

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

στη

ΝΑΥΤΙΛΙΑ

**«ΕΥΡΩΠΑΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΑ
ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ »**

«FUELEU MARITIME REGULATION»

Παπαγεωργίου Ηλίας

Διπλωματική Εργασία

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

Πειραιάς

Σεπτέμβριος, 2025

Δήλωση Αυθεντικότητας / Ζητήματα copyright

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

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

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

Τα μέλη της επιτροπής:

-Διονύσιος Πολέμης (Επιβλέπων)

-Νικόλαος Πενθερουδάκης

-Ιωάννης Λαγούδης

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

Αφιέρωση

Στην οικογένεια μου

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	iv
Περίληψη	vi
Abstract.....	viii
Συντμήσεις.....	x
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Γενική παρουσίαση της ναυτιλίας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεών της.....	2
1.2. Η ανάγκη για τον κανονισμό FuelEU Maritime.....	4
1.3. Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας	4
1.4. Ερευνητικά Ερωτήματα	5
1.5. Συμπεράσματα και Προοπτικές	6
1.6. Δομή Εργασίας.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	8
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	8
2.1. Κλιματική Αλλαγή και Ναυτιλία	8
2.1.1. Επίδραση της ναυτιλίας στις εκπομπές CO ₂ και άλλων ρύπων.....	8
2.1.2. Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στη Ναυτιλία.....	9
2.1.3. Προσαρμογή της Ναυτιλίας στις Απαιτήσεις Βιωσιμότητας.....	9
2.1.4. Ηθικές και Οικονομικές Διαστάσεις	10
2.2. Νομοθετικό Πλαίσιο για τις Ναυτιλιακές Εκπομπές.....	11
2.2.1. Κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO)	11
2.2.2. Στρατηγική του IMO για τη Μείωση των Εκπομπών.....	13
2.2.3. Συστήματα Εμπορίας Εκπομπών: Το Παράδειγμα του EU ETS στη Ναυτιλία	14
2.3. FuelEU Maritime: Βασικά Χαρακτηριστικά και Στόχοι	14
2.3.1. Ορισμός και Βασικές Παράμετροι του Κανονισμού	15
2.3.2. Επιβολή και Είσπραξη Ποινών στον Κανονισμό FuelEU Maritime: Θεσμικό Πλαίσιο και Εφαρμογή	16
2.3.2.1. Επιβολή Κυρώσεων και Ποινών.....	16
2.3.2.2. Μηχανισμοί Είσπραξης Προστίμων και Διάθεση Εσόδων.....	17
2.3.3. Χρονοδιάγραμμα Εφαρμογής και Επιδιώξεις.....	17

2.3.3.1. Προκλήσεις και Ευκαιρίες από την Εφαρμογή του Κανονισμού	18
2.3.3.2. Σύγκριση του FuelEU Maritime με Άλλες Ρυθμιστικές Πρωτοβουλίες.....	19
2.4. Χαρακτηριστικά Εναλλακτικών Μεθόδων Συμμόρφωσης	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	22
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ	
ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ FUELEU MARITIME	22
3.1. Ορισμός και στόχοι του μηχανισμού προστίμων.....	22
3.1.1. Μηχανισμός επιβολής προστίμων	23
3.1.2. Οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.....	23
3.2. Παράγοντες υπολογισμού προστίμων	24
3.3. Μελέτη Περίπτωσης.....	25
3.3.1. Υπολογισμός FuelEU Penalty.....	30
3.4. Ανάλυση επιβάρυνσης πλοίων (οικονομική διάσταση)	31
3.4.1. Κόστος αντικατάστασης και μετασκευής πλοίων: Εναλλακτικές επιλογές και προκλήσεις.....	32
3.5. Εμπλεκόμενοι φορείς και ευθύνες	34
4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	37
4.1. Εναλλακτικά καύσιμα.....	37
4.2. Καινοτόμες τεχνολογίες.....	38
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ	39
5.1. Εκπαίδευση και Κατάρτιση.....	39
5.2. Υιοθέτηση Καινοτόμων Τεχνολογιών	40
5.3. Βελτίωση Διαχείρισης Καυσίμου και Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων.....	40
5.4. Ανάπτυξη Υποδομών Καθαρής Ενέργειας.....	41
5.5. Χρηματοδοτική Στήριξη και Επιδοτήσεις	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	43
6. Συμπεράσματα και συστάσεις.....	43
6.1. Συνοπτική ανακεφαλαίωση	43
6.2. Συμπεράσματα βασισμένα στα ευρήματα	43
6.3. Συστάσεις για εκπαίδευση και κατάρτιση.....	44
6.4. Συστάσεις για μελλοντική έρευνα.....	45
Βιβλιογραφία	49
Διαδικτυακοί Τόποι.....	53

