



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας
Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη
“Ναυτική & Θαλάσσια Τεχνολογία”

Προοπτικές Ανάπτυξης Λιμένων μέσω της Ηλεκτροδότησης Ελλιμενιζόμενων Πλοίων

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Πλάτων Χ. Σβαρνιάς
[Α.Μ.:08119831]

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26^η Ιανουαρίου 2022.

(Υπογραφή)

.....
Ιωάννης Προυσαλίδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Χρήστος Παπαδόπουλος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Δημήτριος Λυρίδης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2022

(Υπογραφή)

.....

Πλάτων Σβαρνιάς

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright© Πλάτων Σβαρνιάς, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν κατά τη διάρκεια της ενασχόλησής μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ιωάννη Προυσαλίδη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου με την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής καθώς και για την πολύτιμη και συστηματική καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης.

Ιδιαίτερα, ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτριο Λυρίδη για τη συνεχή υποστήριξη και τις συμβουλές του επάνω στα εξειδικευμένα θέματα της εργασίας αυτής. Η συμβολή του ήταν καθοριστική για τη γρήγορη ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες του Δ.Π.Μ.Σ. που μου χάρισαν απλόχερα τις γνώσεις τους, καθώς και όλους τους συναδέλφους, συμφοιτητές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας
Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη
“Ναυτική & Θαλάσσια Τεχνολογία”

Προοπτικές Ανάπτυξης Λιμένων μέσω της Ηλεκτροδότησης Ελλιμενιζόμενων Πλοίων

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΤΟΥ

Πλάτων Χ. Σβαρνιά

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, 2022

Περίληψη

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας θα είναι σε πρώτη φάση η αποτύπωση της τωρινής ικανότητας των υποδομών των λιμένων της χώρας μας σε ηλεκτρική ισχύ. Στη συνέχεια, θα γίνει σύνθεση μιας ολοκληρωμένης τεχνικής πρότασης σχετικά με τις υποδομές και τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που πρέπει να φτιαχτούν, αλλά παράλληλα θα γίνει και εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών για επαύξηση της ηλεκτρικής ισχύος των υποσταθμών ηλεκτρικού ρεύματος των λιμανιών, στο πλαίσιο της εφαρμογής του μέτρου της ηλεκτροδότησης των ελλιμενιζόμενων πλοίων από την ξηρά, καθώς και του κόστους της επένδυσης που θα απαιτηθεί. Τέλος, θα αναδειχθεί ο σημαντικός ρόλος στην μετάβαση προς μία ναυτιλία που προασπίζεται την προστασία του περιβάλλοντος και του θαλάσσιου πλούτου μέσω των μειωμένων εκπομπών ρύπων και της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου από τα πλοία.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE ENGINEERING
DIVISION OF MARINE ENGINEERING
INTERDISCIPLINARY POSTGRADUATE PROGRAM IN
"MARINE & OCEAN TECHNOLOGY"

Prospects for the Development of Ports through the Electrification of Moored Ships

Master's Thesis

By

Plato C. Svarnias

Supervisor: Ioannis Prousalidis, Professor NTUA

Athens, January 2022

Abstract

The object of this dissertation will be at first, the capture of the current capacity of the infrastructure of our country's ports in electricity. Next, a comprehensive technical proposal on the infrastructure and electrical installations to be built will be compiled, but at the same time an assessment will be made of the future needs for increasing the electricity capacity of the ports electricity substations, in the context of the implementation of the measure the power supply of the moored ships from the land, as well as the cost of the investment that will be required. Finally, the important role will be played in the transition to shipping that advocates for the protection of the environment and maritime wealth through reduced emissions and reduced fuel consumption by ships.

Ακρωνύμια

ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΕΟΧ	Ευρωπαϊκός Οικονομικός Χώρος
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
SSE	Shore-side electricity
ΝΤΥΑ	National Technical University of Athens
ΑΒ	Auxiliary Boiler
ΑΕ	Auxiliary Engine
ΑΙΣ	Automatic Identification System
ΕΚΑ	Emissions Control Area
ΕΕΑ	European Economic Area
ΕΙΑΠΠ	Engine International Air Pollution Prevention
GHG	Greenhouse Gas
HCP	Harmonised Indices of Consumer Prices
ΙΜΟ	International Maritime Organization
ΜΕ	Main Engine
MRV	Monitoring, Reporting and Verification of CO ₂ Emissions from Maritime Transport
OPS	Onshore Power Supply
SECA	Sulphur Oxide Emission Control Area
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
DWT	Deadweight
GT	Gross Tonnage
NPV	Net Present Value
SFC	Specific Fuel Consumption
TEU	Twenty foot Equivalent Container Unit

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος	6
1 Περιγραφή και Ανάπτυξη της Ναυτιλίας	14
1.1 Τι είναι Ναυτιλία.....	14
1.2 Παγκόσμιος Εμπορικός Στόλος & Διεθνές Εμπόριο.....	15
1.3 Η Ελληνική Ναυτιλία σε Νούμερα.....	18
1.4 Προοπτικές της Παγκόσμιας Ναυτιλίας.....	26
2 Ναυτιλία & Αέριοι Ρύποι Πλοίων	28
2.1 Τύποι Ναυτικών Κινητήρων.....	28
2.2 Τύποι Ηλεκτρικών Γεννητριών Πλοίων.....	29
2.2.1 Γεννήτριες Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ).....	29
2.2.2 Γεννήτριες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ΕΡ).....	30
2.3 Καύσιμα Διεθνούς Ναυσιπλοΐας.....	32
2.3.1 Κύριοι Τύποι Καυσίμων Ηλεκτροπαραγωγής & Πρόωσης Πλοίων.....	33
2.4 Εκπομπές Αέριων Ρύπων από τη Διεθνή Ναυσιπλοΐα.....	36
2.5 Ασφάλεια Ναυσιπλοΐας & Προστασία του Περιβάλλοντος.....	43
2.5.1 Μείωση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (GHG) από τα Πλοία/ Εξελίξεις στον ΙΜΟ και την ΕΕ.....	44
2.5.2 Ευρωπαϊκός Κανονισμός FuelEU Maritime.....	45
2.5.3 Εναλλακτικά Καύσιμα – Τεχνολογίες.....	46
2.5.4 Παγκόσμιο Όριο Περιεκτικότητας 0.50% σε Θείο των Ναυτιλιακών Καυσίμων.....	47
3 Ηλεκτροδότηση Πλοίων από Ξηράς-SSE| Cold Ironing	48
3.1 Επισκόπηση του Cold Ironing.....	48
3.1.1 Εθνική-Διεθνής Πολιτική & Κανονισμοί για το Cold Ironing.....	49
3.2 Η Δυνατότητα Μείωσης του CO ₂ με τη Βοήθεια της SSE στην Ευρώπη.....	54
3.2.1 Παράγοντες Εκπομπής Βοηθητικών Κινητήρων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη & Σύγκριση αυτών.....	55
3.2.2 Μειώσεις Εκπομπών ανά Θέση Ελλιμενισμού των Πλοίων.....	56
3.2.3 Περιορισμός Λοιπών Εκπομπών (CO, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O & Ηχητική Ρύπανση).....	58

3.2.4 Βασικές Προκλήσεις της SSE για τη Μείωση των Εκπομπών των Ρύπων.....	60
3.2.5 Ηλεκτρική Ενέργεια από την Ακτή ως Ελπιδοφόρο Μέτρο για τη Μείωση των Εκπομπών σε Θέσεις Ελλιμενισμού.....	61
3.3 Δυνατότητες του Cold Ironing & Γενικά Θέματα.....	65
3.3.1 Υποδομή & Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Cold Ironing.....	67
3.3.2 Το πρόβλημα του Αγείωτου Δικτύου Πλοίου και του Γειωμένου Ξηράς.....	74
3.4 Η τεχνολογία της Ηλεκτροδότησης σε Ελληνικούς & Διεθνείς λιμένες.....	77
4 Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ξηράς (SSE) συναρτήσει του Χρόνου Ελλιμενισμού και του Τύπου των Πλοίων	81
4.1 Χρόνος Ελλιμενισμού Πλοίων συναρτήσει του Τύπου τους.....	81
4.2 Ισχύς Βοηθητικών Κινητήρων των Ελλιμενισμένων Πλοίων.....	83
4.3 Η Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Λιμάνια του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου και του Ηνωμένου Βασιλείου.....	86
4.4 Μεθοδολογίες Πρόβλεψης Φορτίου.....	93
4.5 Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ξηράς και Εκπομπές του CO ₂ για την Παραγωγή της.....	95
5 Τεχνο-Οικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Ηλεκτροδότησης Πλοίων από Ξηράς	99
5.1 Εγκατάσταση Cold Ironing και Κόστη Υποδομής.....	99
5.2 Κόστη Λειτουργίας και Συντήρησης.....	103
5.3 Σκοπιμότητα της Επένδυσης.....	105
5.3.1 Σκοπιμότητα της Επένδυσης για το μέσο πλοίο.....	106
5.3.2 Κόστη και Οφέλη για το Λιμάνι.....	109
5.4 Μοντέλα Αξιολόγησης των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.....	110
5.5 Αξιολόγηση Περιβαλλοντικών Παραγόντων και Σκοπιμότητας της HVSC στην Αδριατική Διαδρομή.....	116
5.6 Οφέλη των Συνδέσεων Ξηράς στα Πλαίσια του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ για Εφαρμογή στις Θαλάσσιες Μεταφορές.....	124
6 Ανακεφαλαίωση & Συμπεράσματα	131
6.1 Ανακεφαλαίωση.....	131
6.2 Συμπεράσματα για την SSE.....	132
6.3 Προτάσεις για Μελλοντική Μελέτη.....	134

Περιγραφή και Ανάπτυξη της Ναυτιλίας

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Λέγοντας «ναυτιλιακή βιομηχανία» ή γενικότερα «ναυτιλία», εννοούμε όλες τις δραστηριότητες που συνδέονται και υποστηρίζουν τις θαλάσσιες μεταφορές ανθρώπων και αγαθών. Πρόκειται για αναπόσπαστο στοιχείο των ειρηνικών διεθνών εμπορικών συναλλαγών της ανθρωπότητας. Πλοία διαφόρων τύπων, μεταφέρουν ανθρώπους, ξηρά και υγρά φορτία συσκευασμένα ή σε χύμα μορφή, καθώς επίσης οχήματα, ζώα κ.ά. σε όλα τα πλάτη και μήκη της γης. Το σύνολο των εμπορικών πλοίων τα οποία φέρουν τη σημαία ενός κράτους αποτελούν το Εμπορικό Ναυτικό του κράτους αυτού.

Χρησιμοποιούμε τον όρο «ναυτιλία» και όταν αναφερόμαστε στην ίδια τη λειτουργία του πλοίου, που είναι η επιστήμη και η τέχνη της διακυβέρνησης (γέφυρα) και της πρόωσης (μηχανής) αλλά και της φόρτωσης του, ώστε να πλέει με ασφάλεια από ένα σημείο σε άλλο.

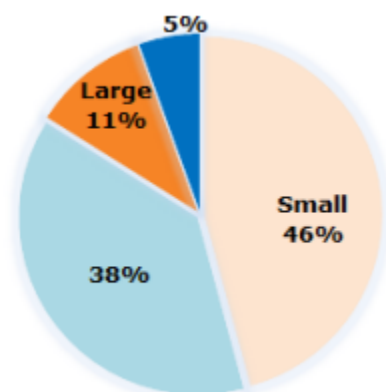
Η λέξη «ναυτιλία» υποδηλώνει και τη ναυτιλιακή βιομηχανία μιας χώρας που είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων γύρω από τις θαλάσσιες μεταφορές. Και φυσικά αποκαλούμε «παγκόσμια ναυτιλία» όλες τις εθνικές βιομηχανίες οι οποίες λειτουργούν και ελέγχονται μέσω ναυτιλιακής νομοθεσίας που θεσπίζεται στο Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό-ΙΜΟ (International Maritime Organization). Ο Οργανισμός είναι τεχνικός τομέας του ΟΗΕ, εδρεύει στο Λονδίνο και έχει μέλη του κράτη που ψηφίζουν Διεθνείς Συμβάσεις, Κώδικες και Κανονισμούς σε τρεις κύριους τομείς: (α) Εκπαίδευση και Πιστοποίηση ναυτικών, (β) Ασφάλεια ανθρώπινης ζωής και Περιουσίας στη Θάλασσα (επιβαίνοντες-πλοίο-φορτίο) και (γ) Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος από τη ρύπανση των εμπορικών πλοίων. Τα πολεμικά πλοία δεν υπόκεινται στη ναυτιλιακή νομοθεσία [1].

1.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΣΤΟΛΟΣ & ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΜΠΟΡΙΟ

Σύμφωνα με την Equasis, ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος αντιπροσώπευε συνολικά 117,892 πλοία για το έτος 2019 και συνολική ακαθάριστη χωρητικότητα 1,410,972 GT [2]. Το Equasis είναι μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων όπου είναι καταχωρημένες πληροφορίες που σχετίζονται με την ασφάλεια στα πλοία από δημόσιες και ιδιωτικές πηγές και έχει αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τη Γαλλική Επιτροπή Διαχείρισης της Ναυτιλίας [3].

Το Σχήμα 1-1 δείχνει ότι κατά αριθμό, το ο στόλος κυριαρχείται από μικρούς και μεσαίους μεγέθους πλοίων έως 24,999 GT (84%). Μόνο τα μικρά πλοία αντιπροσωπεύουν το 38% κατά αριθμό και περίπου μόνο το 1% σε χωρητικότητα.

Τα αλιευτικά σκάφη (21.3%), ρυμουλκά (16%), γενικά φορτηγά πλοία (13.6%), δεξαμενόπλοια χημικών και πετρελαίου (11.9%) και φορτηγά ξηρού χύδην φορτίου (10.4%) είναι οι πέντε πιο κοινοί τύποι πλοίων ανά αριθμό και αντιπροσωπεύουν περισσότερα από τα δύο τρίτα του στόλου της Equasis. Τα περισσότερα από αυτά, πρόκειται για μικρού και μεσαίου μεγέθους πλοία [1].



Σχήμα 1-1: Παγκόσμιος στόλος: συνολικός αριθμός πλοίων, ανά μέγεθος [1].

Ο Πίνακας 1-1 και 1-2 [3] δείχνουν ότι οι μεγάλες και πολύ μεγάλες κατηγορίες φορτηγά ξηρού χύδην φορτίου (43.2%), δεξαμενόπλοια λαδιού και χημικών (26.6%) και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (17%), αντιπροσωπεύουν περίπου το 84% του στόλου σε αριθμό σε αυτές τις κατηγορίες μεγέθους πλοίων. Αυτά τα στοιχεία δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές από το 2018 κατά την Έκθεση του Παγκόσμιου Στόλου.

Πίνακας 1-1. Παγκόσμιος στόλος - Αριθμός πλοίων ανά τύπο και μέγεθος.

Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
General Cargo Ships	4,127	7.6%	11,638	25.9%	248	2.0%			16,013	13.6%
Specialized Cargo Ships	7	0.0%	229	0.5%	64	0.5%	6	0.1%	306	0.3%
Container Ships	19	0.0%	2,241	5.0%	1,555	12.5%	1,463	22.5%	5,278	4.5%
Ro-Ro Cargo Ships	33	0.1%	623	1.4%	564	4.5%	249	3.8%	1,469	1.2%
Bulk Carriers	299	0.6%	3,807	8.5%	6,410	51.6%	1,778	27.3%	12,294	10.4%
Oil and Chemical Tankers	1,902	3.5%	7,322	16.3%	2,726	21.9%	2,025	31.1%	13,975	11.9%
Gas Tankers	35	0.1%	1,116	2.5%	389	3.1%	508	7.8%	2,048	1.7%
Other Tankers	401	0.7%	699	1.6%	14	0.1%			1,114	0.9%
Passenger Ships	4,138	7.7%	2,873	6.4%	287	2.3%	194	3.0%	7,492	6.4%
Offshore Vessels	2,715	5.0%	5,211	11.6%	140	1.1%	287	4.4%	8,353	7.1%
Service Ships	2,779	5.1%	2,769	6.2%	26	0.2%	6	0.1%	5,580	4.7%
Tugs	17,949	33.2%	932	2.1%					18,881	16.0%
Fishing Vessels	19,605	36.3%	5,482	12.2%	2	0.0%			25,089	21.3%
Total	54,009	100%	44,942	100%	12,425	100%	6,516	100%	117,892	100.0%

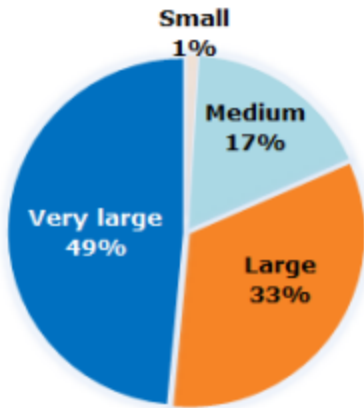
(¹)GT<500 – (²)500≤GT≤25,000 – (³)25,000<GT≤60,000 – (⁴)GT≥60,000

Πίνακας 1-2. Παγκόσμιος στόλος - Ακαθάριστη χωρητικότητα κατά τύπο και μέγεθος.

Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
General Cargo Ships	1,430	10.6%	49,910	20.8%	8,250	1.8%			59,590	4.2%
Specialized Cargo Ships	2	0.0%	1,767	0.7%	2,461	0.5%	438	0.1%	4,668	0.3%
Container Ships	8	0.1%	26,299	11.0%	58,643	12.5%	162,104	23.5%	247,054	17.5%
Ro-Ro Cargo Ships	11	0.1%	6,239	2.6%	26,852	5.7%	16,725	2.4%	49,827	3.5%
Bulk Carriers	120	0.9%	57,090	23.8%	239,371	51.2%	181,931	26.4%	478,512	33.9%
Oil and Chemical Tankers	616	4.6%	44,815	18.7%	96,964	20.7%	216,514	31.4%	358,909	25.4%
Gas Tankers	13	0.1%	7,192	3.0%	16,888	3.6%	57,211	8.3%	81,304	5.8%
Other Tankers	120	0.9%	2,041	0.9%	411	0.1%			2,572	0.2%
Passenger Ships	1,068	7.9%	11,685	4.9%	10,341	2.2%	20,707	3.0%	43,801	3.1%
Offshore Vessels	764	5.7%	15,446	6.4%	6,409	1.4%	33,759	4.9%	56,378	4.0%
Service Ships	682	5.1%	8,850	3.7%	967	0.2%	891	0.1%	11,390	0.8%
Tugs	4,338	32.3%	857	0.4%					5,195	0.4%
Fishing Vessels	4,271	31.8%	7,420	3.1%	81	0.0%			11,772	0.8%
Total	13,443	100%	239,611	100%	467,638	100%	690,280	100%	1,410,972	100.0%

(¹)GT<500 – (²)500≤GT≤25,000 – (³)25,000<GT≤60,000 – (⁴)GT≥60,000

Όσον αφορά τη χωρητικότητα, οι μεγάλες και πολύ μεγάλες κατηγορίες αντιπροσωπεύουν το 82% του Στόλου της Equasis (Σχήμα 1-2), με δεξαμενόπλοια χημικών και πετρελαίου, φορτηγά ξηρού χύδην φορτίου, και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κυριαρχούν από κοινού και στις δύο κατηγορίες με 84.4% (μεγάλα) και 81.3% (πολύ μεγάλα).



Σχήμα 1-2: Παγκόσμιος στόλος: συνολικός αριθμός πλοίων, ανά μέγεθος [1].

Οι θαλάσσιες μεταφορές παραμένουν η ραχοκοκαλιά του παγκοσμιοποιημένου εμπορίου και της αλυσίδας εφοδιασμού προϊόντων, καθώς περισσότερα από τα τέσσερα πέμπτα του παγκόσμιου εμπορίου εμπορευμάτων κατ' όγκο πραγματοποιούνται δια θαλάσσης. Ωστόσο, σύμφωνα με δημοσίευση των Ηνωμένων Εθνών, η ανάπτυξη των διεθνών θαλάσσιων μεταφορών και το εμπόριο μειώθηκε ελαφρώς το 2018, λόγω των πιο ήπιων οικονομικών δεικτών εν μέσω αυξημένης αβεβαιότητας και τη συσσώρευση αρνητικών κινδύνων ευρείας κλίμακας. Αυτή η πτώση αντικατοπτρίζει τις εξελίξεις στην παγκόσμια οικονομία και εμπορική δραστηριότητα. Οι όγκοι αυξήθηκαν κατά 2.7% κάτω από τον ιστορικό μέσο όρο του 3.0% κατά τα έτη 1970-2017 και 4.1% το 2017. Ωστόσο, οι συνολικοί όγκοι έφτασαν σε ορόσημο το 2018, όταν επιτεύχθηκε υψηλό όλων των εποχών, έντεκα (11) δισεκατομμύρια τόνοι.

Με βάση τους παραπάνω αριθμούς γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τις τελευταίες πέντε δεκαετίες υπήρξε σαφής τάση αύξησης του συνολικού όγκου συναλλαγών. Ο πληθυσμός και η οικονομία του κόσμου αποτελούν ευνοϊκές παραμέτρους για να συνεχίσει να αναπτύσσεται η ναυτιλία, αρκεί να μπορέσει η ναυτιλία να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις και τις προκλήσεις που θα προκύψουν στο μέλλον. Σύμφωνα με στις προβλέψεις που έγιναν από τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD) το διεθνές θαλάσσιο εμπόριο αναμένεται να επεκταθεί με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 3.5% την περίοδο 2019-2024, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αύξηση των εμπορευματοκιβωτίων, ξηρού φορτίου χύδην και φυσικού αερίου. Η προβλεπόμενη ανάπτυξη που εκτιμάται από το UNCTAD είναι σύμφωνη με τις ιστορικές τάσεις και βασίζεται στην εκτιμώμενη ελαστικότητα εισοδήματος του θαλάσσιου εμπορίου [1].

Ο άνθρωπος, αναζητώντας τι υπάρχει στο άγνωστο, δηλαδή πέρα από τον ορίζοντα, στράφηκε στη θάλασσα, ξεκινώντας έτσι τη ναυτιλιακή του δραστηριότητα. Και μάλιστα αναφέρεται πως το αρχαιότερο ταξίδι για εμπορικούς σκοπούς στην ανοιχτή θάλασσα έγινε πριν 10.000 χρόνια και συγκεκριμένα στο Αιγαίο Πέλαγος, για τη μεταφορά οψιδιανού από τη Μήλο στην Αργολίδα και τις Βόρειες Σποράδες.

Έτσι, οι Έλληνες έφτασαν μέσα από τους αιώνες να είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με τη θάλασσα. Άλλωστε, η ακτογραμμή της Ελλάδας αριθμεί σήμερα 16,000 χλμ. ενώ υπάρχουν 3,000 νησιά πάνω σε πολλά από τα οποία άκμασαν θαυμαστοί πολιτισμοί. Αρχαιολογικά ευρήματα θαυμάζονται από τους επισκέπτες σε μουσεία στην Ελλάδα και άλλες χώρες.

Η ιστορία αναφέρει πως η θάλασσα έσωσε πολλές φορές τους Έλληνες από απειλές. Τα πλοία που κατασκεύαζαν εξασφάλιζαν την άμυνα της χώρας και συνέβαλαν όχι μόνο στην ανάπτυξη του εμπορίου με άλλους λαούς, αλλά και στην πολιτισμική εξέλιξη. Η γεωγραφική θέση της χώρας σε συνδυασμό με την έλλειψη πλουτοπαραγωγικών πηγών είναι ακόμη μια αιτία για την οποία οι Έλληνες έχουν στραφεί στη θάλασσα με αποτέλεσμα η ελληνική εμπορική ναυτιλία να βρίσκεται διαχρονικά στις πρώτες θέσεις παγκόσμια και να αποτελεί σημαντικό παράγοντα της εθνικής οικονομίας.

Η μοναδικότητα του ελληνικού ναυτιλιακού παραδείγματος έγκειται στο γεγονός ότι μία μικρή νησιωτική χώρα λίγων εκατομμυρίων κατοίκων στην ανατολική γωνιά της Μεσογείου κατόρθωσε μέσα στις δύσκολες και απαιτητικές συνθήκες τόσο του 19ου όσο, κυρίως, του 20ού αιώνα να χτίσει και να λειτουργήσει έναν από τους μεγαλύτερους εμπορικούς στόλους σε παγκόσμιο επίπεδο, ανταγωνιζόμενη οικονομικούς γίγαντες της εποχής όπως η Ιαπωνία, οι ΗΠΑ, η Βρετανία και η Νορβηγία.

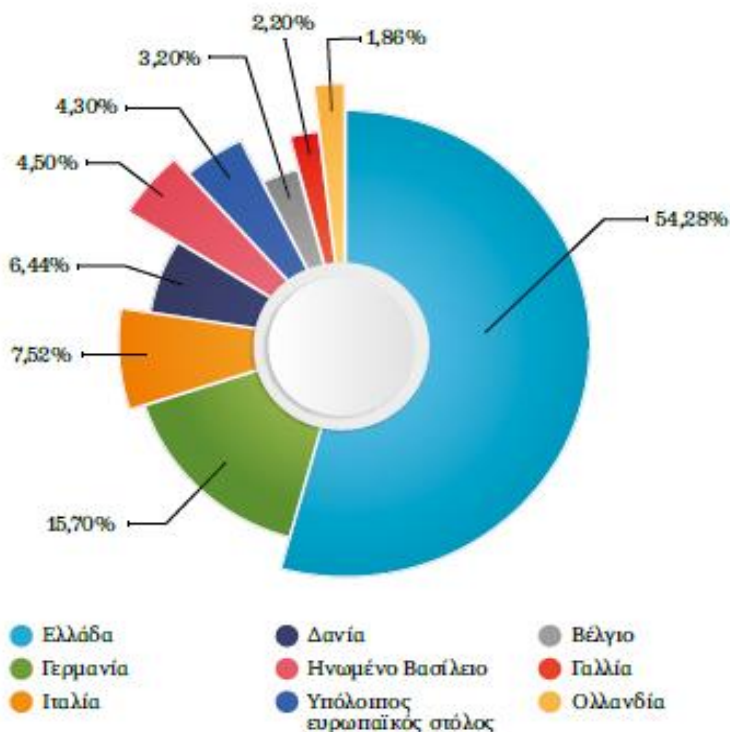
Η εκπληκτική ανάπτυξη της ελληνικής ναυτιλιακής βιομηχανίας κατά τη μεταπολεμική περίοδο μπορεί εύκολα να καταδειχθεί από τα διαθέσιμα ποσοτικά στοιχεία. Το 1938, μόλις λίγο πριν το ξέσπασμα του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, ο ελληνόκτητος στόλος άγγιζε ολική χωρητικότητα της τάξεως των 1.8 εκατομμυρίων κόνων. Το 1949, λίγα χρόνια μετά τη λήξη του Πολέμου, η χωρητικότητα του στόλου αυξήθηκε στα 2.4 εκατομμύρια κόνους για να φτάσει το 1976 στα εκπληκτικά μεγέθη των 50.6 εκατομμυρίων κόνων, με τους Έλληνες πλοιοκτήτες να αναδεικνύονται στους πλέον ισχυρούς παίκτες στον χώρο της παγκόσμιας ναυτιλιακής βιομηχανίας.

Πιο συγκεκριμένα, στις πέντε κορυφαίες στον κόσμο ναυτιλιακές χώρες, σήμερα, περιλαμβάνονται η Ελλάδα, η Ιαπωνία, η Κίνα, η Σιγκαπούρη και το Χονγκ

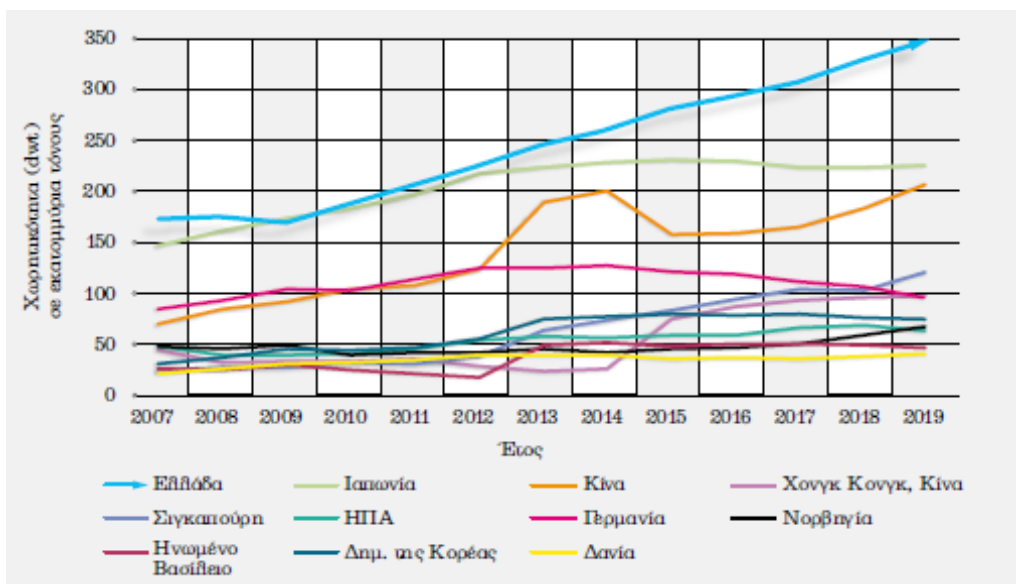
Κονγκ, οι οποίες αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας χωρητικότητας. Τα τελευταία χρόνια, η Γερμανία, η Ιαπωνία και η Δημοκρατία της Κορέας έχουν χάσει έδαφος, ενώ η Ελλάδα, η Σιγκαπούρη, η Κίνα και το Χονγκ Κονγκ έχουν αυξήσει το μέγεθος του στόλου τους [1].

Η Ελλάδα παραμένει παγκοσμίως η χώρα με τη μεγαλύτερη πλοιοκτησία. Μολονότι ο πληθυσμός της Ελλάδας αντιπροσωπεύει μόνο το 0.16% του παγκόσμιου πληθυσμού, οι Έλληνες πλοιοκτήτες κατέχουν το 20.67% της παγκόσμιας χωρητικότητας και το 54.28% της χωρητικότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης-ΕΕ (Σχήμα 1-3). Οι Έλληνες πλοιοκτήτες υπερδιπλασίασαν τη μεταφορική ικανότητα του στόλου τους στο διάστημα 2007-2019 (Σχήμα 1-4), ενώ ελέγχουν (Σχήμα 1-5):

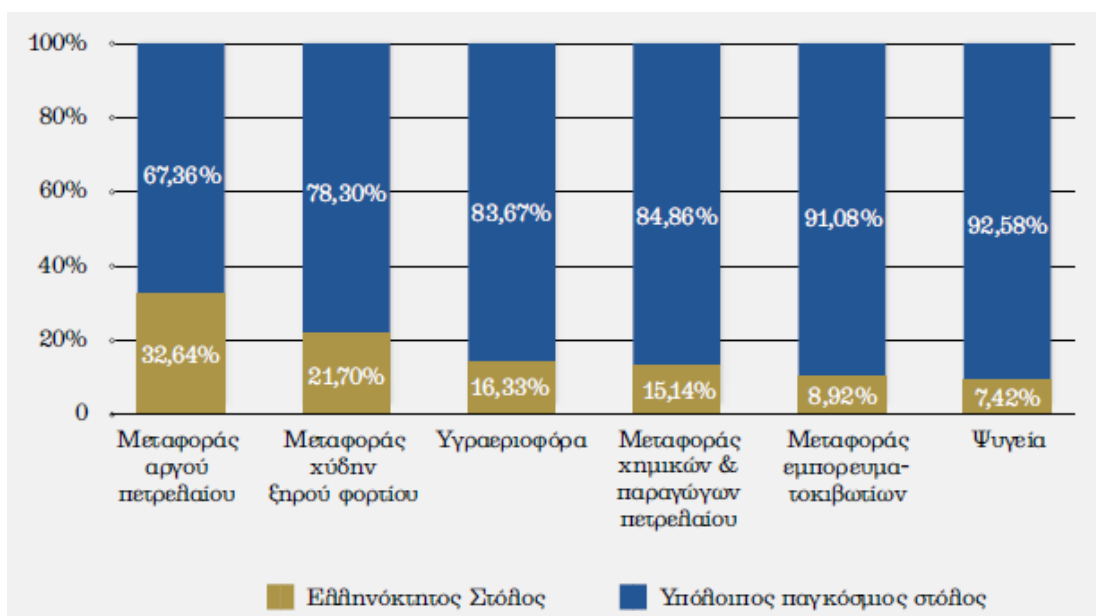
- το 32.64% του παγκόσμιου στόλου δεξαμενοπλοίων, το 15.14% του παγκόσμιου στόλου μεταφοράς χημικών και παραγώγων πετρελαίου και το 16.33% του παγκόσμιου στόλου υγραεριοφόρων (LNG/LPG),
- το 21.7% του παγκόσμιου στόλου μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου, και
- το 8.92% του παγκόσμιου στόλου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.



Σχήμα 1-3: Ο Ευρωπαϊκός Κοινοτικός Στόλος– Πλοιοκτησία (σε dwt, πλοία>1.000 gt) [1].

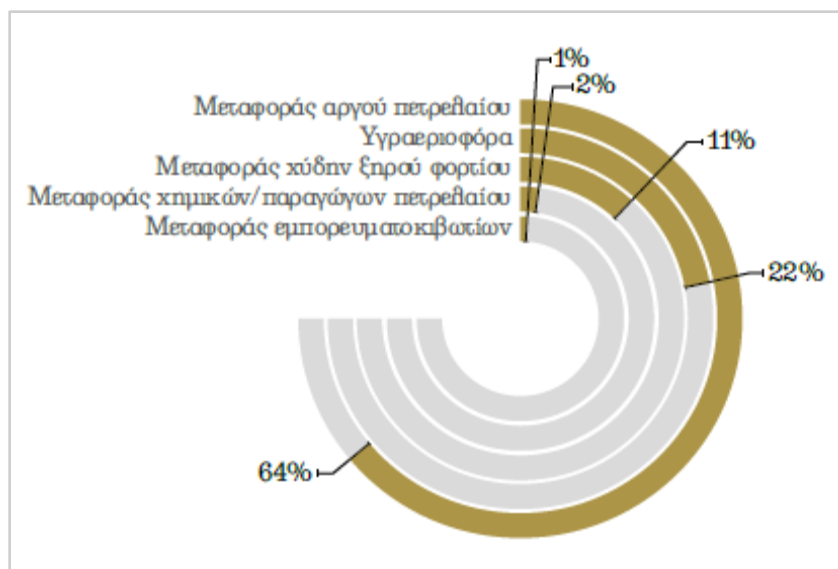


Σχήμα 1-4: Ο Παγκόσμιος Στόλος-Πλοιοκτησία, 2007-2019 (σε dwt, πλοία>1.000 gt) [1].

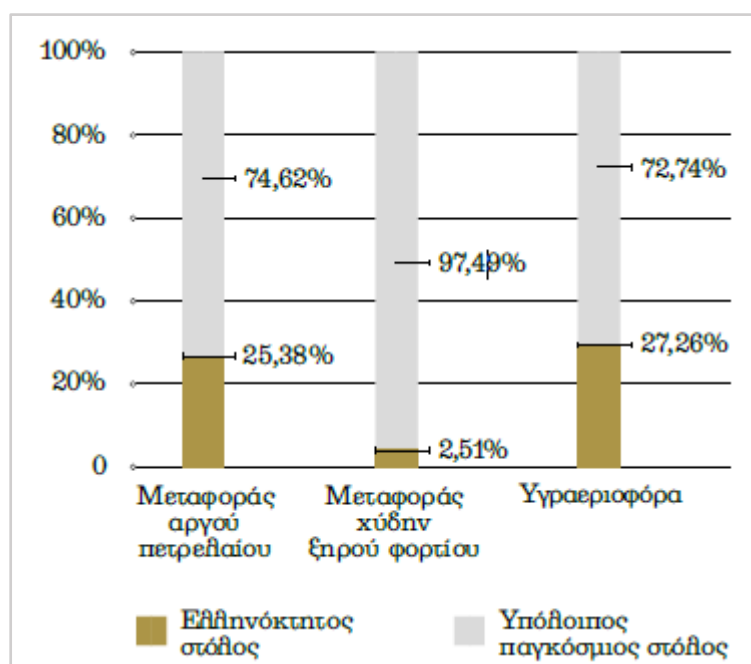


Σχήμα 1-5: Ποσοστό Ελληνόκτητου Στόλου σε Σχέση με τον Παγκόσμιο Στόλο ανά Τύπο Πλοίου (σε dwt, πλοία>1.000 gt) [1].

Στις αρχές του 2020, οι παραγγελίες για τη ναυπήγηση ελληνικών συμφερόντων πλοίων (άνω των 1,000 gt) διαφόρων τύπων ανήλθαν σε 128 (συνολικής χωρητικότητας 15,928 εκατομμυρίων τόνων deadweight - dwt) από τις συνολικά 2,425 παραγγελίες, χωρητικότητας 166,825 εκατομμυρίων dwt (Σχήμα 1-6 & 1-7). Οι Έλληνες πλοιοκτήτες έχουν επενδύσει σε μεγάλο βαθμό σε νέα και ενεργειακά αποδοτικά πλοία, με τη μέση ηλικία του ελληνόκτητου στόλου (9.17 έτη) να είναι χαμηλότερη από τη μέση ηλικία του παγκόσμιου στόλου (9.61 έτη).



Σχήμα 1-6: Ανάλυση Τύπων Πλοίων του υπό Παραγγελία Ελληνόκτητου Στόλου (σε dwt, πλοία>1.000 gt) [1].

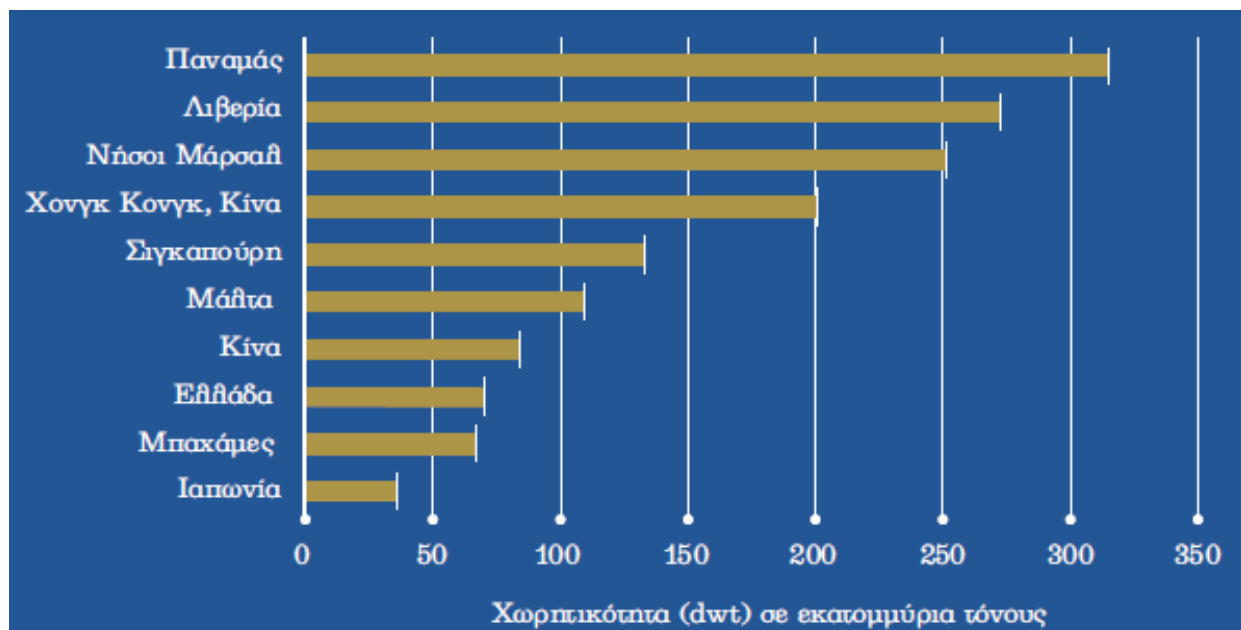


Σχήμα 1-7: Ανάλυση Κύριων Τύπων Πλοίων του υπό Ναυπήγηση Παγκόσμιου Στόλου (σε dwt, πλοία>1.000 gt) [1].

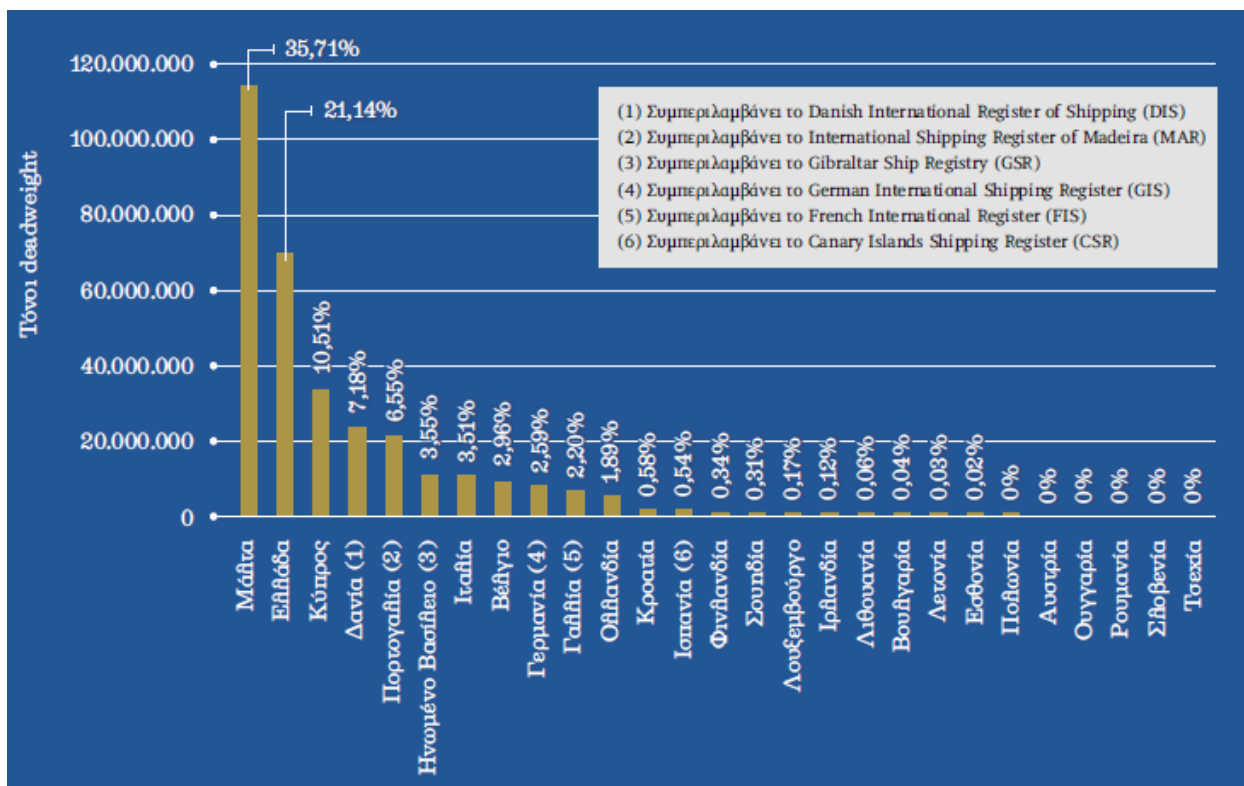
Είναι αξιοσημείωτο ότι το 28.61% του ελληνόκτητου, υπό σημαία Κράτους Μέλους της ΕΕ, στόλου κατασκευάστηκε μετά το 2013 και σύμφωνα με το παγκόσμιο πρότυπο του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης κατά τη Σχεδίαση του πλοίου (Energy Efficiency Design Index - EEDI) (ΔΣ MARPOL, Παράρτημα VI, Κανονισμός 21), το οποίο εγγυάται καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Το αντίστοιχο ποσοστό για τον στόλο υπό σημαία ΕΕ είναι 21% και 23.2% για τον παγκόσμιο

στόλο. Επιπλέον, σημειώνεται ότι το μέσο μέγεθος πλοίου του ελληνόκτητου στόλου ανέρχεται στα 81,118 dwt, το οποίο είναι σχεδόν διπλάσιο από το μέσο μέγεθος πλοίου του παγκόσμιου στόλου (43,766 dwt). Οι οικονομίες κλίμακας βελτιώνουν την αποδοτικότητα και τα περιβαλλοντικά οφέλη, μειώνοντας έτσι ακόμη περισσότερο το αποτύπωμα άνθρακα της ελληνόκτητης ναυτιλίας.

Η Ελλάδα παραμένει στον Λευκό Κατάλογο STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) του UN IMO, καθώς και στον Λευκό Κατάλογο του Paris Memorandum of Understanding (Paris MoU) και του Tokyo Memorandum of Understanding (Tokyo MoU), με τον ελληνικό στόλο να είναι ένας από τους πιο ασφαλείς παγκοσμίως, με ποσοστό 0.96% του ελληνικού εμπορικού στόλου (με βάση τον αριθμό πλοίων) και 0.37% (με βάση τη χωρητικότητα) να εμπλέκεται σε ήσσονος σημασίας ναυτικά ατυχήματα. Το ελληνικό νηολόγιο αριθμεί 706 πλοία (άνω των 1,000 gt), των οποίων η χωρητικότητα ανέρχεται σε 39.19 εκατομμύρια gt. Ο στόλος υπό ελληνική σημαία κατατάσσεται στην 8^η θέση διεθνώς (Σχήμα 1-8) και στη 2^η θέση στην ΕΕ (σε όρους dwt) (Σχήμα 1-9).



Σχήμα 1-8: Οι 10 Μεγαλύτεροι Εμπορικοί Στόλοι Παγκοσμίως - Νηολόγια (σε dwt, πλοία > 1.000 gt) [1].

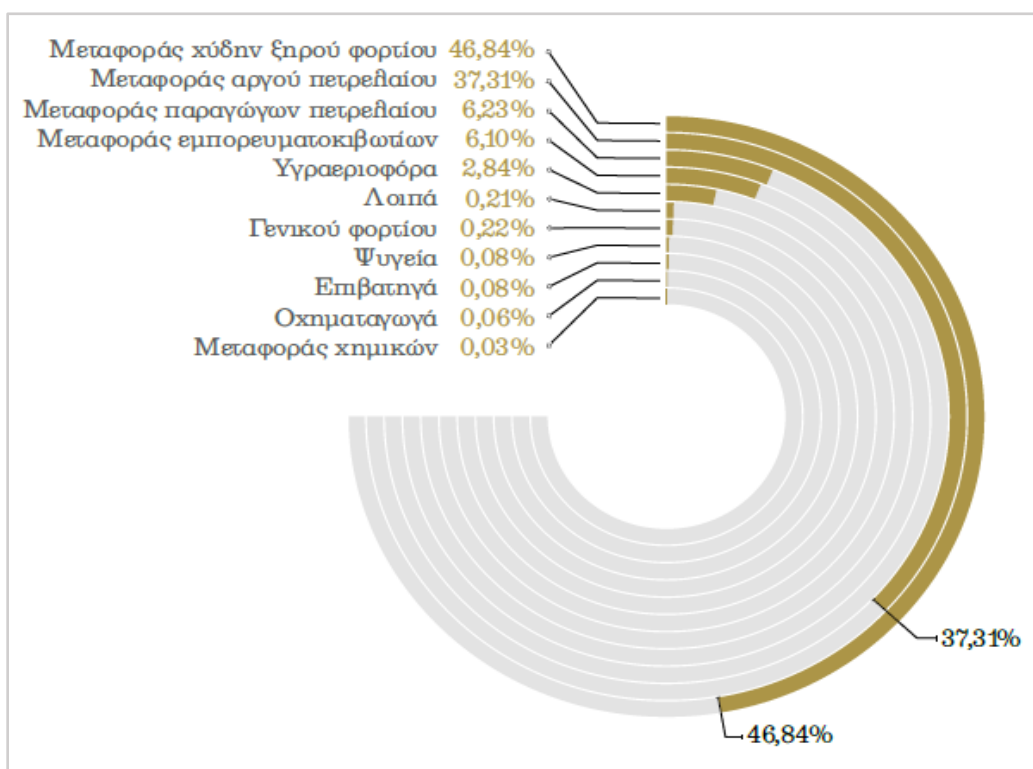


Σχήμα 1-9: Εμπορικοί Στόλοι της ΕΕ – Νηολόγια (σε dwt, πλοία>1.000 gt) [1].

Η ελληνική ναυτιλία είναι ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους της παγκόσμιας οικονομίας και ένας σημαντικός παράγοντας διεξαγωγής του παγκόσμιου εμπορίου, ενώ παράλληλα αποτελεί πυλώνα της ελληνικής οικονομίας. Οι Έλληνες πλοιοκτήτες δραστηριοποιούνται πρωτίστως στη bulk/tramp ναυτιλία (Σχήμα 1-10), η οποία αποτελεί υπόδειγμα τομέα με χαρακτηριστικά τέλειου ανταγωνισμού. Η ελληνική ναυτιλία, η οποία απαρτίζεται κατά κύριο λόγο από μικρές και μεσαίες ιδιωτικές/οικογενειακές επιχειρήσεις, εμφανίζει ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες οικονομικές συνθήκες και στις εμπορικές ροές. Μεταφέρει κυρίως προϊόντα που είναι απαραίτητα για την ΕΕ και τις άλλες οικονομίες του πλανήτη, συμπεριλαμβανομένων γεωργικών και δασικών προϊόντων, πετρελαίου και παραγώγων πετρελαίου, υγροποιημένων αερίων, χημικών, σιδήρου και άλλων μεταλλευμάτων, άνθρακα και λιπασμάτων. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο ελληνόκτητος στόλος είναι ο μεγαλύτερος παγκοσμίως εμπορικός στόλος, με ποσοστό άνω του 98% της μεταφορικής του ικανότητας να δραστηριοποιείται στη μεταφορά φορτίων μεταξύ τρίτων χωρών (cross-trading).

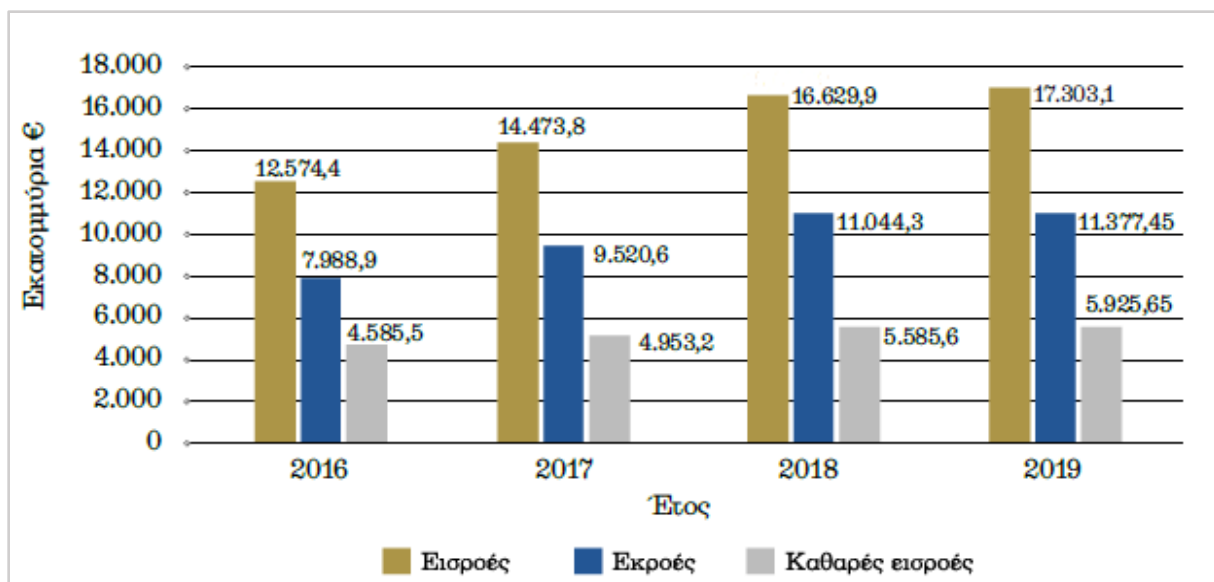
Η ελληνική ναυτιλία έχει επίσης στρατηγική σημασία για την ΕΕ, καθώς τόσο η οικονομία της όσο και η ευημερία των πολιτών της βασίζονται στην πρόσβαση σε οικονομικά προσιτές πηγές ενέργειας. Η ΕΕ, εισάγοντας το 88% των αναγκών της σε αργό πετρέλαιο, το 74% των αναγκών της σε φυσικό αέριο και το 44% των αναγκών της σε στερεά ορυκτά καύσιμα, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις

θαλάσσιες μεταφορές. Με τις ανησυχίες σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια να αυξάνουν συνεχώς, η ελληνική ναυτιλία διαδραματίζει καιρίο ρόλο στη διασφάλιση των εισαγωγών ενέργειας στην ΕΕ από διάφορες και απομακρυσμένες περιοχές του πλανήτη. Η στρατηγική της σημασία αποδεικνύεται επίσης από το γεγονός ότι η ΕΕ βασίζεται στη διεθνή ναυτιλία για τη διενέργεια του διεθνούς εμπορίου της σε ποσοστό περίπου 76%.



