



2025

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΛΙΜΑΝΙΑ: ΠΕΙΡΑΙΑ ΚΑΙ ΗΡΑΚΛΕΪΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ

Διαχείριση έργων, συγκοινωνιακός και
χωρικός σχεδιασμός

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΑΜΠΟΥΡΗΣ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

NICOLA REMY

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	2
1.Εισαγωγή.....	3
2. Σημασία της Μελέτης του Περιβαλλοντικού Θορύβου	7
3.Θόρυβος στα λιμάνια.....	9
4. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης	10
4.1 Ιστορική Αναδρομή	11
4.2 Βασικά Χαρακτηριστικά της Περιοχής	12
4.3 Στατιστικά Στοιχεία Κίνησης του Λιμένα Πειραιά	15
4.3 Κύριες Πηγές Περιβαλλοντικού Θορύβου στην Περιοχή Μελέτης	17
5. Συγκριτική Αναφορά: Το Παράδειγμα του Λιμένα Ηρακλείου	22
5.1 Το Λιμάνι του Ηρακλείου: Χαρακτηριστικά, Δραστηριότητες και Θόρυβος	23
6. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον Θόρυβο και η Διαχείριση του Λιμενικού Θορύβου	25
6.1 Οι Προκλήσεις στη Μέτρηση Θορύβου στα Λιμάνια	26
7. Μεθοδολογία Μέτρησης και Διαχείρισης του Θορύβου στο Λιμάνι του Πειραιά	28
7.1 Επιλογή Σημείων Λήψης Μετρήσεων Θορύβου στο Λιμάνι	29
7.2 Εργαλεία και Εξοπλισμός	31
7.3 Ανάλυση Δεδομένων	32
7.4 Επεξεργασία Δεδομένων	33
8. Δημιουργία Στρατηγικού Σχεδίου Διαχείρισης Θορύβου	34
9. Δημιουργία Χάρτη Θορύβου για την Περιοχή Μελέτης.....	35
9.1 Ανάλυση των Υπαρχόντων Χαρτών Θορύβου	36
9.1.1 Σύγκριση Ηχητικής Επιβάρυνσης σε Διαφορετικές Περιοχές του Λιμανιού.....	38
9.1.2 Ανάλυση Ανάλογα με τη Χρονική Περίοδο	39
9.1.3 Ανάλυση των Δεδομένων	40
10. Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	41
10.1 Περιορισμοί και Προκλήσεις στην Εφαρμογή Ορισμένων Μέτρων	46
11. Discussion	47
12. Conclusions	49
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	51

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου στο λιμάνι του Πειραιά, με βάση τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/EC και της μεθοδολογίας CNOSSOS-EU. Μέσω της ανάλυσης κυκλοφοριακών δεδομένων και της αξιοποίησης στρατηγικών χαρτών θορύβου, αποτυπώνονται τα κυριότερα πρότυπα ηχητικής όχλησης σε επιλεγμένα σημεία της περιοχής μελέτης. Οι πηγές θορύβου αξιολογούνται ως προς την ένταση, τη γεωγραφική τους κατανομή και την επίδραση τους στις κατοικημένες ζώνες του λιμένα.

Η εργασία περιλαμβάνει συγκριτική προσέγγιση με το λιμάνι του Ηρακλείου, αξιοποιώντας ερευνητικά δεδομένα και μαρτυρίες κατοίκων, προκειμένου να αναδειχθούν διαφορές ως προς την αντίληψη, τη σύνθεση των πηγών και τη φύση της ηχητικής επιβάρυνσης. Σε αντίθεση με τον Πειραιά, όπου τα πλοία θεωρούνται κύριες πηγές θορύβου, στο Ηράκλειο η όχληση αποδίδεται περισσότερο σε γειτονικές βιομηχανικές μονάδες και την αστική κυκλοφορία.

Η ανάλυση των χαρτών δεν καταδεικνύει σημαντική μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης, γεγονός που θέτει ερωτήματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων και τη χρήση των υπολογιστικών μοντέλων προσομοίωσης. Η εργασία εξετάζει εναλλακτικά σενάρια, όπως η κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση του περιβάλλοντος οδικού δικτύου, η βελτιστοποίηση της δόμησης γύρω από το λιμάνι και η προσαρμογή των στρατηγικών χαρτών θορύβου στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των λιμενικών υποδομών.

Τέλος, προτείνονται συνδυαστικά μέτρα για τη μείωση των ηχητικών επιπτώσεων, όπως η ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά (OPS), ο περιορισμός της κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων σε ώρες αιχμής και η διαρκής παρακολούθηση των επιπέδων θορύβου σε πραγματικό χρόνο. Η εργασία συμβάλλει στην επιστημονική κατανόηση των ιδιοτεροτήτων στα λιμενικά περιβάλλοντα και θέτει τις βάσεις για τη διαμόρφωση στοχευμένων στρατηγικών δράσης.

1.Εισαγωγή

Για τη συστηματική αξιολόγηση, διαχείριση και αντιμετώπιση του προβλήματος του περιβαλλοντικού θορύβου, η **Ευρωπαϊκή Ένωση** έχει θεσπίσει την **Οδηγία 2002/49/EC**, η οποία καθορίζει το ρυθμιστικό πλαίσιο για τη διαχείριση του θορύβου σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού στον θόρυβο και η διαμόρφωση στρατηγικών σχεδίων για τη μείωσή του. Ειδικότερα εξετάζεται η ηχητική επιβάρυνση σε δύο διαφορετικά αστικά περιβάλλοντα, τον Πειραιά και το Ηράκλειο όπου η διαφοροποίηση δεν εντοπίζεται μόνο στις πηγές του θορύβου αλλά και στον αριθμό των κατοικιών που εκτίθενται και στη θέση τους σε σχέση με τις λιμενικές δραστηριότητες, δίνοντας έμφαση στις επιπτώσεις στις αστικές περιοχές, τις βιομηχανικές ζώνες και τις συγκοινωνιακές υποδομές, όπως τα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και τα λιμάνια. Σύμφωνα με την Οδηγία, τα κράτη-μέλη υποχρεούνται να καταρτίζουν **στρατηγικούς χάρτες θορύβου** που αποτυπώνουν τα επίπεδα ηχητικής επιβάρυνσης στις μεγάλες πόλεις και τις περιοχές με έντονη μεταφορική δραστηριότητα.

Οι χάρτες αυτοί χρησιμεύουν στην εκτίμηση του αριθμού των ανθρώπων που εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου πάνω από τα θεσπισμένα όρια και στην ανάπτυξη σχεδίων δράσης για τον περιορισμό του. Παράλληλα, η Οδηγία απαιτεί τη διαρκή ενημέρωση του κοινού για την ηχητική ρύπανση και τις επιπτώσεις της στην υγεία, προωθώντας τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας. Για την ομοιογενή αξιολόγηση του θορύβου σε όλα τα κράτη-μέλη η Ευρωπαϊκή Ένωση εισήγαγε το **CNOSSOS-EU (Common Noise Assessment Methods in Europe)** [<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC72550>], ένα εναρμονισμένο μεθοδολογικό εργαλείο που καθορίζει τις προδιαγραφές υπολογισμού και ανάλυσης του θορύβου. Το CNOSSOS-EU εφαρμόζεται ως κοινό πρότυπο για την ανάπτυξη στρατηγικών χαρτών θορύβου, διασφαλίζοντας ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι συγκρίσιμα και αξιόπιστα σε πανευρωπαϊκό επίπεδο.

Ο περιβαλλοντικός θόρυβος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μορφές ρύπανσης στις σύγχρονες αστικές και βιομηχανικές περιοχές, επηρεάζοντας την ποιότητα ζωής και τη δημόσια υγεία. Στα λιμάνια, η ηχορύπανση προέρχεται από διάφορες πηγές όπως η κίνηση των πλοίων, των οχημάτων και των φορτηγών, καθώς και από τις λειτουργικές δραστηριότητες του χώρου. **Οι κάτοικοι των γειτονικών αστικών περιοχών, οι εργαζόμενοι στις λιμενικές εγκαταστάσεις και οι επισκέπτες του λιμανιού** είναι οι κύριες ομάδες που εκτίθενται σε αυτά τα επίπεδα θορύβου. Η συνεχής έκθεση σε υψηλά επίπεδα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας όπως άγχος, διαταραχές ύπνου και καρδιαγγειακές παθήσεις.

Οι κύριοι ακουστικοί δείκτες

Οι κύριοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του θορύβου είναι :

Ο **L_q** (ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου) και ο **L_{den}** (δείκτης θορύβου ημέρας-απογευματος-νύχτας) αποτελούν δύο από τους βασικούς ακουστικούς δείκτες αξιολόγησης του περιβαλλοντικού θορύβου, ιδιαίτερα στις λιμενικές περιοχές, όπου η ηχητική επιβάρυνση παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Ο **L_q**, γνωστός και ως **Leq (Equivalent Continuous Sound Level)**, αντιπροσωπεύει το ισοδύναμο επίπεδο θορύβου για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Πρόκειται για έναν ενεργειακά μέσο όρο της ηχητικής στάθμης ο οποίος επιτρέπει τη σύγκριση μεταβαλλόμενων επιπέδων θορύβου με μια σταθερή τιμή dB(A) που θα είχε την ίδια ενεργειακή επιβάρυνση. Ορίζεται από τη μαθηματική σχέση:

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

όπου:

- **L_p(t)** είναι η στιγμιαία ηχητική στάθμη σε dB(A),
- **T** είναι η συνολική χρονική περίοδος μέτρησης καθόλη της ημέρας (24h). .

Ο **L_{den} (Day-Evening-Night Level)** είναι ένας σταθμισμένος δείκτης θορύβου 24ώρου, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικές επιπτώσεις του θορύβου κατά τη διάρκεια της ημέρας, του απογεύματος και της νύχτας. Για να αντικατοπτρίσει την αυξημένη ευαισθησία του ανθρώπου στον θόρυβο κατά τις βραδινές ώρες, προστίθενται τιμωρητικοί συντελεστές (penalty factors) στις μετρήσεις του θορύβου κατά το απόγευμα και τη νύχτα. Ο μαθηματικός ορισμός του είναι:

$$L_{den} = 10 \log \log \left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right)$$

όπου:

- **L_d** είναι ο μέσος θόρυβος κατά τη διάρκεια της ημέρας (07:00 - 19:00),
- **L_e** είναι ο μέσος θόρυβος κατά τη διάρκεια του απογεύματος (19:00 - 23:00) με προσαύξηση +5 dB,
- **L_n** είναι ο μέσος θόρυβος κατά τη διάρκεια της νύχτας (23:00 - 07:00) με προσαύξηση +10 dB.

Ο δείκτης **L_{den}** χρησιμοποιείται ευρέως στις στρατηγικές μετρήσεις θορύβου, καθώς επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση των επιπέδων ηχορύπανσης κατά τη διάρκεια ολόκληρου του 24ώρου, λαμβάνοντας υπόψη τη ευαισθησία του ανθρώπινου οργανισμού στον θόρυβο κατά τη μέρα, το απόγευμα και τη νύχτα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτός ο δείκτης δεν αποτυπώνει μόνο στιγμιαία επίπεδα θορύβου αλλά τη συσσωρευτική ηχητική επιβάρυνση που δέχεται ένας πληθυσμός **μέσα σε μία πλήρη**

ημέρα, λαμβάνοντας υπόψη την αυξημένη όχληση που προκαλεί ο νυχτερινός θόρυβος. Αυτός ο δείκτης αποτελεί βασικό εργαλείο στον σχεδιασμό και την εφαρμογή στρατηγικών χαρτών θορύβου, όπως προβλέπεται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/ΕΚ.

Στη βιβλιογραφία, τα πιο διαδεδομένα λογισμικά που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία στρατηγικών χαρτών θορύβου είναι το **CadnaA (Datakustik GmbH)** και το **SoundPLAN (SoundPLAN GmbH)**¹. Αυτά τα λογισμικά είναι σχεδιασμένα για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση της διάδοσης του ήχου στο περιβάλλον, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της **Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/ΕΚ** και το υπολογιστικό πλαίσιο του **CNOSSOS-EU**.

Το **CadnaA** αναπτύχθηκε από την **Datakustik GmbH** και αποτελεί ένα από τα πιο προηγμένα εργαλεία ανάλυσης περιβαλλοντικού θορύβου. Χρησιμοποιείται εκτενώς για τη δημιουργία χαρτών θορύβου λαμβάνοντας υπόψη τις πηγές ηχορύπανσης (π.χ. οδική και σιδηροδρομική κυκλοφορία, βιομηχανικός θόρυβος και λιμενικές δραστηριότητες) την τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος. Επιτρέπει την προσομοίωση της διάδοσης του ήχου με υψηλή ακρίβεια και χρησιμοποιείται σε μελέτες που απαιτούν συμμόρφωση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα περιβαλλοντικού θορύβου. Ενώ αντίστοιχα, το **SoundPLAN** που αναπτύχθηκε από την **SoundPLAN GmbH** παρέχει μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα ανάλυσης ηχητικών δεδομένων και δημιουργίας χαρτών θορύβου, συνδυάζοντας εργαλεία μοντελοποίησης για την κυκλοφορία, τις βιομηχανικές δραστηριότητες και άλλες πηγές ηχορύπανσης. Το λογισμικό επιτρέπει τη διεξαγωγή λεπτομερών προσομοιώσεων και υπολογισμών με βάση αναγνωρισμένα διεθνή πρότυπα, όπως το **ISO 9613-2 (ISO, 1996)** για την πρόβλεψη της διάδοσης του θορύβου στο περιβάλλον.

Σε πολλές επιστημονικές μελέτες παρατηρείται η χρήση και των δυο λογισμικών **CadnaA** και **SoundPLAN** για τη χαρτογράφηση και ανάλυση του περιβαλλοντικού θορύβου. Αυτή η πρακτική επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε έργου. Κάθε λογισμικό χρησιμοποιεί διαφορετικούς αλγορίθμους και μεθόδους υπολογισμού για τη διάδοση του ήχου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Έτσι επιτυγχάνεται η διασταύρωση και επαλήθευση των δεδομένων.

Για παράδειγμα σε μελέτη του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, χρησιμοποιήθηκαν και τα δυο λογισμικά. Το **SoundPLAN** χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση θορύβου με την εισαγωγή δεδομένων από το AutoCAD, αναδεικνύοντας τη σημασία της ακρίβειας των δεδομένων για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων (Sampatakis, L. (2020). *Ακουστική περιβαλλοντική αξιολόγηση του λιμένα Ηρακλείου* [Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας]). Ενώ το **CadnaA** αξιοποιήθηκε για συγκεκριμένες αναλύσεις ακουστικής διάδοσης και εκτίμησης ηχητικής επιβάρυνσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Αυτό υποδεικνύει ότι το κάθε εργαλείο διαθέτει εξειδικευμένα χαρακτηριστικά που μπορούν να προσφέρουν συμπληρωματικά αποτελέσματα.

¹ CadnaA: <https://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>. SoundPLAN: <https://www.soundplan.eu>. Η πιο πρόσφατη έκδοση του CadnaA είναι η **Version 2023**, ενώ του SoundPLAN είναι η **Version 9.0 (2023)**.

Στις μελέτες που θα χρησιμοποιηθούν ως αναφορά σε παρακάτω ενότητες, η ανάπτυξη στρατηγικών χαρτών θορύβου πραγματοποιήθηκε μέσω του **Predictor-LimA Type 7810B Version 10.1**. Το λογισμικό αυτό είναι σχεδιασμένο για την ανάλυση περιβαλλοντικού θορύβου ενσωματώνοντας τις προδιαγραφές της **Οδηγίας EC/2002/49** καθώς και της **IPP CEC/2008/1** για τον βιομηχανικό θόρυβο. Η λειτουργία του βασίζεται σε εξελιγμένες μεθόδους υπολογισμού, επιτρέποντας την προσομοίωση και ανάλυση διαφορετικών πηγών θορύβου, όπως οδική και σιδηροδρομική κυκλοφορία, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και **λιμενικές δραστηριότητες**. Η χαρτογράφηση του βιομηχανικού θορύβου και του θορύβου των πλοίων πραγματοποιήθηκε μέσω προτύπων όπως το **ISO 8297:1994** για την εκτίμηση του βιομηχανικού θορύβου και το **EN ISO 2922:2000** για τη μέτρηση του θορύβου από πλοία σε λιμενικές περιοχές.

Για την ανάπτυξη των γεωγραφικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στους χάρτες αξιοποιήθηκαν εξειδικευμένα εργαλεία GIS, όπως το **ESRI ArcGIS¹**, το οποίο επιτρέπει την ανάλυση των χωρικών δεδομένων και τη δημιουργία χαρτών και τα **3D Analyst & Spatial Analyst²** που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DSM και DTM). Η μοντελοποίηση των κτιρίων πραγματοποιήθηκε μέσω του **ESRI City Engine³** ενώ δεδομένα τοπογραφίας και αστικού σχεδιασμού προήλθαν από φορείς όπως η **Ελληνική Στατιστική Αρχή (ELSTAT)** και η **Εθνικό Κτηματολόγιο & Χαρτογράφηση (NCMAS.A.)**. Επίσης οι μελετητές αναφέρουν πως για τον υπολογισμό της ηχητικής επιβάρυνσης από την οδική και σιδηροδρομική κυκλοφορία χρησιμοποιήθηκε το **ΑΤΤΙΚΟΜΕΤΡΟ Traffic Model**, το οποίο βασίζεται σε ένα μοντέλο παραγωγής μετακινήσεων λαμβάνοντας υπόψη χρήσεις γης, πληθυσμιακά δεδομένα και κυκλοφοριακές ροές.

² ArcGIS – ESRI. Διαθέσιμο στο: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>

³ 3D Analyst & Spatial Analyst ESRI. Διαθέσιμο στο: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-3d-analyst/overview> <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-spatial-analyst/overview>

⁴ ESRI CityEngine. Διαθέσιμο στο: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-cityengine/overview>

⁵ Οδηγία **EC/2002/49**: European Parliament and Council. (2002). *Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise*. Official Journal of the European Communities, L 189, 12–25.

⁶ IPP **CEC/2008/1**: CEC. (2008). *Industrial Plants and Processes (IPP) Guidelines for Strategic Noise Mapping*. Centre for Environmental Control.

⁷ **ISO 8297:1994**: International Organization for Standardization. (1994). *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Industrial plants — Survey method*. ISO 8297:1994.