«Ευρωπαϊκός Κανονισμός για τα Καύσιμα Πλοίων»

Σημαντικοί Όροι: Εκπομπές Αέριων Θερμοκηπίου, Εναλλακτικά καύσιμα, Ναυτιλιακή βιωσιμότητα, Πράσινες τεχνολογίες

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τον νέο Κανονισμό FuelEU Maritime, ο οποίος έχει τεθεί σε εφαρμογή την 1η Ιανουαρίου 2025, με στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων ρύπων από τον ναυτιλιακό τομέα.

Ο κανονισμός εισάγει αυστηρές απαιτήσεις για τα πλοία, επιδιώκοντας να περιορίσει σημαντικά τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο των θαλάσσιων μεταφορών, ιδίως όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Ο κύριος στόχος της παρούσας πτυχιακής είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση του κανονισμού, περιγράφοντας τις διατάξεις του, τον τρόπο υπολογισμού των προστίμων για τις εκπομπές CO₂ και τις οικονομικές επιπτώσεις για τις ναυτιλιακές εταιρείες που δραστηριοποιούνται τόσο εντός όσο και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, εξετάζονται οι ενδιαφερόμενοι φορείς που είναι υπεύθυνοι για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τον κανονισμό, καθώς και ο οικονομικός αντίκτυπος των νέων κανόνων στα πλοία από το 2025 και έπειτα.

Επιπρόσθετα, η εργασία προτείνει εναλλακτικές μεθόδους προσαρμογής στο ρυθμιστικό πλαίσιο, εστιάζοντας στο πώς η ναυτιλιακή βιομηχανία μπορεί να επιτύχει συμμόρφωση μέσω καινοτόμων προσεγγίσεων, όπως η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών. Παράλληλα, αναλύονται τα απαραίτητα υποστηρικτικά μέτρα που θα πρέπει να εφαρμόσουν θεσμικοί φορείς, όπως η ΕΕ, οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς ναυτιλιακοί οργανισμοί, προκειμένου να βοηθήσουν τον κλάδο να ανταποκριθεί στους στόχους του κανονισμού.

Η μελέτη στοχεύει να αναδείξει τόσο τις προκλήσεις όσο και τις ευκαιρίες που δημιουργεί ο Κανονισμός FuelEU Maritime. Οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τους τεχνολογικούς και οικονομικούς περιορισμούς που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν οι ναυτιλιακές εταιρείες, ενώ οι ευκαιρίες σχετίζονται με την ανάπτυξη και την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, όπως τα ανανεώσιμα καύσιμα και οι ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες, που θα μπορούσαν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων του κανονισμού.

Η ερευνητική μεθοδολογία περιλαμβάνει έναν συνδυασμό ποιοτικής ανάλυσης, εξετάζοντας τη νομοθεσία, μελέτες περίπτωσης και σχετική βιβλιογραφία, καθώς και ανάλυση δεδομένων για την αξιολόγηση του αντίκτυπου του κανονισμού στον ναυτιλιακό τομέα.

Τα ευρήματα θα παρέχουν πληροφορίες για το πώς η βιομηχανία μπορεί να μεταβεί σε πιο βιώσιμες πρακτικές, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις οικονομικές και τεχνικές προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσουν οι εταιρείες.

Τέλος, η διπλωματική εργασία διατυπώνει προτάσεις για μελλοντική έρευνα και πολιτικές δράσεις που θα ενισχύσουν τη βιωσιμότητα του ναυτιλιακού τομέα, διασφαλίζοντας ότι οι στόχοι του Κανονισμού FuelEU Maritime θα επιτευχθούν αποτελεσματικά, χωρίς να διακυβεύεται η οικονομική βιωσιμότητα των ναυτιλιακών εταιρειών.

