγμάτων κατά μήκος των σιδηροδρόμων (έργο Whissper). Η ηχομόνωση στο εσωτερικό των τρένων υψηλής ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί με αλλαγή στην δομή των πάνελ των βαγονιών. Τα πάνελ αυτά αποτελούνται κυρίως από προφίλ αλουμινίου και δεν παρουσιάζουν μεγάλη ηχομονωτική ικανότητα. Διάφορες μέθοδοι που έχουν εξετασθεί για την μείωση του θορύβου είναι η πρόσθεση επίστρωσης ελαστικού μέσου υψηλής απόσβεσης, η αντικατάσταση των παραθύρων καθώς και η κατασκευή πάνελ με την μέθοδο "σάντουιτς" [97]. Μία δομή "σάντουιτς" αποτελείται από πολυσύνθετο υλικό και διαθέτει δύο άκαμπτες όψεις στο πάνω και στο κάτω μέρος. Αυτές οι όψεις μπορεί να κατασκευάζονται από κράματα αλουμινίου και άνθρακα. Ανάμεσά τους υπάρχει ο πυρήνας, που έχει κυψελοειδές σχήμα και αποτελείται από ένα είδος αφρού το οποίο συνδέεται με τις όψεις με συγκεκριμένες τεχνικές. Μερικές από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές σύνδεσης του πυρήνα με τις όψεις είναι η θερμαινόμενη πρέσα, το βίδωμα, η χρήση ισχυρής κόλλας καθώς και η συρραφή [98]. Παρακάτω (Εικόνα 4.3) φαίνεται η τομή μιας δομής "σάντουιτς".

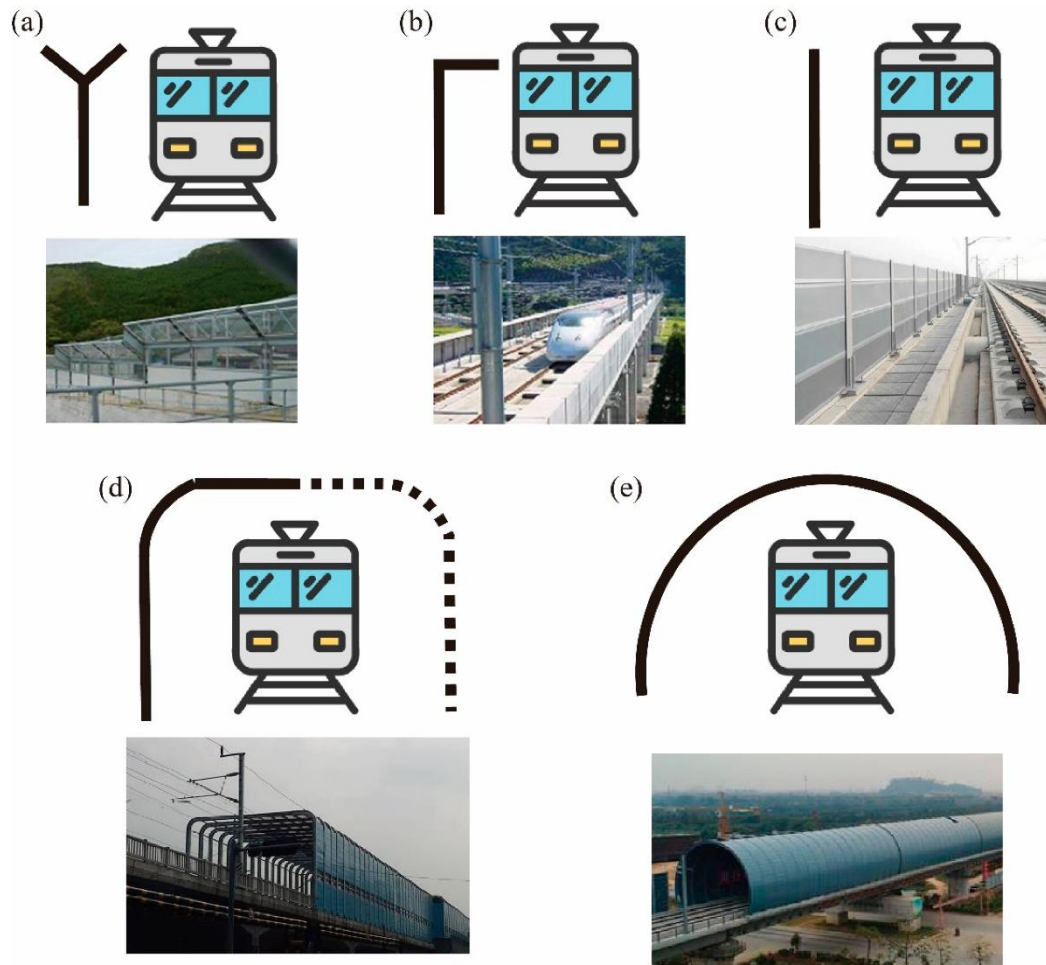


Εικόνα 4.3 Τυπική δομή ηχομονωτικού τοίχου τύπου σάντουιτς

ΠΗΓΗ: [98]

Τα φράγματα, πέρα από την χρήση τους στο οδικό δίκτυο όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα και στο σιδηροδρομικό δίκτυο, αφού έχουν την ικανότητα να μειώσουν κατά πολύ τον θόρυβο που παράγεται από τα διερχόμενα τρένα υψηλής ταχύτητας. Τα φράγματα, ή αλλιώς ηχοπετάσματα μπορούν να διακριθούν σε διάφορους τύπους ανάλογα με τα υλικά κατασκευής και το σχήμα τους. Οι πιο βασικοί από αυτούς είναι οι τύπου όρθιων ενθέτων, οι τύπου Τα, οι τύπου L ανεστραμμένου, οι τύπου Υ καθώς και οι πλήρως κλειστοί ή ημίκλειστοι. Από τα παραπάνω αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι του τύπου ένθετου. Μέσα στα χρόνια ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
έχουν γίνει αρκετές έρευνες για την βελτίωση των ηχοπετασμάτων με την πιο πρόσφατη να είναι αυτή του Zhang και των συνεργατών του οι οποίοι πρότειναν ένα νέο τύπο ημίκλειστου ηχοπετάσματος με σχισμές για την καλύτερη ηχομόνωση του σιδηροδρομικού δικτύου. Ανέπτυξαν μοντέλα που βοήθησαν στην πρόβλεψη της ακουστικής απόδοσης του φράγματος τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό του. Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων αποδείχθηκε πως ο θόρυβος αυξάνεται στο εσωτερικό του φράγματος, όμως εξαιτίας της αλλαγής κατεύθυνσής του στον κάθετο άξονα, μειώνεται αισθητά στο εξωτερικό [97]. Παρακάτω (Εικόνα 4.4) φαίνονται οι βασικοί τύποι ηχοπετασμάτων.



Εικόνα 4.4 (α) Τύπου Y, (β) Τύπου L ανεστραμμένου, (γ) Τύπου όρθιου ένθετου, (δ) Ημίκλειστου τύπου, (ε) Πλήρως κλειστού τύπου

ΠΗΓΗ: [97]

Μία ακόμη λύση που ενδέχεται να βοηθήσει σημαντικά στην μείωση του θορύβου είναι η αντικατάσταση του τσιμέντου με το οποίο φτιάχνονται η ράγες με ράγες με χλοοτάπητα. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συγκεκριμένη πρόταση είναι καλύτερη διαχείριση του βρόχινου νερού, μείωση των κραδασμών που προκαλούν θόρυβο και η μείωση του φαινομένου της θερμονησίδας. Παρόλα αυτά υπάρχουν και μειονεκτήματα που συνοδεύουν την πρόταση αυτή όπως

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024 είναι η συνεχής συντήρηση της βλάστησης και ο καθαρισμός των ραγών από φυτά [33]. Παρακάτω (Εικόνα 4.5) φαίνεται ένα παράδειγμα γραμμών με χλοοτάπητα σε γραμμές τραμ.



Εικόνα 4.5 Γραμμές σιδηροδρομικού δικτύου με χλοοτάπητα

ΠΗΓΗ: [99]

#### 4.1.1.3 Θόρυβος αεροσκαφών

Την σημερινή εποχή, έχουν θεσπιστεί κανόνες για την μείωση του θορύβου που παράγεται από τα αεροσκάφη στις χώρες όλου του κόσμου. Από το 2002, όπου και εκδόθηκε η πρώτη οδηγία για τον θόρυβο, μέχρι και το 2009, υπολογίζεται πως περίπου 615 αεροδρόμια είχαν υιοθετήσει μέτρα για την μείωση του θορύβου, τα περισσότερα από τα οποία ανήκαν στις δυτικές χώρες. Κάποια από τα μέτρα αυτά είναι η επιβολή προστίμων και φόρων στις αεροπορικές εταιρίες, με σκοπό την κατασκευή και υιοθέτηση αθόρυβων αεροσκαφών, καθώς και η αλλαγή συστημάτων που συντελούν στην λειτουργία των αεροδρομίων (βελτιστοποίηση διαδρόμου προσγείωσης και απογείωσης). Οι Xie et al εξέτασαν διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να μειωθεί ο θόρυβος των αεροσκαφών. Ανάμεσα σε αυτούς είναι η βελτιστοποίηση του τύπου των αεροσκαφών, η ρύθμιση του αριθμού των νυχτερινών πτήσεων και η αλλαγή του σχεδίου πτήσης. Αρχικά, εντοπίστηκαν οι τύποι των αεροσκαφών που είχαν και την μεγαλύτερη χρήση, καθώς και ο θόρυβος που εκπέμπει ο κάθε ένας από αυτούς. Μετά από επεξεργασία των δεδομένων που αντλήθηκαν, το αεροσκάφος B737-200 βρέθηκε ως το πιο θορυβώδες και αντικαταστάθηκε με τον τύπο A320-232. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1, η έκταση γύρω από το αεροδρόμιο όπου εκτίθενται στο θόρυβο καθώς και ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε αυτόν, μειώνονται σημαντικά για επίπεδα θορύβου των 70dB μετά την αλλαγή του τύπου αεροσκάφους. Για επίπεδα θορύβου πάνω από τα 85dB η αλλαγή αυτή

δεν επιφέρει κάποιο ουσιαστικό αποτέλεσμα, όμως η γενικότερη εικόνα είναι πολύ ενθαρρυντική [100].

		L <sub>WECFN</sub> > 70 dB	L <sub>WECFN</sub> > 75 dB	L <sub>WECFN</sub> > 80 dB	L <sub>WECFN</sub> > 85 dB	L <sub>WECFN</sub> > 90 dB
Area (km <sup>2</sup> )	Before	83.885	38.813	16.925	7.165	2.960
	After	68.872	32.553	14.307	6.022	2.526
	Percentage	17.90%	16.13%	15.47%	15.95%	14.66%
Population (person)	Before	194,842	75,514	13,414	1831	155
	After	142,995	57,302	9016	1785	146
	Percentage	26.61%	24.12%	32.79%	2.51%	5.81%

Πίνακας 4.1 Μείωση έκτασης και πληθυσμού που βλάπτονται από τον θόρυβο κατά την αλλαγή τύπου αεροσκάφους

ΠΗΓΗ: [100]

Επόμενη μέθοδος μείωσης του θορύβου των αεροσκαφών που εξετάστηκε είναι η ρύθμιση του αριθμού των νυχτερινών πτήσεων. Για αυτό το μέτρο, εφαρμόστηκαν δύο σενάρια. Το πρώτο σενάριο είναι η μεταφορά του 50% των νυχτερινών πτήσεων (10μμ-7πμ) την ημέρα (7πμ-7μμ) ή το απόγευμα (7μμ-10μμ). Το δεύτερο σενάριο είναι η μεταφορά όλων των νυχτερινών πτήσεων την ημέρα και το απόγευμα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2, το σενάριο 1 επιφέρει μείωση στην περιοχή όπου εκτείνεται ο θόρυβος και στον συνολικό πληθυσμό που βλάπτεται από αυτόν. Μάλιστα, όσο αυξάνονται τα επίπεδα θορύβου που μελετώνται, ο αριθμός των ανθρώπων μπορεί να μειωθεί ακόμη και κατά 77%, ενώ η περιοχή επέκτασης κυμαίνεται ανάμεσα από 17% και 22%. Στο σενάριο 2, τα αποτελέσματα επιφέρουν την διπλάσια μείωση όσο αφορά την περιοχή επέκτασης, ενώ στον συνολικό πληθυσμό το ποσοστό μείωσης φτάνει ακόμη και στο 100% [100].

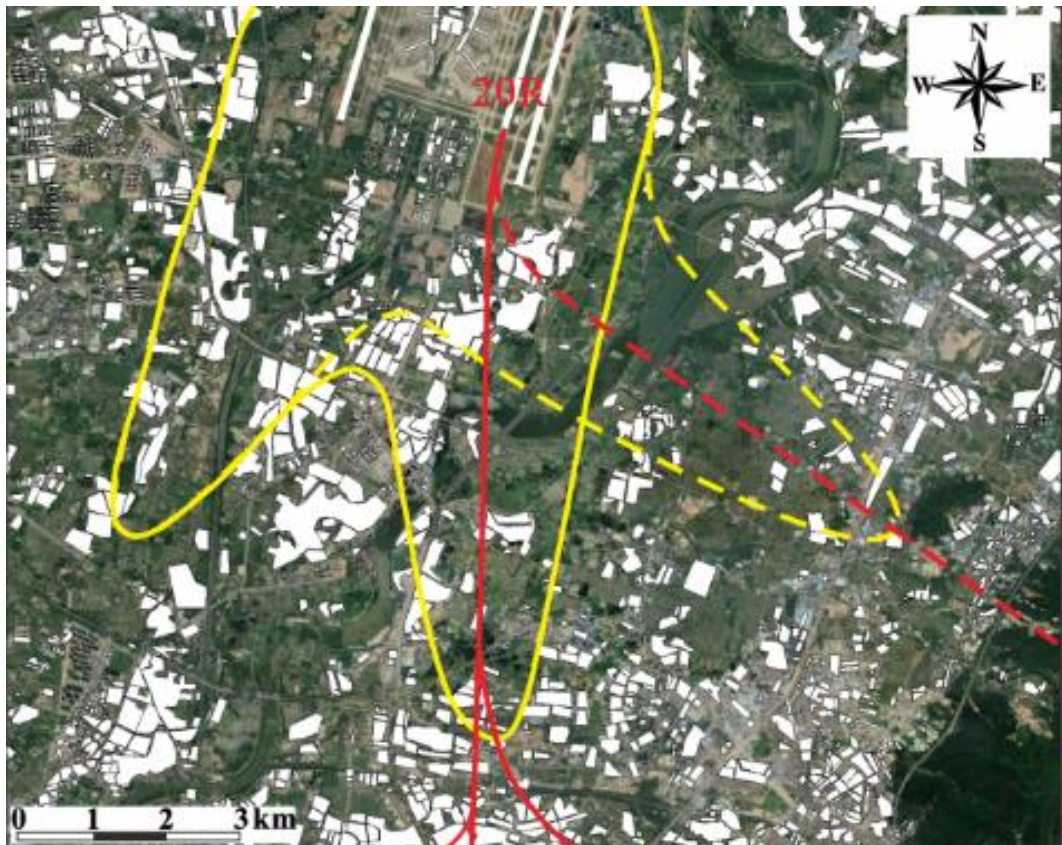
		L <sub>WECFN</sub> > 70 dB	L <sub>WECFN</sub> > 75 dB	L <sub>WECFN</sub> > 80 dB	L <sub>WECFN</sub> > 85 dB	L <sub>WECFN</sub> > 90 dB	
Practice 1	Area (km <sup>2</sup> )	After	68.808	31.328	13.683	5.675	2.300
		Percentage	17.97%	19.29%	19.16%	20.80%	22.30%
	Population (person)	After	154,814	54,225	5682	749	35
		Percentage	20.54%	28.19%	57.64%	59.09%	77.42%
Practice 2	Area (km <sup>2</sup> )	After	51.148	23.225	10.040	4.037	1.573
		Percentage	39.03%	40.16%	40.68%	43.66%	46.86%
	Population (person)	After	110,219	30,283	2793	312	0
		Percentage	43.43%	59.90%	79.18%	82.96%	100%

Πίνακας 4.2 Μείωση έκτασης και πληθυσμού που βλάπτονται από τον θόρυβο κατά την ρύθμιση των νυχτερινών πτήσεων

ΠΗΓΗ: [100]

Η αλλαγή του σχεδίου πτήσης πάνω από κατοικημένες περιοχές εξετάστηκε επίσης στην συγκεκριμένη έρευνα. Στην εικόνα 4.6 φαίνεται η υπάρχουσα διαδρομή που ακολουθούσε το αεροσκάφος (κόκκινη συνεχής γραμμή), η νέα διαδρομή που χαράχθηκε (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) καθώς και η περιοχή όπου τα επίπεδα θορύβου είναι στα 70dB πριν και μετά την αλλαγή του σχεδίου πτήσης. Παρά την συγκεκριμένη αλλαγή, τα αποτελέσματα παρέμειναν περίπου στα ίδια

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
επίπεδα για την έκταση και τον πληθυσμό που βλάπτεται από τον θόρυβο, κάτι που φαίνεται λογικό  
από την στιγμή που δεν άλλαξε ο τύπος του αεροσκάφους ή ο συνολικός αριθμός των πτήσεων [100].



Εικόνα 4.6 Περίγραμμα θορύβου πριν και μετά την βελτιστοποίηση του σχεδίου πτήσης

ΠΗΓΗ: [100]

Ένα πρόγραμμα το οποίο χρηματοδοτείται από την Ε.Ε. γνωστό ως "INVENTOR", αποσκοπεί στην αντιμετώπιση του θορύβου ο οποίος παράγεται από τα πτερύγια και το σύστημα προσγείωσης των αεροπλάνων. Στο πρόγραμμα αυτό συμμετέχουν μεγάλες εταιρίες κατασκευής αεροσκαφών και συστημάτων προσγείωσης (Airbus, Dassault, Safran Landing Systems) και θα ολοκληρωθεί τον Οκτώβριο του 2024. Οι λύσεις που έχουν προταθεί από την ομάδα του συγκεκριμένου προγράμματος, με επικεφαλής των Δρ Eric Manoha, στοχεύουν στην άμεση μείωση του θορύβου των αεροσκαφών κατά την προσγείωση και την απογείωσή τους. Μία από αυτές είναι η εγκατάσταση μίας πορώδους δομής μπροστά από το σύστημα προσγείωσης και από τα πτερύγια. Με αυτόν τον τρόπο, αλλάζει η ροή αέρα γύρω από αυτά και αποφεύγεται ο έντονος θόρυβος που παράγεται όταν προσπίπτει στις επιφάνειες αυτές. Η εκτροπή της ροής του αέρα μπορεί να επιτευχθεί και με μία συσκευή που θα φυσάει αέρα προς την κατεύθυνση που κινείται το αεροσκάφος. Έτσι, δημιουργείται μία "κουρτίνα αέρα" που εκτρέπει την ροή του αέρα και μειώνει τον θόρυβο [101].

