

*Διπλωματική Εργασία*

# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ GOLD IRONING ΣΕ ΛΙΜΕΝΕΣ : ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ

ΦΩΤΙΟΣ ΜΕΤΑΞΑΣ

**Επιβλέπων καθηγητής:** Παπαευθυμίου Σπυρίδων, Καθηγητής

**1ο μέλος εξεταστικής επιτροπής:** Ιψάκης Δημήτρης, Αναπληρωτής Καθηγητής

**2ο μέλος εξεταστικής επιτροπής:** Κονσολάκης Μιχαήλ, Καθηγητής

Χανιά, October 2025

# Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Σπυρίδων Παπαευθυμίου που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και τους φίλους μου, για όλη την αγάπη και την ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και κατά την εκπόνηση της διπλωματική μου εργασίας.

# Περίληψη

Η ναυτιλιακή βιομηχανία εισέρχεται σε μια νέα, περιβαλλοντικά φιλική εποχή, με την απανθρακοποίηση να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του κλάδου και την προστασία του περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο αυτό, η μέθοδος Cold Ironing αφορά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορικά και επιβατηγά πλοία κατά την παραμονή τους στο λιμάνι, μέσω σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο της ξηράς. Με την απενεργοποίηση των γεννητριών των πλοίων μειώνονται σημαντικά οι εκπομπές ρύπων, συμβάλλοντας στην επίτευξη των ευρωπαϊκών και διεθνών στόχων για την κλιματική αλλαγή. Ήδη, αντίστοιχα συστήματα έχουν εγκατασταθεί σε λιμάνια της Ευρώπης, ενώ και στην Ελλάδα προωθείται η εφαρμογή τους, αξιοποιώντας τη στρατηγική της θέση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τον ρόλο του Cold Ironing στην περιβαλλοντική μετάβαση της ναυτιλίας, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα, τις τεχνικές και νομικές προκλήσεις, τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και παραδείγματα εφαρμογής παγκοσμίως. Τέλος, παρουσιάζονται οι μελλοντικές προοπτικές ανάπτυξης λιμενικών υποδομών που ενσωματώνουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία, σε συνδυασμό με άλλες καινοτόμες λύσεις, με στόχο την ενίσχυση της βιωσιμότητάς τους.

## Abstract

The maritime industry is entering a new, environmentally conscious era, with decarbonization emerging as a critical factor for its long-term sustainability and for the protection of the environment. In this context, the Cold Ironing method involves the supply of electrical power to commercial and passenger vessels while docked, through a connection to the onshore power grid. By allowing ships to shut down their onboard generators, this practice significantly reduces air pollutant emissions, contributing to the achievement of European and international climate goals. Similar systems have already been implemented in several European ports, while efforts are underway to adopt this method in Greek ports as well, capitalizing on the country's strategic location.

This thesis explores the role of Cold Ironing in the environmental transition of the maritime sector, highlighting its benefits, technical and legal challenges, and available energy sources, as well as global case studies of its implementation. Finally, the study presents future development prospects for port infrastructure incorporating this technology, in combination with other innovative solutions, aiming to enhance their overall sustainability.

# Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες .....	2
Περίληψη .....	3
Abstract .....	3
Πίνακας Περιεχομένων .....	4
Εισαγωγή .....	7
1 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Ναυτιλία .....	8
1.1 Ιστορική αναδρομή για τα πλοία .....	8
1.1.1 Προϊστορική εποχή: .....	8
1.1.2 Αρχαιότητα : .....	8
1.1.3 Μεσαίωνα: .....	8
1.1.4 Σύγχρονη Εποχή: .....	9
1.2 Ρύποι και Επιπτώσεις από την Ναυτιλία .....	10
1.2.1 Κινήσεις πλοίων: .....	10
1.2.2 Κατηγορίες ρύπων από την ναυτιλία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία : .....	10
1.2.2.1 Διοξείδιο του Άνθρακα (CO <sub>2</sub> ): .....	10
1.2.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): .....	11
1.2.2.3 Οξείδιο του αζώτου (NO <sub>x</sub> ): .....	11
1.2.2.4 Υδρογονάνθρακες (HC): .....	12
1.2.2.5 Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ): .....	12
1.2.2.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM): .....	13
1.2.2.7 Μόλυβδος (Pb): .....	14
1.2.2.8 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs): .....	14
1.2.2.9 Αιθάλη/Μαύρος Άνθρακας (BC): .....	15
1.2.2.10 Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> ): .....	16
1.3 Κλιματική Αλλαγή: .....	17
1.3.1 Αέριες εκπομπές: .....	18
1.3.1.1 Αέρια του θερμοκηπίου (GHG): .....	18
1.3.1.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι: .....	19
1.3.2 Επιβάρυνση του θαλάσσιου οικοσυστήματος: .....	20
1.3.2.1 Μη αυτόχθονα είδη: .....	20
1.3.2.2 Πετρελαιοκηλίδες και ατμοσφαιρικοί ρύποι: .....	20
1.3.3 Ρύπανση του οικοσυστήματος: .....	20
1.3.3.1 Ηχορύπανση: .....	20

1.3.3.2 Φωτορύπανση:.....	21
1.3.3.3 Καταστροφή-Διαταραχή του βυθού: .....	22
2° Κεφάλαιο: Βιωσιμότητα και Πράσινη Ναυτιλία .....	23
2.1 Βιωσιμότητα:.....	23
2.2 Πυλώνες της Βιωσιμότητας και οι στόχοι: .....	24
2.2.1 Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα: .....	25
2.2.2 Οικονομική βιωσιμότητα:.....	25
2.2.3 Κοινωνική βιωσιμότητα:.....	25
2.3 Ναυτιλία & Βιωσιμότητα : .....	26
2.3.1 Πράσινο πλοίο : .....	27
2.3.2 Πράσινα λιμάνια:.....	29
3° Κεφάλαιο: Νομοθετικά Πλαίσια .....	31
3.1 Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization-IMO): .....	31
3.1.1 Ιστορία:.....	31
3.1.2 Δομή του Οργανισμού:.....	33
3.2 Θαλάσσια σύμβαση MARPOL : .....	35
3.3 Fit for 55:.....	37
3.3.1 Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ (EU ETS):.....	38
3.3.2 FuelEU maritime initiative: .....	39
3.3.3 Alternative fuels infrastructure(AFIR):.....	39
4° Κεφάλαιο: Cold Ironing .....	40
4.1 Περιγραφή: .....	40
4.2 Διεθνή πρότυπα: .....	41
4.2.1 Πρόταση 2006/339/EC: .....	41
4.2.2 Πρότυπα ISO/IEC/IEEE 80005: .....	42
4.3 Εξοπλισμός : .....	44
4.3.1 Εξοπλισμός στα Λιμάνια:.....	44
4.3.1.1 Μετασχηματιστής: .....	44
4.3.1.2 Μετατροπέα συχνότητας (Frequency converter): .....	45
4.3.1.3 Καλώδια και αγωγοί: .....	45
4.3.1.4 Κοιλότητες υποδοχής (Switchgear):.....	46
4.3.1.5 Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας (Receptacle pits):.....	47
4.3.1.6 Σύστημα Διαχείρισης Καλωδίων (Cable Management System):.....	47
4.3.2 Εξοπλισμός στα Πλοία: .....	48
4.3.2.1 Σύστημα Διαχείρισης Καλωδίων (Cable Management System):.....	48

4.3.2.2 Σύστημα σύνδεσης των καλωδίων:.....	49
4.3.2.3 Σύστημα διανομής (Distribution system):.....	50
4.4 Νέες εφαρμογές στα λιμάνια με cold ironing:.....	51
4.4.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: .....	51
4.4.2 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας:.....	53
4.4.3 Έξυπνα δίκτυα (Smart Grids): .....	54
4.5 Πλεονεκτήματα & Δυσκολίες: .....	55
4.5.1 Πλεονεκτήματα:.....	55
4.5.2 Δυσκολίες: .....	56
5 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Συμπεράσματα .....	58
Βιβλιογραφία .....	59

# Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία εξετάζει την ανάπτυξη εφαρμογών της μεθόδου Cold Ironing στον τομέα της ναυτιλίας, με στόχο τη συμβολή στην επίτευξη των διεθνών και ευρωπαϊκών στόχων για την απανθρακοποίηση έως το 2030. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αναλύει τις νέες εφαρμογές που μπορούν να αξιοποιηθούν σε συνεργασία με τη συγκεκριμένη τεχνολογία, προκειμένου να περιοριστεί η περιβαλλοντική και κοινωνική επιβάρυνση που προκαλούν τα πλοία στις περιοχές γύρω από τα λιμάνια κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού τους. Η σημασία του συγκεκριμένου θέματος είναι ιδιαίτερα μεγάλη τόσο για τα λιμάνια διεθνούς εμβέλειας όσο και για τα τουριστικά, μιας και η εφαρμογή της μεθόδου δύναται να αποτελέσει σημαντικό βήμα προς την επιδιωκόμενη πράσινη μετάβαση.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής, γίνεται μια ιστορική ανασκόπηση της ναυτιλίας, με αναφορά στα είδη ρύπων και επιπτώσεων που έχουν στον άνθρωπο αλλά και στο κλίμα, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στο θέμα της βιωσιμότητας σε σχέση με την ναυτιλία, όπου εξετάζεται ο ορισμός της, οι βασικοί πυλώνες και οι στόχοι της, καθώς και οι μορφές με τις οποίες εφαρμόζεται στον ναυτιλιακό τομέα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα νομοθετικά πλαίσια στα οποία η ναυτιλία κινείται με στόχο την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά μέθοδο Cold Ironing, παρουσιάζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά της, τα διεθνή πρότυπα, τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τις νέες εφαρμογές που αναπτύσσονται σε συνδυασμό με αυτή, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις της εφαρμογής της.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο διατυπώνεται το γενικό συμπέρασμα της εργασίας, εξετάζοντας κατά πόσο είναι εφικτή η εφαρμογή της μεθόδου και με ποιους τρόπους μπορεί να συνεισφέρει ουσιαστικά στην πράσινη μετάβαση του ναυτιλιακού τομέα.

# 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Ναυτιλία

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ιστορική ανασκόπηση των πλοίων, από την προϊστορική εποχή έως τη σύγχρονη εποχή, καθώς και οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οφείλονται στη σημερινή ναυτιλία. Συγκεκριμένα, θα εξεταστούν οι εξής κατηγορίες ρύπων από την ναυτιλία και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, θα γίνει αναφορά στην κλιματική αλλαγή καθώς και στους τρόπους με τους οποίους επηρεάζεται από την ναυτιλία.

## 1.1 Ιστορική αναδρομή για τα πλοία

### 1.1.1 Προϊστορική εποχή:

Σωζόμενες πήλινες πλάκες και δοχεία καταγράφουν τη χρήση υδάτινων σκαφών ήδη από το 4000 π.Χ. Ως ένας σχεδόν αποκλειστικά παραποτάμιος πολιτισμός, η Αίγυπτος ήταν στενά ευθυγραμμισμένη με τον Νείλο, εξαρτώμενη πλήρως από αυτόν και εξυπηρετούμενη από τη συνεχή ναυσιπλοΐα του. Αυτές οι κατασκευές είχαν ως κύριο μέσο πρόωσης είτε τα ρεύματα των υδάτων είτε κουπιά. Μεταγενέστερα τα αιγυπτιακά πλοία διέθεταν τόσο ιστία όσο και κουπιά. Εξαιτίας περιορισμών μέσα στον Νείλο εξαρτιόντουσαν κυρίως από τους ανέμους μέσα σε αυτό το στενό κανάλι, καθώς και την χρήση της κωπηλασίας. Η ναυσιπλοΐα στη θάλασσα ξεκίνησε για τους Αιγύπτιους ήδη από την 3η χιλιετία π.Χ. Μάλιστα τα πρώτα ταξίδια περιλάμβαναν αποστολές προς την Κρήτη, ακολουθούμενες από ταξίδια που καθοδηγούνταν μέσω παράκτιων σημείων αναφοράς προς τη Φοινίκη. Στην συνέχεια, με τη χρήση ενός πρώιμου καναλιού που συνέδεε τον Νείλο με την Ερυθρά Θάλασσα, πραγματοποιήθηκαν εμπορικά ταξίδια κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Αφρικής. Αργότερα (τον 25<sup>ο</sup> αιώνα για την Αίγυπτο και 12<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. για την Φοινίκη) οι Αιγύπτιοι και οι Φοίνικες θα κατασκεύαζαν τα πρώτα μεγάλα πλοία για το εμπόριο αγαθών [1], [2], [3].

### 1.1.2 Αρχαιότητα :

Με την εφεύρεση των πανιών για την αξιοποίηση του αέρα για την πλεύση, διευκολύνθηκε ιδιαίτερα η πραγματοποίηση εμπορίου μέσω των θαλάσσιων οδών ,πράγμα που συνέβαλλε στην κατασκευή των πρώτων μεγάλων πλοίων, δίνοντας έτσι την δυνατότητας μεταφοράς περισσότερων αγαθών. Τον 6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. τοποθετείται, επίσης, και η δημιουργία των πρώτων πλοίων με σοβαρή ικανότητα να διεξάγουν ναυμαχίες, όπως οι πασίγνωστες τριήρεις οι οποίες αποτελούνταν από τρεις σειρές κουπιών με 170 κωπηλάτες. Έτσι, επειδή τα πολεμικά πλοία απαιτούσαν ταχύτητα, επαρκή χώρο για μεγάλο αριθμό πολεμιστών και τη δυνατότητα ελιγμών ανά πάσα στιγμή προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, τα μακρόστενα, κωπήλατα πλοία έγιναν το πρότυπο για τη ναυτική πολεμική τέχνη. Αντίθετα, τα εμπορικά πλοία επιδίωκαν να μεταφέρουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φορτίο με το μικρότερο δυνατό πλήρωμα, οπότε τα εμπορικά σκάφη απέκτησαν πιο στρογγυλεμένο σχήμα, ώστε να μπορούν να πλέουν με ευκολία. Κατά τη ρωμαϊκή περίοδο (3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ.) κατασκευάζονται από τους Ρωμαίους οι γαλέρες οι οποίες αγγίζουν τους 1.000 μετρικούς τόνους εκτόπισμα, οι οποίες διέθεταν κωπηλατικό πλήρωμα 50 κωπηλατών και μεταφορική ικανότητα έως και 200 ατόμων και χρησιμοποιούνται για πολεμικούς αλλά και για εμπορικούς σκοπούς [2], [3], [4].

### 1.1.3 Μεσαίωνας:

Κατά την διάρκεια της Βυζαντινής αυτοκρατορίας (6<sup>ο</sup> αιώνας μ.Χ.) υπάρχει ένα διαφορετικό είδος πλοίου αυτό ονομάζεται Δρόμων ή Δρόμωνας απόγονος της Διήρης και η Τριήρης, και αποτελούνταν από δύο σειρές 50 κουπιών σε κάθε πλευρά του και σε κάθε κουπί υπήρχαν από δύο κωπηλάτες με πλήρωμα περίπου 200 κωπηλάτες. Στο μακρινό βορρά (8<sup>ο</sup> και 10<sup>ο</sup> μ.Χ.) οι Βίκινγκς εξορμούσαν με τα



Ντρακάρ τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για ναυμαχίες και επιδρομές. Στην Κίνα κατά τον 10<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. υπήρχε ο τύπος πλοίου Τζόνγκα ο οποίος αρχικά αξιοποιήθηκε για μικρότερα εμπορικά ταξίδια σε ποτάμια, ενώ στην συνέχεια μπορούσαν να πραγματοποιήσουν μεγαλύτερα ταξίδια στην Νοτιοανατολική Ασία και πιο πέρα. Στις αρχές του 15<sup>ου</sup> αιώνα εμφανίστηκε το πλήρως ιστιοφόρο πλοίο, το οποίο διέθετε τρία κατάρτια και πέντε ή έξι ιστία. Τα εμπορικά πλοία που αξιοποιούντουσαν τότε ήταν μακρόστενα, με χαμηλό πλώρα, συνήθως κωπηλατούμενα για μεγάλο μέρος του ταξιδιού τους, και καθοδηγούνταν από διαδοχικές παραθαλάσσιες τοποθεσίες, έχοντας μικρή ανάγκη για πυξίδα και μαθηματική ναυσιπλοΐα. Στις χώρες της δυτικής Ευρώπης (Αγγλία ,Ισπανία ,Πορτογαλία, Βενετία) οι ναυπηγοί μεγάλωσαν περισσότερο τα πλοία και επινοήσαν πρωτότυπες μεθόδους που επέτρεψαν στα πλοία να αντέχουν την καταπόνηση από τα νέα πυροβόλα όπλα που μόλις είχαν αρχίσει να εμφανίζονται, καθώς και ποντοπόρα ταξίδια. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι αυτός της Βενετίας η οποία βασίστηκε στις ισχυρές Γαλεάσσες που αποτελούσαν εξέλιξη των μεγάλων εμπορικών γαλερών. Στο τέλος του μεσαίωνα (15<sup>ο</sup> αιώνας μ.Χ.) οι Καραβέλες των Ισπανών και Πορτογάλων άνοιξαν το δρόμο για την εποχή των μεγάλων εξερευνήσεων [1], [2], [3].

#### 1.1.4 Σύγχρονη Εποχή:

Η ανάπτυξη νέων τεχνολογικών μεθόδων συνέβαλε σημαντικά και στην πρόοδο της ναυτιλίας. Με την υπέρβαση της χρήσης των ιστίων και των πανιών, εμφανίστηκαν τα πρώτα ατμοκίνητα πλοία, τα οποία κινούνταν με κάρβουνο (λιθάνθρακα), όπου στην αρχή κινόντουσαν σε μικρότερες αποστάσεις λόγω των μη αποδοτικών καυσίμων τους. Στην αρχή, η δυσαναλογία μεταξύ του βάρους της μηχανής και της παραγωγής ισχύος αποτελούσε σημαντικό πρόβλημα. Ωστόσο, η δυνατότητα της κατασκευής πλοίων πολύ μεγαλύτερου μεγέθους σήμαινε ότι οι μηχανές δεν χρειάστηκε να υποστούν σημαντική μείωση σε ισχύ. Έτσι η κατασκευή των πλοίων συνέχισε να εξελίσσεται, με αποτέλεσμα τη χρήση ανθεκτικότερων υλικών, όπως του ατσαλιού ως κύριο υλικό. Μεταγενέστερα, οι κινητήρες άρχισαν να λειτουργούν με την χρήση του πετρέλαιο, πράγμα που συνέβαλε στα πλοία να μπορούν να αποκτήσουν μεγαλύτερες διαστάσεις, ενισχύοντας περαιτέρω τις μεταφορικές τους δυνατότητες. Παράλληλα, τα θωρηκτά πλοία καθιερώθηκαν ως κυρίαρχα πολεμικά πλοία και στους δύο παγκοσμίους πολέμους, όπου η μετάβαση από τον άνθρακα στο πετρέλαιο είχε ήδη ξεκινήσει από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, και μέχρι τον Β' Παγκόσμιο, το πετρέλαιο είχε γίνει το κυρίαρχο καύσιμο στη ναυτιλία. Στην συνέχεια η μετάβαση στους ντίζελ κινητήρες και στους αεριοστρόβιλους αρχίζει να αντικαθιστά τους ατμοστρόβιλους στα εμπορικά πλοία. Αυτή η άνοδος των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων από τη δεκαετία του 1960 και έπειτα άλλαξε ριζικά τη φύση του εμπορίου και ναυτιλίας οδηγώντας σε ακόμη μεγαλύτερα πλοία. Τέλος, με την ναυτιλία να συνεχίζει να εξελίσσεται με την ανάπτυξη νέων τύπων πλοίων και καινοτόμων μεθόδων πρόωσης, χάρις την χρήση εναλλακτικών καυσίμων (όπως του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), της αμμωνία και του υδρογόνου) , αλλά καθώς της εισαγωγής υβριδικών και ηλεκτρικών συστημάτων κίνησης ή παροχής ενέργειας, σηματοδοτείται η μετάβαση σε μια πιο αποδοτική και περιβαλλοντικά βιώσιμη ναυτιλία [2], [3].

Καθώς η ναυτιλία εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια αυτής των 6.000 ετών ιστορίας από τα πρώτα ξύλινα ιστιοφόρα σε μεγάλα, σύγχρονα εμπορικά και επιβατηγά πλοία, η τεχνολογική πρόοδος συνέβαλε σημαντικά στην ενίσχυση του παγκόσμιου εμπορίου και της διασύνδεσης μεταξύ των χωρών. Ωστόσο, αυτή η εξέλιξη συνοδεύτηκε και από σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως λόγω της μετάβασης στη χρήση ορυκτών καυσίμων και της συνεχώς αυξανόμενης κλίμακας των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων. Στην επόμενη ενότητα, θα εξεταστούν οι βασικοί ρύποι που προέρχονται από τη ναυτιλία και οι συνέπειες που αυτοί έχουν στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

## 1.2 Ρύποι και Επιπτώσεις από την Ναυτιλία

### 1.2.1 Κινήσεις πλοίων:

Αρχικά, είναι κρίσιμο να κατανοηθούν οι δραστηριότητες που εκτελεί ένα πλοίο, τόσο κατά τη διάρκεια της πλεύσης όσο και της παραμονής του στο λιμάνι, προκειμένου να γίνει σαφές πότε και πώς εκπέμπει ρύπους. Αυτές οι δραστηριότητες επηρεάζουν σημαντικά τόσο το θαλάσσιο περιβάλλον όσο και την ατμοσφαιρική ποιότητα των λιμανιών. Συγκεκριμένα, οι κυριότερες δραστηριότητες που συμβάλλουν στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων είναι οι εξής [2], [5]:

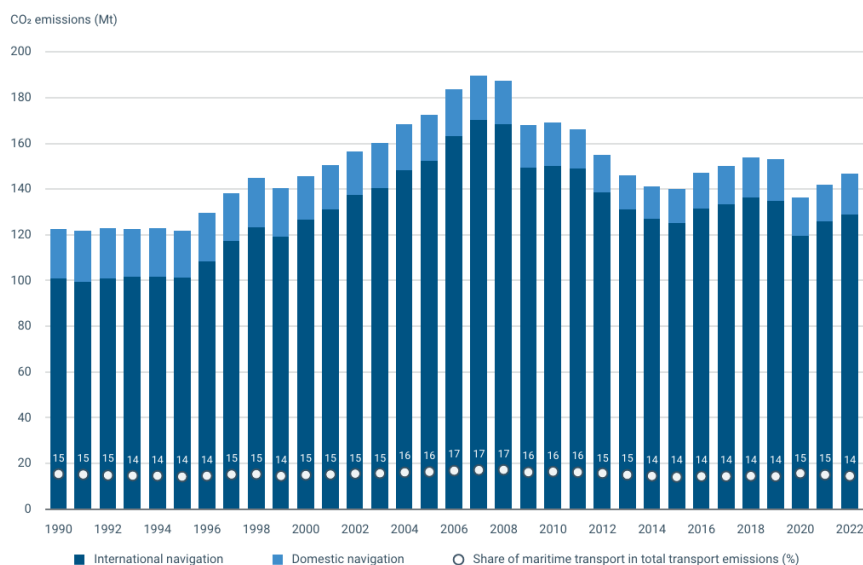
- **Πλεύση στα ανοιχτά:** Η καύση καυσίμων για την κίνηση του πλοίου προκαλεί σημαντικές εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλων αέριων ρύπων.
- **Κίνηση εντός του λιμανιού:** Οι δραστηριότητες αυτές ενδέχεται να περιλαμβάνουν καύση καυσίμων και εκπομπές ρύπων λόγω της περιορισμένης ταχύτητας και των ελιγμών του πλοίου.
- **Λειτουργίες κατά τον ελλιμενισμό:** Όπως ο φωτισμός, η θέρμανση, η ψύξη, ο εξαερισμός και οι διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης, οι οποίες αυξάνουν τις εκπομπές ρύπων, ιδίως σε πλοία όπως τα δεξαμενόπλοια.
- **Εργασίες συντήρησης, κατασκευής ή διάλυσης:** Οι εργασίες αυτές, οι οποίες συχνά πραγματοποιούνται κοντά σε πολυσύχναστα λιμάνια, προκαλούν εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων, σκόνης και επικίνδυνων αερίων, όπως αυτά που προκύπτουν από συγκόλληση.
- **Απολίπανση και βαφή σκαφών:** Ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά ζητήματα που προκύπτουν είναι οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων κατά τον καθαρισμό, την αφαίρεση χρωμάτων και την αντικατάσταση ανοδίων ψευδαργύρου, παράγονται σημαντικές ποσότητες πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs-Volatile Organic Compounds) και επικίνδυνων αερίων (HAPs-Hazardous Air Pollutants), που έχουν σοβαρές περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις.
- **Αποτεφρώσεις αποβλήτων στο πλοίο:** Η αποτέφρωση αποβλήτων προκαλεί εκπομπές διοξινών και βαρέων μετάλλων, τα οποία ενδέχεται να έχουν σοβαρές περιβαλλοντικές και υγειονομικές συνέπειες.

### 1.2.2 Κατηγορίες ρύπων από την ναυτιλία και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία :

#### 1.2.2.1 Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>):

Αποτελεί ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου, είναι άχρωμο και σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά και σε κανονικές συνθήκες παραμένει άοσμο και άγευστο. Ενώ αποτελεί ένα αέριο το οποίο παράγεται και βρίσκεται φυσικά στην ατμόσφαιρα συμβάλλοντας στην διατήρηση της θερμοκρασίας στη γη, ταυτόχρονα αποτελεί και απειλή για τον πλανήτη, καθώς έχει τις πιο επιβλαβείς μακροπρόθεσμες συνέπειες όσον αφορά την παγκόσμια θέρμανση [6]. Αυτή η διαταραχή του ισοζυγίου οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες, καθώς είναι προϊόν καύσης του πετρελαίου και ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές και στη βιομηχανία, αλλά και του ξύλου, των πλαστικών, της βιομάζας και οργανικών ενώσεων [5], [7]. Καταφέρνει και παραμένει στην ατμόσφαιρα για αρκετά χρόνια και μεταφέρεται

μέσω των φυσικών διεργασιών από τους ωκεανούς στο έδαφος και το αντίστροφο. Τέλος, η δηλητηρίαση από CO<sub>2</sub> συμβαίνει όταν οι πνεύμονες δεν μπορούν να προσλάβουν αρκετό οξυγόνο. Αν και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) δεν είναι τόσο θανατηφόρο όσο το μονοξείδιο του άνθρακα, σε υψηλά επίπεδα σε κλειστούς χώρους – για παράδειγμα, σε υποβρύχιο – μπορεί να προκαλέσει ασφυξία πολύ πριν εξαντληθεί το οξυγόνο [8]. Μάλιστα, δεκάδες άνθρωποι πεθαίνουν ή τραυματίζονται κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα διαρροών CO<sub>2</sub> σε μπαρ, εστιατόρια ή σε ψυγεία χωρίς αερισμό, ενώ άλλοι πεθαίνουν σε θαλάμους αποθήκευσης ξηρού πάγου (κατεψυγμένο διοξείδιο του άνθρακα) που χρησιμοποιούνται για προσωρινή αποθήκευση τροφίμων.