⁸ **EN ISO 2922:2000**: International Organization for Standardization. (2000). *Acoustics — Measurement of airborne sound emitted by vessels on inland waterways and harbours*. EN ISO 2922:2000.

2. Σημασία της Μελέτης του Περιβαλλοντικού Θορύβου

Η μελέτη του ήχου σε περιβαλλοντικά πλαίσια είναι θεμελιώδης για την κατανόηση της επίδρασης του θορύβου στη δημόσια υγεία και στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, ειδικά σε βιομηχανικές και αστικές περιοχές όπως τα λιμάνια. Ο ήχος και ο θόρυβος που παράγεται από διάφορες δραστηριότητες σε τέτοια περιβάλλοντα έχουν σημαντική επίδραση τόσο στον ανθρώπινο πληθυσμό όσο και στα οικοσυστήματα.

Σημασία για τη Δημόσια Υγεία

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος ο θόρυβος στις βιομηχανικές και κατοικημένες περιοχές έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί ποικίλες αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Συγκεκριμένα, η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου έχει συνδεθεί με προβλήματα όπως:

- **Αυξημένο Άγχος και Κόπωση:** Οι θόρυβοι επηρεάζουν άμεσα την ψυχολογική κατάσταση των ατόμων, καθώς οι διαρκείς ήχοι υψηλής έντασης αυξάνουν το άγχος και προκαλούν κόπωση, ιδιαίτερα όταν η έκθεση είναι συνεχής.
- **Διαταραχές Ύπνου:** Ο θόρυβος κατά τις νυχτερινές ώρες παρεμποδίζει την ποιότητα του ύπνου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χρόνια αϋπνία και να επηρεάσει την ψυχική και σωματική υγεία των ατόμων.
- **Επιπτώσεις στο Καρδιαγγειακό Σύστημα:** Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρόνια έκθεση σε ηχορύπανση αυξάνει την αρτηριακή πίεση και εντείνει την πιθανότητα καρδιαγγειακών παθήσεων, καθώς ο οργανισμός είναι διαρκώς σε κατάσταση αυξημένου στρες.

Η μελέτη του ήχου και του θορύβου σε τέτοια πλαίσια επιτρέπει την αξιολόγηση της επίδρασης του θορύβου στην υγεία των κατοίκων και στη λήψη αποφάσεων για μέτρα που μπορούν να μειώσουν την ηχορύπανση και να προστατεύσουν τη δημόσια υγεία.

Περιβαλλοντική Σημασία

Η παρουσία ηχορύπανσης σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές μπορεί να αλλοιώσει σημαντικά την ποιότητα του περιβάλλοντος. Η συνεχής έκθεση σε θορύβους από πηγές όπως τα πλοία, τα φορτηγά, και οι μηχανές φόρτωσης/εκφόρτωσης μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα οικοσυστήματα και στις φυσικές συμπεριφορές των ζώων, ειδικά σε παράκτια περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, τα ηχητικά κύματα υψηλής έντασης που διαχέονται στο νερό επηρεάζουν αρνητικά τη συμπεριφορά των θαλάσσιων ζώων, όπως των ψαριών και των θηλαστικών, τα οποία βασίζονται στον ήχο για επικοινωνία, αναπαραγωγή και πλοήγηση.

Παράλληλα, η ηχορύπανση επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των χερσαίων ζώων που ζουν στις περιοχές γύρω από το λιμάνι, καθώς η συνεχιζόμενη έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου επηρεάζει τις φυσικές τους συνήθειες και διαταράσσει τις μεταναστευτικές διαδρομές, οδηγώντας σε μια ανισορροπία στα τοπικά οικοσυστήματα. Η μελέτη του ήχου σε τέτοιες περιοχές βοηθά στην αναγνώριση και κατανόηση αυτών των επιδράσεων, ώστε να εφαρμοστούν στρατηγικά μέτρα με στόχο την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Στρατηγικός Σχεδιασμός και Βιωσιμότητα

Μέσα από την κατανόηση της σημασίας του ήχου στο περιβάλλον, οι αρμόδιες αρχές μπορούν να διαμορφώσουν και να εφαρμόσουν στρατηγικά σχέδια διαχείρισης του θορύβου, που συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και στην προστασία του περιβάλλοντος. Σε περιοχές όπως τα λιμάνια, η διαχείριση της ηχορύπανσης μπορεί να περιλαμβάνει μέτρα όπως:

- **Περιορισμός λειτουργίας σε ώρες αιχμής:** Η μείωση της λειτουργίας μηχανημάτων σε συγκεκριμένες ώρες μπορεί να μειώσει την ηχορύπανση, ειδικά κατά τις νυχτερινές ώρες.
- **Ηχοπετάσματα και τεχνολογίες απορρόφησης θορύβου:** Τα ηχοπετάσματα μπορούν να μειώσουν τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων στις κατοικημένες περιοχές γύρω από το λιμάνι.
- **Χρήση εξοπλισμού χαμηλού θορύβου:** Η εισαγωγή σύγχρονων τεχνολογιών και εξοπλισμού που λειτουργεί με χαμηλότερες στάθμες θορύβου μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ηχορύπανσης.

Η εφαρμογή τέτοιων μέτρων ενισχύει τη βιωσιμότητα των περιοχών γύρω από τα λιμάνια και δημιουργεί καλύτερες συνθήκες διαβίωσης για τους κατοίκους και το φυσικό περιβάλλον.

3.Θόρυβος στα λιμάνια

Τα μεγάλα λιμάνια της Ευρώπης και της Μεσογείου λειτουργούν ως **πολύπλοκοι κόμβοι εμπορικής και επιβατικής δραστηριότητας**, δημιουργώντας συνθήκες συνεχούς ηχητικής επιβάρυνσης από ποικίλες πηγές. Οι κυριότερες πηγές περιλαμβάνουν τους κινητήρες και τα βοηθητικά συστήματα των πλοίων (π.χ. γεννήτριες, μονάδες ψύξης), τα φορτοεκφορτωτικά μηχανήματα και την κυκλοφορία βαρέων οχημάτων στους λιμενικούς χώρους και την περίμετρο του λιμένα. Η έντονη και συνεχής λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων, τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας, προκαλεί **παρατεταμένη ηχητική όχληση** σε γειτονικές αστικές περιοχές, μειώνοντας την ποιότητα ζωής των κατοίκων και δημιουργώντας ανησυχίες για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Σύμφωνα με διεθνείς πρακτικές, χώρες όπως η Φινλανδία, η Δανία και η Ιταλία έχουν εφαρμόσει **τεχνικές και κανονιστικές παρεμβάσεις** για τη μείωση του θορύβου στα λιμάνια. Στο λιμάνι του Ελσίνκι, για παράδειγμα έχουν υιοθετηθεί **καθορισμένες λειτουργικές ζώνες** για τα πλοία και προωθείται η σύνδεση ελλιμενισμένων πλοίων με σταθερές **χερσαίες μονάδες παροχής ρεύματος (Onshore Power Supply)** μειώνοντας την ανάγκη λειτουργίας των βοηθητικών μηχανών. Τα αποτελέσματα δείχνουν σταθερή μείωση των επιπέδων θορύβου κάτω από **55 dB την ημέρα και 50 dB τη νύχτα**, όπως συνιστούν σχετικές κατευθυντήριες οδηγίες. Αντίστοιχα, το λιμάνι της Γένοβας στην Ιταλία έχει θέσει **όρια στάθμης θορύβου** και εφαρμόζει **συνεχή ακουστική παρακολούθηση** μέσω συστημάτων μέτρησης σε πραγματικό χρόνο. Στην Ελλάδα, η εμπειρία εφαρμογής τέτοιων μέτρων είναι ακόμα περιορισμένη, αν και παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση **στρατηγικών χαρτών θορύβου** στο πλαίσιο των απαιτήσεων της **Οδηγίας 2002/49/ΕΚ**. Η εφαρμογή στοχευμένων παρεμβάσεων, βασισμένων σε τεκμηριωμένα δεδομένα, μπορεί να συνεισφέρει ουσιαστικά στη **βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων** και στη **διατήρηση της λειτουργικότητας των λιμένων** χωρίς αντιπαραθέσεις με το κοινωνικό και πολεοδομικό περιβάλλον.



Εικόνα 7 Προβλήτα Λιμένα Ελσίνκι κοντά σε αστικές περιοχές

4. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης αφορά το λιμάνι του Πειραιά και τις γύρω περιοχές, όπου διεξάγονται μετρήσεις για την εκτίμηση των επιπέδων ηχορύπανσης. Το λιμάνι αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εμπορικά και επιβατικά κέντρα της Μεσογείου, εξυπηρετώντας καθημερινά μεγάλο αριθμό πλοίων, επιβατών και οχημάτων. Η ενότητα αυτή περιγράφει τα βασικά γεωγραφικά, δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς και τις κύριες πηγές περιβαλλοντικού θορύβου που επηρεάζουν την ποιότητα ζωής των κατοίκων.



Εικόνα 1 Δορυφορική εικόνα του ευρύτερου παράκτιου αστικού ιστού του Πειραιά. Με κόκκινη γραμμή επισημαίνεται η κύρια λειτουργική ζώνη του λιμένα, η οποία περιλαμβάνει τις περιοχές επιβατικής και εμπορικής δραστηριότητας, καθώς και τις βασικές λιμενικές υποδομές (επιβατικοί σταθμοί, προβλήτες, εγκαταστάσεις φορτοεκφόρτωσης).

1

¹ Δορυφορική Εικόνα

<https://earth.google.com/web/@37.94647709,23.63782103,2.39751782a,10005.42105252d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAGgBOgMKATBCAggASg0I>

4.1 Ιστορική Αναδρομή

Από τη δεκαετία του 1960 και μετά, το λιμάνι του Πειραιά γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη, με την επέκταση των λιμενικών υποδομών, την αύξηση της βιομηχανικής δραστηριότητας και την ενίσχυση του ρόλου του ως διαμετακομιστικός κόμβος στην ανατολική Μεσόγειο. Ιδιαίτερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες, και μετά την παραχώρηση μέρους του λιμανιού σε διεθνείς φορείς διαχείρισης, το λιμάνι ενσωμάτωσε σύγχρονα πρότυπα λειτουργίας και προσέλκυσε σημαντικές επενδύσεις. Σήμερα (με αναφορά κυρίως στην περίοδο μετά το 2010 και ιδιαίτερα από το 2016 και εξής), το λιμάνι του Πειραιά αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους επιβατικούς λιμένες της Ευρώπης και έναν ταχέως αναπτυσσόμενο εμπορικό κόμβο. Η λειτουργία του οργανώνεται σε διακριτές ζώνες επιβατική, εμπορική, ναυπηγοεπισκευαστική και οι υποδομές του αναβαθμίζονται διαρκώς με στόχο την κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων της παγκόσμιας ναυτιλίας. Η πολυπλοκότητα και η ένταση των δραστηριοτήτων που φιλοξενεί το καθιστούν κρίσιμη περιοχή για τη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ιδιαίτερα για την καταγραφή και διαχείριση της ηχορύπανσης.



Εικόνα 1 Το λιμάνι του Πειραιά (piraeus.org)

4.2 Βασικά Χαρακτηριστικά της Περιοχής

Το λιμάνι του Πειραιά διαδραματίζει κεντρικό ρόλο τόσο στην οικονομία όσο και στην καθημερινή ζωή της περιοχής, καθώς αποτελεί τη βασική πύλη σύνδεσης της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα νησιά, αλλά και με σημαντικές διεθνείς θαλάσσιες εμπορικές διαδρομές. Η γεωγραφική του θέση, η οικιστική ανάπτυξη της γύρω περιοχής και η έντονη κυκλοφοριακή δραστηριότητα διαμορφώνουν ένα περιβάλλον όπου η ηχορύπανση αναδεικνύεται ως μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Γεωγραφική Τοποθεσία και Όρια

Το λιμάνι καταλαμβάνει μια εκτεταμένη παράκτια περιοχή που συνορεύει άμεσα με τον αστικό ιστό του Πειραιά. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις εκτείνονται σε πολυάριθμες ζώνες δραστηριότητας, από σταθμούς επιβατών και περιοχές φόρτωσης-εκφόρτωσης εμπορευμάτων, έως ναυπηγικές μονάδες και αποθηκευτικούς χώρους. Η εγγύτητα του λιμανιού στις κατοικημένες περιοχές επιτείνει την ανάγκη για τον έλεγχο της ηχορύπανσης, καθώς οι δραστηριότητες του λιμένα δημιουργούν σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής των κατοίκων.



Εικόνα 2 Νομιμά όρια Λιμένα Πειραιά

2

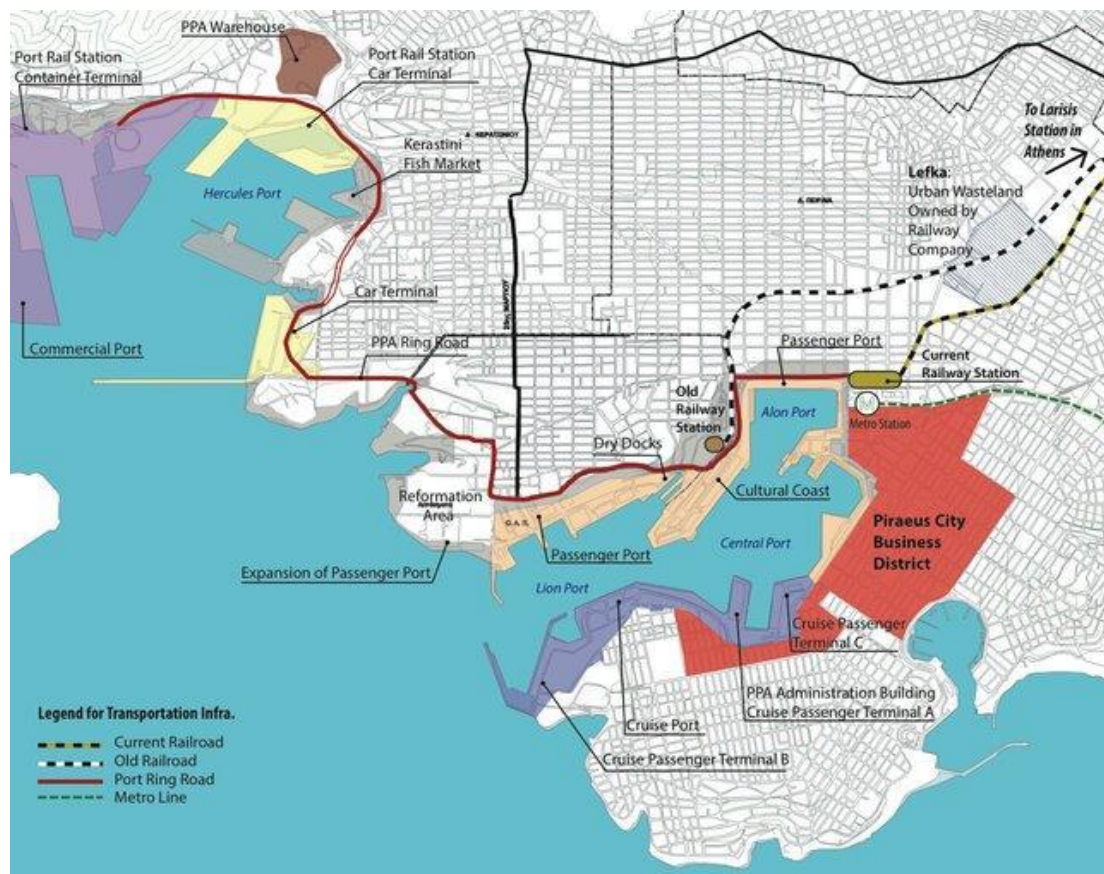
² Δορυφορική Εικόνα

<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?ie=UTF8&t=m&oe=UTF8&msa=0&dg=feature&mid=1RAXbYFo4ug-CTE1bovXsvWZeuuY&ll=37.94199386741064%2C23.637763051716107&z=15>

Επεξεργάστηκε στο λογισμικό QGIS <https://qgis.org/>

Οικιστική Δόμηση και Ζώνες Γύρω από το Λιμάνι

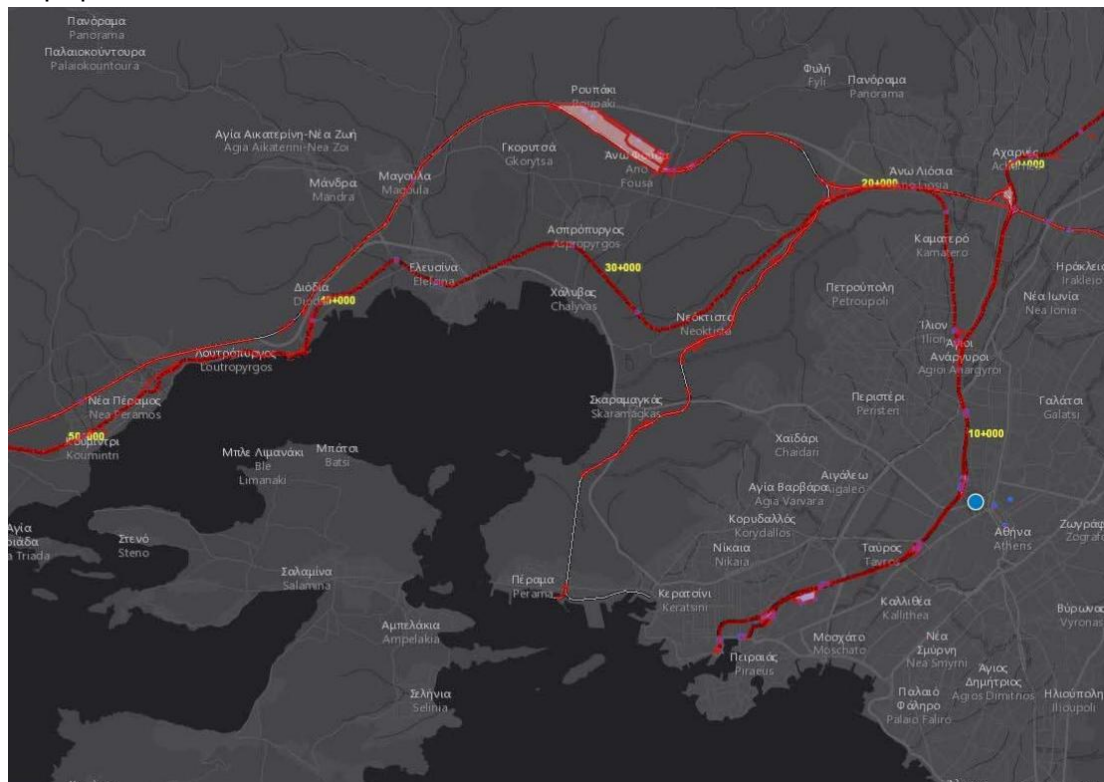
Οι περιοχές που περιβάλλουν το λιμάνι χαρακτηρίζονται από έναν συνδυασμό κατοικιών, εμπορικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Ο Πειραιάς είναι ένας πυκνοκατοικημένος αστικός κόμβος, με συνοικίες που βρίσκονται σε άμεση επαφή με τις λιμενικές εγκαταστάσεις. Οι επιβατικές μεταφορές, η διακίνηση φορτηγών και η συνεχής λειτουργία των πλοίων συνθέτουν ένα ηχητικά επιβαρυμένο περιβάλλον, όπου οι κάτοικοι εκτίθενται σε συνεχείς πηγές θορύβου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Οι επιπτώσεις του θορύβου είναι πιο αισθητές στις συνοικίες που βρίσκονται κοντά στους επιβατικούς σταθμούς και τις κύριες οδικές αρτηρίες που εξυπηρετούν το λιμάνι.