#### 4.1.2 Ατομικό επίπεδο

Η πιο άμεση και εύκολη λύση για την προστασία από τον έντονο θόρυβο είναι η λήψη μέτρων από τον κάθε πολίτη ξεχωριστά, με σκοπό την ηχομόνωση του σπιτιού του. Για την μέγιστη δυνατή ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024

ηχομονωτική απόδοση χρησιμοποιούνται πλάκες, οι οποίες εγκαθίστανται πάνω σε μεταλλικούς πείρους πάχους 50mm. Το μεγάλο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης λύσης είναι η υψηλή ηχομόνωση που προσφέρεται (μείωση του ήχου έως και 17dB), όμως μειώνεται αισθητά ο ελεύθερος χώρος του δωματίου αφού οι πλάκες δεν εφαρμόζονται απευθείας στον τοίχο [102]. Παρακάτω (Εικόνα 4.7) φαίνεται η δομή ενός τέτοιου συστήματος ηχομόνωσης.



Εικόνα 4.7 Επένδυση τοίχου για ηχομόνωση

ΠΗΓΗ: [103]

Μία από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους μείωσης του θορύβου μέσα στην οικία είναι η τοποθέτηση επιπλέον τζαμιών στα παράθυρα. Είναι μία λύση που ενδέχεται να μειώσει τα επίπεδα του θορύβου κατά 80% και επιπλέον, αναβαθμίζει το κτίριο και ενεργειακά . Η τοποθέτηση ηχομονωτικών κουρτινών, αποτελεί μία εύκολη και φθηνή λύση για την αντιμετώπιση των ανεπιθύμητων ήχων που προέρχονται έξω από το σπίτι. Οι κουρτίνες αυτές κατασκευάζονται από βαρύ υλικό που μπορεί να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες θορύβου και είναι ιδανικές για κατοικίες που βρίσκονται κοντά σε πολυσύχναστους δρόμους [104]. Ο θόρυβος διαθέτει την ικανότητα να

ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

*Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024*

εισέρχεται στο εσωτερικό του σπιτιού από οποιαδήποτε ρωγμή. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα κενό της τάξεως του 1% μπορεί να περάσει μέχρι και 30% θόρυβος, ενώ όσο ανεβαίνει το ποσοστό της ρωγμής ανεβαίνει και το ποσοστό του θορύβου που περνάει φτάνοντας ακόμη και στο 90% [105]. Επομένως, είναι σημαντικό το σφράγισμα όλων των ρωγμών που εντοπίζονται σε ένα σπίτι, κυρίως γύρω από τα παράθυρα και τις πόρτες. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ο στόκος ή ο διογκούμενος αφρός ειδικότερα σε περιοχές του σπιτιού όπου εισέρχονται καλώδια [106].

## **4.2 Ήσυχες Περιοχές**

Οι ήσυχες περιοχές, ορίζονται σαν μία έκταση η οποία δεν διαταράσσεται από ανεπιθύμητους ή ακόμα και επιβλαβείς ήχους που δημιουργούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, ωστόσο, δεν διαθέτουν πλήρη ησυχία. Στο αστικό περιβάλλον, ήσυχη περιοχή μπορεί να θεωρηθεί μία έκταση εντός ενός οικοδομικού τετραγώνου καθώς και περιοχές αχρησιμοποίητες και με μεγάλη βλάστηση, όπως είναι τα πάρκα [107]. Σύμφωνα με την οδηγία του 2002/49/EK [19] ως ήσυχη περιοχή ορίζεται μια οριοθετημένη έκταση που δεν εκτίθεται σε επίπεδα θορύβου, τα οποία ορίζονται από την αρμόδια αρχή της κάθε χώρας ανάλογα με τις αντίστοιχες ανάγκες της. Για την οριοθέτηση μιας ήσυχης περιοχής, εξετάζονται τρία σημαντικά κριτήρια, τα οποία είναι, ο τύπος γης (δασικές εκτάσεις, ορεινά βοσκοτόπια), η χρήση γης (οικισμοί, υποδομές), τα επίπεδα του θορύβου, καθώς και το μέγεθος της περιοχής [107]. Παρακάτω (Εικόνα 4.7) φαίνεται ένα παράδειγμα μιας ήσυχης περιοχής και συγκεκριμένα του πάρκου St. Stephen's Green, το οποίο βρίσκεται στο Δουβλίνο.

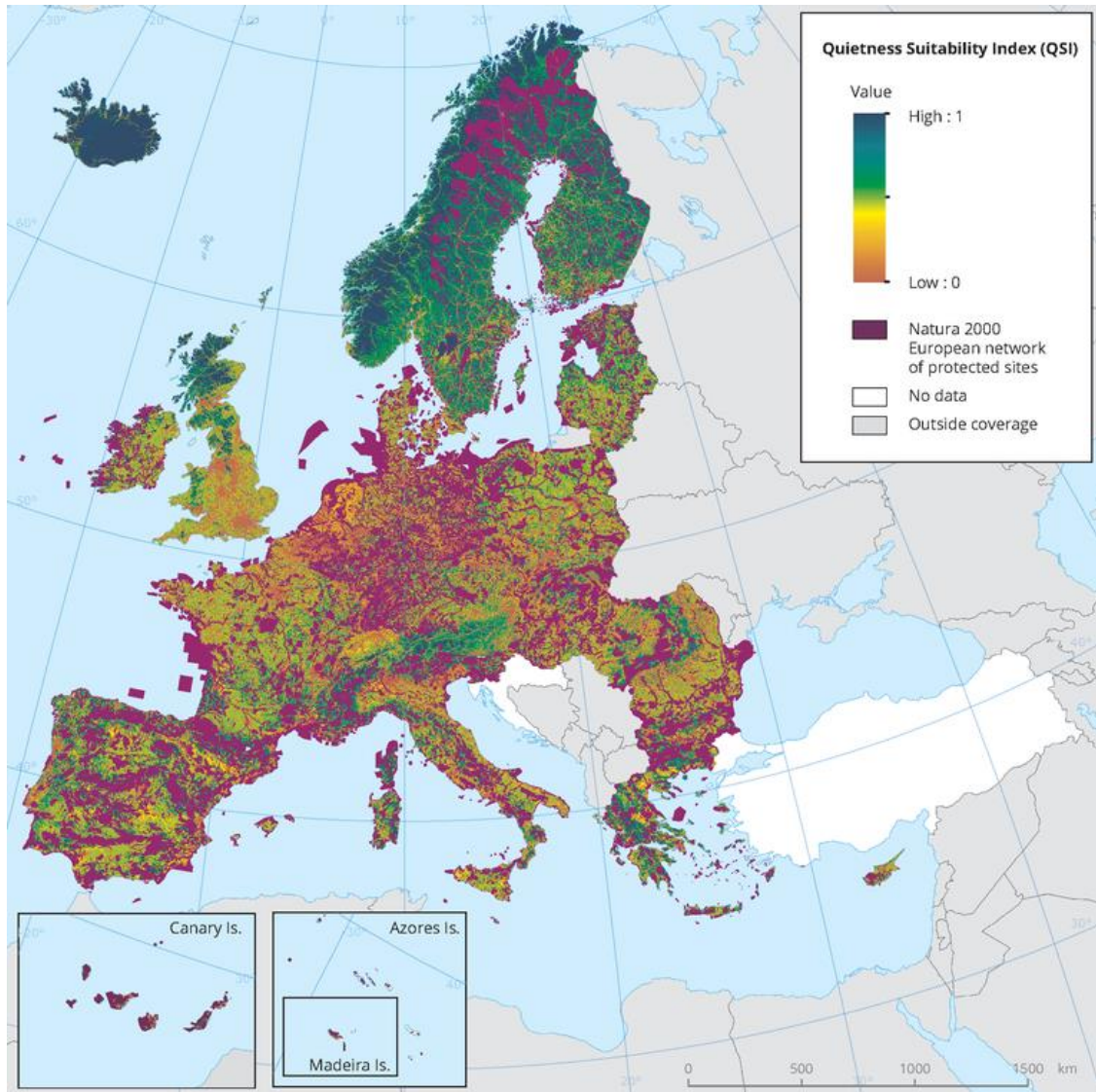


Εικόνα 4.8 Πάρκο St. Stephen's Green στο Δουβλίνο (Ησυχη Περιοχή)

**ΠΗΓΗ:** [108]

Οι ήσυχες περιοχές, όπως είναι το παραπάνω πάρκο, αποφέρουν πολλά οφέλη, τόσο στους μόνιμους κατοίκους της όσο και στους επισκέπτες της. Συγκριτικές μελέτες σε αστικές και αγροτικές περιοχές έχουν δείξει πως η μείωση των επιπέδων θορύβου αυξάνει την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Επιπλέον, μειώνονται τα επίπεδα ενόχλησης, ιδιαίτερα όταν οι ήσυχες περιοχές είναι πιο εύκολα προσβάσιμες. Η ησυχία, σε συνδυασμό και με τους φυσικούς ήχους που παρατηρούνται σε ένα φυσικό περιβάλλον, βοηθάνε πάρα πολύ στην καταπολέμηση ασθενειών καθώς και στην ταχύτερη ανάρρωση [109]. Στο παρακάτω γράφημα (Εικόνα 4.8) φαίνονται οι πιθανές ήσυχες περιοχές της Ευρώπης με βάση τον Δείκτη Επάρκειας Ησυχίας (Quietness Suitability Index) καθώς και τα δεδομένα προστατευόμενων περιοχών από το πρόγραμμα Natura 2000. Οι χώρες που ανήκουν στο βόρειο κομμάτι της Ευρώπης, δηλαδή αυτές που παρουσιάζουν τα μικρότερα επίπεδα θορύβου, έχουν πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης ήσυχων περιοχών σε σχέση με τις πιο θορυβώδεις χώρες της Ευρώπης στο κεντρικό και νότιο κομμάτι της. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας για την μελέτη των πιθανών ήσυχων περιοχών είναι η προσβασιμότητά τους. Για παράδειγμα, χώρες όπως η Τσεχία, η Ιρλανδία, η Ισπανία και η Ελβετία χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη προσβασιμότητα (1000 στρέμματα/κάτοικο) σε σχέση με χώρες όπως η Γερμανία ή το Ηνωμένο Βασίλειο (150 στρέμματα/1000 κατοίκους) [109].



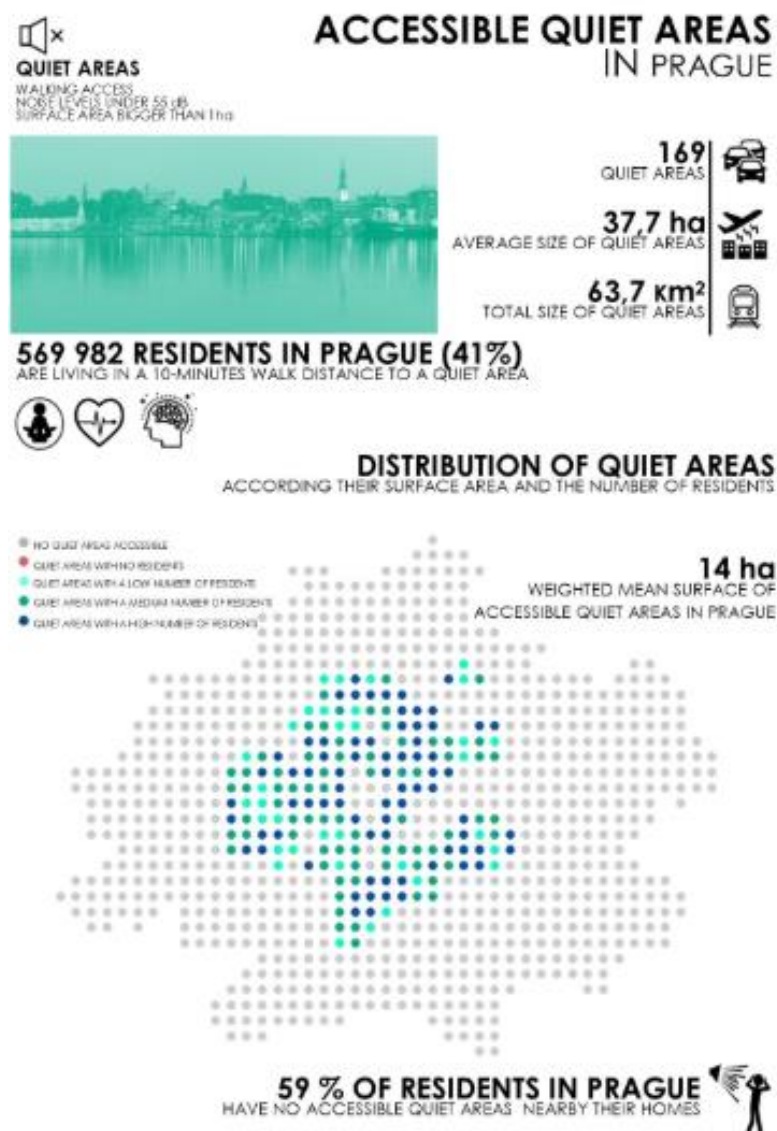


Εικόνα 4.9 Πιθανές ήσυχες περιοχές στην Ε.Ε.

ΠΗΓΗ: [110]

Ο Miquel Sáinz de la Maza μαζί με την ομάδα του, ανέλυσαν την τωρινή κατάσταση κάποιων ήσυχων περιοχών και την προσβασιμότητά τους με σκοπό την εξαγωγή μιας μεθοδολογίας που θα μπορέσει να διευκολύνει την διαδικασία ορισμού ήσυχων περιοχών εντός μιας πόλης. Στα πλαίσια της έρευνας αυτής, άντλησαν δύο είδη δεδομένων για την αξιολόγηση μιας έκτασης και αυτά είναι τα επίπεδα θορύβου, τα οποία λαμβάνονται από τους χάρτες στρατηγικής χαρτογράφησης για κάθε χώρα, και δεδομένα για την κάλυψη της γης προς αξιολόγηση, τα οποία λαμβάνονται κυρίως από τον αστικό Άτλα Copernicus. Αφού αντλήθηκαν τα δεδομένα, έγινε μία πρώτη ανάλυση κατά την οποία εξετάστηκε τυχόν επικάλυψη μεταξύ των χαρτών γης και θορύβου, για επίπεδα μεγαλύτερα των 55dB. Με αυτό το βήμα εμφανίστηκαν οι πιθανές ήσυχες και θορυβώδεις περιοχές. Επόμενο βήμα είναι η ταξινόμηση των περιοχών σε τρεις κατηγορίες η οποίες είναι, οι κατοικημένες περιοχές, οι εμπορικές περιοχές και οι περιοχές που αποτελούνται από νερό και βλάστηση. Έπειτα αναλύθηκε η

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
προσβασιμότητα των ήσυχων περιοχών. Για την συγκεκριμένη ανάλυση τέθηκε ένα χρονικό όριο πρόσβασης της περιοχής με τα πόδια της τάξεως των δέκα λεπτών. Στην συνέχεια υπολογίστηκε ο συνολικός πληθυσμός μέσα σε αυτά τα όρια. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν πως η προσβασιμότητα σε πιθανές ήσυχες περιοχές διαφέρει από χώρα σε χώρα. Αυτή η διακύμανση είναι αποτέλεσμα παραγόντων όπως οι τοπικές συνθήκες και η ιστορία του τόπου. Αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν την το μέγεθος, την διαθεσιμότητα και την κατανομή των ήσυχων περιοχών. Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες ήσυχες περιοχές χαρακτηρίζονται από αρκετή βλάστηση, η ύπαρξη αυτής σε μεγάλα ποσοστά δεν εγγυάται την ύπαρξη και πράσινων περιοχών [107]. Παρακάτω (Εικόνα 4.10) φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα για την κατάσταση των ήσυχων περιοχών στην πόλη της Πράγας.



Εικόνα 4.10 Κατάσταση ήσυχων περιοχών στην πόλη της Πράγας

ΠΗΓΗ: [107]

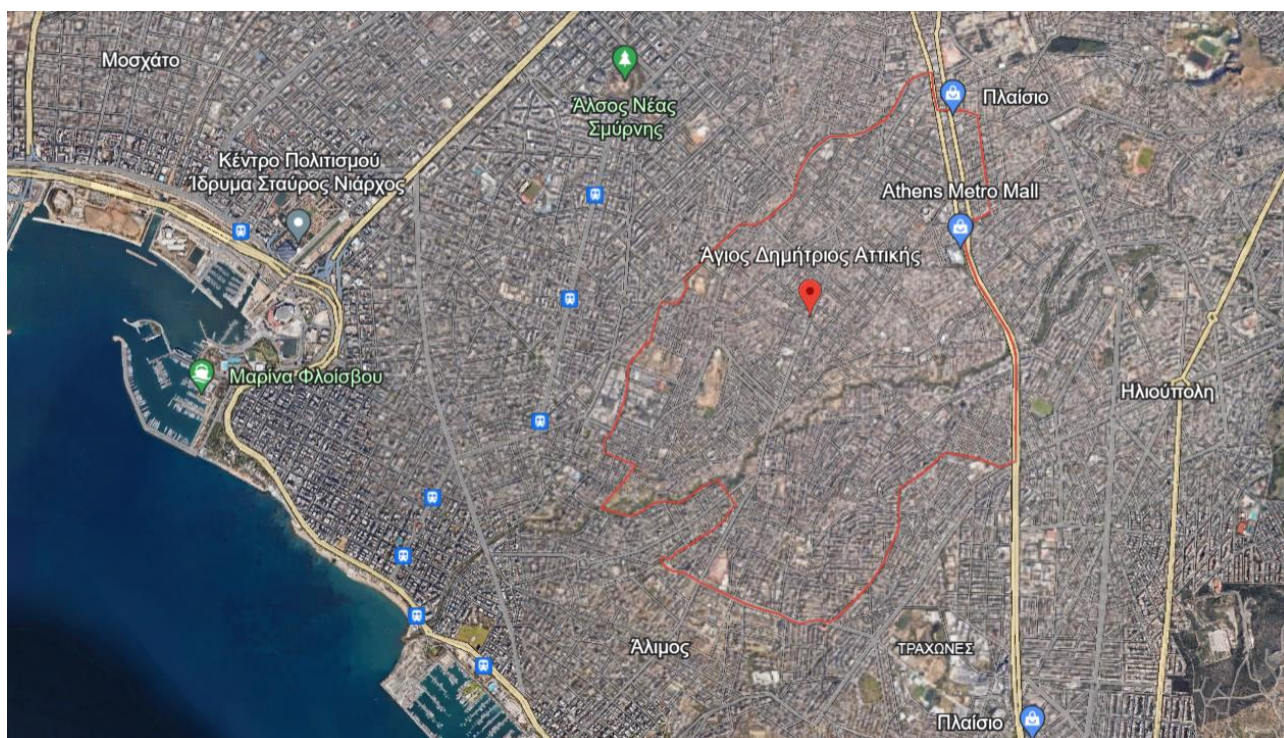
## 5 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στις μελέτες που παρουσιάζονται παραπάνω εξετάστηκαν κατά κύριο λόγο οι επιπτώσεις του θορύβου στην ανθρώπινη υγεία. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η συσχέτισή του με την αυξημένη αρτηριακή πίεση, με την δυσκολία του ύπνου και την έντονη ενόχληση, με προβλήματα στην ακοή, στην ψυχική υγεία και ακόμα και με θέματα κατά την περίοδο του τοκετού. Οι περισσότερες μελέτες είχαν ερευνητικό χαρακτήρα, χωρίς να δίνεται ιδιαίτερη βάση στην λήψη και επεξεργασία μετρήσεων. Σε αυτές όπου έγινε η αντίστοιχη προσπάθεια, το διάστημα για το οποίο έγινε η λήψη των μετρήσεων δεν ήταν αρκετό ώστε να βγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα. Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι μέσα από την μέτρηση των επιπέδων του θορύβου σε περιοχή της Αττικής, να βγουν συμπεράσματα για την σημαντικότητα του φαινομένου της ηχορύπανσης. Για την επίτευξη του στόχου αυτού πάρθηκαν και επεξεργάστηκαν μετρήσεις από τις οποίες εξήχθησαν διαγράμματα που εξηγούν την συμπεριφορά του φαινομένου αυτού.