"Fuel EU Maritime Regulation"

Keywords: Greenhouse Gas Emissions, Alternative Fuels, Maritime Sustainability, Green Technologies

Abstract

This thesis addresses the new FuelEU Maritime Regulation, which it has be implemented on January 1, 2025, aiming to reduce carbon dioxide (CO₂) emissions and other pollutants from the maritime sector.

The regulation introduces stringent requirements for ships, aiming to significantly limit the environmental impact of maritime transportation, particularly in terms of greenhouse gas emissions.

The main objective of this thesis is to provide a comprehensive analysis of the regulation, detailing its provisions, the calculation of penalties for CO₂ emissions, and the financial implications for shipping companies operating both within and outside the European Union.

Also explores the stakeholders responsible for ensuring compliance with the regulation and evaluates how the new rules will financially affect vessels starting from 2025.

Additionally, this thesis suggests alternative methods for adapting to the regulatory framework, focusing on how the maritime industry can achieve compliance through innovative approaches, including the use of alternative fuels and technologies. The research examines the necessary support measures that systemic stakeholders, such as the EU, governments, and international maritime organizations, should implement to assist the sector in meeting the targets set by the regulation.

This study aims to highlight both the challenges and opportunities created by the FuelEU Maritime Regulation. Challenges include the technological and economic limitations that shipping companies may face, while opportunities lie in the development and adoption of new technologies, such as renewable fuels and energy-efficient technologies, which could play a pivotal role in achieving the regulation's goals.

The research methodology involves a combination of qualitative analysis, examining legislation, case studies, and relevant literature, as well as data analysis to assess the impact of the regulation on the maritime sector. The findings will provide insights into how the industry can transition to more sustainable practices, while also considering the financial and technical challenges companies may encounter.

Finally, the thesis provides recommendations for future research and policy actions aimed at enhancing the sustainability of the maritime sector, ensuring that the goals of the FuelEU Maritime Regulation are met effectively, without compromising the economic viability of shipping companies.

Συντμήσεις

Συντμήσεις	Ελληνικά	Αγγλικά
AFIR	Υποδομές Εναλλακτικών Καυσίμων	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
CEF	Μηχανισμός «Συνδέοντας την Ευρώπη»	Connecting Europe Facility
CFCs	Χλωροφθοράνθρακες	Chlorofluorocarbons
CH ₄	Μεθάνιο	Methane
CPI	Δείκτης Έντασης Άνθρακα	Carbon Intensity Indicator
CO ₂	Διοξείδιο του Άνθρακα	Carbon Dioxide
DCS	Σύστημα Συλλογής Δεδομένων	Data Collection System
DNV	Οργανισμός Νορβηγική Βερίτα	Det Norske Veritas - The Norwegian Veritas
ECAs	Ζώνες Ελέγχου Εκπομπών	Emission Control Areas
EE	Ευρωπαϊκή Ένωση	European Union
EEDI	Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Νέων Πλοίων	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων	Energy Efficiency Existing Ship Index
EU ETS	Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών	European Union Emissions Trading System
GHG	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου	Greenhouse Gases
GT	Ολική Χωρητικότητα	Gross Tonnage
HCFCs	Υδροχλωροφθοράνθρακες	Hydrochlorofluorocarbons
IMO	Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός	International Maritime Organization
LNG	Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο	Liquefied Natural Gas
MRV	Σύστημα Παρακολούθησης, Αναφοράς και Επαλήθευσης	Monitoring, Reporting and Verification
NO _x	Οξειδία του Αζώτου	Nitrogen Oxides
PCBs	Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια	Polychlorinated Biphenyls
PPP	Δημόσιο-Ιδιωτικές Συνεργασίες	Public-Private Partnerships
REDIII	Οδηγία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας III	Renewable Energy Directive III
SEEMP	Σχέδιο Ενεργειακής Διαχείρισης Πλοίων	Ship Energy Efficiency Management Plan
SO _x	Οξειδία του Θείου	Sulfur Oxides
TEU	Ισοδύναμη Μονάδα Είκοσι Ποδών	Twenty-foot Equivalent Unit
WHRS	Συστήματα Σνάκτησης Σπορριπτόμενης Θερμότητας	Waste Heat Recovery Systems

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ναυτιλία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς μεταφορών, παρόλα αυτά συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο νέος Κανονισμός FuelEU Maritime, που τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2025, στοχεύει στη μείωση των εκπομπών CO₂ μέσω αυστηρότερων περιβαλλοντικών απαιτήσεων για τα πλοία.