**Διάγραμμα 1.1:** Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον ναυτιλιακό τομέα και το μερίδιό τους στις συνολικές εκπομπές μεταφορών στην ΕΕ-27 [9].

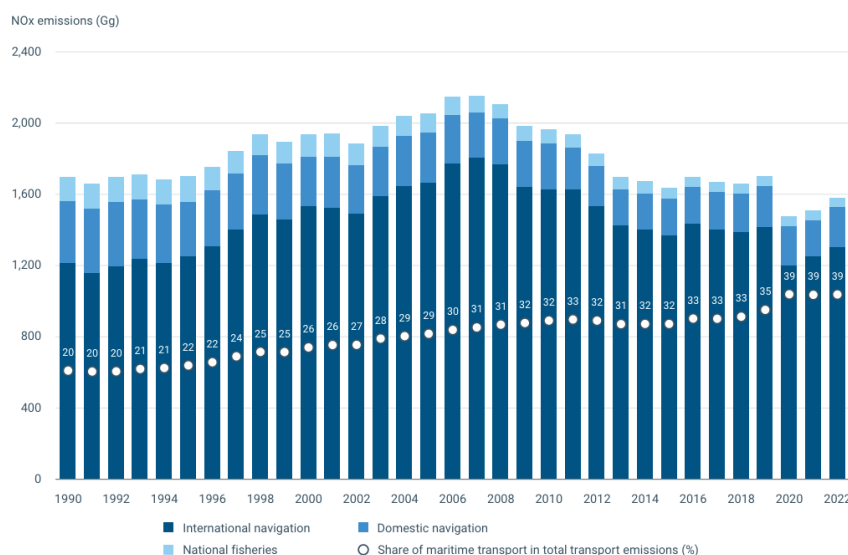
#### 1.2.2.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO):

Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO) αποτελεί υποπροϊόν της καύσης ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο, τον άνθρακα και το φυσικό αέριο, είναι ένα άχρωμο, άοσμο και τοξικό αέριο, ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις. Το CO από τη στιγμή που εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό, έχει την ικανότητα να αντιδράσει με την αιμοσφαιρίνη του αίματος πολύ πιο γρήγορα από το οξυγόνο, με αποτέλεσμα την ελλιπή οξείδωση των ιστών και ως εκ τούτου την πρόκληση δυσλειτουργιών στο κεντρικό νευρικό σύστημα οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν από πονοκεφάλους και δυσκολία στην αναπνοή, μέχρι την απώλεια αισθήσεων [8], [10], [11].

#### 1.2.2.3 Οξείδιο του αζώτου (NO<sub>x</sub>):

Τα οξείδια του αζώτου είναι ένα σύνολο αέριων ρύπων που προκύπτουν από τις διάφορες αναμίξεις οξυγόνου και αζώτου. Παράγονται κατά την ανάφλεξη καύσιμης ύλης ενώ αποτελούν προϊόντα και φωτοχημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Τα περισσότερα NO<sub>x</sub> είναι άχρωμα και άοσμα με εξαίρεση το διοξείδιο του αζώτου που είναι κιτρινωπό-καφέ αέριο. Τα δύο κύρια οξείδια του αζώτου είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και το μονοξείδιο του αζώτου (NO). Από τις δύο αυτές ενώσεις μόνο το NO<sub>2</sub> θεωρείται τοξικό στις συνήθεις συγκεντρώσεις. Γενικά έχουν την δυνατότητα να αντιδράσουν με άλλες ενώσεις στον αέρα και να σχηματίσουν μικροσκοπικά σωματίδια αυξάνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις PM. Το διοξείδιο του αζώτου, το οποίο είναι το πιο τοξικό οξείδιο, προκαλεί βλάβη στα ευαίσθητα κύτταρα των πνευμόνων χωρίς να εμφανίζει συμπτώματα παρά μόνο όταν η έκθεση είναι μεγάλη και συνήθως μετά από ένα χρονικό διάστημα, όταν έχει ήδη προκληθεί φλεγμονή

που μπορεί να αποβεί θανατηφόρα. Η μακροχρόνια έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου μπορεί να προκαλέσει χρόνια βρογχίτιδα και εμφύσημα, καθώς και λοιμώξεις κυρίως σε μικρά παιδιά. Το περιβάλλον επηρεάζεται από τα νιτρικά οξέα που παράγονται από το οξείδιο του αζώτου, πράγμα που προκαλεί οξίνιση των υδάτων επηρεάζοντας τα ψάρια και άλλους οργανισμούς, καθώς και το φαινόμενο της όξινης βροχής που σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, οδηγεί στην μείωση των δασικών εκτάσεων [5], [6].



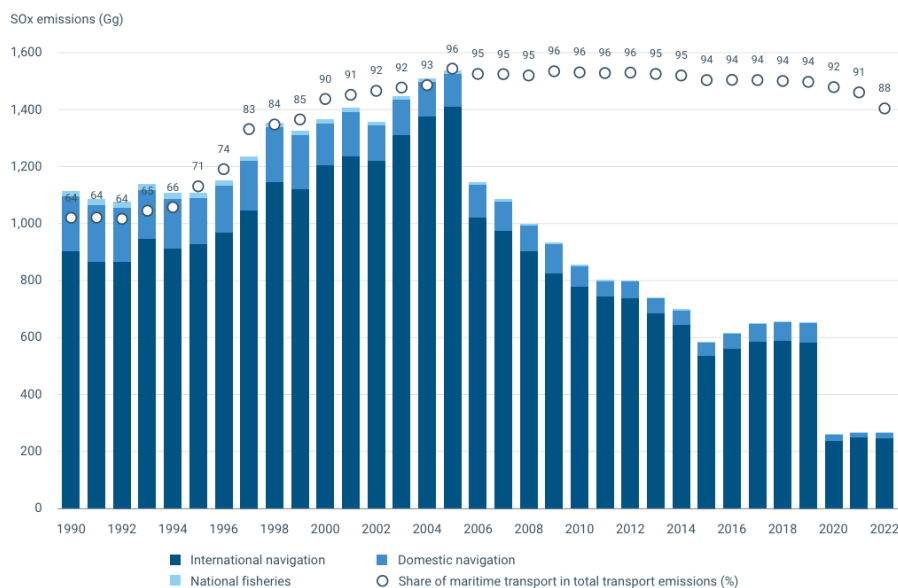
**Διάγραμμα 1.2:** Οι εκπομπές NOx από τον ναυτιλιακό τομέα και το μερίδιό τους στις συνολικές εκπομπές μεταφορών στην ΕΕ-27 [9].

#### 1.2.2.4 Υδρογονάνθρακες (HC):

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν μια κατηγορία οργανικών ενώσεων στις οποίες ο άνθρακας συνδέεται με άτομα υδρογόνου, αζώτου, οξυγόνου και θείου. Οι εκπομπές υδρογονανθράκων διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τους συνολικούς υδρογονάνθρακες (THC-Total Hydrocarbons) και τους μη μεθανιούχους υδρογονάνθρακες (NMHC-Non-Methane Hydrocarbons). Συχνά, αυτές οι ενώσεις αναφέρονται ως πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds - VOCs), στις οποίες περιλαμβάνονται όλοι οι υδρογονάνθρακες εκτός από το μεθάνιο και το αιθάνιο. Οι συνολικοί υδρογονάνθρακες (THC) θεωρούνται καρκινογόνοι και συμβάλλουν στην επιδείνωση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής [5], [6].

#### 1.2.2.5 Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>):

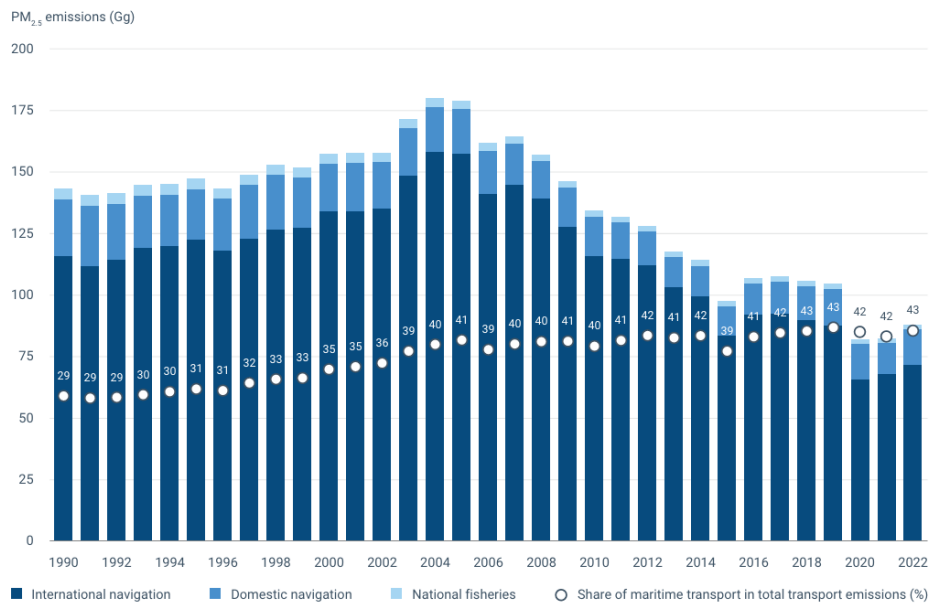
Αποτελεί ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο οξειδώνεται με φωτοχημική ή καταλυτική διαδικασία σε τριοξείδιο του θείου απορροφώντας την ατμοσφαιρική υγρασία σχηματίζει θειικό οξύ το οποίο και καταλήγει στο έδαφος. Το διοξείδιο του θείου είναι ήπια τοξικό και μπορεί να είναι επικίνδυνο σε υψηλές συγκεντρώσεις, ερεθίζοντας το αναπνευστικό σύστημα και προκαλώντας μείωση ορατότητας. Επιπλέον προκαλεί σοβαρές βλάβες στα οικοσυστήματα μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των αγροτικών περιοχών [12], [13]. Οι εκπομπές του αποτελούν τον πρόδρομο της όξινης βροχής και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας, πράγμα που συμβάλλει στην καταστροφή των μνημείων καθώς και την διάβρωση των τεχνικών υλικών τους και της ίδιας της μηχανής. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς διαδικασίες παραγωγής διοξειδίου του θείου και άλλων θειικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα είναι η κατανάλωση καυσίμων, άνθρακα και πετρελαίου, η διύλιση πετρελαίου, η επεξεργασία μη-σιδηρούχων ορυκτών και η καύση ξύλου [5], [6], [10].



**Διάγραμμα 1.3:** Οι εκπομπές SOx από τον ναυτιλιακό τομέα και το μερίδιό τους στις συνολικές εκπομπές μεταφορών στην ΕΕ-27 [9].

#### 1.2.2.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM):

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζονται τα διάφορα υγρά ή στερεά διακριτά σωματίδια, τα οποία αποτελούν ένα ιδιαίτερα σύνθετο ρύπο, διότι παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στο μέγεθος, στην χημική σύσταση αλλά και στο σχήμα τους. Είναι διακριτά στερεά σωματίδια ή σωματίδια αερολύματος στον αέρα και διαχωρίζονται στις κατηγορίες PM<sub>10</sub> (διάμετρος μέχρι 10 μm) και PM<sub>2.5</sub> (διάμετρος μέχρι 2.5 μm) [10]. Εξαιτίας του πολύ μικρού μεγέθους τους είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία καθώς μπορούν να εισέλθουν στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος, να διεισδύσουν στους πνεύμονες, κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων αλλά και στην κυκλοφορία του αίματος και με την πάροδο του χρόνου να επιφέρουν ιδιαίτερα σοβαρές βλάβες, όπως η πρόκληση καρδιαγγειακών, εγκεφαλοαγγειακών και αναπνευστικών νοσημάτων, μειωμένη πνευμονική λειτουργία, κρίσεις άσθματος, καρδιακές προσβολές και πρόωρο θάνατο. Συνήθως τα σωματίδια καπνού αποτελούνται από αιθάλη, οξειδία μετάλλων, καθώς και θειικά άλατα, όλα προερχόμενα από την ατελή καύση του καυσίμου ή από τις ακαθαρσίες στα καύσιμα και από συγκεκριμένα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται [5], [7].



**Διάγραμμα 1.4:** Οι εκπομπές PM<sub>2.5</sub> από τον ναυτιλιακό τομέα και το μερίδιό τους στις συνολικές εκπομπές μεταφορών στην ΕΕ-27 [9].

#### 1.2.2.7 Μόλυβδος (Pb):

Είναι ένα τοξικό μέταλλο (είτε εισπνέεται είτε καταπίνεται) που η ύπαρξη του στον αέρα αποτελεί πραγματικό κίνδυνο για την δημόσια υγεία επηρεάζοντας σχεδόν κάθε όργανο και σύστημα στο ανθρώπινο σώμα [11]. Σε αερομεταφερόμενα επίπεδα των 100 mg/m<sup>3</sup>, είναι άμεσα επικίνδυνος για τη ζωή και την υγεία. Το μεγαλύτερο μέρος του μολύβδου που καταναλώνεται απορροφάται στην κυκλοφορία του αίματος. Η κύρια πηγή του μολύβδου στον αέρα είναι η χρησιμοποίηση βενζίνης με μολύβδο στους κινητήρες Otto, σε αναλογία 0,5g Pb ανά λίτρο βενζίνης. Ενώσεις τετραμεθυλίουχου και τετραεθυλίουχου μολύβδου προστίθενται στην βενζίνη για την αύξηση των οκτανίων της, ώστε να επιτυγχάνεται η παραγωγή της μέγιστης ισχύος του κινητήρα και η βέλτιστη λειτουργία του [13]. Συνάμα η εξόρυξη, παραγωγή, χρήση και απόρριψη του μολύβδου και των προϊόντων του έχουν προκαλέσει σημαντική μόλυνση των εδαφών και των υδάτων της Γης. Έχει την ικανότητα συσσώρευσης στα εδάφη, ιδιαίτερα σε εκείνα με υψηλή οργανική περιεκτικότητα, όπου παραμένει για εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια ενδεχομένως αναστέλλοντας τη φωτοσύνθεση και σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις, επηρεάζοντας αρνητικά την ανάπτυξη και την επιβίωση των φυτών αλλά και των ίδιων οργανισμών που θα τα καταναλώσουν τα φυτά επηρεάζοντας όλη την τροφική αλυσίδα [14]. Η οξεία δηλητηρίαση από μολύβδο προκαλεί κώμα μέχρι και θάνατο. Περίπου το 3% κατά βάρος των αιωρούμενων σωματιδίων στις μεγάλες πόλεις αποτελείται από άλατα μολύβδου [5], [11].

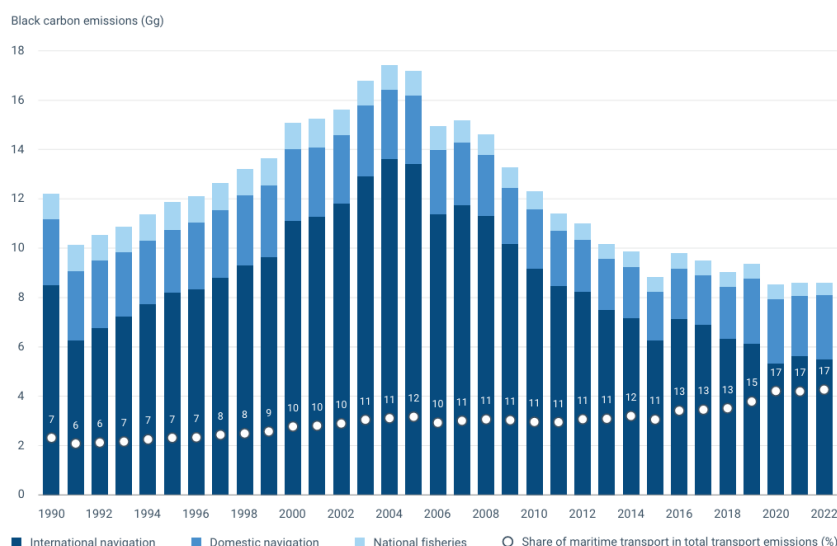
#### 1.2.2.8 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs):

Ως πτητικές οργανικές ενώσεις είναι οποιαδήποτε ένωση άνθρακα (εκτός από CO, CO<sub>2</sub>, ανθρακικό οξύ, μεταλλικά καρβίδια ή ανθρακικά και ανθρακικό αμμώνιο) που συμμετέχει σε ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Πέρα από τη συμβολή τους στο σχηματισμό του όζοντος, ορισμένα VOCs θεωρούνται τοξικά και μπορούν να συμβάλουν σε ένα ευρύ φάσμα δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία. Κάποιες από αυτές τις επιπτώσεις μπορεί να είναι:

ερεθισμός των ματιών, της μύτης και του λαιμού, πονοκεφάλους, απώλεια συντονισμού, ναυτία, διαταραχές της ακοής και βλάβες στο ήπαρ, τα νεφρά και το κεντρικό νευρικό σύστημα [15]. Ορισμένες πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs-Volatile Organic Compound) μπορεί να οφείλονται για την πρόκληση καρκίνου στους ανθρώπους. Τέλος, ορισμένα VOCs θεωρούνται επίσης PM [10].

#### 1.2.2.9 Αιθάλη/Μαύρος Άνθρακας (BC):

Η αιθάλη (BC: Black Carbon) είναι ακάθαρτα σωματίδια άνθρακα που προκύπτουν από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων. Σε αυστηρό ορισμό προκύπτει από την καύση αερίων αλλά ο ορισμός αυτός έχει επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει και υπολειμματικά σωματίδια από πυρολυμένο καύσιμο όπως γαιάνθρακες, κάρβουνα, πετρελαίου και ούτω καθ' εξής [16]. Εξαιτίας της ρύπανσης των καυσαερίων του ντίζελ, αυτά τα σωματίδια ευθύνονται για πάνω από το ένα τέταρτο της συνολικής επικίνδυνης ρύπανσης στον αέρα. Περιέχουν πολύ λεπτές καρκινογόνες ουσίες και ως εκ τούτου είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Επίσης, εξαιτίας του σκούρου χρώματός του, το BC απορροφά μεγάλο ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμαίνει άμεσα την ατμόσφαιρα, παρά την μικρή ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του. Με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας διαταράσσει τη δομή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και επηρεάζει την κάλυψη των νεφών ,γεγονός που μπορεί είτε να αυξήσει είτε να μειώσει την νεφοκάλυψη υπό διαφορετικές συνθήκες. Τέλος, έχουν την δυνατότητα να εναποτίθενται σε επιφάνειες υψηλού albedo, όπως ο πάγος και το χιόνι, πράγμα που μειώνει αυτή την επιφάνεια η οποία είναι διαθέσιμη για να αντανακλά την ηλιακή ενέργεια πίσω στο διάστημα. Έτσι, ακόμη και μια μικρή αρχική μείωση του albedo του χιονιού μπορεί να προκαλέσει σημαντική επίδραση. Η μείωση αυτή θα οδηγούσε σε αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας, γεγονός που με τη σειρά του θα μειώνει περαιτέρω το albedo της , δημιουργώντας έτσι έναν φαύλο κύκλο. Αποτελώντας τόσο ρύπος ατμόσφαιρας όσο και ένωση που επηρεάζει το κλίμα [10].



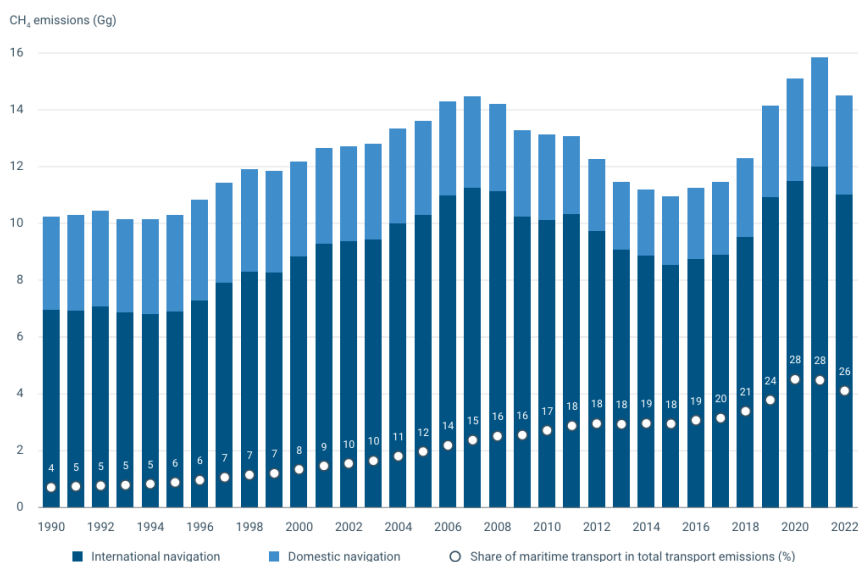
**Διάγραμμα 1.5:** Οι εκπομπές μαύρου άνθρακα από τον ναυτιλιακό τομέα και το μερίδιό τους στις συνολικές εκπομπές μεταφορών στην ΕΕ-27 [9].



#### 1.2.2.10 Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>):

Το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) είναι ένας υδρογονάνθρακας και αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Αποτελεί ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG), γεγονός που σημαίνει ότι η παρουσία του στην ατμόσφαιρα επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασία της Γης και το κλιματικό σύστημα. Εκπέμπεται από διάφορες ανθρωπογενείς αλλά και από φυσικές πηγές. Οι ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών περιλαμβάνουν τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, τα συστήματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, τις γεωργικές δραστηριότητες, την εξόρυξη άνθρακα, την καύση καυσίμων (σταθερή και κινητή), την επεξεργασία λυμάτων και ορισμένες βιομηχανικές διαδικασίες. Βέβαια δεν αποτελεί το ίδιο τοξικό. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά εύφλεκτο και μπορεί να προκαλέσει έκρηξη σε μείγματα με αέρα. Επίσης, το μεθάνιο αντιδρά βίαια με οξειδωτικές ουσίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τα αλογόνα και μερικές αλογονούχες ενώσεις. Σε κλειστούς χώρους μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, γιατί απλά μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση του οξυγόνου [9].

Ως το δεύτερο πιο άφθονο ανθρωπογενές αέριο του θερμοκηπίου μετά το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), αντιπροσωπεύει περίπου το 11% των παγκόσμιων εκπομπών. Είναι 28 φορές πιο ισχυρό από το διοξείδιο του άνθρακα στη σύλληψη θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Μάλιστα κατά τους δύο τελευταίους αιώνες, οι συγκεντρώσεις του μεθανίου στην ατμόσφαιρα έχουν διπλασιαστεί, εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Δεδομένου ότι το μεθάνιο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου και έχει μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα, η επίτευξη σημαντικών μειώσεων θα είχε άμεσο και σημαντικό αποτέλεσμα στη μείωση του δυναμικού της ατμοσφαιρικής θέρμανσης [17].



**Διάγραμμα 1.6:** Οι εκπομπές CH<sub>4</sub> από τον ναυτιλιακό τομέα και το μερίδιό τους στις συνολικές εκπομπές μεταφορών στην ΕΕ-27 [9].



### 1.3 Κλιματική Αλλαγή:

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) ο γενικός ορισμός της κλιματικής αλλαγής είναι μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να αναγνωρισθεί (π.χ. μέσω στατιστικών δοκιμών) από μεταβολές στον μέσο όρο και/ή τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του και που διατηρείται για εκτεταμένη χρονική περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να οφείλεται σε φυσικές εσωτερικές διεργασίες ή εξωτερικές επιδράσεις, όπως οι διακυμάνσεις των ηλιακών κύκλων, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι διαρκείς ανθρωπογενείς αλλαγές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας ή στη χρήση γης [18].

Σημειώνεται ότι η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC-United Nations Framework Convention on Climate Change), στο Άρθρο 1, ορίζει την κλιματική αλλαγή ως: «μια αλλαγή του κλίματος που αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία μεταβάλλει τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και που προστίθεται στη φυσική κλιματική μεταβλητότητα που παρατηρείται σε συγκρίσιμες χρονικές περιόδους». Η UNFCCC, επομένως, διακρίνει την κλιματική αλλαγή που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες που μεταβάλλουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας από την κλιματική μεταβλητότητα που αποδίδεται σε φυσικά αίτια [18].

Η κλιματική αλλαγή συνιστά μία σοβαρή απειλή σε παγκόσμιο επίπεδο και αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την περαιτέρω ανάπτυξη των κρατών. Ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες και στις ανεπτυγμένες χώρες που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό, λόγω της γεωγραφικής τους θέσης, είναι πιο ευάλωτες στη μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών, γεγονός που συχνά οδηγεί σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Αυτή η αστάθεια επηρεάζει αρνητικά την οικονομική τους κατάσταση, καθώς επιβαρύνει βασικούς παραγωγικούς τομείς, όπως η γεωργία και η κτηνοτροφία, από τους οποίους εξαρτώνται. Συνεπώς, οι χώρες αυτές καλούνται να υιοθετήσουν δαπανηρές στρατηγικές προσαρμογής προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι συγκεκριμένοι τομείς όχι μόνο είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι σε απότομες κλιματικές μεταβολές, αλλά αποτελούν και βασικές πηγές εσόδων για την οικονομία τους. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων, η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να μειώσει ακόμη περισσότερο την οικονομική ισχύ, τα ήδη χαμηλά εισοδήματα αλλά και να αυξήσει τα ποσοστά των ασθενειών και των θανάτων σε αυτές τις χώρες [12], [18].