## 6 Μεθοδολογία

### 6.1 Τοπογραφία περιοχής λήψης μετρήσεων

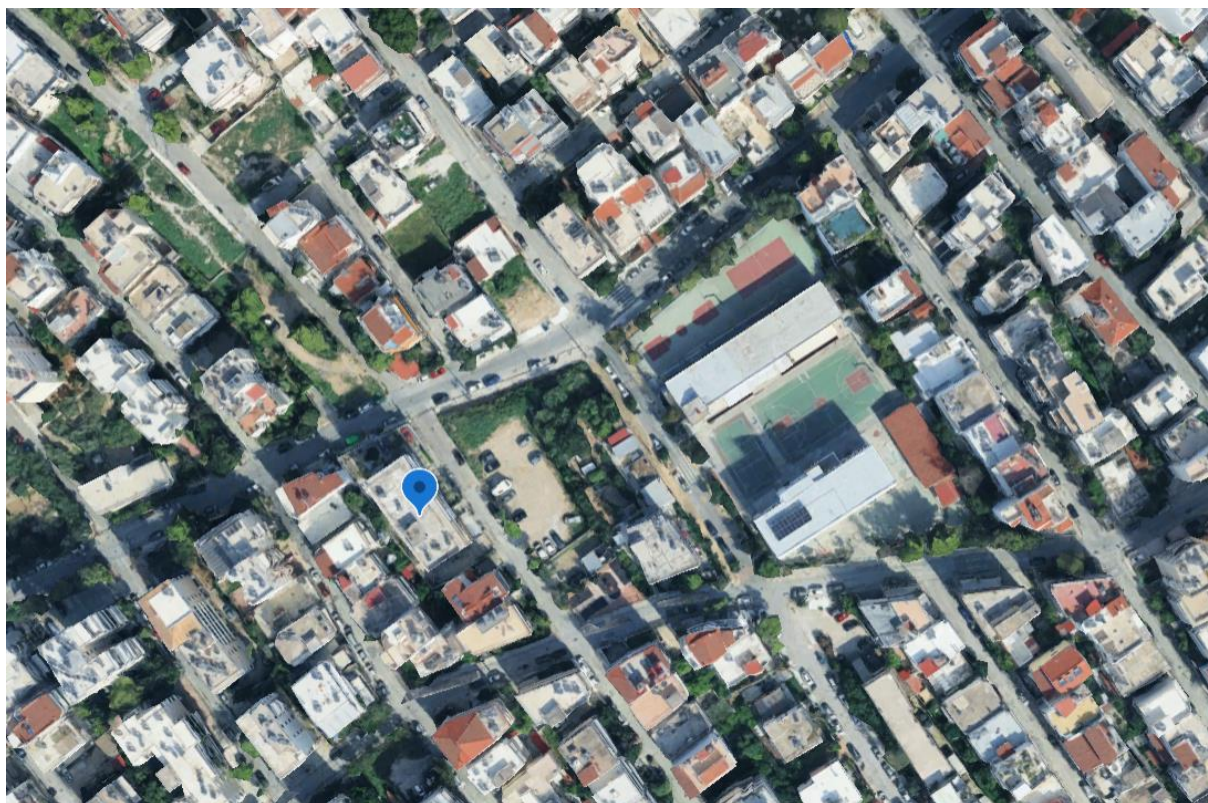
Η περιοχή στην οποία έλαβε μέρος η διαδικασία λήψης μετρήσεων βρίσκεται εντός του νομού Αττικής, και πιο συγκεκριμένα στον Δήμο Αγίου Δημητρίου. Ο συγκεκριμένος δήμος έχει έκταση 5.364 στρέμματα και αποτελείται από 72.000 κατοίκους περίπου, σύμφωνα με στοιχεία του 2021. Παρακάτω (Εικόνα 6.1) φαίνεται μία πανοραμική άποψη των ορίων του Δήμου.



Εικόνα 6.1 Δήμος Αγίου Δημητρίου Αττικής

ΠΗΓΗ: [111]

Η διαδικασία λήψης μετρήσεων έλαβε χώρα στον τέταρτο όροφο πολυκατοικίας, εντός του Δήμου. Το κτίριο αυτό δεν βρίσκεται σε επαφή με τα υπόλοιπα και κοντά του υπάρχει μία παιδική χαρά, καθώς και δύο δημόσια σχολεία, ένα Γυμνάσιο και ένα Δημοτικό. Παρακάτω (Εικόνα 6.2) φαίνεται το αντίστοιχο κτίριο και η θέση στην οποία βρίσκεται.



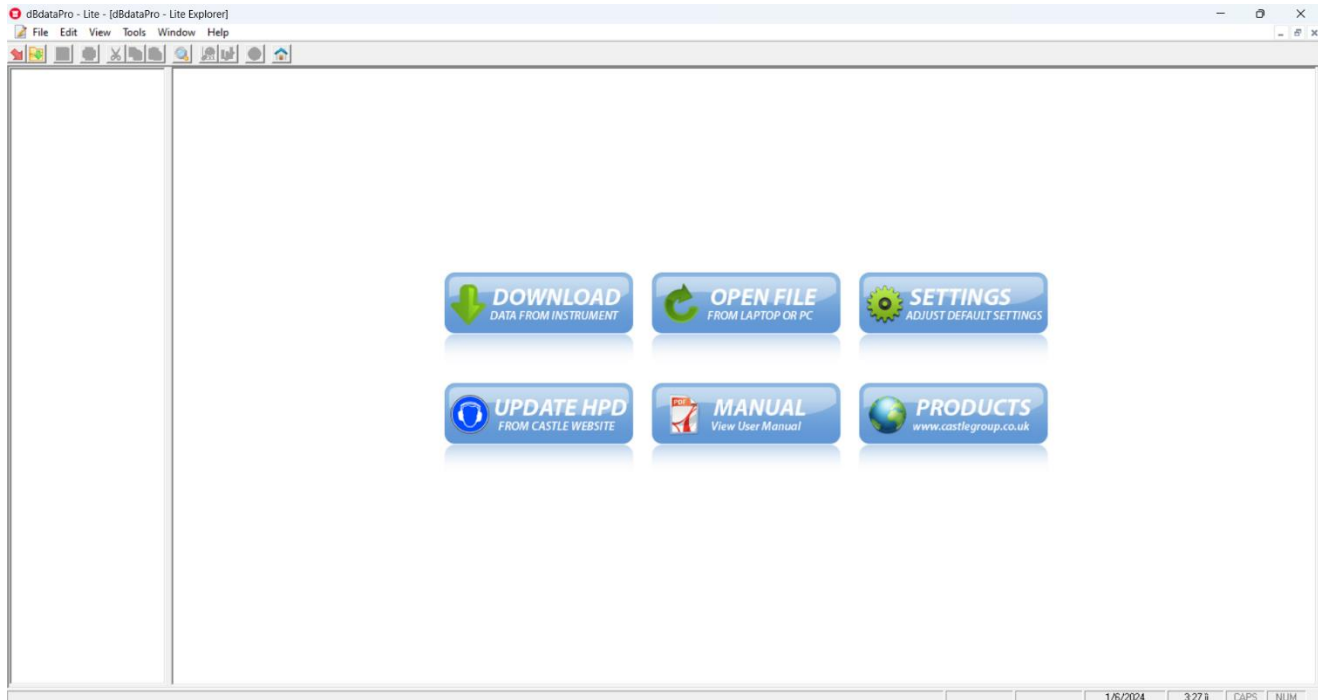
Εικόνα 6.2 Περιοχή λήψης μετρήσεων

ΠΗΓΗ: [111]

## 6.2 Εξοπλισμός και λογισμικό λήψης μετρήσεων

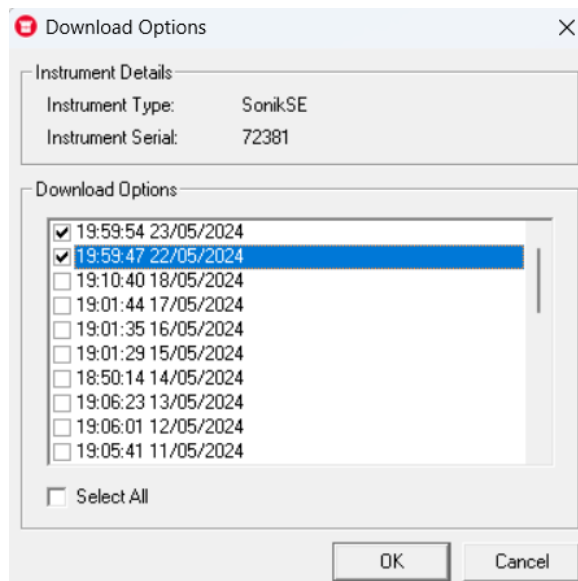
Το όργανο με το οποίο έγινε η λήψη των μετρήσεων είναι το ηχόμετρο Sonik SE της εταιρίας Castlegroup LTD (Εικόνα 3.2). Το συγκεκριμένο όργανο είναι Κλάσης 2 και χρησιμοποιείται για περιβαλλοντικό θόρυβο αλλά και για θόρυβο στο περιβάλλον εργασίας. Το συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνει 6 διαφορετικούς δείκτες μετρήσεων. Αυτοί είναι  $L_{eq}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  και  $L_{90}$ . Επιπλέον, το εύρος συχνότητας που λαμβάνει το μικρόφωνο είναι από 20 έως 8000Hz για την χρήση ως ηχόμετρο κλάσης 2. Μαζί με το ηχόμετρο παραχωρήθηκε και ένα εγχειρίδιο με τις κατάλληλες πληροφορίες για την ρύθμιση των παραμέτρων του μηχανήματος καθώς και μία μονάδα USB η οποία περιείχε το πρόγραμμα για την μεταφορά των αποθηκευμένων μετρήσεων στον υπολογιστή. Το πρόγραμμα αυτό είναι της εταιρίας Castlegroup LTD και ονομάζεται "dBdatapro". Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά των μετρήσεων στον υπολογιστή είναι η Lite.

Στην βαλίτσα, στην οποία περιεχόταν το όργανο, υπήρχε ένα καλώδιο USB, χρήσιμο για την μεταφορά των δεδομένων, καθώς και το όργανο για την βαθμονόμηση του ηχομέτρου. Για την σύνδεση του ηχομέτρου με τον υπολογιστή είναι απαραίτητη η λήψη των σωστών προγραμμάτων οδήγησης USB. Συνήθως τέτοια προγράμματα εγκαθίστανται στον υπολογιστή μαζί με το πρόγραμμα "dBdatapro Lite". Παρακάτω (Εικόνα 6.3), φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του προγράμματος.



Εικόνα 6.3 Επιφάνεια εργασίας προγράμματος dBdatapro Lite

Στο αριστερό μέρος της οθόνης παρουσιάζονται κάθε φορά τα αρχεία που μεταφέρονται. Μετά την σύνδεση του οργάνου εμφανίζεται ένα παράθυρο με όλα τα αποθηκευμένα αρχεία από τα οποία επιλέγονται αυτά που θα μεταφερθούν στον υπολογιστή όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.4 Λίστα μετρήσεων

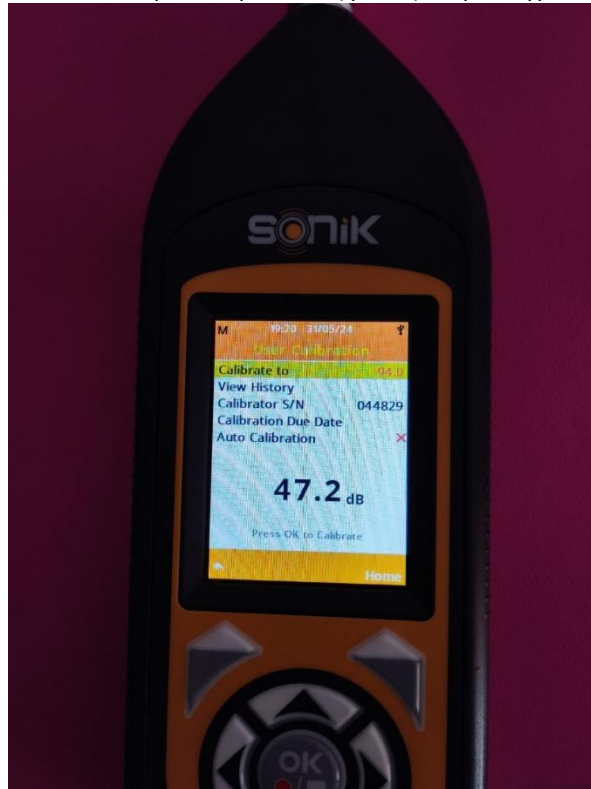
Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση του οργάνου είναι αυτό που φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 6.5).



Εικόνα 6.5 Όργανο βαθμονόμησης ηχομέτρου

**ΠΗΓΗ:** [112]

Για την σωστή βαθμονόμηση του οργάνου ο κάθε χρήστης μεταφέρεται στο αντίστοιχο μενού και εισάγοντας το μικρόφωνο του ηχομέτρου στην υποδοχή του παραπάνω οργάνου γίνεται η βαθμονόμηση. Το όργανο αυτό βγάζει ήχο σταθερής συχνότητας στα 94dB για την διάρκεια ενός λεπτού. Όπως φαίνεται και παρακάτω (Εικόνα 6.6), πατώντας το OK ξεκινάει η διαδικασία βαθμονόμησης και όταν αυτή ολοκληρωθεί εμφανίζεται στην οθόνη του ηχομέτρου αντίστοιχο μήνυμα.



Εικόνα 6.6 Μενού βαθμονόμησης ηχομέτρου

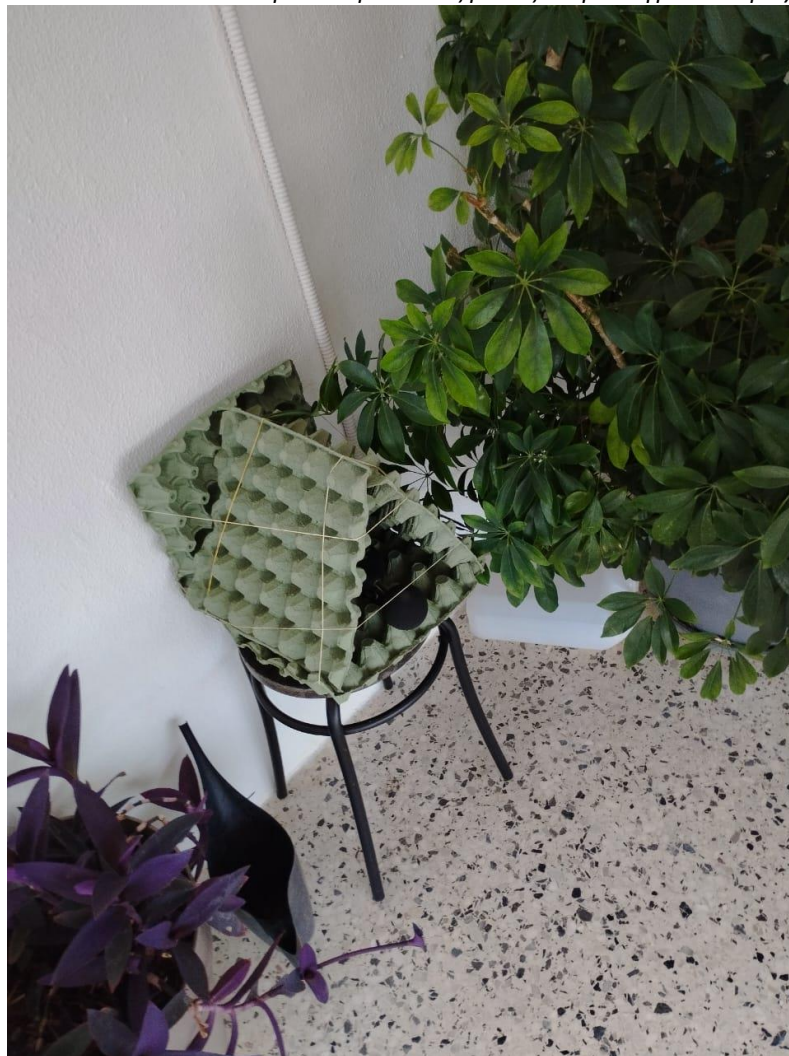
### 6.3 Διαδικασία λήψης μετρήσεων

Η κύρια διαδικασία λήψης μετρήσεων έλαβε χώρα στο μπαλκόνι της κατοικίας που αναφέρθηκε παραπάνω. Το όργανο τοποθετήθηκε κοντά σε πρίζα, ώστε να έχει συνεχή παροχή ρεύματος, και δημιουργήθηκε μία κατασκευή από αυγουλιέρες η οποία είχε ως κύριο σκοπό την αποφυγή αντανακλάσεων του ήχου στον τοίχο ή σε οποιαδήποτε άλλη επιφάνεια, καθώς οι αυγουλιέρες προσφέρουν πολύ καλή ηχομόνωση. Η αντίστοιχη κατασκευή φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 6.7, Εικόνα 6.8, Εικόνα 6.9).