Εικόνα 3 Χάρτης Οικιστικής Δόμησης και Χρήσεων Γης: Προσαρμογή από την έκθεση *The Port of Piraeus: Industrial Zone or Urban Continuity*.

Χρήσεις Γης και Κυκλοφοριακή Υποδομή

Η περιοχή του λιμανιού περιλαμβάνει κρίσιμες οδικές υποδομές, καθώς αποτελεί βασικό κόμβο για τη διακίνηση επιβατών και εμπορευμάτων. Η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων, ΙΧ και δημόσιων συγκοινωνιών είναι έντονη καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που συνεισφέρει στην ηχητική επιβάρυνση της περιοχής. Ειδικότερα, οι κεντρικοί οδικοί άξονες, οι οποίοι συνδέουν το λιμάνι με το υπόλοιπο λεκανοπέδιο της Αττικής, δέχονται υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. Παράλληλα, η ύπαρξη στάσεων του τραμ και κόμβων δημόσιων συγκοινωνιών αυξάνει περαιτέρω την πολυπλοκότητα των ηχητικών δεδομένων, δημιουργώντας έναν συνδυασμό σταθερών και μεταβαλλόμενων πηγών θορύβου.



Εικόνα 4 Χάρτης Κυκλοφοριακής Υποδομής: Απόσπασμα από την παρουσίαση *Piraeus Port in the map of global supply chains: The role of the railway*.³

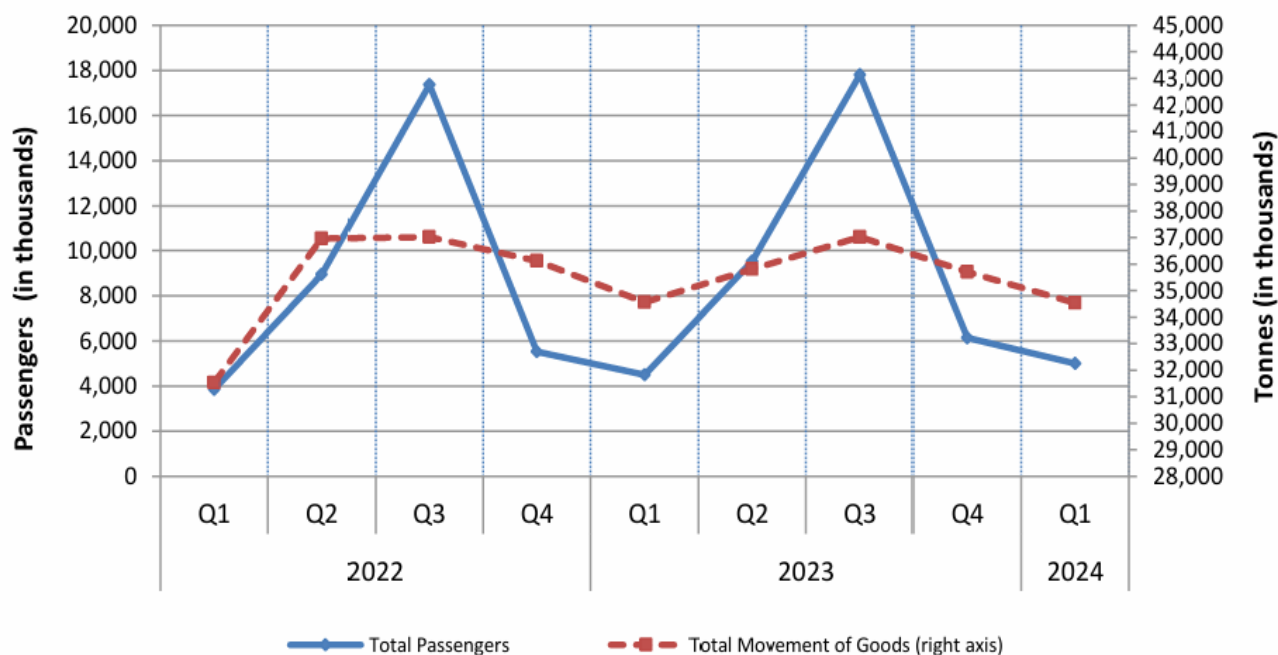
3

https://www.researchgate.net/publication/362507180_Piraeus_Port_in_the_map_of_global_supply_chains_The_role_of_the_railway

4.3 Στατιστικά Στοιχεία Κίνησης του Λιμένα Πειραιά

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ELSTAT) δημοσίευσε στοιχεία σχετικά με την κίνηση επιβατών, εμπορευμάτων και κινητών μονάδων στα ελληνικά λιμάνια για το πρώτο τρίμηνο του 2024.

- **Επιβατική Κίνηση:** Καταγράφηκε αύξηση 11,4% σε σύγκριση με το αντίστοιχο τρίμηνο του 2023, ενώ την προηγούμενη χρονιά η αύξηση ήταν 16,7%. Η συνολική επιβατική κίνηση έφτασε τα **5.011.312 άτομα**, εκ των οποίων οι εγχώριοι επιβάτες αυξήθηκαν κατά 12,1%, ενώ οι διεθνείς επιβάτες μειώθηκαν κατά 6,4%.
- **Κίνηση Εμπορευμάτων:** Παρουσιάστηκε οριακή μείωση 0,1% σε σχέση με το 2023, ενώ την προηγούμενη χρονιά υπήρξε αύξηση 9,6%. Συνολικά, διακινήθηκαν **34.531.706 τόνοι εμπορευμάτων**, με την εγχώρια διακίνηση να αυξάνεται κατά 2% και τη διεθνή να μειώνεται κατά 0,6%.
- **Κινητές Μονάδες (οχήματα, φορτηγά κ.λπ.):** Η συνολική κίνηση αυξήθηκε κατά 7,6% σε σχέση με το 2023, με την εγχώρια διακίνηση να αυξάνεται κατά 8,6%, ενώ η διεθνής παρουσίασε μείωση 4,3%. Συνολικά, διακινήθηκαν **2.017.513 κινητές μονάδες**.⁴



Εικόνα 5 TRAFFIC OF PASSENGERS, GOODS AND MOBILE UNITS IN GREEK PORTS 1st QUARTER 2024 (Provisional data)

Το γράφημα απεικονίζει τη συνολική κίνηση επιβατών και τη διακίνηση εμπορευμάτων στα ελληνικά λιμάνια από το πρώτο τρίμηνο του 2022 έως το πρώτο τρίμηνο του 2024. Η **επιβατική κίνηση** (μπλε γραμμή) παρουσιάζει έντονες **εποχικές διακυμάνσεις**, με **αιχμή στο τρίτο τρίμηνο (καλοκαίρι)** κάθε έτους, γεγονός που αποδίδεται στην αυξημένη τουριστική δραστηριότητα. Η κίνηση αυτή μειώνεται σημαντικά στο τέταρτο τρίμηνο και παραμένει χαμηλή στο πρώτο τρίμηνο κάθε έτους. Αντίθετα, η **διακίνηση εμπορευμάτων** (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) εμφανίζει **σταθερότερη πορεία**, με μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των τριμήνων. Ενώ η επιβατική κίνηση κορυφώνεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τα εμπορεύματα διακινούνται σε σχετικά σταθερά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με ήπιες αυξομειώσεις. Η τάση αυτή επιβεβαιώνει ότι το λιμάνι λειτουργεί σε δύο διαφορετικούς ρυθμούς: έναν **έντονα εποχικό** για την **επιβατική κίνηση** και έναν πιο **σταθερό και εμπορικά** προσανατολισμένο ρυθμό για τη **μεταφορά αγαθών**.

4.3 Κύριες Πηγές Περιβαλλοντικού Θορύβου στην Περιοχή Μελέτης

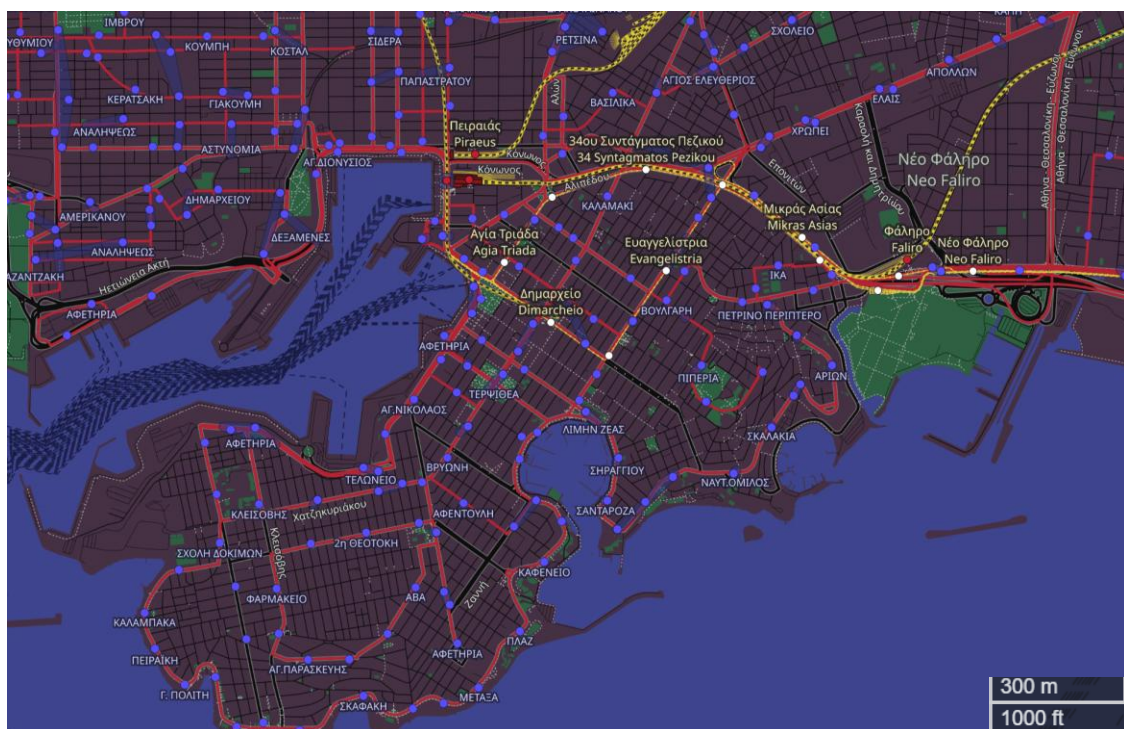
Οι επιβατικές δραστηριότητες του λιμανιού, καθώς και η έντονη κυκλοφορία οχημάτων, συμβάλλουν στη διατήρηση σταθερά υψηλών επιπέδων θορύβου, με άμεσες επιπτώσεις στους κατοίκους των γύρω περιοχών. Οι κυριότερες πηγές ηχορύπανσης περιλαμβάνουν:

Θόρυβος από Πλοία

Τα πλοία, ιδιαίτερα τα επιβατικά και τα μεγάλα μεταφορικά, παράγουν σημαντικά επίπεδα θορύβου τόσο κατά τη ναυσιπλοΐα όσο και κατά τη στάθμευσή τους στο λιμάνι. Κατά την παραμονή τους στους προβλήτες, λειτουργούν βοηθητικές μηχανές, ηλεκτρογεννήτριες και συστήματα κλιματισμού, τα οποία παραμένουν σε συνεχή λειτουργία εκπέμποντας σταθερό θόρυβο, που γίνεται αισθητός στις παρακείμενες περιοχές. Ο θόρυβος αυτός μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 60 και 70 dB(A), ενώ σε περιόδους αυξημένης επιβατικής κίνησης, όπως οι θερινοί μήνες, εντείνεται λόγω της συχνότερης άφιξης και αναχώρησης πλοίων. Η ένταση των ηχητικών επιβαρύνσεων κατά την τουριστική περίοδο καταγράφεται αυξημένη, σύμφωνα με ευρωπαϊκές μελέτες σε παρόμοιους λιμένες (Fredianelli et al., 2022; Murphy & King, 2014), ωστόσο απαιτούνται επιτόπιες μετρήσεις για την ακριβή αποτύπωση της κατάστασης στο λιμάνι του Πειραιά.

Κυκλοφορία Επιβατικών και Φορτηγών Οχημάτων

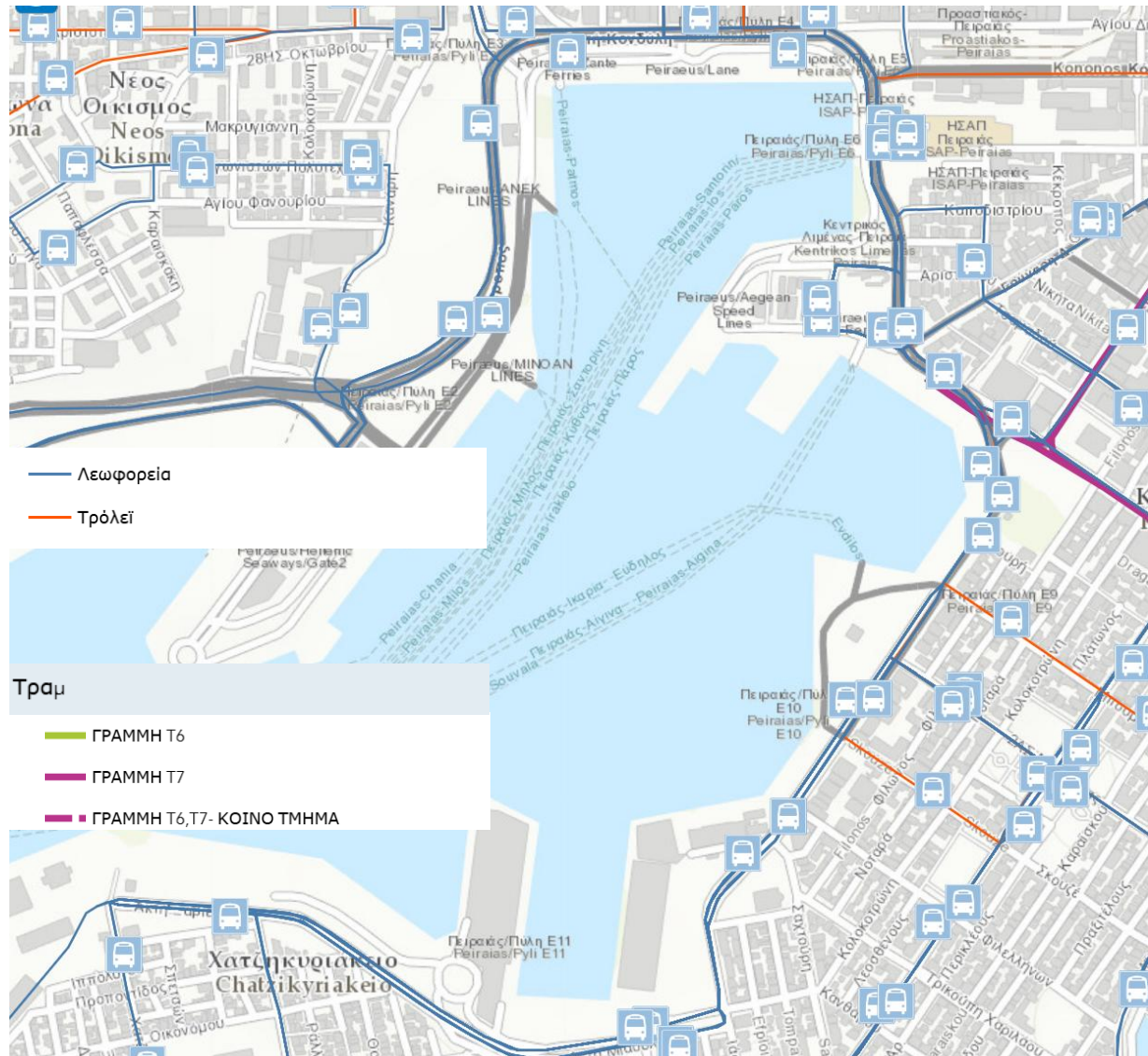
Η αδιάκοπη ροή επιβατικών και βαρέων οχημάτων αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ηχορύπανσης, ειδικά σε περιοχές κοντά σε εισόδους, εξόδους και σταθμούς επιβίβασης-αποβίβασης επιβατών. Τα φορτηγά μεταφοράς εμπορευμάτων και τροφοδοσίας λιμενικών εγκαταστάσεων επιδεινώνουν το πρόβλημα καθώς κινούνται καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο θόρυβος που προέρχεται από τις μηχανές των οχημάτων γίνεται ιδιαίτερα αισθητός κατά τις ώρες αιχμής επηρεάζοντας τόσο τους κατοίκους όσο και τους επισκέπτες του λιμανιού.



