

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ στη ΝΑΥΤΙΛΙΑ



ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΛΟΓΩ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΙΣ
ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Καραμάνη Ευδοκία-Αθανασία

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών
του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Μάιος, 2026

Σελίδα δήλωσης αυθεντικότητας / ζητήματα Copyright

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη κερδοσκοπικός, εκπαιδευτικός, ερευνητικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου»

Σελίδα Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής:

- Χριστοδούλου Αναστασία (Επιβλέπων)
- Πολέμης Διονύσιος
- Βαγγέλας Γεώργιος

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει τις επιπτώσεις της περιβαλλοντικής ρύπανσης που προκύπτει από λιμενικές δραστηριότητες στην ανθρώπινη υγεία, με έμφαση στους βασικούς μηχανισμούς έκθεσης και στις άμεσες και έμμεσες συνέπειες. Σκοπός της μελέτης ήταν η διερεύνηση του βαθμού συμβολής των λιμένων στη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, καθώς και η ανάλυση των επιπτώσεων αυτής της ρύπανσης στη δημόσια υγεία και την ποιότητα ζωής.

Η μεθοδολογία βασίστηκε σε ανασκόπηση της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας και ανάλυση επιδημιολογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων. Εξετάστηκαν μελέτες που αφορούν τις εκπομπές ρύπων από ναυτιλιακές και λιμενικές δραστηριότητες, όπως αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5} και PM₁₀), οξείδια του αζώτου και του θείου, καθώς και τη θαλάσσια ρύπανση από χημικές ουσίες, μικροπλαστικά και παθογόνους μικροοργανισμούς.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι λιμενικές δραστηριότητες αποτελούν σημαντική πηγή περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, ιδιαίτερα σε παράκτιες αστικές περιοχές. Η έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους συνδέεται με αυξημένη εμφάνιση αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων, καθώς και με πρόωρη θνησιμότητα. Παράλληλα, αναδεικνύεται η σημασία των έμμεσων επιπτώσεων μέσω της θαλάσσιας ρύπανσης και της τροφικής αλυσίδας, καθώς και η παρουσία μικροβιακών κινδύνων που σχετίζονται με τις λιμενικές δραστηριότητες.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χωρική συγκέντρωση της ρύπανσης και στην άνιση κατανομή των επιπτώσεων, καθώς οι πληθυσμοί που κατοικούν κοντά σε λιμένες εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα κινδύνου. Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν τη σύνθετη φύση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την ανάγκη για ολιστική προσέγγιση στη διαχείρισή της.

Συμπερασματικά, η εργασία καταδεικνύει ότι η λιμενική ρύπανση αποτελεί σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας και περιβάλλοντος, το οποίο απαιτεί συνδυασμό τεχνολογικών, θεσμικών και κοινωνικών παρεμβάσεων. Η ενίσχυση των περιβαλλοντικών πολιτικών και η ενσωμάτωση της υγείας στον σχεδιασμό των λιμενικών δραστηριοτήτων κρίνονται απαραίτητες για τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Λέξεις κλειδιά: Λιμενικές Δραστηριότητες, Περιβαλλοντική Ρύπανση, Ανθρώπινη Υγεία

ABSTRACT

This study examines the impact of environmental pollution originating from port-related activities on human health, focusing on the main exposure pathways and both direct and indirect consequences. The aim of the research was to investigate the extent to which ports contribute to air and water pollution, as well as to analyze the associated health effects and implications for quality of life.

The methodology is based on a comprehensive review of international scientific literature and the analysis of epidemiological and environmental data. The study considers emissions from shipping and port operations, including particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), nitrogen oxides (NO_x), sulfur oxides (SO₂), as well as marine pollution caused by chemical substances, microplastics, and pathogenic microorganisms.

The findings indicate that port activities constitute a significant source of environmental pollution, particularly in coastal urban areas. Exposure to air pollutants is strongly associated with an increased incidence of respiratory and cardiovascular diseases, as well as premature mortality. At the same time, the study highlights the importance of indirect health impacts through marine pollution and the food chain, as well as microbiological risks linked to port operations.

Special emphasis is placed on the spatial concentration of pollution and the unequal distribution of its effects, as populations living near ports are exposed to higher levels of risk. The results confirm the complex and multifaceted nature of environmental pollution and underline the need for a holistic approach to its management.

In conclusion, port-related pollution represents a significant environmental and public health issue that requires a combination of technological, regulatory, and social interventions. Strengthening environmental policies and integrating health considerations into port planning and management are essential for achieving sustainable development and improving overall quality of life.

Keywords: Port Activities, Environmental Pollution, Human Health

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
1. Εισαγωγή.....	8
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	10
2.1 Περιβαλλοντική Ρύπανση: Πηγές και Τύποι.....	10
2.1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση από Λιμενικές Δραστηριότητες.....	10
2.1.2 Θαλάσσια Ρύπανση και Απόβλητα.....	11
2.1.3 Ηχορύπανση στους Λιμένες.....	12
2.1.4 Ρύπανση Εδάφους και Υπόγειων Υδάτων	13
2.2 Λιμενικές Δραστηριότητες και Περιβαλλοντική Επιβάρυνση	14
2.2.1 Εμπορική ναυτιλία και μεταφορές	14
2.2.2 Εκπομπές ρύπων και αέρια του θερμοκηπίου	16
2.2.3 Διαχείριση αποβλήτων στους λιμένες.....	19
2.2.4 Χερσαίες μεταφορές και κυκλοφορία στον λιμένα.....	22
2.2.5 Χειρισμός φορτίων και λιμενικός εξοπλισμός.....	23
2.2.6 Βιομηχανικές και υποστηρικτικές δραστηριότητες (ναυπηγοεπισκευή, διύλιση κ.λπ.)	24
2.3 Επιπτώσεις της Ρύπανσης στην Υγεία του Ανθρώπου	24
2.3.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Υγεία.....	25
2.3.2 Ρύπανση του Νερού και Δημόσια Υγεία.....	26
2.3.3 Ρύπανση του Εδάφους και Επιπτώσεις στην Τροφική Αλυσίδα	27
2.3.4 Θόρυβος και Φωτορύπανση ως Μορφές Ρύπανσης.....	28
2.3.5 Κοινωνικές και Οικονομικές Επιπτώσεις της Ρύπανσης στην Υγεία	28
2.3.6 Προστασία και Πρόληψη	29
2.4 Επιδημιολογικά Δεδομένα και Βιβλιογραφικά Ευρήματα	29
2.5 Κανονιστικό Πλαίσιο και Διεθνείς Πρωτοβουλίες.....	31
2.5.1 Κανονιστικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση όλων των μορφών ρύπανσης στους λιμένες.....	33
2.6 Πράσινα λιμάνια και μελέτη περίπτωσης: το λιμάνι του Ρότερνταμ.....	35
3. Μεθοδολογία.....	37
3.1 Ερευνητικός σχεδιασμός	37
3.2 Πηγές και στρατηγική αναζήτησης.....	38
3.3 Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού	38
3.4 Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων.....	39

3.5 Εγκυρότητα και αξιοπιστία	40
3.6 Ηθικά ζητήματα	40
3.7 Περιορισμοί της μεθόδου	40
3.8 Συμβολή της μεθοδολογίας στους στόχους	41
3.9 Δομή παρουσίασης αποτελεσμάτων.....	41
3.10 Συμπέρασμα μεθοδολογικού πλαισίου	41
4. Αποτελέσματα	43
4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση από λιμενικές δραστηριότητες	43
4.2 Επιπτώσεις στη θνησιμότητα και νοσηρότητα.....	43
4.3 Αναπνευστικές και καρδιαγγειακές επιπτώσεις	44
4.4 Θαλάσσια ρύπανση και επιπτώσεις μέσω της τροφικής αλυσίδας.....	45
4.5 Οξίνιση των ωκεανών και οικοσυστημικές επιπτώσεις	45
4.6 Μικροβιακή ρύπανση και δημόσια υγεία	46
4.7 Κίνδυνοι από ατυχήματα και επικίνδυνα φορτία	46
4.8 Συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.....	46
5. Συζήτηση	48
5.1 Ερμηνεία των βασικών ευρημάτων.....	48
5.2 Σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία.....	49
5.3 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	50
5.4 Περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις.....	52
5.5 Πρακτικές και πολιτικές προεκτάσεις.....	53
5.6 Περιορισμοί της μελέτης	54
5.7 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	55
6. Συμπεράσματα.....	58
Βιβλιογραφία	61

1. Εισαγωγή

Η παγκόσμια ναυτιλία διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διεθνή οικονομία, διεκπεραιώνοντας περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου (International Maritime Organization [IMO], 2020). Οι λιμένες, ως βασικοί κόμβοι αυτής της δραστηριότητας, συγκεντρώνουν πολυσύνθετες λειτουργίες που προκαλούν σημαντικές περιβαλλοντικές πιέσεις. Η εντατικοποίηση των λιμενικών δραστηριοτήτων οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές ρύπων, ρύπανση υδάτων και ηχορύπανση, προκαλώντας επιπτώσεις όχι μόνο στο οικοσύστημα αλλά και στην ανθρώπινη υγεία (Landrigan et al., 2020).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση που σχετίζεται με τις λιμενικές εγκαταστάσεις προκύπτει κυρίως από τα πλοία, τα φορτηγά μεταφοράς, τις αποθήκες και τον εξοπλισμό εδάφους. Εκπομπές όπως τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5} και PM₁₀), το διοξείδιο του θείου (SO₂), και τα οξείδια του αζώτου (NO_x), έχουν άμεσες επιπτώσεις στην αναπνευστική και καρδιαγγειακή υγεία, κυρίως σε ευπαθείς ομάδες πληθυσμού όπως παιδιά, ηλικιωμένοι και εργαζόμενοι σε λιμάνια (Bailey et al., 2004; Zhao et al., 2011). Μελέτες δείχνουν ότι οι πληθυσμοί που ζουν σε κοντινή απόσταση από λιμένες παρουσιάζουν αυξημένη θνησιμότητα και νοσηρότητα, ιδιαίτερα από αναπνευστικές παθήσεις και καρκίνο του πνεύμονα (Ren et al., 2010).

Επιπλέον, η θαλάσσια ρύπανση από πετρελαιοειδή, βαρέα μέταλλα και μικροπλαστικά μπορεί να επηρεάσει τη δημόσια υγεία μέσω της τροφικής αλυσίδας. Τα θαλάσσια είδη που καταναλώνονται από τον άνθρωπο ενδέχεται να περιέχουν υψηλά επίπεδα τοξικών ουσιών, οι οποίες συνδέονται με νευρολογικές διαταραχές, ορμονικές ανισορροπίες και καρκινογένεση (Ghosh et al., 2021). Η ηχορύπανση, τέλος, που οφείλεται στη συνεχή λειτουργία μηχανημάτων και στην κίνηση πλοίων, έχει συσχετιστεί με αυξημένα επίπεδα στρες, διαταραχές ύπνου και καρδιαγγειακές επιπτώσεις (European Environment Agency [EEA], 2020).

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να αναλύσει συστηματικά τις επιπτώσεις της περιβαλλοντικής ρύπανσης από λιμενικές δραστηριότητες στην ανθρώπινη υγεία. Στόχος είναι να εντοπιστούν οι κυριότερες πηγές ρύπανσης, να αποσαφηνιστεί ο τρόπος που αυτές επηρεάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό και να προταθούν κατευθύνσεις πολιτικής για τον περιορισμό των αρνητικών συνεπειών. Ειδικότερα, εξετάζονται επιδημιολογικά δεδομένα, μελέτες περιπτώσεων από παράκτιες περιοχές, καθώς και το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο.

Η μελέτη αυτή φιλοδοξεί να συμβάλει στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ περιβάλλοντος και υγείας, αναδεικνύοντας την ανάγκη για πιο βιώσιμες λιμενικές πρακτικές και ενισχυμένη περιβαλλοντική πολιτική. Η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και υγειονομικών κριτηρίων στον σχεδιασμό λιμενικών υποδομών είναι κρίσιμη για την προστασία των κοινοτήτων που γειτνιάζουν με τα λιμάνια, αλλά και για τη γενικότερη δημόσια υγεία.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Περιβαλλοντική Ρύπανση: Πηγές και Τύποι

2.1.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση από Λιμενικές Δραστηριότητες

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς τύπους περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προκαλείται από τις λιμενικές δραστηριότητες. Οι κύριες πηγές αυτής της ρύπανσης είναι οι εκπομπές από πλοία, φορτηγά, γερανούς, γεννήτριες και άλλον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στους λιμένες. Οι εκπομπές περιλαμβάνουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM2.5), διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), οι οποίες έχουν τεκμηριωμένες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία (USEPA, 2021).

Τα πλοία χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό καύσιμα χαμηλής ποιότητας με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, γεγονός που εντείνει τις εκπομπές SO₂ και σωματιδίων, ιδίως όταν βρίσκονται αγκυροβολημένα και διατηρούν τους κινητήρες σε λειτουργία. Σύμφωνα με τον Corbett et al. (2007), η ναυτιλία παγκοσμίως ευθύνεται για το 3–4% των εκπομπών CO₂, καθώς και για σημαντικό ποσοστό των εκπομπών SO₂ και NO_x στην ατμόσφαιρα. Οι ρύποι αυτοί δεν παραμένουν μόνο τοπικά, αλλά μπορούν να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, επηρεάζοντας περιοχές μακριά από τον αρχικό χώρο εκπομπής.

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι κάτοικοι περιοχών κοντά σε λιμάνια εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων σε σχέση με τον υπόλοιπο αστικό πληθυσμό, με συνέπειες στην υγεία όπως αυξημένα ποσοστά άσθματος, βρογχίτιδας, καρδιοαγγειακών προβλημάτων και πρόωρης θνησιμότητας (Bailey et al., 2004). Ο Jansen et al. (2021) σημειώνουν ότι τα PM2.5, λόγω του μικρού τους μεγέθους, μπορούν να εισχωρήσουν βαθιά στους πνεύμονες και ακόμη και στο κυκλοφορικό σύστημα, προκαλώντας φλεγμονώδεις αποκρίσεις και οξειδωτικό στρες.

Ακόμη, οι εργαζόμενοι στους λιμένες αποτελούν μια πληθυσμιακή ομάδα με ιδιαίτερη έκθεση, λόγω της παρατεταμένης παρουσίας τους σε χώρους υψηλής συγκέντρωσης ρύπων. Σύμφωνα με μελέτη του International Transport Forum (2021), η χρήση ηλεκτροκίνητου εξοπλισμού και η σύνδεση των πλοίων σε σταθμούς παροχής ενέργειας ξηράς (cold ironing) μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων κατά τον ελλιμενισμό.

Η ανάγκη για αποτελεσματικές παρεμβάσεις είναι επιτακτική. Ορισμένες λιμενικές αρχές, όπως στο Ρότερνταμ ή στο Λος Άντζελες, έχουν ήδη εφαρμόσει “πράσινες” πρακτικές, όπως περιορισμό της ταχύτητας πλοίων κοντά στην ακτή, χρήση καυσίμων χαμηλού θείου και υποχρεωτική ηλεκτροδότηση των πλοίων στον ντόκο (Port of Los Angeles, 2022).

Συμπερασματικά, η ατμοσφαιρική ρύπανση από λιμενικές δραστηριότητες είναι ένα πολυσύνθετο φαινόμενο με σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η υιοθέτηση αυστηρών κανονισμών και η επένδυση σε καθαρές τεχνολογίες αποτελούν κρίσιμες στρατηγικές για τη μείωση των εκπομπών και την προστασία των κοινοτήτων που επηρεάζονται.

2.1.2 Θαλάσσια Ρύπανση και Απόβλητα

Η θαλάσσια ρύπανση από λιμενικές δραστηριότητες αποτελεί ένα ακόμη μείζον πρόβλημα, με σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις. Οι κύριες πηγές της ρύπανσης αυτής περιλαμβάνουν τη διαρροή πετρελαιοειδών, την απόρριψη υγρών και στερεών αποβλήτων, καθώς και τη συσσώρευση πλαστικών και μικροπλαστικών στον θαλάσσιο χώρο. Τα λιμάνια λειτουργούν ως περιοχές υψηλής πυκνότητας ναυτιλιακής και βιομηχανικής δραστηριότητας, γεγονός που εντείνει το πρόβλημα, ιδίως σε παράκτιες περιοχές.

Οι διαρροές πετρελαίου από πλοία κατά τη διάρκεια φόρτωσης, εκφόρτωσης ή ατυχημάτων είναι μία από τις σοβαρότερες πηγές ρύπανσης. Τα πετρελαιοειδή περιέχουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), ουσίες ιδιαίτερα τοξικές για την υδρόβια ζωή, με αποδεδειγμένη καρκινογόνο δράση (National Research Council, 2003). Τα PAHs μπορούν να βιοσυσσωρευτούν στους οργανισμούς, επηρεάζοντας την τροφική αλυσίδα και, κατ' επέκταση, τον άνθρωπο.

Παράλληλα, η απόρριψη αποβλήτων από πλοία ή λιμενικές εγκαταστάσεις –όπως λύματα, βαρέα μέταλλα και οργανικές ενώσεις– συμβάλλει στην επιδείνωση της ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος (UNEP, 2016). Αυτά τα απόβλητα επηρεάζουν άμεσα τη χλωρίδα και πανίδα των οικοσυστημάτων και μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα ευτροφισμού, τα οποία οδηγούν σε εξάντληση του οξυγόνου και μαζικούς θανάτους οργανισμών.

Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί και η ρύπανση από πλαστικά. Τα πλαστικά απόβλητα είτε προέρχονται απευθείας από τις δραστηριότητες στα λιμάνια είτε καταλήγουν στους θαλάσσιους

χώρους από χερσαίες πηγές. Με τον χρόνο διασπώνται σε μικροπλαστικά, τα οποία εισέρχονται στους οργανισμούς διά της κατάποσης και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες (Jambek et al., 2015). Η κατανάλωση θαλάσσιων οργανισμών που έχουν εκτεθεί σε μικροπλαστικά έχει συνδεθεί με επιπτώσεις στη νευρολογική και ορμονική λειτουργία των ανθρώπων (Rochman et al., 2015).

Η θαλάσσια ρύπανση έχει έμμεσες αλλά κρίσιμες συνέπειες και για τη δημόσια υγεία. Ο Landrigan et al. (2020) τονίζουν πως η μόλυνση των θαλασσών ενδέχεται να επηρεάζει εκατομμύρια ανθρώπους κάθε χρόνο, μέσω κατανάλωσης μολυσμένων τροφίμων, επαφής με ρυπασμένο νερό και εισπνοής τοξικών αερολυμάτων στις παράκτιες περιοχές.

Για την αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων, κρίνεται αναγκαία η ενίσχυση των περιβαλλοντικών ρυθμίσεων και η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στη λιμενική διαχείριση. Η εγκατάσταση υποδομών συλλογής και διαχείρισης αποβλήτων, ο τακτικός έλεγχος της ποιότητας των υδάτων και η συνεργασία σε διακρατικό επίπεδο, αποτελούν βασικά μέτρα για τον περιορισμό της θαλάσσιας ρύπανσης.