Στις ανεπτυγμένες χώρες, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να μειώσει τα έσοδα και να αυξήσει την ανάγκη για επιπρόσθετες δαπάνες για συντηρήσεις και για την κατασκευή πιο ανθεκτικών κατασκευών, επιβαρύνοντας συνάμα και τη δημοσιονομική κατάσταση των κρατών. Στη σύγχρονη συγκυρία, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει ξεπεράσει τους 1,5°C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, ενώ η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων οδηγούν σε επιδείνωση των οικονομικών και κοινωνικών δεικτών τους. Η έλλειψη αποτελεσματικών μέτρων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τόσο τους κινδύνους όσο και το οικονομικό κόστος που σχετίζεται με αυτά τα φαινόμενα [12].

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και άλλες κλιματικές μεταβολές ενδέχεται να οδηγήσουν εκατομμύρια ανθρώπους στη μετανάστευση, ενώ παράλληλα αναμένεται να επηρεαστούν σημαντικά οικονομικούς τομείς που βασίζονται στη θάλασσα, όπως η ναυτιλία και η αλιεία. Μεταξύ 1990 και 2021, ο όγκος των εμπορευμάτων που μεταφέρονται δια θαλάσσης υπερδιπλασιάστηκε, από 4 σε σχεδόν 11 δισεκατομμύρια τόνου. Επίσης, μαζί με την αύξηση του θαλάσσιου εμπορίου, αυξήθηκε και η χωρητικότητα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου. Από το 2013 και 2021, η χωρητικότητα του παγκόσμιου εμπορικού στόλου αυξήθηκε κατά περίπου 43%, φτάνοντας σχεδόν τα 2,1 εκατομμύρια dwt (deadweight tons) το 2021. Γεγονός που δημιουργεί ιδιαίτερες πιέσεις στο περιβάλλον. Έτσι, αυτή η σχέση μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ναυτιλιακού τομέα είναι αμφίδρομη, καθώς η ναυτιλία επηρεάζει το κλίμα, αλλά και επηρεάζεται από τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Αν και η ναυσιπλοΐα αποτελεί έναν από τους τρόπους μεταφοράς με τις μικρότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ανά μονάδα απόστασης, μεταξύ 2012 και 2023, οι εκπομπές αυτές από τη διεθνή ναυτιλία αυξήθηκαν κατά περίπου 15%, φτάνοντας τους 706 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>) [9], [19], [20].

Το 2018 ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός υπολόγισε ότι η ναυτιλία αντιπροσώπευε περίπου το 2,89% των συνολικών παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Μάλιστα από το 2015 έως το 2023, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν κατά 46% στον Ατλαντικό, 15% στη Μεσόγειο, 6% στη Βαλτική και 62% στην Αρκτική, ενώ καταγράφηκε μείωση 8% στη Βόρεια Θάλασσα και 1% στη Μαύρη Θάλασσα. Εξαιτίας αυτής της επιβάρυνσης από την ναυτιλία οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν την εκπομπή αέριων ρύπων, την απόρριψη ρυπογόνων ουσιών στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον, καθώς και πιθανές παρεμβάσεις στα οικοσυστήματα και στην ποιότητα του αέρα. Αυτές οι επιπτώσεις παρουσιάζονται παρακάτω [9]:

### **1.3.1 Αέριες εκπομπές:**

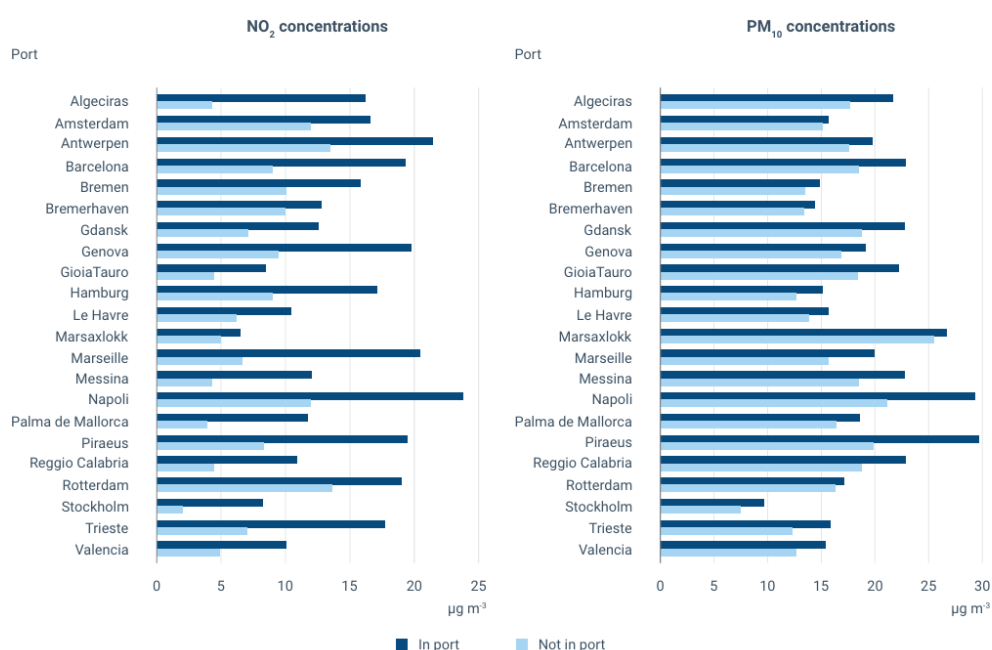
#### *1.3.1.1 Αέρια του θερμοκηπίου (GHG):*

Σύμφωνα με την έρευνα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO-International Maritime Organization), 300 εκατομμύρια τόνοι ορυκτών καυσίμων καταναλώνονται ετησίως. Βάσει της κατανάλωσης ορυκτών των καυσίμων από το κάθε πλοίο, παρατηρείται μια ιδιαίτερα σημαντική αύξηση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, περιλαμβάνοντας πιο συχνά το CO. Αυτή η αύξηση οφείλεται στην καύση των ορυκτών καυσίμων στις μηχανές του πλοίου (κινητήρες, βοηθητικοί κινητήρες, λέβητες). Συγκεκριμένα, το 72% της καταναλισκόμενης ενέργειας προέρχεται από βαρύ μαζούτ (HFO-Heavy Fuel Oil), το 26% από πετρέλαιο πλοίων (MDO-Marine Diesel Oil) και το 2% από υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG-Liquefied Natural Gas). Εκτός από το CO σημαντικές είναι και οι εκπομπές μεθανίου (CH<sub>4</sub>) οι οποίες προέρχονται από τους κινητήρες αερίου ή μηχανές διπλού καυσίμου, ή ακόμα και από τα φορτηγά πλοία που μεταφέρουν υδροποιημένο φυσικό αέριο. Επιπρόσθετες εκπομπές είναι ακόμα τα φθοριούχα αέρια που χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα κλιματισμού και ψύξης των φορτίων, καθώς και οι υδροφθορανθράκες (HFCs), οι υπερφθορανθράκες (PFCs) και τα εξαφθοριούχα θείου (SF<sub>6</sub>). Τέλος, ο τομέας της ναυσιπλοΐας, συμπεριλαμβανομένης και της διεθνούς ναυσιπλοΐας, συμβάλλει στο 15,3% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τις μεταφορές στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Το 2020, οι εκπομπές στην Ελλάδα έφτασαν τους 7,4 εκατομμύρια ισοδύναμους

τόνους CO<sub>2</sub>, με το σχετικό ποσοστό να ανέρχεται στο 33,0%, το οποίο είναι το δεύτερο υψηλότερο μετά τις οδικές μεταφορές. Συνολικά η Ελλάδα ευθύνεται για το 7,3% των συνολικών εκπομπών ναυσιπλοΐας στην Ευρωπαϊκή Ένωση [9], [20].

### 1.3.1.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι:

Εκτός των αερίων του θερμοκηπίου, εκπέμπονται από τα πλοία και άλλου είδους εκπομπές. Αυτοί είναι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι οποίοι οφείλονται στην χρήση ορυκτών καυσίμων, με τους κυριότερους εκ των οποίων να είναι: τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα σωματίδια (PM) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Βέβαια σε όχι τόσο μεγάλο βαθμό, εκπέμπονται συνάμα οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και ουσίες που καταστρέφουν το όζον. Οι εκπομπές αυτές είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικές για την ατμόσφαιρα σε περιοχές με υψηλή θαλάσσια κυκλοφορία. Εξαιτίας της φύσης τους, μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις, με τις σοβαρότερες επιπτώσεις να εντοπίζονται συχνά κατά μήκος των ακτογραμμών. Αυτού του είδους εκπομπές μπορούν να προκύψουν και από τις διεργασίες που συντελούνται στα λιμάνια, όπως δραστηριότητες των πλοίων (άφιξη/αναχώρηση από το λιμάνι, ελιγμοί, διαδικασίες φόρτωσης/εκφόρτωσης), ακόμη και κατά την αγκυροβόληση, καθώς συχνά οι βοηθητικοί κινητήρες και οι λέβητες των πλοίων παραμένουν σε λειτουργία. Πέρα από τις θαλάσσιες δραστηριότητες μέσα σε ένα λιμάνι υπάρχουν και οι οδικές μεταφορές που συνδέονται με τις λιμενικές δραστηριότητες, όπως η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων και επιβατικών οχημάτων, η χρήση λιμενικών μηχανημάτων, όπως γερανοί ή άλλου τύπου βαρέα μηχανήματα που συνεισφέρουν στις εκπομπές. Σημαντικό ρόλο στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας διαδραματίζουν επίσης οι βιομηχανικές μονάδες που είναι εγκατεστημένες σε λιμενικές περιοχές, όπως διυλιστήρια πετρελαίου ή φυσικού αερίου και χημικά εργοστάσια. Παρότι οι εκπομπές από τις λιμενικές δραστηριότητες είναι μικρότερες συγκριτικά με αυτές των πλοίων, παραμένουν ικανές να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα στις παράκτιες αστικές περιοχές [9], [20].



**Διάγραμμα 1.7:** Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> (α) και PM<sub>10</sub> (β) το 2021 εντός και στη γύρω περιοχή των λιμενικών ζωνών σε σύγκριση με την περιφέρεια [9].

### **1.3.2 Επιβάρυνση του θαλάσσιου οικοσυστήματος:**

#### *1.3.2.1 Μη αυτόχθονα είδη:*

Τα μη αυτόχθονα είδη μπορούν να εισβάλουν σε νέα θαλάσσια οικοσυστήματα είτε προσκολλώμενα στο κύτος πλοίων που εκτελούν θαλάσσιες μεταφορές από λιμένα σε λιμένα είτε διεισδύοντας στα υδάτινα έρματα των πλοίων, απ' όπου φορτώνονται στον εκάστοτε λιμένα και απελευθερώνονται στον λιμένα προορισμού του πλοίου. Ο τομέας των θαλάσσιων μεταφορών ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό εισαγόμενων μη αυτοχθόνων ειδών στις θάλασσες που περιβάλλουν την ΕΕ (51 είδη με υψηλό κίνδυνο επιπτώσεων, δηλαδή περίπου για 60% όλων των μη αυτοχθόνων ειδών (NIS-Non-Indigenous Species) στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς και για το 56% των NIS που έχουν καταστεί επεμβατικά στην Ευρώπη, δηλαδή που εξαπλώνονται επιθετικά και προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις). Η εξάπλωση αυτών των επεμβατικών ειδών στα τοπικά οικοσυστήματα παρεμποδίζει τη φυσική τους προσαρμοστικότητα και ανταγωνιστικότητα, πράγμα που αποτελεί κίνδυνο για την τοπική βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη υγεία [9], [12], [20].

#### *1.3.2.2 Πετρελαιοκηλίδες και ατμοσφαιρικοί ρύποι:*

Μία από τις πλέον σοβαρές πηγές θαλάσσιας ρύπανσης αποτελούν οι πετρελαιοκηλίδες, καθώς είναι δύσκολο να απομακρυνθεί πλήρως και μπορεί να παραμείνει στο θαλάσσιο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα, επηρεάζοντας τους θαλάσσιους και παράκτιους βιότοπους και προκαλώντας σημαντικές φυσικές και οικονομικές ζημιές. Ωστόσο, μολονότι η ποσότητα πετρελαίου που μεταφέρεται διά θαλάσσης αυξάνεται σταθερά κατά την τελευταία τριακονταετία, η συχνότητα εμφάνισης πετρελαιοκηλίδων εξαιτίας ατυχημάτων παρουσιάζει συνεχή μείωση. Κατά την περίοδο 2010–2019, μόνο πέντε από τις 44 μεσαίου μεγέθους πετρελαιοκηλίδες (πετρελαιοκηλίδων 7-700 τόνων) που καταγράφηκαν παγκοσμίως εντοπίστηκαν σε ευρωπαϊκά θαλάσσια ύδατα, ενώ μόλις τρεις από τις συνολικά 18 μεγάλου μεγέθους πετρελαιοκηλίδες (άνω των 700 τόνων) που καταγράφηκαν παγκοσμίως σημειώθηκαν εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

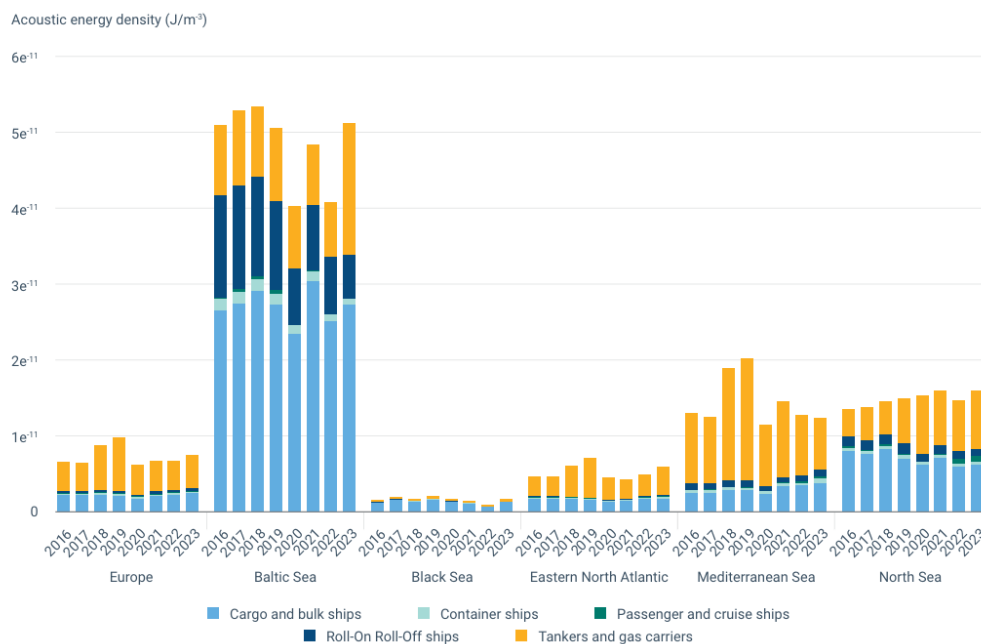
Πέρα από τις πετρελαιοκηλίδες, εξίσου σημαντική επιβάρυνση στο θαλάσσιο περιβάλλον προκαλούν και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι από τη ναυσιπλοΐα, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να εισέλθουν σε αυτό μέσω της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης, συμβάλλοντας σημαντικά στο φαινόμενο του ευτροφισμού, δηλαδή στην υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στον βυθό, πράγμα που συνεπάγεται τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και κατά συνέπεια στην αλλοίωση της βιοποικιλότητας σε αυτό [9], [20], [21].

### **1.3.3 Ρύπανση του οικοσυστήματος:**

#### *1.3.3.1 Ηχορύπανση:*

Ο υποθαλάσσιος θόρυβος, ο οποίος προέρχεται κυρίως από τις μηχανές και τα συστήματα πρόωσης των πλοίων, μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στη θαλάσσια πανίδα, όπως απώλεια ακοής, στρες και αλλαγές στη συμπεριφορά τους. Εκτιμάται ότι στο διάστημα 2014–2019 η συνολική σωρευτική ενέργεια που παράγεται από την υποθαλάσσια εκπομπή θορύβου υπερδιπλασιάστηκε στα ύδατα της ΕΕ. Μάλιστα οι περιοχές που καταγράφουν τα υψηλότερα επίπεδα πίεσης ηχητικού κύματος (SPL-Sound Pressure Level) από υποβρύχιο εκπεμπόμενο θόρυβο (URN-Underwater Radiated Noise) στην Ευρώπη περιλαμβάνουν

τμήματα της Μάγχης, του Στενού του Γιβραλτάρ, τμήματα της Αδριατικής Θάλασσας, το Στενό των Δαρδανελίων και κάποιες περιοχές στη Βαλτική Θάλασσα. Αντιθέτως, τα χαμηλότερα επίπεδα καταγράφονται στο βορειοδυτικό τμήμα του Βορειοανατολικού Ατλαντικού, ιδιαίτερα γύρω από το Στενό της Δανίας και τη Θάλασσα Ιρμίνγκερ, καθώς και στο νότιο τμήμα της Μεσογείου. Επιπρόσθετα, η ηχητική ρύπανση δεν περιορίζεται μόνο στο θαλάσσιο περιβάλλον αλλά εκτείνεται και στους λιμένες, όπου δραστηριότητες όπως η φόρτωση/εκφόρτωση φορτίων και η κυκλοφορία οχημάτων δημιουργούν ένα συνεχές και έντονα θορυβώδες περιβάλλον. Η έκθεση σε τέτοιες συνθήκες ενδέχεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων στα λιμάνια [9], [19], [20].



**Διάγραμμα 1.8:** Η πυκνότητα ηχητικής ενέργειας URN στα 63 Hz από το 2016 έως το 2023 για διαφορετικούς τύπους πλοίων σε διαφορετικές θάλασσες [9].

### 1.3.3.2 Φωτορύπανση:

Το τεχνητό φως στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον διαδίδεται εύκολα και σε μεγάλες αποστάσεις, καθώς το τοπίο είναι ελεύθερο από εμπόδια. Η διαρκής έκθεση σε φωτορύπανση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές που δεν είναι συνήθως εκτεθειμένες σε τεχνητό φως. Έχει δειχθεί ότι η φωτορύπανση μπορεί να προκαλέσει βιολογικές αντιδράσεις σε φωτοευαίσθητα νυχτόβια θαλάσσια είδη, μείωση της βιοποικιλότητας σε παράκτια οικοσυστήματα ή ακόμα και τον αποπροσανατολισμό διαφόρων ειδών (όπως φάλαινες, πτηνά, δελφίνια, ζωοπλαγκτόν κτλ.) με επιπτώσεις στην επικοινωνία και αναπαραγωγή τους. Τέλος, με την συνεχή έκθεση σε τεχνητό φως μπορεί να επηρεαστεί και η υγεία του ανθρώπου, καθώς όσοι κάνουν πολύωρες βάρδιες στα λιμάνια κάτω από το τεχνητό φως μπορεί να παρουσιάσουν αυξημένη συχνότητα πονοκεφάλων, κόπωση, ιατρικά καθορισμένο στρες και αύξηση του άγχους [9], [20].

#### 1.3.3.3 Καταστροφή-Διαταραχή του βυθού:

Η ναυτιλία έχει σημαντικές επιπτώσεις στον βυθό της θάλασσας, επηρεάζοντας τα θαλάσσια οικοσυστήματα με διάφορους τρόπους. Αρχικά, οι προπέλες τους, καθώς και τα κύματα που δημιουργούνται από τη διέλευσή τους μπορούν να αναταράξουν τα ιζήματα στον βυθό, πράγμα που μειώνει τη διαύγεια του νερού, εμποδίζοντας τη διείσδυση του φωτός και επηρεάζοντας φυτά όπως τα θαλάσσια λιβάδια να φωτοσυνθέσουν. Στην περίπτωση που αυτό συμβαίνει επανειλημμένα, το τοπικό οικοσύστημα μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά αλλοιώνοντας το κιάλας. Ομοίως και κατά την διάρκεια της αγκυροβόλησης μπορεί να συμβεί, όπου μπορεί να προκληθεί μόνιμη βλάβη στα λιβάδια Ποσειδωνίας στον βυθό [12].

Τα καύσιμα των πλοίων, και ειδικότερα τα λιπαντικά και τα λύματα μπορούν να καταλήξουν στον πυθμένα της θάλασσας, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Παράλληλα, τα βαρέα μέταλλα (όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο) που προέρχονται από τα πλοία μπορούν να συσσωρευτούν στον βυθό, απειλώντας την τροφική αλυσίδα. Επιπλέον, προκειμένου να γίνει διεύρυνση των διαύλων ναυσιπλοΐας ή για την κατασκευή λιμανιών, πραγματοποιείται εκσκαφή στον βυθό, καταστρέφοντας φυσικούς οικότοπους, γεγονός που επιφέρει μόνιμες αλλαγές στη μορφολογία των ακτών, την απώλεια οικότοπων, και στην διάβρωση των ακτών. Αυτές οι παρεμβάσεις συνδέονται συχνά με την απώλεια ευαίσθητων οικοσυστημάτων, όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι, καθώς η μεταβολή τοπικών ρευμάτων και της κυματικής ενέργειας, που με τη σειρά τους επηρεάζουν συνολικά τα παράκτια οικοσυστήματα [19].

Μια εντελώς διαφορετική πηγή θαλάσσιων απορριμμάτων, αποτελούν και τα χαμένα εμπορευματοκιβώτια, τα οποία ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες κατά τον χρόνον απώλειάς τους, μπορεί να παραμείνουν ανέπαφα ή να απελευθερώσουν ολόκληρα ή μέρος του περιεχομένου τους. Συχνά το περιεχόμενο τους περιλαμβάνει βλαβερά υλικά για τον βυθό όπως μέταλλα, πλαστικά και επικίνδυνα ή τοξικά υλικά. Εκτιμάται ότι το σύνολο των αποβλήτων που απορρίπτονται μέσω των απολεσθέντων εμπορευματοκιβωτίων στη θάλασσα είναι χαμηλό και αμελητέο στην ΕΕ, καθώς κατά μέσο όρο χάνονται 268 εμπορευματοκιβώτια ετησίως από τα 226 εκατομμύρια εμπορευματοκιβώτια που μεταφέρονται διά θαλάσσης σε παγκόσμιο επίπεδο [19].

Τέλος, τα πλοία ενδέχεται να απορρίπτουν διάφορους άλλους τύπους απορριμμάτων, όπως υπολείμματα φορτίου, σκουπίδια, ειδικά απόβλητα, μέχρι και χημικές ουσίες που απειλούν το όζον. Αν και για ορισμένους από αυτούς τους τύπους απορριμμάτων, υπάρχουν συγκεκριμένες μέθοδοι επεξεργασίας επί του πλοίου και επί του λιμανιού που μπορούν να συμβάλλουν στη αποτελεσματική διαχείρισή τους. Αυτή η πρακτική, σε πολλές περιπτώσεις, πραγματοποιείται νόμιμα, ενώ άλλες φορές παραβιάζονται κανονισμοί, προκαλώντας διατάραξη στην ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος και στην υγεία του βυθού [9], [20].



## 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Βιωσιμότητα και Πράσινη Ναυτιλία

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια της βιωσιμότητας, καθώς και οι πυλώνες στους οποίους διαχωρίζεται (περιβαλλοντικός, κοινωνικός και οικονομικός) αλλά και οι 17 στόχοι που θέτει. Στη συνέχεια, αναλύεται η πράσινη ναυτιλία και τα πράσινα λιμάνια, η σύσταση τους, καθώς και τα σημαντικότερα πράσινα λιμάνια του σήμερα ανά τον κόσμο.

### 2.1 Βιωσιμότητα:

Η αειφόρος ανάπτυξη/βιωσιμότητα απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τις περιβαλλοντικές ανησυχίες μαζί με την οικονομική ανάπτυξη. Αποτελεί από τους πιο συχνά αναφερόμενους ορισμούς και προέρχεται από την Παγκόσμια Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (World Commission on Environment and Development) [22].

Το 1987, η επιτροπή Brundtland των Ηνωμένων Εθνών όρισε τη βιωσιμότητα ως «την ικανοποίηση των αναγκών του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Σύμφωνα με το World Health Organization (WHO), η βιώσιμη ανάπτυξη είναι «ένας ευρύς όρος που περιγράφει πολιτικές, έργα και επενδύσεις που παρέχουν οφέλη σήμερα χωρίς να θυσιάζουν την περιβαλλοντική, κοινωνική και προσωπική υγεία στο μέλλον» [22].

Σήμερα, στην προσπάθεια κάλυψης των απαραίτητων αναγκών τους υπάρχουν σχεδόν 140 αναπτυσσόμενες χώρες που αναζητούν τρόπους περαιτέρω ανάπτυξής τους. Ωστόσο, με την αυξανόμενη απειλή της κλιματικής αλλαγής, πρέπει να καταβληθούν ουσιαστικότερες προσπάθειες, προκειμένου η ανάπτυξη του παρόντος να μην επηρεάζει αρνητικά το μέλλον. Η οικοδόμηση ενός βιώσιμου πλανήτη δεν είναι εύκολο εγχείρημα, ειδικά όταν πρέπει να αντιμετωπιστούν κρίσεις, όπως η παγκόσμια πανδημία, ο πόλεμος, ο πληθωρισμός και η κλιματική αλλαγή [22].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υιοθετήσει ένα ευρύ φάσμα πολιτικών και δράσεων που αποσκοπούν στην προώθηση της βιωσιμότητας, με βασικούς πυλώνες την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) και το 8ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον (8EAP). Και οι δύο πρωτοβουλίες ενισχύουν το μακροπρόθεσμο όραμα της ΕΕ για το 2050: «να ζούμε καλά, μέσα στα όρια του πλανήτη μας», θέτοντας σαφείς στόχους και προϋποθέσεις για την επίτευξή του [23].

