



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η επίδραση του θορύβου στην δημόσια υγεία και η οικονομική αξιολόγηση
του»**

Γκούμας Φίλιππος
ΑΡ.ΜΗΤΡΩΟΥ: M090322014

ΒΟΛΟΣ 2025

© 2025 Γκούμας Φίλιππος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Έργων, Συγκοινωνιακός και Χωρικός Σχεδιασμός» δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του/της συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)

Δρ. Remy Nicola

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής

Δρ. Κοπελιάς Παντελεήμων

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής

Δρ. Θεοφιλάτος Αθανάσιος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «*Η επίδραση του θορύβου στη δημόσια υγεία και η οικονομική αξιολόγησή του*» αποτελεί για μένα όχι μόνο ένα επιστημονικό πόνημα, αλλά και μια προσωπική κατάθεση ψυχής. Η ανάγκη μου να διερευνήσω τον αντίκτυπο του θορύβου γεννήθηκε μέσα από τη δική μου εμπειρία με τη νευροαισθητήριο βαρηκοΐα και το ακουστικό τραύμα – καταστάσεις που έχουν επηρεάσει σε βάθος τη ζωή μου.

Οι προκλήσεις που απορρέουν από αυτά τα προβλήματα ακοής δεν είναι μόνο σωματικές, αλλά και ψυχολογικές. Η κακή ψυχολογική διάθεση, η απομόνωση, η αβεβαιότητα και η αναβλητικότητα ήταν (και είναι) στοιχεία που συχνά επηρέασαν τη μελέτη και την καθημερινότητά μου. Κι όμως, μέσα από αυτό το δύσκολο πλαίσιο, βρήκα το κίνητρο να μετατρέψω τον προσωπικό πόνο σε επιστημονική αναζήτηση, με στόχο την κατανόηση και ευαισθητοποίηση γύρω από τις επιπτώσεις του ακουστικού περιβάλλοντος στη δημόσια υγεία.

Θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Remy Nicola, για την επιστημονική του καθοδήγηση, την υποστήριξη και την κατανόηση που έδειξε σε όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου, που με στήριξε έμπρακτα και συναισθηματικά όταν η πίεση, η απογοήτευση και η κούραση με έκαναν να λυγίσω. Χάρη στην υπομονή και την πίστη τους, κατάφερα να συνεχίσω.

Ευχαριστώ, επίσης, τους φίλους και συμφοιτητές μου, που στάθηκαν δίπλα μου με λόγια στήριξης, κατανόησης και πραγματικής παρουσίας.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται σε όλους όσους παλεύουν σιωπηλά με δυσκολίες ακοής ή άλλες "αόρατες" δυσκολίες, και συνεχίζουν – με τον δικό τους ρυθμό και τη δική τους δύναμη – να προχωρούν.

Με ειλικρίνεια και ευγνωμοσύνη,

Γκούμας Φίλιππος

Περίληψη

Η παρούσα εργασία διερευνά τη σύνθετη σχέση ανάμεσα στο περιβαλλοντικό θόρυβο και την ποιότητα ζωής στον αστικό χώρο, εστιάζοντας ιδιαίτερα στην εμπειρία του ήχου και τη σημασία του ηχοτοπίου. Μέσα από διεπιστημονική προσέγγιση που συνδυάζει την ακουστική οικολογία, την περιβαλλοντική ψυχολογία, τη δημόσια υγεία και τις σπουδές ηχοτοπίου, επιχειρείται μια ολιστική κατανόηση του πώς ο ήχος –και ιδιαίτερα η ηχορύπανση– επηρεάζει τόσο τις σωματικές και ψυχικές διαστάσεις της ανθρώπινης ευημερίας όσο και τις κοινωνικές εμπειρίες του χώρου.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ποσοτική και ποιοτική αποτύπωση των επιδράσεων της ηχορύπανσης κατά την περίοδο της πανδημίας COVID-19, όταν τα περιοριστικά μέτρα και τα lockdowns οδήγησαν σε πρωτοφανή μείωση των ανθρωπογενών ήχων σε πολλές πόλεις ανά τον κόσμο. Μέσα από ανάλυση δεδομένων και διεθνών μελετών, τεκμηριώνονται σημαντικές μειώσεις στα επίπεδα θορύβου (L_{den} , L_{night}) και εκτιμώμενα οφέλη για τη δημόσια υγεία (π.χ. μείωση DALYs, βελτίωση HALEs). Παράλληλα, παρουσιάζονται βιωματικές και εθνογραφικές προσεγγίσεις που καταγράφουν την υποκειμενική εμπειρία της «επιστροφής στη σιωπή» και τις μεταβολές στην ακουστική συνείδηση των πολιτών. Η εργασία καταλήγει με μια στοχαστική συζήτηση για τις δυνατότητες βιώσιμου ηχοτοπιακού σχεδιασμού και τις προοπτικές ενσωμάτωσης της ακουστικής ποιότητας στις πολιτικές αστικού σχεδιασμού, με στόχο πόλεις πιο ήσυχες, υγιείς και πολιτισμικά πλούσιες.

Λέξεις-Κλειδιά: Ηχορύπανση, ηχοτοπίο, ποιότητα ζωής, ακουστική οικολογία, COVID-19, δημόσια υγεία, βιώσιμη πόλη, soundscape.

Abstract

The research investigates the intricate relationship between environmental noise and quality of life in urban areas by studying sound experiences and soundscape concepts. The research combines acoustic ecology with environmental psychology and public health and soundscape studies to develop a comprehensive understanding of how sound affects physical and mental wellbeing and social urban space perception.

The research examines both quantitative and qualitative effects of noise during the COVID-19 pandemic because lockdowns and mobility restrictions caused cities worldwide to experience an unusual decrease in human-made noise. The thesis presents quantitative data and international research findings which show decreased Lden and Lnight noise indicators and improved public health outcomes through DALY reduction and HALE enhancement. The research combines ethnographic methods with narrative approaches to understand how people experienced the return of silence and developed new acoustic awareness. The research ends with a reflective analysis of sustainable soundscape design implications and acoustic quality integration into urban planning policies to develop quieter healthier cities with cultural vibrancy.

Key Words: Noise pollution, soundscape, quality of life, acoustic ecology, COVID-19, public health, sustainable city, urban sound environment.

Πίνακας περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	4
<i>Περίληψη</i>	5
<i>Abstract</i>	6
1. Ήχος και θόρυβος	9
1.1 Περιβαλλοντικός Θόρυβος και Βασικές Τεχνικές Έννοιες	9
1.2 Η έννοια του θορύβου	10
1.3 Τα είδη θορύβου	11
1.3.1 Συγκοινωνιακός θόρυβος	13
1.3.2 Οδικές μεταφορές (Κυκλοφοριακός θόρυβος)	14
1.3.3 Θόρυβος από σιδηροδρομικές μεταφορές	16
1.3.4 Θόρυβος από θαλάσσιες μεταφορές και λιμενικές δραστηριότητες	17
1.3.4 Αερομεταφορές	18
1.4 Επιδράσεις του θορύβου στην κοινωνία και την οικονομία	21
1.4.1 Κοινωνικές Επιπτώσεις	21
1.4.2 Οικονομικές συνέπειες	22
2. Θόρυβος και υγεία	25
2.1 Η επίδραση του θορύβου στην υγεία	25
2.1.1 Θόρυβος και Καρδιαγγειακά νοσήματα	26
2.1.2 Θόρυβος και Ακουστική Υγεία	28
.....	31
2.1.3 Θόρυβος και Ψυχική Υγεία	32
2.1.4 Θόρυβος και άλλες ασθένειες	34
.....	36
2.2 Δείκτες μέτρησης υγείας	36
2.3 Δείκτες ποιότητας ζωής	40
2.3.1 Ποιοι είναι οι δείκτες υγείας; Δείκτες σχετικοί με το θόρυβο	42
2.4 Διαχείριση Θορύβου	44
.....	47
2.5 Τεχνολογίες Βελτιστοποίησης θορύβου	48

3. Ηχορύπανση κατά την Περίοδο της Πανδημίας COVID-19	51
3.1 Παγκόσμιες Τάσεις στη Μεταβολή του Θορύβου	52
3.2 Ποσοτική Ανάλυση: Σύγκριση πριν και μετά τα Lockdowns	53
3.2.1 Μετρήσεις σε Ευρωπαϊκές Πόλεις.....	53
3.2.2 Ανάλυση <i>Lden</i> , <i>Lnight</i> και <i>DALYs</i>	54
3.3 Ποιοτική Διάσταση: Η εμπειρία του ηχοτοπίου	55
3.3.1 Υποκειμενική αντίληψη της σιωπής.....	55
3.3.2 Η ψυχική υγεία και η ησυχία	57
3.4 Διδάγματα για τη Βιώσιμη Ακουστική Πολιτική.....	57
4. Συζήτηση	59
5. Συμπεράσματα	61
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	63

1. Ήχος και θόρυβος

1.1 Περιβαλλοντικός Θόρυβος και Βασικές Τεχνικές Έννοιες

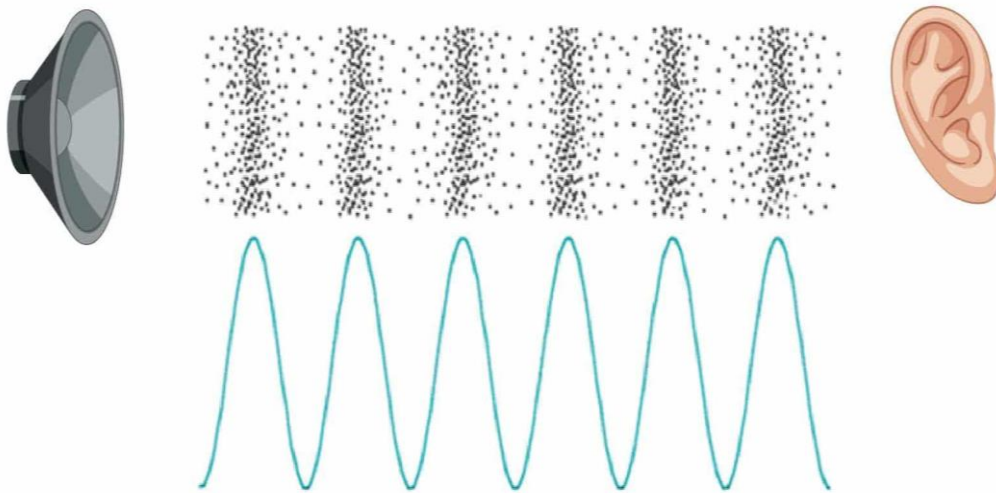
Ο ήχος είναι ένα μηχανικό κύμα που διαδίδεται μέσω υλικών μέσων, όπως ο αέρας ή τα υγρά, και γίνεται αντιληπτός από τον ανθρώπινο ακουστικό μηχανισμό ως πληροφορία. Ωστόσο, όταν η ηχητική ενέργεια προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές και επηρεάζει αρνητικά την ανθρώπινη υγεία ή ευεξία, ορίζεται ως περιβαλλοντικός θόρυβος (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2002/49/EK).

Η αξιολόγηση του θορύβου στηρίζεται σε τεχνικές παραμέτρους και στατιστικούς δείκτες, όπως:

- Συχνότητα (Hz): Ο αριθμός των ταλαντώσεων ανά δευτερόλεπτο, που επηρεάζει το ύψος του ήχου (WHO, 2018).
- Ένταση (dB[A]): Η στάθμη ηχητικής πίεσης που καθορίζει το αντιληπτό επίπεδο του ήχου.
- Lden (Day-Evening-Night Level): Ο σταθμισμένος μέσος όρος των επιπέδων θορύβου κατά τη διάρκεια της ημέρας, του απογεύματος και της νύχτας, με επιπλέον βάρη για τις πιο ευαίσθητες περιόδους (European Environment Agency, 2020).
- Lnight: Ο δείκτης που μετρά τη στάθμη θορύβου κατά τη διάρκεια της νύχτας και συνδέεται με τις επιπτώσεις στον ύπνο.
- L10 και L90: Στατιστικοί δείκτες που αναφέρονται αντίστοιχα στο επίπεδο θορύβου που ξεπερνάται κατά το 10% και 90% της χρονικής περιόδου μέτρησης, χρήσιμοι για τον εντοπισμό μεταβλητότητας (Defréville et al., 2021).

Για την ανάλυση των συχνοτήτων και την ποιοτική καταγραφή ηχοτοπίων χρησιμοποιούνται εργαλεία όπως το φασματόγραμμα, που αποτυπώνει την ένταση του ήχου ως συνάρτηση της συχνότητας και του χρόνου (Stephens & Bate, 1966· Farina, 2014).

Η κατανόηση και αξιολόγηση του περιβαλλοντικού θορύβου βάσει των παραπάνω τεχνικών εργαλείων αποτελεί τη βάση για τη σύνδεση με δείκτες επιβάρυνσης της υγείας, όπως τα DALYs, και την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης στον αστικό και χωρικό σχεδιασμό.



Εικόνα 1. Δονήσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα και ηχητικά κύματα

Πηγή: Currence, K., 2023

1.2 Η έννοια του θορύβου

Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής στις σύγχρονες πόλεις, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη κυκλοφορία και βιομηχανική δραστηριότητα. Στο πλαίσιο της αειφόρου αστικής ανάπτυξης, η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει εισάγει τον όρο «υγιής πόλη», ο οποίος αναφέρεται σε ένα αστικό περιβάλλον που προάγει την ψυχική και σωματική ευεξία των κατοίκων του. Ένα από τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν μια τέτοια πόλη είναι το ηχοτοπίο – ο τρόπος με τον οποίο βιώνεται ο ήχος σε έναν χώρο – και κατ' επέκταση, ο έλεγχος του περιβαλλοντικού θορύβου. Η έννοια του θορύβου δεν περιορίζεται απλώς στην ένταση ενός ήχου. Ορίζεται ως κάθε ανεπιθύμητος ή επιβλαβής ήχος που μειώνει την ικανότητα του ανθρώπου να συγκεντρώνεται, να επικοινωνεί ή να αναπαύεται. Διακρίνεται σε

εξωτερικό (προερχόμενο από το περιβάλλον) και εσωτερικό (προερχόμενο από το ίδιο το ακουστικό σύστημα του δέκτη), όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία (Ronacher et al., 2004).

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EK ορίζει ως περιβαλλοντικό θόρυβο τον ανεπιθύμητο ή επιβλαβή ήχο σε εξωτερικούς χώρους, ο οποίος προέρχεται από μεταφορικά μέσα, βιομηχανικές δραστηριότητες ή ανθρώπινες παρεμβάσεις. Οι επιπτώσεις του θορύβου είναι πολυδιάστατες, καθώς σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2018), οι τιμές έκθεσης άνω των 53 dB για την οδική κυκλοφορία και των 45 dB για την αεροπορική, σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο υπέρτασης, διαταραχών ύπνου και άγχους. Παράλληλα με τους κλασικούς δείκτες (dB, Lden, Lnight), η πρόσφατη βιβλιογραφία έχει ενσωματώσει και πιο σύνθετους ψυχοακουστικούς δείκτες, οι οποίοι επιχειρούν να αποτυπώσουν την υποκειμενική εμπειρία του ακροατή σε σχέση με το ηχοτοπίο. Ενδεικτικά, οι Defréville et al. (2021) προτείνουν δείκτες όπως: Φασματική Ομοιότητα, η οποία μετρά πόσο διαφοροποιείται ένας ήχος από το υπόβαθρο· Φασματική Εμφάνιση, που εκτιμά την ένταση με την οποία προβάλλεται ένας ήχος σε πολυσύχναστο περιβάλλον· και Προεξοχή (Saliency), που αναφέρεται στην ικανότητα ενός ήχου να ξεχωρίζει και να τραβά την προσοχή. Επιπλέον, δείκτες όπως η Εγγύτητα, η Παρουσία και η Φασματική Πληροφορικότητα συμβάλλουν στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ της πηγής του ήχου και της υποκειμενικής ενόχλησης που προκαλεί. Όπως επισημαίνουν οι Can et al. και οι Yang et al. (2005), για την ουσιαστική αξιολόγηση του αστικού θορύβου δεν αρκεί η μέτρηση της έντασης, αλλά απαιτείται κατανόηση της συχνότητας εμφάνισης, της ταυτότητας της πηγής και του πλαισίου ακρόασης. Ένας ήχος αυτοκινήτου σε μια λεωφόρο μπορεί να γίνει ανεκτός, ενώ ο ίδιος ήχος σε ένα πάρκο ή νοσοκομείο να βιώνεται ως εξαιρετικά ενοχλητικός. Η συσχέτιση ήχου και χώρου, και η διαφοροποίηση μεταξύ «ήχου» και «θορύβου», εξαρτάται τελικά από τον ακροατή και την κοινωνικοπολιτισμική αντίληψη του περιβάλλοντος.

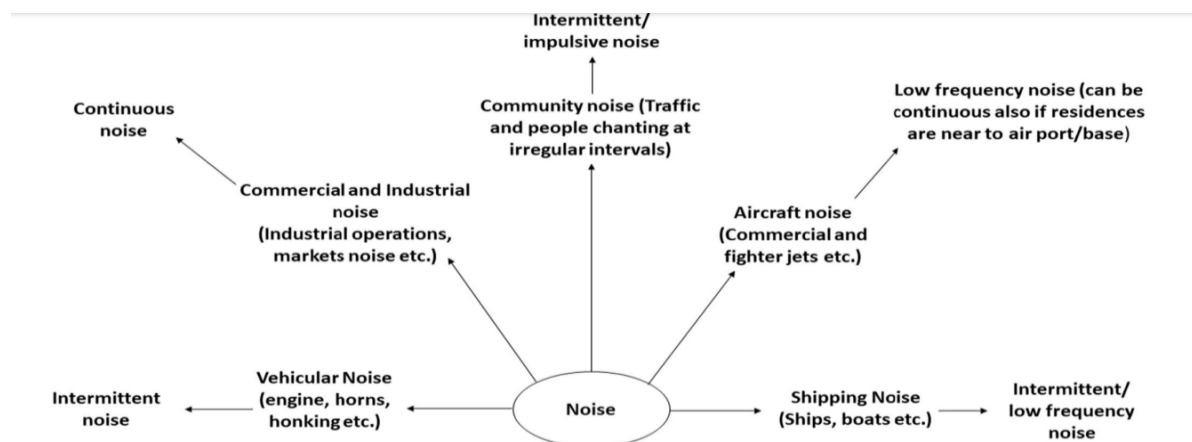
1.3 Τα είδη θορύβου

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος προκύπτει από ένα ευρύ φάσμα πηγών, με πιο συχνές αυτές που σχετίζονται με τις αστικές και μεταφορικές υποδομές. Ο οδικός θόρυβος θεωρείται η κυριότερη πηγή ηχητικής ρύπανσης στις πόλεις, ενώ ακολουθούν ο σιδηροδρομικός και ο αεροπορικός θόρυβος, καθώς και ο θόρυβος από πλοία σε λιμενικές περιοχές. Άλλες κατηγορίες περιλαμβάνουν τον βιομηχανικό θόρυβο, τον οικιακό, τον θόρυβο της κοινότητας (π.χ. φωνές,

διασκέδαση), και εκείνον που προέρχεται από εργοτάξια ή υπαίθριες δραστηριότητες (Abbaspour et al., 2015· Clark et al., 2017· Yang & Moon, 2019).

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) διακρίνει τους θορύβους σε σταθερές και κινητές πηγές. Στις σταθερές περιλαμβάνονται βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μόνιμα μηχανήματα (όπως καυστήρες, πλυντήρια αυτοκινήτων, ανελκυστήρες), καθώς και οικιακές συσκευές. Στις κινητές εντάσσονται μηχανοκίνητα οχήματα και εργοταξιακά μηχανήματα. Ο κυκλοφοριακός θόρυβος, που σχετίζεται με ΙΧ, μοτοσικλέτες, λεωφορεία και φορτηγά, αποτελεί τη βασικότερη κινητή πηγή ηχητικής όχλησης σε αστικά κέντρα (ΥΠΕΝ, 2023). Από άποψη χρονικών και ακουστικών χαρακτηριστικών, οι θόρυβοι διακρίνονται σε συνεχείς, σποραδικούς, παρορμητικούς και χαμηλής συχνότητας. Ο συνεχής θόρυβος εμφανίζεται με σταθερή ένταση και διάρκεια, όπως στις βιομηχανικές μονάδες κλωστοϋφαντουργίας (Han & Dimitrijevic, 2017). Αντίθετα, οι σποραδικοί ήχοι, όπως εκείνοι της κυκλοφορίας ή του γειτονικού πάρκου, εμφανίζονται σε ακανόνιστα διαστήματα και προκαλούν διακοπές στην ακουστική αντίληψη (Nichols et al., 2015). Οι παρορμητικοί ήχοι χαρακτηρίζονται από αιφνίδια έναρξη και απότομη παύση – όπως χτυπήματα μετάλλων ή θόρυβοι από μηχανικά δίκτυα. Αυτοί οι ήχοι, πέρα από την ενόχληση, συχνά επηρεάζουν και τη δυνατότητα συγκέντρωσης, ειδικά σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Radford et al., 2016). Ο θόρυβος χαμηλής συχνότητας συνδέεται με πηγές όπως φορτηγά, ανεμογεννήτριες ή συστήματα εξαερισμού, και μπορεί να είναι πιο ενοχλητικός, ακόμη και σε χαμηλότερες εντάσεις, λόγω της δυνατότητάς του να διαπερνά υλικά και να προκαλεί δονήσεις (Van Kamp, 2017).

Σε αστικά περιβάλλοντα, η γεωμετρία και τα υλικά των κτιρίων επηρεάζουν τη διάδοση του ήχου. Οι επιφάνειες των κτιρίων συνήθως ανακλούν τον ήχο και όχι τον διασκορπίζουν, οδηγώντας σε πολλαπλές ανακλάσεις που ενισχύουν το ηχητικό φορτίο (Ismail et al., 2005). Ιδιαίτερα στις διασταυρώσεις και στις ζώνες επιβράδυνσης, ο θόρυβος από επιταχύνσεις ή φρεναρίσματα οχημάτων παρουσιάζει κορυφώσεις (De Coensel et al., 2006). Η ύπαρξη διαφορετικών τύπων και πηγών θορύβου καθιστά απαραίτητη τη χρήση κατάλληλων εργαλείων καταγραφής και ποσοτικοποίησης (όπως δείκτες L_{den} , L_{max} , L_{10}), καθώς και την ανάπτυξη ειδικών στρατηγικών αστικής ηχοπροστασίας. Στην Ελλάδα, το Π.Δ. 1180/1981 και άλλες συναφείς διατάξεις αποτελούν το θεσμικό πλαίσιο για τη ρύθμιση των επιπέδων θορύβου σε κατοικημένες περιοχές.



Εικόνα 2. Διαφορετικές πηγές ήχων και ταξινόμηση αυτών

Πηγή: Farooqietal., 2022

1.3.1 Συγκοινωνιακός θόρυβος

Ο συγκοινωνιακός θόρυβος αποτελεί τη σημαντικότερη κατηγορία περιβαλλοντικού θορύβου στις αστικές περιοχές. Ο όρος αναφέρεται σε όλους τους ήχους που παράγονται από τα μέσα μεταφοράς – είτε αυτά κινούνται στον δρόμο, στις ράγες, στον αέρα ή στη θάλασσα. Η συνεχής αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, σε συνδυασμό με την αστικοποίηση και την τεχνολογική εξάπλωση, καθιστούν τον συγκοινωνιακό θόρυβο μείζον πρόβλημα δημόσιας υγείας. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EK, ο συγκοινωνιακός θόρυβος διαχωρίζεται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες: οδικός, σιδηροδρομικός, αεροπορικός και θαλάσσιος θόρυβος. Ο οδικός θόρυβος περιλαμβάνει τον ήχο από κινητήρες, ελαστικά και αεροδυναμικές επιδράσεις οχημάτων (ΙΧ, φορτηγά, λεωφορεία, δίκυκλα). Ο σιδηροδρομικός θόρυβος προκύπτει από την τριβή μεταξύ τροχού και ράγας, από το σύστημα πρόωσης και από δονήσεις που μεταδίδονται στο έδαφος. Ο αεροπορικός θόρυβος, ιδιαίτερα έντονος κοντά σε αεροδρόμια, προέρχεται από την απογείωση, προσγείωση και τροχοδρόμηση των αεροσκαφών. Ο θαλάσσιος θόρυβος αφορά κυρίως πλοία και λιμενικές δραστηριότητες – όπως φορτοεκφορτώσεις ή λειτουργία μηχανών.

Η ποσοτική αξιολόγηση του συγκοινωνιακού θορύβου πραγματοποιείται με δείκτες όπως ο L_{den} (Day-Evening-Night Level) και ο L_{night} , που αποτυπώνουν τη μέση ηχητική έκθεση κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας αντίστοιχα. Οι μέγιστες στιγμιαίες στάθμες (L_{max}) καταγράφονται επίσης για την εκτίμηση παρορμητικών ηχητικών γεγονότων, όπως ένα διερχόμενο φορτηγό ή μια απογείωση. Σύμφωνα με τον ΠΟΥ (2018), επίπεδα άνω των 53 dB L_{den} για την οδική κυκλοφορία και άνω των 45 dB L_{night} σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο υπέρτασης, άγχους, διαταραχών ύπνου και καρδιοπαθειών. Ενδεικτικά, μελέτες σε μεγάλα αστικά κέντρα της Ευρώπης δείχνουν ότι ο οδικός θόρυβος φτάνει συχνά τα 70–75 dB L_{den} σε κεντρικούς δρόμους (EEA, 2020). Σιδηροδρομικές περιοχές παρουσιάζουν L_{night} ~60 dB, ενώ γύρω από αεροδρόμια οι L_{max} ξεπερνούν τα 100 dB (Basner et al., 2014). Στην Ελλάδα, η στρατηγική χαρτογράφηση θορύβου που υλοποιείται υπό την επίβλεψη του ΥΠΕΝ, επιβεβαιώνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού εκτίθεται κυρίως στον θόρυβο της οδικής κυκλοφορίας (ΥΠΕΝ, 2023). Η διαχείριση του συγκοινωνιακού θορύβου απαιτεί συνδυαστικές παρεμβάσεις: ηχοπετάσματα, βελτίωση του οδοστρώματος, περιορισμός κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων, νυχτερινές απαγορεύσεις, προώθηση μέσων σταθερής τροχιάς και πολιτικές ήπιας κινητικότητας. Στο μέλλον, η ενσωμάτωση της ηχητικής διάστασης στον πολεοδομικό σχεδιασμό είναι απαραίτητη για τη δημιουργία «υγιών πόλεων» με ακουστική ισορροπία.