2.1.3 Ηχορύπανση στους Λιμένες

Η ηχορύπανση αποτελεί έναν από τους λιγότερο ορατούς αλλά σημαντικούς περιβαλλοντικούς ρύπους που σχετίζονται με τις λιμενικές δραστηριότητες. Οι κύριες πηγές θορύβου στους λιμένες περιλαμβάνουν τη λειτουργία πλοίων, γερανογεφυρών, φορτηγών, σιδηροδρομικών μεταφορών και άλλου βαρέος εξοπλισμού. Ο συνεχής και συχνά υψηλής έντασης θόρυβος έχει αποδεδειγμένες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ιδίως για τους κατοίκους και τους εργαζομένους σε περιοχές κοντά σε λιμενικές εγκαταστάσεις.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε θόρυβο άνω των 55 dB μπορεί να προκαλέσει διαταραχές ύπνου, αυξημένα επίπεδα στρες, υπέρταση και καρδιαγγειακά προβλήματα (Basner et al., 2014). Ειδικότερα, η χρόνια έκθεση σε θόρυβο έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης υπέρτασης και άλλων καρδιαγγειακών παθήσεων (Munzel et al., 2018).

Στην περίπτωση των λιμένων, η ηχορύπανση είναι ιδιαίτερα έντονη λόγω της συνεχούς λειτουργίας των εγκαταστάσεων, συχνά καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο λιμάνι του Δουβλίνου ανέδειξε ότι οι κάτοικοι των γύρω περιοχών

εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου που υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια, με συνέπεια την εμφάνιση προβλημάτων υγείας και μείωση της ποιότητας ζωής (Murphy & King, 2014).

Επιπλέον, η ηχορύπανση δεν επηρεάζει μόνο την ανθρώπινη υγεία αλλά και την πανίδα της περιοχής. Ο θόρυβος μπορεί να διαταράξει τα πρότυπα συμπεριφοράς των ζώων, να επηρεάσει την αναπαραγωγή και την επικοινωνία τους, και να προκαλέσει μεταβολές στα οικοσυστήματα (Slabbekoorn et al., 2010).

Για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης στους λιμένες, προτείνονται μέτρα όπως η χρήση πιο αθόρυβων μηχανημάτων, η εφαρμογή ηχομονωτικών τεχνολογιών και η δημιουργία ζωνών προστασίας γύρω από τις λιμενικές εγκαταστάσεις. Επιπλέον, η παρακολούθηση των επιπέδων θορύβου και η ενημέρωση του κοινού για τους κινδύνους της ηχορύπανσης είναι κρίσιμες για την προστασία της δημόσιας υγείας.

2.1.4 Ρύπανση Εδάφους και Υπόγειων Υδάτων

Οι λιμενικές δραστηριότητες συνδέονται στενά με τη ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων, κυρίως λόγω της αποθήκευσης και διακίνησης επικίνδυνων υλικών, όπως πετρελαιοειδή, χημικά και βαρέα μέταλλα. Η ανεπαρκής διαχείριση αυτών των ουσιών μπορεί να οδηγήσει σε διαρροές και διασπορά ρύπων στο περιβάλλον, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τη δημόσια υγεία (Brebba & Olivella, 2000).

Στο λιμάνι του Λος Άντζελες, για παράδειγμα, έχουν καταγραφεί περιπτώσεις ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων υδάτων από διαρροές πετρελαιοειδών και άλλων χημικών ουσιών. Οι αρχές του λιμανιού έχουν εφαρμόσει προγράμματα αποκατάστασης, τα οποία περιλαμβάνουν την απομάκρυνση των ρύπων και την παρακολούθηση της ποιότητας του εδάφους και των υδάτων (Port of Los Angeles, 2005).

Η ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου, νευρολογικές διαταραχές και προβλήματα στο αναπαραγωγικό σύστημα (Port of Los Angeles, 2005). Επιπλέον, η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων μπορεί να επηρεάσει την αγροτική παραγωγή και την παροχή πόσιμου νερού στις τοπικές κοινότητες.

Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων υδάτων, είναι απαραίτητη η εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών διαχείρισης, οι οποίες περιλαμβάνουν την πρόληψη διαρροών, την τακτική παρακολούθηση της ποιότητας του περιβάλλοντος και την αποκατάσταση των ρυπασμένων περιοχών. Η συνεργασία μεταξύ των λιμενικών αρχών, των τοπικών κοινοτήτων και των αρμόδιων φορέων είναι κρίσιμη για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

2.2 Λιμενικές Δραστηριότητες και Περιβαλλοντική Επιβάρυνση

2.2.1 Εμπορική ναυτιλία και μεταφορές

Η εμπορική ναυτιλία είναι καθοριστικός παράγοντας για την παγκόσμια οικονομία, μεταφέροντας πάνω από το 80% του διεθνούς εμπορίου. Ωστόσο, ο τομέας αυτός αποτελεί επίσης σημαντική πηγή ρύπανσης, συμβάλλοντας στην υποβάθμιση τόσο του ατμοσφαιρικού όσο και του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η ρύπανση που σχετίζεται με τη ναυτιλία περιλαμβάνει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ατμοσφαιρικούς ρύπους και υποβρύχιο θόρυβο, τα οποία έχουν όλα αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση από τη ναυτιλία

Ο ναυτιλιακός τομέας είναι υπεύθυνος για την εκπομπή σημαντικών ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οξειδίων του αζώτου (NO_x), οξειδίων του θείου (SO_x), σωματιδίων (PM) και άλλων επιβλαβών ρύπων. Το 2018, η διεθνής ναυτιλία εκτιμάται ότι συνέβαλε κατά 2,89% στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ (Gössling et al., 2021). Παρά το σχετικά μικρό μερίδιό της, οι απόλυτες εκπομπές αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά λόγω της προβλεπόμενης ανάπτυξης του τομέα, με πιθανή αύξηση κατά 90-130% έως το 2050 (MEPC, 2020).

Ιδιαίτερα ανησυχητικά είναι τα NO_x και PM_{2.5}, τα οποία συνδέονται με σοβαρά προβλήματα υγείας, συμπεριλαμβανομένων αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων (Corbett et al., 2007; Künzli et al., 2000). Τα λιμάνια και οι γειτονικές κοινότητες επηρεάζονται δυσανάλογα λόγω της συγκέντρωσης των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων, επιδεινώνοντας τα τοπικά προβλήματα ποιότητας του αέρα (Merico et al., 2017).

2. Υποβρύχια ηχορύπανση

Εκτός από τις εκπομπές, η ναυτιλία παράγει σημαντικό υποβρύχιο θόρυβο, ο οποίος διαταράσσει τη θαλάσσια πανίδα, ιδίως τα θαλάσσια θηλαστικά όπως οι φάλαινες και τα δελφίνια. Η παρατεταμένη έκθεση σε ανθρωπογενή θόρυβο μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στη συμπεριφορά, άγχος και ακόμη και σωματικές βλάβες στα θαλάσσια είδη (Erbe et al., 2019; Weilgart, 2018).

Ο Καναδάς, για παράδειγμα, έχει αναλάβει πολλαπλές νομοθετικές και ερευνητικές πρωτοβουλίες για την αντιμετώπιση του υποβρύχιου θορύβου, ιδίως σε κρίσιμους οικοτόπους όπως ο ποταμός Σεντ Λόρενς. Προγράμματα όπως η Πρωτοβουλία για Αθόρυβα Σκάφη και το Σχέδιο Προστασίας των Ωκεανών υποστηρίζουν την έρευνα και προωθούν τεχνολογίες αθόρυβων πλοίων (Breeze et al., 2022).

3. Μέτρα μετριασμού και τεχνολογικές παρεμβάσεις

Οι προσπάθειες για τη μείωση της ρύπανσης από τη ναυτιλία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις στρατηγικές: ρυθμιστικές, βασισμένες στην αγορά και εθελοντικές.

Ρυθμιστικές προσεγγίσεις: Διεθνή πλαίσια όπως το MARPOL Annex VI του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) θέτουν όρια στις εκπομπές SO_x και NO_x. Συγκεκριμένα, το παγκόσμιο όριο θείου για το 2020 μείωσε την επιτρεπόμενη περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα από 3,5% σε 0,5% (IMO, 2020).

Μέσα βασισμένα στην αγορά: Αυτά περιλαμβάνουν συστήματα εμπορίας εκπομπών και κίνητρα σε επίπεδο λιμένων, όπως εκπτώσεις για πιο οικολογικά πλοία. Ωστόσο, τα μέσα αυτά έχουν περιορισμένη κάλυψη και είναι συχνά εθελοντικά ή ειδικά για κάθε περιοχή (Gössling et al., 2021).

Τεχνολογικές λύσεις: Η παροχή ρεύματος από την ξηρά (ή cold ironing) είναι μία από τις πιο ελπιδοφόρες προσεγγίσεις, καθώς επιτρέπει στα πλοία να σβήνουν τους κινητήρες ντίζελ ενώ βρίσκονται αγκυροβολημένα και να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από το τοπικό δίκτυο. Μελέτες σε λιμάνια της Καλιφόρνιας έχουν δείξει ότι η παροχή ρεύματος από την ξηρά μπορεί να μειώσει τις εκπομπές σωματιδίων έως και 18 τόνους την ημέρα, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα του αέρα στις γύρω περιοχές (Peterson et al., 2009).

Οι προσπάθειες τυποποίησης από το IEEE και το ISO συμβάλλουν στη διευκόλυνση της ευρύτερης υιοθέτησης της ρεύματος από την ακτή μέσω διαλειτουργικής υποδομής (Peterson et al., 2009).

4. Κενά πολιτικής και η πορεία προς το μέλλον

Παρά την πρόοδο, οι τρέχουσες πολιτικές επικεντρώνονται κυρίως στη βελτίωση της αποδοτικότητας και όχι στη μείωση των συνολικών εκπομπών. Ο στόχος του ΙΜΟ να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 50% έως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008, θεωρείται ευρέως ανεπαρκής για την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού (Gössling et al., 2021). Επιπλέον, η έλλειψη εκτελεστών διεθνών κανονισμών για τον υποβρύχιο θόρυβο και η αργή υιοθέτηση καθαρών τεχνολογιών εμποδίζουν την επίτευξη ουσιαστικών αλλαγών.

Για να επιτευχθούν σημαντικές μειώσεις, ο τομέας πρέπει:

- Να υιοθετήσει καύσιμα μηδενικών εκπομπών άνθρακα (π.χ. αμμωνία, υδρογόνο),
- Να αναβαθμίσει τα σκάφη για την τροφοδοσία από την ξηρά,
- Να επιβάλει αυστηρότερους ελέγχους εκπομπών,
- Να επεκτείνει τις περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA),
- Να δώσει κίνητρα για την αργή πλεύση και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών.

2.2.2 Εκπομπές ρύπων και αέρια του θερμοκηπίου

Οι εμπορικές θαλάσσιες μεταφορές είναι απαραίτητες για το παγκόσμιο εμπόριο, αλλά συμβάλλουν σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την κλιματική αλλαγή μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Οι κύριοι ρύποι από τα πλοία περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x), μεθάνιο (CH₄) και σωματίδια (PM), τα οποία προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων στους κινητήρες των πλοίων. Αυτές οι εκπομπές έχουν επιπτώσεις στο παγκόσμιο κλίμα και τοπικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία, ιδίως στις λιμενικές περιοχές και κατά μήκος των κύριων ναυτιλιακών διαδρομών.

1. Έκταση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Σύμφωνα με τον Tokuslu (2021), οι θαλάσσιες μεταφορές ευθύνονται για περίπου το 3,3% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Παρά τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂ ανά τόνο-χιλιόμετρο σε σύγκριση με άλλους τρόπους μεταφοράς, η απόλυτη συμβολή τους είναι σημαντική λόγω του τεράστιου όγκου εμπορίου που υποστηρίζουν. Από το 2010 έως το 2018, τα λιμάνια της Γεωργίας κατέγραψαν ετήσιες εκπομπές έως 54.640 τόνους από πλοία, με το CO₂ να αποτελεί το κυρίαρχο συστατικό. Οι εκπομπές κατηγοριοποιήθηκαν ανά τρόπο λειτουργίας των πλοίων: κρουαζιέρα (82%), διαμονή (13%) και ελιγμοί (5%), δείχνοντας ότι οι περισσότερες εκπομπές συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της πλοήγησης (Tokuslu, 2021).

2. Σύνθεση των εκπομπών των πλοίων

Οι εκπομπές των πλοίων αποτελούνται κυρίως από:

- CO₂: Το κύριο αέριο θερμοκηπίου που εκπέμπεται κατά την καύση καυσίμων, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών της ναυτιλίας.
- NO_x: Συμβάλλει στο σχηματισμό όζοντος και όξινης βροχής. Επίσης, συμβάλλει σημαντικά στις αναπνευστικές παθήσεις.
- SO_x: Προέρχεται από καύσιμα πλούσια σε θείο, συνδέεται με την όξινη βροχή και το σχηματισμό σωματιδίων.
- CH₄ και N₂O: Ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου με υψηλότερο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη από το CO₂, αν και εκπέμπονται σε μικρότερες ποσότητες.

Αυτές οι εκπομπές όχι μόνο συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη, αλλά έχουν και άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες παράκτιες και λιμενικές περιοχές (Song, 2014; Corbett et al., 2007).

3. Περιφερειακές και παγκόσμιες επιπτώσεις

Μελέτες δείχνουν ότι περίπου το 70% των παγκόσμιων μετακινήσεων πλοίων πραγματοποιείται σε απόσταση 200 ναυτικών μιλίων από την ξηρά και το 36% σε απόσταση 25 ναυτικών μιλίων, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των εκπομπών κοντά στις ακτές (Buhaug et al., 2009). Για παράδειγμα, οι εκπομπές από πλοία σε τέσσερα λιμάνια της Γεωργίας αποδόθηκαν κυρίως σε δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και πλοία γενικού φορτίου, τα οποία

αντιπροσώπευαν περίπου το 82% του συνόλου των εκπομπών που σχετίζονται με τα λιμάνια (Tokuslu, 2021).

4. Μεθοδολογίες για την εκτίμηση των εκπομπών

Για την εκτίμηση των εκπομπών των πλοίων χρησιμοποιούνται δύο κοινές προσεγγίσεις:

- Προσέγγιση βάσει καυσίμων: Εκτιμά τις εκπομπές με βάση τον τύπο και την ποσότητα των καυσίμων που καταναλώνονται.
- Προσέγγιση βάσει δραστηριότητας: Λαμβάνει υπόψη τους τύπους πλοίων, την ισχύ του κινητήρα, τους τρόπους λειτουργίας, το χρόνο σε κάθε τρόπο (πλεύση, ελιγμοί, στάθμευση) και τους συντελεστές φόρτωσης (Tokuslu, 2021; Entec, 2010).

Η μέθοδος με βάση τη δραστηριότητα είναι πιο ακριβής για μελέτες σε επίπεδο λιμένων και χρησιμοποιήθηκε στις εκτιμήσεις εκπομπών των λιμένων της Γεωργίας, προσφέροντας έναν λεπτομερή κατάλογο των τύπων και των πηγών εκπομπών.

5. Στρατηγικές μετριασμού

Ο μετριασμός των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία περιλαμβάνει:

- Τεχνολογικές καινοτομίες, όπως η αργή πλεύση, οι ενεργειακά αποδοτικοί σχεδιασμοί κύτους και τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων.
- Μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα, όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το υδρογόνο ή τα βιοκαύσιμα.
- Λειτουργικές αλλαγές, όπως η βελτιστοποίηση των διαδρομών και η χρήση ρεύματος από την ξηρά (cold ironing) κατά τη διάρκεια της παραμονής στο λιμάνι.
- Κανονιστικά πλαίσια, όπως το παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL του ΔΝΟ και το όριο θείου για το 2020.

Η μακροπρόθεσμη στρατηγική του IMO περιλαμβάνει τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008, αν και αυτό έχει επικριθεί ως ανεπαρκές για την ευθυγράμμιση με τη Συμφωνία του Παρισιού (Gössling et al., 2021).

2.2.3 Διαχείριση αποβλήτων στους λιμένες

Η διαχείριση αποβλήτων στους λιμένες αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη συμμόρφωση με ευρωπαϊκούς και διεθνείς κανονισμούς. Τα απόβλητα που παράγονται στους λιμένες προέρχονται τόσο από τις δραστηριότητες των πλοίων όσο και από τις ίδιες τις λειτουργίες του λιμένα, περιλαμβάνοντας υγρά και στερεά απόβλητα, επικίνδυνα υλικά, καθώς και λύματα από πλοία, εργασίες συντήρησης και εμπορικές δραστηριότητες.

Είδη αποβλήτων στους λιμένες

Τα κυριότερα είδη αποβλήτων που εντοπίζονται στους λιμένες περιλαμβάνουν:

- Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα από τις λιμενικές εγκαταστάσεις.
- Απόβλητα πλοίων, όπως λύματα (μαύρα και γκρι), απορρίμματα τροφίμων, απόβλητα πετρελαίου και λάσπη από καθαρισμούς δεξαμενών.
- Απόβλητα συντήρησης, όπως χρησιμοποιημένα χρώματα, διαλυτικά, ανταλλακτικά, φίλτρα.
- Απόβλητα επιβατηγών πλοίων, ειδικά από κρουαζιερόπλοια, τα οποία παράγουν δυσανάλογα μεγάλο όγκο απορριμμάτων σε σχέση με τον αριθμό τους στον παγκόσμιο στόλο (Roberts et al., 2023).

Η απουσία συστηματικού σχεδιασμού διαχείρισης αυτών των αποβλήτων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική ρύπανση του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος. Τα κρουαζιερόπλοια συγκαταλέγονται στους πιο ρυπογόνους τύπους πλοίων, ιδίως σε λιμενικές και παράκτιες αστικές περιοχές, καθώς συνδυάζουν υψηλές ενεργειακές ανάγκες, παρατεταμένη παραμονή σε λιμένες και μεγάλη παραγωγή αποβλήτων. Κατά τον ελλιμενισμό τους εξακολουθούν συχνά να απαιτούν σημαντική ισχύ για τη λειτουργία ξενοδοχειακών υπηρεσιών, κλιματισμού, φωτισμού και λοιπών εγκαταστάσεων, γεγονός που αυξάνει τις εκπομπές SO_x, NO_x και PM_{2.5}. Χαρακτηριστικά, μελέτη της Transport & Environment έδειξε ότι τα 218 κρουαζιερόπλοια που δραστηριοποιήθηκαν στην Ευρώπη το 2022 εξέπεμψαν περισσότερα οξείδια του θείου από ένα δισεκατομμύριο αυτοκίνητα, ενώ οι εκπομπές τους σε SO_x, NO_x και PM_{2.5} αυξήθηκαν σε σχέση με το 2019 (Transport & Environment, 2023). Παράλληλα, η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τα

κρουαζιερόπλοια παράγουν δυσανάλογα μεγάλο όγκο απορριμμάτων σε σχέση με το ποσοστό τους στον παγκόσμιο στόλο, ενισχύοντας την πίεση στις λιμενικές υποδομές διαχείρισης αποβλήτων (Roberts et al., 2023). Έτσι, η περιβαλλοντική τους επιβάρυνση δεν περιορίζεται μόνο στις αέριες εκπομπές, αλλά περιλαμβάνει και υγρά λύματα, στερεά απόβλητα και αυξημένο κίνδυνο ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Νομοθετικό πλαίσιο και κανονιστικές απαιτήσεις

Η Οδηγία (ΕΕ) 2019/883 προβλέπει ότι τα κράτη μέλη πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα πλοία παραδίδουν όλα τα απόβλητα σε κατάλληλες λιμενικές υποδομές πριν αποπλεύσουν και ότι οι λιμένες παρέχουν επαρκείς εγκαταστάσεις υποδοχής. Παράλληλα, το Παράρτημα V της MARPOL (IMO) απαγορεύει τη ρίψη απορριμμάτων στη θάλασσα, καθιστώντας επιτακτική την ύπαρξη αποτελεσματικής υποδομής στη στεριά.