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία καλύπτει ένα μεγάλο κομμάτι του τομέα της πολιτικής, όπως το κλίμα, τη ενέργεια, τις μεταφορές, τη βιοποικιλότητα και τη ρύπανση. Μεταξύ των κύριων στόχων της περιλαμβάνονται η επίτευξη μηδενικών καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050, η ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου, η οικονομική ανάπτυξη ανεξάρτητα από την κατανάλωση φυσικών πόρων, η δημιουργία ενός περιβάλλοντος απαλλαγμένου από τοξικές ουσίες και η διασφάλιση ότι κανένα άτομο, περιοχή ή κράτος μέλος δεν θα μείνει πίσω στην πορεία της μετάβασης [23].

Παράλληλα, το 8ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον θέτει ως στρατηγική του προτεραιότητα το να διασφαλιστεί, έως το 2050, ότι οι Ευρωπαίοι πολίτες θα απολαμβάνουν υψηλή ποιότητα ζωής εντός των οικολογικών ορίων του πλανήτη, στο πλαίσιο μιας κυκλικής και αποδοτικής οικονομίας, όπου τίποτα δεν πηγαίνει χαμένο [23].

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA-Environmental Protection Agency) έχει ενσωματώσει τη βιωσιμότητα τόσο στη λειτουργία της όσο και στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών μέσω προγραμμάτων, έρευνας και κανονιστικών παρεμβάσεων. Μάλιστα η θεσμοθέτηση της βιώσιμης ανάπτυξης ως πολιτική προτεραιότητα χρονολογείται από το 1969, με τον εθνικό νόμο για την Περιβαλλοντική πολιτική (NEPA-National Environmental Policy Act), ο οποίος στοχεύει στη διασφάλιση της αρμονικής συνύπαρξης ανθρώπου και φύσης, με σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών των παρόντων και μελλοντικών γενεών. Σήμερα, η EPA συνεχίζει να εφαρμόζει τη βιωσιμότητα ως βασική αρχή στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, επιδιώκοντας περιβαλλοντικά αποτελέσματα με ταυτόχρονα κοινωνικά και οικονομικά οφέλη [24].

Στην Ασία, αρκετές χώρες έχουν θεσπίσει υποχρεωτικά ή ισχυρά ενθαρρυντικά μέτρα για τη δημοσιοποίηση πληροφοριών βιωσιμότητας. Σε χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, η Ιαπωνία και η Κορέα, η αναφορά βιωσιμότητας είναι είτε υποχρεωτική είτε ρυθμίζεται αυστηρά για εισηγμένες εταιρείες, ενώ η Καμπότζη έχει διατυπώσει συστάσεις περιορισμένες στον χρηματοπιστωτικό τομέα. Η Κίνα στοχεύει στην κορύφωση των εκπομπών πριν το 2030 και στην κλιματική ουδετερότητα έως το 2060. Η Ινδία, από το 2022–23, απαιτεί από τις 1.000 μεγαλύτερες εταιρείες να υποβάλλουν έκθεση επιχειρηματικής ευθύνης και βιωσιμότητας, στοχεύοντας σε μηδενικές εκπομπές έως το 2070. Η Ιαπωνία επιβάλλει τη δημοσιοποίηση ESG (Environmental, Social, and Governance) πληροφοριών, έχοντας ανακοινώσει στόχο ουδετερότητας άνθρακα μέχρι το 2050 και υλοποιώντας σχετική πράσινη στρατηγική. Η Κορέα επέκτεινε την υποχρεωτική περιβαλλοντική αναφορά σε μεγάλες εταιρείες, ενώ το Green New Deal της δίνει έμφαση στην απανθρακοποίηση του βιομηχανικού τομέα, διατηρώντας την εξαγωγική της ισχύ [25].

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη εισάγει 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs-Sustainable Development Goals) και 169 επιμέρους στόχους, συγκροτώντας ένα καθολικό πλαίσιο δράσης για την εξάλειψη της φτώχειας και την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης μέχρι το 2030. Η δέσμευση αυτή αντικατοπτρίζει πολλές από τις προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εφαρμόζεται τόσο εντός των κρατών μελών όσο και μέσω της εξωτερικής αναπτυξιακής συνεργασίας με τρίτες χώρες [26], [27].

## **2.2 Πυλώνες της Βιωσιμότητας και οι στόχοι:**

Το 2005 η Παγκόσμια Σύνοδος Κορυφής του ΟΗΕ, αναγνώρισε τρεις πυλώνες για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης, αυτοί οι πυλώνες είναι οι εξής: η οικονομική ανάπτυξη, η κοινωνική ανάπτυξη και η προστασία του περιβάλλοντος. Αυτά τα στοιχεία είναι αλληλένδετα προκειμένου να επιτευχθεί η βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς και η συνεργασία αλλά και υποστήριξη των πολιτικών μεταξύ τους, διότι αποτελούν κρίσιμα για την ευημερία των ατόμων και των κοινωνιών. Έτσι για τον κάθε τομέα ισχύουν τα εξής [28], [29]:



### **2.2.1 Περιβαλλοντική Βιωσιμότητα:**

Αυτός ο πυλώνας βιωσιμότητας επικεντρώνεται στην προστασία του περιβάλλοντος, εξασφαλίζοντας τη διατήρησή του για τις μελλοντικές γενιές. Η περιβαλλοντική προστασία συνιστά έναν από τους θεμελιώδεις στόχους των οργανισμών που προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη. Συνεπώς, οι περιβαλλοντικά βιώσιμοι οργανισμοί υιοθετούν στρατηγικές που αποσκοπούν στην αύξηση της αποδοτικότητας, στη μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων και της παραγωγής αποβλήτων, καθώς και στην ακριβή μέτρηση και παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων.

### **2.2.2 Οικονομική βιωσιμότητα:**

Οι περιβαλλοντικά υπεύθυνες επιχειρήσεις επιδιώκουν την κερδοφορία, χωρίς ωστόσο να είναι πρόθυμες να την επιτύχουν με οποιοδήποτε κόστος. Οι οργανισμοί που προάγουν τη βιώσιμη ανάπτυξη εντοπίζουν στρατηγικές για την ενίσχυση των εσόδων και της επιχειρηματικής ανάπτυξης, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι δεν επηρεάζεται αρνητικά η κοινότητα, το περιβάλλον, καθώς και η υγεία αλλά και η ευημερία των εργαζομένων τους. Συνάμα προωθούν την οικονομική βιωσιμότητα μέσω επενδύσεων σε προϊόντα και υπηρεσίες που επιφέρουν θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

### **2.2.3 Κοινωνική βιωσιμότητα:**

Η κοινωνική βιωσιμότητα επικεντρώνεται στην προώθηση υψηλής ποιότητας ζωής, στην ενίσχυση της διαφορετικότητας και στην εξασφάλιση ίσων ευκαιριών για όλα τα άτομα. Στο επιχειρηματικό πλαίσιο, αυτός ο πυλώνας περιλαμβάνει κρίσιμα θέματα όπως η υγεία και η ασφάλεια, η ενδυνάμωση και ένταξη των εργαζομένων, η δημιουργία ευκαιριών επαγγελματικής ανάπτυξης, καθώς και η εξισορρόπηση επαγγελματικής και προσωπικής ζωής.

Το 2015, όλα τα κράτη μέλη του ΟΗΕ υιοθέτησαν 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης και 169 επιμέρους στόχων που προτάθηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη ως μέρος της ατζέντας του ΟΗΕ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη για το 2030, θέτοντας ένα 15ετές σχέδιο για την επίτευξη αυτών των 17 στόχων. Η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί τη συνεργασία τόσο των κρατών και περιοχών σε όλο τον κόσμο όσο και των επιχειρήσεων. Αυτοί οι παγκόσμιοι στόχοι για τη βιώσιμη ανάπτυξη επιδιώκουν να αντιμετωπίσουν σημαντικές προκλήσεις, όπως την ανισότητα, τη φτώχεια, τα περιβαλλοντικά προβλήματα, θέματα ειρήνης και δικαιοσύνης [26], [27].

Αυτοί οι στόχοι βασίζονται σε δεκαετίες διασκέψεων από πολλές χώρες και του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), συμπεριλαμβανομένου του Τμήματος Οικονομικών και Κοινωνικών Υποθέσεων του ΟΗΕ. Κάποιες από αυτές είναι [26]:

- Τη Διάσκεψη Κορυφής για τη Γη (Ρίο ντε Τζανέιρο, 1992), όπου υιοθετήθηκε η Ατζέντα 21, ένα παγκόσμιο σχέδιο δράσης για τη βιώσιμη ανάπτυξη.
- Τη Διακήρυξη του Γιοχάνεσμπουργκ και το αντίστοιχο Σχέδιο Υλοποίησης (2002), που επαναβεβαίωσαν τη δέσμευση για την εξάλειψη της φτώχειας και την προστασία του περιβάλλοντος, ενισχύοντας προηγούμενες πρωτοβουλίες.

- Τη Διάσκεψη Rio+20 (2012), κατά την οποία εγκρίθηκε το έγγραφο The Future We Want, σηματοδοτώντας την έναρξη της διαδικασίας διαμόρφωσης των SDGs.
- Την υιοθέτηση της Ατζέντας 2030 από τη Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ (Σεπτέμβριος 2015), η οποία εδραιώνει τους 17 SDGs ως το παγκόσμιο πλαίσιο βιώσιμης ανάπτυξης.

Σήμερα, η πρόοδος των SDGs παρακολουθείται και αξιολογείται μέσω του Πολιτικού Φόρουμ Υψηλού Επιπέδου για τη βιώσιμη ανάπτυξη, που λειτουργεί ως η κύρια πλατφόρμα του ΟΗΕ για το σκοπό αυτό.

Τέλος, η διεύθυνση στόχων βιώσιμης ανάπτυξης (DSDG-Division for Sustainable Development Goals) του Τμήματος Οικονομικών και Κοινωνικών Υποθέσεων των Ηνωμένων Εθνών (UNDESA-United Nations Department of Economic and Social Affairs) παρέχει ουσιαστική υποστήριξη και ενίσχυση ικανοτήτων για την εφαρμογή των SDGs και σχετικών θεματικών, όπως το νερό, τη ενέργεια, το κλίμα, τους ωκεανούς, την αστικοποίηση, τις μεταφορές, τη επιστήμη, τη τεχνολογία, καθώς και την Έκθεση για την Παγκόσμια Βιώσιμη Ανάπτυξη (GSDR-Global Sustainable Development Report) [26].



Εικόνα 2.1: Πυλώνες και Στόχοι Βιωσιμότητας [30].

## 2.3 Ναυτιλία & Βιωσιμότητα :

Ο τομέας της ναυτιλίας με τις πολλαπλές δραστηριότητες του ασκεί ιδιαίτερη επιρροή τόσο στην περιβαλλοντική όσο και στην κοινωνικοοικονομική βιωσιμότητα. Πολλές φορές, η ναυτιλία δύναται να ενισχύσει ή, αντιστρόφως, να δυσχεράνει σε κάποιο βαθμό την επίτευξη των στόχων της κοινωνικής και οικονομικής βιωσιμότητας. Σε μεγάλο βαθμό, καθιστά ιδιαίτερη επιρροή στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, διότι οι ναυτιλιακές εργασίες αποτελούν εξαιρετικά ρυπογόνες και συνάμα ζημιογόνες για το περιβάλλον.

Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι η προστασία των πυλώνων καθίσταται αδύνατη. Με την εφαρμογή των κατάλληλων μέτρων και περιορισμών, δίδεται η δυνατότητα μιας εφικτής

αρμονικής συνύπαρξης της ναυτιλίας με όλους τους πυλώνες. Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας η πράσινη ναυτιλία, συμβάλλει σημαντικά στην διαμόρφωση μιας φιλικότερης τακτικής προς το περιβάλλον αλλά και προς τον άνθρωπο. Ο όρος 'πράσινη ναυτιλία' πρόκειται για μια προσέγγιση που στοχεύει στη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων, ανοίγοντας τον δρόμο για ένα πιο βιώσιμο μέλλον που δίνει προτεραιότητα στον πλανήτη και τους ανθρώπους πέρα από το κέρδος [31].

Έτσι η πράσινη ναυτιλία περιλαμβάνει μια σειρά από στρατηγικές και τεχνολογίες, οι οποίες έχουν κοινούς στόχους: 1) την μείωση των εκπομπών άνθρακα, 2) τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής και θαλάσσιας ρύπανσης και 3) την προώθηση της οικολογικής ισορροπίας.

### **2.3.1 Πράσινο πλοίο :**

Ως πράσινο πλοίο χαρακτηρίζεται κάθε θαλάσσιο σκάφος το οποίο συμβάλλει στη βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης υιοθετώντας πράσινες τεχνολογίες προκειμένου να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις του στο περιβάλλον. Τα πράσινα πλοία εστιάζουν στη μείωση της εκπομπής ρύπων, στην ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας τους και στη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων και υλικών. Η υιοθέτηση τεχνολογιών, όπως τα συστήματα καθαρισμού αερίων (scrubbers), οι προωθητικές τεχνολογίες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ηλιακής και αιολικής), καθώς και η χρήση βελτιωμένων κινητήρων που περιορίζουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), συνιστούν βασικές στρατηγικές για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των πλοίων. Παράλληλα, καθοριστικής σημασίας είναι και η ενίσχυση ή η δημιουργία κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου και δεικτών αξιολόγησης, προκειμένου να διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα των περιβαλλοντικών παρεμβάσεων καθώς και η συμμόρφωση του ναυτιλιακού τομέα με τους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης [12], [31].

Μια σημαντική πρωτοβουλία που ευθυγραμμίζεται με αυτούς τους στόχους της πράσινης ναυτιλίας και της βιώσιμης ανάπτυξης είναι το Fit for 55, στο πλαίσιο του οποίου η FuelEU Maritime προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις θαλάσσιες μεταφορές. Βασικός στόχος είναι η μείωση της έντασης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή της ενέργειας που χρησιμοποιούν τα πλοία έως και κατά 80% μέχρι το 2050, προωθώντας τη χρήση πιο βιώσιμων καυσίμων στα πλοία που χρησιμοποιούν τους λιμένες της ΕΕ, με παράλληλη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας της θαλάσσιας κυκλοφορίας και αποφυγή στρεβλώσεων στην εσωτερική αγορά [32].

Εξίσου κρίσιμος παράγοντας για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι και η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των πλοίων ή η ανακύκλωση τους. Στο πλαίσιο αυτό, το 2011 ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΔΝΟ) εισήγαγε δύο υποχρεωτικά πρότυπα ενεργειακής απόδοσης: τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI-Energy Efficiency Design Index), που εφαρμόζεται σε νέα πλοία ως τεχνικό μέτρο, και το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP-Ship Energy Efficiency Management Plan), το οποίο ισχύει για όλα τα πλοία ως λειτουργικό μέτρο. Το όριο του EEDI εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου, αν και τα πλοία που καλύπτονται από αυτό είναι υπεύθυνα για

περίπου το 85% των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη διεθνή ναυτιλία. Αποτελεί ένα σημαντικό τεχνικό μέτρο που στοχεύει στην προώθηση της χρήσης ενός πιο ενεργειακά αποδοτικού εξοπλισμού και μηχανών για τον σχεδιασμό νέων πλοίων (όπως συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων, μπαταριών, κ.α.), με σκοπό τη μείωση της ρύπανσης. Αντιστοίχως, ο SEEMP είναι ένας λειτουργικός μηχανισμός που στοχεύει στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Ενθαρρύνοντας έτσι τον πλοιοκτήτη και τον διαχειριστή του πλοίου να εξετάζουν νέες τεχνολογίες και πρακτικές σε κάθε στάδιο του σχεδίου, με στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργικής απόδοσης του πλοίου [33], [34], [35].

Το 2021, ο IMO υιοθέτησε δύο νέα μέτρα για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων, τον Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων (EEXI-Energy Efficiency Existing Ship Index) και τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII-Carbon Intensity Indicator), τα οποία τέθηκαν σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2023. Ο δείκτης EEXI εφαρμόζεται σε υφιστάμενα πλοία άνω των 400 GT και αξιολογεί την τεχνική τους απόδοση, λαμβάνοντας υπόψη σχεδιαστικά χαρακτηριστικά. Η συμμόρφωση με τον απαιτούμενο EEXI μπορεί να επιτευχθεί μέσω τεχνολογιών όπως ο περιορισμός ισχύος κινητήρα ή άξονα, η ανάκτηση θερμότητας και η υποβοήθηση πρόωσης με άνεμο. Αντίστοιχα, ο δείκτης CII αποτυπώνει τη λειτουργική ενεργειακή απόδοση των πλοίων και βασίζεται στην κατανάλωση καυσίμου, όπως καταγράφεται μέσω του IMO DCS (Data Collection System) και του Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου – SEEMP II. Το σύστημα αυτό απαιτεί από πλοία άνω των 5.000 GT να υποβάλλουν ετησίως συγκεντρωμένα δεδομένα στη σημαία τους, αποτελώντας βασικό εργαλείο αξιολόγησης της επιχειρησιακής αποδοτικότητας και συμμόρφωσης με τους στόχους μείωσης εκπομπών [35].

Από την άλλη η ανακύκλωση πλοίων είναι μια μακροχρόνια πρακτική για τη διαχείριση των πλοίων στο τέλος της επιχειρησιακής τους ζωής και θεωρείται ευρέως η καλύτερη, δηλαδή πιο πρακτική επιλογή. Μιας και όταν πραγματοποιείται σωστά, σχεδόν όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός πλοίου επαναχρησιμοποιούνται σε άλλες μορφές, έχοντας έτσι ένα πιο περιβαλλοντικά βιώσιμο όσο και ενεργειακά αποδοτικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, η χρήση ανακυκλωμένου χάλυβα απαιτεί μόλις το ένα τρίτο της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή χάλυβα από πρώτες ύλες. Βέβαια οι εργασιακές πρακτικές και τα περιβαλλοντικά πρότυπα στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης πλοίων διαφέρουν από ναυπηγείο σε ναυπηγείο πράγμα που δυσκολεύει τον έλεγχο των αποτελεσμάτων. Ωστόσο με την ύπαρξη παγκόσμιας νομοθεσίας εξασφαλίζονται ασφαλείς εργασιακές πρακτικές για τους εργαζόμενους στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης πλοίων, καθώς και συνεπή περιβαλλοντικά πρότυπα [33], [34].

Μια εξίσου σημαντική πρακτική για την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών στη ναυτιλία είναι η ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, όπως η τεχνολογία συλλογής και αποθήκευσης άνθρακα (CCS-Carbon Capture and Storage). Η μέθοδος αυτή απομονώνει το CO<sub>2</sub> από διάφορες πηγές, το καθαρίζει και στη συνέχεια είτε επαναχρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σε βιομηχανικές διεργασίες είτε αποθηκεύεται μόνιμα υπογείως ή στον θαλάσσιο πυθμένα. Η εφαρμογή της CCS επικεντρώνεται κυρίως στη θερμική παραγωγή ενέργειας, τη βιομηχανία άνθρακα και την παραγωγή τσιμέντου [36]. Βέβαια, για την ενσωμάτωσή της στα πλοία απαιτείται προσαρμογή στις τεχνικές

παραμέτρους, όπως οι περιορισμοί ισχύος, τα λειτουργικά πρότυπα και η διαθεσιμότητα χώρου.

Τέλος, μια εναλλακτική μέθοδος για τη διαχείριση της ενέργειας στα πλοία και στα λιμάνια είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης από την ξηρά (Onshore Power Supply–OPS ή Cold Ironing). Υπάρχουν πλοία που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με εξοπλισμό OPS, τα οποία είναι διαταγμένα με ειδικούς χώρους για τη διέλευση καλωδίων που συνδέονται με τις παροχές από την ξηρά και τους κύριους ηλεκτρικούς πίνακες. Σε μεγαλύτερη κλίμακα παρατηρείται και σε διάφορα λιμάνια παγκοσμίως, όπου ορισμένα πέρα από τις απαραίτητες εγκαταστάσεις (καλωδιώσεις, πίνακες, γερανούς κλπ.) έχουν και τις δικές τους μονάδες παραγωγής ενέργειας για την παροχή ενέργειάς μέσω ξηράς στα πλοία που ελλιμενίζονται. Τέλος, δεδομένου ότι η μέθοδος αυτή αποτελεί το κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα αναλυθεί εκτενώς σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

### **2.3.2 Πράσινα λιμάνια:**

Τα λιμάνια αποτελούν χώρους με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις για την πλήρη κάλυψη των λειτουργικών τους αναγκών. Όλες οι δραστηριότητες που εκτελούνται στο χώρο του λιμανιού, από της πιο μικρής έως της πιο μεγάλης κλίμακας, χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Το βασικό ζήτημα εντοπίζεται στον τρόπο παραγωγής της ενέργειας αυτής, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις η ενέργεια αυτή παρέχεται από εργοστάσια που καίνε ορυκτά καύσιμα [31].

Με την ανάπτυξη των πράσινων λιμανιών (Green Ports), παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση μείωσης αυτής της εξάρτησης από τους ορυκτούς πόρους, αντικαθιστώντας τους με την υιοθέτηση πιο βιώσιμων πρακτικών, όπως η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και η εφαρμογή τεχνολογιών που βελτιώνουν την ενεργειακή τους αποδοτικότητα.

Από τους κύριους στόχους των πράσινων λιμανιών είναι η μείωση του οικολογικού τους αποτυπώματος, αξιοποιώντας τις ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) προκειμένου να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή. Αυτή η ενεργειακή μετάβαση των λιμανιών βασίζεται κατά κύριο λόγο στην αξιοποίηση ενός ευρέος φάσματος πράσινων τεχνολογιών. Τέτοιες πράσινες τεχνολογίες θα αναφερθούν παρακάτω.

Αρχικά μια τέτοια τεχνολογία είναι η ηλιακή ενέργεια, όπου μέσω φωτοβολταϊκών και ηλιοθερμικών συστημάτων, αποτελεί ιδιαίτερα δημοφιλή επιλογή λόγω του χαμηλού κόστους, της υψηλής απόδοσης και των περιορισμένων εκπομπών. Ωστόσο, η εγκατάσταση τους περιορίζεται συχνά από τη διαθεσιμότητα ελεύθερων επιφανειών μέσα στον χώρο του εκάστοτε λιμανιού. Από την άλλη η αιολική ενέργεια, είτε με χερσαίες είτε με υπεράκτιες εγκαταστάσεις, προσφέρει εξίσου σημαντικά οφέλη αλλά η εξάρτηση της από τις καιρικές συνθήκες, εκτενείς εκτάσεις, καθώς και η ύπαρξη υψηλών αρχικών επενδύσεων καθιστά σημαντικά εμπόδια για την υιοθέτηση της απ' όλα τα λιμάνια [20].

Οι τεχνολογίες κυματικής και παλιρροιακής ενέργειας αξιοποιούν τη δυναμική του θαλάσσιου περιβάλλοντος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρότι διαθέτουν προοπτικές, η εφαρμογή τους περιορίζεται από το υψηλό κόστος, την τεχνική πολυπλοκότητα

και τη χαμηλή αξιοπιστία. Από την άλλη η γεωθερμική ενέργεια, η οποία αξιοποιεί τη θερμότητα του υπεδάφους, έχει την δυνατότητα να προσφέρει συνεχή παροχή ενέργειας, όμως η χρήση της περιορίζεται από συγκεκριμένους γεωγραφικούς παράγοντες, διότι απαιτεί την ύπαρξη σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού [20].

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία υποστηρίζουν την εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης, επιτρέποντας την ευέλικτη χρήση της παραγόμενης ενέργειας οποιαδήποτε στιγμή. Η ενσωμάτωσή τους με έξυπνα μικροδίκτυα (smart microgrids) και τεχνολογίες όπως το Cold Ironing ενισχύει την ενεργειακή αποδοτικότητα και διασφαλίζει την απρόσκοπτη παροχή καθαρής ενέργειας στα πλοία και στις λιμενικές εγκαταστάσεις, εξασφαλίζοντας στην καθοριστική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> αλλά και στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας τους.

Τέλος πέραν της ενεργειακής μετάβασης, η στρατηγική για την δημιουργία πράσινων λιμένων περιλαμβάνει και συμπληρωματικά μέτρα, όπως η εφαρμογή πολιτικών περιορισμού των ατμοσφαιρικών ρύπων, καθώς και ο περιβαλλοντικά ευαίσθητος σχεδιασμός του χώρου, όπως η φύτευση δέντρων, όπου μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ηχορύπανσης και στη βελτίωση της ατμοσφαιρικής ποιότητας του λιμένα [31].

## 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Νομοθετικά Πλαίσια

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο που αφορά την ναυτιλία ,με αναφορά στο IMO ,τη θαλάσσια σύμβαση MARPOL καθώς και κανονισμούς και νομοθεσίες για τους Fit for 55 .

### 3.1 Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (International Maritime Organization-IMO):

#### 3.1.1 Ιστορία:

Η ιστορία του Διεθνούς Οργανισμού Ναυσιπλοΐας (ΔΝΟ/IMO) ξεκινάει με διεθνείς πρωτοβουλίες για τη δημιουργία ενός μόνιμου φορέα προώθησης της ναυτικής ασφάλειας, οι οποίες στεφθήκαν με επιτυχία μετά την ίδρυση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών(ΟΗΕ). Το 1948, το διεθνές συνέδριο στη Γενεύη υιοθέτησε τη σύμβαση ίδρυσης του IMO, ο οποίος αρχικά ονομάστηκε IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organisation) και μετονομάστηκε σε IMO το 1982 [37], [38].

Η Σύμβαση του IMO τέθηκε σε ισχύ το 1958 και ο Οργανισμός συνεδρίασε για πρώτη φορά το 1959. Σύμφωνα με το Άρθρο 1(α), σκοπός του είναι η διακυβερνητική συνεργασία σε τεχνικά ζητήματα που επηρεάζουν τη διεθνή ναυτιλία, καθώς και την προώθηση υψηλών προτύπων στη ναυτική ασφάλεια, την αποδοτικότητα της ναυσιπλοΐας, την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης, καθώς και διάφορα συναφή διοικητικά και νομικά θέματα [37], [38], [39].