Εικόνα 6.7 Κατασκευή εγκατάστασης ηχομέτρου





Εικόνα 6.8 Κατασκευή εγκατάστασης ηχομέτρου (β)

Η διαδικασία διήρκησε έναν μήνα και το όργανο είχε ρυθμιστεί ώστε να αποθηκεύει μετρήσεις κάθε ένα λεπτό για 24 ώρες. Κάθε 24 ώρες το όργανο ξεκινούσε την διαδικασία από την αρχή. Στο πέρας των 24 ωρών το όργανο συνδεόταν με τον υπολογιστή, μέσα από το καλώδιο USB που προαναφέρθηκε, και γινόταν λήψη των μετρήσεων.

#### 6.4 Παραδοχές

Επειδή η τοποθεσία καθώς και η κατασκευή του κτιρίου από το οποίο λήφθηκαν οι μετρήσεις δεν ικανοποιούσε κάποιες από τις απαιτήσεις της Υπουργικής Απόφασης 211773 [80], οι οποίες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.1.2, κρίθηκε αναγκαίο η διαδικασία λήψης μετρήσεων να λάβει χώρα με κάποιες παραδοχές. Πιο συγκεκριμένα, το μπαλκόνι στο οποίο εγκαταστάθηκε το ηχώμετρο δεν κάλυπτε το κριτήριο της ελάχιστης απόστασης από ηχο-ανακλαστικές επιφάνειες, η απόσταση από τον τοίχο ήταν πολύ μικρότερη των δύο μέτρων. Επιπλέον, το σπίτι από το οποίο πάρθηκαν οι μετρήσεις βρίσκεται στον τέταρτο όροφο μιας πολυκατοικίας, επομένως το επιθυμητό ύψος για την λήψη μετρήσεων ξεπεράστηκε. Για τρεις ημέρες από τις συνολικές που λήφθηκαν οι μετρήσεις (20/5, 21/5, 22/5) γύρω από την συγκεκριμένα πολυκατοικία γίνονταν έργα, με αποτέλεσμα τα επίπεδα θορύβου να ήταν υψηλότερα από το συνηθισμένο και να εντοπίζονται πολύ περισσότερες υπερβάσεις ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024 των ορίων μέσα στην ημέρα. Για αυτόν τον λόγο οι συγκεκριμένες ημέρες δεν συμπεριελήφθησαν στην τελική εξαγωγή συμπερασμάτων για την περιοχή αυτή.

## 7 Επεξεργασία Μετρήσεων

Μετά το στάδιο της λήψης των μετρήσεων ακολούθησε η διαδικασία επεξεργασίας αυτών. Αρχικά, μετατράπηκαν τα αρχεία από xml σε excel για την διευκόλυνση της επεξεργασίας τους. Ο αρχικός πίνακας που δημιουργήθηκε αποτελούταν από 8 στοιχεία τα οποία ήταν η ημερομηνία (Date), η ακριβής ώρα (Time), τα επίπεδα του θορύβου (Leq), τα μέγιστα και ελάχιστα επίπεδα θορύβου (Lmax, Lmin) καθώς και δείκτες ποσοστιαίας μέτρησης του θορύβου (L10, L50, L90) οι οποίοι χρησίμευσαν στον υπολογισμό του επιπέδου ηχορύπανσης (Noise Pollution Level) και του Δείκτη Κυκλοφοριακού Θορύβου (Traffic Noise Index), χρησιμοποιώντας τους τύπους που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3. Επίσης προστέθηκαν οι τιμές των ορίων του θορύβου για κάθε χρονική στιγμή σύμφωνα με την αντίστοιχη οδηγία που φαίνεται στο Κεφάλαιο 3.3, καθώς και ο αέριος αριθμός των ωρών μέσα στην ημέρα και οι ημέρες της εβδομάδας που αντιστοιχούν στην κάθε ημερομηνία. Ο τελικός πίνακας που διαμορφώθηκε φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 7.1).

Date	Time	Integer Hours	Days	LAeq	Lmin	Lmax	Lnight/Lday	L10	L50	L90	NPL	TNI
26/04/2024	00:00:09	0	Παρασκευή	48,21	37,97	55,54	50,00	63	57	50	72	72
26/04/2024	00:01:09	0	Παρασκευή	40,02	38,04	45,66	50,00	63	61	59	65	45
26/04/2024	00:02:09	0	Παρασκευή	39,55	37,57	44,52	50,00	65	61	56	71	62
26/04/2024	00:03:09	0	Παρασκευή	39,26	37,32	48,36	50,00	63	56	48	74	78
26/04/2024	00:04:09	0	Παρασκευή	44,89	37,22	53,75	50,00	56	53	49	60	47
26/04/2024	00:05:09	0	Παρασκευή	44,45	37,44	52,69	50,00	57	53	48	63	54
26/04/2024	00:06:09	0	Παρασκευή	39,32	37,15	49,81	50,00	58	54	50	63	52
26/04/2024	00:07:09	0	Παρασκευή	49,44	37,15	58,91	50,00	60	57	53	64	51
26/04/2024	00:08:09	0	Παρασκευή	45,21	37,31	56,1	50,00	65	59	53	73	71
26/04/2024	00:09:09	0	Παρασκευή	50,71	37,45	62,26	50,00	57	53	49	62	51
26/04/2024	00:10:09	0	Παρασκευή	50,93	40,91	60,52	50,00	58	54	49	64	55
26/04/2024	00:11:09	0	Παρασκευή	47,94	38,03	59,95	50,00	52	49	46	56	40
26/04/2024	00:12:09	0	Παρασκευή	45,87	38,04	52,69	50,00	58	53	48	65	58
26/04/2024	00:13:09	0	Παρασκευή	45,12	37,22	54,28	50,00	62	60	57	65	47
26/04/2024	00:14:09	0	Παρασκευή	46,56	38,75	55,25	50,00	62	59	55	66	53
26/04/2024	00:15:09	0	Παρασκευή	45,91	37,67	53,54	50,00	61	55	49	69	67
26/04/2024	00:16:09	0	Παρασκευή	48,27	37,55	61,68	50,00	53	50	47	57	41
26/04/2024	00:17:09	0	Παρασκευή	42,81	37,24	50,39	50,00	54	50	46	59	48
26/04/2024	00:18:09	0	Παρασκευή	39,06	36,97	45,49	50,00	60	54	48	68	66
26/04/2024	00:19:09	0	Παρασκευή	38,09	37,14	45,11	50,00	61	57	52	67	58
26/04/2024	00:20:09	0	Παρασκευή	42,46	37,6	51,5	50,00	62	54	46	74	80
26/04/2024	00:21:09	0	Παρασκευή	41,75	37,63	51,12	50,00	63	54	45	77	87
26/04/2024	00:22:09	0	Παρασκευή	39,77	37,3	50,2	50,00	57	52	47	64	57
26/04/2024	00:23:09	0	Παρασκευή	44,62	37,22	53,43	50,00	65	58	50	76	80
26/04/2024	00:24:09	0	Παρασκευή	49,99	39,46	61,9	50,00	60	53	46	70	72
26/04/2024	00:25:09	0	Παρασκευή	47,18	38,72	54,88	50,00	60	54	47	69	69
26/04/2024	00:26:09	0	Παρασκευή	52,77	38,76	62,78	50,00	60	56	51	66	57
26/04/2024	00:27:09	0	Παρασκευή	39,67	37,14	57,59	50,00	57	53	48	63	54

Πίνακας 7.1 Πίνακας επεξεργασίας μετρήσεων

Στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο δείκτης  $L_{den}$  με βάση τον τύπο του Κεφαλαίου 3.2, αφού πρώτα υπολογίστηκαν οι επί μέρους δείκτες  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  ως οι μέσοι όροι για την περίοδο της ημέρας (07:00-19:00), του απογεύματος (19:00-23:00) και της νύκτας (23:00-07:00). Παρακάτω φαίνεται ένα αντίστοιχο παράδειγμα υπολογισμού για μία τυχαία ημέρα:

Έστω η ωρολογιακή ημέρα 26/04/2024. Οι τιμές  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  είναι 56,66 dB, 54,82 dB και 44,03 dB αντίστοιχα. Επομένως μέσα από τον τύπο η τιμή  $L_{den}$  είναι:

$$L_{den} = 10 * \log_{10} \left( \frac{12}{24} * 10^{\frac{56,66}{10}} + \frac{4}{24} * 10^{\frac{54,82+5}{10}} + \frac{8}{24} * 10^{\frac{44,03+10}{10}} \right) = 56,78 \text{ dB}$$

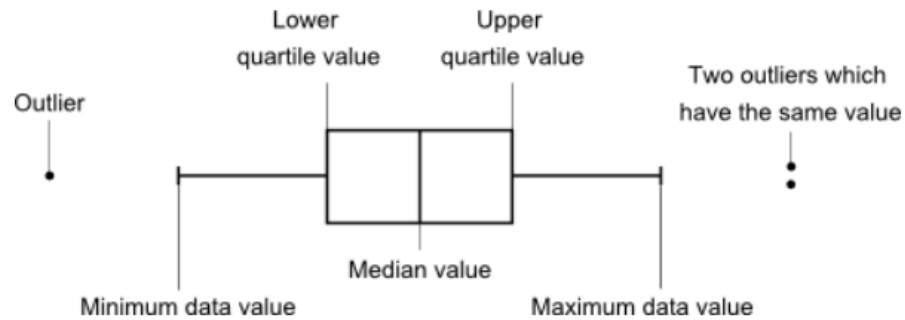
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για όλες τις ημέρες που ελήφθησαν μετρήσεις προκύπτει ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 7.3) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα και την οριακή τιμή του δείκτη  $L_{den}$  (70 dB).

Date	Lday (dB)	Levening (dB)	Lnight (dB)	Lden (dB)	Όρια Lden (dB)
26/4/2024	56,67	54,47	44,02	56,66	70,00
27/4/2024	53,86	53,29	44,82	55,25	70,00
28/4/2024	52,14	53,61	44,66	54,78	70,00
29/4/2024	55,37	53,75	47,55	56,87	70,00
30/4/2024	54,73	53,59	45,32	55,83	70,00
1/5/2024	53,97	55,28	45,65	56,28	70,00
2/5/2024	53,70	53,63	45,59	55,56	70,00
3/5/2024	52,37	51,96	44,75	54,29	70,00
4/5/2024	51,25	51,70	45,48	54,19	70,00
5/5/2024	56,08	52,86	44,87	56,10	70,00
6/5/2024	49,92	49,35	43,32	52,20	70,00
7/5/2024	50,76	52,26	43,65	53,53	70,00
8/5/2024	52,93	52,89	45,14	54,91	70,00
9/5/2024	53,46	52,92	44,06	54,76	70,00
10/5/2024	52,32	53,12	46,73	55,44	70,00
11/5/2024	53,59	54,38	46,44	56,08	70,00
12/5/2024	48,74	50,94	50,84	57,05	70,00
13/5/2024	52,29	54,29	50,07	57,52	70,00
14/5/2024	58,48	51,20	43,75	57,00	70,00
15/5/2024	57,51	52,42	44,66	56,73	70,00
16/5/2024	57,11	52,86	45,16	56,70	70,00
17/5/2024	57,30	52,83	44,91	56,74	70,00
18/5/2024	53,63	51,99	44,94	54,81	70,00
19/5/2024	51,36	53,28	44,55	54,40	70,00
20/5/2024	58,30	53,94	46,59	57,93	70,00
21/5/2024	59,98	53,02	44,20	58,40	70,00
22/5/2024	61,48	55,88	45,52	60,11	70,00
23/5/2024	54,57	55,21	44,26	56,10	70,00
24/5/2024	58,45	54,17	44,51	57,65	70,00
25/5/2024	57,99	53,70	45,36	57,43	70,00
26/5/2024	50,54	54,17	44,56	54,62	70,00

Πίνακας 7.2 Πίνακας τελικών τιμών  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  και  $L_{den}$

Με σκοπό την κατανόηση του φαινομένου της ηχορύπανσης για το συγκεκριμένο μέρος, σχεδιάστηκαν διαγράμματα Box and Whiskers. Τα διαγράμματα αυτά, γνωστά και ως boxplot, αποτελούν την γραφική αναπαράσταση ενός ευρύτερου συνόλου δεδομένων. Με την δημιουργία ενός Box and Whisker φαίνεται άμεσα ο τρόπος κατανομής των δεδομένων καθώς και η παρουσία πιθανών ακραίων τιμών. Ένα διάγραμμα boxplot, αποτελείται από διάφορες γραμμές, με την κάθε ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

μία από αυτές να υποδηλώνει και κάτι διαφορετικό. Πιο συγκεκριμένα, η γραμμή που περνάει κάθετα από το πλαίσιο, είναι η διάμεση τιμή, η οποία υποδηλώνει πως το 50% των συνολικών μετρήσεων κατανέμεται δεξιά και αριστερά από αυτήν. Το δεξί και το αριστερό άκρο του πλαισίου δείχνουν το άνω και κάτω τεταρτημόριο αντίστοιχα και έξω από αυτά κατανέμεται το 25% των συνολικών τιμών. Οι δύο συνεχείς γραμμές έξω από το πλαίσιο υποδηλώνουν την ανώτερη και την κατώτερη τιμή, ενώ τα μεμονωμένα σημεία δείχνουν τις πιθανές ακραίες τιμές που εμφανίστηκαν [113]. Παρακάτω (Εικόνα 7.1) φαίνεται η αναπαράσταση ενός διαγράμματος box and whisker.



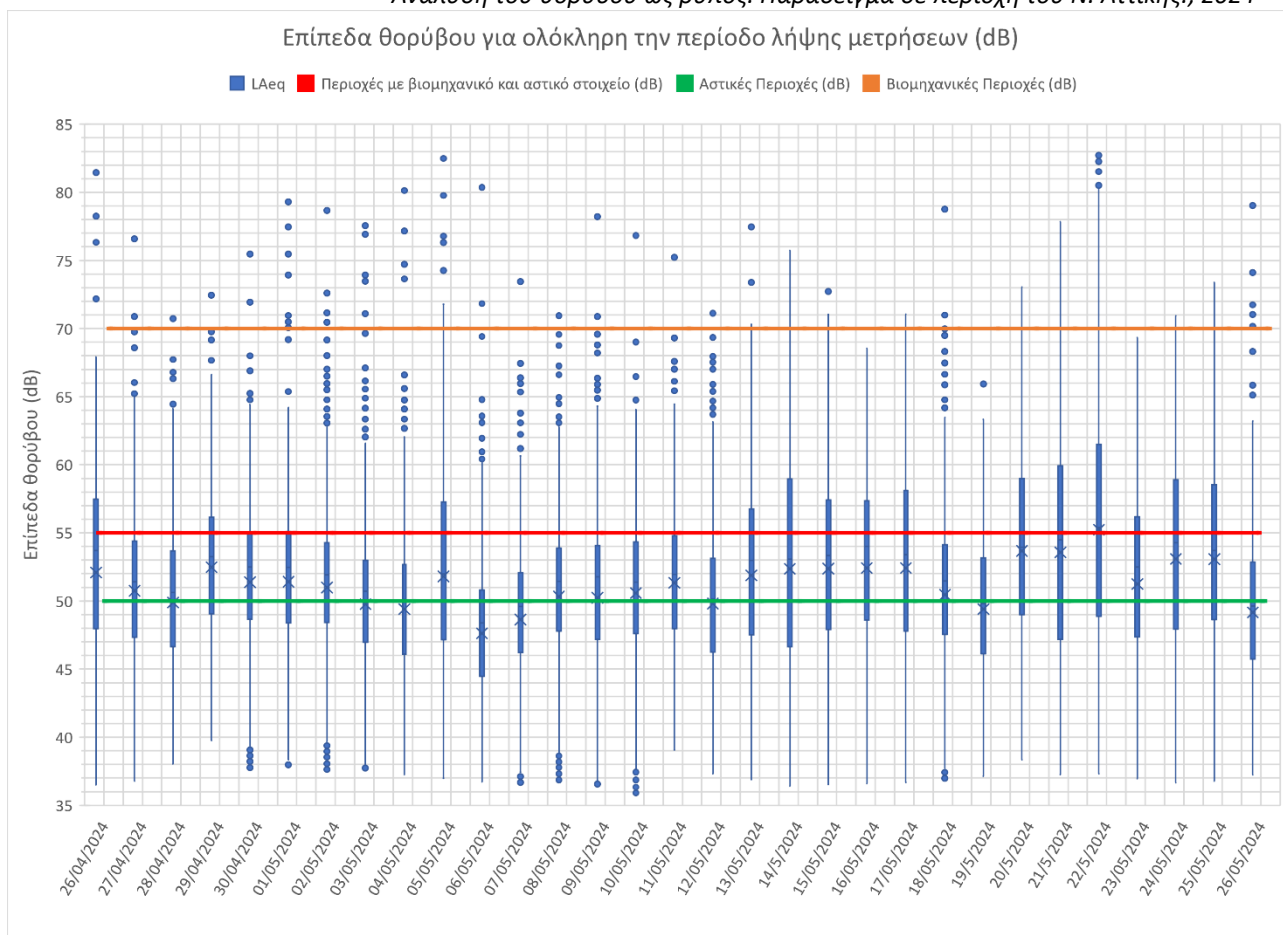
Εικόνα 11 Αναπαράσταση Box and Whisker γραφήματος

ΠΗΓΗ: [113]

Τέλος, σχεδιάστηκαν 7 διαγράμματα τα οποία στην συνέχεια μελετήθηκαν με σκοπό την κατάληξη σε κάποια συμπεράσματα για την κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή αυτή. Τα διαγράμματα αυτά δείχνουν τα επίπεδα του θορύβου όπως αυτά μετρήθηκαν από το μηχάνημα για διάφορες χρονικές περιόδους, τα επίπεδα ηχορύπανσης (Noise Pollution Level) καθώς και του δείκτη κυκλοφοριακού θορύβου (Traffic Noise Index). Επιπλέον, σχεδιάστηκαν διαγράμματα που δείχνουν τις συνολικές ώρες που αντιστοιχούν σε υπερβάσεις μέσα στην ημέρα καθώς και τις τιμές  $L_{den}$  για όλες τις ημέρες. Σε όλα τα διαγράμματα φαίνονται και τα αντίστοιχα όρια που έχουν θεσπιστεί από τον Π.Ο.Υ. αλλά και με βάση την Ελληνική νομοθεσία (Αντίστοιχες ΦΕΚ ή Υπουργικές Αποφάσεις).