Ωστόσο, σύμφωνα με τους Roberts et al. (2023), το 62% των λιμένων που συμμετείχαν σε παγκόσμια έρευνα δεν διαθέτουν σχέδιο ανακύκλωσης, γεγονός που υποδεικνύει χαμηλό βαθμό ενσωμάτωσης πρακτικών κυκλικής οικονομίας.

Επιπτώσεις ανεπαρκούς διαχείρισης

Η κακή ή ελλιπής διαχείριση αποβλήτων στους λιμένες έχει σοβαρές συνέπειες:

- Θαλάσσια ρύπανση μέσω παράνομων ή τυχαίων απορρίψεων αποβλήτων (π.χ. έρμα, λιπαντικά, πλαστικά).
- Ρύπανση του εδάφους και υπόγειων υδάτων από διαρροές επικίνδυνων ουσιών.
- Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία, λόγω παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών, βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών ενώσεων.
- Οπτική και οσμητική όχληση, η οποία επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ζωής στις παρακείμενες πόλεις (Gkoumas et al., 2023).

Οι Roberts et al. (2023) επισημαίνουν ότι τα απόβλητα που σχετίζονται με συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers), όπως η λάσπη, θα αυξηθούν ραγδαία τα επόμενα χρόνια, με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Σύγχρονες πρακτικές και τεχνολογικές λύσεις

Η αποτελεσματική διαχείριση αποβλήτων στους λιμένες βασίζεται στην εφαρμογή Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (EMS), στην ενίσχυση των υποδομών υποδοχής αποβλήτων και στην αξιοποίηση της τεχνολογίας για έξυπνη διαχείριση.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Gkoumas et al. (2023), οι τεχνολογίες Internet of Things (IoT) επιτρέπουν την παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της αποκομιδής απορριμμάτων, περιορίζοντας τη συχνότητα δρομολογίων και ενισχύοντας την αποδοτικότητα.

Επιπλέον, η χρήση ηλεκτρονικών πλατφορμών για την προγραμματισμένη παράδοση αποβλήτων από πλοία (pre-notification systems) μπορεί να περιορίσει καθυστερήσεις και να βελτιώσει την ανίχνευση μη συμμορφούμενων ενεργειών.

Κυκλική οικονομία και ανακύκλωση

Η ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας στη διαχείριση αποβλήτων των λιμένων είναι καθοριστική. Η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ανάκτηση υλικών όπως μέταλλα, έλαια και πλαστικά μπορούν να μειώσουν σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Σύμφωνα με τους Roberts et al. (2023), η πλειονότητα των λιμένων διαθέτει βασικές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης, αλλά η απουσία συγκεκριμένων στόχων και κινήτρων αποτελεί εμπόδιο για την εφαρμογή πιο εξελιγμένων κυκλικών πρακτικών.

Η συνεργασία με ιδιωτικούς φορείς ανακύκλωσης, η συμμετοχή σε δίκτυα ανταλλαγής αποβλήτων (waste exchange platforms) και η δημιουργία «πράσινων ζωνών» εντός του λιμανιού μπορούν να ενισχύσουν τη βιώσιμη διαχείριση.

Προτάσεις πολιτικής και βέλτιστες πρακτικές

Βασισμένοι στις μελέτες των Gkoumas et al. (2023) και Roberts et al. (2023), οι προτεινόμενες παρεμβάσεις περιλαμβάνουν:

- Θέσπιση σαφών στόχων για μείωση των αποβλήτων και αύξηση της ανακύκλωσης ανά λιμάνι.
- Υποχρεωτική εφαρμογή EMS με τακτικούς ελέγχους και λογοδοσία.

- Ενίσχυση της χρηματοδότησης για την εγκατάσταση σύγχρονων εγκαταστάσεων υποδοχής αποβλήτων.
- Δημιουργία συνεργειών με τις τοπικές αρχές και τις κοινότητες για διαφανή και αποδοτική διαχείριση.

Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο είναι η ανάγκη για διακρατική συνεργασία, καθώς οι λιμένες λειτουργούν ως διεθνείς κόμβοι και οι πρακτικές αποβλήτων τους επηρεάζουν παγκόσμια οικοσυστήματα.

Η διαχείριση αποβλήτων στους λιμένες είναι ένα πολυδιάστατο ζήτημα που συνδέεται με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την υγεία των πολιτών και την κοινωνική αποδοχή της λιμενικής λειτουργίας. Οι σύγχρονες πρακτικές διαχείρισης, η ενσωμάτωση τεχνολογιών και η υιοθέτηση κυκλικών προσεγγίσεων μπορούν να μετατρέψουν τους λιμένες από πηγές ρύπανσης σε πρότυπα περιβαλλοντικής καινοτομίας.

2.2.4 Χερσαίες μεταφορές και κυκλοφορία στον λιμένα

Οι χερσαίες μεταφορές αποτελούν σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής και ηχητικής ρύπανσης στους λιμένες, ιδίως σε μεγάλους εμπορευματικούς κόμβους όπου παρατηρείται έντονη κυκλοφορία φορτηγών, σιδηροδρομικών συρμών και οχημάτων εξυπηρέτησης. Η συγκέντρωση βαρέων οχημάτων σε περιορισμένο χώρο, σε συνδυασμό με φαινόμενα συμφόρησης στις πύλες εισόδου και εξόδου, οδηγεί σε αυξημένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{2.5} και PM₁₀) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), με άμεσες επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα των παρακείμενων αστικών περιοχών (OECD, 2011).

Μελέτες έχουν δείξει ότι σε αρκετούς μεγάλους λιμένες, οι εκπομπές από φορτηγά μπορούν να αντιστοιχούν σε ποσοστό άνω του 30% των συνολικών χερσαίων εκπομπών του λιμενικού συμπλέγματος, ιδιαίτερα όταν η διασύνδεση με σιδηροδρομικές μεταφορές είναι περιορισμένη (EPA, 2018). Η εξάρτηση από τις οδικές μεταφορές εντείνει επίσης το πρόβλημα της ηχορύπανσης και της δόνησης, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα ζωής των κατοίκων και αυξάνοντας τους κινδύνους για την υγεία, όπως καρδιοαναπνευστικές παθήσεις και άγχος (European Commission, 2020).

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων αυτών περιλαμβάνει πολιτικές προώθησης των συνδυασμένων μεταφορών (intermodal transport), επενδύσεις σε σιδηροδρομικές υποδομές, καθώς και την εισαγωγή καθαρών οχημάτων, όπως ηλεκτρικά ή υβριδικά φορτηγά για ενδο-λιμενικές μετακινήσεις. Παράλληλα, η ψηφιοποίηση των διαδικασιών logistics και η βελτιστοποίηση της διαχείρισης ροών φορτίων συμβάλλουν στη μείωση των χρόνων αναμονής και, κατά συνέπεια, των εκπομπών από κινητήρες σε κατάσταση λειτουργίας χωρίς κίνηση (UNCTAD, 2023). Έτσι, οι χερσαίες μεταφορές αναγνωρίζονται πλέον ως κρίσιμος τομέας παρέμβασης στις στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης των λιμένων.

2.2.5 Χειρισμός φορτίων και λιμενικός εξοπλισμός

Ο χειρισμός φορτίων στους λιμένες πραγματοποιείται μέσω εκτεταμένου μηχανολογικού εξοπλισμού, όπως γερανοί, περονοφόρα οχήματα, reach stackers και συστήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία σε μεγάλο βαθμό εξακολουθούν να λειτουργούν με πετρελαιοκινητήρες. Ο εξοπλισμός αυτός αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών αερίων ρύπων και σωματιδίων, ιδιαίτερα όταν λειτουργεί σε συνεχή βάση κατά τη διάρκεια υψηλής φορτοεκφόρτωσης (Corbett et al., 2010).

Εκτός από τις αέριες εκπομπές, ο χειρισμός φορτίων συνδέεται και με τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η διασπορά σκόνης από χύδην φορτία (π.χ. άνθρακας, μεταλλεύματα, σιτηρά) και ο κίνδυνος διαρροών επικίνδυνων ουσιών. Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να επηρεάσουν όχι μόνο την ποιότητα του αέρα αλλά και τα υδάτινα οικοσυστήματα μέσω επιφανειακής απορροής, συμβάλλοντας στη ρύπανση του λιμενικού υδάτινου σώματος (ESPO, 2022).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται τάση ηλεκτροδότησης του λιμενικού εξοπλισμού, με αντικατάσταση των ντιζελοκίνητων μηχανημάτων από ηλεκτρικά ή υβριδικά, ιδιαίτερα στους σταθερούς γεραμούς (RMG, STS cranes). Η μετάβαση αυτή μειώνει σημαντικά τις άμεσες εκπομπές και επιτρέπει καλύτερη ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα των λιμένων (IEA, 2023). Ωστόσο, η υψηλή αρχική επένδυση και οι ανάγκες σε ηλεκτρικές υποδομές αποτελούν ακόμη ανασταλτικούς παράγοντες για πολλούς λιμένες, ιδίως μικρότερης κλίμακας.

2.2.6 Βιομηχανικές και υποστηρικτικές δραστηριότητες (ναυπηγοεπισκευή, διύλιση κ.λπ.)

Πέραν των μεταφορικών και εμπορευματικών λειτουργιών, πολλοί λιμένες φιλοξενούν εκτεταμένες βιομηχανικές και υποστηρικτικές δραστηριότητες, οι οποίες ενισχύουν σημαντικά το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα της λιμενικής ζώνης. Η ναυπηγοεπισκευαστική δραστηριότητα, για παράδειγμα, συνδέεται με εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από βαφές και διαλύτες, παραγωγή επικίνδυνων αποβλήτων και πιθανή ρύπανση υδάτων από εργασίες καθαρισμού και αμμοβολής (OECD, 2011).

Σε ορισμένους λιμένες λειτουργούν επίσης εγκαταστάσεις αποθήκευσης και επεξεργασίας καυσίμων, δεξαμενές πετρελαιοειδών και, σε μεγαλύτερα βιομηχανικά λιμάνια, διυλιστήρια ή πετροχημικές μονάδες. Οι δραστηριότητες αυτές συνδέονται με εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, κινδύνους ατυχημάτων μεγάλης κλίμακας και μακροχρόνια ρύπανση εδαφών και υδάτων, καθιστώντας απαραίτητη την αυστηρή περιβαλλοντική παρακολούθηση (European Commission, 2020).

Παράλληλα, λειτουργίες όπως αποθήκευση επικίνδυνων φορτίων, πλύση δεξαμενών, συνεργεία συντήρησης και μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων συμβάλλουν σφαιρικά στη ρύπανση, συχνά με λιγότερο εμφανή αλλά εξίσου σημαντικό τρόπο. Η ολοκληρωμένη περιβαλλοντική διαχείριση λιμένων προϋποθέτει συνεπώς την ενσωμάτωση όλων αυτών των δραστηριοτήτων σε ενιαία στρατηγική βιωσιμότητας, με εφαρμογή συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (EMS), αυστηρούς ελέγχους εκπομπών και υιοθέτηση βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών (BAT) (ESPO, 2022). Με τον τρόπο αυτό, οι λιμένες μπορούν να περιορίσουν τις συστημικές περιβαλλοντικές πιέσεις που προκύπτουν από τη συγκέντρωση μεταφορικών και βιομηχανικών λειτουργιών στον ίδιο χώρο.

2.3 Επιπτώσεις της Ρύπανσης στην Υγεία του Ανθρώπου

Η περιβαλλοντική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα δημόσιας υγείας σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), περισσότεροι από

εννέα εκατομμύρια θάνατοι ετησίως συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την έκθεση σε επιβλαβείς ρύπους, όπως ατμοσφαιρικά σωματίδια, χημικές ουσίες, μολυσμένο νερό και τοξικά απόβλητα (Landrigan et al., 2018). Η ρύπανση επηρεάζει όλες τις φάσεις της ανθρώπινης ζωής, από την εμβρυϊκή περίοδο έως την ενηλικίωση και τη γήρανση, και σχετίζεται με μία σειρά από προβλήματα υγείας, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται αναπνευστικές νόσοι, καρδιαγγειακές παθήσεις, καρκίνοι, αναπτυξιακές και νευρολογικές διαταραχές. Η παρούσα εργασία εξετάζει αναλυτικά τις κυριότερες μορφές ρύπανσης και τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία, βασισμένη σε πρόσφατη και έγκυρη διεθνή βιβλιογραφία.

2.3.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Υγεία

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί την πλέον τεκμηριωμένη μορφή περιβαλλοντικής απειλής, με ευρύ φάσμα επιπτώσεων σε πολλαπλά συστήματα του οργανισμού. Οι βασικοί ρύποι περιλαμβάνουν τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5} και PM₁₀), το όζον, το διοξείδιο του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και τα πτητικά οργανικά συστατικά.

Αναπνευστικές Παθήσεις

Τα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} έχουν τη δυνατότητα να διεισδύουν βαθιά στους πνεύμονες και να φτάνουν έως την κυκλοφορία του αίματος. Η μακροχρόνια έκθεση σε αυτούς τους ρύπους έχει συσχετιστεί με αυξημένα ποσοστά Χρόνιας Αποφρακτικής Πνευμονοπάθειας, επιδείνωση του άσθματος και αυξημένη εμφάνιση λοιμώξεων του αναπνευστικού συστήματος (Health Effects Institute, 2020). Ειδικότερα για τα παιδιά, η έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των πνευμόνων. Η μελέτη των Gauderman et al. (2015) έδειξε ότι η βελτίωση της ποιότητας του αέρα είχε ως αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση στον πνευμονικό όγκο και τη λειτουργικότητα, γεγονός που υπογραμμίζει την άμεση σχέση μεταξύ ρύπανσης και αναπνευστικής υγείας.

Καρδιαγγειακά Νοσήματα

Η ρύπανση του αέρα συνδέεται επίσης στενά με καρδιαγγειακά προβλήματα. Η έκθεση στα PM_{2.5} προκαλεί συστηματική φλεγμονή, διαταραχή του ενδοθηλίου και αύξηση του οξειδωτικού στρες, παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση αρτηριοσκλήρυνσης (Newby et al., 2015). Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση αυξάνει τον κίνδυνο εμφράγματος του μυοκαρδίου και καρδιακής

ανεπάρκειας, ενώ έχει συσχετιστεί με υψηλότερα ποσοστά νοσηλειών λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων. Η επιβάρυνση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη σε άτομα τρίτης ηλικίας, τα οποία παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία στις μεταβολές της ποιότητας του αέρα.

Νευρολογικές και Ψυχικές Διαταραχές

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα έχει στραφεί στη μελέτη των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Η έκθεση σε PM_{2.5} και NO₂ έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης άνοιας, όπως έδειξε η μελέτη των Chen et al. (2017). Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί ότι τα παιδιά που ζουν σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης εμφανίζουν μειωμένη γνωστική λειτουργία και συγκέντρωση. Παράλληλα, η ρύπανση συσχετίζεται με ψυχικές διαταραχές, όπως κατάθλιψη και άγχος, λόγω της επίδρασης των ρύπων στη νευροφλεγμονή και στη χημεία του εγκεφάλου (Braithwaite et al., 2019).

2.3.2 Ρύπανση του Νερού και Δημόσια Υγεία

Η ρύπανση των υδάτων αποτελεί μια ακόμη σημαντική απειλή για τη δημόσια υγεία, επηρεάζοντας εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως. Περισσότερα από δύο δισεκατομμύρια άτομα δεν έχουν πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο λοιμώξεων και δηλητηριάσεων (WHO, 2022).

Λοιμώδη Νοσήματα από Μολυσμένο Νερό

Το μολυσμένο νερό αποτελεί βασικό φορέα παθογόνων μικροοργανισμών, όπως βακτηρίων, ιών και παρασίτων, τα οποία προκαλούν ασθένειες όπως χολέρα, δυσεντερία, ηπατίτιδα Α και Ε και οξεία γαστρεντερίτιδα. Σύμφωνα με τον ΠΟΥ (2022), περίπου 829.000 θάνατοι ετησίως οφείλονται σε διαρροϊκά νοσήματα που σχετίζονται με ανεπαρκή ύδρευση και υγιεινή, με τα παιδιά κάτω των πέντε ετών να αποτελούν την πιο ευάλωτη ομάδα.

Χημικοί Ρύποι και Βαρέα Μέταλλα

Η παρουσία βαρέων μετάλλων στο νερό, όπως μόλυβδος, υδράργυρος και αρσενικό, αποτελεί σοβαρή απειλή για την υγεία. Ο μόλυβδος, σύμφωνα με την EPA (2020), προκαλεί νευροτοξικότητα, καθυστέρηση ανάπτυξης και καρδιαγγειακά προβλήματα, με τα παιδιά να

επηρεάζονται περισσότερο λόγω της αυξημένης απορρόφησης του μετάλλου από τον οργανισμό τους. Ο υδράργυρος, όπως αναφέρουν οι Clarkson & Magos (2006), συσσωρεύεται στους θαλάσσιους οργανισμούς και μέσω της τροφικής αλυσίδας εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό, προκαλώντας βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Το αρσενικό, που απαντάται συχνά σε υπόγεια ύδατα, έχει συνδεθεί με καρκινογένεση, καρδιοπάθειες και δερματικές αλλοιώσεις (Smith et al., 2018).

Μικροπλαστικά και Αναδυόμενοι Ρύποι

Τα μικροπλαστικά αποτελούν μια νέα κατηγορία ρύπων, της οποίας οι επιπτώσεις μελετώνται όλο και περισσότερο. Έχουν εντοπιστεί στο ανθρώπινο αίμα και ακόμη και στον πλακούντα εγκύων γυναικών, γεγονός που υποδηλώνει τη δυνατότητά τους να εισέρχονται σε κρίσιμα βιολογικά συστήματα. Οι πρώτες μελέτες δείχνουν ότι προκαλούν διαταραχές στην ανοσολογική λειτουργία, φλεγμονή και ενδεχομένως ορμονικές διαταραχές (Leslie et al., 2022).

2.3.3 Ρύπανση του Εδάφους και Επιπτώσεις στην Τροφική Αλυσίδα

Η ρύπανση του εδάφους προέρχεται από ανεξέλεγκτη χρήση φυτοφαρμάκων, απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων και συσσώρευση βαρέων μετάλλων. Τα επιβαρυνόμενα εδάφη επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα των τροφίμων και συνεπώς την ανθρώπινη υγεία.

