

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Σχολή Μηχανικών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στη Ναυτιλία: Μείωση Εκπομπών CO₂ και Βιωσιμότητα

Συγγραφέας:

Τσαταλιός Ανδρέας, ΑΜ: 46147603

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ Σπυρόπουλος Γεώργιος

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

University of West Attica
School of engineering
Department of mechanical engineering



Renewable Energy Sources in Shipping: CO₂ Emissions Reduction and Sustainability

Author:

Tsattalios Andreas, AM: 46147603

Supervisor Professor:

Dr Spyropoulos Georgios

ATHENS

MARCH 2024

Επιτροπή Εξέτασης

A/A	Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
1	Δρ Κωνσταντίνος Μουστρής	
2	Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης	
3	Δρ Γεώργιος Σπυρόπουλος	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Τσατταλιός Ανδρέας του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 46147603 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών
Τσατταλιός Ανδρέας



Ευχαριστίες

Κλείνοντας τον κύκλο των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, θα ήθελα να εκφράσω τις ευγνωμοσύνες μου προς τους καθηγητές που με συντρόφευσαν κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας, μοιράζοντας μαζί μου τις πολύτιμες γνώσεις που θα με καθοδηγήσουν στην επαγγελματική μου πορεία στο μέλλον.

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ Σπυρόπουλο Γεώργιο, που μου εμπιστεύτηκε το συγκεκριμένο θέμα και με καθοδήγησε μεταξύ άλλων με την ανεκτίμητη εμπειρία του.

Επιπλέον, θα ήθελα θερμά να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τους γονείς μου και τους φίλους που συνέβαλαν σε αυτό το ταξίδι κατά τη διάρκεια όλων αυτών των ετών. Χωρίς την αμοιβαία στήριξή τους, δεν θα είχα καταφέρει να φτάσω ως εδώ. Συγκεκριμένα τους συμφοιτητές και φίλους μου Γιάννη, Άλεξ και Μιχάλη οπού χωρίς την υποστήριξη τους δεν θα τα είχα καταφέρει.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εξετάζει τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Αρχικά, η ναυτιλία έχει μία σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όντας υπεύθυνη για το 3% των συνολικών εκπομπών. Στο πλαίσιο αυτό, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπίσει κατά τα τελευταία έτη ορισμένους πιο αυστηρούς περιορισμούς όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων από τα πλοία. Σε κάθε περίπτωση, η ναυτιλία φαίνεται πως έχει μία σημαντική συμβολή αναφορικά με τις εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Επί του παρόντος, υπάρχουν διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία. Σε αυτές συγκαταλέγονται η ηλιακή ακτινοβολία, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, τα βιοκαύσιμα και το υδρογόνο. Η χρήση όλων αυτών των πηγών ενέργειας συνυπολογίζεται τόσο στο σχεδιασμό πλοίων που θα βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσο και στην τροποποίηση των μηχανών εσωτερικής καύσης σε υφιστάμενα πλοία.

Ο συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εντόπισε σε διαδικτυακούς τόπους μεγάλων Οργανισμών (π.χ. Ε.Ε., ΟΗΕ, ΙΜΟ κλπ.) στοιχεία και δεδομένα, που αφορούν στο υπό πραγμάτευση ζήτημα, που δεν είναι άλλο από την απομείωση των εκπομπών CO₂ στη ναυτιλία τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος όσο και για την βιωσιμότητα στο χώρο. Τα μελέτησε και τα επεξεργάστηκε προκειμένου να φτάσει στο σημείο να μπορεί με βάση αυτά να προτείνει τρία σενάρια πρόβλεψης για το μέλλον της ναυτιλίας και την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως το 2050. Φυσικά πριν αναλυθούν τα τρία αυτά σενάρια και πριν αποτυπωθούν νουμερικές εκτιμήσεις ως προς τις εκπομπές CO₂ το έτος 2050 θα πρέπει να επισημανθεί το γεγονός πως για το 2022 (σύμφωνα με εκτιμήσεις του International Energy Agency (IEA) οι εκπομπές CO₂ στο χώρο της ναυτιλίας ήταν 706 Mt. Εξ αυτού μπορεί κανείς να αντιληφθεί το πόσο θα αυξηθεί ή θα μειωθεί αντίστοιχα η εκπομπή CO₂ στο χώρο της ναυτιλίας μέσα από τα νούμερα που παρατίθενται για κάθε ένα από τα τρία προτεινόμενα δυνητικά προβλεπτικά σενάρια.

Επίσης αυτή η διπλωματική εξετάζει το Πράσινο Λιμάνι και τις πρωτοποριακές προσπάθειές του για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τις θαλάσσιες μεταφορές και δραστηριότητες του λιμένα. Αναλύει

μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για τον υπολογισμό αυτών των εκπομπών CO₂ και προτείνει αποτελεσματικές μεθόδους μείωσής τους. Επίσης, εξετάζει τη χρήση του συστήματος AIS για τον προσδιορισμό των εκπομπών CO₂ των πλοίων και την επίδρασή τους στην ποιότητα του αέρα, καθώς και τη μέθοδο "cold ironing" για τη μείωση των εκπομπών κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού των πλοίων. Τέλος, προβαίνει σε εκτιμήσεις των εκπομπών CO₂ από τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και τις δραστηριότητές τους στον τερματικό σταθμό, προσφέροντας πληροφορίες για την κατανομή των εκπομπών σε λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων και προτείνοντας πρακτικές πρωτοβουλίες για τη μείωσή τους.

Λέξεις κλειδιά: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, βιωσιμότητα, καινοτομία, κλιματική αλλαγή, ναυτιλία, πράσινο λιμάνι.

Abstract

This thesis examines the use of renewable energy sources in shipping. To begin with, shipping has a significant impact on greenhouse gas emissions, being responsible for 3% of total emissions. In this context, the International Maritime Organization and the European Union have in recent years introduced a number of more stringent restrictions on emissions from ships. In any case, shipping seems to make a significant contribution to CO₂ emissions into the atmosphere.

Currently, there are various renewable energy sources used in shipping. These include solar radiation, wind energy, hydroelectricity, biofuels and hydrogen. The use of all these energy sources is taken into account both in the design of ships that will be based on renewable energy sources and in the modification of internal combustion engines on existing ships.

The author of this paper has identified data and information on websites of major organizations (e.g. EU, UN, IMO, etc.), concerning the issue at stake, which is none other than the reduction of CO₂ emissions in shipping for both environmental protection and sustainability in the sector. It has studied and elaborated them in order to reach the point where it can propose three scenarios for the future of shipping and the use of renewable energy sources up to 2050. Of course, before analyzing these three scenarios and before presenting numerical estimates of CO₂ emissions in 2050, it should be noted that for 2022 (according to estimates by the International Energy Agency (IEA)) CO₂ emissions in the shipping sector were 706 Mt. From this one can understand how much CO₂ emissions in the shipping sector will increase or decrease respectively through the figures given for each of the three proposed potential scenarios.

This thesis also examines the Green Port and its pioneering efforts to reduce greenhouse gas emissions caused by maritime transport and port activities. It analyzes studies that have been conducted to calculate these CO₂ emissions and suggests effective methods to reduce them. It also examines the use of the AIS system to determine ships' CO₂ emissions and their impact on air quality, and the 'cold ironing' method to reduce emissions during ship berthing. Finally, it estimates CO₂ emissions from container ships and their activities at the terminal, providing information on the distribution of emissions in container ports and proposing practical initiatives to reduce them.

Keywords: renewable energy, sustainability, innovation, climate change, sustainability, innovation, climate change, shipping, green port.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract.....	8
Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 1ο: Η Ναυτιλία και η Κλιματική Αλλαγή.....	14
1.1 Επίδραση της ναυτιλίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου	14
1.1.1 Εκπομπές GHG από πλοία.....	15
1.1.2 Υφιστάμενοι κανονισμοί που μειώνουν τα GHG από πλοία	20
1.1.3 Κατανάλωση καυσίμου	21
1.1.4 Άλλοι κλιματικοί ρύποι	26
1.1.5 Αέριοι ρύποι	29
1.2 Προκλήσεις για τη μείωση των εκπομπών CO ₂ στη ναυτιλία.....	30
1.3 Παγκόσμιοι και ευρωπαϊκοί κανονισμοί για τις εκπομπές ρύπων της ναυτιλίας	37
Κεφάλαιο 2ο: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην ναυτιλία	41
2.1 Ηλιακή ενέργεια	41
2.2 Αιολική ενέργεια	43
2.3 Βιοκαύσιμα.....	46
2.4 Υδρογόνο.....	49
Κεφάλαιο 3ο: Παραδείγματα πλοίων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .53	
3.1 Πλοία με ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	53
3.2 Πλοία που αξιοποιούν την αιολική ενέργεια	57
3.3 Πλοία με κινητήρες που λειτουργούν με βιοκαύσιμα.....	59
3.4 Πλοία με υδρογόνο.....	60
Κεφάλαιο 4^ο : Πράσινα Λιμάνια	61
4.1 Ο ορισμός ενός Πράσινου Λιμανιού.....	61
4.2 Εναλλακτικές πηγές ενέργειας στα λιμάνια	63
4.3 Περιβαλλοντικές πολιτικές στα πράσινα λιμάνια	64
4.4 Εφαρμογή Τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΤΑΠΕ) σε πράσινα λιμάνια.....	67
4.4.1 Υπεράκτια αιολική ενέργεια.....	68

4.4.2 Πλωτή ηλιακή εγκατάσταση	71
4.4.3 Ωκεάνια ενέργεια.....	73
4.4.4 Παλιρροιακή ενέργεια	73
4.4.5 Κυψέλη καυσίμου.....	74
Κεφάλαιο 5^ο: Προκλήσεις για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία.....	75
5.1 Υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα πλοία.....	75
5.2 Περιορισμένη απόδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διάφορες συνθήκες.....	77
5.3 Ανάγκη εξειδικευμένου εξοπλισμού και εκπαίδευσης του προσωπικού για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	79
5.4 Περιορισμένη αυτονομία, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να μην είναι αρκετά αποδοτικές σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας	82
Κεφάλαιο 6^ο:Υπολογισμός ρίπων στον Σταθμό εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά (ΣΕΠ).....	84
6.1 Περιοχή μελέτης.....	84
6.2 Δεδομένα AIS και πληροφορίες πλοίου.....	86
6.3 Εκτίμηση των εκπομπών των πλοίων	88
6.3.1 Συντελεστές φορτιού και εκπομπών	91
6.3.2 Δεδομένα δραστηριότητας πλοίου	92
6.4 Αριθμητικό Παράδειγμα	93
6.4.1 Εξιιώσεις.....	93
6.4.2 Δεδομένα MarineTraffic.....	94
6.4.3 Υπολογισμός ισχύς των μηχανών.....	94
6.4.5 Υπολογισμός ρίπων της κυρίας μηχανής για κάθε δραστηριότητα του πλοίου	94
6.4.6 Υπολογισμός ρίπων της βοηθητικής μηχανής για κάθε δραστηριότητα του πλοίου	95
6.4.7 Υπολογισμός συνολικών ρίπων για κάθε δραστηριότητα του πλοίου	95
6.4.8 Υπολογισμός των συνολικών ρίπων του πλοίου	95

6.5 Αποτελέσματα και συζήτηση	96
6.6 Συμπεράσματα.....	102
Κεφάλαιο 7^ο: Μείωση εκπομπών στο ΣΕΠ με την χρήση της μεθόδου "cold ironing"	103
7.1 Ο ορισμός του "cold ironing"	103
7.2 Μεθοδολογία.....	106
7.3 Αριθμητικό παράδειγμα	106
7.4 Πρώτο Σενάριο.....	107
7.5 Δεύτερο Σενάριο	108
7.6 Τρίτο Σενάριο.....	108
7.7 Αποτελέσματα και συζήτηση	110
7.8 Συμπεράσματα.....	113
Κεφάλαιο 8^ο: Προβλέψεις για το 2050	114
8.1 Σενάριο ολικής χρήσης πλοίων που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ..	114
8.2 Σενάριο μερικής χρήσης πλοίων που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές	118
8.3 Σενάριο χαμηλής χρήσης πλοίων που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	121
Κεφάλαιο 9^ο: Συμπεράσματα	125
9.1 Σύνοψη των κυριότερων ευρημάτων της διπλωματικής εργασίας	125
9.2 Παρουσίαση των οφελών που προσφέρει η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία	129
9.3 Προτάσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία.....	130
9.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία	131
Βιβλιογραφία	132

Εισαγωγή

Η ναυτιλία αποτελεί ένα από τους πιο νευραλγικούς κλάδους της παγκόσμιας οικονομίας, συντελώντας σημαντικά στην εξέλιξη της ανθρώπινης κοινωνίας και την ανάπτυξη του πολιτισμού. Από τους αρχαίους χρόνους μέχρι σήμερα, η ναυτιλία έχει επηρεάσει τις πολιτικές, οικονομικές και κοινωνικές πτυχές της ανθρώπινης ζωής, συμβάλλοντας στην εξερεύνηση νέων περιοχών, στην εμπορική ανάπτυξη και στη διαπολιτισμική ανταλλαγή (Fayle, 2013).

Οι απαρχές της ναυτιλίας έχουν ριζώσει στους αρχαίους χρόνους, όπου οι πρώτες ανθρώπινες κοινωνίες ανακάλυπταν το πλεονέκτημα της χρήσης σκαφών για τη μεταφορά προσώπων και αγαθών. Οι ποταμοί και οι θάλασσες αποτέλεσαν φυσικούς οδηγούς και εναλλακτικές διαδρομές επικοινωνίας, προωθώντας τον πολιτισμό και το εμπόριο μεταξύ διαφορετικών πολιτισμικών ομάδων. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, οι Φοίνικες και οι Μινωίτες ήταν ανάμεσα στους πρώτους που ανέπτυξαν θαλάσσια εμπορικά δίκτυα. Ο Αρχαίος Ελληνιστικός κόσμος οδήγησε στη συνέχεια τη ναυτιλία σε νέα επίπεδα με τις περίφημες τριήρεις, τα ισχυρά πολεμικά πλοία με τρεις σειρές κωπηλάτες, που χρησιμοποιούνταν για τις θαλάσσιες μάχες. Το εμπόριο και οι πολιτιστικές ανταλλαγές ενίσχυσαν την επιρροή της Ελλάδας στην αρχαία γεωπολιτική σκηνή (Fayle, 2013).

Κατά τον Μεσαίωνα, η ναυτιλία άρχισε να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στις ευρωπαϊκές εξερευνήσεις. Οι Πορτογάλοι και οι Ισπανοί ηγήθηκαν των μεγάλων γεωγραφικών ανακαλύψεων, επιτρέποντας την ανακάλυψη νέων ηπείρων και πολιτισμών. Εξερευνητές του 15^{ου} και 16^{ου} αιώνα, όπως οι Φερνάνο Μαγγελάνος και Χριστόφορος Κολόμβος, άνοιξαν νέους δρόμους εμπορίου χάρη στην έως τότε εξέλιξη της ναυτιλίας. Μετέπειτα, η Βιομηχανική Επανάσταση οδήγησε χάρη στις τεχνολογικές καινοτομίες σε πιο ανθεκτικά, ασφαλή και γρήγορα πλοία (Fayle, 2013).

Στις μέρες μας, η ναυτιλία παραμένει ζωτική για την παγκόσμια οικονομία. Τα εμπορικά πλοία μεταφέρουν δισεκατομμύρια τόνους αγαθών σε διεθνές επίπεδο, επιτρέποντας τον εφοδιασμό με προϊόντα από όλο τον κόσμο. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν αυξήσει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των ναυτιλιακών επιχειρήσεων, ενώ η ραγδαία ανάπτυξη του τουρισμού προάγει τον τομέα των κρουαζιέρων. Ωστόσο, η ναυτιλία αντιμετωπίζει ακόμα και σήμερα προκλήσεις, όπως

η περιβαλλοντική αειφορία (Anderson et al., 2016). Στο πλαίσιο αυτό, σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εξέταση και η ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τον τομέα της ναυτιλίας, καθώς και η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κλάδο. Επιμέρους στόχοι της μελέτης είναι:

1. Η ενημέρωση σχετικά με τις διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την εφαρμογή τους στη ναυτιλία
2. Η ανάλυση των προκλήσεων και των εμποδίων που σχετίζονται με την εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία
3. Η παρουσίαση πρακτικών παραδειγμάτων και περιπτώσεων επιτυχίας όπου ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εφαρμοστεί στη ναυτιλία
4. Στον υπολογισμό των εκπομπών στον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά (ΣΕΠ), με στόχο τη δημιουργία ενός καταλόγου των εκπομπών (emission inventory), προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μελλοντικές έρευνες με στόχο τη μείωση των εκπομπών, απαιτείται λεπτομερής και συστηματικός υπολογισμός και καταγραφή των εκπομπών αερίων και άλλων ρυπογόνων ουσιών.
5. Στην δημιουργία σεναρίων βάσει της μεθόδου "cold ironing" στο λιμάνι του Πειραιά, με στόχο τη μείωση των εκπομπών ρύπων, εξετάζεται η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί λεπτομερή ανάλυση και σχεδιασμό διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων, που περιλαμβάνουν τη χρήση ηλιακής, αιολικής, ή άλλων μορφών ανανεώσιμης ενέργειας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία κατά τη διάρκεια της διαμονής τους στο λιμάνι. Η αξιολόγηση αυτών των εναλλακτικών λύσεων αποτελεί κρίσιμο βήμα για την επίτευξη μείωσης των εκπομπών από τα πλοία και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής αειφορίας του λιμανιού.

Κεφάλαιο 1ο: Η Ναυτιλία και η Κλιματική Αλλαγή

1.1 Επίδραση της ναυτιλίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος ορίζει δύο ευρείες κατηγορίες κλιματικών επιδεινώσεων: "μακράς διάρκειας αέρια του θερμοκηπίου, όπως το CO₂ και το διοξείδιο του αζώτου (N₂O), οπού η επίδραση τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εξαρτάται κυρίως από το σύνολο που εκπέμφθηκε τον τελευταίο αιώνα και κλιματικοί επίδρασης μικρής διάρκειας (SLCFs), όπως το μεθάνιο και τον μαύρο άνθρακα, των οποίων ο αντίκτυπος στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εξαρτάται κυρίως από τους τρέχοντες και τους πρόσφατους ετήσιους ρυθμούς εκπομπών (Allen et al., 2018). Οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι τύποι κλιματικών παραγόντων κατά τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών προκύπτουν από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά αυτών. "Οι εκπομπές μακροβιότητας αερίων του θερμοκηπίου όπως το CO₂ και το N₂O έχουν μια πολύ μείζονα επίδραση στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας, διαρκώντας πάνω από έναν αιώνα (στην περίπτωση του N₂O) και έως εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια (για το CO₂). Η κατακράτηση ακτινοβολίας των κλιματικών ρίπων μικρής διάρκειας (SLCFs) όπως το μεθάνιο (CH₄) και τα αερολύματα, αντίθετα, διαρκεί το πολύ για περίπου δέκα χρόνια (στην περίπτωση του μεθανίου) μέχρι και λίγες μέρες." (Allen et al., 2018).

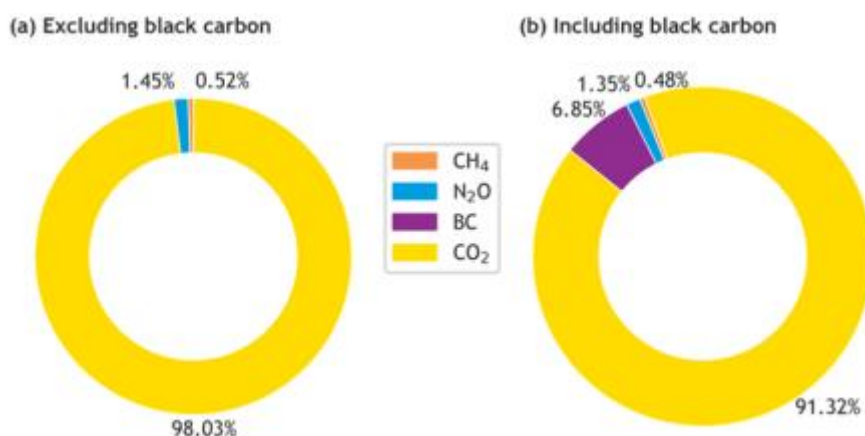
Ο μετριασμός των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αποτροπή των πιο σοβαρών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Τα έθνη έχουν δεσμευτεί να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ως μέρος της Συμφωνίας του Παρισιού, η οποία επιδιώκει να περιορίσει την υπερθέρμανση του πλανήτη σε επίπεδα σημαντικά κάτω από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, με περαιτέρω φιλοδοξία περιορισμού της αύξησης στους 1,5°C. Παρά τον αποκλεισμό της διεθνούς ναυτιλίας από τη Συμφωνία του Παρισιού, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) βρίσκεται στη διαδικασία διαμόρφωσης της δικής του στρατηγικής για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία (IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships, 2023). Για να δημιουργήσουν μια αποτελεσματική στρατηγική, τα κράτη μέλη του IMO πρέπει να κατανοήσουν τα πρόσφατα πρότυπα στις δραστηριότητες και τις εκπομπές των πλοίων.

Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη για ενημερωμένες πληροφορίες για διάφορες πτυχές, συμπεριλαμβανομένων των κατηγοριών πλοίων που είναι οι κύριες πηγές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου και ποια κράτη σημαίας ασκούν δικαιοδοσία επ' αυτών. Επιπλέον, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα επωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από τις ενημερωμένες γνώσεις σχετικά με τους παράγοντες που οδηγούν τις εκπομπές ρύπων, όπως η ζήτηση μεταφοράς, η χωρητικότητα του πλοίου και οι ταχύτητες κρουαζιέρας. Ο IMO μπορεί να υιοθετήσει μια πιο στοχευμένη και οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).

1.1.1 Εκπομπές GHG από πλοία

Τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από τα πλοία κυρίως περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) λόγω της καύσης ορυκτών πόρων στα μηχανοστάσια τους (όπως κινητήρες, βοηθητικοί κινητήρες, λέβητες κλπ.). Τα ψυκτικά αέρια, όπως οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), υπερφθοροχημικά (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6), χρησιμοποιούνται για τον κλιματισμό του πλοίου, ενώ άλλες εκπομπές περιλαμβάνουν τα θειικά οξείδια (SO_x), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), και τα σωματίδια, συμπεριλαμβανομένου του μαύρου άνθρακα (BC). Τα SO_x και τα NO_x είναι προκαταρκτικοί παράγοντες των σωματιδίων, τα οποία επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία και προκαλούν την ρύπανση του νερού. Στην περιοχή της Αρκτικής, οι εκπομπές μαύρου άνθρακα από τη ναυτιλία είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες θέρμανσης.

Τον Νοέμβριο του 2020, το MEPC (Marine Environment Protection Committee) ενέκρινε την Τέταρτη Μελέτη GHG του IMO. Η μελέτη καλύπτει τις εκπομπές από τη ναυτιλία για την περίοδο 2012-2018. Συνολικά, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία – συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), του μεθανίου (CH_4) και του υποξειδίου του αζώτου (N_2O), εκφρασμένες σε ισοδύναμο του CO_2 (CO_2e) (σχήμα 1.1) και συμπεριλαμβανομένων όλων των θαλάσσιων μεταφορών (διεθνείς, εγχώριες και αλιευτικές) έχουν αυξηθεί από 977 εκατομμύρια τόνους το 2012 σε 1.076 εκατομμύρια τόνους το 2018, που αντιπροσωπεύει αύξηση 9,6% (Πηγή: Τέταρτη Μελέτη GHG του IMO). Το μερίδιο των εκπομπών από τη ναυτιλία στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές αυξήθηκε επίσης από 2,76% το 2012 σε 2,89% το 2018 (Πίνακας 1.1).



Σχήμα 1.1: Συμβολή των διαφορετικών εκπομπών GHG που εκφράζονται σε CO₂e στην διεθνή ναυτιλία το 2018. (Πηγή: Τέταρτη Μελέτη GHG του IMO)

Κατά την περίοδο που μελετήθηκε 2012-2018, οι εκπομπές CO₂ από τη διεθνή ναυτιλία αυξήθηκαν κατά 5,6%. Οι εκπομπές μαύρου άνθρακα, που έχουν κρίσιμο αντίκτυπο, ιδίως στα ύδατα της Αρκτικής, αυξήθηκαν κατά 11,6% για τη συνολική ναυτιλία (δηλαδή από 59 σε 62 τόνους). Τα δεδομένα που αναφέρονται στο Σύστημα Συλλογής Δεδομένων του IMO παρέχουν μια ένδειξη για την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ μετά το 2018, τουλάχιστον για τα πλοία των 5000 τόνων και άνω. Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στοιχεία, οι εκπομπές CO₂ αυτών των πλοίων ανήλθαν σε 662 Mt το 2019. Το 2020, οι εκπομπές αυτές μειώθηκαν κατά 4,4%.

Year	Global anthropogenic CO ₂ emissions	Total shipping CO ₂	Total shipping as a percentage of global	Voyage-based International shipping CO ₂	Voyage-based International shipping as a percentage of global	Vessel-based International shipping CO ₂	Vessel-based International shipping as a percentage of global
2012	34,793	962	2.76%	701	2.01%	848	2.44%
2013	34,959	957	2.74%	684	1.96%	837	2.39%
2014	35,225	964	2.74%	681	1.93%	846	2.37%
2015	35,239	991	2.81%	700	1.99%	859	2.44%
2016	35,380	1,026	2.90%	727	2.05%	894	2.53%
2017	35,810	1,064	2.97%	746	2.08%	929	2.59%
2018	36,573	1,056	2.89%	740	2.02%	919	2.51%

Πίνακας 1.1: Συνολικές εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία (million tones) (πηγή: IMO τέταρτη μελέτη για τα αέρια του θερμοκηπίου)

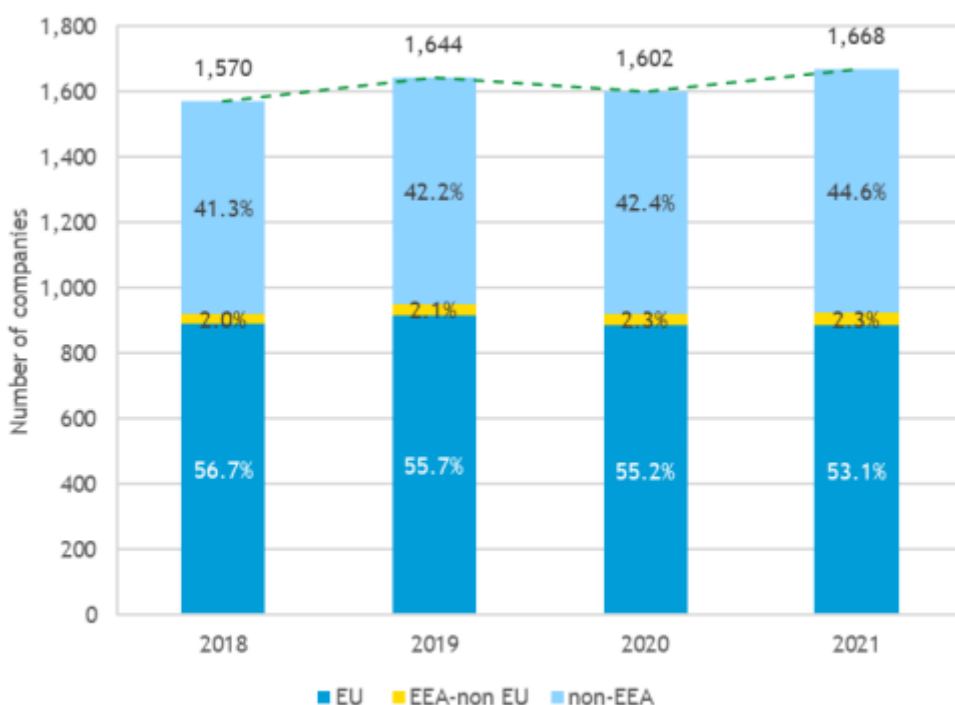
Συγκεκριμένα στην Ευρώπη

Τα πλοία ευθύνονται για περίπου το 3% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών CO₂ και αερίων θερμοκηπίου (CO₂-eq). Το 2021, 11.800 πλοία υπέβαλαν έκθεση εκπομπών, αντιπροσωπεύοντας 124,3 εκατομμύρια τόνους CO₂ (σχήμα 1.2). Αν και αυτό αντιπροσωπεύει μείωση 3,5% σε σύγκριση με τις εκπομπές του 2020, η σύγκριση με τα προηγούμενα έτη αναφοράς θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή δεδομένου ότι το 2021 είναι το πρώτο έτος που ευθύνεται για την αποχώρηση του Ηνωμένου Βασιλείου από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, Τα δεδομένα του 2021 χαρακτηρίστηκαν από τη μερική ανάκαμψη από τις οικονομικές επιπτώσεις του 2020 λόγω της κρίσης του COVID. Πιο αναλυτικά, η ανάλυση των δεδομένων του 2021 δείχνει ότι:

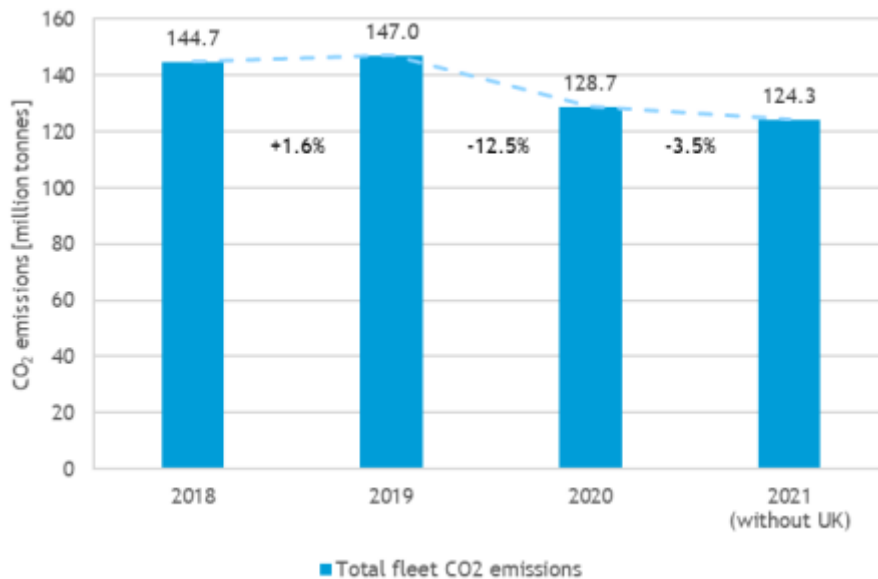
- Τα εμπορικά πλοία είχαν το υψηλότερο ποσοστό στις εκπομπές CO₂ του στόλου (2021: 33%) και ήταν υπεύθυνοι, μαζί με τις εκπομπές των πετρελαιοφόρων και των πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carrier) σχεδόν το 60% των εκπομπών του συνολικού στόλου του 2021.
- Αύξηση των εκπομπών των επιβατηγών πλοίων, των πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου (bulk carrier), των πλοίων go-go και φορτίο εμπορευματοκιβωτίων το 2021 σε σύγκριση με το 2020 παρά την απόσυρση του HB από την Ε.Ε. Ωστόσο, οι εκπομπές τους εξακολουθούσαν να είναι χαμηλότερες από τα προ-COVID επίπεδα.
- Χαμηλότερες εκπομπές CO₂ για ορισμένους τύπους πλοίων (π.χ. πετρελαιοφόρα, πλοία μεταφοράς LNG) σε σύγκριση με Το 2020, πιθανότατα αφού το Ηνωμένο Βασίλειο, ως χώρα εκτός ΕΟΧ, δεν εμπίπτει πλέον στο πεδίο εφαρμογής του τον κανονισμό.
- Δεν καταγράφηκαν σημαντικές αλλαγές στα σχετικά μερίδια των κύριων τύπων καυσίμων που καταναλώθηκαν το 2021 σε σύγκριση με το 2020. Ανάμεσα στα κύρια χρησιμοποιούμενα καύσιμα, το LNG είναι ο μόνος τύπος καυσίμου για τον οποίο αναφέρθηκαν επίπεδα κατανάλωσης κοντά στα προ-COVID.

Ο συνολικός αριθμός των πλοίων για τα οποία έχουν αναφερθεί εκπομπές παρέμεινε σχετικά σταθερή κατά τα τέσσερα έτη αναφοράς. Το 2021, ο συνολικός αριθμός πλοίων ήταν 1,2% υψηλότερος από αυτόν του 2020, παρά την αποχώρηση του Ηνωμένου Βασιλείου από την ΕΕ, ωστόσο 2,1% χαμηλότερο από ό,τι ήταν πριν COVID το 2019.

Το υψηλότερο έτος που έχει καταγραφεί ως προς την αναφορά πλοίων είναι το 2019, το χαμηλότερο το 2018. Όσον αφορά τις εκπομπές, το έτος 2019 εξακολουθεί να αναφέρει τις υψηλότερες συνολικές εκπομπές CO₂ που έχουν καταγραφεί (σχήμα 1.3). Το 2020, οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 12,5%, κυρίως λόγω των οικονομικών επιπτώσεων του COVID και το 2021, οι εκπομπές έφτασαν στο χαμηλότερο επίπεδο εκπομπών (124,3 εκατομμύρια τόνοι). η μείωση 3,5% που μπορεί να παρατηρηθεί μεταξύ 2020 και 2021 εξηγείται κυρίως από την αλλαγή πεδίου εφαρμογής λόγω της αποχώρησης του Ηνωμένου Βασιλείου από την ΕΕ. Ο αριθμός των εταιρειών που υπέβαλαν αναφορές εκπομπών έφτασε στο υψηλότερο σημείο το 2021 είναι 1,5% υψηλότερο από το 2019 και 6,2% υψηλότερο από το 2018.



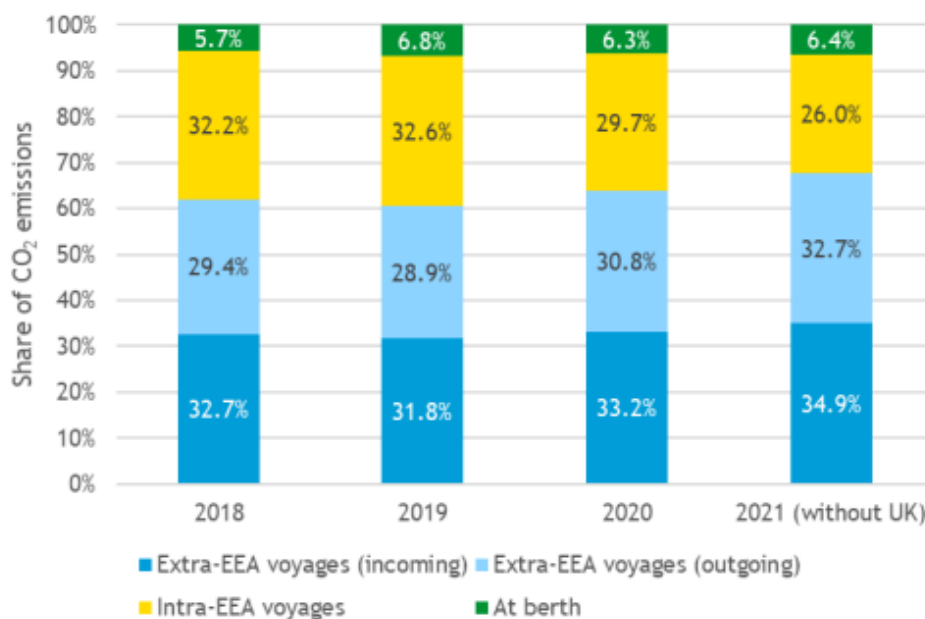
Σχήμα 1.2: Αριθμός εταιρειών που υπέβαλαν αναφορές εκπομπών από 2018 έως 2021 (πηγή: τέταρτη ετήσια έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις εκπομπές CO₂ από την Ναυτιλία)



Σχήμα 1.3: συνολικές εκπομπές CO₂ του στόλου. 2018-2021 (πηγή: τέταρτη ετήσια έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις εκπομπές CO₂ από την Ναυτιλία)

Η κατανομή των συνολικών εκπομπών CO₂ του στόλου στους διάφορους τύπους ταξιδιών και σε αγκυροβόλιο δείχνει ξεκάθαρα τον αντίκτυπο της αποχώρησης του Ηνωμένου Βασιλείου από την ΕΕ (**σχήμα 1.4**).

Το μερίδιο των εκπομπών από ταξίδια εντός του ΕΟΧ επί των συνολικών εκπομπών έχει φτάσει στο χαμηλότερο επίπεδο (26%, έναντι το 2019 που είχε φτάσει στην κορυφή στο 33%), ενώ τα ταξίδια εκτός ΕΟΧ, τόσο εισερχόμενα όσο και εξερχόμενα, τώρα συμβάλλουν στο υψηλότερο μερίδιο (35% και 33% αντίστοιχα).



Σχήμα 1.4: Μερίδιο εκπομπών του στόλου από το 2018 έως το 2021 ανά τύπο ταξιδιού και σε θέση ελλιμενισμού (πηγή: τέταρτη ετήσια έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις εκπομπές CO₂ από την Ναυτιλία)

1.1.2 Υφιστάμενοι κανονισμοί που μειώνουν τα GHG από πλοία

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι υπεύθυνος για την επίβλεψη του παγκόσμιου ναυτιλιακού τομέα. Επί του παρόντος, υπάρχει μόνο ένας κανονισμός του IMO που αποσκοπεί στην ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων: ο Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI). Ο EEDI ορίζει ότι τα νέα σχεδίασης πλοία πρέπει να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση με την πάροδο του χρόνου. Επιβλήθηκε το 2013 και ισχύει για ένα σημαντικό μέρος των μεγαλύτερων πλοίων που ασχολούνται με τη διεθνή ναυτιλία. Ουσιαστικά, ο EEDI απαιτεί τα νέα πλοία να εκπέμπουν λιγότερο CO₂ ανά μονάδα «μεταφορικού έργου», που συνήθως ποσοτικοποιείται ως g CO₂/dwt-nm. Τα πλοία που ναυπηγήθηκαν μεταξύ 2015 και 2019 πρέπει να είναι 10% πιο αποτελεσματικά από μια γραμμή βάσης πλοίων που ναυπηγήθηκαν μεταξύ 1999 και 2009. Στη συνέχεια, τα πλοία που ναυπηγήθηκαν μεταξύ 2020 και 2024 πρέπει να επιτύχουν 20% βελτίωση και αυτά που ναυπηγήθηκαν το 2025 ή αργότερα πρέπει να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε σύγκριση με τη βασική γραμμή (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).

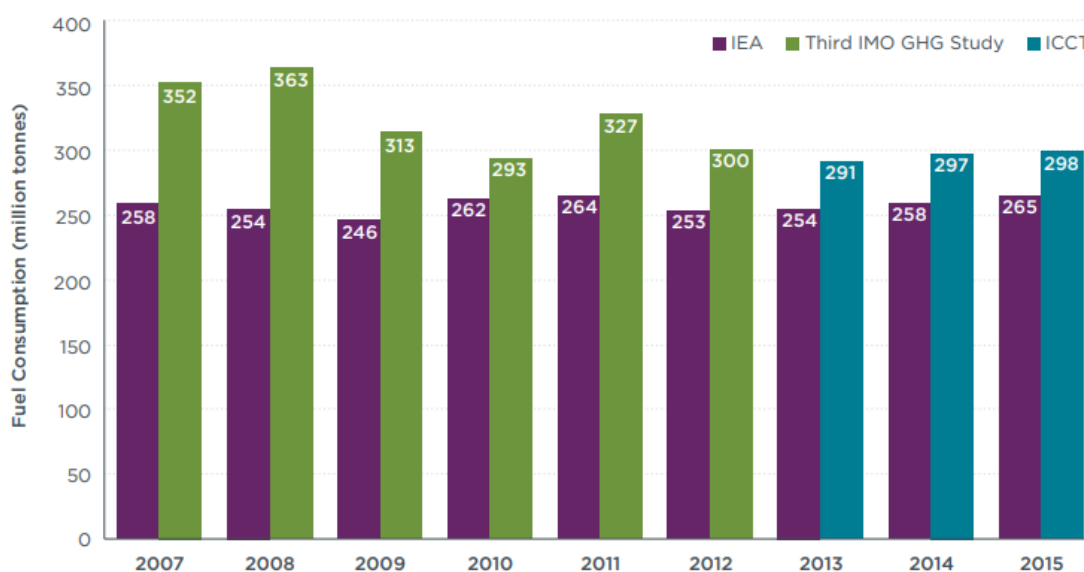
Υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν ότι αυτοί οι στόχοι του EEDI θα μπορούσαν να ενισχυθούν για συγκεκριμένους τύπους πλοίων, επειδή η αρχική γραμμή βάσης EEDI θεωρήθηκε τεχνητά αδύναμη (Faber et al., 2013). Διάφορα κράτη μέλη του IMO έχουν προτείνει την ενίσχυση των υφιστάμενων προτύπων EEDI, ενώ άλλα έχουν υποστηρίξει την προώθηση της ημερομηνίας εφαρμογής των προτύπων EEDI Φάσης 3 (30%) από το 2025 έως το 2022 και την εισαγωγή ενός πιο αυστηρού προτύπου EEDI «Φάση 4» για το 2025. Ο IMO δεν έχει ακόμη συμφωνήσει να τροποποιήσει το EEDI (IEA, 2017). Σε κάθε περίπτωση, εφόσον ο EEDI ισχύει αποκλειστικά για νεότευκτα πλοία, δεν είναι σε θέση να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον ναυτιλιακό κλάδο βραχυπρόθεσμα. Ακόμη και μακροπρόθεσμα, ο EEDI, στην τρέχουσα μορφή του, αναμένεται να μειώσει μόνο τις σωρευτικές εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία κατά ένα μέτριο 3% από το 2010 έως το 2050 (Smith et al., 2016). Δυστυχώς, ο EEDI, από μόνος του, δεν μπορεί να αντιστρέψει την τάση αύξησης των εκπομπών CO₂ και GHG που προέρχονται από τα πλοία (IEA, 2017, Smith et al., 2015).

1.1.3 Κατανάλωση καυσίμου

Η συνολική κατανάλωση καυσίμου, που περιλαμβάνει διεθνείς, εγχώριους και αλιευτικούς τομείς, αυξήθηκε από 291 σε 298 εκατομμύρια τόνους, σημειώνοντας αύξηση 2,4% μεταξύ 2013 και 2015. Τα υπολειμματικά καύσιμα κυριάρχησαν στο τοπίο της κατανάλωσης καυσίμου, αποτελώντας το 72% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων στη ναυτιλία 2015. Το καύσιμο απόσταξης αντιπροσώπευε περίπου το ένα τέταρτο της κατανάλωσης καυσίμου, ενώ το LNG αντιπροσώπευε περίπου το 2%. Αυτές οι αναλογίες κατανάλωσης καυσίμου υπολειμμάτων, αποστάγματος και LNG παρέμειναν αρκετά σταθερές το 2013 και το 2014.

Προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες έχουν επίσης υπολογίσει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου στη ναυτιλία, συμπεριλαμβανομένης της IEA στις ετήσιες εκθέσεις World Energy Statistics και των Smith et al. (2015) στην Τρίτη Μελέτη GHG του IMO του 2014. Το **Σχήμα 1.5** συγκρίνει τις εκτιμήσεις συνολικής κατανάλωσης καυσίμου από τον IEA, την Τρίτη Μελέτη GHG του IMO του 2014 (Smith et al., 2015) και το ICCT. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.5**, υπάρχουν διακυμάνσεις στις εκτιμήσεις μεταξύ της προσέγγισης «από πάνω προς τα κάτω» του IEA, η οποία βασίζεται στα δεδομένα πωλήσεων καυσίμων, και των προσεγγίσεων που βασίζονται στη δραστηριότητα «από κάτω προς τα πάνω» που χρησιμοποιούνται στην Τρίτη Μελέτη GHG του 2014 (Smith et al., 2015) και το ICCT. Συνολικά, οι εκτιμήσεις εκπομπών

από κάτω προς τα πάνω παραμένουν κάτω από την κορυφή που εκτιμήθηκε στην Τρίτη Μελέτη GHG του IMO του 2014 (Smith et al., 2015) για το έτος 2008. Παρά το γεγονός ότι η κατανάλωση καυσίμου εξακολουθεί να είναι χαμηλότερη από την κορυφή του 2008, υπάρχει πιθανότητα Οι τάσεις κατανάλωσης καυσίμου θα μπορούσαν να συνεχίσουν να αυξάνονται καθώς η παγκόσμια οικονομία ανακάμπτει από την παγκόσμια οικονομική κρίση.



Σχήμα 1.5: Εκτιμήσεις κατανάλωσης καυσίμου από IEA, IMO και ICCT, 2007–2015

Το Σχήμα 1.5 δείχνει ότι οι εκτιμήσεις του ΔΟΕ από την κορυφή προς τα κάτω είναι σταθερά κάτω από τις εκτιμήσεις από κάτω προς τα πάνω για την κατανάλωση καυσίμου στη ναυτιλία. Σε γενικές γραμμές, το χάσμα μεταξύ των δεδομένων του IEA από την κορυφή προς τη βάση και των εκτιμήσεων από τη βάση προς την κορυφή που παρέχονται από τον IMO και το ICCT μειώνεται. Για την παγκόσμια ναυτιλία, η οποία περιλαμβάνει διεθνή, εγχώρια και αλιευτικά τμήματα, η Τρίτη Μελέτη GHG του IMO του 2014 ανέφερε εκτιμήσεις κατανάλωσης καυσίμου που ήταν 12% έως 43% υψηλότερες, ενώ η μελέτη μας δείχνει εκτιμήσεις κατανάλωσης καυσίμου 12% έως 15% υψηλότερες από τα στοιχεία του IEA για τα έτη 2013 έως 2015. Το χάσμα για τη διεθνή ναυτιλία, εν μέρει λόγω των διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων, κλείνει με σχετικά βραδύτερο ρυθμό, μειώνοντας από μέσο όρο 32% (από 20% έως 44%) στην Τρίτη Μελέτη GHG του IMO σε 28% (που κυμαίνεται από 24% έως 31%)

στη μελέτη του ICCP. Είναι πιθανό ότι η βελτιωμένη κάλυψη των δεδομένων AIS με την πάροδο του χρόνου έχει μειώσει την αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις εκ των κάτω προς τα πάνω, ιδιαίτερα για οικιακά και αλιευτικά σκάφη, όπως φαίνεται από τη μειωμένη από έτος σε έτος μεταβλητότητα στις εκπομπές από αυτά τα πλοία (**Πίνακα 1.2**). Επιπλέον, ο IEA εργάζεται ενεργά για να βελτιώσει τα δεδομένα πωλήσεων καυσίμων που συλλέγονται από τα μέλη του για ανάλυση από πάνω προς τα κάτω, με στόχο να μετριάσει πιθανά ζητήματα υποαναφοράς.