## 8 Αποτελέσματα-Σχολιασμός

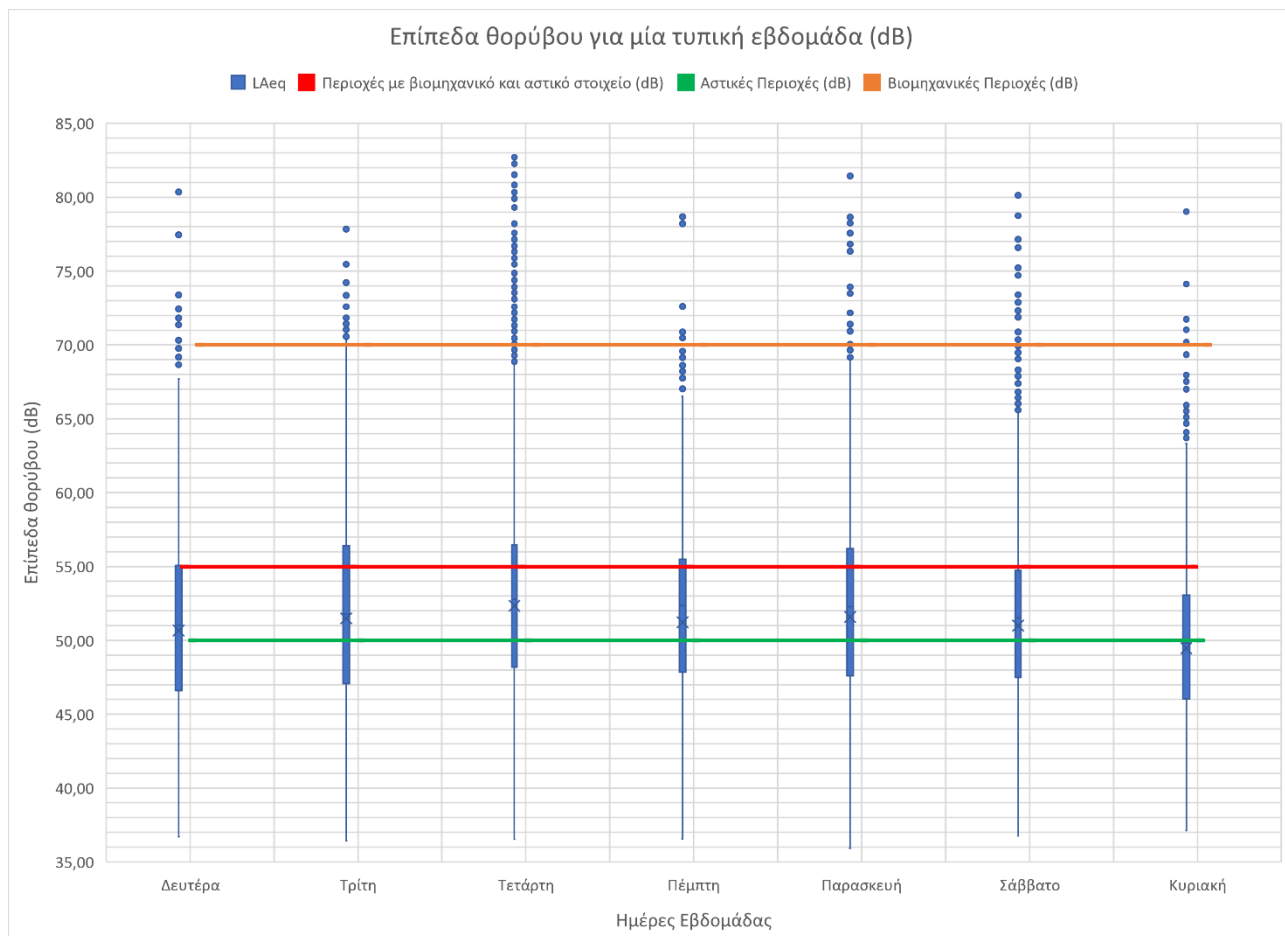
Το πρώτο διάγραμμα (Διάγραμμα 8.1) που σχεδιάστηκε έχει την μορφή Box and Whiskers και παρουσιάζει τις τιμές  $L_{eq}$  (dB) του θορύβου για κάθε ημέρα που ελήφθησαν μετρήσεις. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνονται και τα όρια θορύβου για τις βιομηχανικές, τις αστικές και τις περιοχές που εμφανίζεται και βιομηχανικό και αστικό στοιχείο.



Διάγραμμα 8.1 Επίπεδα θορύβου (Leq) για όλη την περίοδο λήψης μετρήσεων

Με μία πρώτη ματιά φαίνεται ότι η περιοχή που εξετάστηκε στο πείραμα, όχι μόνο ξεπερνά αρκετές φορές τα όρια των αστικών περιοχών, αλλά και τις επόμενες κατηγορίες. Ειδικότερα, μπορεί κανείς να δει ότι πολλές ημέρες οι ακραίες τιμές ξεπερνούν μέχρι και τα όρια της κατηγορίας των βιομηχανικών περιοχών, κάτι που αποδεικνύει το πόσο σημαντικό είναι να μπορεί κανείς να εντάξει τον θόρυβο ως έναν ρύπο που θα ελέγχεται και θα καταγράφεται. Πρόκειται για μία αστική περιοχή καθώς, οι μέσες τιμές κάθε ημέρας κυμαίνονται στο αντίστοιχο όριο των 50dB. Γενικότερα εντοπίζονται αρκετές μεμονωμένες ακραίες τιμές, σε κάθε ημέρα. Τέτοιες τιμές ευθύνονται σε στιγμιαίους δυνατούς ήχους, όπως για παράδειγμα είναι ένα μηχανάκι που περνάει από το σπίτι ή ενδεχομένως κάποιο αυτοκίνητο με μη εργοστασιακή εξάτμιση ή ακόμα και δυνατή μουσική. Επιπλέον, επειδή πρόκειται για πολυκατοικία, υπάρχουν και πιθανές φωνές από τους γείτονες που επηρεάζουν τις μετρήσεις του ηχομέτρου. Στο διάγραμμα παρατηρούνται τρεις ημερομηνίες (20/5, 21/5, 22/5) όπου οι μέσες τιμές του θορύβου είναι υψηλότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες και σε περιπτώσεις ξεπερνάνε ακόμη και τα 55dB (όριο για βιομηχανικές και αστικές περιοχές). Αυτές οι τρεις ημέρες αναφέρθηκαν και στο Κεφάλαιο των παραδοχών και πρόκειται για ημέρες όπου εκτελούνταν έργα στην συγκεκριμένη περιοχή και για αυτόν τον λόγο οι τιμές του θορύβου είναι πιο υψηλές. Οι συγκεκριμένες ημέρες δεν έχουν ληφθεί υπόψη σε διαγράμματα όπου επηρέαζαν τα τελικά αποτελέσματα και θα σχολιασθούν παρακάτω.

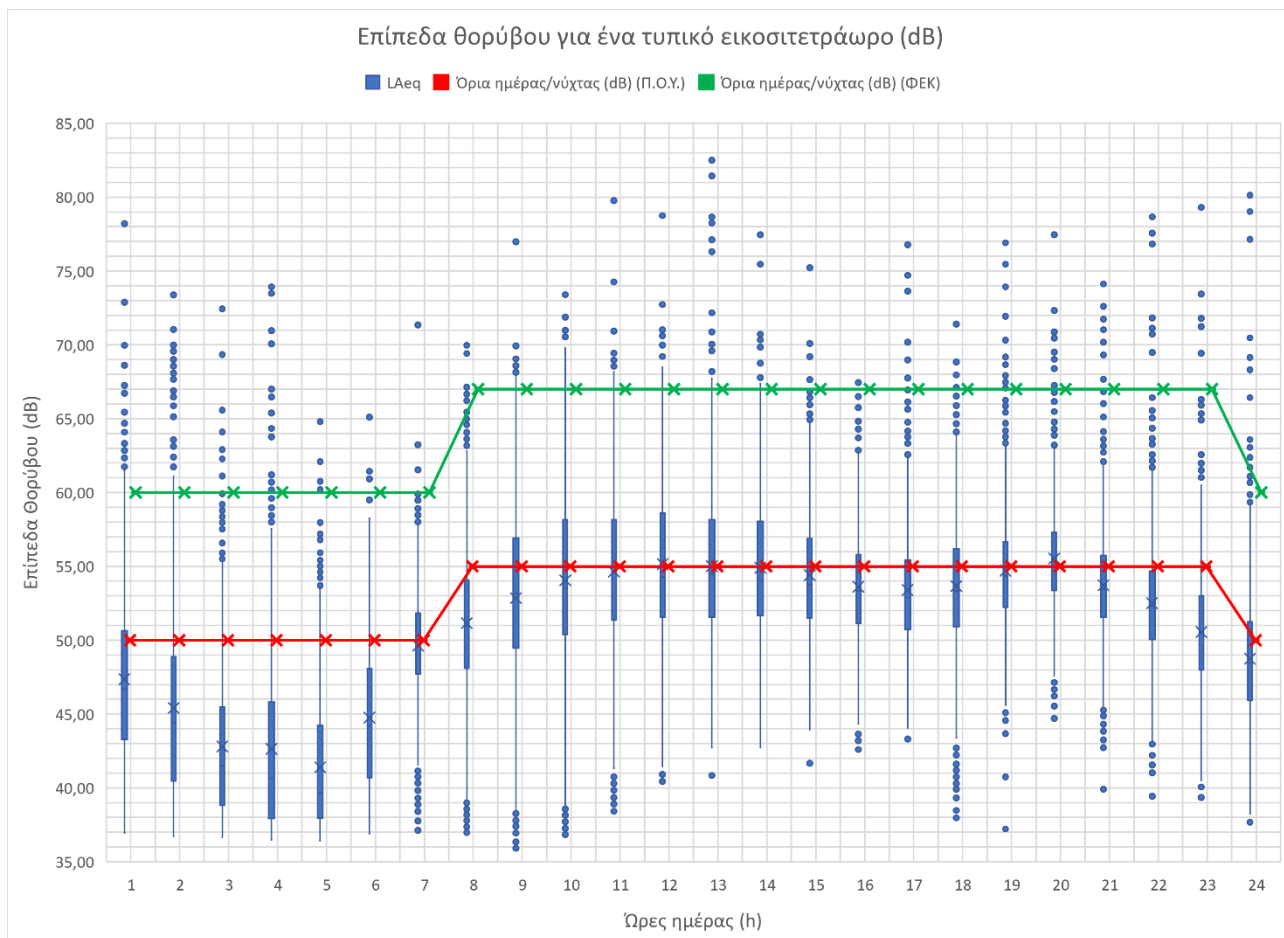
Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 8.2) παρουσιάζονται τα επίπεδα θορύβου για μία τυπική εβδομάδα σε μορφή Box and Whiskers για ακόμη μία φορά.



Διάγραμμα 8.2 Επίπεδα θορύβου για μία τυπική εβδομάδα (dB)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται πως, για μία τυπική εβδομάδα, οι πιο θορυβώδεις ημέρες είναι οι εργάσιμες (Δευτέρα-Παρασκευή), ενώ τα Σαββατοκύριακα τα επίπεδα του θορύβου φαίνεται να παρουσιάζουν μία μικρή πτώση. Ιδιαίτερα την Κυριακή, που είναι ημέρα αργίας, η μέση τιμή είναι μικρότερη από 50 dB κάτι που εξηγείται με το γεγονός πως την συγκεκριμένη ημέρα είναι πολύ μικρότερος ο αριθμός ανθρώπων που εργάζονται. Από τις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας φαίνεται πως τα μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου παρουσιάζονται την Τετάρτη και την Παρασκευή, με την πρώτη ημέρα να έχει και πολλές ακραίες τιμές επιπέδων θορύβου κατά την διάρκεια του ενός μήνα που λήφθηκαν οι μετρήσεις. Ο λόγος που παρατηρούνται αυξημένα επίπεδα θορύβου τις συγκεκριμένες ημέρες είναι η λαϊκή αγορά που οργανώνεται κάθε εβδομάδα σε κοντινή απόσταση από το κτίριο λήψης μετρήσεων. Ο αυξημένος αριθμός ακραίων τιμών εξηγείται από στιγμιαίους θορύβους που εξηγήθηκαν παραπάνω.

Στην συνέχεια σχεδιάστηκε διάγραμμα τυπικού εικοσιτετράωρου, το οποίο δείχνει την διακύμανση του θορύβου μέσα στην ημέρα. Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται τα όρια θορύβου που έχει θεσπίσει ο Π.Ο.Υ. καθώς και αυτά που έχουν θεσπιστεί από διάφορες ΦΕΚ για την Ελλάδα.

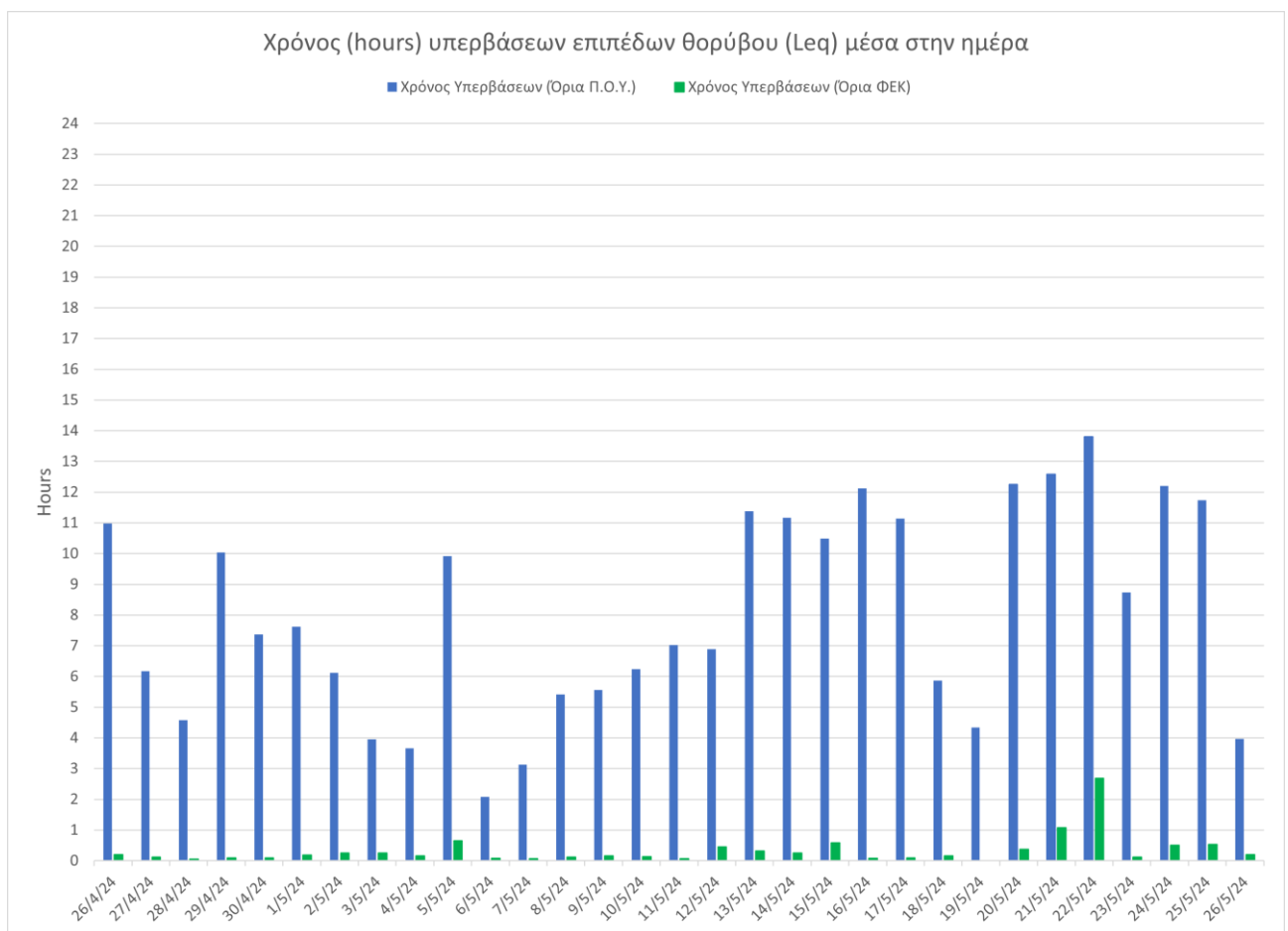


Διάγραμμα 8.3 Επίπεδα θορύβου για ένα τυπικό εικοσιτετράωρο (dB)

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται μια πιο ξεκάθαρη εικόνα για την κατανομή του θορύβου μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο. Όπως είναι φυσιολογικό, τα μικρότερα επίπεδα θορύβου εντοπίζονται τις βραδινές ώρες, και πιο συγκεκριμένα από τις 12:00 π.μ. μέχρι και τις 7 π.μ. Στην συνέχεια, εντοπίζεται αύξηση του θορύβου από τις 8:00 π.μ. η οποία κορυφώνεται στις 10 το πρωί, δηλαδή το χρονικό διάστημα που οι δρόμοι γεμίζουν από ανθρώπους οι οποίοι κατευθύνονται στους χώρους εργασίας τους. Στην συνέχεια, μέχρι και τις 12 παρατηρείται μία σταθερή διακύμανση του θορύβου, όμως από την 1 το μεσημέρι έως και τις 5 το απόγευμα υπάρχει μία μικρή πτώση των επιπέδων του θορύβου. Αυτό είναι κάτι φυσιολογικό, αφού οι περισσότεροι εργαζόμενοι ακόμα βρίσκονται στους χώρους εργασίας τους και από τις 5 το απόγευμα και μετά που γυρίζουν όλοι στις κατοικίες τους φαίνεται μία νέα μικρή αύξηση. Τέλος, από τις 8 το βράδυ μέχρι και τις 12, όπου οι περισσότεροι βρίσκονται στις κατοικίες τους και οι δρόμοι είναι σχεδόν άδειοι, παρατηρείται μία συνεχής πτώση των τιμών του θορύβου. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται επιπλέον και η μεγάλη διαφορά των ορίων που έχουν θεσπιστεί από τον Π.Ο.Υ. και από τα αντίστοιχα ΦΕΚ. Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. ένας μεγάλος αριθμός από τις μετρήσεις ξεπερνάει τα όρια ιδιαίτερα τις ώρες όπου παρατηρείται η ΠΑΔΑ, Τμήμα ΜΗΧ.ΜΗΧ., Διπλωματική Εργασία, Θεόδωρος Καρράς

Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024  
 μεγαλύτερη κινητικότητα στους δρόμους. Αντίθετα, σύμφωνα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί για την Ελλάδα, φαίνεται πως οι τιμές του θορύβου δεν τα ξεπερνάνε σχεδόν καθόλου, με εξαίρεση κάποιες ακραίες τιμές τις ίδιες ώρες που παρατηρείται αυξημένη κίνηση στους δρόμους. Επόμενος, παρατηρείται στο συγκεκριμένο διάγραμμα η μεγάλη διαφορά που έχει η σημασία του ήχου και πώς αυτός αντιμετωπίζεται σε κάθε χώρα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας παρατηρείται σημαντικό πρόβλημα στην συγκεκριμένη περιοχή όσον αφορά τα επίπεδα του θορύβου και την ενόχληση των κατοίκων, ενώ σύμφωνα με τους κανόνες της Ελληνικής κυβέρνησης, το πρόβλημα αυτό δεν υπάρχει σε καμία περίπτωση.