1.3.2 Οδικές μεταφορές (Κυκλοφοριακός θόρυβος)

Ο θόρυβος από τις οδικές μεταφορές αποτελεί τη βασικότερη πηγή περιβαλλοντικής ηχητικής ρύπανσης σε αστικά περιβάλλοντα, σύμφωνα τόσο με διεθνείς μελέτες όσο και με δεδομένα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). Πρόκειται για γραμμική πηγή θορύβου, καθώς ο ήχος που παράγεται κατά την κυκλοφορία οχημάτων εκπέμπεται κατά μήκος των οδικών αξόνων. Οι βασικές συνιστώσες του οδικού θορύβου είναι: α) ο θόρυβος του κινητήρα και της εξάτμισης, β) ο αεροδυναμικός θόρυβος, και γ) ο θόρυβος κύλισης λόγω της επαφής των ελαστικών με την ασφαλτο. Σε ταχύτητες άνω των 50 km/h, ο θόρυβος κύλισης κυριαρχεί, ενώ σε χαμηλότερες ταχύτητες ο κινητήρας αποτελεί την κυριότερη πηγή. Παράγοντες που επηρεάζουν τον θόρυβο είναι η σύνθεση της κυκλοφορίας (βαρέα οχήματα, δίτροχα), η συχνότητα επιταχύνσεων-επιβραδύνσεων, η πυκνότητα των οχημάτων, αλλά και οι φυσικές συνθήκες διάδοσης του ήχου, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η γεωμετρία του δρόμου και τα υλικά κατασκευής (Konbattulware et al., 2016· Soni et al., 2022).

Για την αξιολόγηση του κυκλοφοριακού θορύβου εφαρμόζονται τυποποιημένοι ακουστικοί δείκτες:

- Lden (Level day-evening-night): εκφράζει τη μέση ημερήσια ηχοέκθεση με βάρη 5 dB για το απόγευμα και 10 dB για τη νύχτα.
- Lnight: αναφέρεται στην έκθεση κατά τις νυχτερινές ώρες (23:00–07:00) και χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση διαταραχών ύπνου.
- Leq,T: ισοδύναμο συνεχές ηχητικό επίπεδο σε διάστημα T.

Μαθηματικός ορισμός των Lden & Leq,T:

$$Leq,T = 10 \cdot \log_{10} \left[(1/T) \int_0^T 10^{(L(t)/10)} dt \right]$$

$$Lden = 10 \cdot \log_{10} \left[(1/24) \cdot (12 \cdot 10^{(Ld/10)} + 4 \cdot 10^{((Le+5)/10)} + 8 \cdot 10^{((Ln+10)/10)}) \right]$$

Όπου:

- Ld = μέσο επίπεδο θορύβου (07:00–19:00),
- Le = μέσο επίπεδο (19:00–23:00),
- Ln = μέσο επίπεδο (23:00–07:00).

Οι παραπάνω δείκτες καθιερώθηκαν βάσει της Οδηγίας 2002/49/EK, η οποία υιοθετήθηκε στην ελληνική νομοθεσία με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 211773/2012 (ΦΕΚ Β΄

1367/27.04.2012). Τα ανώτατα επιτρεπτά όρια σε κατοικημένες περιοχές ορίζονται ως:

- 70 dB(A) για τον δείκτη Lden (24ωρος),
- 67 dB(A) για τον Leq ημέρας–απογεύματος (16ωρος),
- 60 dB(A) για τον Lnight (νύχτας).

Η ανάλυση θορύβου πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις χρονικές ζώνες όπως ορίζονται από το ΥΠΕΝ:

- Ημέρα: 07:00 – 19:00
- Απόγευμα: 19:00 – 23:00
- Νύχτα: 23:00 – 07:00

Τα επίπεδα θορύβου κυμαίνονται ανάλογα με τη θέση μέτρησης και τον κυκλοφοριακό φόρτο. Ενδεικτικά, σε κύριες αστικές αρτηρίες παρατηρούνται τιμές L_{den} έως και 75 dB(A) και L_{night} άνω των 65 dB(A), που υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια του ΠΟΥ για μακροχρόνια έκθεση (WHO, 2018). Η σωστή διαχείριση του κυκλοφοριακού θορύβου περιλαμβάνει μέτρα όπως: ηχοπετάσματα, χρήση αθόρυβων οδοστρωμάτων, χρονικός έλεγχος κυκλοφορίας, περιορισμοί ταχύτητας και σχεδιασμός ζωνών ήπιας κυκλοφορίας.

1.3.3 Θόρυβος από σιδηροδρομικές μεταφορές

Οι σιδηροδρομικές μεταφορές αποτελούν έναν από τους βασικότερους πυλώνες του συστήματος μεταφορών στην Ευρώπη, με αξιοσημείωτη συμβολή στην ελάφρυνση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και τη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων. Ωστόσο, η λειτουργία των σιδηροδρομικών μέσων προκαλεί σημαντικά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές με αυξημένη διέλευση επιβατικών και εμπορευματικών αμαξοστοιχιών. Ο σιδηροδρομικός θόρυβος οφείλεται κυρίως στη μηχανική επαφή τροχού και σιδηροτροχιάς, στον θόρυβο κύλισης, στη χρήση κόρνας, αλλά και σε συμπληρωματικές δραστηριότητες, όπως η λειτουργία των σταθμών και των συστημάτων έλξης. Η ένταση του παραγόμενου ήχου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος του τρένου, η ταχύτητα, η κατάσταση των γραμμών και των φρένων, καθώς και η μορφολογία της περιοχής. Η Οδηγία 2002/49/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζει δύο βασικούς δείκτες για την αποτύπωση του σιδηροδρομικού θορύβου: τον L_{den} (day-evening-night noise level) και τον L_{night} (night-time noise level). Οι θεσμοθετημένες ανώτατες τιμές για τον L_{den} και τον L_{night} είναι 70 dB(A) και 60 dB(A) αντίστοιχα. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πρόσοψη κατοικιών και σε ευαίσθητες χρήσεις γης (π.χ. σχολεία, νοσοκομεία), συνήθως με ακουστικούς αισθητήρες ή μέσω μοντέλων πρόβλεψης (CadnaA, SoundPLAN). Πέρα από αυτούς, οι L_{10} και L_{90} χρησιμοποιούνται για την κατανόηση της δυναμικής του θορύβου: ο L_{10} αντανακλά τις στιγμές κορύφωσης της έντασης (π.χ. διέλευση τρένου), ενώ ο L_{90} το ηχητικό υπόβαθρο. Στην πράξη, ο L_{max} για εμπορικές αμαξοστοιχίες μπορεί να φτάσει ή και να υπερβεί τα 90–95 dB(A) σε κατοικημένες περιοχές (EEA, 2020· Fredianelli et al., 2017).

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO, 2018) έχει καταδείξει ότι η έκθεση σε θόρυβο άνω των 55 dB κατά τη διάρκεια της νύχτας σχετίζεται με διαταραχές ύπνου, αυξημένη αρτηριακή πίεση, και μακροπρόθεσμα, με καρδιομεταβολικές ασθένειες. Παρότι οι σιδηρόδρομοι θεωρούνται πιο "ήπιοι" από τις οδικές μεταφορές, η επαναλαμβανόμενη φύση του θορύβου τους καθιστά ψυχοακουστικά ενοχλητική (Miedema & Vos, 2007).

Η διαχείριση του θορύβου από σιδηροδρομικές μεταφορές προϋποθέτει συνδυασμένες παρεμβάσεις: χρήση ελαστικών στρωμάτων στις γραμμές, περιορισμό της χρήσης σφυριγμάτων σε αστικές περιοχές, εφαρμογή ηχοπετασμάτων, και εισαγωγή "αθόρυβων" εμπορευματικών βαγονιών με συνθετικά υλικά πέδησης.

1.3.4 Θόρυβος από θαλάσσιες μεταφορές και λιμενικές δραστηριότητες

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα του παγκόσμιου συστήματος διακίνησης αγαθών, συνεισφέροντας ουσιαστικά στη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, η λειτουργία των πλοίων και των λιμένων συνοδεύεται από σημαντικά επίπεδα περιβαλλοντικού θορύβου, ιδίως στις περιοχές που βρίσκονται σε άμεση επαφή με αστικό ιστό. Οι κύριες πηγές θορύβου περιλαμβάνουν την πρόωση των πλοίων, τις βοηθητικές μηχανές κατά τον ελλιμενισμό, τα συστήματα ψύξης και εξαερισμού, καθώς και τον εξοπλισμό φόρτωσης και εκφόρτωσης, όπως γερανούς, περονοφόρα ανυψωτικά και οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Σε αντίθεση με τις οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές, οι λιμένες δεν περιλαμβάνονται ρητά στις υποχρεώσεις στρατηγικής χαρτογράφησης θορύβου βάσει της Οδηγίας 2002/49/EK, γεγονός που δημιουργεί ένα θεσμικό κενό στην παρακολούθηση και διαχείριση των επιπτώσεων στις παραλιμενικές κοινότητες. Παρά τη νομική αυτή έλλειψη, πλήθος ερευνητικών εργασιών τεκμηριώνουν ότι η ακουστική ρύπανση από τις λιμενικές δραστηριότητες είναι εξίσου σοβαρή και συχνά παραβλέπεται (Fredianelli et al., 2021).

Η ένταση του θορύβου από τις θαλάσσιες μεταφορές ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, τη διάρκεια ελλιμενισμού, την εγγύτητα σε κατοικίες και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Μετρήσεις σε μεσογειακά λιμάνια καταγράφουν μέγιστες στάθμες θορύβου (L_{max}) από 90 έως 100 dB(A) σε αποστάσεις 50–100 μέτρων από λειτουργούντα πλοία, ιδίως όταν αυτά διατηρούν τους κινητήρες ή τα συστήματα ψύξης ενεργά καθ' όλη τη διάρκεια της

παραμονής τους (Brambilla & Gallo, 2020). Οι μέσες σταθμίσεις L_{den} συχνά υπερβαίνουν τα 70 dB(A), ενώ κατά τη νυχτερινή περίοδο παρατηρούνται τιμές L_{night} έως 65 dB(A), ξεπερνώντας κατά πολύ το όριο των 55 dB(A) που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας για την πρόληψη διαταραχών ύπνου (WHO, 2018). Οι επιπτώσεις είναι εντονότερες στις αστικοποιημένες παραλιμενικές περιοχές, όπου η χωρική επικάλυψη των ζωνών κατοικίας και των λιμενικών εγκαταστάσεων καθιστά τον ήχο συνεχές και δύσκολα ελέγξιμο. Η αντήχηση λόγω σκληρών επιφανειών και η απουσία κατάλληλων ηχομονωτικών μέτρων επιδεινώνουν το πρόβλημα, οδηγώντας σε αυξημένη ενόχληση των κατοίκων, με τεκμηριωμένες συνέπειες στην υγεία και την ποιότητα ζωής.

Η αντιμετώπιση του θορύβου στις θαλάσσιες μεταφορές απαιτεί τον σχεδιασμό και την υιοθέτηση ειδικών στρατηγικών διαχείρισης, όπως η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τη στεριά (cold ironing) ώστε να μη λειτουργούν οι μηχανές κατά τον ελλιμενισμό, η εγκατάσταση ηχομονωτικών κατασκευών στους λιμένες, καθώς και η ενσωμάτωση των λιμενικών δραστηριοτήτων στις διαδικασίες περιβαλλοντικής αδειοδότησης και χαρτογράφησης θορύβου. Η συνεχώς αυξανόμενη ένταση των θαλάσσιων μεταφορών καθιστά επιτακτική την ολιστική προσέγγιση του προβλήματος, ιδίως ενόψει της εντεινόμενης αστικοποίησης των παραθαλάσσιων ζωνών.

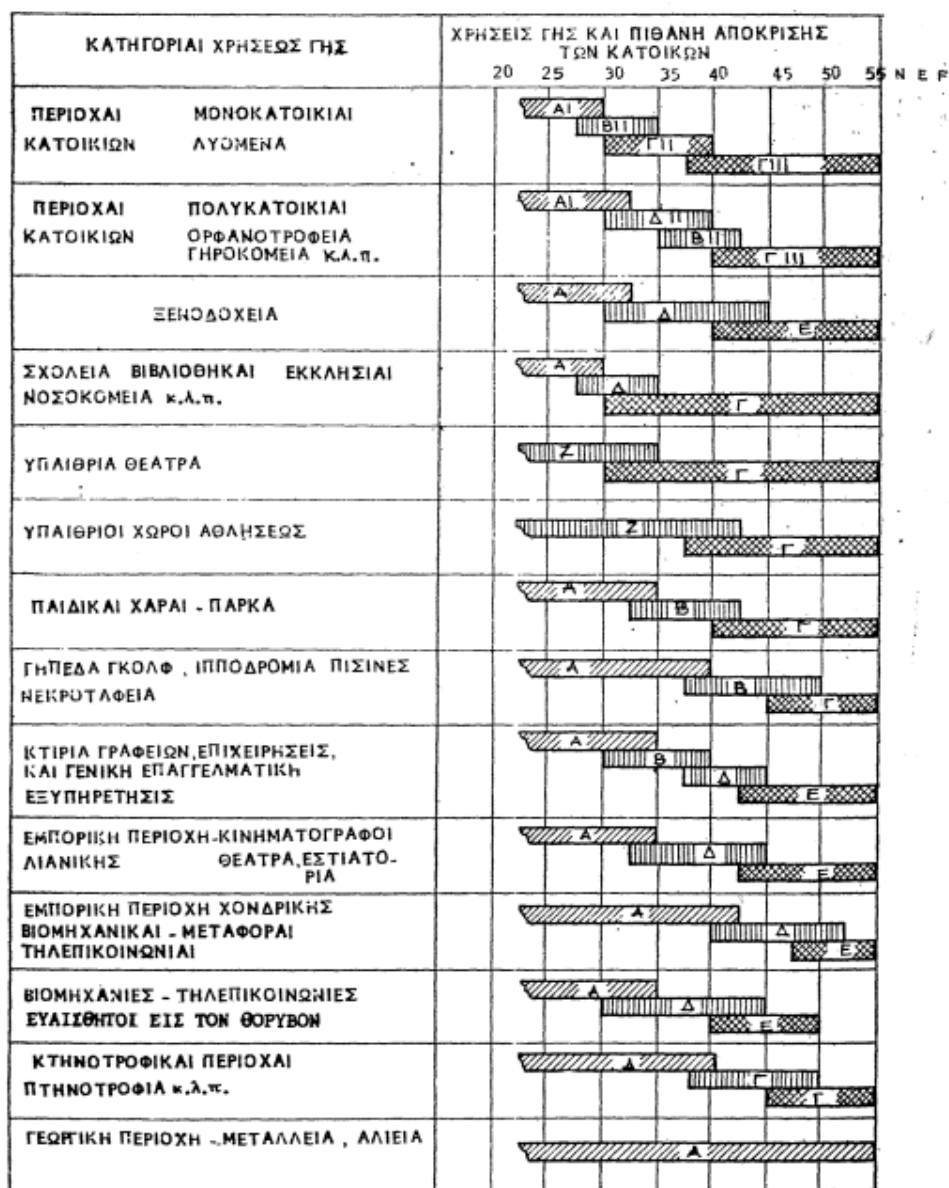
1.3.4 Αερομεταφορές

Ο θόρυβος από αεροπορικές μεταφορές αποτελεί μία από τις πιο ενοχλητικές μορφές περιβαλλοντικού θορύβου, λόγω της υψηλής έντασης, της απρόβλεπτης συχνότητας και της αδυναμίας ελέγχου από τους πολίτες που κατοικούν κοντά σε αεροδρόμια. Οι πηγές ηχητικής όχλησης περιλαμβάνουν τόσο τις φάσεις απογείωσης και προσγείωσης των αεροσκαφών όσο και τις βοηθητικές δραστηριότητες εντός του αερολιμένα, όπως η λειτουργία κινητήρων σε τροχοδρόμηση, τα οχήματα εδάφους και τα μηχανικά συστήματα υποστήριξης πτήσεων. Η καταγραφή και αξιολόγηση του αεροπορικού θορύβου γίνεται κυρίως μέσω των δεικτών L_{den} και L_{night} , οι οποίοι αποτυπώνουν τη μέση έκθεση των πολιτών κατά τη διάρκεια του 24ώρου και της νύχτας αντίστοιχα. Οι επιτρεπόμενες τιμές αυτών των δεικτών για κατοικημένες περιοχές είναι 65 dB(A) για τον L_{den} και 55 dB(A) για τον L_{night} , σύμφωνα με τις συστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2018). Ωστόσο, σε πολλές περιοχές γύρω από διεθνή

αεροδρόμια, τα επίπεδα θορύβου υπερβαίνουν κατά πολύ αυτά τα όρια, με μετρήσεις να δείχνουν L_{max} άνω των 100 dB(A) κατά την απογείωση βαρέων αεροσκαφών (EEA, 2020).

Στην Ελλάδα, το Π.Δ. 1178/1981 καθορίζει ειδικούς δείκτες θορύβου όπως ο NEF (Noise Exposure Forecast) για την εκτίμηση του επιπέδου ενόχλησης στις περιοχές γύρω από τα αεροδρόμια. Με βάση αυτόν τον δείκτη, οι ζώνες περιμετρικά ενός αερολιμένα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες όχλησης: Ζώνη I (χαμηλή ενόχληση, <30 NEF), Ζώνη II (μέτρια, $30-40$ NEF) και Ζώνη III (υψηλή, >40 NEF). Σε περιοχές Ζώνης III απαγορεύεται η ανέγερση νέων κατοικιών χωρίς μελέτη ηχομόνωσης, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η οικιστική ανάπτυξη αποτρέπει πλήρως.

Η επιστημονική βιβλιογραφία έχει τεκμηριώσει τη σύνδεση της έκθεσης σε αεροπορικό θόρυβο με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Συγκεκριμένα, καταγράφονται αυξημένοι κίνδυνοι για υπέρταση, καρδιοπάθειες, διαταραχές ύπνου και μαθησιακές δυσκολίες σε παιδιά σχολικής ηλικίας που φοιτούν σε σχολεία κοντά σε αεροδρόμια (Basner et al., 2014). Οι επιπτώσεις ενισχύονται λόγω της απότομης και διακοπτόμενης φύσης του θορύβου, που δεν επιτρέπει στο ανθρώπινο σώμα να προσαρμοστεί. Η διαχείριση του αεροπορικού θορύβου περιλαμβάνει μέτρα όπως ο καθορισμός «ήσυχων διαδρόμων πτήσης», η απαγόρευση πτήσεων τις νυχτερινές ώρες, η επιβολή τελών θορύβου στους αερομεταφορείς, καθώς και η χρήση νέων, πιο αθόρυβων τύπων αεροσκαφών. Επιπλέον, η ενίσχυση των ηχομονώσεων στα κτίρια πλησίον των αερολιμένων αποτελεί βασική στρατηγική προστασίας του πληθυσμού. Παρ' όλα αυτά, η ταχεία αύξηση της εναέριας κυκλοφορίας καθιστά αναγκαία την αναθεώρηση των πολιτικών θορύβου σε διεθνές επίπεδο, ώστε να συνδυαστεί η ανάγκη για μεταφορική ανάπτυξη με την προστασία της δημόσιας υγείας.



ΠΙΝΑΞ 1. ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΕΩΣ ΓΗΣ ΕΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩ ΜΕ ΤΟΝ ΘΟΡΥΒΟΝ ΤΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

Εικόνα 3. Θόρυβος από αεροσκάφη γι αδιάφορες χρήσεις γης

Πηγή: Π.Δ. 1178/1981 (ΦΕΚ 291/Α` 5.10.1981)

Ο παραπάνω πίνακας εξηγεί τα επιτρεπόμενα όρια θορύβου ανάλογα με τη χρήση γης. Για παράδειγμα το Α) σημαίνει ότι η διαμονή δεν ενέχει την ανάγκη ηχομόνωσης, το Β) ότι θα πρέπει να περιλαμβάνεται ηχομόνωση στα κτίρια και να γίνεται μελέτη πριν οποιαδήποτε κατασκευή

ενώ, καλό θα ήταν να αποφεύγεται η αστική ανάπτυξη ή οι νέες κατασκευές στις περιοχές αυτές, το Γ) ότι απαγορεύονται οι νέες κατασκευές, το Δ) να μην γίνεται ανάληψη έργων σχετικών με την ανάπτυξη οικιών ή την ανάπτυξη τους εκτός εάν έχει προηγηθεί μελέτη θορύβου Ε) Να γίνονται δεκτές μόνο οι κατασκευές που είναι σχετικές με τον αερολιμένα και έχει προηγηθεί μελέτη θορύβου πριν την κατασκευή τους, ενώ περιλαμβάνεται ειδική ηχομόνωση στα κτίρια και Ζ) Θα πρέπει να εκτελείται λεπτομερής ανάλυση του θορύβου ως προς το περιβάλλον.

Τα κριτήρια αυτά δίνουν τιμές και όρια μέσα στα οποία μπορεί να υφίσταται θόρυβος ανάλογα με τη χρήση γης στην εκάστοτε περιοχή και την ευαισθησία αυτής σε περιβαλλοντικούς θορύβους. Είναι διακριτό ότι μια τιμή που μπορεί να μοιάζει απαγορευτική για κατασκευές νέων κτιρίων για παράδειγμα, να είναι ταυτόχρονα ικανοποιητική για διαμονή σε κάποιο οίκημα χωρίς ιδιαίτερη ηχομόνωση.

1.4 Επιδράσεις του θορύβου στην κοινωνία και την οικονομία

1.4.1 Κοινωνικές Επιπτώσεις

Η έκθεση σε περιβαλλοντικό θόρυβο αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την ποιότητα ζωής των κατοίκων των αστικών περιοχών. Παρότι σε γενικές γραμμές τα επίπεδα θορύβου σε πολλές πόλεις παραμένουν σχετικά σταθερά με την πάροδο των ετών (Skinner & Grimwood, 2005), η περίοδος των καραντινών λόγω της πανδημίας COVID-19 ανέδειξε τη σημαντική επίδραση του κυκλοφοριακού θορύβου στην καθημερινότητα. Η απότομη μείωση των μετακινήσεων και η τηλεργασία οδήγησαν σε μετρήσιμη μείωση των επιπέδων θορύβου σε πολλές περιοχές, βελτιώνοντας την αντιληπτή ησυχία και ακουστική άνεση (Bartalucci et al., 2021· Yildirim & Arefi, 2021).

Ωστόσο, η αντίληψη του θορύβου είναι υποκειμενική και διαφέρει ανάλογα με την ηλικία, το φύλο, την τοποθεσία, αλλά και τη φύση του ήχου (Yang & Kang, 2005). Το ίδιο επίπεδο dB μπορεί να θεωρείται ανεκτό ή ενοχλητικό ανάλογα με το πλαίσιο. Πιο ήσυχες περιοχές, όπως πάρκα ή πεζόδρομοι, προσφέρουν μεγαλύτερη ακουστική άνεση σε σχέση με θορυβώδεις αστικούς άξονες.

Για να κατανοηθεί σε επίπεδο πολιτικής και σχεδιασμού η έκθεση του πληθυσμού στον θόρυβο, θεσπίστηκε η Οδηγία 2002/49/EK. Στο πλαίσιο της οδηγίας αυτής, τα κράτη-μέλη υποχρεούνται να εκπονούν Στρατηγικούς Χάρτες Θορύβου (Strategic Noise Maps), οι οποίοι δείχνουν:

- τις πηγές θορύβου (οδική, σιδηροδρομική, αεροπορική),
- τις γεωγραφικές περιοχές έκθεσης,
- και το πλήθος των κατοίκων που εκτίθενται σε συγκεκριμένα εύρη στάθμης θορύβου (π.χ. 55–60 dB, 60–65 dB, >70 dB).

Αυτά τα στοιχεία είναι κρίσιμα για τη χάραξη περιβαλλοντικής και πολεοδομικής πολιτικής, καθώς επιτρέπουν:

- την ιεράρχηση περιοχών για επεμβάσεις (π.χ. ηχοπετάσματα),
- τη χαρτογράφηση των κοινωνικών ανισοτήτων στην ακουστική όχληση,
- και την κατανόηση της συσχέτισης θορύβου–ευαλωτότητας (π.χ. περιοχές με σχολεία ή νοσοκομεία κοντά σε πηγές θορύβου).

Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι ο θόρυβος μπορεί να επιδρά στην ψυχοκοινωνική συμπεριφορά. Η συνεχής έκθεση σε υψηλά επίπεδα dB προκαλεί στρες μέσω της ενεργοποίησης του συμπαθητικού νευρικού συστήματος, οδηγώντας στην απελευθέρωση αδρεναλίνης και κορτιζόλης (Cannon, 1915). Αυτές οι φυσιολογικές αποκρίσεις, αν είναι χρόνια ενεργοποιημένες, μπορεί να συμβάλουν σε παρορμητική συμπεριφορά, αυξημένη επιθετικότητα και εντέλει σε αύξηση βίαιων περιστατικών. Ενδεικτικά, έρευνα κατέγραψε ότι αύξηση 1 dB στο μέσο επίπεδο L_{den} σχετίζεται με αύξηση βίαιων εγκλημάτων κατά 6,13 περιστατικά ανά 100.000 κατοίκους. Τα φαινόμενα αυτά εντείνονται κατά τις ώρες αυξημένης κυκλοφορίας (π.χ. πριν τις 18:00), όταν η ακουστική φόρτιση του περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη.

1.4.2 Οικονομικές συνέπειες

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος έχει σημαντικές επιπτώσεις όχι μόνο στη δημόσια υγεία αλλά και στην οικονομία, επηρεάζοντας τόσο τις τιμές των ακινήτων όσο και το σύστημα υγείας, την παραγωγικότητα και τη γενική ευημερία. Πλήθος ερευνών αποδεικνύουν ότι ο θόρυβος από μεταφορές (οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές) αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα μείωσης της αξίας ακινήτων. Σύμφωνα με τους Brandt και Maennig (2011), στην πόλη του Αμβούργου, αύξηση της ηχορύπανσης κατά 1 dB(A) οδήγησε σε μείωση της τιμής πώλησης συγκυριαρχιών κατά 0,23%. Αντίστοιχα, μελέτη στη Γλασκώβη από τους Lake et al. (1998) έδειξε μείωση 1,07% ανά 1 dB αύξησης θορύβου. Στο Βερολίνο, τα ακίνητα κοντά στο αεροδρόμιο παρουσίασαν μείωση αξίας κατά 9,6% (Mense & Kholodilin, 2014), ενώ ο Theebe (2004) βρήκε μείωση από

5% έως και 12% σε περιοχές εκτεθειμένες σε θόρυβο από μεταφορές. Οι Strand και Vågnes (2001), εξετάζοντας περιπτώσεις από το Όσλο, σημείωσαν ότι η αύξηση της απόστασης ενός ακινήτου από σιδηροδρομικό σταθμό κατά 100 μέτρα αύξανε την αξία του κατά περίπου 10%.