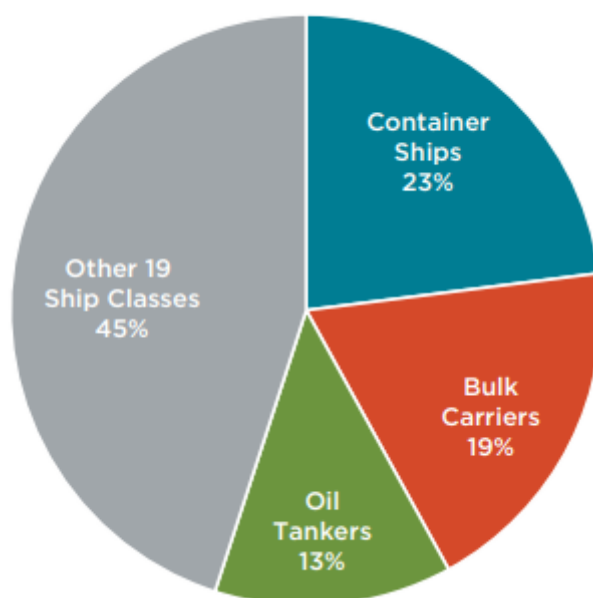
Πηγή	3η Μελέτη GHG του IMO (εκατομμύρια τόνοι)						ICCT (εκατομμύρια τόνοι)		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Παγκόσμιες εκπομπές CO ₂ *	31.959	32.133	31,822	33.611	34.726	34.968	35.672	36.084	36.062
Διεθνής ναυτιλία	881	916	858	773	853	805	801	813	812
Εγχώρια ναυτιλία	133	139	75	83	110	87	73	78	78
Αλιεία	86	80	44	58	58	51	36	39	42
Συνολική ναυτιλία %	1.100 3,5%	1.135 3,5%	977 3,1%	914 2,7%	1.021 2,9%	942 2,6%	910 2,5%	930 2,6%	932 2,6%

Πίνακας 1.2: Εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία σε σύγκριση με τις παγκόσμιες εκπομπές CO₂, 2007–2015

Με βάση την κατηγορία πλοίου

Εντός του παγκόσμιου στόλου, ορισμένες επιλεγμένες κατηγορίες πλοίων είναι υπεύθυνες για την πλειονότητα των εκπομπών CO₂. Συγκεκριμένα, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων συνεισέφεραν το μεγαλύτερο μερίδιο, αντιπροσωπεύοντας το 23% των εκπομπών CO₂ από το 2013 έως το 2015, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.6**. Συλλογικά, τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και τα πετρελαιοφόρα αντιπροσώπευαν περισσότερο από το ήμισυ (55%) του σχεδόν 1 δισεκατομμύρια τόνοι CO₂ που εκπέμπονται κατά τα έτη 2013, 2014 και 2015. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι τρεις κατηγορίες πλοίων αποτελούσαν επίσης το 84% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας πλοίων (μετρούμενη σε dwt-nm), γεγονός που συμβάλλει στις υψηλότερες συνολικές εκπομπές CO₂ σε σύγκριση σε άλλες κατηγορίες πλοίων. Στις συμπληρωματικές πληροφορίες

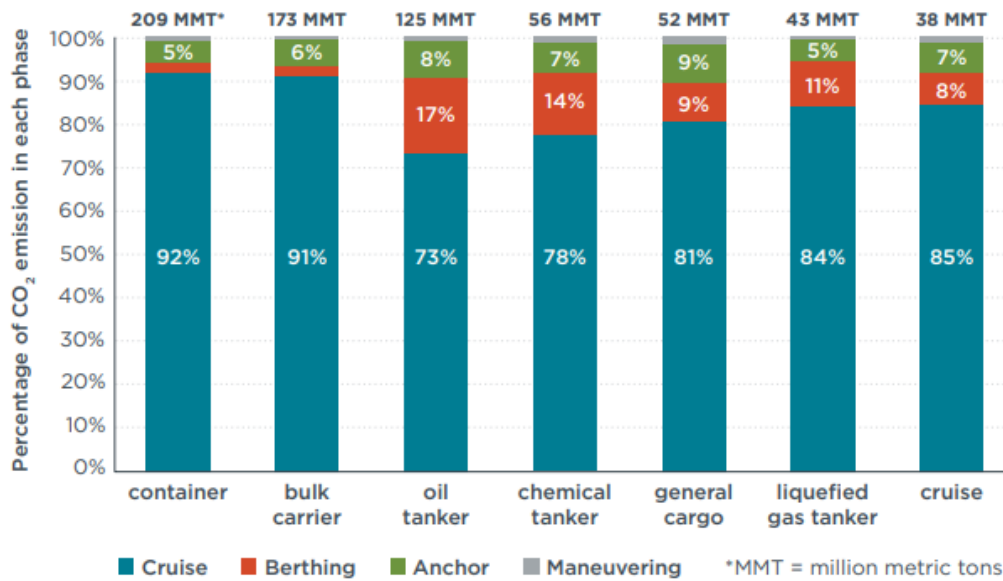
διατίθεται αναλυτικός πίνακας με λεπτομέρειες για τις εκπομπές CO₂ και την ικανότητα μεταφοράς ανά κατηγορία πλοίων.



Σχήμα 1.6: Μέσο ποσοστό εκπομπών CO₂ ανά κατηγορία πλοίων, 2013–2015
(πηγή: International Council on Clean Transportation 2017)

Κατά Λειτουργική Φάση

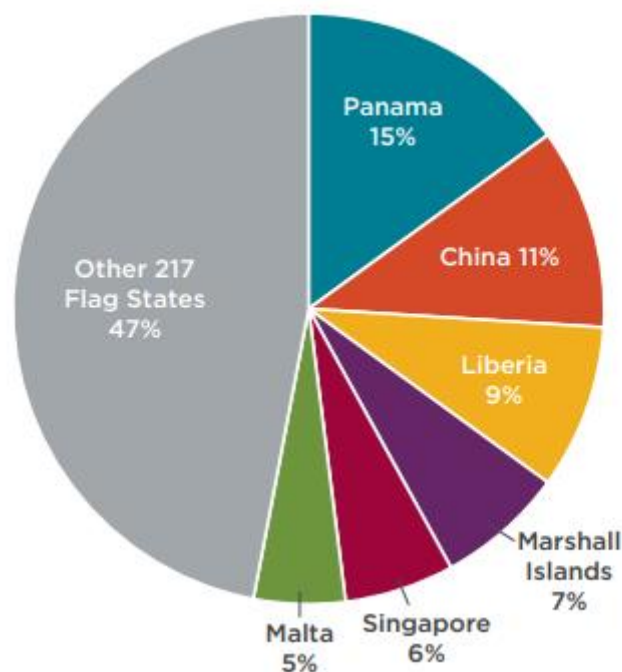
Η κρουαζιέρα είναι η κυρίαρχη φάση που αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των εκπομπών CO₂ σε όλες τις κατηγορίες πλοίων, ενώ οι ελιγμοί αντιπροσωπεύουν τη φάση με τις χαμηλότερες εκπομπές (**Σχήμα 1.7**). Συγκεκριμένα, τα δεξαμενόπλοια παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες εκπομπές κατά τη φάση ελλιμενισμού τους, κυρίως λόγω των αυξημένων απαιτήσεων φορτίου βοηθητικού κινητήρα κατά τις εργασίες εκφόρτισης. Κατά συνέπεια, μέτρα μείωσης των εκπομπών, όπως η ηλεκτροδότηση στην ξηρά, θα μπορούσαν να μειώσουν αποτελεσματικά τις εκπομπές από δεξαμενόπλοια. Επιπλέον, οι εκπομπές κατά τη φάση της άγκυρας ποικίλλουν ανάλογα με την κατηγορία του πλοίου. Τα πλοία γενικού φορτίου, τα δεξαμενόπλοια και τα πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, τα οποία συνήθως περνούν μεγαλύτερες διάρκειες στην άγκυρα πριν ελλιμενιστούν, παρουσιάζουν υψηλότερες εκπομπές κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).



Σχήμα 1.7: Εκπομπές CO₂ ανά φάση για κατηγορίες πλοίων με κορυφαίες εκπομπές, 2015 (πηγή: International Council on Clean Transportation 2017)

Κατά κράτος σημαίας

Παρόμοια με τις κατηγορίες πλοίων, μερικά κράτη σημαίας έχουν ουσιαστική επιρροή στον ναυτιλιακό στόλο και τις συλλογικές του δραστηριότητες. Όπως απεικονίζεται στο **Σχήμα 1.8**, μεταξύ των 223 κρατών σημαίας, η πλειονότητα των εκπομπών CO₂ μπορεί να αποδοθεί σε πλοία που είναι νηολογημένα με επτά σημαίες: Παναμάς (που αντιστοιχεί στο 15%), Κίνα (11%), Λιβερία (9%), Νήσοι Μάρσαλ (7%), Σιγκαπούρη (6%) και Μάλτα (5%). Αυτές οι συγκεκριμένες σημαίες διαθέτουν επίσης σημαντικούς στόλους όσον αφορά τόσο τον αριθμό των σκαφών όσο και τη συνολική χωρητικότητα νεκρού βάρους (dwt), που αντιπροσωπεύουν συλλογικά το 66% του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου dwt. Η επικράτηση μεγαλύτερων σκαφών και η τεράστια ποσότητα πλοίων που είναι νηολογημένα υπό αυτές τις σημαίες συμβάλλουν στις υψηλότερες συνολικές εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με άλλα κράτη σημαίας. Στις συμπληρωματικές πληροφορίες μπορείτε να έχετε πρόσβαση σε έναν αναλυτικό πίνακα που περιγράφει τις ετήσιες εκπομπές CO₂ ανά κράτος σημαίας (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).



Σχήμα 1.8: Μέσο μερίδιο των εκπομπών CO₂ ανά κράτος σημαίας, 2013–2015

1.1.4 Άλλοι κλιματικοί ρύποι

Οι εκπομπές που αλλάζουν το κλίμα από τα πλοία εκτείνονται πέρα από το CO₂, περιλαμβάνοντας τους ονομαζόμενους "κλιματικούς ρύπους χωρίς CO₂", όπως μαύρος άνθρακας, CH₄ και N₂O, οι οποίοι παίζουν επίσης ρόλο στην κλιματική αλλαγή. Αυτές οι εκπομπές παρέμειναν σχετικά σταθερές κατά την περίοδο από το 2013 έως το 2015, όπως περιγράφεται λεπτομερώς στον **Πίνακα 1.3**. Συγκεκριμένα, ενώ οι εκπομπές N₂O παρουσίασαν μείωση μετά την οικονομική ύφεση του 2008, οι εκπομπές CH₄ συνέχισαν να αυξάνονται. Είναι σημαντικό να επισημανθεί η αύξηση των εκπομπών CH₄ τα τελευταία χρόνια σε σύγκριση με την περίοδο από το 2007 έως το 2012. Η αύξηση αυτή αποδίδεται κυρίως στη διευρυμένη χρήση του LNG. Ειδικότερα, τα εγχώρια πλοία παρουσίασαν αξιοσημείωτα υψηλό ποσοστό αύξησης των εκπομπών CH₄ για τα έτη 2013 έως 2015, λόγω της αυξημένης υιοθέτησης πλοίων LNG ως μέρος των στρατηγικών μετριασμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της άνοδος των δραστηριοτήτων δεξαμενόπλοιων LNG (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).

Ρυπαντής	2013	2014	2015
Σύνολο Μαύρου άνθρακα (κιλοτόνοι, kt)	75	78	78
Διεθνές	64	66	66
Οικιακό	7	8	8
Αλιεία	4	4	4
CH ₄ Σύνολο (kt)	362	367	363
Διεθνές	358	362	358
Οικιακό	4	4	5
Αλιεία	1	1	1
Σύνολο N ₂ O (kt)	45	46	46
Διεθνές	40	41	41
Οικιακό	3	4	4
Αλιεία	2	2	2

Πίνακας 1.3: Κλιματικοί ρύποι χωρίς CO₂, 2013–2015

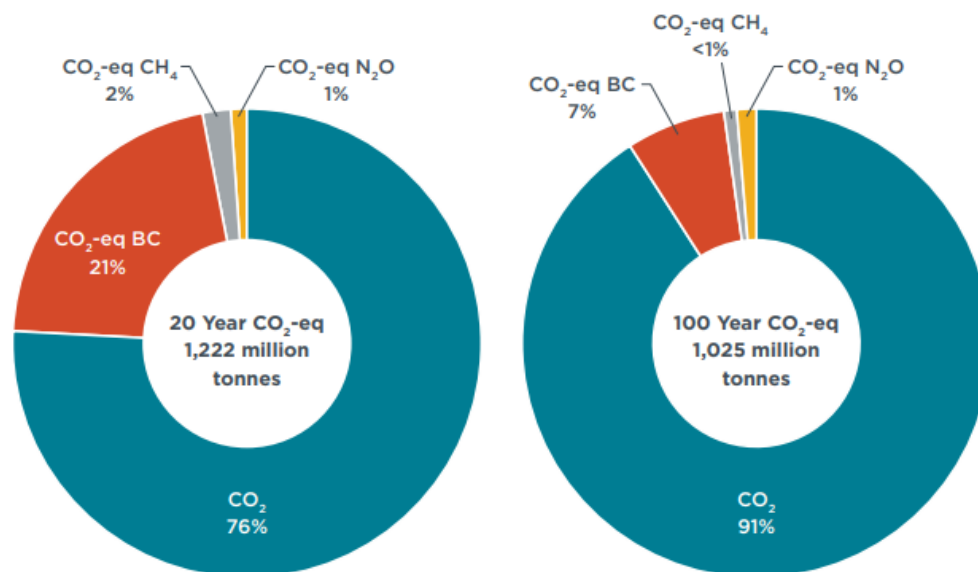
Μπορούμε να αξιολογήσουμε τις κλιματικές επιπτώσεις των εκπομπών από τη ναυτιλία μετατρέποντας τις εκπομπές κλιματικών ρύπων στις ισοδύναμες τιμές CO₂ (CO₂-eq). Ο Πίνακας 1.4 παρέχει μια περίληψη των εκπομπών CO₂-eq για τα χρονικά πλαίσια 20 ετών και 100 ετών, λαμβάνοντας υπόψη τα CO₂, μαύρος άνθρακας, CH₄ και N₂O. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.4, οι εκπομπές CO₂-eq κατέγραψαν αύξηση, αυξάνοντας από 1.189 σε 1.222 (αύξηση 2,8%) σε μια περίοδο 20 ετών και από 1.000 σε 1.025 (αύξηση 2,5%) σε μια περίοδο 100 ετών μεταξύ 2013 και 2015 (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).

	Τρίτη μελέτη GHG του IMO						ICCT		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Συνολικό ισοδύναμο CO ₂ 20 ετών (MMT)	1.119	1.155	995	932	1,042	963	932 (1.189)*	952 (1.219)	954 (1.222)
Διεθνές	898	934	875	790	872	823	821 (1.044)	834 (1.063)	833 (1.061)
Οικιακό	135	141	76	84	111	88	74 (97)	79 (104)	79 (105)
Αλιεία	87	81	45	59	59	52	36 (48)	39 (52)	42 (56)
Συνολικό	1.127	1.164	1.00	943	1,055	976	949	969	971

ισοδύναμο CO ₂ 100 ετών (MMT)			3				(1.000)	(1.023)	(1.025)
Διεθνές	905	942	883	800	885	836	838 (880)	850 (894)	849 (893)
Οικιακό	135	141	76	84	111	88	74 (80)	79 (86)	79 (86)
Αλιεία	87	81	45	59	59	52	36 (37)	39 (43)	42 (46)

Πίνακας 1.4: Εκπομπές CO₂-eq, 2007–2015

Ορισμένοι κλιματικοί ρύποι, συμπεριλαμβανομένου του μαύρου άνθρακα, έχουν «βραχύβιο» χαρακτήρα, που σημαίνει ότι ασκούν θερμική επίδραση για μια σχετικά σύντομη περίοδο. Αντίθετα, άλλα έχουν πιο επίμονο αντίκτυπο. Κατά συνέπεια, αξιολογούμε το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη σε χρονικές κλίμακες τόσο 20 ετών όσο και 100 ετών. Ιδιαίτερα, είναι σημαντικό να τονιστεί η ουσιαστική επίδραση των εκπομπών μαύρου άνθρακα όπως απεικονίζεται στο **Σχήμα 1.9**. Σε μια περίοδο 20 ετών, ο μαύρος άνθρακας συμβάλλει στο 21% της επίδρασης της θέρμανσης του κλίματος που προκαλείται από τα πλοία. Ακόμη και αν ληφθεί υπόψη για ένα χρονικό πλαίσιο 100 ετών, ο μαύρος άνθρακας εξακολουθεί να αποτελεί το 7% αυτού του αντίκτυπου. Δεδομένου ότι ο μαύρος άνθρακας παραμένει στην ατμόσφαιρα μόνο για λίγες ημέρες ή εβδομάδες, η λήψη μέτρων για τη μείωση των εκπομπών μαύρου άνθρακα από τα πλοία θα απέφερε άμεσα αποτελέσματα στον μετριασμό των συνολικών επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη που αποδίδονται στη ναυτιλία (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).



Σχήμα 1.9: Μέσο μερίδιο εκπομπών CO₂-eq ανά τύπο ρύπων, 2013–2015

1.1.5 Αέριοι ρύποι

Ο Πίνακας 1.5 παρέχει μια περίληψη των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από το 2007 έως το 2015. Μεταξύ αυτών των εκπομπών, τα οξειδία του αζώτου (NO_x) παρουσίασαν τη σημαντικότερη αύξηση κατά την περίοδο 2013-2015, παρουσιάζοντας αύξηση 3,5%, ενώ τα οξειδία του θείου (SO_x) εμφάνισαν τη μικρότερη αύξηση η οποία ήταν περίπου 1% την ίδια περίοδο. Όσον αφορά το μέλλον, οι εκπομπές NO_x από νέα πλοία που λειτουργούν εντός Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (ECA) θα είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες των υπαρχόντων πλοίων. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το σταδιακό ρυθμό κύκλου εργασιών στον παγκόσμιο στόλο, είναι πιθανό ότι οι συνολικές εκπομπές NO_x θα συνεχίσουν να αυξάνονται. Αντίθετα, οι συνολικές εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) και σωματιδίων (PM) αναμένεται να παρουσιάσουν σημαντική μείωση, ξεκινώντας το 2020, καθώς τα πλοία αρχίζουν να τηρούν το παγκόσμιο ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο καυσίμου 0,5% (Comer & Sathiamoorthy, 2022; Olmer et al., 2017).

Ρύπος και Πηγή	Τρίτη μελέτη GHG του IMO						ICCT		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
NO _x (κιλοτόνοι, kt)	22.801	23.639	20.756	18.756	20.310	19.002	18.426	18.398	19.062
Διεθνές	19.943	20.759	19.104	16.708	18.047	16.997	16.941	16.818	17.058
Οικιακός	1.564	1.639	930	1.114	1.323	1,171	1.030	1.093	1.238
Αλιεία	1.294	1,242	722	935	940	834	455	487	766
SO _x (kt)	11.581	11.892	11.646	10.550	11.632	10.240	10.355	10.361	10.457
Διεθνές	10.771	11.041	11.164	9.895	10.851	9.712	128.3	136.7	122,5
Οικιακός	278	331	202	251	358	268	90.9	94.1	95,4
Αλιεία	533	521	280	405	423	261	10574.3	10592,1	10674,6
MM (kt)	1.622	1.679	1,574	1.432	1,563	1.402	1.475	1.504	1.492
Διεθνές	1.493	1.545	1.500	1.332	1.446	1.317	1.426	1.452	1.441
Οικιακός	51	58	33	41	56	44	30	32	31
Αλιεία	78	76	41	59	61	41	18	19	20
CO (kt)	998	1.039	921	893	975	936	797	809	814
Διεθνές	823	864	816	763	834	806	704	708,9	710,6
Οικιακός	99	103	60	72	82	76	62.6	66,8	67.7
Αλιεία	76	72	46	59	58	53	30,8	33,3	35,8
NMVOC (kt)	827	858	739	683	741	696	781	786	795

Διεθνές	696	727	672	593	643	609	697	697	701
Οικιακός	76	78	38	51	59	53	57	60	62
Αλιεία	55	52	28	39	39	35	27	29	32

Πίνακας 1.5: Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από το 2007 έως το 2015

1.2 Προκλήσεις για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στη ναυτιλία

Οι προκλήσεις για την επίτευξη ενός πλοίου μηδενικών εκπομπών (ZES) ξεκινούν από τον σαφή ορισμό των εκπομπών. Η πιο κοινή οριοθέτηση αφορά την απελευθέρωση κάτι στο περιβάλλον, ως προϊόν ή/και υποπροϊόν από μια πηγή ενέργειας. Η τρέχουσα ναυτιλιακή πηγή ενέργειας βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα και στις τεχνολογίες μετατροπής. Για παράδειγμα, η ενέργεια μπορεί να βασίζεται στη μετατροπή του LNG. Οι εκπομπές λόγω των πηγών ενέργειας και των διαδικασιών μετατροπής μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες ομάδες, τα αέρια του θερμοκηπίου και τις εκπομπές ρύπων. Ο σχηματισμός και η ποσότητα των εκπομπών εξαρτώνται από την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται και την τεχνολογία που σχετίζεται. Όσο πιο αποτελεσματική είναι η κατανάλωση, τόσο χαμηλότερη είναι η παραγωγή εκπομπών (Corbett & Fischbeck, 1997). Βασικός πυλώνας επομένως των προκλήσεων σε αυτό το πεδίο είναι ο περιορισμός των εκπομπών με στόχο τη μετάβαση προς ένα μηδενικών ρύπων πλοίο.

Η πραγματική πρόκληση για την επίτευξη ενός ZES είναι η αντικατάσταση των σημερινών ορυκτών πηγών ενέργειας μαζί με τις τεχνολογίες που σχετίζονται με την κατανάλωσή τους, αλλά όχι μόνο για το κύριο σύστημα πρόωσης, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τα βοηθητικά συστήματα και τα αναλώσιμα, που συνεπάγονται σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση. Λαμβάνοντας ως βάση τα καύσιμα, τις σχετικές τεχνολογίες και τις εκπομπές, είναι δυνατόν να αρχίσουμε να επιλέγουμε νέες πηγές ενέργειας και τεχνολογίες για την αντικατάστασή τους. Είναι ακόμη δυνατό να εξεταστούν εναλλακτικές λύσεις για τον εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων τεχνολογιών με στόχο να αρχίσουν να προτείνουν και να καθορίζουν συγκεκριμένες επιλογές για την επίτευξη ενός ZES. Ο International Maritime Organization (IMO) μέσω της αρχικής στρατηγικής του για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου βοηθά στον εντοπισμό ορισμένων από τις νέες πηγές ενέργειας και

τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες και υπό έρευνα για την πραγματοποίηση των προσπαθειών για την επίτευξη ενός πραγματικού ZES (International Maritime Organization, 2018). Η στρατηγική του εξετάζει την εφαρμογή βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων μέτρων για τη μείωση και την εξάλειψη περαιτέρω εκπομπών από τη ναυτιλία. Η ανάπτυξη ενός ZES πρέπει να εξετάσει επιλογές για τη μετατροπή των υφιστάμενων πλοίων, διότι η διαδικασία αντικατάστασης, σε ποσότητα και απλώς πιο αποτελεσματικά πλοία του σημερινού στόλου, δεν αρκεί για να ξεπεραστεί ο αναποτελεσματικός υφιστάμενος στόλος, ο οποίος βασίζεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στα ορυκτά καύσιμα (Clarksons, 2021).

Ο δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI) είναι ένα τεχνικό μέτρο που θεσπίστηκε και είναι υποχρεωτικό από τον IMO για κάθε νέο πλοίο που κατασκευάστηκε από το 2013 και ύστερα, διασφαλίζοντας τις γραμμές βάσης απόδοσης που πρέπει να πληρούν τα νέα πλοία (International Maritime Organization, 2013). Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων (EEXI) είναι ένας νέος κανονισμός από τον IMO για να γνωρίζει την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα του τρέχοντος στόλου, καθορίζοντας μια γραμμή βάσης της πραγματικής απόδοσης από όπου θα αρχίσει να εργάζεται για τη βελτίωση της απόδοσης με την εφαρμογή τεχνολογικών και επιχειρησιακών μέτρων. Οι δείκτες έντασης άνθρακα (CII) είναι εργαλεία για τη μέτρηση της πραγματικής απόδοσης ενός υφιστάμενου πλοίου και εξετάζονται από κοινού με το EEXI για να διασφαλιστεί ότι τα υφιστάμενα πλοία αποδίδουν αποτελεσματικά λαμβάνοντας υπόψη την εφαρμογή τεχνολογικών και επιχειρησιακών μέτρων για περαιτέρω βελτίωση (International Maritime Organization, 2021). Το σχέδιο διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίων (SEEMP) είναι ένα επιχειρησιακό μέτρο που λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ της διοίκησης και της λειτουργίας των πλοίων της, θεσπίζοντας πρωτόκολλα που εξετάζουν το μέτρο, τον έλεγχο, τον μετριασμό και τη βελτίωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου (International Maritime Organization, 2016). Με βάση επομένως τους δείκτες EEDI, EEXI, CII και SEEMP, εξετάζονται οι σχετικές τεχνολογίες για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης των πλοίων.

Λαμβάνοντας υπόψη την εξάρτηση της ενέργειας από τις πηγές ορυκτών καυσίμων του υφιστάμενου στόλου των πλοίων και τα τεχνολογικά και επιχειρησιακά μέτρα αποδοτικότητας που θεσπίστηκαν από τον IMO, είναι κεντρικής σημασίας οι ενέργειες ώστε τα πλοία να αποκτήσουν ένα ZES. Αυτό επιτυγχάνεται με αλλαγές στην

τεχνολογία που εφαρμόζεται επί του παρόντος στα κύρια συστήματα πρόωσης και στα βοηθητικά συστήματα, θεωρώντας τα εναλλακτικά καύσιμα ως πηγές ενέργειας με μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Τα πλήρως ηλεκτρικά και υβριδικά πλοία βρίσκονται ήδη σε υπηρεσία, αλλά περιορίζονται σε μικρούς τύπους και μεγέθη (Ritari et al., 2021).

Το σύστημα πλήρους ηλεκτρικής πρόωσης (FEP) έχει κεντρικό ρόλο στην προσπάθεια μετάβασης προς ZES πλοία. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια διάταξη, όπου ο κύριος κινητήρας του πλοίου είναι μια ηλεκτρική μηχανή σε διαμόρφωση άμεσης κίνησης, άμεσα συνδεδεμένη με τον κύριο άξονα πρόωσης, χωρίς τη χρήση κιβωτίου ταχυτήτων. Σε αυτή τη διαμόρφωση, η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από έναν ορισμένο αριθμό γεννητριών (genset) που συνήθως κινούνται από θερμικές μηχανές όπως αεριοστρόβιλοι, κινητήρες ντίζελ ή συνδυασμός και των δύο. Ανάλογα με τη δομή τους, τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης μπορούν να ταξινομηθούν ως διαχωρισμένα ή ενσωματωμένα (Paul, 2020).

Το διαχωρισμένο FEP μπορεί να γίνει κατανοητό ως η φυσική εξέλιξη των συμβατικών συστημάτων πρόωσης, αντικαθιστώντας τους κύριους κινητήρες καύσης με ηλεκτρικές μηχανές χαμηλής ταχύτητας, συνήθως πολύπλοκες μηχανές, με αποτέλεσμα δύο διαχωρισμένα ηλεκτρικά συστήματα διανομής: ένα αφιερωμένο στην παροχή της απαιτούμενης ισχύος για το σύστημα πρόωσης και ένα άλλο αφιερωμένο στην παροχή της απαιτούμενης ισχύος στα βοηθητικά του πλοίου, τα οποία αποτελούν ήδη μέρος της αρχικής διαμόρφωσης του πλοίου. Σε αυτή τη διαμόρφωση, περίπου το 90% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παραγωγής αφορά την ηλεκτρική κίνηση πρόωσης. Αυτή η διάταξη είναι δημοφιλής για εκείνες τις εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή ευελιξία και ώθηση, όπως παγοθραυστικά και ρυμουλκωμένα πλοία. Με αυτή όμως την επιλογή, η εναπομένουσα διαθέσιμη ισχύς στο σύστημα πρόωσης δεν είναι διαθέσιμη για τα βοηθητικά του πλοίου λόγω της φύσης αυτής της διαμόρφωσης, όσον αφορά την ευελιξία και τη διαθεσιμότητα διαχείρισης ισχύος (Kim et al., 2015).

Ως προς το ολοκληρωμένο σύστημα FEP, αυτό αποτελεί την επόμενη εξέλιξη του σχεδιασμού νέων συστημάτων πρόωσης. Η ιδέα αυτή θεωρεί ότι όλη η απαιτούμενη ισχύς για την πρόωση και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις του πλοίου θα παρέχεται από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ανάλογα με την ισχύ τους. Σε αυτή τη διαμόρφωση, τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη τροφοδοτούν έναν ενιαίο συλλέκτη ή πίνακα διανομής στην

περιοχή μέσης τάσης. Η ηλεκτρική ισχύς για το σύστημα πρόωσης τροφοδοτείται απευθείας από αυτή τη γραμμή τροφοδότησης μέσω μετατροπέων ισχύος, οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα ενεργό εμπρόσθιο άκρο για να ρυθμίζουν την ποιότητα της ισχύος και να επιτρέπουν την αναγέννηση κατά τη διάρκεια της δυναμικής πέδησης ταχύτητας και των ελιγμών. Αυτή η ανακτώμενη ενέργεια θα μπορούσε να αποθηκευτεί σε μπαταρίες, υπερπυκνωτές ή άλλες παρόμοιες συσκευές, ώστε να είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια γρήγορων δυναμικών μεταβάσεων ταχύτητας και ώσης. Από την άλλη πλευρά, τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου τροφοδοτούνται από την κύρια γραμμή διανομής, τον πίνακα μέσης τάσης, χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές ισχύος υποβιβασμού (Kim et al., 2015).

Το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της διαμόρφωσης αυτής έχει να κάνει με την ικανότητά της να εξασφαλίζει υψηλή ευελιξία, διαθεσιμότητα και πλεονασμό του συστήματος. Η διαχείριση της συνολικής ζητούμενης και της διαθέσιμης ισχύος γίνεται με τη χρήση μιας στρατηγικής βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης, η οποία καθορίζει τον αριθμό και την ισχύ των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών που θα βρίσκονται σε λειτουργία στο αποδοτικότερο σημείο λειτουργίας της μέγιστης συνεχούς ονομαστικής τους ισχύος (MCR), ενισχύοντας έτσι την αποδοτικότητα των καυσίμων και μειώνοντας τις εκπομπές (Reusser et al., 2020). Ωστόσο, αποτελεί σημαντική πρόκληση το να υιοθετήσουν τα σύγχρονα πλοία αυτά τα συστήματα, κάτι που ενδεχομένως να μην είναι αποδοτικά οικονομικό για τον υπάρχον στόλο, αφού πιθανώς το κόστος της μετατροπής να υπερβαίνει το όφελος (Kim et al., 2015).

Στη μετάβαση προς ένα ZES έχει επίσης κεντρικό ρόλο το υβριδικό σύστημα πρόωσης (HPS). Ένα HPS είναι ο συνδυασμός ενός συμβατικού συστήματος θερμικής βάσης με ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης που λειτουργεί είτε παράλληλα είτε σε σειρά. Πρόκειται για μια διαμόρφωση που εφαρμόζεται είτε σε υπάρχοντα είτε σε νέα πλοία. Το συμβατικό μέρος του HPS θεωρεί συνήθως τη χρήση ενός πετρελαιοκινητήρα ως οδηγού, ο οποίος συνδέεται μέσω ενός συστήματος μετάδοσης, συνήθως ενός άξονα, με έλικα. Ο προωστήρας είναι επομένως μια έλικα. Το ηλεκτρικό μέρος του HPS αντιμετωπίζει τη χρήση ενός ηλεκτροκινητήρα ως οδηγού που συνδέεται με το υπόλοιπο σύστημα της προώθησης. Το HPS εισήχθη για να υποστηρίξει τη μεταβλητότητα των επιχειρησιακών προφίλ ορισμένων τύπων πλοίων, όπως ρυμουλκά, πορθμεία και πλοία εφοδιασμού (Camara et al., 2016).

Σε αυτή τη διαμόρφωση του συστήματος πρόωσης, η ηλεκτρική κίνηση μπορεί να λειτουργήσει είτε ως κινητήρας, λειτουργία λήψης ισχύος (PTI) είτε ως γεννήτρια, λειτουργία λήψης ισχύος (PTO). Στη λειτουργία PTI, ο ηλεκτρικός κινητήρας παρέχει την απαιτούμενη ισχύ πρόωσης, όπου η ενέργεια παρέχεται από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, επιτρέποντας στους θερμικούς κινητήρες να παραμείνουν εκτός λειτουργίας. Από την άλλη πλευρά, κατά τη λειτουργία των κινητήρων με θερμική βάση για μεγάλα χρονικά διαστήματα στην περιοχή χαμηλής ισχύος τους, ο ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να λειτουργεί σε λειτουργία PTO, εκμεταλλευόμενος την εναπομένουσα ισχύ που θα μπορούσε να παρέχεται από τον θερμικό κινητήρα, τροφοδοτώντας την κύρια ηλεκτρική μπάρα. Η λειτουργία PTO δίνει τη δυνατότητα μείωσης του αριθμού των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές ρύπων, μετακινώντας το σημείο λειτουργίας τους προς το βέλτιστο εύρος απόδοσης καυσίμου. Η HPS προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συμβατική θερμική, συμπεριλαμβανομένης της αποδοτικής λειτουργίας των μηχανών που βασίζονται στη θερμική σε χαμηλές ταχύτητες του πλοίου, της πρόσθετης ισχύος για τα βοηθητικά συστήματα και της αποδοτικής κατανομής ισχύος για τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (Kim et al., 2015).

Η δυνατότητα παράλληλης ή σειριακής λειτουργίας επίσης συνιστά σημαντική πρόκληση. Επιτρέπει στο σύστημα να υποστηρίζει τα διαφορετικά λειτουργικά προφίλ των πλοίων. Συνδεδεμένη με ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS), η διαμόρφωση αυτή λαμβάνει την καλύτερη απόδοση των οδηγών είτε σε χαμηλά είτε σε μεγάλα φορτία, διατηρώντας το σύνολο του συστήματος σε αποδοτική λειτουργία. Οι προκλήσεις αυτής της διαμόρφωσης σχετίζονται με τους οδηγούς και το EMS. Οι οδηγοί που λειτουργούν είτε παράλληλα είτε σε σειρά χρειάζονται ένα σύστημα μετάδοσης αρκετά ισχυρό ώστε να επιτρέπει τη μετάβαση από τον έναν στον άλλο ή να τους διατηρεί και τους δύο να λειτουργούν ταυτόχρονα με γρήγορο και ασφαλή τρόπο. Το σύστημα μετάδοσης πρέπει να διατηρεί το πλοίο σε συνεχή και αξιόπιστη λειτουργία (Woud & Stapersma, 2002).

Το σύστημα αυτό είναι ένας συνδυασμός κιβωτίων ταχυτήτων και συμπλεκτών, ο οποίος συσχετίζει τις μηχανικές αποδόσεις με τις αποδόσεις των οδηγών, οι οποίες καθιστούν το όλο σύστημα μια εγγενή εξάρτηση των επιδόσεων. Όσο καλύτερη είναι η απόδοση του οδηγού, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση ολόκληρου του συστήματος. Υπό αυτή την έννοια, το τμήμα του κινητήρα ντίζελ είναι το πιο δύσκολο σύστημα που

πρέπει να εξεταστεί κατά την ανάπτυξη ενός HPS. Η απόδοση του κινητήρα ντίζελ είναι πιο αποδοτική γύρω στο 75% και 85% του MCR, έχοντας τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου-πετρελαίου (SFC). Η μετακίνηση από αυτά τα ποσοστά, είτε σε χαμηλά είτε σε υψηλά φορτία, αυξάνει την SFC και, συνεπώς, τις εκπομπές. Το EMS πρέπει να ξεπεράσει την απόδοση του κινητήρα ντίζελ επιτρέποντας στον ΡΤΙ να τεθεί σε λειτουργία για να συμπληρώσει την απόδοσή του. Το EMS αποτελεί πρόκληση, διότι πρέπει να έχει την ικανότητα να εκτιμά σε ποιο σημείο η απόδοση ολόκληρου του HPS είναι πιο αποδοτική διατηρώντας είτε το μηχανικό είτε το ηλεκτρικό τμήμα του σε λειτουργία. Το EMS χρειάζεται ένα ισχυρό και αξιόπιστο σύστημα ελέγχου για να διατηρεί τις ατομικές επιδόσεις των οδηγών και επίσης την ενέργεια που απαιτείται και κατανέμεται στις επιδόσεις του πλοίου εκπληρώνοντας το επιχειρησιακό του προφίλ (Woud & Stapersma,2002).

Το HPS που εφαρμόζεται σε ένα νέο πλοίο λαμβάνει τις εκτιμήσεις που παρουσιάζονται ενσωματωμένες σε ένα αξιόπιστο EMS και πραγματοποιεί αυστηρή ανάλυση του Επιχειρησιακού προφίλ του πλοίου. Η αύξηση της αποδοτικότητας του HPS που εφαρμόζεται σε νέα πλοία έχει αναφερθεί κατά τη σύγκριση παρόμοιων πλοίων. Εφαρμόζεται σε ένα υπάρχον πλοίο είναι κάτι το εντελώς διαφορετικό και το πιο δύσκολο, διότι πρέπει να εξετάσει την πραγματική απόδοση του πλοίου, η οποία σχετίζεται με την ενεργειακή απόδοση, τις οικονομικές αξιολογήσεις και την επίδραση στον κύκλο ζωής του. Οι βελτιώσεις στην αποδοτικότητα πρέπει να συγκριθούν με τις επιδόσεις παρόμοιων πλοίων, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα δύσκολο, δεδομένων των εγγενών δυσκολιών αυτής της συγκριτικής διαδικασίας, όπως οι διαφορές των καιρικών συνθηκών (Kowalski et al., 2013).

Σε κάθε περίπτωση, τόσο για τα FEP, όσο και για τα HPS, υπάρχουν ορισμένες νέες τεχνολογίες, η υιοθέτηση και εφαρμογή των οποίων αναμένεται να καθορίσει τη μετάβαση προς ένα ZES. Η πρώτη αφορά τις Κυψέλες Καυσίμου. Μια κυψέλη καυσίμου, ως τεχνολογική εφαρμογή, είναι μια επιλογή που πρέπει να εφαρμοστεί στα FEP και HPS επειδή εξαλείφει τις εκπομπές και τον θόρυβο, ενώ παράγει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Μια κυψέλη καυσίμου μετατρέπει τα καύσιμα μηδενικού άνθρακα σε ηλεκτρική ενέργεια και παράγει θερμότητα και νερό ως υποπροϊόντα. Η ηλεκτρική ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί είναι είτε από την κύρια πρόωση είτε από τα βοηθητικά συστήματα. Δύο τύποι Κυψελών Καυσίμου χρησιμοποιούνται στα πλοία, μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων ή μεμβράνες

πολυμερών ηλεκτρολυτών (PEM) και κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC). Οι PEM χρησιμοποιούνται ήδη σε πλοία όπως τα επιβατικά και τα φορτηγά. Τα SOFC βρίσκονται ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης για να εφαρμοστούν επί του σκάφους, παρά το υψηλό επίπεδο ετοιμότητας του και την έρευνα που έχει εδώ και πολλά έτη πραγματοποιηθεί. Η εφαρμογή των PEM στα πλοία εξετάζει τη δημιουργία μιας στοίβας κυψελών καυσίμου συνδεδεμένης με το δίκτυο του πλοίου για την παροχή των απαιτούμενων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας είτε για πρόωση είτε για βοηθητικά συστήματα του πλοίου. Το τρέχον εύρος εφαρμογής των στοίβων PEM στα πλοία είναι έως 6 MW. Σε κάθε περίπτωση, η αυτονομία των πλοίων αυτών είναι περιορισμένη, κάτι που συνιστά ένα κύριο εμπόδιο στην χρήση αυτής της τεχνολογικής καινοτομίας (Afif et al., 2016).

Μια δεύτερη καινοτομία είναι οι Κινητήρες Διπλού Καυσίμου. Ένας κινητήρας διπλού καυσίμου είναι ένας κινητήρας που μπορεί να λειτουργήσει κάτω από τον κύκλο Otto και τον κύκλο ντίζελ. Όταν εργάζεται κάτω από τον κύκλο Otto, καίει αέρια καύσιμα και, όταν εργάζεται κάτω από τον κύκλο ντίζελ, καίει υγρά καύσιμα. Πρόκειται για το είδος του κινητήρα που θεωρείται τοποθετείται σε νέα πλοία που ταξιδεύουν στον ωκεανό, διότι επιτρέπει την απόκτηση περισσότερων επιλογών καυσίμου και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς του IMO σχετικά με τις περιοχές ελέγχου της περιεκτικότητας σε θείο και των εκπομπών. Ο διπλός κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για πρόωση είτε ως genset. Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση ενός τέτοιου κινητήρα είναι τα παρακάτω (Woodyard, 2009):

1. **Μείωση εκπομπών οξειδίου του θείου:** Οι κινητήρες διπλού καυσίμου είναι σε θέση να λειτουργούν με LNG, το οποίο περιέχει ελάχιστο θείο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα. Αυτό οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών SO_x , που είναι υπεύθυνες για την όξινση των βροχών και την ατμοσφαιρική ρύπανση.
2. **Μείωση εκπομπών οξειδίου του αζώτου:** Αν και οι κινητήρες DF παράγουν μικρές ποσότητες NO_x κατά την καύση του LNG, η ποσότητα αυτή είναι χαμηλότερη σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες που λειτουργούν με πετρέλαιο. Τα NO_x είναι επιβλαβή για την ποιότητα του αέρα και μπορούν να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα και να συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

3. **Μείωση εκπομπών σωματιδίων:** Η καύση υγραερίου φυσικού αντιστοιχεί σε μικρότερη ποσότητα σωματιδίων στα εκπεμπόμενα αέρια, καθιστώντας τους κινητήρες αυτού του τύπου πιο φιλικούς προς το περιβάλλον.
4. **Ελαχιστοποίηση εκπομπών CO₂:** Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να προσφέρουν και μια ελαφρώς μειωμένη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τους παραδοσιακούς κινητήρες, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές CO₂, που είναι υπεύθυνες για την αλλαγή του κλίματος και την παγκόσμια θέρμανση.
5. **Συμμόρφωση με νέες ρυθμίσεις:** Οι κινητήρες διπλού καυσίμου πλοίων είναι σχεδιασμένοι για να πληρούν τις πρόσφατες και αυστηρότερες ρυθμίσεις περί εκπομπών αερίων που έχουν θεσπιστεί σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ωστόσο, παρόλα αυτά τα πλεονεκτήματα, η μετάβαση στη χρήση κινητήρων διπλού καυσίμου στα πλοία απαιτεί κάποιες επενδύσεις σε υποδομές και κόστος για τον εφοδιασμό των πλοίων με LNG, κάτι που μπορεί να αποτρέψει μερικούς εφοδιαστές πλοίων από την υιοθέτηση αυτής της νέας τεχνολογίας. Σε κάθε περίπτωση, με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, η τεχνολογία αυτή αναμένεται να γίνει όλο και πιο δημοφιλής στον τομέα της ναυτιλίας (Woodyard, 2009).

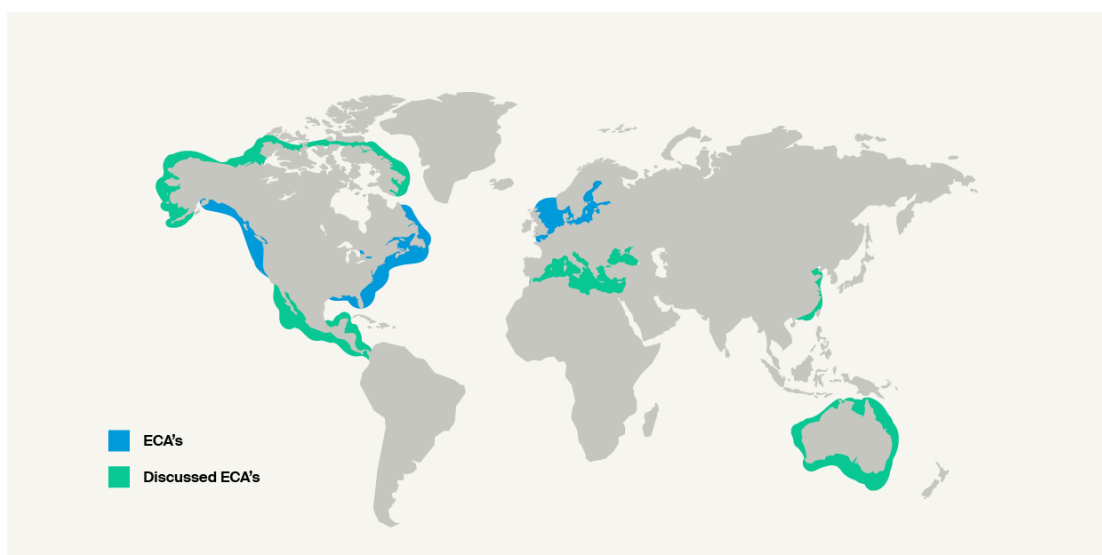
1.3 Παγκόσμιοι και ευρωπαϊκοί κανονισμοί για τις εκπομπές ρύπων της ναυτιλίας

Οι εκπομπές ρύπων από τη ναυτιλία έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων, καθώς συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την κλιματική αλλαγή. Για να αντιμετωπίσουν αυτά τα προβλήματα, έχουν θεσπιστεί διάφοροι παγκόσμιοι και ευρωπαϊκοί κανονισμοί για τις εκπομπές ρύπων της ναυτιλίας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) είναι ο κύριος οργανισμός που θεσπίζει κανονισμούς για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Οι βασικοί κανονισμοί της IMO περιλαμβάνονται στο Παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL). Το Παράρτημα VI του MARPOL περιλαμβάνει μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών θείου από τα καύσιμα πλοίων, των αιωρούμενων σωματιδίων και των αερίων ρύπων, όπως τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα αέρια του θερμοκηπίου,

συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (IMO: Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας 2020).