Σχήμα 1-10: Ανάλυση Τύπων Πλοίων του Ελληνόκτητου Στόλου (σε dwt, πλοία > 1.000 gt) [1].

Η ελληνική ναυτιλία παραμένει ένας από τους πυλώνες της ελληνικής οικονομίας. Οι εισροές στο ισοζύγιο πληρωμών υπηρεσιών από τις θαλάσσιες μεταφορές ανέρχονται σε περίπου 17,303 εκατομμύρια ευρώ για το οικονομικό έτος 2019, γεγονός που αντιπροσωπεύει αύξηση 4.05% σε ετήσια βάση (Σχήμα 1-11).



Σχήμα 1-11: Εισροές στο Ισοζύγιο Πληρωμών από την Παροχή Ναυτιλιακών Υπηρεσιών (σε εκατομμύρια €) [1].

Ωστόσο, η συμβολή της ναυτιλιακής βιομηχανίας στην ελληνική οικονομία είναι σημαντικά ευρύτερη από τη συνεισφορά της στο ισοζύγιο πληρωμών υπηρεσιών. Η ελληνική ναυτιλία αποτελεί τον πυρήνα ενός ταχέως αναπτυσσόμενου ναυτιλιακού πλέγματος, το οποίο δημιουργεί επενδύσεις και ευκαιρίες απασχόλησης στη χώρα. Πρόσφατη μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η συνολική συμβολή της ελληνικής ναυτιλιακής βιομηχανίας στη χώρα, συμπεριλαμβανομένων των έμμεσων και επαγωγικών επιπτώσεων, υπερβαίνει τα 11 δισεκατομμύρια ευρώ το 2019, που αντιστοιχούν στο 6.6% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ). Η συνολική συνεισφορά της ναυτιλίας σε θέσεις απασχόλησης που δημιουργήθηκαν ή διατηρήθηκαν στην Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένης της έμμεσης και της επαγωγικής απασχόλησης, υπερβαίνει το 3% της συνολικής απασχόλησης στη χώρα. Η ελληνική ναυτιλία, λόγω του μεγέθους και των χαρακτηριστικών της, καθιστά επίσης την Ελλάδα πυλώνα του πολυμερούς εμπορικού συστήματος, παρά το σχετικά μικρό μέγεθος της χώρας. Είναι ένας ουσιαστικός και στρατηγικός εταίρος σημαντικών εμπορικών δυνάμεων: περίπου 22% και 20% της δραστηριότητας του ελληνικού στόλου εξυπηρετεί το εμπόριο από/προς τις ΗΠΑ και την Ευρώπη αντίστοιχα, ενώ παράλληλα το μεγαλύτερο μερίδιο της δραστηριότητας της ελληνικής ναυτιλίας, δηλαδή περίπου 32%, εξυπηρετεί τις ταχέως αναπτυσσόμενες ασιατικές οικονομίες.

1.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

Ο ρυθμός της παγκόσμιας οικονομικής δραστηριότητας παρέμεινε υποτονικός καθ' όλη τη διάρκεια του 2020, με πτωτική τάση για τη βιομηχανική δραστηριότητα, εν μέσω αυξανόμενων εμπορικών και γεωπολιτικών εντάσεων, ειδικά μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ) και της Κίνας. Η αβεβαιότητα σχετικά με το μέλλον του παγκόσμιου εμπορίου και της διεθνούς συνεργασίας, γενικότερα, είχε αντίκτυπο στην εμπιστοσύνη για την επιχειρηματική δραστηριότητα, τις αποφάσεις για επενδύσεις και το παγκόσμιο εμπόριο, με τον όγκο των συναλλαγών να αυξάνεται μόλις κατά 0.3% το 2019. Οι προβλέψεις για την αύξηση του όγκου των συναλλαγών το 2020, πριν από το ξέσπασμα της πανδημίας του νέου κορωνοϊού (COVID-19), κυμάνθηκαν γύρω στο 2.7%, μια πρόβλεψη που ένεκα της εύθραυστης κατάστασης δεν επαληθεύτηκε. Ωστόσο, η άνευ προηγουμένου παγκόσμια κρίση, που προκλήθηκε από την πανδημία του κορωνοϊού, έχει καταστήσει τις προοπτικές για την παγκόσμια οικονομία και το διεθνές θαλάσσιο εμπόριο, το 2021, ακόμη περισσότερο ασταθείς και δυσοίωνες. Ενδεικτικά, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Εμπορίου (ΠΟΕ) προβλέπει ότι το παγκόσμιο εμπόριο αναμένεται να μειωθεί σε ποσοστό μεταξύ 13% και 32% το 2021.



Εικόνα 1-1: Η παγκόσμια ναυτιλία στη δίνη της πανδημίας COVID-19 (<https://emsa.europa.eu/>).

Από οικονομικής άποψης, πολλοί τομείς της ναυτιλίας έχουν βρεθεί αντιμέτωποι με μια αιφνίδια και απότομη πτώση της ζήτησης, η οποία με τη σειρά της έχει επηρεάσει σημαντικά τους ναύλους και τα έσοδα. Στον τομέα του χύδην ξηρού φορτίου, για παράδειγμα, ο μέσος όρος των ημερησίων εσόδων κατά το διάστημα Ιανουαρίου - Απριλίου 2020, σε σύγκριση με το 2019, ήταν περισσότερο από 85% χαμηλότερος για τα πλοία capesize, 40% χαμηλότερος για τα πλοία Panamax και 35% χαμηλότερος για τα πλοία τύπου Supramax. Αν και αυτά τα ποσοστά θα μπορούσαν ενδεχομένως να βελτιωθούν, καθώς τα κινέζικα εργοστάσια επαναλειτουργούν, η ήδη διαγραφόμενη παγκόσμια ύφεση σε συνδυασμό με την πτώση της παγκόσμιας ζήτησης, που οφείλεται στα lockdowns στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, έχουν επηρεάσει σοβαρά τη ζήτηση ναυτιλιακών υπηρεσιών.

Το lockdown στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική θα έχει σημαντικές επιπτώσεις και στα ποσοστά της απασχόλησης. Το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο (International Monetary Fund - IMF) έχει ανακοινώσει ότι η πανδημία του COVID-19 θα ωθήσει πιθανώς την παγκόσμια οικονομία σε χειρότερη ύφεση από εκείνη της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης της δεκαετίας του 1930, προειδοποιώντας ότι οι προοπτικές για μια παγκόσμια ανάκαμψη είναι εξαιρετικά αβέβαιες. Η ύφεση στη ναυτιλία προβλέπεται να διαρκέσει περισσότερο από ένα χρόνο και η ναυτιλιακή δραστηριότητα δεν αναμένεται να βελτιωθεί τους επόμενους μήνες. Με δεδομένο ότι η ναυτιλία αποτελεί μια παγκόσμια βιομηχανία, η ύφεση της ναυτιλιακής δραστηριότητας οφείλεται επίσης στο γεγονός ότι μεγάλο μέρος της ναυτιλίας δραστηριοποιείται στο νότιο ημισφαίριο, όπου σημαντικές χώρες εξαγωγής πρώτων υλών, όπως η Βραζιλία, μόλις πρόσφατα άρχισαν να πλήττονται από τον COVID-19 το ίδιο σοβαρά, εάν όχι περισσότερο [1].

2.1 ΤΥΠΟΙ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι θαλάσσιοι κινητήρες ντίζελ είναι η κυρίαρχη μορφή κινητήρα της ναυτιλιακής βιομηχανίας για παραγωγή ενέργειας πρόωσης (propulsion) όσο και βοηθητικής. Το 2010 μια ανάλυση 100,000 περίπου πλοίων έδειξε ότι τα ντίζελ πλοίων τροφοδοτούν περίπου το 99% του παγκόσμιου στόλου, με τις τουρμπίνες ατμού να τροφοδοτούν λιγότερο από το 1%. Ο μόνος διαφορετικός τύπος κινητήρα είναι οι αεριοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στα επιβατηγά πλοία, και μόνο σε περίπου 0.1% των πλοίων. Οι πετρελαιοκινητήρες (ντηζελοκινητήρες) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αργούς (περίπου το 18% των κινητήρων), μεσαίους (περίπου 55%), ή γρήγορους (περίπου 27%), ανάλογα με την ονομαστική τους ταχύτητα [4].

Οι εκπομπές εξαρτώνται από τον τύπο του κινητήρα:

- **Αργής ταχύτητας ντηζελομηχανές:** αυτές έχουν μια μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας έως 300 στροφές/λεπτό, αν και οι περισσότερες λειτουργούν σε ταχύτητες μεταξύ 80 έως 140 στροφές/λεπτό. Συνήθως λειτουργούν με άχρονο κύκλο, και είναι cross-head κινητήρες 4-12 κυλίνδρων. Μερικά υφιστάμενα σχέδια είναι ικανά να αναπτύξουν άνω των 4,000 kW/κύλινδρο και με μέση πραγματική πίεση φρένου της τάξης των 1.7 MPa. Στο πλαίσιο της ναυτιλιακής βιομηχανίας οι εν λόγω κινητήρες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για σκοπούς κύριας προώθησης και αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος, και ως εκ τούτου καταπόνησης καυσίμου, στη βιομηχανία.
- **Μεσαίας ταχύτητας ντηζελομηχανές:** αυτός ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει θαλάσσιες ντηζελομηχανές με μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας σε εύρος 300-900 στροφών/λεπτό. Συνήθως λειτουργούν με τετράχρονο κύκλο, είναι συνήθως εμβολοφόροι κινητήρες μέχρι και 12 κυλίνδρων σε σειρά, ή 20 κυλίνδρων σε σχηματισμό "V". Υφιστάμενα μοντέλα αναπτύσσουν ισχύ σε εύρος 100-2000 kW/κύλινδρο και με μέσες πραγματικές πιέσεις φρένου σε εύρος 1.0 έως 2.5 MPa. Μηχανές του τύπου αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόσο για κύρια πρόωση όσο και για βοηθητικούς σκοπούς στη θαλάσσια βιομηχανία. Για σκοπούς πρόωσης οι εν λόγω κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις πολλαπλών μηχανών και κανονικά θα συζευχθούν με την έλικα μέσω ενός κιβώτιο ταχυτήτων. Κινητήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται επίσης σε ντίζελ-ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.
- **Υψηλής ταχύτητας ντηζελοκινητήρες:** ο τίτλος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει θαλάσσιους κινητήρες ντίζελ με μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας μεγαλύτερη από 900 στροφές/λεπτό. Αυτά είναι ουσιαστικά μικρότερες εκδόσεις των μέσης ταχύτητας κινητήρων ντίζελ ή μεγαλύτερες

εκδόσεις των κινητήρων οδικών φορτηγών οχημάτων, που χρησιμοποιούνται σε μικρότερα σκάφη και είναι συχνά η πηγή βοηθητικής ισχύος επί των σκαφών.

- **Ατμοστρόβιλοι:** ενώ αυτά αντικαθιστούσαν παλινδρομικές μηχανές ατμού στις αρχές του 20ου αιώνα, αυτά, οι ίδιοι, έχουν αντικατασταθεί από πιο αποδοτικούς κινητήρες ντίζελ που είναι λειτουργικά φθηνότερα. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα σκάφη ατμοστρόβιλου κυρίως τροφοδοτούνται με μαζούτ αντί με ελαφρύτερα καύσιμα.
- **Αεροστρόβιλοι:** ενώ αυτό το είδος κινητήρα χρησιμοποιείται ευρύτερα σε πολεμικά πλοία, επί του παρόντος έχει εγκατασταθεί μόνο σε ένα πολύ μικρό ποσοστό του εμπορικού στόλου, συχνά σε συνδυασμό με ντιζελοκινητήρες.

2.2 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Στα πλοία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με την βοήθεια ειδικών μηχανών που ονομάζονται ηλεκτρικές γεννήτριες. Για να δώσουν ηλεκτρική ενέργεια, οι γεννήτριες πρέπει να πάρουν περιστροφική κίνηση (μηχανική ενέργεια) από άλλες μηχανές που ονομάζονται κινητήριες μηχανές. Αυτές οι μηχανές, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω μπορεί να είναι μηχανές εσωτερικής καύσης, αεροστρόβιλοι ή πετρελαιομηχανές. Ανάλογα με το ρεύμα που παράγουν οι γεννήτριες ονομάζονται γεννήτριες συνεχούς ρεύματος ή γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

2.2.1 Γεννήτριες Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ)

Ως προς την κατασκευή τους, οι γεννήτριες Σ.Ρ. δεν διαφέρουν καθόλου από τους κινητήρες Σ.Ρ., η μόνη διαφορά είναι, ότι από τις ψήκτρες της γεννήτριας παραλαμβάνεται συνεχές ρεύμα, ενώ στους κινητήρες Σ.Ρ., προσδίδεται στις ψήκτρες συνεχές ρεύμα και παραλαμβάνεται από τον άξονα τους μηχανική ενέργεια. Σε πολύ μικρές μηχανές συνεχούς ρεύματος το μαγνητικό πεδίο, μέσα στο οποίο περιστρέφεται το επαγωγικό τύμπανο, κατασκευάζεται από μόνιμο μαγνήτη. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από τους μαγνητικούς πόλους, τα τυλίγματα των οποίων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα. Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου από το ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται διέγερση της μηχανής [5],[6].

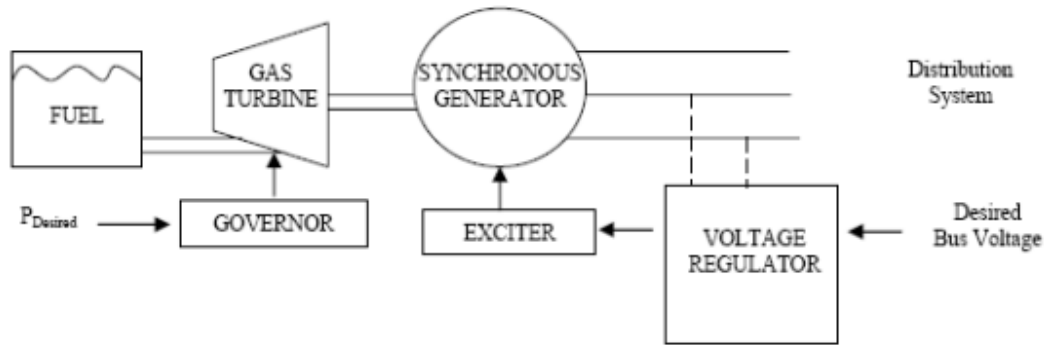
Ανάλογα με τον τρόπο που είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διεγέρσεως, διακρίνονται γεννήτριες τεσσάρων ειδών:

- **Γεννήτριες με Ξένη διέγερση:** Στις γεννήτριες αυτές η περιέλιξη διεγέρσεως τροφοδοτείται από μία ξένη πηγή. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε χαμηλές τάσεις, για ηλεκτρολύσεις και ως γεννήτριες Σ.Ρ. για την προώθηση των τιλίων.
- **Γεννήτριες με αυτοδιέγερση:**
 - α) **Γεννήτριες με διέγερση σειράς:** Στις γεννήτριες αυτές η περιέλιξη διεγέρσεως συνδέεται σε σειρά με το φορτίο. Η τάση τους μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται το φορτίο του εξωτερικού κυκλώματος, για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται σταθερή τάση. Η χρήση τους είναι περιορισμένη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένα μηχανήματα ηλεκτροσυγκολλήσεως όπου η τάση δεν είναι πρωτεύουσας σημασίας.
 - β) **Γεννήτριες με παράλληλη διέγερση:** Στις γεννήτριες αυτές η περιέλιξη διεγέρσεως συνδέεται παράλληλα με το επαγωγικό τύλιγμα και κατά συνέπεια παράλληλα και προς το εξωτερικό φορτίο. Χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες τιλίων, για εγκαταστάσεις μικρής ισχύος και για την φόρτιση συσσωρευτών.
 - γ) **Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση:** Η περιέλιξη του κάθε κύριου πόλου αποτελείται από δύο μέρη, την παράλληλη περιέλιξη και την περιέλιξη σειράς. Η τάση ρυθμίζεται με μία ρυθμιστική αντίσταση που συνδέεται με την παράλληλη διέγερση. Η αλλαγή φοράς περιστροφής γίνεται εύκολα με την εναλλαγή των ακροδεκτών και χωρίς καμία άλλη επέμβαση. Με σταθερό αριθμό στροφών η παραγόμενη τάση είναι σταθερή και δεν μεταβάλλεται πολύ εάν υπάρξει απότομη μεταβολή του φορτίου. Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται περισσότερο στα πλοία, γιατί η τάση της γεννήτριας είναι σταθερή και ανεξάρτητη από την αλλαγή του ρεύματος του φορτίου.

2.2.2 Γεννήτριες Εναλλασσόμενου Ρεύματος (EP)

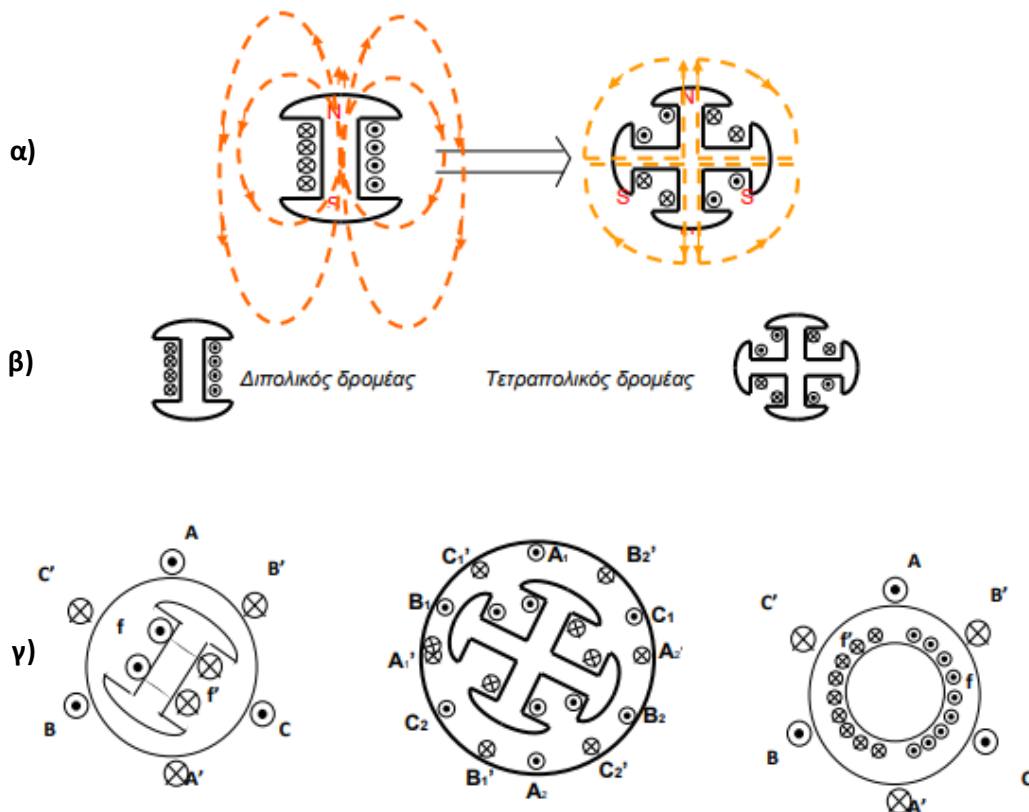
Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες [5],[6]:

- **Σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτικές:** Σύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια (αλλιώς και εναλλακτική) είναι η συσκευή που μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η κινητήρια μηχανή (prime mover) δηλαδή η πηγή της κινητικής ή καλύτερα της μηχανικής ενέργειας μπορεί να είναι μια παλινδρομική μηχανή (ΜΕΚ), ένας ατμοστρόβιλος ή ακόμα και ένας υδροστρόβιλος. Στα πλοία χρησιμοποιούνται οι σύγχρονες γεννήτριες (εναλλακτικές).

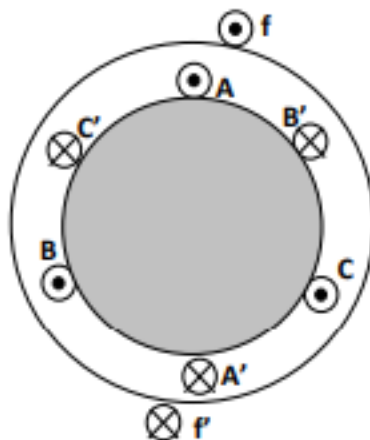


Εικόνα 2-1: Ενδεικτικό σκαρίφημα ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου με τη χρήση εναλλακτήρα (<https://ieeexplore.ieee.org/document/7116690>).

Η γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που λέγεται στάτορας (στάτης-stator), στο οποίο υπάρχουν μαγνήτες (συγκεκριμένα ηλεκτρομαγνήτες) και το κινητό μέρος της που λέγεται ρότορας (δρομέας-rotor) στο οποίο υπάρχουν πηνία. Ο δρομέας της γεννήτριας μπορεί να είναι είτε έκτυπων πόλων [βλ. Εικόνα 2-2(α) και 2-2(β)], είτε κυλινδρικός [βλ. Εικόνα 2-2(γ)], ενώ οι σύγχρονοι κινητήρες οι οποίοι έχουν όμοια κατασκευή με τις σύγχρονες γεννήτριες, περιστρέφονται σύγχρονα με τη συχνότητα του δικτύου, στο οποίο είναι συνδεδεμένα και παρουσιάζουν σταθερό αριθμό στροφών.



Εικόνα 2-2: Σύγχρονη Γεννήτρια (α) με έκτυπο δρομέα δύο πόλων (β) με έκτυπο δρομέα τεσσάρων πόλων (γ) με κυλινδρικό δρομέα δύο πόλων [6].



Εικόνα 2-3: Διαμόρφωση σύγχρονης γεννήτριας με το τύλιγμα διέγερσης ΣΡ στο στάτη και τριφασικό τύλιγμα στο δρομέα [6].

- **Ασύγχρονες γεννήτριες:** Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων οι τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες και σπανιότερα οι ασύγχρονοι κινητήρες αποτελούν τις καταναλώσεις κινήσεως με ΕΡ.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες ανάλογα με τη γεωμετρία του ηλεκτρικού κυκλώματος του δρομέα κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και στους κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα. Οι ασύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται στην περίπτωση κατά την οποία δεν απαιτείται σταθερός αριθμός στροφών και είναι επιτρεπτή μικρή αυξομείωση της ταχύτητας περιστροφής τους σε μεταβολές του φορτίου. Χρησιμοποιούνται κυρίως για κίνηση των αντλιών και των συμπιεστών.

Οι ασύγχρονες μηχανές ή μηχανές επαγωγής είναι ένα είδος ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως κινητήρες και σε ελάχιστες περιπτώσεις ως γεννήτριες. Ο κυριότερος λόγος της πολύ διαδεδομένης χρήσης τους είναι η απλότητα της κατασκευής των κινητήρων. Πιο συγκεκριμένα, ο στάτης ενός κινητήρα επαγωγής φέρει συμμετρικό τριφασικό τύλιγμα, που είναι συμμετρικά τοποθετημένα. Έτσι, αν το τύλιγμα αυτό συνδεθεί με συμμετρική τριφασική πηγή, τότε τριφασικό συμμετρικό σύστημα ρευμάτων που διαρρέουν το τύλιγμα του στάτη, προκαλεί μαγνητικό πεδίο στο διάκενο

2.3 ΚΑΥΣΙΜΑ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ

Η θαλάσσια πρόωση αρχίζει από τον κύριο κινητήρα και τελειώνει στην προπέλα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητηθούν οι πιο συνηθισμένοι τύποι κινητήρων και τα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούν. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την τελική απόφαση για το ποιος κύριος κινητήρας ταιριάζει καλύτερα σε ένα συγκεκριμένο πλοίο.

Η βελτιστοποίηση του κόστους των καυσίμων μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: επιλέγοντας έναν κινητήρα που καίει το φθηνότερο καύσιμο ή

επιλέγοντας έναν κινητήρα που είναι ιδιαίτερα αποδοτικός από πλευράς καυσίμου. Ένας συνδυασμός αυτών των παραγόντων μπορεί επίσης να είναι οικονομικά αποδοτικός κατά τη διάρκεια ζωής του κινητήρα. Ένα από τα μειονεκτήματα στην επιλογή ενός κινητήρα που καίει το φθηνότερο διαθέσιμο καύσιμο είναι ο απρόβλεπτος χαρακτήρας τόσο των παγκόσμιων όσο και των τοπικών αγορών ναυτιλιακών καυσίμων. Οι τιμές θα μπορούσαν να ανεβαίνουν ή αντίστοιχα οι τιμές θα μπορούσαν να μειωθούν ή ακόμα οι κανονισμοί θα μπορούσαν να περιορίσουν ή να απαγορεύσουν τη χρήση ορισμένων τύπων ναυτιλιακών καυσίμων [4],[7].

2.3.1 Κύριοι Τύποι Καυσίμων Ηλεκτροπαραγωγής & Πρόωσης Πλοίων

Εκτός από την κατηγοριοποίηση σε πέντε τύπους κινητήρων, οι κινητήρες θαλάσσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω ανάλογα με το κύριο καύσιμό τους [4],[7]. Προφανώς για οικονομικούς λόγους αλλά και για λόγους εύρυθμης λειτουργίας των κινητήρων τα παρακάτω ναυτιλιακά καύσιμα επιλέγονται σήμερα τόσο για την πρόωση όσο και για την *ηλεκτροπαραγωγή* των πλοίων:

- **Diesel Oil**: Πρόκειται για απόσταγμα αργού πετρελαίου με σημείο ζέσεως 200-400°C, με μέση θερμογόνο ικανότητα 42,700 kJ/kg και με 8-21 άτομα άνθρακα στις ενώσεις του. Στα βασικά του γνωρίσματα συμπεριλαμβάνονται ο υψηλός αριθμός οκτανίων, η πτητικότητα του, το ιξώδες και η περιεκτικότητά του σε θείο. Το καύσιμο αυτό αποτελεί την πλέον συνήθη επιλογή για τους κινητήρες Diesel. Η καύση του δεν απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία, προθέρμανση ή φίλτράρισμα αν και οι ιδιότητές του βελτιώνονται με την προσθήκη ουσιών με σκοπό την καλύτερη απόδοση του κινητήρα. Χρησιμοποιείται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και σε ναυτικούς κινητήρες. Διάφοροι παράγοντες είτε εξωγενείς (π.χ. οικονομικοί, γεωπολιτικοί κλπ) είτε ενδογενείς (αυξημένο κόστος επεξεργασίας του για τον καθαρισμό του από το θείο) μεταβάλλουν την τιμή του στην αγορά.
- **Heavy Fuel Oil (HFO)**: Τα καύσιμα αυτά αποτελούν τα κατάλοιπα της δύλισης του αργού πετρελαίου, η ποιότητα των οποίων ποικίλλει ανάλογα με τη διαδικασία δύλισης που ακολουθείται και την σύνθεση του ακατέργαστου πετρελαίου που χρησιμοποιείται. Τα καύσιμα HFO έχουν μεγάλο ιξώδες και υψηλό ποσοστό θείου. Εξαιτίας του μεγάλου ιξώδους τους, απαιτούν προθέρμανση πριν την εισαγωγή τους στο θάλαμο καύσης καθώς επίσης τη διατήρηση συγκεκριμένης θερμοκρασίας κατά την αποθήκευσή τους. Τα αρνητικά αυτά χαρακτηριστικά τους, επιτρέπουν τη χρήση τους μόνο από τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία.
- **Emulsified Fuels**: Αποτελούν βαριά κλάσματα υδρογονανθράκων και προέρχονται είτε από φυσικές πηγές με τη μορφή της πίσσας, είτε είναι προϊόντα τα οποία υφίστανται επεξεργασία με νερό

ώστε να αμογενοποιηθούν. Χρησιμοποιούνται από τους ίδιους κινητήρες που χρησιμοποιούν καύσιμα ΗFO

- **Crude Oil**: Πρόκειται για αργό αδιύλιστο πετρέλαιο, η ποιότητα του οποίου εξαρτάται από την πετρελαιοπηγή και την τοποθεσία της. Μετά την αρχική του εξόρυξη από την πετρελαιοπηγή και αφού περάσει την απαραίτητη επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τους μεγάλους ναυτικούς κινητήρες.
- **Fuel Oil**: Ο όρος μαζούτ αναφέρεται γενικότερα στα κατάλοιπα της απόσταξης του αργού πετρελαίου (ΗFO Heavy residues, Crude Oil). Χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ατμού ή ηλεκτρισμού αλλά και για την κίνηση των πλοίων. Το μαζούτ είναι το προϊόν του δυλιδιτηρίου με τη χαμηλότερη τιμή πώλησης, χαρακτηριστικό που μειώνει το λειτουργικό κόστος των μεγάλων δίχρονων μηχανών Diesel, δίνοντάς τους σημαντικό πλεονέκτημα στον τομέα της ναυτιλίας και της ηλεκτροπαραγωγής. Χαρακτηρίζεται γενικά από μεγάλη πυκνότητα (0.9-1.0 kg/l), ενώ υπό συνήθεις θερμοκρασίες είναι παχύρρεστο με μηδαμινή σχεδόν πτητικότητα και ελαφρώς μικρότερη θερμογόνο δύναμη σε σχέση με τα προαναφερόμενα καύσιμα των οποίων η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται στα $H=40,000-42,000$ kJ/kg. Επρόκειτο για ένα καύσιμο που αποτελείται από περίπλοκες χημικές ενώσεις (που περιλαμβάνουν από 20 ως 70 άτομα άνθρακα ανά μόριο) το οποίο έχει σημείο $350-650^{\circ}\text{C}$. Άκομη ένα χαρακτηριστικό του είναι ότι δεν είναι τόσο καθαρό καθώς έχει υψηλές περιεκτικότητες σε θείο (3-4%), σε νάτριο, βανάδιο ή νερό και προκειμένου να είναι έτοιμο για να χρησιμοποιηθεί προς να καύση πρέπει να περάσει από διαδικασία καθαρισμού. Το γεγονός αυτό, προκαλεί αυξημένες οξειδώσεις και φθορές οι οποίες αντιμετωπίζονται με τη χρησιμοποίηση λιπαντικών ελαίων αυξημένης αντοχής αλλά και με συχνότερη συντήρηση. Επίσης το ΗFO έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε ιζήματα τα οποία είναι οριοθετημένα από τις αρωματικές ενώσεις του καυσίμου με αποτέλεσμα μόνο κατά την ανάμειξη καυσίμων, αυτά τα ιζήματα απελευθερώνονται και δημιουργούν μια λάσπη που κατακάθεται στον πάτο της δεξαμενής καυσίμου. Παρόλες τις παραπάνω δυσκολίες, λόγω της χαμηλής του τιμής χρησιμοποιείται ευρέως σε ναυτικούς δίχρονους αργόστροφους κινητήρες. Από τις κατηγορίες καυσίμων που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, αυτές που χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι το ΗFO και το Diesel Oil, ενώ χρησιμοποιούνται και καύσιμα που αποτελούν ανάμειξη αυτών σε διάφορες αναλογίες.
- **Residual Oil (RO)**: Αποτελεί το βαρύτερο κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου και εξαιτίας του μεγάλου ιξώδους του απαιτεί προθέρμανση πριν την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσης προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή ροή του. Τείνει να έχει υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, μεταξύ αυτού και του θείου ενώ είναι το πιο φθινό καύσιμο στην αγορά. Είναι το καύσιμο που προκαλεί την πιο έντονη κάπνα. Ουσιαστικά, ταυτίζεται με την κατηγορία ΗFO
- **Intermediate Fuel Oil (IFO)**: Στην κατηγορία αυτή, υπάρχουν δύο επιμέρους καύσιμα ανάλογα με την ανάμειξη που γίνεται και με την περιεκτικότητά τους σε Diesel Oil. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει το IFO380 το οποίο έχει αναλογία 2% Diesel Oil & 98% ΗFO. Η ονομασία του προκύπτει από την συνεκτικότητά του η οποία ισούται με 380 mPa·s στους 50°C . Επιπρόσθετα,

υπάρχει το IFO180, καύσιμο που είναι μείγμα από 12% Diesel Oil & 88% HFO ενώ η ονομασία του προκύπτει με όμοιο τρόπο με το προαναφερθέν καύσιμο, από την συνεκτικότητά του. Το τελευταίο μπορεί να παραχθεί με την προσθήκη ενός προσθέτου ονόματι Cutter Stock στο ήδη υπάρχον IFO380 με αποτέλεσμα να μειώνεται τεχνητά το παραγόμενο μείγμα. Τα πιο συνηθισμένα τέτοια πρόσθετα είναι η κηροζίνη και το LCO (Light Cycle Oil). Τα βασικά γνωρίσματα των καυσίμων αυτών είναι ότι έχουν καλά χαρακτηριστικά έναυσης λόγω του υψηλού ποσοστού παραφινικών στοιχείων που εμπεριέχονται τόσο στο HFO όσο και στο Cutter Stock του μείγματος. Εξαιτίας της παρουσίας παραφινών τα καύσιμα αυτά παρουσιάζουν χαμηλή πυκνότητα που κάνει εφικτό τον καλύτερο καθαρισμό τους.

- **Marine Gas Oil (MGO):** Αποτελείται ουσιαστικά από Diesel Oil και έχει το χαμηλότερο ποσοστό θείου ενώ είναι πρακτικά το μόνο καύσιμο που μπορεί να είναι συνεπές με την απαίτηση της MARPOL για περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο χαμηλότερη από 0.1%. Βέβαια, κάποια φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του είναι ότι περιέχει αρκετά λιγότερα άτομα άνθρακα στις μοριακές ενώσεις του (10-25 άτομα ανά μοριακή ένωση). Επίσης έχει αρκετά χαμηλότερο σημείο βρασμού στους 170-380°C σε σύγκριση με το HFO. Οι διαδικασίες με τις οποίες διυλίζεται και παράγεται το συγκεκριμένο καύσιμο είναι τέσσερις και ανάλογα με αυτές αλλά και με την προέλευση του του ακατέργαστου αργού πετρελαίου από το οποίο παράγεται το MGO, αλλάζουν και οι ιδιότητές του. Μερικές σημαντικές ιδιότητες του MGO παρουσιάζονται και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες του HFO στον παρακάτω Πίνακα 2-1 [4],[7]:

Πίνακας 2-1. Συγκριτική ανασκόπηση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών των καυσίμων HFO και MGO.

Fuel Type	HFO/IFO-380	MGO/DMA
Boiling Point (°C)	150-600	170-390
Flashpoint (°C)	>60	>60
Auto Ignition Temperature (°C)	>230	>230
Lower Heating Value (kcal/kg)	9790	10034
Density (kg/m ³)	<991	<890
Viscosity (cSt)	<380	1.5-6
Sulfur Content (%)	1%-3.5%	0.01%-1%
Cetane Number	33.8	50.2

- **Marine Diesel Oil (MDO):** Αποτελούνται κυρίως από Diesel Oil και περιέχουν χαμηλό ποσοστό θείου. Το MDO έχει μικρότερο ποσοστό θείου από τα IFO 180, IFO 380 και RO αλλά μεγαλύτερο από τα MGO. Αποτελεί απόσταγμα που κατασκευάζεται από κηροζίνη, ελαφρύ και βαρύ ντήζελ. Σε σύγκριση με το MGO έχει χαμηλότερο δείκτη κητανίου, υψηλότερη πυκνότητα και περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες με το πρόσθετο LCO.
- **Liquefied Natural Gas (LNG):** Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄) και ένα πολύ μικρό ποσοστό σε αιθάνιο (C₂H₆), προπάνιο (C₃H₈) και βουτάνιο (C₄H₁₀). Βρίσκεται σε υγρή μορφή για

λόγους ευκολίας για την αποθήκευση αλλά και για τη μεταφορά του. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο καταλαμβάνει περίπου το 1/600 του όγκου του φυσικού αερίου σε αέρια κατάσταση. Ένας συγκεντρωτικός πίνακας που να περιλαμβάνει μερικά από τα χρησιμοποιούμενα από ναυτικούς κινητήρες καύσιμα, παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2-2 [4],[7]:

Πίνακας 2-2. Μερικές κατηγορίες καυσίμων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ISO.

INDUSTRIAL NAME	ISO NAME	COMPOSITION	WORLD AVERAGE
IFO 380	RMG 35	98% residual oil/2% distillate oil	2.67%
IFO 180	RME 25	88% residual oil/12% distillate oil	2.67%
MDO	DMB	Distillate oil with trace of residual oil	0.65%
MGO	DMA	100% distillate oil	0.38%

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το τελευταίο διάστημα και μιας και πλησιάζει στο έτος 2030, το θέμα των εναλλακτικών καυσίμων και ιδιαίτερα των καυσίμων με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (<0.1%), όπως είναι το VLSFO και ULSFO. Τέλος, αξίζει να επισημανθεί το γεγονός ότι ο IMO, ο παγκόσμιος ρυθμιστής του κανονιστικού πλαισίου της ναυτιλιακής βιομηχανίας σε διεθνές επίπεδο, προβλέπει σύντομα στην απεξάρτηση των θαλάσσιων μεταφορών από τα ορυκτά καύσιμα.

2.4 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ

Οι αέριες εκπομπές από τα πλοία είναι μια σημαντική ανησυχία που έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Τα σκάφη εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αρκετών ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα κυρίως με τη μορφή θείου, αζώτου και οξειδίων του άνθρακα και πτητικών οργανικών ενώσεων αυξάνονται σταθερά και αυξάνονται με ανησυχητικό ρυθμό. Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι υπεύθυνη για την παραγωγή σχεδόν του 3% του συνολικού παγκόσμιου ποσοστού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλοντας έτσι στην υπερθέρμανση του πλανήτη και τις ακραίες καιρικές συνθήκες προϋποθέσεις [7]. Μάλιστα, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι η διεθνής ναυτιλία είναι μακράν ο τομέας με τη μεγαλύτερη πρόοδο σε ότι έχει να κάνει τη βελτίωση των καυσίμων της, έναντι των άλλων τρόπων εμπορικών μεταφορών. Οι εκπομπές των πλοίων θα συνεχίσουν να αυξάνονται σε παγκόσμιο επίπεδο με αποτέλεσμα να επιδινωθεί και το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε περίπτωση που δε ληφθούν μέτρα. Έτσι καθίσταται επιτακτική ανάγκη για θέσπιση και εφαρμογή νέων κανονισμών και περιβαλλοντικών μέτρων για τις θαλάσσιες μεταφορές προκειμένου να σταθεροποιηθούν οι ρύποι

της διεθνούς ναυσιπλοΐας και φυσικά να διατηρηθεί σε λογικά πλαίσια η ποσόστωση των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ έναντι των υπολοίπων ρύπων.

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην παραπάνω παράγραφο, αν και η θαλάσσια ναυτιλία είναι ο πιο αποτελεσματικό τρόπος μεταφοράς αγαθών και αντιπροσωπεύει σχεδόν το 90% του διεθνούς εμπορίου. Ωστόσο παρουσιάζει μια δυσκολία στο να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την τρίτη μελέτη για τα αέρια του θερμοκηπίου που δημοσιεύτηκε από τον IMO (International Maritime Organization) το 2014 [8] πριν από την οικονομική κρίση και συγκεκριμένα το 2007 οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ που δημιουργήθηκαν από τη ναυτιλιακή βιομηχανία έφτασαν τους 885 εκατομμύρια τόνους ενώ το 2012 οι ίδιες εκπομπές αντιστοιχούσαν σε 765 εκατομμύρια τόνους. Από την άλλη πλευρά, σε μια μελέτη που δημοσιεύτηκε από τη UNCTAD, την ίδια χρονική περίοδο (2007-2012) το ποσό των εμπορευμάτων που μεταφέρθηκε μέσω της θάλασσας αυξήθηκε κατά 1,163 εκατομμύρια τόνους [9]. Είναι προφανές ότι παρά το αύξηση του διεθνούς εμπορίου ακόμη και κατά τη διάρκεια της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, οι εκπομπές CO₂ που παράγονται από οι θαλάσσιες μεταφορές μειώθηκαν σημαντικά.

Ο μετριασμός των εκπομπών CO₂ που συνέβησαν μεταξύ των ετών 2007 και 2012 ήταν δικαιολογημένος κυρίως από τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς καθώς και από τεχνολογικές και λειτουργικές εξελίξεις με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης η πρακτική του “αργού ατμού” εφαρμόζεται από πολλά ναυτιλιακές εταιρείες με σκοπό τη μείωση του κόστους των καυσίμων και συνεπώς του λειτουργικού τους οικονομικού κόστους.

Οι προβλέψεις, κυρίως για το μελλοντικό ποσό εκπομπών CO₂, θεωρούνται δύσκολες λόγω του γεγονότος ότι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διεθνή ζήτηση ναυτιλίας. Πρόσθετοι παράγοντες που σε αυτήν την αβεβαιότητα συμβάλλουν είναι οι τεχνολογικές εξελίξεις, η αύξηση και η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων καθώς και η κερδοφορία επί της χρήσης αυτών. Προβλέψεις που έγιναν από τον IMO και παρουσιάστηκαν στην τρίτη μελέτη GHG [8], εκτιμούν ότι οι εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία θα είναι 50% έως 250% υψηλότερες το 2050 από ό,τι το προηγούμενο διάστημα μέχρι το 2012, παρά τις βελτιώσεις της μέσης απόδοσης του στόλου κατά περίπου 40% και γίνεται αναφορά για δραματική αύξηση της μελλοντικής ζήτησης των μεταφορών. Επιπλέον, διάφορα σενάρια εκτιμούν ότι μέχρι το 2050, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία θα συνεισφέρει περίπου στο 10% έως 14% των

παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου δεδομένου ότι δεν εφαρμόζονται ολιστικά και υποχρεωτικά ρυθμιστικά μέτρα για τον περιορισμό αυτών.

Ωστόσο, οι νέες τεχνολογίες και οι τρέχουσες εθνικιστικές τάσεις μειώνουν περαιτέρω το διεθνές εμπόριο. Από την άλλη πλευρά, ο πληθυσμός και η παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη είναι παράγοντες που οδηγούν σε επαύξηση των ναυτιλιακών μεταφορών.

Κατά την άφιξη στα λιμάνια, τα σκάφη απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για ανάγκες διαμονής όπως π.χ. θέρμανση, φωτισμός, κλιματισμός και μαγείρεμα μεταξύ άλλων αλλά και για τη σωστή λειτουργία των διαφόρων βοηθητικών μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια φόρτωσης και εκφόρτωσης φορτίων, όπως γερανοί και αντλίες. Η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για όλες τις παραπάνω δραστηριότητες παράγεται από μία ή δύο από τις βοηθητικές γεννήτριες ντίζελ του πλοίου στο λιμάνι και κυμαίνεται από εκατοντάδες κιλοβάτ για επιβατηγά και φορτηγά πλοία χύδην φορτίου έως αρκετά μεγαβάτ για μεγάλα κρουαζιερόπλοια [9]. Υπολογίζεται ότι 190 γραμμάρια έως 250 γραμμάρια καυσίμου είναι απαραίτητα για μία kWh ηλεκτρικής ενέργειας και περίπου 600 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα παράγονται από την καύση της συγκεκριμένης ποσότητας καυσίμου [9]. Λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο παραμονής ενός πλοίου στο λιμάνι σε καθημερινή βάση, κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι προφανές ότι η ποσότητα των εκπομπών που παράγονται από κάθε σκάφος είναι ουσιαστική.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και παρόλο που η πλειοψηφία των εκπομπών λαμβάνουν χώρα στη θάλασσα, άμεσα ένα αξιοσημείωτο μέρος των εκπομπών ένεκα ναυτιλίας επηρεάζει τις λιμενικές περιοχές καθώς και τις πόλεις που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από μεγάλα λιμάνια με αποτέλεσμα να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία καθώς και ορατές επιπτώσεις στο ατμοσφαιρικό οικοσύστημα αυτών των περιοχών. Παραγόμενες εκπομπές από τη ναυτιλιακή βιομηχανία στους λιμένες είναι σημαντικές και αντιπροσωπεύουν περίπου το 5% του συνόλου της ποσότητας των εκπομπών που προκαλούνται από τη ναυτιλία (Dalsoren et al. 2008). Το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών στους λιμένες αποδίδονται γενικά στη ναυτιλιακή δραστηριότητα και εκτιμάται ότι μεταξύ του 70% και του 100% των εκπομπών στα λιμάνια των ανεπτυγμένων χωρών οφείλεται σε πλοία. Οι ναυτιλιακές εκπομπές από τα λιμάνια μπορούν να αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό μερίδιο των συνολικών εκπομπών μιας πόλης ανάλογα με το μέγεθος της κάθε μιας, το μέγεθος των λιμανιών και το ποσοστό εκβιομηχάνισης της περιοχής. Ο παρακάτω Πίνακας 23

[3], αντιπροσωπεύει τα λιμάνια με τις δέκα μεγαλύτερες απόλυτες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του θείου παγκοσμίως.

Πίνακας 2-3. Λιμάνια με τις μεγαλύτερες απόλυτες εκπομπές.

Top 10 ports (CO ₂ emissions)	Share of total CO ₂ emissions produced by shipping in ports	Top 10 ports (SO _x emissions)	Share of total SO _x emissions produced by shipping in ports
Singapore	5.9%	Singapore	6.5%
Hong Kong	2.2%	Hong Kong	2.3%
Rotterdam	2.0%	Port Klang	2.2%
Port Klang	1.9%	Tianjin	2.1%
Tianjin	1.8%	Shanghai	2.0%
Shanghai	1.7%	Fujairah	2.0%
Fujairah	1.7%	Busan	1.7%
Busan	1.4%	Kaohsiung	1.6%
Kaohsiung	1.4%	Ulsan	1.0%
Antwerp	1.2%	Beilun	0.9%
Total	19.0%	Total	22.3%

Ο παραπάνω πίνακας περιλαμβάνεται στα έγγραφα συζήτησης του Διεθνούς Φόρουμ (OCDE–Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) σχετικά με τις εκπομπές ναυτιλίας στο λιμάνια. Το OCDE είναι ένας διακυβερνητικός οικονομικός οργανισμός που αποτελείται από 54 χώρες μέλη, ιδρύθηκε το 1961 με σκοπό την τόνωση της οικονομικής προόδου και του διεθνούς εμπορίου με σκοπό φυσικά τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και διατήρηση της ανθρώπινης ζωής.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο συνολικό μερίδιο των συνολικών εκπομπών (CO₂ και SO_x αντίστοιχα) για αυτούς τους δέκα λιμένες καθώς είναι περισσότερο από σαφές ότι αυτές οι εκπομπές αντιπροσωπεύουν σχεδόν το ένα πέμπτο των συνολικών εκπομπών κατά την κίνηση-παραμονή των πλοίων στους λιμένες. Οι περισσότερες εκπομπές της ναυτιλίας στους λιμένες είναι συγκεντρωμένες στην Ασία και την Ευρώπη, και είναι κάτι παραπάνω από λογικό καθώς αυτές οι δύο ηπείροι αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 70% των συνολικών κινήσεων των πλοίων στα λιμάνια [2]. Ωστόσο, τα λιμάνια στην Ασία και την Ευρώπη λαμβάνοντας υπόψη την τεράστια κίνηση που έχουν συναρτήσει φυσικά του χρόνου, και ιδιαίτερα όσον αφορά τους λιμένες της Ευρώπης, παρουσιάζουν πολύ λιγότερο μερίδιο εκπομπών συναρτήσει του αριθμού των προσεγγίσεων των πλοίων στα λιμάνια, οι οποίες μπορούν να εξηγηθούν κυρίως λόγω της εφαρμογή πολιτικών για τις εκπομπές αέρα, όπως εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά και κίνητρα για χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Από την άλλη πλευρά,

λιμάνια στην Αφρική, τη Μέση Ανατολή, τη Λατινική Αμερική και σε μικρότερο βαθμό στη Βόρεια Αμερική, παρουσιάζουν υψηλότερες εκπομπές σε σχέση με την κυκλοφορία στους λιμένες τους και τους χρόνους κυκλοφορίας-παραμονής των πλοίων σε αυτούς.

Πριν από την ανάλυση των διαφόρων αέριων εκπομπών που προκαλούνται από τις θαλάσσιες μεταφορές και τις κύριες-αρνητικές επιπτώσεις που κάθε κατηγορία πλοίου προκαλεί στην ανθρώπινη υγεία και περιβάλλον, είναι σημαντικό να καθοριστεί η διαφορά μεταξύ των ατμοσφαιρικών ρύπων και τα συστατικά αυτών και να τονιστεί πως αυτοί οδηγούν σε κλιματική αλλαγή και σε αλλαγή των ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων της γης [10], ενώ ορισμένες γενικές πληροφορίες για τις εκπομπές αυτές είναι οι εξής:

- Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι θεωρούνται γενικά επιβλαβείς ουσίες για τον άνθρωπο και ο αντίκτυπός τους στις κατοικημένες αστικές περιοχές μειώνεται καθώς η απόσταση από το σημείο απελευθέρωσής τους αυξάνει. Τα οξείδια του αζώτου, τα οξείδια του θείου, το διοξείδιο & το μονοξείδιο του άνθρακα και τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μερικοί από τους κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους.
- Ορισμένες εκπομπές που μεταβάλλουν τα συστατικά της ατμόσφαιρας της γης θεωρούνται ως ξεχωριστή κατηγορία αέριων του θερμοκηπίου (GHG) και ουσίες που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον (ODS). Αυτά οι τυπικοί ρύποι μπορεί να είναι: χλωροφθωράνθρακες (CFCs), υδροχλωροφθωράνθρακες (HCFCs), τετραχλωράνθρακες (CCl₄), μεθυλοχλωροφόρμιο (CHCl₃) και μεθυλοβρωμιδίο (CH₂Br).

Ο αντίκτυπος των αερίων του θερμοκηπίου επηρεάζει το περιβάλλον σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ περιγράφονται και οι σημαντικές τοπικές επιπτώσεις των προαναφερόμενων ρύπων [4].