Ωστόσο, οι οικονομικές συνέπειες του θορύβου δεν εξαντλούνται στην αγορά ακινήτων. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, 2018) εκτιμά ότι ο θόρυβος είναι υπεύθυνος για 12.000 πρόωρους θανάτους ετησίως στην Ευρώπη, ενώ συμβάλλει σε 48.000 νέες περιπτώσεις ισχαιμικής καρδιοπάθειας, 6.500.000 περιστατικά διαταραχών ύπνου και 22.000.000 ανθρώπους που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα ενόχλησης. Η οικονομική αποτίμηση αυτών των επιπτώσεων, με όρους απώλειας παραγωγικότητας, αυξημένων ιατρικών δαπανών και μείωσης της ποιότητας ζωής, φτάνει σε κόστος άνω των 38 δισεκατομμυρίων ευρώ τον χρόνο στην ΕΕ (EEA, 2020).

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων του θορύβου, η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EK προβλέπει την ανάπτυξη Στρατηγικών Χαρτών Θορύβου, οι οποίοι παρουσιάζουν πόσοι άνθρωποι εκτίθενται σε συγκεκριμένα επίπεδα ντεσιμπέλ (Lden, Lnight) σε μεγάλες πόλεις και γύρω από υποδομές μεταφορών. Αυτά τα δεδομένα υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων με βάση την Cost-Benefit Analysis (CBA), την αξία στατιστικής ζωής (VSL) και τους δείκτες χαμένων ετών υγιούς ζωής (DALYs). Για παράδειγμα, η Ελλάδα έχει ολοκληρώσει και δημοσιεύσει τέτοιους χάρτες μέσω του ΥΠΕΝ για αστικά κέντρα όπως η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, καταγράφοντας την έκθεση του πληθυσμού και τεκμηριώνοντας περιοχές που απαιτούν άμεσες παρεμβάσεις. Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες επιβεβαιώνουν τη σύνδεση της ηχορύπανσης με το άγχος, την επιθετικότητα και άλλες ψυχολογικές διαταραχές, οι οποίες έχουν μετρήσιμες επιπτώσεις στην απώλεια εργασιακών ωρών και στην αυξημένη χρήση των υπηρεσιών υγείας (van Kamp & Davies, 2013). Ακόμη, μελέτη σε 111 πόλεις της Κίνας (Xu et al., 2020) έδειξε ότι η σχέση μεταξύ θορύβου και οικονομικής ανάπτυξης δεν είναι γραμμική αλλά ακολουθεί την καμπύλη ανεστραμμένου N: ο θόρυβος αυξάνεται με την οικονομική ανάπτυξη, φτάνει σε ένα σημείο καμπής και στη συνέχεια μειώνεται πριν αυξηθεί ξανά με την περαιτέρω αστικοποίηση και κυκλοφοριακή πυκνότητα.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις, όπως αναφέρει ο Blanco και Flindell (2011), τα πλεονεκτήματα της πρόσβασης και της εγγύτητας στο κέντρο της πόλης μπορεί να υπερτερούν των αρνητικών συνεπειών του θορύβου για ορισμένους αγοραστές, χωρίς αυτό όμως να αναιρεί τη συνολική επίδραση της ηχορύπανσης στην αξία του αστικού περιβάλλοντος.

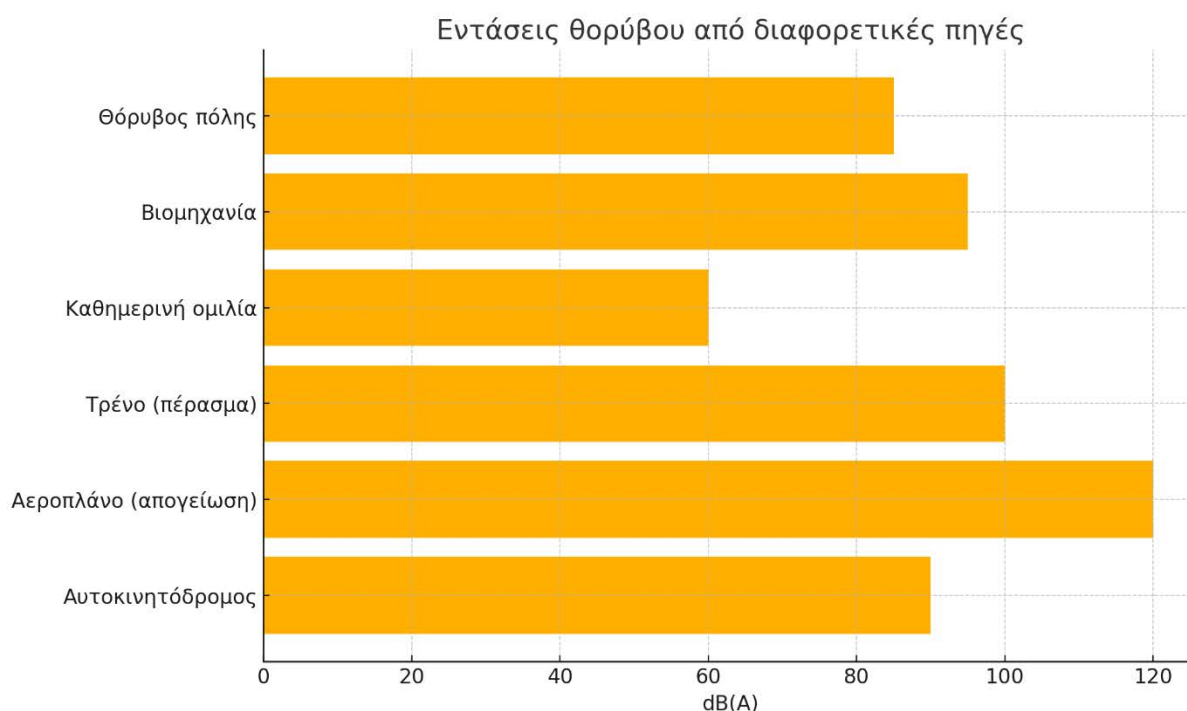
Η οικονομική διάσταση του θορύβου είναι κρίσιμη για την κατανόηση του κόστους της αδράνειας σε περιβαλλοντικές πολιτικές. Μια καλά τεκμηριωμένη οικονομική ανάλυση μπορεί να ενισχύσει τις δημόσιες επενδύσεις σε ηχομονώσεις, κυκλοφοριακό σχεδιασμό, αναβάθμιση υποδομών και προγράμματα ενημέρωσης του κοινού για την υγειονομική και χρηματοοικονομική σημασία της ακουστικής ποιότητας.

2. Θόρυβος και υγεία

2.1 Η επίδραση του θορύβου στην υγεία

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος έχει αναγνωριστεί ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες περιβαλλοντικού κινδύνου για τη δημόσια υγεία, ειδικά στις αστικές περιοχές. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2018), ο θόρυβος σχετίζεται με σοβαρές ακουστικές και μη ακουστικές επιπτώσεις, όπως απώλεια ακοής, διαταραχές ύπνου, καρδιαγγειακές παθήσεις, ψυχικές διαταραχές και μειωμένη γνωστική απόδοση, ιδιαίτερα στα παιδιά. Η διαταραχή του ύπνου θεωρείται από τις πρώτες συνέπειες της έκθεσης σε νυχτερινό θόρυβο, με αποτελέσματα όπως μικροαφυπνίσεις και ορμονική ανισορροπία (Ruiz-Páez et al., 2023). Επιπλέον, η χρόνια έκθεση σε περιβαλλοντικό θόρυβο ενεργοποιεί το συμπαθητικό νευρικό σύστημα, ενισχύοντας το άγχος και την κατάθλιψη (Dreger et al., 2019). Για τα παιδιά, η έκθεση σε θορύβους κοντά σε σχολικά περιβάλλοντα οδηγεί σε μαθησιακές δυσκολίες, καθώς διαταράσσεται η συγκέντρωση και η γνωστική ανάπτυξη (Yuan et al., 2019). Παράλληλα, οι ευάλωτες ομάδες, όπως τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα, είναι περισσότερο εκτεθειμένες, γεγονός που εντείνει τις κοινωνικές ανισότητες στην υγεία (Tonne et al., 2018).

Ακόμη και επίπεδα θορύβου κάτω από τα 'επιτρεπτά' όρια μπορεί να είναι επιβλαβή σε περίπτωση μακροχρόνιας έκθεσης. Αυτό καθιστά κρίσιμη την ανάγκη για αυστηρότερα όρια και στρατηγικές πρόληψης (Jarosińska et al., 2018). Οι επιπτώσεις του θορύβου αποτυπώνονται μέσω δεικτών όπως οι DALYs, YLL και HALEs, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του κοινωνικού και υγειονομικού βάρους του θορύβου (Verma & Raghubanshi, 2018). Επιπλέον, η μέτρηση της ηχητικής επιβάρυνσης απαιτεί διάκριση ως προς την πηγή. Για παράδειγμα, τα 90 dB(A) από έναν αυτοκινητόδρομο διαφέρουν σημαντικά από τα ίδια 90 dB(A) που προέρχονται από ένα αεροπλάνο λόγω διαφορών στη συχνότητα, διάρκεια και απόσταση έκθεσης.



Γράφημα 1. Εντάσεις θορύβου από διαφορετικές πηγές (σε dB(A)).

Πηγή: World Health Organization (WHO). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018.

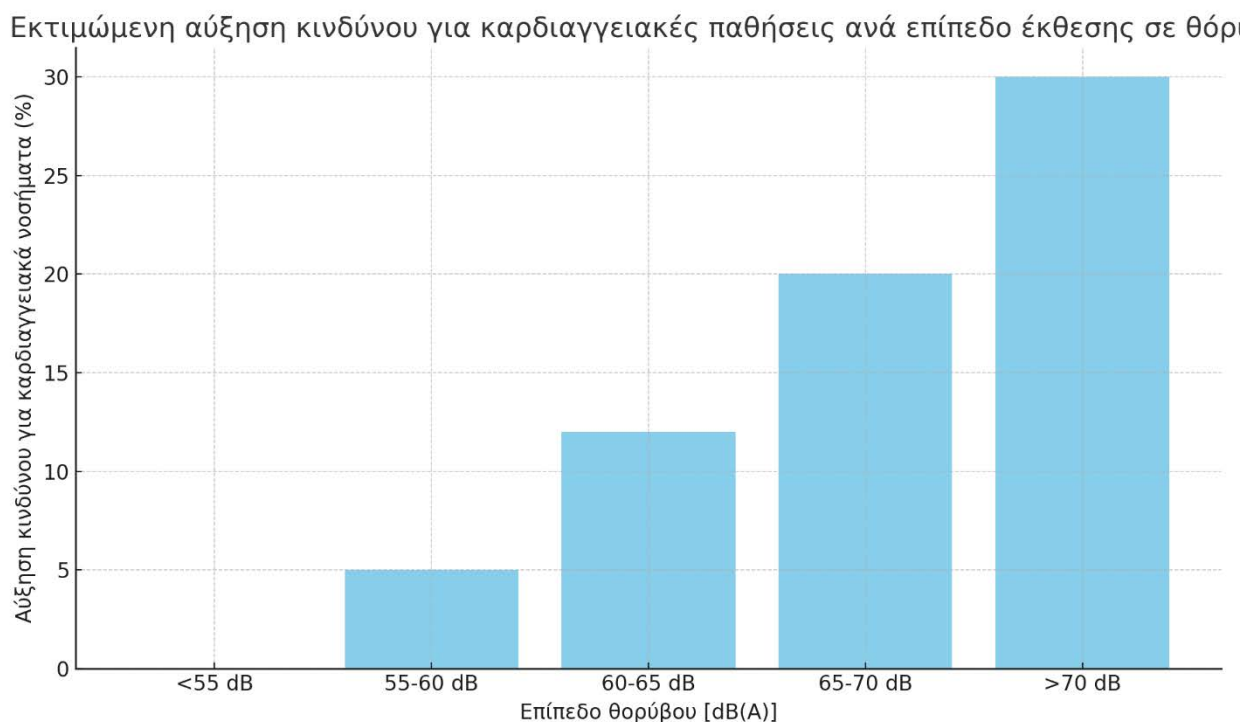
2.1.1 Θόρυβος και Καρδιαγγειακά νοσήματα

Η σχέση μεταξύ της ηχορύπανσης και των καρδιαγγειακών νοσημάτων έχει πλέον εδραιωθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, με πληθώρα μελετών να υποδεικνύουν ότι η χρόνια έκθεση σε θόρυβο αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης υπέρτασης, στεφανιαίας νόσου και εγκεφαλικών επεισοδίων. Οι μηχανισμοί που συνδέουν τον θόρυβο με την καρδιαγγειακή δυσλειτουργία περιλαμβάνουν τη διέγερση του αυτόνομου νευρικού συστήματος, την αύξηση της κορτιζόλης και των κατεχολαμινών και την πρόκληση φλεγμονωδών αντιδράσεων (Ruiz-Páez et al., 2023). Ακόμα και σε περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου θεωρούνται εντός των αποδεκτών ορίων, έχει παρατηρηθεί αυξημένη συχνότητα εμφάνισης υπέρτασης σε μακροχρόνια εκτεθειμένα άτομα. Η νυχτερινή έκθεση θεωρείται ιδιαίτερα επιβλαβής, καθώς παρεμβαίνει στον καρδιακό ρυθμό και ενισχύει τις αρνητικές επιδράσεις μέσω της διαταραχής του ύπνου (Morano et al., 2021). Ο συσσωρευτικός χαρακτήρας της έκθεσης καθιστά τον θόρυβο ισχυρό περιβαλλοντικό στρεσογόνο παράγοντα.

Η ηχορύπανση δεν επιδρά μόνο στη συχνότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων αλλά και στην επιβίωση μετά από αυτά. Μελέτες δείχνουν ότι οι ασθενείς που αναρρώνουν σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα θορύβου παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά επανανοσηλείας και βραδύτερη ανάρρωση. Αυτή η επίδραση σχετίζεται με τη συνεχή ενεργοποίηση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος, που περιορίζει τη φυσιολογική αποκατάσταση του οργανισμού (Liu et al., 2018). Ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιδράσεις του θορύβου είναι οι ηλικιωμένοι και τα άτομα με προϋπάρχοντα καρδιολογικά νοσήματα. Σε αυτές τις ομάδες, ακόμα και περιοδικές εκθέσεις σε θορύβους κυκλοφοριακής ή βιομηχανικής φύσης μπορούν να οδηγήσουν σε αιμοδυναμική απορρύθμιση και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης αρρυθμιών ή οξέων στεφανιαίων συνδρόμων (D'Alessandro et al., 2022). Η επίδραση του χρόνιου στρες στο ενδοθήλιο και στις μεταβολικές οδούς θεωρείται καθοριστικός παράγοντας στην παθογένεια των σχετιζόμενων ασθενειών.

Η χρήση χαρτών GIS και δεδομένων καταγραφής έκθεσης έχει επιτρέψει την καλύτερη κατανόηση της χωρικής κατανομής των επιπτώσεων και έχει αποδείξει τη συσχέτιση μεταξύ επιπέδων θορύβου και καρδιολογικών επιπλοκών σε αστικά περιβάλλοντα (Khan et al., 2018). Οι τεχνολογικές αυτές εξελίξεις έχουν καταστήσει δυνατή την πρόβλεψη υψηλού κινδύνου περιοχών και την εφαρμογή στοχευμένων παρεμβάσεων. Η οικονομική επιβάρυνση των συστημάτων υγείας από τα καρδιολογικά προβλήματα που προκαλεί ο θόρυβος είναι επίσης σημαντική. Η εκτίμηση των δαπανών που σχετίζονται με τη νοσηλεία, τη φαρμακευτική αγωγή και την απώλεια παραγωγικότητας υποδεικνύει ότι η μείωση του θορύβου μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη όχι μόνο στην υγεία του πληθυσμού αλλά και στην οικονομική βιωσιμότητα των δημόσιων συστημάτων (Maynard et al., 2020).

Τα δεδομένα αυτά ενισχύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης του θορύβου ως παράγοντα κινδύνου στις πολιτικές δημόσιας υγείας και καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και μετριασμού της έκθεσης. Οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν τόσο παθητικά μέτρα μείωσης (π.χ. ηχοπετάσματα) όσο και ενεργές παρεμβάσεις στην πολεοδομική οργάνωση και στον σχεδιασμό μεταφορών (Ahmad et al., 2019).



Γράφημα 2. Εκτιμώμενη αύξηση κινδύνου για καρδιαγγειακές παθήσεις σε σχέση με την έκθεση σε διαφορετικά επίπεδα θορύβου [dB(A)].

Πηγή: World Health Organization (WHO). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. Bonn: WHO European Centre for Environment and Health, 2011.

2.1.2 Θόρυβος και Ακουστική Υγεία

Η ακουστική υγεία αποτελεί βασικό συνιστώμενο της γενικής υγείας και συνδέεται άμεσα με την ποιότητα ζωής, την κοινωνική ένταξη, την εκπαίδευση και την εργασιακή απόδοση. Ο θόρυβος, ιδιαίτερα όταν είναι επίμονος, ανεξέλεγκτος και προέρχεται από το περιβάλλον, επηρεάζει αρνητικά την ακοή και οδηγεί σε διάφορες μορφές ακουστικής επιβάρυνσης. Η έκθεση σε ηχορύπανση, είτε πρόκειται για αστικό κυκλοφοριακό θόρυβο, είτε για βιομηχανικό είτε για ψυχαγωγικό θόρυβο, έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί τόσο παροδικές όσο και μόνιμες βλάβες στο ακουστικό σύστημα (Murphy&King, 2022).

Η πιο άμεση και καλά τεκμηριωμένη επίδραση του θορύβου στην ακουστική υγεία είναι η απώλεια ακοής, η οποία μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη, ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της έκθεσης. Η απώλεια ακοής προκαλείται κυρίως από τη βλάβη στα τριχωτά κύτταρα

του κοχλία, τα οποία δεν αναγεννώνται. Αυτή η βλάβη είναι αθροιστική και, όταν συνδυάζεται με την επίδραση της ηλικίας, οδηγεί σε πρόωμη έναρξη ακουστικής έκπτωσης. Οι σύγχρονες πόλεις εκθέτουν καθημερινά εκατομμύρια ανθρώπους σε επίπεδα ήχου που ξεπερνούν τα ασφαλή όρια των 55 dBLden, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο (Khanetal., 2018). Εκτός από την απώλεια ακοής, η χρόνια έκθεση σε θόρυβο μπορεί να οδηγήσει σε υπερακουσία, δηλαδή σε αυξημένη ευαισθησία σε φυσιολογικά επίπεδα ήχου. Η κατάσταση αυτή συχνά συνδέεται με προβλήματα ψυχικής υγείας και αυξημένο άγχος. Τα άτομα με υπερακουσία τείνουν να αποφεύγουν κοινωνικές συναθροίσεις και θορυβώδη περιβάλλοντα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε κοινωνική απομόνωση και κατάθλιψη. Η διαχείριση της υπερακουσίας απαιτεί συνδυασμό ιατρικής παρέμβασης και περιβαλλοντικών τροποποιήσεων, κάτι που τονίζει τη σημασία της πρόληψης (Tonneetal., 2018).

Ένα άλλο φαινόμενο που σχετίζεται στενά με την ακουστική υγεία είναι η εμβοή (tinnitus), η οποία περιγράφεται ως αντιληπτός ήχος χωρίς εξωτερική πηγή. Η εμβοή μπορεί να είναι συνεχής ή διακοπτόμενη, και σε σοβαρές περιπτώσεις προκαλεί δυσκολίες στον ύπνο, στη συγκέντρωση και στη συναισθηματική σταθερότητα. Ο θόρυβος, ιδιαίτερα σε επαγγελματικά περιβάλλοντα χωρίς κατάλληλα μέτρα προστασίας, αποτελεί μία από τις κυριότερες αιτίες πρόκλησης εμβοών. Στην περίπτωση εργαζομένων σε εργοτάξια ή βιομηχανικές μονάδες, η συστηματική έκθεση σε ήχους άνω των 85 dB μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη βλάβη (D'Alessandroetal., 2022).

Η διαταραχή της ακουστικής υγείας δεν περιορίζεται μόνο στις φυσιολογικές βλάβες του ακουστικού μηχανισμού, αλλά επεκτείνεται και στη γνωστική λειτουργία. Παιδιά που μεγαλώνουν ή φοιτούν σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης εμφανίζουν μειωμένη γλωσσική επεξεργασία, δυσκολίες στην ανάγνωση και χαμηλότερες επιδόσεις σε τεστ μνήμης και προσοχής. Οι συνέπειες αυτές σχετίζονται με τη συνεχή διάσπαση της συγκέντρωσης και την αδυναμία εστίασης σε λεκτικά ερεθίσματα. Η καθυστέρηση στην ανάπτυξη της φωνολογικής επίγνωσης μπορεί να επηρεάσει την ακαδημαϊκή πορεία και τις κοινωνικές δεξιότητες (Yuanetal., 2019). Οι ηλικιωμένοι αποτελούν μία άλλη ευάλωτη ομάδα όσον αφορά την ακουστική υγεία. Πέρα από την εκφυλιστική επίδραση της ηλικίας στην ακοή, ο περιβαλλοντικός θόρυβος επιδεινώνει περαιτέρω την κατάσταση, δυσκολεύοντας την αντίληψη των ομιλιών, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με θόρυβο υποβάθρου. Η αδυναμία κατανόησης της ανθρώπινης φωνής σε τέτοιες συνθήκες αυξάνει την κοινωνική απόσυρση και μπορεί να οδηγήσει σε γνωστική έκπτωση, καθώς η ακοή παίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της νοητικής δραστηριότητας (Moranoetal., 2021).

Η επαγγελματική έκθεση στον θόρυβο αποτελεί ακόμη μία σημαντική πτυχή της ακουστικής υγείας. Επαγγέλματα που σχετίζονται με τη χρήση μηχανημάτων, μεταφορικών μέσων ή δραστηριότητες σε εξωτερικούς χώρους συνδέονται με αυξημένα ποσοστά επαγγελματικής βαρηκοΐας. Η χρήση προστατευτικών μέσων είναι μεν σημαντική, ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται μη συμμόρφωση ή κακή εφαρμογή. Η επιβολή αυστηρότερων κανονισμών και η συνεχής επιμόρφωση των εργαζομένων μπορεί να συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της ηχορύπανσης στο εργασιακό περιβάλλον (Ahmadetal., 2019).

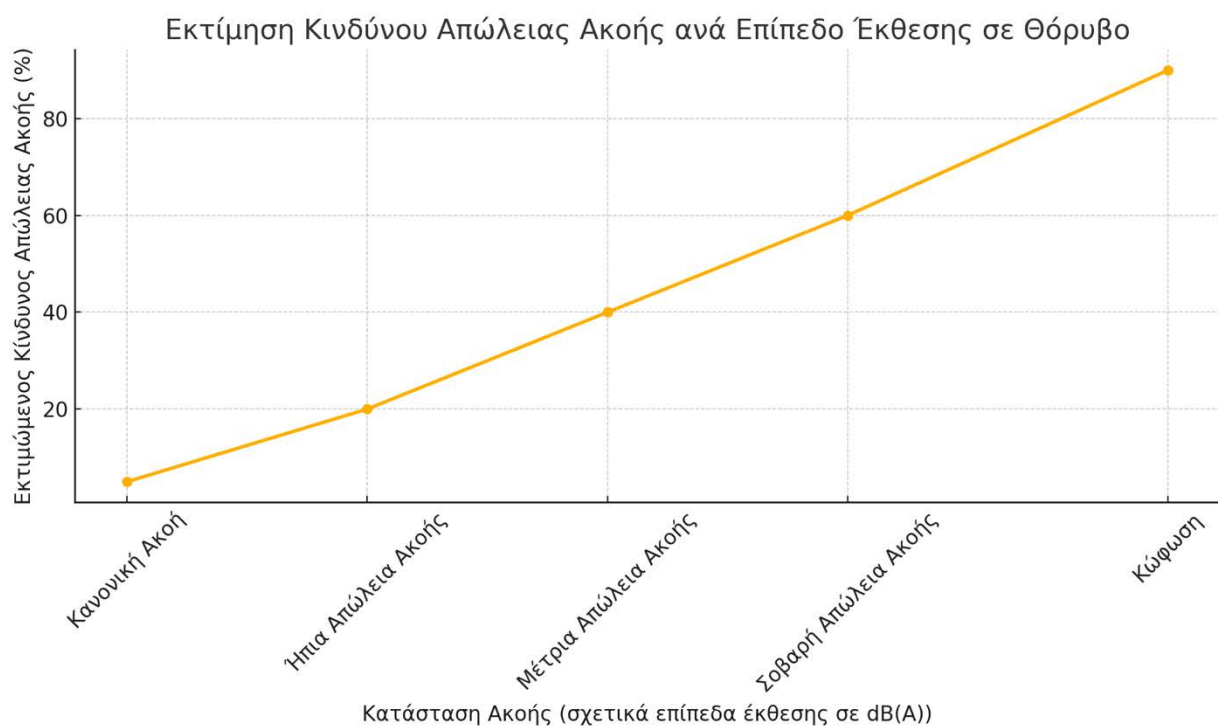
Η ανίχνευση προβλημάτων ακουστικής υγείας σε πρώιμο στάδιο είναι καθοριστικής σημασίας. Παρά ταύτα, η ελλιπής πρόσβαση σε υπηρεσίες ακουολογίας και η υποεκτίμηση των συμπτωμάτων από τους ίδιους τους ασθενείς συχνά οδηγούν σε καθυστερημένη διάγνωση. Ο τακτικός ακουολογικός έλεγχος, ιδιαίτερα σε επαγγελματίες υψηλού κινδύνου και ηλικιωμένους, αποτελεί σημαντικό εργαλείο πρόληψης και έγκαιρης παρέμβασης (Liuetal., 2018).