Επιπλέον, η IMO έχει θεσπίσει τις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (Emission Control Areas - ECAs), οι οποίες απαιτούν αυστηρότερους περιορισμούς στις εκπομπές θείου και NO_x σε συγκεκριμένες περιοχές με την οδηγία 2012/33 /ΕΕ. Αυτή η περιβαλλοντική πρωτοβουλία επεκτείνεται και στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), ουσιών που καταστρέφουν το όζον (ODS) και αιωρούμενων οργανικών ενώσεων (VOC). Οι κυρίες περιοχές είναι η Περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας, η περιοχή της Βόρειας Θάλασσας, η Περιοχή της Καραϊβικής Θάλασσας των Ηνωμένων Πολιτειών (κοντά στο Πουέρτο Ρίκο και Αμερικάνικες Παρθένοι Νήσοι) Περιοχή της Βόρειας Αμερικής (που καλύπτει καθορισμένες παραλιακές περιοχές του Ειρηνικού και του Ατλαντικού των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά, συμπεριλαμβανομένης της Χαβάης) (εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Χάρτης με τις περιοχές ελέγχου εκπομπών (πηγή: Kuehne Nagel International AG 2020)

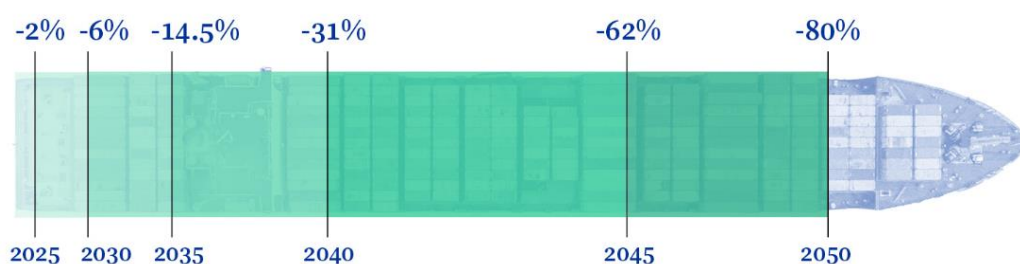
Στο επίπεδο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), η νομοθεσία για τις εκπομπές ρύπων της ναυτιλίας είναι επιπρόσθετα ρυθμισμένη. Η ΕΕ έχει θεσπίσει τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/757 για την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία, γνωστός ως κανονισμός MRV (Monitoring, Reporting, Verification). Ο κανονισμός αυτός απαιτεί από τα πλοία που φορτίζουν ή ξεφορτώνουν φορτίο σε

λιμάνια της ΕΕ να παρακολουθούν, να αναφέρουν και να επαληθεύουν τις εκπομπές CO₂ και τα ενεργειακά δεδομένα.

Η ΕΕ έχει επίσης υιοθετήσει τον κανονισμό (ΕΕ) 2016/1628(πηγή: Commission Implementing Regulation (EU) 2016) σχετικά με τις εκπομπές από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης που τοποθετούνται στα πλοία και προσωρινά εγκαταστάσεις στην ξηρά και στις υποδομές των λιμανιών. Αυτός ο κανονισμός καθορίζει όρια για τις εκπομπές NO_x και άλλων ρύπων, καθώς και προδιαγραφές για τη δοκιμή και την πιστοποίηση των κινητήρων.

Η ΕΕ υποστηρίζει επίσης την εφαρμογή των υφιστάμενων διεθνών κανονισμών και την ανάπτυξη νέων μέτρων μέσω της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (ΕΕΑ: European Environment Agency) και του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου. Παραδείγματα πρωτοβουλιών περιλαμβάνουν την προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων, η οδηγία της ΕΕ 2014/94/ΕΕ(πηγή: Κανονισμός Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου 2021) θεσπίζει ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη υποδομής για εναλλακτικά καύσιμα, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) και το υγραέριο (LPG), με σκοπό τη μείωση των εκπομπών ρύπων και τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας

Τέλος Η πρωτοβουλία FuelEU Maritime, που αποτελεί μέρος του Fit for 55 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στοχεύει στην αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων και χαμηλών εκπομπών καυσίμων, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τον ναυτιλιακό τομέα, ενώ παράλληλα διατηρεί την απρόσκοπτη λειτουργία των θαλάσσιων μεταφορών και αποφεύγει στρεβλώσεις στην εσωτερική αγορά. Αυτό θα συμβάλει στην επίτευξη των κλιματικών στόχων της ΕΕ για το 2030 και το 2050.



Εικόνα 1.2: Ετήσια μέση μείωση της έντασης του άνθρακα σε σύγκριση με τον μέσο όρο το 2020(Πηγή: Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, πρόγραμμα Fit for 55 2020)

Το κείμενο της προσωρινής συμφωνίας διατηρεί τις βασικές ιδέες της πρότασης της Επιτροπής, με ορισμένες τροποποιήσεις που περιλαμβάνουν: εξαιρέσεις για απόκεντρες περιοχές και μικρά νησιά, μειωτικοί παράγοντες για πλοία πάγου, αυξημένοι στόχοι μείωσης εκπομπών, υποστήριξη ανανεώσιμων καυσίμων μη βιολογικής προέλευσης (RFNBO), τροποποιήσεις στην ηλεκτρική τροφοδότηση από ξηράς (OPS) και τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών, εξαίρεση ορυκτών καυσίμων από τη διαδικασία πιστοποίησης, βελτίωση της διαδικασίας πιστοποίησης καυσίμων, τροποποίηση των διατάξεων σχετικά με τα έσοδα που προκύπτουν από κυρώσεις και την επένδυσή τους σε έργα για την υποστήριξη της απαλλαγής του ναυτιλιακού τομέα από τις ανθρακούχες εκπομπές. (Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, πρόγραμμα Fit for 55 2020)

Στη συνέχεια, η προσωρινή πολιτική συμφωνία πρέπει να εγκριθεί επίσημα και από τους δύο. Η σουηδική Προεδρία σκοπεύει να υποβάλει το κείμενο στους αντιπροσώπους των κρατών μελών το συντομότερο δυνατόν, ώστε να εγκριθεί επίσημα από το Συμβούλιο σε μια επόμενη συνεδρίαση.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η εφαρμογή και η επιτυχία αυτών των κανονισμών εξαρτώνται από τη συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών, των φορέων της ναυτιλίας και των διεθνών οργανισμών. Πέραν των νομοθετικών πρωτοβουλιών, η ευαισθητοποίηση και η εκπαίδευση των εμπλεκόμενων μελών, καθώς και η κοινή δέσμευση για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης της ναυτιλίας και τη μείωση των εκπομπών ρύπων.

Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η συνοχή των πολιτικών και των κανονισμών για τις εκπομπές ρύπων της ναυτιλίας, είναι επίσης σημαντικό να υπάρχει συντονισμός και συνεργασία μεταξύ των διαφόρων διεθνών και περιφερειακών φορέων, όπως η IMO, η ΕΕ, η Ένωση για τη Μεσόγειο και άλλες περιφερειακές οργανώσεις. Η ανταλλαγή γνώσεων, η τεχνική συνεργασία και η κοινή ανάπτυξη προτύπων και καλύτερων πρακτικών μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη των στόχων περιβαλλοντικής προστασίας και βιώσιμης ανάπτυξης.

Συνοψίζοντας, η διεθνής και ευρωπαϊκή νομοθεσία για τις εκπομπές ρύπων της ναυτιλίας προσπαθεί να αντιμετωπίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τομέα, προωθώντας τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την καινοτομία και τη χρήση καθαρών τεχνολογιών.

Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση των αρχών της κυκλικής οικονομίας και της αειφορίας στις διαδικασίες σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας των πλοίων μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών ρύπων και στη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα της ναυτιλίας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση των υλικών, τη χρήση βιοδιασπώμενων και φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και καυσίμων, καθώς και την εφαρμογή τεχνολογιών που μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λειτουργιών των πλοίων. (πηγή: European Commission: Brussels, Belgium, 2016)

Κεφάλαιο 2ο: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην ναυτιλία

2.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια έχει παίξει καθοριστικό ρόλο ως κύρια πηγή ενέργειας για την ανθρώπινη κοινωνία για μια εκτεταμένη περίοδο. Επί του παρόντος, η ηλιακή ενέργεια βρίσκει εκτεταμένες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ηλιακής ενέργειας, της παροχής θέρμανσης για κτίρια και της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για διαστημόπλοια.

Αυτή η ενέργεια αξιοποιείται μέσω ηλιακών συλλεκτών, που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Ενώ η χρήση ηλιακών συλλεκτών στα πλοία δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένη, έχουν γίνει αρκετές εγκαταστάσεις τα τελευταία χρόνια (Dewi, 2022; Zakiah & Selasдини, 2023). Τα ηλιακά πάνελ είναι προσαρμόσιμα για πλοία όλων των ηλικιών, ιδιαίτερα εκείνα που λειτουργούν σε ηλιόλουστες περιοχές. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η εφαρμογή ενός συστήματος ηλιακών πάνελ απαιτεί μια σημαντική περιοχή εγκατάστασης, η οποία μπορεί να περιορίσει τη σκοπιμότητά του σε πλοία με διαθέσιμο χώρο στο κατάστρωμα.

Ο πρωταρχικός σκοπός της εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών σε πλοία είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η συμπλήρωση της ισχύος εξόδου των γεννητριών ντίζελ, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από αυτές τις μονάδες. Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας μπορούν να παράγουν ενέργεια τόσο στη θάλασσα όσο και στο λιμάνι, αλλά περιορίζονται στις ώρες της ημέρας. Επιπλέον, μπορούν να παράγουν ισχύ ακόμη και κάτω από συννεφιασμένες συνθήκες, αν και με μειωμένη χωρητικότητα.

Η απόδοση της δέσμευσης ηλιακής ενέργειας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Πρώτον, η γωνία με την οποία το ηλιακό φως χτυπά την επιφάνεια της Γης παίζει καθοριστικό ρόλο, που κυμαίνεται από 00 (ακριβώς πάνω από τον ορίζοντα) έως 900 (απευθείας πάνω). Η μέγιστη δέσμευση ενέργειας συμβαίνει όταν το φως του ήλιου είναι κατακόρυφο, ενώ το λοξό ηλιακό φως οδηγεί σε λιγότερο αποτελεσματική απορρόφηση ενέργειας λόγω της αυξημένης διασποράς και διασποράς στην ατμόσφαιρα. Δεύτερον, η περιστροφή της Γης γύρω από τον ήλιο έχει ως αποτέλεσμα ποικίλη ένταση ηλιακού φωτός, με μεγαλύτερη εγγύτητα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρά του χειμώνα. Στις τροπικές περιοχές, το φως του ήλιου είναι πιο έντονο σε σύγκριση με τις υποτροπικές περιοχές, όπου επικρατεί σταθερή ηλιοφάνεια όλο το χρόνο. Τέλος, η περιστροφή της Γης επηρεάζει τη διάρκεια της έκθεσης στο ηλιακό φως, με ασθενέστερο ηλιακό φως το πρωί ή το απόγευμα σε σύγκριση με το μεσημέρι (Arief & Fathalah, 2022b; Dewi, 2022; Zakiah & Selasдини, 2023).

Η ηλιακή ενέργεια προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Πρώτον, είναι σχεδόν χωρίς κόστος μόλις γίνει η αρχική επένδυση κεφαλαίου. Σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια δεν απαιτεί συνεχείς δαπάνες για καύσιμα όπως πετρέλαιο, άνθρακας ή φυσικό αέριο. Αυτή η πτυχή την καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, ειδικά στο πλαίσιο των υψηλών τιμών του πετρελαίου. Δεύτερον, η ηλιακή ενέργεια είναι ένας ανανεώσιμος πόρος, που εξασφαλίζει συνεχή και ανεξάντλητη παροχή σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Τρίτον, η ηλιακή ενέργεια είναι φιλική προς το περιβάλλον, παράγει ελάχιστη ρύπανση και συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η ηλιακή ενέργεια έχει και τους περιορισμούς της. Πρώτον, είναι σχετικά ασταθής, υπόκειται σε διακυμάνσεις που επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών, της γεωγραφικής θέσης και των ημερήσιων διακυμάνσεων του ηλιακού φωτός. Δεύτερον, η ηλιακή ενέργεια έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία μπορεί να περιορίσει την ικανότητά της να παρέχει υψηλή ισχύ εξόδου. Τρίτον, η μεταβαλλόμενη ακτινοβολία του ηλιακού φωτός λόγω γεωγραφικών και κλιματικών παραγόντων θέτει προκλήσεις στη συνεπή χρήση (Arief & Fathalah, 2022b; Bach & Hansen, 2023; Dewi, 2022).

Ωστόσο, τα ηλιακά πάνελ, αρχικά σχεδιασμένα για χειρσαίες εφαρμογές, βρίσκουν όλο και περισσότερο χρήση στη ναυτιλιακή βιομηχανία, ιδιαίτερα σε σκάφη με χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος, όπως τα αλιευτικά σκάφη. Για παράδειγμα, ένας Βέλγος μηχανικός έχει μετατρέψει με επιτυχία τα παραδοσιακά αλιευτικά σκάφη σε σκάφη με ηλιακή ενέργεια, επιδεικνύοντας τη συγχώνευση παλαιών παραδόσεων κατασκευής σκαφών με τεχνολογία αιχμής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το εναρκτήριο σκάφος τους με ηλιακή ενέργεια ολοκλήρωσε ένα αξιοσημείωτο ταξίδι 2.000 km γύρω από την Ινδονησία χωρίς τη χρήση ούτε μίας σταγόνας βενζίνης (Arief & Fathalah, 2022b; Dewi, 2022).

2.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια, μια άλλη πολλά υποσχόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, βασίζεται στην κίνηση του αέρα, με τον άνεμο να πνέει από περιοχές υψηλής πίεσης σε περιοχές χαμηλής πίεσης. Οι διακυμάνσεις της πίεσης του αέρα στην ατμόσφαιρα καθιστούν τον άνεμο βιώσιμο ενεργειακό πόρο. Η χρήση του χρονολογείται από τον 18ο αιώνα όταν χρησιμοποιήθηκε για δραστηριότητες όπως το άλεσμα σιταριού και η άρδευση. Το 1887, η ανεμογεννήτρια προσαρμόστηκε για πρώτη φορά για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, μια τάση που συνεχίζεται μέχρι σήμερα.

Η θεμελιώδης αρχή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια περιλαμβάνει τη χρήση της κινητικής ενέργειας του ανέμου για την περιστροφή των πτερυγίων ενός ανεμόμυλου, η οποία στη συνέχεια μεταδίδεται στη γεννήτρια που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ανεμόμυλου, παράγοντας τελικά ηλεκτρική ενέργεια.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες αξιοποιούν τον άνεμο για να θέσουν σε κίνηση τα πτερύγια του δρομέα τους, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε περιστροφική ενέργεια. Αυτή η περιστροφική ενέργεια μεταδίδεται μέσω ενός άξονα στη γεννήτρια, όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Δύο κύριοι τύποι ανεμογεννητριών είναι οι τουρμπίνες οριζόντιου άξονα (HAWT) και οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα (VAWT). Τα HAWT έχουν οριζόντια προσανατολισμένους περιστρεφόμενους άξονες και τυπικά διαθέτουν τρεις λεπίδες, σχεδιασμένες να βλέπουν στον άνεμο. Τα VAWT, από την άλλη πλευρά, έχουν κάθετα

ευθυγραμμισμένους περιστρεφόμενους άξονες και αξιοποιούν την κινητική ενέργεια από διαφορετική κατεύθυνση. Εκτός από αυτά, υπάρχουν διάφορες άλλες επαναλήψεις τουρμπίνας άξιες εξερεύνησης (Zakiah & Selasdini, 2023).

Χρήση αιολικής ενέργειας στην ναυτία

1. **Αιολικά πανιά (Sails):** Η παραδοσιακή μέθοδος χρήσης της αιολικής ενέργειας στη ναυτιλία είναι η χρήση αιολικών πανιών. Τα πανιά τοποθετούνται στο πλοίο και εκμεταλλεύονται τη δύναμη του ανέμου για την προώθησή του.
2. **Αιολικές τουρμπίνες (Wind Turbines):** Η εγκατάσταση μικρών αιολικών τουρμπινών στα πλοία μπορεί να παρέχει επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών και του εξοπλισμού τους.
3. **Ανεμογεννήτριες στην ακτή:** Μερικά λιμάνια ή παράκτιες περιοχές έχουν εγκαταστήσει ανεμογεννήτριες στην ακτή για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία που δένουν εκεί.
4. **Αιολικές προωθητικές συσκευές (Wind Assist Propulsion Systems):** Αυτές οι συσκευές είναι εγκατεστημένες στο πλοίο και χρησιμοποιούν τη δύναμη του ανέμου για να βοηθήσουν στην προώθησή του, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμων.

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα και είναι μια αποτελεσματική επιλογή για πολλές περιοχές, καθώς δεν βασίζεται στην άμεση έκθεση στο ηλιακό φως όπως η ηλιακή ενέργεια. Μερικά βασικά πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνουν (Bach & Hansen, 2023):

Οικονομική απόδοση: Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν αποκλειστικά με αιολική ενέργεια, εξαιρίζοντας την ανάγκη για καύσιμα. Μόλις εγκατασταθεί ο στρόβιλος, δεν απαιτεί συνεχή σύνδεση καυσίμου ή ισχύος, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας.

Φιλικότητα προς το περιβάλλον: Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις πιο καθαρές πηγές ενέργειας, καθώς δεν βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα τη μείωση

των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Τεχνολογικές εξελίξεις: Οι συνεχιζόμενες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των σχεδίων ανεμογεννητριών. Οι τουρμπίνες είναι πλέον διαθέσιμες σε μεγάλη γκάμα μεγεθών, επεκτείνοντας τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε διάφορες επιχειρήσεις και ιδιώτες για οικιακή χρήση. Αυτές οι τεχνολογικές βελτιώσεις οδηγούν σε αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης και πιο αθόρυβη, ασφαλέστερη λειτουργία.

Ελάχιστος αντίκτυπος στην αγροτική γη: Οι προμηθευτές ενέργειας μπορούν να τοποθετήσουν στρατηγικά ανεμογεννήτριες σε προϋπάρχουσες γεωργικές εκτάσεις, συχνά συνάπτοντας συμβάσεις ή μισθώσεις με ιδιοκτήτες αγροκτημάτων για χρήση γης. Αυτή η προσέγγιση ελαχιστοποιεί τη διακοπή των γεωργικών εργασιών.

Συνοπτικά, η αιολική ενέργεια, που παράγεται από την αξιοποίηση της ισχύος του ανέμου, έχει εξελιχθεί σε βιώσιμη και αποδοτική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, προσφέροντας πολυάριθμα οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της οικονομικής απόδοσης, της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, των τεχνολογικών εξελίξεων και της ελάχιστης παρέμβασης στις εργασίες γεωργικής γης.

Μεταξύ 2010 και 2020, το παγκόσμιο σταθμισμένο μέσο ισοπεδωμένο κόστος ενέργειας (LCOE) για την υπεράκτια αιολική ενέργεια παρουσίασε σημαντική μείωση 48%, μειώνοντας από 0,162 USD ανά κιλοβατώρα (kWh) σε 0,084 USD/kWh. Το 2020, σημειώθηκαν σταθερές μειώσεις από έτος σε έτος κατά 9%. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα δημοπρασιών και διαγωνισμών δείχνουν ότι από το 2023, το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας θα μειωθεί περαιτέρω, κυμαινόμενο από 0,05 USD/kWh έως 0,10 USD/kWh. Είναι αξιοσημείωτο ότι ακόμη και σχετικά νέες αγορές μπορούν να επιτύχουν αυτό το επίπεδο κόστους.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο σε αυτή τη μείωση του κόστους. Αυτές οι εξελίξεις περιλαμβάνουν τη χρήση μεγαλύτερων στροβίλων, μακρύτερων πτερυγίων με αυξημένο ύψος πλήμνης και βελτιωμένη πρόσβαση σε αιολικούς πόρους. Για παράδειγμα, τα αιολικά πάρκα που βρίσκονται μακρύτερα από την ακτογραμμή αξιοποιούν τους υπεράκτιους ανέμους πιο αποτελεσματικά. Αυτή η πρόοδος οδήγησε σε βελτίωση του παγκόσμιου σταθμισμένου παράγοντα χωρητικότητας, ο οποίος αυξήθηκε από 38% το 2010 σε 45% το 2017. Ωστόσο,

παρουσίασε μια ελαφρά πτώση στο 40% το 2020, κυρίως λόγω της διευρυμένης παρουσίας της Κίνας στον κόσμο διανομή υπεράκτιων αιολικών πόρων

2.3 Βιοκαύσιμα

Η χρήση βιοκαυσίμων ή μιγμάτων βιοκαυσίμων αποτελεί μία από τις στρατηγικές συμμόρφωσης με τους στόχους του IMO για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) από τα θαλάσσια πλοία. Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για αυτά τα εναλλακτικά καύσιμα και τρεις διαφορετικοί τύποι βιοκαυσίμων έχουν σημασία για τον ναυτιλιακό τομέα:

FAME (Μεθυλεστέρας Λιπαρού Οξέος): Το βιοκαύσιμο FAME προέρχεται από πηγές όπως φυτικά έλαια, ζωικά λίπη ή απόβλητα μαγειρικά έλαια μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως μετεστεροποίησης. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, διάφορα έλαια (τριγλυκερίδια) μετατρέπονται σε μεθυλεστέρες. Αυτό το βιοκαύσιμο είναι το πιο άμεσα διαθέσιμο και συχνά αναμειγνύεται με το παραδοσιακό ναυτικό ντίζελ. Τα διεθνή πρότυπα που ισχύουν περιλαμβάνουν τα ISO 8217:2017, EN 14214, ASTM D6751 και EN 590 (DNV office, 2023).

Καύσιμα BTL (Βιομάζα σε Υγρό): Τα καύσιμα BTL είναι συνθετικά και παράγονται από βιομάζα μέσω θερμοχημικής μετατροπής χρησιμοποιώντας είτε τη διαδικασία Fischer-Tropsch είτε τη διαδικασία μεθανόλης σε βενζίνη. Το τελικό προϊόν μπορεί να διαφέρει χημικά από τα συμβατικά καύσιμα όπως η βενζίνη ή το ντίζελ, αλλά μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες ντίζελ. Τα σχετικά διεθνή πρότυπα περιλαμβάνουν τα EN 16709 και EN 15940.

HVO/HDRD (Hydrogenated Vegetable Oil / Hydrogenation Derived Renewable Diesel): Το HVO/HDRD παράγεται από λίπη ή φυτικά έλαια, είτε μόνα τους είτε αναμειγμένα με πετρέλαιο, μέσω μιας διαδικασίας υδρογονοκατεργασίας που ονομάζεται υδροεπεξεργασία λιπαρών οξέων σε υδρογονάνθρακα. Το ντίζελ που παράγεται χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο αναφέρεται συνήθως ως ανανεώσιμο ντίζελ για να διακρίνεται από το βιοντίζελ FAME. Το HVO/HDRD μπορεί να εισαχθεί απευθείας στις εγκαταστάσεις διανομής και ανεφοδιασμού καυσίμων καθώς και σε υπάρχοντες κινητήρες ντίζελ χωρίς να απαιτούνται περαιτέρω τροποποιήσεις. Τα

διεθνή πρότυπα για αυτό το βιοκαύσιμο καθορίζονται στο ASTM D 975 (DNV office, 2023).

Επί του παρόντος, τα βιοκαύσιμα FAME κατέχουν την πιο εξέχουσα θέση στις θαλάσσιες εφαρμογές. Χρησιμοποιείται είτε ως μέρος μιγμάτων με συμβατικά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο είτε ως 100% βιοκαύσιμο.

Τα βιοκαύσιμα και ο αντίκτυπός τους στους κανονισμούς GHG:

Η χρήση βιοκαυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των μιγμάτων βιοκαυσίμων, είναι μια μέθοδος ευθυγράμμισης με τη στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί EEXI και EEDI λαμβάνουν υπόψη την προσέγγιση από τη δεξαμενή σε αφύπνιση και ως εκ τούτου, η χρήση βιοκαυσίμων δεν επηρεάζει άμεσα αυτούς τους δείκτες.

Για τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII), θα πρέπει να ακολουθείται η μεθοδολογία υπολογισμού που περιγράφεται στις οδηγίες του IMO και υποστηρίζεται από τη διοίκηση της σημαίας του σκάφους και τον αναγνωρισμένο οργανισμό (RO) που χειρίζεται το Σύστημα Συλλογής Δεδομένων του IMO (DCS) και την επαλήθευση CII. Εάν χρησιμοποιούνται βιοκαύσιμα και δεν καλύπτονται από τις υφιστάμενες κατευθυντήριες γραμμές, πρέπει να ληφθεί ένας συντελεστής μετατροπής (Cf) από τον προμηθευτή μαζούτ, που να υποστηρίζεται από αποδεικτικά στοιχεία. Η αποδοχή τέτοιων μη τυπικών προσεγγίσεων υπόκειται στην έγκριση της διοίκησης του κράτους σημαίας και μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη μείωση της τιμής CII (DNV office, 2023).

Όσον αφορά τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/757 για την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση (MRV) της ΕΕ, τα βιοκαύσιμα θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο Σχέδιο παρακολούθησης MRV του πλοίου μαζί με μια προτεινόμενη μέθοδο για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπών CO₂ για βιοκαύσιμα και μείγματα βιοκαυσίμων. Αυτό το αναθεωρημένο σχέδιο θα υποβληθεί στη συνέχεια σε έλεγχο και αποδοχή από Διαπιστευμένο Επαληθευτή, όπως η DNV, για συμμόρφωση.

Η επίδραση των βιοκαυσίμων στους κανονισμούς NO_x στο Παράρτημα VI του IMO MARPOL

Σε μια σημαντική εξέλιξη στις 10 Ιουνίου 2022, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος ενέκρινε Ενοποιημένες Ερμηνείες (UIs) για τον Κανονισμό 18.3 του

Παραρτήματος VI MARPOL, που εξορθολογίζουν την υιοθέτηση βιοκαυσίμων στα πλοία. Η συναίνεση τώρα γενικά υποστηρίζει ότι οι κινητήρες ντίζελ πλοίων, οι οποίοι είναι πιστοποιημένοι σύμφωνα με τον κανονισμό 13 του παραρτήματος VI MARPOL, θα πρέπει να επιτρέπεται να χρησιμοποιούν τα περισσότερα υγρά βιοκαύσιμα χωρίς την απαίτηση για δοκιμές εκπομπών επί του σκάφους.

Αυτή η απλούστευση εξαλείφει την ανάγκη αναζήτησης εξαιρέσεων όπως ορίζεται στον κανονισμό 3 του παραρτήματος VI MARPOL για δοκιμές βιοκαυσίμων και ακυρώνει την ανάγκη τήρησης της διαδικασίας ισοδυναμίας που περιγράφεται στον κανονισμό 4 του παραρτήματος VI της σύμβασης MARPOL (DNV office, 2023).

Αντίθετα, μια αυτοαξιολόγηση, σύμφωνα με τη Διαδικασία επαλήθευσης επί του σκάφους (που περιγράφεται στο ειδικό τεχνικό αρχείο για τον κινητήρα), χρησιμεύει ως επαρκής απόδειξη ότι τα βιοκαύσιμα δεν θα οδηγήσουν σε έναν κινητήρα να ξεπεράσει το σχετικό όριο εκπομπών NO_x.

Τεχνικά ζητήματα και προκλήσεις εν πλω (DNV office, 2023):

Μικροβιακή ανάπτυξη: Η χρήση βιοκαυσίμων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη βακτηρίων και μούχλας, προκαλώντας δυνητικά μπλοκαρίσματα σε φίλτρα και συστήματα σωληνώσεων.

Αποικοδόμηση οξυγόνου: Το βιοντίζελ μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό εναποθέσεων εντός των σωληνώσεων και των κινητήρων, θέτοντας δυνητικά σε κίνδυνο τη λειτουργική απόδοση.

Ζητήματα χαμηλής θερμοκρασίας: Τα αυξημένα σημεία νέφωσης των βιοκαυσίμων θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε φράξιμο του φίλτρου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Διάβρωση: Ορισμένοι τύποι εύκαμπτων σωλήνων και παρεμβυσμάτων μπορεί να αλλοιωθούν όταν εκτεθούν σε βιοκαύσιμα, οδηγώντας ενδεχομένως σε απώλεια ακεραιότητας και αλληλεπιδράσεις με μεταλλικά υλικά, σχηματίζοντας εναποθέσεις.

Αποικοδόμηση εξαρτημάτων από καουτσούκ: Είναι σημαντικό να αξιολογείται η συμβατότητα των ελαστικών στεγανοποιήσεων, των παρεμβυσμάτων και των εύκαμπτων σωλήνων όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα.

Επιπτώσεις μετατροπής: Κατά τη μετάβαση από το ντίζελ στο βιοκαύσιμο, τα φίλτρα καυσίμου μπορεί να φράξουν, κάτι που απαιτεί προσοχή.

2.4 Υδρογόνο

Το πράσινο υδρογόνο έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στις προσπάθειες της ναυτιλιακής βιομηχανίας για απαλλαγή από τον άνθρακα. Το υδρογόνο (H_2) που παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης στερείται εντελώς εκπομπών άνθρακα και υπόσχεται να γίνει ευρέως προσβάσιμο παγκοσμίως, είτε ως καύσιμο πλοίων είτε ως κρίσιμος διευκολυντής για συνθετικά καύσιμα. Ενώ πολλοί στον ναυτιλιακό τομέα αναγνωρίζουν τις δυνατότητες του υδρογόνου, υπάρχουν σημαντικά εμπόδια όταν πρόκειται για την εφαρμογή της τεχνολογίας υδρογόνου (H_2).

Το 1838, ο Ελβετός επιστήμονας Christian Friedrich Schönbein έκανε τις θεμελιώδεις ανακαλύψεις που θα οδηγούσαν στην ανάπτυξη της κυψέλης καυσίμου. Βασιζόμενος στο έργο του Schönbein, ο Sir William Grove διεξήγαγε περαιτέρω έρευνα το 1939, με επίκεντρο την ηλεκτρολυτική αρχή της ακούσιας αντιστροφής του νερού (Boudghene Stambouli & Traversa, 2002).

Οι κυψέλες καυσίμου (FC) είναι συσκευές σχεδιασμένες να μετατρέπουν τη χημική ενέργεια από καύσιμα, όπως το υδρογόνο, το οποίο αντιδρά άμεσα με το οξυγόνο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι θεωρητικά και πρακτικά ικανά να επιτύχουν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα απόδοσης από τις παραδοσιακές πηγές παραγωγής ενέργειας (Sayed et al., 2019). Επιπλέον, οι FC διαθέτουν μικρότερο Σχέδιο Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (EIS) σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες και χαρακτηρίζονται από το συμπαγές μέγεθος, την αθόρυβη λειτουργία και τη βελτιωμένη απόδοση (Abdelkareem et al., 2019).

Οι κυψέλες καυσίμου κατηγοριοποιούνται με βάση την επιλογή ηλεκτρολύτη και καυσίμου. Επί του παρόντος, χρησιμοποιούνται έξι κύριοι τύποι κυψελών καυσίμου (Qazi, 2022):

Κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC):

(α) Κυψέλη καυσίμου απευθείας μυρμηκικού οξέος (DFAFC)

(β) Άμεση κυψέλη καυσίμου αιθανόλης (DEFC)

Αλκαλικό στοιχείο καυσίμου (AFC):

(α) Κεραμική κυψέλη καυσίμου πρωτονίων (PCFC)

(β) Κυψέλη καυσίμου απευθείας βοροϋδριδίου (DBFC)

Κυψ

έλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)

Κυψέλη καυσίμου λιωμένου ανθρακικού (MCFC)

Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)

Άμεση κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC)

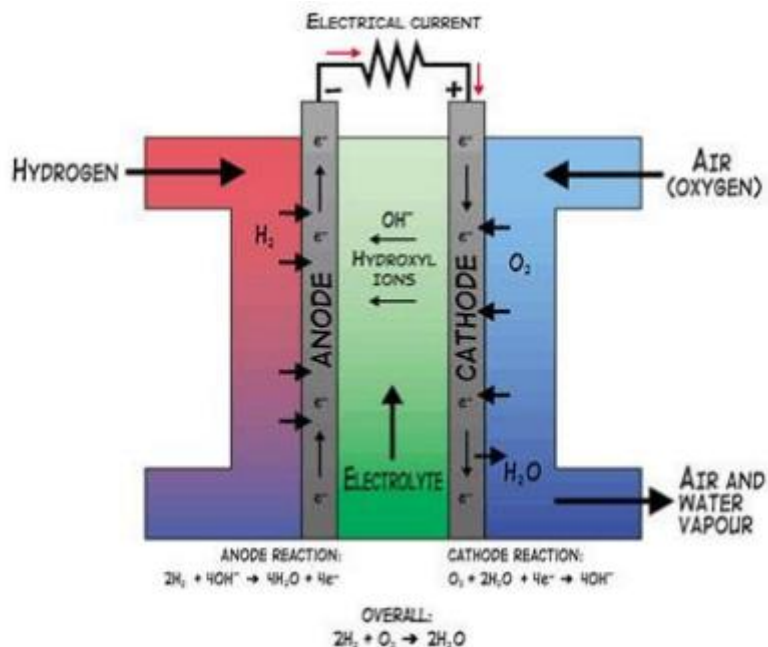
Αυτοί οι τύποι κυψελών καυσίμου μπορούν επίσης να ταξινομηθούν περαιτέρω με βάση τη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Ορισμένα λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 50°C έως 250°C, όπως τα PEMFC, AFC και PAFC, ενώ άλλα απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας εντός της περιοχής από 650°C έως 1000°C, όπως το MCFC και το SOFC.

Η θεμελιώδης ιδέα πίσω από μια κυψέλη καυσίμου υδρογόνου περιλαμβάνει τη μετατροπή της χημικής ενέργειας που αποθηκεύεται στο καύσιμο υδρογόνου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας (Hernández-Moro & Martínez-Duart, 2013). Αυτή η διαδικασία συνεπάγεται την αντίδραση του καυσίμου υδρογόνου με το οξυγόνο από την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και νερού ως το μοναδικό υποπροϊόν (Talluri et al., 2016).

Στον πυρήνα μιας κυψέλης καυσίμου υδρογόνου βρίσκεται ένα συγκρότημα ηλεκτροδίων μεμβράνης (MEA), το οποίο περιλαμβάνει μια μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια: μια άνοδο και μια κάθοδο. Η άνοδος, που λειτουργεί ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, χρησιμεύει ως σημείο εισόδου για το καύσιμο υδρογόνου. Από την άλλη πλευρά, η κάθοδος, ενεργώντας ως θετικό ηλεκτρόδιο, λαμβάνει οξυγόνο από τον αέρα (Arief & Fathalah, 2022a).

Με την εισαγωγή καυσίμου υδρογόνου στην άνοδο, υφίσταται μια καταλυτική διαδικασία, που οδηγεί στη διαίρεση του σε πρωτόνια (H⁺) και ηλεκτρόνια (e⁻) (όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7). Τα πρωτόνια μεταφέρονται στη συνέχεια μέσω του PEM στην κάθοδο, ενώ τα ηλεκτρόνια αναγκάζονται να διασχίσουν ένα εξωτερικό κύκλωμα, δημιουργώντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Στην κάθοδο, τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο από τον περιβάλλοντα αέρα εμπλέκονται σε μια χημική αντίδραση, με

αποτέλεσμα το σχηματισμό νερού (H₂O) και την απελευθέρωση θερμότητας (IEA, 2021).



Εικόνα 2: Βασική Αρχή Κυψελών Καυσίμου Υδρογόνου

Η συνολική χημική αντίδραση μέσα σε μια κυψέλη καυσίμου υδρογόνου μπορεί να αναπαρασταθεί συνοπτικά ως εξής:



Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου έχουν συγκεντρώσει μεγάλη προσοχή ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά συστήματα θαλάσσιας πρόωσης, προσφέροντας τη δυνατότητα σημαντικής μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ενίσχυσης της ενεργειακής απόδοσης. Η ενότητα διερευνά τη σκοπιμότητα χρήσης κυψελών καυσίμου υδρογόνου για την προώθηση θαλάσσιων σκαφών, που περιλαμβάνουν πλοία και σκάφη, και διερευνά τα πλεονεκτήματα και τα εμπόδια που συνδέονται με αυτήν την τεχνολογία (Jingang Han et al., 2012).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης κυψελών καυσίμου υδρογόνου σε ναυτιλιακές εφαρμογές είναι η φιλική προς το περιβάλλον φύση τους. Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συνδυάζοντας υδρογόνο και

οξυγόνο, με το νερό να είναι το μοναδικό παραπροϊόν που προκύπτει. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχουν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ή άλλων επιβλαβών ρύπων, που συμβάλλουν στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της ναυτιλιακής βιομηχανίας (Al Hosani et al., 2022). Αυτό είναι ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας, δεδομένου ότι η ναυτιλία αντιπροσωπεύει επί του παρόντος περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γεγονός που την καθιστά σημαντικό συντελεστή στην κλιματική αλλαγή (Winkler, 2009).

Ένα άλλο πλεονέκτημα των κυψελών καυσίμου υδρογόνου έγκειται στην ανώτερη ενεργειακή τους απόδοση. Σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα θαλάσσιας πρόωσης, οι κυψέλες καυσίμου διαθέτουν υψηλότερα επίπεδα απόδοσης, που μεταφράζεται σε μειωμένες απαιτήσεις καυσίμου για την παραγωγή ισοδύναμης ισχύος. Κατά συνέπεια, αυτό οδηγεί σε μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και λειτουργικά έξοδα για τις ναυτιλιακές εταιρείες, ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα δεδομένης της σημαντικής κατανάλωσης καυσίμου των πλοίων (McConnell, 2010).

Εκτός από τα περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα, η χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου μπορεί να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια και να μειώσει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα. Τα ορυκτά καύσιμα είναι επιρρεπή σε διακυμάνσεις των τιμών και διαταραχές στην αλυσίδα εφοδιασμού, γεγονός που μπορεί να έχει σημαντικές οικονομικές και υλικοτεχνικές συνέπειες για τον ναυτιλιακό τομέα. Υιοθετώντας το υδρογόνο ως πηγή καυσίμου, η βιομηχανία μπορεί να μετριάσει την εξάρτησή της από ορυκτά καύσιμα και να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια. Ωστόσο, υπάρχουν αξιοσημείωτες προκλήσεις που σχετίζονται με την ενσωμάτωση κυψελών καυσίμου υδρογόνου σε θαλάσσιες εφαρμογές (Ahmed, 2022).

Μία από τις κύριες προκλήσεις αφορά τις τεχνικές και υλικοτεχνικές πτυχές της παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής υδρογόνου. Το υδρογόνο είναι ένα εξαιρετικά εύφλεκτο αέριο, που απαιτεί εξειδικευμένες εγκαταστάσεις χειρισμού και αποθήκευσης. Η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου για την παραγωγή, αποθήκευση και διανομή υδρογόνου, που περιλαμβάνει την απαιτούμενη υποδομή για τη μεταφορά και αποθήκευση υδρογόνου στα πλοία, αποτελεί μια ουσιαστική πρόκληση που απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και τεχνολογικές προόδους (Vogler & Würsig, 2011).

Μια άλλη πρόκληση περιστρέφεται γύρω από ανησυχίες για την ασφάλεια που συνδέονται με τη χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το υδρογόνο είναι πολύ εύφλεκτο, απαιτεί συγκεκριμένα πρωτόκολλα και πρότυπα ασφαλείας, παράλληλα με εξειδικευμένη εκπαίδευση για το προσωπικό που έχει επιφορτιστεί με την εργασία σε κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (Ahmed, 2022).

Παρά αυτές τις προκλήσεις, έχουν υπάρξει αρκετές επιτυχείς επιδείξεις τεχνολογίας κυψελών καυσίμου υδρογόνου σε θαλάσσιες εφαρμογές (Ahmed et al., 2023). Για παράδειγμα, το 2018, ο κόσμος είδε την εκτόξευση ενός επιβατηγού πορθμείου με κυψέλες καυσίμου στη Νορβηγία, σηματοδοτώντας ένα πρωτοποριακό επίτευγμα. Με το όνομα MF Hydra, αυτό το πλοίο έχει χωρητικότητα 80 επιβατών και μπορεί να πλεύσει με ταχύτητες έως και 10 κόμβους.

Μια άλλη θριαμβευτική επίδειξη της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου υδρογόνου σε θαλάσσια περιβάλλοντα είναι το Energy Observer, ένα καταμαράν που προωθείται από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου και ηλιακούς συλλέκτες. Ξεκινώντας σε μια αποστολή σε όλο τον κόσμο από το 2017, αυτό το σκάφος στοχεύει να υπογραμμίσει τις δυνατότητες της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου υδρογόνου για τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

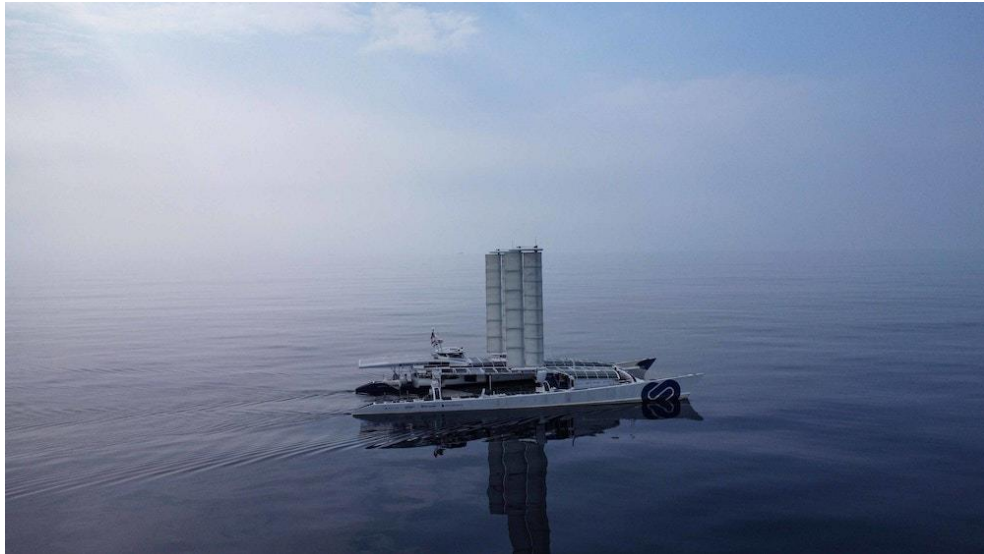
Κεφάλαιο 3ο: Παραδείγματα πλοίων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

3.1 Πλοία με ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η χρήση ηλιακής ενέργειας στη ναυτιλία γίνεται μέσω της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλακών (ή ηλιακών πάνελ) στα πλοία, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία διαφόρων συστημάτων του πλοίου, όπως η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, το σύστημα πλοήγησης, οι επικοινωνίες και ο κλιματισμός.

Ζωντανά παραδείγματα και διάφορα Project:

1. **Energy Observer:** Το Energy Observer είναι ένα γαλλικό καταμαράν που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια και υδρογόνο. Τα ηλιακά πάνελ του πλοίου καλύπτουν μια επιφάνεια 168 τετραγωνικών μέτρων και παράγουν στην μέγιστη απόδοση 28kW ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.1 (Πηγη: Energy Observer Project)

2. **Solarwave 60:** Το Solarwave 60 είναι ένα πολυτελές γιοτ που λειτουργεί αποκλειστικά με ηλιακή ενέργεια. Διαθέτει ηλιακά πάνελ που παράγουν 15kW ηλεκτρικής ενέργειας, καλύπτοντας τις ανάγκες του πλοίου και των επιβατών του.



Εικόνα 3.2 (πηγή: silent 60 yacht project, Silent-yachts)

- 3. MS Tûranor PlanetSolar:** Το MS Tûranor PlanetSolar είναι το πρώτος πλήρως καταμαράν που κινείται μόνο με την χρήση ηλιακής ενέργειας που κατάφερε να περιπλανηθεί γύρω από τον κόσμο. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 2010 και ταξίδεψε γύρω από τον κόσμο μεταξύ 2010 και 2012. Το πλοίο διαθέτει περίπου 537 τετραγωνικά μέτρα φωτοβολταϊκών πλακών, που παράγουν έως και 93kW ηλεκτρικής ενέργειας, ικανή να τροφοδοτήσει τους ηλεκτροκινητήρες του και να καλύψει τις άλλες ενεργειακές ανάγκες του πλοίου.



Εικόνα 3.3 (Πηγή: Ms Tunanor project, Energy obsever)

4. **Solaris Global Cruiser:** Το Solaris Global Cruiser είναι ένα πλοίο που χρησιμοποιεί μόνο ηλιακή ενέργεια με μοναδικό σχεδιασμό που έχει ως στόχο τη μείωση της αντίστασης του αέρα και τη βελτίωση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ. Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με ηλιακά πάνελ επιτρέποντας του να ταξιδέψει χωρίς την ανάγκη για παραδοσιακά καύσιμα.