Πιο συγκεκριμένα, οι κύριες εκπομπές καυσαερίων από θαλάσσιους κινητήρες ντίζελ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- **Οξείδια του Αζώτου [NO_x]**
- **Οξείδια του θείου [SO_x]**
- **Διοξείδιο του άνθρακα [CO₂] & Υδρατμοί [H₂O]**
- **Μονοξείδιο του Άνθρακα [CO]**
- **Πτητικές Οργανικές Ενώσεις [VOCs]**
- **Αιωρούμενα Σωματίδια [PM]**

Τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO_x) και τα σωματίδια (PM) είναι από τα πιο κοινές κατηγορίες ρύπων του αέρα, ενώ τα οξείδια του άνθρακα (CO₂ και CO) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) θεωρούνται ως αέρια θερμοκηπίου. Ακολουθώς, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι

επιπτώσεις που έχουν οι προαναφερθέντες αέριοι ρύποι στον άνθρωπο και φυσικά και στο περιβάλλον:

- Οξειδία του αζώτου (NO_x)

Το ελεύθερο άζωτο (N_2) και το οξυγόνο (O_2) είναι δύο από τα κύρια συστατικά τόσο της εισαγωγής αέρα όσο και των εκπομπών καυσιμίων από θαλάσσιους κινητήρες. Ο σχηματισμός του οξειδίου του αζώτου (NO) και του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) εμφανίζεται κατά τη διαδικασία καύσης όπου υπάρχει μικρή ποσότητα αζώτου και αυτή οξειδώνεται σχηματίζοντας διάφορα οξείδια του αζώτου. Η ποσότητα NO_x που παράγεται από έναν θαλάσσιο κινητήρα ντίζελ είναι κυρίως συνάρτηση της θερμοκρασίας καύσης και παρουσιάζει την ποσότητα οργανικού αζώτου που υπάρχουν στο καύσιμο (Τεχνικός Κώδικας NO_x , 2008). Τα NO_x θεωρούνται αντιδραστικά αέρια παρουσία του ηλιακού φωτός που σημαίνει ότι έχουν πολύ χαμηλή χημική αντιδραστικότητα. Αυτά τα υποπροϊόντα έχουν επιζήμιες επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Πιο συγκεκριμένα, λέγεται ότι προκαλούν διάφορα προβλήματα υγείας στο αναπνευστικό σύστημα ενώ η παρουσία τους συμβάλλει στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της όξινης βροχής. Επιπλέον, φωτοχημική αιθαλομίχλη παράγεται όταν το υπεριώδες φως από τον ήλιο αντιδρά με οξείδια του αζώτου και είναι ένα μείζον ζήτημα ειδικά σε πυκνοκατοικημένες & θερμές πόλεις όπου έχει πολλές δυσμενείς επιπτώσεις. Όταν συνδυάζεται με υδρογονάνθρακες, η χημική ουσία που περιέχεται μέσα στην αιθαλομίχλη σχηματίζει μόρια που προκαλούν ερεθισμό των ματιών καθώς και ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα όπως το άσθμα, η χρόνια βρογχίτιδα και ο καρκίνος του πνεύμονα.

- Οξειδία του θείου (SO_x)

Οι κυριότερες πηγές διοξειδίου του θείου είναι οι καύσεις ορυκτών καυσίμων και η επεξεργασία ορυκτών μεταλλευμάτων. Στο θάλαμο καύσης, το θείο οξειδώνεται σχηματίζοντας κυρίως διοξείδιο του θείου (SO_2) και σε μικρότερο βαθμό τριοξείδιο του θείου (SO_3). Πρέπει να σημειωθεί ότι η ποσότητα που παράγεται τα οξείδια του θείου από τη ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε αντίθεση με αυτά που είναι που εκπέμπονται από οδικές μεταφορές και διάφορες χερσαίες βιομηχανίες που έχουν μειωθεί. Τα οξείδια του θείου είναι η κύρια αιτία της όξινης βροχής, καθώς και η οξίνιση του εδάφους και των ωκεανών. Παρόμοια με τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO_x) είναι επιβλαβή για το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα και μπορεί να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα ειδικά σε άτομα με άσθμα που ζουν κοντά σε λιμάνια. Οι υψηλές συγκεντρώσεις του SO_x μπορεί να βλάψουν τα δέντρα και τα φυτά καταστρέφοντας το φύλλωμα και μειώνοντας την ανάπτυξη. Επιπλέον, τα οξείδια του θείου μπορούν να αντιδράσουν με άλλες ενώσεις στην ατμόσφαιρα και να σχηματιστούν λεπτά σωματίδια που μειώνουν την ορατότητα ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Τέλος, η διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών καθώς και οι ζημιές στις πέτρινες επιφάνειες και σε άλλα υλικά είναι κοινά αποτελέσματα της παρουσία των SO_x .

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) & Υδρατμοί (H_2O)

Είναι η πιο σημαντική εκπομπή σε κάθε κινητήρα εσωτερικής καύσης και η παραγόμενη ποσότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση υδρογονανθράκων του καυσίμου που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία

καύσης. Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι από τις κορυφαίες βιομηχανίες εκπομπών με σημαντικές ποσότητες CO₂ αφού εκτιμήθηκε ότι κατά το 2012 ο ναυτιλιακός κλάδος συνέβαλε περίπου στο 2,2% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αν και αυτοί οι τύποι εκπομπών δεν επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία, συμμετέχουν ενεργά στην ταχεία παγκόσμια αλλαγή του κλίματος.

Τώρα, σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οι υδρατμοί (H₂O) είναι 8 φορές πιο ισχυροί. Αυτό σημαίνει ότι ένα μόριο νερού απορροφά 8 φορές περισσότερο τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει η Γη σε σχέση με ένα αντίστοιχο μόριο διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο, το διοξείδιο του άνθρακα έχει πολύ αργό ρυθμό απομάκρυνσης. Για παράδειγμα, χθες, ένα μόριο που εκπέμπεται σήμερα θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα από 100 έως 1.000 χρόνια. Άρα λοιπόν, για ότι εκπέμπουμε σήμερα, στην καλύτερη των περιπτώσεων θα απομακρυνθεί το 2121. Στη χειρότερη το 3021. Όπως είπαμε οι υδρατμοί είναι 8 φορές πιο ενεργοί, όμως είναι πάρα πολύ ευμετάβλητα μέσα στην ατμόσφαιρα. Δηλαδή, υπάρχουν περιοχές πέριξ του ισημερινού όπου παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις, ενώ υπάρχουν και περιοχές με πολύ μικρή περιεκτικότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Οι διαφορές στις ποσότητες υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι φυσικές και φυσιολογικές. Ωστόσο, οι αλλαγές στην κατακόρυφη κατανομή τους, ειδικά στην στρατόσφαιρα, μπορεί να είναι ενδεικτικές της κλιματικής αλλαγής. Για το λόγο αυτό, το Παγκόσμιο Εργαστήριο Παρακολούθησης της ESRL (GML) της Εθνικής Ωκεανικής και Ατμοσφαιρικής Διοίκησης (NOAA) πραγματοποιεί μετρήσεις κατακόρυφης κατανομής υδρατμών έως τη μέση στρατόσφαιρα ($\cong 28$ χλμ.). Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στην αποκάλυψη αλλαγών στην ατμοσφαιρική δυναμική που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή.

• Μονοξειδίο του άνθρακα (CO)

Γνωρίζουμε ότι είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Παρουσιάζει πολύ μικρή ταχύτητα διάχυσης, για αυτό και τα όποια προβλήματα προκαλεί στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον είναι τοπικά δηλαδή κοντά στην πηγή εκπομπής του.

Ο κύριος λόγος που παράγεται είναι η απελής καύση που εμφανίζεται κυρίως στις περιοχές του θαλάμου καύσης όπου το μείγμα είναι πλούσιο σε καύσιμο και δεν υπάρχει αρκετή περίσσεια αέρα. Για το λόγο αυτό οι εκπομπές CO είναι υψηλότερες στους κινητήρες Otto από ότι στους Diesel. Κάποιες μέθοδοι περιορισμού του CO είναι η αύξηση της θερμοκρασίας καύσης εντός των θαλάμων καύσης των MEK καθώς έτσι το CO μπορεί να οξειδωθεί περαιτέρω σε CO₂, ενώ σύμμαχος στην προσπάθεια αυτή είναι και ο αποτελεσματικός έλεγχος του λόγου αέρα-καυσίμου ($\frac{A}{F}$). Κύριες πηγές του είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης και η καύση της βιομάζας.

Τα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης του ρύπου στις πόλεις είναι 20-50 ppm ενώ έχουν καταγραφεί και τιμές πολύ πάνω από τα 400 ppm.

Η βλαβερή επίδραση που έχει στον ανθρώπινο οργανισμό είναι το γεγονός ότι το CO αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος πολύ γρηγορότερα σε σχέση με το οξυγόνο, κάτι που συνεπάγεται την ελλειμματική οξείδωση των ιστών και άρα συνολικά του οργανισμού, αλλά και δυσλειτουργίες στο κεντρικό νευρικό

σύστημα που έχουν ως συμπτώματα από ζαλάδες, πονοκεφάλους, δυσκολίες στην αναπνοή και την όραση έως απώλεια αισθήσεων.

- Πτητικές Οργανικές Ενώσεις [VOCs]

Οι συγκεκριμένες ενώσεις αφορούν οργανικές ενώσεις, οι οποίες ως επί το πλείστον έχουν προέλευση από άνθρακα και υδρογόνα. Αυτός είναι και ο βασικότερος λόγος, επομένως, που έχουν την ευχέρεια να λογιστούν και σαν ένα είδος μεγμάτων υδρογονανθράκων. Κάποιες εξ αυτών αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου είτε με το όζον και αναπύσσονται καινούργια αγαθά οξείδωσης είτε διάφορα αερολύματα που τις περισσότερες φορές είναι δευτερεύοντα. Οι κυριότερες συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία από την εκπομπή των ρύπων αυτής της μορφής έχουν άμεση σχέση με το ερεθισμό της μύτης και του λαιμού, με ισχυρούς πονοκεφάλους, ναυτία, απώλεια συντονισμού και σε ελάχιστες περιπτώσεις μπορούν να επιφέρουν ακόμα και βλάβες στο σκελετό, στα νεφρά είτε ακόμα και στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα των ανθρώπων.

- Καπνός και Αιωρούμενα Σωματίδια (PM)

Επρόκειτο για έναν ρύπο που έχει κάποιες ομοιότητες με τους άκαυστους υδρογονάνθρακες, με τη διαφορά ότι τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν μεγαλύτερη παικιλία στο μέγεθος, τη χημική σύσταση και το σχήμα τους. Το καινό με τους άκαυστους υδρογονάνθρακες είναι ότι προέρχονται και οι δύο από την ατελή καύση. Η διάμετρός τους δεν ξεπερνά τα 10μm και αποτελείται από ένα μείγμα με οξείδια μετάλλων, ακαθαραιών που περιέχονταν στο καύσιμο και αιθάλης. Τα σωματίδια αυτού του είδους έχουν σαν βασικό τους γνώρισμα το εκάστοτε στερεό είτε υγρό σώμα (εκτός του νερού) με μέγεθος που ξεπερνά αυτό των απλών μορίων της ύλης, που εντοπίζονται δεσποπαρμένα στον αέρα σαν συνέπεια της δράσης της καύσης κάποιων καυσίμων. Βασικά παραδείγματα αυτών των σωματιδίων είναι εφικτό να πούμε πως είναι η σκόνη, ο καπνός καθώς επίσης και η ιπτάμενη τέφρα.

2.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ο ΙΜΟ, ο παγκόσμιος ρυθμιστής του κανονιστικού πλαισίου της ναυτιλιακής βιομηχανίας και ο μοναδικός φορέας που μπορεί να διασφαλίσει ισότιμους όρους ανταγωνισμού σε διεθνές επίπεδο, εργάζεται επί του παρόντος για την εφαρμογή της Αρχικής Στρατηγικής του για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τα πλοία (Initial IMO GHG Strategy 2018), η οποία στοχεύει στην κορύφωση των εκπομπών GHG από τη διεθνή ναυτιλία το συντομότερο δυνατό και στη μείωση των συνολικών ετήσιων εκπομπών κατ' ελάχιστο 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008 [8].

2.5.1. Μείωση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (GHG) από τα Πλοία/Εξελίξεις στον IMO και την ΕΕ

Προσφάτως, ο IMO υιοθέτησε στην Επιτροπή Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος του IMO (MEPC 76) μία συμβιβαστική και ισορροπημένη δέσμη τεχνικών και λειτουργικών βραχυπρόθεσμων μέτρων, που περιλαμβάνει τον Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης για τα υπάρχοντα πλοία (Energy Efficiency Existing Ship Index-EEXI), τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα (Carbon Intensity Indicator - CII) και την ενίσχυση του Σχεδίου Διαχείρισης της Ενεργειακής Απόδοσης του πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP). Η Επιτροπή συμφώνησε επίσης σε ένα πρόγραμμα εργασιών για την ανάπτυξη μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων μέτρων με βάση το οποίο η έναρξη των σχετικών συζητήσεων ξεκίνησαν τον Οκτώβριο 2021.

Παρά το γεγονός ότι ο IMO βρίσκεται εντός χρονοδιαγράμματος για την επίτευξη των στόχων της εν λόγω Αρχικής Στρατηγικής, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και της σχετιζόμενης με αυτή δέσμης μέτρων “Fit for 55”, ανακοίνωσε την πρότασή της για ένταξη της διεθνούς ναυτιλίας στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της ΕΕ (EU Emissions Trading System - EU ETS). Η προτεινόμενη ένταξη της διεθνούς ναυτιλίας στο EU ETS προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία, καθώς το σύστημα αυτό είναι ακατάλληλο και μη συμβατό με τα εγγενή χαρακτηριστικά της, δεδομένου ότι η ναυτιλία αποτελείται ως επί το πλείστον από Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις (ΜΜΕ), οι οποίες θα δυσκολευτούν να χρηματοδοτήσουν την αγορά δικαιωμάτων ρύπων, κυρίως λόγω της απρόβλεπτης και ενδημικής μεταβλητότητας του ναυτιλιακού τομέα, και να αντεπεξέλθουν στο διοικητικό φόρτο και τα σχετικά κόστη της αγοράς δικαιωμάτων ρύπων.

Η bulk/tramp ναυτιλία είναι τελείως ασύμβατη με το EU ETS. Τούτο, καθώς οι ναυλωτές είναι αυτοί οι οποίοι κατά κύριο λόγο καθορίζουν τη λειτουργία και την ενεργειακή απόδοση του πλοίου με τις αποφάσεις τους σχετικά με την ταχύτητα, τη θαλάσσια διαδρομή, τα φορτία και τα ναυτιλιακά καύσιμα. Επομένως, οι υπεύθυνοι για την εμπορική εκμετάλλευση του πλοίου, πρέπει να καταστούν υπεύθυνοι και για τις εκπομπές και το αποτύπωμα του άνθρακα του πλοίου, καθώς και για τα σχετικά κόστη. Ευθυγραμμιζόμενη με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αναγνωρίζει την ευθύνη των ναυλωτών για την κάλυψη του κόστους συμμόρφωσης με την εν λόγω Οδηγία. Αυτή η αρχή είναι θεμελιώδης και η αποδοχή της αποτελεί σημαντική θετική εξέλιξη για

τις συζητήσεις που θα λάβουν χώρα κατά την επόμενη φάση της νομοθετικής διαδικασίας της ΕΕ.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι γίνεται μια αξιολογή προσπάθεια από την Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών με σκοπό να υποστηρίξει την εισαγωγή ενός εναλλακτικού προβλέψιμου και λιγότερο προβληματικού ευρωπαϊκού αγορακεντρικού μέτρου (Market-Based Measure–MBM), με τη μορφή ενός ειδικού ταμείου (dedicated fund) για τη ναυτιλία, το οποίο θα μπορούσε να αγοράζει και να πουλάει δικαιώματα ρύπων μέσω του EU ETS με βάση τη μέση τιμή των δικαιωμάτων ETS του προηγούμενου έτους. Το εν λόγω ταμείο θα μπορεί να χρηματοδοτήσει την απαραίτητη Έρευνα & Ανάπτυξη για φιλικότερα προς το περιβάλλον ναυτιλιακά καύσιμα, χωρίς τα οποία δεν θα είναι δυνατή η απεξάρτηση της ναυτιλίας από τον ορυκτό άνθρακα. Αυτά τα νέα καύσιμα και οι νέες τεχνολογίες θα πρέπει βεβαίως να αναπτυχθούν από φορείς εκτός του κλάδου, όπως είναι οι προμηθευτές καυσίμων, τα ναυπηγεία και οι κατασκευαστές ναυτικών μηχανών.

2.5.2 Ευρωπαϊκός Κανονισμός FuelEU Maritime

Στις 14.7.2021 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε την πρότασή της για τον Κανονισμό FuelEU Maritime, με στόχο την επιτάχυνση της απεξάρτησης της ναυτιλίας από τον άνθρακα, μέσω της θέσπισης ενός υποχρεωτικού προτύπου ναυτιλιακών καυσίμων, το οποίο θα βασίζεται στην ένταση άνθρακα των εν λόγω καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τα πλοία [1].

Ωστόσο, τα προτεινόμενα μέτρα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προκαλούν μεγάλη ανησυχία καθώς:

- Είναι ένα περιφερειακό μέτρο με εξαιρετική εφαρμογή. Η bulk/traff ναυτιλία θα βρεθεί σε ιδιαίτερα μειονεκτική θέση, καθώς οι μη τακτικού χαρακτήρα εμπορικές διαδρομές του τομέα παγκοσμίως καθιστούν δύσκολη την προμήθεια και την πιστοποίηση συμμόρφωσης του επιθυμητού καυσίμου. Η διαθεσιμότητα των απαιτούμενων συμμορφούμενων καυσίμων παγκοσμίως από σήμερα έως το 2050 και το συσχετιζόμενο με αυτά κόστος τους απαιτούν κατάλληλη έρευνα και μελέτη, οι οποίες δεν φαίνεται να έχουν πραγματοποιηθεί. Μέχρι στιγμής, τέτοιου είδους καύσιμα δεν είναι βιώσιμα χωρίς μεγάλες επιδοτήσεις.
- Είναι εσφαλμένο και εξαιρετικά προβληματικό να υποχρεώνονται τα πλοία να συμμορφώνονται με τον προτεινόμενο Κανονισμό αντί τούτο να επιβάλλεται στους παρόχους και τους προμηθευτές των καυσίμων.
- Η εν λόγω πρόταση εισάγει ένα δεύτερο σύστημα Παρακολούθησης, Υποβολής Εκθέσεων και Επαλήθευσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (MRV) και έναν σύνθετο συγκεντρωτικό

μηχανισμό συμμόρφωσης των πλοίων, με βάση την ένταση του άνθρακα των καυσίμων που χρησιμοποιούν, επιπλέον της προτεινόμενης επέκτασης του EU ETS στη διεθνή ναυτιλία. Και τα δύο συστήματα είναι ακατάλληλα και ανεφάρμοστα για την πλειονότητα της ναυτιλιακής βιομηχανίας και ειδικά για την bulk/tramp ναυτιλία, η οποία περιλαμβάνει κυρίως ιδιωτικές μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

2.5.3 Εναλλακτικά Καύσιμα – Τεχνολογίες

Τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη δυναμική αλλά και η νομοθετική τάση προς την κατεύθυνση ενός μέλλοντος απεξαρτημένου από τον άνθρακα, έχουν δημιουργήσει μία σοβαρή αβεβαιότητα στους πλοιοκτήτες αναφορικά με την προσέγγιση που θα πρέπει να ακολουθήσουν κατά την κατάρτιση μελλοντικών επενδυτικών σχεδίων. Αυτή η αβεβαιότητα είναι ιδιαίτερα έντονη για τους πλοιοκτήτες bulk/tramp πλοίων, δεδομένου ότι τα μελλοντικά καύσιμα και τεχνολογίες ναυτικών μηχανών είναι ακόμα σε μεγάλο βαθμό απροσδιόριστα. Ο τρόπος λειτουργίας της bulk/tramp ναυτιλίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ένα διαθέσιμο παγκοσμίως καύσιμο, που επιτρέπει στα πλοία να καταπλέουν σε οποιοδήποτε λιμάνι. Έτσι, τα συμπεράσματα των περισσότερων ερευνών καταδεικνύουν ότι:

- Απαιτούνται τεράστιες επενδύσεις για την παραγωγή και την παγκόσμια διαθεσιμότητα ναυτιλιακών καυσίμων χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα, τα οποία θα πρέπει να αναπτυχθούν από εμπλεκόμενους φορείς εκτός του ναυτιλιακού τομέα. Επίσης, οι μακροοικονομικές επιπτώσεις του κόστους αυτών των νέων καυσίμων και οι απαιτήσεις για υποδομές ανεφοδιασμού παγκοσμίως δεν έχουν, μέχρι στιγμής, εξεταστεί.
- Μία τέτοια μακροοικονομική εκτίμηση επιπτώσεων είναι απαραίτητη, προκειμένου να εξακριβωθούν οι συνέπειες στην παγκόσμια οικονομία και στην οικονομία του θαλάσσιου εμπορίου και των θαλάσσιων μεταφορών.
- Τα εναλλακτικά καύσιμα, όπως η αμμωνία, η μεθανόλη ή το υδρογόνο χρειάζονται μια νέα γενιά μηχανών εσωτερικής καύσης και τεχνολογική πρόοδο, που δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί για τα ποντοπόρα πλοία.
- Η αντιμετώπιση των προκλήσεων αναφορικά με την ασφάλεια των περισσότερων νέων και εναλλακτικών καυσίμων απαιτεί την ανάπτυξη κανονισμών και τεχνικών κανόνων για ασφαλή σχεδιασμό και χρήση στα πλοία, παράλληλα με την τεχνολογική πρόοδο που απαιτείται για την ευρύτερη χρήση τους.

Η ενεργειακή μετάβαση της ναυτιλίας απαιτεί επενδύσεις για την ανάπτυξη νέων ναυτιλιακών καυσίμων με μηδενικό ή χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα, χωρίς τα οποία οι μακροπρόθεσμοι στόχοι της συμφωνημένης Στρατηγικής του IMO για

την απεξάρτηση της ναυτιλίας από τον άνθρακα και οι φιλόδοξοι στόχοι της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας δε μπορούν να επιτευχθούν. Χωρίς νέα καύσιμα, η ναυτιλιακή βιομηχανία θα παραμείνει εξαρτημένη από τον άνθρακα [1].

2.5.4 Παγκόσμιο Όριο Περιεκτικότητας 0.50% σε Θείο των Ναυτιλιακών Καυσίμων

Μετά την εφαρμογή του παγκόσμιου ορίου περιεκτικότητας 0.50% σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων του IMO 2020, ρύθμιση για την οποία η Ένωση Ελλήνων Εφοπλιστών (ΕΕΕ), θεωρεί ότι δεν είχε εξεταστεί επαρκώς κατά το χρόνο υιοθέτησής της, αναφέρθηκε σημαντικός αριθμός περιστατικών βλάβης στο πλοίο ή και στον μηχανολογικό του εξοπλισμό από πλοία που χρησιμοποίησαν ναυτιλιακά καύσιμα με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0.50% κ.β. (w/w) (Very Low Sulphur Fuel Oils -VLSFOs). Σε πολλές περιπτώσεις, το προβληματικό και εκτός προδιαγραφών καύσιμο έπρεπε να απομακρυνθεί από το πλοίο [1].

Ηλεκτροδότηση Πλοίων από Ξηράς- SSE | Cold Ironing



3.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ COLD IRONING

Όπως αναφέρθηκε, κατά τον ελλιμενισμό ενός πλοίου οι κύριες μηχανές του παύουν να λειτουργούν και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι παράγονται μόνον από τις ηλεκτρογεννήτριες που καταναλώνουν, συνήθως, πετρέλαιο και καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες για φορτο-εκφόρτωση, θέρμανση-κλιματισμό, φωτισμό, ξενοδοχειακές υπηρεσίες κ.λπ. Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής διασύνδεσης των πλοίων η λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών διακόπτεται και οι απαιτήσεις σε ισχύ καλύπτονται από το εθνικό δίκτυο, εκμηδενίζοντας τη σχετική ρύπανση αλλά και τον θόρυβο [11]. Η μέθοδος ονομάζεται cold-ironing (καθώς όλες οι θερμικές μηχανές ψύχονται παύοντας να λειτουργούν). Σημειώνεται ότι η παραγόμενη στην ξηρά ηλεκτρική ενέργεια στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά ή αιολικά πάρκα) ή σε λιγότερο ρυπογόνα καύσιμα (πχ φυσικό αέριο). Επιπλέον, στα περισσότερα Ευρωπαϊκά Δίκτυα, συμπεριλαμβανομένου του ελληνικού ηπειρωτικού, υφίσταται ικανή εφεδρεία παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ωστόσο, τα παραπάνω δεν ισχύουν στον ίδιο βαθμό για το νησιωτικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, καθώς μεγάλος αριθμός ελληνικών νησιών δεν είναι ακόμη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο, ενώ η κύρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται σε σταθμούς παραγωγής με ναυτικούς κινητήρες Diesel. Ακόμη όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις, το cold ironing προσφέρει έστω και οριακά πλεονεκτήματα, καθώς:

- αφενός το πρόγραμμα εκτεταμένης διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών στα νησιά είναι σε πλήρη εξέλιξη έχοντας ως στόχο να καλύπτεται παραγωγή σε επίπεδα 40% της συνολικής, και
- αφετέρου σε τοπικό επίπεδο στην περιοχή του λιμένα επιτυγχάνεται σημαντικός περιορισμός των ατμοσφαιρικών ρύπων και του θορύβου, ενώ οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εν γένει βρίσκονται σε περιοχές σχετικά απομακρυσμένες από τα λιμάνια και την τουριστική κίνηση, όπου λαμβάνονται επαρκή μέτρα για τον περιορισμό της ρύπανσης που προκαλούν.

Ένα ευρύ φάσμα πρωτοβουλιών και κανονιστικών μέτρων, υιοθετήθηκε τα τελευταία χρόνια για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από χερσαίες πηγές, συμπεριλαμβανομένων και των εκπομπών CO₂ που ρυθμίζεται από το ευρωπαϊκό σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου (ETS).

Χωρίς αμφιβολία, η ναυτιλία τα επόμενα χρόνια θα στραφεί προς την υιοθέτηση μέτρων που μπορούν να μειώσουν περαιτέρω τις εκπομπές NO_x και PM. Ένα τέτοιο δυναμικό μέτρο θα μπορούσε να είναι η εισαγωγή του cold ironing, μιας τεχνολογίας που επιτρέπει στα πλοία που αγκυροβολούν να χρησιμοποιούν την ακτή παρά να βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους βοηθητικούς κινητήρες (Auxiliary Engines), μειώνοντας έτσι τις εκπομπές καυσαερίων στα λιμάνια.

Αυτή η εργασία θα επιδιώξει να αξιολογήσει το κοινωνικοοικονομικό όφελος της εφαρμογής του μέτρου της ηλεκτροδότησης των ελλιμενιζόμενων πλοίων από την ξηρά, καθώς και του κόστους της επένδυσης που θα απαιτηθεί για ορισμένα από τα λιμάνια της χώρας μας, ενώ τέλος αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι η εργασία αυτή κάνει χρήση της τρέχουσας κατάστασης του σχεδίου Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC)/Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO)/IEEE Πρότυπα 80005-1, 80005-2 και 80005-3 [6].

3.1.1 Εθνική-Διεθνής Πολιτική και Κανονισμοί για το Cold Ironing

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι ο ναυτικός κλάδος των Ηνωμένων Εθνών με ευθύνη για την ασφάλεια της ναυτιλίας και την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία (IMO, 2017). Ο IMO έχει αναπτύξει και διατηρήσει το κανονιστικό πλαίσιο για τη ναυτιλιακή βιομηχανία από το 1958. Η Διεθνής Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) εγκρίθηκε το 1973 από τον IMO. Σκοπός του ήταν να καθιερώσει ένα παγκόσμιο πρότυπο για την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλοία, από επιχειρησιακές ή τυχαίες αιτίες. Τα αρχικά παραρτήματα επικεντρώθηκαν μόνο στην πρόληψη της ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα παραρτήματα της MARPOL ενημερώνονται τακτικά, ενώ από το 2005 το Παράρτημα VI της MARPOL τέθηκε σε ισχύ με σκοπό την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία. Ο κύριος στόχος της ήταν η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θέτοντας ένα όριο στις εκπομπές NO_x, SO_x και PM από την καύση των ναυτιλιακών καυσίμων. Το παράρτημα VI αναθεωρήθηκε και μια τροποποίηση τέθηκε σε ισχύ το 2010 με στόχο να επιβληθούν προοδευτικά αυστηρότερα όρια και να εισαχθούν περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECA). Επί του παρόντος, οι μόνες περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA), βρίσκονται, στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής (Εικόνα 3-1), στην περιοχή της Καραϊβικής των Ηνωμένων Πολιτειών (Εικόνα 3-2) και στη Βόρεια & Βαλτική Θάλασσα (Εικόνα 3-3) [12].



Εικόνα 3-1: ECA Βορείου Αμερικής [12].



Εικόνα 3-2: ECA Καραϊβικής των Ηνωμένων Πολιτειών [12].



Εικόνα 3-3: ECA Βορείου & Βαλτικής Θάλασσας [12].

Οι έλεγχοι της βαθμίδας II ισχύουν μόνο για τα καθορισμένα πλοία ενώ λειτουργούν σε περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) που έχουν συσταθεί για τον περιορισμό των εκπομπών NO_x , εκτός αυτών των περιοχών ισχύουν οι έλεγχοι της βαθμίδας II. Σύμφωνα με τον κανονισμό 13.5.2, ορισμένα μικρά πλοία δεν θα απαιτούνται για την εγκατάσταση κινητήρων βαθμίδας III.

Η τροπολογία αποσκοπούσε στη μείωση του θείου στα καύσιμα από 3.5% σε 0.5% έως το 2020. Στις ECA, το όριο μειώθηκε σε 0.1% το 2015. Το αναθεωρημένο παράρτημα επέβαλε επίσης αυστηρότερους περιορισμούς στα NO_x . Αυτό επιβάλλει περιορισμούς NO_x στα πλοία ανάλογα με το πότε κατασκευάστηκαν διαχωρίζοντας τα πλοία σε τρεις κατηγορίες, το επίπεδο: Tier I, Tier II και Tier III. Η εισαγωγή του δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (EEDI) και του σχεδίου διαχείρισης ενεργειακής απόδοσης πλοίου (SEEMP) συμφωνήθηκε το 2011 από τη διάσκεψη της επιτροπής προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος (MEPC) του IMO και εγκρίθηκε στο παράρτημα VI της MARPOL, όπου απαιτεί ορισμένα νέα πλοία να συμμορφώνονται με τον EEDI και όλα τα πλοία στο SEEMP.

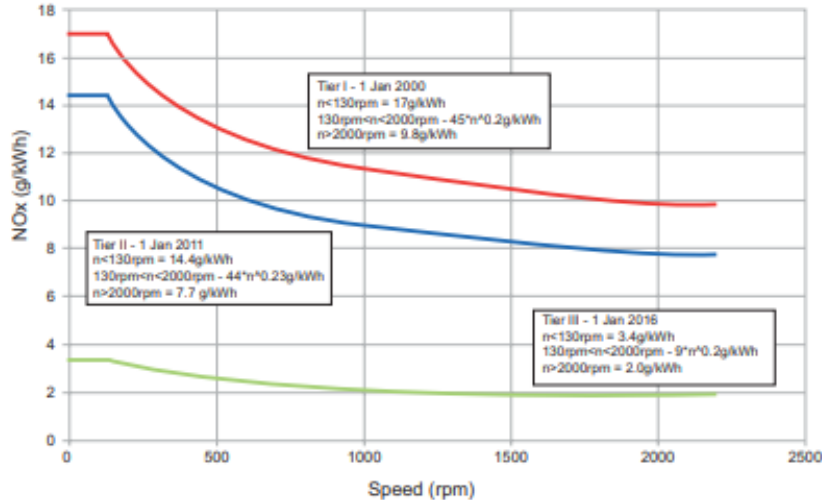
Ο έλεγχος των εκπομπών NO_x του κινητήρα ντίζελ επιτυγχάνεται μέσω των απαιτήσεων έρευνας και πιστοποίησης που οδηγούν στην έκδοση ενός Διεθνούς Πιστοποιητικού Κινητήρα Διεθνούς Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (EIAPP) και την επακόλουθη επίδειξη της συμμόρφωσης σε λειτουργία σύμφωνα με τις απαιτήσεις των υποχρεωτικών κανονισμών 13.8 και 5.3.2 αντίστοιχα, του Τεχνικού Κώδικα NO_x 2008 (ψήφισμα MEPC.177 (58) όπως τροποποιήθηκε με το ψήφισμα MEPC.251. (66)) [12].

Οι απαιτήσεις ελέγχου NO_x του παραρτήματος VI ισχύουν για τον εγκατεστημένο θαλάσσιο κινητήρα ντίζελ ισχύος άνω των 130 kW, εκτός από εκείνους που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για επείγοντες σκοπούς, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητα του πλοίου στο οποίο είναι εγκατεστημένοι τέτοιοι κινητήρες. Οι ορισμοί των «εγκατεστημένων» και «θαλάσσιων κινητήρων ντίζελ» δίνονται στους κανονισμούς 2.12 και 2.14 αντίστοιχα. Ισχύουν διαφορετικά επίπεδα ελέγχου (Βαθμίδες) με βάση την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου, όρος που ορίζεται στους κανονισμούς 2.19 και ως εκ τούτου 2.2, και σε κάθε συγκεκριμένη βαθμίδα η πραγματική οριακή τιμή καθορίζεται από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (Πίνακας 3-1) [12]:

Πίνακας 3-1. Επίπεδα ελέγχου με βάση την ημερομηνία κατασκευής & την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα του πλοίου.

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 121	9.8
II	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

Τα όρια εκπομπών NO_x από τον κινητήρα του πλοίου, σύμφωνα πάντα με τον IMO βασίζονται στην ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (Σχήμα 3-1), με τα χαμηλότερα όρια να ισχύουν για κινητήρες μεσαίας και υψηλής ταχύτητας.



Σχήμα 3-1: Όρια NOx IMO MARPOL ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI-Κανονισμός 13 [12].

Όλα τα έθνη πρέπει να συμμορφώνονται με τα ελάχιστα πρότυπα νομοθεσίας που ορίζει ο ΔΝΟ. Ωστόσο, μπορούν να επιβληθούν αυστηρότεροι κανονισμοί. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει φιλόδοξους περιβαλλοντικούς στόχους και αυτό ισχύει επίσης όσον αφορά τη θαλάσσια πολιτική τους. Το 2005 δημοσιεύθηκε η οδηγία 2005/33/ΕΚ, η οποία καθόρισε περιοχές ελέγχου των εκπομπών στην Αγγλική Μάγχη, τη Βόρεια Θάλασσα και τη Βαλτική Θάλασσα. Σε αυτές τις περιοχές τα πλοία στο αγκυροβόλιο ή σε λιμένα της ΕΕ υποχρεώθηκαν να χρησιμοποιούν καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο 0.1%. Αυτοί οι κανονισμοί ήταν πολύ πιο αυστηροί από τους κανονισμούς του παραρτήματος VI της MARPOL εκείνη την εποχή [13]. Η οδηγία 2012/33/ΕΕ θέτει περαιτέρω περιορισμούς στην περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο σύμφωνα με το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL ενώ παράλληλα προβλέπει τη δυνατότητα επέκτασης των ECA. Επίσης, στη συγκεκριμένη οδηγία, υπερτονίστηκαν οι ανησυχίες σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση στα λιμάνια με την οδηγία 2014/94/ΕΕ σχετικά με την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων και προτάθηκε στα κράτη μέλη να ενθαρρύνουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια για τα σημερινά πλοία παρέχεται συνήθως από βοηθητικούς κινητήρες. Αυτό δηλώνει ότι, τα κράτη μέλη οφείλουν να διασφαλίζουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς και η προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή θα εγκατασταθεί κατά προτεραιότητα σε λιμάνια του Κεντρικού Διευρωπαϊκού Δικτύου Μεταφορών και σε άλλους λιμένες, έως τις 31 Δεκεμβρίου 2025, εκτός εάν δεν υπάρχει ζήτηση και το κόστος είναι δυσανάλογο προς τα οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των περιβαλλοντικών οφελών (Ευρωπαϊκή

Επιτροπή, 2014). Ενθαρρύνει επίσης τη μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα και επιτρέπει κρατική ενίσχυση στην εφαρμογή τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο εκτιμάται ότι το συνολικό ετήσιο κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θα μπορούσε να ανέρχεται σε 54 δισεκατομμύρια λίρες. Τα προβλήματα υγείας που προκύπτουν από την έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση έχουν επίσης υψηλό κόστος για την κοινωνία και τις επιχειρήσεις. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, αυτά τα έξοδα υγείας αυξάνονται πάνω από 20 δισεκατομμύρια λίρες ετησίως (Royal College of Physicians, 2016). Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει επικριθεί έντονα από την ΕΕ, τον ΟΗΕ και τον ΠΟΥ για την αποτυχία τους να αντιμετωπίσουν την ατμοσφαιρική ρύπανση με τα όρια της ΕΕ για την ατμοσφαιρική ρύπανση που παραβιάζονται τακτικά στο Ηνωμένο Βασίλειο (TheGuardian, 2017). Οι εκπομπές από τη ναυτιλία συμβάλλουν σε αυτό.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία στο Ηνωμένο Βασίλειο ρυθμίζεται από τον Οργανισμό Ναυτιλίας και Ακτοφυλακής (MCA). Είναι υπεύθυνοι για την εφαρμογή της νομοθεσίας του IMO, όπως η MARPOL και τυχόν πρόσθετα μέτρα που καθορίζονται από την κυβέρνηση της ΕΕ και του ΗΒ. Με το Ηνωμένο Βασίλειο να έχει αποχωρήσει από την Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν είναι σαφές εάν θα συνεχίσει να εφαρμόζει τις οδηγίες της ΕΕ ή εάν θα συμμορφωθεί μόνο με τη νομοθεσία του IMO. Η Βρετανική Κυβέρνηση συζήτησε το cold ironing στην επισκόπηση της διαχείρισης λιμένων, αλλά πολλοί είναι δύσπιστοι για την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας ως μέθοδος μείωσης των ρυπογόνων εκπομπών της ναυτιλίας.

Η κυβέρνηση της Σκωτίας κατάφερε να επιτύχει τους φιλόδοξους περιβαλλοντικούς στόχους που στόχευαν στην παραγωγή 100% ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020. Μέχρι το τέλος του 2015 ο στόχος του 50% επιτεύχθηκε, με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να δημιουργούν το ισοδύναμο του 59.4% των απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας της Σκωτίας (Scottish Government, 2017). Η κυβέρνηση της Σκωτίας έχει επίσης χρηματοδοτήσει έργα που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών από τη ναυτιλία. Το 2014, η Caledonian Maritime Assets Ltd (CMAL), εταιρεία που ανήκει στην κυβέρνηση της Σκωτίας, δημιούργησε εμπορικά υβριδικά πλοία. Αυτά τα σκάφη χρησιμοποιούν μπαταρίες σε συνδυασμό με ηλεκτρικούς κινητήρες ντίζελ. Αυτές οι μπαταρίες φορτίζονται για μια μέρα στην ξηρά. Η κυβέρνηση της Σκωτίας έχει ως στόχο τη δραστική μείωση των εκπομπών από τη ναυτιλία στα ύδατα της Σκωτίας. Σύμφωνα με υπολογισμούς της Σκωτσέζικης Κυβέρνησης, διαπιστώθηκε ότι οι εκπομπές μειώθηκαν από 2.6 MtCO_{2e} (MtCO_{2e}= Μετρικοί Τόνοι Ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα) το 1990 σε 1.4 MtCO_{2e} το 2014, με τη ναυτιλία το 2014 να

αντιπροσωπεύει το 11% των συνολικών εκπομπών των μεταφορών, ενώ εν έτη 2021 οι εκπομπές από την εγχώρια ναυτιλία έχουν σημειώσει σημαντική μείωση. Η κυβέρνηση στοχεύει σε ετήσια μείωση περίπου 2.5 MtCO_{2e} έως το 2035 από όλες τις μεταφορές στη Σκωτία. Αναμένουν ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία θα διαδραματίσει αξιοσημείωτο ρόλο σε αυτό, με την αναμενόμενη βελτίωση κατά 35% στην αποδοτικότητα των νέων πλοίων έως το 2035. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι υβριδικοί κινητήρες, οι κινητήρες φυσικού αερίου καθώς και οι ηλεκτρικοί κινητήρες με μπαταρίες. Πρόσφατα, στην έκθεση ενεργειακής στρατηγικής της κυβέρνησης (Κυβέρνηση της Σκωτίας, 2017) δεσμεύτηκαν να συνεργαστούν με τις λιμενικές αρχές για να προσδιορίσουν το πιθανό κόστος και τα οφέλη της ψυχρής εκκίνησης των πλοίων, καθώς και άλλων μέτρων χαμηλών εκπομπών, στους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης, μια πολιτική που ενθαρρύνεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση [10].

3.2 Η ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ CO₂ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ SSE ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή μπορεί να μειώσει δραστικά τις εκπομπές από βοηθητικούς κινητήρες πλοίων που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Η έλλειψη δεδομένων σχετικά με τη βοηθητική ζήτηση ισχύος σε αγκυροβόλιο έχει περιορίσει το εύρος και τη χρονική επίλυση του, ενώ έχουν συλλεχθεί δεδομένα από προηγούμενες μελέτες σε λίγα λιμάνια και πλοία. Καθιερώνεται έτσι μια νέα μέθοδος για την εκτίμηση της ζήτησης βοηθητικής ενέργειας σε αγκυροβόλιο για 714 μεγάλα λιμάνια στον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο (ΕΟΧ) και στο Ηνωμένο Βασίλειο (ΗΒ). Επομένως, συνδυάζονται δεδομένα εκθέσεων εκπομπών από το σύστημα παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του πλοίου, με δεδομένα παρακολούθησης από το Σύστημα αυτόματης αναγνώρισης. Οι ετήσιες εκπομπές 3 Mt (/5 Mt) CO₂ θα μπορούσαν να αποφευχθούν εάν η ζήτηση βοηθητικής ισχύος σε θέση ελλιμενισμού παρέχεται από εθνικά δίκτυα (/από ηλεκτροπαραγωγή απαλλαγμένη από CO₂). Αυτό ισοδυναμεί με μια μέση συνολική μείωση εκπομπών κατά 2.2% (3.7%) και απαιτεί μόνο 0.2% (6.4 TWh) της τρέχουσας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του ΕΟΧ και του Ηνωμένου Βασιλείου. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο της ακτής μπορεί επίσης να συμβάλλει σημαντικά ετήσιες τοπικές μειώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης 86,431 t NO_x, 4,130 t SO_x, 1,596 t PM₁₀, 4,333 t CO, 94 t CH₄, 4,818 t NMVOC, και 235 t N₂O [10].

3.2.1 Παράγοντες Εκπομπής Βοηθητικών Κινητήρων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη & Σύγκριση αυτών

Το τρέχον μείγμα καυσίμων που χρησιμοποιούνται στο αγκυροβόλιο έχει υποτιθέμενη μέση περιεκτικότητα σε θείο 2.7%. Η τροποποιημένη οδηγία 1999/32/EK όσον αφορά την περιεκτικότητα σε θείο των θαλάσσιων καυσίμων επιβάλλει στα σκάφη κατά τον ελλιμενισμό τους για χρήση καυσίμων περιεκτικότητας 0.1% w/w σε θείο από το 2010. Συνεπώς, οι εκπομπές ρύπων από την ηλεκτροπαραγωγή με χρήση καυσίμου περιεκτικότητας θείου 2.7% έναντι της χρήσης καυσίμου περιεκτικότητας σε θείο 0.1%, είναι ευκόλως αντιληπτά τα οφέλη από τη μετατροπή των πλοίων σε χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή. Χρησιμοποιώντας την πλευρά της ακτής η ηλεκτρική ενέργεια θα απαλλάξει τα πλοία από το να πληρούν την απαίτηση καυσίμου με περιεκτικότητα 0.1% w/w σε θείο σύμφωνα με την οδηγία, επομένως είναι χρήσιμο να συγκρίνουμε την αποδοτικότητα ως προς το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά με αυτήν του καυσίμου. Ο Πίνακας 3-2 [14] απεικονίζει τους συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για βοηθητικούς κινητήρες κατά τον ελλιμενισμό των πλοίων.

Πίνακας 3-2. Συντελεστές εκπομπών για ΑΕ σε αγκυροβόλιο, g/kWh ηλεκτρικής ενέργειας.

	NO _x (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	VOC (g/kWh)	PM (g/kWh)
Emission Factors from AE engines using 2.7% sulphur fuel (current average)	12.47	12.30	0.40	0.80
Emission Factors from AE engines using 0.1% sulphur fuel (EU 2010 limit)	11.8	0.46	0.40	0.30

Με βάση τα δεδομένα εκπομπών από τα 25 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το μοντέλο RAINS και τα δεδομένα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των χωρών αυτών, από την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις τάσεις της ενέργειας και των μεταφορών έως το 2030, οι μέσοι συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2010 καθορίστηκαν όπως φαίνεται στον Πίνακα 3-3 [14]. Υπάρχει σαφώς ένα εύρος συντελεστών εκπομπών, με τιμές υψηλότερες και χαμηλότερες από αυτήν τη μέση τιμή, ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής του ηλεκτρισμού.

Πίνακας 3-3. Μέσοι συντελεστές εκπομπών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας EU-25.

	NO _x (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	VOC (g/kWh)	PM (g/kWh)
Emission Factors	12.47	12.30	0.40	0.80

Οι συντελεστές εκπομπών από ΑΕ (Πίνακας 3-2) συγκρίθηκαν με αυτούς για την ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή (Πίνακας 3-3) ανά kWh. Ο Πίνακας 3-4 [14] περιγράφει ότι οι σημαντικές εκπομπές θα μπορούσαν να μειωθούν ανά kWh όταν η ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή αντικαθιστά την ηλεκτροπαραγωγή από βοηθητικούς κινητήρες.

Πίνακας 3-4. Μειώσεις εκπομπών όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά αντί για ηλεκτρική ενέργεια από τις ΑΕ, g/kWh.

	NO _x (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	VOC (g/kWh)	PM (g/kWh)
Compared to 2.7% sulphur fuel (current average)	12.12	11.84	0.38	0.77
Compared to 0.1% sulphur fuel (2010 EU limit)	11.41	0.0	0.38	0.27

3.2.2 Μειώσεις Εκπομπών ανά Θέση Ελλιμενισμού των Πλοίων

Η μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται ανά kWh με την αντικατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τους βοηθητικούς κινητήρες των πλοίων με την ηλεκτρική ενέργεια από ξηράς φαίνεται στον Πίνακα 3-4. Η απόλυτη μείωση των εκπομπών εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που η ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή υποκαθιστά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρογεννήτριες και το επίπεδο ισχύος της ηλεκτρικής ενέργειας σε kW. Μειώσεις εκπομπών για τις τρεις διαφορετικές κατηγορίες μεγέθους των ηλεκτρογεννητριών ελήφθησαν με την παραδοχή μιας χρήσης σε θέσεις ελλιμενισμού σε ποσοστό 70% επί του συνολικού χρόνου παραμονής των πλοίων στον εκάστοτε λιμένα.

Ο Πίνακας 3-5 και 3-6 [14] δείχνουν τις εκπομπές μειωμένες ανά θέση αγκυροβολίας σε σύγκριση με τους κινητήρες που χρησιμοποιούν Residual Oil (RO), περιεκτικότητας 2.7% σε θείο και κινητήρες που χρησιμοποιούν Marine Distillate (MD), περιεκτικότητας 0.1% σε θείο (2010 EU Limit).

Πίνακας 3-5. Οι εκπομπές που μειώθηκαν ανά θέση αγκυροβολίας (t/έτος/θέση) σε σύγκριση με τους κινητήρες που χρησιμοποιούσαν το καύσιμο RO, περιεκτικότητας 2.7 % w/w σε θείο.

		Small (t/year)	Medium (t/year)	Large (t/year)
NO_x	Baseline emissions	16.20	44.90	115.70
	Emissions reduced	15.72	43.63	112.41
	Reduction efficiency	97%	97%	97%
SO₂	Baseline emissions	15.96	44.29	114.10
	Emissions reduced	15.36	42.63	109.83
	Reduction efficiency	96%	96%	96%
VOC	Baseline emissions	0.52	1.44	3.71
	Emissions reduced	0.49	1.36	3.49
	Reduction efficiency	94%	94%	94%
PM	Baseline emissions	1.04	2.88	7.42
	Emissions reduced	1.00	2.76	7.12
	Reduction efficiency	96%	96%	96%

Πίνακας 3-6. Οι εκπομπές που μειώθηκαν ανά θέση αγκυροβολίας (t/έτος/θέση) σε σύγκριση με τους κινητήρες που χρησιμοποιούσαν το καύσιμο MD, περιεκτικότητας 0.1% w/w σε θείο (2010 EU Limit).

		Small (t/year)	Medium (t/year)	Large (t/year)
NO_x	Baseline emissions	15.30	42.40	109.10
	Emissions reduced	14.81	41.09	105.86
	Reduction efficiency	97%	97%	97%
SO₂	Baseline emissions	0.62	1.72	4.44
	Emissions reduced	0.00	0.00	0.00
	Reduction efficiency	0%	0%	0%
VOC	Baseline emissions	0.52	1.44	3.71
	Emissions reduced	0.49	1.36	3.49
	Reduction efficiency	94%	94%	94%
PM	Baseline emissions	0.39	1.08	2.78
	Emissions reduced	0.35	0.96	2.48
	Reduction efficiency	89%	89%	89%

3.2.3 Περιορισμός Λοιπών Εκπομπών (CO, CO₂, CH₄, N₂O και Ηχητική Ρύπανση)

Ο καθαρός αντίκτυπος στις εκπομπές εξαρτάται από τις υποτιθέμενες μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο των ΑΕ. Οι μέσες εκπομπές CO₂, CO, CH₄ και N₂O προσδιορίστηκαν για ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε ολόκληρη την ΕΕ.

Οι μέσες εκπομπές CO₂ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την ΕΕ μπορούν να εκτιμηθούν περίπου στα 330 g/kWh. Οι εκπομπές CO₂ για βοηθητικούς κινητήρες ντίζελ κατά μέσο όρο κυμαίνονται από 690 έως 720 g/kWh. Ως εκ τούτου, κατά μέσο όρο, η χρήση παράκτιας ηλεκτρικής ενέργειας έναντι της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κινητήρες ντίζελ, θα μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά περισσότερο από 50%.

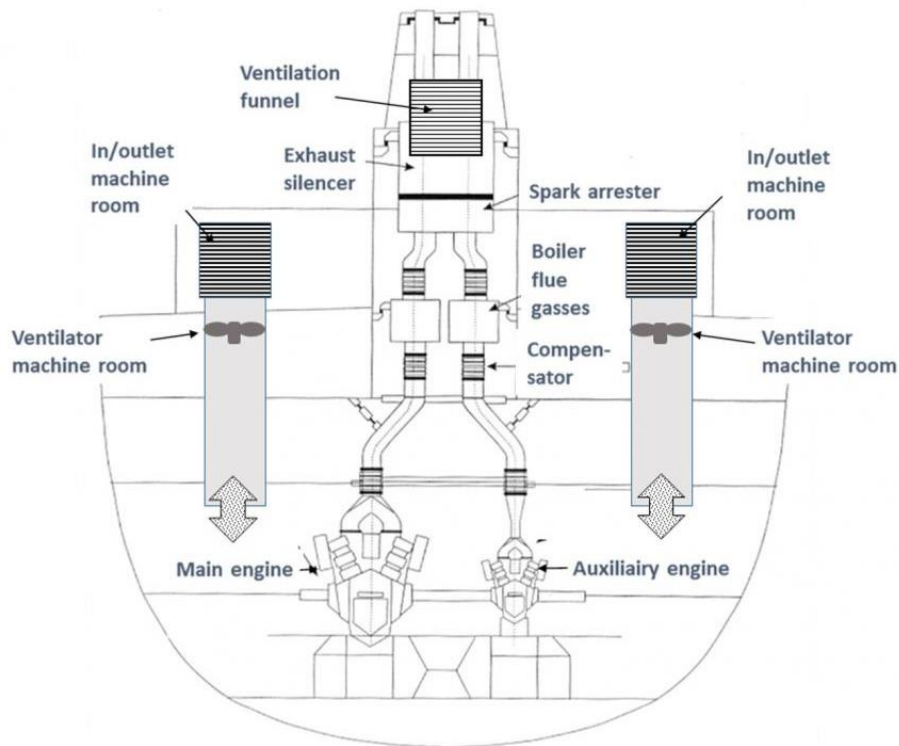
Οι μέσες εκπομπές CO από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την ΕΕ μπορούν να εκτιμηθούν περίπου στα 0.0125 g/kWh. Οι εκπομπές CO από τους κινητήρες ΑΕ κυμαίνονται από 0.9 έως 1.3 g/kWh. Ως εκ τούτου, κατά μέσο όρο, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή παρά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους βοηθητικούς κινητήρες θα μειώσει τις εκπομπές CO περίπου κατά 99%.