Η τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ακουστικών βοηθημάτων και συστημάτων μείωσης θορύβου, τα οποία βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των ατόμων με ακουστικά προβλήματα. Ωστόσο, η διάδοση και η αποδοχή τους παραμένει περιορισμένη, κυρίως λόγω του κόστους και του κοινωνικού στίγματος. Η ενίσχυση προγραμμάτων δημόσιας υγείας που περιλαμβάνουν ακουολογική υποστήριξη και κάλυψη κόστους θα μπορούσε να ενισχύσει τη φροντίδα της ακουστικής υγείας στον πληθυσμό (Maynardetal., 2020). Η παρακολούθηση της έκθεσης στον θόρυβο μέσω περιβαλλοντικών και κοινωνικών δεικτών είναι απαραίτητη για την προστασία της ακουστικής υγείας. Οι δείκτες αυτοί περιλαμβάνουν όχι μόνο επίπεδα dB αλλά και χρονική διάρκεια έκθεσης, χρονικά πρότυπα και πληθυσμιακές ευαισθησίες. Η ενσωμάτωση τέτοιων δεδομένων στις στρατηγικές πολεοδομικού σχεδιασμού και στην κατασκευή υποδομών είναι καίρια για τη μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα (Salguero-Puertaetal., 2019). Οι δείκτες ακοής έχουν επίσης θέση στη γενικότερη αξιολόγηση της ποιότητας ζωής. Μέσω εργαλείων όπως το HALEs, μπορεί να εκτιμηθεί το προσδόκιμο ζωής με καλή ακουστική λειτουργία, λαμβάνοντας υπόψη την επίπτωση της ακουστικής βλάβης σε κοινωνικό, ψυχολογικό και οικονομικό επίπεδο.

Τέτοιοι δείκτες ενισχύουν την κατανόηση των επιπτώσεων της ηχορύπανσης σε μακροπρόθεσμο επίπεδο και προωθούν την ενσωμάτωση της ακουστικής υγείας στις πολιτικές δημόσιας υγείας (Verma&Raghubanshi, 2018).

Η υιοθέτηση βιώσιμων στρατηγικών που στοχεύουν στην ηχητική ισορροπία και την προώθηση της ακουστικής ευημερίας καθίσταται αναγκαία. Ο σχεδιασμός πόλεων με βάση τα ηχοτοπία, η

δημιουργία ήσυχων ζωνών, η χρήση φυσικών φραγμών και η ενσωμάτωση ηχομονωτικών υλικών αποτελούν βασικά εργαλεία. Η βιώσιμη διαχείριση του θορύβου σε αστικά κέντρα δεν εξυπηρετεί μόνο την προστασία της ακουστικής υγείας αλλά ενισχύει και τη γενικότερη ψυχοσωματική ευεξία των κατοίκων (Ameen&Mourshed, 2019).



Γράφημα 3. Εκτίμηση Κινδύνου Απώλειας Ακοής ανά Επίπεδο Έκθεσης σε Θόρυβο

Πηγή: WHO, *Environmental Noise Guidelines for the European Region*, 2018.

2.1.3 Θόρυβος και Ψυχική Υγεία

Η επίδραση του θορύβου στην εγκεφαλική λειτουργία και την ψυχική υγεία αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα και διαρκώς αναπτυσσόμενα ερευνητικά πεδία. Ο θόρυβος δρα ως χρόνιος περιβαλλοντικός στρεσογόνος παράγοντας και επιδρά σε βασικά νευροφυσιολογικά συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Η συνεχής ενεργοποίηση του συστήματος υποθαλάμου-υπόφυσης-επινεφριδίων προκαλεί αυξημένη έκκριση κορτιζόλης και άλλων ορμονών του στρες, οι οποίες σε βάθος χρόνου μπορούν να αλλοιώσουν τη λειτουργία περιοχών του εγκεφάλου όπως ο ιππόκαμπος και η προμετωπιαία περιοχή (Ruiz-Páezetal., 2023).

Η παρατεταμένη έκθεση σε περιβαλλοντικό θόρυβο έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης ψυχικών διαταραχών, όπως το άγχος, η κατάθλιψη και η ψυχική εξάντληση. Άτομα που διαμένουν σε αστικά περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης αναφέρουν συχνότερα ψυχική δυσφορία και δυσκολία στη συγκέντρωση. Ο θόρυβος επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του ύπνου, κάτι που επηρεάζει την ψυχική ανθεκτικότητα και ενισχύει την ευαλωτότητα στην εμφάνιση ψυχοπαθολογίας (Tonneetal., 2018). Η γνωστική λειτουργία φαίνεται επίσης να επηρεάζεται από τη συνεχή έκθεση σε θόρυβο, ιδιαίτερα όταν η έκθεση αυτή λαμβάνει χώρα κατά την παιδική ηλικία. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα παιδιά που ζουν ή φοιτούν σε περιοχές με έντονο θόρυβο παρουσιάζουν χαμηλότερη απόδοση σε γνωστικά τεστ, ειδικά σε τομείς που σχετίζονται με τη μνήμη, την προσοχή και τη λεκτική επεξεργασία. Αυτή η γνωστική επιβάρυνση αποδίδεται στην αδυναμία των παιδιών να εστιάσουν σε λεκτικά ερεθίσματα και στην διαρκή αποδιοργάνωση της συγκέντρωσης λόγω του ήχου (Yuanetal., 2019). Ο θόρυβος επηρεάζει επίσης τη λειτουργική συνδεσιμότητα του εγκεφάλου, δηλαδή την ικανότητα των διαφόρων εγκεφαλικών περιοχών να συνεργάζονται. Οι περιοχές που σχετίζονται με την εστίαση της προσοχής και την ικανότητα αντίληψης του περιβάλλοντος παρουσιάζουν μειωμένη δραστηριότητα μετά από έκθεση σε περιβαλλοντικό θόρυβο, όπως έχει φανεί σε νευροαπεικονιστικές μελέτες.

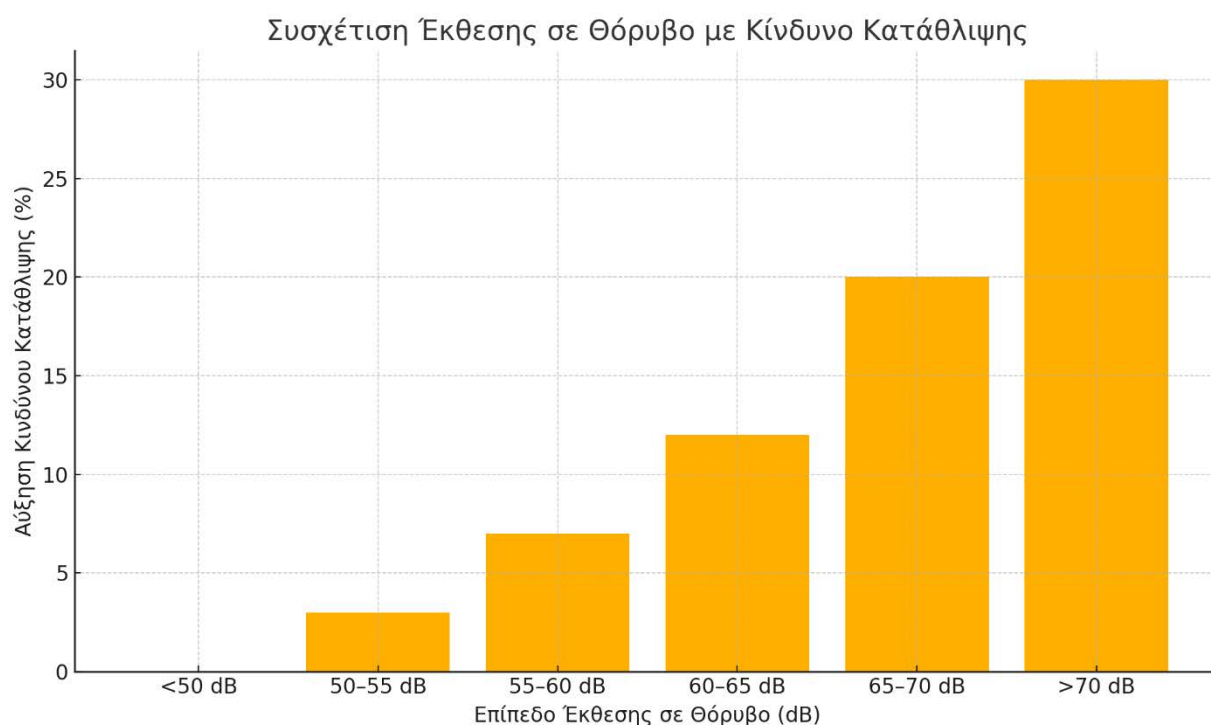
Η κατάσταση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απόδοση στην εργασία, μειωμένη ακαδημαϊκή πρόοδο και γενικότερη ψυχική κόπωση (Ahmadetal., 2019).

Επιπλέον, ο περιβαλλοντικός θόρυβος συχνά συνδέεται με αίσθημα έλλειψης ελέγχου, το οποίο είναι βασικός ψυχολογικός παράγοντας στην ανάπτυξη καταθλιπτικών συμπτωμάτων. Όταν ο ήχος δεν μπορεί να ελεγχθεί ή να αποφευχθεί, το άτομο αισθάνεται ανίσχυρο και αυτό ενισχύει τα επίπεδα στρες. Η έκθεση σε ανεπιθύμητο ήχο, όπως ο θόρυβος της κυκλοφορίας, έχει

καταγραφεί ως αιτία εμφάνισης χρόνιου στρες και αυξημένης συναισθηματικής ευερεθιστότητας (Dregeretal., 2019).

Τα άτομα που ανήκουν σε ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, όπως είναι οι ηλικιωμένοι, οι άνεργοι και οι κάτοικοι φτωχών περιοχών, πλήττονται δυσανάλογα από την επίδραση του θορύβου στην ψυχική υγεία. Η περιορισμένη πρόσβαση σε ήσυχους δημόσιους χώρους και η υψηλότερη έκθεση σε κυκλοφοριακό ή βιομηχανικό θόρυβο ενισχύει τις ανισότητες στην ψυχική ευεξία. Τα δεδομένα αυτά καθιστούν αναγκαία την ενσωμάτωση κοινωνικών κριτηρίων στις πολιτικές μείωσης του θορύβου (Liuetal., 2018). Η απορρύθμιση του ύπνου, που προκαλείται από νυχτερινή έκθεση σε θόρυβο, έχει έμμεσες αλλά σημαντικές συνέπειες στη νευρογνωστική λειτουργία. Η έλλειψη επαρκούς ύπνου σχετίζεται με εξασθένιση της μνήμης, μειωμένη συναισθηματική σταθερότητα και αυξημένη επιθετικότητα. Άτομα που ζουν σε περιοχές με υψηλό επίπεδο νυχτερινής ηχορύπανσης εμφανίζουν πιο συχνά διαταραχές διάθεσης και μεγαλύτερη δυσκολία στη διαχείριση στρεσογόνων καταστάσεων (Khanetal., 2018).

Η υποκειμενική αντίληψη του θορύβου παίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στην ψυχική επιβάρυνση. Δύο άτομα που εκτίθενται στο ίδιο επίπεδο ηχορύπανσης μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό ψυχικής επιβάρυνσης, ανάλογα με το προσωπικό τους ιστορικό, την ψυχολογική τους ανθεκτικότητα και την κοινωνική τους υποστήριξη. Αυτή η ετερογένεια καθιστά αναγκαία τη συμπερίληψη ποιοτικών δεικτών στην αξιολόγηση των επιπτώσεων του θορύβου στην ψυχική υγεία (Maynardetal., 2020). Οι σύγχρονες προσεγγίσεις στη διαχείριση της ηχορύπανσης προτείνουν τη δημιουργία ηχοτοπίων που ενισχύουν την ψυχική ευεξία, με ενσωμάτωση ήχων της φύσης, όπως το νερό και το κελάηδισμα πουλιών. Αυτοί οι ήχοι έχουν αποδεδειγμένα καταπραϋντικές ιδιότητες και μπορούν να εξισορροπήσουν τις επιδράσεις των αρνητικών ήχων. Ο σχεδιασμός του αστικού περιβάλλοντος με γνώμονα την ακουστική ευεξία είναι καθοριστικός για την προστασία της ψυχικής υγείας (Salguero-Puertaetal., 2019).



Γράφημα 4. Συσχέτιση Έκθεσης σε Θόρυβο με Κίνδυνο Κατάθλιψης

Πηγή: Ruiz-Páez et al., 2023

2.1.4 Θόρυβος και άλλες ασθένειες

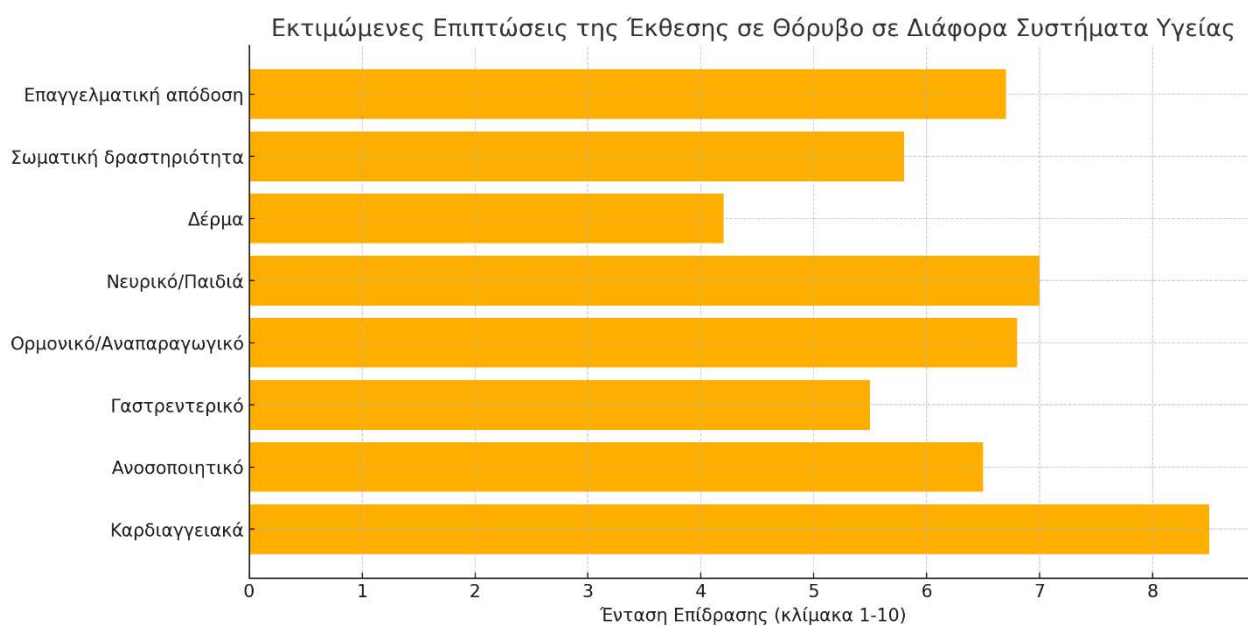
Εκτός από τις καρδιαγγειακές παθήσεις, τις ψυχικές διαταραχές και τα ακουστικά προβλήματα, ο θόρυβος έχει συσχετιστεί με μια ευρύτερη γκάμα ασθενειών που επηρεάζουν διάφορα συστήματα του οργανισμού. Η έκθεση σε θόρυβο έχει βρεθεί ότι επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία του ενδοκρινικού και του ανοσοποιητικού συστήματος, ενισχύοντας φλεγμονώδεις διεργασίες και ορμονικές ανισορροπίες. Αυτές οι διαταραχές μπορεί να συμβάλουν στην εμφάνιση σακχαρώδους διαβήτη τύπου 2, παχυσαρκίας και μεταβολικού συνδρόμου (Jarosińska et al., 2018).

Η χρόνια ηχορύπανση έχει επίσης επιπτώσεις στη γαστρεντερική υγεία, με αυξημένα περιστατικά συνδρόμου ευερέθιστου εντέρου και λειτουργικών γαστρεντερικών διαταραχών. Το στρες που προκαλεί ο θόρυβος επηρεάζει τον άξονα εγκεφάλου-εντέρου, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η κινητικότητα του εντέρου και η έκκριση πεπτικών υγρών. Επιπλέον, οι συχνές αφυπνίσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας επηρεάζουν την πέψη και σχετίζονται με αυξημένη παραγωγή γαστρικού οξέος (Ruiz-Páez et al., 2023). Ο θόρυβος μπορεί να διαταράξει και το ορμονικό προφίλ, κυρίως μέσω της χρόνιας διέγερσης του συστήματος HPA. Έχει βρεθεί ότι οι γυναίκες που εκτίθενται σε

υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης ενδέχεται να παρουσιάσουν διαταραχές στην έμμηνο ρύση, καθώς και προβλήματα γονιμότητας. Επιπλέον, η έκθεση κατά την εγκυμοσύνη έχει συσχετιστεί με πρόωρους τοκετούς και χαμηλό βάρος γέννησης στα νεογνά, πιθανότατα λόγω της δράσης του στρες στην ενδομήτρια ανάπτυξη (Liu et al., 2018).

Η αρνητική επίδραση του θορύβου στον ύπνο, με τις συνεχείς μικροαφυπνίσεις και τη μείωση του σταδίου του βαθύ ύπνου, οδηγεί σε εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος. Η παραγωγή κυτοκινών και άλλων αντιφλεγμονωδών μορίων επηρεάζεται, με αποτέλεσμα την αυξημένη ευαλωτότητα σε ιογενείς και βακτηριακές λοιμώξεις. Εργαζόμενοι σε βάρδιες που εκτίθενται σε βιομηχανικό θόρυβο εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά νοσηρότητας (Khan et al., 2018). Ο θόρυβος έχει επίσης αρνητική επίδραση στα παιδιά. Εκτός από την επίδραση στη γνωστική ανάπτυξη, έχει παρατηρηθεί ότι η συνεχής έκθεση σε θόρυβο σχετίζεται με αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και άλλων στρεσογόνων ορμονών, τα οποία επηρεάζουν την ανάπτυξη του νευρικού και ανοσοποιητικού συστήματος. Παιδιά που εκτίθενται σε τέτοιες συνθήκες παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα αναπνευστικών λοιμώξεων, πονοκεφάλων και διαταραχών συμπεριφοράς (Morano et al., 2021).

Η έκθεση σε ηχορύπανση έχει επίσης επιπτώσεις στην επιδερμίδα. Αν και το δέρμα δεν σχετίζεται άμεσα με το ακουστικό σύστημα, η αύξηση του οξειδωτικού στρες λόγω του περιβαλλοντικού θορύβου μπορεί να συμβάλει στη γήρανση του δέρματος, στην εμφάνιση φλεγμονών και σε διαταραχές του κολλαγόνου. Οι συνέπειες αυτές είναι εντονότερες σε άτομα που ήδη πάσχουν από χρόνιες δερματοπάθειες, όπως έκζεμα ή ψωρίαση (Maynard et al., 2020). Η συσχέτιση του θορύβου με τη μείωση της σωματικής δραστηριότητας έχει επίσης επισημανθεί. Οι άνθρωποι τείνουν να αποφεύγουν την άσκηση σε περιοχές με έντονη κυκλοφοριακή ηχορύπανση, γεγονός που οδηγεί σε καθιστική ζωή και αυξάνει τους κινδύνους για χρόνια νοσήματα. Η σωματική αδράνεια αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα για παθήσεις όπως η υπέρταση, ο διαβήτης και η κατάθλιψη, επιδεινώνοντας περαιτέρω την επίδραση του θορύβου στην υγεία (Ameen & Mourshed, 2019). Ορισμένες σύγχρονες έρευνες δείχνουν ότι η ηχορύπανση μπορεί να επηρεάσει ακόμη και τη γνωστική αποδοτικότητα των εργαζομένων, αυξάνοντας τα λάθη και μειώνοντας την παραγωγικότητα. Σε περιβάλλοντα όπου οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε συνεχείς ή απότομους ήχους, καταγράφεται υψηλότερη συχνότητα επαγγελματικής εξουθένωσης και απουσιών λόγω ασθένειας. Αυτές οι συνέπειες έχουν οικονομικές επιπτώσεις τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για τα συστήματα υγείας (D'Alessandro et al., 2022).



Γράφημα 5. Εκτιμώμενες Επιπτώσεις της Έκθεσης σε Θόρυβο σε Διάφορα Συστήματα Υγείας

Πηγή: World Health Organization (WHO), 2018).

2.2 Δείκτες μέτρησης υγείας

Η αποτύπωση και αξιολόγηση της υγείας του πληθυσμού είναι αναγκαία για τη διαμόρφωση πολιτικών δημόσιας υγείας και για την αποτελεσματική παρακολούθηση των επιπτώσεων περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως ο θόρυβος. Οι δείκτες υγείας αποτελούν εργαλεία που αποτυπώνουν την κατάσταση υγείας ενός πληθυσμού ή επιμέρους ομάδων του και προσφέρουν δυνατότητες συγκρίσεων, πρόγνωσης και διαμόρφωσης στρατηγικών παρέμβασης. Στην περίπτωση της ηχορύπανσης, η επιλογή κατάλληλων δεικτών είναι κρίσιμη για την κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στην έκθεση και τις συνέπειες στην υγεία (Jarosińska et al., 2018).

Οι δείκτες υγείας διακρίνονται σε επιδημιολογικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς, ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που παρέχουν. Στους πιο διαδεδομένους συγκαταλέγονται οι δείκτες θνησιμότητας, νοσηρότητας, προσδόκιμου ζωής, καθώς και οι περισσότερο σύνθετοι δείκτες όπως τα Disability-AdjustedLifeYears (DALYs), τα Years of LifeLost (YLL), τα HealthyLifeYears (HLY) και τα Health-AdjustedLifeExpectancy (HALEs). Οι δείκτες αυτοί συνδυάζουν ποσοτικά στοιχεία για την απώλεια υγείας και την αναπηρία, προσφέροντας μία πληρέστερη εικόνα της επιβάρυνσης που προκαλεί ένας παράγοντας κινδύνου όπως ο θόρυβος (Ahmadetal., 2019). Ο δείκτης DALYs αποτελεί ίσως το σημαντικότερο εργαλείο μέτρησης της επίπτωσης ενός περιβαλλοντικού παράγοντα στην υγεία, καθώς εκφράζει τον συνολικό αριθμό ετών υγιούς ζωής που χάνονται λόγω πρόωρης θνησιμότητας ή ανικανότητας. Στην περίπτωση του θορύβου, ο δείκτης DALYs επιτρέπει την ποσοτικοποίηση επιπτώσεων όπως η απώλεια ακοής, η υπέρταση, οι διαταραχές ύπνου και η ισχαιμική καρδιοπάθεια, γεγονός που διευκολύνει τη συγκριτική αξιολόγηση της ηχορύπανσης έναντι άλλων περιβαλλοντικών κινδύνων (D'Alessandroetal., 2022).

Ο δείκτης YLL καταγράφει τα χρόνια ζωής που χάνονται λόγω πρόωρων θανάτων. Η συμβολή του στη μελέτη των συνεπειών του θορύβου είναι σημαντική κυρίως για τις περιπτώσεις όπου η έκθεση σε θόρυβο συνδέεται με αυξημένη θνησιμότητα από καρδιαγγειακές ή άλλες χρόνιες παθήσεις. Η έννοια της πρόωρης απώλειας ζωής βοηθά στην κατανόηση των μακροπρόθεσμων συνεπειών της χρόνιας έκθεσης σε ηχορύπανση και στη σύνδεση αυτών των συνεπειών με τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής (Ruiz-Páezetal., 2023).

Ο δείκτης HALE αποτυπώνει το προσδόκιμο ζωής με προσαρμογή στην κατάσταση υγείας. Πρόκειται για έναν δείκτη που περιλαμβάνει όχι μόνο τα χρόνια ζωής, αλλά και την ποιότητα αυτών των ετών, αφαιρώντας τα χρόνια που ο άνθρωπος ζει με αναπηρία ή χρόνιες παθήσεις. Η ενσωμάτωση των επιπτώσεων του θορύβου, όπως οι διαταραχές ύπνου, οι ψυχικές διαταραχές και οι γνωστικές επιβαρύνσεις στον δείκτη HALE επιτρέπει μια ρεαλιστικότερη απεικόνιση της πραγματικής επίδρασης του θορύβου στην ανθρώπινη ζωή (Verma&Raghubanshi, 2018). Ένας άλλος δείκτης, τα HealthyLifeYears (HLY), είναι παρόμοιος με τον HALE αλλά εστιάζει κυρίως στην αναπηρία και την αυτοεκτιμώμενη υγεία. Ο δείκτης αυτός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στις ευρωπαϊκές χώρες και συχνά χρησιμοποιείται για τη σύγκριση μεταξύ κρατών και την αξιολόγηση των πολιτικών δημόσιας υγείας. Στην περίπτωση του θορύβου, ο HLY μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποτιμήσει τον αριθμό των ετών που χάνονται λόγω προβλημάτων ακοής, ψυχικών διαταραχών ή άλλων σχετιζόμενων νοσημάτων (Moranoetal., 2021).

Η επιλογή και χρήση των παραπάνω δεικτών απαιτεί τη συλλογή αξιόπιστων δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως νοσοκομειακά μητρώα, δημογραφικά στατιστικά, περιβαλλοντικούς χάρτες και πληθυσμιακές έρευνες. Η ένταξη τεχνολογιών όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) έχει βελτιώσει τη δυνατότητα καταγραφής της έκθεσης σε θόρυβο και της χωρικής συσχέτισής της με προβλήματα υγείας, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για πιο ακριβή υπολογισμό των δεικτών (Khanetal., 2018).