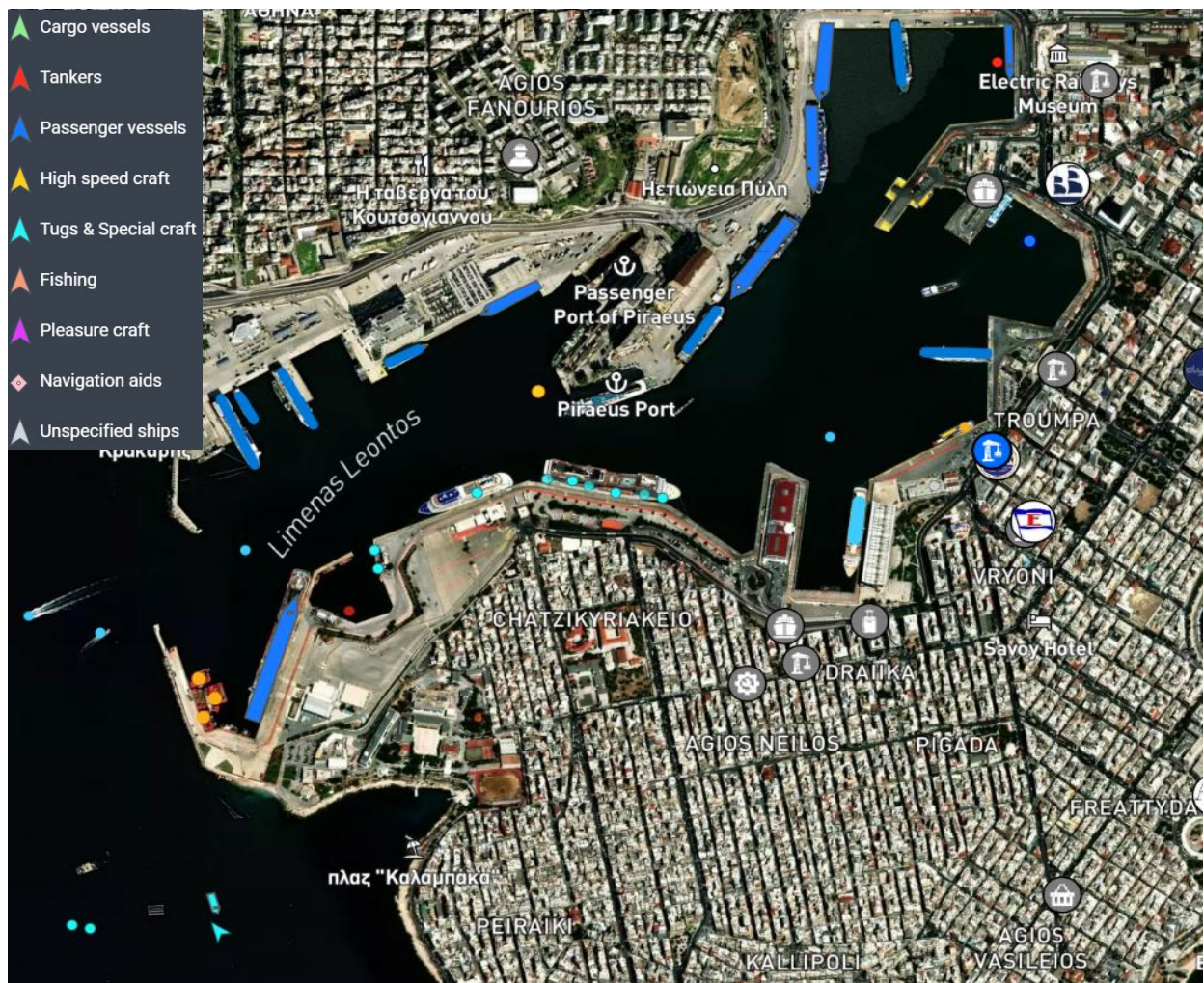
Εικόνα 6 Χάρτης κυκλοφοριακής υποδομής και χρήσεων γης στην περιοχή του Πειραιά, με βάση δεδομένα OpenStreetMap (OSM).

Τραμ και Αστικές Συγκοινωνίες

Η λειτουργία του τραμ που συνδέει το λιμάνι με το ευρύτερο αστικό δίκτυο αποτελεί σταθερή πηγή θορύβου ιδιαίτερα στις στάσεις κοντά στις επιβατικές εισόδους. Το συχνό πέρασμα των συρμών δημιουργεί επαναλαμβανόμενο όχλο που σε συνδυασμό με τη ροή των λεωφορείων και των ταξί αυξάνουν τη συνολική ηχητική επιβάρυνση της περιοχής. Κατά τις ώρες αιχμής η ταυτόχρονη παρουσία τραμ, λεωφορείων και επιβατών ενισχύει τη συγκέντρωση θορύβου γύρω από τους κεντρικούς κόμβους μεταφοράς του λιμανιού.



Εικόνα 7 Χάρτης που απεικονίζει το κύριο δίκτυο το ΟΑΣΑ και τις γραμμές του τραμ γύρω από το λιμάνι Πειραιά.
(Πηγή εικόνας <https://www.oasa.gr/en/oasa-network/>)



Εικόνα 8 Εικόνα Δορυφορική Εικόνα Λιμένα Πειραιά (06/03/2025 | Marinetraffic.com)

 Πίνακας: Κατηγοριοποίηση Πλοίων και Συσχέτιση με Ηχητική Επιβάρυνση

Κατηγορία	Περιγραφή	Σχέση με Θόρυβο
 Cargo vessels (Φορτηγά Πλοία)	Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ή χύδην φορτίων.	Παράγουν υψηλό βιομηχανικό θόρυβο από μηχανές και φορτοεκφορτωτικές διαδικασίες.
 Tankers (Δεξαμενό Πλοία)	Μεταφορέας πετρελαίου, χημικών ή άλλων υγρών φορτίων.	Έντονος θόρυβος από αντλίες και μηχανές, ειδικά κατά την εκφόρτωση.
 Passenger vessels (Επιβατηγά)	Πλοία για επιβατικές μεταφορές, φέρι μποτ.	Σταθερό μηχανικό ηχορύπανση, ιδιαίτερα κατά τους ελιγμούς.
 High speed craft (Ταχύπλοα)	Επιβατηγά ή οχηματαγωγά ταχύτητας.	Ισχυρός κινητήρες jet, υψηλό θόρυβος σε σύντομο χρόνο.
 Tugs & Special craft (Ρυμουλκά και Βοηθητικά)	Ρυμουλκά, πλοία ειδικών αποστολών.	Τοπικά υψηλή ηχορύπανση λόγω ελιγμών.
 Pleasure craft (Σκάφη Αναψυχής)	Ιδιωτικά ή εμπορικά σκάφη αναψυχής.	Περιορισμένη και μη συνεχής πηγή θορύβου.
 Unspecified ships (Μη Κατηγοριοποιημένα)	Πλοία άγνωστης λειτουργίας/ταυτότητας.	Δυσασκαθάριστος ρόλος στη συνολική ηχορύπανση.

Η παραπάνω δορυφορική εικόνα, αποτυπώνει την έντονη δραστηριότητα του λιμανιού του Πειραιά **6 Μαρτίου 2025**. Όπως παρατηρείται, πολλαπλά πλοία είναι αγκυροβολημένα ή σε διαδικασία προσέγγισης και αναχώρησης, γεγονός που υποδηλώνει τη συνεχή ροή της θαλάσσιας κυκλοφορίας. Από την ανάλυση της εικόνας και των στατιστικών δεδομένων προκύπτει πως το λιμάνι λειτουργεί ως **σταθερή πηγή περιβαλλοντικού θορύβου**, με τις ώρες αιχμής να παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη ηχητική επιβάρυνση λόγω της ταυτόχρονης παρουσίας πολλαπλών μέσων μεταφοράς (πλοίων, οχημάτων, δημόσιων συγκοινωνιών). Η εικόνα αυτή απεικονίζει μια **μη τουριστική περίοδο** (Μάρτιος), όπου η κίνηση είναι ήδη υψηλή. Ωστόσο, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, και ιδιαίτερα από **Ιούνιο έως Σεπτέμβριο**, η **δραστηριότητα του λιμανιού εντείνεται** λόγω της ραγδαίας αύξησης της επιβατικής κίνησης και των τουριστικών ροών προς τα νησιά.

Συγκεκριμένα:

- Ο αριθμός των επιβατηγών πλοίων που δρομολογούνται προς νησιωτικούς προορισμούς αυξάνεται σημαντικά οδηγώντας σε υπερφόρτωση των λιμενικών εγκαταστάσεων και άνοδο των θορυβικών επιπέδων.
- Η κίνηση των οχημάτων στις αποβάθρες και τις γύρω οδικές αρτηρίες εντείνεται ιδιαίτερα από τουριστικά λεωφορεία, ταξί και ιδιωτικά οχήματα, συμβάλλοντας στην ηχητική επιβάρυνση της περιοχής.

Η αύξηση της κινητικότητας του λιμένα κατά την τουριστική περίοδο καθιστά την ανάγκη διαχείρισης του περιβαλλοντικού θορύβου ακόμη πιο αναγκαία, καθώς η περιοχή επιβαρύνεται σημαντικά, επηρεάζοντας όχι μόνο τους επισκέπτες, αλλά και τους κατοίκους και τους εργαζόμενους στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά.

5. Συγκριτική Αναφορά: Το Παράδειγμα του Λιμένα Ηρακλείου

Η επιλογή του λιμένα Ηρακλείου ως σημείο συγκριτικής αξιολόγησης βασίζεται σε συνδυασμό λειτουργικών, γεωγραφικών και πολεοδομικών χαρακτηριστικών που τον καθιστούν ιδανικό για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του λιμενικού θορύβου. Το λιμάνι του Ηρακλείου είναι ένα από τα σημαντικότερα αστικά λιμάνια της Ελλάδας, λειτουργώντας ως βασικός κόμβος επιβατικής ναυσιπλοΐας μεταξύ Κρήτης και ηπειρωτικής χώρας. Εντάσσεται στα λιμάνια διεθνούς ενδιαφέροντος και αποτελεί τμήμα του Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών, συγκεκριμένα του διαδρόμου Orient/East-Med, όπως και ο Πειραιάς⁷, ενώ έχει πρόσβαση σε ακτοπλοϊκές, εμπορικές και τουριστικές γραμμές που συνδέουν την Κρήτη με την ηπειρωτική Ελλάδα και άλλες χώρες της Ανατολικής Μεσογείου (Υπουργείο Ναυτιλίας & Νησιωτικής Πολιτικής, 2020).

Η γεωμορφολογία και η πολεοδομική δομή της πόλης του Ηρακλείου, η οποία περιβάλλει το λιμάνι σε μικρότερη έκταση σε σχέση με τον Πειραιά, δημιουργεί διαφορετικές συνθήκες ηχητικής διάχυσης και περιβαλλοντικής όχλησης. Οι περιορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες και η μικρότερη πυκνότητα της οικιστικής ζώνης γύρω από το λιμάνι, επιτρέπουν μια πιο ξεκάθαρη αποτίμηση των επιμέρους πηγών θορύβου (Berglund et al., 1999· European Environment Agency, 2020). Έτσι, η περίπτωση του Ηρακλείου προσφέρει ένα συγκριτικά λιγότερο σύνθετο ακουστικό περιβάλλον, ιδανικό για τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ηχορύπανσης σε λιμενικές περιοχές.

Σε αντίθεση με τον Πειραιά, ωστόσο, το λιμάνι του Ηρακλείου παρουσιάζει μικρότερη ένταση εμπορευματικών ροών και περιορισμένη βιομηχανική δραστηριότητα⁸. Η πυκνότητα του οικιστικού ιστού που περιβάλλει την περιοχή είναι επίσης χαμηλότερη, γεγονός που καθιστά το ηχητικό περιβάλλον λιγότερο σύνθετο και επιτρέπει πιο στοχευμένη αξιολόγηση των επιμέρους πηγών ηχορύπανσης⁹. Η πόλη αναπτύσσεται πολεοδομικά με διαφορετικά πρότυπα σε σχέση με την Αττική, κάτι που ενισχύει την αξία της συγκριτικής προσέγγισης.⁵

⁵ ¹² Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής (2020). *Εθνική Λιμενική Πολιτική και Ένταξη στον Διευρωπαϊκό Διάδρομο Μεταφορών Orient/East-Med*. <https://www.ynanp.gr/el/%CE%9B%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CF%82/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%9B%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE/>

¹³ ΕΛΣΤΑΤ (2021). *Στατιστικά στοιχεία επιβατικής και εμπορευματικής διακίνησης στα ελληνικά λιμάνια*. <https://www.statistics.gr>

¹⁴ European Environment Agency (2020). *Environmental noise in Europe – 2020 report* <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>

Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D.H. (1999). *Guidelines for Community Noise*, WHO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>

5.1 Το Λιμάνι του Ηρακλείου: Χαρακτηριστικά, Δραστηριότητες και Θόρυβος

Το λιμάνι του Ηρακλείου αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα λιμάνια της Ελλάδας, λειτουργώντας ως βασικός κόμβος επιβατικής και εμπορικής διακίνησης στην Κρήτη. Η στρατηγική του θέση στη βόρεια ακτή του νησιού το καθιστά βασική πύλη σύνδεσης με την ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ παράλληλα αποτελεί κομβικό σημείο για τη διακίνηση εμπορευμάτων από και προς τη Μεσόγειο. Με βάση στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ELSTAT), το λιμάνι του Ηρακλείου συγκαταλέγεται στα πέντε μεγαλύτερα της χώρας όσον αφορά την επιβατική κίνηση, ενώ κατέχει επίσης σημαντική θέση στη διακίνηση φορτίων.

Παρόλο που το λιμάνι του Ηρακλείου δεν επηρεάζει άμεσα τους κατοίκους από άποψη ηχορύπανσης, η δραστηριότητα των φορτηγών και των μεταφορικών μέσων φαίνεται να είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες όχλησης, σύμφωνα με τη μελέτη του Ευθύμιου Ζερβά (2012). Η γειτονική θέση του λιμανιού με τη βιομηχανική ζώνη της πόλης καθιστά την κυκλοφορία βαρέων οχημάτων έναν από τους βασικούς θορυβώδεις παράγοντες, ενώ τα πλοία δεν αναφέρονται ως κύρια πηγή θορύβου από τους κατοίκους.

Ο Οργανισμός Λιμένος Ηρακλείου (ΟΛΗ), αναγνωρίζοντας την ανάγκη μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του λιμανιού, έχει προχωρήσει στην υλοποίηση σχεδίων που στοχεύουν στη μείωση τόσο των εκπομπών ρύπων όσο και του θορύβου. Σύμφωνα με τον Διευθύνοντα Σύμβουλο του ΟΛΗ, κ. Μηνά Παπαδάκη, το λιμάνι έχει δεσμευτεί να εφαρμόσει πράσινες τεχνολογίες και καινοτόμες λύσεις που θα βελτιώσουν τη συνολική περιβαλλοντική του απόδοση. Ένα από τα βασικά έργα που σχεδιάζονται είναι το **"Electriport"**, το οποίο περιλαμβάνει την εγκατάσταση συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά (Onshore Power Supply - OPS) για τα ελλιμενισμένα πλοία. Η πρωτοβουλία αυτή στοχεύει στη **μείωση της χρήσης των βοηθητικών μηχανών των πλοίων** κάτι που αναμένεται να μειώσει δραστικά τόσο την ατμοσφαιρική όσο και την ηχητική ρύπανση. Το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί πριν από το 2030 σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των λιμανιών.

Η υλοποίηση αυτών των πρωτοβουλιών αποτελεί σημαντικό βήμα προς την περιβαλλοντικά υπεύθυνη λειτουργία του λιμένα εναρμονίζοντάς τον με τις σύγχρονες ευρωπαϊκές πρακτικές για τη μείωση των ρύπων και της ηχητικής όχλησης. Αν και ο θόρυβος από τα πλοία δεν αποτελεί κύρια ανησυχία για τους κατοίκους του Ηρακλείου η βελτίωση των υποδομών και η ηλεκτροδότηση από ανανεώσιμες πηγές μπορούν να συμβάλουν στη γενικότερη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λιμενικής δραστηριότητας.



Εικόνα 9 Η κόκκινη γραμμή επισημαίνει τα κύρια όρια των λιμενικών εγκαταστάσεων, όπως προσδιορίζονται από την εναέρια αποτύπωση.

⁶ Πηγή: satellites.pro

6. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον Θόρυβο και η Διαχείριση του Λιμενικού Θορύβου

Η **Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EC** για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο θεσπίζει ένα συνολικό ρυθμιστικό πλαίσιο για την καταγραφή, αξιολόγηση και διαχείριση του θορύβου σε διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των λιμανιών. Βασική απαίτηση της Οδηγίας είναι η εκπόνηση στρατηγικών σχεδίων διαχείρισης θορύβου από τα κράτη μέλη, ιδίως σε περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια. Στόχος των σχεδίων αυτών είναι η προστασία της δημόσιας υγείας και η βελτίωση της ποιότητας ζωής, ειδικά σε περιοχές με αυξημένη ηχητική επιβάρυνση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην ανάπτυξη ενός στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης θορύβου για το λιμάνι του Πειραιά ακολουθώντας τις κατευθύνσεις της Οδηγίας. Η **μελέτη περιλαμβάνει** την **καταγραφή** και ανάλυση των **κύριων πηγών θορύβου**, τη **συστηματική εξέταση των μετρήσεων** που έχουν πραγματοποιηθεί και την **ανάπτυξη προτάσεων για τη μείωση των επιπέδων θορύβου** σε κρίσιμες περιοχές του λιμανιού. Παράλληλα διερευνώνται οι βέλτιστες πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί σε άλλα ευρωπαϊκά λιμάνια, εστιάζοντας σε τεχνικά και διοικητικά μέτρα όπως η εγκατάσταση ηχοπετασμάτων, η βελτιστοποίηση των λιμενικών διαδικασιών και η εφαρμογή περιορισμών σε δραστηριότητες υψηλού θορύβου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η εργασία δεν περιλαμβάνει την εκτέλεση νέων πρωτογενών μετρήσεων, αλλά βασίζεται στην ανάλυση υφιστάμενων δεδομένων και στρατηγικών χαρτών θορύβου από προηγούμενες μελέτες και επιστημονικά άρθρα. Μέσα από αυτή τη μεθοδολογική προσέγγιση, επιδιώκεται η ανάδειξη της ανάγκης για ολοκληρωμένη διαχείριση της ηχορύπανσης στο λιμάνι του Πειραιά και η διαμόρφωση προτάσεων που θα συμβάλουν στη βελτίωση της ακουστικής ποιότητας και της καθημερινότητας των κατοίκων της περιοχής.

6.1 Οι Προκλήσεις στη Μέτρηση Θορύβου στα Λιμάνια

Ο θόρυβος στα λιμάνια αποτελεί ένα σύνθετο και πολυδιάστατο φαινόμενο καθώς προέρχεται από ποικίλες πηγές με διαφορετικά ακουστικά χαρακτηριστικά. Οι μεγάλες μηχανές των πλοίων, οι επιβάτες, τα φορτοεκφορτωτικά μηχανήματα και η αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων εντός του λιμένα αλλά και στις γύρω αρτηρίες δημιουργούν ένα περιβάλλον όπου οι ηχητικές πηγές είναι ασταθείς και μεταβαλλόμενες. Επιπλέον **το γεωγραφικό ανάγλυφο, οι καιρικές συνθήκες και οι υποδομές του κάθε λιμανιού επηρεάζουν σημαντικά τη διάδοση του ήχου**, καθιστώντας δύσκολη τη δημιουργία ενός σταθερού και αξιόπιστου προτύπου μέτρησης.