Οι μέσες εκπομπές CH₄ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την ΕΕ μπορούν να εκτιμηθούν περίπου στα 0.028 g/kWh συνυπολογίζοντας φυσικά την ηλεκτροπαραγωγή και τις διαρροές αερίου. Οι εκπομπές CH₄ για πετρελαιοκινητήρες ΑΕ έχουν ένα εύρος από 0.004 έως 0.01 g/kWh. Η ηλεκτρική ενέργεια από ξηράς παρά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κινητήρες ντίζελ θα αυξήσει τις εκπομπές CH₄ κατά περίπου τέσσερις φορές, αν και οι απόλυτες εκπομπές παραμένουν σχετικά μικρές. Ως εκ τούτου, κατά μέσο όρο, η χρήση της ακτής εν προκειμένω είναι πιο ρυπογόνος μέθοδος.

Οι μέσες εκπομπές N₂O (*Υποξείδιο του Αζώτου*) από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την ΕΕ μπορούν να εκτιμηθούν περίπου στα 0.014 g/kWh. Οι εκπομπές N₂O για κινητήρες ντίζελ είναι κατά μέσο όρο 0.031 g/kWh. Ως εκ τούτου, κατά μέσο όρο, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή παρά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους κινητήρες ντίζελ θα μειώσει τις εκπομπές N₂O κατά περισσότερο από 50%.

Η κυρίαρχη πηγή θορύβου στην καύση ντίζελ είναι ο ήχος που σχετίζεται με την καύση. Όταν ένα αναμεμιγμένο φορτίο καυσίμου και αέρα αναφλεγεί, η πολύ γρήγορη καύση οδηγεί σε απότομη αύξηση της πίεσης, η οποία ακούγεται εύκολα και αναγνωρίζεται ως ο χαρακτηριστικός ήχος ενός κινητήρα ντίζελ. Επιπλέον, παράγονται μηχανικοί και θόρυβοι εξάτμισης μαζί με τη μηχανική δόνηση. Ένα

επιπλέον όφελος από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή αντί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους είναι η εξάλειψη του θορύβου και των κραδασμών από τους βοηθητικούς κινητήρες κατά την αγκυροβόληση. Το μεγαλύτερο όφελος γίνεται αισθητό από τους μηχανικούς που εργάζονται στο περιβάλλον του μηχανοστασίου, και αυτό έχει αναφερθεί ως ιδιαίτερο πλεονέκτημα από τους μηχανικούς των πλοίων που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή Λιμάνι του Γκέτεμποργκ. Σε κοντινή απόσταση από τις ηλεκτρογεννήτριες, μπορούν να επιτευχθούν επίπεδα θορύβου στο διάστημα 90–120 dB. Όλος αυτός ο θόρυβος θα εξαλειφθεί εάν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή και απενεργοποιηθούν οι ηλεκτρογεννήτριες επί των πλοίων. Ακόμη και για άλλο προσωπικό που εργάζεται στα πλοία ή συμμετέχει σε εργασίες φόρτωσης γύρω από την αποβάθρα θα βιώσετε κάποια θετική μείωση θορύβου. Προς γνώση μας, ωστόσο, δεν έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις θορύβου για τα επίπεδα θορύβου που παρατηρήθηκαν στην προκυμαία, με και χωρίς συνδέσεις τροφοδοσίας ρεύματος από την ακτή (Lindeman, 2004) [14].



Εικόνα 3-4: Τυπικές πηγές παραγωγής ηχητικού φορτίου από ένα πλοίο (<https://www.motaship.com/>).

3.2.4 Βασικές Προκλήσεις της SSE για τη Μείωση των Εκπομπών των Ρύπων

Για να εκτιμηθεί το δυναμικό μείωσης CO₂ της SSE χρειάζονται τα εξής δεδομένα: (α) η βοηθητική ζήτηση ισχύος (τόσο των βοηθητικών όσο και των κύριων κινητήρων) των πλοίων στον ελλιμενισμό και (β) ο εκτιμώμενος χρόνος που περνούν τα πλοία στο αγκυροβόλιο. Αντλήθηκαν δεδομένα από όλες τις υπάρχουσες μελέτες των δύο τελευταίων δεκαετιών (17 μελέτες), που αξιολογούν τη δυνατότητα της SSE σε διαφορετικά λιμάνια σε όλο τον κόσμο, συγκρίνοντας τα πεδία εφαρμογών των δεκαεπτά (17) μελετών μεταξύ τους (Πίνακας 3-7) [10].

Πίνακας 3-7. Βιβλιογραφική ανασκόπηση του πεδίου των υπαρχουσών μελετών ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή (SSE). Η τελευταία στήλη υποδεικνύει την αβεβαιότητα των πηγών των δεδομένων και των υποθέσεων μοντελοποίησης που έχουν αξιολογηθεί (άδειοι κύκλοι=όχι, πλήρεις κύκλοι=ναι). Συνομογραφίες: AS: Asia, AU: Australia, EU: Europe, NA: North America, SA: South America, Ro-ro: roll-on/roll-off ship, Ro-rax: επιβατικό πλοίο roll-on/roll-off, PM=PM₁₀: σωματιδιακή ύλη, VOC: Πτητικές οργανικές ενώσεις.

Scope of study			Time period covered	Temporal resolution	Non-CO ₂ emissions considered							Uncertainty
# Ports	Region	Ship categories			SO ₂	NO _x	PM	CO	VOC	CH ₄	N ₂ O	
-	-	ro-ro, cruise, Container ships	-	Yearly	●	●	●	○	○	○	○	○
1	AS	Container ships	10-yr. scen.	Yearly	○	○	○	○	○	○	○	○
1	AS	Container ships	15-yr. scen.	Yearly	●	●	●	○	○	○	○	○
1	AS	Container ships	2014	Yearly	○	●	○	○	○	○	○	○
1	EU	Ro-ro ships	1 typical week	Weekly	●	●	○	○	○	○	○	○
1	EU	Cruise ships	2012	Yearly	●	●	●	○	○	○	○	○
1	EU	All	11 days (2012)	Daily	○	○	●	○	○	○	○	○
1	EU	All	2010-2012	Hourly	●	●	●	○	○	○	○	○
1	EU	All	2016	Yearly	○	●	●	○	○	○	○	○
1	EU	All	2010-2016	Daily	●	●	●	●	●	○	○	● ^a
3	EU, AS	All	2011/12	Monthly	●	●	●	●	○	○	○	○
4	EU, NA, AS, AU	All	2013/14/15	Yearly	○	○	○	○	○	●	●	○
6	EU, AS	Container ships	recur. schedule	Hourly	○	○	○	○	○	○	○	○
6	EU, NA, AU	Container ships	1 year (2011)	Yearly	●	●	●	○	○	○	○	○
7	EU	All	2010, 2020	Yearly	●	●	●	○	○	○	○	○
17	EU, NA, SA	1 cruise ship	-	One port stay	●	●	○	●	○	○	○	○
25	NA	All	2012/2013-14	Yearly	●	●	●	○	○	○	○	○
714	EU	All	1 year (2018)	Hourly	●	●	●	●	●	●	●	●

^a A Monte Carlo simulation for the power demand has been performed.

Η παραγόμενη ισχύς από τους βοηθητικούς κινητήρες (α) είναι δύσκολο να προβλεφθεί καθώς, σε αντίθεση με τους κύριους κινητήρες όπου υπάρχουν λεπτομερείς προδιαγραφές, ενώ για τους βοηθητικούς κινητήρες οι προδιαγραφές αυτές δεν είναι συνήθως διαθέσιμες. Οι υπάρχουσες μελέτες αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα είτε θέτοντας ως σταθερά τη βοηθητική ζήτηση ισχύος, είτε εξαγοντας συναρτήσεις παλινδρόμησης της βοηθητικής ισχύος έναντι του μεγέθους του πλοίου ή της κατηγορίας αυτού. Ωστόσο, οι συσχετισμοί μεταξύ της ζήτησης βοηθητικής ισχύος στον αγκυροβόλιο και του Gross Tonnage (GT), Deadweight Tonnage (DWT) ή της κατηγορία των πλοίων βασίζονται συνήθως σε έναν πολύ περιορισμένο αριθμό σημείων δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί από

υπάρχουσες βάσεις δεδομένων από επιτόπιες έρευνες ή λιμενικές αρχές. Εκτός από τις ΑΕ, μόνο 3 από τις 17 μελέτες αναφέρουν ρητές πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο των βοηθητικών λεβήτων.

Ο χρόνος που περνούν τα πλοία στο λιμάνι (β) παρέχεται συνήθως από τις λιμενικές αρχές (7/17 μελέτες), ή «τυπικές»/«υποθετικές» τιμές ή επαναλαμβανόμενες τιμές βάσει του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας των λιμένων (7/17). Δύο πρόσφατες μελέτες χρησιμοποιούν δεδομένα παρακολούθησης πλοίων από το Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης (AIS) για τον εντοπισμό του χρόνου διάρκειας των πλοίων στον αγκυροβόλιο [10].

Αναγνωρίζοντας την ανάγκη για πιο λεπτομερή βασικά δεδομένα, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε τον Κανονισμό 2015/757/ΕΕ το 2015, και μαζί με αυτόν έναρξη του συστήματος MRV για την παρακολούθηση των εκπομπών CO₂ της ΕΕ από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα, ξεκινώντας το 2018.

Μια νέα προσέγγιση συνδυάζει τα δεδομένα των αναφορών εκπομπών MRV με Δεδομένα παρακολούθησης πλοίων AIS. Αυτό επιτρέπει ώστε να εκτιμηθούν οι εκπομπές των πλοίων στην αγκυροβόλιο στον ΕΟΧ και το Ηνωμένο Βασίλειο με σημαντικά υψηλότερη ανάλυση, τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Αυτή η μελέτη καλύπτει όλα τα λιμάνια του ΕΟΧ και το Ηνωμένο Βασίλειο που κατέπλευσαν στους λιμένες που περιλαμβάνονται στην Έκθεση MRV του 2018. Όπου οι υπάρχουσες μελέτες κάλυπταν έως 25 λιμένες, συμπεριλαμβάνονται στοιχεία από μια μελέτη όπου περιλαμβάνονται 714 λιμάνια, παρέχοντας έτσι την πρώτη εκτίμηση αβεβαιότητας όλων των παραμέτρων που είναι ζωτικής σημασίας για κάθε ανάλυση SSE που έχει γίνει σε μεγάλο βαθμό παραμεληθεί μέχρι σήμερα. Εκτός από τη βοηθητική ισχύ των πλοίων στο αγκυροβόλιο, παρουσιάζεται η αντίστοιχη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στους λιμένες (αν εφαρμόζεται η SSE) και το δυναμικό μείωσης των εκπομπών CO₂ σε ωριαία ανάλυση. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι τρέχουσες εκπομπές SO_x, NO_x, N₂O, Σωματιδιακής ύλης (PM₁₀), CO, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και CH₄ που προκαλούνται από τους βοηθητικούς κινητήρες και λέβητες.

3.2.5 Ηλεκτρική Ενέργεια από την Ακτή ως Ελπιδοφόρο Μέτρο για τη Μείωση των Εκπομπών σε Θέσεις Ελλιμενισμού

Η ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή (SSE) είναι ένα αποτελεσματικό μέτρο μείωσης CO₂ για ποντοπόρα πλοία [10],[15]. Ενώ οι κύριοι κινητήρες (Main Engines) είναι συνήθως σβηστοί κατά τη διάρκεια της παραμονής ενός πλοίου στο αγκυροβόλιο, οι βοηθητικοί κινητήρες του πλοίου (Auxiliary Engines)

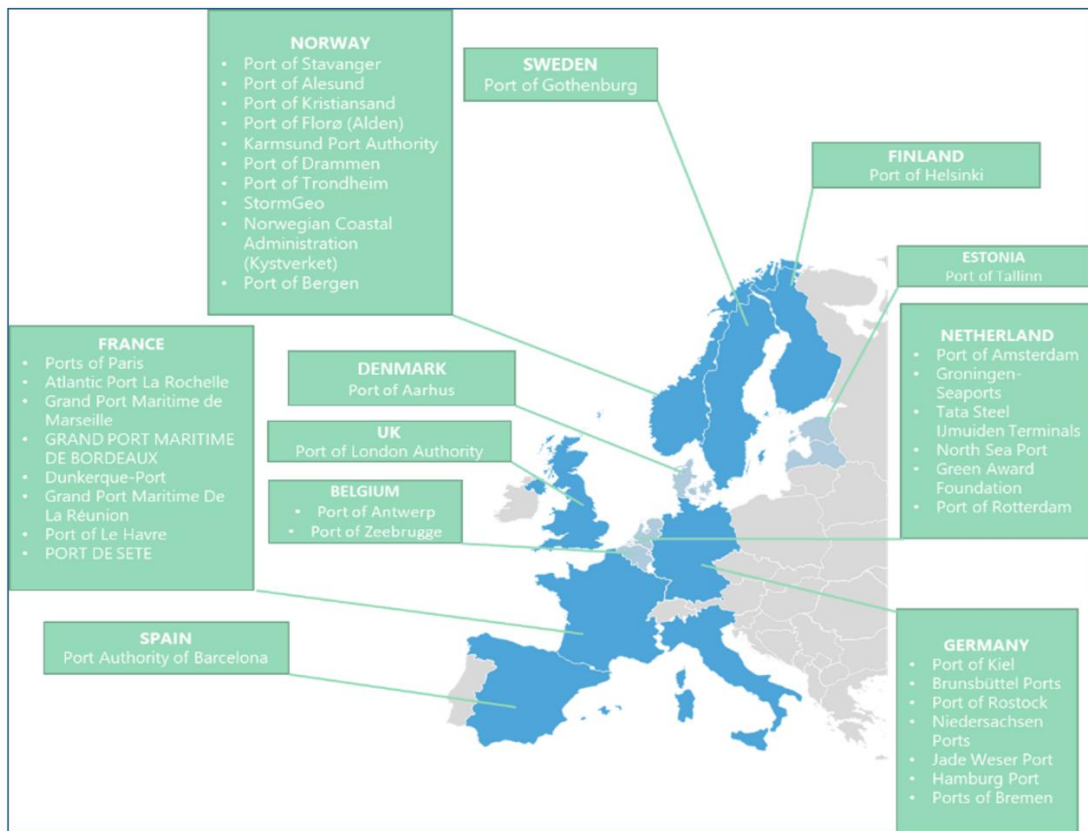
λειτουργούν για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης λειτουργούν και οι βοηθητικούς λέβητες (Auxiliary Boilers) ώστε να παρέχουν θερμότητα. Απαιτείται ισχύς από την ξηρά για την κάλυψη των εξής αναγκών ηλεκτροδότησης του πλοίου κατά την παραμονή του στο λιμάνι όπως για παράδειγμα: φορτοεκφόρτωση, ανεφοδιασμός, φωτισμός, κλιματισμός, θέρμανση, λοιπά ηλεκτρονικά συστήματα του πλοίου. Απαιτείται επίσης, η λειτουργία των βοηθητικών λεβήτων για τη διατήρηση της θερμοκρασίας καυσίμου και των κυλίνδρων των κύριων κινητήρων για να αποφευχθούν τυχόν ζημιές σε περίπτωση μη ομαλής ψύξης των στοιχείων μηχανών, αλλά επίσης για την παροχή ατμού για εξαερισμό, ψύξη, αντλίες, επικοινωνίες και άλλο κρίσιμο εξοπλισμό επί του σκάφους, για να διατηρηθεί η απαραίτητη λειτουργία και ασφάλεια του πλοίου. Επιπλέον, τα πετρελαιοφόρα χρειάζονται βοηθητικούς ατμολέβητες για την παραγωγή αδρανούς αερίου που απαιτούνται για τον ασφαλή χειρισμό του πετρελαίου, και μερικές φορές για να λειτουργήσουν οι ατμοκίνητες αντλίες φορτίου των πλοίων.

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε θέση αγκυροβόλησης μπορεί να παρέχεται από στάσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ομοίως, μπορεί να παρέχεται ατμός από την ακτή για να αντικαταστήσει τη θερμότητα από τους ΑΒ, αν και απαιτεί περισσότερο υποδομή, ή μπορεί να παραχθεί σε πλοία με ηλεκτρικούς ατμολέβητες που τροφοδοτούνται από SSE.

Εάν η εκπομπή CO₂ του ηλεκτρικού δικτύου είναι αρκετά χαμηλή (μικρότερη από 784 g CO₂ ανά kWh_{el}, το οποίο ισοδυναμεί με τις εκπομπές των ΑΕ οι οποίες τροφοδοτούνται από marine diesel oil (MDO), που προκύπτει από συντελεστή εκπομπών 3,206 kg CO₂ ανά kg MDO, με ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFC) περί τα 225 g MDO ανά kWh_{mech}, και απόδοση γεννήτριας $\eta_{mech \rightarrow el} = 92\%$ [10]), οι εκπομπές CO₂ στους λιμένες μπορούν να μειωθούν κατά τη χρήση SSE. Επιπλέον, η SSE προσφέρει την ευκαιρία για δραστική μείωση της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης από εκπομπές εκτός CO₂, και ως εκ τούτου, να συμβάλουν στη δημόσια υγεία και να μειώσει τον αριθμό των πρόωρων θανάτων στις λιμενικές περιοχές [15]. Για τους λόγους αυτούς, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχεδιάζει να ρυθμίσει την πρόσβαση στα πιο ρυπογόνα πλοία στα λιμάνια της ΕΕ και να υποχρεώσει τα ελλιμενισμένα πλοία να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή στο πλαίσιο της Πράσινης Συμφωνίας. Το διεθνές ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για τη διακυβέρνηση των ωκεανών τονίζει ότι η δύναμη της ακτής μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην πράσινη ναυτιλία, βοηθώντας έτσι στην εξάλειψη των εκπομπών των κινητήρων των πλοίων στα λιμενικά ύδατα, στη

μείωση των ρύπων και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και στη μείωση του θορύβου, των κραδασμών και των φθορών των κινητήρων.

Ο πρώτος εξοπλισμός SSE εγκαταστάθηκε στο Gothenburg (Σουηδία) και στο Zeebrugge (Βέλγιο) το 2000. Για παράδειγμα, το λιμάνι του Γκέτεμποργκ στη Σουηδία έχει επεκτείνει το παρακείμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στο λιμάνι και θα συνδέσει τα δεξαμενόπλοια με την παράκτια ισχύ από το 2023. Η κίνηση αναμένεται να μειώσει τις εκπομπές CO₂ από τα σκάφη κατά 1,800 τόνους ετησίως. Στόχος του λιμανιού είναι να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα κατά 70% έως το 2030. Το λιμάνι έχει εξασφαλίσει σχεδόν 1.26 εκατομμύρια δολάρια για την εκτέλεση του έργου. Το έργο χρηματοδοτήθηκε εν μέρει από την Klimatklivet, μια πρωτοβουλία επενδυτικής στήριξης για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών άνθρακα και άλλων επιβλαβών αερίων. Προς το παρόν, η παράκτια ισχύς είναι διαθέσιμη στον τερματικό σταθμό "Stena Line" και σε δύο από τις θέσεις στον τερματικό σταθμό των Ro-Ro πλοίων του λιμανιού. Τέλος, στην Εικόνα 3-5 παρουσιάζονται ορισμένοι ευρωπαϊκοί λιμένες που προσεχώς θα είναι εφικτή η παροχέτευση ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς στα ελλιμενιζόμενα σε αυτούς πλοία.



Εικόνα 3-5: Κύριοι ευρωπαϊκοί λιμένες που αναμένεται να εγκαταστήσουν σύστημα παράκτιας ηλεκτροδότησης πλοίων (<https://www.environmentalshippindex.org/ports>).

Μέσα στην ποικιλία των μέτρων μείωσης CO₂ για τα πλοία, η SSE είναι μόνο μία επιλογή. Οι πρότυπες τιμές είναι σπάνιες και κυμαίνονται από περίπου 0.5% έως 5%. Ο Winkel δηλώσε ότι το 0.44% του δυναμικό μείωσης CO₂ βασίζεται σε επιχειρήσεις σε επτά λιμάνια στην ΕΕ [16]. Ο Chatzinikolaou & ο Ventikos δηλώνουν σε μια μελέτη ότι υπάρχει δυνατότητα μείωσης του 0.96% του CO₂, ένεκα της SSE για ένα πετρελαιοφόρο. Ο Lindstad δηλώσε ότι το δυναμικό μείωσης CO₂ κυμαίνεται περίπου στο 5% για πλοία αναφοράς διαφορετικών κατηγοριών πλοίων στην ΕΕ, μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά 62%, με την προϋπόθεση ότι η προμήθεια του ηλεκτρισμού στα λιμάνια γίνεται από το εθνικό δίκτυο [10].

Αυτή η μελέτη παρέχει το δυναμικό μείωσης εκπομπών λόγω της SSE ανά κατηγορία πλοίου εάν αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από τα τρέχοντα εθνικά δίκτυα και εάν αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από πηγές με μηδενικές εκπομπές CO₂, βλ. Πίνακα 3-8 [10], και εξαιτίας του αυξημένου γεωγραφικού και χρονικού πεδίου των δεδομένων, παρέχονται περισσότερες λεπτομέρειες και βεβαιότητα σχετικά με την πραγματικό δυναμικό μείωσης του CO₂ λόγω της ηλεκτροδότησης από ξηράς.

Πίνακας 3-8. Συνολική δυνατότητα μείωσης CO₂ σε σύγκριση με το εάν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τα κλασικά εθνικά δίκτυα ή από ΑΓΠΕ, ανά κατηγορία πλοίου.

	CO ₂ reduction potential if electricity is supplied from	
	...national grids	...renewable electricity
Passenger ships	4.9%	9.1%
Combination carrier	4.9%	9.1%
Ro-pax ships	4.3%	7.1%
Container/ro-ro cargo ships	4.2%	6.4%
Chemical tankers	2.7%	4.6%
General cargo ships	2.4%	3.7%
Vehicle carriers	2.3%	3.7%
Gas carriers	2.1%	3.3%
Ro-ro ships	2.0%	3.1%
Bulk carriers	1.7%	2.9%
Oil tankers	1.5%	2.6%
Container ships	1.2%	2.1%
Refrigerated cargo carriers	1.1%	2.0%
LNG carriers	0.9%	1.3%
Other ship types	1.9%	2.9%
Average	2.2%	3.7%

Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι έχει διαπιστωθεί ότι η ακαδημαϊκή έρευνα για τη βιωσιμότητα στα λιμάνια έχει αυξηθεί αισθητά από το 2006 καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει αρχίσει να επικεντρώνεται στις περιβαλλοντικές βελτιώσεις. Η ναυτιλιακή βιομηχανία είχε επικριθεί ουκ ολίγες φορές για την έλλειψη δράσης της, ενώ η πρόοδος προς την μείωση των εκπομπών του CO₂ της ναυτιλίας ήταν αργή σε σύγκριση με άλλους τομείς. Η έρευνα επικεντρώθηκε στις εκπομπές από τη λιμενική δραστηριότητα, το εξωτερικό κόστος αυτών των εκπομπών και τις πιθανές μεθόδους μείωσης. Έτσι, η υλοποίηση της ηλεκτρικής διασύνδεσης των λιμανιών με τα πλοία, είναι μία από τις μεθόδους που συζητούνται περισσότερο.

Η έρευνα σε μεμονωμένα λιμάνια επικεντρώθηκε σε συνδέσεις ακτής υψηλής τάσης για μεγάλα πλοία, όπως κρουαζιερόπλοια και φορτηγά πλοία. Η συναίνεση είναι ότι το cold ironing είναι μια αποτελεσματική μέθοδος μείωσης των επιβλαβών εκπομπών και, αν και ακριβή μέθοδος, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων από την περίθαλψη και τα νοσήλεια ένεκα των επιπτώσεων της περιβαλλοντικής ρύπανσης στην υγεία των ανθρώπων [17]. Ο Winkel (2016) είχε υπολογίσει ότι, εάν όλα τα λιμάνια στην Ευρώπη χρησιμοποιούσαν χερσαία ενέργεια, μέχρι το 2020 ότι θα εξοικονομούσαν 2.94 δισεκατομμύρια ευρώ, κόστη που προορίζονται εξ ολοκλήρου για την υγεία, με μια μείωση των εκπομπών του CO₂ της τάξης των 800,000 τόνων. Ο Vaishnav (2016) διαπίστωσε ότι 70-150 εκατομμύρια δολάρια θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν για το κόστος υγείας, με τη χρήση εξοπλισμού OPS στο ένα τέταρτο έως τα δύο τρίτα όλων των σκαφών που ελλιμενίζονται σε λιμάνια των ΗΠΑ. Αναγνώρισαν ότι αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε ιδιωτικές απώλειες για φορείς εκμετάλλευσης, αλλά οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα μπορούσαν να παρέμβουν προκειμένου να εξισορροπήσουν το κόστος για τα πλοία και τους λιμένες, καθώς αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα καθαρό κοινωνικό κέρδος [18].

Τα έγγραφα που εστιάζουν στην πολιτική, συζητούν διεθνείς πολιτικές και κίνητρα για την αύξηση της απορρόφησης των τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών. Μερικά από αυτά τα άρθρα είναι ήδη ξεπερασμένα με τους Arduino (2011) δηλώνοντας ότι «Υπάρχει ακόμη η παρουσία πολλών εμποδίων όπως το κόστος (ενεργειακό κόστος και κόστος υποδομής), η έλλειψη τυποποίησης για τον εξοπλισμό και η έλλειψη ευρωπαϊκής νομοθεσίας». Μάλιστα, έχουν δημοσιευτεί διεθνή πρότυπα και η ΕΕ έχει εκδώσει οδηγίες για την ενθάρρυνση της χρήσης και της καθιέρωσης, συμπεριλαμβανομένης της οδηγίας 2003/96/ΕΚ που επιτρέπει

στους λιμένες να υποβάλλουν αίτηση για μειωμένο συντελεστή φόρου στην ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται απευθείας στα πλοία κατά τον ελλιμενισμό τους χρησιμοποιώντας ισχύ από ξηράς, αλλά μπορεί επίσης να είναι απαραίτητο για τα πλοία να πληρώσουν για τις απώλειες μεταφοράς και μετατροπής στο σύστημα, επιβάρυνση που εκτιμάται στο 10% (Zis et al., 2016) [15].

Μία πρόκληση της χρήσης του cold ironing, είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση που παράγεται από εθνικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Για να διασφαλιστεί ότι τα έργα είναι όσο το δυνατόν πιο φιλικά-περιβαλλοντικά, ορισμένες μελέτες έχουν εστιάσει στη συμπερίληψη της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών στο πλαίσιο της ηλεκτροδότησης. Για παράδειγμα, ο Kotrikla et al. (2017) [19] σχεδίασε ένα υβριδικό σύστημα που αποτελείται από τέσσερις ανεμογεννήτριες 1.5MW σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά 5MW για την παραγωγή όλης της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για το έργο και οι Ballini και Bozzo (2015b) διερεύνησαν τη δυνατότητα των υπεράκτιων ανεμογεννητριών να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε αγκυροβολημένα πλοία. Η πρόσφατη έρευνα που εστιάζει σε τεχνικές πτυχές της τεχνολογίας παράκτιας ηλεκτροδότησης έχει προχωρήσει πέρα από τη βασική λειτουργία και προχώρησε στη συζήτηση θεμάτων όπως: η ενσωμάτωση του OPS στο έξυπνο δίκτυο (Yigit et al., 2016), η μείωση των απωλειών από συστήματα ισχύος από ξηράς (Corrola et al. 2016) [10] και το συνδυασμό ισχύος από ξηράς με συσκευές αποθήκευσης και άλλες βοηθητικές αποθηκευτικές μονάδες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των πλοίων (Sciberras et al., 2017) [20]. Ο Sciberras et al. (2017) συζήτησε τη χρήση του cold ironing για τη φόρτιση των μπαταριών πλοίου, καθώς και τη λειτουργία των βοηθητικών κινητήρων στο λιμάνι. Με μια αύξηση της χωρητικότητας των ενσωματωμένων πηγών ισχύος στα πλοία, αυτό θα συνέβαλε ώστε το cold ironing να αποκτήσει μια μεγαλύτερη πελατειακή βάση αυξάνοντας έτσι την ελκυστικότητά του για λιμάνια. Αυτό θα ήταν ιδιαίτερα σημαντικό για το προφίλ των σκαφών στο Αμπερντιν με πολλά σκάφη υπεράκτιου εφοδιασμού (OSV) τα οποία είναι κατάλληλα για το συνδυασμό μπαταριών με κινητήρες εσωτερικής καύσης (Lindstad et al., 2017).

Σύμφωνα με μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι Ballini και Bozzo (2015) ανέλυσαν τις δυνατότητες εγκατάστασης στο λιμάνι της Κοπεγχάγης. Διαπίστωσαν ότι εάν το 60% των κρουαζιερόπλοιων ηλεκτροδοτούνταν από ξηράς, θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν ένα ισοδύναμο 2.8 εκατ. ευρώ από τα ετήσια κόστη, αλλά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης θα κόστιζε 37 εκατ. ευρώ. Οι Tseng και Pilcher (2015) εξέτασαν την αντιστάθμιση μεταξύ κόστους, καυσίμου, ηλεκτρικής ενέργειας και εξοικονόμησης εκπομπών χρησιμοποιώντας OPS (Onshore Power Supply) σε τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων, ενώ άλλα έγγραφα

επικεντρώνονται σε συγκεκριμένους παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή ο τεχνικός σχεδιασμός. Μόνο μία δημοσιευμένη περίπτωση μελέτης πραγματοποιήθηκε σε μικρά λιμάνια: ο Kotrikla (2017) υπολόγισε την ενεργειακή ζήτηση και συνεπώς την πιθανή εξοικονόμηση εκπομπών στο λιμάνι της Μυτιλήνης στη Λέσβο, σύμφωνα με ένα διαφορετικό φάσμα ενεργειακών μιγμάτων. Ωστόσο, οι συγγραφείς δεν υπολόγισαν το κόστος-όφελος της ίδιας της εγκατάστασης, το οποίο είναι προφανώς σημαντικό και μάλιστα για μικρότερα λιμάνια με χαμηλότερους οικονομικούς πόρους. Αυτή η εργασία έχει ως στόχο να καλύψει αυτό το κενό στη βιβλιογραφία καθορίζοντας όχι μόνο την εξοικονόμηση εκπομπών και τη συμβολή στα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά και το κόστος του συστήματος.

3.3.1 Υποδομή & Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Cold Ironing

Ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των πλοίων, μια από τις πλέον επιτυχημένες και αποδοτικές είναι εκείνη που αφορά την ηλεκτρική διασύνδεσή τους κατά τον ελλιμενισμό τους με το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμένα που τα φιλοξενεί. Σύμφωνα με την κεντρική ιδέα αυτής της διασύνδεσης (που απαντάται στη διεθνή ορολογία ως ship-to-shore interconnection ή alternative maritime power ή on shore power connection ή cold ironing) κατά την παραμονή στο λιμάνι, στο πλοίο παύουν να λειτουργούν όλες οι θερμικές μηχανές (συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρογεννητριών), ενώ οι όποιες ενεργειακές ανάγκες (οι οποίες είναι εν γένει ηλεκτρικές) καλύπτονται μέσω της ηλεκτροδότησης από την ξηρά. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπεται στην περιοχή του λιμένα τόσο η μόλυνση λόγω των αέριων ρύπων του πλοίου όσο και ο θόρυβος που προκαλείται από τη λειτουργία των μεγάλης ισχύος θερμικών μηχανών. Εξάλλου, σημειώνεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια με την οποία τα λιμάνια τροφοδοτούν τα πλοία προέρχεται από πηγές κατά κανόνα περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον (και σε σημαντικό ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), δηλαδή με μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα).

Επιπλέον, σε μία προσπάθεια επέκτασης αυτής της δράσης, έχει πλέον καταστεί τεχνικά και οικονομικά εφικτό τα πλοία που καλύπτουν πλόες μικρών αποστάσεων (όπως είναι π.χ. τα επιβατηγά/οχηματαγωγά που εξυπηρετούν πορθμειακές γραμμές διασύνδεσης γειτονικών λιμένων/νησιών) να είναι αμιγώς ηλεκτρικά, στηριζόμενα σε συνδυασμό μπαταριών και ηλεκτρικών κινητήρων πρόωσης [21].

Σε αυτό το πλαίσιο ευθυγράμμισης με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, τόσο των νεότευκτων πλοίων όσο και των υπάρχοντων πλοίων (μέσα από διαδικασίες μετασκευής), αναβαθμίζεται και ο ρόλος των λιμένων που πρέπει να υποστηρίξουν τις πράσινες δράσεις των πλοίων, βελτιώνοντας το σύνολο των προσφερόμενων υπηρεσιών τους.

Έτσι, τα λιμάνια καλούνται να αναβαθμίσουν τις ενεργειακές υποδομές τους παρέχοντας με ασφαλή τρόπο τις ηλεκτρικές διασυνδέσεις που αφορούν είτε απλή ηλεκτροδότηση πλοίου με δυνατότητα «σύνδεσης cold ironing», είτε ηλεκτροφόρτιση πλοίων που έχουν ως κύρια πηγή ενέργειας ηλεκτρικούς συσσωρευτές.

Η υλοποίηση της ηλεκτρικής διασύνδεσης απαιτεί μία σειρά από προσεκτικές μελέτες των δεδομένων που σχετίζονται με τον λιμένα, το ηλεκτρικό δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή του λιμένα και τα προς διασύνδεση πλοία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας εγκατάστασης αποτελεί η Εικόνα 3-6.



Εικόνα 3-6: Ολοκληρωμένη εγκατάσταση ψυχρής εκκίνησης πλοίου-λιμένα (<https://library.adbb.com/>).

Παρακάτω εξηγούνται επιγραμματικά οι θέσεις της παραπάνω εικόνας.

- Ένας τοπικός υποσταθμός μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια των 20-100 kV, που παρέχονται από το εθνικό δίκτυο στην απαιτούμενη τάση των 6-20 kV αντίστοιχα.
- Τα καλώδια παρέχουν την τάση των 6-20 kV στο σύστημα παροχής του λιμανιού.
- Τα περισσότερα πλοία απαιτούν τροφοδοσία στα 60 Hz, οπότε στο στάδιο αυτό γίνεται μετατροπή των 50 Hz του εθνικού δικτύου σε 60 Hz σύμφωνα με το πρότυπο.
- Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στο τερματικό σύστημα του λιμανιού μέσω καλωδίων υψηλής τάσης.

- Για εύκολο χειρισμό, τα καλώδια, που συνδέουν το τερματικό του λιμανιού με το πλοίο, συνδέονται χρησιμοποιώντας ηλεκτρομηχανικά συστήματα τροφοδοσίας με καλώδια που είναι τοποθετημένα σε «πύργο» τροχών.
- Ηυποδοχή πάνω στο πλοίο για το καλώδιο σύνδεσης.
- Ηηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται στη συνέχεια, αν χρειάζεται, από υψηλή τάση σε τάση των 400 V, για χρήση στα δευτερεύοντα συστήματα του πλοίου. Η προτεινόμενη θέση για το μετασχηματιστή αυτόν είναι μέσα στο μηχανοστάσιο, δίπλα στον κεντρικό πίνακα.
- Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται σε όλη την εγκατάσταση και οι βοηθητικά κινητήρες απενεργοποιούνται.

Πρόσθετα η συνύπαρξη δύο δικτύων επιτρέπει εύκολα την ανεξάρτητη αναβάθμιση/επέκταση/συντήρηση ενός εκ των δύο. Ειδικά αν το δίκτυο διανομής των λοιπών λιμενικών εγκαταστάσεων προϋπάρχει στο υφιστάμενο λιμάνι και προστίθεται απλά στο δίκτυο ψυχρής εκκίνησης [21]. Συνήθως η διάταξη της ψυχρής εκκίνησης συνδέεται με το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία του τερματικού συστήματος του λιμανιού από τις λοιπές λιμενικές εγκαταστάσεις. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους:

- Πρώτον, γιατί έτσι προκύπτει ότι μια πιθανή αστοχία τους συστήματος ψυχρής εκκίνησης ή πρόκληση φαινομένων ποιότητας ισχύος, πχ αστάθεια τάσης, δε θα επηρεάσει σημαντικά το δίκτυο διανομής των λοιπών λιμενικών εγκαταστάσεων.
- Δεύτερον, για να δοθεί η δυνατότητα διαφορετικών μετρήσεων της κατανάλωσης ενέργειας, εάν απαιτείται.

Ωστόσο, υπάρχουν διαθέσιμα και άλλα μοντέλα συστημάτων ψυχρής εκκίνησης, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου που μελετάται και με τις διάφορες ανάγκες κάθε λιμανιού στο οποίο το πλοίο αυτό θα συνδεθεί.

Τώρα, πιο συγκεκριμένα, τα υποψήφια, κατά κανόνα πλοία για μια τέτοια διασύνδεση είναι όσα προσδένουν στο λιμάνι. Στον Πίνακα 3-9 [11] συνοψίζονται ενδεικτικά οι τύποι πλοίων που προσφέρονται για ηλεκτρική διασύνδεση μαζί με τυπικές τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών τους (τάση, συχνότητα, μέση ενεργειακή απαίτηση και απαίτηση για δυνατότητα συγχρονισμένης λειτουργίας).

Πίνακας 3-9. Τύποι πλοίων και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους κατά τον ελλιμενισμό.

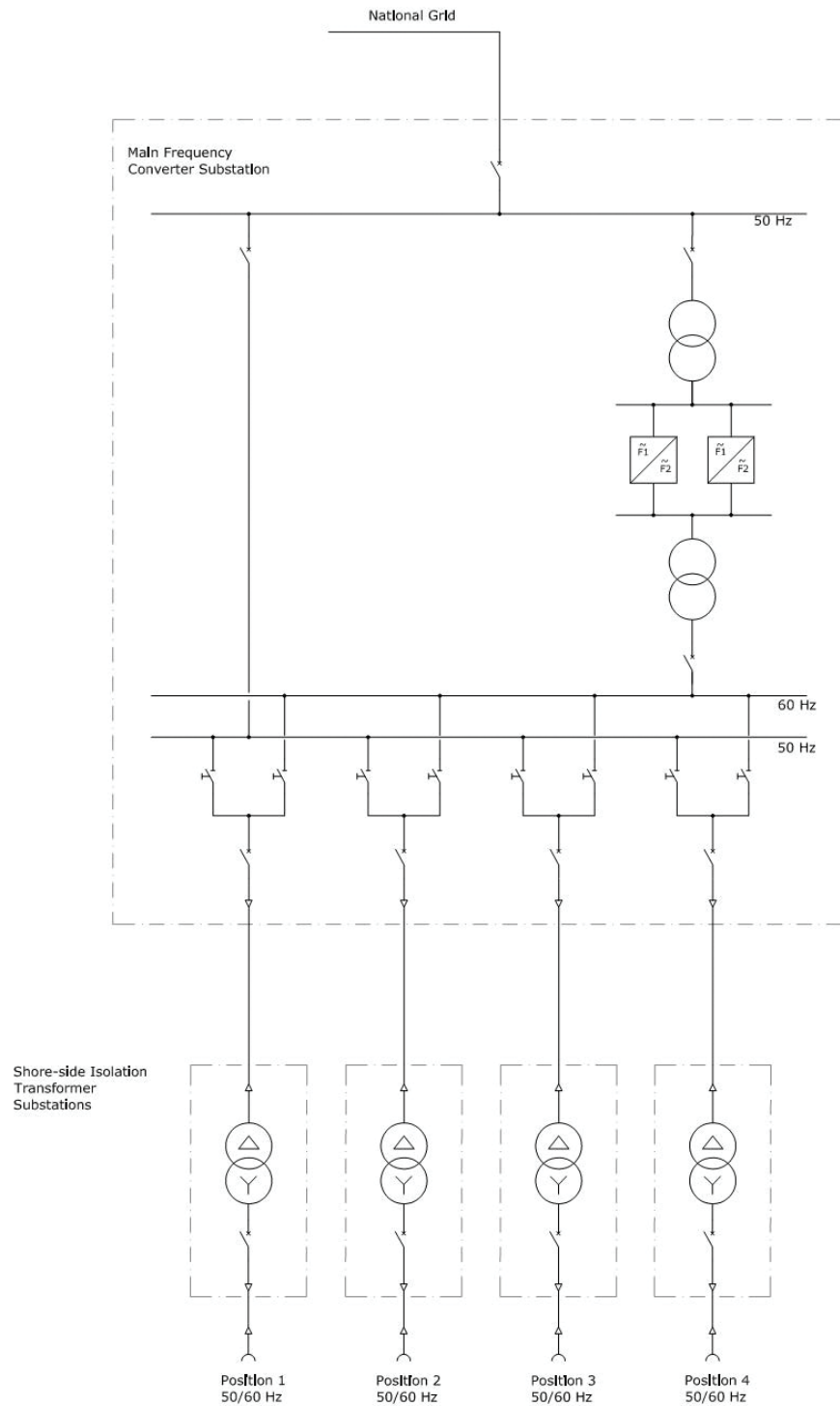
Τύπος Πλοίου	Τάση, Συχνότητα και Μέση απαίτηση ηλεκ. ενέργειας κατά τον ελλιμενισμό	Απαιτείται παράλληλη (συγχρονισμένη) λειτουργία με το ηλεκτρικό δίκτυο
Μεταφοράς Εμπορευματοκιβωτίων	6.6 kV, 60 Hz, 1.5 MW	Συνήθως Ναι
Επιβατηγά – Οχηματαγωγά	400V, 50 Hz, 200 kW ή 440V, 60 Hz, 200 kW	Εξαρτάται
Κρουαζιερόπλοια	11 kV, 60 Hz, 6 MW	Ναι

Από τεχνικής άποψης, οι ηλεκτρικές διασυνδέσεις διέπονται από τους κανονισμούς IEC της σειράς 80005-1,2,3:

- Εάν η διασύνδεση είναι ονομαστικής τάσης μεγαλύτερη των 1,000 V, τότε πρέπει να ακολουθείται το πρότυπο 80005-1, το οποίο έχει πρακτική εφαρμογή όταν η ζητούμενη ισχύς είναι μεγαλύτερη του 1 MW σε αντίθετη περίπτωση ακολουθείται το πρότυπο 80005-3.
- Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας του πλοίου πρέπει να συνεργάζεται με αυτό του λιμένα (ειδικά στην περίπτωση που οι γεννήτριες του πλοίου μπορούν να συγχρονίζονται με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, για να μη λαμβάνει χώρα στιγμιαία διακοπή λειτουργίας (blackout)) σύμφωνα με το πρότυπο 80005-2

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, δημιουργούνται ερωτήματα για τις δυνατότητες υλοποίησης (όχι μόνον όσον αφορά στη χρηματοδότηση) σε μεγάλη κλίμακα έργων ηλεκτρικής διασύνδεσης σε όλη την επικράτεια. Για τον λόγο αυτόν, στη συνέχεια, αναπτύσσεται το σκεπτικό της ένταξης των ηλεκτρικών διασυνδέσεων στην αναπτυξιακή προοπτική των λιμένων μέσα από το πρίσμα αξιοποίησης των έξυπνων μικρο-δικτύων που γνωρίζουν μεγάλη άνθηση διεθνώς αλλά και δράσεων αμοιβαίως επωφελών (win-win) για όλα τα συμμετέχοντα μέρη.

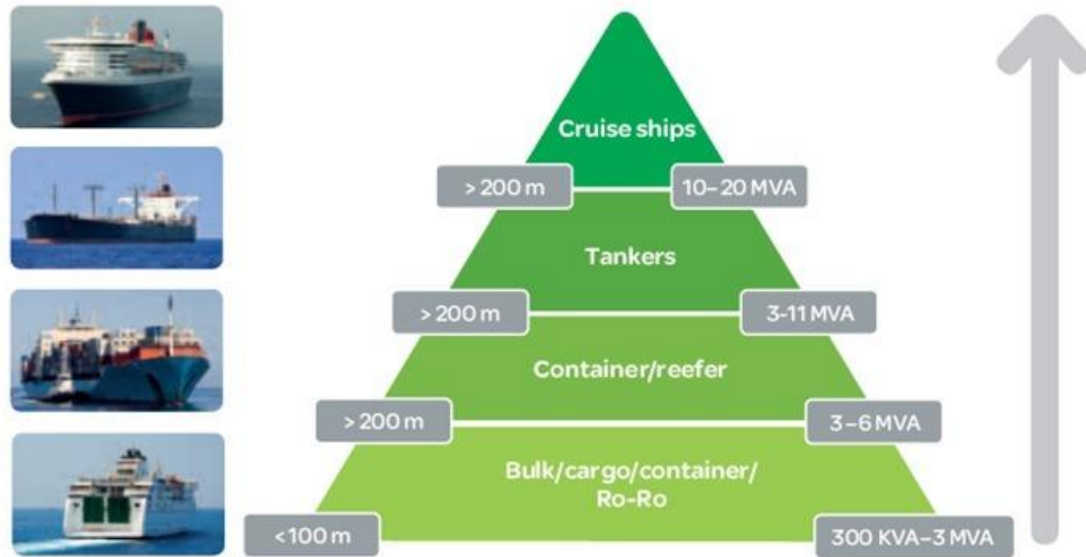
Επικεντρώνοντας στον εξοπλισμό «cold ironing» στην πλευρά του λιμένα, αυτός περιλαμβάνει-όπως φαίνεται από τη γενική διαμόρφωση-τα κύρια μέρη που φαίνονται στην Εικόνα 3-7 και που είναι τα εξής:



Εικόνα 3-7: Τυπικό μονογραμμικό διάγραμμα σταθμών ηλεκτρικής διασύνδεσης [21].

- Ο υποσταθμός διανομής: Η ονομαστική ισχύς των υφιστάμενων υποσταθμών των λιμένων, κατά κανόνα, δεν επαρκεί για να καλύψει τις υψηλές (και ενίοτε ταυτόχρονα πολλαπλές) ανάγκες σε

ηλεκτρική ενέργεια των πλοίων που προσδένουν. Με δεδομένο το γεγονός ότι οι ενεργειακές ανάγκες των ελλιμενιζόμενων πλοίων πικίλλουν από 300 kVA και 20 MVA (Εικόνα 3-8), είναι σχεδόν επιβεβλημένη η δημιουργία ενός τέτοιου υποσταθμού.



Εικόνα 3-8: Ενεργειακές ανάγκες πλοίων βάσει του μήκους τους [11].

- Οι μετασχηματιστές-διανομείς: Για τη μεταφορά ισχύος από τον κεντρικό υποσταθμό προς τις θέσεις ηλεκτροδότησης στις προβλήτες πρόσδεσης απαιτείται αφενός αλλαγή επιπέδου τάσης (ώστε αυτό να προσαρμοσθεί στην τάση λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη την όποια πτώση τάσης) και αφετέρου (φτάνοντας πλησίον του πλοίου) γαλβανική απομόνωση (με λόγο μετασχηματισμού τουλάχιστον 1:1), ώστε το όποιο σφάλμα λάβει χώρα στην πλευρά του πλοίου να μην επηρεάσει το υπόλοιπο δίκτυο.
- Ο μετατροπέας συχνότητας: Η μετατροπή της συχνότητας της τάσης λειτουργίας από 50 Hz του δικτύου της ξηράς στα 60 Hz, στην οποία λειτουργούν τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας της πλειονότητας των πλοίων, επιτυγχάνεται με τη βοήθεια (σταπών) διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος (η λειτουργία τους βασίζεται στην ανόρθωση από συχνότητα 50 Hz σε συνεχές ρεύμα και τάση, και στη συνέχεια στην αντιστροφή από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα και τάση 60 Hz).
- Το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης: Για την παρακολούθηση, τη διαχείριση και τον έλεγχο της όλης διαδικασίας ηλεκτροδότησης απαιτείται ένα σύστημα εποπτείας τύπου SCADA.

Από την άλλη πλευρά, πάνω στο πλοίο ο εξοπλισμός διασύνδεσης («cold ironing») [21] πρέπει να περιλαμβάνει (Εικόνα 3-9) :

- α) Πίνακα διασύνδεσης ξηράς («shoreconnection») εγκατεστημένο σε εύκολα προσβάσιμη θέση (στο ανώτερο κατάστρωμα και κοντά στο σημείο πρόσδεσης του πλοίου) και με κατάλληλη διαμόρφωση, ώστε να μεταφέρει

την ηλεκτρική ενέργεια της διασύνδεσης στον κεντρικό πίνακα διανομής του πλοίου.

- β) Σύστημα ενεργειακής διαχείρισης, το οποίο πρέπει να διαθέτει (με κατάλληλη τροποποίηση) τη δυνατότητα παρακολούθησης της διασύνδεσης, ενίοτε και με επιπλέον δυνατότητα παραλληλισμού των ηλεκτρογεννητριών (ώστε να αποφεύγεται η έστω και μικρής διάρκειας νέκρωση του δικτύου του πλοίου κατά τη μετάβαση από τον ένα τρόπο παροχής ενέργειας στον άλλο).
- γ) Ειδικό διασυνδεδεικό καλώδιο (Cable Management System-CMS) μεταξύ του σημείου ηλεκτροδότησης στο λιμάνι και του πίνακα διασύνδεσης στο πλοίο, το οποίο καλώδιο πρέπει να παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία ώστε να επιτυγχάνεται αλλά και να διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του ελλιμενισμού η ασφαλής ηλεκτροδότηση του πλοίου.



Εικόνα 3-9: Φωτογραφίες από την εφαρμογή στο λιμάνι της Κυλλήνης: α) Το σύστημα διαχείρισης του ηλεκτρικού καλωδίου διασύνδεσης με τον πίνακα στη θέση ηλεκτροδότησης. β) Ο πίνακας διασύνδεσης με την ξηρά, πάνω στο κατάστρωμα του πλοίου. γ) Λεπτομέρεια του ραμματολήπτη της ηλεκτρικής διασύνδεσης [21].

Μάλιστα, για το λόγο αυτό, σε συνέχεια των παραπάνω, το CMS πρέπει να διαθέτει:

- Ένα καλώδιο ισχύος σχετικά εύκαμπτο (ενδεχομένως να απαιτούνται ξεχωριστά και περισσότερα του ενός καλώδια ανά φάση για την επίτευξη αυτού του στόχου).
- Μηχανισμό που να υποβοηθά την έλιξη/αποέλιξη αλλά και τη συγκράτηση του καλωδίου ανεξαρτήτως των επικρατουσών καιρικών συνθηκών (Εικόνα 3-10).



Εικόνα 3-10: Σύστημα διαχείρισης καλωδίων (<https://www.zpmc.eu/>).

- Ενσωματωμένο εσωτερικά τηλεπικοινωνιακό καλώδιο («πιλότο»), ώστε να επικοινωνεί το σύστημα ενεργειακής διαχείρισης του πλοίου με αυτό του λιμένα. Κατά την ηλεκτροδότηση στο λιμάνι τα πλοία παύουν τη λειτουργία όλων των μηχανών τους, δηλαδή και των ηλεκτρογεννητριών, και διασυνδέονται με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο αναλαμβάνει να καλύψει τις ανάγκες του πλοίου σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3-11: Ειδικό εμπορευματοκιβώτιο με ενσωματωμένο σύστημα διαχείρισης καλωδίων και switchgear (<https://www.wartsila.com/encyclopedia/tem/coldironing/>).