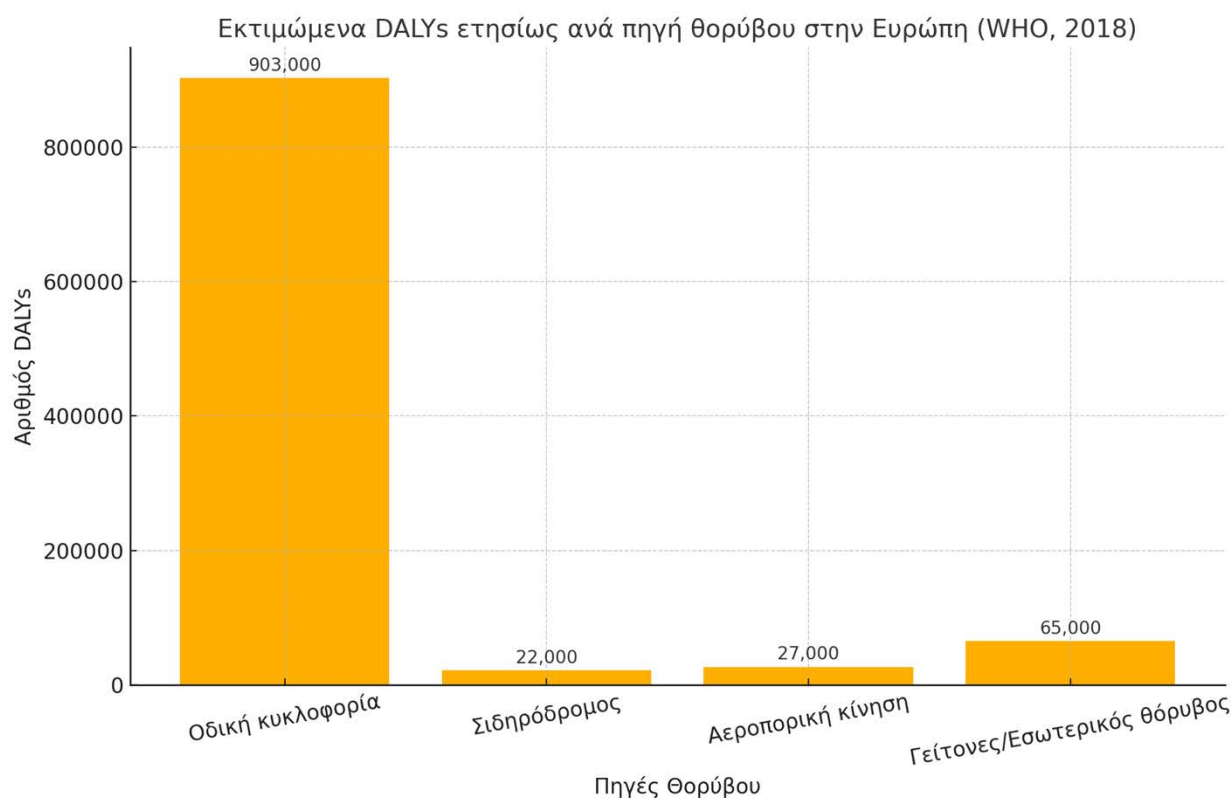
Επιπλέον, οι περιβαλλοντικοί δείκτες που σχετίζονται με την ηχορύπανση, όπως το επίπεδο Lden (Day-Evening-NightLevel), το Leq (ισοδύναμο επίπεδο ήχου) και η συχνότητα έκθεσης σε επίπεδα άνω των 55 ή 65 dB, αποτελούν βασικούς δείκτες για τη σύνδεση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης με την υγεία. Οι δείκτες αυτοί, όταν συσχετίζονται με δεδομένα για την υγεία του πληθυσμού, επιτρέπουν την ενσωμάτωσή τους σε μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης νοσηρότητας και θνησιμότητας, καθώς και στην οικονομική αξιολόγηση των συνεπειών της ηχορύπανσης (Jarosińskaetal., 2018). Η χρήση των δεικτών αυτών έχει υιοθετηθεί και από διεθνείς οργανισμούς όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, ο οποίος στις οδηγίες του για τον περιβαλλοντικό θόρυβο έχει ενσωματώσει τις επιπτώσεις του θορύβου στους δείκτες DALYs και HALE. Η εφαρμογή αυτών των εργαλείων στις πολιτικές δημόσιας υγείας επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων και τη ιεράρχηση των αναγκών παρέμβασης με βάση το μέγεθος της επιβάρυνσης στην υγεία (Murphy&King, 2022).

Η συστηματική παρακολούθηση της υγείας μέσω δεικτών επιτρέπει και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών περιορισμού του θορύβου. Όταν, για παράδειγμα, εφαρμόζονται πολιτικές κυκλοφοριακής αποσυμφόρησης ή ηχομονωτικές παρεμβάσεις σε σχολεία, μπορεί να παρακολουθηθεί η αλλαγή στα ποσοστά ψυχικής δυσφορίας ή στις επιδόσεις των μαθητών. Αυτή η δυνατότητα αξιολόγησης είναι κρίσιμη για την τεκμηριωμένη χάραξη πολιτικής (Maynardetal., 2020).

Η εφαρμογή των δεικτών σε τοπικό επίπεδο, όπως σε δήμους ή περιφέρειες, συμβάλλει στην κατανόηση των τοπικών ιδιαιτεροτήτων και στην προσαρμογή των μέτρων στις πραγματικές ανάγκες του πληθυσμού. Για παράδειγμα, περιοχές με υψηλή συγκέντρωση βιομηχανικής δραστηριότητας ή γειτνίαση με αεροδρόμια παρουσιάζουν διαφορετικά προφίλ θορυβικής έκθεσης και, κατά συνέπεια, διαφορετική κατανομή των δεικτών υγείας που σχετίζονται με τον θόρυβο (Liuetal., 2018). Σημαντικό στοιχείο στη χρήση των δεικτών υγείας είναι η διαχρονική τους παρακολούθηση. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να εντοπιστούν οι τάσεις και να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης σε βάθος χρόνου. Η διαχρονική ανάλυση

συμβάλλει επίσης στην αναγνώριση νέων προβλημάτων που προκύπτουν από αλλαγές στο αστικό περιβάλλον ή την τεχνολογική πρόοδο, όπως π.χ. η αύξηση του ηλεκτρομαγνητικού και ηχητικού περιβαλλοντικού φορτίου (Ameen&Mourshed, 2019).

Τέλος, η σύνδεση των δεικτών μέτρησης υγείας με την οικονομική αξιολόγηση επιτρέπει την εκτίμηση του κόστους των συνεπειών του θορύβου για τα συστήματα υγείας και για την κοινωνία. Η χρήση των DALYs και HALEs ως βάση για οικονομικά μοντέλα συμβάλλει στην εκτίμηση του οφέλους από την εφαρμογή προληπτικών μέτρων και επιβεβαιώνει τη χρησιμότητα της πρόληψης για τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων υγείας (Dregeretal., 2019).



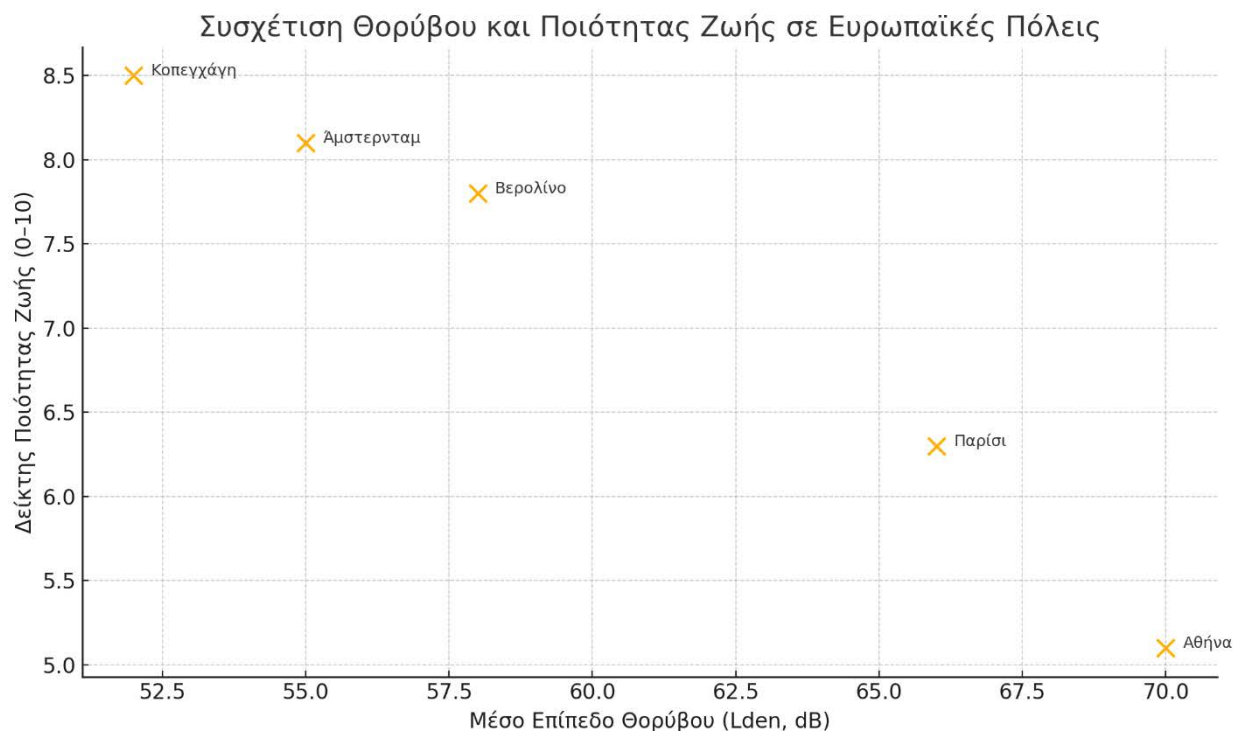
Γράφημα 6. Εκτιμώμενα DALYs ανά πηγή περιβαλλοντικού θορύβου στην Ευρώπη

Πηγή: World Health Organization (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe.

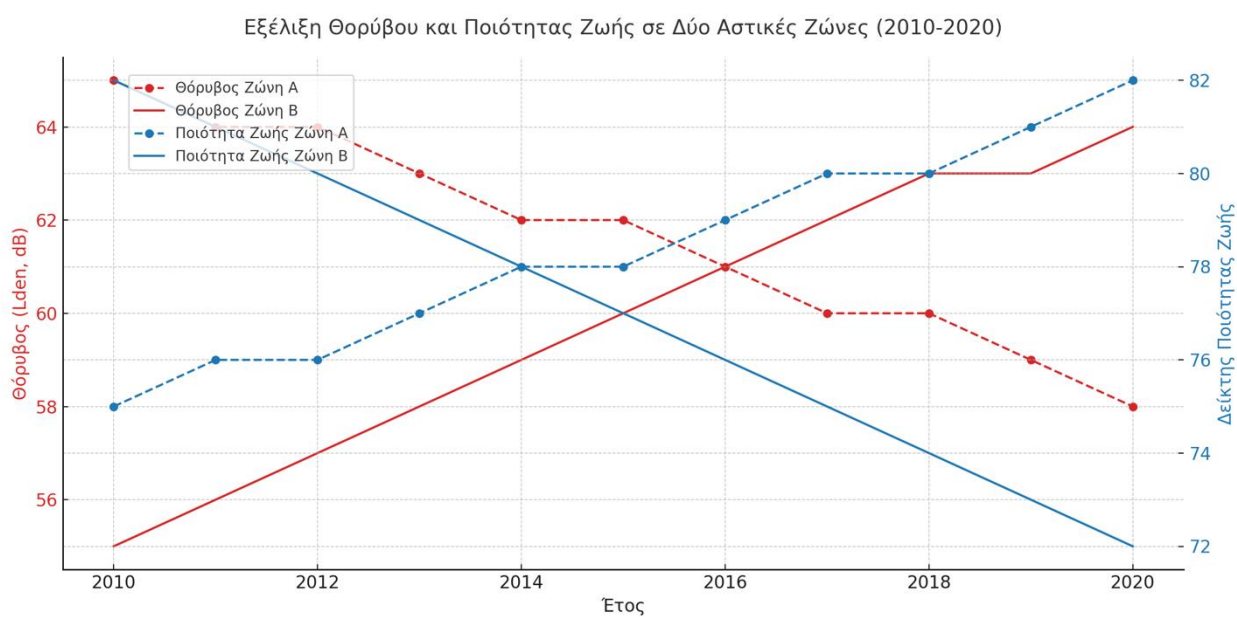
2.3 Δείκτες ποιότητας ζωής

Η ποιότητα ζωής αποτελεί έναν σύνθετο και πολυδιάστατο όρο, που περιλαμβάνει την υγεία, το περιβάλλον, την κοινωνική ευημερία και την υποκειμενική αίσθηση ικανοποίησης των ανθρώπων από τη ζωή τους. Οι δείκτες ποιότητας ζωής χρησιμοποιούνται για να αποτυπώσουν με ποσοτικά και ποιοτικά μέσα την ευημερία των πληθυσμών, προσφέροντας πολύτιμα εργαλεία για τον σχεδιασμό και την αποτίμηση των πολιτικών δημόσιας υγείας, περιβάλλοντος και κοινωνικής πολιτικής. Ο περιβαλλοντικός θόρυβος, ως ένας από τους σημαντικότερους αστικούς ρύπους, επιδρά άμεσα και έμμεσα στην ποιότητα ζωής, επηρεάζοντας τόσο την ψυχοσωματική υγεία όσο και την κοινωνική συμπεριφορά (Maynard et al., 2020). Η μέτρηση της ποιότητας ζωής δεν περιορίζεται μόνο σε δημογραφικά ή οικονομικά στοιχεία. Αντιθέτως, περιλαμβάνει δείκτες που σχετίζονται με την υγεία, την ασφάλεια, την πρόσβαση σε υπηρεσίες, το περιβάλλον, την κοινωνική στήριξη, την εκπαίδευση, την απασχόληση, και τις πολιτισμικές δραστηριότητες. Ειδικότερα στην περίπτωση της ηχορύπανσης, η ποιότητα ζωής επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο νυχτερινός ύπνος, η ικανότητα συγκέντρωσης, η κοινωνική αλληλεπίδραση και η γενική αίσθηση ευεξίας (Dreger et al., 2019).

Οι υποκειμενικές αξιολογήσεις του πληθυσμού σχετικά με τον θόρυβο που βιώνουν αποτελούν και αυτές κρίσιμη πηγή πληροφορίας. Άτομα που αντιλαμβάνονται τον περιβαλλοντικό θόρυβο ως ενοχλητικό, ακόμη και σε περιπτώσεις που τα επίπεδα είναι κάτω από τα όρια ασφαλείας, εμφανίζουν συχνότερα προβλήματα ύπνου, ευερεθιστότητα και άγχος. Αυτές οι επιδράσεις συμβάλλουν στη μείωση του αισθήματος ευημερίας και οδηγούν σε χαμηλότερη αξιολόγηση της ποιότητας ζωής (Morano et al., 2021). Η αξιολόγηση της ποιότητας ζωής με χρήση αντικειμενικών δεικτών υγείας και περιβάλλοντος επιτρέπει την παρακολούθηση των επιπτώσεων του θορύβου σε πληθυσμιακή κλίμακα. Οι δείκτες αυτοί βοηθούν επίσης στην αποτύπωση των ανισοτήτων μεταξύ διαφορετικών κοινωνικών και γεωγραφικών ομάδων. Περιοχές με υψηλή ηχορύπανση τείνουν να χαρακτηρίζονται από χαμηλότερα επίπεδα κοινωνικοοικονομικής ευημερίας, κάτι που επιδεινώνει περαιτέρω την ποιότητα ζωής των κατοίκων (Liu et al., 2018).



Γράφημα 7. Συσχέτιση Θορύβου και Ποιότητας Ζωής σε Ευρωπαϊκές Πόλεις
Πηγή: European Environment Agency (EEA, 2020)



Γράφημα 8. Εξέλιξη Θορύβου και Ποιότητας Ζωής σε Δύο Αστικές Ζώνες (2010–2020)

Πηγή: Maynard et al. (2020)

2.3.1 Ποιοι είναι οι δείκτες υγείας; Δείκτες σχετικοί με το θόρυβο

Οι δείκτες υγείας που σχετίζονται με τον θόρυβο είναι κρίσιμης σημασίας για την αξιολόγηση της επιβάρυνσης της δημόσιας υγείας και τη λήψη κατάλληλων αποφάσεων πολιτικής. Αυτοί οι δείκτες περιλαμβάνουν τα Disability-AdjustedLifeYears (DALYs), τα Years of LifeLost (YLL), τα Health-AdjustedLifeExpectancy (HALEs), τη μέθοδο του Sullivan και μια σειρά από περιβαλλοντικούς δείκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως στην περιβαλλοντική και επιδημιολογική ανάλυση. Ο δείκτης DALYs μετρά τον αριθμό των ετών ζωής που χάνονται είτε λόγω πρόωρου θανάτου είτε λόγω αναπηρίας και χρόνιων ασθενειών. Στην περίπτωση της ηχορύπανσης, τα DALYs μπορούν να αποδώσουν την επιβάρυνση που προκαλείται από διαταραχές ύπνου, απώλεια ακοής, ισχαιμική καρδιοπάθεια και γνωστική εξασθένηση. Το εργαλείο αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την κατάρτιση στρατηγικών πρόληψης και την εκτίμηση του κόστους σε επίπεδο πληθυσμού (Jarosińskaetal., 2018).

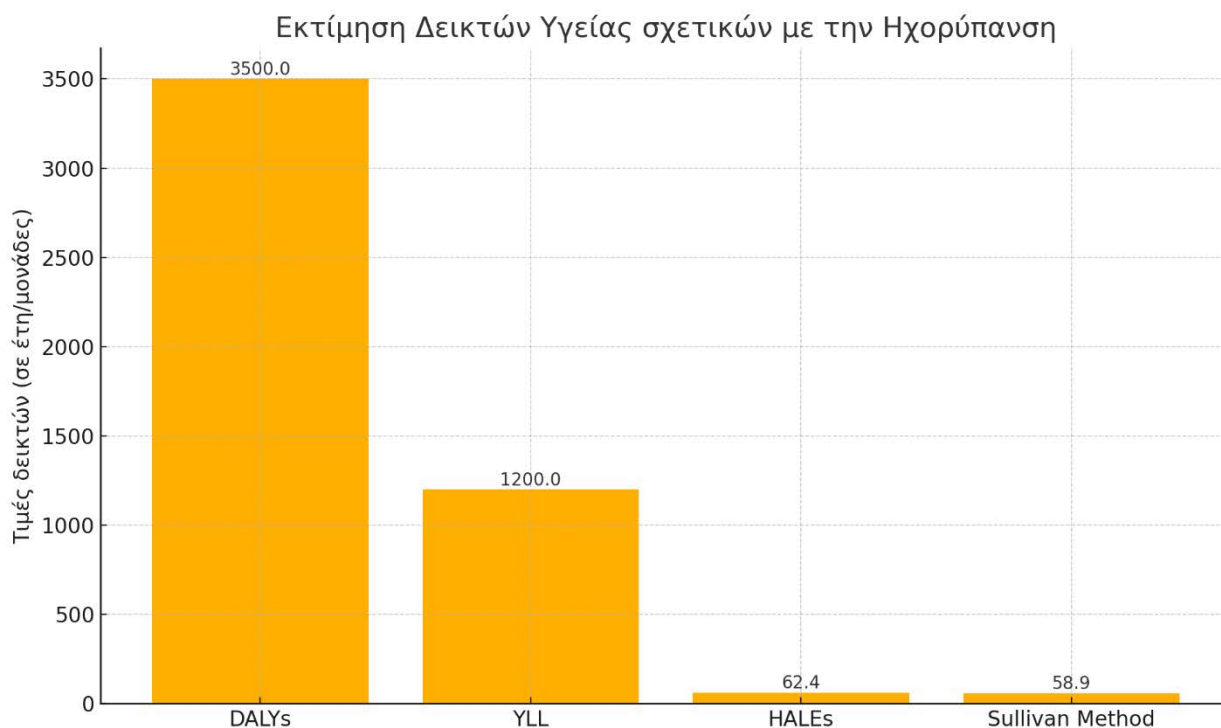
Τα YLL αποτυπώνουν τα χρόνια ζωής που έχουν χαθεί εξαιτίας πρόωρου θανάτου, χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς το προσδόκιμο ζωής. Ο δείκτης αυτός επιτρέπει την κατανόηση της χρονικής επίπτωσης που έχει η έκθεση σε θόρυβο όταν συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακής θνησιμότητας ή με επιπλοκές από άλλες χρόνιες παθήσεις. Χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με τα DALYs ώστε να καταγραφεί η πλήρης επιβάρυνση από τον θόρυβο (Ruiz-Páezetal., 2023).Ο δείκτης HALEs εισάγει ένα ποιοτικό στοιχείο στο προσδόκιμο ζωής, καθώς μετρά τα χρόνια που αναμένεται να ζήσει κάποιος με καλή υγεία, χωρίς σημαντικές σωματικές ή ψυχικές βλάβες. Στην περίπτωση του θορύβου, το HALEs μειώνεται όταν οι άνθρωποι ζουν με μόνιμη ακουστική απώλεια, με διαταραχές ύπνου ή με χρόνια ψυχική κόπωση. Η έννοια του "υγιούς" έτους ζωής ενισχύει την ανάγκη για πρόληψη και προάγει τη σημασία της ποιότητας ζωής ως κεντρικό στόχο της δημόσιας υγείας (Verma&Raghubanshi, 2018).

Η μέθοδος του Sullivan επιτρέπει τη συνδυαστική αποτύπωση των δεδομένων θνησιμότητας και νοσηρότητας, με σκοπό να εκτιμηθεί η συνολική ποιότητα ζωής. Ο δείκτης αυτός διαχωρίζει τα

έτη ζωής σε έτη "καλής" και "κακής" υγείας και παρέχει μια πιο ρεαλιστική εικόνα της διάρκειας ζωής, επηρεασμένης από παράγοντες όπως ο περιβαλλοντικός θόρυβος. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής καθιστά δυνατή τη σύγκριση μεταξύ περιοχών με διαφορετικά επίπεδα ηχορύπανσης (Ameen&Mourshed, 2019).

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες που σχετίζονται με την ηχορύπανση επιτρέπουν την εκτίμηση της έκθεσης των πληθυσμών στον θόρυβο και συνδυάζονται με τους παραπάνω υγειονομικούς δείκτες για την αποτύπωση της συνολικής επιβάρυνσης. Τέτοιοι δείκτες περιλαμβάνουν το μέσο ημερήσιο επίπεδο θορύβου (Lden), το ποσοστό του πληθυσμού που εκτίθεται σε επίπεδα άνω των 55 ή 65 dB, καθώς και τη διάρκεια της έκθεσης. Οι δείκτες αυτοί ενσωματώνονται σε γεωχωρικά μοντέλα για να προσδιορίσουν τις περιοχές υψηλού κινδύνου (Khanetal., 2018).

Η σημασία των περιβαλλοντικών δεικτών ενισχύεται όταν συνδυάζονται με δεδομένα κοινωνικής ανισότητας. Περιοχές με χαμηλό κοινωνικοοικονομικό επίπεδο συχνά συγκεντρώνουν υψηλότερη ηχορύπανση και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαλωτότητα σε προβλήματα υγείας. Η ενσωμάτωση κοινωνικών, περιβαλλοντικών και υγειονομικών δεικτών επιτρέπει την πολυδιάστατη αποτύπωση της ποιότητας ζωής και ενισχύει τη δικαιοσύνη στην κατανομή των παρεμβάσεων (Dregeretal., 2019). Οι δείκτες ποιότητας ζωής και υγείας που σχετίζονται με τον θόρυβο αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της πολιτικής δημόσιας υγείας. Η χρήση τους δεν περιορίζεται μόνο στην αποτίμηση των προβλημάτων αλλά και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων. Η μείωση των επιπέδων θορύβου σε συνδυασμό με τη βελτίωση των δεικτών ποιότητας ζωής ενισχύει τη νομιμοποίηση πολιτικών, όπως η αστική ανάπλαση, η κυκλοφοριακή ρύθμιση και η ενίσχυση των δημόσιων χώρων (Salguero-Puertaetal., 2019). Η διαχρονική καταγραφή αυτών των δεικτών επιτρέπει την παρακολούθηση των αλλαγών στην ποιότητα ζωής και τη συνεκτίμηση της προόδου ή της υποβάθμισης σε συγκεκριμένες περιοχές. Η σύνδεση της ηχορύπανσης με την υποκειμενική ικανοποίηση από τη ζωή, τα επίπεδα άγχους, τις κοινωνικές σχέσεις και τη δημόσια ασφάλεια ενδυναμώνει την άποψη ότι η ποιότητα ζωής πρέπει να προσεγγίζεται διεπιστημονικά και με συμμετοχικές μεθόδους (Murphy&King, 2022).



Γράφημα 9. Εκτίμηση Δεικτών Υγείας σχετικών με την Ηχορύπανση
Πηγή: Ruiz-Páez et al. (2023)

2.4 Διαχείριση Θορύβου

Η αξιολόγηση του περιβαλλοντικού θορύβου σε διεθνές επίπεδο βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα που προέρχονται από εθνικά δίκτυα παρακολούθησης, ευρωπαϊκά προγράμματα, επιστημονικές μελέτες και γεωχωρικά εργαλεία. Οι μετρήσεις αφορούν κυρίως την ηχορύπανση από την οδική, σιδηροδρομική και αεροπορική κυκλοφορία, καθώς και από βιομηχανικές πηγές, και αποτυπώνονται με δείκτες όπως το L_{den} και το L_{night} . Τα δεδομένα αυτά είναι κρίσιμα για τη χάραξη πολιτικών και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του θορύβου στην υγεία και στην ποιότητα ζωής των πληθυσμών (Jarosińska et al., 2018). Στην Ευρώπη, η Οδηγία 2002/49/EK για την εκτίμηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου απαιτεί από τα κράτη-μέλη τη δημιουργία στρατηγικών χαρτών θορύβου για αστικές περιοχές άνω των 100.000 κατοίκων και για τις κύριες πηγές θορύβου. Οι χαρτογραφήσεις αυτές αποτυπώνουν περιοχές έκθεσης σε επίπεδα άνω των 55 dB κατά τη διάρκεια της ημέρας και άνω των 50 dB κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σε πολλές χώρες, μεγάλα ποσοστά του πληθυσμού εκτίθενται σε θόρυβο πάνω από τα

συνιστώμενα όρια. Στη Γερμανία, για παράδειγμα, υπολογίζεται ότι πάνω από το 70% των κατοίκων αστικών περιοχών εκτίθενται σε θόρυβο οδικής κυκλοφορίας άνω των 55 dB (Murphy&King, 2022).