Η πρώτη αποστολή του IMO ήταν η αναθεώρηση της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS-International Convention for the Safety of Life at Sea), η οποία υιοθετήθηκε το 1960 και παραμένει θεμελιώδης για τη ναυτική ασφάλεια. Με κύριο στόχο της SOLAS να είναι ο καθορισμός των ελάχιστων προτύπων για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων, με βάση τη συμβατότητά τους με την ασφάλεια τους [40]. Ο Οργανισμός επικεντρώθηκε ιδιαίτερα σε ζητήματα, όπως η διευκόλυνση της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας, η ρύθμιση των γραμμών φόρτωσης, η μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων και η αναθεώρηση του συστήματος μέτρησης χωρητικότητας των πλοίων.

Αν και η ασφάλεια παρέμεινε η κύρια ευθύνη του, αναδείχθηκε ένα νέο πρόβλημα: η ρύπανση. Με την συνεχώς αυξανόμενη μεταφορά πετρελαίου μέσω θαλάσσης και του μεγέθους των δεξαμενόπλοιων ενέτειναν σημαντικά τις ανησυχίες γι' αυτό τον επερχόμενο κίνδυνο. Η κρισιμότητα του ζητήματος αναδείχθηκε με την καταστροφή του Torrey Canyon το 1967, κατά την οποία χύθηκαν 120.000 τόνοι πετρελαίου. Με αφορμή αυτού του ατυχήματος τα επόμενα χρόνια, ο IMO εισήγαγε μέτρα για την πρόληψη ατυχημάτων με δεξαμενόπλοια αλλά και τη μείωση των επιπτώσεών τους. Παράλληλα, ασχολήθηκε και με την περιβαλλοντική απειλή από συνηθισμένες ναυτιλιακές δραστηριότητες, όπως ο καθαρισμός δεξαμενών πετρελαίου και η απόρριψη αποβλήτων μηχανοστασίου, οι οποίες αποτελούσαν μια σημαντική πηγή ρύπανσης, αποτελώντας συχνά μεγαλύτερη από αυτή που προκαλούν τα ατυχήματα. Μάλιστα ένα από τα σημαντικότερα μέτρα ήταν η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία του 1973, όπως τροποποιήθηκε από το Πρωτόκολλο του

1978 (MARPOL 73/78). Η σύμβαση αυτή καλύπτει όχι μόνο την τυχαία και λειτουργική ρύπανση από πετρέλαιο, αλλά και τη ρύπανση από χημικά, συσκευασμένα εμπορεύματα, λύματα, απορρίμματα και ατμοσφαιρική ρύπανση [37].

Εξαιτίας των διάφορων κινδύνων και καταστροφών που προκλήθηκαν από την ναυτιλία, ο IMO χρειάστηκε και ανέλαβε την ευθύνη για την ανάπτυξη ενός συστήματος αποζημίωσης για τα θύματα οικονομικών ζημιών από ρύπανση. Έτσι ανέπτυξε δύο συνθήκες, υιοθετημένες το 1969 και το 1971, οι οποίες επέτρεψαν ταχύτερη αποζημίωση σε σχέση με το παρελθόν. Οι συνθήκες αυτές τροποποιήθηκαν το 1992 και το 2000, αυξάνοντας τα όρια των αποζημιώσεων για τα θύματα της πετρελαϊκής ρύπανσης. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν και άλλες νομικές συμβάσεις που αφορούν τη ρύθμιση θεμάτων ευθύνης και αποζημίωσης. Μάλιστα τη δεκαετία του 1970, ο IMO ξεκίνησε τη δημιουργία ενός παγκόσμιου συστήματος έρευνας και διάσωσης με την ίδρυση του IMSO (International Mobile Satellite Organization), το οποίο βελτίωσε σημαντικά τις ραδιοεπικοινωνίες και τη διαβίβαση μηνυμάτων προς τα πλοία [37].

Το Παγκόσμιο Ναυτιλιακό Σύστημα Κινδύνου και Ασφάλειας (GMDSS-Global Maritime Distress and Safety System), το οποίο υιοθετήθηκε το 1988 και τέθηκε πλήρως σε ισχύ το 1999, εξασφάλισε την παροχή βοήθειας σε πλοία παγκοσμίως, ακόμη και χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση για την εκπομπή σήματος κινδύνου.

Κατά τη δεκαετία του 1990, υιοθετήθηκαν σημαντικά μέτρα ενίσχυσης του ανθρώπινου παράγοντα στη ναυτιλία. Ο Διεθνής Κώδικας Διαχείρισης Ασφαλείας (ISM-International Safety Management Code) τέθηκε σε εφαρμογή το 1998 για συγκεκριμένους τύπους πλοίων και επεκτάθηκε το 2002 σε περισσότερα σκάφη και υπεράκτιες πλατφόρμες γεώτρησης. Παράλληλα, οι τροποποιήσεις του 1995 στη Σύμβαση STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping) του 1978, που τέθηκαν σε ισχύ το 1997, αναβάθμισαν την εκπαίδευση και πιστοποίηση ναυτικών και ενίσχυσαν τον έλεγχο συμμόρφωσης των κρατών από τον IMO [37].

Τη δεκαετία του 2000, η ναυτιλιακή νομοθεσία επεκτάθηκε στο πεδίο της περιβαλλοντικής προστασίας, με τη θέσπιση των συμβάσεων AFS (2001), BWM (2004) και της Διεθνούς Σύμβασης του Χονγκ Κονγκ (2009), οι οποίες ρυθμίζουν αντίστοιχα τη χρήση αντιρρυπαντικών επιστρώσεων, τη διαχείριση θαλασσινού νερού έρματος και την ανακύκλωση πλοίων. Συνάμα η ναυτιλιακή ασφάλεια ενισχύθηκε σημαντικά με την έναρξη ισχύος, τον Ιούλιο του 2004, ενός νέου κανονιστικού πλαισίου που περιλάμβανε τον Διεθνή Κώδικα Ασφαλείας Πλοίων και Λιμενικών Εγκαταστάσεων (ISPS-International Ship and Port Facility Security Code), ο οποίος κατέστη υποχρεωτικός μέσω τροποποιήσεων στη Σύμβαση SOLAS (2002) [37].

Οι τεχνολογικές εξελίξεις και τα διδάγματα από ναυτικά ατυχήματα οδήγησαν σε διαρκείς τροποποιήσεις των ναυτιλιακών κανονισμών. Το Σχέδιο Ελέγχου των Κρατών-Μελών του IMO, το οποίο κατέστη υποχρεωτικό από την 1η Ιανουαρίου 2016, αποτελεί βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης των κρατών με τα υποχρεωτικά ρυθμιστικά πλαίσια, παρέχοντας μια αντικειμενική εκτίμηση της αποτελεσματικότητας εφαρμογής τους.



Η ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τη ναυτιλία αποτέλεσε αυξανόμενη προτεραιότητα. Ο IMO ευθυγραμμιζόμενος με τον Στόχο 13 των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ και τη Συμφωνία των Παρισίων (2015), έθεσε σε εφαρμογή, από το 2011, το πρώτο υποχρεωτικό διεθνές πλαίσιο για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

Έκτοτε, υιοθετήθηκαν επιπλέον μέτρα, όπως η αρχική στρατηγική του IMO για τα GHG (2018) και η αναθεωρημένη στρατηγική του 2023, η οποία προβλέπει τον στόχο επίτευξης καθαρών μηδενικών εκπομπών GHG από τη διεθνή ναυτιλία έως ή κοντά στο 2050. Η νέα στρατηγική περιλαμβάνει επίσης ενδιάμεσα ορόσημα: μείωση κατά τουλάχιστον 20% (με προσδοκία 30%) έως το 2030 και κατά τουλάχιστον 70% (με προσδοκία 80%) έως το 2040, καθώς και προώθηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων μηδενικών ή σχεδόν μηδενικών εκπομπών έως το 2030. Για την υποστήριξη της υλοποίησης των μέτρων αυτών, ο IMO αναπτύσσει εκτεταμένα προγράμματα τεχνικής βοήθειας και ανάπτυξης ικανοτήτων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Τέλος, ο IMO αποτελείται πλέον από 175 κράτη-μέλη, 66 διακυβερνητικούς οργανισμούς με καθεστώς παρατηρητή και 85 διεθνείς μη κυβερνητικούς οργανισμούς σε συμβουλευτικό καθεστώς. Μέσω αυτής της δομής, ενθαρρύνεται η περαιτέρω συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων, με στόχο την επίτευξη των υψηλότερων προτύπων [37].

### **3.1.2 Δομή του Οργανισμού:**

Ο Οργανισμός αποτελείται από τη Συνέλευση, το Συμβούλιο και πέντε κύριες Επιτροπές: την Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας, την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, την Νομική Επιτροπή, την Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας και την Επιτροπή Διευκόλυνσης. Επιπλέον, ένας αριθμός Υποεπιτροπών υποστηρίζει το έργο των κύριων τεχνικών επιτροπών [38], [41].

Η Συνέλευση είναι το ανώτατο διοικητικό όργανο του Οργανισμού. Αποτελείται από όλα τα Κράτη Μέλη και συνεδριάζει μία φορά κάθε δύο χρόνια σε τακτικές συνεδριάσεις, αλλά μπορεί επίσης να συγκληθεί σε έκτακτη συνεδρίαση εάν κριθεί απαραίτητο. Η Συνέλευση είναι υπεύθυνη για την έγκριση του προγράμματος εργασιών, την ψήφιση του προϋπολογισμού και τον καθορισμό των χρηματοοικονομικών ρυθμίσεων του Οργανισμού. Η Συνέλευση εκλέγει το Συμβούλιο με διετή θητεία το οποίο είναι υπεύθυνο για την εποπτεία του έργου του Οργανισμού [38], [41].

Το Συμβούλιο είναι το εκτελεστικό όργανο του ΔΝΟ και είναι υπεύθυνο, υπό τη Συνέλευση, για την εποπτεία του έργου του Οργανισμού. Μεταξύ των συνεδριάσεων της Συνέλευσης, το Συμβούλιο ασκεί όλες τις αρμοδιότητες της Συνέλευσης, εκτός από τη διατύπωση συστάσεων προς τις κυβερνήσεις σχετικά με τη ναυτική ασφάλεια και την πρόληψη της ρύπανσης, αρμοδιότητα που διατηρεί αποκλειστικά η Συνέλευση, σύμφωνα με το Άρθρο 15(j) της Σύμβασης. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες μελών (α, β και γ) στο Συμβούλιο. Τα μέλη της κατηγορίας (α) είναι 10 κράτη με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την παροχή διεθνών ναυτιλιακών υπηρεσιών, στην κατηγορία (β) ανήκουν 10 κράτη με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το διεθνές θαλάσσιο εμπόριο. Τα κράτη-μέλη της κατηγορίας (γ) είναι 20 που δεν έχουν εκλεγεί σύμφωνα με τα (α) ή (β) παραπάνω, τα οποία έχουν ειδικά συμφέροντα στις

θαλάσσιες μεταφορές ή τη ναυσιπλοΐα και των οποίων η εκλογή στο Συμβούλιο θα εξασφαλίσει την εκπροσώπηση όλων των μεγάλων γεωγραφικών περιοχών του κόσμου [41].

Σύμφωνα με τις τροποποιήσεις της Σύμβασης, τα μέλη του Συμβουλίου διατηρούν τη θέση τους έως τη λήξη δύο διαδοχικών τακτικών συνόδων της Συνέλευσης, με δυνατότητα επανεκλογής. Δεδομένου ότι οι σύνοδοι της Συνέλευσης πραγματοποιούνται συνήθως ανά διετία, η θητεία των μελών του Συμβουλίου διαρκεί κατ' ουσίαν τέσσερα έτη [41].

Στην 33η Συνέλευση εξελέγχθηκαν τα ακόλουθα Κράτη ως Μέλη του Συμβουλίου για την κάθε κατηγορία τη διετία 2024-2025:

Κατηγορία (α): 10 Κράτη με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην παροχή διεθνών ναυτιλιακών υπηρεσιών : Κίνα, Ελλάδα, Ιταλία, Ιαπωνία, Λιβερία, Νορβηγία, Παναμάς, Δημοκρατία της Κορέας, Ηνωμένο Βασίλειο και Ηνωμένες Πολιτείες.

Κατηγορία (β): 10 Κράτη με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στο διεθνές θαλάσσιο εμπόριο: Αυστραλία, Βραζιλία, Καναδάς, Γαλλία, Γερμανία, Ινδία, Βασίλειο των Κάτω Χωρών, Ισπανία, Σουηδία και Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα.

Κατηγορία (γ): 20 Κράτη που δεν εξελέγησαν στις κατηγορίες (α) ή (β), αλλά έχουν ιδιαίτερα συμφέροντα στη θαλάσσια μεταφορά ή ναυσιπλοΐα και των οποίων η εκλογή στο Συμβούλιο διασφαλίζει την εκπροσώπηση όλων των μεγάλων γεωγραφικών περιοχών του κόσμου: Μπαχάμες, Μπαγκλαντές, Χιλή, Κύπρος, Δανία, Αίγυπτος, Φινλανδία, Ινδονησία, Τζαμάικα, Κένυα, Μαλαισία, Μάλτα, Μεξικό, Μαρόκο, Περού, Φιλιππίνες, Κατάρ, Σαουδική Αραβία, Σιγκαπούρη και Τουρκία.

Οι πέντε κύριες επιτροπές είναι: η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος, η Νομική Επιτροπή, η Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας και η Επιτροπή Διευκόλυνσης και ορισμένες Υποεπιτροπές υποστηρίζουν το έργο των κύριων τεχνικών επιτροπών.

Η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC-Maritime Safety Committee) αποτελεί το ανώτατο τεχνικό όργανο του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού και περιλαμβάνει όλα τα κράτη-μέλη. Είναι επιφορτισμένη με την εξέταση ζητημάτων που σχετίζονται με τη ναυσιπλοΐα, τον σχεδιασμό και εξοπλισμό πλοίων, την ασφαλή επάνδρωση, την πρόληψη συγκρούσεων, τη διαχείριση επικίνδυνων φορτίων, τις διαδικασίες θαλάσσιας ασφάλειας και την αντιμετώπιση ναυτικών ατυχημάτων. Εποπτεύει, επίσης, την επικαιροποίηση της Σύμβασης SOLAS και των συναφών κωδικών, ενώ χειρίζεται ζητήματα που άπτονται του ανθρώπινου παράγοντα, όπως οι τροποποιήσεις της Σύμβασης STCW για την εκπαίδευση και πιστοποίηση των ναυτικών. Η τρέχουσα θεματολογία της περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, πρότυπα βάσει στόχων, αυτόνομα πλοία, πειρατεία, κυβερνοασφάλεια και ηλεκτρονική ναυσιπλοΐα [41], [42].

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC-Marine Environment Protection Committee), η οποία απαρτίζεται από όλα τα κράτη-μέλη του IMO, έχει την ευθύνη να εξετάζει ζητήματα που αφορούν την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης από πλοία. Μάλιστα εξετάζει περιβαλλοντικά ζητήματα σύμφωνα με τη Σύμβαση MARPOL, καλύπτοντας

τη ρύπανση από πετρέλαιο, χημικές ουσίες, λύματα, απορρίμματα και εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, διαχειρίζεται θέματα όπως η διαχείριση του έρματος, τα συστήματα αντιρρύπανσης, η ανακύκλωση πλοίων, η ετοιμότητα για την αντιμετώπιση της ρύπανσης και ο χαρακτηρισμός ειδικών περιοχών, περιλαμβανομένων των ιδιαίτερα ευαίσθητων θαλάσσιων περιοχών [41], [43].

Η Νομική Επιτροπή (LEG-Legal Committee) ασχολείται με οποιαδήποτε νομικά θέματα εντός του πεδίου αρμοδιότητας του IMO. Αυτό περιλαμβάνει ζητήματα ευθύνης και αποζημίωσης που σχετίζονται με τη λειτουργία των πλοίων, όπως ζημιές, ρύπανση, αξιώσεις επιβατών και απομάκρυνση ναυαγίων. Επίσης εξετάζει θέματα που αφορούν τους ναυτικούς, όπως η δίκαιη μεταχείρισή τους, καθώς και ζητήματα παράνομων δραστηριοτήτων στη θάλασσα που επηρεάζουν την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας [41], [44].

Η Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας (TC-Technical Cooperation Committee) επιβλέπει το πρόγραμμα ανάπτυξης των ικανοτήτων του IMO και την υλοποίηση έργων τεχνικής συνεργασίας, για τα οποία ο Οργανισμός λειτουργεί ως εκτελεστικός ή συνεργαζόμενος φορέας. Διασφαλίζει ότι ο IMO υποστηρίζει τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών και την Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη [41], [45].

Η Επιτροπή Διευκόλυνσης (FAL-Facilitation Committee) ασχολείται με θέματα που σχετίζονται με τη διευκόλυνση της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένης της άφιξης, της παραμονής και της αναχώρησης πλοίων, επιβατών και φορτίων από τα λιμάνια. Συνάμα, εξετάζει θέματα ηλεκτρονικών συναλλαγών, όπως η έννοια του «ενιαίου παραθύρου» (single window), και στοχεύει στη διασφάλιση της σωστής ισορροπίας μεταξύ των κανονισμών και της διευκόλυνσης του διεθνούς θαλάσσιου εμπορίου [41], [46].

Ο IMO σήμερα είναι υπεύθυνος για περισσότερες από 50 διεθνείς συμβάσεις και συμφωνίες και έχει έξι βασικούς φορείς που ασχολούνται με την έγκριση ή την εφαρμογή τους. Η Συνέλευση και το Συμβούλιο είναι τα κύρια όργανα και οι προαναφερόμενες εμπλεκόμενες επιτροπές. Οι συνθήκες του IMO ενσωματώνονται στο εθνικό δίκαιο έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμόζονται σε πλοία που φέρουν τη σημαία συγκεκριμένης χώρας προκειμένου αυτές οι χώρες να μπορούν να εφαρμόζουν αποτελεσματικό έλεγχο. Αυτός ο έλεγχος διενεργείται από το λιμένα του εκάστοτε κράτους που προσεγγίζει το πλοίο, το οποίο συμμορφώνονται με άλλες υποχρεώσεις βάσει των διατάξεων του IMO. Μέσα από την κατανόηση των συνθηκών του IMO από τους δικηγόρους και τους νομοθέτες, καθίσταται εφικτό να δουν ποιες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ένταξη των συνθηκών στην εθνική νομοθεσία. Τέλος, η σύνταξη της νομοθεσίας θα υποβληθεί μετά από πολλές αναθεωρήσεις ώστε να διασφαλιστεί η εναρμόνισή της με τις απαιτήσεις της συνθήκης του IMO, λαμβάνοντας υπόψη την ήδη υπάρχουσα εθνική νομοθεσία.

### **3.2 Θαλάσσια σύμβαση MARPOL :**

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL: Marine Pollution) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που καλύπτει την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία, είτε από λειτουργικές είτε από τυχαίες αιτίες [47].

Η Σύμβαση MARPOL υιοθετήθηκε από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό στις 2 Νοεμβρίου 1973, και το Πρωτόκολλο του 1978 ενσωμάτωσε αυτήν τη Σύμβαση λόγω ατυχημάτων δεξαμενόπλοιων μεταξύ 1976-1977. Η πλήρης εφαρμογή της Σύμβασης και του Πρωτοκόλλου ξεκίνησε στις 2 Οκτωβρίου 1983. Στη συνέχεια, το 1997, προστέθηκε το Παράρτημα VI, το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 2005, επεκτείνοντας την ισχύ της Σύμβασης. Αυτή η Σύμβαση αποσκοπεί στην πρόληψη και περιορισμό της ρύπανσης των θαλασσών από πλοία, ανεξαρτήτως αν αυτή προκαλείται από ατυχήματα ή από τις καθημερινές λειτουργίες των πλοίων. Αποτελεί μια θεμελιώδης σύμβαση για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η οποία συνεχώς εξελίσσεται με την πάροδο των ετών, προσθέτοντας νέους κανονισμούς και τροποποιήσεις για την αποτελεσματική καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης [47]. Τα παραρτήματα της παρουσιάζονται παρακάτω:

- Annex I Regulations for the Prevention of Pollution by Oil (entered into force 2 October 1983).
- Annex II Regulations for the Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk (entered into force 2 October 1983).
- Annex III Prevention of Pollution by Harmful Substances Carried by Sea in Packaged Form (entered into force 1 July 1992).
- Annex IV Prevention of Pollution by Sewage from Ships (entered into force 27 September 2003).
- Annex V Prevention of Pollution by Garbage from Ships (entered into force 31 December 1988).
- Annex VI Prevention of Air Pollution from Ships (entered into force 19 May 2005).

Το πρώτο παράρτημα (Annex I) τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου του 1983 και καλύπτει την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο, τόσο από λειτουργικά μέτρα όσο και από τυχαίες απορρίψεις. Οι τροποποιήσεις του 1992 σε αυτό κατέστησαν υποχρεωτική τη χρήση διπλού πυθμένα (double hulls) για τα νέα δεξαμενόπλοια και εισήγαγαν ένα πρόγραμμα σταδιακής εφαρμογής για τον εξοπλισμό των υπαρχόντων δεξαμενόπλοιων με διπλά τοιχώματα. Τέλος, το πρόγραμμα αυτό αναθεωρήθηκε περαιτέρω το 2001 και το 2003 [48].

Το δεύτερο παράρτημα (Annex II) τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου του 1983 και περιγράφει τα κριτήρια απορρίψεων και τα μέτρα ελέγχου της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες που μεταφέρονται χύδην, όπου περίπου 250 ουσίες έχουν αξιολογηθεί και περιλαμβάνονται στον κατάλογο που προσαρτάται στη Σύμβαση. Στην περίπτωση απόρριψης των καταλοίπων αυτών των ουσιών επιτρέπεται μόνο σε εγκεκριμένες εγκαταστάσεις υποδοχής και υπό συγκεκριμένες συγκεντρώσεις και προϋποθέσεις, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία των ουσιών. Σε κάθε περίπτωση, η απόρριψη καταλοίπων που περιέχουν επιβλαβείς ουσίες απαγορεύεται σε απόσταση μικρότερη των 12 ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ακτή [48].

Το τρίτο παράρτημα (Annex III) τέθηκε σε ισχύ στις 1 Ιουλίου του 1992 και περιλαμβάνει γενικές απαιτήσεις για την έκδοση λεπτομερών προτύπων σχετικά με τη συσκευασία, τη σήμανση, την επισήμανση, την τεκμηρίωση, το στοίβαγμα, τους περιορισμούς ποσότητας, τις εξαιρέσεις και τις ειδοποιήσεις. Για τους σκοπούς αυτού του παραρτήματος, οι επιβλαβείς ουσίες είναι εκείνες που αναγνωρίζονται ως θαλάσσιοι ρύποι στον Διεθνή Ναυτιλιακό

Κώδικα Επικίνδυνων Εμπορευμάτων (IMDG Code-The International Maritime Dangerous Goods Code) ή που πληρούν τα κριτήρια που καθορίζονται σε αυτό το παράρτημα της Σύμβασης [48].

Το τέταρτο παράρτημα (Annex IV) τέθηκε σε ισχύ στις 27 Σεπτεμβρίου του 2003 και περιλαμβάνει απαιτήσεις για τον έλεγχο της ρύπανσης της θάλασσας από λύματα, όπου η απόρριψη λυμάτων στη θάλασσα απαγορεύεται, εκτός εάν το πλοίο διαθέτει εγκεκριμένη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων σε λειτουργία, τα λύματα είναι θρυμματισμένα και απολυμασμένα μέσω εγκεκριμένου συστήματος και απορρίπτονται σε απόσταση μεγαλύτερη των τριών ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ακτή ή τα λύματα δεν έχουν υποστεί θρυμματισμό ή απολύμανση και απορρίπτονται σε απόσταση μεγαλύτερη των δώδεκα ναυτικών μιλίων από την πλησιέστερη ακτή [48].

Το πέμπτο παράρτημα (Annex V) τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου του 1988 και ασχολείται με διάφορους τύπους απορριμμάτων και καθορίζει τις αποστάσεις από την ακτή καθώς και τον τρόπο απόρριψής τους. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι η απόλυτη απαγόρευση της απόρριψης όλων των μορφών πλαστικών στη θάλασσα [48].

Τέλος, το έκτο παράρτημα (Annex VI) τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005 και καθορίζει όρια στις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO<sub>x</sub>) και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) από τα καυσάεργα των πλοίων, απαγορεύοντας συνάμα και τις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος. Μάλιστα στις καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECAs-Emission Control Areas) εφαρμόζονται αυστηρότερα πρότυπα για τις εκπομπές SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Το 2011 υιοθετήθηκε ένα νέο κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει υποχρεωτικά τεχνικά και λειτουργικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Σήμερα, η MARPOL αναγνωρίζεται ως το σημαντικότερο σύνολο διεθνών κανονισμών για την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από πλοία, και τα στοιχεία δείχνουν ότι η θαλάσσια ρύπανση έχει μειωθεί με την πάροδο των ετών [48].

Από τον Ιανουάριο του 2018, 156 κράτη είναι συμβεβλημένα με τη σύμβαση. Όλα τα πλοία που φέρουν σημαία χωρών που έχουν υπογράψει τη MARPOL υπόκεινται στις απαιτήσεις της, ανεξάρτητα από το πού πλέουν, και τα κράτη μέλη είναι υπεύθυνα για τα πλοία που είναι νηολογημένα στο εθνικό τους μητρώο πλοίων [48].

### 3.3 Fit for 55:

Το πακέτο "Fit for 55" είναι ένα σύνολο νόμων που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 και στη χάραξη πορείας προς την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Προσπαθεί να διασφαλίσει μια δίκαιη και κοινωνικά ισορροπημένη μετάβαση, να διατηρεί και να ενισχύει την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας, εξασφαλίζοντας παράλληλα ίσους όρους ανταγωνισμού με οικονομικούς φορείς τρίτων χωρών και τέλος να ενισχύει τη θέση της ΕΕ ως ηγέτιδας δύναμης στον παγκόσμιο αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής [49], [50].