3.3.2 Το πρόβλημα του Αγειώτου Δικτύου Πλοίου και του Γειωμένου Ξηράς

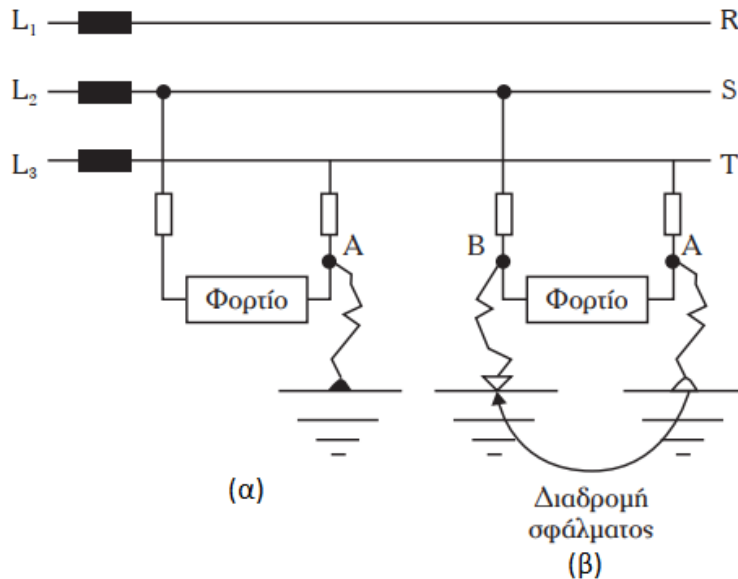
Η προστασία έναντι του ηλεκτρικού ρεύματος και ειδικά του ανθρώπου έναντι της ηλεκτροπληξίας εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν εντός της τροφοδοτούμενης εγκατάστασης [22]. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν και οι απαιτήσεις που υπάρχουν, τόσο από πλευράς αξιοπιστίας, όσο και από πλευράς προστασίας των ατόμων που εργάζονται εντός του χώρου αυτού.

Μία ηλεκτρική εγκατάσταση μέσης τάσεως ενός εμπορικού πλοίου μπορεί να έχει ηλεκτρικό δίκτυο πρωτεύουσας διανομής με τριφασικό σύστημα τριών αγωγών χωρίς ουδέτερο αγωγό. Αυτό λειτουργεί με αγείωτο ουδέτερο κόμβο ή με ουδέτερο κόμβο συνδεδεμένο με τη γάστρα του πλοίου μέσω μίας ωμικής αντίστασης ή μέσω ενός πηνίου Petersen. Το πηνίο Petersen είναι μία ηλεκτρική διάταξη η οποία αντιπροσωπεύεται από αυτεπαγωγή και σκοπός του πηνίου αυτού είναι η δημιουργία συνθηκών συντονισμού σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση, οπότε ένα μονοφασικό σφάλμα γης μπορεί να εξαλειφθεί αυτόματα. Γενικά για το δίκτυο του πλοίου προτιμάται το αγείωτο σύστημα, διότι σε περίπτωση ενός μονοφασικού σφάλματος εξασφαλίζεται η συνέχεια λειτουργίας της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως. Αν σε μία γραμμή μεταφοράς ενός γειωμένου συστήματος συμβεί ένα μονοφασικό σφάλμα, τότε αυτό ισοδυναμεί με βραχυκύκλωμα της γεννήτριας με τη γάστρα του πλοίου. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως το οποίο θα κυκλοφορήσει, θα ενεργοποιήσει τα συστήματα προστασίας οπότε θα απομονωθεί το κύκλωμα του σφάλματος. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να προκαλέσει μία επικίνδυνη κατάσταση για την ηλεκτρική εγκατάσταση του πλοίου, ειδικά αν το κύκλωμα στο οποίο εμφανίστηκε το σφάλμα περιλαμβάνει ζωτικής σημασίας συστήματα, όπως εκείνο του πηδαλίου.

Μελετώντας την Εικόνα 3-12, αν ένα σφάλμα γης συμβεί στο σημείο Α ενός αγείωτου συστήματος διανομής [Εικόνα 3-12(α)], τότε αυτό δεν αποτελεί κίνδυνο για το δίκτυο, οπότε συνεχίζεται κανονικά η λειτουργία της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως. Το σφάλμα όμως αυτό θα πρέπει να εντοπιστεί μέσω των καταλλήλων διατάξεων και οργάνων, γιατί έτσι αποτρέπεται η πιθανή ανάπτυξη ενός δεύτερου σφάλματος που θα ήταν καταστροφικό για το δίκτυο. Στην περίπτωση του μονοφασικού σφάλματος γης δεν υπάρχει δρόμος επιστροφής για το ρεύμα σφάλματος στην πηγή τάσεως, οπότε στο δίκτυο δεν κυκλοφορεί ρεύμα βραχυκυκλώσεως.

Αν στη συνέχεια συμβεί και δεύτερο σφάλμα, σημείο Β, [Εικόνα 3-12(β)] σε άλλη γραμμή του συστήματος, τότε τα δύο μονοφασικά σφάλματα ταυτόχρονα ισοδυναμούν με βραχυκύκλωμα της γεννήτριας με τη γάστρα του πλοίου, έτσι θα ενεργοποιηθούν τα συστήματα ηλεκτρικής προστασίας και η αποσύνδεση ενδεχομένως μηχανισμών ζωτικής σημασίας θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια του πλοίου. Ένα αγείωτο σύστημα απαιτεί δύο σφάλματα ώστε να κυκλοφορήσει ρεύμα βραχυκυκλώσεως στο δίκτυο και να λειτουργήσουν τα συστήματα ηλεκτρικής προστασίας, ενώ το γειωμένο σύστημα απαιτεί μόνο ένα μονοφασικό σφάλμα.

Γενικά το αγείωτο σύστημα προτιμάται διότι είναι αποτελεσματικότερο για τη συνεχή λειτουργία της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως. Ωστόσο, είναι πιο δύσκολη η εύρεση του σημείου βραχυκύκλωσης.



Εικόνα 3-12: (α) Μονοφασικό σφάλμα γης, (β) Διπλό σφάλμα γης σε αγείωτο σύστημα [22].

Από την πλευρά της στεριάς, το δίκτυο θα πρέπει να είναι μονωμένο και κατάλληλα γειωμένο για αποφυγή άμεσης ή έμμεσης ηλεκτροπληξίας οποιουδήποτε προσώπου στο λιμένα. Στο χώρο του λιμένα σε περίπτωση ενδεχόμενης βλάβης μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας η εγκατάσταση για την προστασία των ανθρώπων από ηλεκτροπληξία, χωρίς να δημιουργήσει κάποιο πρόβλημα ζωτικής σημασίας. Τα δίκτυα ξηράς που σχετίζονται άμεσα με την τροφοδοσία αγείωτων πλοίων έχουν μία βασική διαφορά στη μορφή του δικτύου σε ΙΤ. Σε ένα σύστημα σύνδεσης των γειώσεων ΙΤ όλα τα ενεργά μέρη είναι μονωμένα προς τη γη ή ένα σημείο συνδέεται με τη γη μέσω μίας σύνθετης αντίστασης μεγάλης τιμής, ενώ τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης είναι γειωμένα. Αν γειώνεται ένα σημείο του συστήματος τροφοδότησης, αυτό μπορεί να είναι είτε ο ουδέτερος κόμβος, είτε ένας τεχνητός ουδέτερος που δημιουργείται από μία διάταξη τριών ίσων σύνθετων αντιστάσεων μεγάλης τιμής. Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι [22]. Η διαφοροποίηση στα αγείωτα πλοία έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει ουδέτερος αγωγός και το σύστημα είναι αγείωτο, επηρεάζοντας τη φιλοσοφία και την πρακτική προστασίας του προσωπικού.

Η τεχνολογία ηλεκτροδότησης εφαρμόζεται με επιτυχία τις τελευταίες δύο δεκαετίες σε λιμάνια της βόρειας Ευρώπης (π.χ. Γκέτεμποργκ, Μπέργκεν, Ρότερνταμ) αλλά και της Αμερικής (π.χ. στα λιμάνια της Πολιτείας της Καλιφόρνια). Στην Ελλάδα το πρώτο εμπορικό λιμάνι με εφαρμογή ηλεκτρικής διασύνδεσης είναι το λιμάνι της Κυλλήνης, εφαρμογή που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού έργου EL.E.MED. («Electrification in the Eastern Mediterranean», «Ηλεκτροκίνηση στην Ανατολική Μεσόγειο»), με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή “Innovation and Networks Executive Agency” [INEA] και από το Ταμείο Συνοχής.

Πιο συγκεκριμένα, το έργο ELEMED είναι μια σημαντική πρωτοβουλία που στοχεύει στη χρήση της χερσαίως παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις θαλάσσιες μεταφορές της περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου. Η δράση στοχεύει στη μελέτη όλων των τεχνικών, κανονιστικών, οικονομικών ζητημάτων και ζητημάτων ασφάλειας που σχετίζονται με την επίτευξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα και την αποδοτική χρήση των πόρων για υποδομές cold ironing στα λιμάνια κατά μήκος της θαλάσσιας οδού της Ανατολικής Μεσογείου. Το έργο αυτό, που πρόκειται να ξεκινήσει σύντομα, θα είναι το πρώτο κρίσιμο βήμα για τον ηλεκτρικό ανεφοδιασμό και τις μηδενικές εκπομπές ρύπων των πλοίων στις θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων. Στο πλαίσιο του έργου ELEMED περιλαμβάνονται μελέτες σκοπιμότητας για εφαρμογή ηλεκτρικής διασύνδεσης στα λιμάνια της Κυλλήνης, του Πειραιά, της Λεμεσού (Κύπρος) και του Luka-Korper (Σλοβενία), ενώ στην Κυλλήνη έχει προδιαγραφεί η πιλοτική υλοποίηση του έργου. Το έργο χρηματοδοτείται από τα Διευρωπαϊκά Δίκτυα και συμμετέχουν σε αυτό οκτώ (8) εταιρείες από Ελλάδα, Κύπρο και Σλοβενία, ενώ συντονιστής φορέας είναι η εταιρεία Hellenic Lloyd’s μέλος του Ομίλου Lloyd’s Register (LR) και τοπικός αντιπρόσωπός του στην Ελλάδα.

Ήδη η εγκατάσταση της Κυλλήνης αποτελεί το εφαλτήριο για την ευρύτερη υιοθέτηση της τεχνολογίας ηλεκτροδότησης πλοίων στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Πρόκειται για μια πραγματική εφαρμογή, η οποία εγκαθιστά μια θέση ηλεκτροδότησης με την οποία θα διασυνδεθεί το Fior Di Levante που εκτελεί δρομολόγια προς Ζάκυνθο και Κεφαλονιά, ενώ προβλέπει τέσσερις επιπλέον θέσεις ηλεκτροδότησης και μία θέση ηλεκτροφόρτισης. Είναι ένα φιλόδοξο project, το οποίο όμως θα ανοίξει τον δρόμο ώστε μεγάλα λιμάνια της χώρας, όπως ο Πειραιάς, να γίνουν σύγχρονοι ενεργειακοί κόμβοι, τροφοδοτώντας τη ναυτιλία με καθαρή ενέργεια. Ταυτόχρονα, ακολουθώντας τα

πρωτοπόρα παραδείγματα της Σκανδιναβίας, η οποία έχει ξεκινήσει μια πραγματική επανάσταση στις πράσινες θαλάσσιες μεταφορές, στα πλαίσια της δράσης ELEMED σχεδιάζεται ένα πλήρως ηλεκτρικό επιβατηγό διπλής γάστρας (καταμαράν), χωρητικότητας πλέον των 1,000 επιβατών, το οποίο δύναται να διανύει απόσταση 17-20 ναυτικών μιλίων, προβλέποντας την εγκατάσταση της μεγαλύτερης μπαταρίας σε πλοίο στην Ευρώπη [23].

Δεν είναι τυχαίο που νησιωτικές χώρες όπως η Νορβηγία είναι ηγέτιδες στη χρήση ηλεκτρικών πλοίων. Οι δυνατότητες που προκύπτουν από την ηλεκτρική πρόωση των πλοίων είναι “κομμένες και ραμμένες” για θαλάσσιες συγκοινωνίες μικρών αποστάσεων και μεγάλης συχνότητας. Μπορεί κανείς να αναλογιστεί τα οφέλη που θα προκύψουν από την ευρεία εφαρμογή της υβριδικής αυτής τεχνολογίας στις ακτοπλοϊκές γραμμές μεταξύ των ελληνικών νησιών και πέραν της μείωσης των τοπικών ρύπων, τα ηλεκτρικά πλοία προσφέρουν μια μοναδική ταξιδιωτική εμπειρία, χωρίς θόρυβο και αναταράξεις, και το κυριότερο ενεργειακά αποδοτικές μεταφορές και μικρότερα λειτουργικά κόστη. Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπ’ όψιν τη μορφολογία του ελληνικού νησιωτικού πλέγματος, το πάντρεμα μεταξύ της ναυτιλίας με τη λειτουργία πράσινων ηλεκτρικών πλοίων και της ενέργειας με την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων στα νησιωτικά λιμάνια που θα μετατρέπουν τον άφθονο ήλιο και άνεμο σε ηλεκτρική ενέργεια, διανοίγει τεράστιες δυνατότητες βιώσιμης ανάπτυξης και εκσυγχρονισμού των ελληνικών νησιωτικών περιοχών, καθώς και ενίσχυσης των θαλάσσιων διαδρομών, εντάσσοντας τα κοντινά νησιά στον αστικό ιστό της ηπειρωτικής Ελλάδας.

Για τις περιπτώσεις που η ηλεκτρική ισχύς του υπάρχοντος δικτύου δεν επαρκεί για τη φόρτιση των μπαταριών των πλοίων κατά την παραμονή τους στο λιμάνι σε εύλογο χρόνο, όπως μπορεί να συμβαίνει στα απομακρυσμένα μη διασυνδεδεμένα νησιά, η τεχνολογία δίνει λύσεις, με τις μπαταρίες κοινής χρήσης (battery swapping). Το πλοίο κατά την αποβίβαση ανταλλάσσει, «σε ρυθμούς pit-stop», την αποφορτισμένη μπαταρία του με μια κοινόχρηστη μπαταρία, η οποία έχει φορτίσει κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου υπάρχει προνομιακή τιμή στο ρεύμα. Κατά αυτόν τον τρόπο, τα μέχρι σήμερα ασύμφορα και κρατικά επιδοτούμενα δρομολόγια άγονων γραμμών μπορούν να γίνουν βιώσιμα, πιο αποδοτικά και πιο συχνά. Μάλιστα, για το λόγο αυτό έχει κατασκευαστεί το διευρωπαϊκό δίκτυο (TEN-T), ένα ευρύ δίκτυο: σιδηροδρομικών γραμμών, δρόμων, εσωτερικών πλωτών οδών, διαδρομών θαλάσσιων μεταφορών, λιμανιών, αεροδρομίων και τερματικών σιδηρόδρομων. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, το κεντρικό δίκτυο (Εικόνα3-13) περιλαμβάνει το πιο σημαντικές συνδέσεις καθώς και τις συνδέσεις των πιο σημαντικών κόμβων [21],[24].



Εικόνα 3-13: Διαδρομές του κεντρικού ευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών (TEN-T) [24].

Τώρα, σε ότι αφορά μια πιο συνολική εικόνα, στον Πίνακα 3-10 [25] που ακολουθεί, υπάρχουν οι ενδεικτικές εγκαταστάσεις ψυχρής εκκίνησης στους λιμένες παγκοσμίως, όπως έχουν καταγραφεί μέχρι το 2017.

Όμως οι δράσεις ενεργειακής αναβάθμισης των λιμένων δεν σταματούν στην ηλεκτροδότηση των ελλιμενιζόμενων πλοίων [21]. Έτσι, σε επόμενα στάδια τα λιμάνια θα πρέπει να καταστούν-εκτός από συγκοινωνιακοί-και ενεργειακοί κόμβοι, ενσωματώνοντας την τεχνολογία των έξυπνων μικροδικτύων με δυνατότητες για:

- Ιδιοπαραγωγή (π.χ. από φωτοβολταϊκές συστοιχίες και από μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες εντός της ζώνης δικαιοδοσίας των λιμένων).
- Αποθήκευση και προσφορά πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας προς τα πλοία και τους λοιπούς μεγάλους καταναλωτές.
- Ηλεκτρική ενέργεια αμφίδρομης ροής και αποθήκευσης.
- Εξομάλυνση αιχμών ζήτησης με κεντρική παρακολούθηση.
- Διαχείριση των ενεργειακών συναλλαγών από σύγχρονα κέντρα διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Φιλοξενία σταθμών φόρτισης ηλεκτροκινούμενων οχημάτων κ.α.κ

Πίνακας 3-10. Ενδεικτικές εγκαταστάσεις ψυχρής εκκίνησης λιμένων (WPCI, 2017).

Έτος	Ονομασία Λιμένα	Χώρα	Ισχύς [MW]	Συχνότητα [Hz]	Τάση (kV)	Τύποι Πλοίων
2000-2010	Gothenburg	Σουηδία	1.25-2.5	50 & 60	6.6 & 11	RoRo, RoPAX
2000	Zeebrugge	Βέλγιο	1.25	50	6.6	RoRo
2001	Juneau	ΗΠΑ	7-9	60	6.6 & 11	Cruise
2004	Los Angeles	ΗΠΑ	7.5-60	60	6.6	Container, Cruise
2005-2006	Seattle	ΗΠΑ	12.8	60	6.6 & 11	Cruise
2006	Kemi	Φινλανδία	N/A	50	6.6	RoPax
2006	Kotka	Φινλανδία	N/A	50	6.6	RoPax
2006	Oulu	Φινλανδία	N/A	50	6.6	RoPax
2006	Stockholm	Σουηδία	N/A	N/A	N/A	N/A
2008	Antwerp	Βέλγιο	0.8	50 & 60	6.6	Container
2008	Lübeck	Γερμανία	2.2	50	6	RoPax
2009	Vancouver	Καναδάς	16	60	6,6 & 11	Cruise
2010	San Diego	ΗΠΑ	16	60	6,6 & 11	Cruise
2010	San Francisco	ΗΠΑ	16	60	6,6 & 11	Cruise
2010	Verkö, Karlskrona	Σουηδία	2.5	50	N/A	Cruise
2010	Amsterdam	Ολλανδία	N/A	N/A	N/A	N/A
2011	Long Beach	ΗΠΑ	16	60	6,6 & 11	Cruise
2011	Oslo	Νορβηγία	4.5	50	11	Cruise
2011	Prince Rupert	Καναδάς	7.5	60	6.6	Container
2012	Rotterdam	Ολλανδία	2.8	60	11	RoPax
2012	Oakland	ΗΠΑ	N/A	N/A	N/A	N/A
2012	Ystad	Σουηδία	6.25-10	50 & 60	11	Cruise
2012	Helsinki	Φινλανδία	N/A	N/A	N/A	N/A
2013	Trelleborg	Σουηδία	0-3.2	50	10.5	RoPAX
2014	Riga	Λετονία	N/A	N/A	N/A	N/A
2015	Bergen	Νορβηγία	N/A	N/A	N/A	N/A
2015	Hamburg	Γερμανία	12	50 & 60	6,6 & 11	Cruise
2015	Civitavecchia	Ιταλία	N/A	N/A	N/A	N/A
2017	Marseille	Γαλλία	4	60	11	Ferry

Παροχή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ξηράς συναρτήσεσι του Χρόνου Ελλιμενισμού και του Τύπου των Πλοίων

4

Σε αυτήν την ενότητα, ο μέσος χρόνος ελλιμενισμού καθώς και η βοηθητική ισχύς από τις ηλεκτρογεννήτριες συγκρίνεται με τις βιβλιογραφικές τιμές για μεμονωμένες κατηγορίες πλοίων. Σε αυτή τη βάση, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μεμονωμένων λιμένων αλλά και ολόκληρων χωρών παρουσιάζονται σε διαφορετικά επίπεδα σχετικά με την ωριαία, εβδομαδιαία και ετήσια ζήτησή της. Το δυναμικό μείωσης των εκπομπών για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς από εθνικά δίκτυα συζητείται ακολουθούμενο από την αξιολόγηση αβεβαιότητας στις εισερχόμενες παραμέτρους και παραδοχές μοντελοποίησης του όλου συστήματος. Η ενότητα ολοκληρώνεται με μια συζήτηση για τις πιθανότητες, τις προκλήσεις και τις προειδοποιήσεις της παροχέτευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς ενώ οι υπάρχουσες μελέτες έχουν περιοριστεί σε περιορισμένο αριθμό πλοίων και λιμανιών, με τη μελέτη αυτή να παρουσιάζει δεδομένα από περιπτώσεις περισσότερων από 10,000 πλοία [10].

4.1 ΧΡΟΝΟΣ ΕΛΛΙΜΕΝΙΣΜΟΥ ΠΛΟΙΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥΣ

Ο υπολογισμός του χρόνου των πλοίων που είναι αγκυροβολημένα έχει αξιολογηθεί με βάση τις διάφορες κατηγορίες πλοίων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-1. Η μεγάλη πλειοψηφία των πλοίων διαμένει στο λιμάνι για λιγότερο από 2.5 ημέρες. Ωστόσο, ο μέσος χρόνος ελλιμενισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του πλοίου και μπορεί να υπόκειται σε σημαντική διαφορά. Τα πλοία χύδην ξηρού φορτίου για παράδειγμα, παραμένουν στο λιμάνι για λίγες ημέρες ή και εβδομάδες, χρονικό διάστημα που μπορεί να παρατείνεται καθώς υπάρχουν μέρες όπου το χύδην ξηρό φορτίο δεν μπορεί να εκφορτωθεί, όπως για παράδειγμα σε βροχερές καιρικές συνθήκες. Σε αυτή την περίπτωση αξίζει να αναφερθεί ότι η μόνη ολοκληρωμένη βάση δεδομένων για τις ώρες ελλιμενισμού δημοσιεύεται από τη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το εμπόριο και την ανάπτυξη (UNCTAD) που απαριθμεί διάμεσες χρονικές περιόδους που περνούν τα πλοία σε λιμάνια για διαφορετικούς τύπους πλοίων ανά χώρα. Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται τα δεδομένα που επικρατούν για το διεθνή και τον ελλαδικό χώρο σε ότι έχει να κάνει με τις ώρες ελλιμενισμού των πλοίων [26].

Πίνακας 4-1. Στατιστικά 2020 (UNCTAD): χρόνος που δαπανάται σε λιμένες, ηλικία και μέγεθος σκαφών.

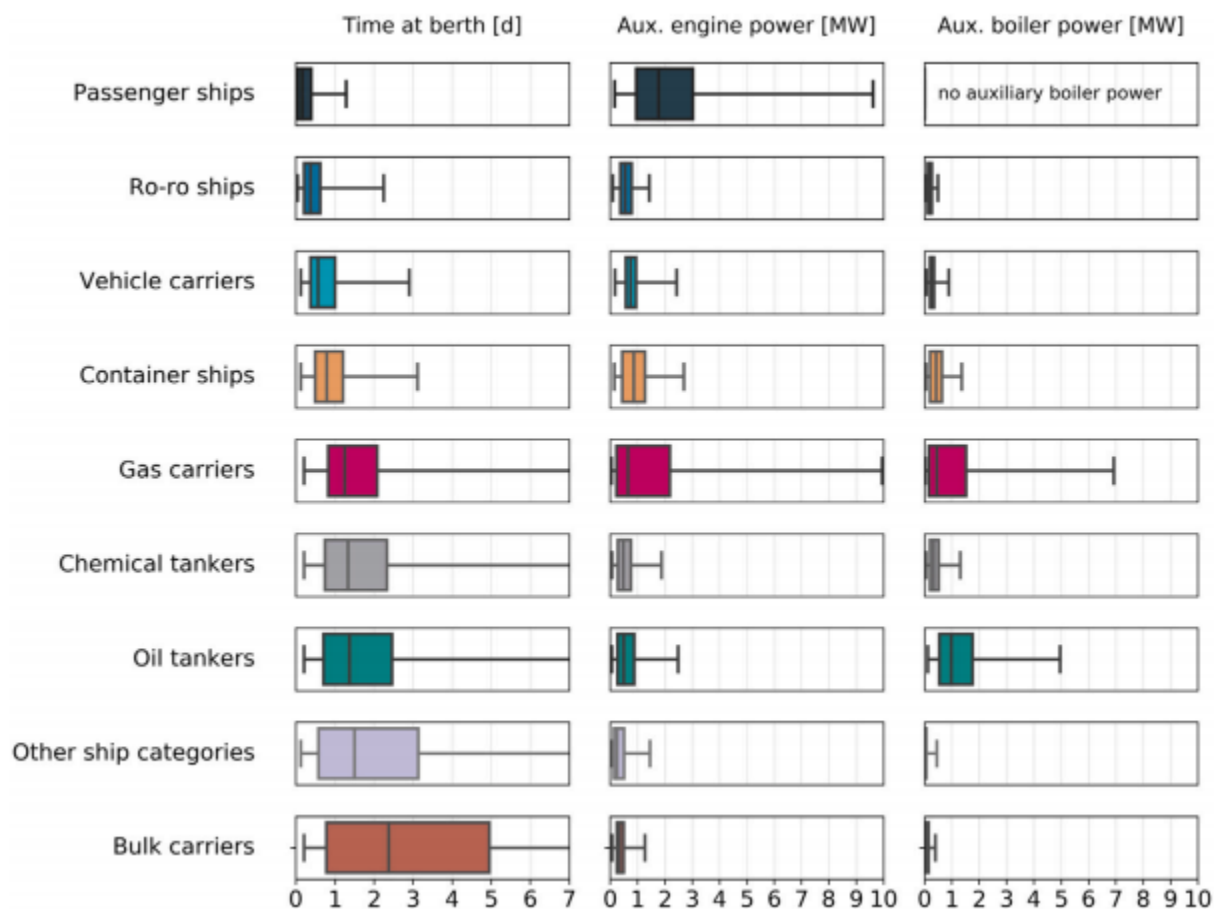
MEASURE		Median time in port (days)	Average age of vessels	Average size (GT) of vessels	Maximum size (GT) of vessels	Average cargo carrying capacity (dwt) per vessel	Maximum cargo carrying capacity (dwt) of vessels	Average container carrying capacity (TEU) per container ship	Maximum container carrying capacity (TEU) of container ships
ECONOMY	COMM. MARKET								
Greece	All ships	0.82	21	8,018	215,553	7,586	174,008	3,886	21,413
	Liquid bulk carriers	0.62	21	5,581	87,146	8,889	167,295	..	..
	Liquefied petroleum gas carriers	0.98	23	5,315	17,242	6,316	18,955	..	..
	Liquefied natural gas carriers	1.22	11	110,612	137,535	90,715	156,000	..	..
	Dry bulk carriers	0.43	26	5,993	88,930	10,057	174,008	..	..
	Dry breakbulk carriers	1.16	33	2,756	66,870	3,844	71,955	..	..
	Roll-on/roll-off ships	..	32	16,495	76,420	6,975	48,988	..	..
	Container ships	0.98	15	41,708	215,553	..	..	3,886	21,413
	Passenger ships	..	21	7,158	168,666	..	..	..	..
World	All ships	1.00	18	14,663	237,200	24,956	441,561	3,543	23,964
	Liquid bulk carriers	0.97	14	15,704	234,006	27,242	441,561	..	..
	Liquefied petroleum gas carriers	1.04	15	10,826	59,229	12,164	64,220	..	..
	Liquefied natural gas carriers	1.12	12	95,270	168,189	74,229	156,000	..	..
	Dry bulk carriers	2.07	14	32,146	204,014	57,453	404,389	..	..
	Dry breakbulk carriers	1.15	21	5,439	91,784	7,405	116,173	..	..
	Roll-on/roll-off ships	..	17	25,389	100,430	10,242	55,828	..	..
	Container ships	0.71	14	38,308	237,200	..	..	3,543	23,964
	Passenger ships	..	20	7,439	228,081	..	..	..	..

Κάθε πλοίο έχει διαφορετικές απαιτήσεις φορτίου, ανάλογα με το είδος του και την κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται κάθε στιγμή. Οι πιο βασικές καταστάσεις λειτουργίας είναι η κανονικής πορείας, χειρισμών και εν όρμω. Αρκετά πλοία έχουν διαφοροποιήσεις στις ανάγκες αυτές ανάλογα με την εποχή και συγκεκριμένα οι ανάγκες τους είναι διαφορετικές τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο. Ο προσδιορισμός της ζήτησης φορτίου ενός πλοίου μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: με εμπειρικούς τύπους, με ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου και με προσομοίωση.

Με τους εμπειρικούς τύπους μπορεί να γίνει μία πρώτη εκτίμηση της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου σε προ-σχεδιαστικό επίπεδο, εφόσον ο τύπος βασίζεται σε έναν επαρκή αριθμό πλοίων, ίδιου τύπου, αποστολής και μεγέθους. Ωστόσο, για το λεπτομερή σχεδιασμό του πλοίου και των ηλεκτρικών συστημάτων του είναι αναγκαία η χρήση μίας από τις επόμενες μεθόδους. Η ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου ή αλλιώς ισολογισμός ηλεκτρικού φορτίου είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος προσδιορισμού της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου. Η προσομοίωση των λειτουργιών ενός πλοίου υπό τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος προσδιορισμού της ζήτησης ηλεκτρικού φορτίου.

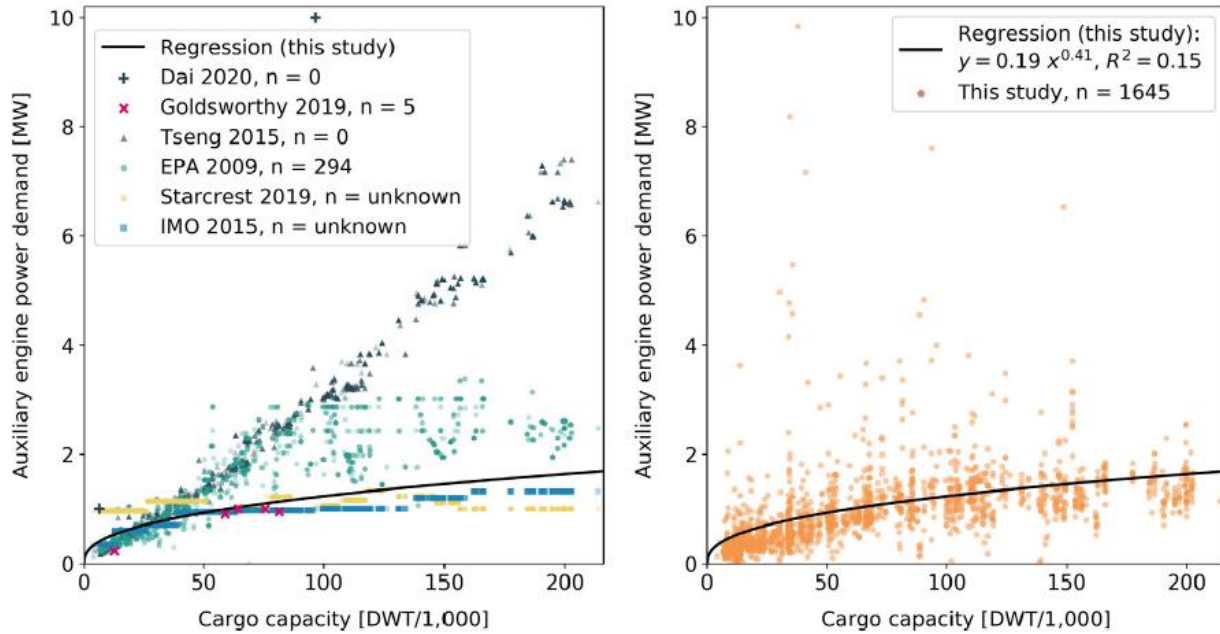
Η εκτίμηση του φορτίου και οι παράγοντες αποδοτικότητας του συστήματος είναι δύσκολα να υπολογιστούν στη μέθοδο ανάλυσης φορτίου. Οι τιμές των παραγόντων αυτών, συνήθως εκτιμούνται αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες πραγματικές, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το ρίσκο σχεδίασης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ανίκανο να καλύψει της ανάγκες της εγκατάστασης του πλοίου. Το παραπάνω, απορρέει σε υπερεκτίμηση της συνολικής ζήτησης φορτίου και κατά συνέπεια σε επιλογή εγκατάστασης μεγαλύτερων διαστάσεων. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι κυρίως η αύξηση του μέσου φορτίου των ντιζελογεννητριών, που οδηγεί σε περαιτέρω κατανάλωση καυσίμου.

Επομένως, οι απαιτήσεις ισχύος, ισχύς που παράγεται από τους βοηθητικούς κινητήρες και βοηθητικούς λέβητες για διαφορετικές κατηγορίες πλοίων σε συνδυασμό με το χρόνο που παραμένουν αγκυροβολημένα τα πλοία στο λιμάνι [27], παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-1.



Σχήμα 4-1: Αριστερή στήλη: Ώρα αγκυροβόλησης για διαφορετικές κατηγορίες πλοίων. Μέση και δεξιά στήλη: Χρήση ισχύος βοηθητικών κινητήρων και βοηθητικών λεβήτων για διαφορετικές κατηγορίες πλοίων. Στα θηκογράμματα διακρίνεται η διάμεσος (κατακόρυφη γραμμή), το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (χρωματιστό ορθογώνιο) και τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (δύο κεραίες). Οι τιμές εκτός των κεραίων δεν απεικονίζονται για καλύτερη αναγνωσιμότητα [10].

Εμφανίζεται το μοντέλο ζήτησης της βοηθητική ισχύος που χρησιμοποιείται από τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στο αγκυροβόλιο στο Σχήμα 4-2. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχουν επιλεγεί δεδομένου ότι οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν σε αυτήν την κατηγορία πλοίου [28]. Το Σχήμα 4-2 δείχνει επίσης μια σύγκριση με τις τιμές της βιβλιογραφίας. Επιπρόσθετα, για να καταστεί μια πιο ολιστική προσέγγιση επί του αντικειμένου των ηλεκτρικών απαιτήσεων των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-2 [28] οι χρόνοι που παραμένουν στο λιμάνι ανά τάξη μεγέθους πλοίου.



Σχήμα 4-2: Βοηθητική ισχύς κινητήρων των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, ισχύς που απαιτείται σε αγκυροβόλιο. Το αριστερό διάγραμμα δείχνει μεμονωμένες τιμές από τη βιβλιογραφία (Dai et al., Goldsworthy B και Goldsworthy L), Tseng & Plicher, τον EPA, την Starcrest και τον IMO. Το η υποδεικνύει τον αριθμό των πλοίων που χρησιμοποιούνται από την αντίστοιχη πηγή. Το 0 αντιστοιχεί σε μελέτες με υποθέσεις μάλλον από μετρήσεις. Το δεξιά διάγραμμα δείχνει τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης και την αντίστοιχη καμπύλη παλινδρόμησης. Όπως περιγράφεται στο κείμενο, η παλινδρόμηση έχει περιορισμένη επεξηγηματική δύναμη. Η μελέτη όπου αντλήθηκε το Σχήμα 4-2 συνιστά τη χρήση της λεπτομερούς βοηθητικής ισχύος κινητήρα ανά μεμονωμένο πλοίο αντί της παλινδρόμησης [10].

Πίνακας 4-2. Μέσος χρόνος αναμονής, χρόνος ελλιμενισμού & συνολικός χρόνος με βάση το μέγεθος πλοίου.

Ship Classification (TEU)	Average Waiting Time (Hours)	Average Berthing Time (Hours)	Average Port Time (Hours)
10001–20000	75.5	21.5	97.0
8001–10000	54.0	19.8	73.8
5001–8000	69.6	17.1	86.7
3001–5000	36.6	14.6	51.2
1001–3000	22.4	8.7	31.1
501–1000	20.0	7.4	27.4
1–500	14.2	7.7	21.9
Sum/Average	41.6	13.8	55.6

Διευκρινίζεται ότι για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στη συγκεκριμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση, ισχύει η συνάρτηση:

$$P_{AE} = 0.04 \cdot P_{ME} \quad [4.1]$$

,δηλαδή η ισχύς που πρόερχεται από τους βοηθητικούς κινητήρες των πλοίων αυτών ισούται με το 4% της ισχύος των κυρίων μηχανών.

Τα επιβατηγά πλοία διαθέτουν τις υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος από τους βοηθητικούς κινητήρες έως 10 MW. Τα πετρελαιοφόρα και τα πλοία μεταφοράς LNG έχουν την υψηλότερη ζήτηση ισχύος από αμολέβητες, π.χ. για την τροφοδοσία αντλιών ατμοστροβίλου με ατμό για τις εργασίες χειρισμού του φορτίου τους.

4.3 Η ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΛΙΜΑΝΙΑ ΤΟΥ ΕΟΧ ΚΑΙ ΤΟΥ ΗΝΩΜΕΝΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

Γενικά ο κύριος στόχος μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης είναι η ποιοτική, αξιόπιστη και οικονομική εξυπηρέτηση των καταναλωτών που τροφοδοτεί. Έτσι, και στην περίπτωση της εγκατάστασης ψυχρής εκκίνησης πλοίου, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που πρέπει να εξεταστεί πρώτα, είναι αυτός της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του εξεταζόμενου φορτίου.

Η εκτίμηση του παραπάνω παράγοντα πρέπει να γίνει τόσο στο παρόν, για τον προσδιορισμό και τις μελέτες των αιχμών και της καταναλισκόμενης ενέργειας, όσο και στο μέλλον, για την πρόβλεψη του συνολικού φορτίου που απαιτείται σε βάθος χρόνου. Η συνολική ηλεκτρική καταναλισκόμενη ισχύ ονομάζεται φορτίο ή ζήτηση του συστήματος, και είναι πρακτικά το άθροισμα όλων των επιμέρους ηλεκτρικών καταναλώσεων της εγκατάστασης ψυχρής εκκίνησης, τόσο για την ξηρά, όσο και για τα πλοία αντίστοιχα.

Η συνολική ηλεκτρική καταναλισκόμενη ισχύ ονομάζεται φορτίο ή ζήτηση του συστήματος, και είναι πρακτικά το άθροισμα όλων των επιμέρους ηλεκτρικών καταναλώσεων της εγκατάστασης ψυχρής εκκίνησης, τόσο για την ξηρά, όσο και για τα πλοία αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα, λόγω των μεγάλων τεχνικών δυσκολιών στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας πάνω στο πλοίο, είναι αναγκαίο κάθε χρονική στιγμή η ηλεκτρική επιχείρηση, που διαχειρίζεται την εγκατάσταση, να αξιοποιεί τόσες μονάδες παραγωγής, όσες χρειάζονται για να καλυφθεί το συνολικό φορτίο. Έτσι εξασφαλίζεται η εφεδρεία, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίζονται οι αυξομειώσεις της ισχύος σε περίπτωση αστοχίας κάποιας μονάδας τροφοδοσίας.

Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να παράγεται τη στιγμή που καταναλώνεται. Γι' αυτό η συνολική ισχύς της εγκατάστασης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται από τη μέγιστη τιμή του ζητούμενου φορτίου.

Ο λόγος της μέγιστης ζήτησης φορτίου ενός καταναλωτή προς την εγκατεστημένη ισχύ λέγεται συντελεστής ζήτησης και περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\zeta = \frac{P_A}{P_{εγκ.}} \cdot 100\% \quad [4.2]$$

Με τη πάροδο του χρόνου, η αρμόδια ηλεκτρική επιχείρηση οφείλει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει εύκολα και άμεσα τυχούσες δυσανάλογες μεταβολές στη ζήτηση ισχύος, τυχαιές απώλειες μονάδων τροφοδοσίας και περιοδικές συντηρήσεις των μονάδων της εγκατάστασης. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η πρόβλεψη της συνολικής ζήτησης ισχύος, τόσο για το μακροπρόθεσμο, όσο και για το βραχυπρόθεσμο προγραμματισμό του εκάστοτε συστήματος καταναλωτών που μελετάται.

Τώρα, σε ότι έχει να κάνει με την ανάλυση του ηλεκτρικού φορτίου, ως φορτίο ενός καταναλωτή χαρακτηρίζεται η μέση ηλεκτρική ισχύς του καταναλωτή $P(t)$ κατά το διάστημα μιας χρονικής περιόδου ολοκλήρωσης ΔT .

$$P(t) = \frac{1}{\Delta T} \cdot \int_t^{t+\Delta T} L(\tau) dT \quad [4.3]$$

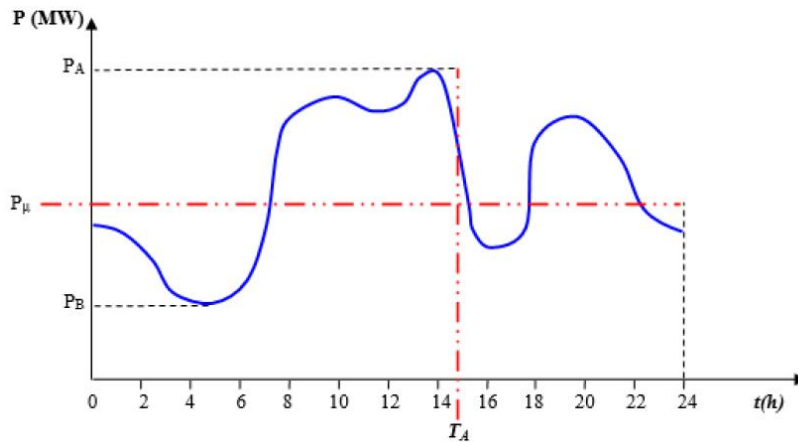
, όπου $L(\tau)$ είναι η στιγμιαία ζήτηση ισχύος τη χρονική στιγμή (τ).

Όσον αφορά το μέγεθος του φορτίου, αυτό διαμορφώνεται από τους καταναλωτές της εγκατάστασης και συχνά μετριέται ως η αντίστοιχη ενεργός καταναλισκόμενη ισχύ (kW ή MW) και πιο σπάνια ως η αντίστοιχη φαινόμενη ισχύς (kVA ή MVA). Το φορτίο μπορεί να αναφέρεται είτε σε μια μόνο συσκευή, είτε σε μια αναχώρηση γραμμής ή υποσταθμό, είτε ακόμα και σε ένα ολόκληρο ηλεκτρικό σύστημα.

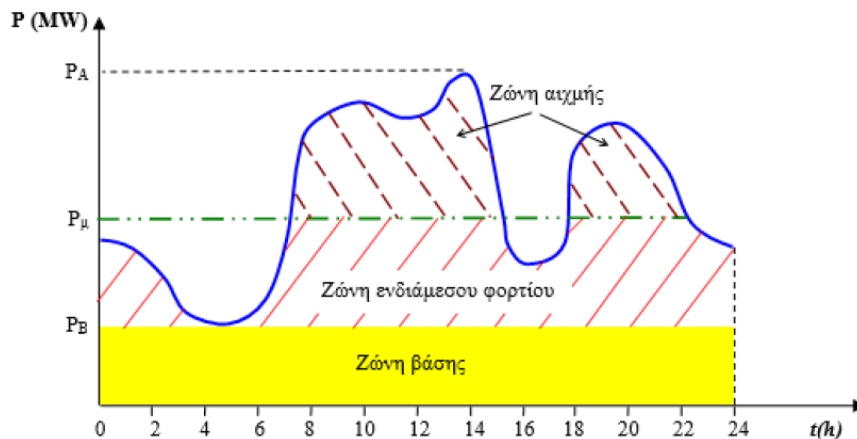
Ένα απαραίτητο εργαλείο για τη διαστασιολόγηση και το σωστό προγραμματισμό των συστημάτων μιας εγκατάστασης, είναι οι καμπύλες φορτίου. Οι καμπύλες φορτίου χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και πρόβλεψη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος εκ μέρους του συστήματος, καθώς είναι απαραίτητο εργαλείο για τον προγραμματισμό των εγκαταστάσεων του συστήματος. Η χρονολογική καμπύλη φορτίου είναι η γραφική παράσταση της ζητούμενης ισχύος σε συνάρτηση με το χρόνο στον οποίο ζητήθηκε η αντίστοιχη ισχύς (παράδειγμα χρονολογικής καμπύλης | Σχήμα 4-3), ενώ η συνολική κατανάλωση ενέργειας E μετριέται σε και μετριέται σε kWh, MWh ή GWh και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E = \int_0^T P(t) dt \quad [4.4]$$

Μία ημερήσια χρονολογική καμπύλη φορτίου αποτελείται από τρία μέρη, αυτά είναι το φορτίο βάσης, το κυμαινόμενο φορτίο και το φορτίο αιχμής. Το φορτίο βάσης είναι το μέρος του φορτίου που δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και είναι το μέγιστο φορτίο που ζητείται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Το φορτίο αιχμής είναι το πάνω τμήμα της καμπύλης φορτίου, με τις υψηλότερες τιμές-το τμήμα αυτό έχει τις πιο απότομες μεταβολές και τη μικρότερη διάρκεια. Τέλος, το κυμαινόμενο φορτίο είναι το ενδιάμεσο τμήμα του διαγράμματος μεταξύ της ζώνης βάσης και της ζώνης αιχμής (Σχήμα 4-4). Όπου P_A : το μέγιστο φορτίο, P_B : το ελάχιστο φορτίο και P_μ : το μέσο φορτίο (δηλαδή, το πηλίκο της καταναλισκόμενης ενέργειας κατά την περίοδο μελέτης T προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα T) [22].



Σχήμα 4-3: Παράδειγμα ημερήσιας χρονολογικής καμπύλης φορτίου [22].

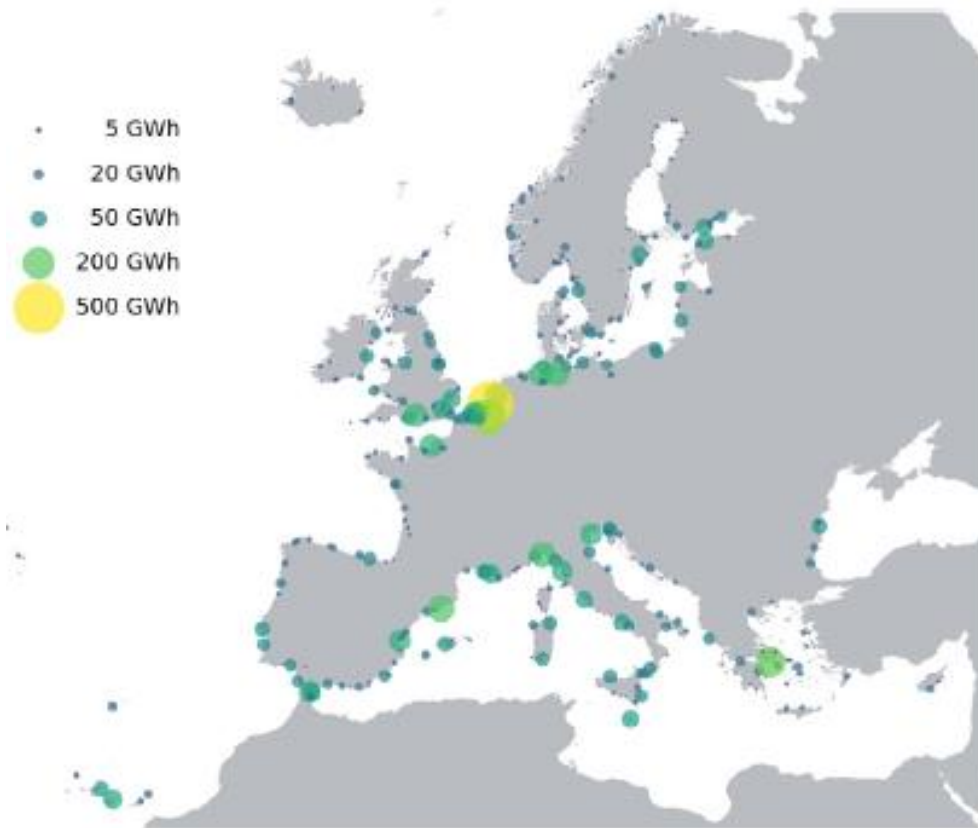


Σχήμα 4-4: Παράδειγμα ημερήσιας χρονολογικής καμπύλης φορτίου με διαχωρισμό ζωνών βάσης, ενδιάμεσου φορτίου και αιχμής θεωρώντας ότι το όριο ζώνης αιχμής κυμαίνεται μεταξύ αιχμής και μέσου φορτίου [22].

Το σύστημα παραγωγής καλείται να προσφέρει επίπεδα ισχύος στο σύστημα με διαφορετικές διάρκειες. Για να καλυφθούν αυτές οι ανάγκες έχει εγκατεστημένους συνδυασμούς μονάδων παραγωγής με διαφορετικά λειτουργικά και οικονομικά χαρακτηριστικά, όπου με συγκεκριμένη μέθοδο ρυθμίζεται πότε θα λειτουργεί η κάθε μία μονάδα. Συγκεκριμένα, το φορτίο βάσης καλύπτεται από μονάδες παραγωγής που παράγουν ενέργεια με μικρό κόστος παραγωγής και σχετικά μεγάλο κόστος εγκατάστασης, με τις μονάδες αυτές να ονομάζονται μονάδες βάσης. Το φορτίο αιχμής καλύπτεται από μονάδες παραγωγής που ονομάζονται μονάδες αιχμής και παράγουν ενέργεια με μεγάλο κόστος παραγωγής, αλλά σχετικά μικρό κόστος εγκατάστασης. Ενώ, το φορτίο που καταλαμβάνει τη ζώνη κυμαινόμενου φορτίου καλύπτεται από τις μονάδες ενδιάμεσου φορτίου, οι οποίες έχουν σχετικά μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας και εγκατάστασης [29]. Στη χώρα μας η παραγωγή εστιάζεται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, στις μονάδες φυσικού αερίου, στα αιολικά, στα φωτοβολταϊκά πάρκα και στη χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας.

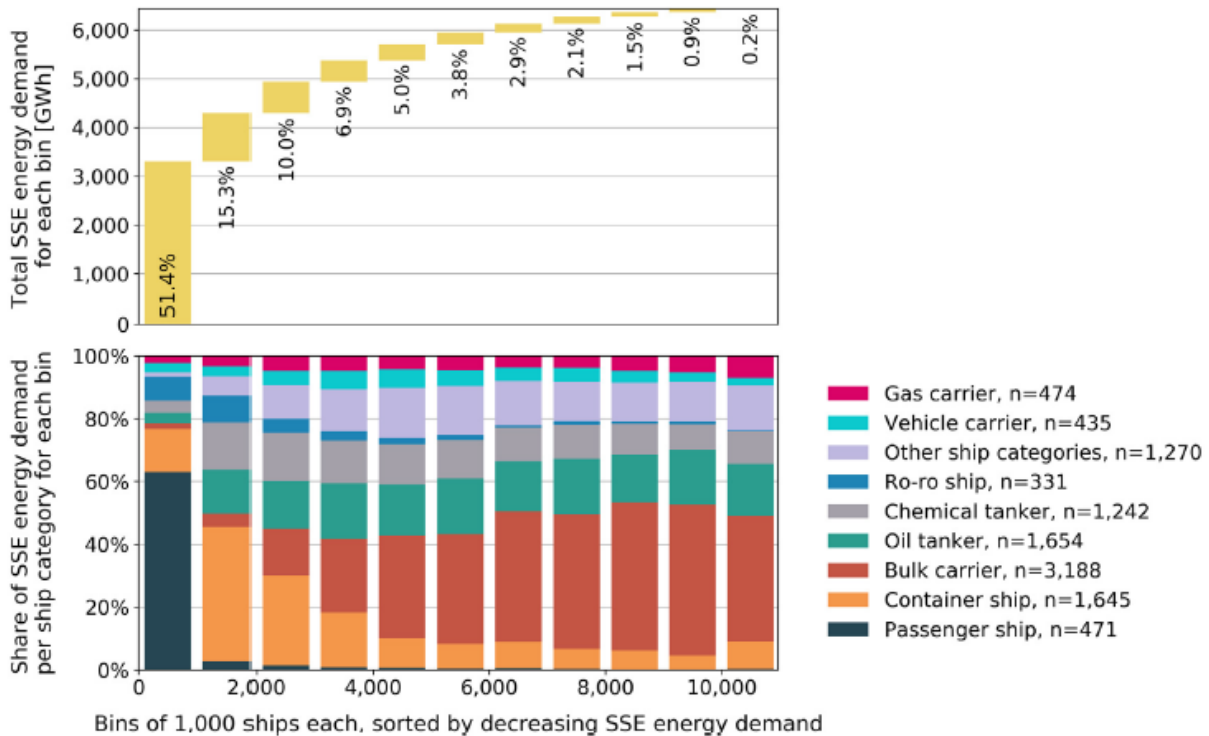
Μία μικρογραφία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει και στο κάθε πλοίο, όπου τα φορτία του είναι οι διάφορες καταναλώσεις του (π.χ. φωτισμός, αντλίες, βαρούλκα, ψυγεία κλπ.). Η συνολική ζήτηση κυμαίνεται όχι μόνο λόγω εποχιακών μεταβολών, αλλά και λόγω διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας (εν όρμω, εν πλω, σε αγκυροβόλιο κλπ.) ή και διαφορετικών απαιτήσεων λειτουργίας (όπως διαφορά στο πλήθος εμπορευματοκιβωτίων σε φορτηγά πλοία. Επιπλέον στο πλοίο, στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί εύκολα να υπάρξει μεγάλη διαφοροποίηση μονάδων. Ωστόσο είναι δυνατό να υπάρχουν μονάδες διαφορετικής ισχύος με ίδιο ή διαφορετικό καύσιμο (ντίζελ, μαζούτ, φυσικό αέριο για LNG) με διατάξεις συμπαραγωγής-τριπαραγωγής, όπως κίνηση-ηλεκτρική ενέργεια-ψύξη-θέρμανση.