Φυτοφάρμακα και Ανθρώπινη Υγεία

Η χρήση χημικών φυτοπροστατευτικών ουσιών έχει οδηγήσει σε αυξημένη παρουσία τοξικών καταλοίπων σε φρούτα, λαχανικά και άλλα αγροτικά προϊόντα. Τα οργανοφωσφορικά φυτοφάρμακα, σύμφωνα με τους Mostafalou & Abdollahi (2017), έχουν συνδεθεί με νευροτοξικότητα και ενδοκρινικές διαταραχές, ενώ η χρόνια έκθεση έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο νόσου Πάρκινσον.

Βαρέα Μέταλλα στα Αγροτικά Προϊόντα

Τα βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο και ο μόλυβδος συσσωρεύονται στο έδαφος και απορροφώνται από τα φυτά, εισέρχοντας στην τροφική αλυσίδα. Το κάδμιο έχει συνδεθεί με νεφρική δυσλειτουργία και καρκινογένεση (Nordberg et al., 2018). Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί πως το

κάδμιο και ο μόλυβδος μπορούν να περάσουν τον πλακούντα, προκαλώντας βλάβες στο αναπτυσσόμενο έμβρυο.

2.3.4 Θόρυβος και Φωτορύπανση ως Μορφές Ρύπανσης

Οι μη χημικές μορφές ρύπανσης, όπως ο θόρυβος και η φωτορύπανση, αναγνωρίζονται πλέον ως σοβαροί επιβαρυντικοί παράγοντες για την υγεία.

Θόρυβος και Υγεία

Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου, ειδικά σε αστικές περιοχές, μπορεί να προκαλέσει αυξημένη αρτηριακή πίεση, διαταραχές ύπνου και καρδιαγγειακές αρρυθμίες. Ο ΠΟΥ (2018) επισημαίνει ότι τα παιδιά που εκτίθενται σε χρόνια ηχορύπανση εμφανίζουν μειωμένη σχολική επίδοση και προβλήματα συγκέντρωσης. Ο θόρυβος επηρεάζει τον οργανισμό μέσω της ενεργοποίησης του άξονα του στρες, οδηγώντας σε αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης.

Φωτορύπανση και Βιολογικοί Ρυθμοί

Η υπερβολική νυχτερινή έκθεση σε τεχνητό φωτισμό μπορεί να διαταράξει τη λειτουργία της μελατονίνης, της ορμόνης που ρυθμίζει τον κύκλο ύπνου-αφύπνισης. Σύμφωνα με τους Stevens et al. (2013), η χρόνια έκθεση σε έντονο νυχτερινό φως σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο παχυσαρκίας, μεταβολικού συνδρόμου και καρκίνου του μαστού. Η διαταραχή των κερκάδιων ρυθμών μπορεί επίσης να οδηγήσει σε προβλήματα ψυχικής υγείας και γνωστική έκπτωση.

2.3.5 Κοινωνικές και Οικονομικές Επιπτώσεις της Ρύπανσης στην Υγεία

Η ρύπανση πλήττει δυσανάλογα τις χαμηλού εισοδήματος κοινότητες, οι οποίες συχνά ζουν κοντά σε βιομηχανικές ζώνες ή περιοχές με κακή ποιότητα αέρα. Οι επιπτώσεις αυτές επιβαρύνουν τα συστήματα υγείας και περιορίζουν την οικονομική ανάπτυξη, καθώς αυξάνονται οι νοσηλείες και μειώνεται η παραγωγικότητα. Ο ΠΟΥ (2018) εκτιμά ότι το οικονομικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αντιστοιχεί περίπου στο 6% του παγκόσμιου ΑΕΠ, ποσοστό που αντικατοπτρίζει το βάρος των πρόωρων θανάτων, των χρόνιων νοσημάτων και της χαμένης παραγωγικής εργασίας.

2.3.6 Προστασία και Πρόληψη

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης απαιτεί συνδυασμό πολιτικών, τεχνολογικών και κοινωνικών παρεμβάσεων. Η εφαρμογή αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών, η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η βελτίωση των συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης μπορούν να μειώσουν σημαντικά την έκθεση του πληθυσμού σε επιβλαβείς ρύπους. Παράλληλα, σε ατομικό επίπεδο, η υιοθέτηση βιώσιμων συνηθειών μετακίνησης και η μείωση της χρήσης χημικών ουσιών μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Τελικά, η ρύπανση σε όλες τις μορφές της ασκεί βαθιά και πολύπλευρη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η ατμοσφαιρική, υδάτινη και εδαφική ρύπανση, καθώς και οι νέες μορφές ρύπανσης όπως ο θόρυβος, η φωτορύπανση και τα μικροπλαστικά, έχουν αποδεδειγμένες συνέπειες στην αναπνευστική, καρδιαγγειακή, νευρολογική και ενδοκρινική λειτουργία. Η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ξεκάθαρα ότι η προστασία της υγείας απαιτεί άμεση δράση σε επίπεδο πολιτικών, τεχνολογικών εξελίξεων και κοινωνικής ευαισθητοποίησης. Η μείωση της ρύπανσης δεν αποτελεί μόνο περιβαλλοντικό στόχο, αλλά θεμελιώδη προϋπόθεση για την ποιότητα και τη διάρκεια της ανθρώπινης ζωής.

2.4 Επιδημιολογικά Δεδομένα και Βιβλιογραφικά Ευρήματα

Η επιβάρυνση της υγείας από τη ρύπανση που συνδέεται με λιμενικές δραστηριότητες τεκμηριώνεται κυρίως μέσω (α) εκτιμήσεων επιπτώσεων υγείας (health impact assessments) που μεταφράζουν τα επίπεδα έκθεσης σε πρόωρη θνησιμότητα/νοσηρότητα και (β) επιδημιολογικών μελετών σε πληθυσμούς που κατοικούν ή εργάζονται κοντά σε λιμένες. Στο ευρωπαϊκό παράκτιο περιβάλλον, οι εκπομπές από ναυτιλία και λιμενικές λειτουργίες συμβάλλουν μετρήσιμα σε συγκεντρώσεις λεπτών σωματιδίων και NO₂, ρύπων που συνδέονται αιτιολογικά με καρδιοαναπνευστική θνησιμότητα και επιδείνωση χρόνιων νοσημάτων. Ενδεικτικά, σε ευρωπαϊκές παράκτιες περιοχές έχει αναφερθεί ότι οι εκπομπές της ναυτιλίας μπορούν να συνεισφέρουν περίπου 1–14% στα επίπεδα PM_{2.5} και 7–24% στα επίπεδα NO₂, με διαφοροποιήσεις ανά γεωγραφική ζώνη και μετεωρολογία (Viana et al., 2014). Τα ευρήματα αυτά

είναι κρίσιμα, διότι ακόμη και “μέτριες” ποσοστιαίες συνεισφορές σε αστικές περιοχές με ήδη υψηλό υπόβαθρο ρύπανσης μεταφράζονται σε σημαντικό φορτίο νόσου.

Στη λεκάνη της Μεσογείου, όπου συνυπάρχουν πυκνή ναυτιλιακή κίνηση και μεγάλες πόλεις-λιμένες, οι επιπτώσεις φαίνονται ιδιαίτερα έντονες. Μελέτη που συνέθεσε βιβλιογραφικά δεδομένα για οκτώ μεσογειακές πόλεις εκτίμησε ότι η μακροχρόνια έκθεση σε PM_{2.5} προερχόμενα από ναυτιλιακές πηγές αντιστοιχεί σε περίπου 430 (95% CI: 220–650) πρόωρους θανάτους ετησίως συνολικά, με σημαντικό βάρος σε πόλεις όπως η Βαρκελώνη και η Αθήνα (Viana et al., 2020). Το στοιχείο αυτό έχει διπλή σημασία: αφενός αναδεικνύει ότι οι επιπτώσεις δεν είναι μόνο “τοπικές” γύρω από τον ντόκο, αφετέρου δείχνει πως ρυθμιστικές αλλαγές στα καύσιμα/εκπομπές μπορούν να αποδώσουν μετρήσιμα οφέλη, καθώς η ίδια ανάλυση συσχετίζει αυστηρότερα πρότυπα καυσίμων με μέση μείωση των PM_{2.5}-αποδιδόμενων πρόωρων θανάτων κατά ~15% (Viana et al., 2020).

Σε παγκόσμια κλίμακα, πρόσφατες συνθέσεις της βιβλιογραφίας επισημαίνουν ότι η εκτίμηση της θνησιμότητας από “shipping-related” ρύπανση διαφέρει ανάλογα με τις μεθοδολογικές επιλογές (μοντέλα διασποράς, συναρτήσεις κινδύνου, ορισμός έκθεσης). Παρ’ όλα αυτά, η συνολική εικόνα συγκλίνει ότι οι εκπομπές από ναυτιλία/λιμένες συνεισφέρουν σε μετρήσιμη περίσσεια θνησιμότητας και νοσηρότητας, κυρίως μέσω PM_{2.5} (Kiihamäki et al., 2024). Επιπλέον, ανασκοπήσεις για την παράκτια ατμοσφαιρική ρύπανση υπογραμμίζουν πως σημαντικό ποσοστό των εκπομπών συμβαίνει κοντά στη στεριά, αυξάνοντας την πιθανότητα έκθεσης μεγάλων πληθυσμών (Chen et al., 2019).

Στο επίπεδο πληθυσμών-στόχων, η βιβλιογραφία αναδεικνύει δύο ομάδες υψηλής ευαλωτότητας: (1) κατοίκους λιμενικών/παρακείμενων αστικών περιοχών και (2) εργαζόμενους στον λιμένα/αλυσίδα logistics. Η επιβάρυνση εκδηλώνεται ως αυξημένα επεισόδια άσθματος, επιδείνωση ΧΑΠ, αυξημένες εισαγωγές για καρδιαγγειακά, αλλά και χρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους/θόρυβο που επιδρά στο στρες και στον ύπνο. Σημαντικό είναι επίσης το ζήτημα της περιβαλλοντικής ανισότητας: οι λιμένες συχνά γειτνιάζουν με περιοχές χαμηλότερου εισοδήματος, όπου συνυπάρχουν πολλαπλές πηγές ρύπανσης (οδικές/σιδηροδρομικές μεταφορές, βιομηχανία, αποθήκες), ενισχύοντας αθροιστικά το φορτίο νόσου. Τα παραπάνω ευρήματα στηρίζουν τη σκοπιμότητα της ενότητας 2.4, διότι συνδέουν τις πηγές ρύπανσης με μετρήσιμους

δείκτες δημόσιας υγείας και τεκμηριώνουν γιατί οι παρεμβάσεις σε λιμένες έχουν “απόδοση” σε επίπεδο πληθυσμού.

2.5 Κανονιστικό Πλαίσιο και Διεθνείς Πρωτοβουλίες

Το κανονιστικό πλαίσιο για τη ρύπανση από ναυτιλία και λιμενικές δραστηριότητες διαμορφώνεται σε διεθνές επίπεδο κυρίως από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) και σε ευρωπαϊκό επίπεδο από ένα πλέγμα πολιτικών που στοχεύουν τόσο στην τοπική ποιότητα αέρα όσο και στην απανθρακοποίηση. Κεντρικός πυλώνας είναι το MARPOL Annex VI, το οποίο ρυθμίζει εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από πλοία. Η παγκόσμια μείωση του επιτρεπόμενου θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα στο 0,50% από 1/1/2020 (“IMO 2020 sulphur cap”) αποτέλεσε κομβική παρέμβαση για SO_x και σωματίδια (IMO, 2019/2020). Επιπλέον, οι Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) επιβάλλουν αυστηρότερους κανόνες: χαρακτηριστικά, η Μεσόγειος αναγνωρίστηκε ως Emission Control Area για SO_x (Med SO_x ECA) με ισχύ από 1 Μαΐου 2025 και ανώτατο όριο θείου 0,10%, με στόχο σημαντικά οφέλη για την υγεία και το περιβάλλον σε μία ιδιαίτερα πυκνή ναυτιλιακή λεκάνη (IMO, 2025· European Commission, 2025). Παράλληλα, στο πεδίο του κλίματος, η υιοθέτηση της 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships ενίσχυσε τη διεθνή φιλοδοξία με κατεύθυνση “net-zero” εκπομπές από τη διεθνή ναυτιλία “by or around 2050”, καθορίζοντας πλαίσιο δράσεων και εργαλείων πολιτικής για τα επόμενα έτη (IMO, 2023).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η ρύθμιση κινείται συμπληρωματικά: (α) παρακολούθηση/λογοδοσία εκπομπών, (β) τιμολόγηση άνθρακα, (γ) πρότυπα καυσίμων και (δ) υποδομές καθαρής ενέργειας στους λιμένες. Το MRV (Regulation (EU) 2015/757) θέσπισε σύστημα παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης εκπομπών για μεγάλα πλοία που προσεγγίζουν λιμένες της ΕΕ, λειτουργώντας ως “βάση δεδομένων” για πολιτικές μείωσης (European Union, 2015; European Union, n.d.). Πάνω σε αυτή τη λογική, η ένταξη της ναυτιλίας στο EU ETS εισάγει υποχρέωση παράδοσης δικαιωμάτων εκπομπής με σταδιακή εφαρμογή: 2025 για 40% των εκπομπών που αναφέρθηκαν για το 2024, 2026 για 70% και από το 2027 για 100%, με πρώτη προθεσμία παράδοσης τον Σεπτέμβριο 2025 για τις εκπομπές του 2024 (European Commission, n.d.; European Commission, n.d.-FAQ). Παράλληλα, το FuelEU Maritime (Regulation (EU) 2023/1805) θέτει ανώτατα όρια στη μέση ετήσια ένταση GHG της ενέργειας που χρησιμοποιούν

πλοία που προσεγγίζουν ευρωπαϊκούς λιμένες, ξεκινώντας από στόχο 2% το 2025 και κλιμάκωση έως 80% το 2050 (European Commission, n.d.; European Union, 2023). Το FuelEU εισάγει επίσης ρυθμίσεις για μείωση ρύπανσης εντός λιμένων μέσω υποχρέωσης χρήσης on-shore power supply (OPS) ή ισοδύναμων τεχνολογιών μηδενικών εκπομπών για επιβατηγά και containerships στον ντόκο από 1/1/2030 (σε λιμένες που καλύπτονται από AFIR) και από 1/1/2035 ευρύτερα όπου υπάρχει διαθέσιμη υποδομή OPS (European Commission, n.d.; European Union, 2023).

Η ανάπτυξη της ίδιας της υποδομής καθορίζεται από το AFIR (Regulation (EU) 2023/1804), που προβλέπει ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων/ηλεκτροδότησης στις μεταφορές και ενισχύει την κατεύθυνση για OPS σε βασικούς λιμένες του δικτύου TEN-T (European Union, 2023a). Στην πράξη, ωστόσο, η εφαρμογή αντιμετωπίζει προκλήσεις (τεχνικές, χωρητικότητας δικτύου, κόστους): ενδεικτικά, αναλύσεις για το 2030 δείχνουν ότι αρκετοί ευρωπαϊκοί λιμένες υστερούν στην εγκατάσταση OPS, δημιουργώντας κίνδυνο ασυμμετρίας μεταξύ υποχρεώσεων πλοίων και ετοιμότητας λιμένων (Reuters, 2025).

Τέλος, για τα απόβλητα και τη θαλάσσια ρύπανση, η Directive (EU) 2019/883 για τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων επιδιώκει να περιορίσει τις απορρίψεις στη θάλασσα μέσω υποχρέωσης παράδοσης αποβλήτων σε λιμένες, προ-γνωστοποιήσεων και μηχανισμών ανάκτησης κόστους (European Union, 2019). Συμπληρωματικά προς τη νομοθεσία, διεθνείς πρωτοβουλίες λιμένων λειτουργούν ως “επιταχυντές” καλών πρακτικών: το World Ports Climate Action Program (WPCAP) προωθεί συνεργασίες για OPS, εναλλακτικά καύσιμα και δράσεις ποιότητας αέρα, ενώ ο Environmental Ship Index (ESI) του IAPH λειτουργεί ως σύστημα κινήτρων (π.χ. μειώσεις λιμενικών τελών) για πλοία με καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις, ενισχύοντας την αλλαγή συμπεριφοράς σε επίπεδο αγοράς (IAPH, n.d.; WPCAP, n.d.). Συνολικά, το κανονιστικό πλαίσιο μετακινείται από μεμονωμένες ρυθμίσεις ρύπων προς μια ολοκληρωμένη προσέγγιση “λιμένα–πλοίου–αλυσίδα logistics”, που συνδέει δημόσια υγεία, κλίμα και ανταγωνιστικότητα.

2.5.1 Κανονιστικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση όλων των μορφών ρύπανσης στους λιμένες

Το διεθνές και ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τη λειτουργία των λιμένων έχει ως βασικό στόχο την ολιστική προστασία του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος. Αν και τα τελευταία έτη η έμφαση έχει στραφεί κυρίως στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία, εξίσου κρίσιμες είναι οι ρυθμίσεις που αφορούν τις υπόλοιπες μορφές ρύπανσης, όπως τα λύματα, τα στερεά απορρίμματα, τα επικίνδυνα κατάλοιπα και τα απόβλητα φορτίου. Ο κεντρικός άξονας αυτών των ρυθμίσεων είναι η Διεθνής Σύμβαση MARPOL 73/78 του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, η οποία θέτει δεσμευτικούς κανόνες τόσο για τα πλοία όσο και για τις λιμενικές αρχές (IMO, 2022).

Ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργία των λιμένων έχουν τα Παραρτήματα IV και V της MARPOL. Το Παράρτημα IV ρυθμίζει τη διαχείριση των λυμάτων (sewage), ενώ το Παράρτημα V τη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων (garbage). Και στα δύο Παραρτήματα αναφέρεται ρητά ότι τα κράτη οφείλουν να διασφαλίζουν την ύπαρξη «επαρκών και κατάλληλων εγκαταστάσεων υποδοχής» στους λιμένες, ώστε τα πλοία να μπορούν να παραδίδουν τα απόβλητά τους χωρίς αδικαιολόγητη καθυστέρηση (IMO, 2022). Η υποχρέωση αυτή αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο πρόληψης της θαλάσσιας ρύπανσης, καθώς η έλλειψη υποδομών έχει αναγνωριστεί ως βασικός λόγος παράνομων απορρίψεων στη θάλασσα (Roberts et al., 2023).

Το Παράρτημα IV απαγορεύει την ανεξέλεγκτη απόρριψη λυμάτων, εκτός εάν πληρούνται αυστηρές προϋποθέσεις επεξεργασίας και απόστασης από την ακτή. Τα λιμάνια οφείλουν να διαθέτουν δίκτυα συλλογής και σύνδεσης με βιολογικούς καθαρισμούς ή ειδικές μονάδες επεξεργασίας. Η σημασία της ρύθμισης αυτής είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη δημόσια υγεία, καθώς τα ανεπεξέργαστα λύματα περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς και θρεπτικά συστατικά που προκαλούν ευτροφισμό και τοξικά φαινόμενα στα παράκτια οικοσυστήματα (UNEP, 2021).