Εικόνα 3.4 (πηγή: Solaris yacht project, Duffy London)

Η εγκατάσταση ηλιακών πάνελ σε φορτηγά πλοία μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της κατανάλωσης παραδοσιακών καυσίμων και των εκπομπών ρύπων. Ένα παράδειγμα είναι το νορβηγικό φορτηγό πλοίο "Yara Birkeland", το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως το πρώτο ηλεκτρικό, αυτόνομο και χαμηλών εκπομπών φορτηγό πλοίο. Το πλοίο χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια, μπαταρίες και ηλεκτρικούς κινητήρες για την παροχή

ενέργειας, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές CO₂ κατά περίπου 90% σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό φορτηγό πλοίο.



Εικόνα 3.5 (πηγή: Yara Birkeland, Yara)

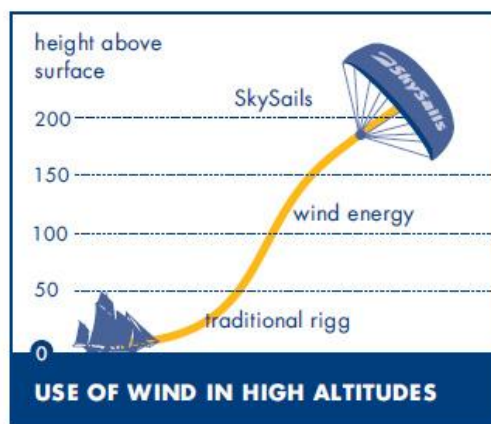
Επιπλέον, η εταιρεία Eco Marine Power στην Φουκουόκα πόλη της Ιαπωνίας ασχολείται με την ανάπτυξη τεχνολογιών για την εφαρμογή ηλιακής ενέργειας σε φορτηγά πλοία. Η εταιρεία έχει αναπτύξει το σύστημα Aquarius Marine Renewable Energy (MRE), που συνδυάζει τη χρήση ηλιακών πάνελ και αιολικής ενέργειας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε φορτηγά πλοία και άλλα μεγάλα σκάφη. Το σύστημα Aquarius MRE περιλαμβάνει ηλιακά πάνελ που τοποθετούνται πάνω στις υποδομές των πλοίων και αιολικές τουρμπίνες, που μπορούν να αναδιπλωθούν κατά τη διάρκεια κακών καιρικών συνθηκών ή όταν δεν χρειάζονται.

3.2 Πλοία που αξιοποιούν την αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο και έχει χρησιμοποιηθεί στη ναυτιλία για χιλιάδες χρόνια. Σήμερα, η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη ναυτιλία με διάφορους τρόπους, όπως:

1. Παραδοσιακά αιολικά πλοία: Τα ιστιοφόρα πλοία χρησιμοποιούν ιστία για να εκμεταλλευτούν τη δύναμη του ανέμου και να κινηθούν. Αυτή η τεχνολογία είναι παλιά αλλά εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, ιδίως για τον αναψυχητικό σκοπό.

2. Ρότορες Flettner: Το πλοίο εξοπλίζεται με κυλινδρικούς αιολικούς ρότορες που λειτουργούν ως κινητήρες και εκμεταλλεύονται τη δύναμη του ανέμου για να παράγουν κίνηση. Αυτές οι ρότορες λειτουργούν με βάση το φαινόμενο Magnus, όπου η περιστροφή των ρότορων δημιουργεί αντίξοο δυναμικό αέρα, που οδηγεί στην κίνηση του πλοίου.
3. Kites: Κάποια πλοία μπορεί να χρησιμοποιήσουν ειδικά σχεδιασμένα kites (γιγάντια υφασμάτινα πανιά) για να εκμεταλλευτούν τη δύναμη του ανέμου και να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου. Τα kites τοποθετούνται σε υψηλότερα σημεία όπου οι άνεμοι είναι πιο ισχυροί και σταθεροί.



Εικόνα 3.6 (Πηγή: Kite από την εταιρία SkySails Marine)

Κάποια πραγματικά παραδείγματα και διαφορά project είναι τα παρακάτω:

1. **Ecoliner:** Το Ecoliner είναι ένα καινοτόμο πλοίο που συνδυάζει παραδοσιακά ιστία με σύγχρονες τεχνολογίες, όπως τα αυτόματα συστήματα ελέγχου και τους υπολογιστές πλοήγησης, για να επιτύχει βέλτιστη απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας.
2. **Neoline:** Η Neoline είναι μια γαλλική εταιρεία που αναπτύσσει καινοτόμα ιστιοφόρα φορτηγά πλοία. Ένα παράδειγμα είναι το "Neoliner", που χρησιμοποιεί μια συνδυασμένη τεχνολογίας ιστίων και υβριδικής πρόωσης για να μειώσει τις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου. Τα πλοία της Neoline είναι σχεδιασμένα για να καλύπτουν τις ανάγκες της σύγχρονης ναυτιλίας, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών εμπορευμάτων και επιβατών.

3. **SkySails:** Η SkySails είναι μια γερμανική εταιρεία που αναπτύσσει kites για φορτηγά πλοία και ιστιοφόρα. Τα προϊόντα της SkySails μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου κατά 10-15% κάθε χρόνο, εξαρτώμενα από το μέγεθος του πλοίου και τις συνθήκες πλοήγησης. Πολλά φορτηγά πλοία έχουν ήδη εγκαταστήσει το σύστημα SkySails για να επωφεληθούν από την εξοικονόμηση καυσίμου και τη μείωση των εκπομπών ρύπων. Η εφαρμογή των kites της SkySails δεν περιορίζεται μόνο σε φορτηγά πλοία, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε ιστιοφόρα, σκάφη αναψυχής και άλλα είδη πλοίων.
4. **Vindskip:** Το Vindskip είναι ένα καινοτόμο φορτηγό πλοίο που χρησιμοποιεί τη δύναμη του ανέμου ως κύρια πηγή πρόωσης. Το σχήμα του σκάφους είναι σαν μια συμμετρική αεροτομή, που παράγει αεροδυναμική ανύψωση και κινεί το πλοίο προς την κατεύθυνση του ανέμου. Αυτό το σύστημα πρόωσης επιτρέπει στο Vindskip να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂ κατά 60% και 80% αντίστοιχα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά φορτηγά πλοία.

3.3 Πλοία με κινητήρες που λειτουργούν με βιοκαύσιμα

Η χρήση βιοκαυσίμων στη ναυτιλία είναι ένας τρόπος για να μειώσουμε τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και να προσφέρουμε μια πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των μεταφορών.

Τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι κυρίως βιοντίζελ (biodiesel), βιομεθανόλη (biomethanol), και βιο-LNG (bio-liquefied natural gas). Τα πλοία με κινητήρες που λειτουργούν με βιοκαύσιμα χρησιμοποιούν συνήθως καύσιμα που παράγονται από ανανεώσιμες πηγές, όπως φυτικά έλαια, ζωικά λίπη, και αποβλήτων από τη βιομηχανία τροφίμων.

Κάποια παραδείγματα πλοίων που χρησιμοποιούν κινητήρες με βιοκαύσιμα:

1. Το GoodShipping Program είναι μια πρωτοβουλία που στοχεύει στην προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων στη ναυτιλία. Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος, το 2018 το πλοίο "Samskip Endeavour" πραγματοποίησε το πρώτο ταξίδι του με βιοκαύσιμα αντί για καύσιμο ντίζελ.

2. Η εταιρεία Maersk, μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες ναυτιλίας στον κόσμο, έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές της κατά 70% έως το 2030 και μηδενικές εκπομπές έως το 2040. Σε αυτό το πλαίσιο, η Maersk έχει ξεκινήσει τη χρήση βιοκαυσίμων σε ορισμένα από τα πλοία της, όπως το πλοίο "Mette Maersk", το οποίο πραγματοποίησε ένα ταξίδι από Ρότερνταμ στη Σανγκάη με βιοκαύσιμα το 2019.
3. Η Stena Line, μια Σουηδική εταιρεία ναυτιλίας, επίσης εργάζεται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το 2015, το πλοίο "Stena Germanica" μετατράπηκε για να λειτουργήσει με μεθανόλη. Οι εκπομπές αποτελούνται κυρίως από ατμούς νερού και διοξείδιο του άνθρακα. Το θείο και τα σωματίδια μειώνονται κατά 90% και το άζωτο κατά 60%.
4. Η CMA CGM, μία γαλλική εταιρεία ναυτιλίας, έχει επίσης αρχίσει να χρησιμοποιεί βιοκαύσιμα σε ορισμένα από τα πλοία της. Το 2019, η CMA CGM ανακοίνωσε ότι το πλοίο "CMA CGM White Shark" πραγματοποίησε μια δοκιμαστική πλεύση χρησιμοποιώντας βιοκαύσιμα. Το βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς παράγεται εξ ολοκλήρου από υπολείμματα δασών και απόβλητα από μαγερικό λαδί, αναμένεται να προσφέρει μείωση 80-90% των εκπομπών σε σύγκριση με τα ορυκτά αντίστοιχα, και να εξαλείψει σχεδόν τις εκπομπές οξειδίου του θείου (SO_x) χωρίς καμία απαίτηση για τροποποιήσεις στους κινητήρες.

3.4. Πλοία με υδρογόνο

Η χρήση υδρογόνου στη ναυτιλία γίνεται μέσω κυψελών καυσίμου (fuel cells) που μετατρέπουν το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να παράγουν καυσαέρια. Αυτή η τεχνολογία είναι φιλική προς το περιβάλλον, καθώς το μόνο υποπροϊόν της διαδικασίας είναι το νερό. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει ηλεκτρικούς κινητήρες, οι οποίοι μετακινούν το πλοίο.

Καποια παραδείγματα πλοίων που χρησιμοποιούν κινητήρες με υδρογόνο:

1. HYSEAS III: Το HYSEAS III είναι ένα επιβατηγό πλοίο που κατασκευάζεται στη Σκωτία και αναμένεται να είναι το πρώτο πλοίο του είδους του που λειτουργεί με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου. Όταν ολοκληρωθεί, θα μπορεί να μεταφέρει επιβάτες και οχήματα μεταξύ λιμένων στη Σκωτία, χωρίς να εκπέμπει επιβλαβείς ρύπους.
2. Hydroville: Το Hydroville είναι ένα μικρό επιβατηγό πλοίο που λειτουργεί με υδρογόνο, το οποίο ξεκίνησε τις επιχειρήσεις του το 2017. Χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου για να τροφοδοτεί δύο ηλεκτρικούς. Το Hydroville χρησιμοποιείται κυρίως για τη μεταφορά προσωπικού μεταξύ του λιμανιού της Αμβέρσας και Κρόιμπεκε στο Βέλγιο.
3. Viking Energy: Το Viking Energy είναι ένα πλοίο εφοδιασμού που ανήκει στην νορβηγική εταιρεία Equinor. Σχεδιάζεται να μετατραπεί για να λειτουργεί με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, και αναμένεται να γίνει το πρώτο υδρογονοκίνητο πλοίο εφοδιασμού στον κόσμο. Η μετατροπή του Viking Energy αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2024.

Κεφάλαιο 4^ο : Πράσινα Λιμάνια

4.1 Ο ορισμός ενός Πράσινου Λιμανιού

Το πλαίσιο τριών θεμέλιων για την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική ανάπτυξη προκειμένου να περιγράψει τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη καθόρισε τη βιώσιμη ανάπτυξη ως το να ικανοποιούνται οι ανάγκες του παρόντος χωρίς να επηρεάζεται η δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Στον τομέα των μεταφορών, ο όρος "βιώσιμη" ή "πράσινη" μεταφορά βασίζεται επίσης σε ένα παρόμοιο πλαίσιο, όπου αναζητείται η σωστή ισορροπία μεταξύ περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής απόδοσης (Passet 1979).

Ορισμένες προτάσεις περιγράφουν το λιμάνι των μηδενικών εκπομπών ως ένα λιμάνι όπου η ενέργεια που καταναλώνεται στις λειτουργίες του πρέπει να καλύπτεται από παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας εντός του λιμανιού, όπως ανεμογεννήτριες ή φωτοβολταϊκά πάρκα. Ενδεχομένως, ένας ορισμός ενός πράσινου λιμανιού ως λιμάνι μηδενικών εκπομπών είναι πολύ αποκλειστικός, δεδομένου ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις των λιμανιών αυξάνονται γρήγορα με την παραγωγικότητα του λιμανιού. Εάν "πράσινο λιμάνι" είναι ένα λιμάνι που είτε έχει αναπτύξει μια στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών, της κατανάλωσης ενέργειας στις λειτουργίες του και της ρύπανσης του νερού, είτε έχει επενδύσει σε νέες τεχνολογίες με βελτιωμένη περιβαλλοντική απόδοση και, συνολικά, προσπαθεί να γίνει ένα πιο "πράσινο" λιμάνι (Dagkinis et al., 2012).

Τα λιμάνια είναι σημαντικός παράγοντας για το διεθνές εμπόριο. Παρέχουν επίσης εργασίες αποθήκευσης και συσκευασίας και αποτελούν κέντρο για εγχώριες μεταφορές (Hossain et., 2021). Ως εκ τούτου, τα λιμάνια μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό ρόλο στους «πράσινους στόχους». Τα λιμάνια είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία του παγκόσμιου εμπορίου, παρέχοντας σύνδεση μεταξύ διαφορετικών χωρών και ηπείρων, επιτρέποντας την ανταλλαγή αγαθών και εμπορευμάτων και υποστηρίζοντας την οικονομική ανάπτυξη και εξέλιξη (Jeevan et., 2023). Ωστόσο, οι συμβατικές λιμενικές λειτουργίες έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ρύπανση των υδάτων, απορρίμματα, δέσμευση γης και κατανάλωση ενέργειας (Lam & Li, 2019). Με αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση, εμφανίστηκε η έννοια του πράσινου λιμανιού. Για παράδειγμα, το λιμάνι Long Beach υιοθέτησε την πολιτική πράσινων λιμανιών τον Ιανουάριο του 2005, καθιερώνοντας το βασικό πλαίσιο για φιλικές προς το περιβάλλον λιμενικές λειτουργίες.

Οι ερευνητές έχουν διεξαγάγει διάφορες μελέτες σχετικά με τα κίνητρα, τις καινοτομίες και τις προκλήσεις των πράσινων λιμανιών, χτίζοντας μια ισχυρή βάση για προσεγγίσεις πράσινων λιμανιών. Όσον αφορά τα κίνητρα, οι οικονομικές και τεχνολογικές λειτουργίες αυξάνουν την ανταγωνιστικότητα του πράσινου λιμανιού. Τέτοιες λειτουργίες περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό συμβολαίων, την αλλαγή των επιχειρηματικών μοντέλων και τη βελτίωση των πράσινων τεχνολογιών (Del Giudice et al., 2022). Περιβαλλοντικοί και πολιτικοί παράγοντες ενδέχεται να ασκήσουν σοβαρή πίεση στα πράσινα λιμάνια. για παράδειγμα, η ρύπανση του νερού και του

θορύβου μπορεί να απαιτεί αρκετή επιβλέψει (Raza, 2020). Η τεχνολογική καινοτομία στα πράσινα λιμάνια περιλαμβάνει διάφορους τομείς, δηλαδή βασικές, επιχειρησιακές και ενεργειακές λειτουργίες. Όσον αφορά τις βασικές λειτουργίες, το περιβάλλον θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις πολιτικές και στις υποδομές σχεδιασμού. Το ποσό των εκπομπών θα πρέπει να καθορίζεται για την επίβλεψη των λιμενικών δραστηριοτήτων και η περιβαλλοντική βελτίωση και η ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να επιτυγχάνονται μέσω προσεγγίσεων βιώσιμης κατασκευής (Lin et al., 2022).

Οι εκπομπές GHG από τις θαλάσσιες μεταφορές είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεταφορών (Psaraftis & Kontonas, 2010). Υπάρχουν τρεις κύριες προσεγγίσεις για τη μείωση των θαλάσσιων εκπομπών GHG:

- I. Τεχνικά μέτρα: Περιλαμβάνουν τη βελτίωση της απόδοσης του πλοίου, το σχεδιασμό κινητήρων χαμηλής κατανάλωσης, τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας όπως κυψέλες καυσίμου, βιοκαύσιμα και την σύνδεση του πλοίου σε μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκεται στην ξηρά, επιτρέποντας στο πλοίο να σβήσει τις μηχανές του και να μειώσει τις εκπομπές, ενώ εξακολουθεί να λαμβάνει την απαραίτητη ισχύ για λειτουργίες επί του σκάφους (Miklautsch & Woschank, 2022).
- II. Μέτρα που βασίζονται στην αγορά: Περιλαμβάνουν σχέδια εμπορίου εκπομπών και φορολογίας άνθρακα
- III. Λειτουργικά μέτρα: Περιλαμβάνουν βελτιστοποίηση ταχύτητας, βέλτιστη δρομολόγηση, βελτίωση σχεδιασμού στόλου και άλλες λειτουργίες που βασίζονται σε logistics.

4.2 Εναλλακτικές πηγές ενέργειας στα λιμάνια

Η προσανατολισμένη προς το μέλλον προσέγγιση των χωρών επικεντρώνεται στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη μείωση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές ενεργειακές πηγές. Τα λιμάνια, ως σημαντικοί καταναλωτές ενέργειας, εξετάζουν τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Διάφορες προσεγγίσεις έχουν

προταθεί για την ενσωμάτωση εναλλακτικών πηγών ενέργειας στα λιμάνια. Ορισμένα λιμάνια, όπως η Αμβέρσα και η Γένοβα, έχουν επιλέξει να χρησιμοποιήσουν την ηλιακή ενέργεια ως μια εναλλακτική πηγή ενέργειας για ορισμένες από τις λειτουργίες τους. Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες σχετικά με τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας στα λιμάνια και τη μετατροπή τους σε πράσινα μοντέλα, οι οποίες έχουν ήδη υλοποιηθεί σε πολλά λιμάνια στην Τουρκία, την Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Για παράδειγμα, το Amberley Port (Marport) στην Κωνσταντινούπολη, που είναι το πρώτο ιδιωτικό λιμάνι εμπορευματοκιβωτίων της Τουρκίας, έχει εφαρμόσει διάφορες προσεγγίσεις για θέματα περιβάλλοντος και ασφάλειας εργασίας (Satir & Doğan-Sağlamtimur, 2018).

4.3 Περιβαλλοντικές πολιτικές στα πράσινα λιμάνια

Η προσέγγιση των πράσινων λιμανιών είναι ευρέως γνωστή στις ευρωπαϊκές χώρες εδώ και πολλά χρόνια. Από το 1994, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Θαλάσσιων Λιμένων (ESPO) έχει εκδώσει διάφορες εκδόσεις του κώδικα περιβαλλοντικής απόδοσης για τα λιμάνια. Η τελευταία έκδοση του, που ονομάζεται «Πράσινος Οδηγός ESPO», ενημερώθηκε το 2012 (Teerawattana & Yang, 2019). Αρκετά λιμάνια στην Ανατολική Ασία, όπως η Σαγκάη, το Χονγκ Κονγκ, η Σιγκαπούρη, το Τόκιο και τα λιμάνια του Μπουσάν, έχουν λάβει πιστοποίηση πράσινου λιμανιού. Σύμφωνα με αναφορές του ESPO και του EcoPorts, υπάρχουν πάνω από 30 σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα μόνο στον λιμενικό τομέα στην Ευρώπη (Moon et al., 2018). Η προτεραιότητα των περιβαλλοντικών ζητημάτων στα λιμάνια μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Παρ' όλα αυτά, ορισμένα από αυτά παραμένουν σημαντικά, όπως η διαχείριση απορριμμάτων, η ηχορύπανση και η ποιότητα του αέρα. Αυτά τα περιβαλλοντικά θέματα στα λιμάνια συνδέονται στενά με τις ναυτιλιακές δραστηριότητες, τις λιμενικές λειτουργίες και τις εγχώριες μεταφορές. Για να εξασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη επιβίωση των λιμανιών και των πόλεων των λιμένων, απαιτείται η μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους. Συνεπώς, πολλά λιμάνια αναγνωρίζουν την ανάγκη ανάπτυξης πολιτικών που υποστηρίζουν πράσινες πρακτικές και εφαρμόζουν κίνητρα για την ενθάρρυνση της υιοθέτησής τους. Η ανάπτυξη "πράσινων πολιτικών" στα λιμάνια είναι ουσιώδους σημασίας για τη διασφάλιση της

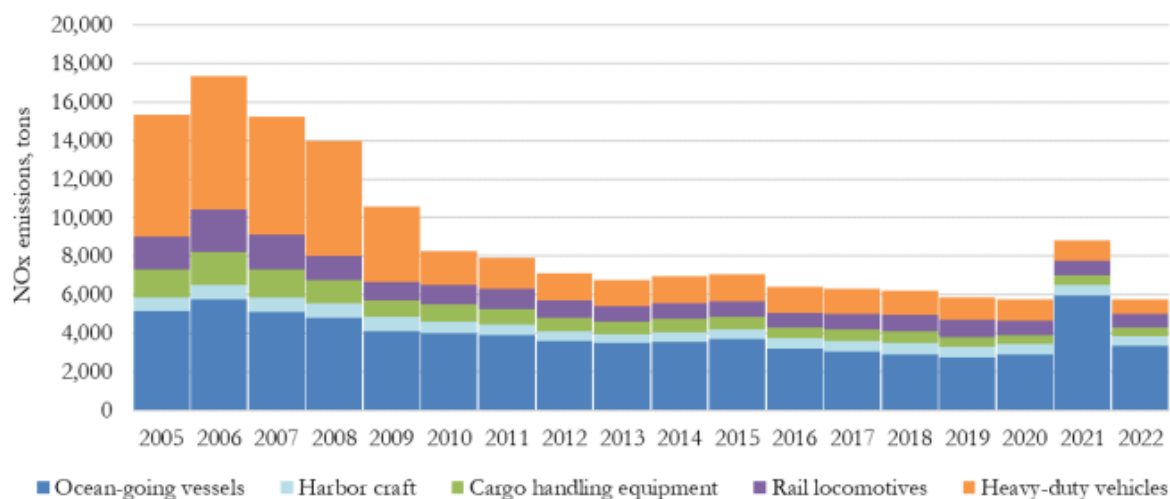
βιωσιμότητάς τους. Αυτές οι πολιτικές πρέπει να στοχεύουν στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των λιμενικών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας πράσινες τεχνολογίες και βιώσιμες πρακτικές.

Μια γενική αξιολόγηση δείχνει ότι η δυνατότητα αύξησης της ενεργειακής απόδοσης των πράσινων λιμένων είναι 17,6%, με κάθε λιμάνι να αποτρέπει την εκπομπή 25,16 τόνων CO₂ στο περιβάλλον. Ωστόσο, η εφαρμογή οποιουδήποτε εργαλείου πολιτικής για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα λιμάνια συνεπάγεται κόστος για τα συνδεδεμένα μέρη, ιδιαίτερα για τους ίδιους τους λιμένες. Παρόλα αυτά, αυτά τα εργαλεία πιθανόν να συμβάλουν στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, καθώς η εφαρμογή πρακτικών που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, καθώς και σε καινοτόμες επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες και υποδομές.

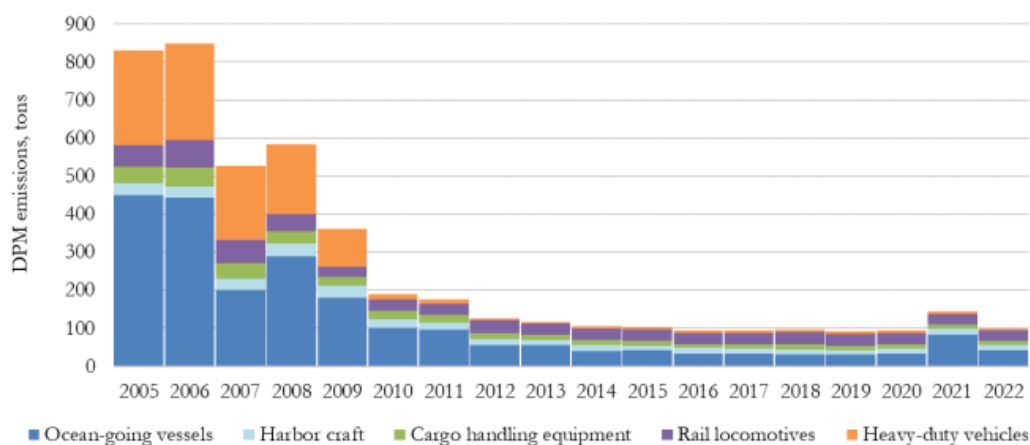
Ίσως το πιο σημαντικό παράδειγμα είναι το Λιμάνι του Λος Άντζελες και ο ετήσιος κατάλογος εκπομπών του. Στον **πίνακα 4.1** παρουσιάζει την κατανομή στο πιο ενεργό λιμάνι εμπορευματοκιβωτίων των Ηνωμένων Πολιτειών. Είναι εμφανές ότι για τους ρυπαντικούς παράγοντες με τοπική περιβαλλοντική επίδραση, τα πλοία μεγάλης διαδρομής (OGV) είναι πολύ μεγάλοι μέτοχοι, με την εξαίρεση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι παρά το πολύ χαμηλό όριο θείου που επιτρέπεται μέσα στο λιμάνι λόγω των περιβαλλοντικών κανονισμών του CARB (California Air Resources Board) και της καθορισμένης ζώνης ECA (Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών) των Ηνωμένων Πολιτειών, όσον αφορά τις εκπομπές SO_x, τα OGV (Ocean-Going Vessel) εξακολουθούν να συμβάλουν το περισσότερο κατά 94,8% του συνόλου

Αυτή η ετήσια έκθεση, η οποία παρακολουθεί τις εκπομπές από έτος σε έτος, περιλαμβάνει τις εκπομπές αγκυροβολισμού και περιφερόμενων στον γεωγραφικό τομέα. Οι επιπτώσεις της διαδικασίας ουράς πλοίων εμπορευματοκιβωτίων που εφαρμόστηκε τον Νοέμβριο του 2021 για την αύξηση της ασφάλειας και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα κοντά στους λιμένες του Λος Άντζελες και του Λονγκ Μπιτς, αντανakλάται στα αποτελέσματα του 2022. Τα διαγράμματα τάσης των εκπομπών NO_x και DPM που φαίνονται στα **Σχήματα 4.1 και 4.2** αντικατοπτρίζουν την τάση των εκπομπών από το 2005 έως το 2022 και δείχνουν τη μείωση των εκπομπών το 2022 σε

σύγκριση με τις ασύγκριτες εκπομπές του 2021. Οι χαμηλότερες εκπομπές του 2022 μετά την αστραπιαία αύξηση του 2021 δείχνουν ότι οι εκπομπές NO_x είναι παρόμοιες με τα επίπεδα του 2020.



Σχήμα 4.1: εκπομπές NO_x ανά κατηγορία πλοίων (πηγή: PORT OF LOS ANGELES Inventory Of Air Emissions 2022)



Σχήμα 4.2: εκπομπές DPM ανά κατηγορία πλοίων το 2022 (πηγή: PORT OF LOS ANGELES Inventory Of Air Emissions 2022)

Ο πίνακας 4.1 συνοψίζει τις συνολικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρυπαντικών στον νοτιοδυτικό τομέα του Λος Άντζελες (SoCAB) που σχετίζονται με την βιομηχανία των θαλάσσιων μεταφορών το 2022, ανά κατηγορία: πλοία μεγάλης διαδρομής (OGVs), πλοία λιμανιού, εξοπλισμός χειρισμού φορτίων και φορτηγά. Το 2022, περίπου 50-60%

των εκπομπών σωματιδίων (PM) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) του λιμένα αποδίδονται στα πλοία μεγάλης διαδρομής (OGV).

Category	PM ₁₀ tons	PM _{2.5} tons	DPM tons	NO _x tons	SO _x tons	CO tons	HC tons	CO _{2e} tonnes
Ocean-going vessels	66	60	43	3,369	129	360	143	271,236
Harbor craft	13	13	13	499	0	100	25	50,811
Cargo handling equipment	12	11	11	425	2	672	88	170,634
Locomotives	26	24	26	717	1	175	41	61,145
Heavy-duty vehicles	5	5	5	756	4	355	44	420,243
Total	123	114	98	5,765	136	1,662	341	974,069

DB ID457

Πίνακας 4.1: Εκπομπές που σχετίζονται με τη Ναυτιλιακή Βιομηχανία ανά κατηγορία το 2022 (πηγή: PORT OF LOS ANGELES Inventory Of Air Emissions 2022)

4.4 Εφαρμογή Τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΤΑΠΕ) σε πράσινα λιμάνια

Δύο από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των ΤΑΠΕ είναι ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον και η δυνατότητά τους να χρησιμοποιούνται με αποκεντρωμένο τρόπο. Ενώ η πρώτη πλευρά είναι ευρέως γνωστή, η δεύτερη πλευρά έχει λάβει λιγότερη προσοχή. Η αποκέντρωση έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη διανομή ενέργειας (Hentschel et al., 2018). Εντούτοις, η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα λιμάνια αποτελεί πραγματική ανάγκη και έχει αυξημένη σημασία. Ένας τύπος συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας είναι ο υπεράκτιος αιολικός σταθμός, όπου ένα σύνολο ανεμογεννητριών είναι εγκατεστημένο στη θάλασσα. Η ταχύτητα του ανέμου στη θάλασσα είναι συνήθως μεγαλύτερη από ό,τι στην ακτή ή στη στεριά, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υπεράκτιες ανεμογεννήτριες συγκριτικά με τις χερσαίες. Άλλη τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συμβατή με τα λιμάνια είναι οι πλωτοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής φωτοβολταϊκών. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι εγκατεστημένα και στερεωμένα σε πλωτές κατασκευές που επιπλέουν στο νερό. Το πρώτο πλωτό σύστημα ηλιακής ενέργειας εγκαταστάθηκε το 2007 στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών, ενώ

αυτή τη στιγμή λειτουργούν 70 πλωτοί σταθμοί ηλιακής ενέργειας σε όλο τον κόσμο με συνολική ισχύ 93 MW. Άλλες καθαρές τεχνολογίες ενέργειας συμβατές με τα λιμάνια περιλαμβάνουν μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, ενέργεια με την χρήση υδρογόνου, θερμική ενέργεια από τον ωκεανό και ενέργεια από κύματα. Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει προγράμματα για την εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε πράσινα λιμάνια σε διάφορα μέρη στον κόσμο.

Port Name	Country	Implemented/Planned RET
Λιμάνι της Βόρειας Θάλασσας	Βέλγιο και Ολλανδία	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι της Βιέννης	Αυστρία	Υδρογόνο
Λιμάνι των Νήσων Σολομώντα	Νησιά του Σολομώντα	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι του Λονδίνου	Ηνωμένο Βασίλειο	Υδρογόνο
Λιμάνι του Άμστερνταμ	Ολλανδία	Υδρογόνο
Λιμάνια των Φίτζι	Φίτζι	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι του Κολόμπο	Σρι Λάνκα	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι του Γκέτεμποργκ	Σουηδία	Υδρογόνο, βιοαέριο, υδρογονωμένα φυτικά έλαια, άνεμος
Λιμάνι της Γιοκοχάμα	Ιαπωνία	Υδρογόνο
Λιμάνι του Λος Άντζελες	Ηνωμένες Πολιτείες	Κυψέλη καυσίμου υδρογόνου, φωτοβολταϊκά
Λιμάνι του Ρότερνταμ	Ολλανδία	Αιολική ενέργεια
Λιμάνια του Ώκλαντ	Νέα Ζηλανδία	Βιοκαύσιμο, υδρογόνο
Λιμάνι της Μασσαλίας	Γαλλία	Κυψέλη καυσίμου υδρογόνου, φωτοβολταϊκά
Λιμάνι του Ελσίνκι	Φινλανδία	Βιοκαύσιμα, φωτοβολταϊκά
Λιμάνι του Λονγκ Μπιτς	Ηνωμένες Πολιτείες	Κυψέλη καυσίμου υδρογόνου, φωτοβολταϊκά
Λιμάνι της Αμβέρσας	Βέλγιο	Υδροτουρμπίνα, φωτοβολταϊκά
Λιμάνια του Niedersachsen	Γερμανία	Υδρογόνο
Λιμάνι Batangas	Φιλιππίνες	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι of Associated British	Ηνωμένο Βασίλειο	Φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια
Λιμάνι του Gladstone	Αυστραλία	Παλιρροιακή ενέργεια
Λιμάνι της Βαλένθια	Ισπανία	Κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, φωτοβολταϊκά
Λιμάνια της Τενερίφης	Ισπανία	Φωτοβολταϊκά, αιολικά
Λιμάνι του Κόμπε	Ιαπωνία	Υδρογόνο
Λιμάνια του Ώκλαντ	Νέα Ζηλανδία	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνια της Στοκχόλμης	Σουηδία	Φωτοβολταϊκά, υδρογονωμένα φυτικά έλαια
Λιμάνι του Qingdao	Κίνα	Υδρογόνο
Λιμάνι του Ελσίνκι	Φινλανδία	Αιολική ενέργεια
Λιμάνι του Αμβούργου	Γερμανία	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι της Βαρκελώνης	Ισπανία	Φωτοβολταϊκά
Λιμάνι της Αμβέρσας	Βέλγιο	Συμπυκνωμένη ηλιακή θερμική
Λιμάνι της Γένοβας	Ιταλία	Ηλιακή, βιομάζα, άνεμος, γεωθερμική ενέργεια

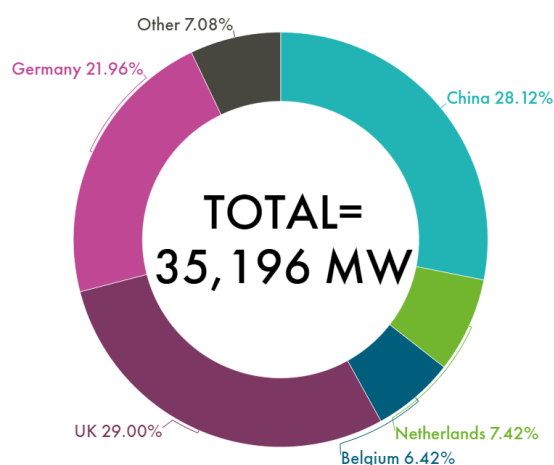
Πίνακας 4.2: Προγράμματα για τη χρήση ΤΑΠΕ σε πράσινα λιμάνια σε όλο τον κόσμο

4.4.1 Υπεράκτια αιολική ενέργεια

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια έχει ελκύσει σημαντική προσοχή λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων της στην παραγωγή ενέργειας και την γρήγορη ανάπτυξη της. Μέχρι το 2020, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπεράκτιων αιολικών σταθμών ήταν 35,3

GW(Global wind report 2021). Η Βρετανία (29%), η Κίνα (28%) και η Γερμανία (22%) κατέχουν περισσότερο από το 75% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος υπεράκτιας αιολικής ενέργειας(σχήμα 4.3). Το Hornsea Project One της Βρετανίας είναι το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο, παράγοντας 1,2 GW. Επιπλέον έργα, όπως το Dogger Bank στη Βρετανία με ισχύ 4,8 GW και το Changhua στην Ταϊβάν με ισχύ 2,4 GW, έχουν προγραμματιστεί. Ωστόσο, η έλλειψη κατάλληλων λιμενικών υποδομών περιορίζει τη συμμετοχή της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην επίτευξη καθαρής ενέργειας και της εγχώριας οικονομικής ανάπτυξης. Η Δυτική Ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών αυξάνει τις υπεράκτιες δραστηριότητες αιολικής ενέργειας, με προοπτική ανάπτυξης εμπορικής κλίμακας πλωτών υπεράκτιων έργων αιολικής ενέργειας στην Καλιφόρνια, το Όρεγκον, την Χαβάη και αλλού έως τη δεκαετία του 2030. Αναμένεται επίσης ότι αυτή η βιομηχανία θα επεκταθεί παγκοσμίως έως το 2050(Shields et al., 2023). Άλλες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών, όπως ο Κόλπος του Μείν, ο Κεντρικός Ατλαντικός Ωκεανός και ο Κόλπος του Μεξικού, έχουν επίσης τη δυνατότητα να αναπτύξουν υπεράκτια αιολική ενέργεια.

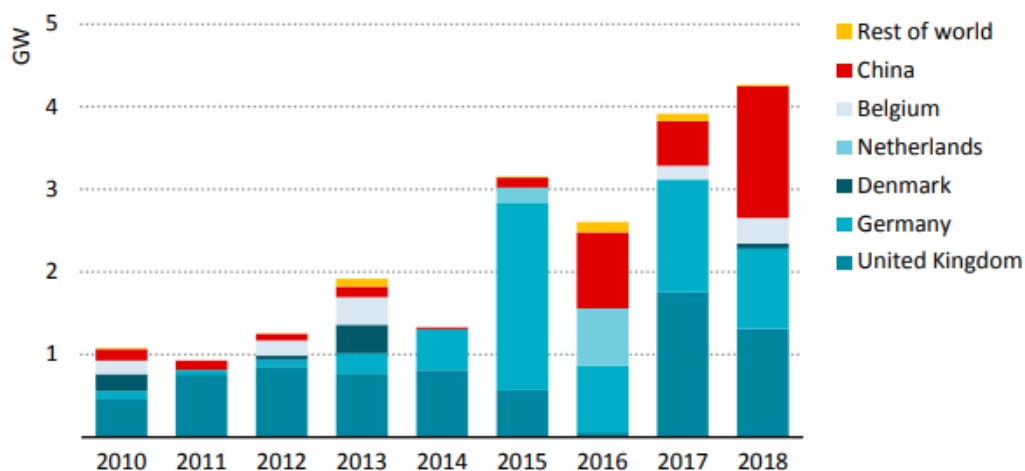
Global cumulative offshore wind installations by end of 2020



Σχήμα 4.3: Παγκόσμιες σωρευτικές υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις μέχρι το τέλος του 2020 (πηγή: Global Wind Report 2021)

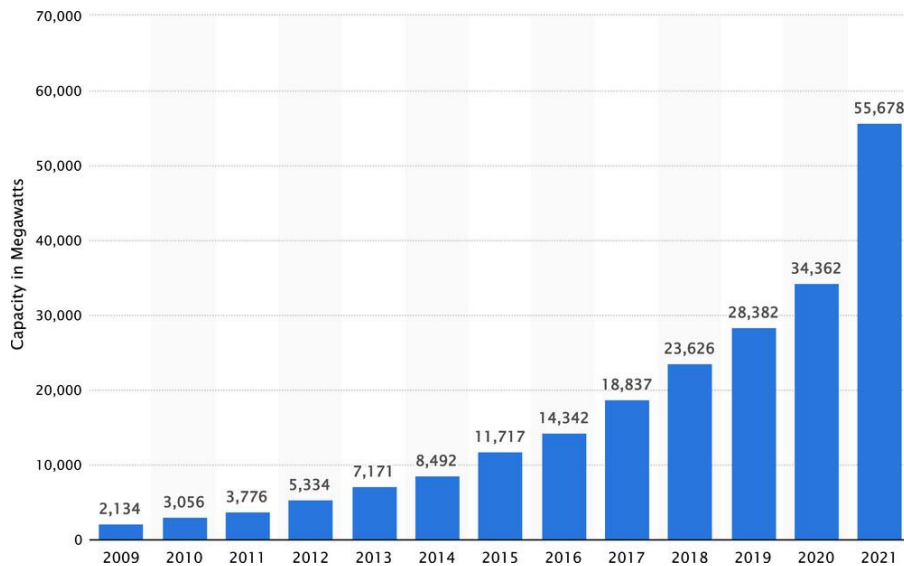
Μέχρι το 2017, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς υπεράκτιας αιολικής ενέργειας ήταν μικρότερη από 20 GW. Το 2018, η υπεράκτια αιολική ενέργεια αντιπροσώπευε μόνο το

0,3% της παγκόσμιας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το 2018 παρήχθησαν 4,3 GW ηλεκτρικής ενέργειας παραπάνω, ξεπερνώντας τις προβλέψεις για τη συνολική υπεράκτια αιολική δυναμικότητα όπως φαίνεται στο **σχήμα 4.4** (IEA 2019 Offshore Wind Outlook 2019).



Σχήμα 4.4: Ετήσιες προσθήκες υπεράκτιας αιολικής δυναμικότητας ανά περιοχή, 2010-2018 (πηγή:IEA, Offshore Wind Outlook 2019)

Το 2018, το 50% της ηλεκτρικής ενέργειας της Δανίας προμηθευόταν από αιολική ενέργεια ετησίως, εκ των οποίων το 15% προέρχονταν από υπεράκτια αιολικά πάρκα. Το μέσο μέγεθος παραγωγής των ανεμογεννητριών που εγκαταστάθηκαν το 2018, το 2019 και το 2020 ανήλθε σε 6,8, 7,2 και 8,2 MW αντίστοιχα (Poynter, C, 2021). Προβλέπεται ότι η έλλειψη ειδικών υπεράκτιων σκαφών εγκατάστασης ανεμογεννητριών, ειδικά εκείνων που μπορούν να εγκαταστήσουν ανεμογεννήτριες 10 MW, θα αυξήσει τη ζήτηση για αυτά τα πλοία μετά το 2022. Το **Σχήμα 4.5** δείχνει την παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ υπεράκτιας αιολικής ενέργειας από το 2009 έως το 2021.

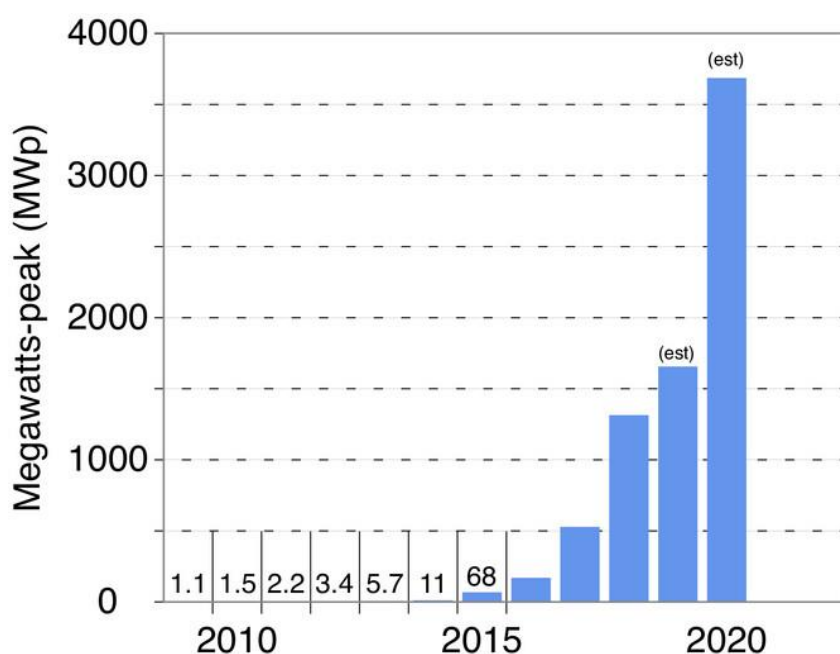


Σχήμα 4.5: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ υπεράκτια αιολικής ενέργειας από το 2009 έως το 2021 (πηγή: Statista, υπεράκτια χωρητικότητα αιολικής ενέργειας παγκοσμίως από το 2009 έως το 2021)

4.4.2 Πλωτή ηλιακή εγκατάσταση

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους. Αυτά περιλαμβάνουν τις μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), την απεριόριστη πηγή ενέργειας, την ευκολία πρόσβασης, τις χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης και την επεκτασιμότητα από οικιακά συστήματα σε μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας (Maleki et al., 2019). Επιπλέον, οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ηλιακών πάνελ και οι κρατικές επιδοτήσεις συμβάλλουν περαιτέρω στη δημοτικότητά τους (Zabihí et al., 2021). Η πιο κοινή εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας είναι μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι οποία είναι μία από τις πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Rahman et al., 2015). Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε προσβάσιμα νερά μπορεί να αποτελέσει μια λογική επιλογή για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και την αύξηση της οικονομικής απόδοσης των ηλιακών έργων. Οι πλωτοί ηλιακοί σταθμοί παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα συστήματα εδάφους και στέγης λόγω της ψυκτικής επίδρασης του νερού και της μείωσης της εξάτμισης του νερού και της ανάπτυξης φυκιών από τη σκιά που ρίχνουν. Για την κατασκευή πλωτών ηλιακών σταθμών χρησιμοποιείται πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, το οποίο είναι ανθεκτικό στις ακτίνες UV και στη διάβρωση (Ingle, N. et al. 2020).

Οι πρώτες 20 μονάδες ισχύος δεκάδων kW κατασκευάστηκαν μεταξύ 2007 και 2013 (Trapani & Redón Santafé, 2015). Μετά τα πρώτα έργα το 2006, η εγκατεστημένη ισχύς για την πλωτή ηλιακή μονάδα μέχρι το 2015 ήταν μόλις 10 MW. Η αγορά για πλωτή ηλιακή τεχνολογία άρχισε να αναπτύσσεται από το 2016 (Cazzaniga & Rosa-Clot, 2021). Σύμφωνα με αναφορές, η εγκατεστημένη ισχύς των πλωτών ηλιακών εγκαταστάσεων το 2018 εκτιμάται ότι ήταν περίπου 1,3 MW, με προβλεπόμενη αύξηση περίπου στα 3,7 GW έως το 2020 (σχήμα 4.5). Το 2020, η παγκόσμια χρήση πλωτών ηλιακών συλλεκτών έφτασε τα 3 GW, σε αντίθεση με τα επίγεια ηλιακά συστήματα που ξεπερνούν τα 700 GW. Εάν το 10% των ταμιευτήρων υδροηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο καλύπτονταν με πλωτά ηλιακά πάνελ, θα μπορούσε να εγκατασταθεί περίπου 4.000 GW ηλιακής ισχύος, που ισοδυναμεί με την ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όλων των λειτουργικών μονάδων ορυκτών καυσίμων παγκοσμίως. Ένα έργο στο Batam της Ινδονησίας, το οποίο αναμένεται να ολοκληρωθεί έως το 2024, στοχεύει στην παραγωγή 2,2 GW με την εφαρμογή ηλιακών συλλεκτών πάνω από 16 km² νερού, ουσιαστικά διπλασιάζοντας την τρέχουσα παγκόσμια παραγωγή (Almeida et al., 2022). Σε πολλές χώρες, όπως το Ιράν, η κατασκευή πλωτών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων έχει ξεκινήσει (Rauf et al., 2019).