Τώρα, πιο συγκεκριμένα, η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για πλήρη εφαρμογή του πλάνου της ηλεκτροδότησης των ελλιμενιζόμενων πλοίων από ξηράς σε όλα τα λιμάνια του ΕΟΧ και του Ηνωμένου Βασιλείου φαίνεται στην Εικόνα 4-1. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι το Ρότερνταμ και η Αμβέρσα διαθέτουν μακράν την υψηλότερη ενεργειακή ζήτηση. Συνολικά, αυτός ο χάρτης συμφωνεί ευρέως με τη μόνη υπάρχουσα μελέτη που παρέχει εκτιμήσεις για όλα τα μεγάλα λιμάνια της Ευρώπης από μια λεπτομερή ανάλυση επτά λιμανιών. Ωστόσο, διαθέτει υψηλότερη ανάλυση και αξιοπιστία, καθώς ο υπολογισμός της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε δεδομένα για 714 λιμένες.



Εικόνα 4-1: Ετήσια ενεργειακή ζήτηση πλοίων σε ελλιμενισμό εντός του ΕΟΧ και του ΗΒ το 2018, αθροιστικά από το κάθε λιμάνι. Τα υποκείμενα δεδομένα αντιπροσωπεύουν 714 λιμάνια [16].

Δεδομένου ότι μια τακτική υπηρεσία σε λιμένες της ΕΕ είναι απαραίτητη για να εγγυάται την εγκατάσταση και τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή, η κατανομή της ζήτησης ενέργειας σε όλα τα πλοία παρουσιάζεται συγκεντρωτικά ανά κατηγορία πλοίου στο Σχήμα 4-5. Πλοία που δραστηριοποιούνται κυρίως στον ΕΟΧ και το Ηνωμένο Βασίλειο, τα οποία έχουν υψηλή μέση ζήτηση ενέργειας κατά τον ελλιμενισμό, τους αντιστοιχεί το μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής ζήτησης ενέργειας SSE [30]. Περισσότερο από το 50% της συνολικής ζήτησης SSE (6.4 TWh) χρησιμοποιείται μόνο από το 10% του συνόλου στόλου των πλοίων, από δύο κατηγορίες πλοίων (πλοία επιβατών και εμπορευματοκιβωτίων) και 35 λιμανιών των χωρών: Ιταλία, Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Κάτω Χώρες, και Γαλλία αντίστοιχα. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για SSE ανά χώρα παρατίθεται στον Πίνακα 4-3.

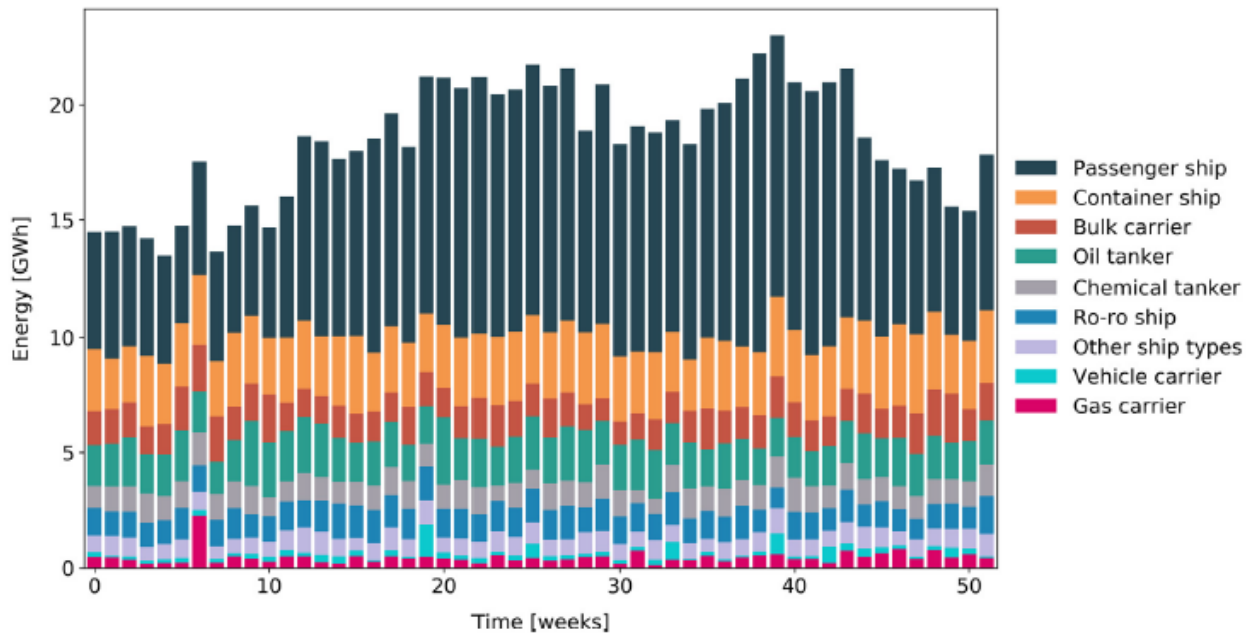


Σχήμα 4-5: Επάνω πάνελ: Συσσωρευτικό μερίδιο της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή (SSE) για δοχεία-ράβδους 1,000 πλοίων το καθένα. Οι ποσοστιαίοι αριθμοί δείχνουν το μερίδιο της κάθε ράβδου επί της συνολικής απαίτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους βοηθητικούς κινητήρες στο αγκυροβόλιο για 10,710 πλοία. Κάτω πάνελ: Οι σταθμασμένες ράβδοι υποδεικνύουν τα αντιστοίχα μερίδια όλων των κατηγοριών πλοίων ανά δοχείο-ράβδο [10].

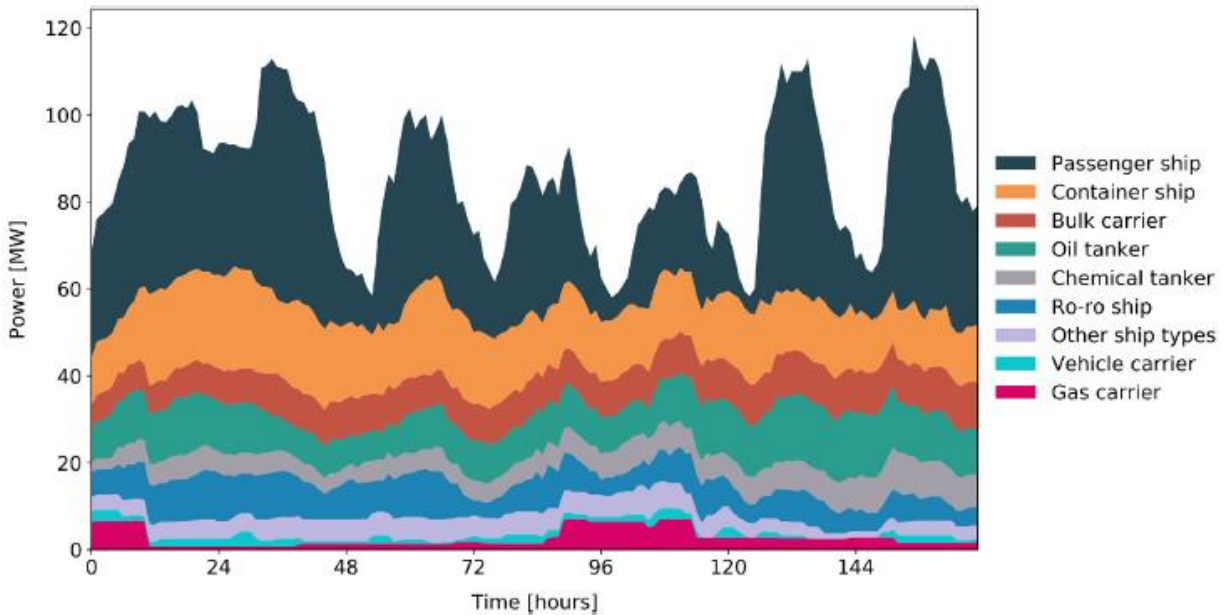
Για παράδειγμα, η Ιταλία, η οποία διαθέτει την υψηλότερη αθροιστικά ενεργειακή ζήτηση πλοίων, όπου η εβδομαδιαία ενεργειακή ζήτηση και η ωριαία ζήτηση ισχύος των πλοίων στο αγκυροβόλιο φαίνεται στο Σχήμα 4-6 & 4-7. Το Σχ. 4-6 δείχνει την εβδομαδιαία ενεργειακή ζήτηση για όλο το έτος 2018, όπου συνοψίστηκε για όλα τα ιταλικά λιμάνια. Τα επιβατηγά πλοία προκαλούν σημαντική εποχικότητα, ενώ όλοι οι άλλοι τύποι πλοίων διαθέτουν μια αρκετά σταθερή εβδομαδιαία ζήτηση ενέργειας όλο το χρόνο.

Το Σχ. 4-7 δείχνει την ωριαία ζήτηση για ισχύ από ξηράς (SSE) στην Ιταλία κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας του 2018, επιλύθηκε κατά κατηγορία πλοίου. Η ζήτηση ισχύος ποικίλλει και κυμαίνεται περίπου από 60 MW έως σχεδόν 120 MW. Αυτή η καθημερινή παραλλαγή ισχύος προκαλείται κυρίως από τα επιβατηγά πλοία. Στο μέλλον η από ξηράς ηλεκτροδότηση των λιμένων θα προέρχεται εξ ολοκλήρου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), γεγονός που θα είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου να εξισορροπηθούν οι διακυμάνσεις της ζήτησης ισχύος τόσο σε καθημερινή όσο και σε εποχιακή κλίμακα χρόνου, καθώς

κάθε χώρα έχει διαφορετική ζήτηση ενέργειας από επιβατηγά πλοία και είναι φυσικό επόμενο ο βαθμός αυτής της διακύμανσης να διαφέρει από χώρα σε χώρα.



Σχήμα 4-6: Εβδομαδιαία ενεργειακή ζήτηση πλοίων στο αγκυροβόλιο και στα 59 ιαλικά λιμάνια, από το 2018-01-01 έως το 2018-12-31 [10].



Σχήμα 4-7: Ωριαία ζήτηση ισχύος πλοίων σε ελλειμισμό και στα 59 ιαλικά λιμάνια, από Δευτέρα 2018-01-01 00:00, έως Κυριακή 2018-01-08 00:00 [10].

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με το σύστημα OPS, οι απαιτήσεις ισχύος διαφοροποιούνται ανάλογα των τύπων και το μέγεθος των σκαφών, απαιτήσεις που παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4-3 [11]. Ο αριθμοί που αναφέρονται για τα μικρότερα σκάφη είναι αντιπροσωπευτικά για πλοία που δραστηριοποιούνται στα ευρωπαϊκά ύδατα, αλλά μπορεί να ισχύουν και για άλλες περιφέρειες. Τέλος, οι απαιτήσεις ισχύος έχουν σημαντική επίδραση στο κόστος ενός συστήματος OPS και είναι επομένως σημαντικό να ερευνηθούν οι πιθανές επιλογές για μείωση ενέργειας και να αξιολογηθεί η μέγιστη ζήτηση ισχύος εκ των προτέρων.

Πίνακας 4-3. Απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος ελλιμενιζόμενων πλοίων ανά κατηγορία σκάφους.

Vessel Type	Average power demand (MW)	Peak power demand (MW)	Peak power demand for 95% of vessels (MW)
Container vessels (<140m)	0.17	1	0.8
Container vessels (>140m)	1.2	8	5
Container vessels (total)	0.8	8	4
RoRo and vehicle vessels	1.5	2	1.8
Oil and product tankers	1.4	2.7	2.5
Cruise ships (<200m)	4.1	7.3	6.7
Cruise ships (>200m)	7.5	11	9.5
Cruise ships (>300m)	10	20	12.5

4.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ηλεκτρική ζήτηση της συνολικής εγκατάστασης ψυχρής εκκίνησης πλοίου, τόσο στο παρόν, όσο και στο απώτερο μέλλον, είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν οι κατάλληλες μεθοδολογίες πρόβλεψης φορτίου. Πιο αναλυτικά παρακάτω αναφέρονται οι τέσσερις κύριες κατηγορίες τέτοιων μεθοδολογιών.

Αρχικά στην πολύ βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, γίνεται πρακτικά η εκτίμηση ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος της εγκατάστασης από τα επόμενα λεπτά έως μια ώρα, με βήματα μερικών δευτερολέπτων ή λεπτών. Η μέθοδος αυτή στοχεύει στον έλεγχο της σχέσης συχνότητας-φορτίου με το συνολικό σύστημα.

Πιο συγκεκριμένα, εκτιμούνται έτσι οι ανάγκες των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου των γεννητριών, ώστε να πραγματοποιούνται οι απαραίτητες μεταβολές παροχής καυσίμου και οι ρυθμίσεις των επιπέδων τάσης όλων των καταναλωτών.

Στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη από την άλλη, πραγματοποιείται η πρόβλεψη της ζήτησης φορτίου για τα επόμενα 24ώρα ή για την τρέχουσα εβδομάδα, με το χρονικό βήμα της μισής ή της μιας ώρας. Στόχος της μεθόδου αυτής είναι κυρίως

η ενεργειακή διαχείριση του ηλεκτρικού συστήματος. Αναλυτικότερα, ρυθμίζονται όλα τα βασικά επίπεδα λειτουργιών των μονάδων και διαμορφώνεται η σειρά ένταξης τους σύμφωνα πάντα με τα κριτήρια της οικονομικής κατανομής και των προγραμμάτων συντήρησης.

Στη συνέχεια, στη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου η εκτίμηση της ζήτησης γίνεται για το χρονικό διάστημα του ενός έτους, με το χρονικό βήμα της μιας εβδομάδας. Η μέθοδος αυτή αφορά κυρίως τη ρύθμιση του προγράμματος συντήρησης των μονάδων, τόσο της ξηράς, όσο και των συστημάτων του πλοίου, στην περίπτωση της εγκατάστασης του cold ironing. Έτσι μπορεί να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη κάλυψη του φορτίου με τις ήδη υπάρχουσες μονάδες τροφοδοσίας.

Προς καλύτερη κατανόηση όλων των παραπάνω στον Πίνακα 4-4 [22] φαίνονται συγκεντρωτικά οι μεθοδολογίες που προαναφέρθηκαν.

Τέλος, η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου βοηθάει πρακτικά στην εκτίμηση της συνολικής ζήτησης της εγκατάστασης για τα επόμενα 10-20 έτη, με το χρονικό βήμα του ενός έτους. Η μεθοδολογία αυτή στοχεύει κυρίως στην πρόβλεψη της ετήσιας αιχμής φορτίου και της συνολικής ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας, έτσι ώστε να προκύψει ο πιο λειτουργικός συνδυασμός συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ξηράς-πλοίου, καθώς και οι ονομαστικές τιμές όλων των επιμέρους μηχανημάτων της ψυχρής εκκίνησης.

Πίνακας 4-4. Μεθοδολογίες πρόβλεψης ηλεκτρικού φορτίου εγκατάστασης.

Είδος Πρόβλεψης	Χρονικός Ορίζοντας		Λειτουργίες για τις οποίες χρειάζεται
	Βήμα	Διάρκεια	
Πολύ βραχυπρόθεσμη	μερικά sec έως 1-2 min	30 min	Αυτόματος Έλεγχος Παραγωγής Οικονομική Κατανομή Φορτίου
Βραχυπρόθεσμη	- 15 min έως μερικές ώρες - 1 ώρα (συνήθως)	μερικές ώρες ως 1 εβδομάδα	Ένταξη Μονάδων Υδροθερμική Συνεργασία Ανταλλαγές Ισχύος
Μεσοπρόθεσμη	Εβδομάδα – μήνα ως και έτος	μερικοί μήνες - 5 έτη	Προγραμματισμός Καυσίμων Χρήση Υδάτινων Πόρων Προγραμματισμός Συντήρησης
Μακροπρόθεσμη	Έτος	10-25 έτη	Προγραμματισμός Ένταξης Μονάδων

Οι παραπάνω μεθοδολογίες πρόβλεψης φορτίου συνεισφέρουν στην τελική διαμόρφωση της εγκατάστασης ψυχρής εκκίνησης πλοίου, καθώς συμπεριλαμβάνουν όλους τους παράγοντες μεταβολής του φορτίου που πρέπει να ληφθούν υπόψη [22]. Πιο αναλυτικά μερικά παραδείγματα τέτοιων βασικών παραγόντων που συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη είναι τα εξής:

- Οικονομικοί παράγοντες: Οικονομική κατάσταση, το οικονομικό περιβάλλον και οι ρυθμοί ανάπτυξης της περιοχής όπου βρίσκεται η εγκατάσταση του λιμανιού επηρεάζουν τα όρια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να προσφέρει το τοπικό δίκτυο. Τυπικά, οι οικονομικοί παράγοντες συμπεριλαμβάνονται στη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη.
- Εποχιακοί παράγοντες: Είναι γεγονός πως τα φορτία παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια τόσο του 24ώρου, όσο και του έτους. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται κυρίως στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ειδικά στη θάλασσα. Οι εποχιακοί παράγοντες επηρεάζουν τη μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη.
- Μετεωρολογικοί παράγοντες: Η θερμοκρασία, η υγρασία, ο άνεμος, η βροχόπτωση και η ηλιοφάνεια/νεφώσεις επηρεάζουν σημαντικά την ηλεκτρική κατανάλωση των συστημάτων του πλαισίου, ανάλογα πάντα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτά λειτουργούν. Αυτό συμβαίνει, καθώς η λειτουργία ενός μεγάλου ποσοστού ηλεκτρικών συσκευών, όπως οι θερμοσυσσωρευτές, τα κλιματιστικά και οι αρδεύσεις, εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες του επικρατούν. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες επιδρούν κυρίως στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη.
- Τυχαία παράγοντες: Τέτοια παράγοντες είναι δύσκολο να εκτιμηθούν στη μελέτη της ζήτησης. Τυπικά παραδείγματα είναι οι μεγάλες απεργίες, οι εκλογές, οι Ολυμπιακοί αγώνες κλπ.
- Αβέβαια παράγοντες: Οι παράγοντες αυτά επηρεάζουν τη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου, καθώς είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια. Αφορούν κυρίως τις προοπτικές ανάπτυξης της περιοχής γύρω από το λιμάνι, το ρυθμό ανάπτυξης του πληθυσμού και την πορεία της τοπικής οικονομίας.

4.5 ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ SSE ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ

Ο Πίνακας 4-5 παραθέτει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για SSE σε κάθε παράκτια περιοχή-χώρα του ΕΟΧ και του ΗΒ, καθώς και το μερίδιό της στην ακαθάριστη εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στον ΕΟΧ και το Ηνωμένο Βασίλειο για SSE ανέρχεται σε 6.4 TWh ετησίως. Αυτό είναι μόνο 0.2% της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΕΟΧ και του ΗΒ.

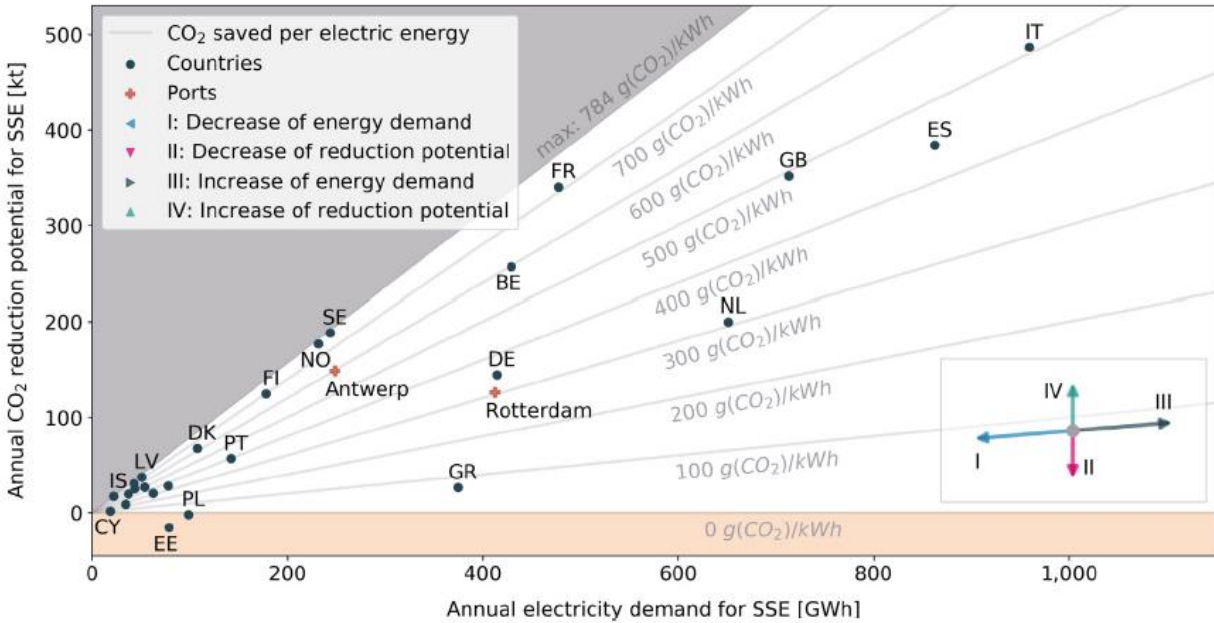
Οι εκπομπές CO₂ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για SSE παρατίθενται στον Πίνακα 4-5 [31] και συγκρίνονται με τις εκπομπές πλοίων σε ελλιμενισμό όταν χρησιμοποιούν τις ηλεκτρογεννήτριες ορυκτών καυσίμων. Συνολικά, αναφέρθηκαν εκπομπές 8.11 Mt CO₂ στο αγκυροβόλιο, στο πεδίο εφαρμογής του συστήματος MRV, αντίστοιχο έως 6.1% των εκπομπών που αναφέρονται στο σύστημα MRV. Από αυτές τις εκπομπές, τα 3 Mt CO₂ μπορούν να εξοικονομηθούν εφαρμόζοντας SSE αντί για ηλεκτρογεννήτριες, με το παρόν ηλεκτρικό μείγμα στις αντίστοιχες χώρες (ηλεκτρική ενέργεια απαλλαγμένη από εκπομπές 5 Mt CO₂). Ως εκ τούτου, σήμερα, οι συνολικές εκπομπές CO₂ προκαλούνται από τα πλοία που αγκυροβολούν, θα μπορούσαν να μειωθούν κατά περισσότερο από το ένα τρίτο (3.00 από 8.11 Mt CO₂) [31].

Πίνακας 4-5. Απαιτήρηση ηλεκτρικής ενέργειας για την εφαρμογή της SSE. Εκπομπές CO₂ αγκυροβλημένων πλοίων, και εκπομπές CO₂ από την παραγωγή της ποσότητας της ηλεκτρικής ενέργειας για SSE, που απαιτείται για την αντικατάσταση όλων των βοηθητικών κινήτρων ισχύος που απαιτούνται κατά τον ελλιμενισμό. Κωδικό χώρας σύμφωνα με το ISO 3166-1 alpha-2.

Country	Electricity			CO ₂ emissions			
	Demand for SSE [GWh]	Gross domestic production [TWh]	Share of SSE [%]	of electricity for SSE [kt]	of ships at berth [kt]	Saved in total by SSE [kt]	Share saved by SSE [%]
IT	959	289	0.36	266	752	487	65
ES	863	274	0.34	288	672	384	57
GB	713	331	0.23	207	559	352	63
NL	651	114	0.60	309	509	200	39
FR	478	581	0.09	34	374	340	91
BE	429	75	0.61	80	336	257	76
DE	414	642	0.07	180	325	145	45
GR	375	53	0.76	266	293	27	9
SE	244	163	0.16	2	191	189	99
NO	232	147	0.17	5	182	177	97
FI	178	70	0.27	15	140	124	89
PT	142	60	0.26	55	112	57	51
DK	107	30	0.38	17	84	67	80
PL	99	170	0.06	79	77	-2	-3
EE	79	12	0.68	77	62	-16	-26
IE	78	31	0.27	33	61	28	46
MT	63	2	3.34	29	49	20	41
RO	54	65	0.09	16	42	27	63
LV	51	7	0.83	3	40	37	93
HR	44	14	0.36	9	34	25	73
LT	43	3	1.60	3	34	30	90
SI	37	16	0.24	10	29	19	67
BG	34	47	0.08	18	27	9	33
IS	22	20	0.11	0	17	17	100
CY	19	5	0.38	13	15	2	12
Total	6,406	3,221	0.20	2,014	5,015	3,001	60

Η προμήθεια των 10 μεγαλύτερων λιμένων στον ΕΟΧ και στο Ηνωμένο Βασίλειο με SSE θα συμβάλει ήδη σε μείωση εκπομπών CO₂ κατά 732 kt ή 24% επί του συνολικού δυναμικού μείωσης CO₂ από την SSE εντός του ΕΟΧ και του Ηνωμένου Βασιλείου.

Το Σχήμα 4-8 δείχνει τη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂ παρέχοντας SSE από εθνικά δίκτυα και την αντίστοιχη ετήσια ηλεκτρική ενεργειακή ζήτηση, επιλυμένη ανά χώρα. Το περίγραμμα μεταξύ του γκρι και της λευκής περιοχής αντιπροσωπεύει το μέγιστο δυναμικό μείωσης CO₂, δηλαδή εάν η SSE θα παρέχεται από ανανεώσιμες πηγές μηδενικού άνθρακα. Η αντίστοιχη τιμή ανέρχεται σε 784 g CO₂ ανά kWh_{el}, που προκύπτει από έναν συντελεστή εκπομπών 3,206 kg CO₂ ανά kg MDO [32], με ειδική κατανάλωση καυσίμου (SFC) 225 g MDO ανά kWh_{mech} [32], και απόδοση γεννήτριας $\eta_{mech} \rightarrow el = 92\%$ [33].



Σχήμα 4-8: Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και δυνατότητα μείωσης CO₂ για όλες τις παράκτιες χώρες του ΕΟΧ και του Ηνωμένου Βασιλείου εάν παρέχεται όλη η ενεργειακή ζήτηση αντί των βοηθητικών κινητήρων στο αγκυροβόλιο μέσω ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά από τα εθνικά δίκτυα. Συγκριτικά, περιλαμβάνονται οι δύο μεγαλύτεροι λιμένες. Οι κατευθύνσεις των πιθανών επιπτώσεων απεικονίζονται στο πλαίσιο κάτω δεξιά [10].

- Βέλος «I» στο Σχ. 4-8: Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζεται από την υιοθέτηση της SSE από την αγορά τόσο στην ξηρά όσο και επί πλοίων [34]. Επιπλέον, η σύνδεση και η αποσύνδεση των ηλεκτροφόρων καλωδίων από την ακτή μπορούν να μειώσουν το χρόνο κατά τον οποίο παρέχεται ρεύμα από ξηράς και συνεπώς να μειώσει τη συνολική ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Βέλος «II» στο Σχ. 4-8: Το δυναμικό μείωσης του CO₂ θα μειωθεί εάν παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια με υψηλή ένταση CO₂. Επιπλέον, εάν στην ξηρά η (απο)σύνδεση τροφοδοσίας οδηγεί σε καθυστέρηση στις λειτουργίες του λιμένα και παρατεταμένη παραμονή στο αγκυροβόλιο, και εάν τα πλοία αναπληρώσουν τον χαμένο χρόνο με αυξημένες ταχύτητες πλεύσης κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, στη συνέχεια το δυναμικό μείωσης του CO₂ θα μειωθεί και αυτό [35].
- Βέλος «III» στο Σχ. 4-8: Η ζήτηση για θαλάσσιες μεταφορές αναμένεται να αυξηθεί κατά πολύ από το 2015 έως το 2050 [36]. Ως εκ τούτου, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (και το σχετικό δυναμικό μείωσης του CO₂) είναι πιθανό να αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, εάν η ζήτηση ατμού μπορούσε να τροφοδοτηθεί με ηλεκτρικούς ατμοέβητες στα πλοία που τροφοδοτούνται από SSE, η συνολική ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας από την ακτή θα αυξηθεί και αυτή.
- Βέλος «IV» στο Σχ. 4-8: Το δυναμικό μείωσης CO₂ από την SSE μπορεί να είναι αυξηθεί σημαντικά εάν η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια έχει χαμηλότερη ένταση CO₂. Περισσότερη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από ΑΓΕ θα μεταφραστεί σε μετατόπιση προς τα πάνω των δεδομένων σημείων στο Σχ. 4-8. Εάν χρησιμοποιείται 100% ανανεώσιμη ενέργεια, τα αντίστοιχα σημεία θα βρίσκονται στο όριο της γκριζαρισμένης περιοχής, όπως π.χ. η Σουηδία και η Νορβηγία όπου σχεδόν το κάνουν. Ενώ π.χ. η

Γερμανία έχει ετήσιο δυναμικό μείωσης CO₂ 145 kt με βάση το τρέχον μείγμα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αυτό το δυναμικό θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερο.

Οι χώρες της πορτοκαλί περιοχής κυριαρχούν στον άνθρακα (Πολωνία, Εσθονία) ή το πετρελαιοκίνητο ηλεκτρικό σύστημα (Ελλάδα, Κύπρος). Εδώ, η SSE επί του παρόντος συνεπάγεται μόνο χαμηλή μείωση του CO₂ ή ακόμη και αύξηση των εκπομπών του CO₂. Ωστόσο, αυτό μπορεί να αλλάξει για παράδειγμα με την ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ. Η σημασία των εκπομπών από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ορατή στην περίπτωση της Ισπανίας και της Γαλλίας: ενώ η Γαλλία έχει 45% χαμηλότερη ενεργειακή ζήτηση για υλοποίηση SSE, και οι δύο χώρες έχουν ένα παρόμοιο δυναμικό μείωσης CO₂, δεδομένου ότι οι ειδικές εκπομπές CO₂ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Γαλλία είναι χαμηλότερη [10].

Τεχνο-Οικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Ηλεκτροδότησης Πλοίων από Ξηράς

5

5.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ COLD IRONING ΚΑΙ ΚΟΣΤΗ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Παρά τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της εφαρμογής cold ironing για τα πλοία που σταθμεύουν στους εκάστοτε λιμένες, το κόστος είναι ο βασικός παράγοντας για να καθοριστεί εάν αυτή η μέθοδος θα επιλεγεί ως εναλλακτική λύση για τη μείωση των εκπομπών στο λιμάνι.

Το μεγαλύτερο οικονομικό βάρος για το cold ironing το δέχεται η λιμενική αρχή. Αυτό συμβαίνει επειδή τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στον κύριο σταθμό παραγωγής ενέργειας, όπως οι μετατροπείς συχνότητας και οι μετασχηματιστές τάσης, είναι ιδιαίτερα δαπανηρά. Το κόστος των μετασχηματιστών συχνότητας είναι ίσο με το 28% του συνολικού κόστους ενώ το κόστος των καλωδίων, των διακοπών, της κατασκευής κτιρίων ή του εξοπλισμού ασφαλείας είναι υψηλό αλλά αντιπροσωπεύει μόνο το 15% του συνολικού κόστους της επένδυσης. Προκειμένου να εκτιμηθεί το κόστος του εξοπλισμού, η έκθεση αυτή βασίστηκε στην οικονομική ανάλυση που έγινε για το cold ironing στο λιμάνι της Valletta, το λιμάνι του Rotterdam και το λιμάνι του Oslo.

Επίσης για να αντιμετωπιστεί ουσιαστικά το πρόβλημα της ενέργειας και για να μην μεταφερθεί αλλού μπορεί να γίνει πρόταση για παράδειγμα ώστε να πραγματοποιηθεί μια εγκατάσταση πάρκου φωτοβολταϊκών κοντά στο λιμάνι. Αυτή η λύση είναι προαιρετική αλλά μπορούμε να λάβουμε υπόψη ότι για την υλοποίηση της θα υπάρξει οικονομική ενίσχυση από την Ε.Ε.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι για να καταστεί δυνατή μια ανταγωνιστική λύση, πρέπει να μειωθεί το υψηλό κόστος εξοπλισμού και εγκαταστάσεων. Από την άλλη πλευρά, οι επενδύσεις αυτού του είδους δεν πρέπει να αξιολογούνται αυστηρά από οικονομική άποψη, καθώς οι πρωταρχικοί στόχοι της ακτοπολικής δύναμης είναι η μείωση των εκπομπών και η βελτίωση της ποιότητας του αέρα κοντά στα λιμάνια. Είναι γεγονός ότι το κόστος, το κέρδος και ο κίνδυνος είναι οι θεμελιώδεις παράμετροι αξιολόγησης για κάθε επένδυση, αλλά η προστασία του περιβάλλοντος και των αστικών περιοχών κοντά στους λιμένες έχει μεγαλύτερη σημασία.

Τα κύρια ηλεκτρολογικά στοιχεία που απαρτίζουν τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι οι frequency converters, οι μετασχηματιστές και τα καλώδια τροφοδοσίας.

Από αυτά τα τρία είδη κατά φθίνουσα τιμή τα πιο ακριβά είναι πρώτα οι converters, μετά οι μετασχηματιστές και τελευταία τα καλώδια [37].

Ύστερα από έρευνα στην αγορά για εύρεση όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων και κοντά στην πραγματικότητα τιμών για τα προαναφερθέντα ηλεκτρολογικά στοιχεία, διαπιστώθηκε ότι:

- Ένας frequency converter κοστίζει περίπου 200,000€ ανά 1MVA ισχύος.
- Ένας μετασχηματιστής κοστίζει περίπου 30,000€ ανά 1MVA ισχύος.
- Τα καλώδια υψηλής αλλά και χαμηλής τάσης κοστίζουν από 20€ έως 30€ ανά μέτρο και η τιμή διαφέρει 1€ με 2€ ανά διατομή. Οπότε μπορεί να θεωρηθεί τιμή 25€ ανά μέτρο για τους υπολογισμούς.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία για την περίπτωση του Πειραιά καταλήγουμε στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω Πίνακες [37].

Πίνακας 5-1. Κόστος μονάδας μετατροπής συχνότητας για την εγκατάσταση στο λιμάνι του Πειραιά.

Μετατροπείς Συχνότητας			
Είδος	Ποσότητα	Τιμή/Τεμάχιο (€)	Συνολική Τιμή (€)
5 MVA 1.725/2.3kV	2	1,000,000.00	2,000,000.00
4 MVA 1.725/2.3kV	1	800,000.00	800,000.00
			2,800,000.00

Πίνακας 5-2. Κόστος μετασχηματιστών για την εγκατάσταση στο λιμάνι του Πειραιά.

Μετασχηματιστές			
Είδος	Ποσότητα	Τιμή/Τεμάχιο (€)	Συνολική Τιμή (€)
14 MVA 20/1.725kV D-YN	1	400,000.00	400,000.00
14 MVA 2.3/20kV D-YN	1	400,000.00	400,000.00
3.15 MVA 20/6.6kV D-YN	2	105,000.00	210,000.00
2.5 MVA 20/6.6kV D-YN	2	75,000.00	150,000.00
2 MVA 20/6.6kV D-YN	3	60,000.00	180,000.00
			1,160,000.00

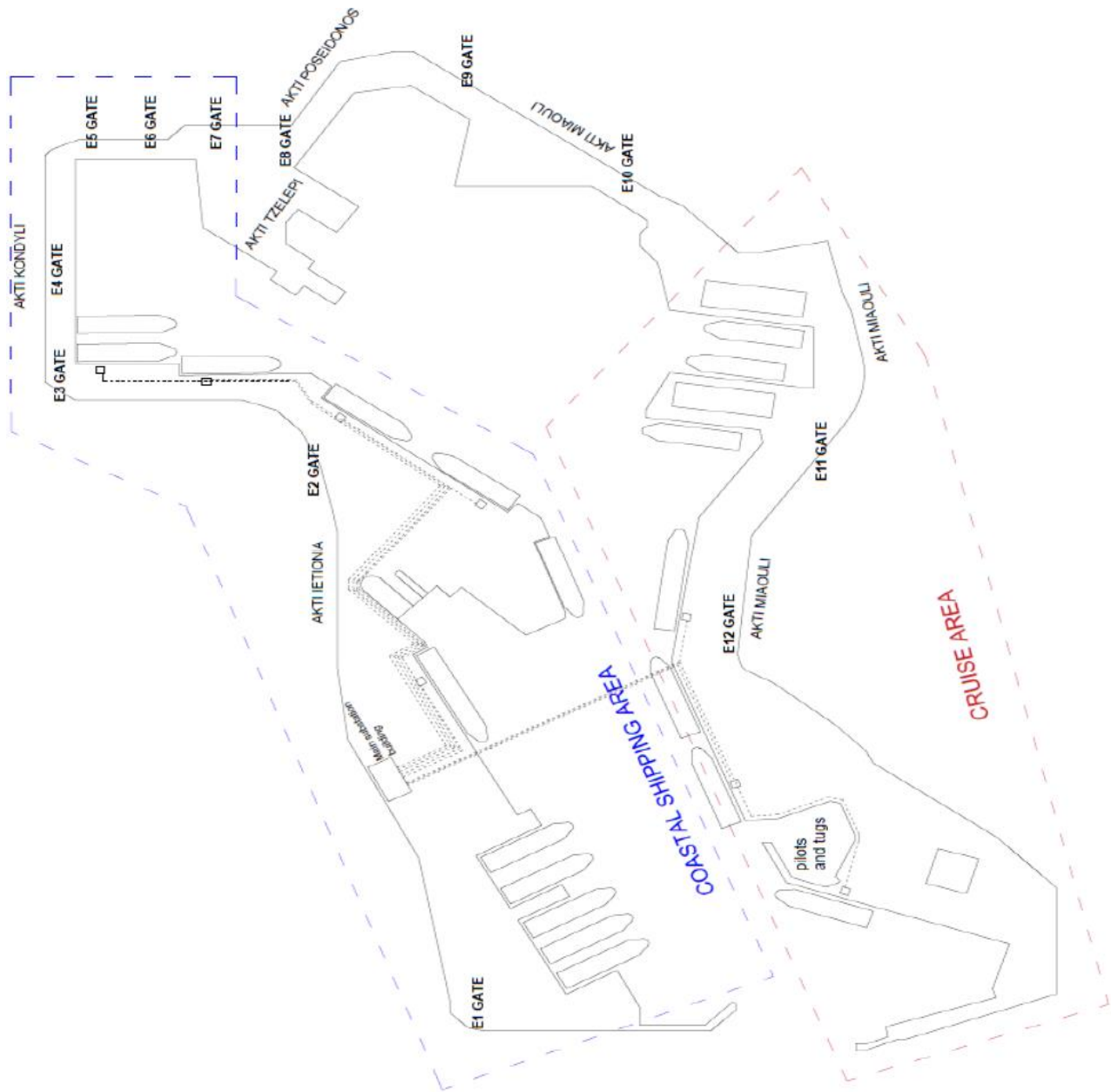
Πίνακας 5-3. Κόστος καλωδίων για την εγκατάσταση στο λιμάνι του Πειραιά.

Καλώδια				
Είδος	Μήκος (m)	Ποσότητα	Τιμή/Τεμάχιο (€)	Συνολική Τιμή (€)
N2XS2Y 1x400RM 12/20kV	200	1	5,000.00	5,000.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	1300	1	32,500.00	32,500.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	1100	1	27,500.00	27,500.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	400	1	10,000.00	10,000.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	150	1	3,750.00	3,750.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	480	1	12,000.00	12,000.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	1050	1	26,250.00	26,250.00
N2XSEY 3x50rm 12/20kV	1150	1	28,750.00	28,750.00
N2XSEY 3x95rm/16 6/10kV (υπόγεια)	25	7	625.00	4,375.00
N2XSEY 3x95rm/16 6/10kV (εναέρια)	25	7	625.00	4,375.00
				154,500.00

Επομένως, το συνολικό κόστος του βασικού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού για την εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικής διασύνδεσης πλοίων στο λιμάνι του Πειραιά, όπως συνοψίζεται στον Πίνακα 5-4 [37], ανέρχεται σε 3,464,500.00 € (συμπεριλαμβάνοντας και το κόστος συστήματος διαχείρισης καλωδίου διασύνδεσης). Αυτό το κόστος μπορεί να προσυζητηθεί περίπου κατά 20% λαμβάνοντας υπόψη λοιπά έξοδα καταλήγοντας σε ένα συνολικό κόστος 4,157,300.00 € :

Πίνακας 5-4. Συνολικό Κόστος για την εγκατάσταση στο λιμάνι του Πειραιά.

Περιγραφή	Τιμή (€)
Κόστος Μετατροπών Συχνότητας	2,800,000.00
Κόστος Μετασχηματιστών	1,160,000.00
Κόστος Καλωδιώσεων	154,500.00
Κόστος Συστήματος Διαχείρισης Καλωδίου Διασύνδεσης	150,000.00
Κόστος Κύριου Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού	3,464,500.00
Λοιπά Κόστη (εργασίες εκσκαφής και εγκατάστασης, διακοπτικός εξοπλισμός, τέλη κλπ): 20% του κύριου εξοπλισμού	692,800.00
Τελικό Συνολικό Κόστος	4,157,300.00



Εικόνα 5-1: Σχηματική αναπαράσταση δικτύου cold ironing του επιβατικού λιμένα Πειραιά [37].

5.2 ΚΟΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Εκτός από το επενδυτικό κόστος, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Κάθε εγκατάσταση cold ironing απαιτεί την πλήρη παρουσία ενός εξειδικευμένου ηλεκτρολόγου/μηχανικού ο οποίος θα επιβλέπει και θα παρακολουθεί τη δραστηριότητα του συστήματος. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη για τεχνικούς που θα συντονίζουν, θα παρακολουθούν και θα ελέγχουν τις διαδικασίες σύνδεσης και αποσύνδεσης των σκαφών. Το κόστος συντήρησης μπορεί να θεωρηθεί ότι ανέρχεται στο 3% του συνολικού κόστους εγκατάστασης [37].

Πίνακας 5-5. Λειτουργικά κόστη εγκατάστασης cold ironing στο λιμάνι του Πειραιά.

Επιβατικός Σταθμός		
Προσωπικό	Άτομα	Ετήσιος Μισθός/Άτομο
Ηλεκτρολόγοι Μηχανικά	3	20,000.00 €
Τεχνικοί	9	16,000.00 €
Συνολικό Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας		204,000.00 €
Κόστος Συντήρησης		450,540.00 €
Συνολικό Ετήσιο Κόστος		654,540.00 €

Το μέσο κόστος καυσίμου ανά kWh εκτιμήθηκε περί τα 0.1161 €/kWh. Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας πετρελαιογεννητριών, για τετράχρονους βοηθητικούς κινητήρες και γεννήτριες ντίζελ, κόστος συντήρησης, ανέρχεται στα 0.003€/kWh. Επιπλέον, η κατανάλωση λιπαντικού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε μια οικονομική ανάλυση. Το λιπαντικό έλαιο έχει κόστος περίπου 4000€/τόνο και οι θαλάσσιες 4χρονες γεννήτριες ντίζελ έχουν κατανάλωση λαδιού 0.35 gr/kWh. Επομένως, μια γεννήτρια ντίζελ που παράγει 1000 kW για 10 ώρες θα έχει κόστος περίπου 30€ για συντήρηση και επισκευές και 14 € για το λιπαντικό.

Μια εγκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά μπορεί να μην έχει άμεσα οικονομικά οφέλη για τη διαχείριση του λιμανιού του Πειραιά, ωστόσο το έμμεσο οικονομικό όφελος προέρχεται από τη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας καθώς και τη μείωση της ρύπανσης στο οικοσύστημα η οποία είναι τεράστια. Για περαιτέρω κατανόηση περί του οικονομικού πλεονεκτήματος της μεθόδου, είναι χρήσιμο να εισαχθεί ο όρος του “Shadow Price” ή του “Shadow Cost”.

Οι τιμές σκιών είναι γενικά τεχνητές νομισματικές αξίες που αποδίδονται σε αγαθά ή παραγωγικούς παράγοντες που δεν διαπραγματεύονται. Το κόστος σκιάς

ή η σκιάδης τιμή των εκπομπών αναφέρεται τη νομισματική αξία που εκχωρείται προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση αυτών των εκπομπών στην ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και τις κατασκευές. Προκειμένου να αξιολογηθεί ο οικονομικός αντίκτυπος του cold ironing, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αυτές οι σκιάδεις τιμές των: CO₂, SO_x, NO_x και PM. Μια αναφορά που πραγματοποιήθηκε από την CE Delft το 2010, παρέχει μια εκτίμηση για αυτές τις σκιάδεις τιμές που μπορείτε να βρείτε στον ακόλουθο Πίνακα 5-6 [14]. Σε γενικές γραμμές, η παρούσα έκθεση καλύπτει την επίδραση των εκπομπών στην ανθρώπινη υγεία (κόστος θεραπείας και κόστος ζωής), στο οικοσύστημα (κόστος αποκατάστασης-διαδικασία), στα κτίρια (κόστος απώλειας υποβάθμισης υλικών και κόστος αποκατάστασης) και στη γεωργία. Είναι σημαντικό να πούμε ότι η εκτίμηση της σκιάδους τιμής βασίζεται σε μεθοδολογίες που μπορούν να παράγουν μεταβλητά αποτελέσματα σύμφωνα με τις υποθέσεις που έχουν γίνει για την εκάστοτε υπόθεση. Δεν υπάρχουν επιστημονικά ακριβείς μέθοδοι προκειμένου να εκτιμηθούν οι σκιάδεις τιμές και επομένως, αυτές οι τιμές μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου [37].

Πίνακας 5-6. Υπολογισμός των “σκιαδών τιμών” εκπομπών από την CE Delft.

Pollutant	Damage Cost (€/kg)
CO ₂	0.00487
SO ₂	8.73
NO _x	7.87
PM	28.2

Το μέγιστο οικονομικό όφελος για την ανθρώπινη υγεία, το οποίο προκύπτει από τη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών από τα πλοία όταν είναι σε θέση αγκυροβολίας και χρησιμοποιούν ισχύ από την ξηρά, βρίσκεται στον παρακάτω πίνακα. Η χρήση της ακτοπλοΐας οδηγεί σε σημαντική μείωση όλων των κύριων ρύπων (CO₂, SO_x, NO_x, PM) και το ετήσιο έμμεσο οικονομικό όφελος για την ανθρώπινη υγεία υπολογίζεται σε 29.5 εκατομμύρια ευρώ για την αστική περιοχή γύρω από το λιμάνι του Πειραιά. Στον παρακάτω Πίνακα 5-7 [14] παρουσιάζονται χρήματα που εξοικονομούνται από την εφαρμογή της μεθόδου cold ironing, καθώς μειώνονται οι ρυπογόνες εκπομπές με αποτέλεσμα να παρατηρούνται θεαματικές αλλαγές ως προς το καλύτερο στην υγεία των ανθρώπων αλλά και του περιβάλλοντος γενικότερα.

Πίνακας 5-7. Μέγιστο ετήσιο εκτιμημένο οικονομικό όφελος στην υγεία που προκύπτει από τη χρήση της SSE.

Pollutant	Reduction In Emissions (t/year)	Economic Benefit
CO ₂	35015	170,523.05 €
SO _x	1705	14,884,650.00 €
NO _x	1652	13,001,240.00 €
PM	52	1,466,400.00 €
		29,522,813.05 €

Φυσικά, αυτό το οικονομικό όφελος αναφέρεται στην περίπτωση κατά την οποία κάθε πλοίο που ελλιμενίζει στον λιμένα του Πειραιά απενεργοποιεί τις γεννήτριες ντιζελ και λαμβάνει ενέργεια από την ξηρά. Μέχρι τώρα, η συντριπτική πλειοψηφία των πλοίων δεν είναι έτοιμη να λάβει ενέργεια από την ξηρά, παρά το γεγονός ότι η μέθοδος του cold ironing σε μερικά λιμάνια ανά τον κόσμο έχει εφαρμογή. Λόγω της μικρής ποσότητας λιμένων που παρέχουν ισχύ στην ξηρά, οι φορείς εκμετάλλευσης κρουαζιερόπλοιων και πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι λιγότερο πρόθυμοι να μετασκευάσουν τα σκάφη τους. Τα περιβαλλοντικά οφέλη της μεθόδου cold ironing είναι σημαντικά, αλλά οι ναυτιλιακές εταιρείες δεν είναι πιθανό να επενδύσουν στη συγκεκριμένη μέθοδο εάν η επένδυση δεν πρόκειται να αποδώσει. Πλοία, που ελλιμενίζονται καθημερινά στον Πειραιά για πολλές ώρες ανά ημέρα, είναι πιο πιθανό να εξοπλιστούν εκ νέου στο εγγύς μέλλον επειδή η επένδυση μπορεί να αποδώσει σε εξαιρετικά επίπεδα. το έμμεσο οικονομικό όφελος για την ανθρώπινη υγεία όταν μόνο το 50% των πλοίων κρουαζιέρας και εμπορευματοκιβωτίων λιμάνι του Πειραιά είναι συνδεδεμένο με την παράκτια ισχύ.

5.3 ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Όπως γνωρίζουμε, τα κρουαζιερόπλοια και τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων συνήθως δεν έχουν σταθερό πρόγραμμα. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και τα κρουαζιερόπλοια επισκέπτονται πολλά λιμάνια καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, μπορεί να έχουν διαφορετικά δρομολόγια και προορισμούς από χρόνο σε χρόνο και ούτω καθεξής. Δεδομένου ότι μόνο μερικά λιμάνια σε όλο τον κόσμο προσφέρουν παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από ξηράς στα πλοία, θα πρέπει πρώτον να είναι γνωστό το ακριβές πρόγραμμα λειτουργίας ενός πλοίου προκειμένου να αποφασιστεί εάν θα ήταν

κερδοφόρα μια εγκατάσταση εξοπλισμού cold ironing επί αυτού. Για τους λόγους αυτούς, αυτό το κεφάλαιο θα επικεντρωθεί στην αξιολόγηση αυτού του είδους των επενδύσεων σε πλοία που λειτουργούν μεταξύ του λιμανιού του Πειραιά και των νησιών του Αιγαίου Πελάγους. Επίσης, θα παρουσιαστούν πίνακες με το εκτιμώμενο ετήσιο κόστος και των εσόδων από πλευράς λιμανιού [37].

5.3.1 Σκοπιμότητα της Επένδυσης για το Μέσο Πλοίο

Η σκοπιμότητα της επένδυσης θα παρουσιάζεται για ένα υποθετικό/μέσο πλοίο που δραστηριοποιείται στο Αιγαίο και χρησιμοποιεί τον Πειραιά ως βασικό λιμάνι. Για να δημιουργηθεί αυτό το υποθετικό πλοίο, χρησιμοποιήθηκαν μέσες τιμές για το φορτίο των ξενοδοχειακών υπηρεσιών του πλοίου αυτού, τον ετήσιο χρόνο αγκυροβόλησης, την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων. Τα χαρακτηριστικά αυτού του σκάφους βρίσκονται στον Πίνακα 5-13 [37].