Το επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 8.4) απεικονίζει τις συνολικές υπερβάσεις των ορίων (και με βάση τον Π.Ο.Υ. αλλά και με βάση τις αντίστοιχες ΦΕΚ) μεταφρασμένες σε ώρες.

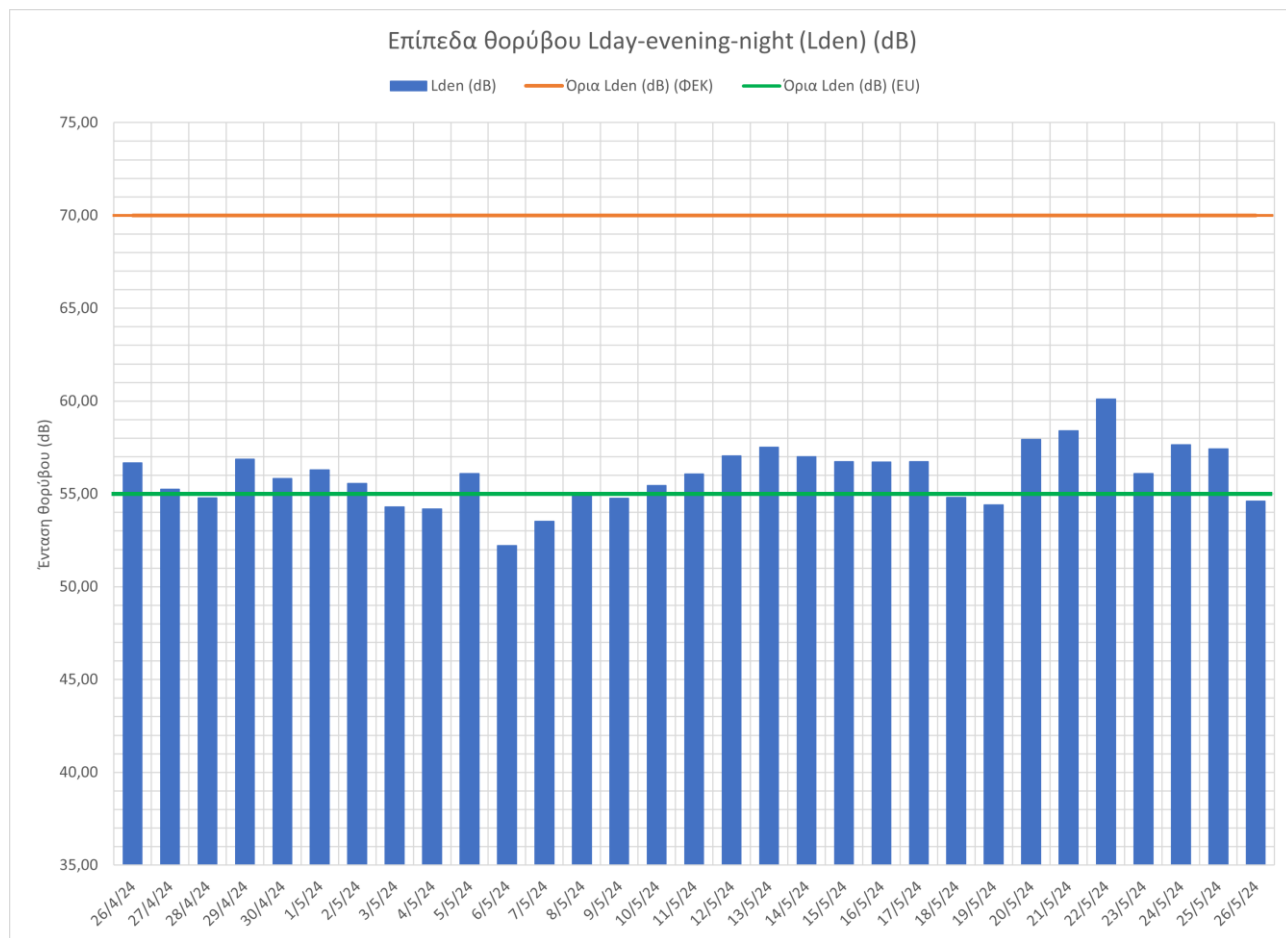


Διάγραμμα 8.4 Χρόνος (Ωρες) συνολικών υπερβάσεων μέσα στην ημέρα

Σε αυτό το διάγραμμα επιβεβαιώνετε η μεγάλη διαφορά που υπάρχει στα θεσπισμένα όρια από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και από την Ελληνική νομοθεσία. Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. ο μέσος όρος συνολικών ωρών υπερβάσεων μέσα στην ημέρα, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι τρεις ημέρες που γίνονταν έργα, είναι οι 7 ώρες από τις συνολικά 24. Αντίθετα, σύμφωνα με τα όρια των αντίστοιχων ΦΕΚ, η αντιστοιχία των ωρών με τις υπερβάσεις αναφέρεται πλέον σε λεπτά μέσα στην ημέρα και πιο συγκεκριμένα στα 28 λεπτά.



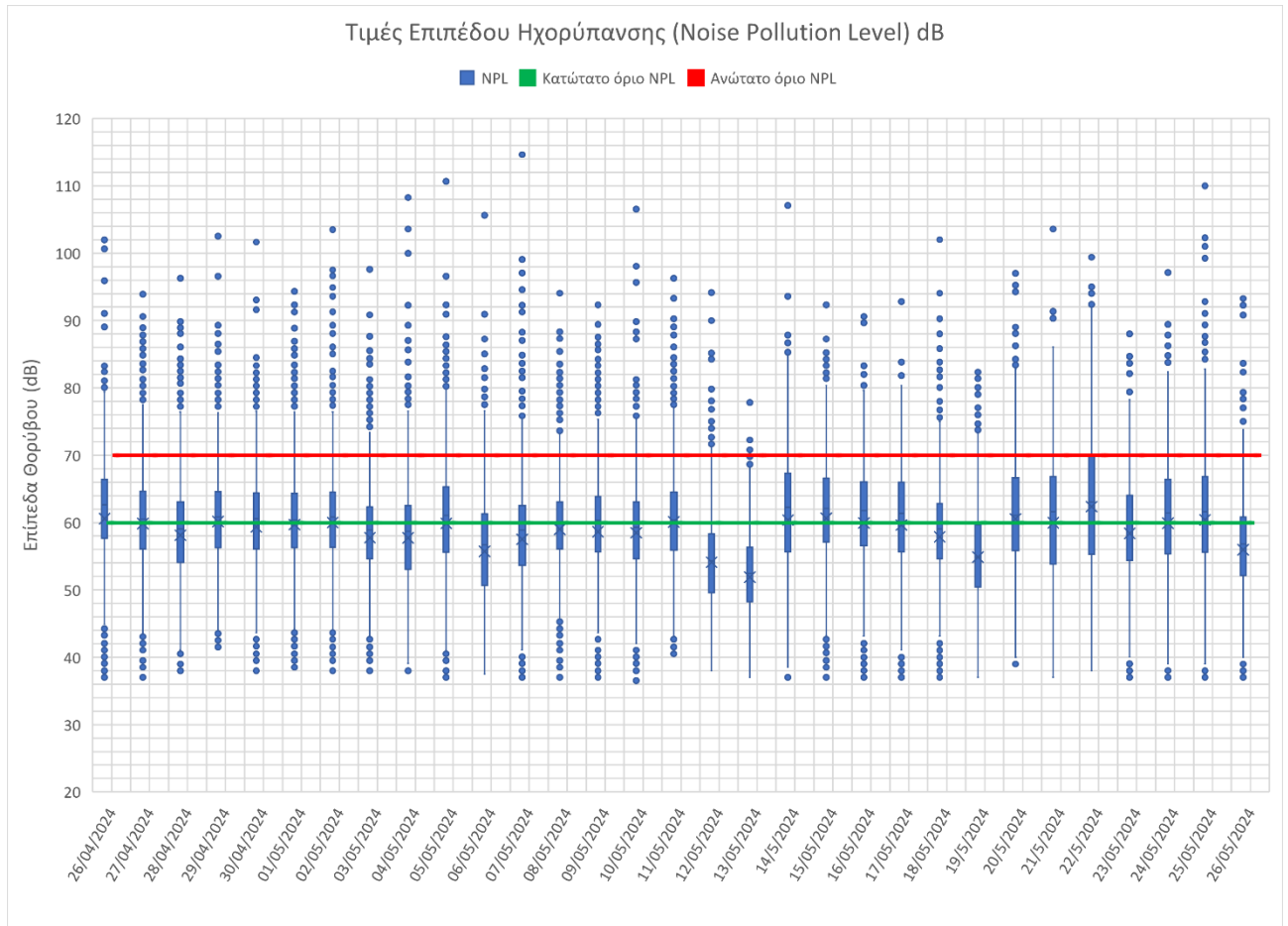
Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 8.5) παρουσιάζεται ο δείκτης ημέρας-βράδυ-νύκτας (Lden) όπως αυτός υπολογίστηκε για κάθε μέρα που λήφθηκαν μετρήσεις, μαζί με τα αντίστοιχα όρια που θεσπίστηκαν μέσα από τις ΦΕΚ καθώς και αυτά που έθεσε η Ευρωπαϊκή Ένωση.



Διάγραμμα 8.5 Επίπεδα θορύβου Lday-evening-night (dB)

Εδώ φαίνεται πως οι τιμές του δείκτη Lden κυμαίνονται σταθερά κοντά στα 55dB, εκτός από τις τρεις ημέρες που γίνονταν έργα στην περιοχή. Στην πλειοψηφία των ημερών, το όριο που θέσπισε η Ευρωπαϊκή Ένωση στα 55 dB ξεπερνιέται, ιδιαίτερα από τις 10/5 μέχρι και τις 17/5 όπου φαίνεται πως τις συγκεκριμένες ημέρες τα επίπεδα του θορύβου ήταν λίγο πιο υψηλά. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη εντοπίζεται στις 6/5 όπου φτάνει τα 52,50 dB. Το αντίστοιχο όριο που έχει θεσπιστεί σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία είναι τα 70 dB. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα η τιμή αυτή δεν εντοπίζεται σε καμία εκ των ημερών που λήφθηκαν μετρήσεις. Επομένως, για ακόμη μία φορά φαίνεται πως τα όρια που θεσπίζονται από οργανισμούς εκτός Ελλάδος έχουν αρκετά μεγάλο χάσμα με τα αντίστοιχα όρια εντός των Ελληνικών συνόρων. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην αντιμετώπιση που έχει ο θόρυβος σαν ρύπος από την Ελληνική επιστημονική κοινότητα, η οποία δεν είναι παρόμοια με αυτήν της Ε.Ε καθώς και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.

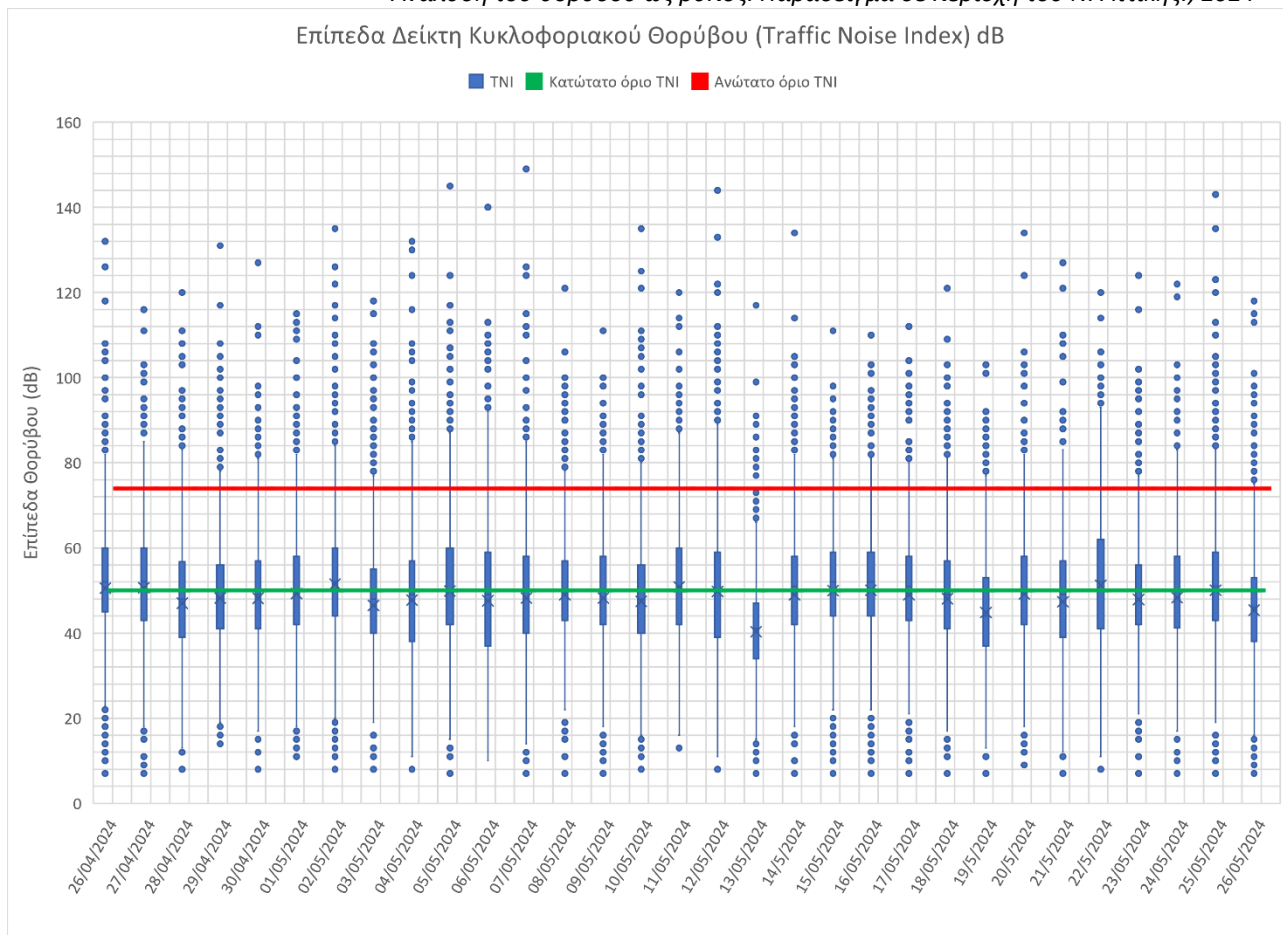
Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 8.6), φαίνονται οι τιμές του δείκτη επιπέδου ηχορύπανσης (Noise Pollution Level) για όλες τις ημέρες που λήφθηκαν μετρήσεις μαζί με τα αντίστοιχα όρια του δείκτη αυτού.



Διάγραμμα 8.6 Τιμές επιπέδου ηχορύπανσης (Noise Pollution Level) για όλες τις ημέρες

Από το διάγραμμα φαίνεται πως τις περισσότερες ημέρες η μέση τιμή των επιπέδων του θορύβου είναι κάτω από τα 60 dB κάτι που σημαίνει πως η ηχορύπανση ήταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Οι μόνες ημέρες όπου φαίνεται η ηχορύπανση να γίνεται πιο ενοχλητική είναι οι τρεις ημέρες όπου γίνονταν έργα στην περιοχή όπως έχει προαναφερθεί. Με εξαίρεση αυτές τις ημέρες, το διάστημα όπου εντοπίζεται η μεγαλύτερη ηχορύπανση είναι τις ημερομηνίες 14/5 έως και 17/5, καθώς και υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης εντοπίζεται στις 24/5 και 25/5. Βέβαια σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνιέται το ανώτατο όριο ηχορύπανσης. Επομένως, τα επίπεδα ηχορύπανσης στην συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζονται ως χαμηλά επί το πλείστον, με εξαίρεση κάποια διαστήματα όπου η ηχορύπανση γίνεται πιο έντονη χωρίς όμως να ελλοχεύει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία.

Στο τελευταίο διάγραμμα (Διάγραμμα 8.7) που σχεδιάστηκε φαίνεται ο Δείκτης Κυκλοφοριακού Θορύβου (Traffic Noise Index) μαζί με τα αντίστοιχα όρια που τον συνοδεύουν.



Διάγραμμα 17 Επίπεδα Δείκτη Κυκλοφοριακού Θορύβου (TNI) για όλες τις ημέρες

Όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα έτσι και εδώ φαίνεται πως οι μέσες τιμές των περισσότερων από τις ημέρες που λήφθηκαν μετρήσεις είναι κάτω από το κατώτατο όριο του δείκτη. Γενικότερα, φαίνεται πως η συγκεκριμένη περιοχή είναι ήσυχη χωρίς ιδιαίτερες ενοχλήσεις ακόμα και τις ημέρες που γίνονταν έργα. Η μέρα με την λιγότερη ενόχληση είναι στις 13/5 όπου η μέση τιμή δεν ξεπερνάει τα 40 dB. Αντίθετα, το διάστημα όπου φαίνεται να υπάρχουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ενόχλησης είναι από τις 14/5 έως και τις 17/5, παρόμοιο δηλαδή με το διάστημα όπου παρατηρήθηκαν αυξημένα επίπεδα ηχορύπανσης. Τα δύο τελευταία διαγράμματα εμφανίζουν μία σχετικότητα μεταξύ τους, κάτι αρκετά φυσιολογικό, αφού από την στιγμή που εντοπίζονται υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης είναι λογικό να εμφανίζονται και υψηλά επίπεδα ενόχλησης.

## 9 Συμπεράσματα

Μέσα από την παρατήρηση και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα για την συγκεκριμένη περιοχή αλλά και για το φαινόμενο της ηχορύπανσης γενικότερα.