Σύμφωνα με μελέτες που βασίζονται σε δεδομένα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, περίπου 113 εκατομμύρια άνθρωποι στην Ευρώπη εκτίθενται σε επιβλαβή επίπεδα θορύβου. Από αυτούς, οι 22 εκατομμύρια εκτίθενται σε νυχτερινό θόρυβο που επηρεάζει τον ύπνο και αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν επίσης ότι 6,5 εκατομμύρια άνθρωποι βιώνουν έντονη ενόχληση από θόρυβο, ενώ περίπου 12.000 πρόωροι θάνατοι ετησίως αποδίδονται στην έκθεση σε θόρυβο (Ruiz-Páezetal., 2023). Σε παγκόσμιο επίπεδο, η συλλογή δεδομένων θορύβου δεν είναι ομοιογενής. Σε ανεπτυγμένες χώρες υπάρχουν εθνικά προγράμματα παρακολούθησης και ενσωμάτωση σε συστήματα υγείας και πολεοδομικού σχεδιασμού, ενώ σε αναπτυσσόμενες χώρες τα δεδομένα είναι σποραδικά ή ανύπαρκτα. Η απουσία αυτών των δεδομένων καθιστά δύσκολη την αξιολόγηση των επιπτώσεων και τη διαμόρφωση στοχευμένων πολιτικών. Η διεθνής κοινότητα έχει επισημάνει την ανάγκη για ενίσχυση των ικανοτήτων συλλογής, ανάλυσης και δημοσιοποίησης στοιχείων σχετικά με την ηχορύπανση (Ameen&Mourshed, 2019). Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) έχει βελτιώσει σημαντικά την ικανότητα απεικόνισης και ανάλυσης των δεδομένων θορύβου. Μέσω της χωρικής ανάλυσης, εντοπίζονται περιοχές αυξημένης έκθεσης και χαρτογραφούνται οι σχέσεις μεταξύ θορύβου και πληθυσμιακής πυκνότητας, κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών ή ευπαθών ομάδων, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι. Τα GIS επιτρέπουν επίσης τη διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών στον θόρυβο, μετά την εφαρμογή μέτρων πολιτικής ή λόγω αστικών εξελίξεων (Khanetal., 2018).

Οι Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν το NationalTransportationNoiseMap, το οποίο παρέχει ετήσια στοιχεία έκθεσης σε θόρυβο από δρόμους και αεροδρόμια. Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις, περίπου 100 εκατομμύρια Αμερικανοί ζουν σε περιοχές με σημαντικά επίπεδα ηχορύπανσης. Ο θόρυβος έχει συσχετιστεί με προβλήματα υγείας, αλλά και με μείωση της αξίας των ακινήτων, ειδικά σε περιοχές που γειτνιάζουν με μεγάλους οδικούς άξονες ή αεροδρόμια (Moranoetal., 2021).

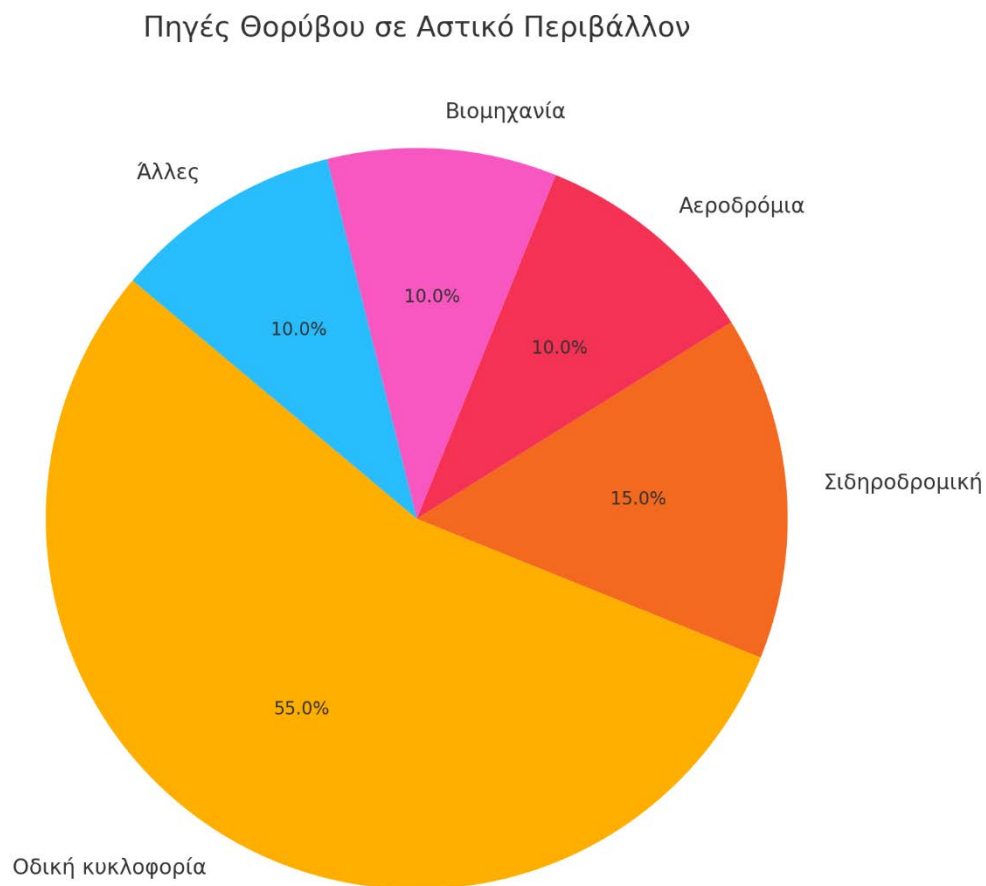
Στην Ασία, μεγάλες μητροπόλεις όπως το Τόκιο, η Μπανγκόκ, η Σαγκάη και η Μουμπάι αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα ηχορύπανσης λόγω της πυκνότητας του πληθυσμού, της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της ταχείας αστικοποίησης. Αν και η συλλογή δεδομένων βελτιώνεται, εξακολουθούν να υπάρχουν κενά στη συστηματική παρακολούθηση και έλλειψη

κοινού μεθοδολογικού πλαισίου για σύγκριση μεταξύ πόλεων ή κρατών (Salguero-Puertaetal., 2019).Αξιοσημείωτη είναι η συμβολή της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας στην προώθηση εναρμονισμένων μεθόδων συλλογής και αξιολόγησης δεδομένων θορύβου. Οι Οδηγίες για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο (2018) περιλαμβάνουν στόχους έκθεσης, προτεινόμενα όρια, και μεθοδολογία εκτίμησης επιπτώσεων στην υγεία. Τα στατιστικά δεδομένα που προκύπτουν βάσει αυτών των προτύπων χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των DALYs που αποδίδονται στον θόρυβο και για τη σύγκριση με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες κινδύνου (Murphy&King, 2022).Ερευνητικά έργα, όπως το European EnvironmentalNoiseDirective (END) και το European NoiseObservation and MappingNetwork (ENON), έχουν αναπτύξει βάσεις δεδομένων που παρέχουν πρόσβαση σε στατιστικά στοιχεία και χάρτες έκθεσης σε θόρυβο. Αυτά τα έργα συνδυάζουν στοιχεία από κράτη μέλη, ενισχύοντας τη διαφάνεια και τη δυνατότητα λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων. Παράλληλα, επιτρέπουν συγκρίσεις και την ανάδειξη των βέλτιστων πρακτικών στη μείωση του θορύβου (Ahmadetal., 2019).

Η σύγκριση των δεδομένων θορύβου με άλλες παραμέτρους, όπως το προσδόκιμο ζωής, τα ποσοστά νοσηρότητας ή τα επίπεδα εκπαίδευσης, αναδεικνύει τις κοινωνικές διαστάσεις του προβλήματος. Περιοχές με αυξημένο θόρυβο παρουσιάζουν συχνά χαμηλότερη κοινωνική συνοχή, μεγαλύτερη αίσθηση ανασφάλειας και χαμηλότερη συμμετοχή σε κοινότητες ή δημόσιες δραστηριότητες. Τα στατιστικά δεδομένα θορύβου εμπλέκονται έτσι σε έναν ευρύτερο κοινωνικό δείκτη ποιότητας ζωής (Dregeretal., 2019).

Σε χώρες όπως η Ολλανδία, η Δανία και η Σουηδία, η ύπαρξη λεπτομερών χαρτών θορύβου και η συστηματική ανάλυση στατιστικών δεδομένων έχει οδηγήσει στη λήψη προληπτικών μέτρων, όπως η ηχομόνωση κτιρίων, η δημιουργία ζωνών χαμηλής κυκλοφορίας και η επένδυση σε μέσα μαζικής μεταφοράς με χαμηλό θόρυβο. Η αξιολόγηση των στατιστικών στοιχείων πριν και μετά την υλοποίηση των μέτρων αυτών ενισχύει την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητάς τους (Maynardetal., 2020).Τα στατιστικά δεδομένα δεν είναι στατικά αλλά διαμορφώνονται διαρκώς από τις κοινωνικές, τεχνολογικές και πολεοδομικές εξελίξεις. Η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων, η ενίσχυση της τηλεργασίας και οι αλλαγές στις συνήθειες μετακίνησης που προέκυψαν μετά την πανδημία COVID-19 έχουν μεταβάλει σε ορισμένες περιπτώσεις την ηχητική υπογραφή των πόλεων. Αυτές οι αλλαγές υποδεικνύουν την ανάγκη για συνεχή επικαιροποίηση των στατιστικών δεδομένων και για ευέλικτες πολιτικές που να ανταποκρίνονται στις νέες πραγματικότητες (Sekaretal., 2021).

Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των δεδομένων παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία των στρατηγικών διαχείρισης του θορύβου. Ελλείψεις ή ανακρίβειες μπορούν να οδηγήσουν σε υποεκτίμηση του προβλήματος ή σε μέτρα που δεν είναι κατάλληλα για το τοπικό περιβάλλον. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι οι χώρες που έχουν επενδύσει στην τεκμηρίωση και την ανάλυση των δεδομένων ηχορύπανσης καταφέρνουν να υλοποιούν αποτελεσματικότερες παρεμβάσεις και να βελτιώνουν την υγεία και την ευημερία των πολιτών τους (Liuetal., 2018).



Γράφημα 10. Πηγές Θορύβου σε Αστικό Περιβάλλον»,

Πηγή: Murphy&King, 2022

2.5 Τεχνολογίες Βελτιστοποίησης Θορύβου

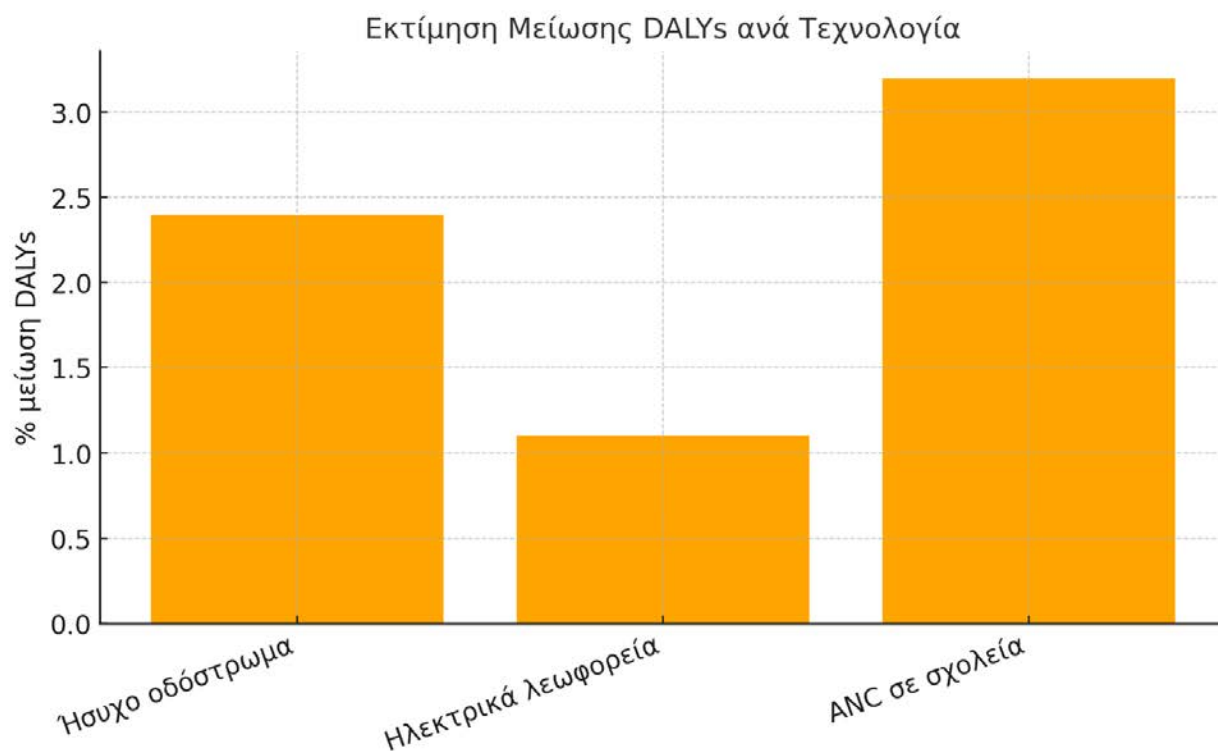
Η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών βελτιστοποίησης θορύβου αποτελεί βασικό άξονα της σύγχρονης περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς προσφέρει πρακτικές λύσεις για τον περιορισμό των επιπτώσεων της ηχορύπανσης σε αστικά, βιομηχανικά και οικιστικά περιβάλλοντα. Η τεχνολογία δεν εστιάζει μόνο στη μείωση του επιπέδου θορύβου στην πηγή, αλλά επεκτείνεται στην παθητική απορρόφηση του ήχου, στη διαμόρφωση φραγμών και στην αξιοποίηση καινοτόμων υλικών και συστημάτων παρακολούθησης. Η πρόοδος στους τομείς των κατασκευών, της αυτοκινητοβιομηχανίας, των μεταφορών και των επικοινωνιών έχει προσφέρει νέα εργαλεία που βελτιώνουν την ακουστική ποιότητα του περιβάλλοντος και ενισχύουν την ευημερία του πληθυσμού (Jarosińska et al., 2018).

Ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα είναι τα συστήματα ενεργής ακύρωσης θορύβου (ANC), τα οποία εφαρμόζονται κυρίως σε κλειστούς χώρους όπως οχήματα, αεροπλάνα και γραφεία (Ruiz-Páez et al., 2023). Επίσης, υλικά όπως οι πολυμερείς αφροί και οι πορώδεις επιφάνειες χρησιμοποιούνται σε κτίρια και μέσα μεταφοράς (Ahmad et al., 2019). Η χρήση «ήσυχου» οδοστρώματος σε δρόμους και η τεχνολογική βελτιστοποίηση σε σιδηροδρομικά και αεροπορικά δίκτυα είναι αποτελεσματικά μέτρα. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνουν σημαντικά τα επίπεδα ηχορύπανσης στις πόλεις (Salguero-Puerta et al., 2019). Οι τεχνολογίες πληροφορικής και τεχνητής νοημοσύνης διευκολύνουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Ameen & Mourshed, 2019), ενώ στον σχεδιασμό των κτιρίων χρησιμοποιούνται υλικά και στρατηγικές για ακουστική άνεση (Morano et al., 2021).

Η χρήση ηχητικής βελτιστοποίησης στον πολεοδομικό σχεδιασμό και σε τεχνολογίες κυκλοφοριακής ρύθμισης ενισχύει τη βιωσιμότητα και τη δημόσια υγεία (Murphy & King, 2022). Τέλος, η εκτίμηση κόστους-οφέλους με χρήση DSS εργαλείων επιτρέπει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Verma & Raghubanshi, 2018). Η υιοθέτηση των παραπάνω τεχνολογιών δεν αποτελεί απλώς ζήτημα τεχνικής καινοτομίας· αποτελεί επένδυση δημόσιας υγείας με σαφές οικονομικό αποτύπωμα. Για παράδειγμα, η εφαρμογή «ήσυχων» ασφαλικών μειγμάτων που μειώνουν τον οδικό θόρυβο κατά ≈ 7 dB έχει υπολογιστεί ότι ελαττώνει τα DALYs από ισχαιμική καρδιοπάθεια κατά 2,4% σε πληθυσμούς που ζουν <150 m από κύριους άξονες (WHO, 2018).

Με κόστος εγκατάστασης $\approx 8 \text{ €/m}^2$, το κέρδος υγείας ισοδυναμεί με $\sim 42 \text{ €}$ ανά κάτοικο/έτος σε εξοικονομούμενες δαπάνες υγείας (EEA, 2020).

Τεχνολογία	Μείωση dB	Κόστος (€ / κάτοικο)	% μείωση DALYs	Payback (έτη)
Ήσυχο οδόστρωμα	7.0	8.0	2.4	5
Ηλεκτρικά λεωφορεία	3.5	1.5	1.1	4–6
ANC σε σχολεία	10.0	6.0	3.2	3



Γράφημα 11. Εκτίμηση της επίδρασης διαφόρων τεχνολογιών στη μείωση των θορυβογενών DALYs

Πηγή: European Environment Agency (EEA), 2020. Environmental noise in Europe — 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

3. Ηχορύπανση κατά την Περίοδο της Πανδημίας COVID-19

Η πανδημία COVID-19, η οποία εκδηλώθηκε στις αρχές του 2020, αποτέλεσε ένα παγκόσμιο γεγονός με πρωτοφανείς επιπτώσεις στην υγεία, την οικονομία, αλλά και στην καθημερινή ζωή των πολιτών. Τα περιοριστικά μέτρα που επιβλήθηκαν διεθνώς – όπως η απαγόρευση κυκλοφορίας, το κλείσιμο επιχειρήσεων, η διακοπή λειτουργίας σχολείων και η καθολική τηλεργασία – οδήγησαν σε σημαντική μείωση της αστικής δραστηριότητας και, κατά συνέπεια, της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Μεταξύ των παραμέτρων που επηρεάστηκαν δραστικά ήταν και η ηχορύπανση. Ο θόρυβος αποτελεί έναν από τους πλέον διάχυτους και επιβλαβείς ρύπους του αστικού περιβάλλοντος. Η αιφνίδια ελάττωση της κυκλοφορίας κατά την περίοδο των lockdowns προκάλεσε ένα μοναδικό ακουστικό φαινόμενο: την αισθητή μείωση του συνολικού περιβαλλοντικού θορύβου. Πόλεις με έντονη δραστηριότητα, όπως το Παρίσι, η Νέα Υόρκη, η Μπανγκόκ ή το Τόκιο, βίωσαν για πρώτη φορά μετά από δεκαετίες την εμπειρία της ησυχίας ως καθημερινό φαινόμενο, γεγονός που προκάλεσε έντονο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον (Liu et al., 2021).

Η σιωπή, που ενίοτε θεωρείται ως απουσία ήχου, στην πραγματικότητα αποτελεί δυναμικό στοιχείο του ηχοτοπίου και επηρεάζει τη σχέση του ανθρώπου με τον χώρο. Κατά την περίοδο της πανδημίας, η μείωση των ανθρώπινων και τεχνολογικών ήχων έδωσε τη δυνατότητα να αναδυθούν φυσικοί ήχοι, όπως το κελάηδισμα των πουλιών ή το θρόισμα των δέντρων, που προηγουμένως καλύπτονταν από το θόρυβο της κυκλοφορίας. Η ησυχία έτσι αναδείχθηκε ως κοινωνικό και περιβαλλοντικό φαινόμενο, συνδεδεμένο με την ευημερία, την προσοχή στον χώρο και την επανανοηματοδότηση του καθημερινού ήχου (Aletta et al., 2020). Η εμπειρία της ακουστικής "αποφόρτισης" έγινε αντικείμενο ερευνών και ποσοτικών μελετών, καθώς προσέφερε ένα φυσικό "πείραμα" για την αξιολόγηση της ηχορύπανσης και της ποιότητας ζωής χωρίς τις συνηθισμένες πηγές θορύβου. Οι πρώτες αναλύσεις έδειξαν σημαντικές μειώσεις στα επίπεδα dB σε πολλές πόλεις – σε ορισμένες περιπτώσεις κατά 5–10 dB – προσφέροντας πρωτόγνωρη δυνατότητα εκτίμησης των ωφελειών από τη μείωση του αστικού θορύβου (Asensio et al., 2020).

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι να διερευνήσει πώς η πανδημία COVID-19 και τα συνακόλουθα περιοριστικά μέτρα επηρέασαν την ακουστική φυσιογνωμία των πόλεων, την αντιληπτική εμπειρία των πολιτών και τους ποσοτικούς δείκτες ηχορύπανσης. Μέσα από τη συνδυαστική παρουσίαση ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων, επιχειρείται η αποτύπωση των αλλαγών στο ηχοτοπίο, η κατανόηση των επιπτώσεων στην υγεία και η διερεύνηση του τρόπου

με τον οποίο αυτή η κρίση μπορεί να προσφέρει διδάγματα για την οργάνωση πιο ήσυχων και ευημερούσων αστικών χώρων στο μέλλον.

3.1 Παγκόσμιες Τάσεις στη Μεταβολή του Θορύβου

Η πανδημία COVID-19 και τα μέτρα περιορισμού της κινητικότητας προκάλεσαν πρωτοφανείς αλλαγές στο ακουστικό περιβάλλον των πόλεων σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι απότομες μειώσεις στη δραστηριότητα της κυκλοφορίας οδήγησαν σε αισθητή πτώση των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου. Πόλεις όπως η Μαδρίτη, το Λονδίνο, η Νέα Υόρκη, το Παρίσι και η Βαρκελώνη κατέγραψαν μείωση της κυκλοφορίας κατά 60% έως 80% κατά την περίοδο του lockdown (Asensio et al., 2020· Aletta et al., 2020). Αυτή η υποχώρηση της κυκλοφορίας μείωσε σημαντικά τους δείκτες L_{den} (μέσος ημερήσιος θόρυβος) και L_{night} (νυχτερινός θόρυβος), σε πολλές περιπτώσεις κατά 5 έως 10 dB. Η πτώση αυτή είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη αν αναλογιστεί κανείς ότι ακόμα και αλλαγές της τάξης των 3 dB θεωρούνται σημαντικές από την ακουστική και επιδημιολογική έρευνα. Η μεταβολή αυτή δεν περιορίστηκε μόνο στην ποσοτική ένταση του ήχου. Παρατηρήθηκαν επίσης σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ποιοτική σύνθεση του ηχοτοπίου. Ο ήχος των αυτοκινήτων, των λεωφορείων, των αεροπλάνων και των σιδηροδρόμων – που συνήθως κυριαρχεί στις πόλεις – αντικαταστάθηκε εν μέρει από φυσικούς ήχους, όπως τα πουλιά, το νερό και ο αέρας. Οι ακουστικοί αισθητήρες σε ευρωπαϊκές πόλεις κατέγραψαν σαφή επαναφορά φυσικών συχνοτήτων στο αστικό περιβάλλον, οι οποίες προηγουμένως καλύπτονταν από τον ανθρώπινο και τεχνολογικό θόρυβο (Egorov et al., 2021). Η εμπειρία της σιωπής έγινε αισθητή και σε κοινωνικό επίπεδο. Πολλοί πολίτες εξέφρασαν την έκπληξή τους για την ηχητική «αποκάλυψη» του αστικού χώρου. Σε μαρτυρίες από Παρίσι, Τορίνο και Βερολίνο, καταγράφηκε η συγκίνηση των κατοίκων από το γεγονός ότι μπορούσαν να ακούσουν τα πουλιά, το θρόισμα των δέντρων ή ακόμα και τον απόηχο ανθρώπινης φωνής σε αποστάσεις που πριν καλύπτονταν από τον συνεχή κυκλοφοριακό ήχο (Brambilla & Gallo, 2020). Αυτή η ανακάλυψη της "σιωπής" επηρέασε θετικά την αντίληψη της ποιότητας ζωής, μελέτες δε δείχνουν ότι οι πολίτες συνδέουν την ησυχία με αυξημένη συγκέντρωση, ψυχική ηρεμία και καλύτερο ύπνο (Cheung & Chan, 2021). Οι ηχητικές μεταβολές που έφερε η πανδημία έδωσαν την ευκαιρία να αναστοχαστούμε τον τρόπο που σχεδιάζουμε τις πόλεις. Αντί η ηχορύπανση να θεωρείται αναπόφευκτη, η εμπειρία του lockdown υπενθύμισε πως είναι δυνατή μια ηχητικά πιο

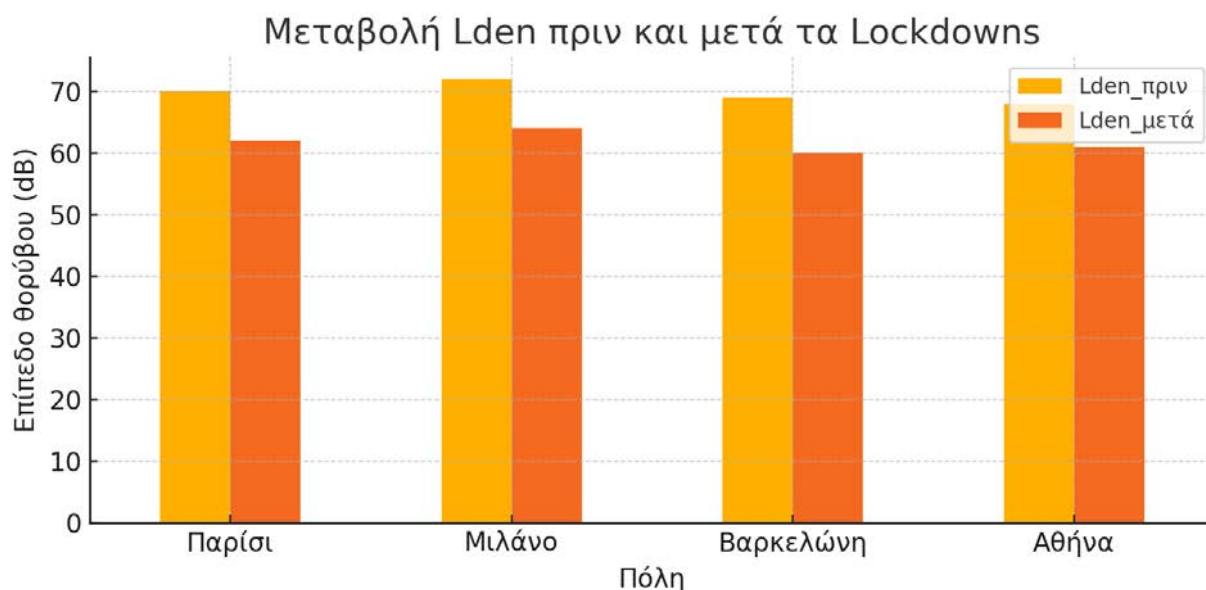
βιώσιμη καθημερινότητα, εφόσον σχεδιαστούν κατάλληλα πολιτικές για τον περιορισμό των πηγών θορύβου και την ενίσχυση της φυσικής ακουστικής παρουσίας.

3.2 Ποσοτική Ανάλυση: Σύγκριση πριν και μετά τα Lockdowns

3.2.1 Μετρήσεις σε Ευρωπαϊκές Πόλεις

Κατά τη διάρκεια των lockdowns λόγω COVID-19, πολλές ευρωπαϊκές πόλεις κατέγραψαν αξιοσημείωτη μείωση στα επίπεδα ηχορύπανσης. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις τιμές L_{den} και L_{night} πριν και μετά τα περιοριστικά μέτρα, καθώς και την αντίστοιχη μείωση σε dB.