Οι προτάσεις του πακέτου παρουσιάστηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και στη συνέχεια συζητήθηκαν σε τεχνικό επίπεδο στις ομάδες εργασίας του Συμβουλίου που είναι υπεύθυνες

για τους σχετικούς τομείς πολιτικής. Αργότερα, οι προτάσεις εξετάστηκαν από τους πρεσβευτές των κρατών μελών της ΕΕ στην Επιτροπή Μόνιμων Αντιπροσώπων (Coreper-Committee of Permanent Representatives), προκειμένου να προετοιμαστεί το έδαφος για συμφωνίες μεταξύ των 27 κρατών μελών. Οι υπουργοί της ΕΕ, στο πλαίσιο διαφόρων σχηματισμών του Συμβουλίου, αντάλλαξαν απόψεις σχετικά με τις προτάσεις, με στόχο την επίτευξη συμφωνίας για μια κοινή θέση σε κάθε προτεινόμενο νομοθετικό κείμενο [49]. Ακολουθώντας τη συνήθη νομοθετική διαδικασία, το Συμβούλιο στη συνέχεια διαπραγματεύτηκε με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, προκειμένου να βρεθεί κοινή συμφωνία για την τελική υιοθέτηση των νομοθετικών πράξεων.

Το Συμβούλιο έχει υιοθετήσει πέντε νόμους που επιτρέπουν στην ΕΕ να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στους βασικούς τομείς της οικονομίας, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι πιο ευάλωτοι πολίτες και οι πολύ μικρές επιχειρήσεις, καθώς και οι τομείς που εκτίθενται σε διαρροή άνθρακα, θα υποστηριχθούν αποτελεσματικά κατά τη μετάβαση προς την κλιματική ουδετερότητα. Οι νόμοι αυτοί αποτελούν μέρος του πακέτου Fit for 55, το οποίο ευθυγραμμίζει τις πολιτικές της ΕΕ με τη δέσμευσή της για μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [49].

### **3.3.1 Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ (EU ETS):**

Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ (EU ETS-EU Emissions Trading System) αποτελεί θεμελιώδη εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) στην ΕΕ, καλύπτοντας τις ενεργοβόρες βιομηχανίες και την παραγωγή ενέργειας. Το EU ETS βασίζεται σε ένα σύστημα ανώτατων ορίων εκπομπών, όπου κάθε εγκατάσταση ή φορέας που εντάσσεται στο σύστημα έχει καθορισμένο όριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτά τα όρια μειώνονται ετησίως, προκειμένου να ανταποκριθούν στους κλιματικούς στόχους της ΕΕ, όπως ο στόχος μείωσης των εκπομπών κατά 62% έως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 [51].

Για να συμμορφωθούν με το σύστημα, οι εταιρείες πρέπει να παρακολουθούν και να αναφέρουν τις ετήσιες εκπομπές τους, παραδίδοντας επαρκή δικαιώματα εκπομπών. Αν δεν το πράξουν, αντιμετωπίζουν αυστηρές ποινές. Τα δικαιώματα εκπομπών διατίθενται κυρίως μέσω δημοπρασιών και κάποιες ποσότητες παραχωρούνται δωρεάν σε εταιρείες. Επιπλέον, οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να εμπορεύονται τα δικαιώματα εκπομπών μεταξύ τους, επιτρέποντας έτσι την ευελιξία στη μείωση των εκπομπών. Η τιμή των δικαιωμάτων καθορίζεται από την αγορά άνθρακα και παρέχει κίνητρο στις επιχειρήσεις να μειώσουν τις εκπομπές τους με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο [49], [51].

Τα έσοδα από το EU ETS κατευθύνονται στους εθνικούς προϋπολογισμούς και χρησιμοποιούνται για τη χρηματοδότηση επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενεργειακή απόδοση και τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών. Ειδικότερα, μέρος αυτών των εσόδων στηρίζει την καινοτομία και τη μετάβαση σε καθαρές πηγές ενέργειας μέσω του Ταμείου Καινοτομίας (Innovation Fund) και του Ταμείου Εκσυγχρονισμού (Modernisation Fund).

Αξιοσημείωτο είναι ότι για πρώτη φορά το 2024, οι εκπομπές από τη ναυτιλία θα ενταχθούν στο EU ETS, με σταδιακή εφαρμογή των υποχρεώσεων των ναυτιλιακών εταιρειών για την

παράδοση δικαιωμάτων εκπομπών: 40% το 2024, 70% το 2025 και 100% το 2026. Τα μεγάλα πλοία θα ενταχθούν άμεσα στο EU ETS, ενώ τα μικρότερα πλοία αρχικά θα υπαχθούν στον κανονισμό MRV (Monitoring, Reporting, Verification) για την παρακολούθηση, αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, πριν ενταχθούν στο EU ETS [49], [52]. Αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να ενθαρρύνει τις εταιρείες και τους πλοιοκτήτες να μειώσουν τις εκπομπές τους, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της ΕΕ και στη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη και καθαρή οικονομία.

### **3.3.2 FuelEU maritime initiative:**

Ο κύριος στόχος της πρωτοβουλίας FuelEU Maritime, ως βασικό μέρος του πακέτου Fit for 55 της ΕΕ, είναι η αύξηση της ζήτησης και της σταθερής χρήσης ανανεώσιμων και χαμηλών σε άνθρακα καυσίμων, καθώς και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον ναυτιλιακό τομέα, διασφαλίζοντας παράλληλα την ομαλή λειτουργία της θαλάσσιας κυκλοφορίας και αποφεύγοντας τυχόν στρεβλώσεις στην εσωτερική αγορά. Γενικά στοχεύει στο να θέσει στις θαλάσσιες μεταφορές τα ανώτατα όρια για τη μέση ετήσια ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) της ενέργειας που χρησιμοποιείται από πλοία άνω των 5.000 ολικής χωρητικότητας, τα οποία προσεγγίζουν ευρωπαϊκά λιμάνια, ανεξαρτήτως της σημαίας που φέρουν. Όλα αυτά συμβάλλουν στην ενίσχυση της πορείας επίτευξης των κλιματικών στόχων της ΕΕ για το 2030 και το 2050 και αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση του Ευρωπαϊκού Κλιματικού Νόμου [32], [53].

### **3.3.3 Alternative fuels infrastructure(AFIR):**

Τέλος, ο Κανονισμός για τις Υποδομές Εναλλακτικών Καυσίμων (AFIR) αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του πακέτου μέτρων Fit for 55. Σύμφωνα με τις διατάξεις του κανονισμού, προβλέπεται η ανάπτυξη περισσότερων σταθμών φόρτισης και ανεφοδιασμού με εναλλακτικά καύσιμα τα επόμενα χρόνια σε ολόκληρη την Ευρώπη, γεγονός που θα επιτρέψει στον τομέα των μεταφορών να μειώσει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα του. Όσον αφορά τον τομέα της ναυτιλίας, τα θαλάσσια λιμάνια που εξυπηρετούν ελάχιστο αριθμό μεγάλων επιβατηγών πλοίων ή πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων θα υποχρεούνται, έως το 2030, να παρέχουν δυνατότητα ηλεκτροδότησης από την ξηρά (shore-side electricity) για τα συγκεκριμένα είδη πλοίων [54].



## 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Cold Ironing

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέθοδος Cold Ironing, δηλαδή η τροφοδότηση των πλοίων από την ξηρά μέσω διαφόρων πηγών ενέργειας. Θα αναλυθούν οι διαφορετικές τυπολογίες της μεθόδου, τα βασικά μέρη του εξοπλισμού, οι τρόποι παραγωγής της απαιτούμενης ενέργειας, καθώς και καινοτόμες προσεγγίσεις που αναπτύσσονται στον τομέα. Επιπλέον, θα γίνει αναφορά σε λιμάνια που ήδη εφαρμόζουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία ή σχεδιάζουν την υιοθέτησή της στο μέλλον. Τέλος, θα εξεταστούν τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, καθώς και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή της.

### 4.1 Περιγραφή:

Cold Ironing, ή Alternative Maritime Power (AMP) ή On-Shore Power Supply ή Shore Connection, αναφέρεται ως η διαδικασία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πλοίο που βρίσκεται στο λιμάνι μέσω χερσαίων πηγών ενέργειας. Επιτρέποντας στα πλοία να απενεργοποιούν τις βοηθητικές τους μηχανές κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο λιμάνι, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη λειτουργία συστημάτων όπως η φορτοεκφόρτωση, ο φωτισμός, η θέρμανση, η ψύξη καθώς και άλλα ηλεκτρονικά συστήματα του πλοίου. Ο όρος "Cold Ironing" προέρχεται από την εποχή των ατμόπλοίων που λειτουργούσαν με άνθρακα όταν ένα πλοίο βρισκόταν στο λιμάνι και οι μηχανές του ήταν σβηστές, οι σιδερένιες επιφάνειες των μηχανών κρύωναν, εξ' ου και η ονομασία "cold" (κρύο) [55].

Η πρακτική του Cold Ironing εφαρμόζεται εδώ και αρκετές δεκαετίες στον στρατιωτικό τομέα και πλέον έχει προωθηθεί και συνεχίζει να προωθείται και να αναπτύσσεται δυναμικά στον παγκόσμιο εμπορικό ναυτιλιακό κλάδο. Η εφαρμογή της γίνεται με την χρήση συστημάτων παραγωγής ενέργειας μέσω του λιμανιού, όπου η ενέργεια είτε παρέχεται από το ίδιο το λιμάνι αξιοποιώντας ανανεώσιμες ή άλλες πηγές ενέργειας είτε από κάποια εξωτερική πηγή [55].

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εφικτή η πλήρης απενεργοποίηση όλων των ντιζελοκινητήρων του, εξολείζοντας πρακτικά τη ρύπανση που προέρχεται από τις εκπομπές του πλοίου, ιδιαίτερα στις πόλεις με λιμάνια και τις γύρω περιοχές που υποφέρουν από τη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας. Μιας και χωρίς την χρήση της μεθόδου, οι λειτουργίες του πλοίου απαιτούν την κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων βαρέων καυσίμων προκαλώντας σημαντική αέρια ρύπανση σε αυτές τις περιοχές.

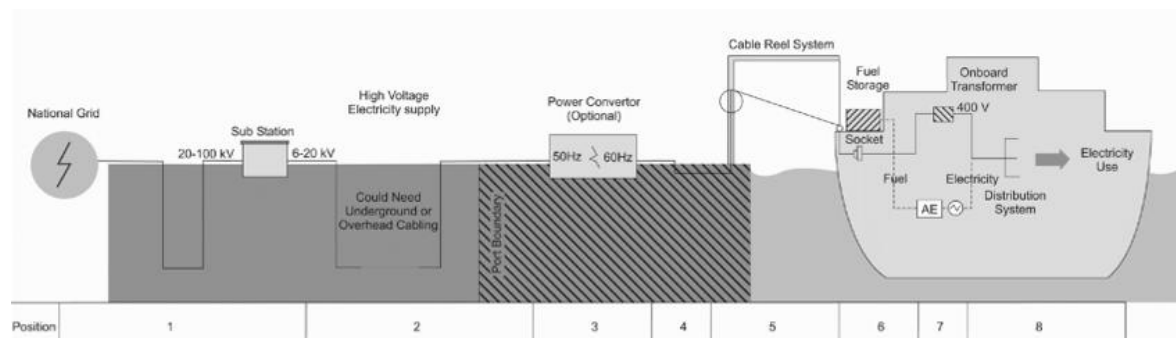
Τέλος, με την ύπαρξη διάφορων κανονισμών όπως αυτόν της FuelEU Maritime της Ευρωπαϊκής Ένωσης προωθείται πλέον η χρήση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά (OSP - Onshore Power Supply) για τα επιβατηγά και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στα λιμάνια της ΕΕ. Από τις 1 Ιανουαρίου του 2030, θα αποτελεί υποχρεωτικό για τα πλοία με ολική χωρητικότητα 5.000 GT ή περισσότερη, να συνδέονται σε χερσαία παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε καθορισμένα λιμάνια της ΕΕ, όταν παραμένουν αγκυροβολημένα για περισσότερες από δύο ώρες [56].



## 4.2 Διεθνή πρότυπα:

### 4.2.1 Πρόταση 2006/339/EC:

Στις 8 Μαΐου του 2006 η επιτροπή των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων προκειμένου να προωθήσει την ηλεκτροδότηση από την ξηρά των πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους σε λιμένες δημοσίευσε την πρόταση 2006/339/EC, η οποία παρουσίαζε μια τυπική διαμόρφωση μιας εγκατάστασης Cold Ironing, παρουσιάζοντας το σύνολο του εμπλεκόμενου εξοπλισμού [57].



**Εικόνα 4.1:** Προτεινόμενη διάταξη συστήματος CI (Πρόταση 2006/339/EC) [57].

Οι τεχνικές απαιτήσεις - τυπική διάρθρωση του συστήματος αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα [57]:

- 1) Σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας τάσεως 20-100 kV μέσω τοπικού υποσταθμού όπου η τάση μετασχηματίζεται σε 6-20 kV.
- 2) Καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος υπό τάση 6-20 kV από τον υποσταθμό προς τον σταθμό του λιμένα.
- 3) Μετατροπή ισχύος, όπου χρειάζεται. (Η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι κατά γενικό κανόνα 50 Hz. Σε πλοίο που έχει σχεδιαστεί για συχνότητα ηλεκτρικού ρεύματος 60 Hz ενδεχομένως να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 50 Hz για ορισμένα συστήματα, όπως ο φωτισμός και η θέρμανση, αλλά όχι για τον ηλεκτροκίνητο εξοπλισμό, όπως αντλίες, βαρούλκα και γερανοί. Κατά συνέπεια, σε πλοίο όπου χρησιμοποιείται ηλεκτρικό ρεύμα συχνότητας 60 Hz ενδεχομένως να απαιτηθεί μετατροπή ηλεκτρικού ρεύματος συχνότητας 50 Hz σε συχνότητα 60 Hz).
- 4) Καλώδια για τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στο σταθμό. Τα καλώδια αυτά είναι δυνατόν να τοποθετηθούν υπογείως, εντός ήδη υπάρχοντων ή νέων σωλήνων.
- 5) Σύστημα περιέλιξης καλωδίων, ώστε να αποφεύγονται οι χειρισμοί καλωδίων υψηλής τάσης. Το σύστημα αυτό, αποτελούμενο από τύμπανο περιέλιξης καλωδίων, επωτίδα και πλαίσιο, είναι δυνατόν να εγκαθίσταται στη θέση πλευρίσης. Η επωτίδα και το πλαίσιο πρέπει να χρησιμοποιούνται για την ανύψωση και την καθαίρεση των καλωδίων στο σκάφος. Ο κινητήριος μηχανισμός και ο χειρισμός του τυμπάνου περιέλιξης καλωδίων και του πλαισίου είναι δυνατόν να είναι ηλεκτρομηχανικοί.
- 6) Ρευματολήπτης επί του σκάφους για το καλώδιο σύνδεσης.
- 7) Μ/Σ επί του πλοίου για τη μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσεως σε 400 V.

- 8) Διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στο πλοίο, με τις βοηθητικές μηχανές εκτός λειτουργίας.

#### 4.2.2 Πρότυπα ISO/IEC/IEEE 80005:

Ο σκοπός του IEC/IEEE 80005 είναι να καθορίσει απαιτήσεις που, σε συνδυασμό με την εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών λειτουργίας, υποστηρίζουν την αποδοτικότητα και την ασφάλεια των συνδέσεων μεταξύ συμβατών πλοίων και συμβατών συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης από την ξηρά, μέσω μιας συμβατής σύνδεσης ξηράς-πλοίου.

Το πρώτο παγκόσμιο, διεθνές πρότυπο που ορίζει τα συστήματα σύνδεσης τάσης από ξηράς είναι το IEC/ISO/IEEE 80005-1, το οποίο δημοσιεύτηκε τον Αύγουστο του 2012. Ωστόσο στην συνέχεια αποσύρθηκε και αντικαταστάθηκε από ένα νέο, το IEC/IEEE 80005-1:2019, το οποίο δημοσιεύθηκε τον Μάρτιο του 2019, με τίτλο: "Utility connections in port — Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems — General requirements."

Ξεκινώντας από το Part 1 θα αναφερθούν και τα άλλα δύο Parts:

- IEC/IEEE 80005-1:2019+AMD1:2022+AMD2:2023 Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems – General requirements [58].

Αυτό το μέρος του IEC/IEEE 80005 περιγράφει τα συστήματα σύνδεσης υψηλής τάσης από ξηράς (HVSC-High Voltage Shore Connection), τόσο στο πλοίο όσο και στη στεριά, για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο από τη στεριά.

Μάλιστα το συγκεκριμένο πρότυπο αφορά τον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τις δοκιμές των συστημάτων HVSC και καλύπτει:

- Συστήματα διανομής υψηλής τάσης από ξηράς,
- Εξοπλισμό σύνδεσης και διεπαφής ξηράς-πλοίου,
- Μετασχηματιστές/αντιδραστήρες,
- Ημιαγωγικούς/περιστρεφόμενους μετατροπείς συχνότητας,
- Συστήματα διανομής του πλοίου, και
- Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, αλληλομανδάλωσης και διαχείρισης ισχύος.

Βέβαια δεν εφαρμόζεται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους ελλιμενισμού, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια ξηρού ελλιμενισμού ή άλλων εργασιών συντήρησης και επισκευής εκτός υπηρεσίας. Επιπλέον και/ή εναλλακτικές απαιτήσεις ενδέχεται να επιβληθούν από εθνικές διοικήσεις ή τις αρχές υπό τις οποίες η δικαιοδοσία του πλοίου προβλέπεται να λειτουργήσει και/ή από τους ιδιοκτήτες ή τις αρχές υπεύθυνες για το σύστημα παροχής ή διανομής ενέργειας από ξηράς. Αναμένεται ότι τα συστήματα HVSC θα έχουν πρακτικές εφαρμογές για πλοία που απαιτούν 1 MVA ή περισσότερα, ή πλοία με κύρια

παροχή υψηλής τάσης. Τέλος τα συστήματα χαμηλής τάσης σύνδεσης από ξηράς δεν καλύπτονται από το παρόν έγγραφο.

- IEC/IEEE 80005-2:2016 Part 2: High and low voltage shore connection systems – Data communication for monitoring and control [59].

Το παραπάνω πρότυπο περιγράφει τις διεπαφές δεδομένων (data interfaces) στεριάς και πλοίων, καθώς και τις διαδικασίες για την επικοινωνία των συστημάτων χαμηλής και υψηλής τάσης με τη ξηρά εφόσον αυτά εξυπηρετούν λειτουργίες μη έκτακτης ανάγκης.

Επίσης προδιαγράφει τα χαρακτηριστικά διεπαφής, τις διευθύνσεις και τον τύπο δεδομένων καθώς και τις απαιτήσεις επικοινωνίας για κρουαζιερόπλοια. Η εφαρμογή αυτού του προτύπου σχετίζεται με παραρτήματα του IEC/ISO/IEEE 80005-1. Σημειώνεται ότι δεν προδιαγράφει επικοινωνία για λειτουργίες έκτακτης ανάγκης, η οποία περιγράφεται στο IEC/ISO/IEEE 80005-1.

- IEC/IEEE DIS 80005-3:2014 Utility connections in port — Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems — General requirements [60].

Αυτό το μέρος του IEC/IEEE 80005 περιγράφει τις διεπαφές δεδομένων μεταξύ ξηράς και πλοίων, καθώς και τα βήματα για την επικοινωνία συστημάτων σύνδεσης από ξηράς χαμηλής και υψηλής τάσης για μη επείγουσες λειτουργίες, όπου απαιτείται. Το πρότυπο αυτό καθορίζει τις περιγραφές διεπαφών, τις διευθύνσεις και τον τύπο δεδομένων. Επίσης, το πρότυπο αυτό καθορίζει τις απαιτήσεις επικοινωνίας για κρουαζιερόπλοια. Η εφαρμογή του προτύπου αυτού σχετίζεται με τα παραρτήματα του IEC/ISO/IEEE 80005-1. Ομοίως με το IEC/IEEE 80005-2:2016 το παρόν πρότυπο δεν καθορίζει την επικοινωνία για επείγουσες λειτουργίες, όπως περιγράφεται στο IEC/ISO/IEEE 80005-1. Αυτό το πρότυπο περιγράφει τα συστήματα χαμηλής τάσης σύνδεσης από ξηράς (LVSC-Low Voltage Shore Connection), τόσο στο πλοίο όσο και στη στεριά, για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο από τη στεριά. Εφαρμόζεται στον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τις δοκιμές των συστημάτων LVSC και καλύπτει:

- Συστήματα διανομής χαμηλής τάσης από ξηράς,
- Εξοπλισμό σύνδεσης και διεπαφής ξηράς-πλοίου,
- Μετασχηματιστές/αντιδραστήρες,
- Ημιαγωγικούς/περιστρεφόμενους μετατροπείς,
- Συστήματα διανομής του πλοίου, και
- Συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης, αλληλομανδάλωσης και διαχείρισης ισχύος.

Τέλος, δεν ισχύει για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος κατά τις περιόδους σύνδεσης, όπως το dry docking και για άλλες εργασίες συντήρησης και επισκευής εκτός λειτουργίας. Τα συστήματα σύνδεσης LVSC εφαρμόζονται σε πλοία που απαιτούν έως και 1 MVA, καθώς και

δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 250 A, με μέγιστο 125 A ανά καλώδιο και έως 300 V προς τη γείωση δεν καλύπτονται από αυτό το πρότυπο.

Με την ύπαρξη των παραπάνω προτύπων ο κύριος στόχος τους είναι η επίτευξη μιας συμβατότητας μεταξύ πλοίου και στεριάς, η εγκατάσταση κατάλληλων λειτουργιών και τη συμμόρφωση σε ένα κοινό τυποποιημένο πλαίσιο, έτσι ώστε να διευκολυνθεί διεθνώς η διασύνδεση πλοίων με τη στεριά.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται όλοι οι σχετικοί νόμοι για την παροχή ενέργειας από την ξηρά(με πράσινο είναι όσοι ισχύουν, με κίτρινο αυτοί που η τυποποίηση τους δεν είναι παρούσα, αλλά υπάρχει πιθανή άμεση εφαρμογή υπάρχοντος εργαλείου και με κόκκινο αυτοί που είναι υπό ανάπτυξη).

SSE Type	Interconnectivity		Interoperability	Data Communication	International/EU Regulatory
OPS (Onshore Power Supply)	High-Voltage Shore Connection (HVSC)	IEC 62613-1:2016 (General) IEC 62613-2:2016 (Connector geometry/ dimensions)	IEC/IEEE 80005-1 (HVSC)	IEC/IEEE 80005-2 (Data Communication)	IMO OPS Guidelines EU AFID
	Low-Voltage Shore Connection (LVSC)	IEC 60309-5	IEC/IEEE 80005-3 (under review/development)	IEC/IEEE 80005-2	IMO OPS Guidelines already refer
	LVSC – Inland Waterways (IW)	EN 15869-2:2019 (up 125A) EN 16840: 2017 (above 250A)		Possible application of IEC/IEEE 80005-2	CCNR CESNI – ES-TRIN2019
	Recreational Craft/ Marinas	IEC 60309-2	Not standardized	Not standardized	Not relevant international standard applicable to

**Πίνακας 4.1:** Κατηγορίες νομοθεσιών για το OPS [61].

### 4.3 Εξοπλισμός :

Ο εξοπλισμός που εγκαθίσταται στα πλοία και στα λιμάνια είναι κοινός και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για οποιαδήποτε εγκατάσταση. Η σωστή σύνδεση και η ορθή χρήση των εξαρτημάτων θα οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από το μέγεθος του έργου και τον τρόπο εγκατάστασης.

#### 4.3.1 Εξοπλισμός στα Λιμάνια:

##### 4.3.1.1 Μετασχηματιστής:

Ο μετασχηματιστής είναι μια ηλεκτρική συσκευή που ρυθμίζει την τάση και το ρεύμα σε ένα κύκλωμα μέσω μαγνητικής σύζευξης, χωρίς να επηρεάζει την ηλεκτρική ισχύ. Η λειτουργία του βασίζεται στην ανύψωση ή τη μείωση της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Σε πολλά λιμάνια, τα πλοία λειτουργούν με διαφορετικές τάσεις από εκείνες του δικτύου ηλεκτροδότησης (3,3 kV, 6,6 kV ή 11 kV ή και 440 V). Για τον λόγο αυτό, απαιτείται η μετατροπή της υψηλής τάσης σε χαμηλή ή το αντίστροφο, ώστε η διαθέσιμη ισχύς να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες των πλοίων. Επομένως, η χρήση μετασχηματιστών τάσης είναι απαραίτητη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το μέγεθος των μετασχηματιστών μπορεί να φτάνει τις διαστάσεις ενός εμπορευματοκιβωτίου (container) ή και μεγαλύτερο.

Το μέγεθος και η χωρητικότητά τους επιλέγονται με βάση τις απαιτήσεις του εκάστοτε λιμανιού. Τέλος, οι μετασχηματιστές ξηρού τύπου (Dry-Type) αποτελούν την προτιμώμενη

και πιο διαδεδομένη λύση για εφαρμογές Shore-Side Electricity (SSE) υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης [62].



Εικόνα 4.2: Μετασχηματιστής Dry-Type [63].

#### 4.3.1.2 Μετατροπέα συχνότητας (Frequency converter):

Πέρα από την τάση αρκετά πλοία λειτουργούν και με διαφορετική συχνότητα, οπότε με τον μετατροπέα συχνότητας μπορεί να παρέχεται η απαιτούμενη ισχύς από το δίκτυο ηλεκτροδότησης στο δίκτυο του πλοίου. Μάλιστα δεδομένου ότι το δίκτυο των πλοίων μπορεί να λειτουργεί στα 50 Hz ή στα 60 Hz είναι απαραίτητη η ύπαρξη του. Συνήθως προτιμάται η χρήση στατικού μετατροπέα συχνότητας, ο οποίος εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία σε περίπτωση διαταραχών στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.



Εικόνα 4.3: Μετατροπέας συχνότητας [64].