- Μία πρώτη παρατήρηση είναι η διαφορά που υπάρχει στα όρια του θορύβου σε σχέση με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (50dB και 55dB) και τα αντίστοιχα όρια που έχουν θεσπιστεί σύμφωνα με τα Ελληνικά δεδομένα (60dB και 67dB). Σε ολόκληρο τον Κόσμο,

*Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024*

κάθε χώρα ακολουθεί τους δικούς της κανόνες οι οποίοι ταιριάζουν με τις ιδεολογίες των πολιτών της. Οι παγκόσμιοι φορείς με την σειρά τους, όπως είναι ο Π.Ο.Υ., προσπαθούν να απευθύνονται σε όλες τις χώρες με τις αντίστοιχες αποφάσεις που λαμβάνουν και για αυτόν τον λόγο συνήθως τα όρια που θέτουν δεν αποτελούν έναν κανόνα που πρέπει να ακολουθείται κατά γράμμα αλλά μία πρόταση για τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να κινηθεί κάθε χώρα. Με την ίδια λογική, τα όρια θορύβου που έχει ορίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, αποτελούν μία αρχική ιδέα πάνω στην οποία αναπτύσσει η κάθε χώρα την δικιά της νομοθεσία και τα δικά της όρια ανάλογα με τις ανάγκες και την ελαστικότητα που επιθυμεί να εφσρμόσει. Για αυτόν τον λόγο εντοπίζεται αυτή η διαφορά στα όρια του θορύβου.

- Η περιοχή στην οποία έγινε το πείραμα (εντός του δήμου Αγίου Δημητρίου στον νομό Αττικής), φαίνεται να μην μπορεί να χαρακτηριστεί σύμφωνα με την ηχορύπανση με μεγάλη σαφήνεια. Λαμβάνοντας υπόψη τα όρια που έχουν θεσπιστεί σύμφωνα με τα Ελληνικά δεδομένα (60dB την νύκτα και 67dB την ημέρα), αυτά δεν υπερβαίνονται σχεδόν καθόλου στα όρια ενός τυπικού εικοσιτετράωρου, με εξαίρεση κάποιες ακραίες τιμές, που προέρχονται από διερχόμενα μηχανάκια χωρίς εργοστασιακή εξάτμιση καθώς και από οχήματα με πολύ υψηλά επίπεδα μουσικής. Η ίδια κατάσταση παρατηρείται σε όλα τα διαγράμματα που σχεδιάστηκαν με τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ελληνική νομοθεσία να υπερβαίνονται σε πολύ λίγες περιπτώσεις. Αντίθετα, όσον αφορά την κατάσταση σύμφωνα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, η κατάσταση φαίνεται να είναι αρκετά σοβαρή, ίσως ακόμα και επικίνδυνη για κάποιον που μένει μόνιμα στην συγκεκριμένη περιοχή, καθώς τα όρια του Π.Ο.Υ. (50dB την νύκτα και 55dB την ημέρα) φαίνεται πως ξεπερνιούνται στο μεγαλύτερο διάστημα του συνολικού χρόνου που ελήφθησαν οι μετρήσεις. Κάτι παρόμοιο εντοπίζεται σε όλα τα διαγράμματα όπου παρουσιάζονται όρια και από τους δύο φορείς. Επομένως συμπεραίνει κανείς πως δεν γίνεται να χαρακτηριστεί η συγκεκριμένη περιοχή ως ήσυχη καθώς το χάσμα ανάμεσα στα επιτρεπόμενα όρια είναι αρκετά μεγάλο. Όσον αφορά τους δύο δείκτες που εξετάζουν την ηχορύπανση και τον κυκλοφοριακό θόρυβο (Traffic Noise Index & Noise Pollution Level), τα όρια που εμφανίζονται δεν έχουν αντληθεί από κάποια νομοθεσία αλλά προέκυψαν από αντίστοιχη μελέτη πάνω σε αυτούς. Επομένως, είναι απαραίτητη η περαιτέρω εξέταση των δεικτών αυτών με σκοπό την τελική εξαγωγή των ανώτατων και κατώτατων ορίων.
- Το θέμα της ηχορύπανσης και του θορύβου στην Ελλάδα δεν αντιμετωπίζεται με την απαιτούμενη προσοχή, με αποτέλεσμα την απουσία εμπειριστατωμένης άποψης επί του θέματος. Αντιθέτως, άλλοι ρύποι όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα ή τα μικροσωματίδια που αποτελούν τον νούμερο ένα ρύπο παγκοσμίως, έχουν εξετασθεί σε

*Ανάλυση του θορύβου ως ρύπος. Παράδειγμα σε περιοχή του Ν. Αττικής., 2024*  
πολύ μεγάλο βάθος από την Ελληνική επιστημονική κοινότητα. Η ήδη υπάρχουσα νομοθεσία εφαρμόζει ένα δίκτυ προστασίας απέναντι σε αυτόν τον ρύπο, όμως δεν είναι αρκετή. Απαιτείται η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας ζωής σε όλο και περισσότερες Ελληνικές πόλεις που πάσχουν από αυτό το πρόβλημα.

Συνοψίζοντας, η αντιμετώπιση της ηχορύπανσης απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση που να συνδυάζει νομοθετικές μεταρρυθμίσεις, εκστρατείες ενημέρωσης, κίνητρα για την υιοθέτηση ησυχότερων τεχνολογιών και συνεργασία μεταξύ των διαφόρων φορέων. Μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να βελτιώσουμε την ποιότητα ζωής των πολιτών και να προστατεύσουμε το περιβάλλον. Ειδικότερα, τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εκθειάζουν αυτό το σημαντικό κενό στην περιβαλλοντική πολιτική της Ελλάδας, δηλαδή την έλλειψη επαρκούς αντιμετώπισης της ηχορύπανσης.

Τέλος, ακολουθούν ορισμένες συγκεκριμένες προτάσεις για την ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών:

#### **Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του Κοινού:**

- **Εκστρατείες ενημέρωσης:** Οργάνωση εκστρατειών ενημέρωσης στα σχολεία, τους χώρους εργασίας και τα μέσα μαζικής επικοινωνίας, με στόχο να κατανοήσει το κοινό τις επιπτώσεις της ηχορύπανσης στην υγεία και την ποιότητα ζωής.
- **Συμμετοχικές διαδικασίες:** Ενθάρρυνση της συμμετοχής των πολιτών στη διαμόρφωση των πολιτικών για την ηχορύπανση μέσω διαβουλεύσεων και ανοιχτών συζητήσεων.
- **Εκπαιδευτικά προγράμματα:** Ενσωμάτωση της ηχορύπανσης στα σχολικά προγράμματα, ώστε οι νέες γενιές να αναπτύξουν περιβαλλοντική συνείδηση από μικρή ηλικία.

#### **Νομοθετικές και Κανονιστικές Μεταρρυθμίσεις**

- **Εναρμόνιση με πρότυπα ΠΟΥ:** Επικαιροποίηση της ελληνικής νομοθεσίας για την ηχορύπανση, ώστε να είναι σύμφωνη με τις νέες αυστηρότερες οδηγίες και να θεσπίσουν πιο αυστηρά όρια για τον θόρυβο.
- **Ενίσχυση των ελέγχων:** Ουσιαστικοί και αυξημένοι έλεγχοι της τήρησης των ορίων θορύβου από τις αρμόδιες αρχές και επιβολή αυστηρών κυρώσεων σε παραβάτες.
- **Ρυθμίσεις για τις μεταφορές:** Ενθάρρυνση της χρήσης πιο ήσυχων μέσων μεταφοράς (π.χ. ηλεκτρικά οχήματα) και θεσμοθέτηση περιορισμών στην κυκλοφορία των οχημάτων σε συγκεκριμένες ώρες ή περιοχές.

- **Κανονισμοί για τις κατασκευές:** Θέσπιση πιο αυστηρών κανονισμών για την ηχομόνωση των κτιρίων και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

### Κίνητρα για την Υιοθέτηση Ησυχότερων Τεχνολογιών

- **Φορολογικά κίνητρα:** Παροχή φορολογικών κινήτρων για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και άλλων οχημάτων μηδενικών εκπομπών.
- **Επιδότησεις:** Ενδεχόμενη χορήγηση επιδοτήσεων για την αναβάθμιση των συστημάτων εξάτμισης των οχημάτων και την αντικατάσταση των θορυβωδών μηχανημάτων που δεν μπορούν να βελτιωθούν.

### Έρευνα και Παρακολούθηση

- **Συστήματα παρακολούθησης:** Ανάπτυξη συστημάτων συνεχούς καταγραφής και παρακολούθησης των επιπέδων θορύβου στις πόλεις.
- **Χαρτογράφηση της ηχορύπανσης:** Δημιουργία λεπτομερών χαρτών ηχορύπανσης για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και τον σχεδιασμό στοχευμένων παρεμβάσεων.
- **Επιστημονική έρευνα:** Υποστήριξη της επιστημονικής έρευνας για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και μεθόδων για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης με συνέργειες με Πανεπιστήμια και ακαδημαϊκούς φορείς.

### Συνεργασία των Φορέων

- **Συνεργασία μεταξύ των υπουργείων:** Στενή συνεργασία μεταξύ των υπουργείων Περιβάλλοντος, Υποδομών, και Υγείας για την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου δράσης.
- **Συνεργασία με τους δήμους:** Ενθάρρυνση των δήμων να αναπτύξουν δικές τους πρωτοβουλίες για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης στις περιοχές τους.
- **Συνεργασία με τον ιδιωτικό τομέα:** Συνεργασία με επιχειρήσεις και βιομηχανίες για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων για την μείωση του θορύβου.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Τ. Φ. Γέσιος-Κρασιώτης, 'Μουσείο ήχου', Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2020.
- [2] Richard E. Berg, 'Sound - Refraction, Frequency, Wavelength | Britannica'. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/science/sound-physics>
- [3] Ευθύμιος Μπακαρέζος και Νεκτάριος Παπαδογιάννης, "Κυματική Φυσική" – Για Μηχανικούς Ήχου και Ακουστικής - Ανοικτή Βιβλιοθήκη'. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Νοέμβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.openbook.gr/kymatikiki-fysiki/>
- [4] N. Seckel και A. Singh, *Physics of 3D Ultrasonic Sensors*. 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.25396.19849.
- [5] Tom Benson, 'Ταχύτητα του ήχου'. Ημερομηνία πρόσβασης: 8 Νοέμβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/BGP/sound.html>
- [6] C.-12 Foundation, 'Wave Amplitude | CK-12 Foundation'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-physical-science-flexbook-2.0/section/16.5/primary/lesson/wave-amplitude-ms-ps/>
- [7] T. Agarwal, 'Relationship between Wavelength and Frequency of Light', ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.elprocus.com/relationship-between-wavelength-and-frequency/>
- [8] '16.2: Sound Intensity and Level', Physics LibreTexts. Ημερομηνία πρόσβασης: 27 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University\\_Physics/Physics\\_\(Boundless\)/16%3A\\_Sound/16.2%3A\\_Sound\\_Intensity\\_and\\_Level](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_(Boundless)/16%3A_Sound/16.2%3A_Sound_Intensity_and_Level)
- [9] 'Decibel (dB) | Definition, Formula, & Facts | Britannica'. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/science/decibel>
- [10] Χρυσούλα Μπουκουβάλα, 'Η κουλτούρα του θορύβου, δεκανίκι της παγκοσμιοποίησης', Aperopia. Ημερομηνία πρόσβασης: 24 Ιανουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://aperopia.fr/03-2017/i-koultoura-tou-thoryvou-dekaniki-tis-pagosmioiopiisis/>
- [11] Kyle Forinash και Wolfgang Christian, '7.1.3: The Decibel Scale', Physics LibreTexts. Ημερομηνία πρόσβασης: 27 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Waves\\_and\\_Acoustics/Book%3A\\_Sound\\_-\\_An\\_Interactive\\_eBook\\_\(Forinash\\_and\\_Christian\)/07%3A\\_Pitch\\_Loudness\\_and\\_Timbre/7.01%3A\\_Pitch\\_Loudness\\_and\\_Timbre/7.1.03%3A\\_The\\_Decibel\\_Scale](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Waves_and_Acoustics/Book%3A_Sound_-_An_Interactive_eBook_(Forinash_and_Christian)/07%3A_Pitch_Loudness_and_Timbre/7.01%3A_Pitch_Loudness_and_Timbre/7.1.03%3A_The_Decibel_Scale)
- [12] 'Pitch | Definition, Frequency, & Music | Britannica'. Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/art/pitch-music>
- [13] 'Tone | Harmonics, Frequency & Pitch | Britannica'. Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/science/tone-sound>
- [14] 'Timbre | Frequency, Harmonics & Waveforms | Britannica'. Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/science/timbre>
- [15] S. of Psy 3031 και E. by D. C. Olman, 'Timbre', Ιανουαρίου 2022, Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://pressbooks.umn.edu/sensationandperception/chapter/timbre/>
- [16] Αλμπανοπούλου Πόπη, 'Το Αυτί (Ους)', Thessalias. Ημερομηνία πρόσβασης: 23 Νοέμβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.iaso.gr/thessalias/blog/details/blog/2020/03/03/to-auti-ous>
- [17] A. Sheikh κ.ά., 'Structure and Physiology of Human Ear Involved in Hearing', στο *Auditory System - Function and Disorders*, IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.105466.

- [18] 'Noise pollution | Definition, Examples, Effects, Control, & Facts | Britannica'. Ημερομηνία πρόσβασης: 15 Νοέμβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/science/noise-pollution>
- [19] Οδηγία 2002/49/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 25ης Ιουνίου 2002, σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου - Δηλώσεις της Επιτροπής στην επιτροπή συνδιαλλαγής για την έκθεση σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου, τ. 189. 2002. Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Ιανουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj/ell>
- [20] European Commission. Directorate General for Environment., VVA., Toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek., Tecnalía., ANOTEC., και Universitat Autònoma de Barcelona., *Assessment of potential health benefits of noise abatement measures in the EU: Phenomena project*. LU: Publications Office, 2021. Ημερομηνία πρόσβασης: 28 Οκτώβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/24566>
- [21] HeadphonesAddict, '25+ Noise Pollution Statistics 2024: Environment & Oceans'. Ημερομηνία πρόσβασης: 24 Ιανουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://headphonesaddict.com/noise-pollution-statistics/>
- [22] F. Liu κ.ά., 'On the definition of noise', *Humanit. Soc. Sci. Commun.*, τ. 9, τχ. 1, σ. 406, Νοεμβρίου 2022, doi: 10.1057/s41599-022-01431-x.
- [23] R. C. Rodrigues, 'Quiet areas and urban sustainability', *Energy Procedia*, τ. 153, σσ. 334–341, Οκτωβρίου 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.10.072.
- [24] S. Fidell, 'The Schultz curve 25 years later: A research perspectivea)', *J Acoust Soc Am*, τ. 114, τχ. 6, 2003.
- [25] H. M. Miedema και H. Vos, 'Exposure-response relationships for transportation noise', *J. Acoust. Soc. Am.*, τ. 104, τχ. 6, σσ. 3432–3445, 1998.
- [26] H. M. Miedema και C. G. Oudshoorn, 'Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals', *Environ. Health Perspect.*, τ. 109, τχ. 4, σσ. 409–416, Απριλίου 2001, doi: 10.1289/ehp.01109409.
- [27] C.-H. Huang και E. Seto, 'Estimates of population highly annoyed from transportation noise in the United States: An unfair share of the burden by race and ethnicity', *Environ. Impact Assess. Rev.*, τ. 104, 2024, doi: 10.1016/j.eiar.2023.107338.
- [28] P. Bellucci, T. Onorato, και E. Cipriani, 'The ECODRIVE project: reducing noise by traffic control and management', στο *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*, Turin, Italy: European Acoustics Association, Ιανουαρίου 2024, σσ. 2651–2654. doi: 10.61782/fa.2023.0702.
- [29] N.-E. P. Votsi, A. S. Kallimanis, και J. D. Pantis, 'The distribution and importance of Quiet Areas in the EU', *Appl. Acoust.*, τ. 127, σσ. 207–214, Δεκεμβρίου 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.06.007.
- [30] S. Grubeša και M. Suhaneck, 'Traffic Noise', 2020, σσ. 1–21. doi: 10.5772/intechopen.92892.
- [31] European Environment Agency, 'Outlook to 2030 — Can the number of people affected by transport noise be cut by 30%?' Ημερομηνία πρόσβασης: 2 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/publications/outlook-to-2030>
- [32] European Environment Agency (EU body or agency), *Environmental noise in Europe, 2020*. LU: Publications Office of the European Union, 2020. Ημερομηνία πρόσβασης: 29 Ιανουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://data.europa.eu/doi/10.2800/686249>
- [33] J. Yoon και S. Pyo, 'A Review of Mitigation Measures for Reducing Railway Rolling Noise from an Infrastructure Point of View', *Int. J. Railw.*, τ. 12, σσ. 1–9, Μαρτίου 2019, doi: 10.7782/IJR.2019.12.1.001.
- [34] D. Acevedo Giraldo, 'Experimental Aeroacoustic and Aerodynamic Analysis of a Large-Scale Flap Side-Edge Model', 2019. doi: 10.13140/RG.2.2.30634.98247.
- [35] M. A. Maaz, 'The Main Sources Of Aircraft Noise & The Steps Taken To Reduce Them', Simple Flying. Ημερομηνία πρόσβασης: 7 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://simpleflying.com/aircraft-noise-sources-reduction-measures/>
- [36] 'Μηχανολογικός Θόρυβος -'. Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Νοέμβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/michanologikos-thoryvos/>