Η εφαρμογή του κανονισμού δημιουργεί τόσο προκλήσεις όσο και ευκαιρίες για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Από τη μία πλευρά, οι εταιρείες καλούνται να συμμορφωθούν με νέα όρια εκπομπών και να προσαρμόσουν τις επιχειρηματικές τους στρατηγικές. Από την άλλη, η μετάβαση σε καθαρότερες τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα μπορεί να οδηγήσει σε καινοτομία και βιώσιμη ανάπτυξη.

Η παρούσα εργασία εξετάζει τις διατάξεις του κανονισμού (Εικόνα 1), τις οικονομικές επιπτώσεις για τις ναυτιλιακές εταιρείες και τους τρόπους προσαρμογής τους στις νέες απαιτήσεις. Επιπλέον, αναλύονται εναλλακτικές στρατηγικές συμμόρφωσης, καθώς και ο ρόλος των θεσμικών φορέων στη στήριξη της βιομηχανίας. Μέσω αυτής της μελέτης, επιχειρείται να αποσαφηνιστεί ο αντίκτυπος του νέου πλαισίου και να προταθούν λύσεις για μια βιώσιμη ναυτιλία.



Εικόνα 1: Πλοία και Λιμάνια στο Στόχαστρο του FuelEU Maritime: Προσαρμογή σε μία Βιώσιμη Ναυτιλία (DNV, 2025).

1.1. Γενική παρουσίαση της ναυτιλίας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεών της

Η ναυτιλία αποτελεί έναν από τους βασικότερους πυλώνες της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς διαδραματίζει καίριο ρόλο στη διακίνηση προϊόντων, πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων. Με άλλα λόγια, συνδέει τους παραγωγούς με τους καταναλωτές και εξασφαλίζει τη διακίνηση αγαθών, πρώτων υλών και καυσίμων ανάμεσα στις ηπείρους (Tseng et al., 2025; ICS, 2024). Με περισσότερα από 50.000 εμπορικά πλοία να ταξιδεύουν στις θάλασσες του πλανήτη (ICS, 2024), η ναυτιλία διακινεί περίπου το 90% του συνολικού όγκου των εμπορευμάτων παγκοσμίως, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία αυτού του κλάδου για τη διατήρηση της διεθνούς εφοδιαστικής αλυσίδας και την ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης. Ο ναυτιλιακός τομέας περιλαμβάνει διάφορες δραστηριότητες, από τη μεταφορά εμπορευμάτων έως την ακτοπλοΐα και τη λειτουργία πλοίων ειδικών αποστολών, ενώ συμβάλλει καθοριστικά στη διασύνδεση των αγορών και των κοινοτήτων σε παγκόσμια κλίμακα (EMSA, 2024).