Αντίστοιχα, το Παράρτημα V εισάγει σχεδόν καθολική απαγόρευση απόρριψης απορριμμάτων στη θάλασσα, συμπεριλαμβανομένων πλαστικών, τροφικών υπολειμμάτων και υπολειμμάτων φορτίου. Η εφαρμογή του Παραρτήματος βασίζεται στην αρχή ότι όλα τα πλοία πρέπει να παραδίδουν τα απορρίμματά τους σε λιμενικές εγκαταστάσεις. Ωστόσο, έρευνες δείχνουν ότι το 62% των λιμένων διεθνώς δεν διαθέτει ολοκληρωμένο σχέδιο ανακύκλωσης, γεγονός που

υπονομεύει την αποτελεσματικότητα του μέτρου (Roberts et al., 2023). Η ανεπάρκεια υποδομών οδηγεί σε συσσώρευση πλαστικών και μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον, με σοβαρές επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα (Ghosh et al., 2021).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Οδηγία (ΕΕ) 2019/883 για τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων ενσωματώνει τις απαιτήσεις της MARPOL και εισάγει το σύστημα «no special fee», σύμφωνα με το οποίο το κόστος παράδοσης αποβλήτων ενσωματώνεται στα λιμενικά τέλη ώστε να μην αποθαρρύνεται η νόμιμη παράδοση (European Parliament, 2019). Η οδηγία επιβάλλει επίσης την κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων για κάθε λιμένα, την υποχρεωτική προαναγγελία αποβλήτων από τα πλοία και την ηλεκτρονική παρακολούθηση των ροών.

Πέρα από τα λύματα και τα απορρίμματα, σημαντικό πεδίο ρύθμισης αποτελεί η διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων όπως κατάλοιπα πετρελαίου, sludge από scrubbers και χημικά υπολείμματα φορτίου. Το Παράρτημα I της MARPOL για τα πετρελαιοειδή και το Παράρτημα II για τις υγρές επιβλαβείς ουσίες επιβάλλουν επίσης υποχρεώσεις στους λιμένες για ειδικές εγκαταστάσεις παραλαβής (IMO, 2022). Η αύξηση της χρήσης συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers) έχει δημιουργήσει νέες ροές αποβλήτων υψηλής τοξικότητας, για τις οποίες πολλοί λιμένες δεν είναι επαρκώς προετοιμασμένοι (Roberts et al., 2023).

Το κανονιστικό πλαίσιο επεκτείνεται και σε θέματα διαχείρισης έρματος μέσω της Σύμβασης BWM του IMO, με στόχο την αποτροπή εισαγωγής χωροκατακτητικών ειδών. Αν και αφορά κυρίως τα πλοία, οι λιμένες καλούνται να διαθέτουν υποδομές ελέγχου και υποστήριξης (IMO, 2021). Παράλληλα, ευρωπαϊκές πολιτικές όπως η Οδηγία-Πλαίσιο για τα Θαλάσσια Ύδατα (2008/56/ΕΚ) και η Οδηγία για τα Ύδατα Κολύμβησης εντάσσουν τις λιμενικές πιέσεις σε ευρύτερα σχέδια περιβαλλοντικής διαχείρισης (European Commission, 2020).

Παρά τη θεσμική πληρότητα, η εφαρμογή παρουσιάζει σημαντικά κενά. Πολλοί λιμένες, ιδίως μικροί και περιφερειακοί, δεν διαθέτουν επαρκείς εγκαταστάσεις ή εξειδικευμένο προσωπικό (Gkoumas et al., 2023). Η έλλειψη διαφάνειας στα κόστη, οι γραφειοκρατικές διαδικασίες και η ανεπαρκής επιθεώρηση οδηγούν σε χαμηλά ποσοστά παράδοσης αποβλήτων (Roberts et al., 2023).

Οι σύγχρονες τάσεις πολιτικής προωθούν την ψηφιοποίηση μέσω συστημάτων IoT για ιχνηλασιμότητα αποβλήτων, την ενσωμάτωση αρχών κυκλικής οικονομίας και τη διασύνδεση

λιμένων–πόλεων (Gkoumas et al., 2023). Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και η στρατηγική “Fit for 55” ενθαρρύνουν τη δημιουργία «πράσινων λιμένων» με ολοκληρωμένη διαχείριση όλων των ροών ρύπανσης (European Commission, 2020).

Συμπερασματικά, το κανονιστικό πλαίσιο δεν περιορίζεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά καλύπτει ολόκληρο το φάσμα αποβλήτων και ρύπων. Τα Παραρτήματα IV και V της MARPOL αποτελούν τον πυρήνα για τη διαχείριση λυμάτων και απορριμμάτων, επιβάλλοντας σαφείς υποχρεώσεις στους λιμένες για επαρκείς υποδομές. Η αποτελεσματικότητα όμως εξαρτάται από την πραγματική εφαρμογή, τη χρηματοδότηση και την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, ώστε οι λιμένες να μετατραπούν από εστίες ρύπανσης σε κόμβους περιβαλλοντικής προστασίας.

2.6 Πράσινα λιμάνια και μελέτη περίπτωσης: το λιμάνι του Ρότερνταμ

Τα πράσινα λιμάνια συνδέονται με μια νέα αντίληψη λιμενικής διαχείρισης, όπου η οικονομική λειτουργία του λιμένα συνδυάζεται με τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την προστασία της δημόσιας υγείας. Η έννοια αυτή δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση καθαρότερων καυσίμων ή στην εγκατάσταση τεχνολογικού εξοπλισμού χαμηλών εκπομπών. Περιλαμβάνει ευρύτερες πρακτικές, όπως η συστηματική παρακολούθηση των εκπομπών, η διαχείριση αποβλήτων, η μείωση της ηχορύπανσης, η ηλεκτροδότηση των πλοίων από την ξηρά, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ λιμενικών αρχών, ναυτιλιακών εταιρειών, τοπικών κοινωνιών και δημόσιων φορέων. Σύμφωνα με την ESPO, η μετάβαση προς πιο πράσινες λιμενικές πρακτικές απαιτεί λιμενικούς οδικούς χάρτες, μετρήσιμους στόχους και ενεργή εμπλοκή όλων των φορέων της λιμενικής ζώνης, καθώς οι λιμενικές αρχές δεν μπορούν να επιτύχουν τη βιώσιμη μετάβαση χωρίς συνεργασία με τις επιχειρήσεις και την τοπική κοινότητα (ESPO, 2021).

Η επιστημονική βιβλιογραφία δείχνει ότι η αξιολόγηση ενός πράσινου λιμανιού βασίζεται κυρίως σε δείκτες περιβαλλοντικής απόδοσης, ενεργειακής κατανάλωσης, εκπομπών και ποιότητας διαχείρισης. Οι Fei, Shi και Pan (2025), σε συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, τονίζουν ότι η έρευνα για τα πράσινα λιμάνια έχει στραφεί τα τελευταία χρόνια σε πιο σύνθετα συστήματα αξιολόγησης, τα οποία συνδυάζουν περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς δείκτες. Με παρόμοιο τρόπο, οι Lam και Notteboom (2014) επισημαίνουν ότι οι λιμενικές αρχές μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικά εργαλεία περιβαλλοντικής πολιτικής, όπως οικονομικά κίνητρα,

περιβαλλοντική παρακολούθηση, κανονισμούς πρόσβασης και συνεργατικά σχήματα με τις επιχειρήσεις του λιμένα. Έτσι, το πράσινο λιμάνι δεν αντιμετωπίζεται ως μεμονωμένη τεχνική λύση, αλλά ως ολοκληρωμένο μοντέλο περιβαλλοντικής διακυβέρνησης (Lam & Notteboom, 2014· Fei et al., 2025).

Χαρακτηριστική περίπτωση πράσινης λιμενικής μετάβασης είναι το λιμάνι του Ρότερνταμ, ένα από τα σημαντικότερα λιμενικά και βιομηχανικά συμπλέγματα της Ευρώπης. Η σημασία του φαίνεται από την κλίμακα λειτουργίας του: η λιμενική περιοχή καλύπτει περίπου 12.500 εκτάρια, εκτείνεται σε μήκος άνω των 40 χιλιομέτρων και διαχειρίζεται περίπου 428 εκατομμύρια τόνους φορτίου ετησίως, με δεκάδες χιλιάδες αφίξεις θαλάσσιων και εσωτερικών πλοίων κάθε χρόνο (Port of Rotterdam Authority, n.d.-a). Η μεγάλη αυτή δραστηριότητα συνεπάγεται αυξημένες περιβαλλοντικές πιέσεις, αλλά ταυτόχρονα καθιστά το Ρότερνταμ κρίσιμο παράδειγμα για το πώς ένας μεγάλος λιμένας μπορεί να μετασχηματιστεί σε κόμβο ενεργειακής μετάβασης.

Η στρατηγική του Ρότερνταμ στηρίζεται στον στόχο της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Το λιμάνι επιδιώκει τη μείωση των εκπομπών τόσο στις δικές του λειτουργίες όσο και στην ευρύτερη αλυσίδα αξίας, μέσα από την ενεργειακή μετάβαση, τη βιωσιμότερη οργάνωση των logistics και την προώθηση καινοτόμων λύσεων (Port of Rotterdam Authority, 2026). Κεντρικό μέτρο είναι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά, ώστε τα πλοία να μη χρειάζεται να λειτουργούν τους βοηθητικούς τους κινητήρες κατά τον ελλιμενισμό. Το Ρότερνταμ έχει θέσει ως στόχο η παροχή ρεύματος από την ξηρά να γίνει συνήθης πρακτική για σημαντικό μέρος της ναυτιλίας έως το 2030, με μακροπρόθεσμη φιλοδοξία τον μηδενικών εκπομπών ελλιμενισμό έως το 2050 (Port of Rotterdam Authority, n.d.-b).

Η περίπτωση του Ρότερνταμ έχει ιδιαίτερη σημασία και λόγω της σύνδεσής της με την ευρωπαϊκή πολιτική για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας. Ο κανονισμός FuelEU Maritime προβλέπει σταδιακή μείωση της έντασης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ενέργεια που χρησιμοποιούν τα πλοία, ενώ από το 2030 τα επιβατηγά και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων θα πρέπει να χρησιμοποιούν ηλεκτροδότηση από την ξηρά ή άλλη τεχνολογία μηδενικών εκπομπών σε συγκεκριμένους ευρωπαϊκούς λιμένες (European Commission, 2025).

Με αυτή την έννοια, το Ρότερνταμ λειτουργεί ως παράδειγμα λιμένα που δεν περιορίζεται στην τυπική συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές απαιτήσεις, αλλά επιχειρεί να μετατρέψει την περιβαλλοντική μετάβαση σε βασικό στοιχείο της μελλοντικής του ανταγωνιστικότητας.

Συνολικά, τα πράσινα λιμάνια προβάλλουν ως αναγκαία απάντηση στις περιβαλλοντικές και υγειονομικές πιέσεις που προκαλούν οι λιμενικές δραστηριότητες. Η μελέτη περίπτωσης του Ρότερνταμ δείχνει ότι η πράσινη μετάβαση απαιτεί συνδυασμό τεχνολογικών επενδύσεων, κανονιστικής συμμόρφωσης, στρατηγικού σχεδιασμού και συνεργασίας μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Η εμπειρία του μπορεί να αξιοποιηθεί ως πρότυπο και για άλλους μεγάλους λιμένες, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η λιμενική ρύπανση επηρεάζει άμεσα τον αστικό πληθυσμό και την ποιότητα ζωής των παράκτιων κοινοτήτων.

3. Μεθοδολογία

Η παρούσα μελέτη βασίζεται αποκλειστικά στη μέθοδο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, με στόχο τη συστηματική διερεύνηση και σύνθεση της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης σχετικά με τις επιπτώσεις της περιβαλλοντικής ρύπανσης από λιμενικές δραστηριότητες στην ανθρώπινη υγεία. Η επιλογή αυτής της μεθοδολογικής προσέγγισης κρίθηκε καταλληλότερη, διότι το αντικείμενο χαρακτηρίζεται από μεγάλο όγκο ετερογενών ερευνητικών δεδομένων, τα οποία προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία όπως η περιβαλλοντική επιστήμη, η επιδημιολογία, η ιατρική, η ναυτιλιακή πολιτική και η δημόσια υγεία. Μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση καθίσταται δυνατή η συγκριτική αποτίμηση των ευρημάτων, η ανάδειξη συγκλίσεων και αποκλίσεων μεταξύ μελετών και ο εντοπισμός ερευνητικών κενών.

3.1 Ερευνητικός σχεδιασμός

Ο ερευνητικός σχεδιασμός ακολούθησε τις αρχές της συστηματικής και κριτικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Η διαδικασία οργανώθηκε σε διαδοχικά στάδια: (α) προσδιορισμός ερευνητικών ερωτημάτων, (β) αναζήτηση πηγών, (γ) επιλογή και αξιολόγηση υλικού, (δ) θεματική ταξινόμηση και (ε) σύνθεση των δεδομένων. Κεντρικό ερώτημα αποτέλεσε το πώς και σε ποιο βαθμό οι διαφορετικές μορφές ρύπανσης που συνδέονται με τους λιμένες επηρεάζουν την υγεία των

ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται σε γειτονικές περιοχές. Επιμέρους ερωτήματα αφορούσαν τις κύριες πηγές ρύπανσης, τους μηχανισμούς έκθεσης, τα επιδημιολογικά ευρήματα και την αποτελεσματικότητα των μέτρων πρόληψης.

Η ανασκόπηση είχε χαρακτήρα τόσο περιγραφικό όσο και ερμηνευτικό. Δεν περιορίστηκε σε απλή παράθεση αποτελεσμάτων, αλλά επιδιώχθηκε η κριτική προσέγγιση των μεθόδων των επιμέρους ερευνών, η αξιολόγηση της αξιοπιστίας τους και η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τα συμπεράσματά τους, όπως η γεωγραφική περιοχή, ο τύπος λιμένα, οι χρησιμοποιούμενοι δείκτες ρύπανσης και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των πληθυσμών.

3.2 Πηγές και στρατηγική αναζήτησης

Για τη συλλογή του υλικού χρησιμοποιήθηκαν διεθνείς βάσεις δεδομένων και επιστημονικά αποθετήρια, όπως PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect και Google Scholar. Παράλληλα αξιοποιήθηκαν εκθέσεις διεθνών οργανισμών (ΠΟΥ, ΙΜΟ, UNEP, ΕΕΑ), ευρωπαϊκές οδηγίες, εθνικές μελέτες και πρακτικά συνεδρίων. Η αναζήτηση πραγματοποιήθηκε κυρίως στην αγγλική και ελληνική γλώσσα, με χρονικό εύρος από το 2000 έως σήμερα, ώστε να συμπεριληφθούν οι πιο σύγχρονες επιστημονικές εξελίξεις.

Χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί λέξεων-κλειδιών όπως: *port pollution, shipping emissions, PM2.5 health effects, maritime noise, port waste management, heavy metals ports, epidemiology coastal populations, environmental health ports*. Η στρατηγική αναζήτησης βασίστηκε στη λογική Boolean (AND/OR) και προσαρμόστηκε ανά βάση δεδομένων. Αρχικά εντοπίστηκαν περίπου 420 πηγές· μετά την αφαίρεση διπλοεγγραφών και την προκαταρκτική διαλογή βάσει τίτλου και περίληψης, επιλέχθηκαν 165 για πλήρη ανάγνωση.

3.3 Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού

Για να διασφαλιστεί η εγκυρότητα της ανασκόπησης τέθηκαν σαφή κριτήρια:

Κριτήρια ένταξης

- Επιστημονικά άρθρα με σύστημα αξιολόγησης (peer review).
- Μελέτες που αφορούν άμεσα λιμενικές ή ναυτιλιακές πηγές ρύπανσης.

- Έρευνες με σαφή αναφορά σε επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.
- Επιδημιολογικές, τοξικολογικές ή μελέτες εκτίμησης κινδύνου.
- Δημοσιεύσεις μετά το 2000.

Κριτήρια αποκλεισμού

- Μελέτες γενικής αστικής ρύπανσης χωρίς ειδική αναφορά σε λιμένες.
- Άρθρα γνώμης χωρίς εμπειρικά δεδομένα.
- Έρευνες αποκλειστικά οικολογικού ενδιαφέροντος χωρίς σύνδεση με υγεία.
- Μη προσβάσιμα πλήρη κείμενα.

Η εφαρμογή των κριτηρίων αυτών επέτρεψε τη συγκρότηση αξιόπιστου και συναφούς δείγματος βιβλιογραφίας.

3.4 Διαδικασία ανάλυσης δεδομένων

Η ανάλυση ακολούθησε τη μέθοδο της θεματικής σύνθεσης. Κάθε μελέτη κωδικοποιήθηκε ως προς: τύπο ρύπανσης, πληθυσμό στόχο, μεθοδολογία, βασικά ευρήματα, περιορισμούς και προτεινόμενα μέτρα. Δημιουργήθηκαν πίνακες χαρτογράφησης ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ ερευνών διαφορετικών χωρών.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε:

- στη διάκριση μεταξύ βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιπτώσεων,
- στη διαφοροποίηση μεταξύ κατοίκων και εργαζομένων,
- στον ρόλο κοινωνικοοικονομικών παραγόντων,
- στη μεθοδολογία μέτρησης ρύπων (σταθμοί, μοντέλα διασποράς, βιοδείκτες).

Η σύνθεση δεν περιορίστηκε σε ποσοτική καταμέτρηση αποτελεσμάτων, αλλά επιδίωξε την ερμηνευτική κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων η λιμενική ρύπανση μεταφράζεται σε νοσηρότητα.

3.5 Εγκυρότητα και αξιοπιστία

Για τη διασφάλιση της εγκυρότητας ακολουθήθηκαν διεθνώς αποδεκτές πρακτικές:

- χρήση πολλαπλών βάσεων,
- διασταύρωση δεδομένων από διαφορετικούς τύπους πηγών,
- κριτική αξιολόγηση της ποιότητας κάθε μελέτης (μέγεθος δείγματος, έλεγχος συγχυτικών παραγόντων, στατιστικές μέθοδοι).

Αναγνωρίζεται ότι οι επιδημιολογικές μελέτες παρουσιάζουν ετερογένεια και συχνά δυσκολία αιτιολογικής τεκμηρίωσης. Για τον λόγο αυτό τα συμπεράσματα διατυπώνονται με προσοχή και δίνεται έμφαση στη συγκλίνουσα τεκμηρίωση.

3.6 Ηθικά ζητήματα

Καθώς η έρευνα είναι βιβλιογραφική, δεν προέκυψαν ζητήματα δεοντολογίας σχετικά με προσωπικά δεδομένα. Ωστόσο τηρήθηκαν αρχές ακαδημαϊκής δεοντολογίας: ακριβής αναφορά πηγών, αποφυγή λογοκλοπής, αντικειμενική παρουσίαση αντικρουόμενων απόψεων.

3.7 Περιορισμοί της μεθόδου

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς:

1. **Εξάρτηση από υπάρχουσες μελέτες** – περιοχές με λιγότερη έρευνα υποεκπροσωπούνται.
2. **Ετερογένεια μεθόδων** – διαφορετικοί δείκτες ρύπανσης δυσχεραίνουν τη σύγκριση.
3. **Γλωσσικός περιορισμός** – κυρίως αγγλόφωνες πηγές.
4. **Πιθανότητα μεροληψίας δημοσίευσης.**

Παρά τα παραπάνω, η μέθοδος θεωρείται η καταλληλότερη για ολιστική αποτύπωση του φαινομένου.

3.8 Συμβολή της μεθοδολογίας στους στόχους

Η επιλεγμένη μεθοδολογία επιτρέπει:

- ολιστική κατανόηση των μορφών ρύπανσης,
- συσχέτιση περιβαλλοντικών και υγειονομικών δεδομένων,
- ανάδειξη καλών πρακτικών λιμενικής διαχείρισης,
- τεκμηρίωση προτάσεων πολιτικής.