- [37] 'Marine signals — European Environment Agency'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution/ecosystems/signals/marine>
- [38] I. CORPORATIVA, 'La contaminación acústica, ¿cómo reducir el impacto de una amenaza invisible?', Iberdrola. Ημερομηνία πρόσβασης: 22 Νοέμβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.iberdrola.com/sustainability/what-is-noise-pollution-causes-effects-solutions>
- [39] N. Fisheries, 'Ocean Noise | NOAA Fisheries', NOAA. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.fisheries.noaa.gov/national/science-data/ocean-noise>
- [40] M. S. Hammer, T. K. Swinburn, και R. L. Neitzel, 'Environmental Noise Pollution in the United States: Developing an Effective Public Health Response', *Environ. Health Perspect.*, τ. 122, τχ. 2, σσ. 115–119, Φεβρουαρίου 2014, doi: 10.1289/ehp.1307272.
- [41] Y. Cai κ.ά., 'Road traffic noise, air pollution and incident cardiovascular disease: A joint analysis of the HUNT, EPIC-Oxford and UK Biobank cohorts', *Environ. Int.*, τ. 114, σσ. 191–201, Μαΐου 2018, doi: 10.1016/j.envint.2018.02.048.
- [42] 'Noise-Induced Hearing Loss (NIHL) | NIDCD'. Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.nidcd.nih.gov/health/noise-induced-hearing-loss>
- [43] M. Śliwińska-Kowalska και K. Zaborowski, 'WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Permanent Hearing Loss and Tinnitus', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 14, τχ. 10, σ. 1139, Σεπτεμβρίου 2017, doi: 10.3390/ijerph14101139.
- [44] O. Princess Okimiji, A. Tochukwu Okafor, M. Iyabo Fasona, T. Atoro, M. Akintayo Aborisade, και J. Nyandansobi Simon, 'Proliferation of noise pollution: Implication on health and community perception in coastal slums', *Appl. Acoust.*, τ. 214, σ. 109713, Νοεμβρίου 2023, doi: 10.1016/j.apacoust.2023.109713.
- [45] C. Jephcote κ.ά., 'Spatial assessment of the attributable burden of disease due to transportation noise in England', *Environ. Int.*, τ. 178, σ. 107966, Αυγούστου 2023, doi: 10.1016/j.envint.2023.107966.
- [46] 'Statistics | Eurostat'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Αύγουστος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg\\_11\\_20/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_11_20/default/table?lang=en)
- [47] 'Statistics | Eurostat'. Ημερομηνία πρόσβασης: 13 Αύγουστος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hlth\\_dhc110/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hlth_dhc110/default/table?lang=en)
- [48] M. Basner και S. McGuire, 'WHO environmental noise guidelines for the european region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 15, τχ. 3, 2018, doi: 10.3390/ijerph15030519.
- [49] 'Mental disorders'. Ημερομηνία πρόσβασης: 7 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders>
- [50] O. Hahad, J. H. Prochaska, A. Daiber, και T. Münzel, 'Environmental Noise-Induced Effects on Stress Hormones, Oxidative Stress, and Vascular Dysfunction: Key Factors in the Relationship between Cerebrocardiovascular and Psychological Disorders', *Oxid. Med. Cell. Longev.*, τ. 2019, σσ. 1–13, Νοεμβρίου 2019, doi: 10.1155/2019/4623109.
- [51] C. Clark και K. Paunovic, 'WHO environmental noise guidelines for the European region: a systematic review on environmental noise and quality of life, wellbeing and mental health', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 15, τχ. 11, σ. 2400, 2018.
- [52] W. S. Rodzlan Hasani κ.ά., 'Premature mortality and years of potential life lost from cardiovascular diseases: Protocol of a systematic review and meta-analysis', *PLOS ONE*, τ. 18, τχ. 5, σ. e0284052, Μαΐου 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0284052.
- [53] European Environment Agency, 'Noise'. Ημερομηνία πρόσβασης: 2 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/publications/beating-cardiovascular-disease/noise>
- [54] 'Premature deaths due to exposure to fine particulate matter in Europe'. Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/health-impacts-of-exposure-to>
- [55] E. van Kempen, M. Casas, G. Pershagen, και M. Foraster, 'WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic

- Effects: A Summary', *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, τ. 15, τχ. 2, σ. 379, Φεβρουαρίου 2018, doi: 10.3390/ijerph15020379.
- [56] I. Alimohammadi κ.ά., 'Relationship between Noise Annoyance and High Blood Pressure in Workers Exposed to Chronic Noise Among the Workers of an Automotive Industry', *Indian J. Occup. Environ. Med.*, τ. 24, Δεκεμβρίου 2020, doi: 10.4103/ijoem.IJOEM\_259\_19.
- [57] Z. Wang κ.ά., 'Association between noise exposure during pregnancy and pregnancy complications: A meta-analysis', *Front. Psychol.*, τ. 13, Νοεμβρίου 2022, doi: 10.3389/fpsyg.2022.1026996.
- [58] M. Nieuwenhuijsen, G. Ristovska, και P. Dadvand, 'WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Adverse Birth Outcomes', *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, τ. 14, τχ. 10, σ. 1252, Οκτωβρίου 2017, doi: 10.3390/ijerph14101252.
- [59] J. Selander, L. Rylander, M. Albin, U. Rosenhall, M. Lewné, και P. Gustavsson, 'Full-time exposure to occupational noise during pregnancy was associated with reduced birth weight in a nationwide cohort study of Swedish women', *Sci. Total Environ.*, τ. 651, σσ. 1137–1143, Φεβρουαρίου 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.212.
- [60] S. Bhang κ.ά., 'Comparing Attention and Cognitive Function in School Children across Noise Conditions: A Quasi-Experimental Study', *Psychiatry Investig.*, τ. 15, τχ. 6, σσ. 620–627, Ιουνίου 2018, doi: 10.30773/pi.2018.01.15.
- [61] M. Dohmen, E. Braat-Eggen, A. Kemperman, και M. Hornikx, 'The Effects of Noise on Cognitive Performance and Helplessness in Childhood: A Review', *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, τ. 20, τχ. 1, Art. τχ. 1, Ιανουαρίου 2023, doi: 10.3390/ijerph20010288.
- [62] M. Raess, A. Valeria Maria Brentani, B. Flückiger, B. Ledebur de Antas de Campos, G. Fink, και M. Rössli, 'Association between community noise and children's cognitive and behavioral development: A prospective cohort study', *Environ. Int.*, τ. 158, σ. 106961, Ιανουαρίου 2022, doi: 10.1016/j.envint.2021.106961.
- [63] Apurva Chawre, 'Noise Level Measurement Procedure - Perfect Pollucon Services'. Ημερομηνία πρόσβασης: 10 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.ppsthane.com/blog/noise-level-measurement-procedure>
- [64] S. Baclet, S. Venkataraman, R. Rumpler, R. Billsjö, J. Horvath, και P. E. Österlund, 'From strategic noise maps to receiver-centric noise exposure sensitivity mapping', *Transp. Res. Part Transp. Environ.*, τ. 102, σ. 103114, Ιανουαρίου 2022, doi: 10.1016/j.trd.2021.103114.
- [65] H. M. Lee, W. Luo, J. Xie, και H. P. Lee, 'Urban Traffic Noise Mapping Using Building Simplification in the Panyu District of Guangzhou City, China', *Sustainability*, τ. 14, τχ. 8, σ. 4465, Απριλίου 2022, doi: 10.3390/su14084465.
- [66] Arabcal, 'The Role of Sound Level Meters in Environmental Noise Monitoring', Medium. Ημερομηνία πρόσβασης: 12 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://medium.com/@arabcaluae/the-role-of-sound-level-meters-in-environmental-noise-monitoring-567158d7eb85>
- [67] Á. Katalin, 'Studying noise measurement and analysis', *Procedia Manuf.*, τ. 22, σσ. 533–538, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.078.
- [68] rebecca, 'What is Sound Level Meter?', Scarlet Tech. Ημερομηνία πρόσβασης: 11 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://scarlet-tech.com/products/sound-level-meter-overview/>
- [69] M. Celestina, C. A. Kardous, και A. Trost, 'Smartphone-based sound level measurement apps: Evaluation of directional response', *Appl. Acoust.*, τ. 171, σ. 107673, Ιανουαρίου 2021, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107673.
- [70] J. Huyen, C. Ramkissoon, M. Laka, και S. Gaskin, 'Assessing the Usefulness of Mobile Apps for Noise Management in Occupational Health and Safety: Quantitative Measurement and Expert Elicitation Study', *JMIR MHealth UHealth*, τ. 11, σ. e46846, Νοεμβρίου 2023, doi: 10.2196/46846.
- [71] Εφημερίδα της κυβερνήσεως, 'Φ.Ε.Κ. 1367/Β/12'. Ημερομηνία πρόσβασης: 15 Ιανουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.et.gr/SearchFek>
- [72] Εφημερίδα της κυβερνήσεως, 'ΦΕΚ 384/Β/06'. Ημερομηνία πρόσβασης: 15 Ιανουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.et.gr/SearchFek>
- [73] Castle Group, 'What is Leq? The Equivalent Continuous Sound Pressure Level'. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Μάρτιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.castlegroup.co.uk/what-is-leq/>

- [74] S. Palli, R. C. Sharma, S. K. Sharma, V. Muddada, και N. Sharma, 'A case study on noise pollution and its effects', *J Crit Rev*, τ. 7, σσ. 261–267, 2020.
- [75] S. Gokhale, 'Environmental Noise Pollution', στο *Handbook of Environmental Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd, 2018, σσ. 565–582. doi: 10.1002/9781119304418.ch18.
- [76] I. Rawat, N. N. Gaikwad, M. S. Meena, S. Swarnajeeta, και N. Purohit, 'Occupational Noise Hazards in Agri-Based Industries in India', *Natl. Acad. Sci. Lett.*, τ. 44, τχ. 3, σσ. 185–188, Ιουνίου 2021, doi: 10.1007/s40009-020-00975-3.
- [77] 'Number of people exposed to average day-evening-night noise levels (Lden) ≥ 55 dB in Europe', European Environment Agency. Ημερομηνία πρόσβασης: 28 Ιούλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/number-of-people-exposed-to-8>
- [78] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ...: 'Noise Pollution :: | Ηχογραφήσεις'. Ημερομηνία πρόσβασης: 25 Ιούλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [http://www.medialab.ntua.gr/acoustics/greek\\_reg.html](http://www.medialab.ntua.gr/acoustics/greek_reg.html)
- [79] 'Χαρτογράφηση Θορύβου Πολεοδομικών Συγκροτημάτων -'. Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Οκτώβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/chartografisi-thoryvou-poleodomikon-sygkrotimatou/>
- [80] 'Υ.Α. οικ. 211773/2012 (ΦΕΚ 1367/Β` 27.4.2012) | ΕΛΙΝΥΑΕ'. Ημερομηνία πρόσβασης: 25 Ιούλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.elinyae.gr/ethniki-nomothesia/ya-oik-2117732012-fek-1367b-2742012>
- [81] B. Lap, M.-K. Nguyen, N. T. Hung, L. THANH, και P. Linh, 'Investigation and Assessment of Road Traffic Noise: a Case Study in Ho Chi Minh City, Vietnam', *Water. Air. Soil Pollut.*, τ. 232, Ιουλίου 2021, doi: 10.1007/s11270-021-05210-3.
- [82] M. Perna κ.ά., 'Comparison of Road Noise Policies across Australia, Europe, and North America', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 19, τχ. 1, σ. 173, Δεκεμβρίου 2021, doi: 10.3390/ijerph19010173.
- [83] D. Jarosińska κ.ά., 'Development of the WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: An Introduction', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 15, τχ. 4, σ. 813, Απριλίου 2018, doi: 10.3390/ijerph15040813.
- [84] 'Environmental Noise Directive - European Commission'. Ημερομηνία πρόσβασης: 4 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://environment.ec.europa.eu/topics/noise/environmental-noise-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/noise/environmental-noise-directive_en)
- [85] '4ος γύρος εφαρμογής της Οδηγίας 2002/49/EK (2022) -'. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/4os-gyros-efarmogis-tis-odigias-2002-49-ek-2022/>
- [86] 'Υπηρεσία NOISE -'. Ημερομηνία πρόσβασης: 5 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/ypiresia-noise/>
- [87] D. Schwela, T. A. K. Bouziri, και D. Berkouk, 'Noise pollution policies in the Arab world: an overview and comparison with European Union legislation', 2023.
- [88] 'Are you noticing the harmful noise around you?' Ημερομηνία πρόσβασης: 15 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/editorial/are-you-noticing-the-harmful-noise>
- [89] Tom Cassauwers, 'Reducing noise pollution with acoustic walls and rubberised roads | Research and Innovation'. Ημερομηνία πρόσβασης: 15 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/horizon-magazine/reducing-noise-pollution-acoustic-walls-and-rubberised-roads>
- [90] 'WhisStone mad of SCC | H2020', CORDIS | European Commission. Ημερομηνία πρόσβασης: 15 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://cordis.europa.eu/project/id/859337/reporting/it>
- [91] 'Novel asphalt additive for better, safer and environment-friendly roads', CORDIS | European Commission. Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://cordis.europa.eu/article/id/422356-novel-asphalt-additive-for-better-safer-and-environment-friendly-roads>
- [92] Sacyr, 'Reducing road noise with RARx', Sacyr Blog. Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.sacyr.com/-/reducimos-el-ruido-de-las-carreteras-con-rarx>

- [93] C. T. E. Cirtec, 'Cirtec and RARx, first successful work in USA | Cirtec', Cirtec, Circulo Tecnológico. Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://cirtec.es/en/blog/cirtec-and-rarx-first-successful-work-in-usa/>
- [94] European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, 'Sshhhh – LIFE projects provide road noise reduction solutions for a quieter Europe'. Ημερομηνία πρόσβασης: 19 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://cinea.ec.europa.eu/news-events/news/sshhhh-life-projects-provide-road-noise-reduction-solutions-quieter-europe-2024-02-20\\_en](https://cinea.ec.europa.eu/news-events/news/sshhhh-life-projects-provide-road-noise-reduction-solutions-quieter-europe-2024-02-20_en)
- [95] 'Noise and vibration in eco-efficient powertrains | ECO DRIVE Project | Fact Sheet | H2020', CORDIS | European Commission. Ημερομηνία πρόσβασης: 18 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://cordis.europa.eu/project/id/858018>
- [96] K. H. Tsoi, B. P. Y. Loo, X. Li, και K. Zhang, 'The co-benefits of electric mobility in reducing traffic noise and chemical air pollution: Insights from a transit-oriented city', *Environ. Int.*, τ. 178, σ. 108116, Αυγούστου 2023, doi: 10.1016/j.envint.2023.108116.
- [97] Hongyu Yan, Suchao Xie, Kunkun Jing, και Zhejun Feng, 'High-Speed Train Noise Control Methods'. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://encyclopedia.pub/entry/25960>
- [98] Santosh Kumar Sahu, P.S. Rama Sreekanth, και S.V. Kota Reddy, 'Sandwich Structures'. Ημερομηνία πρόσβασης: 22 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://encyclopedia.pub/entry/29620>
- [99] Iain, 'Edilon Sedra', Transportation and Logistics International. Ημερομηνία πρόσβασης: 26 Απρίλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://tlimagazine.com/news/edilon-sedra/>
- [100] J. Xie, L. Zhu, και H. M. Lee, 'Aircraft Noise Reduction Strategies and Analysis of the Effects', *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 20, τχ. 2, σ. 1352, Ιανουαρίου 2023, doi: 10.3390/ijerph20021352.
- [101] Tom Cassauwers, 'Reducing aircraft noise – one decibel at a time | Research and Innovation'. Ημερομηνία πρόσβασης: 8 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/horizon-magazine/reducing-aircraft-noise-one-decibel-time>
- [102] Sound Reduction Systems Ltd, 'Noise Reduction Methods: Top 10 Effective Techniques', SRS. Ημερομηνία πρόσβασης: 9 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.soundreduction.co.uk/about-us/news/the-top-ten-noise-reduction-methods/>
- [103] Sound Reduction Systems Ltd, 'Maxiboard Independent Wall Lining | Sound Reduction', SRS. Ημερομηνία πρόσβασης: 11 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.soundreduction.co.uk/part-e/part-e-solutions-for-walls/maxiboard-independent-wall-lining/>
- [104] Z. Kousar, '6 Proven ways to reduce noise in your home', Granada Secondary Glazing. Ημερομηνία πρόσβασης: 11 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://gsecg.com/6-proven-methods-to-reduce-noise-in-your-home/>
- [105] Jessica Dodell-Feder και Lauren Murphy, 'Noisy Neighbors Driving You Up the Wall? Try These 9 Soundproofing Tricks', Apartment Therapy. Ημερομηνία πρόσβασης: 21 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.apartmenttherapy.com/how-to-soundproof-a-room-266621>
- [106] the D. experts of T. F. H. Magazine, 'Home Soundproofing', Family Handyman. Ημερομηνία πρόσβασης: 21 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.familyhandyman.com/project/home-soundproofing/>
- [107] Miquel Sáinz de la Maza κ.ά., 'ETC/ATNI Report 10/2019: Status of quiet areas in European urban agglomerations', Eionet Portal. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-atni/products/etc-atni-reports/etc-atni-report-10-2019-status-of-quiet-areas-in-european-urban-agglomerations>
- [108] dronepicr, *St. Stephen's Green ist ein Park im Zentrum der Stadt Dublin. Das Bild wurde im 'Indian Summer' im Oktober aufgenommen.* 2015. Ημερομηνία πρόσβασης: 27 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Park\\_in\\_Dublin\\_St\\_Stephen%27s\\_Green\\_Luftbild\\_%2821516321184%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Park_in_Dublin_St_Stephen%27s_Green_Luftbild_%2821516321184%29.jpg)

- [109] European Environment Agency, 'Quiet areas in Europe — The environment unaffected by noise pollution — European Environment Agency'. Ημερομηνία πρόσβασης: 21 Οκτώβριος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/publications/quiet-areas-in-europe>
- [110] European Environment Agency, 'Potential quiet areas in Europe, based on the QSI and Natura 2000 protected sites'. Ημερομηνία πρόσβασης: 21 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/quietness-suitability-index-ysi-3>
- [111] 'Google Earth'. Ημερομηνία πρόσβασης: 30 Μάιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο:  
[https://earth.google.com/web/search/%ce%86%ce%b3%ce%b9%ce%bf%cf%82+%ce%94%ce%b7%ce%bc%ce%ae%cf%84%cf%81%ce%b9%ce%bf%cf%82/@37.93407681,23.729335,61.99311365a,8954.95068983d,35γ,-0h,0t,0r/data=CogBGI4SWAoIMHgXNGExYmRjNzdmOGQ4Mjc1OjB4NDMyOWM1YTE2YTUxODdkNhmsVoG1xYfdCQCHSyELPwbo3QCodzobOs865zr\\_PgiDOI63zrzOrs-Ez4HOuc6\\_z4IYAiaBliYKJAm1UJluPf1CQBEoP76LmvRCQBk-mhgqTdQ3QCGY1Wo28aM3QA](https://earth.google.com/web/search/%ce%86%ce%b3%ce%b9%ce%bf%cf%82+%ce%94%ce%b7%ce%bc%ce%ae%cf%84%cf%81%ce%b9%ce%bf%cf%82/@37.93407681,23.729335,61.99311365a,8954.95068983d,35γ,-0h,0t,0r/data=CogBGI4SWAoIMHgXNGExYmRjNzdmOGQ4Mjc1OjB4NDMyOWM1YTE2YTUxODdkNhmsVoG1xYfdCQCHSyELPwbo3QCodzobOs865zr_PgiDOI63zrzOrs-Ez4HOuc6_z4IYAiaBliYKJAm1UJluPf1CQBEoP76LmvRCQBk-mhgqTdQ3QCGY1Wo28aM3QA)
- [112] 'Castle GA601 Class 2 Sound Level Calibrator', Test Meter Group Ltd. Ημερομηνία πρόσβασης: 1 Ιούνιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.test-meter.co.uk/castle-ga601-class-2-sound-level-calibrator>
- [113] 'Numeracy, Maths and Statistics - Academic Skills Kit'. Ημερομηνία πρόσβασης: 23 Ιούλιος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.ncl.ac.uk/webtemplate/ask-assets/external/maths-resources/statistics/data-presentation/box-and-whisker-plots.html>