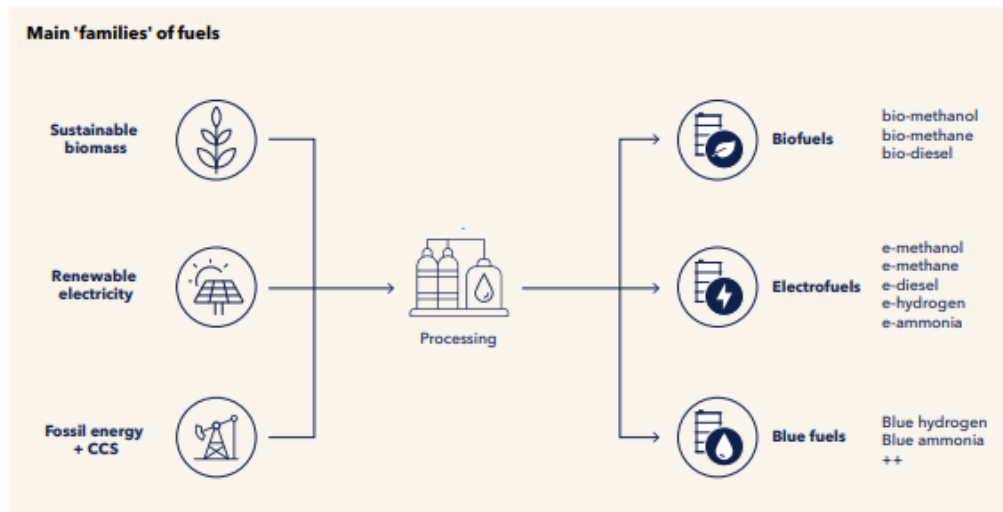
Ωστόσο, πίσω από αυτήν τη ζωτικής σημασίας δραστηριότητα, κρύβονται σημαντικές προκλήσεις, οι οποίες την καθιστούν έναν από τους κύριους παράγοντες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Η ναυτιλία συνδέεται άμεσα με ποικίλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, πολλές από τις οποίες αποτελούν σοβαρή απειλή για τη βιωσιμότητα του πλανήτη (Zhang, et al., 2024). Μία από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές προκλήσεις της ναυτιλιακής βιομηχανίας είναι η συμβολή της στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG - Green House Gases), όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Παρόλο που η ναυτιλία εκπέμπει λιγότερο CO₂ ανά τόνο φορτίου σε σύγκριση με άλλες μορφές μεταφοράς, όπως η οδική ή αεροπορική μεταφορά, το συνολικό μέγεθος των εκπομπών της είναι σημαντικό λόγω της μεγάλης κλίμακας της δραστηριότητάς της (Kadir et al., 2020; Chircop et al., 2024). Σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) για τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG), η διεθνής ναυτιλία ευθύνεται περίπου για το 3% των παγκόσμιων εκπομπών του CO₂ καθώς εκπέμπει 1.076 εκατομμύρια τόνους CO₂ το 2018 (Chen et al., 2019; EU, 2021). Αυτές οι εκπομπές ενδέχεται να αυξηθούν κατά 90–130% έως το 2050, παρά τις βελτιώσεις στην ένταση άνθρακα. Εάν ο ναυτιλιακός τομέας ήταν χώρα, θα κατείχε την 6η θέση στους μεγαλύτερους ρυπαντές παγκοσμίως (EU, 2021). Στην ΕΕ οι εκπομπές CO₂ από τη διεθνή ναυτιλία προβλέπεται να αυξηθούν πάνω από 30% μεταξύ 2015 και 2050 υπό τις τρέχουσες τάσεις και πολιτικές (Malmberg, 2023).

Εν συντομία, η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου, οι υψηλές απαιτήσεις για ενεργειακούς πόρους και η εξάρτηση από καύσιμα χαμηλής ποιότητας αυξάνουν τις περιβαλλοντικές πιέσεις που ασκεί ο τομέας αυτός (Kalair et al., 2021).

Εκτός από τις εκπομπές CO₂, οι ναυτιλιακές δραστηριότητες εκπέμπουν και άλλες επιβλαβείς ουσίες, όπως τα οξειδία του θείου (SO_x) και του αζώτου (NO_x), που συμβάλλουν στη δημιουργία όξινης βροχής και στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα αλλά και στη ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Kalair et al., 2021). Ειδικότερα, η απόρριψη αποβλήτων και η χρήση βαρέων καυσίμων (Heavy Fuel Oil) από τα πλοία που χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα επιπέδων θείου, αποδεδειγμένα παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία της όξινης βροχής, η οποία επηρεάζει αρνητικά το φυσικό και το ανθρώπινο περιβάλλον. Η ρύπανση αυτή προκαλεί σημαντική υποβάθμιση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας αρνητικά τη θαλάσσια βιοποικιλότητα και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων (Claremar et al., 2017; Kalair et al., 2021).

Για την απανθρακοποίηση του ναυτιλιακού τομέα υπάρχουν αρκετές επιλογές όπως με τη μείωση των εκπομπών μέσω της λήψης μέτρων (Lin et al., 2021) και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (Poulsen and Sampson, 2020) με τη χρήση καυσίμων χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών (Pettit et al., 2018; Steen et al., 2019). Παρόλα αυτά οι εναλλακτικές πηγές όπως βιοκαύσιμα, ηλεκτροκαύσιμα και ανακυκλωμένα καύσιμα άνθρακα έχουν πλεονεκτήματα και περιορισμούς, ενώ καμία δεν αποτελεί μοναδική λύση για τον παγκόσμιο στόλο (Εικόνα 2) (DNV, 2025).



Εικόνα 2 : Οικογένειες καυσίμων για χρήση στον ναυτιλιακό τομέα (DNV, 2025).