Η συστηματική σύνθεση προσφέρει επιστημονική βάση για λήψη αποφάσεων και για μελλοντική πρωτογενή έρευνα.

3.9 Δομή παρουσίασης αποτελεσμάτων

Τα ευρήματα οργανώνονται σε άξονες:

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση και υγεία
2. Θαλάσσια ρύπανση – τροφική αλυσίδα
3. Ηχορύπανση
4. Έδαφος και υπόγεια ύδατα
5. Επιδημιολογικά δεδομένα
6. Κανονιστικό πλαίσιο και παρεμβάσεις

Η διάρθρωση αυτή προέκυψε επαγωγικά από τη θεματική κωδικοποίηση.

3.10 Συμπέρασμα μεθοδολογικού πλαισίου

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση ως μέθοδος επέτρεψε τη διεπιστημονική προσέγγιση ενός σύνθετου ζητήματος όπου αλληλεπιδρούν περιβάλλον, τεχνολογία και υγεία. Μέσω συστηματικής

επιλογής, κριτικής ανάλυσης και θεματικής σύνθεσης, διαμορφώθηκε ένα αξιόπιστο γνωστικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζονται τα επόμενα κεφάλαια. Η μεθοδολογία αυτή καθιστά δυνατή όχι μόνο την κατανόηση των υφιστάμενων επιπτώσεων αλλά και τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων προτάσεων για βιώσιμη λιμενική ανάπτυξη με επίκεντρο την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

4. Αποτελέσματα

4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση από λιμενικές δραστηριότητες

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν ότι οι λιμενικές δραστηριότητες αποτελούν σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με μετρήσιμες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στη δημόσια υγεία. Οι εκπομπές που σχετίζονται με τη ναυτιλία και τη λειτουργία των λιμένων περιλαμβάνουν κυρίως αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2.5}$ και PM_{10}), οξείδια του αζώτου (NO_x), διοξείδιο του θείου (SO_2) και πτητικές οργανικές ενώσεις.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Viana et al. (2014), οι εκπομπές από πλοία συμβάλλουν σημαντικά στη ρύπανση του αέρα στις παράκτιες περιοχές της Ευρώπης, καλύπτοντας ποσοστά έως και 14% στα $PM_{2.5}$ και έως 24% στα επίπεδα NO_2 . Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει ότι οι λιμένες δεν αποτελούν απλώς τοπικές πηγές ρύπανσης, αλλά επηρεάζουν ευρύτερα αστικά περιβάλλοντα.

Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και από τη μελέτη του Mueller et al. (2024), όπου εκτιμήθηκε ότι η ρύπανση που προέρχεται από το λιμάνι της Βαρκελώνης συμβάλλει σε σημαντικό ποσοστό της συνολικής ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης της πόλης, με το 7% των συγκεντρώσεων NO_2 να αποδίδεται σε λιμενικές δραστηριότητες. Παρότι το ποσοστό αυτό φαίνεται σχετικά μικρό, η συμβολή του σε απόλυτους αριθμούς είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της υψηλής πληθυσμιακής έκθεσης.

Επιπλέον, τα δεδομένα δείχνουν ότι οι εκπομπές αυτές συγκεντρώνονται κυρίως σε περιοχές κοντά στους λιμένες, δημιουργώντας «ζώνες υψηλού κινδύνου» για τους κατοίκους. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων λόγω της συνδυασμένης δράσης πλοίων, φορητών και λιμενικού εξοπλισμού.

4.2 Επιπτώσεις στη θνησιμότητα και νοσηρότητα

Ένα από τα πιο σημαντικά ευρήματα αφορά τη συσχέτιση της ρύπανσης με αυξημένη θνησιμότητα και νοσηρότητα. Η ανάλυση των δεδομένων καταδεικνύει ότι οι εκπομπές από λιμενικές δραστηριότητες συνδέονται με σημαντικό φορτίο νόσου στον πληθυσμό.

Συγκεκριμένα, στη μελέτη της Βαρκελώνης εκτιμήθηκε ότι η συνολική ατμοσφαιρική ρύπανση ευθύνεται για πάνω από 1.100 πρόωρους θανάτους ετησίως, ενώ ένα μέρος αυτών (περίπου 8%)

αποδίδεται άμεσα στις λιμενικές δραστηριότητες . Παράλληλα, υπολογίστηκε ότι περίπου 20 πρόωροι θάνατοι ετησίως σχετίζονται αποκλειστικά με PM_{2.5} προερχόμενα από το λιμάνι.

Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύονται από τη γενικότερη βιβλιογραφία, η οποία δείχνει ότι η ρύπανση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες κινδύνου για την υγεία. Η παγκόσμια επιβάρυνση από ρύπανση εκτιμάται σε περίπου 9 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως, γεγονός που αναδεικνύει τη σοβαρότητα του προβλήματος .

Ακόμα, επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν ότι η έκθεση σε ρύπους που σχετίζονται με λιμενικές δραστηριότητες συνδέεται με αυξημένα ποσοστά αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων. Σε αστικά περιβάλλοντα όπως το Port Harcourt, οι συγκεντρώσεις ρύπων όπως SO₂ και PM₁₀ υπερέβαιναν τα όρια του ΠΟΥ και συνδέονταν άμεσα με αύξηση ασθενειών όπως άσθμα, βρογχίτιδα και καρδιοπάθειες .

4.3 Αναπνευστικές και καρδιαγγειακές επιπτώσεις

Τα αποτελέσματα δείχνουν σαφή σύνδεση μεταξύ ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αναπνευστικών προβλημάτων. Τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5}, λόγω του μικρού τους μεγέθους, διεισδύουν βαθιά στους πνεύμονες και μπορούν να περάσουν στην κυκλοφορία του αίματος, προκαλώντας φλεγμονώδεις αντιδράσεις.

Η έκθεση σε ρύπους όπως SO₂ και NO₂ έχει συσχετιστεί με:

- αυξημένη εμφάνιση άσθματος
- μείωση της πνευμονικής λειτουργίας
- χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις

Παράλληλα, οι καρδιαγγειακές επιπτώσεις είναι εξίσου σημαντικές. Οι ρύποι συμβάλλουν στην ανάπτυξη αρτηριοσκλήρυνσης και αυξάνουν τον κίνδυνο εμφράγματος. Στην περίπτωση του Port Harcourt, βρέθηκε ότι τα PM₁₀ και το SO₂ είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση στην εμφάνιση καρδιαγγειακών προβλημάτων .

Επιπλέον, μελέτες που εξετάζουν τη ρύπανση κοντά σε λιμένες (π.χ. Los Angeles) δείχνουν ότι η αυξημένη κυκλοφορία πλοίων συνδέεται με αυξημένα επίπεδα όζοντος και, κατά συνέπεια, με αύξηση των αναπνευστικών προβλημάτων στον πληθυσμό.

4.4 Θαλάσσια ρύπανση και επιπτώσεις μέσω της τροφικής αλυσίδας

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι η θαλάσσια ρύπανση αποτελεί σημαντική οδό έμμεσης επίδρασης στην ανθρώπινη υγεία. Οι λιμενικές δραστηριότητες συμβάλλουν στη ρύπανση των υδάτων μέσω πετρελαιοειδών, βαρέων μετάλλων και μικροπλαστικών.

Σύμφωνα με τον Landrigan et al. (2020), η ρύπανση των θαλασσών αποτελεί μια σύνθετη απειλή που περιλαμβάνει τοξικές χημικές ουσίες, πλαστικά και παθογόνους μικροοργανισμούς, οι οποίοι εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της κατανάλωσης θαλάσσιων προϊόντων .

Ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα αποτελεί η παρουσία μικροβιακής ρύπανσης σε παράκτιες περιοχές κοντά σε λιμένες. Μελέτη στην Αδριατική έδειξε αυξημένα επίπεδα βακτηρίων όπως E. coli και εντερόκοκκοι σε λιμενικά ύδατα, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο λοιμώξεων για τον άνθρωπο.

4.5 Οξίνιση των ωκεανών και οικοσυστημικές επιπτώσεις

Ένα ακόμη σημαντικό αποτέλεσμα αφορά την επίδραση των εκπομπών πλοίων στη χημεία των θαλασσών. Η μελέτη των Hassellön et al. (2013) έδειξε ότι οι εκπομπές SO_x και NO_x από τη ναυτιλία μπορούν να συμβάλλουν στην οξίνιση των ωκεανών, προκαλώντας μείωση του pH σε παράκτιες περιοχές .

Η οξίνιση αυτή έχει σημαντικές συνέπειες:

- καταστροφή θαλάσσιων οικοσυστημάτων
- μείωση της βιοποικιλότητας
- επιδράσεις στην αλιεία

Οι επιπτώσεις αυτές επηρεάζουν έμμεσα και την ανθρώπινη υγεία, καθώς επηρεάζεται η διατροφική αλυσίδα και η διαθεσιμότητα τροφίμων.

4.6 Μικροβιακή ρύπανση και δημόσια υγεία

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι λιμενικές δραστηριότητες συνδέονται και με μικροβιακή ρύπανση, ιδιαίτερα μέσω των υδάτων έρματος των πλοίων. Τα ύδατα αυτά μπορούν να μεταφέρουν παθογόνους μικροοργανισμούς από μία περιοχή σε άλλη.

Η έρευνα έδειξε ότι τα λιμάνια αποτελούν εστίες μικροβιακής επιβάρυνσης, με αυξημένη παρουσία βακτηρίων και πιθανή μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο . Αυτό αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα για περιοχές με τουριστική δραστηριότητα.

4.7 Κίνδυνοι από ατυχήματα και επικίνδυνα φορτία

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι πέρα από τη χρόνια ρύπανση, σημαντικό ρόλο παίζουν και τα ατυχήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση επικίνδυνων φορτίων. Σύμφωνα με σχετική μελέτη, η πιθανότητα σοβαρού ατυχήματος σε λιμενικό περιβάλλον φτάνει περίπου το 59,8%, με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Τα ατυχήματα αυτά μπορεί να οδηγήσουν σε:

- διαρροές τοξικών ουσιών
- εκρήξεις
- μαζική ρύπανση υδάτων

4.8 Συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Συνολικά, τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι οι λιμενικές δραστηριότητες έχουν πολυδιάστατες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές είναι άμεσες (μέσω εισπνοής ρύπων) αλλά και έμμεσες (μέσω τροφικής αλυσίδας και οικοσυστημάτων).

Ιδιαίτερα σημαντικά συμπεράσματα περιλαμβάνουν:

- Οι λιμένες αποτελούν σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Η ρύπανση συνδέεται με αυξημένη θνησιμότητα
- Υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις σε αναπνευστική και καρδιαγγειακή υγεία
- Η θαλάσσια ρύπανση επηρεάζει την υγεία μέσω τροφικής αλυσίδας
- Οι παράκτιες κοινότητες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες

Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν την ανάγκη για ενίσχυση των περιβαλλοντικών πολιτικών και εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών στους λιμένες.

5. Συζήτηση

5.1 Ερμηνεία των βασικών ευρημάτων

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης επιτρέπουν την ουσιαστική απάντηση στα βασικά ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία αφορούν τη συμβολή των λιμενικών δραστηριοτήτων στη ρύπανση και τον βαθμό επίδρασής τους στην ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι οι λιμένες δεν αποτελούν απλώς συμπληρωματική πηγή ρύπανσης, αλλά έναν σημαντικό και συστηματικό παράγοντα περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, ιδιαίτερα σε παράκτιες αστικές περιοχές.

Σε σχέση με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα (π.χ. «σε ποιο βαθμό οι λιμενικές δραστηριότητες συμβάλλουν στην περιβαλλοντική ρύπανση»), τα δεδομένα δείχνουν ότι η συμβολή αυτή είναι ποσοτικά μικρότερη από άλλες πηγές σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά ποιοτικά κρίσιμη. Για παράδειγμα, η μελέτη της Βαρκελώνης δείχνει ότι μόνο ένα ποσοστό των συνολικών ρύπων αποδίδεται στα λιμάνια, ωστόσο αυτό αρκεί για να προκαλέσει μετρήσιμη αύξηση της θνησιμότητας. Αυτό το εύρημα διαφοροποιείται από τη θεωρητική προσέγγιση που συχνά αντιμετωπίζει τη ρύπανση με βάση το συνολικό φορτίο και όχι την τοπική έκθεση.

Η έννοια της «τοπικής συγκέντρωσης κινδύνου» που αναδεικνύεται στα αποτελέσματα συνάδει με τη θεωρία της περιβαλλοντικής υγείας, σύμφωνα με την οποία η γεωγραφική εγγύτητα σε πηγές ρύπανσης αυξάνει δυσανάλογα τον κίνδυνο για συγκεκριμένους πληθυσμούς (Landrigan et al., 2020). Έτσι, ενώ η συνολική συμβολή των λιμένων μπορεί να φαίνεται περιορισμένη, η έντονη χωρική συγκέντρωση των ρύπων οδηγεί σε υψηλότερη έκθεση και μεγαλύτερες επιπτώσεις σε τοπικό επίπεδο.

Όσον αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα («πώς επηρεάζει η ρύπανση την ανθρώπινη υγεία»), τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τις θεωρητικές υποθέσεις σχετικά με τον ρόλο των ατμοσφαιρικών ρύπων στην πρόκληση αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων. Ωστόσο, η παρούσα μελέτη προσθέτει ένα σημαντικό στοιχείο: οι επιπτώσεις αυτές δεν είναι γραμμικές, αλλά ενισχύονται από τη συνδυασμένη έκθεση σε πολλαπλούς ρύπους (π.χ. $PM_{2.5}$, NO_x , SO_2).

Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε συμφωνία με πιο σύγχρονες θεωρητικές προσεγγίσεις που αντιμετωπίζουν τη ρύπανση ως «μείγμα» (pollution mixture) και όχι ως μεμονωμένους παράγοντες. Επιπλέον, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις εκτείνονται πέρα από τις

άμεσες φυσιολογικές συνέπειες, περιλαμβάνοντας και έμμεσες οδούς, όπως η τροφική αλυσίδα και η θαλάσσια ρύπανση.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επιβεβαίωση του θεωρητικού μοντέλου που συνδέει τη θαλάσσια ρύπανση με τη δημόσια υγεία. Τα ευρήματα για μικροβιακή επιβάρυνση και μεταφορά παθογόνων μέσω υδάτων έρματος ενισχύουν την υπόθεση ότι οι λιμένες λειτουργούν ως «κόμβοι διάχυσης κινδύνου» και όχι μόνο ως τοπικές πηγές ρύπανσης. Αυτό διαφοροποιείται από πιο παραδοσιακές προσεγγίσεις που περιορίζουν την ανάλυση στις άμεσες εκπομπές.

Τέλος, ένα ακόμη κρίσιμο εύρημα αφορά τη σημασία των ατυχημάτων και των επικίνδυνων φορτίων. Αν και αυτά δεν αποτελούν καθημερινό φαινόμενο, η υψηλή πιθανότητα σοβαρών επιπτώσεων υποδηλώνει ότι η συνολική αξιολόγηση κινδύνου δεν μπορεί να βασίζεται μόνο στη χρόνια ρύπανση, αλλά πρέπει να περιλαμβάνει και σενάρια υψηλού ρίσκου.

5.2 Σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία

Η σύγκριση των ευρημάτων της παρούσας μελέτης με τη διεθνή βιβλιογραφία δείχνει σε γενικές γραμμές ισχυρή συμφωνία, ωστόσο αναδεικνύει και ορισμένες σημαντικές διαφοροποιήσεις που αξίζουν κριτικής προσέγγισης.

Αρχικά, τα αποτελέσματα ευθυγραμμίζονται με τη μελέτη των Viana et al. (2014), η οποία υποστηρίζει ότι η ναυτιλία αποτελεί σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις παράκτιες περιοχές. Παρόλα αυτά, ενώ η βιβλιογραφία αυτή εστιάζει κυρίως στην ποσοτική συμβολή των εκπομπών, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει ότι η πραγματική επίδραση σχετίζεται περισσότερο με την έκθεση του πληθυσμού παρά με τα συνολικά επίπεδα εκπομπών. Αυτή η διαφοροποίηση είναι κρίσιμη, καθώς υποδηλώνει ότι η αξιολόγηση της ρύπανσης πρέπει να μετατοπιστεί από το «πόσο εκπέμπεται» στο «ποιος εκτίθεται».

Παρόμοια, η μελέτη των Mueller et al. (2024) καταγράφει σημαντικό αριθμό πρόωρων θανάτων που σχετίζονται με λιμενικές εκπομπές. Ωστόσο, η παρούσα ανάλυση δείχνει ότι η πραγματική επιβάρυνση ενδέχεται να είναι ακόμη μεγαλύτερη, καθώς η βιβλιογραφία συχνά υποεκτιμά τις επιπτώσεις λόγω μεθοδολογικών περιορισμών. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τη μελέτη των Moretti και Neidell (2009), οι οποίοι επισημαίνουν ότι οι εκτιμήσεις των επιπτώσεων της

ρύπανσης μπορεί να είναι υποτιμημένες, λόγω προσαρμοστικής συμπεριφοράς των πολιτών (π.χ. αποφυγή έκθεσης) .

Σε θεωρητικό επίπεδο, η παρούσα μελέτη συμφωνεί με την προσέγγιση των Landrigan et al. (2020), οι οποίοι αντιμετωπίζουν τη ρύπανση ως πολυπαραγοντικό πρόβλημα με σύνθετες επιπτώσεις στην υγεία. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συγκεκριμένη περίπτωση των λιμένων παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που δεν αναδεικνύονται πάντα επαρκώς στη γενική βιβλιογραφία, όπως η συνδυασμένη έκθεση σε αέρια και θαλάσσια ρύπανση.

Ακόμη, η βιβλιογραφία για τη θαλάσσια ρύπανση (π.χ. Hassellön et al., 2013) εστιάζει κυρίως σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η οξίνιση των ωκεανών. Η παρούσα μελέτη, ωστόσο, ενισχύει τη σύνδεση αυτών των φαινομένων με την ανθρώπινη υγεία, δείχνοντας ότι οι επιπτώσεις αυτές δεν είναι μόνο οικολογικές αλλά και κοινωνικές.

Αξιοσημείωτη είναι και η συμφωνία με τη μελέτη των Kraus et al. (2022), η οποία αναδεικνύει τη σημασία της μικροβιακής ρύπανσης σε λιμενικές περιοχές . Παρόλα αυτά, η διάσταση αυτή παραμένει υποεκτιμημένη στη διεθνή βιβλιογραφία, γεγονός που υποδηλώνει ένα σημαντικό ερευνητικό κενό.

5.3 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης παρέχουν ουσιαστική τεκμηρίωση για το τρίτο βασικό ερευνητικό ερώτημα, το οποίο αφορά τον τρόπο με τον οποίο η περιβαλλοντική ρύπανση από λιμενικές δραστηριότητες επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία. Σε αντίθεση με πιο γενικές προσεγγίσεις, η ανάλυση ανέδειξε ότι οι επιπτώσεις δεν είναι μόνο άμεσες, αλλά πολυεπίπεδες και αλληλοενισχυόμενες.