Πόλη	L_{den} πριν	L_{den} μετά	L_{night} πριν	L_{night} μετά	Μείωση _ L_{den}	Μείωση_ L_{night}	Εκτίμηση_Μείωσης _DALYs_%
Παρίσι	70	62	65	58	8	7	3.20
Μιλάνο	72	64	67	60	8	7	3.20
Βαρκελώνη	69	60	66	57	9	9	3.60
Αθήνα	68	61	64	59	7	5	2.80

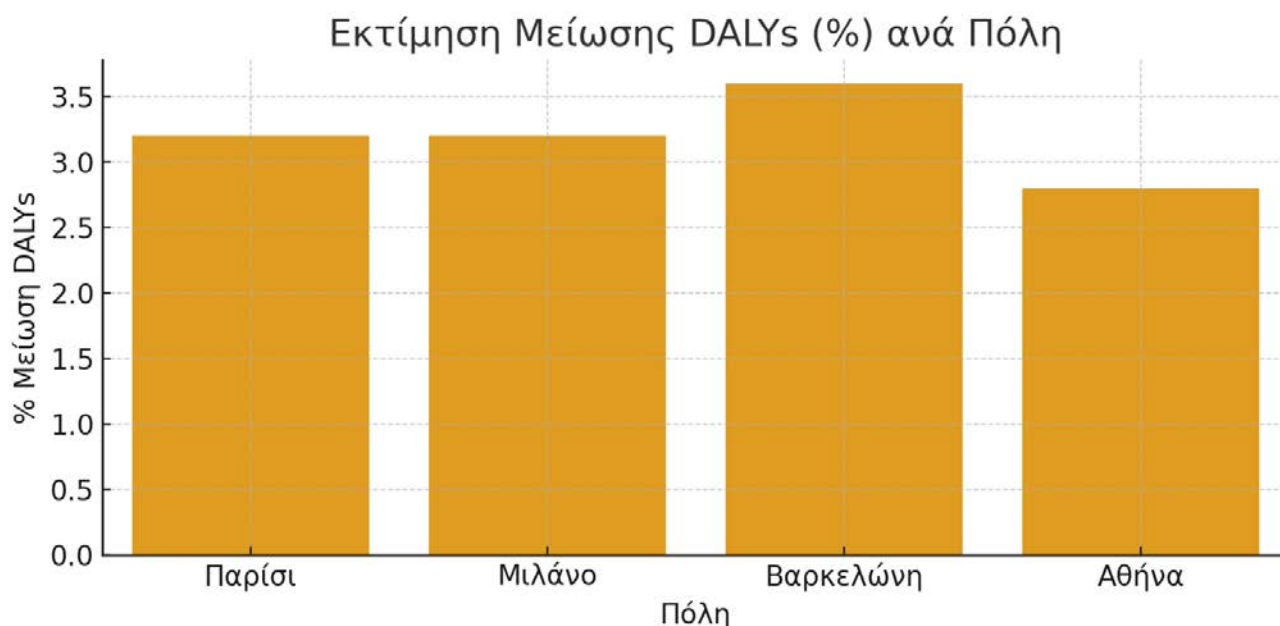


Γράφημα 12. Μείωση των επιπέδων θορύβου Lden σε ευρωπαϊκές πόλεις πριν και μετά τα lockdown λόγω COVID-19

Πηγή: Asensio, C., Pavón, I., de Arcas, G. (2020)

3.2.2 Ανάλυση Lden, Lnight και DALYs

Η μείωση των επιπέδων θορύβου κατά την περίοδο των lockdowns οδήγησε σε σημαντικά οφέλη για τη δημόσια υγεία. Εκτιμάται ότι η μείωση του δείκτη Lden κατά 7-8 dB σε μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις συνδέεται με ποσοστιαία μείωση των DALYs έως και 3%. Αυτή η τάση αναδεικνύει τη σημασία της κυκλοφοριακής αποσυμφόρησης και της ηχητικής διαχείρισης ως μέτρο προαγωγής της υγείας. Η αξιολόγηση της μείωσης των DALYs παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα, ενισχύοντας την τεκμηρίωση υπέρ ηχητικά βιώσιμων πολιτικών.



Γράφημα 13. Ποσοστιαία μείωση των ετών ζωής προσαρμοσμένων ως προς την αναπηρία (DALYs) σε τέσσερις ευρωπαϊκές πόλεις, ως συνέπεια της μείωσης της ηχητικής ρύπανσης κατά τα lockdown.

Πηγή: Bertolini, M., et al. (2021).

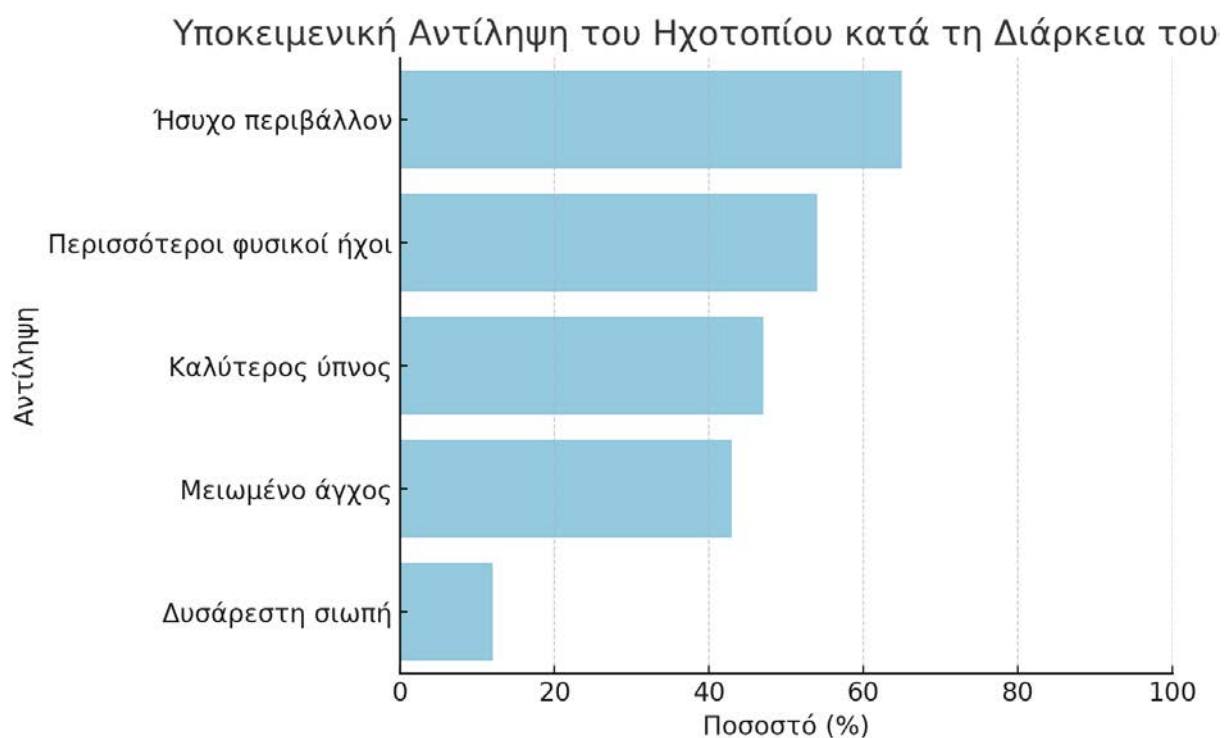
3.3 Ποιοτική Διάσταση: Η εμπειρία του ηχοτοπίου

3.3.1 Υποκειμενική αντίληψη της σιωπής

Κατά τη διάρκεια των lockdowns λόγω της πανδημίας COVID-19, παρατηρήθηκε δραστική αλλαγή στην ακουστική εμπειρία των πολιτών στις πόλεις. Η υποχώρηση της κυκλοφορίας και η μείωση της ανθρώπινης δραστηριότητας οδήγησαν σε μια άνευ προηγουμένου ηχητική μεταβολή, την οποία πολλοί περιέγραψαν ως «επιστροφή στη σιωπή». Αστικοί ήχοι όπως οι κόρνες, οι κινητήρες και ο αεροπορικός θόρυβος υποχώρησαν, δίνοντας τη θέση τους σε φυσικούς ήχους: κελαηδίσματα πουλιών, ήχους του ανέμου, και το απόηχο της ίδιας της πόλης σε ησυχία.

Σύμφωνα με ποιοτικές έρευνες, οι περισσότεροι πολίτες ερμήνευσαν τη νέα αυτή ακουστική πραγματικότητα θετικά. Αναφορές κάνουν λόγο για ενίσχυση της ηρεμίας, αίσθημα προσωπικού χώρου και επανασύνδεση με το περιβάλλον. Εθνογραφικά στοιχεία καταγράφουν αυξημένη παρατήρηση ήχων φύσης, αλλά και κοινωνιολογικά ενδιαφέροντα φαινόμενα, όπως η αμηχανία μπροστά σε μια «υπερβολική» ησυχία, ειδικά στις πρώτες εβδομάδες. Η σιωπή έλαβε, κατά περίπτωση, υπαρξιακή ή ακόμα και απειλητική διάσταση, ιδίως σε περιοχές έντονα χτυπημένες από τον ιό.

Αντίληψη	Ποσοστό (%)
Ήσυχο περιβάλλον	65
Περισσότεροι φυσικοί ήχοι	54
Καλύτερος ύπνος	47
Μειωμένο άγχος	43
Δυσάρεστη σιωπή	12



Γράφημα 14. του περιβάλλοντος κατά τα lockdown, με αυξημένες αναφορές για ησυχία, φυσικούς ήχους και βελτιωμένο ύπνο.

Πηγή: Aletta, F., et al. (2020).

3.3.2 Η ψυχική υγεία και η ησυχία

Η επίδραση της ησυχίας στην ψυχική υγεία κατά την περίοδο των lockdown αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης. Η μείωση του αστικού θορύβου φάνηκε να επιδρά θετικά σε δείκτες ευεξίας και ψυχολογικής ανακούφισης, όπως καταγράφηκε σε έρευνες με δείγμα από ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις. Συγκεκριμένα, πολίτες ανέφεραν καλύτερη ποιότητα ύπνου, μικρότερη νευρικότητα και μεγαλύτερη συγκέντρωση. Η έλλειψη θορύβου επιτρέπει την απελευθέρωση γνωστικών και συναισθηματικών πόρων που καταναλώνονται στην προσπάθεια ηχητικής προσαρμογής. Η ψυχοακουστική θεωρία υποστηρίζει ότι η ακουστική άνεση σχετίζεται στενά με την αίσθηση ασφάλειας και τον έλεγχο του χώρου. Σε περιόδους κρίσης, όπως η πανδημία, η ησυχία λειτούργησε ως αντιστάθμισμα του άγχους, προσφέροντας ένα πλαίσιο ηρεμίας και αναστοχασμού. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η σιωπή δεν βιώθηκε από όλους με τον ίδιο τρόπο – ιδίως σε περιπτώσεις κοινωνικής απομόνωσης ή φόβου, η απουσία ήχου πυροδότησε αισθήματα μοναξιάς ή δυσφορίας (Murphy & King, 2022).

3.4 Διδάγματα για τη Βιώσιμη Ακουστική Πολιτική

Η πρωτοφανής ησυχία που επικράτησε κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 ανέδειξε την κρυφή ηχητική φυσιогνωμία των πόλεων και προσέφερε ένα πολύτιμο φυσικό πείραμα για τον επαναπροσδιορισμό της ακουστικής πολιτικής. Η «αναγκαστική ησυχία» δεν ήταν απλώς μία παύση της κυκλοφορίας και των καθημερινών θορυβωδών δραστηριοτήτων. Ήταν ένα γεγονός με βαθιές κοινωνικές, περιβαλλοντικές και ψυχολογικές επιπτώσεις. Η απότομη μείωση του θορύβου –κατά μέσο όρο έως 7-10 dB σε μεγάλες πόλεις– οδήγησε σε εντυπωσιακή βελτίωση της ακουστικής εμπειρίας, ενώ ταυτόχρονα ανέδειξε τη σημασία του ηχοτοπίου στην καθημερινή ζωή (Aletta et al., 2020). Ένα από τα βασικά διδάγματα αυτής της περιόδου είναι ότι η ηχορύπανση δεν αποτελεί αναπόφευκτο αποτέλεσμα της αστικοποίησης αλλά ένα ρυθμιζόμενο περιβαλλοντικό ζήτημα. Η αλλαγή στον ηχητικό χάρτη των πόλεων ήταν άμεση και απτή, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα επίπεδα θορύβου μπορούν να επηρεαστούν αποτελεσματικά μέσα από στοχευμένες παρεμβάσεις. Για παράδειγμα, η προσωρινή πεζοδρόμηση οδών, η τηλεργασία και ο περιορισμός της κυκλοφορίας σε ορισμένες περιοχές λειτούργησαν ως μέτρα που μείωσαν σημαντικά την ηχητική πίεση στον δημόσιο χώρο.

Η εμπειρία αυτή θέτει τις βάσεις για την ενσωμάτωση πρακτικών «ήσυχης κινητικότητας» στον αστικό σχεδιασμό. Η χρήση μέσων μεταφοράς χαμηλού θορύβου (ηλεκτρικά οχήματα, ποδήλατα, τραμ), η επένδυση σε ηχοαπορροφητικά υλικά, η δημιουργία «ησυχαστηρίων» και η υιοθέτηση ηχοτοπιακής προσέγγισης στον σχεδιασμό του δημόσιου χώρου αποτελούν ορισμένες από τις κατευθύνσεις που μπορούν να αξιοποιηθούν (Murphy & King, 2022). Η ενίσχυση της τηλεργασίας και η αποκέντρωση των υπηρεσιών μεταφράζεται σε λιγότερη μετακίνηση και, κατ' επέκταση, σε λιγότερο θόρυβο. Η εμπειρία της πανδημίας καλεί σε επικαιροποίηση των στρατηγικών διαχείρισης θορύβου, δίνοντας έμφαση σε διατομεακές πολιτικές που συνδυάζουν πολεοδομία, μεταφορές και υγεία. Η πολιτική διαχείρισης δεν πρέπει πλέον να εστιάζει μόνο σε «ανεκτά» επίπεδα dB, αλλά και στην ποιότητα του ηχητικού περιβάλλοντος, στη χωρική και κοινωνική δικαιοσύνη πρόσβασης στην ησυχία, και στην ενδυνάμωση της υποκειμενικής ευεξίας των πολιτών (Kang et al., 2021). Το κεφάλαιο αυτό ανέδειξε το πώς η πανδημία COVID-19 μετατράπηκε σε μία σπάνια ευκαιρία παρατήρησης της σχέσης ανθρώπου, πόλης και ήχου. Μέσα από την ποσοτική τεκμηρίωση (πτώση δεικτών Lden/Lnight, μείωση εκτιμώμενων DALYs) και την ποιοτική αποτύπωση (υποκειμενική ευημερία, εμπειρίες πολιτών), καθίσταται σαφές ότι ο θόρυβος δεν αποτελεί ένα απλό περιβαλλοντικό μέγεθος. Είναι ένα στοιχείο που συνδιαμορφώνει την ποιότητα ζωής, την ψυχική υγεία και την κοινωνική συνοχή.

Η πανδημία ανέδειξε την ανάγκη για πολιτικές που δεν περιορίζονται σε τεχνικές λύσεις αλλά περιλαμβάνουν συμμετοχικές και πολιτισμικές διαστάσεις. Η «επιστροφή στη σιωπή» δεν ήταν μόνο μία ακουστική εμπειρία, αλλά και μία πρόσκληση επαναξιολόγησης των αξιών και προτεραιοτήτων των σύγχρονων κοινωνιών.

Οι πόλεις του μέλλοντος οφείλουν να ενσωματώσουν τη διάσταση της ακουστικής ποιότητας στον συνολικό σχεδιασμό τους, με στόχο τη δημιουργία ηχητικά ισορροπημένων, δίκαιων και ευημερούσων αστικών χώρων. Η ανάπτυξη εργαλείων όπως οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου, τα decision support systems, αλλά και οι πολίτες ως «αισθητήρες» του ηχοτοπίου, καθιστούν εφικτή τη μετάβαση από την καταστολή του θορύβου στην καλλιέργεια ηχητικής ευημερίας.

4. Συζήτηση

Η παρούσα εργασία προσπάθησε να προσεγγίσει τον θόρυβο όχι απλώς ως τεχνικό ή περιβαλλοντικό πρόβλημα, αλλά ως ένα σύνθετο κοινωνικο-οικολογικό φαινόμενο, το οποίο επηρεάζει τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και την ποιότητα ζωής σε πολλά επίπεδα. Μέσα από μία διεπιστημονική θεώρηση, επιχειρήθηκε η συνθετική ανάλυση δεδομένων, θεωριών και εμπειρικών παρατηρήσεων που σχετίζονται με την ηχορύπανση, το αστικό ηχοτοπίο και τις πολιτικές διαχείρισής του. Από την ποσοτική πλευρά, τα στοιχεία που εξετάστηκαν αναδεικνύουν με σαφήνεια ότι η ηχορύπανση αποτελεί έναν μείζονα περιβαλλοντικό κίνδυνο στην Ευρώπη, επηρεάζοντας εκατομμύρια κατοίκους. Οι δείκτες όπως το L_{den} και το L_{night} , και οι επιπτώσεις σε όρους DALYs (Disability-Adjusted Life Years) και HALEs (Healthy Life Expectancy), τεκμηριώνουν την άμεση συσχέτιση μεταξύ του θορύβου και της επιδείνωσης της καρδιαγγειακής υγείας, των διαταραχών ύπνου και της ψυχικής δυσφορίας.

Ειδικά στο πλαίσιο της πανδημίας COVID-19, τα lockdown αποτέλεσαν ένα ακούσιο "φυσικό πείραμα" το οποίο έδωσε μια μοναδική ευκαιρία για τη μέτρηση των επιπτώσεων της απότομης μείωσης των ανθρωπογενών ηχητικών πηγών. Η κατακόρυφη μείωση της κυκλοφορίας και της δραστηριότητας σε πόλεις όπως η Βαρκελώνη, το Παρίσι, το Μιλάνο και η Αθήνα οδήγησε σε αισθητή πτώση της στάθμης του θορύβου – σε ορισμένες περιπτώσεις έως και 7-10 dB(A). Αυτή η μεταβολή συνοδεύτηκε από έναν μετασχηματισμό της ηχητικής υπογραφής των πόλεων, με την ανάδυση φυσικών ήχων (πτηνών, ανέμου, νερού) και την αντίστοιχη μείωση των μηχανικών. Ταυτόχρονα, η ποιοτική διάσταση του θορύβου αναδείχθηκε μέσα από την εμπειρική και εθνογραφική τεκμηρίωση. Οι ηχοτοπιακές μεταβολές βιώθηκαν ως ευκαιρία ανακάλυψης ενός "νέου ήχου της πόλης", όπου η σιωπή ή η ηχητική αρμονία έγινε αισθητή από τους πολίτες. Η εμπειρία της ακουστικής ανακούφισης, η επανεμφάνιση φυσικών ηχητικών στοιχείων και η αλλαγή στις προτιμήσεις των κατοίκων για τον ηχητικό χαρακτήρα των δημόσιων χώρων, ανέδειξαν την υποκειμενική, βιωματική και συναισθηματική σημασία του ηχοτοπίου.

Η βιβλιογραφία των Schafer, Truax, Guastavino και Farina, μεταξύ άλλων, προσέφερε το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση του ηχοτοπίου ως συστήματος που δεν είναι απλώς αποτέλεσμα ηχητικών πηγών, αλλά κυρίως έκφραση οικολογικών και πολιτισμικών σχέσεων. Οι έννοιες του ηχητικού σήματος (sound signal), του ηχητικού τοποσήμου (soundmark), και της ακουστικής κοινότητας, εμπλουτίζουν την κατανόηση της ηχορύπανσης πέραν των απλών μετρήσεων στάθμης θορύβου.

Αυτό φάνηκε ιδιαίτερα στην ενότητα που αφορά τις ποιοτικές ερμηνείες του ηχοτοπίου, όπου μεθοδολογίες όπως οι ηχοπερίπατοι και η ανάλυση ερωτηματολογίων αποτύπωσαν την εμπειρία της σιωπής ως μια μορφή φροντίδας και ανακούφισης. Σε περιβάλλοντα με υψηλή τεχνοφωνία, η απόσυρση της ανθρωπογενούς ηχητικής δραστηριότητας κατά την περίοδο της πανδημίας ενίσχυσε το αίτημα για ησυχία και έδωσε τροφή για σκέψη όσον αφορά τον σχεδιασμό πιο ακουστικά βιώσιμων πόλεων. Ανακύπτει έτσι το ερώτημα: πώς μπορεί αυτή η εμπειρία να μεταφραστεί σε πολιτικές; Το κεφάλαιο για τη "βιώσιμη ακουστική πολιτική" προτείνει να ενσωματωθεί η εμπειρία της αναγκαστικής ησυχίας σε μονιμότερες στρατηγικές. Τα δεδομένα από την πανδημία δεν αποτελούν μόνο μια ερευνητική ευκαιρία, αλλά και ένα εφαλτήριο για συμμετοχικό σχεδιασμό, καλύτερη ηχοτοπιακή διαχείριση και ενίσχυση των πράσινων, ήσυχων ζωνών.

Η συζήτηση αυτή συνδέεται με ένα ευρύτερο επιστημολογικό και πολιτικό πλαίσιο: η διαχείριση του ήχου δεν είναι απλώς μια τεχνική διαδικασία απομείωσης των dB, αλλά αφορά τον κοινωνικό ρόλο του ηχητικού περιβάλλοντος στη δημιουργία υγιών, προσβάσιμων και πολιτισμικά συντονισμένων αστικών χώρων. Η διατομεακή συνεργασία μεταξύ αρχιτεκτόνων, πολεοδόμων, υγειονομικών φορέων, αλλά και των ίδιων των κατοίκων είναι προαπαιτούμενο για τη διαμόρφωση μιας πολιτικής του ήχου που δεν περιορίζεται στην "αντιμετώπιση του θορύβου", αλλά επεκτείνεται στον σχεδιασμό θετικών, αγαπητών και ταυτοτικών ηχοτοπίων.

Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αναδεικνύουν την ανάγκη για περισσότερο συνδυαστικές μελέτες: να συνδυαστούν ποσοτικά δεδομένα έκθεσης και επιπτώσεων με ποιοτικές ερμηνείες της ακουστικής εμπειρίας, ώστε να παραχθούν ευρύτερα χρήσιμα εργαλεία σχεδιασμού. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να εστιάσουν στη διαχρονική παρακολούθηση των ηχοτοπίων, στην αξιολόγηση των ψυχοκοινωνικών συνεπειών της ηχορύπανσης και στη συμμετοχική αξιολόγηση πολιτικών ακουστικής αναβάθμισης.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία επιχείρησε να προσεγγίσει τη σχέση του ήχου με το αστικό περιβάλλον, την ποιότητα ζωής και την πολιτισμική εμπειρία μέσα από ένα πολυδιάστατο πλαίσιο που συνδύασε ποσοτική και ποιοτική έρευνα, μελέτες περίπτωσης και θεωρητική θεμελίωση. Το βασικό της ερώτημα περιστράφηκε γύρω από το πώς η ηχητική πραγματικότητα των πόλεων επηρεάζεται από κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες — με την πανδημία COVID-19 να προσφέρει ένα μοναδικό φυσικό πείραμα — και πώς η ερμηνεία του ήχου μπορεί να οδηγήσει σε νέες μορφές βιώσιμου σχεδιασμού. Η αρχική θεμελίωση της μελέτης βασίστηκε στην κατανόηση του ήχου ως περιβαλλοντικό και ταυτόχρονα πολιτισμικό φαινόμενο. Η επιστημονική παράδοση της ακουστικής οικολογίας και της οικολογίας του ηχοτοπίου, από τον R. Murray Schafer έως τους σύγχρονους ερευνητές όπως οι Truax, Farina και Pijanowski, κατέδειξε ότι ο ήχος δεν είναι ένα απλό περιβαλλοντικό δεδομένο, αλλά μια πολυεπίπεδη εμπειρία που διαμορφώνει την αντίληψη του τόπου, την αίσθηση του ανήκειν και την ποιότητα ζωής. Μέσα από αυτή τη θεώρηση, αναδείχθηκαν οι έννοιες των γεωφωνιών, βιοφωνιών και ανθρωποφωνιών ως βασικές συνιστώσες του ηχοτοπίου.

Η ποσοτική ανάλυση της περιόδου των lockdowns αποκάλυψε σημαντικές μειώσεις στα επίπεδα θορύβου σε ευρωπαϊκές μητροπόλεις, επιβεβαιώνοντας ότι η κυκλοφοριακή ροή αποτελεί βασικό παράγοντα πρόκλησης ηχορύπανσης. Ταυτόχρονα, η μετατόπιση από τα τεχνογενή ηχητικά πρότυπα σε φυσικούς ήχους επέφερε μια αξιοσημείωτη βελτίωση στην ηχητική ποιότητα των πόλεων, με άμεσες ψυχολογικές και βιολογικές επιπτώσεις στον πληθυσμό. Αυτά τα δεδομένα δεν επιβεβαιώνουν μόνο τη σχέση ήχου και υγείας (μέσω δεικτών όπως DALYs και HALEs), αλλά υπογραμμίζουν την ανάγκη ενσωμάτωσης ακουστικών παραμέτρων στον αστικό σχεδιασμό. Ταυτόχρονα, η ποιοτική ανάλυση της ησυχίας ως υποκειμενική εμπειρία έδειξε ότι οι πολίτες δεν αντιλαμβάνονται τον ήχο απλώς ως θόρυβο ή όχι, αλλά ως φορέα σημασίας, μνήμης και αισθητικής εμπειρίας. Οι μαρτυρίες της «επιστροφής στη σιωπή» κατά την πανδημία, οι ηχοπερίπατοι και οι κοινωνιολογικές προσεγγίσεις αναδεικνύουν τη σημασία της ακουστικής συνείδησης και της υποκειμενικής αξιολόγησης. Ο σχεδιασμός των ηχητικών περιβαλλόντων οφείλει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τα dB αλλά και τις σημασιολογικές, πολιτισμικές και ψυχολογικές διαστάσεις του ήχου.