#### 4.3.1.3 Καλώδια και αγωγοί:

Τα καλώδια τροφοδοσίας εγκαθίστανται εντός ειδικών αγωγών, ενώ για τα συστήματα επικοινωνίας και χειρισμού χρησιμοποιούνται ξεχωριστοί αγωγοί, προκειμένου να αποφεύγονται παρεμβολές και ηλεκτρομαγνητικές συμβολές. Η αξιόπιστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά προς το πλοίο, σε προκαθορισμένα επίπεδα τάσης και ρεύματος, προϋποθέτει τη χρήση καλωδίων με κατάλληλες διατομές, ώστε να καλύπτονται τόσο οι ηλεκτρικές όσο και οι μηχανικές απαιτήσεις που απαιτούνται από τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας [62]. Για την επίτευξη αυτών των προδιαγραφών, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο ή περισσότερα σύρματα, συνήθως πλεγμένα το ένα γύρω από το άλλο.

Κάθε τύπος ηλεκτρικού καλωδίου αποτελείται από έναν αγωγό χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης (conductor), ο οποίος αναλαμβάνει τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς και από τη μόνωσή του (insulation), η οποία αποτρέπει την άμεση επαφή με γειτονικά στοιχεία, εξασφαλίζοντας την ηλεκτρική ασφάλεια του συστήματος. Γενικά τα καλώδια είναι σχεδιασμένα για την παροχή ενέργειας 4MW. Τέλος, για την κατασκευή των αγωγών χρησιμοποιούνται: ο χαλκός (Cu) και το αλουμίνιο (Al).



**Εικόνα 4.4:** Καλώδιο τροφοδοσίας από τη στεριά [65].

#### *4.3.1.4 Κουλότητες υποδοχής (Switchgear):*

Με τον όρο switchgear περιγράφεται ένα σύνολο ηλεκτρικών διακοπών και ασφαλειών. Μέσω του διακοπτικού υλικού είναι δυνατός ο έλεγχος, η απομόνωση και η προστασία των κυκλωμάτων και του εξοπλισμού της εγκατάστασης, καθώς και η αντιμετώπιση βλαβών. Έτσι για την ασφαλή λειτουργία του κυκλώματος τροφοδοσίας γίνεται εγκατάσταση πολλαπλών switchgear σε κάποια στάδια του κυκλώματος.

Το σύστημα αυτό ενδείκνυται να συνδέεται πριν τον μετασχηματιστή αλλά και ανάμεσα στον μετασχηματιστή και στα καλώδια που συνδέονται με τον μετατροπέα. Ακόμη συνίσταται να γίνεται χρήση του συστήματος switchgear και στα καλώδια τροφοδοσίας τα οποία θα συνδεθούν στο πλοίο [62].

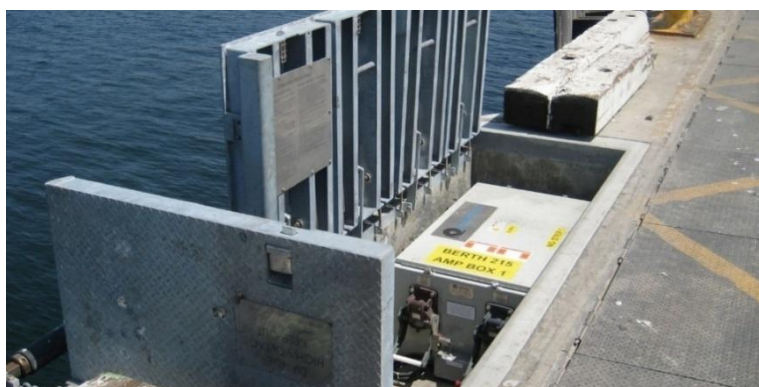


**Εικόνα 4.5:** Κουλότητες υποδοχής [66].



#### 4.3.1.5 Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας (Receptacle pits):

Οι εγκαταστάσεις υποδοχών καλωδίων ή τα φρεάτια υποδοχής βρίσκονται στην άκρη του λιμενοβραχίονα, συνήθως ανά 65m κατά μήκος της αποβάθρας και είναι συνδεδεμένα με τους διακόπτες του λιμανιού. Αφού τοποθετηθούν κατάλληλα τα καλώδια σε αυτές τις εγκαταστάσεις, αφαιρούνται κάποια κλειδιά, όπου στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος. Η διαδικασία σύνδεσης είναι ως εξής: Όταν το βύσμα του πλοίου συνδεθεί στην εγκατάσταση, ασφαρίζεται στη θέση του και το κλειδί αφαιρείται. Τα κλειδιά μεταφέρονται στο πλησιέστερο switchgear, όπου τοποθετούνται στον διακόπτη και περιστρέφονται, επιτρέποντας το κλείσιμό του. Ο διακόπτης κρατά τα κλειδιά κλειδωμένα και συγχρονίζει την ηλεκτρική ενέργεια του πλοίου με την παροχή ξηράς. Μόλις ολοκληρωθεί ο συγχρονισμός, το πλοίο αρχίζει να λαμβάνει ενέργεια και οι κινητήρες μπορούν να απενεργοποιηθούν [62].



Εικόνα 4.6: Υποδοχή καλωδίων τροφοδοσίας [67].

#### 4.3.1.6 Σύστημα Διαχείρισης Καλωδίων (Cable Management System):

Το Σύστημα Διαχείρισης Καλωδίων (CMS-Cable Management System) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και απαιτητικά στοιχεία στις εγκαταστάσεις. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ενιαίο σχέδιο CMS και ακόμα και για διαφορετικούς τύπους πλοίων, οι υπάρχουσες τυποποιημένες αναφορές ακολουθούν διαφορετικές διαμορφώσεις. Το CMS έχει θεμελιώδη ρόλο στην εξασφάλιση της φυσικής σύνδεσης μεταξύ της ξηράς και του πλοίου. Αυτός ο ρόλος είναι ιδιαίτερα σημαντικός, λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των καλωδίων τροφοδοσίας, το βάρος τους ανά μονάδα μήκους, καθώς και την ανάγκη για ασφαλή αλλά και αποδοτική λειτουργία στον χρόνο [62], [68].

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος που χρησιμοποιούν τα λιμάνια είναι μέσω γερανού. Με αυτήν τη μέθοδο, ο γερανός βρίσκεται στην άκρη του λιμανιού και μεταφέρει τα καλώδια από την εγκατάσταση υποδοχής στο πλοίο, ώστε να συνδεθούν στη συνέχεια.



**Εικόνα 4.7:** Γερανός μεταφοράς καλωδίων [69].

Ένας πιο ασυνήθιστος τρόπος σύνδεσης είναι η ανύψωση των καλωδίων μέσω γερανοφόρου οχήματος. Το γερανοφόρο όχημα συνδέεται με την εγκατάσταση υποδοχής και στη συνέχεια με το σύστημα του πλοίου για την παροχή ενέργειας. Εξαιτίας του υψηλού κόστους ενός τέτοιου οχήματος η μέθοδος δεν χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά λιμάνια.



**Εικόνα 4.8:** Γερανοφόρο όχημα [67].

### **4.3.2 Εξοπλισμός στα Πλοία:**

Ο εξοπλισμός των πλοίων είναι ανάλογος με αυτών των λιμανιών, δηλαδή υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ο μετασχηματιστής και το σύστημα καλωδίων μπορεί να βρίσκεται στο πλοίο, πράγμα που οδηγεί στην αποφυγή αυτών των εγκαταστάσεων στο λιμάνι, διευκολύνοντας έτσι την όλη διαδικασία από την πλευρά του λιμανιού.

#### **4.3.2.1 Σύστημα Διαχείρισης Καλωδίων (Cable Management System):**

Το σύστημα καλωδίων είναι προ εγκαταστημένο στο πλοίο. Πρόκειται για ένα υδραυλικό σύστημα που επιτρέπει στα καλώδια να επεκτείνονται και να συνδέονται με την εγκατάσταση



στη ξηρά. Αποτελείται από καλώδια, καρούλι και συνδέσμους και ορισμένες φορές μπορεί να απαιτείται η ύπαρξη ενός μετασχηματιστή, ενσωματώνοντας τον ως αναπόσπαστο μέρος του συστήματος παροχής ρεύματος [70]. Αυτό το σύστημα μπορεί να εγκατασταθεί τόσο σε υπάρχοντα όσο και σε νέα πλοία, και η εγκατάστασή του είναι απλή, χωρίς να επηρεάζει άλλα συστήματα του πλοίου. Σε περιπτώσεις όπου το πλοίο ακολουθεί σταθερή διαδρομή (Ro-Ro, Κοντέινερ) μεταξύ λιμανιών που υποστηρίζουν σύνδεση με την ξηρά, αυτή είναι η πιο αποδοτική και γρήγορη μέθοδος σύνδεσης [68], [69].



Εικόνα 4.9: Σύστημα διαχείρισης καλωδίων πάνω στο πλοίο [71].

#### 4.3.2.2 Σύστημα σύνδεσης των καλωδίων:

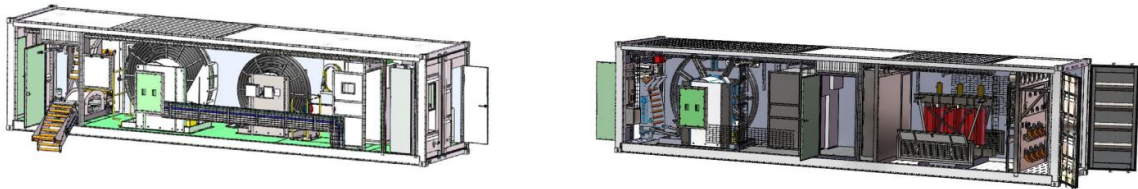
Στην περίπτωση που η ηλεκτρική διασύνδεση γίνεται μέσω CMS της ακτής, το πλοίο πρέπει να διαθέτει κατάλληλο σύστημα υποδοχής των καλωδίων που έρχονται από την ακτή, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σύνδεσή του με το δίκτυο του λιμανιού. Ένα ενσωματωμένο σύστημα παροχής ρεύματος από την ξηρά αποτελείται από πίνακες υποδοχών, πίνακα εναλλαγής τάσης, διακόπτες κυκλώματος και σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης. Μάλιστα ανάλογα με τη συχνότητα και την τάση της παροχής ρεύματος από την ξηρά και τα ηλεκτρικά συστήματα του πλοίου, μπορεί να απαιτείται ένας δεύτερος μετασχηματιστής για τη μείωση της τάσης από το σύστημα ισχύος της ξηράς και/ή ένα μετατροπέα συχνότητας (π.χ., 50 Hz έναντι 60 Hz) [70].



**Εικόνα 4.10:** Σύστημα σύνδεσης καλωδίων πάνω στο πλοίο [70].

#### 4.3.2.3 Σύστημα διανομής (Distribution system):

Το σύστημα αυτό αποτελεί ένα ήμι-σταθερό σύστημα διανομής ενέργειας, το οποίο στεγάζεται μέσα σε ένα εμπορευματοκιβώτιο μεγέθους 40 ποδιών(feet) και βρίσκεται τοποθετημένο στο πλοίο. Μάλιστα περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για μια σύνδεση υψηλής τάσης (HV) από την ξηρά: το δικό του CMS, έναν πίνακα υψηλής τάσης (HV), έναν πίνακα ελέγχου, έναν μετασχηματιστή HV/LV (όταν απαιτείται) και άλλα βοηθητικά συστήματα για την διευκόλυνση ορισμένων λειτουργιών [68].



**Εικόνα 4.11:** Εσωτερική δόμηση ενός συστήματος διανομής [72].



**Εικόνα 4.12:** Σύστημα διανομής πάνω σε πλοίο [72].

#### 4.4 Νέες εφαρμογές στα λιμάνια με cold ironing:

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός και η Ευρωπαϊκή Ένωση, προκειμένου να επιτύχουν την ελαχιστοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία, κατευθύνουν τη ναυτιλιακή βιομηχανία προς τον σχεδιασμό, την κατασκευή ή τη μετασκευή πράσινων πλοίων, καθώς και προς την ανάπτυξη πράσινων λιμανιών, τα οποία θα αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πλέον για την παραγωγή και τη χρήση της. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό τα λιμάνια θα πρέπει να αλλάξουν ή να βελτιώσουν την στρατηγική τους ώστε να γίνουν ενεργειακοί κόμβοι που θα κυριαρχούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναλυτικότερα, τα λιμάνια για να επιτύχουν τον στόχο αυτό θα πρέπει να εφαρμόσουν τις απαραίτητες μεθόδους για να βελτιώσουν την απόδοση τους όπως, η εγκατάσταση, λειτουργία και διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή, αιολική, κλπ.), συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και των έξυπνων δικτύων (Smart Grids). Παρακάτω θα αναλυθούν αυτές η εφαρμογές.

##### 4.4.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

Οι πράσινες τεχνολογίες που αξιοποιούνται ή μπορούν να αξιοποιηθούν στα λιμάνια για την παραγωγή ενέργειας είναι οι εξής:

- 1) **Ηλιακή ενέργεια:** Μέσω της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών και των ηλιοθερμικών συστημάτων σε στέγες, οικόπεδα ή σε ελεύθερους χώρους στον χώρο του λιμανιού επιτρέπεται η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, ακόμα και αν έχει συννεφιά, για την παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Χάριν στο χαμηλό κόστος της επένδυσης, την υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα τους και των χαμηλών εκπομπών άνθρακα αποτελούν μια συχνή επιλογή σε λιμάνια με μεγάλες τέτοιες εγκαταστάσεις, όπως στα λιμάνια του Hull στο Ηνωμένο Βασίλειο, του Λος Άντζελες στην Αμερική, της Στοκχόλμης στην Σουηδία, στην Βαλένθια καθώς και σε άλλα πολλά. Ωστόσο, σημαντικό κλειδί για την ανάπτυξη ενός τέτοιου έργου είναι η διαθεσιμότητα επιφανειών ή η ποσότητα ηλιοφάνειας την ημέρα, τα οποία μπορεί να αποτελέσουν έναν ιδιαίτερα περιοριστικό παράγοντα σε μικρότερα λιμάνια ή σε λιμάνια που δεν έχουν τόσο ηλιοφάνεια κατά την διάρκεια της ημέρας [20], [73].
- 2) **Αιολική ενέργεια:** Διακρίνεται σε δύο τύπους πάρκων: τα χερσαία αιολικά πάρκα και τα υπεράκτια ή πλωτά αιολικά πάρκα. Στα πρώτα η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σε ελεύθερους χώρους κοντά ή μέσα στο λιμάνι. Ενώ στα υπεράκτια ή πλωτά αιολικά πάρκα η παραγωγή αιολικής ενέργειας πραγματοποιείται σε θαλάσσιες τοποθεσίες μακριά από την ακτή. Και οι δύο τύποι εξαρτιούνται πολύ από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. άπνοια) και απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης είτε χερσαία είτε θαλάσσια, καθώς και υψηλές αρχικές επενδύσεις προκειμένου να αποτελέσουν αποτελεσματικά. Κάποια λιμάνια που έχουν αιολικά πάρκα στις εγκαταστάσεις τους φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία [20], [73].





εναλλακτικές λύσεις. Οι πιο υποσχόμενες επιλογές των βιοκαυσίμων είναι: η βιομεθανόλη, το ντίζελ τύπου Fischer-Tropsch (FT), το βιομεθάνιο από αναερόβια χώνευση αποβλήτων και καταλοίπων, καθώς και ο διμεθυλαιθέρας (DME-DiMethylEther). Επίσης, εστέρες μεθυλίου λιπαρών οξέων (FAME-Fatty Acid Methyl Esters) που έχουν ως πρώτες ύλες λίπη, έλαια ή γράσα (FOG-Fat, Oil, Grease) καθώς και το βιομεθάνιο από την αεριοποίηση θα μπορούσαν να αποτελέσουν κατάλληλες επιλογές. Οι FAME από φυτικά έλαια και τα υδρογονοκατεργασμένα φυτικά έλαια (HVO-Hydrotreated Vegetable Oils), είτε από FOG είτε από φυτικά έλαια, θεωρούνται ίσως λιγότερο υποσχόμενα. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά δεν είναι ουδέτερα ως προς το CO<sub>2</sub> σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, οπότε δεν αποφεύγονται εντελώς οι εκπομπές. Έρευνες έχουν δείξει ότι θα πρέπει να συνοδεύονται και από τις απαραίτητες εγκαταστάσεις όπως μια σταθερή εγκατάσταση τροφοδοτούμενη από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο, κατάλληλη για απαιτήσεις υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, μια σταθερή μονάδα με dual-fuel ντιζελοηλεκτρικές μηχανές, ικανή για να λειτουργεί με πετρέλαιο αλλά και φυσικό αέριο. Αυτή η επιλογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν υπάρχει διαθεσιμότητα φυσικού αερίου ως καύσιμο. Συνάμα θα πρέπει να παροχετεύεται ενέργεια η οποία βασίζεται σε σταθερά συστήματα καύσης LNG/μεθανόλης/υδρογόνου, μέσω κυψελών καυσίμου τύπου Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC) ή Solid Oxide Fuel Cells (SOFC), οι οποίες μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων με το σημαντικότερο πλεονέκτημα να είναι ότι δεν παράγονται ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως τα SO<sub>x</sub> ή τα NO<sub>x</sub> (ή τουλάχιστον παράγονται σε αμελητέες ποσότητες), μαζί με CO ή σωματίδια. Τέλος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και dual-fuel ντιζελοηλεκτρικές μηχανές που χρησιμοποιούν σύστημα πετρελαίου και φυσικού αερίου τοποθετημένο σε πλωτή πλατφόρμα [76], [77].

#### 4.4.2 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας:

Με τη χρήση συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς (OPS) και εναλλακτικών τεχνολογιών ή καυσίμων, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι κυψέλες καυσίμου ή το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), μια ακόμη αναπτυσσόμενη επιλογή είναι η ενσωμάτωση μπαταριών στο χώρο του λιμανιού. Αυτή η ραγδαία εξέλιξη των μπαταριών τα τελευταία χρόνια στη βιομηχανία των αυτοκινήτων έχει σημαντικά ευνοήσει σε κάποιο βαθμό την εφαρμογή τους στον ναυτιλιακό τομέα. Οι πιο διαδεδομένες μπαταρίες είναι αυτές του λιθίου-ιόντων, οι οποίες που χαρακτηρίζονται από υψηλή αποθηκευτική ικανότητα και παροχή ενέργειας[78]. Μάλιστα καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη τεχνολογιών, όπως οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου και λιθίου-ιόντων, προκειμένου να καταστούν οικονομικά αποδοτικές λύσεις για εφαρμογές υψηλής ισχύος. Η διάρκεια ζωής αυτών των μπαταριών αποτελεί ένα κρίσιμο πεδίο συνεχιζόμενης έρευνας [79].

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες των πλοίων κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού τους στα λιμάνια, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν την ευέλικτη διαχείριση της πράσινης ενέργειας και της ενεργειακής ασφάλειας. Ο συνδυασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) καθιστά εφικτή την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας τους, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί σε περιόδους που δεν είναι δυνατή η απευθείας παραγωγή ενέργειας από αυτές. Επιτρέποντας έτσι τον εξηλεκτρισμό του εξοπλισμού εντός του λιμανιού αλλά και την παροχή ενέργειας στα πλοία

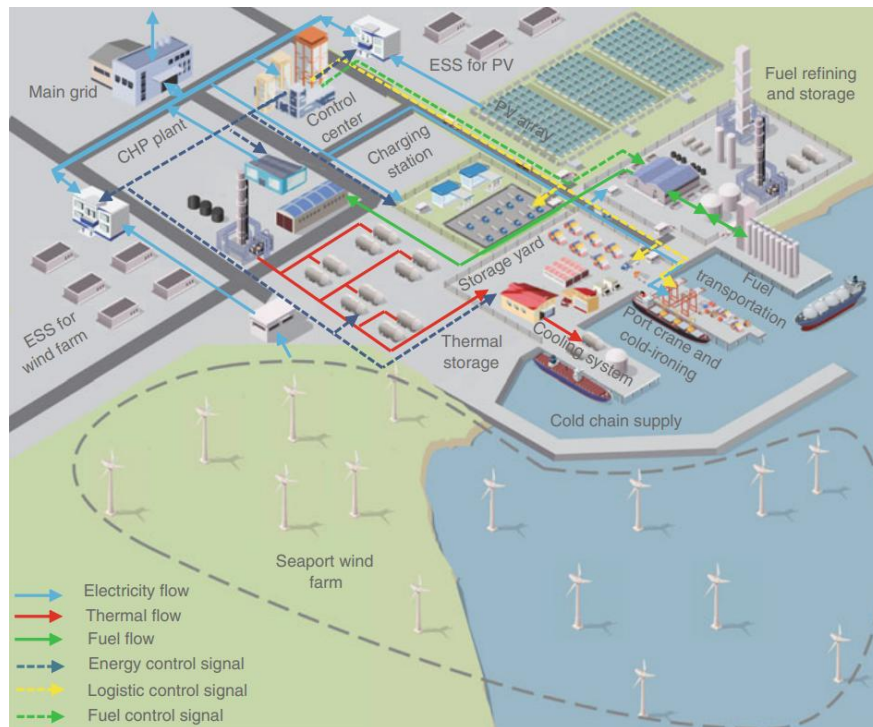
που διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Αυτός ο συνδυασμός εφαρμόζεται ήδη σε ορισμένα λιμάνια όπως αυτό του Ρότερνταμ, το λιμάνι του Σίδνεϋ, του Αμβούργου καθώς και πολλά άλλα [20].

Τέλος, πέρα από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθούν και για την αποθήκευση του υδρογόνου, το οποίο φυλάσσεται μέσα σε ειδικές δεξαμενές καθιστώντας το ικανό να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω κυψελών καυσίμου ή καύσης. Γενικά αποτελεί μια ιδιαίτερα αποδοτική εναλλακτική με μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης και σημαντικά χαμηλές ποσότητες εκπομπών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αποθήκευσης υδρογόνου (HS-Hydrogen Storage), όπως συστήματα βασισμένα σε συμπιεσμένο υδρογόνο (CH<sub>2</sub>-Compressed Hydrogen), υγρό υδρογόνο (LH<sub>2</sub>-Liquid Hydrogen) ή μεταλλικά υδρίδια (MH-Metal Hydrides). Ωστόσο, επειδή είναι στα αρχικά της στάδια σαν τεχνολογία υπάρχουν πολλά τεχνικά και οικονομικά εμπόδια για την εφαρμογή της [20], [80].

#### **4.4.3 Έξυπνα δίκτυα (Smart Grids):**

Το έξυπνο δίκτυο ενός λιμένα (smart seaport microgrids) είναι μια νέα προτεινόμενη τεχνική για τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας των λιμανιών. Ως κίνητρο του δικτύου αυτού είναι να λειτουργήσει ως ένα ενεργειακό μέσο, με σκοπό τη βελτίωση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ενίσχυση της αποθηκευτικής ικανότητας του δικτύου με την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά μέσω του κύριου δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτά τα έξυπνα δίκτυα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πλέον δεν περιορίζεται στις συμβατικές πηγές με βάση τα ορυκτά καύσιμα, ενώ παράλληλα προσφέρεται ιδιαίτερη ευελιξία ενσωμάτωσης πολλαπλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η βιομάζα, η ενέργεια των ωκεανών, το υδρογόνο και οι γεωθερμικές πηγές. Όλες αυτές οι μορφές ενέργειας μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στη βιώσιμη ανάπτυξη, εφόσον αξιοποιούνται αποδοτικά [81], [82].

Γενικά τα έξυπνα δίκτυα αποτελούνται από συσκευές που λειτουργούν σαν δίαυλους αμφίδρομης επικοινωνίας, έχοντας την ικανότητα να λαμβάνουν αποφάσεις, να αυτοσυντηρούνται, καθώς και να εκτελούν τις απαραίτητες τοπικές μετατροπές στο σύστημα. Έτσι κατά την πρόσδεση των πλοίων στο λιμάνι, παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια από τη στεριά (cold-ironing) σε αυτές τις προηγμένες υποδομές αμφίδρομης επικοινωνίας. Μάλιστα ο κεντρικός έλεγχος του λιμένα αναλαμβάνει τόσο τη διανομή ενέργειας όσο και τη ροή των λογιστικών και επιχειρησιακών σημάτων προς τα επιμέρους υποσυστήματα του λιμανιού, εξασφαλίζοντας τον ολοκληρωμένο και αποδοτικό συντονισμό τους. Ωστόσο σαν μέθοδος αυτή η μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης από βαριά φορτία στο λιμάνι, τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα, οδηγεί σε ιδιαίτερα περίπλοκο έλεγχο για τα έξυπνα μικροδίκτυα λιμένων. Επίσης απαιτούν υψηλά επίπεδα τεχνογνωσίας, δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος παραγωγής και του δικτύου διανομής, συστήματα υπολογιστών και μεγάλες οικονομικές επενδύσεις [6], [81]. Παρά τις παραπάνω δυσκολίες, αρκετά λιμάνια έχουν εγκαταστήσει τέτοιου είδους εγκαταστάσεις όπως τα λιμάνια της Νέας Υόρκης, της Σιγκαπούρης, του Αμβούργου, της Σαγκάης καθώς και πολλά άλλα [73].



**Εικόνα 4.14:** Συνδυασμός πολλών από τις παραπάνω εφαρμογές σε ένα λιμάνι [79].

#### 4.5 Πλεονεκτήματα & Δυσκολίες:

Αυτή η ενότητα αποτελεί το κύριο σημείο της διπλωματικής εργασίας, στο οποίο αναλύονται τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή της μεθόδου Cold Ironing στα λιμάνια. Εξετάζοντας το ερώτημα κατά πόσο η χρήση της μεθόδου στα σύγχρονα παγκόσμια λιμάνια μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική λύση;

##### 4.5.1 Πλεονεκτήματα:

Σε αρκετές επιστημονικές μελέτες παρατηρείται ότι τα οφέλη από την εφαρμογή της μεθόδου σε σύγχρονα λιμάνια υπερτερούν σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης της ή επιπλέον προβλήματα [83], [84], [85], [86]. Από την περιβαλλοντική πλευρά η θετική επίδραση που έχει στο περιβάλλον, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, αποτελεί τον κύριο λόγο για τη σύνδεση των πλοίων με συστήματα τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας από το λιμάνι. Καταφέρει και εξαλείφει ή μειώνει δραματικά τις τοπικές επιπτώσεις των επικίνδυνων ατμοσφαιρικών ρύπων (π.χ. SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, PM, CO, N<sub>2</sub>O) σε κατοικημένες περιοχές ή τουριστικούς προορισμούς, καθώς τις αέριες εκπομπές του θερμοκηπίου (π.χ. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HFCs).

Βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του αέρα στα λιμάνια και στις γύρω περιοχές, επιβραδύνοντας σημαντικά τη διαδικασία της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Συνάμα παρατηρείται και ιδιαίτερη μείωση της ηχορύπανσης από τον θόρυβο, καθώς τα πλοία θα σβήνουν τις μηχανές τους όσο είναι αγκυροβολημένα ,γεγονός που επηρεάζει θετικά τα γύρω οικοσυστήματα.

Όσον αφορά τα κοινωνικά οφέλη, η σύνδεση των πλοίων με συστήματα τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών στο λιμάνι, τόσο

για τους επιβάτες όσο και για το πλήρωμα, καθώς μειώνονται οι θόρυβοι που προκαλούνται από τα πλοία κατά τη διάρκεια της παραμονής τους. Αυτό ενισχύει την αποτελεσματικότητα του προσωπικού, μειώνει τις δαπάνες που σχετίζονται με την υγεία τους και βελτιώνει την εμπειρία των επιβατών. Επιπλέον, πολυάριθμες μελέτες σχετικά με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά (On Shore Power Supply) αναδεικνύουν τα οικονομικά και κοινωνικά της οφέλη, όπως η αύξηση των εσόδων μέσω της μείωσης των επιπτώσεων στην υγεία, καθώς και η οικονομική βιωσιμότητα των λιμενικών επενδύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά ποσοστά υιοθέτησης της τεχνολογίας από τα πλοία μιας και η επιλογή της σύνδεσης με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας του λιμανιού μπορεί να αποτελέσει μια εξαιρετικά ελκυστική λύση για τους πλοιοκτήτες, τόσο από εμπορική άποψη όσο και για την επίτευξη περιβαλλοντικών βελτιώσεων [87], [88].

Επίσης, υποβοηθάει τα λιμάνια της Ε.Ε αλλά και παγκόσμιος να επιτύχουν τους στόχους μείωσης εκπομπών που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ή από άλλους παγκόσμιους φορείς. Αποτελώντας έτσι βασικό στοιχείο για την μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και μια βιώσιμη ναυτιλία μιας και τα ελλιμενισμένα πλοία δημιουργούν επιπλέον έσοδα για τους λιμενικούς φορείς, συμβάλλοντας και στη συμμόρφωση με αυστηρότερα περιβαλλοντικά πρότυπα που του οριοθετούνται.

Τέλος, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά αποτελεί, σε πολλές περιπτώσεις, μια πιο αξιόπιστη και ασφαλή πηγή ενέργειας σε σύγκριση με μια αφύλακτη μηχανή ντίζελ που βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, μειώνοντας σημαντικά τον κίνδυνο από πιθανά ατυχήματα που προκαλούνται από τις μηχανές των πλοίων και τα βοηθητικά τους συστήματα, όπως διαρροές πετρελαίου και τυχόν πυρκαγιές κατά τον ελλιμενισμό του πλοίου.

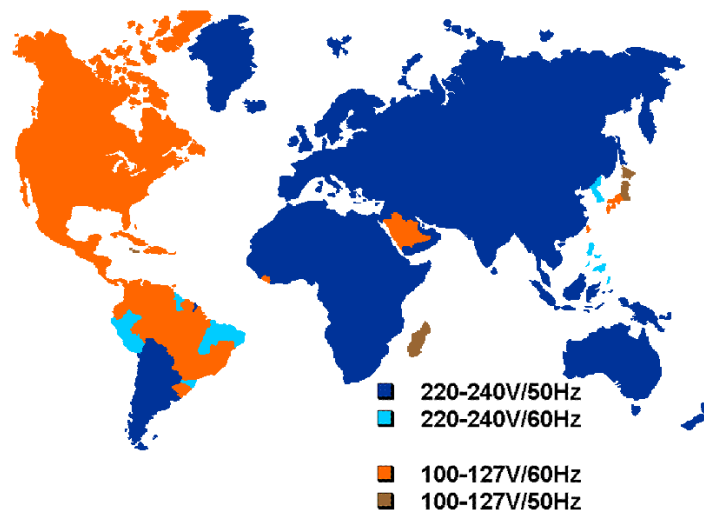
#### **4.5.2 Δυσκολίες:**

Αν και τα παραπάνω πλεονεκτήματα αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικοί λόγοι για την υιοθέτηση της μεθόδου στην ναυτιλία, υπάρχουν αρκετά εμπόδια κατά τη χρήση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά (cold ironing) στα σύγχρονα λιμάνια.

Αρχικά, η όλη επένδυση στις απαραίτητες υποδομές και εξοπλισμό, όπως η εγκατάσταση πηγών ενέργειας, μετασχηματιστών και καλωδίων, μπορεί να είναι μια πολύπλοκη, χρονοβόρα και ακριβή διαδικασία, η οποία απαιτεί τη συμμετοχή πολλών ενδιαφερόμενων μερών, συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών αρχών, των πλοιοκτητών, των ενεργειακών εταιρειών και μετόχων. Περιπλέκοντας έτσι την συνεννόηση μεταξύ αυτών των φορέων για την διεκπεραίωση του όλου έργου [86], [87].

Εξίσου σημαντικό είναι ότι επειδή είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία, δεν υπάρχουν τυποποιημένες κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή της, γεγονός που δυσκολεύει τα λιμάνια και τα πλοία στον καθορισμό του απαιτούμενου εξοπλισμού και των υποδομών, καθώς και στη διασφάλιση ότι το σύστημα λειτουργεί με ασφάλεια και αποδοτικότητα. Για παράδειγμα ένα τέτοιο πρόβλημα είναι πως δεν έχουν όλες οι χώρες την ίδια τάση ή συχνότητα για την λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, πράγμα που περιπλέκει την εφαρμογή της μεθόδου περαιτέρω λόγω αυτών των διαφορών τάσης-συχνότητας του ρεύματος ανά τον κόσμο [89].





**Εικόνα 4.15:** Τάση και Συχνότητα ανά τον κόσμο [90].

Επιπλέον, ορισμένα λιμάνια μπορεί να μην διαθέτουν την απαραίτητη υποδομή στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή και τον απαραίτητο χώρο για να υποστηρίξουν τις μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις και εγκαταστάσεις της μεθόδου, πράγμα που μπορεί να δυσκολέψει την εφαρμογή, καθώς και να την καταστήσει αδύνατη ανάλογα το λιμάνι και την χώρα στην οποία βρίσκεται [81], [89]. Συνάμα επειδή η τροφοδοσία ενέργειας από την ξηρά μπορεί να παρέχεται κατά την διάρκεια που τα σκάφη είναι αγκυροβολημένα και όχι κατά τους ελιγμούς ή όταν ταξιδεύουν, τα λιμενικά περιβάλλοντα δεν θα απαλλαχθούν εντελώς από αέριες εκπομπές [7]. Πέρα από τα παραπάνω δεδομένου ότι το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας, καθίσταται ιδιαίτερα ευάλωτο σε διακοπές ρεύματος, αυξομειώσεις τάσης και άλλα προβλήματα, τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν την ασφάλεια των πλοίων, των λιμανιών, του ίδιου του φορτίου αλλά και του πληρώματος. Αυτό συνιστά σοβαρή ανησυχία για τα λιμάνια και τα πλοία, καθώς ενδέχεται να προκληθούν σοβαρές ζημιές στους εξοπλισμούς τους και τα εμπορεύματα τους, προκαλώντας περαιτέρω διστακτικότητα από την πλευρά τους. Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντικό αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχει η πιθανότητα η ενέργεια του συστήματος να προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, εφόσον οι ανανεώσιμες πηγές δεν επαρκούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αυτό αποτελεί σημαντική πρόκληση για λιμάνια και πλοία που επιθυμούν να εφαρμόσουν το σύστημα, καθώς επιθυμούν να τηρήσουν παράλληλα και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και στόχους βιωσιμότητα [81], [87].

Τέλος, ορισμένα λιμάνια και πλοιοκτήτες μπορεί να μην είναι ακόμη πλήρως εξοικειωμένοι με την τεχνολογία και τα οφέλη του cold ironing, με αποτέλεσμα να μην έχουν το καν το κίνητρο για να επενδύσουν σε αυτό. Μιας και η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε φάση ανάπτυξης, σημειώνονται συνεχείς εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας, όπως η χρήση υδρογόνου και άλλων μορφών εναλλακτικής ενέργειας, που συμβάλλουν στη μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών. Ωστόσο, η ταχεία πρόοδος αυτών των τεχνολογιών καθιστά αναγκαία τη συνεχή ενημέρωση, εκπαίδευση και προσαρμογή των λιμανιών και των πλοίων, καθώς και την αναβάθμιση των συστημάτων τους, περιπλέκοντας περαιτέρω την κατάσταση και επιβραδύνοντας την υιοθέτησή τους, δημιουργώντας έτσι επιπρόσθετες προκλήσεις και κόστη για τους εμπλεκόμενους φορείς [89].

## 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Συμπεράσματα

Στις μέρες μας, η όλο και περισσότερο αυξανόμενη κυκλοφορία των πλοίων για τη μεταφορά ανθρώπων και φορτίων παγκοσμίως έχει οδηγήσει σημαντική αύξηση των ενεργειακών τους αναγκών, τόσο κατά την διάρκεια της πλεύσης τους όσο και κατά την παραμονή τους στα λιμάνια. Αν και αυτή η εξέλιξη έχει ενισχύσει σημαντικά τον ναυτιλιακό τομέα, συμβάλλοντας στην κατάκτηση νέων αγορών και την αύξηση των εσόδων, παράλληλα έχει προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως μέσω της αύξησης των εκπομπών ρύπων και της επιβάρυνσης της δημόσιας υγείας. Μετατρέποντας μεγάλα λιμάνια ανά τον κόσμο σε εστίες συγκέντρωσης αέριων ρύπων, πράγμα που αποτελεί ιδιαίτερο προβληματισμό για τους διεθνείς οργανισμούς και εκάστοτε κυβερνήσεις. Επομένως κρίνεται για την ναυτιλία ζωτικής σημασίας η υιοθέτηση αποτελεσματικών στρατηγικών, προκειμένου να περιορισθούν και να μειωθούν αυτές οι επικίνδυνες εκπομπές.

Η ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων από την ξηρά μέσω της μεθόδου Cold Ironing αναδεικνύεται σήμερα ως μια από τις πολλές αποτελεσματικές λύσεις για την καταπολέμηση των εκπομπών αλλά και των άλλων προβλημάτων που προέρχονται κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού των πλοία, τα οποία αφήνουν ανοικτούς τους βοηθητικούς κινητήρες τους καταναλώνοντας καύσιμο για τη λειτουργία τους. Έτσι για την καταπολέμηση αυτού το σημαντικού θέματος εφαρμόζονται και αναμένεται να εφαρμοστούν νέες εφαρμογές οι οποίες σε συνδυασμό με τη ηλεκτροδότηση από την ξηρά θα αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης ή ένα ποσοστό αυτής στον τομέα της ναυτιλίας.

Βάση πολλών μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί για να ελέγξουν την δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου σε λιμάνια ανά τον κόσμο, δείχνουν στο γεγονός πως το κόστος των εγκαταστάσεων στα λιμάνια και του εξοπλισμού στα πλοία αποσβένεται ταχύτατα χωρίς να αποτελεί ιδιαίτερο εμπόδιο. Τονίζοντας την σπουδαιότητα του περιορισμού των εκπομπών αλλά και την ρύπανση του περιβάλλοντος του λιμανιού. Παράλληλα σημειώνουν την αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της μεθόδου, καθώς και τις πιθανές νομοθετικές διευκολύνσεις που θα μπορούσαν να επιταχύνουν περαιτέρω την υλοποίησή της.

Τέλος, υπάρχουν διάφορες μελέτες που τονίζουν πως θα χρειαστεί διεθνής συνεργασία και συντονισμός, προκειμένου επιτευχθούν οι στόχοι της ναυτιλιακής βιομηχανίας και συνάμα να αναπτυχθούν τεχνολογίες και πρακτικές που θα μειώσουν δραματικά τις εκπομπές. Βέβαια η υιοθέτηση αυτών των βιώσιμων τεχνολογιών, όπως το Cold Ironing, θα αποτελέσει καθοριστικό βήμα προς την πράσινη ναυτιλία και θα συνεισφέρει ουσιαστικά στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των κοινωνιών που εξαρτώνται από αυτό.

## Βιβλιογραφία

- [1] “A Timeline of Ships, Boats, and Yachts | HMY Yachts.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.hmy.com/a-timeline-of-ships-boats-and-yachts>
- [2] “Ship - Navigation, Seafaring, Exploration | Britannica.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/ship/Early-oceanic-navigation>
- [3] “Ship - Wikipedia.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ship#History>
- [4] “Archaic Period-Economy.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.ime.gr/chronos/04/gr/economy/shipbuilding.html>
- [5] Ζαφειράτος Ανδρέας, “ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥΣ ΛΙΜΕΝΕΣ: Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΑΣ,” 2015.
- [6] ΜΙΧΑΗΛ Δ. ΧΑΤΖΗΠΑΠΑ, “Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία:Τροφοδότηση των ελλιμενισμένων πλοίων στον λιμένα Πειραιά με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές,” Oct. 2021.
- [7] Ευσταθιάδου Ιωάννα, “ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΕΠΙΒΑΤΗΓΩΝ-ΟΧΗΜΑΤΑΓΩΓΩΝ ΠΛΟΙΩΝ,” Jun. 2023.
- [8] “Carbon Dioxide vs Carbon Monoxide – What’s the difference? – CO2 Meter.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.co2meter.com/blogs/news/1209952-co-and-co2-what-s-the-difference#co2-facts>
- [9] European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, “EMTER 2025,” Feb. 2025, doi: 10.2800/3162144.
- [10] Γεώργιος Χ. Πούλος, “ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΛΙΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΙΑ-ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ,” ΑΘΗΝΑ, Oct. 2023.
- [11] Καραφουλίδης Πασχάλης, “Διπλωματική Εργασία:Ανάλυση της διαδικασίας ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων απο την ξηρά(cold ironing)και εφαρμογή σε λιμάνια της Κρήτης,” 2013.
- [12] Τιμολέων Σταφυλάς, “ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ, ΝΑΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΣΙΝΑ ΠΛΟΙΑ,” Dec. 2022.

- [13] Παπαγεωργίου Οδυσσέας-Φροϊλάν, “ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ COLD IRONING ΣΤΑ ΛΙΜΑΝΙΑ,” Apr. 2013.
- [14] “Lead - Wikipedia.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lead#>
- [15] “Πτητική οργανική ένωση - Βικιπαίδεια.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Volatile\\_organic\\_compound](https://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound)
- [16] “Black carbon - Wikipedia.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_carbon#](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_carbon#)
- [17] “Importance of Methane | US EPA.” Accessed: Apr. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/gmi/importance-methane>
- [18] H.-O. Pörtner *et al.*, “to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [,” pp. 2897–2930, doi: 10.1017/9781009325844.029.
- [19] European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, “Στοιχεία και αριθμοί: η περιβαλλοντική εκθεση για τις ευρωπαϊκές θαλασσιες μεταφορες (Εκθεση EMTER),” 2021.
- [20] Νικόλαος Σκαράκης *et al.*, “ΛΙΜΑΝΙΑ ΣΕ ΠΡΑΣΙΝΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ Πρακτικός οδηγός για λιμάνια μηδενικών αερίων εκπομπών,” Dec. 2023.
- [21] “Pollution Prevention.” Accessed: Apr. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Pollution-Prevention.aspx>
- [22] “Sustainability | United Nations.” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/academic-impact/sustainability>
- [23] “Learn About Sustainability | US EPA.” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability>
- [24] “2 History of Sustainability | Sustainability and the U.S. EPA | The National Academies Press.” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://nap.nationalacademies.org/read/13152/chapter/4>
- [25] *Sustainability Policies and Practices for Corporate Governance in Asia*. in Corporate Governance. OECD, 2023. doi: 10.1787/c937a2d9-en.
- [26] “THE 17 GOALS | Sustainable Development.” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals#icons>
- [27] S. U. Org, “TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT UNITED NATIONS UNITED NATIONS TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT”.

- [28] “Sustainable development.” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: [https://policy.trade.ec.europa.eu/development-and-sustainability/sustainable-development\\_en](https://policy.trade.ec.europa.eu/development-and-sustainability/sustainable-development_en)
- [29] “Τι είναι η Βιώσιμη ανάπτυξη; | Βιωσιμότητα της Microsoft.” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/el-gr/sustainability/learn/sustainable-development-meaning>
- [30] “3 Pillars Of Sustainability Explained (Guide & Examples).” Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://sustainability-success.com/three-pillars-of-sustainability/>
- [31] Περτέση Ηρώ, “Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία :Πράσινη Ναυτιλία : Ηλεκτροδότηση πλοίων από το δίκτυο της ξηράς και Εφαρμογές,,” Feb. 2022.
- [32] “Decarbonising maritime transport – FuelEU Maritime - European Commission.” Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: [https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en)
- [33] “Sustainable Shipping - Ship Recycling - EMSA - European Maritime Safety Agency.” Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: <https://emsa.europa.eu/sustainable-shipping/ship-recycling.html>
- [34] “Recycling of ships.” Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/ship-recycling.aspx>
- [35] “Improving the energy efficiency of ships.” Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx>
- [36] W. Hua, Y. Sha, X. Zhang, and H. Cao, “Research progress of carbon capture and storage (CCS) technology based on the shipping industry,” *Ocean Engineering*, vol. 281, p. 114929, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2023.114929.
- [37] “Brief History of IMO.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>
- [38] “Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών | Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.aueb.gr/el/opanews/o-diethnis-naytiliakos-organismos-ton-inomenon-ethnon>
- [39] “Convention on the International Maritime Organization.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Convention-on-the-International-Maritime-Organization.aspx?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/Convention-on-the-International-Maritime-Organization.aspx?utm_source=chatgpt.com)
- [40] “International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available:

- [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
- [41] “Structure of IMO.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/About/Pages/Structure.aspx>
  - [42] “Maritime Safety Committee (MSC).” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MSC-Default.aspx>
  - [43] “Marine Environment Protection Committee (MEPC).” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-default.aspx>
  - [44] “Legal Committee (LEG).” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/LEG-Default.aspx>
  - [45] “Technical Cooperation Committee (TC).” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/TC-Default.aspx>
  - [46] “Facilitation Committee (FAL).” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/FAL-default.aspx>
  - [47] “International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL).” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
  - [48] “MARPOL.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Pages/Marpol.aspx>
  - [49] “Fit for 55 - Consilium.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/#0>
  - [50] “Fit for 55 | Bureau Veritas.” Accessed: Apr. 19, 2025. [Online]. Available: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/sustainability/fit-for-55>
  - [51] “About the EU ETS - European Commission.” Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/about-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/about-eu-ets_en)
  - [52] “Reducing emissions from the shipping sector - European Commission.” Accessed: Apr. 24, 2025. [Online]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en)
  - [53] “FuelEU maritime initiative: Council adopts new law to decarbonise the maritime sector - Consilium.” Accessed: Apr. 21, 2025. [Online]. Available:

- <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector/>
- [54] “Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refuelling stations across Europe - Consilium.” Accessed: Apr. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/alternative-fuels-infrastructure-council-adopts-new-law-for-more-recharging-and-refuelling-stations-across-europe/>
  - [55] “AHEPA MARITIME Cold Ironing: Revolutionizing the Maritime Industry,” 2022.
  - [56] “Onshore Electrical Power: Cold ironing out charter and contractual implications | NorthStandard | Marine Insurance.” Accessed: Mar. 27, 2025. [Online]. Available: <https://north-standard.com/insights-and-resources/resources/news/onshore-electrical-power-cold-ironing-out-charter-and-contractual-implications>
  - [57] “L\_2006125EL.01003801.xml.” Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32006H0339>
  - [58] “INTERNATIONAL STANDARD Utility connections in port-Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems-General requirements,” 2023, Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: [www.iso.org](http://www.iso.org)
  - [59] “Utility connections in port-Part 2: High and low voltage shore connection systems-Data communication for monitoring and control Alimentation des navires à quai-Partie 2: Systèmes de connexion à quai à haute et basse tensions-Description de l’interface de communication de données dédiées au suivi et contrôle,” 2016, Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
  - [60] “INTERNATIONAL STANDARD Utility connections in port-Part 3: Low Voltage Shore Connection (LVSC) Systems-General requirements,” 2014, Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
  - [61] “QUICK-REFERENCE GUIDE FOR DEVELOPMENT OF SHORE-SIDE ELECTRICITY/ OPS IN MARITIME PORTS.”
  - [62] “Shore-Side Electricity Guidance to Port Authorities and Administrations Part 1- Equipment and Technology,” 2022.
  - [63] M. Goggioli, “ABB Dry-type Transformers Dry transformers: providing valuable solutions to many electrical systems’ challenges”.
  - [64] “FRECUNCY CONVERTERS – rutech.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.rutech.gr/frecuncy-convertrs/>
  - [65] “Ship cold ironing system - AMP - Cavotec MSL - for terminals.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.nauticexpo.com/prod/cavotec-msl/product-30849-236227.html>

- [66] “Advance ANSI Air-insulated Switchgear | ABB US.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://electrification.us.abb.com/products/switchgear/advance-ansi-air-insulated-switchgear>
- [67] “Shore power | Cruise Ships, Vessels & Ports | Cavotec SA.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/shore-power/shore-power-systems-for-ports>
- [68] “ShorePower Systems,” Dec. 2021.
- [69] “Cruise Industry Adopts Shore-Side Electricity to Reduce Emissions at Ports.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.watts-marine.com/post/cruise-industry-adopts-shore-side-electricity-to-reduce-emissions-at-ports>
- [70] “AAPA-Use-of-Shore-side-Power-for-Ocean-going-Vessels-2007,” 2007.
- [71] T. Hoven, “Standardization of Utility Connections in Ports: Cold ironing of ships in ports,” *IEEE Electrification Magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 18–24, Mar. 2023, doi: 10.1109/MELE.2022.3232953.
- [72] “Shore power | Cruise Ships, Vessels & Ports | Cavotec SA.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/shore-power/shore-power-systems-for-ships>
- [73] W. Huang, M. Yu, H. Li, and N. Tai, “Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping 18 Energy Management of Integrated Energy System in Large Ports.”
- [74] “Offshore Wind Ports Platform | WindEurope.” Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://windeurope.org/policy/topics/offshore-wind-ports/>
- [75] R. Cascajo, E. García, E. Quiles, A. Correcher, and F. Morant, “Integration of marine wave energy converters into seaports: A case study in the port of Valencia,” *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 5, Feb. 2019, doi: 10.3390/en12050787.
- [76] *European maritime transport environmental report 2025*. Publications Office of the European Union, 2025.
- [77] T. Coppola, L. Micoli, R. Russo, and G. Zagaria, “Methanol and Fuel Cell Technology for Ship Cold Ironing Applications,” in *2024 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 1054–1059. doi: 10.1109/SPEEDAM61530.2024.10609097.
- [78] A. B. Albo-López, C. Carrillo, and E. Díaz-Dorado, “Contribution of Onshore Power Supply (OPS) and Batteries in Reducing Emissions from Ro-Ro Ships in Ports,” *J Mar Sci Eng*, vol. 12, no. 10, Oct. 2024, doi: 10.3390/jmse12101833.



- [79] S. Fang and H. Wang, "Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping 11 Optimization-Based Energy Management for Multi-energy Maritime Grids," 2020. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/10523>
- [80] F. Conte, F. D'Agostino, and F. Silvestro, "Rethinking Ports as Multienergy Hubs: Managing cold ironing and hydrogen supply/bunkering," *IEEE Electrification Magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 43–51, Mar. 2023, doi: 10.1109/MELE.2022.3232981.
- [81] N. N. A. Bakar *et al.*, "A review of the conceptualization and operational management of seaport microgrids on the shore and seaside," Dec. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/en14237941.
- [82] S. Fang, Y. Wang, B. Gou, and Y. Xu, "Toward Future Green Maritime Transportation: An Overview of Seaport Microgrids and All-Electric Ships," Jan. 01, 2020, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/TVT.2019.2950538.
- [83] O. Yuksel, M. Bayraktar, and A. Seyhan, "Environmental and economic analysis of cold ironing using renewable hybrid systems," *Clean Technol Environ Policy*, 2024, doi: 10.1007/s10098-024-03065-w.
- [84] S. Barberi, T. Campisi, and L. Neduzha, "The role of cold ironing in maritime transport emissions," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Nov. 2022. doi: 10.1063/5.0119881.
- [85] N. N. Abu Bakar, T. Uyanik, Y. Arslanoglu, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Two-stage energy management framework of the cold ironing cooperative with renewable energy for ferry," *Energy Convers Manag*, vol. 311, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118518.
- [86] R. Winkel, U. Weddige, D. Johnsen, V. Hoen, and S. Papaefthimiou, "Shore Side Electricity in Europe: Potential and environmental benefits," *Energy Policy*, vol. 88, pp. 584–593, 2016, doi: 10.1016/j.enpol.2015.07.013.
- [87] K. P. Peddi, S. Ricci, and L. Rizzetto, "Reduction Potential of Gaseous Emissions in European Ports Using Cold Ironing," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 15, Aug. 2024, doi: 10.3390/app14156837.
- [88] Papoutsoglou G. Theodoros, "Thesis: A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for Worldwide Ports," 2012.
- [89] T. Hoven, "Standardization of Utility Connections in Ports: Cold ironing of ships in ports," *IEEE Electrification Magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 18–24, Mar. 2023, doi: 10.1109/MELE.2022.3232953.

- [90] "List of Voltages & Frequencies (Hz) Around the World." Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/list-voltages-frequencies-hz-around-world-donald-liu-mba-utpic>