Σχήμα 4.5: Εγκατεστημένη δυναμικότητα πλωτών ηλιακών εγκαταστάσεων
(πηγή: Cazzaniga & Rosa-Clot, 2021)

4.4.3 Ωκεάνια ενέργεια

Η ωκεάνια ενέργεια αναφέρεται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να αξιοποιηθούν από τους φυσικούς πόρους του ωκεανού, συμπεριλαμβανομένων των παλίρροιών, των κυμάτων, των ωκεάνιων ρευμάτων και των θερμικών κλίσεων. Αναπτύσσονται διάφορες τεχνολογίες για την αξιοποίηση αυτής της ενέργειας, όπως η μετατροπή θερμικής ενέργειας των ωκεανών (OTEC) και οι τουρμπίνες παλιρροϊκού και ωκεάνιου ρεύματος. Οι δυνατότητες της ωκεάνιας ενέργειας ως καθαρής και βιώσιμης πηγής ενέργειας είναι τεράστιες, καθώς ο ωκεανός καλύπτει πάνω από το 70% της επιφάνειας της Γης. Ο στόχος της ΕΕ για την εγκατεστημένη ισχύ ωκεάνιας ενέργειας για το 2030 και το 2050 είναι τουλάχιστον 1 και 40 GW, αντίστοιχα (Europa Union, Offshore renewable energy 2022). Ενώ η ενέργεια των ωκεανών βρίσκεται ακόμα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης, υπόσχεται πολλά για την κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών του κόσμου, μειώνοντας παράλληλα τις εκπομπές άνθρακα και μετριάζοντας τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

4.4.4 Παλιρροιακή ενέργεια

Τα κύματα που δημιουργούνται από τον άνεμο που πνέει στην επιφάνεια του νερού, έχουν μεγάλο δυναμικό ισχύος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καθαρή πηγή για την παραγωγή ενέργειας (Parhamfar et al., 2023). Η παλιρροιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες. Ωστόσο, δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ακόμη. Αλλά με περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξη, μπορεί να είναι μια αξιόπιστη εναλλακτική λύση για την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας (Khare & Bhuiyan, 2022). Η πρώτη μεγάλης κλίμακας παλιρροϊκή μονάδα βρίσκεται στο Rance της Γαλλίας που λειτούργησε το 1966. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από θαλάσσιες τεχνολογίες ήταν περίπου 16% το 2018, η οποία αυξήθηκε κατά 13% το 2019 (IEA: Ocean power – tracking power 2020 – analysis). Τα περισσότερα θαλάσσια ενεργειακά συστήματα αποτελούνται από τουρμπίνες που λειτουργούν με πίεση συμπυκνωμένου αέρα. Η πίεση του αέρα δημιουργείται από τη δύναμη της διακύμανσης των κυμάτων ή την κίνηση των υπογείων ρευμάτων. Η πιο σημαντική πρόκληση για την εμπορευματοποίηση αυτών των συστημάτων είναι οι σκληρές φυσικές συνθήκες του ωκεανού. Για το σκοπό αυτό, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η χρήση αυτών των συστημάτων χρειάζεται να προβλέψει την κατάσταση των κυμάτων. Σήμερα, η τεχνητή νοημοσύνη, ιδιαίτερα οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να παρέχουν ακριβή

πρόβλεψη κυμάτων για τον υπολογισμό της εισόδου και της εξόδου του συστήματος σε διαφορετικές στιγμές.

4.4.5 Κυψέλη καυσίμου

Η χρήση κυψελών καυσίμου κερδίζει μεγάλη προσοχή στα πράσινα λιμάνια. Τέσσερις κύριοι παράγοντες είναι σημαντικοί για τη χρήση κυψελών καυσίμου σε λιμάνια:

1. Τεχνολογικά κριτήρια όπως η βαθμολογία ισχύος, η διάρκεια ζωής, η απόδοση και η ευαισθησία στις ακαθαρσίες καυσίμου,
2. Το κόστος των διαφόρων τύπων κυψελών καυσίμου,
3. Η ασφάλεια
4. Το περιβαλλοντικό ζήτημα και οι εκπομπές.

Απαιτούνται μεγάλες ποσότητες πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας για βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου. Γίνονται αρκετά έργα για να γίνει αυτό και υπάρχουν ακόμη ευκαιρίες για άλλες εταιρείες. Στην περιοχή του λιμανιού της Βόρειας Θάλασσας, που παράγει σήμερα 500 MW ηλιακής και αιολικής ενέργειας, χάρη στο εθνικό δίκτυο υψηλής τάσης (380 kV) στο Borssele και στη Γάνδη (Rodenhuijze Power Station). Η παραγωγή υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές δεν θα είναι επαρκής για τη μεγάλη ζήτηση ενέργειας στο λιμάνι της Βόρειας Θάλασσας και στις εγχώριες περιοχές. Η εισαγωγή είναι απαραίτητη και το λιμάνι της Βόρειας Θάλασσας είναι επίσης κατάλληλο. Η δυνατότητα εισαγωγής υδρογόνου μέσω του λιμανιού της Βόρειας Θάλασσας εκτιμάται ότι θα είναι περίπου 6 εκατομμύρια τόνοι ετησίως μέχρι το 2050 (Hydrogen: the potential of north sea port). Το υδρογόνο εισάγεται με διάφορους τρόπους, ένας από τους οποίους είναι με τη μορφή αμμωνίας. Σε αντίθεση με το υδρογόνο, η αμμωνία μπορεί να αποθηκευτεί σε υγρή μορφή σε δεξαμενές. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου.

Κεφάλαιο 5^ο: Προκλήσεις για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία

5.1 Υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα πλοία

Όπως αναφέρεται και ανωτέρω, καθώς η παγκόσμια συνειδητοποίηση της κλιματικής αλλαγής εντείνεται, οι βιομηχανίες βρίσκονται υπό αυξανόμενη πίεση για να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα. Η ενσωμάτωση των συστημάτων καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα πλοία έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, που αποτελεί και κεντρική επιδίωξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (King, 2022). Ωστόσο, το υψηλό κόστος που συνδέεται με αυτές τις τεχνολογίες παραμένει σημαντικό εμπόδιο, απαιτώντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση των οικονομικών επιπτώσεων (Clarcksons, 2021).

Η μετάβαση σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί σημαντικές επενδύσεις. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει την απόκτηση και την ενσωμάτωση διαφόρων εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων ηλιακών συλλεκτών, ανεμογεννητριών, κυψελών καυσίμου και μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Σε αντίθεση με τις παρεμφερείς αυτές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην ξηρά, οι ναυτιλιακές τεχνολογίες πρέπει να αντέχουν τις συνθήκες της ανοιχτής θάλασσας, οδηγώντας σε εξειδικευμένα και συχνά πιο δαπανηρά σχέδια. Η μετασκευή των υφιστάμενων σκαφών κλιμακώνει περαιτέρω τα έξοδα λόγω των απαιτούμενων διαρθρωτικών τροποποιήσεων και των διαδικασιών που απαιτούνται (Diab et al., 2016).

Πέρα από το κόστος εγκατάστασης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα πλοία, τα λειτουργικά έξοδα αποτελούν σημαντικό μέρος της συνολικής οικονομικής επιβάρυνσης. Οι θαλάσσιες επιχειρήσεις υποβάλλουν τα πλοία σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες και συστηματική καταπόνηση, επιταχύνοντας επομένως τη φθορά των εξαρτημάτων ανανεώσιμης ενέργειας. Η συχνή συντήρηση, επισκευή και αντικατάσταση είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης του

εκάστοτε συστήματος, οδηγώντας έτσι σε ιδιαίτερα υψηλά κόστη. Επιπλέον, οι δαπάνες προσωπικού για τη συντήρηση αυτών των συσκευών ενδεχομένως να είναι αυξημένες, καθώς απαιτούν υψηλής εξειδίκευσης γνώσεις και δεξιότητες (Diab et al., 2016).

Πλέον, οι ενδιαφερόμενοι φορείς της βιομηχανίας αναγνωρίζουν τον επείγοντα χαρακτήρα της αντιμετώπισης των οικονομικών προκλήσεων που περιβάλλουν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ πλοιοκτητών, εξειδικευμένων επιστημόνων και φορέων χάραξης πολιτικής είναι απαραίτητες για την εξεύρεση βιώσιμων λύσεων. Τα κυβερνητικά κίνητρα, οι επιχορηγήσεις και οι επιδοτήσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των αρχικών επενδυτικών εμποδίων και για την παροχή κινήτρων για βιώσιμες πρακτικές. Οι τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η βελτιωμένη ανθεκτικότητα και αποδοτικότητα των εξαρτημάτων, αναμένεται να συμβάλουν στη μείωση του κόστους με την πάροδο του χρόνου (Korican et al., 2022).

Σε κάθε περίπτωση, ενώ το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας δημιουργεί τεράστιες προκλήσεις και δυσκολίες, τα περιβαλλοντικά οφέλη που συνεπάγεται η εκτεταμένη υιοθέτηση συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας είναι αδιαμφισβήτητα. Η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και των υδάτων και η ενίσχυση της βιωσιμότητας συμβάλλουν σε μακροπρόθεσμα κοινωνικά και οικολογικά οφέλη, που αφορούν επομένως ολοκληρωτικά το πλανητικό οικοσύστημα. Επιπλέον, καθώς οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ωριμάζουν και επιτυγχάνουν οικονομίες κλίμακας, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας αναμένεται να βελτιωθεί, μετριάζοντας τα τρέχοντα οικονομικά εμπόδια. Συνεπώς, προκύπτουν οφέλη τόσο για το οικοσύστημα, όσο και για τις ίδιες της εταιρείες του κλάδου της ναυτιλίας, που επίσης βελτιώνουν τη στρατηγική τους θέση (Korican et al., 2022).

Συνολικότερα, η μετάβαση της ναυτιλιακής βιομηχανίας σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί ένα βασικό βήμα προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον. Ωστόσο, οι οικονομικές προκλήσεις που συνδέονται με την εγκατάσταση και τη λειτουργία δεν μπορούν να παραβλεφθούν, με την αντιμετώπισή τους να είναι καταλυτικής σημασίας για την επιτυχία του όλου εγχειρήματος. Οι συνεργατικές προσπάθειες και οι

καινοτόμες λύσεις είναι απαραίτητες για την υπέρβαση αυτών των εμποδίων, διευκολύνοντας την ευρύτερη υιοθέτηση τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας. Η εξισορρόπηση των οικονομικών εκτιμήσεων με τις περιβαλλοντικές επιταγές είναι ζωτικής σημασίας για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, ώστε να πραγματοποιήσει στην πράξη μια σημαντική μετάβαση προς τη βιωσιμότητα (Diab et al., 2016).

5.2 Περιορισμένη απόδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διάφορες συνθήκες

Παρά την αισιοδοξία που υπάρχει όσον αφορά τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα πλοία, Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν την αποδοτικότητά τους όταν χρησιμοποιούνται σε θαλάσσια σκάφη. Τα βιοκαύσιμα, για παράδειγμα, έχουν συχνά χαμηλότερες ενεργειακές πυκνότητες σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα πλοίων, με αποτέλεσμα μειωμένη εμβέλεια πλοίων και αυξημένη συχνότητα ανεφοδιασμού. Ομοίως, το υδρογόνο και η αμμωνία απαιτούν εξειδικευμένη υποδομή αποθήκευσης και χειρισμού λόγω της χαμηλής ενεργειακής τους πυκνότητας και της υψηλής εύφλεκτης ικανότητας, η οποία μπορεί να προσθέσει πολυπλοκότητα και βάρος στο σχεδιασμό του πλοίου (Wijayanta et al., 2019).

Η λειτουργική αποδοτικότητα των καυσίμων ανανεώσιμης ενέργειας επηρεάζεται από παράγοντες όπως η παραγωγή, η αποθήκευση και η χρήση καυσίμων. Η παραγωγή βιοκαυσίμων απαιτεί εκτεταμένη γη, νερό και πόρους, ενδεχομένως ανταγωνιζόμενη την παραγωγή τροφίμων και εγείροντας ανησυχίες για τη βιωσιμότητα (Kass et al., 2018). Η αποθήκευση και μεταφορά υδρογόνου και αμμωνίας συνεπάγεται προκλήσεις που σχετίζονται με διαρροές, ασφάλεια και διαδικασίες υγροποίησης υψηλής έντασης ενέργειας. Επιπλέον, η μεταβλητή διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε ασυνέπειες στην παραγωγή καυσίμων, επηρεάζοντας την αξιοπιστία του εφοδιασμού για θαλάσσιες δραστηριότητες (Wijayanta et al., 2019).

Η οικονομική βιωσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συχνά παρεμποδίζεται από το υψηλότερο κόστος παραγωγής και υποδομής σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Η παραγωγή βιοκαυσίμων, για παράδειγμα, απαιτεί σημαντικές επενδύσεις στην καλλιέργεια, επεξεργασία και διύλιση πρώτων υλών. Η παραγωγή υδρογόνου και

αμμωνίας απαιτεί διαδικασίες έντασης ενέργειας, επηρεάζοντας τη συνολική σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Επιπλέον, η μετασκευή των υφιστάμενων πλοίων για να φιλοξενήσουν καύσιμα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί επίσης να συνεπάγεται σημαντικές δαπάνες, αμφισβητώντας περαιτέρω την οικονομική τους σκοπιμότητα (Wijayanta et al., 2019).

Η αντιμετώπιση των περιορισμών απόδοσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση. Οι τεχνολογικές εξελίξεις, όπως οι βελτιωμένες αποδοτικότητες μετατροπής ενέργειας και οι συνθέσεις καυσίμων με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση αυτών των καυσίμων. Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης θα πρέπει να επικεντρωθούν στη βελτιστοποίηση των μεθόδων παραγωγής και των λύσεων αποθήκευσης, ενώ παράλληλα θα διερευνηθούν εναλλακτικές οδοί, όπως οι τεχνολογίες ισχύος προς αέριο για την παραγωγή υδρογόνου. Επιπλέον, οι υποστηρικτικές πολιτικές, οι επιδοτήσεις και τα κίνητρα μπορούν να βοηθήσουν στην αντιστάθμιση των οικονομικών φραγμών και να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση ανανεώσιμων καυσίμων ενέργειας (Diab et al., 2016).

Συμπερασματικά, τα καύσιμα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Ωστόσο, οι περιορισμοί της αποτελεσματικότητάς τους σε τεχνικούς, επιχειρησιακούς και οικονομικούς τομείς παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις. Για να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία, είναι απαραίτητες οι συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών της βιομηχανίας, των ερευνητών και των φορέων χάραξης πολιτικής. Αντιμετωπίζοντας αυτούς τους περιορισμούς και επιδιώκοντας καινοτόμες λύσεις, ο ναυτιλιακός τομέας μπορεί να αντιμετωπίσει τις πολυπλοκότητες της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να συμβάλει σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον (Korican et al., 2022).

5.3 Ανάγκη εξειδικευμένου εξοπλισμού και εκπαίδευσης του προσωπικού για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η επιτυχής ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις θαλάσσιες μεταφορές εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την ανάπτυξη εξειδικευμένου εξοπλισμού προσαρμοσμένου στις μοναδικές απαιτήσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πολλά υποσχόμενες, αλλά η αποτελεσματική αξιοποίησή τους στη θάλασσα απαιτεί την ανάπτυξη και αξιοποίηση εξειδικευμένου εξοπλισμού. Οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ανεμογεννήτριες πρέπει να είναι κατασκευασμένοι ώστε να αντέχουν τις διαβρωτικές επιδράσεις του αλμυρού νερού, τις σκληρές καιρικές συνθήκες και τις δονήσεις που είναι εγγενείς στις θαλάσσιες επιχειρήσεις. Ομοίως, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας πρέπει να σχεδιάζονται για το θαλάσσιο περιβάλλον, ώστε να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία, η ασφάλεια και η βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα πλοία (Huang et al., 2021).

Γενικότερα, η ενσωμάτωση εξειδικευμένου εξοπλισμού για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα πλοία συναντά σημαντικές προκλήσεις. Οι αρχικές επενδύσεις στην έρευνα, την ανάπτυξη και το σχεδιασμό είναι σημαντικές, καθώς ο εξοπλισμός πρέπει να πληροί αυστηρά πρότυπα για ανθεκτικότητα, απόδοση και ασφάλεια. Η μετασκευή των υφιστάμενων πλοίων για να προσαρμοστούν σε αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να απαιτήσει πολύπλοκες τροποποιήσεις, επηρεάζοντας ενδεχομένως τη σταθερότητα του πλοίου, την κατανομή βάρους και την ικανότητα φορτίου. Επιπλέον, η εκπαίδευση του προσωπικού επί του σκάφους για τη λειτουργία και τη συντήρηση εξειδικευμένου εξοπλισμού είναι πρωταρχικής σημασίας, προσθέτοντας ένα άλλο επίπεδο πολυπλοκότητας (Kumar et al., 2022).

Η ενσωμάτωση εξειδικευμένου εξοπλισμού και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων για τον ναυτιλιακό τομέα. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και του νερού και η συμμόρφωση με αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς είναι οι κυριότερες από αυτές. Επιπλέον, η ενισχυμένη ενεργειακή ανθεκτικότητα και η μειωμένη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα συμβάλλουν στη λειτουργική αποδοτικότητα και στη μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους. Ο εξειδικευμένος εξοπλισμός προωθεί επίσης

την τεχνολογική καινοτομία και προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών της βιομηχανίας, οδηγώντας τις εξελίξεις στη ναυτιλιακή τεχνολογία (Balcombe et al., 2019).

Οι προσπάθειες για την αντιμετώπιση της ανάγκης για εξειδικευμένο εξοπλισμό στις θαλάσσιες επιχειρήσεις πρέπει να υποστηρίζονται από συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ των επιμέρους εμπλεκόμενων, δηλαδή των πλοιοκτητών, των κατασκευαστών, των ερευνητικών ιδρυμάτων και των αρμόδιων ρυθμιστικών φορέων. Οι πολιτικές που ενθαρρύνουν την υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υποστηρίζουν την ανάπτυξη εξειδικευμένου εξοπλισμού μπορούν να διευκολύνουν τη μετάβαση του κλάδου προς πιο πράσινες πρακτικές. Επιπλέον, η συνεχιζόμενη έρευνα και καινοτομία είναι καθοριστικής σημασίας για τη βελτίωση των υφιστάμενων τεχνολογιών και τη διερεύνηση νέων λύσεων που μεγιστοποιούν το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις θαλάσσιες επιχειρήσεις (Huang et al., 2021).

Γενικότερα, η ναυτιλιακή βιομηχανία βρίσκεται σε μια κομβική συγκυρία όπου η ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές συναντάται με την προοπτική των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο εξειδικευμένος εξοπλισμός προσαρμοσμένος στο θαλάσσιο πλαίσιο αποτελεί κομβικό παράγοντα αυτής της μετάβασης. Ενώ υπάρχουν προκλήσεις, τα οφέλη των μειωμένων εκπομπών, της ενισχυμένης λειτουργικής αποτελεσματικότητας και της τεχνολογικής προόδου υπογραμμίζουν την επιτακτική ανάγκη υιοθέτησης εξειδικευμένου εξοπλισμού για την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις θαλάσσιες επιχειρήσεις (Balcombe et al., 2019; Huang et al., 2021).

Πέραν από τα τεχνικά ζητήματα, η αποτελεσματική ενσωμάτωση αυτών των πηγών στα πλοία απαιτεί ένα εργατικό δυναμικό εξοπλισμένο με εξειδικευμένες γνώσεις και δεξιότητες για την πλοήγηση στις περιπλοκές των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας. Βασικό επομένως ζήτημα είναι η τεχνική επάρκεια η και εξειδικευμένη κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού. Η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εισάγει τεχνικές πολυπλοκότητες που απαιτούν ένα εργατικό δυναμικό έμπειρο στην εφαρμογή τους. Το εξειδικευμένο προσωπικό είναι απαραίτητο για την εγκατάσταση, τη λειτουργία, την παρακολούθηση και τη συντήρηση συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας στα πλοία. Η εξειδικευμένη εκπαίδευση είναι απαραίτητη για την κατανόηση των περιπλοκών των πρωτοκόλλων μετατροπής, αποθήκευσης, διανομής και

ασφάλειας ενέργειας που είναι ειδικά για το θαλάσσιο περιβάλλον. Η ικανότητα χειρισμού ηλιακών συλλεκτών, ανεμογεννητριών, κυψελών καυσίμου και μονάδων αποθήκευσης ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και την ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας (Nain & Kumar, 2020).

Η ανάπτυξη ενός εξειδικευμένου και καλά εκπαιδευμένου εργατικού δυναμικού συναντά διάφορες προκλήσεις, εμπόδια και δυσκολίες. Η ναυτιλιακή βιομηχανία πρέπει να αντιμετωπίσει τις πολυπλοκότητες του εντοπισμού κατάλληλων προγραμμάτων κατάρτισης, της ευθυγράμμισης των προγραμμάτων σπουδών με τις εξελισσόμενες τεχνολογίες και της διασφάλισης της συνεχούς αναβάθμισης του προσωπικού. Η υπέρβαση των γεωγραφικών φραγμών και η προώθηση της ποικιλομορφίας του εργατικού δυναμικού που απασχολείται στον κλάδο, παράλληλα με την προώθηση της εμπειρογνομosύνης σε συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας, δημιουργούν πρόσθετες προκλήσεις. Επιπλέον, η δυναμική και διαρκώς εξελισσόμενη φύση των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί συνεχή κατάρτιση και επαγγελματική ανάπτυξη του προσωπικού, ώστε να παρακολουθεί τις εξελίξεις (Nain & Kumar, 2020).

Σε κάθε περίπτωση, ένα εξειδικευμένο και εξειδικευμένο ναυτικό εργατικό δυναμικό συμβάλλει στην πραγματοποίηση των πιθανών οφελών της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το εξειδικευμένο προσωπικό μπορεί να βελτιστοποιήσει την απόδοση του συστήματος, να αντιμετωπίσει τεχνικά προβλήματα και να εφαρμόσει αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας. Η δυνατότητα να διαγνωσθούν και να διορθωθούν οι δυσλειτουργίες ενισχύει αμέσως την αξιοπιστία σκαφών, την ασφάλεια, και τη λειτουργική αποδοτικότητα. Επιπλέον, η προώθηση εξειδικευμένης εμπειρογνομosύνης ενθαρρύνει την καινοτομία και προάγει τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών της βιομηχανίας και των ερευνητικών ιδρυμάτων (Olcer et al., 2018).

Η καλλιέργεια ενός εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού ικανού σε συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας απαιτεί συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ πλοιοκτητών, εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και βιομηχανικών οργανισμών. Η καθιέρωση ολοκληρωμένων προγραμμάτων κατάρτισης προσαρμοσμένων στις θαλάσσιες επιχειρήσεις είναι επιτακτική ανάγκη για τη γεφύρωση του χάσματος γνώσης. Τα

πρότυπα και οι πιστοποιήσεις σε ολόκληρο τον κλάδο μπορούν να επικυρώσουν τις δεξιότητες του προσωπικού, ενισχύοντας την απασχολησιμότητά τους και διασφαλίζοντας ομοιόμορφη ικανότητα σε ολόκληρο τον τομέα. Και σε αυτή την περίπτωση, οι συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, οι πρωτοβουλίες χρηματοδότησης και τα προγράμματα μαθητείας μπορούν να διευκολύνουν την ανάπτυξη του εργατικού δυναμικού και να υποστηρίξουν τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Olcer et al., 2018).

Συνολικότερα, η μετάβαση της ναυτιλιακής βιομηχανίας σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαιτεί ένα εξειδικευμένο και καλά εκπαιδευμένο εργατικό δυναμικό. Η εξειδικευμένη κατάρτιση είναι καθοριστικής σημασίας για την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού αυτών των πηγών, ενώ μετριάξει τις τεχνικές προκλήσεις. Αν και η ανάπτυξη του εργατικού δυναμικού δημιουργεί εμπόδια, τα οφέλη της βελτιωμένης απόδοσης του συστήματος, της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και της τεχνολογικής καινοτομίας υπογραμμίζουν την κρίσιμη ανάγκη για εξειδικευμένο και καλά εκπαιδευμένο προσωπικό. Επενδύοντας επομένως ικανούς πόρους στην εκπαίδευση, την κατάρτιση και την επαγγελματική ανάπτυξη, ο ναυτιλιακός τομέας μπορεί να χαράξει μια δυναμική βιώσιμη πορεία προς ένα πιο πράσινο μέλλον (Olcer et al., 2018).

5.4 Περιορισμένη αυτονομία, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να μην είναι αρκετά αποδοτικές σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας

Τα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας, όπως οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ανεμογεννήτριες, εξαρτώνται εγγενώς από τις περιβαλλοντικές συνθήκες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η εξάρτηση δημιουργεί ικανές και ιδιαίτερα σημαντικές προκλήσεις για τη διασφάλιση συνεπούς ενεργειακού εφοδιασμού, ειδικά σε περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή αιολικής δραστηριότητας. Οι λύσεις αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, είναι ζωτικής σημασίας για τη γεφύρωση των κενών στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, η περιορισμένη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας και οι ρυθμοί εκφόρτισης των σημερινών τεχνολογιών μπαταριών μπορούν να περιορίσουν την αυτονομία των πλοίων ανανεώσιμης ενέργειας (Huang et al., 2021).

Η επιχειρησιακή αυτονομία περιλαμβάνει την ικανότητα ενός σκάφους να πλοηγείτε και να εκτελεί εργασίες ανεξάρτητα. Η ενσωμάτωση των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό για να διασφαλιστεί ότι η διαθεσιμότητα ενέργειας ευθυγραμμίζεται με τις λειτουργικές απαιτήσεις. Μειωμένη αυτονομία μπορεί να προκύψει όταν η ζήτηση ενέργειας του σκάφους υπερβαίνει την προσφορά από ανανεώσιμες πηγές, οδηγώντας σε πιθανές διαταραχές ή στην ανάγκη επιστροφής σε συμβατική πρόωση με βάση το καύσιμο. Επιπλέον, η εξειδικευμένη συντήρηση και η τεχνική εμπειρογνομοσύνη που απαιτούνται για τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν την αυτονομία των σκαφών επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα ειδικευμένου προσωπικού (Olcer et al., 2018).

Οι περιορισμοί αυτονομίας των πλοίων ανανεώσιμης ενέργειας σχετίζονται με οικονομικούς λόγους. Το αρχικό κόστος που συνδέεται με την απόκτηση και την ενσωμάτωση συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας είναι σημαντικό, συμπεριλαμβανομένων εκείνων για ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες και μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Το κόστος αυτό, σε συνδυασμό με πιθανούς περιορισμούς στην επιχειρησιακή αυτονομία, μπορεί να επηρεάσει την ανταγωνιστικότητα και την οικονομική αποδοτικότητα του σκάφους σε σύγκριση με τα συμβατικά τροφοδοτούμενα αντίστοιχα. Επιπλέον, όπως αναφέρεται και ανωτέρω, η συνεχής συντήρηση, επισκευή και αντικατάσταση εξαρτημάτων ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να επηρεάσει τους επιχειρησιακούς προϋπολογισμούς (Balcombe et al., 2019).

Η αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτονομίας των πλοίων που κινούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στις λύσεις αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας και τα συστήματα με βάση το υδρογόνο, υπόσχονται την επέκταση της αυτονομίας. Οι υβριδικές διαμορφώσεις που συνδυάζουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με συμβατικά καύσιμα μπορούν να παρέχουν μια πιο αξιόπιστη παροχή ενέργειας, ενισχύοντας την λειτουργική αυτονομία. Επιπλέον, οι στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας, η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και η προγνωστική συντήρηση μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση ενέργειας και να αυξήσουν τη συνολική αυτονομία (Platzer et al., 2014).

Συμπερασματικά, τα πλοία με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μια συναρπαστική πορεία προς μια πιο βιώσιμη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ωστόσο, οι

περιορισμοί αυτονομίας που θέτουν οι μεταβλητές δυνατότητες παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας είναι κρίσιμοι παράγοντες. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί μια συνεργατική προσπάθεια που περιλαμβάνει σχεδιαστές πλοίων, προγραμματιστές τεχνολογίας, ερευνητές και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Με την επιδίωξη καινοτόμων λύσεων και την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, ο ναυτιλιακός τομέας μπορεί να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς αυτονομίας και να εκμεταλλευτεί το πλήρες δυναμικό των πλοίων που κινούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Inan et al., 2022)

Κεφάλαιο 6^ο: Υπολογισμός ρίπων στον Σταθμό εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά (ΣΕΠ)

6.1 Περιοχή μελέτης

Η Piraeus Container Terminal Single Member S.A., ένας από τους κορυφαίους τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου, είναι μια εταιρεία που ιδρύθηκε στην Ελλάδα και πλήρως ελεγχόμενη θυγατρική της COSCO SHIPPING Ports Limited (ένας κορυφαίος διαχειριστής τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων που κατατάσσεται τρίτος στον κόσμο). Από την 1η Οκτωβρίου 2009, η PCT S.A. έχει αναλάβει για 35 χρόνια την υλοποίηση της Σύμβασης Παραχώρησης των προβλητών II και III, την οποία, μετά από διεθνή διαγωνισμό, η ΟΛΠ Α.Ε. εκχώρησε στην COSCO Pacific Limited (σήμερα COSCO SHIPPING Ports Limited). Κύριες δραστηριότητες της ΟΛΠ Α.Ε. είναι η παροχή υπηρεσιών φόρτωσης/εκφόρτωσης και αποθήκευσης εισαγόμενων και εξαγόμενων εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται μέσω του λιμένα Πειραιά, συμπεριλαμβανομένων των φορτίων που χρησιμοποιούν τον Πειραιά μόνο ως σταθμό διαμετακόμισης (transshipment cargoes) (Tzannatos, 2010). Η στρατηγική θέση του Πειραιά, που είναι το πρώτο ευρωπαϊκό λιμάνι μετά τη διώρυγα του Σουέζ με άμεση σύνδεση με το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο της Ε.Ε., τον καθιστά όχι μόνο ιδανικό λιμένα-κόμβο για προορισμούς στη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα, αλλά και βιώσιμο εταίρο για όλους τους ενδιαφερόμενους για υπηρεσίες διανομής και Logistics

στην Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή και την Αφρική. Η Piraeus Container Terminal Single Member S.A. είναι ένας από τους κορυφαίους τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου. Η εταιρεία ιδρύθηκε στην Ελλάδα και είναι πλήρως ελεγχόμενη θυγατρική της COSCO SHIPPING Ports Limited, η οποία είναι ένας από τους κορυφαίους διαχειριστές τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο. Από την 1η Οκτωβρίου 2009, η Piraeus Container Terminal Single Member S.A. ανέλαβε για 35 χρόνια την υλοποίηση της Σύμβασης Παραχώρησης των προβλητών II και III. Αυτή η σύμβαση παραχωρήθηκε από την ΟΛΠ Α.Ε. στην COSCO Pacific Limited (σήμερα COSCO SHIPPING Ports Limited) μετά από διεθνή πλειστηριασμό. Οι κύριες δραστηριότητες της εταιρείας περιλαμβάνουν την παροχή υπηρεσιών φόρτωσης, εκφόρτωσης και αποθήκευσης εμπορευματοκιβωτίων που διακινούνται μέσω του λιμένα Πειραιά. Συμπεριλαμβάνονται επίσης τα φορτία που χρησιμοποιούν τον Πειραιά ως σταθμό διαμετακόμισης. Η στρατηγική θέση του Πειραιά, πρώτο ευρωπαϊκό λιμάνι μετά τη Διώρυγα του Σουέζ, τον καθιστά ιδανικό λιμένα-κόμβο για προορισμούς στη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα. Έχει άμεση σύνδεση με το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και παρέχει βιώσιμες υπηρεσίες διανομής και Logistics στην Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή και την Αφρική. Ο τερματικός σταθμός έχει αποθηκευτική ικανότητα 900.000 τ.μ. και ετήσια μεταφορική ικανότητα περίπου 1,8 εκατομμυρίων TEUs και βρίσκεται στις κατά προσέγγιση συντεταγμένες N 37° 57' 19.47" - E 023° 35' 14.33". Επίσης σταθμός εμπορευματοκιβωτίων διαθέτει δύο αποβάθρες συνολικού μήκους 2,8 χιλιομέτρων, αποθηκευτικό χώρο 626.000 τ.μ. και ετήσια χωρητικότητα 1,6-1,8 εκατομμύρια TEUs. Στην **εικόνα 6.1** παρουσιάζεται ο χάρτης της περιοχής μελέτης και η διάταξη του λιμένα.



Εικόνα 6.1: Χάρτης από την περιοχής μελέτης

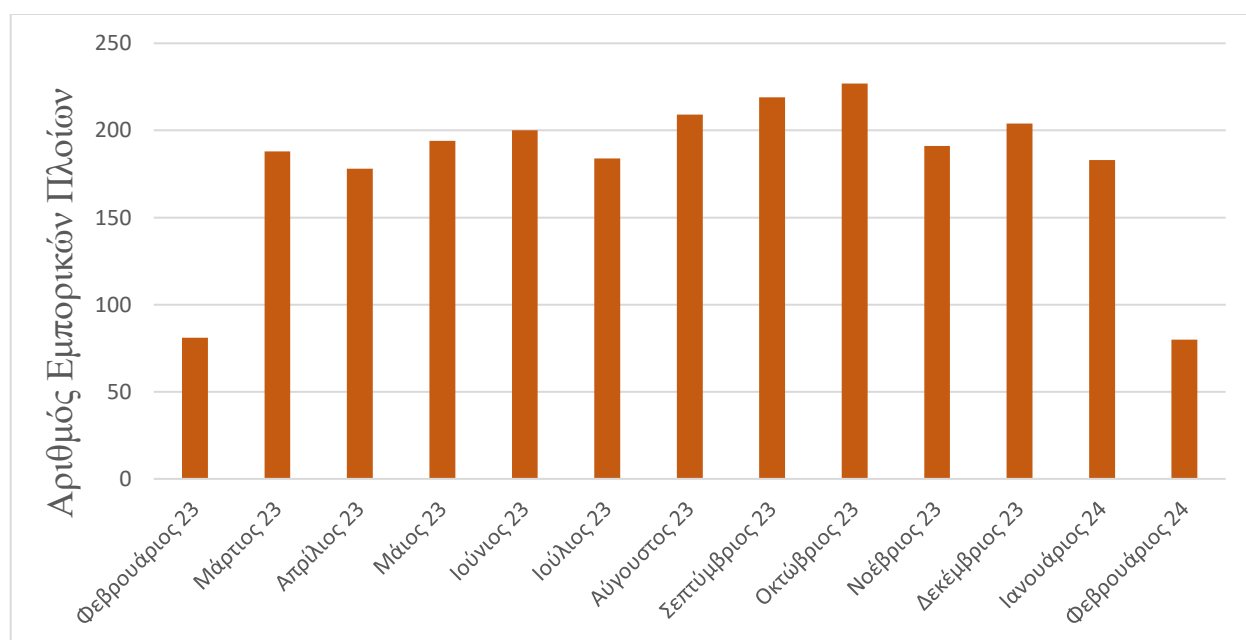
6.2 Δεδομένα AIS και πληροφορίες πλοίου

Το Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης (AIS) είναι ένα υποχρεωτικό σύστημα αποφυγής συγκρούσεων που απαιτείται να εγκατασταθεί στα πλοία από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Τα διεθνή ταξιδιωτικά πλοία με ολική χωρητικότητα (GT) 300 ή περισσότερο, επιβατηγά πλοία όλων των μεγεθών, εγχώρια πλοία με GT 200 ή περισσότερα που ταξιδεύουν σε παράκτια ύδατα, και πλοία ενδοχώρας με GT 100 και άνω, απαιτείται να είναι εξοπλισμένα με AIS. Κάθε μεμονωμένο πλοίο με εγκατεστημένο AIS ταυτοποιείται με μοναδικό αριθμό αναγνώρισης ναυτιλιακής κινητής υπηρεσίας (MMSI) και μητρώο IMO. Το AIS εκπέμπει ένα σήμα που παρέχει λεπτομέρειες σχετικά με την ταχύτητα του πλοίου και θέση του πλοίου σε διαστήματα από 3 δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά. Τα δεδομένα για την μελέτη πάρθηκαν από το MarineTraffic το οποίο είναι ένα διαδίκτυακή πλατφόρμα που παρέχει πληροφορίες

σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κίνηση πλοίων σε όλο τον κόσμο με την χρήση του συστήματος AIS που έχουν τα πλοία. Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ένα πλήρες έτος δεδομένων AIS από 13/02/23-13/02/2024 για να εκτιμηθούν οι εκπομπές των πλοίων με υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση στην περιοχή του Πειραιά. Τα είδη των καυσαερίων περιλαμβάνουν CO₂, NO_x, SO₂, CO, και PM₁₀. Τα στατιστικά στοιχεία των δεδομένων AIS δείχνουν ότι 2337 πλοία συμμετέχουν στην έρευνα (σχήμα 6.1).

Τα δεδομένα τα οποία πάρθηκαν από το MarineTraffic είναι τα εξής:

- Όνομα Πλοίου
- Τύπος Πλοίου
- Ωρα άφιξης του πλοίου στο λιμάνι
- Ωρα αναχώρησης του πλοίου από το λιμάνι
- Ωρα ελλιμενισμού
- Ολική χωρητικότητα (GT)
- Χωρητικότητα νεκρού βάρους (DWT)
- Μέση ταχύτητα πλοίου
- Μέγιστη ταχύτητα πλοίου



Σχήμα 6.1: Αριθμός πλοίων στον ΣΕΠ κατά την περίοδο 14/02/23-14/02/24

Ορισμός συντομογραφιών:

DWT: Το νεκρό φορτίο είναι η συνολική μάζα του φορτίου και των επιπλέον αντικειμένων που μπορεί να μεταφέρει ένα πλοίο, συμπεριλαμβανομένων των εμπορευμάτων, των καυσίμων, του νερού, των επιβατών και του πληρώματος.

GT: Ο ορισμός της ολικής χωρητικότητας (GT) ενός πλοίου είναι το μέτρο του συνολικού εσωτερικού όγκου του πλοίου, μερικώς ή πλήρως πλημμυρισμένου με νερό. Αυτή η μέτρηση λαμβάνει υπόψη τις διαστάσεις του πλοίου και τον τρόπο που αυτές επηρεάζουν την εσωτερική του χωρητικότητα, και συνήθως χρησιμοποιείται στη ναυτιλία για να προσδιορίσει το μέγεθος ή τη χωρητικότητα ενός πλοίου.

TEU: Το TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) είναι ένα πρότυπο μέτρο χωρητικότητας για τα πλοία, τα οποία χρησιμοποιείται για να μετρήσει την χωρητικότητα ενός φορτηγού πλοίου ή ενός λιμενικού εγκαταστάσεων. Ένα TEU αντιστοιχεί σε ένα δοχείο μήκους 20 ποδιών (περίπου 6.1 μέτρα). Ο ορισμός του TEU είναι η χωρητικότητα ενός πλοίου που ισοδυναμεί με τη μεταφορά ενός δοχείου με μήκος 20 ποδιών.

6.3 Εκτίμηση των εκπομπών των πλοίων

Υπάρχουν δύο συνήθως χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις για την ανάπτυξη υπολογισμών των εκπομπών καυσαερίων πλοίων, δηλαδή η μέθοδος "top-down" και η μέθοδος "bottom-up" (Miola & Ciuffo, 2011). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος bottom-up. Η μέθοδος top-down βασίζεται στη δραστηριότητα και στις δυναμικές και στατικές πληροφορίες για ένα πλοίο. Η έλλειψη ορισμένων δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τις μεθόδους που βασίζονται στη δραστηριότητα είναι το κύριο πρόβλημα που προκαλεί αβεβαιότητα στον υπολογισμό των εκπομπών. Η μέθοδος bottom-up χρησιμοποιείται επειδή η μέθοδος αυτή έχει υψηλότερη χωρική και χρονική ανάλυση επειδή οι εκτιμήσεις βασίζονται στην δυναμική του πλοίου και σε ορισμένες πληροφορίες όπως ο συντελεστής φορτίου του κινητήρα, ο τύπος καυσίμου, η τοποθεσία, η ολική χωρητικότητα και η διάρκεια των δραστηριοτήτων του πλοίου (Chen et al., 2017). Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της εκτίμησης με τη μέθοδο bottom-up είναι πιο ακριβή από τη μέθοδο top-down. Τα δεδομένα που λαμβάνονται

και επεξεργάζονται ως δεδομένα εισόδου για την εκτέλεση περαιτέρω υπολογισμών. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό των συνολικών εκπομπών CO₂, NO_x, SO₂, CO, και PM₁₀ που προκύπτουν από τη δραστηριότητα των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κατά την πρόσδεση στον τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων. Τα δεδομένα που δεν μπορούν να ληφθούν από τον λιμένα, πάρθηκαν από το MarineTraffic (MarineTraffic. Global Ship Tracking Intelligence). Οι προκύπτουσες εκπομπές μπορούν να προκύψουν από τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων και στη συνέχεια να πολλαπλασιαστούν με έναν συντελεστή εκπομπών.

$$E_T = E_{ME} + E_{AE} \quad (6.1)$$

$$E_{ME} = T \times P_{ME} \times LF \times EF_{ME} \quad (6.2)$$

$$E_{AE} = T \times P_{AE} \times LF \times EF_{AE} \quad (6.3)$$

$$LF = \left(\frac{AS}{MS}\right)^3 \quad (6.4)$$

$$ME = 2,22 \times GT^{0,889} \quad (6.5)$$

$$AE = 0,22 \times ME \quad (6.6)$$

Οπού:

E_T : είναι το εκτιμώμενο σύνολο εκπομπών (6.1)

E_{ME} : είναι οι εκτιμώμενες εκπομπές από την κυρία μηχανή (6.2)

E_{AE} : είναι οι εκτιμώμενες εκπομπές από την βοηθητική μηχανή (6.3)

T: είναι ο εκτιμώμενος χρόνος (ώρες) για τις διάφορες δραστηριότητες του πλοίου όπως, ο ακροβολισμός, ο ελιγμός και ο ελλιμενισμός του πλοίου στο λιμάνι.

P: είναι η ισχύς της μηχανής ανάλογα το αν είναι η κυρία ή η βοηθητική μηχανή.

LF: που είναι ο συντελεστής φορτιού, όπου είναι η αναλογία ισχύς που χρησιμοποιεί κάθε μηχανή (κυριά η βοηθητική) σε διάφορες δραστηριότητες του πλοίου. Το οποίο μπορεί να υπολογιστεί με βάση την AS (πραγματική ταχύτητα) και το MS (μέγιστη ταχύτητα). **(6.4)**

EF: όπου είναι ο συντελεστής εκπομπών για την ανάλογη μηχανή και για τους διάφορους τύπους εκπομπών.

ME: είναι η ισχύς της κύριας μηχανής σε (kW) **(6.5)**

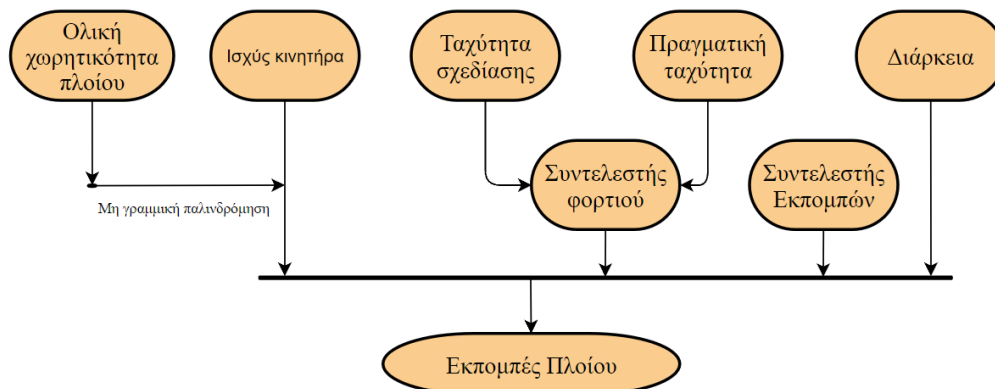
AE: η ισχύς της βοηθητικής μηχανής σε (kW) **(6.6)**

LF ως συντελεστής φορτιού σε (%) της χρήσης της εκάστοτε μηχανής και το EF ο συντελεστής εκπομπών σε (g/KWh). Οι συντελεστές εκπομπών εξαρτώνται από τον τύπο μηχανής, τον τύπο καύσιμου και την κατάσταση της μηχανής. Το κύριο καύσιμο των πλοίων σε αυτήν την περίπτωση, όπου είναι τα εμπορευματοκιβώτια, στην κυριά μηχανή είναι το βαρύ μαζούτ (RO) και στην βοηθητική μηχανή το πετρέλαιο των πλοίων (MDO). Η ισχύς της κύριας και της βοηθητικής μηχανής δεν μπορούν να βρεθούν από τα δεδομένα του MarineTraffic αλλά μπορούν να υπολογιστούν από προηγούμενες μελέτες με έναν τύπο που περιέχει την ολική χωρητικότητα του πλοίου (GT) μέσω μιας μη γραμμικής παλινδρόμησης (Chen et al., 2016). Η αναλογία της βοηθητικής προς την κυριά μηχανή είναι 0,22 (Wang et al., 2020). Στο παρακάτω διάγραμμα ροής φαίνονται τα απαραίτητα δεδομένα για την εύρεση των εκπομπών από τα πλοία (Budiyanto et al., 2022) .