Αρχικά, τα ευρήματα επιβεβαιώνουν τη βασική θεωρητική υπόθεση της περιβαλλοντικής επιδημιολογίας, σύμφωνα με την οποία η έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους σχετίζεται με αυξημένη συχνότητα αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων. Η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων PM_{2.5}, NO_x και SO₂ συνδέεται άμεσα με φλεγμονώδεις αντιδράσεις, μειωμένη πνευμονική λειτουργία και αυξημένο καρδιαγγειακό κίνδυνο, επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα προηγούμενων μελετών (Eyetan & Ifuwe, 2024).

Ωστόσο, η παρούσα μελέτη προχωρά πέρα από τη θεωρητική αυτή επιβεβαίωση, αναδεικνύοντας ότι η επίδραση των ρύπων δεν είναι απλώς προσθετική αλλά συνεργιστική. Δηλαδή, η ταυτόχρονη έκθεση σε πολλαπλούς ρύπους οδηγεί σε μεγαλύτερο κίνδυνο από ό,τι θα αναμενόταν αν εξετάζονταν μεμονωμένα. Αυτή η παρατήρηση ενισχύει τις σύγχρονες θεωρητικές προσεγγίσεις που αντιμετωπίζουν τη ρύπανση ως σύνθετο «μείγμα» (pollution mixture), κάτι που δεν αποτυπώνεται πάντα επαρκώς σε επιδημιολογικές μελέτες.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις στην υγεία δεν περιορίζονται στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα, αλλά επεκτείνονται και σε άλλες διαστάσεις, όπως η νευρολογική υγεία και η ψυχική ευεξία. Αν και αυτές οι επιπτώσεις δεν αποτυπώνονται άμεσα στα δεδομένα της παρούσας μελέτης, η διεθνής βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η χρόνια έκθεση σε ρύπανση μπορεί να συνδέεται με γνωστικές διαταραχές και ψυχικές ασθένειες (Landrigan et al., 2020). Συνεπώς, είναι πιθανό τα πραγματικά αποτελέσματα να είναι ευρύτερα από αυτά που καταγράφονται.

Ιδιαίτερα κρίσιμο εύρημα αποτελεί η επιβεβαίωση της άνισης κατανομής των επιπτώσεων στον πληθυσμό. Οι κάτοικοι περιοχών κοντά σε λιμένες εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης και, κατά συνέπεια, αντιμετωπίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο για την υγεία τους. Το εύρημα αυτό συνδέεται άμεσα με τη θεωρία της περιβαλλοντικής ανισότητας (environmental inequality), σύμφωνα με την οποία ορισμένες κοινωνικές ομάδες φέρουν δυσανάλογο βάρος περιβαλλοντικών κινδύνων.

Παράλληλα, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη σημασία των έμμεσων επιπτώσεων στην υγεία, ιδιαίτερα μέσω της θαλάσσιας ρύπανσης. Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών και τοξικών ουσιών στα θαλάσσια οικοσυστήματα, όπως καταγράφεται και στη σχετική βιβλιογραφία, υποδηλώνει ότι η έκθεση δεν περιορίζεται στην εισπνοή ρύπων, αλλά περιλαμβάνει και την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων.

Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι οι περισσότερες μελέτες, και κατ' επέκταση και η παρούσα, πιθανόν υποεκτιμούν το πραγματικό μέγεθος των επιπτώσεων. Όπως υποστηρίζεται στη βιβλιογραφία, οι άνθρωποι προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους για να μειώσουν την έκθεση (π.χ. αποφυγή εξωτερικών δραστηριοτήτων), γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερες εκτιμήσεις επιπτώσεων (Moretti & Neidell, 2009).

Συνεπώς, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις στην υγεία είναι πιο εκτεταμένες και πιο σύνθετες από ό,τι αποτυπώνεται αρχικά, επιβεβαιώνοντας αλλά και διευρύνοντας το θεωρητικό πλαίσιο.

5.4 Περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αναδεικνύει ότι οι επιπτώσεις των λιμενικών δραστηριοτήτων δεν περιορίζονται στην ανθρώπινη υγεία, αλλά επεκτείνονται σε ευρύτερες περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις, οι οποίες συνδέονται άμεσα με το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα της μελέτης.

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι οι λιμένες αποτελούν πολυπαραγοντικές πηγές ρύπανσης, επηρεάζοντας τόσο την ατμόσφαιρα όσο και τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η εκπομπή αερίων ρύπων και η απόθεσή τους στη θάλασσα συμβάλλουν σε φαινόμενα όπως η οξίνιση των ωκεανών, η οποία έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται με τις εκπομπές SO_x και NO_x από τη ναυτιλία. Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει τη θεωρητική προσέγγιση που συνδέει τις ανθρωπογενείς εκπομπές με μακροπρόθεσμες αλλαγές στα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Παράλληλα, η παρουσία μικροβιακής ρύπανσης και παθογόνων οργανισμών στα λιμενικά ύδατα υποδεικνύει ότι οι λιμένες λειτουργούν ως σημεία συσσώρευσης και διασποράς ρύπων. Η μεταφορά μικροοργανισμών μέσω υδάτων έρματος, όπως καταγράφεται στη βιβλιογραφία, ενισχύει την άποψη ότι οι επιπτώσεις της ρύπανσης δεν είναι τοπικές αλλά διασυνοριακές.

Σε κοινωνικό επίπεδο, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν σημαντικές ανισότητες. Οι παράκτιες κοινότητες και οι πληθυσμοί που ζουν κοντά σε λιμένες εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης, γεγονός που οδηγεί σε άνιση κατανομή των περιβαλλοντικών κινδύνων. Η παρατήρηση αυτή συνάδει με τη θεωρία της περιβαλλοντικής δικαιοσύνης, η οποία υποστηρίζει ότι οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις δεν κατανέμονται ισότιμα.

Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχουν άμεσες κοινωνικοοικονομικές συνέπειες. Η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων επηρεάζει την αλιεία, τον τουρισμό και γενικότερα την οικονομική δραστηριότητα των παράκτιων περιοχών. Η μείωση της βιοποικιλότητας και η επιβάρυνση των οικοσυστημάτων οδηγούν σε απώλεια φυσικών πόρων, γεγονός που έχει μακροπρόθεσμες συνέπειες για την οικονομική βιωσιμότητα.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η διεθνής βιβλιογραφία συχνά εξετάζει τις περιβαλλοντικές και τις κοινωνικές επιπτώσεις ξεχωριστά, χωρίς να αναδεικνύει επαρκώς τη μεταξύ τους διασύνδεση. Η παρούσα μελέτη συμβάλλει στην κάλυψη αυτού του κενού, δείχνοντας ότι οι περιβαλλοντικές αλλαγές μεταφράζονται άμεσα σε κοινωνικές ανισότητες και προβλήματα δημόσιας υγείας.

Τέλος, ένα κρίσιμο σημείο κριτικής αφορά το γεγονός ότι οι περισσότερες πολιτικές αντιμετώπισης της ρύπανσης εστιάζουν στη μείωση των εκπομπών, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη χωρική κατανομή των επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδεικνύουν ότι μια τέτοια προσέγγιση είναι ανεπαρκής, καθώς δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της άνιση έκθεσης.

5.5 Πρακτικές και πολιτικές προεκτάσεις

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης έχουν άμεσες και ουσιαστικές προεκτάσεις για τη διαμόρφωση περιβαλλοντικής και δημόσιας πολιτικής, ιδιαίτερα σε επίπεδο λιμενικής διαχείρισης και αστικού σχεδιασμού. Σε αντίθεση με μια γενική προσέγγιση που εστιάζει αποκλειστικά στη μείωση των εκπομπών, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι απαιτείται μια πιο στοχευμένη και πολυδιάστατη στρατηγική.

Αρχικά, επιβεβαιώνεται η ανάγκη για εφαρμογή αυστηρότερων κανονισμών σχετικά με τις εκπομπές από τη ναυτιλία και τις λιμενικές δραστηριότητες. Η θεωρητική προσέγγιση που υποστηρίζει τη ρύθμιση των εκπομπών σε διεθνές επίπεδο (π.χ. μέσω κανονισμών του IMO) ενισχύεται από τα ευρήματα, τα οποία δείχνουν ότι ακόμη και μικρές μειώσεις στις εκπομπές μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά οφέλη για τη δημόσια υγεία. Ωστόσο, η παρούσα μελέτη υποδεικνύει ότι οι πολιτικές αυτές πρέπει να προσαρμόζονται σε τοπικό επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη τη χωρική συγκέντρωση των ρύπων και την έκθεση του πληθυσμού.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την ανάγκη για υιοθέτηση τεχνολογικών λύσεων, όπως η χρήση καθαρότερων καυσίμων, η ηλεκτροδότηση πλοίων κατά την παραμονή τους στο λιμάνι (shore power) και η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του λιμενικού εξοπλισμού. Αν και οι λύσεις αυτές προτείνονται ήδη στη βιβλιογραφία (Viana et al., 2014), η παρούσα μελέτη ενισχύει την αναγκαιότητά τους, δείχνοντας ότι η μη εφαρμογή τους έχει άμεσες επιπτώσεις στην υγεία.

Ωστόσο, ένα κρίσιμο σημείο κριτικής αφορά το γεγονός ότι οι περισσότερες πολιτικές επικεντρώνονται στην τεχνολογική διάσταση της ρύπανσης, παραβλέποντας τις κοινωνικές ανισότητες που αυτή δημιουργεί. Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις της ρύπανσης είναι άνισα κατανομημένες, πλήττοντας κυρίως πληθυσμούς που κατοικούν κοντά σε λιμένες. Συνεπώς, οι πολιτικές θα πρέπει να ενσωματώνουν και την αρχή της περιβαλλοντικής δικαιοσύνης, με μέτρα όπως η αναδιαμόρφωση των αστικών χρήσεων γης και η προστασία ευάλωτων ομάδων.

Παράλληλα, η μελέτη αναδεικνύει τη σημασία της ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής διαχείρισης των λιμένων. Η προσέγγιση αυτή, η οποία προτείνεται και στη σχετική βιβλιογραφία, περιλαμβάνει τη συστηματική παρακολούθηση όλων των μορφών ρύπανσης (ατμοσφαιρικής, υδάτινης, μικροβιακής) και τη χρήση δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αποσπασματική αντιμετώπιση της ρύπανσης είναι ανεπαρκής, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη τη διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών μορφών ρύπανσης.

Ακόμη, ιδιαίτερη σημασία έχει η ενίσχυση της πρόληψης και της διαχείρισης κινδύνων που σχετίζονται με ατυχήματα και επικίνδυνα φορτία. Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, τα ατυχήματα αυτά μπορεί να έχουν καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον και την υγεία. Συνεπώς, απαιτείται αυστηρότερη εποπτεία, καλύτερη εκπαίδευση προσωπικού και ενίσχυση των συστημάτων ασφάλειας.

Τέλος, τα ευρήματα υποδεικνύουν την ανάγκη για ενσωμάτωση της υγείας στις πολιτικές μεταφορών και περιβάλλοντος (health-in-all-policies approach). Η παραδοσιακή διάκριση μεταξύ περιβαλλοντικής και υγειονομικής πολιτικής φαίνεται ανεπαρκής, καθώς οι επιπτώσεις της ρύπανσης διαπερνούν πολλαπλούς τομείς.

5.6 Περιορισμοί της μελέτης

Παρά τη συμβολή της παρούσας μελέτης στην κατανόηση των επιπτώσεων των λιμενικών δραστηριοτήτων, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν ορισμένοι περιορισμοί, οι οποίοι επηρεάζουν την ερμηνεία και τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων.

Αρχικά, ένας βασικός περιορισμός αφορά τη φύση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Η μελέτη βασίστηκε κυρίως σε δευτερογενείς πηγές και επιδημιολογικές εκτιμήσεις, γεγονός που ενδέχεται να περιορίζει την ακρίβεια των συμπερασμάτων. Όπως επισημαίνεται και στη

βιβλιογραφία, η χρήση συγκεντρωτικών δεδομένων μπορεί να μην αποτυπώνει με ακρίβεια την ατομική έκθεση των πολιτών σε ρύπους (Moretti & Neidell, 2009).

Η μέτρηση της έκθεσης στη ρύπανση αποτελεί διαχρονικά μια σημαντική μεθοδολογική πρόκληση. Οι περισσότερες μελέτες χρησιμοποιούν δεδομένα από σταθμούς μέτρησης ή μοντέλα εκτίμησης, τα οποία ενδέχεται να μην αντανakλούν πλήρως τις πραγματικές συνθήκες έκθεσης, ιδιαίτερα σε μικροκλίμακα. Αυτό σημαίνει ότι οι επιπτώσεις στην υγεία μπορεί να είναι είτε υποεκτιμημένες είτε υπερεκτιμημένες.

Ένας ακόμη σημαντικός περιορισμός αφορά τη δυσκολία απομόνωσης της επίδρασης των λιμενικών δραστηριοτήτων από άλλες πηγές ρύπανσης, όπως η οδική κυκλοφορία ή η βιομηχανική δραστηριότητα. Παρόλο που η παρούσα μελέτη προσπάθησε να εστιάσει στη συμβολή των λιμένων, η πραγματικότητα είναι ότι η ρύπανση αποτελεί ένα σύνθετο φαινόμενο με πολλαπλές πηγές, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ακριβή απόδοση αιτιότητας.

Παράλληλα, τα αποτελέσματα βασίζονται κυρίως σε μελέτες που αφορούν συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. Ευρώπη, αστικά λιμάνια), γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης σε άλλες περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως αναπτυσσόμενες χώρες ή μικρότερα λιμάνια. Η βιβλιογραφία δείχνει ότι οι επιπτώσεις της ρύπανσης μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (Landrigan et al., 2020).

Ταυτόχρονα, η μελέτη επικεντρώνεται κυρίως σε φυσιολογικές επιπτώσεις της ρύπανσης, ενώ άλλες διαστάσεις, όπως οι ψυχολογικές επιπτώσεις ή οι μακροχρόνιες κοινωνικές συνέπειες, δεν εξετάζονται επαρκώς. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό ερευνητικό κενό, καθώς η σύγχρονη βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η ρύπανση επηρεάζει πολλαπλές πτυχές της ανθρώπινης ευημερίας.

Τέλος, ένας κρίσιμος περιορισμός αφορά την πιθανή υποεκτίμηση των επιπτώσεων λόγω προσαρμοστικής συμπεριφοράς των πολιτών. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, οι άνθρωποι συχνά προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους για να μειώσουν την έκθεση (π.χ. παραμονή σε εσωτερικούς χώρους), γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερες εκτιμήσεις κινδύνου.

5.7 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε σημαντικές διαστάσεις της περιβαλλοντικής ρύπανσης από λιμενικές δραστηριότητες, αλλά ταυτόχρονα φανέρωσε και ερευνητικά κενά που απαιτούν περαιτέρω

διερεύνηση. Η πολυπλοκότητα του φαινομένου δεν επιτρέπει εξαντλητική ανάλυση σε ένα μόνο ερευνητικό πλαίσιο. Απαιτείται διεύρυνση της επιστημονικής προσέγγισης, με έμφαση σε νέες μεθόδους και δεδομένα.

Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να εστιάσουν σε πρωτογενή δεδομένα έκθεσης του πληθυσμού. Η χρήση φορητών αισθητήρων και προσωπικών μετρήσεων θα προσέφερε πιο ακριβή εικόνα της πραγματικής επιβάρυνσης. Τα δεδομένα από σταθερούς σταθμούς δεν αποτυπώνουν πάντα τις τοπικές διαφοροποιήσεις. Η μικροκλίμακα της έκθεσης παραμένει υποεκτιμημένη.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της συνδυασμένης δράσης πολλαπλών ρύπων. Οι περισσότερες υπάρχουσες μελέτες εξετάζουν μεμονωμένες ουσίες. Η πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από ταυτόχρονη έκθεση σε μίγματα ρύπων. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να αποκαλύψει μηχανισμούς που δεν είναι εμφανείς σε απλούστερα μοντέλα.

Αναγκαία θεωρείται και η ενίσχυση της έρευνας γύρω από τις έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία. Η θαλάσσια ρύπανση, τα μικροπλαστικά και η μικροβιακή επιβάρυνση αποτελούν πεδία με περιορισμένα δεδομένα. Η σχέση τους με τη διατροφή και τη δημόσια υγεία δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως. Απαιτούνται διεπιστημονικές προσεγγίσεις που θα συνδυάζουν περιβαλλοντική επιστήμη, ιατρική και βιολογία.

Η κοινωνική διάσταση της ρύπανσης χρειάζεται επίσης βαθύτερη ανάλυση. Η άνιση κατανομή των επιπτώσεων μεταξύ διαφορετικών πληθυσμιακών ομάδων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να εξετάσουν τη σχέση μεταξύ κοινωνικοοικονομικής κατάστασης και έκθεσης στη ρύπανση. Η ενσωμάτωση δεικτών περιβαλλοντικής δικαιοσύνης θα ενισχύσει την κατανόηση του προβλήματος.

Ένα ακόμη σημαντικό πεδίο αφορά την αξιολόγηση των πολιτικών και των τεχνολογικών παρεμβάσεων. Η αποτελεσματικότητα μέτρων όπως η χρήση καθαρών καυσίμων ή η ηλεκτροδότηση πλοίων δεν έχει αποτιμηθεί επαρκώς σε πραγματικές συνθήκες. Απαιτούνται μακροχρόνιες μελέτες που θα εξετάζουν τη σχέση μεταξύ πολιτικής εφαρμογής και βελτίωσης της υγείας του πληθυσμού.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων σε διαφορετικά γεωγραφικά και κοινωνικά περιβάλλοντα παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται σε ανεπτυγμένες περιοχές. Οι αναπτυσσόμενες χώρες εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, τόσο ως προς τις

πηγές ρύπανσης όσο και ως προς την ευαλωτότητα των πληθυσμών. Η επέκταση της έρευνας σε τέτοια περιβάλλοντα θα συμβάλει στη γενίκευση των συμπερασμάτων.

Τέλος, η σύνδεση της περιβαλλοντικής ρύπανσης με τη συνολική ποιότητα ζωής αποτελεί ένα πεδίο που παραμένει περιορισμένα εξερευνημένο. Οι επιπτώσεις δεν περιορίζονται στη φυσική υγεία. Επηρεάζουν την καθημερινότητα, την ψυχική ευεξία και την κοινωνική συνοχή. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να ενσωματώσει ποιοτικές μεθόδους για την αποτύπωση αυτών των διαστάσεων.

6. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη είχε ως βασικό στόχο τη διερεύνηση των επιπτώσεων της περιβαλλοντικής ρύπανσης που προέρχεται από λιμενικές δραστηριότητες στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και την ανάλυση των μηχανισμών μέσω των οποίων αυτές οι επιπτώσεις εκδηλώνονται. Τα ευρήματα της έρευνας επιβεβαιώνουν ότι οι λιμένες αποτελούν σημαντικές πηγές περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, με πολυδιάστατες συνέπειες που εκτείνονται πέρα από τα όρια της άμεσης γεωγραφικής τους επιρροής.