Μια από τις βασικότερες προκλήσεις είναι η καταγραφή του θορύβου σε πραγματικές συνθήκες καθώς οι συμβατικές μέθοδοι μέτρησης δεν επαρκούν για να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα των ηχητικών επιπέδων. Ο θόρυβος δεν είναι στατικός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τις λιμενικές δραστηριότητες, τις ώρες της ημέρας και την εποχικότητα της κίνησης. Επιπλέον, η παρουσία πολλαπλών πηγών που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους καθιστά δύσκολη τη διάκριση της συνεισφοράς κάθε παράγοντα στη συνολική ηχορύπανση. Ο νυχτερινός θόρυβος αποτελεί ξεχωριστό ζήτημα, καθώς επηρεάζει άμεσα την ποιότητα ζωής των κατοίκων διαταράσσοντας τον ύπνο και συνδέεται με σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία.

Για την αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση του θορύβου στα λιμάνια, απαιτείται η χρήση προηγμένων τεχνολογιών. Οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου που προβλέπονται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EC αποτελούν ένα από τα βασικότερα εργαλεία καθώς αποτυπώνουν τη χωρική κατανομή της ηχορύπανσης και επιτρέπουν τη συστηματική εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού. Η εγκατάσταση αισθητήρων σε στρατηγικά σημεία του λιμανιού μπορεί να παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων θορύβου και την εξαγωγή πιο ακριβών εκτιμήσεων. Η αξιοποίηση σύγχρονων συστημάτων ανάλυσης δεδομένων όπως η συσχέτιση ηχητικών καταγραφών με μετεωρολογικές παραμέτρους όπως η ταχύτητα του ανέμου και η υγρασία μπορεί να προσφέρει μια πληρέστερη εικόνα για τη διάδοση και την ένταση του θορύβου.

Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η επιτυχής διαχείριση της ηχορύπανσης στα λιμάνια απαιτεί έναν συνδυασμό τεχνολογικών και διοικητικών μέτρων. Μελέτες όπως αυτές των Paschalidou, Kassomenos και Chonianaki (Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city), καθώς και των Murphy και King (An assessment of residential exposure to environmental noise at a shipping port), αναδεικνύουν τη σημασία της λεπτομερούς χαρτογράφησης και της υιοθέτησης στρατηγικών μεθόδων μείωσης του θορύβου. Η εφαρμογή ηχοπετασμάτων, ο καλύτερος σχεδιασμός των λιμενικών διαδικασιών, η χρήση πιο αθόρυβων τεχνολογιών στα πλοία και η θέσπιση περιορισμών σε συγκεκριμένες δραστηριότητες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των επιπτώσεων του θορύβου.

Σε μια εποχή όπου η βιωσιμότητα και η περιβαλλοντική διαχείριση γίνονται ολοένα και πιο κεντρικά ζητήματα για τις λιμενικές αρχές, η ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων μέτρησης και η εφαρμογή στοχευμένων πολιτικών αποτελούν κλειδιά για τη δημιουργία λιμανιών που λειτουργούν αποτελεσματικά χωρίς να επιβαρύνουν την ποιότητα ζωής των γύρω περιοχών. Η σωστή μέτρηση και κατανόηση του θορύβου δεν είναι απλώς μια τεχνική διαδικασία αλλά μια ουσιαστική προϋπόθεση για τη διαμόρφωση λύσεων που είναι επιστημονικά τεκμηριωμένες και κοινωνικά αποδεκτές.

7. Μεθοδολογία Μέτρησης και Διαχείρισης του Θορύβου στο Λιμάνι του Πειραιά

Η αξιολόγηση και διαχείριση του θορύβου στο λιμάνι του Πειραιά βασίζεται σε ένα δομημένο σύστημα μέτρησης και ανάλυσης, σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/EC. Στόχος είναι η ακριβής καταγραφή της ηχητικής επιβάρυνσης και η ανάπτυξη στρατηγικών παρεμβάσεων που θα μειώσουν τις επιπτώσεις του θορύβου στην αστική περιοχή γύρω από το λιμάνι.

Η διαδικασία ξεκινά με την εκπόνηση στρατηγικών χαρτών θορύβου, οι οποίοι αποτυπώνουν τα επίπεδα ηχητικής ρύπανσης στις διάφορες ζώνες του λιμανιού. Αυτοί οι χάρτες βασίζονται σε δεδομένα από σταθερά και κινητά σημεία μέτρησης, προσδιορίζοντας τις περιοχές με τη μεγαλύτερη ηχητική επιβάρυνση. Η ανάλυσή τους βοηθά στον εντοπισμό των κύριων πηγών θορύβου, όπως η λειτουργία των πλοίων, οι φορτοεκφορτωτικές δραστηριότητες και η κίνηση βαρέων οχημάτων. Με βάση τα αποτελέσματα, αναπτύσσονται σχέδια δράσης που στοχεύουν στη μείωση του θορύβου μέσα από τεχνικά και διοικητικά μέτρα. Αυτές οι παρεμβάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την εγκατάσταση ηχοπετασμάτων, τη βελτιστοποίηση των ωραρίων λειτουργίας μηχανημάτων και τη βελτίωση των διαδικασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης ώστε να περιοριστούν οι ώρες αιχμής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον νυχτερινό θόρυβο, καθώς επηρεάζει την ποιότητα ζωής των κατοίκων και καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή μέτρων περιορισμού των δραστηριοτήτων που προκαλούν τη μεγαλύτερη ηχητική όχληση.

Για την ακριβή εκτίμηση των επιπέδων θορύβου χρησιμοποιούνται αισθητήρες και μικρόφωνα σε επιλεγμένες τοποθεσίες εντός και εκτός λιμανιού. Αυτά καταγράφουν συνεχώς τα επίπεδα ηχητικής πίεσης, επιτρέποντας την ανίχνευση διαφοροποιήσεων που προκύπτουν από τις καιρικές μεταβολές ή τη δραστηριότητα των πλοίων. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων με πληροφορίες για τον άνεμο, τη θερμοκρασία και την υγρασία επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση της διάδοσης του ήχου και των επιπτώσεών του στο περιβάλλον.

Μέσα από αυτά τα εργαλεία, υπολογίζεται η έκθεση του πληθυσμού στον θόρυβο, λαμβάνοντας υπόψη τις περιοχές κατοικίας και τους εργαζομένους εντός του λιμανιού. Η ανάλυση αυτή βοηθά στην εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία και καθοδηγεί τις παρεμβάσεις που απαιτούνται για τη μείωση της ηχορύπανσης.

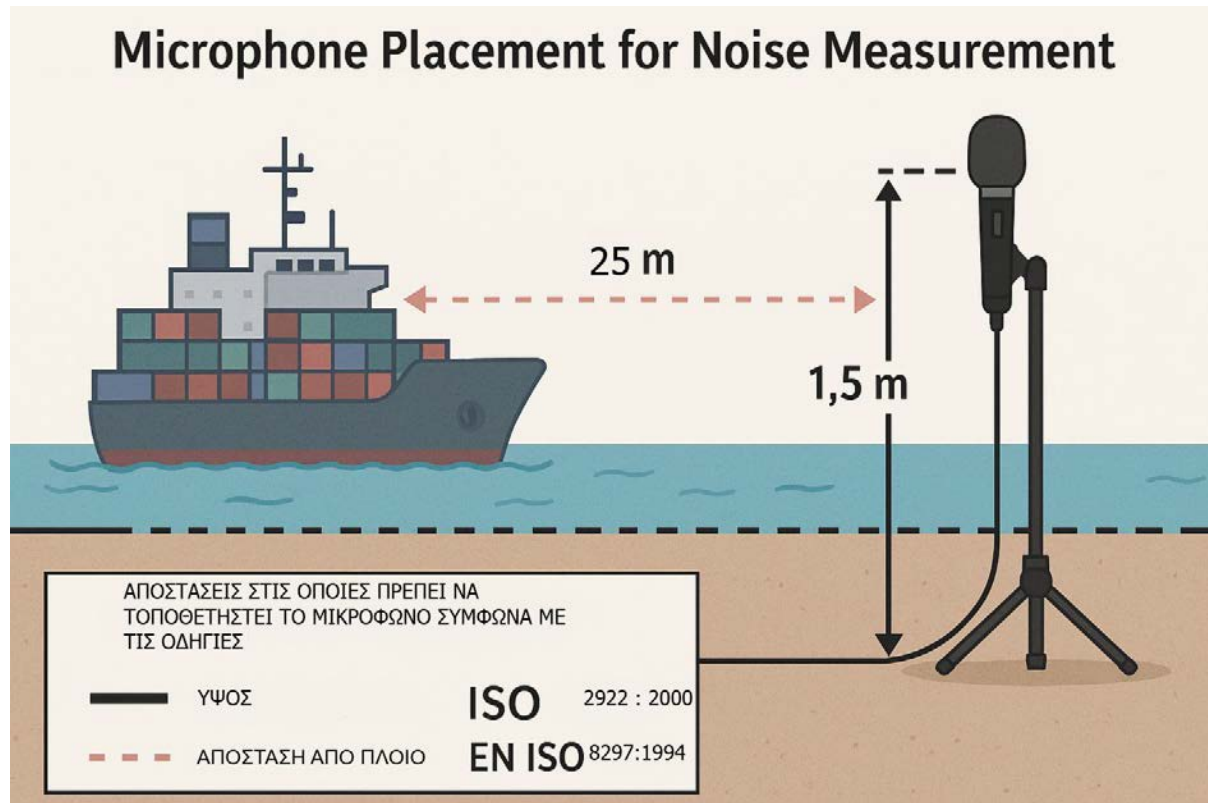
Η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας επιτρέπει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου στρατηγικού σχεδίου που ενσωματώνει την επιστημονική παρακολούθηση, τη χωροταξική χαρτογράφηση και την ανάπτυξη βιώσιμων μέτρων περιορισμού του θορύβου. Σε συνδυασμό με τις βέλτιστες πρακτικές που εφαρμόζονται σε άλλα ευρωπαϊκά λιμάνια, η στρατηγική αυτή μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις γύρω περιοχές, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη λειτουργικότητα και την ανάπτυξη του λιμενικού τομέα με πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

7.1 Επιλογή Σημείων Λήψης Μετρήσεων Θορύβου στο Λιμάνι

Η επιλογή των σημείων λήψης μετρήσεων είναι κρίσιμη για την ακριβή καταγραφή του θορύβου στα λιμάνια, δεδομένου ότι οι πηγές θορύβου είναι πολυάριθμες και πολυδιάστατες για αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό ώστε να αποτυπωθεί με ακρίβεια η ηχητική επιβάρυνση. Ο καθορισμός των σημείων μέτρησης δεν μπορεί να γίνει αυθαίρετα καθώς ο θόρυβος προέρχεται από διαφορετικές πηγές, έχει δυναμικό χαρακτήρα και επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, ο σχεδιασμός των μετρήσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο τις κύριες δραστηριότητες του λιμανιού όσο και την επίδραση που έχουν στην αστική περιοχή που το περιβάλλει.

Η απόσταση από τις κύριες πηγές θορύβου είναι καθοριστικός παράγοντας. Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε αποστάσεις που επιτρέπουν τη σαφή διάκριση των επιμέρους πηγών όπως οι μηχανές των πλοίων και τα βαρέα οχήματα που εξυπηρετούν το λιμάνι. Για αξιόπιστα δεδομένα οι μετρητές θορύβου πρέπει να τοποθετούνται σε κατάλληλη απόσταση από τις κύριες πηγές ηχορύπανσης. Συνήθως οι μετρήσεις κοντά στο λιμάνι γίνονται σε αποστάσεις μεταξύ **100 και 200 μέτρων** [Οι μετρήσεις θορύβου που πραγματοποιούνται σε αποστάσεις 100 έως 200 μέτρων δεν ακολουθούν τα πρότυπα εντοπισμένης πηγής (όπως το ISO 2922), αλλά στοχεύουν στην αποτύπωση της ηχητικής επιβάρυνσης σε κατοικημένες περιοχές και στην εκτίμηση του στρατηγικού θορύβου, σύμφωνα με τις αρχές της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ.] από τη δραστηριότητα των πλοίων και των φορτοεκφορτωτικών μηχανημάτων, **ώστε να καταγράφεται η ένταση του θορύβου χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά από άλλες εξωτερικές πηγές**, όπως η αστική κίνηση. Παράλληλα, για την εκτίμηση της ηχητικής επιβάρυνσης στους κατοίκους τα μικρόφωνα τοποθετούνται σε περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση, συνήθως **200 μέτρα ή περισσότερο** ώστε να αποτυπώνεται η πραγματική στάθμη θορύβου που φτάνει στις ζώνες κατοικιών.

Εξίσου σημαντικό είναι το υψόμετρο τοποθέτησης των μικροφώνων, καθώς μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των μετρήσεων. Σύμφωνα με τεχνικές οδηγίες για τη χαρτογράφηση θορύβου τα μικρόφωνα πρέπει να τοποθετούνται σε ύψος περίπου **1,2 έως 1,5 μέτρων από το έδαφος** προσομοιώνοντας το επίπεδο ακρόασης των ανθρώπων. Αυτή η τοποθέτηση μειώνει τις πιθανές αλλοιώσεις που προκαλούνται από την αντανάκλαση του ήχου σε επιφάνειες όπως το έδαφος, εμποδία ή κτιριακές υποδομές.



Εικόνα 10 Απεικόνιση για την σωστή τοποθέτηση μικροφώνου σύμφωνα με τις οδηγίες

Επιπλέον, η χωρική κατανομή των σημείων μέτρησης πρέπει να περιλαμβάνει τόσο σταθερές θέσεις μακροχρόνιας παρακολούθησης όσο και σημεία προσωρινής μέτρησης που επιτρέπουν την καταγραφή του δυναμικού χαρακτήρα του θορύβου και την σύγκριση των δειγμάτων που συλλέγουμε. Στα λιμάνια όπου η δραστηριότητα μεταβάλλεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την κίνηση των πλοίων, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ευέλικτη προσέγγιση που να προσαρμόζεται στις συνθήκες λειτουργίας.

Η κατάλληλη επιλογή σημείων μετρήσεων δεν αφορά μόνο τη συλλογή δεδομένων αλλά και τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης του θορύβου. Η ακρίβεια των μετρήσεων καθορίζει τη δυνατότητα εφαρμογής αποτελεσματικών παρεμβάσεων, διασφαλίζοντας τόσο τη λειτουργική βιωσιμότητα του λιμανιού όσο και την προστασία των κατοίκων από την ηχορύπανση.

7.2 Εργαλεία και Εξοπλισμός

Η ακριβής καταγραφή και ανάλυση του θορύβου στα λιμάνια απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό υψηλής ακρίβειας ικανό να λειτουργεί σε ένα δυναμικό και απαιτητικό περιβάλλον. Οι σύγχρονοι μετρητές θορύβου που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες εφαρμογές συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα ISO και τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/EC, επιτρέποντας την αξιόπιστη μέτρηση των ηχητικών επιπέδων και τη διαμόρφωση στρατηγικών διαχείρισης της ηχορύπανσης.

Ο εξοπλισμός μέτρησης περιλαμβάνει **ηχόμετρα ακριβείας** εξοπλισμένα με μικρόφωνα υψηλής ευαισθησίας σχεδιασμένα να ανιχνεύουν λεπτές διακυμάνσεις στα επίπεδα θορύβου. Για τη διασφάλιση αξιόπιστων δεδομένων τα μικρόφωνα προστατεύονται με ειδικές **αντιανεμικές θήκες** αποτρέποντας στρεβλώσεις λόγω καιρικών συνθηκών. Επιπλέον, οι μετρητές θορύβου συνδέονται με συστήματα **καταγραφής σε πραγματικό χρόνο**, επιτρέποντας τη διαρκή παρακολούθηση των ηχητικών επιπέδων και τη δημιουργία στρατηγικών χαρτών θορύβου οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τη διαμόρφωση διαχείρισης της ηχορύπανσης.

Ένα παράδειγμα προηγμένου συστήματος μέτρησης αποτελεί το **Nova Outdoor Noise Measurement Kit**, το οποίο μετατρέπει ένα φορητό ηχόμετρο σε μια ημι-μόνιμη μονάδα παρακολούθησης θορύβου. Σχεδιασμένο για συνεχή λειτουργία σε εξωτερικές συνθήκες επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ακόμα και σε δύσκολες καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 11 Nova Outdoor Noise Measurement Kit

7.3 Ανάλυση Δεδομένων

Η ανάλυση των ηχητικών δεδομένων αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την κατανόηση της ακουστικής επιβάρυνσης σε λιμενικές περιοχές και τον εντοπισμό των σημείων που απαιτούν παρεμβάσεις. Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **Predictor-LimA Type 7810B Version 10.1**, το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για την πρόβλεψη και τη μοντελοποίηση περιβαλλοντικού θορύβου, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της **Οδηγίας 2002/49/ΕΚ** και των προτύπων **ISO 8297:1994** για βιομηχανικό και **ISO 2922:2000** για λιμενικό θόρυβο αντίστοιχα. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει την εισαγωγή, ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων πεδίου, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων χαρτογραφήσεων ηχητικής όχλησης. Η επεξεργασία δεν περιορίζεται μόνο σε αριθμητικές τιμές, αλλά επεκτείνεται σε χωρική ανάλυση, ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές υψηλής ηχητικής επιβάρυνσης και να σχεδιαστούν στρατηγικές αντιμετώπισης. Οι στρατηγικοί χάρτες θορύβου που παράγονται βασίζονται σε **γεωχωρικά μοντέλα**, λαμβάνοντας υπόψη τη μορφολογία του εδάφους, τα εμπόδια διάδοσης και τις τοπικές πηγές θορύβου².

Οι παραγόμενοι χάρτες υποστηρίζουν τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, ειδικά σε περιβάλλοντα με μεγάλη συγκέντρωση δραστηριοτήτων, όπως τα λιμάνια, όπου οι επιπτώσεις επεκτείνονται συχνά πέρα από τα όρια της ζώνης λιμένα. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας γεωχωρικής ανάλυσης σε συνδυασμό με πρότυπα μέτρησης διεθνούς κύρους αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο κάθε σύγχρονου στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης περιβαλλοντικού θορύβου.⁷

⁷ • Brüel & Kjær. *Predictor-LimA Type 7810 Software Manual, Version 10.1*. Nærum, Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2019.