Παραδοχές:

Για τον υπολογισμό των εκτιμώμενων εκπομπών, έγιναν κάποιες παραδοχές λόγω έλλειψης δεδομένων.

- Η πρώτη παραδοχή αφορά τους χρόνους αγκυροβολισμού και ελιγμού του πλοίου, οι οποίοι παρήχθησαν μετά από συνεντεύξεις με το πλήρωμα.
- Η δεύτερη παραδοχή αφορά τον τύπο μηχανής που χρησιμοποιήθηκε, η οποία είναι η MSD (Medium Speed Diesel), η οποία είναι και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη.
- Η τρίτη παραδοχή αφορά τον συντελεστή φορτίου(LF) για κάθε δραστηριότητα του πλοίου, ο οποίος προήλθε από προηγούμενες έρευνες.



Σχήμα 6.1 : Στοιχεία για την εύρεση εκπομπών από τα πλοία

6.3.1 Συντελεστές φορτίου και εκπομπών

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιείται το ποσοστό του συντελεστή φορτίου που προκύπτει από προηγούμενη έρευνα (Styhre & Winnes, 2019), δηλαδή η εκτίμηση της χρήσης της ισχύος του κινητήρα με βάση τη λειτουργική κατάσταση στην περιοχή του λιμένα. Επίσης πάρθηκαν συνεντεύξεις από διάφορα μέλη του πληρώματος.

Μηχανή	Αγκυροβολία	Ελιγμός	Ελλιμενισμός
ΜΕ	20%	20%	0%
ΑΕ	40%	50%	40%

Πίνακας 6.1: Συντελεστής φορτίου (LF) για τις διάφορες δραστηριότητες του πλοίου

Οι συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιούνται με βάση τον τύπο του καυσίμου παρουσιάζονται στον **πίνακα 6.2**. Οι συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη προέρχονται από προηγούμενες ολοκληρωμένες ναυτιλιακές μελέτες (Fan et al. 2016). Το κύριο καύσιμο των εμπορικών πλοίων είναι το βαρύ μαζούτ (RO) για τον κύριο κινητήρα και ναυτιλιακό ντίζελ (MDO) για τον βοηθητικό κινητήρα.

Πίνακας 6.2: Συντελεστές εκπομπών και τύποι καυσίμου για κινητήρες (g/kWh)

Μηχανή	Τύπος Μηχανής	Τύπος Καυσίμου	CO ₂ (g/kwh)	NO _x (g/kwh)	CO (g/kwh)	SO ₂ (g/kwh)	PM ₁₀ (g/kwh)
ME	SSD	RO	622	18,1	0,5	10,3	1,378
ME	MSD	RO	686	14	1,1	11,31	1,193
ME	HSD	RO	686	12,7	1,1	11,31	0,650
AE	MSD	MD	683	13,9	1,1	2,12	0,328

ME: Main Engine; AE: Auxiliary Engine; SSD: Slow Speed Diesel; MSD: Medium Speed Diesel; HSD: High Speed Diesel; RO: Residual Oil; MD: Marine Distillate.

6.3.2 Δεδομένα δραστηριότητας πλοίου

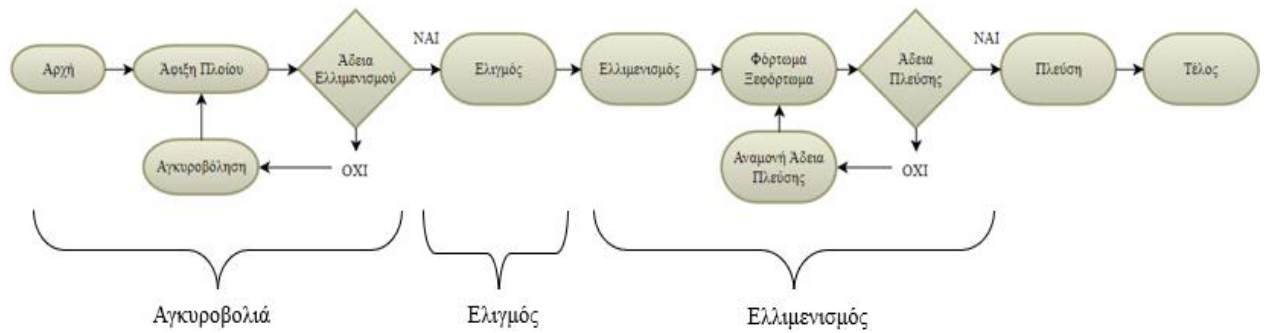
Η διαδικασία πρόσδεσης ενός πλοίου στο λιμάνι αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις:

α) **Αγκυροβόληση**: όπου το πλοίο αναμένει στη λιμενική λεκάνη με την κύρια μηχανή ενεργοποιημένη, αλλά δεν έχει δοθεί εντολή να προσεγγίσει την αποβάθρα.

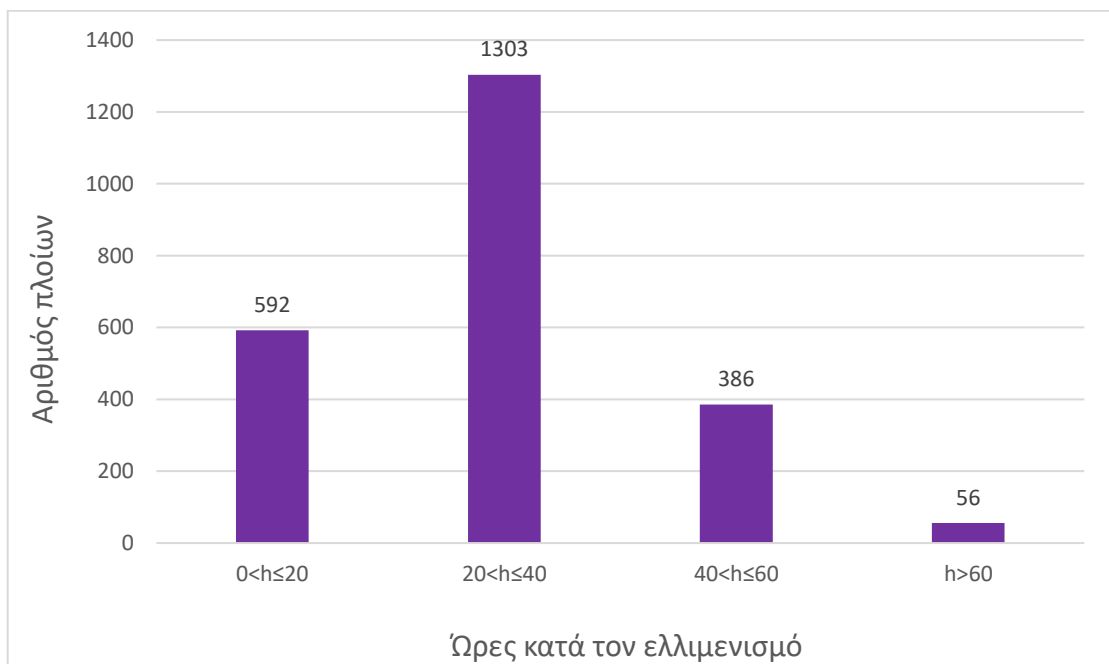
β) **Ελιγμός**: όπου το πλοίο μετακινείται από την θέση ακροβολισμού μέχρι την αποβάθρα.

γ) **Ελλιμενισμός**: όπου το πλοίο δένει στην αποβάθρα και η βοηθητική μηχανή χρησιμοποιείται για τη διαδικασία φόρτωσης ή εκφόρτωσης.

Οι δραστηριότητες αυτές επηρεάζουν τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε φάσης, καθώς και την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές που παράγονται από το πλοίο και φαίνονται στο σχήμα παρακάτω (**σχήμα 6.2**). Ωστόσο το MarineTraffic μας δίνει μόνο το χρόνο ελλιμενισμού, αλλά από προηγούμενες μελέτες και έπειτα με συνεντεύξεις με πληρώματα, υπολογίζουμε πως ο χρόνος ελιγμού ανέρχεται στην 1 ώρα και η ώρα την οποία το πλοίο βρίσκεται αγκυροβολημένο εκτιμάται να είναι στις 4 ώρες. Σύμφωνα με το σχήμα 6.3, η πλειοψηφία των πλοίων παραμένει δεμένη στο λιμάνι για περίοδο 20 έως 40 ωρών προκειμένου να εκφορτώσουν και να φορτώσουν.



Σχήμα 6.2 : Δραστηριότητα πλοίων στο λιμάνι



Σχήμα 6.3: Αριθμός πλοίων σε συνάρτηση με τον χρόνο ελλιμενισμού

6.4 Αριθμητικό Παράδειγμα

6.4.1 Εξισώσεις

$$E_T = E_{ME} + E_{AE} \quad (6.1)$$

$$E_{ME} = T \times P_{ME} \times LF \times EF_{ME} \quad (6.2)$$

$$E_{AE} = T \times P_{AE} \times LF \times EF_{AE} \quad (6.3)$$

$$LF = \left(\frac{AS}{MS}\right)^3 \quad (6.4)$$

$$ME = 2,22 \times GT^{0,889} \quad (6.5)$$

$$AE = 0,22 \times ME \quad (6.6)$$

6.4.2 Δεδομένα MarineTraffic

Berth Name	Current Port Ata	Current Port Atd	Time At Berth	Time At Port	Voyage Speed Average	Voyage Speed Max	Voyage Idle Time	Vessel type	Capacity DWT	Capacity GT
Pier II EAST	2/12/2024 19:40	2/13/2024 19:03	23,1	24	9,7	15,5	23,6	Container Ship	34330	33735

6.4.3 Υπολογισμός ισχύς των μηχανών

$$P_{ME} = 2,22 \times GT^{0,889} = 2,22 \times 33735^{0,889} = 23451(kw) \quad (6.7)$$

$$P_{AE} = 0,22 \times P_{ME} = 0,22 \times 23451 = 5179(kw) \quad (6.8)$$

6.4.5 Υπολογισμός ρίπων της κυρίας μηχανής για κάθε δραστηριότητα του πλοίου

$$E_{ME_{CO_2}(\sigma\kappa\upsilon\rho\omicron\rho\beta\omicron\lambda\iota\acute{\alpha})} = T_{(\sigma\kappa\upsilon\rho\omicron\rho\beta\omicron\lambda\iota\acute{\alpha})} \times P_{ME} \times LF_{(\sigma\kappa\upsilon\rho\omicron\rho\beta\omicron\lambda\iota\acute{\alpha})} \times EF_{ME_{CO_2}} = 4(h) \times 23451(kw) \times 20\% \times 686\left(\frac{g}{kwh}\right) \times 10^{-3} = 12.870(kg) \quad (6.9)$$

$$E_{ME_{CO_2}(\epsilon\lambda\iota\gamma\mu\acute{o}\varsigma)} = T_{(\epsilon\lambda\iota\gamma\mu\acute{o}\varsigma)} \times P_{ME} \times LF_{(\epsilon\lambda\iota\gamma\mu\acute{o}\varsigma)} \times EF_{ME_{CO_2}} = 1(h) \times 23451(kw) \times 20\% \times 686\left(\frac{g}{kwh}\right) \times 10^{-3} = 3.217(kg) \quad (6.10)$$

$$E_{ME_{CO_2}(\epsilon\lambda\lambda\iota\mu\epsilon\upsilon\sigma\iota\sigma\omicron\varsigma)} = T_{(\epsilon\lambda\lambda\iota\mu\epsilon\upsilon\sigma\iota\sigma\omicron\varsigma)} \times P_{ME} \times LF_{(\epsilon\lambda\lambda\iota\mu\epsilon\upsilon\sigma\iota\sigma\omicron\varsigma)} \times EF_{ME_{CO_2}} = 23,1(h) \times 23451(kw) \times 0\% \times 686\left(\frac{g}{kwh}\right) \times 10^{-3} = 0(kg) \quad (6.11)$$

6.4.6 Υπολογισμός ρίπων της βοηθητικής μηχανής για κάθε δραστηριότητα του πλοίου

$$E_{AE_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} = T_{(\text{αγκυροβολιά})} \times P_{AE} \times LF_{(\text{αγκυροβολιά})} \times EF_{AE_{CO_2}} = 4(h) \times 5179(kw) \times 40\% \times 683\left(\frac{g}{kwh}\right) \times 10^{-3} = 5.660(kg) \quad (6.12)$$

$$E_{AE_{CO_2}(\text{ελιγμός})} = T_{(\text{ελιγμός})} \times P_{AE} \times LF_{(\text{ελιγμός})} \times EF_{AE_{CO_2}} = 1(h) \times 5179(kw) \times 50\% \times 683\left(\frac{g}{kwh}\right) \times 10^{-3} = 1.769(kg) \quad (6.13)$$

$$E_{AE_{CO_2}(\text{ελλιμενισμός})} = T_{(\text{ελλιμενισμός})} \times P_{AE} \times LF_{(\text{ελλιμενισμός})} \times EF_{AE_{CO_2}} = 23,1(h) \times 5179(kw) \times 40\% \times 683\left(\frac{g}{kwh}\right) \times 10^{-3} = 32.684(kg) \quad (6.14)$$

6.4.7 Υπολογισμός συνολικών ρίπων για κάθε δραστηριότητα του πλοίου

$$E_{T_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} = E_{ME_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} + E_{AE_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} = 12.870(kg) + 5.660(kg) = 18.530(kg) \quad (6.15)$$

$$E_{T_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} = E_{ME_{CO_2}(\text{ελιγμός})} + E_{AE_{CO_2}(\text{ελιγμός})} = 3.217(kg) + 1.769(kg) = 4.986(kg) \quad (6.16)$$

$$E_{T_{CO_2}(\text{ελλιμενισμός})} = E_{ME_{CO_2}(\text{ελλιμενισμός})} + E_{AE_{CO_2}(\text{ελλιμενισμός})} = 0 + 32.684(kg) = 32.684(kg) \quad (6.17)$$

6.4.8 Υπολογισμός των συνολικών ρίπων του πλοίου

$$E_{T_{CO_2}} = E_{T_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} + E_{T_{CO_2}(\text{αγκυροβολιά})} + E_{T_{CO_2}(\text{ελλιμενισμός})} = 18.530(kg) + 4.986(kg) + 32.684(kg) = 56.200(kg) \quad (6.18)$$

6.5 Αποτελέσματα και συζήτηση

Το σύνολο εκπομπών στον ΣΕΠ για κάθε δραστηριότητα του πλοίου για την περίοδο ενός χρόνου (14/02/23-14/02/24) φαίνεται στον **πίνακα 6.3** με σύνολο εκπομπών 227.219, 433, 367,1419 και 176 tones/year για CO₂, NO_x, CO, SO₂ και PM₁₀ αντίστοιχα. Στην ερευνά συμμετείχαν μόνο τα container, general cargo πλοία τα οποία είναι τα κύρια πλοία που ξεφορτώνουν σε αυτόν τον σταθμό, πλοία με ολική χωρητικά κάτω των 100(GT) δεν συμπεριλήφθηκαν λόγω της απουσίας του συστήματος AIS που έχουν. Το σύνολο των πλοίων που εξετάστηκαν ανέρχεται στα 2337. Στο **σχήμα 6.4** και **6.5** παρουσιάζεται η κατανομή των πλοίων ανάλογα την ολική τους χωρητικότητα (GT) και την χωρητικότητα του νεκρού βάρους (DWT). Βάση την ολικής τους χωρητικότητας τα πλοία χωρίζονται σε 4 κατηγορίες, τα μικρά, τα μεσαία, τα μεγάλα και τα πολύ μεγάλα (Equasis:The world merchant fleet in 2020). Στο λιμάνι του Πειραιά δεν υπήρχαν πλοία κάτω των 500 (GT) δηλαδή μικρά πλοία, τα περισσότερα πλοία όπως βλέπουμε στο σχήμα είναι τα μεσαία με συνολικό αριθμό 1065 από τα 2337 που ήταν συνολικά.

Στο **σχήμα 6.6** παρατηρούμε την ποσότητα των εκπομπών στον ΣΕΠ κατά τη χρονιά 2023-2024 ανάλογα με την εποχή. Συγκεκριμένα, το καλοκαίρι είχε τη μεγαλύτερη ποσότητα εκπομπών με 62.249 τόνους, ενώ ακολουθούσε η άνοιξη με 60.682 τόνους και στην τελευταία θέση βρισκόταν ο χειμώνας με 47.541 τόνους. Η αύξηση των εκπομπών κατά το καλοκαίρι οφείλεται στην αυξημένη κίνηση εμπορικών πλοίων, καθώς η χώρα μας πρέπει να αντιμετωπίσει τις αυξημένες ανάγκες του πληθυσμού λόγω του τουρισμού.

Στο **σχήμα 6.7** αναπαριστά τη σχέση μεταξύ του βάρους (DWT) των πλοίων (στον και των εκτιμώμενων εκπομπών CO₂. Η εξίσωση της γραμμής προσαρμογής είναι $y = 0,0019x - 10,836$, και ο συντελεστής προσδιορισμού R² είναι 0,8687. Η θετική τιμή του συντελεστή x (0,0019) υποδεικνύει ότι υπάρχει μια αναλογική σχέση μεταξύ του DWT των πλοίων και των εκπομπών CO₂, μεγαλύτερο DWT συνδέεται με υψηλότερες εκπομπές CO₂. Η σταθερά (-10,836) υποδεικνύει το ελάχιστο επίπεδο εκπομπών CO₂ που προκύπτει από τη λειτουργία των πλοίων, ανεξάρτητα από το DWT. Αν και ο συντελεστής προσδιορισμού R² είναι σχετικά υψηλός (0,8687), υπάρχει πιθανότητα ότι η γραμμή προσαρμογής δεν εξηγεί πλήρως τη διακύμανση των δεδομένων. Αυτό

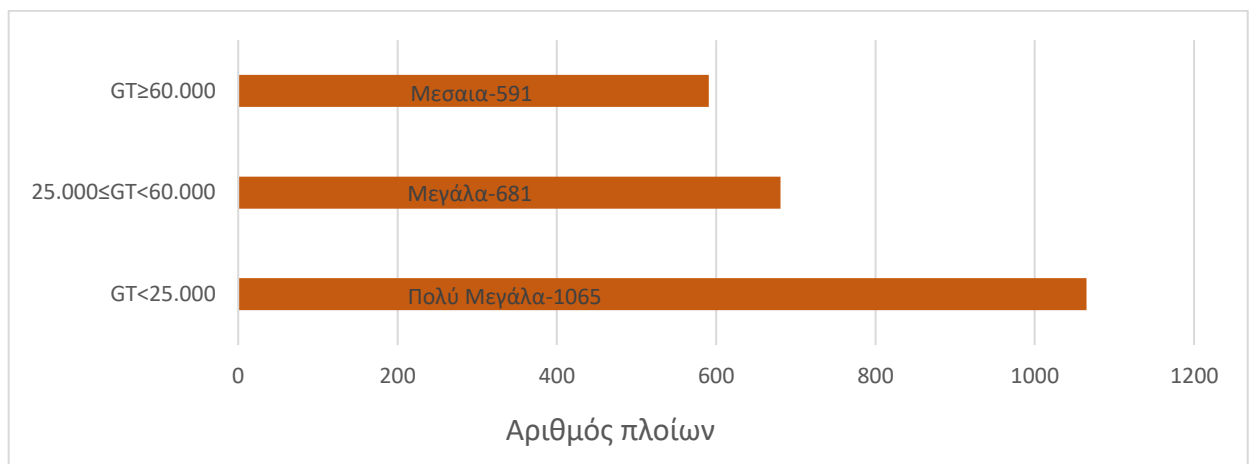
μπορεί να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες που δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο.

Στα **σχήματα 6.8-6.12** επιγράφονται οι συνολικές εκπομπές CO₂, NO_x, CO, SO₂ και PM₁₀ αντίστοιχα για κάθε δραστηριότητα του πλοίου περιλαμβάνοντας επίσης και την αναλογία εκπομπών για κάθε DWT. Για την περίπτωση του CO₂ η αναλογία είναι σε kg/DWT λόγω του μεγάλου όγκο των εκπομπών ενώ των υπολοίπων εκπομπών σε g/DWT. Παρατηρούμε πως οι εκπομπές από το CO₂, NO_x και CO στην κατάσταση ελλιμενισμού είναι περισσότερες από ότι στον αγκυροβολισμό ή τον ελιγμό του πλοίου. Με το CO₂ να έχει 1,07(kg/DWT), 0,13(kg/DWT) και 0,48(kg/DWT) για τον ελλιμενισμό, ελιγμό και τον αγκυροβολισμό αντίστοιχα. Το NO_x με 13,98(g/DWT), 2,76(g/DWT), 10,32(g/DWT) και το CO με 1,21(g/DWT), 0,22(g/DWT), και 0,83(g/DWT) για τον ελλιμενισμό, ελιγμό και τον αγκυροβολισμό αντίστοιχα. Η συνολική συμβολή εκπομπών για κάθε πλοίο είναι 1,68(kg/DWT), 27,06(g/DWT) και 2,26(g/DWT) για το CO₂, NO_x και CO αντίστοιχα. Ωστόσο για τις εκπομπές από το SO₂ και PM₁₀ παρατηρούμε πως έχουν μεγαλύτερες εκπομπές ρύπων κατά τον αγκυροβολισμό του πλοίου και αυτό ωφελείται στους συντελεστές εκπομπών στην κύρια και βοηθητική μηχανή. Όταν το πλοίο βρίσκεται σε αγκυροβολισμό λειτουργεί με το 20% της κυρίας μηχανής και το 40% της βοηθητικής ωστόσο οι συντελεστές για την βοηθητική μηχανή των ρύπων SO₂ και PM₁₀ σε σχέση με τους συντελεστές για την κύρια μηχανή έχουν μεγάλη απόκλιση. Το SO₂ έχει συντελεστή 11,31(g/kwh) για την κυρία ενώ μόλις 2,12(g/kwh) για την βοηθητική όπως και το PM₁₀ έχει 1,193(g/kwh) για την κυρία και 0,328(g/kwh) για την βοηθητική. Επίσης όταν το πλοίο βρίσκεται σε ελλιμενισμό λειτουργεί μόνο η βοηθητική μηχανή που εκεί έχουμε πάλι μικρούς συντελεστές για αυτά τα δυο καυσάερια.

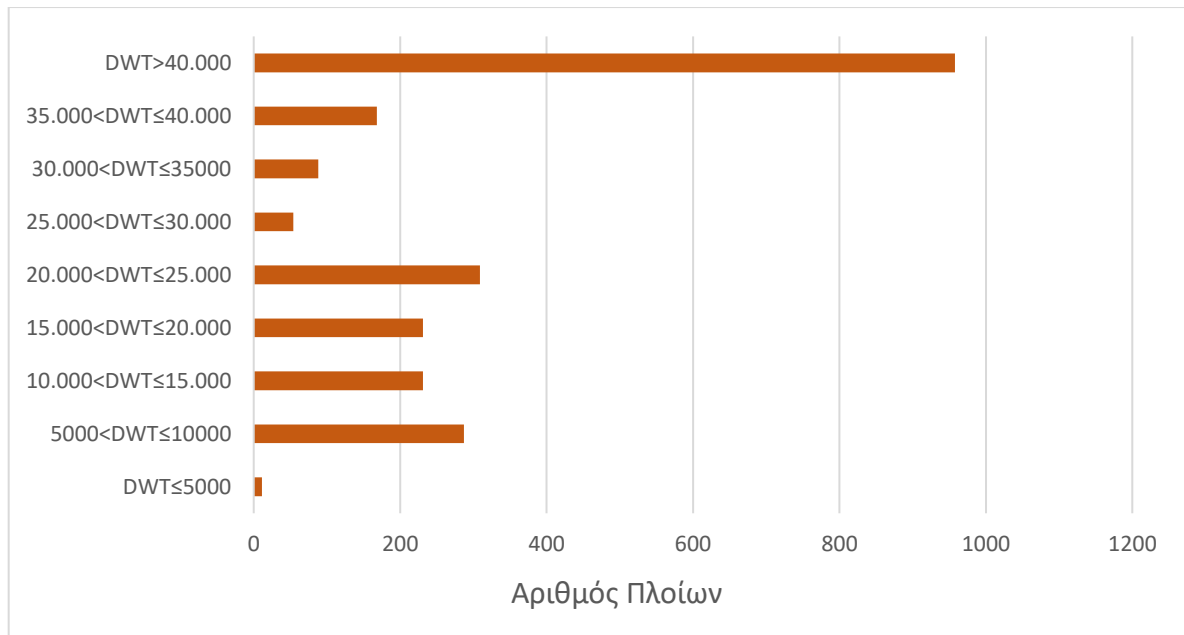
	Αγκυροβολισμός (tones/year)	Ελιγμός (tones/year)	Ελλιμενισμός (tones/year)	Σύνολο (tones/year)
CO ₂	61.012	16.418	150.289	227.719
NO _x	1.215	325	2.795	4.335
CO	98	26	242	367

SO ₂	759	193	466	1.419
PM ₁₀	83	21	72	167

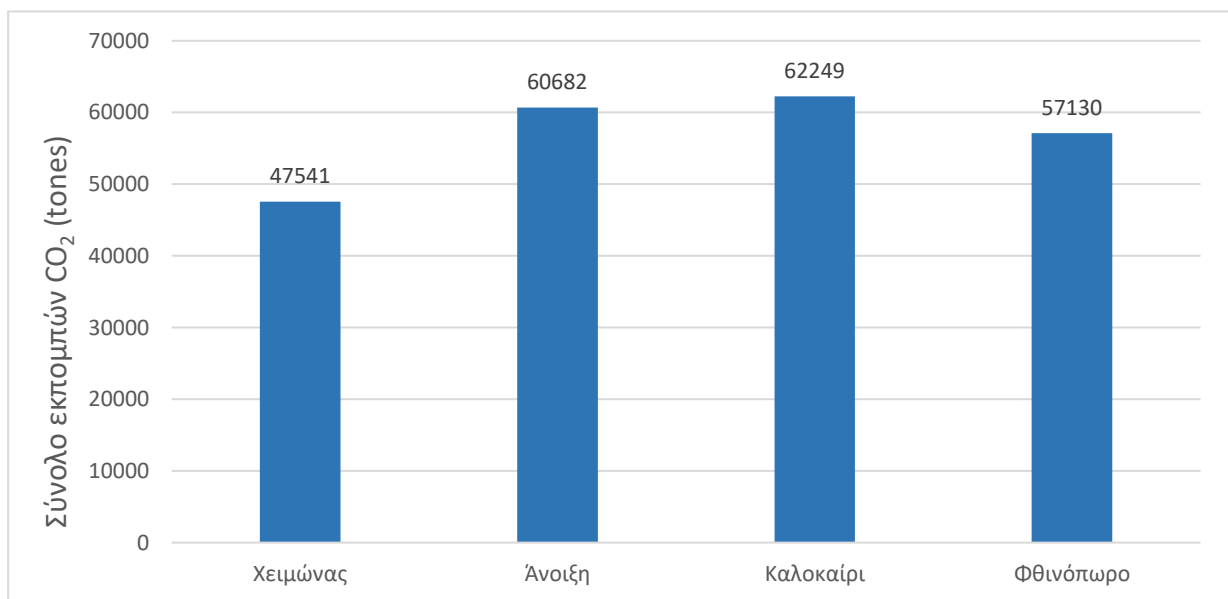
Πίνακας 6.3: Ετήσιες εκπομπές του στόλου ΣΕΠ (02/2023-02/2024) για κάθε δραστηριότητα του πλοίου



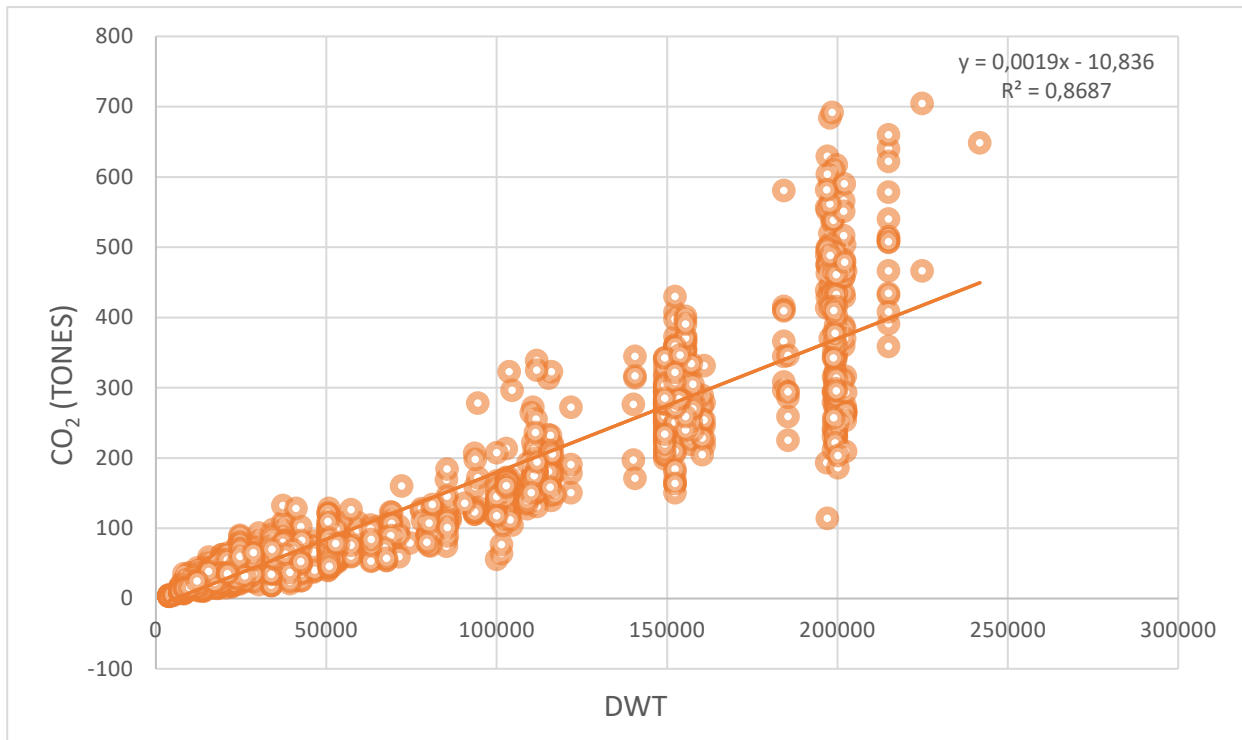
Σχήμα 6.4: Κατανομή πλοίων με βάση την ολική χωρητικότητα τους (Gross Tonne)



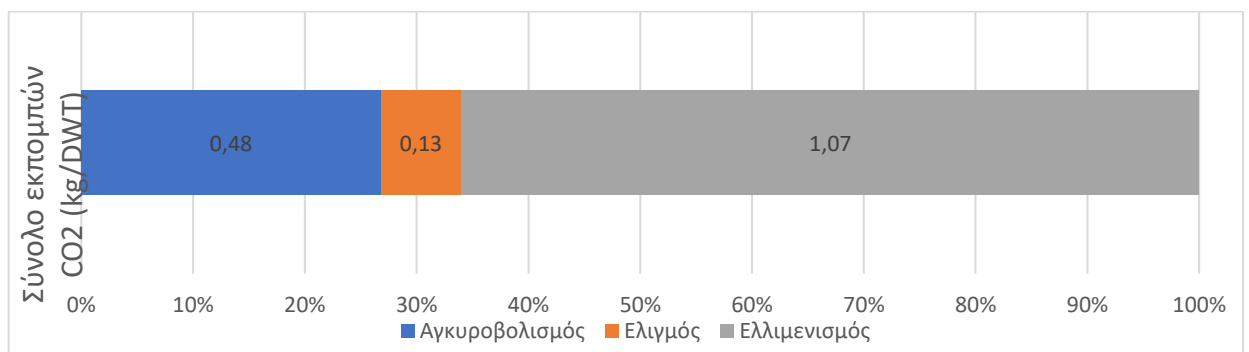
Σχήμα 6.5: Κατανομή πλοίων σε αναλογία με την χωρητικότητα νεκρού βάρους (DWT)



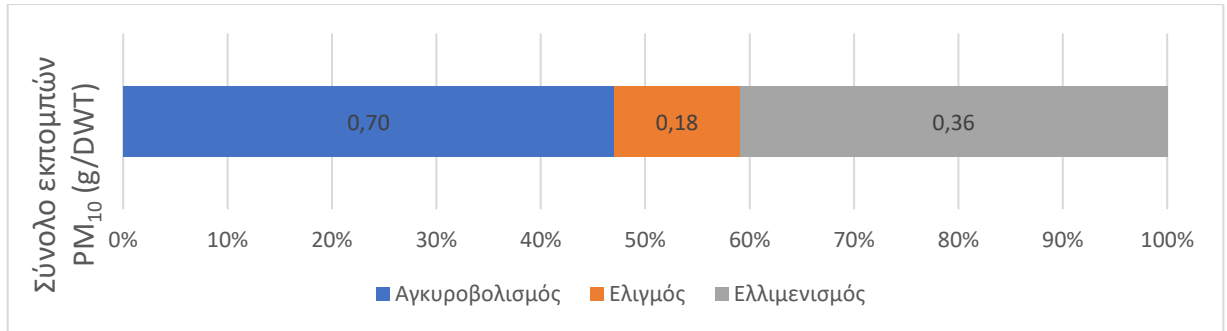
Σχήμα 6.6: Σύνολο εκπομπών CO₂ ανάλογα την εποχή



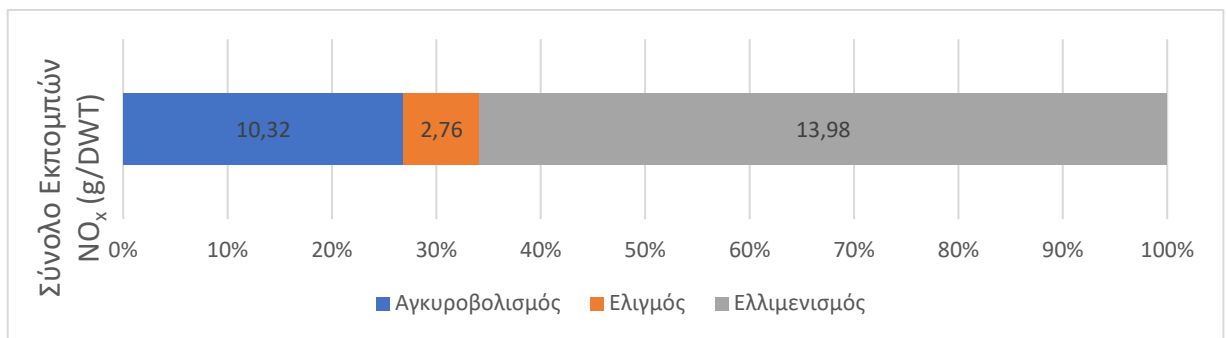
Σχήμα 6.7: Εκτιμώμενες εκπομπές CO₂ με βάση το DWT του πλοίου.



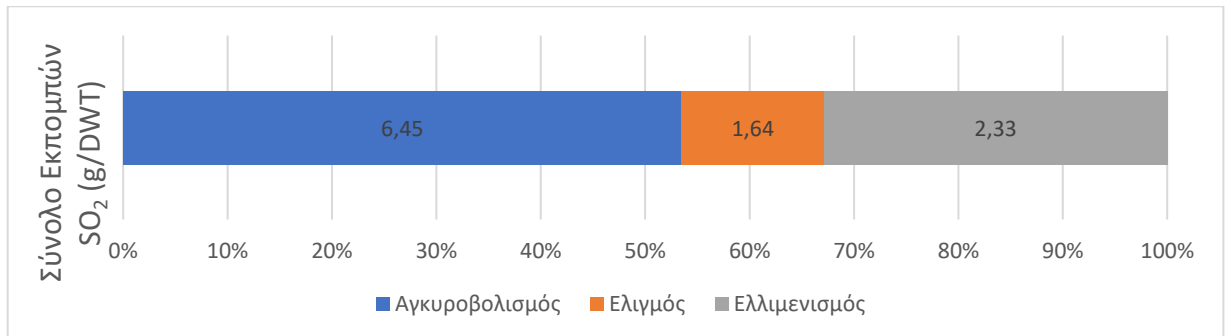
Σχήμα 6.8: Η συνεισφορά των εκπομπών CO₂ για τις δραστηριότητες των πλοίων και μέσος συντελεστής εκπομπών ανά DWT



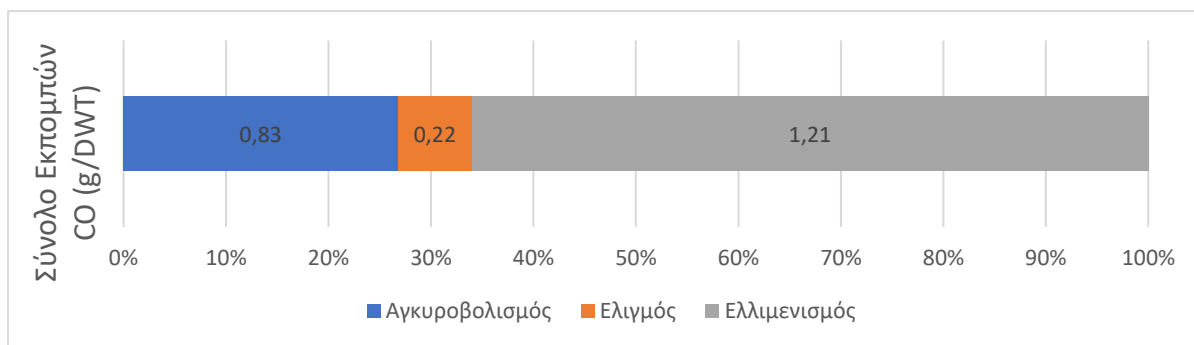
Σχήμα 6.9: Η συνεισφορά των εκπομπών PM₁₀ για τις δραστηριότητες των πλοίων και μέσος συντελεστής εκπομπών ανά dwt



Σχήμα 6.10: Η συνεισφορά των εκπομπών NO_x για τις δραστηριότητες των πλοίων και μέσος συντελεστής εκπομπών ανά dwt



Σχήμα 6.11: Η συνεισφορά των εκπομπών SO₂ για τις δραστηριότητες των πλοίων και μέσος συντελεστής εκπομπών ανά dwt



Σχήμα 6.12: Η συνεισφορά των εκπομπών CO για τις δραστηριότητες των πλοίων και μέσος συντελεστής εκπομπών ανά dwt

6.6 Συμπεράσματα

Η εκτίμηση των εκπομπών στον λιμένα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μιας μεθόδου "bottom-up" που περιλαμβάνει την παραμέτρους του συντελεστή φορτίου, του συντελεστή εκπομπών και του χρόνου λειτουργίας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται σε ετήσια ιστορικά δεδομένα που ελήφθησαν από ανοικτού κώδικα ιστοσελίδας MarineTraffic με βάση μια καταγραφή AIS. Τρεις τύποι δραστηριότητας πλοίων στο λιμάνι αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας την προσέγγιση της ισχύος της κύριας μηχανής και του χρόνου λειτουργίας του πλοίου. Από το ιστορικό του πλοίου τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι 2337 πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που δραστηριοποιούνται σε ένα προκαθορισμένο λιμάνι. Τα αποτελέσματα δείχνουν συνεπή αποτελέσματα μεταξύ τη χωρητικότητα νεκρού βάρους (DWT) του πλοίου και τις προκύπτουσες εκπομπές. Οι συνεισφορές των εκπομπών για τον αγροροβολισμό, τους ελιγμούς, και τον ελλιμενισμό βρίσκονται στον **πίνακα 6.4**. Στην κατεύθυνση της μελλοντικής έρευνας, μια στρατηγική μείωσης των εκπομπών απαιτείται για την τήρηση των κανονισμών του IMO το 2050, πολλαπλασιάζοντας τα δεδομένα από κάθε τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων, τα δεδομένα αυτά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της τιμής του δείκτη στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που ελλιμενίζονται στον τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων. Η ακριβής τιμή κατανομής (kg/DWT)

μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για την εφαρμογή του κανονισμού σχετικά με τη βαθμολογία των αερίων του θερμοκηπίου που έχει οριστεί σε μια χώρα.

Πίνακας 6.4: Συνεισφορές εκπομπών στο ΣΕΠ ανά DWT και ανά δραστηριότητα

Εκπομπές ρίπων ανά DWT	Αγκυροβολισμός	Ελιγμός	Ελλιμενισμός	Σύνολο
CO ₂ (kg/DWT)	0,48	0,13	1,07	1,68
NO _x (g/DWT)	10,32	2,76	13,98	27,06
CO (g/DWT)	0,83	0,22	1,21	2,26
SO ₂ (g/DWT)	6,45	1,64	2,33	10,42
PM ₁₀ (g/DWT)	0,7	0,18	0,36	1,24

Κεφάλαιο 7^ο: Μείωση εκπομπών στο ΣΕΠ με την χρήση της μεθόδου "cold ironing"

7.1 Ο ορισμός του "cold ironing"

Το "cold ironing", γνωστό και ως shore side power, είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται στα λιμάνια για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία κατά τη διάρκεια της διαμονής τους στο λιμάνι, αντί να λειτουργούν με δικούς τους κινητήρες για την παραγωγή ενέργειας. Το σύστημα λειτουργεί με τον εξής τρόπο: το λιμάνι είναι εξοπλισμένο με έναν αγωγό ή καλώδιο που συνδέει το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής του λιμανιού με το πλοίο. Κατά τη διάρκεια της διαμονής του πλοίου στο λιμάνι, αυτό συνδέει το καλώδιο στην πλωτή μονάδα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, γνωστή ως shore Connection box, που βρίσκεται στο πλοίο. Μέσω αυτού του καλωδίου, το πλοίο λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο του λιμανιού αντί να λειτουργεί με τους δικούς του παραγωγούς ενέργειας (σχήμα 7.1). Το "cold ironing" έχει σκοπό να μειώσει

την εκπομπή αέριων ρυπογόνων ουσιών και να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα στα λιμάνια, καθώς τα πλοία μπορούν να εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες εκπομπών κατά τη διάρκεια της διαμονής τους. Αυτή η τεχνολογία έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου στα λιμάνια και τη μείωση του κόστους καυσίμων για τα πλοία, καθώς δεν χρειάζεται να λειτουργούν το σύστημα παραγωγής ενέργειας τους κατά τη διάρκεια της διαμονής τους στο λιμάνι (Zis, 2019).

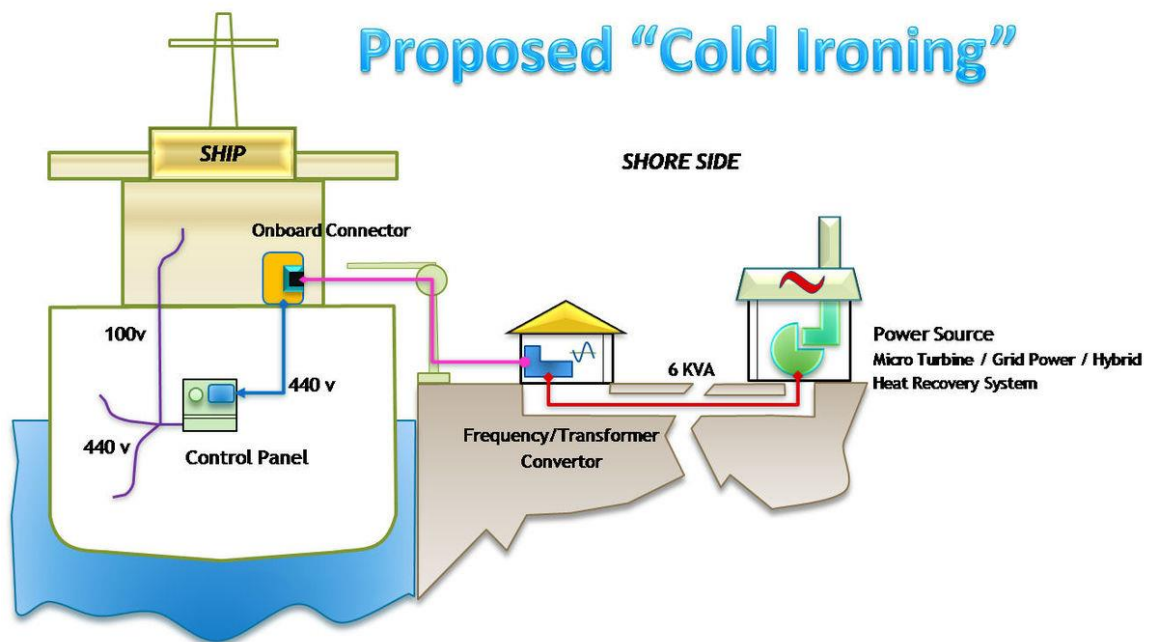
Τα θετικά της χρήσης αυτής της μεθόδου είναι:

1. **Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης:** Το cold ironing μειώνει τις εκπομπές αέριων ρύπων από τους κινητήρες των πλοίων κατά τη διάρκεια του παραμονή τους στο λιμάνι.
2. **Βελτίωση της ποιότητας του αέρα:** Η μείωση των εκπομπών από τα πλοία στο λιμάνι συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα για τους κατοίκους της περιοχής.
3. **Περιβαλλοντικά οφέλη:** Η μείωση της ρύπανσης συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας του περιβάλλοντος και της άγριας ζωής.
4. **Μείωση της ηχορύπανσης:** Το cold ironing μειώνει την ηχορύπανση στο λιμάνι, καθώς δεν απαιτείται η λειτουργία των κινητήρων των πλοίων ή των γεννητριών τους.
5. **Μείωση του κινδύνου ατυχημάτων:** Η μείωση της ανάγκης για λειτουργία κινητήρων και γεννητριών ενός πλοίου μειώνει τον κίνδυνο πιθανών ατυχημάτων στο λιμάνι, όπως πυρκαγιές ή διαρροές καυσίμων.
6. **Συμβολή στην υγεία των εργαζομένων:** Η μείωση της εκπομπής αερίων και της ηχορύπανσης μπορεί να βελτιώσει τις συνθήκες εργασίας των ανθρώπων που εργάζονται στα λιμάνια, προστατεύοντας την υγεία τους.