Αρχικά, σε σχέση με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, η ανάλυση κατέδειξε ότι οι λιμενικές δραστηριότητες συμβάλλουν ουσιαστικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση, μέσω εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων, οξειδίων του αζώτου και θείου, καθώς και άλλων τοξικών ουσιών. Παρόλο που σε ορισμένες περιπτώσεις η ποσοτική τους συμβολή φαίνεται μικρότερη σε σύγκριση με άλλες πηγές, η χωρική συγκέντρωση των εκπομπών σε περιοχές υψηλής πληθυσμιακής πυκνότητας οδηγεί σε αυξημένη έκθεση των κατοίκων και, κατά συνέπεια, σε εντονότερες επιπτώσεις. Το στοιχείο αυτό αναδεικνύει τη σημασία της τοπικής διάστασης της ρύπανσης, η οποία συχνά υποτιμάται σε γενικευμένες περιβαλλοντικές αναλύσεις.

Όσον αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σαφή σύνδεση μεταξύ περιβαλλοντικής ρύπανσης και αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Η έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους συνδέεται με αυξημένη εμφάνιση αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νοσημάτων, καθώς και με πρόωγη θνησιμότητα. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι οι επιπτώσεις αυτές δεν περιορίζονται σε άμεσες φυσιολογικές αντιδράσεις, αλλά επεκτείνονται σε χρόνιες καταστάσεις, επιβαρύνοντας μακροπρόθεσμα το σύστημα υγείας και την ποιότητα ζωής των πολιτών.

Ένα από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα της μελέτης αφορά τη φύση της έκθεσης στους ρύπους. Τα δεδομένα δείχνουν ότι η έκθεση δεν είναι μεμονωμένη, αλλά αφορά ένα σύνθετο μίγμα ουσιών, οι οποίες δρουν συνεργιστικά. Αυτό σημαίνει ότι οι επιπτώσεις στην υγεία δεν μπορούν να αποδοθούν αποκλειστικά σε έναν συγκεκριμένο ρύπο, αλλά αποτελούν αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης πολλαπλών παραγόντων. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει τη σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση που αντιμετωπίζει τη ρύπανση ως πολυπαραγοντικό φαινόμενο.

Παράλληλα, η μελέτη ανέδειξε τη σημασία των έμμεσων επιπτώσεων της λιμενικής ρύπανσης. Η θαλάσσια ρύπανση, η παρουσία μικροπλαστικών και η μικροβιακή επιβάρυνση των υδάτων αποτελούν κρίσιμους μηχανισμούς μέσω των οποίων η ρύπανση επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία. Η κατανάλωση μολυσμένων θαλάσσιων προϊόντων και η επαφή με επιβαρυμένα υδάτινα οικοσυστήματα ενισχύουν τον συνολικό κίνδυνο, επεκτείνοντας τις επιπτώσεις πέρα από την εισπνοή ρύπων.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η διαπίστωση της άνισης κατανομής των επιπτώσεων. Οι πληθυσμοί που κατοικούν κοντά σε λιμένες εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης και, συνεπώς, αντιμετωπίζουν μεγαλύτερους κινδύνους για την υγεία τους. Το εύρημα αυτό ενισχύει τη θεωρία της περιβαλλοντικής ανισότητας, υπογραμμίζοντας ότι η ρύπανση δεν επηρεάζει όλους τους πολίτες με τον ίδιο τρόπο. Η διάσταση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε επίπεδο πολιτικής, καθώς αναδεικνύει την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις.

Επιπλέον, η μελέτη ανέδειξε ότι οι λιμένες λειτουργούν όχι μόνο ως τοπικές πηγές ρύπανσης, αλλά και ως κόμβοι μεταφοράς περιβαλλοντικών κινδύνων. Η μεταφορά παθογόνων μικροοργανισμών μέσω υδάτων έρματος και η διασπορά ρύπων σε ευρύτερες περιοχές υποδηλώνουν ότι οι επιπτώσεις της λιμενικής δραστηριότητας δεν περιορίζονται γεωγραφικά. Το στοιχείο αυτό ενισχύει την ανάγκη για διεθνή συνεργασία και συντονισμό στην αντιμετώπιση του προβλήματος.

Τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαιώνουν σε μεγάλο βαθμό τα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας, ενισχύοντας την αξιοπιστία τους. Ωστόσο, παράλληλα αναδεικνύουν και ορισμένα σημεία που δεν έχουν εξεταστεί επαρκώς. Η σημασία της τοπικής έκθεσης, η υποεκτίμηση των επιπτώσεων λόγω μεθοδολογικών περιορισμών και η ανάγκη ενσωμάτωσης των έμμεσων επιπτώσεων αποτελούν βασικά σημεία που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

Σε επίπεδο πρακτικών εφαρμογών, η μελέτη καταδεικνύει την ανάγκη για υιοθέτηση ολιστικών πολιτικών διαχείρισης της ρύπανσης. Η αντιμετώπιση του προβλήματος δεν μπορεί να περιοριστεί σε τεχνολογικές λύσεις, αλλά απαιτεί συνδυασμό μέτρων που θα περιλαμβάνουν ρυθμιστικές παρεμβάσεις, κοινωνικές πολιτικές και ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης. Η ενσωμάτωση της υγείας στις περιβαλλοντικές πολιτικές αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των επιπτώσεων.

Ταυτόχρονα, η ανάγκη για πρόληψη αναδεικνύεται ως κρίσιμος παράγοντας. Η διαχείριση των εκπομπών, η βελτίωση των τεχνολογιών και η ενίσχυση της ασφάλειας στις λιμενικές δραστηριότητες μπορούν να μειώσουν σημαντικά τους κινδύνους. Η πρόληψη είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση ατυχημάτων, τα οποία, αν και σπάνια, έχουν δυσανάλογα μεγάλες επιπτώσεις.

Παρά τους περιορισμούς της μελέτης, τα ευρήματα προσφέρουν μια ολοκληρωμένη εικόνα του προβλήματος και συμβάλλουν στην κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων η λιμενική ρύπανση επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία. Η αναγνώριση των περιορισμών αυτών δεν μειώνει τη σημασία των αποτελεσμάτων, αλλά ενισχύει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα.

Τελικά, η παρούσα μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η περιβαλλοντική ρύπανση από λιμενικές δραστηριότητες αποτελεί ένα σύνθετο και πολυδιάστατο πρόβλημα, με σημαντικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την κοινωνία. Η αντιμετώπισή του απαιτεί συντονισμένη δράση σε πολλαπλά επίπεδα, με στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία της δημόσιας υγείας.

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ περιβάλλοντος και υγείας δεν αποτελεί μόνο επιστημονικό ζήτημα, αλλά και κοινωνική αναγκαιότητα. Η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, καθιστώντας την αντιμετώπιση της ρύπανσης βασική προτεραιότητα για το μέλλον. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσονται και τα πράσινα λιμάνια όπου αξίζει να σημειωθεί ότι καταβάλλονται συνεχώς προσπάθειες για την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών με στόχο την μελλοντική μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και την προστασία της δημόσιας υγείας.

Βιβλιογραφία

- Bailey, D., Solomon, G., Campbell, T. R., & Ruderman Feuer, G. (2004). Harboring pollution: The dirty truth about U.S. ports. Natural Resources Defense Council. (<https://www.nrdc.org/resources/harboring-pollution-dirty-truth-about-us-ports>)
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Braithwaite, I., Zhang, S., Kirkbride, J. B., Osborn, D. P., & Hayes, J. F. (2019). Air pollution exposure and associations with mental health. *Environmental Health Perspectives*, 127(12), 126002.
- Brebbia, C. A., & Olivella, J. (Eds.). (2000). *Maritime Engineering and Ports II*. WIT Press.
- Breeze, H., Nolet, V., Thomson, D., Wright, A. J., Marotte, E., & Sanders, M. (2022). Efforts to advance underwater noise management in Canada: Introduction to the Marine Pollution Bulletin Special Issue. *Marine Pollution Bulletin*, 178, 113596. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113596>
- Buhaug, Ø., Corbett, J. J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., ... & Yoshida, K. (2009). *Second IMO GHG Study 2009*. International Maritime Organization (IMO).
- Chen, C., et al. (2019). Ship emission impacts on air quality and human health in the Pearl River Delta region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. ([PMC](#))
- Chen, H., Kwong, J. C., Copes, R., Tu, K., Villeneuve, P. J., van Donkelaar, A., ... Hystad, P. (2017). Exposure to ambient air pollution and the incidence of dementia. *Environmental International*, 108, 271–277.
- Clarkson, T. W., & Magos, L. (2006). The toxicology of mercury. *Critical Reviews in Toxicology*, 36(8), 609–662.

Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2010). Mortality from ship emissions: A global assessment. *Environmental Science & Technology*, 41(24), 8512–8518. <https://doi.org/10.1021/es071686z>

Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: A global assessment. *Environmental Science & Technology*, 41(24), 8512–8518. <https://doi.org/10.1021/es071686z>

Entec UK Ltd. (2010). *Ship Emissions Inventory: European Commission Framework*. Retrieved from <https://ec.europa.eu>

EPA (Environmental Protection Agency). (2018). *Port strategies for reducing air pollution*. U.S. Environmental Protection Agency.

ESPO (European Sea Ports Organisation). (2022). *Environmental Report 2022: EcoPorts insights*. ESPO.

European Commission. (2020). *EU ports and environmental performance: Policy framework and best practices*. Publications Office of the European Union.

European Commission. (2025, April 30). Stricter air & water pollution limits for shipping in Mediterranean. European Commission. ([Environment](#))

European Commission. (n.d.). Decarbonising maritime transport – FuelEU Maritime. European Commission. ([Mobility and Transport](#))

European Commission. (n.d.). Reducing emissions from the shipping sector (EU ETS maritime). European Commission. ([Climate Action](#))

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

European Parliament & Council. (2019). *Directive (EU) 2019/883 on port reception facilities for the delivery of waste from ships*. Official Journal of the European Union.

European Sea Ports Organisation. (2021). *ESPO Green Guide 2021: A manual for greening European ports*. ESPO.

European Union. (2015). Regulation (EU) 2015/757 on the monitoring, reporting and verification of greenhouse gas emissions from maritime transport. *Official Journal of the European Union*. ([EUR-Lex](#))

European Union. (2019). Directive (EU) 2019/883 on port reception facilities for the delivery of waste from ships. *Official Journal of the European Union*. ([EUR-Lex](#))

European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1804 on the deployment of alternative fuels infrastructure (AFIR). *Official Journal of the European Union*. ([EUR-Lex](#))

European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1805 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport (FuelEU Maritime). *Official Journal of the European Union*. ([EUR-Lex](#))

Eyetan, T. E., & Ifuwe, C. C. (2024). Effects of atmospheric pollution on human health in Port Harcourt: Its implication on urban planning. *Journal of Management and Social Science Research*, 5(1), 1–18. <http://doi.org/10.47524/jmssr.v5i1.2>

Fei, H., Shi, H., & Pan, X. (2025). A systematic review of green port evaluation: Methods, subjects, and indicators. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(3), 604. <https://doi.org/10.3390/jmse13030604>

Gauderman, W. J., Urman, R., Avol, E., Berhane, K., McConnell, R., Rappaport, E., ... Gilliland, F. (2015). Association of improved air quality with lung development in children. *New England Journal of Medicine*, 372(10), 905–913.

Ghosh, A., Mishra, S., & Mandal, A. (2021). Impact of marine pollution on human health and potential remedies. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112701.

Gkoumas, K., Georgopoulou, C., & Tsakalidis, A. (2023). Environmental Impacts of Port Operations: A Review. *Procedia Computer Science*, 223, 508–515. (<https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.306>)

Gössling, S., Meyer-Habighorst, C., & Humpe, A. (2021). A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness. *Ocean and Coastal Management*, 212, 105824. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105824>

Hassellöv, I.-M., Turner, D. R., Lauer, A., & Corbett, J. J. (2013). Shipping contributes to ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, 40(11), 2731–2736. <https://doi.org/10.1002/grl.50521>

Health Effects Institute. (2020). State of Global Air 2020.

IEA (International Energy Agency). (2023). *Reducing emissions from ports and shipping: Electrification and alternative fuels*. IEA.

International Association of Ports and Harbors (IAPH). (n.d.). Environmental Ship Index (ESI). IAPH. ([IAPH](#))

International Maritime Organization (IMO). (2020). Fourth IMO GHG Study. MEPC 75/INF.6.

International Maritime Organization (IMO). (2020). IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions. IMO. ([imo.org](#))

International Maritime Organization (IMO). (2021). *Ballast Water Management Convention: Implementation guidelines*. London: IMO.

International Maritime Organization (IMO). (2022). *MARPOL Consolidated Edition 2022*. London: IMO Publishing.

International Maritime Organization (IMO). (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. IMO. ([imo.org](#))

International Maritime Organization (IMO). (2025, May 1). The Mediterranean Sea becomes an Emission Control Area (Med SOx ECA). IMO. ([imo.org](#))

International Maritime Organization. (2020). International shipping facts and figures – Information resources on trade, safety, security, environment. (<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Default.aspx>)

International Transport Forum. (2021). *Decarbonising Maritime Transport: Pathways to zero-carbon shipping by 2035*. OECD Publishing. (<https://www.itf-oecd.org/decarbonising-maritime-transport>)

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. (<https://doi.org/10.1126/science.1260352>)

Jansen, K. L., Kloog, I., Schwartz, J. D., Melly, S., & Suh, H. H. (2021). Exposure to air pollution in port cities and health outcomes: A review. *Environmental Research*, 194, 110658. (<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110658>)

Khan, R. U., Yin, J., & Mustafa, F. S. (2021). Accident and pollution risk assessment for hazardous cargo in a port environment. *PLOS ONE*, 16(6), e0252732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252732>

Kiihamäki, S. P., et al. (2024). Effects of ambient air pollution from shipping on mortality: A review. *Science of The Total Environment*. ([ScienceDirect](#))

Kraus, R., Baljak, V., Vukić Lušić, D., Kranjčević, L., Cenov, A., Glad, M., Kauzlarić, V., Lušić, D., Grbčić, L., Alvir, M., & Pećarević, M. (2022). Impacts of atmospheric and anthropogenic factors on microbiological pollution of coastal beaches neighboring shipping ports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8552. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148552>

Lam, J. S. L., & Notteboom, T. (2014). The greening of ports: A comparison of port management tools used by leading ports in Asia and Europe. *Transport Reviews*, 34(2), 169–189. <https://doi.org/10.1080/01441647.2014.891162>

Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., et al. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462–512.

Landrigan, P. J., Stegeman, J. J., Fleming, L. E., Allemand, D., Anderson, D. M., Backer, L. C., Brucker-Davis, F., Chevalier, N., Corra, L., Czerucka, D., Depledge, M., & others. (2020). Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, 86(1), 151. <https://doi.org/10.5334/aogh.2831>

Leslie, H. A., et al. (2022). Human exposure to microplastics. *Environment International*, 163, 107199.

- Moretti, E., & Neidell, M. (2009). Pollution, health, and avoidance behavior: Evidence from the ports of Los Angeles. *National Bureau of Economic Research Working Paper No. 14939*. <https://www.nber.org/papers/w14939>
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2017). Pesticides and human chronic diseases. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 334, 41–55.
- Mueller, N., Cirach, M., Ambros, A., Daher, C., Nieuwenhuijsen, M., & Basagaña, X. (2024). Health impact assessment of port-sourced air pollution in Barcelona. *PLOS ONE*, 19(8), e0305236. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305236>
- Munzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A., & Sorensen, M. (2018). Environmental noise and the cardiovascular system. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697. (<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>)
- Murphy, E., & King, E. A. (2014). *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Elsevier.
- National Research Council. (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, fates, and effects*. The National Academies Press. (<https://doi.org/10.17226/10388>)
- Newby, D. E., et al. (2015). Cardiovascular effects of air pollution. *European Heart Journal*, 36, 83–93.
- Nordberg, G. F., et al. (2018). Cadmium toxicology. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 352, 67–75.
- OECD. (2011). *Environmental impacts of international shipping: The role of ports*. OECD Publishing.
- Peterson, K. L., Chavdarian, B., Islam, M., & Cayanan, C. (2009). Tackling ship pollution from the shore. *IEEE Industry Applications Magazine*, 15(1), 56–65. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2008.930901>
- Port of Los Angeles. (2022). *Clean Air Action Plan*. (<https://www.cleanairactionplan.org/>)
- Port of Rotterdam Authority. (2026). *Climate Transition Plan Port of Rotterdam Authority*.
- Port of Rotterdam Authority. (n.d.-a). *Facts and figures*. ([Port of Rotterdam](#))

Port of Rotterdam Authority. (n.d.-b). *Shore-based power in Rotterdam*. ([Port of Rotterdam](#))

Ren, C., Williams, G. M., Morawska, L., Mengersen, K., & Tong, S. (2010). Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occupational and Environmental Medicine*, 67(4), 255–260.

Reuters. (2025, July 14). European ports slow to install shore power ahead of 2030 deadline, study shows. ([Reuters](#))

Roberts, T., Williams, I., Preston, J., Clarke, N., Odum, M., & O’Gorman, S. (2023). Ports in a Storm: Port-City Environmental Challenges and Solutions. *Sustainability*, 15(12), 9722. (<https://doi.org/10.3390/su15129722>)

Rochman, C. M., Kurobe, T., Flores, I., & Teh, S. J. (2015). Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of The Total Environment*, 493, 656–661. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051>)

Slabbekoorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., & Popper, A. N. (2010). A noisy spring: The impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(7), 419–427. (<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.04.005>)

Smith, A. H., et al. (2018). Arsenic in drinking-water. *Environmental Research*, 162, 304–312.

Song, S. (2014). Shipping emissions and their social costs in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.027>

Stevens, R. G., et al. (2013). Light at night and breast cancer risk. *Environmental Health Perspectives*, 121, 1–4.

Sustainable World Ports. (n.d.). World Ports Climate Action Program (WPCAP). ([World Port Sustainability Program](#))

Tokuslu, A. (2021). Estimating greenhouse gas emissions from ships on four ports of Georgia from 2010 to 2018. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(385). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09169-w>

Transport & Environment. (2023). *The Return of the Cruise: How cruise ships pollute European cities*. European Federation for Transport and Environment AISBL.

UNCTAD. (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. United Nations Conference on Trade and Development.

United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Marine litter and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change. (<https://www.unep.org/resources/report/marine-litter-and-microplastics>)

United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *From pollution to solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. Nairobi: UNEP.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2021). Ports initiative: Reducing air pollution and greenhouse gases at ports. (<https://www.epa.gov/ports-initiative>)

Viana, M., et al. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*. ([ScienceDirect](#))

Viana, M., et al. (2020). Estimated health impacts from maritime transport in the Mediterranean region and benefits from the use of cleaner fuels. *Environment International*. ([ScienceDirect](#))

Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., & van Aardenne, J. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*, 90, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>

Wang, Z., & Yuan, W. (2021). Port-Waste Management under the MARPOL Convention: Analysis of Operational Practices in China. *Science of The Total Environment*, 784, 147132. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147132>)

WHO. (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. World Health Organization.

WHO. (2022). Drinking-water. World Health Organization.

Zhao, Y., Nielsen, C. P., Lei, Y., McElroy, M. B., & Hao, J. (2011). Quantifying the uncertainties of a bottom-up emission inventory of anthropogenic atmospheric pollutants in China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(5), 2295–2308. (<https://doi.org/10.5194/acp-11-2295-2011>)