Πίνακας 5-13. Χαρακτηριστικά ισχύος, ενέργειας και εκπομπών ενός υποθετικού/μέσου πλοίου.

Hoteling Load (kW)	1544
Annual Berth Time (h)	1420
Fuel (t/year)	402.8
CO ₂ (t/year)	1298.5
SO _x (t/year)	22.0
NO _x (t/year)	21.3
PM (t/year)	1.3

Για έναν πλοιοκτήτη, το βασικό εισόδημα που προέρχεται από τη μετασκευή του σκάφους, είναι αυτό της οικονομία καυσίμων και υπολογίζεται ότι είναι 34,685.00 €/έτος χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.1). Επίσης, τα χρήματα που εξοικονομούνται από την κατανάλωση λιπαντικού μειώνεται και η συντήρηση της γεννήτριας είναι λιγότερο συχνή. Το λιπαντικό και το κόστος συντήρησης αναλύθηκαν στην ενότητα 5.2 και για αυτό το υποθετικό πλοίο η εξοικονόμηση από συντήρηση και λιπαντικό είναι περί τα 9265.00 €/έτος. Ωστόσο, εκτός από το αρχική επένδυση, οι πλοιοκτήτες πρέπει να εξετάσουν το κόστος συντήρησης για τον εξοπλισμό του cold ironing που υπολογίζονται σε 8440.00 €/έτος για αυτό το σκάφος [37].

$$FuelSaving (\text{€}) = \left[Fuel \left(\frac{\text{€}}{kWh} \right) - ShorePower \left(\frac{\text{€}}{kWh} \right) \right] \cdot BerthTime (h) \cdot Load (kW) \quad [5.1]$$

Η ετήσια εξοικονόμηση υπολογίζεται σε περίπου 43,950.04 € ενώ το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού θα είναι περίπου 8,437.50 €/έτος. Η επένδυση δεν μπορεί να είναι κερδοφόρα για τον πλοιοκτήτη στην περίπτωση που τα συνολικά τέλη ισχύος πρέπει να απορροφηθούν από τον ιδιοκτήτη. Με τις πραγματικές τιμές της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-1, η χρέωση ρεύματος για κάθε πλοίο είναι περίπου 86,678.00 €/έτος. Το σενάριο που προτείνεται στην παρούσα έκθεση περιλαμβάνει συμμετοχή 45% του πλοιοκτήτη στα τέλη ισχύος ενώ η λιμενική διοίκηση είναι υπεύθυνη για το υπόλοιπο 55%. Φυσικά, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να υπάρξει ειδική τιμολογιακή πολιτική μεταξύ της ΔΕΗ και των λιμενικών αρχών, ώστε περισσότεροι πλοιοκτήτες να ενδιαφέρονται για το cold ironing. Το κέρδος είναι πάντα η κινητήρια δύναμη σε κάθε είδους βιομηχανία, επομένως είναι απαραίτητο η επένδυση στη μετασκευή να αποδίδει καρπούς, ώστε όλο και περισσότερα πλοία να είναι εξοπλισμένα ώστε να μπορούν να τροφοδοτηθούν από ξηράς για τις ηλεκτρικές του ανάγκες. Υποθέτοντας ένα επιτόκιο έκπτωσης 4% και μια 20ετή διάρκεια ζωής του εξοπλισμού επί του σκάφους (μετασχηματιστής, σύστημα καρουλιού καλωδίων, διακόπτες κ.λπ.), η κερδοφορία της επένδυσης μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο καθαρής παρούσας αξίας (NPV) (εξίσωση 5.2). Η καθαρή ταμειακή ροή υπολογίζεται με βάση τα έσοδα και τα έξοδα που αναφέρονται παραπάνω. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου φαίνονται στον Πίνακα 5-14.

Τιμολόγιο Γ23	
Τετραμηνιαία χρέωση	
πάγιο:	20,14 €
ενέργεια:	
- ωράριο "κανονικής χρέωσης"	0,18921 €/kWh
- ωράριο "μειωμένης χρέωσης"	0,05925 €/kWh
ελάχιστη χρέωση:	(ΣΙ)*2,3492 €
όπου ΣΙ = Συμφωνημένη Ισχύς σε kVA	

Εικόνα 5-2: Τιμολογιακό καθεστώς κόστους ηλεκτρικής ενέργειας επιχειρήσεων και βιομηχανιών (<https://dei.gr/el>).

$$NPV(i, N) = \sum_{t=0}^{20} \frac{Net\ Cash\ Flow}{(1+i)^t} \quad [5.2]$$

Πίνακας 5-14. Υπολογισμός NPV για υποθετικό λιμάνι.

Year	Annual Savings (fuel, maintenance)	Maintenance of cold-ironing equipment	Usage fee	Investment (Retrofit)	
0				-330,000.00 €	-330,000.00 €
1	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		24,191.57 €
2	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		23,223.91 €
3	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		22,294.95 €
4	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		21,403.15 €
5	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		20,547.02 €
6	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		19,725.14 €
7	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		18,936.13 €
8	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		18,178.69 €
9	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		17,451.54 €
10	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		16,753.48 €
11	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		16,083.34 €
12	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		15,440.00 €
13	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		14,822.41 €
14	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		14,229.51 €
15	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		13,660.33 €
16	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		13,113.92 €
17	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		12,589.36 €
18	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		12,085.79 €
19	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		11,602.35 €
20	55,200.00 €	-6,500.00 €	-23,500.45 €		11,138.26 €
NPV					7,140.85 €

Από τον Πίνακα 5-14 η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι θετική (NPV>0), ένδειξη που σημαίνει ότι η παραπάνω επένδυση θα είναι κερδοφόρα.

Τέλος, ενδεικτικά στην Εικόνα 5-3 παρουσιάζεται η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας υπό χαμηλή τάση (ΧΤ) στον Οργανισμό Λιμένος Πειραιώς (ΟΛΠ).

ΕΙΔΙΚΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ:

T-49 ΟΛΠ

Μηνιαία χρέωση

πάγιο:	0 €
ισχύς:	11,1903 €/kW
ενέργεια:	0,10192 €/kWh
ελάχιστη χρέωση (η αξία 2 kWh):	0,20 €

Εικόνα 5-3: Τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στον ΟΛΠ (<https://deigr/el>).

5.3.2 Κόστη και οφέλη για το λιμάνι

Η σύνοψη του ετήσιου κόστους και εσόδων παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5-15. Φυσικά, η ετήσια εξοικονόμηση από εκπομπές δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ταμειακή ροή δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει το έμμεσο αποτιμημένο όφελος για την υγεία που προκύπτει από τη χρήση ισχύος από ξηρά αντί για ενσωματωμένες ηλεκτρογεννήτριες ντίζελ.

Πίνακας 5-15. Ετήσιο κόστος και έσοδα για το λιμάνι.

Annual Savings (Valuated Health Cost)	Operation and Maintenance	Power fee	Investment
			22,631,500.00 €
29,522,813.05 €	-1,038,945.00 €	-2,236,080.00 €	

Ακολουθώντας το παράδειγμα του λιμανιού του Λος Άντζελες, το λιμεναρχείο Πειραιά θα μπορούσε επίσης να εισαγάγει ειδικούς κανονισμούς που θα απαιτούσαν τη διακοπή λειτουργίας των γεννητριών ντίζελ για ένα συγκεκριμένο ποσοστό των πλοίων που ελλιμενίζονται στο λιμάνι του Πειραιά. Αυτά τα ποσοστά θα πρέπει να αυξάνονται κάθε χρόνο έτσι ώστε σε μια δεκαετία από τώρα να υπερβαίνουν το 80% των σκαφών ελλιμενισμού ώστε να είναι έτοιμα να συνδεθούν με την ηλεκτρική ενέργεια στην ξηρά. Κρουαζιέρα και κοντέινερ Η κίνηση των πλοίων είναι αρκετά υψηλή στον Πειραιά και αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω την επόμενη δεκαετία. Μια κατάλληλη ρύθμιση που θα απαιτούσε ένα συγκεκριμένο ποσοστό των πλοίων ανά έτος να τροφοδοτείται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια μέσω του εξοπλισμού cold ironing, πράγμα που θα ήταν

εξαιρετικά επωφελές για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον αλλά και θα τονώσει την καθιέρωση και της μεθόδου αυτής και στα υπόλοιπα ελληνικά λιμάνια [37].

5.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Χωρίς την τεχνολογία της ψυχρής εκκίνησης των πλοίων, τα πλοία πρέπει να διατηρούν σε λειτουργία τους βοηθητικούς κινητήρες κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού προκειμένου να τροφοδοτούνται, μεταξύ άλλων, οι υπηρεσίες HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), έχοντας τις συνακόλουθες αρνητικές επιπτώσεις ρύπανσης [38] (π.χ. επιπτώσεις στην υγεία, καταστροφές καλλιεργειών, υλικές/ κτιριακές ζημιές, και ζημιές στη βιοποικιλότητα όπου είναι τρομακτικά τεράστιες) και έτσι είναι φυσικό επόμενο η ατμοσφαιρική ρύπανση αυτή να φέρνει νέα μέτρα στο τραπέζι για ριζικές αλλαγές στα ενεργειακά πρωτόκολλα. Σε γενικές γραμμές, η εκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους δεν είναι εύκολη δραστηριότητα με αποτέλεσμα να καθυστερούν και οι σχετικές έρευνες που διερευνούν τη σκοπιμότητα της πλατφόρμας HVSC. Στην περίπτωση του κλάδου των μεταφορών, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει κινήσει διαδικασίες για τη ρύθμιση «ο χρήστης πληρώνει-ο ρυπαίνων πληρώνει» στα κράτη της ΕΕ, καθώς και το οριακό εξωτερικό κόστος όλων των τρόπων μεταφοράς. Τα κόστη του Πίνακα 5-16 εκφράζουν τα σαφή επίπεδα των τιμών του 2016, τιμές που ενημερώθηκαν έως το 2019 με τον ΕνΔΤΚ (Εναρμονισμένος Δείκτης Τιμών Καταναλωτή) όπως στη σχέση (5.3).

Για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους P_{2019} για το 2019, ο δείκτης $HICP_{2019}$ διαιρείται με τον δείκτη $HICP_{2016}$. Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται επί το κόστος P_{2016} , πράγμα που φανερώνει και η εξίσωση (5.3). Στη σχέση (5.3), και οι δύο ΕνΔΤΚ λαμβάνονται από τη βάση δεδομένων της Eurostat της ΕΕ-28, στην οποία ο $HICP_{2016} = 100.25$ και ο $HICP_{2019} = 105.42$. Όσον αφορά τις χώρες της αδριατικής διαδρομής (CR-GR-IT), τα αρχικά στοιχεία (2016) αναφέρονται στον Πίνακα 5-16, ενώ οι ενημερωμένες τιμές σύμφωνα με την εξίσωση (5.3) είναι στον Πίνακα 5-17. Και στους δύο πίνακες, το περιβαλλοντικό κόστος αναφέρεται στις εξής εκπομπές: NO_x , NMVOC, SO_2 , $PM_{2.5}$, PM_{10} , και CO_2 . Η ζημία που προκαλεί το εκάστοτε πλοίο (δηλαδή οι περιβαλλοντικές εξωτερικές επιπτώσεις) υπολογίστηκαν, πολλαπλασιάζοντας τις παραμέτρους κόστους (Πίνακας 5-17) με τις ρυπογόνες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη συγκεκριμένη πηγή όπου εν προκειμένω είναι τα κρουαζιερόπλοια [38-41].

Η ακόλουθη διαδικασία παρέχει βήμα προς βήμα όλες τις πληροφορίες για τον ακριβή ποσοτικό προσδιορισμό των αρνητικών παραγόντων που πρέπει να αποφεύγονται από τη χρήση HVSC.

$$P_{2019} = \frac{HICP_{2019}}{HICP_{2016}} \cdot P_{2016} \quad [5.3]$$

Πίνακας 5-16. Περιβαλλοντικά κόστη για CR-GR-IT (2016, $PM_{2.5}$ αναφέρεται σε αστικές περιοχές).

	EUR/ton NO _x	EUR/ton NMVOC	EUR/ton SO ₂	EUR/ton PM _{2.5}	EUR/ton PM ₁₀	EUR/ton CO _{2eq}
EU-28 Aggregate	21,300.00	1200.00	10,900.00	123,000.00	22,300.00	100.00
Croatia (CR)	18,500.00	900.00	8000.00	95,000.00	8200.00	100.00
Greece (GR)	5100.00	300.00	5900.00	86,000.00	24,800.00	100.00
Italy (IT)	25,400.00	1100.00	12,700.00	132,000.00	19,000.00	100.00

Πίνακας 5-17. Περιβαλλοντικά κόστη για CR-GR-IT (2019, $PM_{2.5}$ αναφέρεται σε αστικές περιοχές).

	EUR/ton NO _x	EUR/ton NMVOC	EUR/ton SO ₂	EUR/ton PM _{2.5}	EUR/ton PM ₁₀	EUR/ton CO _{2eq}
EU-28 Aggregate	22,398.46	1261.89	23,450.03	129,343.24	11,462.12	105.16
Croatia (CR)	19,454.06	946.41	8622.88	99,899.25	8412.57	105.16
Greece (GR)	5363.01	315.47	26,078.96	90,435.11	6204.27	105.16
Italy (IT)	26,709.91	1156.73	19,979.85	138,807.38	13,354.95	105.16

Βήμα προς βήμα η διαδικασία για τον ποσοτικό προσδιορισμό των εκπομπών του συμπλέγματος των τριών χωρών (Κροατία | Ελλάδα | Ιταλία) της ΕΕ και του περιβαλλοντικού κόστους

- A Επιλέχθηκαν ορισμένα λιμένες που αποτελούν το σύμπλεγμα. Στα λιμάνια αυτά υποτίθεται ότι σταματούν τα κρουαζιερόπλοια για το χρόνο κατά τον οποίο παράγουν ρυπογόνες εκπομπές GHG.
- B Συλλέχθηκαν τα διαθέσιμα δεδομένα [42–49] για τους ελλειμματικούς των κρουαζιερόπλοιων για κάθε λιμάνι του συμπλέγματος στο έτος αναφοράς (2019, το τελευταίο πριν από τον COVID-19). Οι απαραίτητες πληροφορίες υπάρχουν στον Πίνακα 5-18, για τον οποίο ο χρόνος του cold ironing προκύπτει από την εξίσωση (5.4). Η τελευταία παράμετρος στον πίνακα αυτό λαμβάνει υπόψη το χρόνο κατά τον οποίο το πλοίο τροφοδοτείται από το σύστημα HVSC. Στην εξίσωση (5.4), μια ώρα θεωρείται γενικά ο τυπικός χρόνος για τη σύνδεση και την αποσύνδεση των καλωδίων ηλεκτροδότησης. Χωρίς την υποδομή HVSC, ο χρόνος στην εξίσωση (5.4) ξεραίνεται τροφοδοτώντας το πλοίο με καύσιμο (δηλαδή με μαζούτ, κ.ά.), αυξάνοντας έτσι τελικά τις ρυπογόνες εκπομπές GHG.

$$t_{cold\ ironing} = t_{departure} - t_{arrival} - 1 [hour] \quad [5.4]$$

Πίνακας 5-18. Σύνολο δεδομένων για κάθε λιμάνι του συμπλέγματος.

Date	Vessel	Time of Arrival	Time of Departure	Mooring Time	Cold Ironing Time
------	--------	-----------------	-------------------	--------------	-------------------

- C. Προσδιορίστηκαν οι συντελεστές των εκπομπών κάθε ανεπιθύμητης ουσίας (NO_x, NMOC, PM₁₀, PM_{2.5} και CO₂), οι οποίες αντικατοπτρίζουν την ποσότητα που εκπέμπεται κατά την καύση ενός τόνου καυσίμου. Προφανώς οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται αυστηρά από τον τύπο του κινητήρα, τον τύπο καυσίμου και την πλσήγηση (εν πλώ ελιγμοί στο λιμάνι και χρόνος που παραμένει στην αποβάθρα). Δεδομένου ότι αυτά τα δεδομένα δεν είναι πλήρως διαθέσιμα για όλα τα σκάφη (Πίνακας 5-18), οι σταθμισμένοι μέσοι συντελεστές εκπομπών υπολογίστηκαν για να απλοποιηθεί η ανάλυση. Για τις εξεταζόμενες ουσίες, ο μέσος όρος στην εξίσωση (5.5) συνυπολογίζει τους συντελεστές εκπομπών για κάθε τύπο κινητήρα, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης του εν λόγω κινητήρα όσον αφορά τον παγκόσμιο στόλο κρουαζιερόπλοιων. Στην εξίσωση (5.5), κάθε ανεπιθύμητη ουσία-*i*, προσδιορίζεται ποσοτικά από τον συντελεστή εκπομπών F_i , ένας αδιάστατος όρος (π.χ. g εκπομπών/τόνο καυσίμου), ενώ ο δείκτης w_e αντιπροσωπεύει τον τύπο κινητήρα και ο δείκτης w_e εκφράζει το ποσοστό του δείκτη w_e τα ποσοστά δηλαδή των τύπων κινητήρα όσον αφορά τον παγκόσμιο στόλο κρουαζιερόπλοιων (Πίνακας 5-19) [50].

$$F_i = \sum_e F_{i,e} \cdot w_e / \sum w_e \quad \left[\frac{g}{tonfuel} \right] \quad [5.5]$$

Πίνακας 5-19. Στατιστική κατανομή κινητήρων και τύπων καυσίμων για τον μεσογειακό στόλο κρουαζιερόπλοιων.

GT	GT	HSD	HSD	MSD	MSD	SSD	SSD	ST	ST
BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO
3.29%	4.79%	1.76%	3.68%	76.98%	5.68%	3.81%	0.00%	0.02%	0.00%

- D. Είναι σημαντικό, σε αυτό το σημείο να αναφερθεί το εξής, ότι δηλαδή η μέθοδος στην εξίσωση (5.5) ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται συνήθως κατά τον προσδιορισμό του C_{spec} (δηλ. ειδική κατανάλωση καυσίμου του στόλου κρουαζιερόπλοιων). Πράγματι, στην εξίσωση (5.6), ο όρος w_e έχει την ίδια έννοια που έχει ήδη παρατηρηθεί στην εξίσωση (5.5), ενώ το C_e είναι το συγκεκριμένο καύσιμο κατανάλωση. Προφανώς, ο λογαριασμός στην εξίσωση (5.6) είναι θεμελιώδης για τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου κατά τον ελλιμενισμό.

$$C_{spec} = \sum_e C_e \cdot w_e / \sum w_e \quad \left[\frac{gfuel}{kWh} \right] \quad [5.6]$$

- E. Μόνο ο συντελεστής εκπομπών για τα οξείδια του θείου (SO_x) αξιολογείται με διαφορετική προσέγγιση. Δεδομένου ότι εξαρτάται μόνο από το καύσιμο, στην εξίσωση (5.7), η ανεπιθύμητη ουσία υπολογίζεται, υιοθετώντας το ποσοστό S της περιεκτικότητας σε θείο στο καύσιμο. Πο συγκεκριμένα, η παράμετρος S ισούται με 0.1 όπως και επιβάλλουν οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί ελλιμενισμού των πλοίων.

$$F_{su} = 20 \cdot S \left[\frac{kg}{tonfuel} \right] \quad [5.7]$$

- F. Για τις πέντε υπό εξέταση ουσίες, ο Πίνακας 5-20 παρέχει τους συντελεστές εκπομπών των κύριων/βοηθητικών κινητήρων. Δεδομένου ότι όλα αυτά τα δεδομένα έχουν ένα ευαίσθητο περιθώριο σφάλματος, τα αποτελέσματα λαμβάνουν υπόψη την ονομαστική τιμή, τις ελάχιστες αλλά και τις μέγιστες τιμές που συσχετίζονται με τις αβεβαιότητες (Πίνακας 5-21) [38].

Πίνακας 5-20. Συντελεστές εκπομπών για τις διάφορες ανεπιθύμητες ουσίες (κύριων/βοηθητικών κινητήρων).

Pollutant-GHG	Unit	Main Engines	Auxiliary Engines
NO _x	g/kWh	9.80	13.45
NM VOC	g/kWh	1.38	0.40
PM _{10-2.5}	g/kWh	2.14	0.75
SO _x	kg/ton fuel	2.00	2.00
CO ₂	g/kWh	750.00	750.00

Πίνακας 5-21. Εκτιμώμενες αβεβαιότητες που δίνονται ως ποσοστό που σχετίζεται με τους συντελεστές εκπομπών.

Pollutant-GHG	At Sea	Maneuvering	Mooring
NO _x	±20%	±40%	±30%
NM VOC	±10%	±30%	±20%
PM _{10-2.5}	±25%	±50%	±40%
SO _x	±25%	±50%	±40%
CO ₂	±10%	±30%	±20%
[Fuel Consumption]	±10%	±30%	±20%

- G. Η δαμή της βάσης δεδομένων για τα πλοία αναφέρεται στους Πίνακες 5-22 και 5-23 [38]. Αυτή η βάση δεδομένων διαδραματίζει καίριο ρόλο σε αυτό το έργο, καθώς περιέχει όλα τα δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ισχύος και τις εκπομπές για τα εξεταζόμενα πλοία. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για να εκτίμησει της μείωσης λόγω της εφαρμογής της ψυχρής εκκίνησης των πλοίων. Όταν η τιμές των $P_{main,100\%}$ και $P_{aux,100\%}$ δεν είναι άμεσα διαθέσιμες από τη βιβλιογραφία, ο Πίνακας 5-22 μπορεί να συμπληρωθεί με τη χρήση των εξισώσεων (5.8) και (5.9) [51].

$$P_{main,100\%} = 42.966 \cdot GT^{0.6035} \quad [MW] \quad [5.8]$$

$$P_{aux,100\%} = 0.27 \cdot P_{main,100\%} \quad [MW] \quad [5.9]$$

Αντίθετα, οι τιμές $P_{main,mooring}$ και $P_{aux,mooring}$ είναι το 20% και το 40% των ονομαστικών τιμών, αντίστοιχα [50]. Καθώς οι κύρια κινητήρες λειτουργούν μόνο για το 5% του χρόνου πρόσδεσης, η

συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου κατά το αγκυροβόλιο έχει ως αποτελέσματα όπως στην εξίσωση (5.10). Η εξίσωση (5.11) απαιτείται για την επαλήθευση των μονάδων μέτρησης:

$$C_{mooring} = C_{spec} \cdot \frac{P_{main,100\%} \cdot 0.05 + P_{aux,100\%}}{10^3} \left[\frac{ton}{h} \right] \quad [5.10]$$

$$\left[\frac{g_{fuel}}{kWh} \frac{1}{10^6} \right] \cdot [MW \cdot 10^3] = \left[\frac{ton_{fuel}}{h} \right] \quad [5.11]$$

Η Με τη χρήση της πλατφόρμας HMSC μπορούν να αποφευχθούν οι εκπομπές ανεπιθύμητων ουσιών (Πίνακες 5-24 και 5-25) [38]. Για τις ουσίες εκείνες των οποίων ο συντελεστής εκπομπών βρίσκεται στο βήμα F, οι $E_{i,p}$ εκπομπές που αποφεύγονται δίνονται με την εξίσωση (5.12), ενώ η εξίσωση (5.13) επαληθεύει τις μονάδες μέτρησης. Το αποφευκτέ θείο σταθμίζεται στην εξίσωση (5.14), ενώ η επαλήθευση των μονάδων μέτρησης πραγματοποιείται στην εξίσωση (5.15).

$$E_{i,p} = (P_{main,100\%} \cdot 10^3 \cdot 0.05 \cdot F_{i,main} + P_{aux,100\%} \cdot 10^3 \cdot F_{i,aux}) \cdot \frac{1}{10^6} \cdot t_{cold\ ironing} \quad [ton] \quad [5.12]$$

$$([MW \cdot 10^3] \cdot \left[\frac{g}{kWh} \right] + [MW \cdot 10^3]) \cdot \left[\frac{1}{10^6} \right] \cdot [h] = [ton] \quad [5.13]$$

$$E_{i,su} = F_{su} \cdot \frac{1}{10^3} \cdot C_{mooring} \cdot t_{cold\ ironing} \quad [ton] \quad [5.14]$$

$$\left[\frac{kg}{ton\ fuel} \frac{1}{10^3} \right] \cdot \left[\frac{ton_{fuel}}{h} \right] \cdot [h] = [ton] \quad [5.15]$$

Ι. Το τελευταίο βήμα ήταν ο προσδιορισμός του εξωτερικού κόστους, ο οποίος επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας κάθε εκπομπή με το σχετικό κόστος, όπως αναφέρεται στον Πίνακα 5-22

Πίνακας 5-22. Δομή βάσης δεδομένων πλοίων – Μέρος Ι.

Rated Values	
Vessel	name
GT	ton
$P_{main,100\%}$	MW
$P_{aux,100\%}$	MW
$P_{aux, mooring}$	MW
$P_{main, mooring}$	MW
$C_{moor.}$	ton/h
NO_x	ton/h
NM VOC	ton/h
PM_{10}	ton/h
$PM_{2.5}$	ton/h
SO_x	ton/h
CO_2	ton/h

Πίνακας 5-23. Δομή βάσης δεδομένων πλοίων – Μέρος II.

Minimum Values		Maximum Values	
C _{moor.}	ton/h	C _{moor.}	ton/h
NO _x	ton/h	NO _x	ton/h
NMVOOC	ton/h	NMVOOC	ton/h
PM ₁₀	ton/h	PM ₁₀	ton/h
PM _{2.5}	ton/h	PM _{2.5}	ton/h
SO _x	ton/h	SO _x	ton/h
CO ₂	ton/h	CO ₂	ton/h

Πίνακας 5-24. Βάση δεδομένων της ουσίας που εκπέμπεται (για κάθε λιμένα) – Μέρος I.

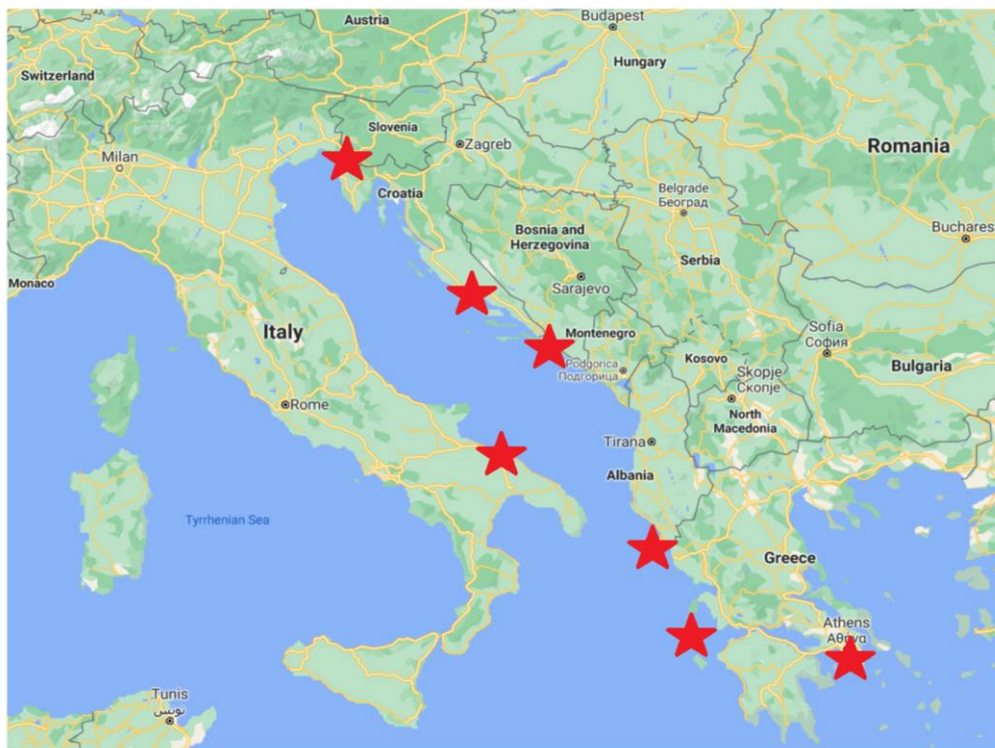
Rated Values	
Ship	
Date	
Arrive	h
Departure	h
Mooring Time	h
HVSC Time	h
C _{moor.}	ton/h
NO _x	ton/h
NMVOOC	ton/h
PM ₁₀	ton/h
PM _{2.5}	ton/h
SO _x	ton/h
CO ₂	ton/h

Πίνακας 5-25. Βάση δεδομένων της ουσίας που εκπέμπεται (για κάθε λιμένα) – Μέρος II.

Minimum Values		Maximum Values	
C _{moor.}	ton	C _{moor.}	ton
NO _x	ton	NO _x	ton
NMVOOC	ton	NMVOOC	ton
PM ₁₀	ton	PM ₁₀	ton
PM _{2.5}	ton	PM _{2.5}	ton
SO _x	ton	SO _x	ton
CO ₂	ton	CO ₂	ton

5.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΗΥΣΣΤΗΝ ΑΔΡΙΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

Για την αξιολόγηση και τον ποσοτικό προσδιορισμό της επίδρασης του cold ironing για τους λιμένες της Αδριατικής διαδρομής που αναφέρθηκαν προηγουμένως αλλά θα αναφερθούν και παρακάτω αντλήθηκαν στοιχεία από μια βάση δεδομένων περίπου 58,500 στοιχείων. Κατά μήκος της επιλεγμένης Αδριατικής διαδρομής από την Ιταλία προς την Κροατία και την Ελλάδα (Εικόνα 5-4), η συγκεκριμένη βάση δεδομένων περιλαμβάνει όλες τις εκπομπές που εξοικονομούνται λόγω των πλατφορμών HVSC (High Voltage Shore Connection) στους λιμένες. Έτσι, όλα τα κρουαζιερόπλοια στη διαδρομή της Αδριατικής (περισσότερα από εκατό) επιλέγονται από τη βάση δεδομένων προκειμένου να υπολογιστούν οι συγκεκριμένες ωριαίες καταναλώσεις και εκπομπές (δηλαδή ρυπογόνες ουσίες και αέρια θερμοκηπίου) με την εφαρμογή εξισώσεων (5.4)–(5.7). Το αποτέλεσμα αυτό είναι αξιοσημείο, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει το σύνολο των εκπομπών κάθε σκάφους. Έτσι συνδυάζοντας αυτές τις πληροφορίες με τα δεδομένα ελλιμενισμού και την ώρα άφιξης-αναχώρησης κάθε πλοίου, η βάση δεδομένων παρέχει τις συνολικές εκπομπές/εξωτερικές εκπομπές σε κάθε λιμένα, σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία. Το αποτέλεσμα της αδριατικής διαδρομής συνοψίζεται στους Πίνακες 5-26 έως 5-31 [38], παρουσιάζοντας ποικιλία διαβαθμίσεων με ελάχιστες και μέγιστες τιμές.



Εικόνα 5-4 Αδριατική Διαδρομή (Τριέστη, Σπλιτ, Ντουμπρόβνικ, Κέρκυρα, Αργοστόλι, Πειραιάς και Μυτιλήνη) [38].

Πίνακας 5-26. Αποφυγή εκπομπών στο σύμπλεγμα με cold ironing (ετήσιες ονομαστικές τιμές).

Port	Mooring Time	HVSC Time	C Fuel	Rated Values (tons Emitted)					
				NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
Trieste	673.40	627.40	690.79	39.97	1.47	2.63	2.63	1.38	2281.32
Dubrovnik	3417.70	3060.70	2779.98	160.86	5.91	10.59	10.59	5.56	9180.76
Piraeus	4804.81	4364.81	4354.26	251.96	9.26	16.58	16.58	8.71	1,4379.78
Argostoli	972.00	864.00	869.79	50.33	1.85	3.31	3.31	1.74	2872.46
Corfù	2660.50	2337.50	2175.55	125.89	4.63	8.28	8.28	4.35	7184.68
Split	1569.50	1399.50	1259.50	72.88	2.68	4.80	4.80	2.52	4159.45
Bari	1678.80	1450.80	1501.21	86.87	3.19	5.72	5.72	3.01	4957.68
GLOBAL	15,776.71	14,104.71	13,632.80	788.87	29.00	51.92	51.92	27.27	45,021.79

Πίνακας 5-27. Αποφυγή εκπομπών στο σύμπλεγμα με cold ironing (ετήσιες ελάχιστες τιμές).

Port	Minimum Values (tons Emitted)						
	C Fuel	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
Trieste	552.64	27.98	0.88	1.58	1.58	0.88	1825.06
Dubrovnik	2223.98	112.61	3.55	6.34	6.34	3.56	7344.61
Piraeus	3483.41	176.37	5.55	9.94	9.94	5.57	11,503.83
Argostoli	695.83	35.23	1.11	1.98	1.98	1.11	2297.96
Corfù	1740.44	88.12	2.78	4.96	4.96	2.78	5747.74
Split	1007.60	51.02	1.61	2.87	2.87	1.61	3327.56
Bari	1200.97	60.81	1.92	3.43	3.43	1.92	3966.15
GLOBAL	10,906.24	552.21	17.39	31.11	31.11	17.45	36,017.43

Πίνακας 5-28. Αποφυγή εκπομπών στο σύμπλεγμα με cold ironing (ετήσιες μέγιστες τιμές).

Port	Minimum Values (tons Emitted)						
	C Fuel	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
Trieste	828.95	51.97	2.06	3.68	3.68	1.99	2737.59
Dubrovnik	3335.97	209.12	8.28	14.82	14.82	8.01	11,016.91
Piraeus	5225.12	327.55	12.97	23.21	23.21	12.54	17,255.74
Argostoli	1043.75	65.43	2.59	4.64	4.64	2.51	3446.95
Corfù	2610.66	163.66	6.48	11.60	11.60	6.27	8621.62
Split	1511.40	94.75	3.75	6.72	6.72	3.63	4991.34
Bari	1801.45	112.93	4.47	8.00	8.00	4.33	5949.22
GLOBAL	16,359.36	1025.53	40.61	72.68	72.68	39.26	54,026.15

Πίνακας 5-29. Αποφυγή περιβαλλοντικού κόστους στο σύμπλεγμα ανά ρυπογόνα ουσία-GHG (ετήριες ονομαστικές αξίες).

Rated Values (Values in EUR)						
Port	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
Trieste	1,067,680.88	1700.04	52,560.67	365,158.34	18,451.05	239,897.12
Dubrovnik	3,129,477.30	5597.59	91,287.96	1,057,604.36	46,773.47	965,422.37
Piraeus	1,351,275.53	2922.49	432,439.11	1,499,587.24	54,030.0	1,512,136.57
Argostoli	269,926.03	583.79	86,382.51	299,552.25	10,792.8	302,059.06
Corfù	675,147.98	1460.19	216,062.81	749,250.08	26,995.4	755,520.19
Split	1,417,845.97	2536.05	41,359.07	479,159.91	21,191.2	437,395.80
Bari	2,322,889.87	3698.68	114,353.13	794,453.32	40,142.8	521,929.91
GLOBAL	10,234,243.56	18,498.83	1,034,445.26	5,244,765.51	218,376.9	4,734,361.03

Πίνακας 5-30. Αποφυγή περιβαλλοντικού κόστους στο σύμπλεγμα ανά ρυπογόνα ουσία-GHG (ετήσιες ελάχιστες αξίες).

Minimum Values (Values in EUR)						
Port	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
Trieste	747,376.62	1019.39	31,492.90	218,792.76	11,808.67	191,917.69
Dubrovnik	2,190,634.11	3356.48	54,697.21	633,687.21	29,935.02	772,337.90
Piraeus	945,892.87	1752.41	259,105.53	898,511.10	34,579.22	1209,709.26
Argostoli	188,948.22	350.06	51,758.01	179,483.41	6907.42	241,647.25
Corfù	472,603.59	875.57	129,458.85	448,929.87	17,277.08	604,416.16
Split	992,492.18	1520.69	24,781.21	287,099.34	13,562.41	349,916.64
Bari	1,626,022.91	2217.84	68,517.22	476,014.40	25,691.42	417,543.93
GLOBAL	7,163,970.49	11,092.45	619,810.92	3142,518.09	139,761.25	3,787,488.82

Πίνακας 5-31. Αποφυγή περιβαλλοντικού κόστους στο σύμπλεγμα ανά ρυπογόνα ουσία-GHG (ετήσιες μέγιστες αξίες).

Maximum Values (Values in EUR)						
Port	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
Trieste	1,387,985.15	2380.06	73,584.94	511,221.68	26,569.51	287,876.54
Dubrovnik	4,068,320.49	7836.63	127,803.14	1,480,646.10	67,353.80	1,158,506.85
Piraeus	1,756,658.19	4091.49	605,414.76	2,099,422.14	77,803.26	1,814,563.89
Argostoli	350,903.84	817.30	120,935.51	419,373.15	15,541.70	362,470.88
Corfù	877,692.37	2044.26	302,487.94	1,048,950.11	38,873.43	906,624.23
Split	1,843,199.76	3550.48	57,902.69	670,823.88	30,515.42	524,874.96
Bari	3,019,756.83	5178.15	160,094.38	1,112,234.65	57,805.70	626,315.89
GLOBAL	13,304,516.63	25,898.37	1,448,223.36	7,342,671.71	314,462.81	5,681,233.24

Πολλαπλασιάζοντας τα τελευταία αποτελέσματα με τα κόστη που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-17, υπολογίζονται τα τελικά περιβαλλοντικά έξοδα. Στη συνέχεια, για να αποδειχθεί η κερδοφορία της HVSC στο ετησίως αποφευκτέο κόστος πρέπει να ληφθεί υπόψη ολόκληρη η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Κατά τη διενέργεια της οικονομικής ανάλυσης, η εξίσωση (5.16) παρέχει $C_{life,p}$, το οποίο είναι το κόστος των εκπομπών στον λιμένα p καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προαναφερόμενου εξοπλισμού. Για να υπολογιστεί μια τέτοια αξία, αυτή των εκπομπών στον λιμένα p κατά το έτος αναφοράς 2019 (δηλ. $C_{1,p}$), χρησιμοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι: t = έτος αναφοράς i = ρυπογόνο στοιχείο/GHG και r = προεξοφλητικό επιτόκιο. Για το εκπιτωτικό ποσοστό, ο εκτελεστικός κανονισμός ΕΕ 2015/207 της Επιτροπής της 20ής Ιανουαρίου 2015 προτείνει 3% για την Ιταλία και 5% για την Ελλάδα και την Κροατία ως δικαιούχοι των ταμείων συνοχής.

$$C_{life,p} = \sum_{t=1}^{15} C_{1,p} / (1 + r/100)^t \quad [EUR] \quad [5.16]$$

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προκύπτουν οι Πίνακες 5-32 & 5-33 [38], ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται χρονική περίοδος αναφοράς 15 ετών σύμφωνα με τις διατάξεις του παραρτήματος Ι του κατ' εξουσιοδότηση κανονισμού (ΕΕ) αριθ. της 3ης Μαρτίου 2014.

Πίνακας 5-32. Συνολική περίληψη του 1^{ου} έτους αποφυγής των εξωγενών επιδράσεων.

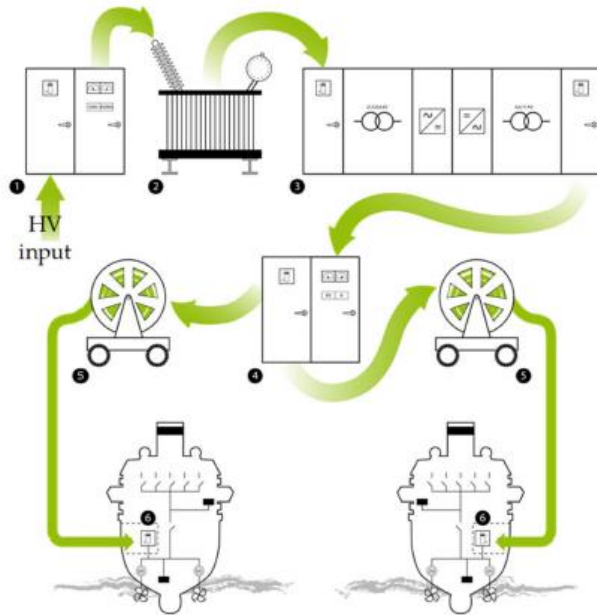
Port	Rated (EUR)	Minimum (EUR)	Maximum (EUR)
Trieste	1,745,448.10	1,202,408.03	2,289,617.87
Dubrovnik	5,296,163.05	3,684,647.94	6,910,467.01
Piraeus	4,852,390.99	3,349,550.40	6,357,953.72
Argostoli	969,296.50	669,094.36	1,270,042.39
Corfù	2,424,436.69	1,673,561.11	3,176,672.34
Split	2,399,488.07	1,669,372.46	3,130,867.19
Bari	3,797,467.75	2,616,007.72	4,981,385.59
GLOBAL	21,484,691.14	14,864,642.02	28,117,006.11

Πίνακας 5-33. Συνολική περίληψη από την αναγωγή αποφυγής κόστους των εξωγενών επιδράσεων για την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής αποπληρωμής (15 έτη).

Port	Rated (EUR)	Minimum (EUR)	Maximum (EUR)
Trieste	20,887,884.43	14,389,290.60	27,399,997.43
Dubrovnik	55,224,559.64	38,420,845.00	72,057,354.27
Piraeus	50,597,225.36	34,926,690.10	66,296,145.10
Argostoli	10,107,123.13	6,976,832.33	13,243,083.92
Corfù	25,280,273.11	17,450,685.46	33,124,042.72
Split	25,020,126.94	17,407,009.22	32,646,419.68
Bari	45,444,529.30	31,305,924.75	59,612,546.71
GLOBAL	232,561,721.90	160,877,277.46	304,379,589.84

Για να καταδειχθεί με ακρίβεια η οικονομική σκοπιμότητα της χρήσης HVSC, (δηλαδή, τα οφέλη από το cold ironing) πρέπει να συγκριθούν με τα κατασκευαστικά κόστη και τις δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης για την υλοποίηση της υποδομής της HVSC. Παρατηρώντας την Εικόνα 5-5, το υπό μελέτη σύστημα αποτελείται από το βήμα 3 έως το βήμα 5, με την προϋπόθεση ότι η ανάγκη για υψηλή τάση στην περιοχή του λιμανιού, καλύπτεται. Μια λεπτομερής έρευνα αγοράς μεταξύ πολλών κατασκευαστών, οι τελικές προσφορές για μία εγκατάσταση HVSC παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-34, όπου οι τιμές αυτές είναι πιο ενήμερες από τις αντίστοιχες τιμές του 2015 για το λιμάνι της Τεργέστης.

Καθώς ο αριθμός των στάσεων για ελλιμενισμό έχει μεγάλη μεταβλητότητα στους εξεταζόμενους λιμένες για τη διαδρομή της Αδριατικής, τα σημεία παροχής υψηλής τάσης από τη στεριά που πρόκειται να εγκατασταθούν αποφασίζονται κατά περίπτωση και προβάλλονται στον Πίνακα 5-35 [38].



Εικόνα 5-5: Σύστημα σύνδεσης υψηλής τάσης στην ξηρά [38].

Πίνακας 5-34. Έξοδα σύνδεσης στην ξηρά (ενιαία εγκατάσταση) .

Element	Cost (EUR)	Cost (EUR) | 2015
MT switchgears	32,000.00	32,000.00
Converter 16 MVA 11 kV 50–60 Hz	4,500,000.00	3,450,000.00
Cable dispenser	1,200,000.00	150,000.00
Design and construction (25%)	1,433,000.00	726,400.00
Total	7,165,000.00	4,358,400.00

Πίνακας 5-35. Αριθμός υποθετικών σημείων cold ironing και συναφείς δαπάνες.

Port	Daily Medium Mooring	Assumed Plants	Cost of HVSC (EUR)
Trieste	1.14	1	7,165,000.00
Dubrovnik	1.82	2	1,4330,000.00
Piraeus	2.05	2	14,330,000.00
Argostoli	1.25	1	7,165,000.00
Corfù	2.25	2	14,330,000.00
Split	1.28	1	7,165,000.00
Bari	1.55	2	14,330,000.00
GLOBAL	15.00	11	78,815,000.00

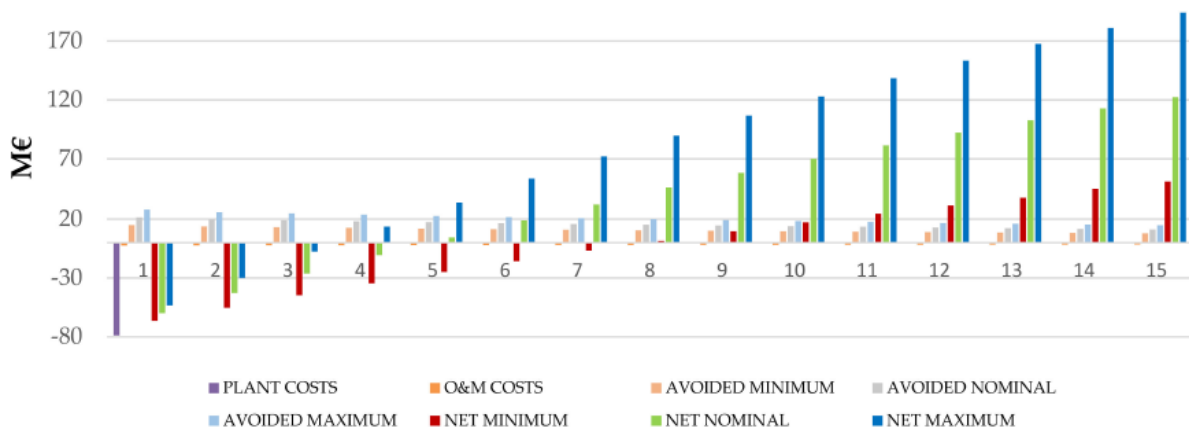
Δεύτερον, τα κόστη Ο&Μ εξετάζονται για την ολοκλήρωση της ανάλυσης και σε ότι αφορά τις εγκαταστάσεις τα κόστη αυτά παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-36 & 5-37 [38], όπου τα στοιχεία αυτά βασίζονται σε έρευνα αγοράς και ιστορικά/τυποποιημένα στοιχεία τιμών σε περίοδο 15 ετών. Οι δαπάνες αυτές περιλαμβάνουν τη συντήρηση για διακόπτες χαμηλής/μέσης τάσης, κόστος τηλεχειρισμού, κλιματισμό, επιθεώρηση, μετρήσεις αντιστάσεων γείωσης, κόστος για το νέο προσωπικό, αντικατάσταση μπαταριών UPS, καθαρισμός, διανομέας καλωδίων, και ούτω καθεξής. Συνδυάζοντας τις αποφευκτές εξωτερικές παραμέτρους (π.χ. ονομαστικά, ελάχιστα και μέγιστα σενάρια) και τα κόστη κατασκευής/λειτουργίας/συντήρησης των εγκαταστάσεων, η οικονομική σκοπιμότητα του Αδριατικού συμπλέγματος κρατών, μπορεί να εκτιμηθεί. Για λόγους σαφήνειας, η σύγκριση αυτή μεταξύ εξωτερικών παραγόντων και του κόστους βασίζεται σε προεξοφλημένες ταμειακές ροές, μεθοδολογία στην οποία οι μόνες εισερχόμενες/εξερχόμενες ταμειακές ροές εξετάζονται χωρίς αποσβέσεις, διατάξεις, Φ.Π.Α., φόρους, επιδοτήσεις, κ.λπ. Όπως και στο Σχήμα 5-1, ο χρόνος αποπληρωμής για το σύμπλεγμα είναι μόνο 5 έτη στην ονομαστική περίπτωση, ενώ 3.5 έτη το πολύ 8 έτη στα ελάχιστα σενάρια. Αντίθετα, η οικονομική σκοπιμότητα εξαρτάται κάθε φορά και από την περίπτωση. Για παράδειγμα, ο τερματικός σταθμός κρουαζιερόπλοιων Αργοστολίου (Σχήμα 5-2) έχει ως χρονική περίοδο αποπληρωμής τα 15 έτη (δηλαδή τεχνική διάρκεια ζωής) στην ονομαστική περίπτωση, επομένως η οικονομική σκοπιμότητα στην ελάχιστη περίπτωση δεν επετεύχθη. Αν και αυτό μπορεί να φαίνεται περίεργο με βάση το υψηλά ποσοστά ελλιμενισμών (υψηλότερα από την Τεργέστη στους Πίνακες 5-26 έως 5-28), η απόκλιση αυτή εξαρτάται από το οριακό κόστος κάθε εκπομπής/χώρα (Πίνακας 5-17). Προκειμένου να ενθαρρυνθούν οι πλοιοκτήτες να υιοθετήσουν την υποδομή για HVSC, πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή ορισμένα κίνητρα. Η Τεργέστη στο Σχήμα 5-3 είναι το σημείο αναφοράς, ενώ η περίπτωση του Ντουμπρόβνικ απεικονίζεται στο Σχήμα 5-4 ως την πλέον κερδοφόρα λύση.

Πίνακας 5-36. Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (αξίες για το 1^ο έτος).

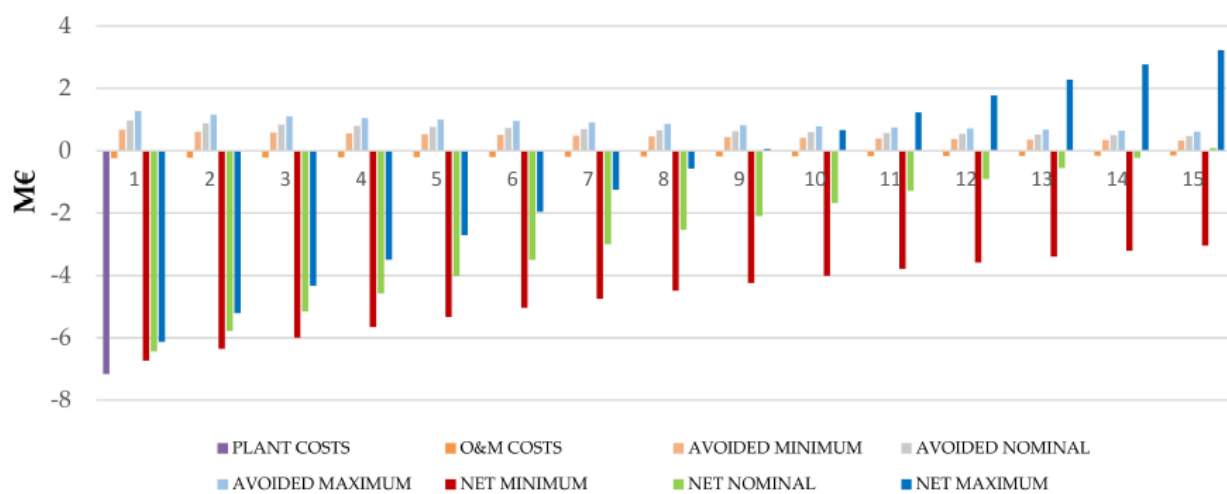
Element	Amount (EUR)
MT substation	42,402.00
Power converter	90,000.00
Cable dispenser	60,000.00
Staff	46,339.00
Total	238,741.00

Πίνακας 5-37. Συνολική σύνοψη: Αναχθείσες δαπάνες λειτουργίας & συντήρησης για την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής αποπληρωμής (15 έτη).