Κάποιες προκλήσεις στην χρήση της μεθόδου αυτής είναι:

1. **Κόστος:** Η εγκατάσταση των απαραίτητων υποδομών για το cold ironing μπορεί να απαιτεί σημαντικά κεφάλαια εκ μέρους των λιμένων ή των παραγωγών ενέργειας.

2. **Τεχνολογικές προκλήσεις:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαθεσιμότητα των υποδομών για το cold ironing μπορεί να είναι περιορισμένη λόγω τεχνολογικών προκλήσεων ή έλλειψης υποδομής.
3. **Χρόνος και διαθεσιμότητα:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία του cold ironing μπορεί να απαιτεί επιπλέον χρόνο, καθώς και η διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι περιορισμένη.
4. **Εξάρτηση από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας:** Η εξάρτηση των πλοίων από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτογραμμή μπορεί να τα καθιστά ευάλωτα σε ενδεχόμενες διακοπές ρεύματος ή προβλήματα στην παροχή ενέργειας από το λιμάνι.
5. **Επιβάρυνση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας:** Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια από τα πλοία μπορεί να επιβαρύνει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των λιμανιών, εάν δεν υπάρχει επαρκής υποδομή για να την υποστηρίξει.



Σχήμα 7.1: Μέθοδος cold ironing (Wikipedia, 2024)

7.2 Μεθοδολογία

Έπειτα από τον υπολογισμό των ρίπων με την μέθοδο bottom-up και με την βοήθεια των εξισώσεων, μπορούμε να υπολογίσουμε τους εκτιμώμενους ρίπους που προκαλούνται κατά τον ελλιμενισμό των πλοίων με τη χρήση του συντελεστή εκπομπών για το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδος (πίνακας 7.2) (CARBON FOOTPRINT, Grid Electricity Emissions Factors, 2023), λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ της βοηθητικής μηχανής και τον χρόνο ελλιμενισμού κάθε πλοίου.

Κατά τον ελλιμενισμό, γνωρίζουμε ότι ο συντελεστής φορτίου της βοηθητικής μηχανής είναι 40% (πίνακας 7.1).

Οπού E_h είναι οι εκπομπές ρίπων με την χρήση του ηλεκτρικού δικτύου

Πίνακας 7.1: Δεδομένα από MarineTraffic

Vessel Name	Χρόνος Ελλιμενισμού	Ισχύς βοηθητικής μηχανής(KW)
Valencia Express	23,1	5179

Πίνακας 7.2: Συντελεστές εκπομπών CO₂ από την βοηθητική μηχανή και το ηλεκτρικό δίκτυο

Συντελεστής Εκπομπών ΑΕ	Συντελεστής Εκπομπών από το ηλεκτρικό δίκτυο
0,683 (kgCO ₂ e/kWh)	0,44463 (kgCO ₂ e/kWh)

7.3 Αριθμητικό παράδειγμα

Υπολογισμός ρίπων κατά των ελλιμενισμό παρέχοντας ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο

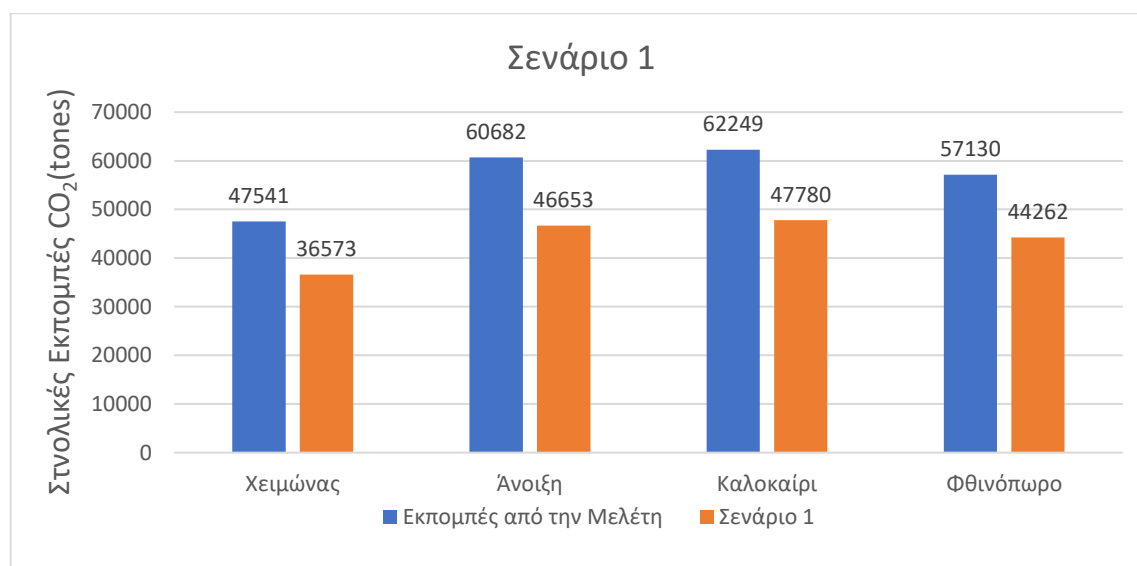
$$E_{h,CO_2(\text{ελλιμενισμός})} = 40\% \times AE(kw) \times 23,1(h) \times 0,44463 \left(\frac{kg}{kwh}\right) = 0,4 \times 5179(kw) \times 23,1(h) \times 0,44463 \left(\frac{kg}{kwh}\right) = 21.277(kg)(7.1)$$

Υπολογισμός συνολικών ρίπων

$$E_{T(CO_2)} = E_{h,CO_2(\text{ελλιμενισμός})} + E_{T,CO_2(\text{ελιγμός})} + E_{T,CO_2(\text{αγκυροβολιά})} = 21.277(kg) + 4.986(kg) + 18.530(kg) = 44.793(kg)(7.2)$$

7.4 Πρώτο Σενάριο

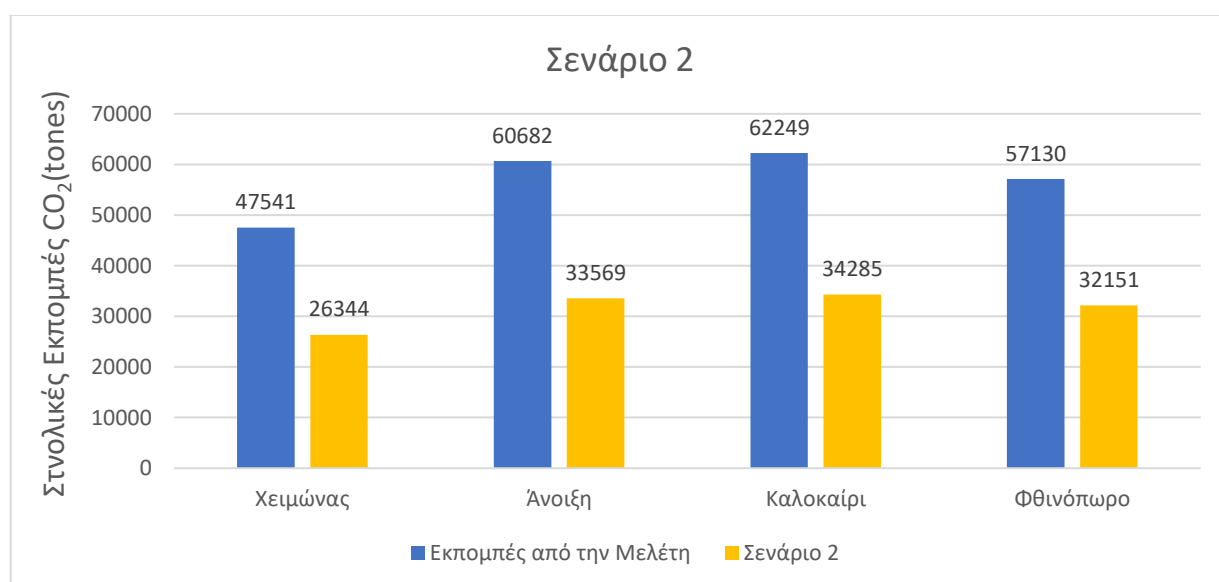
Στο πρώτο σενάριο θα εξετάσουμε τις εκτιμώμενες εκπομπές στο ΣΕΠ, παρέχοντας ενέργεια πλήρως από το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμένα. Αρχικά, θα εκτιμήσουμε τις εκπομπές CO₂ που προκαλούνται από την παραγωγή ενέργειας στον ηλεκτρικό σταθμό. Αυτές οι εκπομπές θα είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με τις εκπομπές που παράγονται όταν τα πλοία χρησιμοποιούν τους δικούς τους κινητήρες για την παραγωγή ενέργειας στο λιμάνι. Στη συνέχεια, θα υπολογίσουμε τη μείωση των εκπομπών CO₂ που προκύπτει από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας, σε σύγκριση με τις εκπομπές που θα είχαν προκύψει αν τα πλοία εξακολουθούσαν να λειτουργούν με τους δικούς τους κινητήρες. Τέλος, θα παρουσιάσουμε τη διαφορά στις εκπομπές CO₂ μεταξύ των δύο σεναρίων, προκειμένου να αξιολογήσουμε την περιβαλλοντική επίδραση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας στα λιμάνια. Το παραπάνω σενάριο είναι ρεαλιστικό και πρακτικό, αλλά απαιτεί την ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών προκειμένου να υποστηριχθεί η εν λόγω μέθοδος. Στο **σχήμα 7.2** βλέπουμε τις αντίστοιχες μειώσεις αν είχαμε εφαρμόσει αυτό το σενάριο την ίδια περίοδο.



Σχήμα 7.2: Σύγκριση των συνολικών εκπομπών CO₂ ανάλογα την εποχή

7.5 Δεύτερο Σενάριο

Στο δεύτερο σενάριο, θα εξετάσουμε τις εκπομπές ρύπων με βάση τις προβλέψεις για το 2030 στη χώρα μας. Σύμφωνα με αυτές, προβλέπεται ότι το ποσοστό παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας θα ανέλθει στο 80%. Έτσι, θα υπολογίσουμε τις εκτιμώμενες εκπομπές ρύπων για το 2030 και θα αξιολογήσουμε το ποσοστό μείωσής τους ως αποτέλεσμα της αυξημένης παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ σε σχέση με το 2023, που βρισκόταν στο 57%. Στο **Σχήμα 7.3** παρουσιάζονται οι αντίστοιχες μειώσεις που θα επιτευχθούν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του "cold ironing" το έτος 2030, σε σχέση με τις εκτιμώμενες εκπομπές ρύπων στον ΣΕΠ που υπολογίσαμε στην μελέτη μας για το έτος 2023.

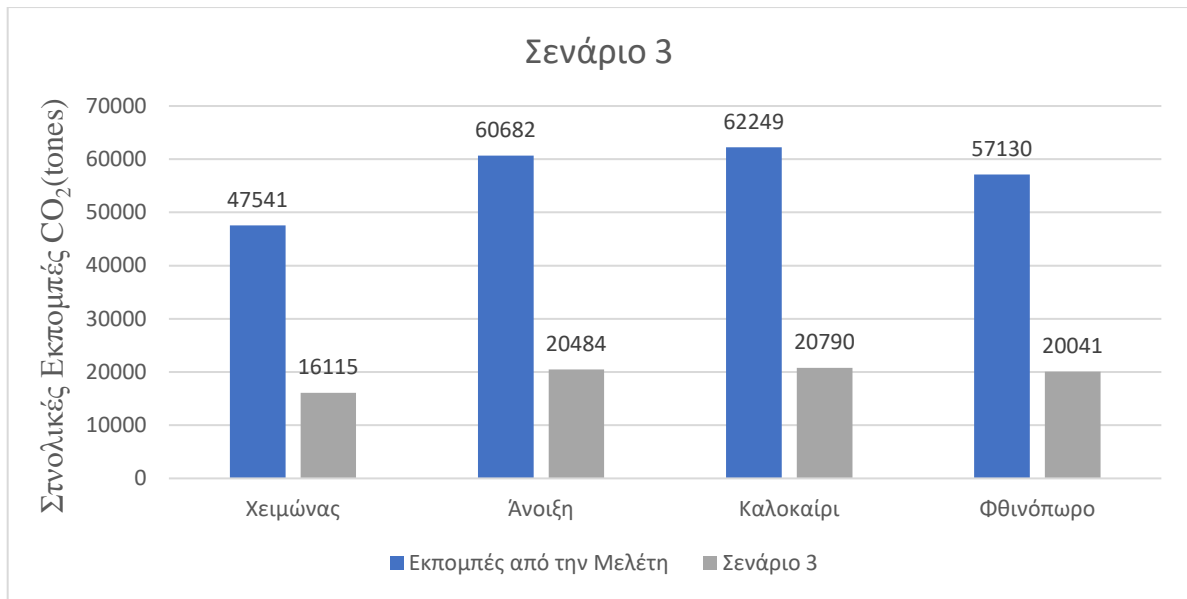


Σχήμα 7.3: Σύγκριση των συνολικών εκπομπών CO₂ ανάλογα την εποχή (σενάριο 2)

7.6 Τρίτο Σενάριο

Στο τρίτο σενάριο, θα εξετάσουμε τη δυνατότητα να παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στα πλοία στο λιμάνι του Πειραιά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως συμβαίνει σε ορισμένες χώρες όπως η Δανία (λιμάνι Κοπεγχάγης), Ολλανδία (Λιμάνι Ρότερνταμ),

Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (λιμάνι Σαν Φρανσίσκο) (Yildirim Pekşen & Alkan, 2018), όπου η μείωση των εκπομπών CO₂ φτάνει έως και το 98%. Αυτό το σενάριο προτείνει την πλήρη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η υδροηλεκτρική ενέργεια για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού τους. Το κύριο πρόβλημα με αυτό το σενάριο είναι το οικονομικό κόστος που απαιτείται για την εγκατάσταση και λειτουργία διάφορων τεχνολογιών, όπως φωτοβολταϊκά πάρκα, ανεμογεννήτριες και υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Αυτό το κόστος μπορεί να είναι υψηλό και να αποτελεί εμπόδιο για την υλοποίηση του σεναρίου, παρά τα πολύ μεγάλα ποσοστά μείωσης των εκπομπών CO₂ που επιτυγχάνονται με τη χρήση αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ωστόσο Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ανακοινώσει τον στόχο της να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 80-95% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 (European Union, 2023). Αυτό προϋποθέτει μια σημαντική μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την αποκατάσταση της ενεργειακής υποδομής με χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει τον στόχο της να γίνει η κλιματική ουδετερότητα εντός του 2050. Αυτό σημαίνει ότι η ΕΕ θα πρέπει να εξαλείψει τις εκπομπές θερμοκηπίου σε όλους τους τομείς οικονομικής δραστηριότητας, είτε μέσω της μείωσης εκπομπών είτε μέσω της αποζημίωσης των εκπομπών με πρακτικές όπως η δέσμευση άνθρακα. Στο **Σχήμα 7.4** παρατηρούμε τις σημαντικές μειώσεις των ρύπων που προκύπτουν από την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πλοίων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ΑΠΕ, σε σύγκριση με τους ρύπους που είχαμε υπολογίσει στη μελέτη μας για το έτος 2023.



Σχήμα 7.4: Σύγκριση των συνολικών εκπομπών CO₂ ανάλογα την εποχή (σενάριο 3)

7.7 Αποτελέσματα και συζήτηση

Στον **πίνακα 7.2** παρατηρούμε τις εκπομπές CO₂ ανά DWT ανάλογα με το σενάριο. Αναμένεται μείωση των εκπομπών αερίων ανά DWT σε κάθε περίπτωση, είτε με τη χρήση ηλεκτρικού δικτύου για τις ανάγκες των πλοίων στο λιμάνι, είτε με τον συνδυασμό ηλεκτρικού δικτύου και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

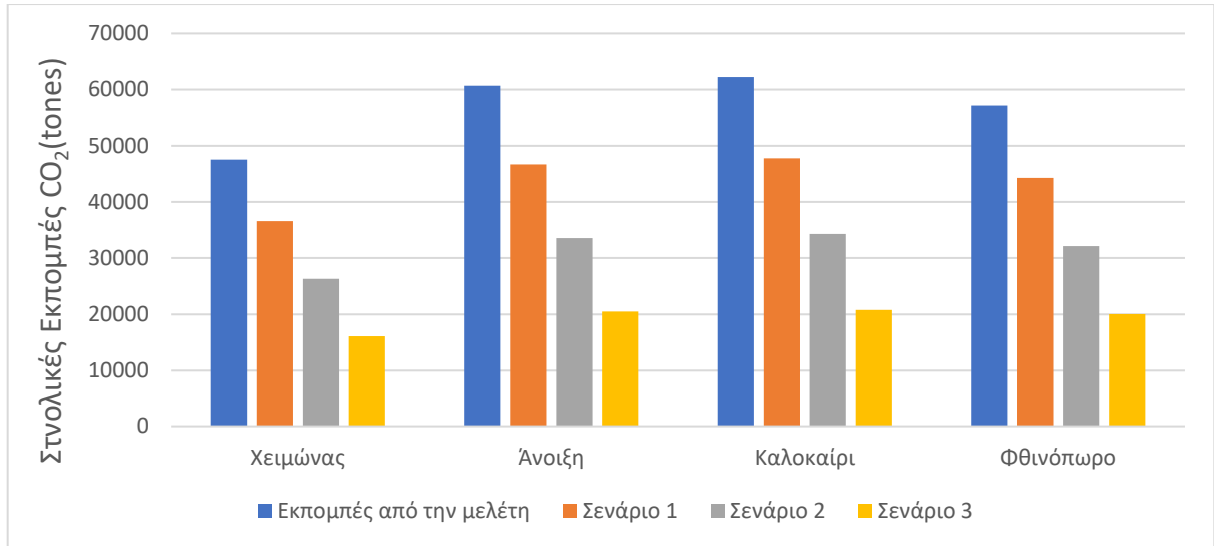
Στον **σχήμα 7.5** και **7.3** παρουσιάζονται λεπτομερώς οι εκπομπές αερίων των πλοίων, οι οποίες αναλύονται ανά εποχή και ανά σενάριο. Σύμφωνα με την ανάλυση, το σενάριο 3 φαίνεται να προσφέρει τις πλέον ενθαρρυντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων, με μείωση που φτάνει ακόμα και το 66% (**σχήμα 7.7**) των συνολικών εκπομπών. Ωστόσο, αν και θεωρητικά ελκυστικό, αυτό το σενάριο είναι δύσκολο να επιτευχθεί αμεσα λόγω του υψηλού οικονομικού κόστους που συνεπάγεται η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο λιμάνι, ωστόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει κανονισμούς με τους οποίους στοχεύει να επιτύχει πλήρη παροχή ενέργειας από ΑΠΕ έως το 2050. Αντίθετα, το σενάριο 1 παρουσιάζει μια πιο εφικτή προσέγγιση. Απαιτείται μόνο η εγκατάσταση των απαραίτητων υποδομών (σταθμών και καλωδίων) για την παροχή ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο προς τα πλοία. Το κόστος εγκατάστασης αυτών των

υποδομών είναι σημαντικά χαμηλότερο από την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σύμφωνα με την ανάλυση, στο σενάριο 1 παρατηρούνται σημαντικές μειώσεις των εκπομπών CO₂, φθάνοντας το 23% των συνολικών εκπομπών των πλοίων κατά την παραμονή τους στο λιμάνι.

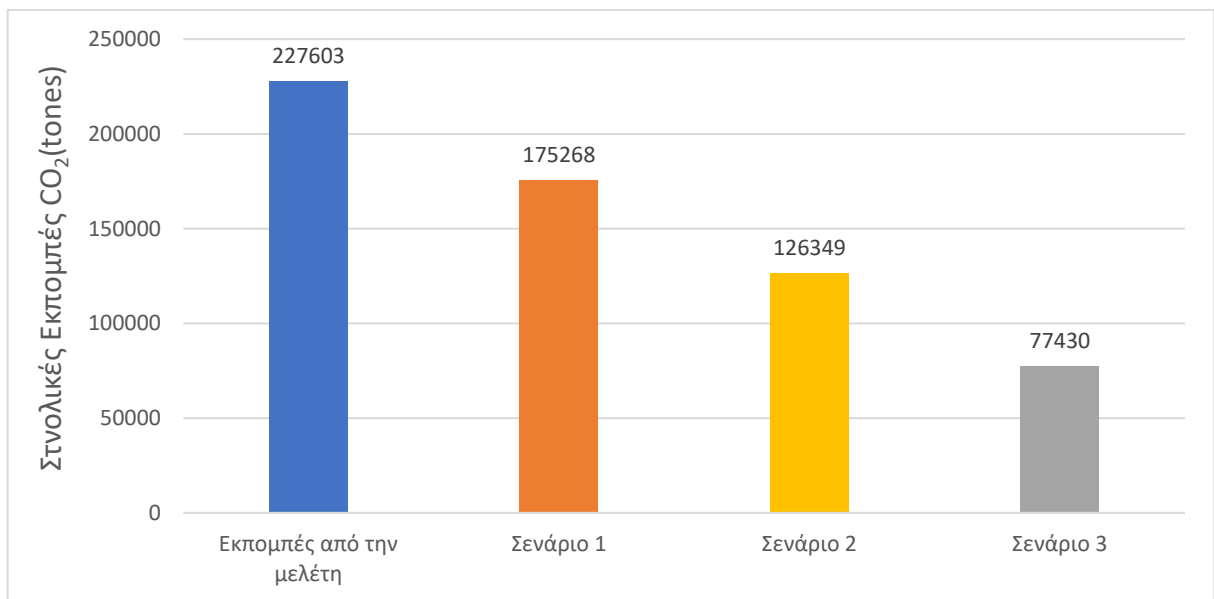
Στο δεύτερο σενάριο, προβλέπεται με βάση τις αναμενόμενες τιμές παραγωγής ενέργειας από τις ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας το 2030. Στο πλαίσιο αυτού του σεναρίου, προβλέπονται μειώσεις έως και 44% (**σχήμα 7.7**) των συνολικών εκπομπών του πλοίου κατά τη διάρκεια της παραμονής του στο λιμάνι του Πειραιά. Η συνεργασία με το ηλεκτρικό δίκτυο επιτρέπει την προμήθεια καθαρής ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών αερίων από το πλοίο κατά την παραμονή του στο λιμάνι. Αυτό το σενάριο είναι ενθαρρυντικό, καθώς συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στην περιοχή του λιμανιού. Η ενεργειακή απόδοση και η προστασία του περιβάλλοντος είναι σημαντικά ζητήματα που αντιμετωπίζει ο ναυτιλιακός τομέας, και το παραπάνω σενάριο αποτελεί ένα βήμα προς την κατεύθυνση της βελτίωσης σε αυτούς τους τομείς.

Πίνακας 7.2: Εκπομπές ρίπων ανά DWT για κάθε σενάριο

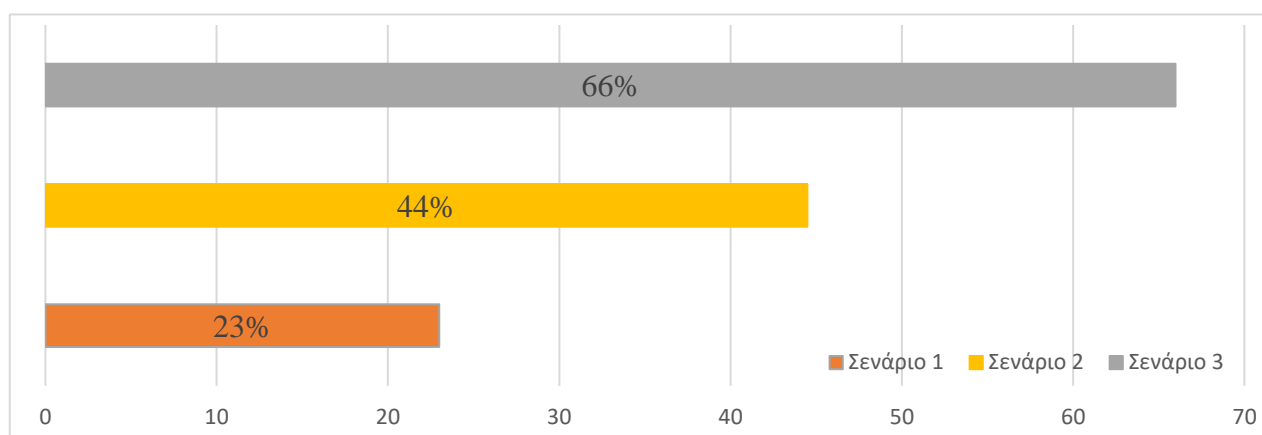
	Εκπομπές από την Μελέτη	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Εκπομπές CO₂ kg/dwt	1,68	1,30	0,85	0,61



Σχήμα 7.5: Σύνολο εκπομπών στο ΣΕΠ ανά εποχή και ανά σενάριο



Σχήμα 7.6: Συνολικές εκπομπές CO₂ στο ΣΕΠ ανά σενάριο



Σχήμα 7.7 : Ποσοστό μείωσης των συνολικών εκπομπών ανά σενάριο

7.8 Συμπεράσματα

Μελέτησα τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία που αγκυροβολούν στο ΣΕΠ και εξέτασα την εφαρμογή της τεχνικής του "cold ironing" ως λύση για τη μείωσή τους. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την παροχή ρεύματος στα πλοία από το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμανιού, αντί να χρησιμοποιούν τις δικές τους ενσωματωμένες μηχανές. Μελετώντας διάφορα σενάρια, παρατήρησα μείωση των εκπομπών αερίων σε όλες τις περιπτώσεις. Ειδικότερα, το σενάριο που παρουσιάζει τις πλέον ενθαρρυντικές μειώσεις συνδυάζοντας τις ανανεώσιμες πηγές με την παροχή ρεύματος, καταφέρνοντας να μειώσει τις εκπομπές έως και κατά 66% των συνολικών εκπομπών. Ωστόσο, αυτό το σενάριο είναι δυσκολότερο να υλοποιηθεί λόγω του υψηλού οικονομικού κόστους που συνεπάγεται. Αντίθετα, ένα πιο εφικτό σενάριο είναι αυτό που παρέχει απλά ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο στα πλοία. Αυτό το σενάριο παρουσιάζει σημαντικές μειώσεις των εκπομπών CO₂, καταφέρνοντας να φθάσει μέχρι το 23% των συνολικών εκπομπών των πλοίων κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο λιμάνι. Επιπλέον, πραγματοποίησα ανάλυση σύμφωνα με την εκτιμωμένη συμμετοχή των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο το 2030. Συνολικά, αυτή η μελέτη παρέχει κατευθύνσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων από τα πλοία, λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές και τεχνικές προκλήσεις που συνδέονται με κάθε σενάριο.

Κεφάλαιο 8^ο: Προβλέψεις για το 2050

8.1 Σενάριο ολικής χρήσης πλοίων που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές

Προβλέποντας τη ναυτιλιακή βιομηχανία το 2050, όπου ο κυρίαρχος τρόπος πρόωσης των πλοίων εξαρτάται εξ ολοκλήρου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ναυτιλία ακολουθεί μια διαδρομή προς ένα βιώσιμο, περιβαλλοντικά συνειδητό και τεχνολογικά προηγμένο μέλλον. Η μετάβαση σε πλοία ανανεώσιμης ενέργειας αντιπροσωπεύει μια βαθιά αλλαγή στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η οποία καθοδηγείται από μια παγκόσμια δέσμευση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Ακολουθούν οι βασικές παράμετροι μιας τέτοιας κατάστασης.

1. Βιώσιμα Σχέδια Πλοίων:

Τα πλοία του 2050 χαρακτηρίζονται από καινοτόμα σχέδια που δίνουν προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση. Τα σκάφη είναι πιο κομψά, με προηγμένα σχήματα και επιχρίσματα που μειώνουν την υδροδυναμική αντίσταση. Ηλιακοί συλλέκτες, ανεμογεννήτριες και άλλες τεχνολογίες συλλογής ενέργειας βρίσκονται στις επιφάνειές τους, αξιοποιώντας τη δύναμη της φύσης για να τροφοδοτήσουν τα ταξίδια τους.

2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:

Οι ηλιακοί συλλέκτες καλύπτουν μεγάλα τμήματα των καταστρωμάτων, απορροφώντας το ηλιακό φως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προηγμένα συστήματα προώθησης ανέμου αξιοποιούν την ενέργεια αυτού του τύπου, ενώ οι μετατροπείς παλιρροιακής και κυματικής ενέργειας εκμεταλλεύονται τις φυσικές δυνάμεις της θάλασσας. Οι πολύ αποδοτικές μπαταρίες και οι κυψέλες καυσίμου αποθηκεύουν υπερβολική ενέργεια για χρήση κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ή απάνεμων περιόδων.

3. Υδρογόνο και βιοκαύσιμα:

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου και τα βιοκαύσιμα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το υδρογόνο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία κυψελών καυσίμου,

παρέχοντας στα πλοία μια καθαρή και ευέλικτη πηγή ενέργειας. Τα προηγμένα βιοκαύσιμα που προέρχονται από φύκια ή άλλες βιώσιμες πηγές χρησιμοποιούνται σε πλοία που απαιτούν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, όπως τα φορτηγά πλοία μεγάλων αποστάσεων.

4. Έξυπνη Διαχείριση Ενέργειας:

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση έχουν φέρει επανάσταση στη διαχείριση της ενέργειας στα πλοία. Οι προηγμένοι αλγόριθμοι βελτιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, ο σχεδιασμός διαδρομών και τα επίπεδα αποθήκευσης ενέργειας. Τα συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο εξασφαλίζουν ότι τα πλοία λειτουργούν με μέγιστη απόδοση, ελαχιστοποιώντας την σπατάλη ενέργειας.

5. Πράσινα λιμάνια και υποδομές:

Τα λιμάνια σε όλο τον κόσμο έχουν υποστεί έναν πράσινο μετασχηματισμό. Είναι εξοπλισμένα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως αιολικά και ηλιακά πάρκα, επιτρέποντας στα πλοία να επαναφορτίζουν τις μπαταρίες τους και να ανεφοδιάζονται με καθαρή ενέργεια κατά τη διάρκεια των ταξιδιών. Οι εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή έχουν γίνει συνηθισμένες, επιτρέποντας στα πλοία να απενεργοποιούν τις μηχανές τους ενώ βρίσκονται στο λιμάνι.

6. Βιώσιμες Αλυσίδες Εφοδιασμού:

Η μετάβαση σε πλοία ανανεώσιμης ενέργειας έχει μια σημαντική επίδραση σε όλες τις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού. Οι εταιρείες απαιτούν όλο και περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον ναυτιλιακές λύσεις, οδηγώντας σε μεγαλύτερη υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών και μείωση των εκπομπών σε όλους τους κλάδους. Η διαφάνεια του αποτυπώματος άνθρακα είναι μια τυπική απαίτηση στον τομέα της ναυτιλίας και της εφοδιαστικής.

7. Κανονιστικά Πλαίσια:

Οι διεθνείς ναυτιλιακοί οργανισμοί έχουν θεσπίσει αυστηρούς κανονισμούς για να εξασφαλίσουν τη βιωσιμότητα του κλάδου. Τα όρια εκπομπών εφαρμόζονται αυστηρά και υπάρχουν μηχανισμοί τιμολόγησης του άνθρακα για την παροχή κινήτρων για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η μη συμμόρφωση έχει ως αποτέλεσμα βαριά

πρόστιμα και αποκλεισμό από τις παγκόσμιες ναυτιλιακές οδούς για τα μη βιώσιμα πλοία.

8. Ευκαιρίες απασχόλησης και ανάπτυξη δεξιοτήτων:

Η μετάβαση σε πλοία ανανεώσιμης ενέργειας έχει δημιουργήσει ζήτηση για μια νέα γενιά ναυτιλιακών επαγγελματιών ειδικευμένων σε τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας, ψηφιοποίηση και βιώσιμες πρακτικές. Τα εκπαιδευτικά προγράμματα και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα έχουν προσαρμοστεί για να καλύψουν αυτή την ανάγκη, προσφέροντας μαθήματα και πιστοποιήσεις στην πράσινη ναυτιλία.

9. Περιβαλλοντικά Οφέλη:

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτής της μετάβασης είναι σημαντικές. Η ποιότητα του αέρα και του νερού κοντά στα λιμάνια έχει βελτιωθεί σημαντικά. Τα θαλάσσια οικοσυστήματα έχουν επωφεληθεί από τη μειωμένη ρύπανση και η απειλή πετρελαιοκηλίδων έχει μειωθεί. Οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία έχουν πέσει κατακόρυφα, συμβάλλοντας σημαντικά στους διεθνείς κλιματικούς στόχους.

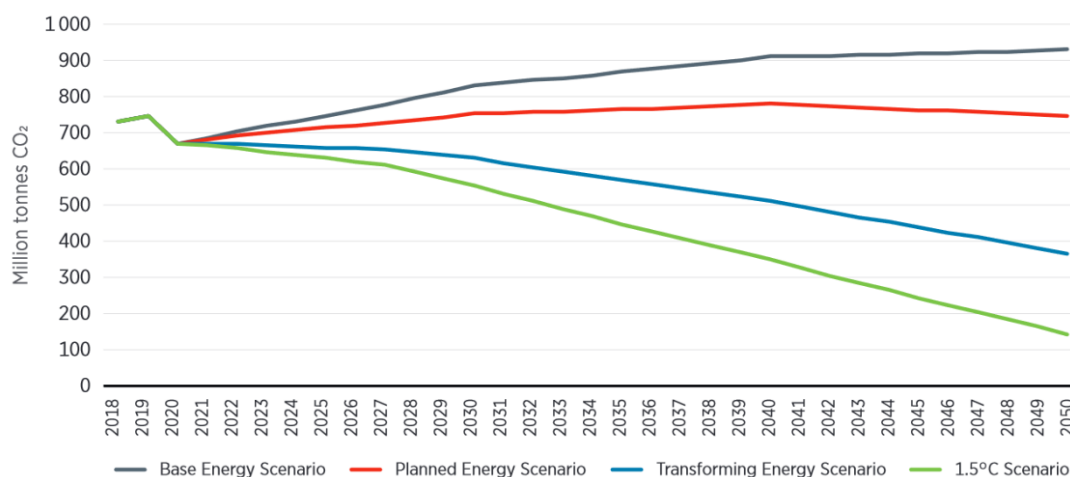
10. Οικονομική Βιωσιμότητα:

Σε αντίθεση με τις αρχικές ανησυχίες, η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία έχει αποδειχθεί οικονομικά βιώσιμη. Το χαμηλότερο κόστος καυσίμων, η μειωμένη συντήρηση και τα ευνοϊκά φορολογικά κίνητρα έχουν καταστήσει τα πλοία ανανεώσιμης ενέργειας ανταγωνιστικά στην παγκόσμια αγορά. Οι επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες έχουν γίνει μια προσοδοφόρα ευκαιρία για τις επιχειρήσεις.

Συμπερασματικά, το όραμα της ναυτιλιακής βιομηχανίας το 2050, με γνώμονα την πλήρη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προσφέρει έναν φάρο ελπίδας στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Αντιπροσωπεύει μια πορεία προς ένα βιώσιμο μέλλον, όπου η ναυτιλιακή βιομηχανία διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών και στη διαφύλαξη των ωκεανών του πλανήτη μας. Αυτό το μέλλον δεν είναι απλώς μια φιλοδοξία, αλλά μια αναγκαιότητα και η ναυτιλιακή βιομηχανία πρέπει ανταποκριθεί στη σχετική πρόκληση, χαράσσοντας μια πορεία προς έναν καθαρότερο και πιο βιώσιμο κόσμο. Εκτιμώντας τον αντίκτυπο μιας τέτοιου τύπου στροφής της ναυτιλιακής βιομηχανίας, σε ένα τέτοιο σενάριο αναμένεται να επιτευχθεί ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης για περιορισμό των παγκοσμίων

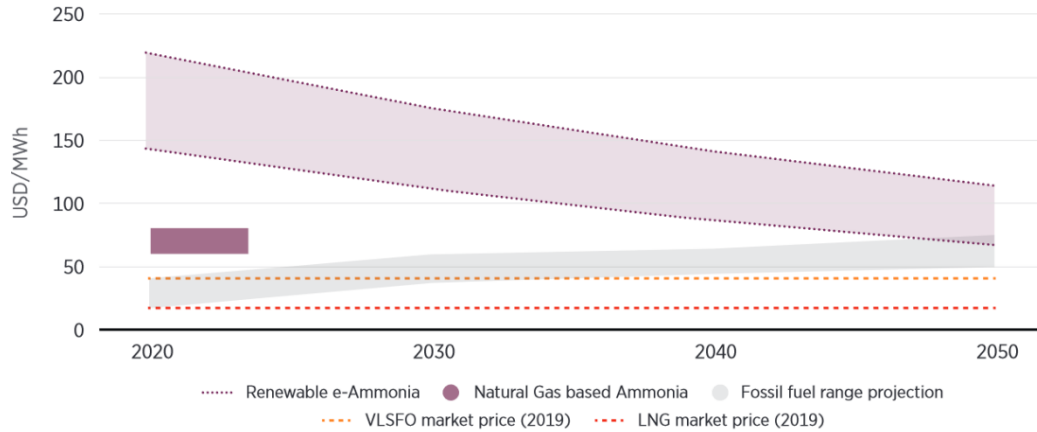
επιπέδων CO₂ λόγω της ναυτιλίας στο μισό (King, 2022), φτάνοντας δηλαδή στους 538.000.000 τόνους κατά έτος, δηλαδή περίπου στο 1,5% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂.

Στο σενάριο αυτό, κεντρικό ρόλο ενδεχομένως να έχει η ανανεώσιμη αμμωνία. Η αμμωνία παράγεται από τον υδρογόνο και το άζωτο, που μπορούν να παραχθούν με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική ή η ηλιακή ενέργεια. Η αμμωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενεργειακό μέσο για την αποθήκευση της υπερβολικής παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής παραγωγής ενέργειας, η αμμωνία παράγεται και αποθηκεύεται, και στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής παραγωγής, η αμμωνία καταναλώνεται για την παραγωγή ενέργειας (Al-Aboosi et al., 2021). Σύμφωνα με την IRENA, υπάρχουν διάφορα εναλλακτικά σενάρια για την εξέλιξη των εκπομπών του διοξειδίου της ναυτιλίας, συνυπολογίζοντας και το ιδιαίτερα αισιόδοξο σενάριο του περιορισμού των εκπομπών στο βαθμό που θα οδηγήσει στη μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1.5 βαθμούς Κελσίου. Στο ιδιαίτερα αισιόδοξο αυτό σενάριο έχει, όπως φαίνεται από το παρακάτω **σχήμα 8.1**, κεντρικό ρόλο η ανανεώσιμη αμμωνία.



Σχήμα 8.1: Η χρήση της ανανεώσιμης αμμωνίας στη ναυτιλία και οι εκπομπές διοξειδίου έως το 2050 (πηγή: IRENA 2021)

Επίσης, με βάση τα δεδομένα της IRENA (2021), η τιμή της ανανεώσιμης αμμωνίας αναμένεται να μεταβληθεί σημαντικά έως το 2050, παρουσιάζοντας σημαντική πτώση, όπως διαπιστώνεται από το **σχήμα 8.2**. Ως εκ τούτου, η ανανεώσιμη αμμωνία ενδεχομένως να έχει κεντρικό ρόλο σε ένα τέτοιο σενάριο μετάβασης.



Σχήμα 8.2: Η πρόβλεψη για τις τιμές της ανανεώσιμης αμμωνίας έως το 2050 (πηγή: IRENA 2021)

8.2 Σενάριο μερικής χρήσης πλοίων που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές

Στο όραμα της ναυτιλιακής βιομηχανίας το 2050, όπου η μέτρια αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τροφοδοτεί τα πλοία, παρατηρείται μια μεταβατική φάση προς έναν πιο βιώσιμο, οικολογικά συνειδητό ναυτιλιακό τομέα. Ενώ η πλήρης στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να μην πραγματοποιηθεί πλήρως, το σενάριο αυτό αντικατοπτρίζει μια ρεαλιστική προσέγγιση, εξισορροπώντας τις περιβαλλοντικές ανησυχίες με την οικονομική βιωσιμότητα και τις τεχνολογικές εξελίξεις. Σε ένα τέτοιο σενάριο, θα είχαν κεντρικό ρόλο οι παρακάτω εξελίξεις:

1. Υβριδικά Συστήματα Πρόωσης:

Τα πλοία του 2050 διαθέτουν υβριδικά συστήματα πρόωσης, συνδυάζοντας συμβατικά καύσιμα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτά τα συστήματα ενσωματώνουν τεχνολογίες όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο, οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου και οι προηγμένες μπαταρίες. Προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση και μειωμένες εκπομπές σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες.

2. Ενσωμάτωση ηλιακής και αιολικής ενέργειας:

Τα πλοία είναι εξοπλισμένα με προηγμένες συστοιχίες ηλιακών συλλεκτών που καλύπτουν τεράστια τμήματα των καταστρωμάτων τους. Αυτά τα πάνελ αξιοποιούν

την άφθονη ενέργεια από τον ήλιο, συμπληρώνοντας τις ανάγκες ισχύος του σκάφους. Ομοίως, οι τεχνολογίες αιολικής υποστήριξης και τα πανιά αξιοποιούν την αιολική ενέργεια κατά τη διάρκεια ταξιδιών, μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

3. Προηγμένη Αποδοτικότητα Καυσίμου:

Η ναυτιλιακή βιομηχανία επενδύει σε μεγάλο βαθμό στην έρευνα και την ανάπτυξη για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων. Οι καινοτομίες στον σχεδιασμό του κινητήρα, στο σχήμα και στις επικαλύψεις ελαχιστοποιούν την υδροδυναμική αντίσταση, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου. Επιπλέον, τα πλοία χρησιμοποιούν συστήματα καθαρισμού καυσαερίων για τη μείωση των επιβλαβών εκπομπών, όταν χρησιμοποιούνται συμβατικά καύσιμα.

4. Λιμάνια του μέλλοντος:

Τα λιμάνια έχουν μετατραπεί σε φιλικούς προς το περιβάλλον κόμβους, προσφέροντας συνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή για τα σκάφη για τη μείωση των εκπομπών κατά τη διάρκεια των διακοπών. Οι λιμένες αυτοί έχουν επίσης εφαρμόσει ενεργειακά αποδοτικές υποδομές, συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού LED, των εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ενέργειας και των τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών.

5. Στόχοι Μείωσης Εκπομπών:

Οι διεθνείς ναυτιλιακοί οργανισμοί έχουν θεσπίσει αυστηρούς στόχους μείωσης των εκπομπών. Τα πλοία πρέπει να τηρούν αυτούς τους κανονισμούς και η συμμόρφωση παρακολουθείται στενά. Επιβάλλονται αυστηροί τομείς ελέγχου των εκπομπών, ενθαρρύνοντας περαιτέρω την υιοθέτηση τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας.

6. Οικολογικός χειρισμός φορτίου:

Σε αυτό το όραμα, η βιωσιμότητα εκτείνεται πέρα από τα συστήματα πρόωσης. Οι λιμένες και οι ναυτιλιακές εταιρείες δίνουν προτεραιότητα στις οικολογικές πρακτικές χειρισμού φορτίου, στη μείωση των αποβλήτων συσκευασίας και στην εφαρμογή αποτελεσματικών διαδικασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

7. Τεχνολογική Ολοκλήρωση:

Η ψηφιοποίηση και η αυτοματοποίηση έχουν φέρει επανάσταση στον ναυτιλιακό τομέα. Έξυπνα πλοία εξοπλισμένα με προηγμένους αισθητήρες και αναλύσεις δεδομένων βελτιστοποιούν τον προγραμματισμό ταξιδιού, την επιλογή διαδρομής και τη διαχείριση ενέργειας. Τα πληρώματα είναι πολύ εξειδικευμένα στη λειτουργία αυτών των τεχνολογικά προηγμένων σκαφών.

8. Πράσινη χρηματοδότηση και κίνητρα:

Τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο προσφέρουν κίνητρα και ευνοϊκούς όρους χρηματοδότησης για τους πλοιοκτήτες που υιοθετούν τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτά τα κίνητρα περιλαμβάνουν φορολογικές ελαφρύνσεις, επιχορηγήσεις και δάνεια χαμηλού επιτοκίου για την ενθάρρυνση πιο πράσινων επενδύσεων.

9. Βιώσιμες Αλυσίδες Εφοδιασμού:

Η υιοθέτηση πλοίων ανανεώσιμης ενέργειας έχει διαδοχική επίδραση σε όλες τις αλυσίδες εφοδιασμού. Οι εταιρείες δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη προτεραιότητα στις φιλικές προς το περιβάλλον ναυτιλιακές επιλογές, οδηγώντας σε πιο πράσινες πρακτικές εφοδιαστικής και μείωση του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα του παγκόσμιου εμπορίου.

10. Κόμβοι έρευνας και Καινοτομίας:

Τα κέντρα έρευνας και καινοτομίας που επικεντρώνονται στη ναυτιλιακή τεχνολογία ανθίζουν σε ένα τέτοιο μέλλον. Οδηγούν στην ανάπτυξη καθαρότερων και πιο αποτελεσματικών σχεδίων πλοίων, συστημάτων πρόωσης και βιώσιμων υλικών για τη ναυπηγική βιομηχανία.

11. Περιβαλλοντική Διαχείριση:

Παρά τη μερική εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, η ναυτιλιακή βιομηχανία διατηρεί ισχυρή δέσμευση για περιβαλλοντική διαχείριση. Συμμετέχει ενεργά στις προσπάθειες διατήρησης της θάλασσας και στις πρωτοβουλίες καθαρισμού των ωκεανών, αναγνωρίζοντας τη σημασία της διατήρησης των ωκεανών του κόσμου.

12. Οικονομική Ισορροπία:

Σε αυτή τη μέτρια μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οικονομικοί παράγοντες παραμένουν πρωταρχικοί. Οι πλοιοκτήτες εξισορροπούν προσεκτικά το

αρχικό κόστος της υιοθέτησης πράσινων τεχνολογιών με τα μακροπρόθεσμα οφέλη της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου και των χαμηλότερων εκπομπών.