• European Commission. *Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise*, 2002.

• ISO 8297:1994. *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Engineering methods for free-field conditions over a reflecting plane*.

• ISO 2922:2000. *Acoustics — Measurement of airborne sound emitted by vessels on inland waterways and harbours*.

Πηγή : <https://pulsarinstruments.com/products/pulsar-nova-outdoor-noise-measurement-kit-wk3/#:~:text=The%20Pulsar%20Nova%20Outdoor%20Noise,limits%20have%20not%20been%20broken.>

7.4 Επεξεργασία Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων αποτελεί το θεμέλιο για την αξιόπιστη ανάλυση των ηχητικών μετρήσεων, διασφαλίζοντας ότι τα τελικά αποτελέσματα αντανakλούν την πραγματική ηχητική επιβάρυνση του λιμανιού. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα σημεία μέτρησης χρειάζονται προσεκτική διαχείριση ώστε να είναι απαλλαγμένα από παρεμβολές και να αποτυπώνουν με ακρίβεια τον θόρυβο που παράγεται από τις λιμενικές δραστηριότητες.

Η επεξεργασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. **Καθαρισμός Δεδομένων:** Αρχικά, τα δεδομένα καθαρίζονται από πιθανούς θορύβους υποβάθρου και άλλες εξωτερικές παρεμβολές που δεν σχετίζονται με τις κύριες πηγές θορύβου του λιμανιού. Αυτό διασφαλίζει ότι οι μετρήσεις επικεντρώνονται στον θόρυβο που προέρχεται από τις λιμενικές δραστηριότητες.
2. **Φιλτράρισμα και Ομαδοποίηση:** Τα δεδομένα φιλτράρονται και οργανώνονται ανάλογα με τον χρόνο και τον χώρο συλλογής, επιτρέποντας την κατηγοριοποίηση των μετρήσεων ανά χρονική περίοδο (π.χ., ημέρα, νύχτα) και ανά τοποθεσία.
3. **Εξομάλυνση Δεδομένων:** Σε περιπτώσεις απότομων διακυμάνσεων εφαρμόζονται τεχνικές εξομάλυνσης για τη σταθεροποίηση των δεδομένων ώστε να εξαλειφθούν ακραίες τιμές που δεν αντιπροσωπεύουν τις κανονικές συνθήκες.
4. **Προετοιμασία για Ανάλυση:** Τα καθαρισμένα και ομαδοποιημένα δεδομένα είναι πλέον έτοιμα για ανάλυση. Σε αυτό το στάδιο εξάγονται οι βασικοί δείκτες θορύβου (Leq, Lmax, Lden) οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη φάση της ανάλυσης που είναι η δημιουργία σχεδίου διαχείρισης.

Η προσεκτική επεξεργασία των δεδομένων διασφαλίζει ότι οι μετρήσεις μπορούν να αξιοποιηθούν με ακρίβεια στη δημιουργία στρατηγικών χαρτών θορύβου και στον σχεδιασμό αποτελεσματικών μέτρων μείωσης της ηχορύπανσης στις περιοχές γύρω από το λιμάνι.

8. Δημιουργία Στρατηγικού Σχεδίου Διαχείρισης Θορύβου

Η δημιουργία ενός στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης θορύβου είναι καθοριστική για τον έλεγχο και τη μείωση της ηχορύπανσης στις λιμενικές περιοχές. Το σχέδιο αυτό στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων, στη διατήρηση της λειτουργικής αποδοτικότητας του λιμανιού και στη συμμόρφωση με τα περιβαλλοντικά πρότυπα.

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την **αξιολόγηση των πηγών θορύβου**, όπου γίνεται λεπτομερής καταγραφή των δραστηριοτήτων που συνεισφέρουν στη συνολική ηχητική επιβάρυνση. Οι κύριες πηγές περιλαμβάνουν τον θόρυβο από τα πλοία, τα φορτοεκφορτωτικά μηχανήματα, καθώς και την αυξημένη κίνηση οχημάτων εντός και εκτός λιμανιού. Τα δεδομένα συλλέγονται από στρατηγικά επιλεγμένα σημεία και αναλύονται ώστε να εντοπιστούν τα σημεία υψηλής έκθεσης. Στη συνέχεια, δημιουργούνται **στρατηγικοί χάρτες θορύβου**, οι οποίοι αποτυπώνουν τα επίπεδα ηχορύπανσης στην περιοχή του λιμανιού. Αυτοί οι χάρτες βασίζονται σε ηχητικούς δείκτες όπως ο **Lden** και ο **Ln**, επιτρέποντας την εκτίμηση της ηχητικής επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η οπτική απεικόνιση του θορύβου μέσω αυτών των χαρτών βοηθά στη στοχευμένη παρέμβαση σε περιοχές όπου τα όρια ηχορύπανσης ξεπερνούν τις επιτρεπτές τιμές.

Τέλος γίνεται **καθορισμός προτεραιοτήτων για δράσεις μείωσης θορύβου**. Σε αυτό το στάδιο, οι περιοχές που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ηχητική επιβάρυνση αξιολογούνται βάσει της εγγύτητάς τους σε κατοικημένες ζώνες και της έκθεσης του πληθυσμού στον θόρυβο. Οι παρεμβάσεις επικεντρώνονται σε σημεία όπου η ηχορύπανση επηρεάζει άμεσα την καθημερινότητα των κατοίκων και των εργαζομένων του λιμανιού.

Το στρατηγικό σχέδιο διαχείρισης θορύβου περιλαμβάνει επίσης **μηχανισμό συνεχούς παρακολούθησης και αξιολόγησης**. Η αποτελεσματικότητα των εφαρμοζόμενων μέτρων ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να διαπιστωθεί αν επιτυγχάνονται οι στόχοι μείωσης της ηχορύπανσης. Μέσω της διαρκούς ανάλυσης των δεδομένων είναι δυνατή η προσαρμογή του σχεδίου και η εισαγωγή νέων παρεμβάσεων εφόσον κριθεί απαραίτητο..

9. Δημιουργία Χάρτη Θορύβου για την Περιοχή Μελέτης

Η ανάπτυξη ενός στρατηγικού σχεδίου διαχείρισης θορύβου στο λιμάνι βασίζεται στην ανάλυση των επιπέδων ηχορύπανσης και στην αναγνώριση των κύριων πηγών θορύβου που επηρεάζουν τη γύρω περιοχή. Ο χάρτης θορύβου αποτελεί ένα ουσιαστικό εργαλείο για την κατανόηση της ακουστικής επιβάρυνσης, τη χωρική κατανομή της ηχορύπανσης και τη λήψη στοχευμένων μέτρων μείωσης των επιπτώσεων της.

Στην παρούσα εργασία αν και δεν υπάρχουν οι απαραίτητοι πόροι και ο κατάλληλος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή **πρωτογενών μετρήσεων θορύβου** και τη δημιουργία νέων χαρτών μέσω εξειδικευμένων λογισμικών όπως το **CadnaA** ή το **SoundPLAN**, η ανάλυση βασίζεται στη χρήση υπαρχόντων χαρτών θορύβου από προηγούμενες επιστημονικές μελέτες. Οι χάρτες αυτοί, όπως παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία (**Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city**), παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατανομής του θορύβου στην περιοχή του Πειραιά και αποτελούν τη βάση για την αξιολόγηση των επιπέδων ηχορύπανσης.

Η αξιοποίηση υπαρχόντων χαρτών επιτρέπει:

Τον εντοπισμό ζωνών υψηλής ηχητικής επιβάρυνσης, όπου η ηχορύπανση ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια, ιδίως σε περιοχές κοντά σε πύλες επιβατικής κίνησης και εμπορευματικής δραστηριότητας.

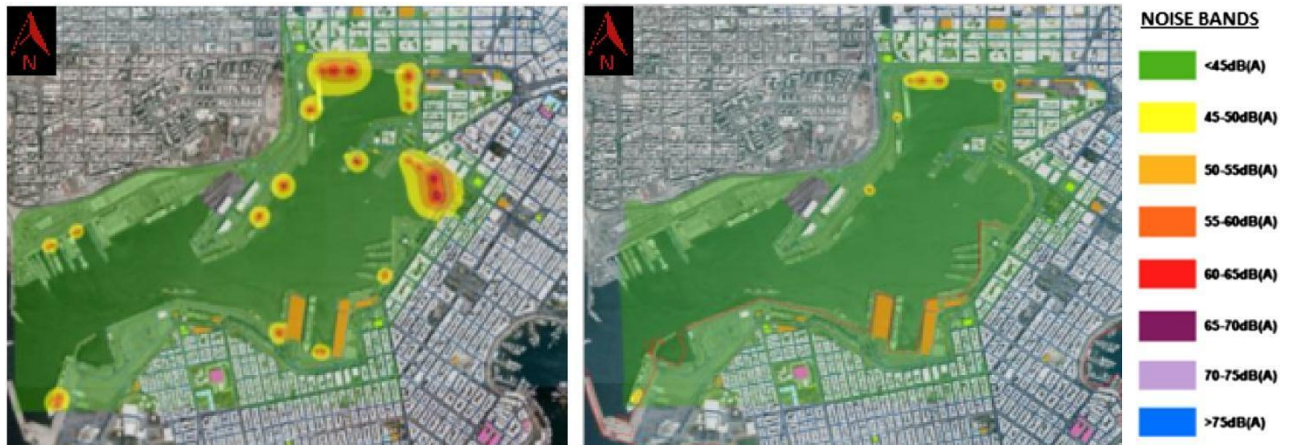
Τη χωρική αξιολόγηση των επιπτώσεων του θορύβου, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η κυκλοφορία των πλοίων, η χρήση λιμενικών εγκαταστάσεων και η κίνηση των βαρέων οχημάτων.

Τη σύγκριση των επιπέδων θορύβου μεταξύ διαφορετικών ζωνών του λιμανιού, ώστε να προσδιοριστούν οι περιοχές που απαιτούν άμεσες παρεμβάσεις μείωσης της ηχορύπανσης.

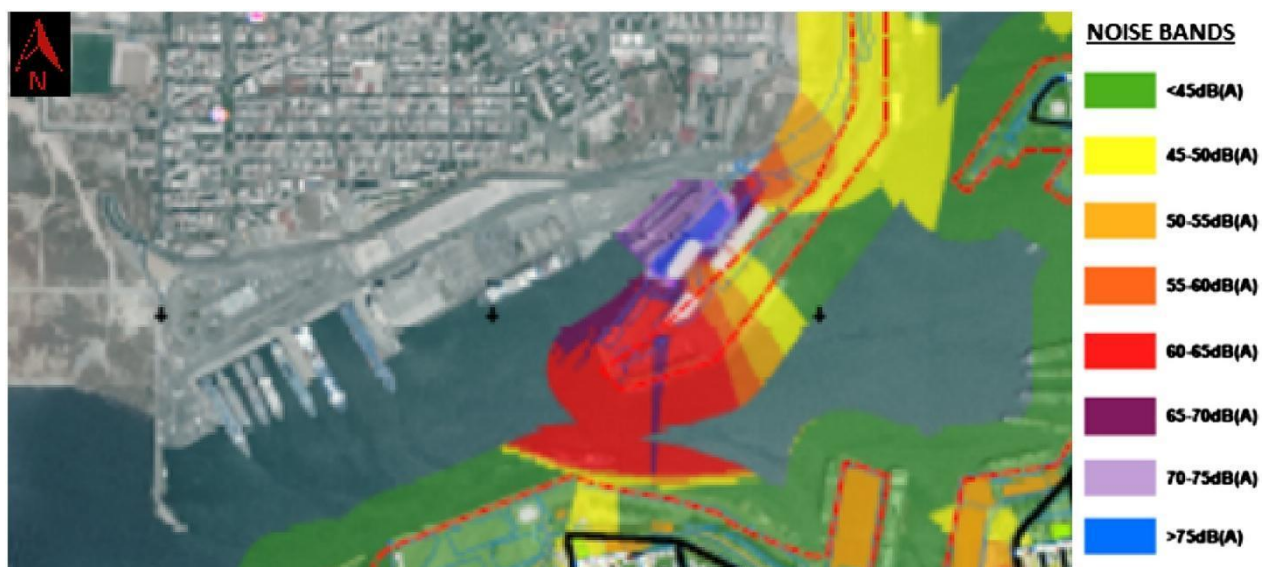
Η ανάλυση των υφιστάμενων χαρτών προσφέρει μια χρήσιμη βάση για την εκτίμηση των επιπέδων ηχητικής επιβάρυνσης.

9.1 Ανάλυση των Υπαρχόντων Χαρτών Θορύβου

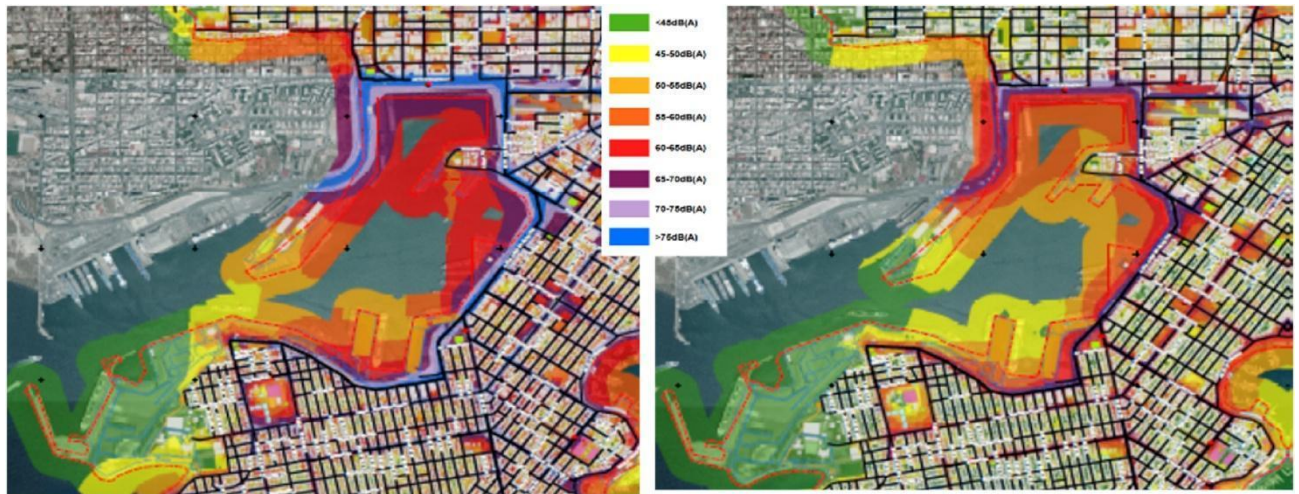
Οι χάρτες απεικονίζουν τις ζώνες ηχορύπανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας διαχωρίζοντας τις πηγές σε βιομηχανικό θόρυβο από τα πλοία, θόρυβο από την οδική κυκλοφορία και θόρυβο από άλλες δραστηριότητες του λιμανιού. Οι χάρτες επισημαίνουν τις ζώνες με υψηλή έκθεση στον θόρυβο με έντονα χρώματα να αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου τα επίπεδα ηχητικής έντασης ξεπερνούν τα 65-70 dB(A).



Εικόνα 12 Στρατηγικοί Χάρτες Θορύβου του βιομηχανικού θορύβου (λειτουργία πλοίων) στο λιμάνι του Πειραιά, κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά). (Paschalidou, Kassomenos και Chonianaki (2019)



Εικόνα 13 Χάρτης θορύβου (L_{den}) του βιομηχανικού θορύβου για τις δραστηριότητες του λιμένα. (Paschalidou, Kassomenos και Chonianaki (2019)



Εικόνα 14 χάρτης θορύβου από την οδική κυκλοφορία (εντός και εκτός λιμανιού) κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά) (Paschalidou, Kassomenos και Chonianaki (2019)

Η ανάλυση των χαρτών δείχνει ότι:

Ο **βιομηχανικός θόρυβος** είναι ιδιαίτερα έντονος κοντά στις προβλήτες, με τη μεγαλύτερη ηχητική επιβάρυνση να καταγράφεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ο συνεχής ήχος από τις γεννήτριες, τις βοηθητικές μηχανές και άλλα συστήματα υποστήριξης των πλοίων παραμένει υψηλός, εκθέτοντας τις κοντινές περιοχές σε επίπεδα θορύβου που ξεπερνούν τα **65-70 dB(A)**. Οι ναυπηγικές και λιμενικές δραστηριότητες όπως η συντήρηση πλοίων, η μεταφόρτωση φορτίων, εντείνουν την ηχητική επιβάρυνση κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι θορυβώδεις αυτές δραστηριότητες επηρεάζουν τόσο τις **εντός του λιμανιού ζώνες** όσο και τις γειτονικές κατοικημένες περιοχές.

Ο **θόρυβος** από την **οδική κυκλοφορία** εμφανίζεται σε υψηλά επίπεδα κατά μήκος των κύριων οδικών αξόνων που συνδέουν το λιμάνι με το αστικό δίκτυο λόγω της συνεχούς ροής φορτηγών, λεωφορείων και επιβατικών οχημάτων. Οι δρόμοι αυτοί διασχίζουν πυκνοκατοικημένες περιοχές αυξάνοντας την ηχητική επιβάρυνση για τους κατοίκους που ζουν γύρω από τις εισόδους και τις εξόδους του λιμανιού. Σε αρκετές τοποθεσίες, ειδικά κοντά σε σημεία με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση οι μετρήσεις δείχνουν επίπεδα θορύβου που φτάνουν ή ξεπερνούν τα **75 dB(A)** καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

Συνολική Ηχητική Επιβάρυνση: Τέλος, οι χάρτες που αποτυπώνουν την ηχητική επιβάρυνση κατά τη διάρκεια του 24ώρου καταδεικνύουν ότι οι περιοχές γύρω από το λιμάνι εκτίθενται σε **συνεχή θορυβική όχληση**, με συγκεκριμένες ζώνες όπου τα επίπεδα θορύβου **ξεπερνούν τα 70 dB(A)** τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα. Η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές στάθμες θορύβου επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ζωής των κατοίκων, προκαλώντας **διαταραχές ύπνου, αυξημένο στρες και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία**. Η κατάσταση αυτή καθιστά επιτακτική την ανάγκη εφαρμογής **στοχευμένων μέτρων μείωσης της ηχορύπανσης**, ιδιαίτερα σε περιοχές με **ευαίσθητες χρήσεις γης**, όπως σχολεία, κατοικίες και ιστορικά ή πολιτιστικά σημεία ενδιαφέροντος. Ο περιορισμός των θορυβωδών δραστηριοτήτων κατά τις νυχτερινές ώρες, η αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών και η εφαρμογή τεχνολογιών χαμηλού θορύβου μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της ακουστικής ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος και στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στους κατοίκους και τους επισκέπτες της περιοχής.