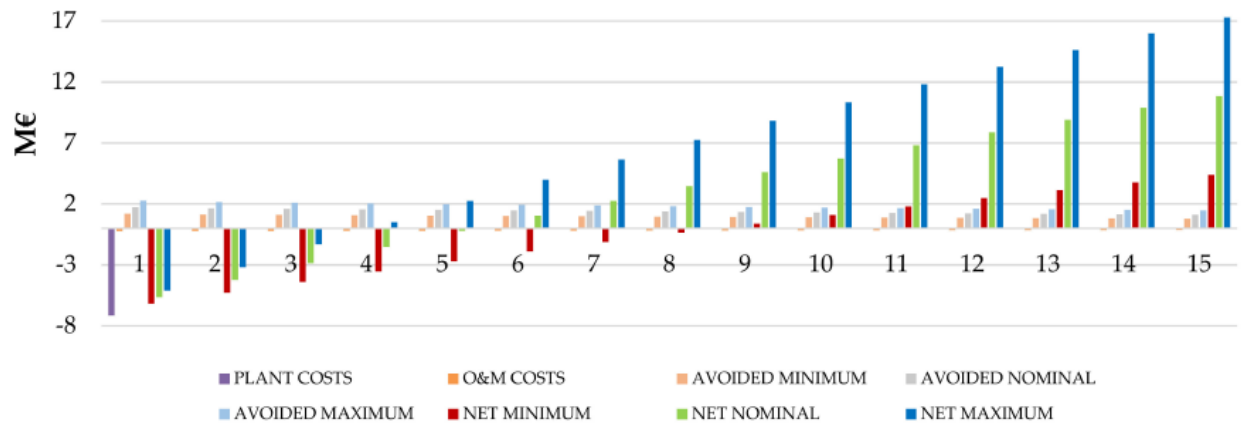
Port	Assumed Plants	O&M Costs (EUR)
Trieste	1	2,857,028.18
Dubrovnik	2	5,714,056.36
Piraeus	2	5,714,056.36
Argostoli	1	2,857,028.18
Corfù	2	5,714,056.36
Split	1	2,857,028.18
Bari	2	5,714,056.36
GLOBAL	11	31,427,310.00



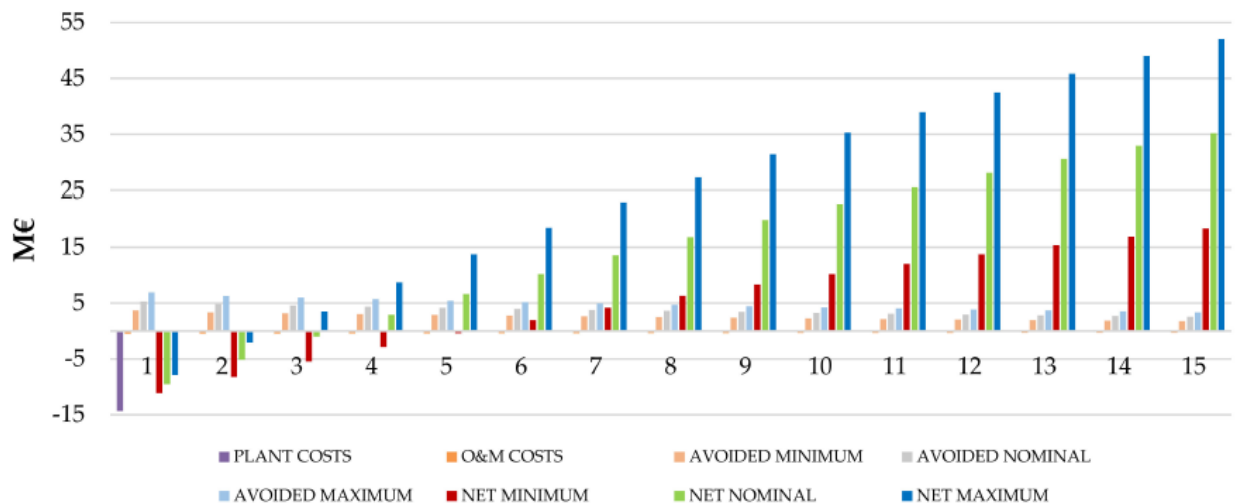
Σχήμα 5-1: Ταμειακές ροές σε ονομαστικά, ελάχιστα και μέγιστα σενάρια για όλα τα λιμάνια [38].



Σχήμα 5-2: Ταμειακές ροές σε ονομαστικά, ελάχιστα και μέγιστα σενάρια στο Αργοστόλι (GR)[38].



Σχήμα 5-3: Ταμειακές ροές σε ονομαστικά, ελάχιστα και μέγιστα σενάρια στην Τεργέστη (IT) [38].



Σχήμα 5-4: Ταμειακές ροές σε ονομαστικά, ελάχιστα και μέγιστα σενάρια στο Ντουμπρόβνικ (CR) [38].

5.6 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΞΗΡΑΣ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ Σ.Ε.Δ.Ε. ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η ένταξη της ναυτιλιακής βιομηχανίας στα συστήματα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ προσφέρει μια ενδιαφέρουσα άποψη όσον αφορά την εφαρμογή της τεχνολογίας της ψυχρής εκκίνησης των πλοίων. Ως εκ τούτου, η πτυχή αυτή μπορεί επιπλέον να αναγκάσει την εγκατάσταση πλατφορμών HVSC ώστε να προμηθεύουν τα πλοία κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού, συμβάλλοντας έτσι στην υιοθέτηση του cold ironing [52-54]. Στη συγκεκριμένη ενότητα, γίνεται μια σύγκριση μεταξύ του κόστους των καυσίμων και του κόστους ενέργειας κατά τη διάρκεια της σύνδεσης από ξηράς σε πλοίο. Στα πλαίσια αυτής της αξιολόγησης, το κόστος του LSMGO (πετρέλαιο φυσικού αερίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο) προβάλλεται στον Πίνακα 5-38 [54], ενώ το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας

διατυπώνεται στον Πίνακα 5-39 [55], ενώ στα τελευταία έξοδα περιλαμβάνονται όλοι οι φόροι και οι εισφορές στην αξιολόγηση του οικονομικού κόστους ή οφέλους για τους πλοιοκτήτες.

Πίνακας 5-38. Καύσιμο Μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (0.1%) στον Πειραιά.

Reference number	Price Per Ton (EUR)	Data Reference
1	556.81	24 May 2019 to 21 September 2019

Πίνακας 5-39. Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας (2019) (μη οικιακός καταναλωτής), κατανάλωση 2-20GWh.

Country	I Sem. 2019 (EUR)	II Sem. 2019 (EUR)	2019 (Average, in EUR)
Italy (IT)	0.1575	0.1587	0.1581
Croatia (CR)	0.1075	0.1052	0.1064
Greece (GR)	0.0994	0.1006	0.1000

Η ετήσια κατανάλωση καυσίμου σε έναν λιμένα p , είναι οι πρώτες πληροφορίες που συναντώνται στη βάση δεδομένων. Στη συνέχεια, το ετήσιο συνολικό κόστος του καυσίμου υπολογίζεται με την εξίσωση (5.17), όπου το p αντιπροσωπεύει τον εξεταζόμενο λιμένα, το $C_{mooring}$ είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου για ένα μόνο πλοίο όπως στην εξίσωση (5.10), ο χρόνος για την παροχή HVSC συμβολίζεται με $t_{cold,ironing}$ και $LSMGO$ είναι η τιμή του καυσίμου από τον Πίνακα 5-38. Επιπλέον, το ενεργειακό κόστος πρέπει να προσδιορίζεται για την αξιολόγηση της επένδυσης της HVSC. Το τελευταίο αντιπροσωπεύει τα χρήματα που κατέβαλε ο πλοιοκτήτης για να διασφαλίσει την ηλεκτρική παροχή υψηλής τάσης χωρίς εκπομπές του πλοίου από ξηράς κατά την πρόσδεση στο λιμάνι. Όπως και στην εξίσωση (5.19), ένα τέτοιο κόστος δίνεται πολλαπλασιάζοντας τις τιμές ισχύος κατά τη θέση αγκυροβολίας, των σχέσεων (5.8)–(5.9), δηλαδή, το $P_{main,mooring}$ και το $P_{aux,mooring}$ με το χρόνο $t_{cold,ironing}$ όπου το σκάφος τροφοδοτείται με υψηλή τάση από ξηράς με το e_p που είναι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για τον λιμένα p όπως στον Πίνακα 5-40 [56]. Η επαλήθευση των μονάδων μέτρησης πραγματοποιείται από τις εξισώσεις (5.18) και (5.20).

$$Cost\ fuel_p = \left(\sum_{ships,p} C_{mooring} \cdot t_{cold\ ironing} \right) \cdot LSMGO\ price \quad [5.17]$$

$$[€] = \left[\frac{ton}{h} \cdot h \right] \cdot \left[\frac{€}{ton} \right] \quad [5.18]$$

$$Cost\ electricity_p = \left(\sum_{ships,p} (P_{main,100\%} \cdot 0.05 + P_{aux,100\%}) \cdot t_{cold\ ironing} \right) \cdot \varepsilon_p \quad [5.19]$$

$$[\text{€}] = [kW \cdot h] \cdot \left[\frac{\text{€}}{kWh} \right] \quad [5.20]$$

Ο υπολογισμός με βάση τις εξισώσεις (5.17) και (5.19) πραγματοποιείται σε αντίθεση με τις δύο κόστος για κάθε λιμένα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-40 στον οποίο το cold ironing είναι από οικονομικής πλευράς πιο εύκολο να εφαρμοστεί στις χώρες όπου το κόστος ενέργειας είναι χαμηλό, δηλαδή στην Ελλάδα και την Κροατία. Αντίθετα, στην Ιταλία, όπου η ενέργεια είναι ακριβότερη (Πίνακας 5-39), συμπεραίνεται ότι η κλασική τροφοδοσία από καύσιμα θαλάσσης είναι πιο βολική (δηλ. το 80% του κόστους της ηλεκτρικής παροχής από την πλατφόρμα HVSC). Αν και μια τέτοια αξιολόγηση είναι εξαιρεμένου του κόστους εγκατάστασης της πλατφόρμας της HVSC στο πλοίο, οι πλοιοκτήτες μπορούν να βρουν το ενδιαφέρον να υιοθετήσουν την προαναφερόμενη μέθοδο, καθώς για ολόκληρη τη διαδρομή, τα χρήματα που εξοικονομήθηκαν είναι περίπου 1 εκατ. € (δηλαδή, 913,760.30 € | Πίνακας 5-40). Στις χώρες στις οποίες το ενεργειακό κόστος καθιστά την παροχή υψηλής τάσης από την ξηρά απρόσιτη (δηλ. Ιταλία), οι πλοιοκτήτες αποθαρρύνονται προφανώς από την υιοθέτηση της μεθόδου κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού.

Σε μια τέτοια περίπτωση, ο μηχανισμός του ΣΕΔΕ μπορεί να είναι το σωστό εργαλείο για τη διασφάλιση της αποζημίωσης των δαπανών που πραγματοποιήθηκαν, δηλαδή το λειτουργικό κόστος κατά την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Σχετικά με τη δυνατότητα του παραπάνω μηχανισμού-ETS, στη συνέχεια παραθέτονται τρία διαφορετικά παραδείγματα. Κάθε σενάριο είναι με βάση μια συγκεκριμένη τιμή CO₂ (Πίνακας 5-41) όταν αυτή η περιβαλλοντική εκπομπή αποφευχθεί. Στον Πίνακα 5-41 αναφέρεται η τιμή του CO₂ με επαληθευμένες τιμές για το 2019 και το 2021, ενώ η αξιολόγηση για το μέλλον (έτος 2030) προκύπτει από ορισμένες προβλέψεις. Οι τελευταίες τιμές προσδιορίζουν τρία προφίλ στα οποία υπολογίζονται οι χρηματικές ροές που σχετίζονται με τις εξοικονομούμενες εκπομπές CO₂.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η εξίσωση (5.19) μπορεί να ποσοτικοποιήσει την οικονομική απόδοση. Στην τελευταία εξίσωση, το $m_{CO_2,p}$ είναι η μάζα του CO₂ που ετησίως αποφεύγεται στη θύρα p , υποθέτοντας ένα ονομαστικό σενάριο, ενώ το $\varepsilon_{CO_2,Ref}$ είναι η τιμή του CO₂ στα τρία παραδείγματα ενδιαφέροντος (Πίνακας 5-41) [57]. Η ανάλυση που έγινε δίνει τα αποτελέσματα στον Πίνακα 5-42 [56], του οποίου η γραφική αναπαράσταση είναι στο Σχήμα 5-5. Στα αποτελέσματα (Ref.No. 2)

παρατηρείται ότι τα λιμάνια με υψηλή ενεργειακή τιμή (δηλαδή Τεργέστη και Μπάρι στην Ιταλία), ο μηχανισμός του ΣΕΔΕ μπορεί να προωθήσει την εφαρμογή της μεθόδου για παροχή υψηλής τάσης από την ξηρά. Πράγματι, η ροή χρημάτων από την εξοικονόμηση των εκπομπών CO₂ μπορεί πρακτικά να αντισταθμίσει την αρνητική διαφορά μεταξύ του κόστους καυσίμου και του κόστους ενέργειας.

Με άλλα λόγια, αυτό σημαίνει ότι η ιδέα της αποπληρωμής του EU ETS καθιστά τη μέθοδο του cold ironing προσιτή σε κάθε λιμάνι κατά μήκος της διαδρομής της Αδριατικής. Τέλος, σε ένα πιθανό μελλοντικό σενάριο η τιμή των εκπομπών CO₂ θα είναι 100 €/ton (Ref.No. 3) και όπως είναι φυσικό η εξοικονόμηση χρημάτων για τους πλοιοκτήτες θα είναι αναμφισβήτητα τεράστια. Μάλιστα, η τελευταία τιμή (100 €/ton) θεωρείται εύλογη τιμή για μέχρι το τέλος του 2030, τιμή που αναμένεται και από άλλες σχετικές έρευνες, ενώ η εξίσωση (5.22) και πάλι είναι μια τελική επαλήθευση των μονάδων μέτρησης [56],[57].

$$\text{Value of CO}_2 = m_{\text{CO}_2,p} \cdot \varepsilon_{\text{CO}_2, \text{Ref}} \quad [5.21]$$

$$[\text{€}] = [\text{ton}] \cdot \left[\frac{\text{€}}{\text{ton}} \right] \quad [22]$$

Πίνακας 5-40. Κόστος πρόσδεσης(1 έτος εξέτασης), με εφαρμογή καυσίμου & ηλεκτρικής ενέργειας μέσω cold ironing

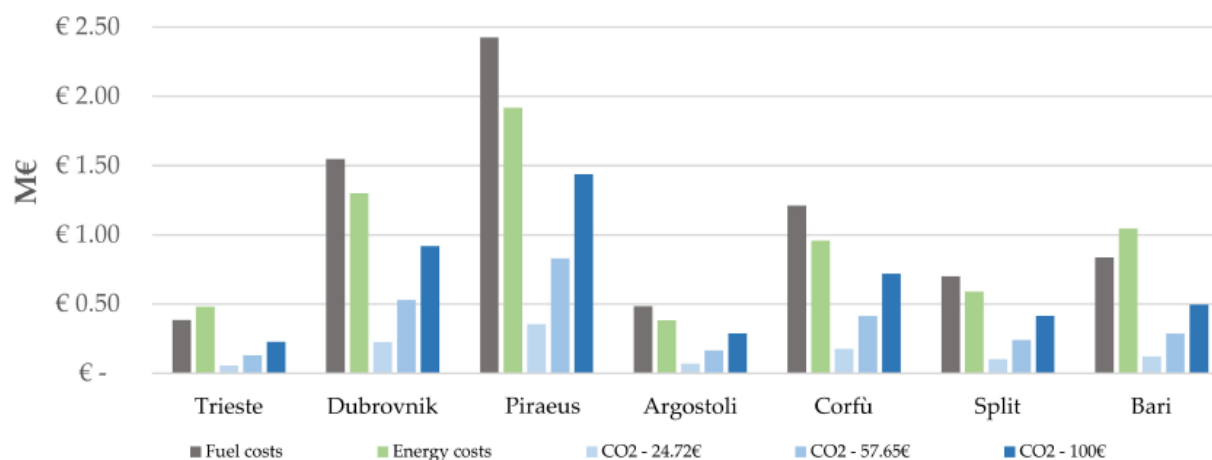
Port	Fuel Consumption (ton)	Cost of Fuel (EUR)	Energy (kWh)	Cost of Energy (EUR)	Δ Cost (EUR)
Trieste (IT)	690.79	384,638.75	3,041,761.3	480,902.47	96,263.72
Dubrovnik (CR)	2779.98	1,547,908.76	12,241,016.0	1301,832.05	-246,076.71
Piraeus (GR)	4354.26	2,424,482.30	19,173,046.4	1,917,304.64	-507,177.65
Argostoli (GR)	869.79	484,306.03	3,829,940.1	382,994.01	-101,312.02
Corfù (GR)	2175.55	1,211,362.37	9,579,573.7	957,957.37	-253,404.99
Split (CR)	1259.50	701,298.01	5,545,934.2	589,810.10	-111,487.91
Bari (IT)	1502.92	836,835.67	6,617,779.5	1,046,270.93	-209,435.26
GLOBAL	13,632.8	7,590,831.87	60,029,051.2	6,677,071.58	-913,760.30

Πίνακας 5-41. Τιμές CO₂ που θέτει το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ).

Reference Number	Price	Data Reference
1	EUR 24.72/ton	Average price in 2019
2	EUR 57.65/ton	1 July 2021
3	EUR 100.00/ton	Forecast for 2030

Πίνακας 5-42. Τιμή του αποφευκτικού CO₂ στο ΣΕΛΕ της ΕΕ (για ένα υπό εξέταση έτος).

Port	Avoided CO ₂ ton	Ref Number 1 CO ₂ Price (EUR)	Ref Number 2 CO ₂ Price (EUR)	Ref Number 3 CO ₂ Price (EUR)
Trieste (IT)	2281.32	56,394.26	131,518.16	228,132.10
Dubrovnik (CR)	9180.76	226,948.44	529,270.93	918,076.20
Piraeus (GR)	14,379.78	355,468.28	828,994.59	1,437,978.48
Argostoli (GR)	2872.46	71,007.09	165,597.03	28,245.51
Corfù (GR)	7184.68	177,605.30	414,196.82	718,468.03
Split (CR)	4159.45	102,821.62	239,792.33	415,945.06
Bari (IT)	4963.33	122,693.63	286,136.24	496,333.46
GLOBAL	45,021.79	1,112,938.61	2,595,506.10	4,502,178.84



Σχήμα 5-5: Επισκόπηση κόστους/εσόδων για τη διαδρομή της Αδριατικής [56].

Στη συνέχεια παρέχονται ορισμένα πρόσθετα ζητήματα σχετικά με τα αποτελέσματα. Όσον αφορά την αποφευχθείσες εκπομπές στο σύμπλεγμα, ο Πίνακας 5-43 [38] συνοψίζει τα ετήσια αποτελέσματα που έχουν ήδη παρατηρηθεί στους Πίνακες 5-26 έως 5-28. Αρχικός στόχος της αξιολόγησης αυτής είναι η επισήμανση των περιβαλλοντικών-οικονομικών παραγόντων και η ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής της εγκατάστασης, ανάλυση η οποία ξεκινά από την ομαδοποίηση στα περιβαλλοντικά οφέλη και κόστη (εγκατάστασης, λειτουργίας & συντήρησης), όπως στον Πίνακα 5-44. Έτσι, αθροίζοντας τα στοιχεία από τον Πίνακα 5-44, δημιουργείται ο τελικός Πίνακας 5-45 [38]. Αυτά τα δεδομένα δείχνουν κατά τη διάρκεια της ζωής που εξετάζεται για το συγκεκριμένο εξοπλισμό ηλεκτροπαραγωγής (15 έτη, όπως προτείνεται από τις οδηγίες), οι περισσότερες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής είναι σε θέση να

καλύψουν άφθονα την αρχική επένδυση, ακόμη και στην περίπτωση του σεναρίου “Minimum”.

Πίνακας 5-43. Αποφευχθείσες εκπομπές στο σύμπλεγμα με cold ironing (ετήσιες τιμές εκπεμπόμενων τόνων).

	C FUEL	NO _x	NM VOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	CO ₂
RATED	13,632.80	788.87	29.00	51.92	51.92	27.27	45,021.79
MIN	10,906.24	552.21	17.39	31.11	31.11	17.45	36,017.43
MAX	16,359.36	1025.53	40.61	72.68	72.68	39.26	54,026.15

Πίνακας 5-44. Σύγκριση κόστους και οφέλους που ελήφθησαν στις ενότητες 5.4 και 5.5.

Port	Avoided Externalities Rated (EUR)	Avoided Externalities Minimum (EUR)	Avoided Externalities Maximum (EUR)	Cost of HVSC (EUR)	O&M Costs (EUR)
Trieste (IT)	20,887,884.43	14,389,290.60	27,399,997.43	7,165,000.00	2,856,429.83
Dubrovnik (CR)	55,224,559.64	38,420,845.00	72,057,354.27	14,330,000.00	5,712,936.30
Piraeus (GR)	50,597,225.36	34,926,690.10	66,296,145.10	14,330,000.00	5,712,936.30
Argostoli (GR)	10,107,123.13	6,976,832.33	13,243,083.92	7,165,000.00	2,856,468.15
Corfù (GR)	25,280,273.11	17,450,685.46	33,124,042.72	14,330,000.00	5,712,936.30
Split (CR)	25,020,126.94	17,407,009.22	32,646,419.68	7,165,000.00	2,856,468.15
Bari (IT)	45,444,529.30	31,305,924.75	59,612,546.71	14,330,000.00	5,712,936.30
GLOBAL	232,561,721.90	160,877,277.46	304,379,589.84	78,815,000.00	31,421,111.33

Πίνακας 5-45. Καθαρό κέρδος (ή ζημία) μετά τη διάρκεια ζωής του συμπλέγματος στα τρία σενάρια.

Port	Rated (EUR)	Minimum (EUR)	Maximum (EUR)
Trieste	10,865,856.25	4,367,262.41	17,377,969.25
Dubrovnik	35,180,503.27	18,376,788.64	52,013,297.91
Piraeus	30,553,168.99	14,882,633.74	46,252,088.74
Argostoli	85,094.95	-3,045,195.86	3,221,055.74
Corfù	5,236,216.75	-2,593,370.91	13,079,986.36
Split	14,998,098.75	7,384,981.04	22,624,391.50
Bari	25,400,472.93	11,261,868.38	39,568,490.34
GLOBAL	122,319,411.90	50,634,967.45	194,137,279.84

Από τα ετήσια στοιχεία της ενότητας 5.6, είναι τελικά δυνατή η συμπλήρωση του Πίνακα 5-46 [38]. Εδώ, ένα σημαντικός δείκτης αντιπροσωπεύει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών CO₂ που συναλλάσσονται στο EU ETS σε σχέση με το καθαρό υπόλοιπο που προκύπτει από την ανάλυση κόστους-οφέλους στην περίπτωση του σεναρίου «Maximum». Επίσης, παρατηρείται πώς η μη απόδοση της επένδυσης

στα λιμάνια του Αργοστολίου και της Κέρκυρας αντισταθμίζεται από το συνολικό ποσό των ποσοτώσεων που σχετίζονται με το CO₂ που παράγεται σε αυτούς τους λιμένες, ποσό που συναλλάσσεται εν συνεχεία στο EU ETS. Για το λιμάνι του Αργοστολίου υπάρχει ακόμη και υπέρβαση της αξίας στο EU ETS σε σύγκριση με το καθαρό υπόλοιπο στην ευνοϊκότερη περίπτωση. Ως εκ τούτου, από την προοπτική της συνολικής λύσης, το ΣΕΔΕ της ΕΕ έχει προφανή οφέλη στην επίδραση σχετικά με την εφαρμογή του cold ironing.

Πίνακας 5-46. Συναλλαγές ποσοτώσεων CO₂ στο ΣΕΔΕ και επιπτώση στο καθαρό υπόλοιπο στην περίπτωση του σεναρίου "Maximum".

Port	Net profit-	15Y	Incidence	15Y	Incidence	15Y	Incidence
	Maximum	(2019 price)		(2021 Price)		(100 Price)	
	(EUR)	(EUR)		(EUR)		(EUR)	
Trieste	17,377,969.25	845,913.83	4.87	1,972,772.34	11.35	3,421,981.52	19.69
Dubrovnik	52,013,297.91	3,404,226.55	6.54	7,939,063.93	15.26	13,771,142.99	26.48
Piraeus	46,252,088.74	5332,024.21	11.53	12,434,918.92	26.89	21,569,677.22	46.64
Argostoli	3,221,055.74	1,065,106.33	33.07	2,483,955.51	77.12	4,308,682.58	133.77
Corfù	13,079,986.36	2,664,079.45	20.37	6,212,952.27	47.50	10,777,020.42	82.39
Split	22,624,391.50	1,542,324.30	6.82	3,596,884.95	15.90	6,239,175.97	27.58
Bari	39,568,490.34	1,840,404.47	4.65	4,292,043.60	10.85	7,445,001.90	18.82
GLOBAL	194,137,279.84	16,694,079.14	8.60	38,932,591.52	20.05	67,532,682.61	34.79

Σε γενικές γραμμές, όπως εξηγείται στην ενότητα 5.5, η ευρεία χρήση της τεχνολογίας cold ironing αντιπροσωπεύει μια λύση σύμφωνα με τις πολιτικές εξελίξεις της ΕΕ και ιδίως με την πρόσφατη πρόταση για ένταξη των θαλάσσιων μεταφορών εντός του ΣΕΔΕ της ΕΕ. Ειδικότερα, η τεχνολογία αυτή μπορεί να είναι ένα σημαντικό εργαλείο συμμόρφωσης και ταυτόχρονα θα πρέπει να εμπίπτει στην κατηγορία των έργων που χρηματοδοτούνται/ υποστηρίζονται από τα έσοδα των μελών από την αγορά ETS. Αυτό θα ευνοούσε τη δημιουργία οικονομιών κλίμακας, ενώ μειώνει σημαντικά το κόστος για τους πλοιοκτήτες και τους ναυτιλιακούς φορείς. Ταυτόχρονα, αυτό δημιουργεί σημαντικά περιβαλλοντικά/κλιματικά οφέλη καθώς μειώνονται οι ρυπογόνες εκπομπές και κυρίως οι εκπομπές του CO₂. Καταληκτικά, απαιτείται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί, σε ευρύτερους όρους, η σωστή ισορροπία μεταξύ οφέλους και κόστους που δημιουργούνται από τη χρήση του cold ironing έναντι του κοινωνικού κόστους και οφέλους που προκύπτουν από τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, κατά την εφαρμογή του ΣΕΔΕ στον κλάδο της ναυτιλίας.

6.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ενώ τα πλοία παραμένουν στα λιμάνια, χρησιμοποιούν τους βοηθητικούς κινητήρες (ΑΕ) για παροχή ισχύος για εργασίες χειρισμού φορτίου. Αντικατάσταση της ισχύος αυτής η οποία προέρχεται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, με ηλεκτρική ενέργεια από την ακτή (SSE) μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ και άλλων ρύπων. Για να ποσοτικοποιηθεί η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών λόγω της παράκτιας ηλεκτροδότησης, χρειάζονται λεπτομερείς γνώσεις σχετικά με την ισχύ των ΑΕ, η ζήτηση καθώς και ο χρόνος παραμονής των πλοίων σε θέση αγκυροβολίας. Λόγω της έλλειψης των δεδομένων αυτών, οι υπάρχουσες μελέτες έχουν περιοριστεί σε λίγους λιμένες (τις περισσότερες φορές από 1-25 λιμένες). Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα παρακολούθησης από το Αυτόματο Σύστημα Αναγνώρισης (AIS) για τον προσδιορισμό του χρόνου που αφιερώνουν τα πλοία στον ελλιμενισμό για όλα τα πλοία που βρίσκονται στο σχέδιο παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης (MRV). Ο συνδυασμός των δεδομένων AIS και MRV μας επέτρεψαν να δημιουργήσουμε μια ολοκληρωμένη επισκόπηση σχετικά με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τις ηλεκτρογεννήτριες αυτών των πλοίων στο αγκυροβόλιο, και ως εκ τούτου να ποσοτικοποιηθεί το δυναμικό μείωσης εκπομπών λόγω της SSE. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει περίπου 223,000 εμπορικές προσεγγίσεις στα 714 λιμάνια του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΕΟΧ) και του Ηνωμένου Βασιλείου για περισσότερο από 10,000 πλοία το 2018, δεδομένα που δείχνουν σε ωριαία βάση τις εξής πληροφορίες ανά πλοίο: κατηγορία (τύπος), λιμάνι και χώρα.

Σε σύγκριση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, αυτή η μελέτη παρέχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής καθώς και εκτιμήσεις ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς, δεδομένα όπου αξιοποιήθηκαν συνδυαστικά από τα συστήματα MRV και AIS, προκειμένου να μπορεί να κατασκευαστεί αξιόπιστα ένα τέτοιο σύστημα ηλεκτροδότησης σε όλους τους λιμένες παγκοσμίως.

Μάλιστα, επισημαίνεται στην εργασία αυτή ότι μπορεί να αποφευχθεί το 2.2% (/3.7%) των συνολικών εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία από την ανάπτυξη της SSE εάν η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από εθνικά δίκτυα (/ από πηγές απαλλάγμένες από CO₂). Αναφέρεται ότι, αξιοποιώντας πλήρως τις δυνατότητες

της SSE, αυτό θα συνεπάγοταν την αύξηση της δυνατότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΕΟΧ και το Ηνωμένο Βασίλειο μόνο 0.20%, ή 6.4 TWh.

Για ορισμένες χώρες όπως η Ισλανδία, η Νορβηγία και η Σουηδία, πάνω από το 95% των εκπομπών στο αγκυροβόλιο θα μπορούσε ήδη να εξοικονομηθεί έως τώρα με την υλοποίηση του συστήματος SSE, λόγω του υψηλού μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην εθνική παραγωγή ηλεκτρισμού. Άλλες χώρες όπως η Ελλάδα, η Πολωνία και η Εσθονία που χρησιμοποιούν κυρίως ορυκτά καύσιμα για παραγωγή ενέργειας, διαθέτουν επί του παρόντος ένα χαμηλό ή και αρνητικό δυναμικό μείωσης CO₂.

Καταληκτικά, εάν η SSE παρέχεται από πηγές χωρίς ρύπους, θα αποφεύγονται σημαντικές ποσότητες εκπομπών εκτός του CO₂ σε λιμένες του ΕΟΧ και του Ηνωμένου Βασιλείου. Ενδεικτικά αυτές είναι: 86.431 t NO_x, 4.130 t SO_x, 1.596 t σωματιδιακής ύλης (PM₁₀), 4.333 t CO, 94 t CH₄, 4.818 t πτητικές οργανικές ενώσεις μη μεθανίου (NMVOC) και 235 t N₂O. Ενώ η προηγούμενη νομοθεσία της ΕΕ απέτυχε να επιδιώξει την υιοθέτηση του συστήματος παροχέυτευσης ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων από ξηράς, διαφαίνεται στο μέλλον ότι η χάραξη πολιτικής της ΕΕ στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, να δημιουργήσει ίσους όρους ανταγωνισμού μεταξύ του κόστους των ορυκτών ναυτικών καυσίμων και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας από ξηράς [10],[58].

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ SSE

Ο σύγχρονος κόσμος στοχεύει μέρα με τη μέρα όλο και περισσότερο την αξιοποίηση καινοτόμων ιδεών προς τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου, αλλά και την προστασία του πλανήτη, όπου φιλοξενείται. Έτσι στο θαλάσσιο τομέα, που είναι από τους σημαντικότερους για το παγκόσμιο εμπόριο και τη μετακίνηση, έχουν αυξηθεί αισθητά οι ανάγκες βελτίωσης προς όφελος του ανθρώπου, αλλά και του άμεσα επηρεαζόμενου περιβάλλοντος.

Έτσι εναλλακτικοί τρόποι μείωσης των εκπομπών από τα πλοία που βρίσκονται στη θάλασσα έχουν παραταχθεί στο τραπέζι της τεχνολογικής επανάστασης. Τέτοιες βελτιώσεις έρχονται σε υψηλή τιμή, επομένως οι επιχειρήσεις στο ναυτιλιακό τομέα παγκοσμίως πρέπει να επενδύσουν πολλά χρήματα στις απαραίτητες υποδομές για την υλοποίηση τέτοιων ιδεών.

Ο διεθνής ναυτιλιακός οργανισμός εργάζεται κυρίως για τον έλεγχο και τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου. Στην προσπάθειά του αυτή ένας καινούργιος, αλλά ισχυρός σύμμαχος είναι η μέθοδος της ψυχρής εκκίνησης πλοίων, που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Πιο

αναλυτικά οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των πλοίων θεωρούνται ότι προέρχονται από τις κύριες και βοηθητικές μηχανές, που είναι συνήθως ντιζελογεννήτριες. Οι γεννήτριες αυτές καταναλώνουν καύσιμα ώστε να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε όλα τα μηχανήματα του πλοίου. Έτσι τα μηχανήματα αυτά με τη σειρά τους συνεργάζονται, ώστε να πλέει το σκάφος με ασφάλεια και ταυτόχρονα να εκπληρώνονται οι επιχειρησιακές του απαιτήσεις.

Κατά την παραμονή του πλοίου όμως στο χώρο του λιμανιού η συσσώρευση των καυσαερίων από τις παραπάνω ενέργειες γίνεται όλο και πιο δυσάρεστη. Τη λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να τη δώσει η εφαρμογή της μεθόδου ψυχρής εκκίνησης στα ελλιμενισμένα αυτά πλοία. Το σύστημα ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων παρουσιάζει γενικά τεράστια περιβαλλοντικά οφέλη. Στους χώρους των λιμανιών συγκεκριμένα μειώνει τις εκπομπές των αερίων ρύπων σε ποσοστό ως και 98% [59]. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται λιμάνια με χώρους εργασίας καλύτερων προδιαγραφών, φιλικότερα προς το περιβάλλον αλλά και τους κατοίκους γύρω από αυτό.

Γενικά το σύστημα της ψυχρής εκκίνησης περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών ενός ελλιμενισμένου πλοίου, αλλά συμπληρώνεται και με υπηρεσίες απομάκρυνσης λυμάτων, σκουπιδιών, παροχής θερμότητας-ψύξης κ.α., ώστε να καλύπτονται επαρκώς όλες οι λειτουργικές του απαιτήσεις.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι και η μείωση του συνολικού θορύβου από τις μεγάλες γεννήτριες των πλοίων. Αφού κατά την παραμονή τους στο λιμάνι αυτές δεν χρειάζεται να λειτουργούν, καθώς το τοπικό δίκτυο καλύπτει τις ηλεκτρικές απαιτήσεις όλων των συστημάτων του εκάστοτε πλοίου.

Τέλος ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα που επηρεάζει κυρίως τους πλοιοκτήτες και τις μεγάλες ναυτιλιακές εταιρείες σχετίζεται με την εξοικονόμηση πετρελαίου, μιας και το κόστος της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων ολοένα και αυξάνεται. Ακόμα ως αποτέλεσμα της μειωμένης χρήσης των ηλεκτρογεννητριών των πλοίων είναι και η μειωμένη φθορά τους, άρα και η καθυστέρηση της διαδικασίας συντήρησής τους.

Η μέθοδος της ψυχρής εκκίνησης συνοδεύεται από κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά υπάρχει πρόβλημα με την επίδραση που θα έχει η αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος το τοπικό δίκτυο του λιμανιού. Βέβαια τέτοιου είδους θέματα λύνονται μέσω των αρχικών μελετών που πραγματοποιούνται κατά τη διαμόρφωση της εγκατάστασης. Έτσι εκτιμάται η συνολική επίδραση και παρουσιάζονται λύσεις αναβάθμισης και ενίσχυσης του τοπικού δικτύου και του δικτύου του λιμανιού, προκειμένου να διευκολυνθούν οι συνδέσεις με τα πλοία,

ενώ ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί και ο χώρος που απαιτείται από τους υποσταθμούς, τόσο στο χώρο της προβλήτας, όσο και στην εγκατάσταση που βρίσκεται πάνω στο πλοίο. Δυσάρεστο ακόμα για τις τοπικές αρχές κάθε λιμανιού μπορεί να είναι το κόστος συντήρησης, η εποπτεία και ο έλεγχος που γίνεται από το εξειδικευμένο προσωπικό του λιμανιού, καθώς και η εκτίμηση της διάρκειας ζωής της ηλεκτρολογικής υποδομής της εγκατάστασης [59].

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στην τρέχουσα διπλωματική εργασία κύριος στόχος είναι η έρευνα και η αποτύπωση των τεχνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος ψυχρής εκκίνησης πλοίων που να είναι ικανό να εξυπηρετήσει τις ηλεκτρικές ανάγκες αυτών, όταν αυτά βρίσκονται σε θέση ελλιμενισμού. Η πραγματοποίηση μιας τέτοιας έρευνας χαρακτηρίζεται ευκολότερη σε σχέση με παλαιότερα καθώς όλες οι πληροφορίες δίνονται συγκεντρωτικά από τα πρότυπα. Επιπλέον υπάρχει και η απαραίτητη εμπειρία στο σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων καθώς όλο και περισσότερα λιμάνια ανά τον κόσμο εφαρμόζουν τη μέθοδο της ψυχρής εκκίνησης πλοίων [22],[60].

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σχεδίαση μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι να συγκεντρωθούν οι αναγκαίες πληροφορίες της ζήτησης ισχύος των πλοίων κατά τον ελλιμενισμό τους, η τάση και η συχνότητα λειτουργίας των δικτύων τους, καθώς και οι διαθέσιμες παροχές των αντίστοιχων δικτύων του λιμανιού που εξετάζεται. Πιο συγκεκριμένα για να γίνει ακόμα πιο πλήρης η παραπάνω μελέτη μπορούν να αναλυθούν τα ακόλουθα πεδία:

- Αρχικά σαν συνέχεια της διπλωματικής αυτής εργασίας θα μπορούσε να γίνει η αντίστοιχη μελέτη του ενεργειακού ισολογισμού διαφόρων ειδών πλοίων όπως εμπορευματοκιβωτίων, πετρελαιοφόρων, κρουαζιερόπλοιων, κ.ά. Με αυτόν τον τρόπο λιμάνια θα είναι σε θέση να γνωρίζουν τις απαιτήσεις όλων των πλοίων που μπορεί να τα επισκεφτούν και έτσι να διαμορφώσουν ένα σύστημα που να τροφοδοτεί ακόμα μεγαλύτερη γκάμα πιθανών φορτίων. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να απαλλαγεί οριστικά όλη η ευρύτερη περιοχή του λιμανιού από τους επιβλαβείς ρύπους των πλοίων.
- Με τον ίδιο τρόπο θα μπορούσαν να μελετηθούν και άλλα ευρωπαϊκά και ελληνικά λιμάνια ώστε να επεκταθεί περαιτέρω η εγκατάσταση της ψυχρής εκκίνησης ανά τον κόσμο. Εξάλλου, με τη βοήθεια των σύγχρονων προγραμμάτων προσομοίωσης των δικτύων οι διαδικασίες μελέτης γίνονται πιο εύκολες και γρήγορες στις μέρες μας. Οπότε θα μπορούσε

κάποιος να αναπτύξει ένα σχετικό κώδικα υπολογισμών ροής φορτίου υπό ομαλές συνθήκες και υπό συνθήκες σφάλματος.

- Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί διερεύνηση χρήσης διαφορετικών ειδών αποθήκευσης ενέργειας, όπως συσσωρευτών ιόντων λιθίου, οξειδίων του βανναδίου, μολύβδου, συμπιεστών αέρα, δεξαμενής υδρογόνου, από τεχνικο-οικονομικής σκοπιάς.
- Σαν εναλλακτικά σενάρια μελέτης μπορούν να αναλυθούν και οι περιπτώσεις όπου το δίκτυο του λιμανιού τροφοδοτεί ταυτόχρονα πολλά πλοία διαφορετικών χαρακτηριστικών και απαιτήσεων. Έτσι συγκεντρώνονται παραπάνω περιπτώσεις τροφοδότησης και το δίκτυο του λιμανιού σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να προσαρμόζεται ειδικά για κάθε μία από αυτές.
- Ακόμη, πέρα από τα στοιχεία διαμόρφωσης της εγκατάστασης του ηλεκτρικού δικτύου ενός λιμανιού, απαραίτητη είναι και η τεchnοοικονομική αξιολόγηση της ψυχρής εκκίνησης, που πρόκειται να εφαρμοστεί. Κάθε εγκατάσταση οφείλει να προσαρμοστεί στο λιμάνι και στις ηλεκτρικές δυνατότητες του ευρύτερου τοπικού δικτύου που απευθύνεται. Επομένως, χρειάζεται να γνωρίζουν οι τοπικές αρχές κάθε λιμανιού το κόστος καθώς και τον τρόπο που η εγκατάσταση θα συνδέεται με το τοπικό δίκτυο. Για παράδειγμα υπάρχει σημαντική διαφορά στο κόστος και στην διαμόρφωση της συνολικής εγκατάστασης στην περίπτωση όπου αυτή τροφοδοτείται από το τοπικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας του λιμανιού, από ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) της ευρύτερης περιοχής ή μέσω ειδικών συσσωρευτών.
- Τέλος ανάλογα με τα πλοία που προσδένουν σε κάθε λιμάνι, μέσω του συστήματος ψυχρής εκκίνησης, χρειάζεται να γίνει και η αντίστοιχη μελέτη του βέλτιστου τρόπου λειτουργίας των μονάδων ξηράς σε συνεργασία με τις αντίστοιχες μονάδες των πλοίων. Σε κάποιες περιπτώσεις δηλαδή υπάρχει το ενδεχόμενο να χρειάζεται να λειτουργούν σε ένα ποσοστό οι γεννήτριες καυσίμων των πλοίων και κατά τη διάρκεια τροφοδοσίας από το λιμάνι. Για παράδειγμα πλοία, όπως τα υγραεριοφόρα (LNG), ενδέχεται να πρέπει να καίνε διαρκώς στις μηχανές τους μέρος διαφεύγοντος φυσικού αερίου, προκειμένου αυτό να μην καταλήξει στην ατμόσφαιρα. Έτσι απαιτούνται περαιτέρω διαμορφώσεις στο συνολικό σύστημα, ώστε αυτό να λειτουργεί σωστά κάτω από τέτοιες συνθήκες.

Βιβλιογραφία

- [1] Union of Greek Shipowners. Annual Report 2019-2020. Retrieved from: https://www.ugs.gr/media/13666/ugs_anrep20-eng_web.pdf.
- [2] Equasis, 2018. The world merchant fleet in 2018, statistics from equasis.
- [3] Tsoutsas V, Techno-economic feasibility study on the electrification of the port of Rafina, Diploma Thesis, National University of Athens, 2020, pp. 12-18.
- [4] Maratos-Liapis G, Sulfur and nitrogen oxide reduction techniques (NO_x, SO_x) for Diesel marine engines and functional effect their behavior, Diploma Thesis, National Technical University of Athens, 2019, pp. 14-23.
- [5] Ship Energy Systems (Volume A), Prousalidis J, Frangopoulos Ch. Course Notes, National Technical University of Athens.
- [6] Vrontamitis N, Implementation of experimental devices with small scale AC synchronous generators, Diploma Thesis, National Technical University of Athens, 2010, pp.1-10.
- [7] Vermeire MB, Everything you need to know about marine fuels. Chevron Products and Technology. Ghent, Belgium; 2021.
- [8] International Maritime Organization (IMO). Annex 11, resolution MEPC.304(72): Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. 2018, URL <http://www.imo.org>.
- [9] Simonsen M, Walnum HJ, Gössling S, Model for Estimation of Fuel Consumption of Cruise Ships. *Energies* 2018;11(5):1059-9. <https://doi.org/10.3390/en11051059>.
- [10] Stolz B, Held M, Georges G, Boulouchos K. The CO₂ reduction potential of shore-side electricity in Europe, *Applied Energy* 2021;285:116425.
- [11] On Shore Power Supply and LNG, TrainMoS II, Retrieved from: <https://www.onthemosway.eu/trainmos2/?cn-reloaded=1>.
- [12] Komar I, Lalić B. Sea Transport Air Pollution. 2015, URL <http://dx.doi.org/10.5772/59720>.
- [13] Bouman E, Lindstad E, Riialand A, Strømman A. State-of-the-Art Technologies, Measures, and Potential for Reducing GHG Emissions from Shipping—A Review. *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 2017;52:408–421.
- [14] Entec. European Commission Directorate General Environment, service contract on ship emissions: assignment, abatement and market-based instruments. (Task 2a-shore-side electricity, final report), Northwich; 2005, URL https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task2_shoreside.pdf.
- [15] Zis T, North RJ, Angeloudis P, Ochieng WY, Harrison Bell MG. Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports. *Marit Econ Logist* 2014;16(4):371–98. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1057/mel.2014.6>.
- [16] Winkel R, Weddige U, Johnsen D, Hoen V, Papaefthimiou S. Shore side electricity in Europe: potential and environmental benefits. *Energy Policy* 2016;88:584–93. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.07.013>.

- [17] Prousalidis J, Lyridis DV, Dallas S, Papaleonidas C, Mitrou P, Vergetis E, Vaimaki E, Aggelopoulos S, Kourmpelis T, Georgiou V, Katsikas P, Boutsika T, Spathis D, (2017). The ports as smart micro-grids: development perspectives.
- [18] Vaishnav P, Fischbeck PS, Morgan MG, Corbett JJ. Shore power for vessels calling at U.S. ports: benefits and costs. *Environ Sci Technol* 2016;50(3):1102–10. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b04860>.
- [19] Kotrikla AM, Lilas T, Nikitakos N. Abatement of air pollution at an Aegean island port utilizing shore side electricity and renewable energy. *Mar Policy* 2017;75:238–48.
- [20] Sciberras EA, Zahawi B, Atkinson DJ, Juandó A, Sarasquete A. Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. *Proc Inst Mech Eng M: J Eng Marit Environ* 2016;230(1):67–82.
- [21] Electrician Magazine Tribute: Electrical interconnections of ships and ports and prospects for port energy upgrades, Prousalidis J, 2020.
- [22] Xenopoulou M, Design principles for port's power system with cold ironing, Diploma Thesis, University of West Attica, 2021, pp.50-51.
- [23] Kritikos OM, A cold ironing feasibility study and cost benefit analysis, Diploma Thesis, National Technical University of Athens, 2017.
- [24] European commission Directorate-General for Mobility and Transport Directorate. Trans-European Transport Network (TEN-T). URL https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en.
- [25] Wang H, Mao X, Rutherford D. Costs and Benefits of Shorepower at the Port of Shenzhen; Whitepaper: London, UK, 2015.
- [26] United Nations Conference on Trade and Development. Port call and performance statistics: time spent in ports, vessel age and size, annual, 2020. URL <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=170027>.
- [27] Hulskotte J, Denier van der Gon H. Fuel consumption and associated emissions from seagoing ships at berth derived from an on-board survey. *Atmos Environ* 2010;44(9):1229–36. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.10.018>.
- [28] Park NK, Suh SC. Tendency toward Mega Containerships and the Constraints of Container Terminals. *J Mar Sci Eng*. 2019;7(5):131. <https://doi.org/10.3390/jmse7050131>.
- [29] Karafoulidis P. Analysis of the process on the electrification of moored ships from Shore and application in the Ports of Crete, Technical University of Crete, 2013.
- [30] Jiven K. Shore-side electricity for ships in ports: Case studies with estimates of internal and external costs, prepared for the North Sea Commission, MariTerm AB, Sweden; 2004.
- [31] European Maritime Safety Agency, THETIS–MRV, v200. URL <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>.
- [32] International Maritime Organization (IMO). Third IMO GHG study 2014. April 2015th ed. London, UK; 2015, URL <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/ThirdGreenhouseGasStudy/GHG3ExecutiveSummaryandReport.pdf>.

- [33] Zis T, North RJ, Angeloudis P, Ochieng WY, Harrison Bell MG. Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports. *Marit Econ Logist* 2014;16(4):371–98. <http://dx.doi.org/10.1057/mel.2014.6>.
- [34] Gutierrez-Romero JE, Esteve-Pérez J, Zamora B. Implementing onshore power supply from renewable energy sources for requirements of ships at berth. *Appl. Energy* 2019;255:113883. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113883>.
- [35] Dai L, Hu H, Wang Z, Shi Y, Ding W. An environmental and techno-economic analysis of shore side electricity. *Transp Res D: Transp Environ* 2019;75:223–35.
- [36] Kumar J, Kumpulainen L, Kauhaniemi K. Technical design aspects of harbor area grid for shore to ship power: State of the art and future solutions. *Int J Electr Power Energy Syst* 2019;104:840–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.07.051>.
- [37] Kampylis P, An Environmental, Technical and Economical Approach for the Use of Shore-Power in Piraeus Port, Diploma Thesis, National Technical University of Athens, 2016, pp. 79-82.
- [38] Piccoli T, Fermeglia M, Bosich D, Bevilacqua P, Sulligoi G. Environmental Assessment and Regulatory Aspects of Cold Ironing Planning for a Maritime Route in the Adriatic Sea. *Energies* 2021;14(18):5836. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/en14185836>.
- [39] Sulligoi G, Bosich D, Pelaschiar R, Lipardi G, Tosato F. Shore-to-Ship Power. *Proc. IEEE* 2015, 103, 2381–2400.
- [40] Trozzi C. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories, Technical Report, European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, 2013.
- [41] European commission Directorate-General for Mobility and Transport Directorate. A–Policy Coordination Unit A3–Economic analysis and better regulation. In *Handbook on the External Costs of Transport*, 1.1-2019 ed.; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2019.
- [42] Dubrovnik. Croatia Cruise Ship Schedule. 2019. Available online: <http://crew-center.com/dubrovnik-croatia-cruise-shipsschedule-2019>.
- [43] Trieste. Data for Cruise Mooring in Trieste, 2019; Provided by Trieste Terminal Passeggeri S.p.A: Trieste, Italy, 2019.
- [44] Split. Croatia Cruise Ship Schedule. 2019. Available online: <http://crew-center.com/split-croatia-cruise-ship-schedule-2019>.
- [45] Corfù. Greece Cruise Ship Schedule. 2019. Available online: <http://crew-center.com/corfu-greece-cruise-ship-schedule-2019>.
- [46] Argostoli. Greece Cruise Ship Schedule. 2019. Available online: <http://crew-center.com/argostoli-greece-cruise-ship-schedule-2019>.
- [47] Pireo. Greece Cruise Ship Schedule January–June. 2019. Available online: <http://crewcenter.com/piraeus-greece-cruise-portschedule-january-june-2019>.
- [48] Pireo. Greece Cruise Ship Schedule 2019 August–December. 2019. Available online: <http://crew-center.com/piraeus-greececruise-port-schedule-august-december-2019>.
- [49] Porto di Bari. Programma Crociere. 2019. Available online: <https://www.adspmam.it/comunicazione/calendario-crociere/>.

- [50] European Commission–Directorate-General for Regional and Urban policy REGIO DG 02. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014–2020; Chapter: 1.A.3.d.i, 1.A.3.d.ii, 1.A.4.c.iii International navigation, National Navigation, National Fishing; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2015.
- [51] Lagouvardou S, Psaraftis HN, Zis T. A Literature Survey on Market-Based Measures for the Decarbonization of Shipping. *Sustainability* 2020;12:3953.
- [52] United Nations Conference on Trade and Development. UNCTAD Assessment of the Impact of the IMO Short-Term GHG Reduction Measure on States; UNCTAD: Geneva, Switzerland; 2021.
- [53] Daily Carbon Price. Available online: <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>.
- [54] Piraeus–LSMGO. Available online: <https://shipandbunker.com/prices/av/region/av-eme-emea-average#VLSFO>.
- [55] Eurostat. Electricity Prices for Non-Household Consumers–Bi-Annual Data (from 2007 Onwards). Available online: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_205__custom_1154470/default/table?lang=en.
- [56] Krukowska E. Europe CO2 Prices May Rise More Than 50% by 2030, EU Draft Shows. Available online: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-06-29/europe-co2-prices-may-rise-more-than-50-by-2030-eu-draft-shows>.
- [57] Mathis W. London Hedge Funds Are Betting a \$100 Carbon Price Is Almost Here. Available online: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-02/andurand-sees-carbon-tripling-as-funds-turn-bullish-on-pollution>.
- [58] Livermore MA, Setting the Social Cost of Carbon. In *Climate Change Law*, Elgar Encyclopedia of Environmental Law. Farber DA, Peeters M. Eds, Edward Elgar: Cheltenham, UK, 2016;1:32–42.
- [59] Zis T, North RJ, Angeloudis P, Ochieng WY, Harrison Bell MG. Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports. *Marit Econ Logist* 2014;16(4):371–98. <http://dx.doi.org/10.1057/mel.2014.6>.
- [60] Zis T. Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transp. Res.* 2019;119(3):82–95.