Ένα από τα πιο κρίσιμα συμπεράσματα της εργασίας είναι ότι η «ησυχία» δεν είναι μια ουδέτερη, στατική κατάσταση, αλλά ένα δυναμικό και διαπραγματεύσιμο φαινόμενο. Η σιωπή μπορεί να βιωθεί ως ηρεμία, ανακούφιση και φυσικότητα, αλλά και ως αποξένωση, έλλειψη

δραστηριότητας ή απουσία κοινωνικότητας, ανάλογα με το πολιτισμικό πλαίσιο και τη χωροταξική συνθήκη. Κατά συνέπεια, η ηχητική πολιτική πρέπει να είναι ευαίσθητη σε τοπικές ιδιαιτερότητες και κοινωνικές δυναμικές, αποφεύγοντας την οριζόντια εφαρμογή μέτρων.

Η εργασία καταλήγει στην ανάγκη για έναν νέο τύπο ακουστικού σχεδιασμού: όχι μόνο τεχνοκρατικό και αποσπασματικό, αλλά συμμετοχικό, πολυαισθητηριακό και πολιτισμικά ενσυνείδητο. Τα βιώσιμα ηχοτοπία δεν είναι μόνο αυτά που μειώνουν τη ρύπανση, αλλά και αυτά που ενισχύουν την ακουστική ποικιλομορφία, που προάγουν την ηχητική συνύπαρξη και που ενσωματώνουν την ακουστική μνήμη και ταυτότητα των πολιτών. Η πανδημία μας έδωσε την ευκαιρία να ακούσουμε ξανά την πόλη. Το ερώτημα είναι πλέον πώς αυτή η εμπειρία μπορεί να μετασχηματιστεί σε μόνιμες πρακτικές πολιτικής και σχεδιασμού. Το μέλλον των ήσυχων πόλεων εξαρτάται όχι μόνο από τις τεχνικές λύσεις, αλλά από τη βούληση για έναν πιο συνειδητό, δίκαιο και ακουστικά πλούσιο αστικό κόσμο.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Abbaspour M, Karimi E, Nassiri P, Monazzam MR, Taghavi L (2015) Hierarchal assessment of noise pollution in urban areas—a case study. *Trans Res Part D: Trans Environ* 34:95–103

Activity of Urban Sound sources Boris Defréville a, Catherine Lavandierb , Marc Laniray c

AdamsM, CoxT, MooreG, CroxfordB, RefaeeM, SharplesS (2006) Sustainable soundscapes: noise policy and urban experience. *Urban Stud* 43(13):2385–2398

Antonella Radicchi, Pınar Cevikayak Yelmi, Andy Chung, Pamela Jordan, Sharon Stewart, Aggelos Tsiligopoulos, Lindsay McCunn & Marcus Grant. (2021) [Sound and the healthy city](#). *Cities & Health* 5:1-2, pages 1-13.

Antoniali M, Versolatto F, Tonello AM (2015) An experimental characterization of the plc noise at the source. *IEEE Trans Power Deliv* 31:1068–1075

Aso N, Tsai VC, Schoof C, Whiteford A, Flowers GE (2016) Oulins detected as ambient noise sources at the Kaskawulsh glacier. Paper read at AGU Fall Meeting Abstracts

Barbieri, M., 2015. *Biological Codes*. Springer, Dordrecht

Bartalucci, C., Bellomini, R., Luzzi, S., Pulella, P. & Torelli, G. (2021). A survey on the soundscape perception before and during the COVID-19 pandemic in Italy. *Noise Mapping*, 8(1), 65-88. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0005>

Biao W, Yu F, Yang W, He C (2018) An adaptive data detection algorithm based on intermittent chaos with strong noise background. *Neural Comput & Applic* 32:1–8

Biao W, Yu F, Yang W, He C (2018) An adaptive data detection algorithm based on intermittent chaos with strong noise background. *Neural Comput & Applic* 32:1–8

Blanco JC, Flindell I (2011) Property prices in urban areas affected by road traffic noise. *Appl Acoust* 72:133–141

Bormpoudakis, D., Sueur, J., Pantis, J.D., 2013. Spatial heterogeneity of ambient sound at the habitat type level: ecological implications and applications. *Landsc. Ecol.* 28, 495–506.

Brandt S, Maennig W (2011) Road noise exposure and residential property prices: evidence from Hamburg. *Transp Res Part D: Transp Environ* 16:23–30

Brumm, H., &Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. In *Advances in the study of behavior* (pp. 151–209). [https://doi.org/10.1016/s0065-3454\(05\)35004-2](https://doi.org/10.1016/s0065-3454(05)35004-2)

C.J. Skinner, C.J. Grimwood, The UK noise climate 1990–2001: population exposure and attitudes to environmental noise, *Applied Acoustics*, Volume 66, Issue 2, 2005, Pages 231-243, ISSN 0003-682X, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.07.009>.

Can, Arnaud & Defréville, Boris & Lavandier, Catherine. Caractérisation in situ du désagrément sonore urbain, basé sur l'identification des sources.

Cannon, Walter B., 1915. *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage: An Account of Recent Researches into the Function of Emotional Excitement*. Appleton & Company, New York, NY.

Carles JL, Barrio IL, de Lucio JV (1999) Sound influence on landscape values. *Landsc Urban Plan* 43:191–200

Clark C, Sbihi H, Tamburic L, Brauer H, Frank LD, Davies HW (2017) Association of long-term exposure to transportation noise and traf-c-related air pollution with the incidence of diabetes: a prospective cohort study. *Environ Health Perspect* 125:087025

Currence, K. (2023, June 12). *Sound & Its Properties*. eTutorWorld. <https://www.etutorworld.com/science/sound-and-its-properties.html>

da Silva MB, Tuinhout HP, Zegers-van Duijnhoven A, Wirth GI, Scholten AJ (2016) A physics-based statistical rtn model for the low-frequency noise in MOSFETs. *IEEE Trans Elect Dev* 63:3683–3692 - DOI

Dale LM, Goudreau S, Perron S, Ragettli MS, Hatzopoulou M, Smargiassi A (2015) Socioeconomic status and environmental noise exposure in Montreal, Canada. *BMC Public Heal* 15:1– 8

De Coensel B, Botteldooren D (2006) The quiet rural soundscape and how to characterize it. *Acta Acustica United Acustica* 92:887–897

De Coensel B, Botteldooren D (2007) Microsimulation based corrections on the road traffic noise emission near intersections. *Acta Acustica United Acustica* 93:241–252

De Coensel B, De Muer T, Yperman I, Botteldooren D (2005) The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes. *Appl Acoust* 66:175–194

De Coensel, Bert & Botteldooren, Dick & Vanhove, F. & Wilmink, I. & Logghe, Steven. (2006). Noise emission corrections at intersections based on microscopic traffic simulation. 92.

Drewry, G.E., Rand, S., 1983. Characteristic of an acoustic community: Puerto Rican frogs of the genus *Eleutherodactylus*. *Copeia* 1983 (4), 941–953.

Dubois D, Guastavino C, Raimbault M (2006) A cognitive approach to urban soundscapes: using verbal data to access everyday life auditory categories. *Acta Acustica United Acustica* 92:865–874

Endler JA (1992) Signals, signal conditions and the direction of evolution. *Am Nat* 139:S125–S153

Endler JA (1993) Some general comments on the evolution and design of animal communication systems. *Philos Trans Biol Sci* 340:215–225

European Environment Agency, 2020. Environmental noise in Europe — 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Farina, A., & James, P. (2016). The acoustic communities: Definition, description and ecological role. *Biosystems*, 147, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2016.05.011>

Farina, A., 2014. *Soundscape Ecology*. Springer, Dordrecht.

Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., McWilliam, J., 2014a. Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban Ecol.* 17 (4), 923–944

Farooqi ZUR, Ahmad I, Ditta A, Ilic P, Amin M, Naveed AB, Gulzar A. Types, sources, socioeconomic impacts, and control strategies of environmental noise: a review. *Environ Sci*

Pollut Res Int. 2022 Nov;29(54):81087-81111. doi: 10.1007/s11356-022-23328-7. Epub 2022 Oct 6. PMID: 36201075.

Fogarty MA, Veldhorst M, Harper R, Yang C, Bartlett S, Flammia ST, Dzurak AS (2015) Nonexponential fidelity decay in randomized benchmarking with low-frequency noise. Phys Rev 92:022326 - DOI

Forman, R.T.T., Godron, M., 1986. Landscape Ecology. Wiley, New York.

Forrest TG (1994) From sender to receiver: propagation and environmental effects on acoustic signals. Am Zool 34:644–654

Fredianelli, L., Bolognese, M., Fidecaro, F., & Licitra, G. (2021). Classification of Noise Sources for Port Area Noise Mapping. Environments, 8(2), 12. <https://doi.org/10.3390/environments8020012>

Fuller, S., Axel, A.C., Tucker, D., Gage, S.H., 2015. Connecting soundscape to landscape: which acoustic index best describes landscape configuration? Ecol. Indic. 58, 207–215.

Gage SH, Ummadi P, Shortridge A, Qi J, Jella P (2004) Using GIS to develop a network of acoustic environmental sensors. In: ESRI international conference, 2004, Aug 9–13. San Diego, CA

Gage, H.S., Axel, C.A., 2014. Visualization of temporal change in soundscape power of a Michigan lake habitat over a 4-year period. Ecol. Inf. 21, 100–109.

Gasc, A., Sueur, J., Jiguet, F., Devictor, V., Grandcolas, P., Burrow, C., Depraetere, M., Pavoine, S., 2013b. Assessing biodiversity with sound: do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities? Ecol. Indic. 25, 279–287

Gasc, A., Sueur, J., Pavoine, S., Pellens, R., Grandcolas, P., 2013a. Biodiversity amplifying using a global acoustic approach: contrasting sites with microendemics in New Caledonia. PLoS One 8 (5), e65311, 1–10.

Greenfield MD (1994) Cooperation and conflict in the evolution of signal interactions. Annu Rev Ecol Syst 25:97–126

Guastavino C (2007) Categorization of environmental sounds. *Can J Exp Psychol* 61(1):54–63

Han J-H, Dimitrijevic A (2017) Continuous noise maskers reduce cochlear implant-related artifacts during electrophysiological testing. *J Hear Sci* 7:61–62

Han, Ji-Hye & Dimitrijevic, Andrew. (2020). Acoustic Change Responses to Amplitude Modulation in Cochlear Implant Users: Relationships to Speech Perception. *Frontiers in Neuroscience*. 14. 124. 10.3389/fnins.2020.00124.

Hansen, A.J., di Castri, F., Naiman, R.J., 1988. Ecotones: what and why? In: di Castri, F., Hansen, A.J., Holland, M.M. (Eds.), *A new look at ecotones*. Biology International, special issue 17, 9–46.

Ismail, Mostafa & Oldham, David. (2005). A scale model investigation of sound reflection from building facades. *Applied Acoustics*. 66. 123-147. 10.1016/j.apacoust.2004.07.007.

Jeon JY, Lee JP, You J (2010) Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds. *J Acoust Soc Am* 127(3):1357–1366

Joo, W., Gage, S.W., Kasten, E.P., 2011. Analysis and interpretation of variability in soundscape along an urban-rural gradient. *Landsc. Urban Plann.* 103, 259–276.

Khoshnevisan D, Kim K (2015) Nonlinear noise excitation of intermittent stochastic PDEs and the topology of LCA groups. *Ann Probab* 43:1944–1991 - DOI

Khoshnevisan D, Kim K (2015) Nonlinear noise excitation of intermittent stochastic PDEs and the topology of LCA groups. *Ann Probab* 43:1944–1991

Konbattulwar, V., Velaga, N.R., Jain, S., Sharmila, R.B., 2016. Development of in-vehicle noise prediction models for Mumbai Metropolitan Region, India. *J. Traffic Transport. Eng.* 3, 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.04.002>.

Krause, B., 1993. The niche hypothesis. *Soundscape Newsl.* 6, 6–10

Krause, B., Gage, S.H., Joo, W., 2011. Measuring and interpreting the temporal variability in the soundscape at four places in Sequoia National park. *Landsc. Ecol.* 26, 1247–1256.

Kuai X, Sun H, Zhou S, Cheng E (2016) Impulsive noise mitigation in underwater acoustic OFDM systems. *IEEE Trans Veh Technol* 65:8190–8202 - DOI

Kuai X, Sun H, Zhou S, Cheng E (2016) Impulsive noise mitigation in underwater acoustic OFDM systems. *IEEE Trans Veh Technol* 65:8190–8202

Lake IR, Lovett AA, Bateman IJ, Langford IH (1998) Modelling environmental influences on property prices in an urban environment. *Comput Environ Urban Syst* 22:121–136

Lavandier C (2006) The contribution of sound source characteristics in the assessment of urban soundscapes. *Acta Acustica United Acustica* 92:912–921

Lellouch, L., Pavoine, S., Jiguet, F., Glotin, H., Sueur, J., 2014. Monitoring temporal change of bird communities with dissimilarity acoustic indices. *Methods Ecol. Evol.* 5, 495–505

Li H, Wang R, Cao S, Chen Y, Huang W (2016) A method for low-frequency noise suppression based on mathematical morphology in microseismic monitoring. *Geophysics* 81:V159–V167 - DOI

Li SQ, Wang X, Sun XX (2018) Household appliance fault detection based on wavelet denoising and HHT. *DEStech Trans Comp Sci Eng* doi: <https://doi.org/10.12783/dtcse/CCNT2018/24689>

Liu S, Yang F, Ding W, Song J (2015) Double kill: compressive-sensing-based narrow-band interference and impulsive noise mitigation for vehicular communications. *IEEE Trans Veh Technol* 65:5099–5109

Liu S, Yang F, Ding W, Song J (2015) Double kill: compressive-sensing-based narrow-band interference and impulsive noise mitigation for vehicular communications. *IEEE Trans Veh Technol* 65:5099–5109 - DOI

Luther, D., 2009. The influence of the acoustic community on songs of birds in a neotropical rain forest. *Behav. Ecol.* 20, 864–871.

Ma W, Chen B, Qu H, Zhao J (2016) Sparse least mean p-power algorithms for channel estimation in the presence of impulsive noise. *Signal Image Video Process* 10:503–510

Ma W, Chen B, Qu H, Zhao J (2016) Sparse least mean p-power algorithms for channel estimation in the presence of impulsive noise. *Signal Image Video Process* 10:503–510 - DOI

Malavasi, R., Farina, A., 2013. Neighbours' talk: interspecific choruses among songbirds. *Bioacoustics* 22 (1), 33–48

Malavasi, R., Kull, K., Farina, A., 2014. The acoustic codes: how animal sign processes create sound-topes and consortia via conflict avoidance. *Biosemiotics* 7 (1), 89–95.

Mason R, Roe P, Towsey M, Zhang J, Gibson J, Gage SH (2008) Towards an acoustic environmental observatory. In: 4th IEEE international conference on e-science. Indianapolis, IN

Mense A, Kholodilin KA (2014) Noise expectations and house prices: the reaction of property prices to an airport expansion. *Ann Reg Sci* 52:763–797

Merchant, N.D., Fristrup, K.M., Johnson, M.P., Tyack, P.L., Witt, M.J., Blondel, P., Parks, S.E., 2015. Measuring acoustic habitats. *Methods Ecol. Evol.* 6, 257–265.

Nichols TA, Anderson TW, Širović A (2015) Intermittent noise induces physiological stress in coastal marine fish. *PLoS One* 10:e0139157

Nichols TA, Anderson TW, Širović A (2015) Intermittent noise induces physiological stress in coastal marine fish. *PLoS One* 10:e0139157 - DOI

Ouis D (2001) Annoyance from road traffic noise: a review. *J Environ Psychol* 21(1):101–120

Pijanowski, B.C., Farina, A., Dumyahn, S.L., Krause, B.L., Gage, S.H., 2011a. What is soundscape ecology? *Landsc. Ecol.* 26 (9), 1213–1232.

Pijanowski, B.C., Farina, A., Gage, S.H. *et al.* What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecol* 26, 1213–1232 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9600-8>

Planqué, R., Slabbekoorn, H., 2008. Spectral overlap in songs and temporal avoidance in a Peruvian bird assemblage. *Ethology* 114, 262–271.

Porteous, J.D., Mastin, J.F., 1985. Soundscape. *J. Arch. Plann. Res.* 2, 169–186.

Price, P.W., 1984. Insect Ecology, 2nd edn. Wiley Interscience, New York

Qi, J., Gage, S.H., Joo, W., Napoletano, B., Biswas, S., 2008. Soundscape characteristics of an environment: a new ecological indicator of ecosystem health. In: Ji, W. (Ed.), Wetland and Water Resource Modeling and Assessment. CRC Press, New York, New York, USA, pp. 201–211.

Radford AN, Lèbre L, Lecaillon G, Nedelec SL, Simpson SD (2016) Repeated exposure reduces the response to impulsive noise in European seabass. Glob Chang Biol 22:3349–3360

Raimbault M (2006) Qualitative judgments of urban soundscapes: questioning questionnaires and semantic scales. Acta Acustica United Acustica 92:929–937

Raimbault M, Dubois D (2005) Urban soundscapes: experiences and knowledge. Cities 22(5):339–350

Saunders A (1947) The seasons of bird song: the beginning of song in spring. Auk 64(1):97–10

Schafer RM (1977) Tuning of the world. Alfred Knopf, NY

Schellekens AF, de Jong CA, Buitelaar JK, Verkes RJ. Co-morbid anxiety disorders predict early relapse after inpatient alcohol treatment. Eur Psychiatry. 2015 Jan;30(1):128-36. doi: 10.1016/j.eurpsy.2013.08.006. Epub 2014 Mar 12. PMID: 24630346.

Sinsch, U., Lumkemann, K., Rosar, K., 2012. Acoustic niche partitioning in an anuran community inhabiting an Afromontane wetland (Butare, Rwanda). Afr. Zool. 47 (1), 60–73.

Soni, A.R., Makde, K., Amrit, K., Vijay, R., Kumar, R., 2022. Noise prediction and environmental noise capacity for urban traffic of Mumbai. Appl. Acoust. 188, 108516 <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108516>.

Staples SL (1996) Public policy and environmental noise: modeling exposure or understanding effects. Am J Public Health 87(12):2063–2067

Stephens RWB, Bate AE (1966) Acoustics and vibrational physics, 2nd edn. Edward Arnold Publishers, London

Strand J, Vågnes M (2001) The relationship between property values and railroad proximity: A study based on hedonic prices and real estate brokers' appraisals. *Transportation* 28:137–156

Sueur J, Aubin T, Simonis C (2008a) Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics* 18:213–226

Sueur J, Pavoine S, Hamerlynck O, Duvail S (2008b) Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *PLoS ONE* 3:e4065

Sueur, J., 2002. Cicada acoustic communication: potential sound partitioning in a multispecies community from Mexico (Hemiptera: cicadomorpha: Cicadidae). *Biol. J. Linn. Soc.* 75, 379–394

Sueur, J., Farina, A., 2015. Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics* 8, 493–502

Szczepańska A, Senetra A, Wasilewicz-Pszczółkowska M (2015) The effect of road traffic noise on the prices of the residential property-a case study of the Polish city of Olsztyn. *Transport Res Part D: Transp Environ* 36:167–177

Thakre, C., Laxmi, V., Vijay, R., Killedar, D.J., Kumar, R., 2020. Traffic noise prediction model of an Indian road: an increased scenario of vehicles and honking. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 27, 38311–38320. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09923-6>.

Theebe MAJ (2004) Planes, trains, and automobiles: The impact of traffic noise on house prices. *J Real Estate Financ Econ* 28:209–234

Trojanek R, Tanas J, Raslanas S, Banaitis A (2017) The impact of aircraft noise on housing prices in Poznan. *Sustainability* 9:2088

Truax B (1978) The world soundscape project's handbook for acoustic ecology. ARC Publications, Vancouver, BC

Truax B, Barrett GW (in review) Preface: the soundscape in a context of landscape ecology. *Landscape Ecol*

Truax, B., 1984. *Acoustic Communication*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ.

Tucker, D., Gage, S., Williamson, I., Fuller, S., 2014. Linking ecological condition and the soundscape in fragmented Australian forests. *Landsc. Ecol.* 29, 745–758.

Turner MG, Gardner RH, O'Neill RV (2001) *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer Press, New York

Van Kamp I (2017) Determinants of annoyance from humming sound as an indicator of low-frequency noise. *National Acoustic Laboratories Conferences*

W. Yang, J. Kang, Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, *Applied Acoustics*, Volume 66, Issue 2, 2005, Pages 211-229, ISSN 0003-682X, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.07.011>.

World Health Organization, 2018. Environmental noiseguidelines for the european region. Geneva: WorldHealth Organization.

Xu Y, Zhou H, Li W (2020) Stabilization of stochastic delayed systems with lévy noise on networks via periodically intermittent control. *Int J Control* 93:505–518 - DOI

Yang W, Kang J (2005) Soundscape and sound preferences in urban squares: a case study in Sheffield. *JUrbanDes* 10(1):61–80

Yang W, Moon HJ (2019) Effects of recorded water sounds on intrusive traf c noise perception under three indoor temperatures. *Appl Acoust* 145:234–244

Yang, W., & Kang, J. (2005). Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Applied Acoustics*, 66, 211-229.

Yildirim, Y. & Arefi, M. (2021). Noise complaints during a pandemic: A longitudinal analysis. *Noise Mapping*, 8(1), 108-115. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0008>

Zannin PHT, Quadros F, De Oliveira FL, Nascimento EOD (2018) Evaluation of environmental noise generated by household waste collection trucks. *JEnvironAssessManag* 20:1850010

Βιτωράκης, Μ., & Δεληγιάννης, Γ. (2008). ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 -Εισαγωγή στο θόρυβο (σσ. 7–9). ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ.

https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/2472/Bitwrakis_Deligiannis.pdf?sequence=1

Δαλαμάγκας, Β. (Ed.). (n.d.). Ο Θόρυβος στο αστικό περιβάλλον . Δαλαμάγκας Βασίλειος. Ανακτήθηκε Σεπτέμβριος 1, 2024, από: <https://istorikokentro.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/12/dalamangas-arthro-thorybos-22-01-2016.pdf>

ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ ΕΝΑΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΜΕ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΠΡΟΛΗΨΗ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ - PDF ΔΩΡΕΑΝ λήψη. (n.d.). <https://docplayer.gr/49304233-Ihorypansi-enas-kindynos-me-epiptoseis-stin-ygeia-prolipsi-prostasia.html>

Οδηγία - 2002/49 - EN - EUR-Lex. (2021). Europa.eu. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32002L0049>

Ahmad, S., Wong, K. Y., & Rajoo, S. (2019). Sustainability indicators for manufacturing sectors: A literature survey and maturity analysis from the triple-bottom line perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Ameen, R. F. M., & Mourshed, M. (2019). Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of sustainability indicators using analytic hierarchy process. *Sustainable Cities and Society*.

D'Alessandro, F., Di Mascio, P., Lombardi, L., & Ridolfi, B. (2022). Methodology for the identification of economic, environmental and health criteria for road noise mitigation. *Noise Mapping*.

Dreger, S., Schüle, S. A., Hilz, L. K., & Bolte, G. (2019). Social inequalities in environmental noise exposure: A review of evidence in the WHO European Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Jarosińska, D., Héroux, M. È., Wilkhu, P., Creswick, J., & others. (2018). Development of the WHO environmental noise guidelines for the European region: An introduction. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Khan, J., Ketzel, M., Kakosimos, K., Sørensen, M., & others. (2018). Road traffic air and noise pollution exposure assessment—A review of tools and techniques. *Science of the Total Environment*.

Kiross, G. T., Chojenta, C., Barker, D., & Loxton, D. (2020). The effects of health expenditure on infant mortality in sub-Saharan Africa: Evidence from panel data analysis. *Health Economics Review*.

Liu, N., Liu, C., Xia, Y., & Da, B. (2018). Examining the coordination between urbanization and eco-environment using coupling and spatial analyses: A case study in China. *Ecological Indicators*.

Mansourianfar, M. H., & Haghshenas, H. (2018). Micro-scale sustainability assessment of infrastructure projects on urban transportation systems: Case study of Azadi district, Isfahan, Iran. *Cities*.

Maynard, D. C., Vidigal, M. D., Farage, P., Zandonadi, R. P., & others. (2020). Environmental, social and economic sustainability indicators applied to food services: A systematic review. *Sustainability*.

Morano, P., Tajani, F., Di Liddo, F., & Darò, M. (2021). Economic evaluation of the indoor environmental quality of buildings: The noise pollution effects on housing prices in the city of Bari (Italy). *Buildings*.

Mostafa, M. K., Gamal, G., & Wafiq, A. (2021). The impact of COVID-19 on air pollution levels and other environmental indicators: A case study of Egypt. *Journal of Environmental Management*.

Murphy, E., & King, E. A. (2022). *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Routledge.

Ruiz-Páez, R., Díaz, J., López-Bueno, J. A., Asensio, C., & others. (2023). Short-term effects of air pollution and noise on emergency hospital admissions in Madrid and economic assessment. *Environmental Research*.

Salguero-Puerta, L., Leyva-Díaz, J. C., & others. (2019). Sustainability indicators concerning waste management for implementation of the circular economy model on the University of Lome (Togo) Campus. *Sustainability*.

Sekar, M., Kumar, T. R. P., Kumar, M. S. G., Vaníčková, R., & others. (2021). Techno-economic review on short-term anthropogenic emissions of air pollutants and particulate matter. *Fuel*.

Song, Y., Hou, D., Zhang, J., O'Connor, D., Li, G., & others. (2018). Environmental and socio-economic sustainability appraisal of contaminated land remediation strategies: A case study at a mega-site in China. *Science of the Total Environment*.

Tonne, C., Milà, C., Fecht, D., Alvarez, M., Gulliver, J., & others. (2018). Socioeconomic and ethnic inequalities in exposure to air and noise pollution in London. *Environment International*.

Verma, P., & Raghubanshi, A. S. (2018). Urban sustainability indicators: Challenges and opportunities. *Ecological Indicators*.

Yuan, M., Yin, C., Sun, Y., & Chen, W. (2019). Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: A case study in Wuhan, China. *Sustainable Cities and Society*.

<https://ypen.gov.gr/perivallon/thoryvos-aktinovolies/nomothesia/>

Ελληνικές Πηγές

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2002). *Οδηγία 2002/49/EK για την εκτίμηση και διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου*. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

Π.Δ. 1180/1981. *Περί προστασίας περιβάλλοντος από θορύβους και δονήσεις*. ΦΕΚ Α' 293/06.10.1981.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2023). *Στρατηγικές Χαρτογραφήσεις Θορύβου & Κυκλοφοριακή Όχληση στην Ελλάδα*. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gr>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2023). *Θόρυβος – Περιβαλλοντική νομοθεσία*. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gr>