9.1.1 Σύγκριση Ηχητικής Επιβάρυνσης σε Διαφορετικές Περιοχές του Λιμανιού

Η ανάλυση των στρατηγικών χαρτών θορύβου επιτρέπει τη σύγκριση της ηχητικής επιβάρυνσης μεταξύ διαφορετικών περιοχών του λιμανιού και των γειτονικών ζωνών, αναδεικνύοντας τις διαφοροποιήσεις στην ένταση και τις πηγές του θορύβου. Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στις προβλήτες, όπου αγκυροβολούν μεγάλα επιβατικά και εμπορικά πλοία, παρουσιάζουν **αυξημένα επίπεδα θορύβου** καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

Αντίθετα, σε ζώνες πιο απομακρυσμένες από τις κύριες λιμενικές δραστηριότητες, παρατηρείται σημαντική μείωση των επιπέδων θορύβου, ιδιαίτερα κατά τις βραδινές ώρες. Ωστόσο η έκθεση σε ηχορύπανση παραμένει υψηλή καθώς η κυκλοφοριακή δραστηριότητα στις κύριες οδικές αρτηρίες και άλλες αστικές λειτουργίες εξακολουθούν να συμβάλλουν στη συνολική ηχητική επιβάρυνση. Οι στρατηγικοί χάρτες αποτυπώνουν αυτές τις διαφοροποιήσεις και επιτρέπουν την **αναγνώριση των περιοχών που πλήττονται περισσότερο** προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για τον σχεδιασμό στοχευμένων μέτρων μείωσης της ηχορύπανσης.

9.1.2 Ανάλυση Ανάλογα με τη Χρονική Περίοδο

Η ηχορύπανση από το λιμάνι έχει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην καθημερινότητα των κατοίκων των γειτονικών περιοχών, καθώς ο συνεχής θόρυβος επιβαρύνει την ποιότητα ζωής και τη δημόσια υγεία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2018), η χρόνια έκθεση σε θόρυβο άνω των 55 dB(A) μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο υπέρτασης, καρδιαγγειακών παθήσεων και εγκεφαλικών επεισοδίων, ενώ επίπεδα πάνω από 65-70 dB(A) έχουν συνδεθεί με αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης άγχους και διαταραχών ύπνου (Basner et al., 2014).

Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι περιοχές που γειτνιάζουν με το λιμάνι και τους κύριους οδικούς άξονες παραμένουν εκτεθειμένες σε επίπεδα θορύβου άνω των 65 dB(A) για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται σε ώρες αιχμής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη γνωστική απόδοση, ειδικά σε παιδιά που φοιτούν σε σχολεία κοντά σε περιοχές με έντονη ηχορύπανση (Clark & Stansfeld, 2007), ενώ η μακροχρόνια έκθεση στον νυχτερινό θόρυβο έχει συνδεθεί με αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης και διαταραχές στον κύκλο ύπνου (Münzel et al., 2020).

Η προστασία ευαίσθητων περιοχών, όπως σχολεία, νοσοκομεία και χώροι αναψυχής, είναι ζωτικής σημασίας καθώς η αυξημένη ηχορύπανση επηρεάζει αρνητικά τόσο την εκπαιδευτική διαδικασία όσο και την υγεία των πιο ευάλωτων κοινωνικών ομάδων. Διεθνείς πρακτικές, όπως η εφαρμογή ζωνών χαμηλού θορύβου (Quiet Areas) και η χρήση ηχοπετασμάτων έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στη μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης σε αντίστοιχες περιοχές σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις (Murphy & King, 2014).

9.1.3 Ανάλυση των Δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων για την περιοχή του λιμανιού του Πειραιά αποκαλύπτει την ανάγκη συμμόρφωσης με τα όρια και τους κανονισμούς που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/ΕΚ, η οποία αποτελεί το βασικό πλαίσιο διαχείρισης της ηχορύπανσης στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με την οδηγία, τα επίπεδα θορύβου άνω των **65 dB** θεωρούνται επιβλαβή για τη δημόσια υγεία, και ιδιαίτερα για τις ευάλωτες ομάδες πληθυσμού που ζουν σε περιοχές γειτονικές του λιμανιού. Οι στρατηγικοί χάρτες του Πειραιά καταδεικνύουν ότι η ηχορύπανση στο λιμάνι και στις κύριες οδικές αρτηρίες που συνδέουν το λιμάνι με την πόλη υπερβαίνει συχνά το όριο αυτό, τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας. Ιδιαίτερα τη νύχτα, οι περιοχές γύρω από τις προβλήτες καταγράφουν υψηλά επίπεδα θορύβου, καθώς οι γεννήτριες και άλλες μηχανές των πλοίων παραμένουν σε λειτουργία.

Παράλληλα, η οδηγία ενθαρρύνει τη λήψη στρατηγικών μέτρων για την προστασία των περιοχών με ευαίσθητους πληθυσμούς, όπως τα σχολεία, τα νοσοκομεία και οι χώροι αναψυχής, τα οποία επηρεάζονται ιδιαίτερα από τον θόρυβο. Στην περίπτωση του Πειραιά, οι χάρτες δείχνουν ότι πολλές από αυτές τις περιοχές βρίσκονται κοντά στους κύριους άξονες κυκλοφορίας, όπου καταγράφονται θόρυβοι που υπερβαίνουν τα **70 dB** τις ώρες αιχμής. Η Οδηγία 2002/49/ΕΚ συνιστά τη λήψη ειδικών μέτρων σε αυτές τις ζώνες για τη μείωση της έκθεσης του πληθυσμού, ιδιαίτερα τη νύχτα, όταν η ευαισθησία στον θόρυβο είναι μεγαλύτερη και οι επιπτώσεις στην υγεία πιο έντονες. Οι στρατηγικοί χάρτες αποκαλύπτουν επίσης ότι η οδική κυκλοφορία κοντά στο λιμάνι δημιουργεί υψηλά επίπεδα θορύβου που ξεπερνούν τα όρια της οδηγίας, ιδιαίτερα στους δρόμους που εξυπηρετούν τη μετακίνηση φορτηγών και άλλων βαρέων οχημάτων. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία, μέσω του πλαισίου **Lden** (δείκτης 24ωρου θορύβου) και **Lnight** (δείκτης νυχτερινού θορύβου), επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση αυτών των δεδομένων, ώστε να διαπιστωθεί πόσο συχνά και σε ποιο βαθμό τα επίπεδα θορύβου υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια. Η σύγκριση αυτών των δεικτών με τα δεδομένα από τους χάρτες δείχνει ότι περιοχές με **Lden άνω των 65 dB** και **Lnight άνω των 55 dB** βρίσκονται σε κρίσιμο επίπεδο ηχορύπανσης, κάτι που απαιτεί την εφαρμογή στοχευμένων παρεμβάσεων για τη μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης, όπως τη χρήση ηχοπετασμάτων, τη βελτίωση του οδικού δικτύου για αποφυγή υπερβολικής κυκλοφορίας κοντά σε κατοικημένες περιοχές και την εγκατάσταση εξοπλισμού χαμηλού θορύβου στις λιμενικές εγκαταστάσεις.

10. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Η μελέτη της ηχορύπανσης στο λιμάνι του Πειραιά αναδεικνύει μια πολυδιάστατη ηχητική επιβάρυνση που επηρεάζει τόσο την περιοχή του λιμανιού όσο και τις γειτονικές κατοικημένες ζώνες. Τα στοιχεία από τους χάρτες προηγούμενων μελετών δείχνουν ότι πολλές γειτονιές γύρω από το λιμάνι αντιμετωπίζουν υψηλά επίπεδα θορύβου λόγω της συνεχούς λειτουργίας των πλοίων, των ναυπηγικών δραστηριοτήτων και της κυκλοφορίας των οχημάτων. Παράλληλα, η γενικότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση στην πόλη, ειδικά κατά τις ώρες αιχμής, συμβάλλει στη συνολική ηχητική επιβάρυνση, καθιστώντας την οδική κίνηση έναν από τους βασικούς παράγοντες ηχορύπανσης.

Τα επίπεδα θορύβου ξεπερνούν συχνά τα επιτρεπτά όρια που ορίζει η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EK, δημιουργώντας σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής και την υγεία των κατοίκων. Η αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί στοχευμένες παρεμβάσεις, τόσο σε επίπεδο διαχείρισης των πηγών θορύβου όσο και με την εφαρμογή μέτρων ηχοπροστασίας στις ευάλωτες περιοχές.

Κύρια Συμπεράσματα:

Υψηλή Έκθεση στον Θόρυβο: Οι περιοχές γύρω από τις προβλήτες και τις κύριες οδικές αρτηρίες που εξυπηρετούν το λιμάνι καταγράφουν συνεχή ηχητική επιβάρυνση, ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες. Οι θόρυβοι από τη λειτουργία των πλοίων, τις φορτοεκφορτωτικές δραστηριότητες και την έντονη οδική κυκλοφορία αυξάνουν την έκθεση των κατοίκων σε ανθυγιεινά επίπεδα θορύβου, ξεπερνώντας συχνά τα 65-70 dB(A).

Αρνητικές Επιπτώσεις στην Υγεία και στην Ποιότητα Ζωής: Οι υψηλές στάθμες θορύβου έχουν σοβαρές συνέπειες στη δημόσια υγεία. Οι κάτοικοι που ζουν κοντά στο λιμάνι και κατά μήκος των κύριων οδικών αξόνων εκτίθενται σε αυξημένο κίνδυνο για προβλήματα όπως άγχος, διαταραχές ύπνου, αυξημένη αρτηριακή πίεση και πιθανότητα καρδιαγγειακών παθήσεων (WHO, 2018; Basner et al., 2014). Ιδιαίτερα ευάλωτες είναι οι ομάδες υψηλού κινδύνου, όπως τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και όσοι πάσχουν από χρόνιες παθήσεις.

Ανάγκη για Παρεμβάσεις Συμμόρφωσης με Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς: Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/EK καθορίζει αυστηρά όρια για την ηχορύπανση και επιβάλλει τη δημιουργία στρατηγικών χαρτών θορύβου και σχεδίων δράσης. Οι υπάρχοντες χάρτες θορύβου για την περιοχή του Πειραιά δείχνουν ότι τα επίπεδα θορύβου σε πολλές ζώνες υπερβαίνουν τα θεσπισμένα όρια, γεγονός που καθιστά επιτακτική την εφαρμογή στοχευμένων παρεμβάσεων. Η συμμόρφωση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα μπορεί να μειώσει την έκθεση του πληθυσμού σε επιβλαβή επίπεδα θορύβου και να συμβάλει στην προστασία της δημόσιας υγείας στις γειτονικές κατοικημένες περιοχές.

Προτάσεις για Μείωση της Ηχορύπανσης

Για την αντιμετώπιση του ζητήματος της ηχορύπανσης προτείνεται η εφαρμογή των εξής μέτρων:

1. Στρατηγικά Σχέδια Δράσης για τη Μείωση της Ηχορύπανσης

Τα Σχέδια Δράσης κατά του περιβαλλοντικού θορύβου, όπως προβλέπονται από την Οδηγία 2002/49/ΕΚ, αποτελούν ένα βασικό εργαλείο διαχείρισης του θορύβου, ιδιαίτερα σε ευαίσθητες περιοχές όπως τα λιμάνια. Στη μελέτη των Paschalidou, Kassomenos και Chonianiaki (2019), παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο Σχέδιο Δράσης για το λιμάνι του Πειραιά, βασισμένο στην ανάλυση στρατηγικών χαρτών θορύβου. Το σχέδιο επικεντρώνεται στη μείωση της έκθεσης του πληθυσμού σε υψηλά επίπεδα θορύβου, προτείνοντας στοχευμένα μέτρα ανάλογα με τις ζώνες επιβάρυνσης.⁸

a. Συγκεκριμένα, προτείνεται:

– **Η δημιουργία προστατευτικών ζωνών**, οι οποίες περιλαμβάνουν ρυθμιστικά όρια χρήσεων γης και ενίσχυση του αστικού πρασίνου μεταξύ λιμενικών και κατοικημένων περιοχών.

– **Η απαγόρευση ή αυστηρός περιορισμός της ανάπτυξης ευαίσθητων χρήσεων γης** (όπως κατοικίες, σχολεία ή νοσοκομεία) σε περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου υπερβαίνουν τα 65 dB(A).

– **Η ενίσχυση του ελέγχου των νυχτερινών δραστηριοτήτων**, όπως ο περιορισμός της κυκλοφορίας φορτηγών και η ρύθμιση των ωρών λειτουργίας των πλοίων.

– **Η εγκατάσταση συστημάτων συνεχούς παρακολούθησης του θορύβου** σε σημεία αυξημένης όχλησης, με στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων και τη διαρκή ενημέρωση του κοινού.

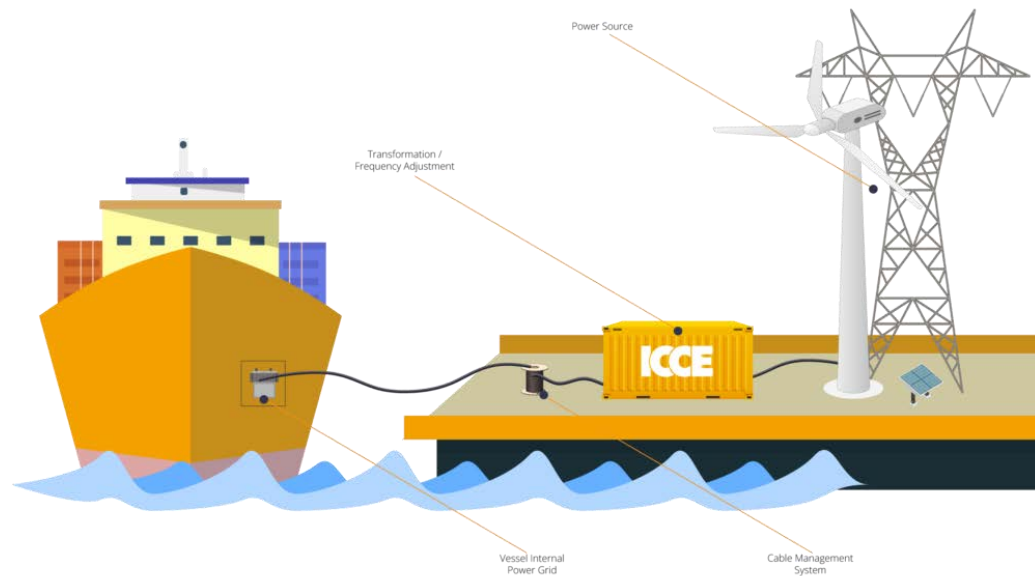
b. Η εφαρμογή των ανωτέρω παρεμβάσεων εκτιμάται ότι θα οδηγήσει σε μείωση της έκθεσης του πληθυσμού σε επίπεδα θορύβου άνω των 65 dB κατά περίπου 70%, συμβάλλοντας σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Το Σχέδιο Δράσης αποτελεί συνεπώς μια δομημένη και τεκμηριωμένη στρατηγική που μπορεί να αποτελέσει πρότυπο και για άλλα ελληνικά λιμάνια.

⁸ Πηγή: Paschalidou, A.K., Kassomenos, P., & Chonianiaki, F. (2019). Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city. *Science of the Total Environment*, 654, 144–153.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971834395X>

2. Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά (OPS - Onshore Power Supply)

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά στα αγκυροβολημένα πλοία αποτελεί μια από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη μείωση της ηχορύπανσης στο λιμάνι. Με την εφαρμογή του συστήματος OPS, τα πλοία μπορούν να απενεργοποιούν τις βοηθητικές τους μηχανές και να τροφοδοτούνται από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο, μειώνοντας σημαντικά τόσο τον θόρυβο όσο και τις εκπομπές ρύπων. Η τεχνολογία αυτή έχει ήδη υιοθετηθεί σε μεγάλα ευρωπαϊκά λιμάνια, όπως στο Ρότερνταμ και τη Βαρκελώνη, επιφέροντας θετικά περιβαλλοντικά και ακουστικά αποτελέσματα.



9

Εικόνα 15 Σχεδιαστικό παράδειγμα παροχής ενέργειας σε αγκυροβολημένο πλοίο

⁹ Πηγή : <https://maritimeeducation.com/onshore-power-supply-ops-shore-side-electricity-sse-solution-for-the-ships-at-ports/>

3. Περιορισμός νυχτερινών δραστηριοτήτων

Η μείωση των θορυβωδών δραστηριοτήτων κατά τις ώρες κοινής ησυχίας είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Ο περιορισμός της λειτουργίας βαρέων μηχανημάτων, οι φορτοεκφορτώσεις και η εκκίνηση των πλοίων τις νυχτερινές ώρες μπορούν να ελεγχθούν μέσω νέων κανονισμών του λιμένα. Η εφαρμογή τέτοιων μέτρων θα διασφαλίσει έναν πιο ήσυχο ακουστικό χαρακτήρα του λιμανιού κατά τις βραδινές ώρες, μειώνοντας την όχληση στις γύρω κατοικημένες περιοχές.

4. Αναδιοργάνωση των ζωνών αγκυροβόλησης και στάθμευσης

Η στρατηγική τοποθέτηση των πλοίων στις προβλήτες μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης στις κατοικημένες περιοχές. Πλοία με υψηλότερα επίπεδα θορύβου θα πρέπει να αγκυροβολούν σε απομακρυσμένες προβλήτες, ενώ αυτά με χαμηλότερη ηχορύπανση να τοποθετούνται πιο κοντά στις αστικές περιοχές. Παράλληλα, η στάθμευση των φορτηγών και των βαρέων οχημάτων σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους μακριά από κατοικημένες ζώνες θα μειώσει την ηχητική όχληση που προκαλείται από τη συνεχή κυκλοφορία.