13. Παγκόσμια Συνεργασία:

Η παγκόσμια συνεργασία αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του μέλλοντος. Οι χώρες, οι διεθνείς οργανισμοί και τα ενδιαφερόμενα μέρη της βιομηχανίας συνεργάζονται για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, αναγνωρίζοντας ότι η βιωσιμότητα του ναυτιλιακού τομέα είναι συνυφασμένη με την ευημερία του πλανήτη.

Συμπερασματικά, το όραμα της ναυτιλιακής βιομηχανίας το 2050, όπου επικρατεί μέτρια χρήση πλοίων ανανεώσιμης ενέργειας, αντιπροσωπεύει μια ρεαλιστική απάντηση στις διπλές προκλήσεις της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας. Αυτό το μέλλον καταδεικνύει την προθυμία του ναυτιλιακού τομέα να προσαρμοστεί, να επενδύσει σε καθαρότερες τεχνολογίες και να μειώσει το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα, ενώ συνεχίζει να αποτελεί ζωτικό μοχλό του παγκόσμιου εμπορίου και της οικονομικής ανάπτυξης. Είναι μια απόδειξη της δέσμευσης της βιομηχανίας να χαράξει μια πορεία προς ένα πιο βιώσιμο και υπεύθυνο μέλλον. Σε ένα τέτοιο σενάριο, αναμένεται οι εκπομπές CO₂ λόγω της ναυτιλίας να παραμείνουν σε γενικές γραμμές στα ίδια επίπεδα με αυτά που βρίσκονται τώρα, δηλαδή οι εκπομπές αυτές να αφορούν το 3% των εκπομπών ανά έτος, με περίπου 1.076.000.000 τόνους CO₂.

8.3 Σενάριο χαμηλής χρήσης πλοίων που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Σε αυτό το σενάριο, οι πρακτικοί περιορισμοί, οι οικονομικοί παράγοντες και οι τεχνολογικοί περιορισμοί έχουν εμποδίσει την ικανότητα της βιομηχανίας να υιοθετήσει σε ικανό βαθμό τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι βασικοί πυλώνες μιας τέτοιας κατάστασης θα ήταν οι παρακάτω:

1. Κυριαρχία Συμβατικών Καυσίμων:

Το 2050, τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα παραμένουν η κύρια πηγή ενέργειας για την πλειοψηφία του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου. Τα πλοία βασίζονται κυρίως στο

ντίζελ και το βαρύ μαζούτ, συμβάλλοντας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στις περιβαλλοντικές ανησυχίες. Ο ρυθμός μετάβασης σε καθαρότερες πηγές ενέργειας ήταν προσεκτικός.

2. Περιορισμένη Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως οι ηλιακοί συλλέκτες και τα συστήματα αιολικής βοήθειας, ενσωματώνονται σε ορισμένα σκάφη, κυρίως ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις αυτές περιορίζονται συχνά σε συγκεκριμένους τύπους πλοίων, όπως επιβατηγά πλοία και μικρά φορτηγά πλοία, λόγω πρακτικών και οικονομικών περιορισμών.

3. Αργά Εξελισσόμενα Ρυθμιστικά Πλαίσια:

Οι διεθνείς ναυτιλιακοί κανονισμοί που σχετίζονται με τις εκπομπές και τα περιβαλλοντικά πρότυπα έχουν εξελιχθεί με βραδύτερο ρυθμό από ό, τι αναμενόταν. Η συμμόρφωση με τους στόχους μείωσης των εκπομπών εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση, καθώς η βιομηχανία αντιμετωπίζει το κόστος και την πολυπλοκότητα της μετασκευής των υφιστάμενων στόλων.

4. Οικονομικές Ανησυχίες:

Οι οικονομικοί παράγοντες εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικό εμπόδιο για την ευρεία υιοθέτηση των πλοίων ανανεώσιμης ενέργειας. Το υψηλό αρχικό κόστος της μετασκευής υφιστάμενων σκαφών με πράσινες τεχνολογίες και η περιορισμένη διαθεσιμότητα προσιτών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εμποδίζουν την πρόοδο.

5. Περιορισμένες Πράσινες Υποδομές:

Ενώ ορισμένα λιμάνια έχουν λάβει μέτρα προς πιο πράσινες πρακτικές, ο μετασχηματισμός ήταν σταδιακός. Οι αναβαθμίσεις των υποδομών, όπως οι συνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμης ενέργειας, δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένες, περιορίζοντας περαιτέρω την ικανότητα της βιομηχανίας να μειώνει τις εκπομπές κατά τη διάρκεια των Λιμενικών κλήσεων.

6. Εξάρτηση από μεταβατικά καύσιμα:

Για να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ συμβατικών καυσίμων και πλήρως ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η βιομηχανία βασίζεται σε μεταβατικά καύσιμα όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο LNG και τα βιοκαύσιμα. Αυτά προσφέρουν χαμηλότερες

εκπομπές σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα, αλλά δεν είναι απολύτως βιώσιμες λύσεις.

7. Σημαντικές Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις:

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας παραμένουν ανησυχητικές. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και ο κίνδυνος πετρελαιοκηλίδων εξακολουθούν να αποτελούν προκλήσεις για τα θαλάσσια οικοσυστήματα και τους παγκόσμιους κλιματικούς στόχους.

8. Αργή Τεχνολογική Ανάπτυξη:

Οι τεχνολογικές εξελίξεις που σχετίζονται με την ολοκλήρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν βραδύτερες από τις αναμενόμενες. Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης συνεχίζονται, αλλά η ωριμότητα αυτών των τεχνολογιών υστερεί σε πιο φιλόδοξα σενάρια.

9. Έλλειμμα Δεξιοτήτων:

Τα πληρώματα στα πλοία λαμβάνουν βασική εκπαίδευση σε πρακτικές ενεργειακής απόδοσης, αλλά υπάρχει περιορισμένη έμφαση στα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας. Το ναυτικό εργατικό δυναμικό αντιμετωπίζει προκλήσεις στην προσαρμογή στις νέες τεχνολογίες και πρακτικές λόγω έλλειψης ολοκληρωμένων προγραμμάτων κατάρτισης.

10. Βραχυπρόθεσμη εστίαση:

Σε αυτό το σενάριο, η ναυτιλιακή βιομηχανία επικεντρώνεται περισσότερο στη βραχυπρόθεσμη κερδοφορία και τη λειτουργική σταθερότητα παρά στους μακροπρόθεσμους στόχους βιωσιμότητας. Οι οικονομικές πιέσεις και οι ανταγωνιστικές δυνάμεις συνεχίζουν να οδηγούν τη λήψη αποφάσεων.

11. Περιφερειακές Παραλλαγές:

Η υιοθέτηση πλοίων ανανεώσιμης ενέργειας ποικίλλει σημαντικά ανά περιοχή. Ορισμένα κράτη με άφθονους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους σημειώνουν μεγαλύτερη πρόοδο στη μετάβαση των στόλων τους, ενώ άλλα εξακολουθούν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα συμβατικά καύσιμα.

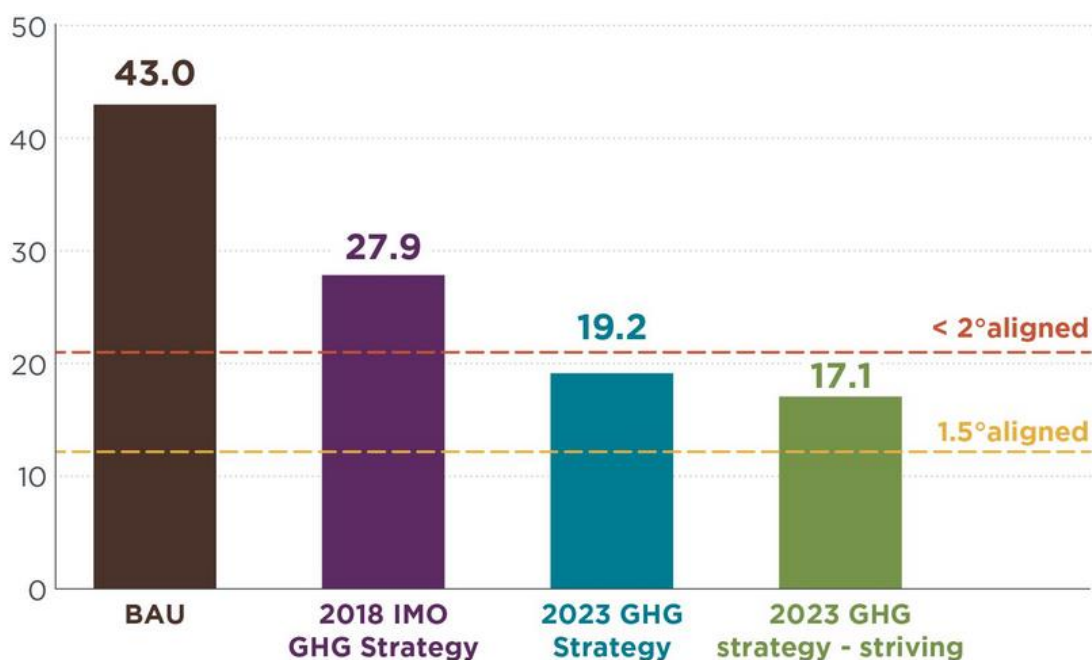
12. Περιορισμένες Περιβαλλοντικές Πρωτοβουλίες:

Οι πρωτοβουλίες περιβαλλοντικής διαχείρισης στον κλάδο είναι όλο και λιγότερο φιλόδοξες. Οι συνεργατικές προσπάθειες για την αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης και της διατήρησης παραμένουν σημαντικές, αλλά δεν έχουν τον επείγοντα χαρακτήρα και την κλίμακα που παρατηρούνται σε πιο βιώσιμα σενάρια.

Συμπερασματικά, το όραμα της ναυτιλιακής βιομηχανίας το 2050 με χαμηλή χρήση πλοίων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτυπώνει την εικόνα μιας βιομηχανίας που απέτυχε να προσαρμοστεί στην επιτακτική ανάγκη της βιωσιμότητας. Οι οικονομικές εκτιμήσεις, οι τεχνολογικές προκλήσεις και οι ρυθμιστικές πολυπλοκότητες έχουν εμποδίσει την πρόοδο. Ενώ έχουν ληφθεί σταδιακά βήματα για την ενίσχυση της αποδοτικότητας και τη μείωση των εκπομπών, η βιομηχανία δεν έχει προωθήσει σε ικανό βαθμό τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το σενάριο αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της αντιμετώπισης των εμποδίων στη βιωσιμότητα στον ναυτιλιακό τομέα και υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο σημαντική παγκόσμια συνεργασία και καινοτόμες λύσεις για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της βιομηχανίας. Σε ένα τέτοιο σενάριο, αναμένεται οι εκπομπές CO₂ λόγω της ναυτιλίας να παραμείνουν σε γενικές γραμμές στα ίδια επίπεδα με αυτά που βρίσκονται τώρα, δηλαδή οι εκπομπές αυτές να αυξηθούν στο 10-13% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, με βάση το δυσοίωνο σχετικό σενάριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έως το 2050.

Τέλος, το ιδεατό (το πρώτο που περιεγράφηκε) σενάριο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την επίτευξη του στόχου μείωσης των συνολικών ρύπων από τη ναυτιλία κατά 70% έως το 2050 σε σχέση με τα δεδομένα του 2008. Το σενάριο αυτό υποστηρίζεται από το Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας ως ένα εφικτό σενάριο στην περίπτωση σημαντικής έμφασης στην ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με βάση την τελευταία αναθεώρηση του οράματος και του πλάνου του συγκεκριμένου οργανισμού, για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός έως το 2050 θα πρέπει να έχει μειωθεί ήδη από το 2030 ο αριθμός εκπομπών κατά 20%, ιδεατά εστιάζοντας στο 30%. Παρομοίως, το 2040 οι μειώσεις θα πρέπει να είναι 70%, εστιάζοντας ιδεατά στο 80%. Ως εκ τούτου, ο πρώτος βαθμός συμμόρφωσης με τις αναγκαίες απαιτήσεις είναι επιβεβλημένος για την επίτευξη του βέλτιστου δυνατού σεναρίου περιορισμού των εκπομπών έως το 2050. Σε αντίθετη περίπτωση, σε ένα σενάριο “Business as usual” (BAU), η εντατικοποίηση της ναυτιλιακής δραστηριότητας θα οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση των εκπομπών, δεδομένου ότι η ναυτιλιακή δραστηριότητα αναμένεται να ενταθεί στο μέλλον.

Αθροιστικά επομένως οι εκπομπές της ναυτιλίας του σήμερα ενδεχομένως να οδηγήσουν και σε μια ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των παγκόσμιων εκπομπών έως τότε, ακόμα και έως 43%, δεδομένου ότι οι εκπομπές από λοιπές πηγές ενδεχομένως να περιοριστούν σημαντικά, αποτρέποντας το στόχο για μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1,5 βαθμούς Κελσίου.



Σχήμα 8.3: Η αθροιστική μείωση των εκπομπών με βάση την τελευταία στρατηγική του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (πηγή: The ICCT 2023)

Κεφάλαιο 9^ο: Συμπεράσματα

9.1 Σύνοψη των κυριότερων ευρημάτων της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη μελέτη επιχείρησε να εξετάσει τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Αρχικά όπως διαπιστώνεται από το πρώτο κεφάλαιο, η ναυτιλία έχει μία σημαντική επίδραση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Στο

πλαίσιο αυτό, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Ναυτιλίας και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπίσει κατά τα τελευταία έτη ορισμένους πιο αυστηρούς περιορισμούς όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων από τα πλοία. Σε κάθε περίπτωση, η ναυτιλία φαίνεται πως έχει μία σημαντική συμβολή στην εκπομπή CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Επί του παρόντος, υπάρχουν διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία. Σε αυτές συγκαταλέγονται η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, τα βιοκαύσιμα και το υδρογόνο. Η χρήση όλων αυτών των καυσίμων απαιτείται είτε στην ανάπτυξη πλοίων που θα βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε την τροποποίηση των υφιστάμενων πλοίων. Επίσης, υπάρχουν παραδείγματα διαφόρων πλοίων τα οποία να κινούνται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, το Energy Observer είναι ένα γαλλικό καταμαράν που λειτουργεί ταυτοχρόνως με ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια και υδρογόνο. Η ανάπτυξη τέτοιων πλοίων και η διευρυμένη χρήση τους ενδεχομένως να συμβάλει σε σημαντικό βαθμό στον περιορισμό των ρύπων της ναυτιλίας. Σε κάθε περίπτωση, προϋπόθεση για τη συστηματική χρήση τέτοιων πλοίων είναι η ύπαρξη ανάλογων υποδομών. Τα λιμάνια πρέπει επομένως να μετασηματιστούν, προκειμένου να χρησιμεύουν ως σταθμοί ενεργειακού ανεφοδιασμού πλοίων που βασίζονται σε πηγές ενέργειας όπως το υδρογόνο.

Σαφώς, όπως διαπιστώνεται από το Κεφάλαιο Πέντε της παρούσας μελέτης, υπάρχουν διάφορες προκλήσεις για τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Μεταξύ των προκλήσεων αυτών συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης για τα πλοία, η περιορισμένη απόδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διάφορες συνθήκες, η ανάγκη για εξειδικευμένο εξοπλισμό, για εκπαίδευση του προσωπικού στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η περιορισμένη αυτονομία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στη μελέτη που πραγματοποίησα για τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία στον λιμένα εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά, ανέδειξα το γεγονός ότι οι περισσότερες εκπομπές προέρχονται από τη διαδικασία του ελλιμενισμού των πλοίων. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο χρονικό διάστημα που τα πλοία παραμένουν στην αποβάθρα για τη φόρτωση και την εκφόρτωση των εμπορευμάτων τους. Ως λύση για τη μείωση αυτών των εκπομπών, προτείνω τη μέθοδο του "cold ironing". Με βάση την εφαρμογή της μεθόδου "cold ironing", ανέπτυξα τρία διαφορετικά σενάρια:

Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει την πλήρη παροχή ρεύματος από το ηλεκτρικό δίκτυο. Σύμφωνα με τη μελέτη, αυτό οδηγεί σε μειώσεις εκπομπών CO₂ έως 23%.

Το δεύτερο σενάριο βασίζεται στις προβλέψεις που έχουν γίνει για το 2030 για την συμμετοχή των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας. Αυτό προκαλεί μειώσεις εκπομπών CO₂ έως και 44%. Συνολικά, η μελέτη παρέχει πολύτιμες κατευθύνσεις για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία στον λιμένα του Πειραιά, λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές και τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με κάθε προτεινόμενη λύση.

Το τρίτο σενάριο προβλέπει την αποκλειστική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για τη λειτουργία των πλοίων. Αυτό οδηγεί σε μηδενικούς ρίπους κατά τον ελλιμενισμό των πλοίων και μειώσεις εκπομπών CO₂ έως και 66%.

Οι αυξημένες εκπομπές που προκαλούνται από τα πλοία και τα λιμάνια και οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές έχουν καταστήσει αναγκαία την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, ιδίως σε πόλεις με πυκνή λιμενική κίνηση. Ως εκ τούτου, η παρακολούθηση, η μέτρηση και ο υπολογισμός των ατμοσφαιρικών ρύπων που προέρχονται από τα πλοία που απαιτούνται. πλοία, τα οποία είναι οι πιο εμπορεύσιμοι τύποι πλοίων στις θάλασσες. Με την αύξηση του ηλεκτρονικού εμπορίου στον κόσμο, η τμήμα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων των θαλάσσιων μεταφορών τείνει να ειδικευτεί σύμφωνα με τα σενάρια. Σύμφωνα με την έκθεση της UNCTAD για το 2019, ο παγκόσμιος στόλος εμπορευματοκιβωτίων αυξήθηκε κατά 5% το 2018. Παρατηρείται ότι τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων βρίσκονται σε αυξητική τάση στον κόσμο του θαλάσσιου εμπορίου. Κατά συνέπεια, αναμένεται αύξηση των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Για να είναι βιώσιμο το έργο των πράσινων μεταφορών στον κόσμο, θα πρέπει να κατασκευάζονται πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που εκπέμπουν λιγότερες εκπομπές, και θα πρέπει να δημιουργηθούν χερσαία και θαλάσσια συστήματα. Ένας τρόπος είναι η δημιουργία και να εκτιμηθεί η απογραφή των εκπομπών των πλοίων στον κόσμο στόλου. Οι μελέτες σχετικά με τις μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και τις εκπομπές είναι αρκετά νέες. Είναι εξαιρετικά σημαντική και χρήσιμη η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση στις εκτιμήσεις εκπομπών. Η βελτίωση των δεδομένων των πειραματικών μελετών με μαθηματική εκτίμηση μεθόδων δημιουργεί πολύ σημαντικά κέρδη όσον αφορά το

κόστος και του χρόνου κατά την ανάλυση οφέλους/κόστους. Το επεξεργασία μεγάλων δεδομένων με τεχνητή νοημοσύνη επίσης αποκαλύπτει τι είδους σχέσεις υπάρχουν μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών. Αυτό παρέχει μεγάλη ευκολία στην τη ρεαλιστική μοντελοποίηση φυσικών γεγονότων. Στο μέλλον, η εκτίμηση των εκπομπών των ναυπηγείων, των λιμένων και των λειτουργιών με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης στο πλαίσιο των της πράσινης ναυτιλίας, των πράσινων ναυπηγείων και των πράσινων λιμένων θα υποστηρίξει τις εργασίες του IMO για το θέμα αυτό. Προκειμένου να μειωθούν οι συνολικές εκπομπές των λιμένων, πρώτα απ' όλα, πρέπει να γίνει απογραφή των εκπομπών των πλοίων. Για τα λιμάνια με υψηλές εκπομπές, θα πρέπει να θεσπιστούν κανόνες πράσινου λιμένα. Η έρευνα δείχνει ότι η εφαρμογή των διοικητικών μέτρων του IMO θα έχει σημαντική αντίκτυπο στη μείωση των εκπομπών CO₂ βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα. Καινοτόμες μέθοδοι, όπως οι εκπομπές CO₂ τεχνολογίες μετατροπής, η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, τα συστήματα δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να διερευνηθούν και να εφαρμοστούν για τη μείωση των εκπομπών σε λιμάνια και πλοία.

Με αφετηρία όλα τα ανωτέρω, πραγματοποιήθηκαν τρία σενάρια πρόβλεψης για το μέλλον της ναυτιλίας και την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως το 2050. Το πρώτο σενάριο που αναπτύχθηκε είναι το ιδιαίτερα αισιόδοξο, κατά το οποίο θα υπάρχει μία ολική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τη ναυτιλιακή βιομηχανία το 2050. Στο σενάριο αυτό υπάρχουν επίσης πράσινα λιμάνια και υποδομές, βιώσιμες αλυσίδες ανεφοδιασμού, ισχυρά κίνητρα και κανονιστικά πλαίσια που να προωθούν τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία.

Το δεύτερο σενάριο είναι αυτό της μέτριας αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε αυτό το σενάριο κυριαρχούν τα υβριδικά συστήματα πρόωσης, καθώς τα πλοία βασίζονται ταυτοχρόνως στα συμβατικά καύσιμα και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπάρχει οπωσδήποτε μία μείωση των εκπομπών των πλοίων, ενώ παρέχονται επίσης σημαντικά κίνητρα για την πράσινη μετάβαση. Η χρήση όμως των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πραγματοποιείται με αυστηρά οικονομικά κριτήρια, μόνο στην περίπτωση όπου οι πλοιοκτήτες εκτιμούν μία τέτοια επένδυση ως αποδοτική.

Το τρίτο σενάριο που εξετάστηκε είναι αυτό κατά το οποίο η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία θα συνεχίσει να παραμένει χαμηλή. Σε ένα τέτοιο

σενάριο συνεχίζουν να κυριαρχούν τα συμβατικά καύσιμα, υπάρχει περιορισμένη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχει έλλειψη πράσινων υποδομών στα λιμάνια, σημαντική εξάρτηση από μεταβατικά καύσιμα, υπάρχουν μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και έλλειμμα πρωτοβουλιών σε επίπεδο διεθνούς συνεργασίας ώστε να προωθηθεί η πράσινη μετάβαση της ναυτιλίας.

9.2 Παρουσίαση των οφελών που προσφέρει η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία

Εξετάζοντας τα οφέλη τα οποία θα μπορούσαν να προκύψουν από τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία, το κεντρικό και αδιαμφισβήτητο όφελος αφορά τη βελτίωση του περιβαλλοντικού προβλήματος ως συνάρτηση των μειωμένων εκπομπών CO₂. Οι μειωμένες εκπομπές CO₂ θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περιορισμό του περιβαλλοντικού προβλήματος.

Η συμβολή στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής θα συνεπαγόταν οπωσδήποτε και σημαντικά οφέλη για τη βιωσιμότητα της ναυτιλίας. Η ναυτιλία από τη φύση της εξαρτάται από τη συνολικότερη οικονομική δραστηριότητα που υπάρχει σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Είναι ευρέως αποδεκτό πως η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων και η επιδείνωση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής θα οδηγήσουν σε σημαντικές κρίσεις στο μέλλον, οι οποίες θα δημιουργήσουν αξιοσημείωτη οικονομική δυσπραγία. Η πρόσφατη καταστροφή λόγω της καταιγίδας Ντάνιελ στη Θεσσαλία είναι ενδεικτική αυτής της τάσης, αφού η αγροτική παραγωγή θα υποβαθμιστεί και κατ' επέκταση τα ίδια τα προϊόντα που μεταφέρονται μέσω της ναυτιλίας δεν υφίστανται. Σε ένα μη βιώσιμο κόσμο, η ναυτιλία θα αντιμετωπίσει οπωσδήποτε σημαντικά εμπόδια και δυσκολίες. Επομένως, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία θα συμβάλει στην αντιμετώπιση ενός προβλήματος που την επηρεάζει άμεσα.

9.3 Προτάσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία

Ως συνάρτηση των ανωτέρω, μπορούν να πραγματοποιηθούν ορισμένες προτάσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Αρχικά, απαιτείται η διαρκής ανάπτυξη αποτελεσματικών τεχνολογιών που να υποστηρίζουν τις βασιζόμενες στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τεχνολογίες στη ναυτιλία. Η έρευνα πρέπει να είναι πολυεπίπεδη και να αφορά την ανάπτυξη νέων πλοίων, τη μετατροπή του υφιστάμενου στόλου με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ανάπτυξη πράσινων υποδομών. Κατά τον τρόπο αυτό, η ίδια η τεχνολογική εξέλιξη και πρόοδος θα μπορέσει να κάνει πιο αποδοτικά τα πλοία που θα βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ένας δεύτερος τρόπος αφορά την αξιοποίηση σημαντικών κινήτρων για τις επιχειρήσεις του κλάδου της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Όπως αναφέρεται ανωτέρω, το κατά πόσο έως το 2050 θα έχει υπάρξει μία σημαντική στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι συνάρτηση του νομοθετικού πλαισίου. Στο σημείο αυτό μπορεί να αναπτυχθεί ένας σημαντικός προβληματισμός, δεδομένου ότι η ναυτιλία από τη φύση της συνιστά μία δραστηριότητα που επηρεάζεται από το νομικό πλαίσιο πάρα πολλών διαφορετικών κρατών, αλλά και αντιστρόφως το επηρεάζει. Συνεπώς, είναι επιβεβλημένη η διεθνής συνεργασία και ο συντονισμός, προκειμένου να τεθεί ένα ρυθμιστικό πλαίσιο που θα καθιστά αποδοτική τη χρήση των πλοίων που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο πλαίσιο θα μπορούσε να περιλαμβάνει προτεραιότητα στη μετακίνηση στα λιμάνια για τα πλοία τα οποία βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οδηγώντας έτσι σε σχετικά κίνητρα αποδοτικότητας προκειμένου να εγκαταστήσουν συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

9.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία

Σε κάθε περίπτωση, η μελλοντική έρευνα είναι επιβεβλημένη για την ενίσχυση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Όπως αναφέρεται ανωτέρω, είναι επιβεβλημένη η έρευνα με στόχο την ανάπτυξη πιο αποδοτικών συστημάτων, που θα καταστήσουν επομένως την πράσινη μετάβαση της ναυτιλίας πιο αποδοτική.

Πέραν ωστόσο από την προφανή αυτή πρόταση για έρευνα και ανάπτυξη, κεντρικής σημασίας ενδεχομένως να είναι και η έρευνα της αποτίμησης στελεχών του κλάδου της Ναυτιλίας όσον αφορά τον προσανατολισμό που πρέπει να έχει ένα ικανό ρυθμιστικό πλαίσιο, ώστε να τους πείσει να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μία τέτοια έρευνα θα μπορούσε να διενεργηθεί και στη χώρα μας μέσω συνεντεύξεων με κεντρικούς εμπλεκόμενους στον κλάδο της ναυτιλίας, αποτυπώνοντας την αντίληψή τους για τα σχετικά κίνητρα, ώστε όσοι χαράσσουν αντίστοιχες πολιτικές να προσανατολιστούν με βάση αυτά, προκειμένου να αναπτύξουν ένα αποτελεσματικό θεσμικό πλαίσιο, που θα προάγει την υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο χώρο της ναυτιλίας.

Γενικότερα, η μελλοντική έρευνα πρέπει να είναι διαρκής, αφενός λόγω του ότι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής είναι δυναμικά εξελισσόμενο, αφετέρου διότι απαιτείται η αποτίμηση των κεντρικών πολιτικών, ώστε να διαπιστώνεται τα αδύναμα σημεία τους και να τροποποιούνται σχετικώς. Ως εκ τούτου, η μελλοντική έρευνα για τη διερεύνηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία είναι επιβεβλημένη.

Βιβλιογραφία

- Afif, A., Radenahmad, N., Cheok, Q., Shams, S., Kim, J. H., & Azad, A. K. (2016). Ammonia-fed fuel cells: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60*, 822-835.
- Ajithkumar, A. (2022). Applicability of hydrogen fuel cells in shipping for a sustainable future. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, 10*.
- Alop, A. (2019). The main challenges and barriers to the successful “smart shipping”. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 13*(3), 521-528.
- Al-Aboosi, F. Y., El-Halwagi, M. M., Moore, M., & Nielsen, R. B. (2021). Renewable ammonia as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering, 31*, 100670.
- Andersson, K., Baldi, F., Brynolf, S., Lindgren, J. F., Granhag, L., & Svensson, E. (2016). *Shipping and the Environment* (pp. 3-27). Berlin: Springer.
- Abdelkareem, M. A., Allagui, A., Sayed, E. T., El Haj Assad, M., Said, Z., & Elsaid, K. (2019). Comparative analysis of liquid versus vapor-feed passive direct methanol fuel cells. *Renewable Energy, 131*, 563–584. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.055>
- Ahmed, H. (2022). *Human Systems Integration Of Agricultural Machinery In Developing Economy Countries: SUDAN AS A CASE STUDY* Colorado State University.
- Ahmed, H., Adebayo, P., Ahmed, M., & Arbab, AI. (2023). *Hydrogen Fuel Cell Technology: Benefits, Challenges, and Future Potential*.
- Al Hosani, N., Fathelrahman, E., Ahmed, H., & Rikab, E. (2022). Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) for decentralized grey water treatment: Technical, ecological and cost efficiency comparison for domestic applications. *Emirates Journal of Food and Agriculture*.
- Almeida, R. M., Schmitt, R., Grodsky, S. M., Flecker, A. S., Gomes, C. P., Zhao, L., Liu, H., Barros, N., Kelman, R., & McIntyre, P. B. (2022). Floating solar power could

help fight climate change—Let’s get it right. *Nature*, 606(7913), 246–249.
<https://doi.org/10.1038/d41586-022-01525-1>

Arief, I. S., & Fathalah, A. (2022a). Review Of Alternative Energy Resource For The Future Ship Power. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 972(1), 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/972/1/012073>

Arief, I. S., & Fathalah, A. Z. M. (2022b). Review of alternative energy resource for the future ship power. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 972, No. 1, p. 012073)*. IOP Publishing.

Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy conversion and management*, 182, 72-88.

Bach, H., & Hansen, T. (2023). IMO off course for decarbonisation of shipping? Three challenges for stricter policy. *Marine Policy*, 147, 105379. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105379>

Boudghene Stambouli, A., & Traversa, E. (2002). Fuel cells, an alternative to standard sources of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(3), 295–304. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(01\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(01)00015-6)

Budiyanto, M. A., Habibie, M. R., & Shinoda, T. (2022). Estimation of CO2 emissions for ship activities at container port as an effort towards a green port index. *Energy Reports*, 8, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.090>

Camara, M.B., Payman, A., & Dakyo, B. (2016). Energy management based on frequency approach in an electrical hybrid boat. In Proceedings of the 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC), Toulouse, France, 2–4 November 2016.

Clarksons. Clarksons World Fleet Register. Διαθέσιμο στο: <http://www.clarksons.net>
Τελευταία πρόσβαση: 16.07.2023

Corbett, J. J., & Fischbeck, P. (1997). Emissions from ships. *Science*, 278(5339), 823-824.

de Araujo, J. L., Rosa, L. P., & da Silva, N. F. (2009). Hydroelectricity: future potential and barriers. *Generating electricity in a carbon-constrained world*, 323.

Cazzaniga, R., & Rosa-Clot, M. (2021). The booming of floating PV. *Special Issue on Floating Solar: Beyond the State of the Art Technology*, 219, 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.057>

Chen, D., Wang, X., Li, Y., Lang, J., Zhou, Y., Guo, X., & Zhao, Y. (2017). High-spatiotemporal-resolution ship emission inventory of China based on AIS data in 2014. *Science of The Total Environment*, 609, 776–787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.051>

Chen, D., Zhao, Y., Nelson, P., Li, Y., Wang, X., Zhou, Y., Lang, J., & Guo, X. (2016). Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China. *Atmospheric Environment*, 145, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.086>

Comer, B., & Sathiamoorthy, B. (2022). *How updating IMO regulations can promote lower greenhouse gas emissions from ships. Working Paper 2022-34, ICCT.*

Dagkinis, I., Lilas, T., & Nikitakos, N. (2012). Operational failure prevention methodology for offshore systems using multiple criteria decision-making process. *Journal of Polish Safety and Reliability Association*, 3.

Diab, F., Lan, H., & Ali, S. (2016). Novel comparison study between the hybrid renewable energy systems on land and on ship. *Renewable and sustainable energy reviews*, 63, 452-463.

Del Giudice, M., Di Vaio, A., Hassan, R., & Palladino, R. (2022). Digitalization and new technologies for sustainable business models at the ship–port interface: A bibliometric analysis. *Maritime Policy & Management*, 49(3), 410–446. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1903600>

Dewi. (2022). *Resti Nurmala; TERAPAN (Solar Technology on Fishing Boats) as an Innovation to Reduce the Operational Costs of Fishing Activities; 4th Indonesian Scholars Scientific Summit Proceeding.*

DNV office. (2023). *Use of biofuels in shipping.* <https://www.dnv.com/news/use-of-biofuels-in-shipping-240298>

EEA (2023), Share of energy consumption from renewable sources in Europe <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/share-of-energy-consumption-from?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8>

Fayle, C. E. (2013). *A short history of the world's shipping industry*. New York: Routledge.

Faber, J., Nelissen, D., Hon, G., Wang, H., & Tsimplis, M. (2013). *Regulated slow steaming in maritime transport: An assessment of options, costs, and benefits*.

Hentschel, M., Ketter, W., & Collins, J. (2018). Renewable energy cooperatives: Facilitating the energy transition at the Port of Rotterdam. *Energy Policy*, *121*, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.014>

Huang, M., He, W., Incecik, A., Cichon, A., Królczyk, G., & Li, Z. (2021). Renewable energy storage and sustainable design of hybrid energy powered ships: A case study. *Journal of Energy Storage*, *43*, 103266.

Hernández-Moro, J., & Martínez-Duart, J. M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *20*, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.082>

Hossain, T., Adams, M., & Walker, T. R. (2021). Role of sustainability in global seaports. *Ocean & Coastal Management*, *202*, 105435. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105435>

IEA. (2017). *World Energy Statistics 2017 [and previous years]*. International Energy Agency.

IEA. (2021). *Renewable electricity capacity additions, 2007-2021, updated IEA forecast, IEA, Paris*.

Inal, O. B., Charpentier, J. F., & Deniz, C. (2022). Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *156*, 111965.

IEA (2019), *Offshore Wind Outlook 2019*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>, License: CC BY 4.0

International Maritime Organization. Resolution MEPC.212(63), Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. 2012. Διαθέσιμο στο: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.212\(63\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.212(63).pdf) Τελευταία πρόσβαση: 16.07.2023

International Maritime Organization. MEPC 2016. 2016 Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP); Annex 10; International Maritime Organization: London, UK, 2016.

International Maritime Organization. (2018). Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships; Annex 11; International Maritime Organization: London, UK.

International Maritime Organization. International Maritime Organisation. 2021. Διαθέσιμο στο: https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/CII-carbon-intensity-indicator/index.html?gclid=Cj0KCQjws4aKBhDPARIsAIWH0JWEDsqXuo5N8xY2xOFYSc37pwyEAL0-IKdy0s8gDN8A7QYWMJj2lkaAvHPEALw_wcB Τελευταία πρόσβαση: 20.07.2023

IRENA. (2021). A pathway to decarbonise the shipping sector by 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Ingole, N., Kelzarkar, A., Rathod, P., & Bandewar, A. (2020). Floating Solar Power

Jeevan, J., Mohd Salleh, N. H., Abdul Karim, N. H., & Cullinane, K. (2023). An environmental management system in seaports: Evidence from Malaysia. *Maritime Policy & Management*, 50(8), 1118–1135. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2047814>

Jingang Han, Charpentier, J. F., & Tianhao Tang. (2012). State of the art of fuel cells for ship applications. *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1456–1461. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2012.6237306>

Khare, V., & Bhuiyan, M. A. (2022). Tidal energy-path towards sustainable energy: A technical review. *Cleaner Energy Systems*, 3, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100041>

Kass, M. D., Abdullah, Z., Bidy, M. J., Drennan, C., Haq, Z., Hawkins, T., ... & Wang, M. (2018). *Understanding the opportunities of biofuels for marine shipping* (No. ORNL/TM-2018/1080). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).

Kim, S. Y., Choe, S., Ko, S., & Sul, S. K. (2015). A naval integrated power system with a battery energy storage system: Fuel efficiency, reliability, and quality of power. *IEEE electrification magazine*, 3(2), 22-33.

King, A. (2022). *Emissions-free sailing is full steam ahead for ocean-going shipping*. Διαθέσιμο στο: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/emissions-free-sailing-full-steam-ahead-ocean-going-shipping> Τελευταία πρόσβαση: 05.09.2023

Koričan, M., Perčić, M., Vladimir, N., Soldo, V., & Jovanović, I. (2022). Environmental and economic assessment of mariculture systems using a high share of renewable energy sources. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130072.

Kowalski, J., Leśniewski, W., & Litwin, W. (2013). Multi-source-supplied parallel hybrid propulsion of the inland passenger ship STA. H. Research work on energy efficiency of a hybrid propulsion system operating in the electric motor drive mode. *Polish Maritime Research*, 20(3), 20-27.

Kumar, S., Baalisampang, T., Arzaghi, E., Garaniya, V., Abbassi, R., & Salehi, F. (2022). Synergy of green hydrogen sector with offshore industries: Opportunities and challenges for a safe and sustainable hydrogen economy. *Journal of Cleaner Production*, 135545.

Kumar, V., Shrivastava, R. L., & Untawale, S. P. (2015). Solar energy: review of potential green & clean energy for coastal and offshore applications. *Aquatic Procedia*, 4, 473-480.

Lam, J. S. L., & Li, K. X. (2019). Green port marketing for sustainable growth and development. *Transport Policy*, 84, 73–81.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.04.011>

- Latapí, M., Davíðsdóttir, B., & Jóhannsdóttir, L. (2023). Drivers and barriers for the large-scale adoption of hydrogen fuel cells by Nordic shipping companies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(15), 6099-6119.
- Lin, C.-Y., Dai, G.-L., Wang, S., & Fu, X.-M. (2022). The Evolution of Green Port Research: A Knowledge Mapping Analysis. *Sustainability*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141911857>
- Maleki, A., Sadeghkhan, I., & Fani, B. (2019). Statistical sensorless short-circuit fault detection algorithm for photovoltaic arrays. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(5), 053501. <https://doi.org/10.1063/1.5119055>
- McConnell, V. P. (2010). Now, voyager? The increasing marine use of fuel cells. *Fuel Cells Bulletin*, 2010(5), 12–17. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(10\)70166-8](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(10)70166-8)
- Miklantsch, P., & Woschank, M. (2022). A framework of measures to mitigate greenhouse gas emissions in freight transport: Systematic literature review from a Manufacturer’s perspective. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132883>
- Miola, A., & Ciuffo, B. (2011). Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modelling approaches and available data sources. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2242–2251. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.01.046>
- Margaritou, M. D., & Tzannatos, E. (2018). A multi-criteria optimization approach for solar energy and wind power technologies in shipping. *FME Transactions*, 46(3), 374-380.
- Moon, D. S. H., Woo, J. K., & Kim, T. G. (2018). Green Ports and Economic Opportunities. In L. L. Froholdt (Ed.), *Corporate Social Responsibility in the Maritime Industry* (Vol. 5, pp. 167–184). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69143-5_10
- Nain, P., & Kumar, A. (2020). Understanding the possibility of material release from end-of-life solar modules: A study based on literature review and survey analysis. *Renewable Energy*, 160, 903-918.

- Olmer, N., Comer, B., Roy, B., Mao, X., & Rutherford, D. (2017). *Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015 Detailed Methodology*. International Council on Clean Transportation: Washington, DC, USA.
- Olçer, A. I., Kitada, M., Dalaklis, D., & Ballini, F. (Eds.). (2018). *Trends and challenges in maritime energy management* (Vol. 6, pp. 4-6). Heidelberg: Springer.
- Parhamfar, M., Sadeghkhani, I., & Adeli, A. M. (2023). Towards the application of renewable energy technologies in green ports: Technical and economic perspectives. *IET Renewable Power Generation*, 17(12), 3120–3132. <https://doi.org/10.1049/rpg2.12811>
- Platzer, M. F., & Sarigul-Klijn, N. (2020). *The Green Energy Ship Concept: Renewable Energy from Wind over Water*. New York: Springer.
- Platzer, M. F., Sarigul-Klijn, N., Young, J., Ashraf, M. A., & Lai, J. C. S. (2014). Renewable hydrogen production using sailing ships. *Journal of Energy Resources Technology*, 136(2), 021203.
- Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2010). Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(8), 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.05.001>
- Paul, D. (2020). A history of electric ship propulsion systems [history]. *IEEE Industry Applications Magazine*, 26(6), 9-19.
- Plants: A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7(01).
- Qazi, U. Y. (2022). Future of hydrogen as an alternative fuel for next-generation industrial applications; challenges and expected opportunities. *Energies*, 15(13), 4741.
- Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.067>
- Reusser, C. A., Young, H. A., Osses, J. R. P., Perez, M. A., & Simmonds, O. J. (2020). Power electronics and drives: Applications to modern ship propulsion systems. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 14(4), 106-122.

- Ritari, A., Spoof-Tuomi, K., Huotari, J., Niemi, S., & Tammi, K. (2021). Emission abatement technology selection, routing and speed optimization of hybrid ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(9), 944.
- Rehmatulla, N., Parker, S., Smith, T., & Stulgis, V. (2017). Wind technologies: Opportunities and barriers to a low carbon shipping industry. *Marine Policy*, 75, 217-226.
- Rauf, H., Gull, M. S., & Arshad, N. (2019). Integrating Floating Solar PV with Hydroelectric Power Plant: Analysis of Ghazi Barotha Reservoir in Pakistan. *Innovative Solutions for Energy Transitions*, 158, 816–821. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.214>
- Raza, Z. (2020). Effects of regulation-driven green innovations on short sea shipping's environmental and economic performance. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84, 102340. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102340>
- Soto, J. F., Seijo, R. G., Formoso, J. F., Iglesias, G. G., & Couce, L. C. (2010). Alternative sources of energy in shipping. *The journal of navigation*, 63(3), 435-448.
- Satır, T., & Doğan-Sağlamtimur, N. (2018). The protection of marine aquatic life: Green Port (EcoPort) model inspired by Green Port concept in selected ports from Turkey, Europe and the USA. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 6(1), 120. <https://doi.org/10.21533/pen.v6i1.149>
- Sayed, E. T., Eisa, T., Mohamed, H. O., Abdelkareem, M. A., Allagui, A., Alawadhi, H., & Chae, K.-J. (2019). Direct urea fuel cells: Challenges and opportunities. *Journal of Power Sources*, 417, 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.12.024>
- Shields, M., Cooperman, A., Kreider, M., Oteri, F., Hemez, Z., Gill, L., Sharma, A., Fan, K., Musial, W., Trowbridge, M., Knipe, A., & Lim, J. (2023). *The Impacts of Developing a Port Network for Floating Offshore Wind Energy on the West Coast of the United States* (NREL/TP--5000-86864, 2005543, MainId:87639; p. NREL/TP--5000-86864, 2005543, MainId:87639). <https://doi.org/10.2172/2005543>
- Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., & Pandey, A. (2015). *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*.

Styhre, L., & Winnes, H. (2019). Emissions From Ships in Ports. In *Green Ports* (pp. 109–124). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814054-3.00006-2>

The International Council on Clean Transportation. (2023). IMO’s newly revised GHG strategy: What it means for shipping and the Paris Agreement. Διαθέσιμο στο: <https://theicct.org/marine-imo-updated-ghg-strategy-jul23/> Τελευταία πρόσβαση: 14.09.2023

Talluri, L., Nalianda, D. K., Kyprianidis, K. G., Nikolaidis, T., & Pilidis, P. (2016). Techno economic and environmental assessment of wind assisted marine propulsion systems. *Ocean Engineering*, *121*, 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.05.047>

Teerawattana, R., & Yang, Y.-C. (2019). Environmental Performance Indicators for Green Port Policy Evaluation: Case Study of Laem Chabang Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, *35*(1), 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.03.009>

Trapani, K., & Redón Santafé, M. (2015). A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, *23*(4), 524–532. <https://doi.org/10.1002/pip.2466>

Tzannatos, E. (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece. *Atmospheric Environment*, *44*(3), 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.024>

Vogler, F., & Würsig, G. (2011). *Fuel Cell in Maritime Applications Challenges, Chances and Experiences*.

U. I. C. A. D. (2014). Hornsea Offshore Wind Farm Project One.

Van Hoecke, L., Laffineur, L., Campe, R., Perreault, P., Verbruggen, S. W., & Lenaerts, S. (2021). Challenges in the use of hydrogen for maritime applications. *Energy & Environmental Science*, *14*(2), 815–843.

Winkler, W. (2009). Ships: Fuel cells. *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, *1*, 338–358.

Wang, L., Peng, C., Shi, W., & Zhu, M. (2020). Carbon dioxide emissions from port container distribution: Spatial characteristics and driving factors. *Transportation*

Research Part D: Transport and Environment, 82, 102318.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102318>

Wijayanta, A. T., Oda, T., Purnomo, C. W., Kashiwagi, T., & Aziz, M. (2019). Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: Comparison review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(29), 15026-15044.

Woodyard, D.F. (2009). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*; Butterworth-Heinemann: London, UK; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands.

Woud, H.K. & Stapersma, D. (2002). *Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems*; Institute of Marine Engineering: London, UK.

Yıldırım Pekşen, D., & Alkan, G. (2018). Application of Alternative Maritime Power (AMP) Supply to Cruise Port. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(4), 307–318.
<https://doi.org/10.5505/jems.2018.15870>

Zabihi, A., Sadeghkhan, I., & Fani, B. (2021). A Partial Shading Detection Algorithm for Photovoltaic Generation Systems. *Journal of Solar Energy Research*, 6(1), 678–687. <https://doi.org/10.22059/jser.2021.310010.1171>

Zakiah, D., & Selasini, V. (2023). SOLAR AND WIND ENERGY FOR SHIP POWER SYSTEM, CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECT. *Journal Maritim Malahayati*, 4(1), 7–15.

Zis, T. P. V. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82–95.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.003>