5. Συνεχής παρακολούθηση της ηχορύπανσης

Η εγκατάσταση αισθητήρων θορύβου σε στρατηγικά σημεία του λιμανιού και της γύρω περιοχής αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των επιπέδων ηχορύπανσης. Τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να αξιοποιηθούν όχι μόνο για τη λήψη στοχευμένων μέτρων μείωσης της ακουστικής όχλησης, αλλά και για την ενημέρωση των κατοίκων σχετικά με τη χρονική και χωρική κατανομή του θορύβου. Παρόμοια συστήματα εφαρμόζονται ήδη σε αεροδρόμια διεθνώς, όπου η συνεχής καταγραφή θορύβου χρησιμοποιείται για την επιβολή περιορισμών σε ώρες αιχμής, τον εντοπισμό υπερβάσεων και την επιβολή διοικητικών κυρώσεων. Αντίστοιχα, στο λιμενικό περιβάλλον, η χρήση αισθητήρων μπορεί να οδηγήσει στην ενίσχυση των πολιτικών συμμόρφωσης των πλοίων με τις προβλεπόμενες ηχοπροστατευτικές πρακτικές (π.χ. χρήση OPS, περιορισμός βοηθητικών μηχανών). Έτσι, προάγεται μια πιο διαφανής, τεκμηριωμένη και αποτελεσματική διαχείριση της ηχορύπανσης, συμβάλλοντας στην αποτροπή μελλοντικών παραβάσεων και στην ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής των λιμενικών λειτουργιών. Επιπλέον, η δυνατότητα επιτήρησης σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τη λογοδοσία των φορέων εκμετάλλευσης και επιτρέπει την επιβολή διοικητικών ή οικονομικών κυρώσεων σε περιπτώσεις υπέρβασης των αποδεκτών επιπέδων θορύβου, σύμφωνα με το ισχύον ρυθμιστικό πλαίσιο.

6. Ρυθμιστικές παρεμβάσεις για τη λιμενική κυκλοφορία

Ο περιορισμός της κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων σε ώρες αιχμής και η δημιουργία εναλλακτικών διαδρομών θα μειώσει τον θόρυβο από τις μετακινήσεις μέσα και γύρω από το λιμάνι. Η καθιέρωση χαμηλότερων ορίων ταχύτητας για τα φορτηγά που κινούνται σε ζώνες κοντά σε κατοικημένες περιοχές θα συμβάλει επίσης στη μείωση του θορύβου. Παράλληλα, η εισαγωγή περιβαλλοντικών τελών για τα οχήματα και τα πλοία με υψηλές εκπομπές θορύβου μπορεί να λειτουργήσει ως αντικίνητρο για δραστηριότητες που επιβαρύνουν ηχητικά την περιοχή.

10.1 Περιορισμοί και Προκλήσεις στην Εφαρμογή Ορισμένων Μέτρων

Παρότι ορισμένα μέτρα έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά σε άλλα λιμάνια η εφαρμογή τους στον Πειραιά δεν είναι εφικτή λόγω τεχνικών, οικονομικών και λειτουργικών περιορισμών. Οι βασικές προκλήσεις περιλαμβάνουν:

✗ Ηχοπετάσματα: Τα ηχοπετάσματα αποτελούν αποδοτικά μέσα μείωσης του θορύβου από σταθερές πηγές, όπως η οδική κυκλοφορία ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ωστόσο, στο λιμάνι του Πειραιά, όπου η ηχορύπανση οφείλεται κυρίως σε κινητές πηγές (πλοία, λεωφορεία, φορτηγά), η τοποθέτησή τους κοντά στις πηγές του θορύβου δεν κρίνεται πρακτική. Επιπλέον, θα διατάρασσε την οπτική συνέχεια και τη λειτουργικότητα του χώρου, χωρίς να επιφέρει ουσιαστική ακουστική ωφέλεια. Συνεπώς ο σχεδιασμός αντιθορυβικών φραγμάτων (noise barriers) δεν θεωρείται συμβατός με το δυναμικό και λειτουργικά ευέλικτο περιβάλλον των λιμενικών δραστηριοτήτων..

✗ Ασφαλτοτάπητας από καουτσούκ: Ο συγκεκριμένος τύπος οδοστρώματος μειώνει τον θόρυβο τριβής των οχημάτων αλλά είναι αναποτελεσματικός σε χαμηλές ταχύτητες. Δεδομένου ότι τα φορτηγά και άλλα βαρέα οχήματα στο λιμάνι κινούνται με μικρές ταχύτητες ο κύριος θόρυβος που παράγουν δεν προέρχεται από την κύλιση των ελαστικών αλλά από τις μηχανές.

✗ Diffractors: Οι diffractors θορύβου χρησιμοποιούνται για να ανακατευθύνουν τον ήχο προς λιγότερο ευαίσθητες περιοχές. Στο λιμάνι όμως ο θόρυβος παράγεται από πολλές διαφορετικές πηγές και έχει πολυκατευθυντική διάδοση (πλοία, επιβάτες, φορτηγά) καθιστώντας δύσκολη την εφαρμογή τους.

11. Discussion

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε κρίσιμα ερωτήματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των μέτρων μείωσης της ηχορύπανσης στο λιμάνι του Πειραιά. Παρά την υιοθέτηση προτεινόμενων στρατηγικών, όπως καταγράφονται στους στρατηγικούς χάρτες θορύβου (Paschalidou et al., 2019)¹, παρατηρείται ότι τα επίπεδα θορύβου παραμένουν υψηλά σε πολλές γειτονικές περιοχές. Η αναμενόμενη μείωση του θορύβου δεν ήταν αντίστοιχη των στόχων που είχαν τεθεί γεγονός που προκαλεί περαιτέρω προβληματισμό για την πραγματική πηγή της επιβάρυνσης.

Ένα από τα βασικά ζητήματα που αναδεικνύονται είναι η αξιοπιστία της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας και ειδικότερα των λογισμικών προσομοίωσης (Predictor-Lima, ArcGIS, κλπ.). Ενώ τα λογισμικά αυτά είναι συμβατά με την Οδηγία 2002/49/EK, τίθεται ερώτημα κατά πόσο αποτυπώνουν με ακρίβεια την ιδιαιτερότητα ενός δυναμικού λιμενικού περιβάλλοντος, όπως του Πειραιά. Πολλές προσομοιώσεις έχουν αναπτυχθεί κυρίως για σταθερά βιομηχανικά περιβάλλοντα ή για κυκλοφοριακούς άξονες και όχι για περιοχές με μικτές, ταχέως μεταβαλλόμενες ηχητικές πηγές όπως λιμάνια (Kerhalopoulos et al., 2014)². Επιπλέον, η δομή και η πολεοδομία γύρω από το λιμάνι επηρεάζουν ουσιαστικά τη διάδοση του ήχου. Οι ψηλές πολυκατοικίες κοντά στο λιμάνι λειτουργούν ως ηχητικοί ανακλαστήρες και ενισχυτές, επιδεινώνοντας το πρόβλημα της ηχορύπανσης στα πρώτα μέτωπα κατοικιών. Αντίθετα, στις εσωτερικότερες γειτονίες, λόγω της διάθλασης και απορρόφησης του ήχου, παρατηρείται σχετική μείωση της ακουστικής όχλησης. Τέτοιες παρατηρήσεις είναι κρίσιμες για την ορθότερη στοχοθέτηση μελλοντικών μέτρων.

Επιπρόσθετα, η κυκλοφορία βαρέων και ελαφρών οχημάτων στις παραλιμενικές οδούς φαίνεται να αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή θορύβου, υπερσκελίζοντας τη συμβολή των ίδιων των πλοίων σε αρκετές ζώνες. Οι χαρτογραφήσεις επιβεβαιώνουν ότι τα υψηλότερα επίπεδα Lden καταγράφονται κατά μήκος των κύριων οδικών αρτηριών και όχι απευθείας στα σημεία πρόσδεσης των πλοίων (Paschalidou et al., 2019)¹. Συνεπώς, η εστίαση μόνο σε παρεμβάσεις εντός του λιμένα ενδέχεται να αποδειχθεί ανεπαρκής, εάν δεν συνοδευτεί από συνολικές παρεμβάσεις στην κυκλοφοριακή διαχείριση και στις υποδομές μεταφορών.

Ένα επιπλέον σημείο ανάλυσης αφορά τον μέσο όρο των επιπέδων θορύβου. Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι ακόμα και αν μειωθεί ο αριθμός πηγών υψηλής όχλησης, η συνεχής κυκλοφοριακή ροή (background noise) διατηρεί έναν σταθερό, σχετικά υψηλό μέσο όρο έκθεσης των κατοίκων σε ηχορύπανση, με Lden που παραμένει άνω των 65 dB(A) σε αρκετές ζώνες, όπως έχει αναλυθεί σε αντίστοιχες μελέτες (Licitra et al., 2017)³.

Συνολικά, τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι για να επιτευχθεί ουσιαστική μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης στο λιμάνι του Πειραιά απαιτείται:

- Η συνδυασμένη αντιμετώπιση του θορύβου από τη θαλάσσια δραστηριότητα και από την παραλιμενική κυκλοφορία.
- Η ανάπτυξη πιο εξειδικευμένων προτύπων μοντελοποίησης για σύνθετα λιμενικά περιβάλλοντα.
- Η ενίσχυση των πολεοδομικών παρεμβάσεων για τη δημιουργία ηχητικών φραγμών ή την ανακατεύθυνση της κυκλοφορίας.
- Η συνεχής καταγραφή και επικαιροποίηση των στρατηγικών χαρτών θορύβου με βάση πραγματικά μετρητικά δεδομένα και όχι μόνο θεωρητικές προσεγγίσεις.

Απαιτείται, επομένως, μία πολυδιάστατη και διαλειτουργική στρατηγική που να υπερβαίνει τις στενές προσεγγίσεις απομόνωσης θορύβου από τα πλοία και να ενσωματώνει την ευρύτερη αστική και κυκλοφοριακή πραγματικότητα του λιμένα.¹⁰

Για την καλύτερη κατανόηση της διαφοροποίησης στα επίπεδα θορύβου μεταξύ των δύο λιμένων, παρουσιάζεται ο ακόλουθος συγκριτικός πίνακας που συνοψίζει βασικές παραμέτρους σχετικές με τον πληθυσμό, τη χρήση γης και την ηχητική έκθεση:

¹⁰

¹ Paschalidou, A. K., Kassomenos, P., & Chonianaki, F. (2019). Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city.

² Kephalopoulos, S., Paviotti, M., & Anfosso-Lédée, F. (2014). Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU).

³ Licitra, G., Fredianelli, L., Petri, D., & Vigotti, M. A. (2017). The Implementation of CNOSSOS-EU for the Environmental Noise Mapping of Urban Areas.

Παράμετρος	Πειραιάς	Ηράκλειο
Πληθυσμός Δήμου (2021)	168.151 κάτοικοι	179.302 κάτοικοι
Πληθυσμός Ευρύτερης Περιοχής	448.051 κάτοικοι	211.370 κάτοικοι (αστική περιοχή)
Έκταση Δήμου (km²)	10,865 km ²	244,6 km ²
Πυκνότητα Πληθυσμού (κάτ./km²)	~15.480 κάτοικοι/km ²	~733 κάτοικοι/km ²
Κύριες Πηγές Θορύβου	Πλοία, κυκλοφορία οχημάτων, σιδηρόδρομος, βιομηχανικές δραστηριότητες	Πλοία, κυκλοφορία οχημάτων, αεροπορική κίνηση
Μέσο Επίπεδο Θορύβου (Lden)	>65 dB(A) σε πολλές περιοχές	55–60 dB(A) σε κατοικημένες περιοχές
Πληθυσμός Εκτεθειμένος σε >65 dB(A)	Σημαντικό ποσοστό, ιδιαίτερα κοντά σε κύριες οδούς και το λιμάνι	Μικρότερο ποσοστό, κυρίως κοντά στο λιμάνι ¹¹

¹¹ 1. ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή) – Απογραφή Πληθυσμού 2021.

(Πηγή: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/>)

2. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environment Agency) – Environmental Noise Directive reporting (2022) για το Lden και την έκθεση πληθυσμού.

(Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/noise>)

3. Δήμος Πειραιά – Επίσημος Ιστότοπος και Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας Πειραιά – για τα στοιχεία έκτασης και χρήσεων γης.

(Πηγή: <https://piraeus.gov.gr/>)

4. Δήμος Ηρακλείου Κρήτης – Σχέδιο Στρατηγικής Βιώσιμης Ανάπτυξης – για τα στοιχεία πληθυσμού, έκτασης και αναφορές σε θόρυβο.

(Πηγή: <https://www.heraklion.gr/>)

5. Ευρωπαϊκή Έκθεση για το Περιβαλλοντικό Θόρυβο – Ειδικές αναφορές για την κατανομή του θορύβου σε ελληνικά λιμάνια.

(Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>)

12. Conclusions

Η παρούσα εργασία ανέδειξε την πολυπλοκότητα της ηχορύπανσης στις λιμενικές περιοχές, με έμφαση στον Πειραιά. Παρά τις τεχνολογικές παρεμβάσεις και τα μοντέλα εκτίμησης θορύβου, τα αποτελέσματα δεν έδειξαν ουσιαστική μείωση της ηχητικής επιβάρυνσης. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων και η χωροταξική μορφή του αστικού ιστού αποτελούν κρίσιμους παράγοντες, πιθανώς σημαντικότερους από τον θόρυβο των ίδιων των πλοίων. Παράλληλα, αναδεικνύονται περιορισμοί στη χρήση υπαρχόντων λογισμικών, όπως το Predictor-Lima Type 7810B για την απόδοση των πραγματικών ηχητικών συνθηκών σε μεγάλα και πολυσύνθετα λιμάνια.

Η διάχυση του θορύβου και η ακουστική αλληλεπίδραση με τον αστικό ιστό καθιστούν αναγκαία τη διεπιστημονική προσέγγιση και την εφαρμογή προσαρμοσμένων στρατηγικών ανά περιοχή. Συνολικά, προκύπτει η ανάγκη για ριζικό επανασχεδιασμό των μεθόδων εκτίμησης, εστιασμένων περισσότερο στο κυκλοφοριακό φορτίο και τις ιδιαιτερότητες κάθε λιμενικού περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allaouat, S., Yli-Tuomi, T., Tiittanen, P., Kukkonen, J., Kangas, L., Mikkonen, S., Ngandu, T., Jousilahti, P., Siponen, T., Zeller, T., & Lanki, T. (2024). Long-term exposures to low concentrations of source-specific air pollution, road-traffic noise, and systemic inflammation and cardiovascular disease biomarkers. *Environmental Research*, 262(1), 119846.
- Arana, M., San Martin, R., & Salinas, J. C. (2014). People exposed to traffic noise in European agglomerations from noise maps: A critical review. *Noise*. <https://doi.org/10.2478/noise-2014-0005>
- Babisch, W., & van Kamp, I. (n.d.). Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.53363>
- Bernardini, M., Fredianelli, L., Fidecaro, F., Gagliardi, P., Nastasi, M., & Licitra, G. (2019). Noise assessment of small vessels for action planning in canal cities. *Journal of Noise Control Engineering*. <https://doi.org/10.3397/1/6.2019>
- Bernardini, M., Fredianelli, L., Nastasi, M., Del Pizzo, L. G., Fidecaro, F., & Licitra, G. (2024). Variability in airborne noise emissions of container ships approaching ports. *Ocean Engineering*, 309(2), 118492.
- Chita, E., Giannakopoulou, K., & Zervas, E. (2012). Annoyance from noise pollution: Case of Heraklion, Greece. *Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2012)*, Hellenic Open University.
- European Environment Agency. (2017). *Noise in Europe 2017: Overview of policy-related data. Country fact sheet - Greece*. <https://www.eea.europa.eu>
- European Parliament and Council of the European Union. (2002). *Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise*.
- Fredianelli, L., Gaggero, T., Bolognese, M., Borelli, D., Fidecaro, F., & Schenone, C. (n.d.). Source characterization guidelines for noise mapping of port areas.
- Good Practice Guide on Port Area Noise Mapping and Management. (n.d.). *NoMEPorts*.
- Hellenic Statistical Authority (ELSTAT). (2024). *Traffic of Passengers, Goods and Mobile Units in Greek Ports: 1st Quarter 2024 (Provisional Data)*. <https://www.statistics.gr>
- Hellenic Statistical Authority (ELSTAT). (2021). *Απογραφή Πληθυσμού 2021*. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/>
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M., & Anfosso-Lédée, F. (2012). *Noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. European Commission, Joint Research Centre.

Licitra, G., Ascari, E., & Brambilla, G. (n.d.). Comparative analysis of methods to estimate urban noise exposure of inhabitants. ARPAT, Florence; CNR-IDASC, Rome.

Murphy, E., & King, E. A. (2014). An assessment of residential exposure to environmental noise at a shipping port. *Environment International*, 63, 207–215.

Nastasi, M., Fredianelli, L., Bernardini, M., Teti, L., Fidecaro, F., & Licitra, G. (2020). Parameters affecting noise emitted by ships moving in port areas. *Noise Control Engineering Journal*. <https://doi.org/10.3397/1/7.2020>

Onar, T. Y. (2020). *Noise Pollution from Ports and IMO Regulations* (Thesis).

Paschalidou, A. K., Kassomenos, P., & Chonianiaki, F. (2019). Strategic noise maps and action plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city. *Science of The Total Environment*, 654, 144–153.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.093>

Port of Heraklion. (2024). *Port Pro of the Month: Minas Papadakis*.
<https://portheraclion.gr>

Vogiatzis, K. (2008). *Εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2002/49/EK στην Αττική Οδό: Στρατηγικός χάρτης θορύβου* (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Vogiatzis, K., & Remy, N. (2021). Assessing health effects and soundscape analysis as new mitigation actions concerning the aircraft noise impact in small- and middle-size urban areas in Greece. *Science of the Total Environment*, 775, 145769.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145769>

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. (2015). *Η επίδραση του περιβαλλοντικού θορύβου στη γνωστική επίδοση μαθητών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης κατά τη διάρκεια του μαθήματος* (Διδακτορική Διατριβή). Βόλος.

Ευρωπαϊκή Έκθεση για το Περιβαλλοντικό Θόρυβο – Environmental Noise Directive reporting. (2022). *European Environment Agency*.
<https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/noise>

Δήμος Πειραιά. (2024). *Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας Πειραιά (ΣΒΑΚ)*.
<https://piraeus.gov.gr>

Δήμος Ηρακλείου Κρήτης. (2024). *Σχέδιο Στρατηγικής Βιώσιμης Ανάπτυξης Ηρακλείου*. <https://www.heraklion.gr>