Στην πιο πρόσφατη έκδοση του Maritime Forecast της DNV για το 2050 στην έκθεση, εκτιμήθηκε ότι η ενεργειακή απόδοση μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση καυσίμων και μειώσεις εκπομπών έως και 16%. Ένας σημαντικός αριθμός, ισοδύναμος με την απανθρακοποίηση 55.000 μικρών ή 2.500 μεγάλων πλοίων στον παγκόσμιο στόλο. Εάν επιτευχθεί, μπορεί να συμβάλει στο μεγαλύτερο μέρος μείωσης των εκπομπών που είναι

απαραίτητη για την επίτευξη του πρώτου στόχου απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές του IMO, δηλαδή μείωση 20% έως το 2030, και σχετική χαλάρωση του επείγοντα χαρακτήρα της μετάβασης σε εναλλακτικά καύσιμα, παρέχοντας έτσι ζωτικό χρόνο για να αναπτυχθούν αυτές οι αγορές (DNV, 2025).

1.2. Η ανάγκη για τον κανονισμό FuelEU Maritime

Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), αναγνωρίζοντας την ανάγκη για άμεσες δράσεις, αναλαμβάνει πρωτοβουλίες για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ναυτιλίας (Refindustry, 2024). Μία από τις πλέον φιλόδοξες πρωτοβουλίες είναι η θέσπιση του κανονισμού FuelEU Maritime, ο οποίος έχει τεθεί σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2025. Ο κανονισμός αυτός εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της στρατηγικής «European Green Deal» και στοχεύει στη δραστική μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία που δραστηριοποιούνται σε ευρωπαϊκά ύδατα, ενθαρρύνοντας παράλληλα τη χρήση καθαρών, ανανεώσιμων καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών (Refindustry, 2024).

Η σημασία του κανονισμού FuelEU Maritime είναι πολυδιάστατη. Πρώτον, παρέχει ένα νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών της ναυτιλίας, υποστηρίζοντας τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πρακτικές. Δεύτερον, συμβάλλει στην ενίσχυση της καινοτομίας στον τομέα της ναυτιλίας, ενθαρρύνοντας επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες, όπως τα πλοία με καύσιμα μηδενικών εκπομπών, οι υβριδικές λύσεις ενέργειας και τα καύσιμα χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος, όπως το υδρογόνο και η αμμωνία. Τρίτον, ενισχύει τη θέση της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως παγκόσμιου ηγέτη στη μάχη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, θέτοντας αυστηρούς στόχους και κίνητρα για τις ναυτιλιακές εταιρείες να υιοθετήσουν φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές (Meijer, 2024).

1.3. Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην ενδελεχή ανάλυση του κανονισμού FuelEU Maritime, με έμφαση στις προκλήσεις, τις ευκαιρίες και τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή του στον ναυτιλιακό τομέα. Ο βασικός σκοπός της είναι να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να προσαρμοστούν στο νέο κανονιστικό πλαίσιο, ενώ παράλληλα να ενισχύσουν τη βιώσιμη λειτουργία τους.

Η εργασία εστιάζει στην προσέγγιση πρακτικών και στρατηγικών λύσεων που διευκολύνουν τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του κανονισμού, περιορίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και υποστηρίζουν την ανάπτυξη βιώσιμων ναυτιλιακών πρακτικών. Οι στόχοι της εργασίας περιλαμβάνουν:

1. Ανάλυση του Κανονισμού: Διερεύνηση των βασικών χαρακτηριστικών, των στόχων και των απαιτήσεων του κανονισμού FuelEU Maritime, καθώς και του ρόλου του στην υλοποίηση των περιβαλλοντικών στόχων.
2. Αξιολόγηση Επιπτώσεων: Μελέτη των οικονομικών, τεχνολογικών και λειτουργικών επιπτώσεων στις ναυτιλιακές εταιρείες και στην εφοδιαστική αλυσίδα, τόσο εντός όσο και εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης.
3. Ανάδειξη Προκλήσεων: Επισήμανση των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι ναυτιλιακές εταιρείες στη συμμόρφωση με το νέο κανονιστικό πλαίσιο.
4. Διερεύνηση Ευκαιριών: Αναγνώριση τεχνολογικών και στρατηγικών ευκαιριών για τη βελτίωση της βιωσιμότητας στον ναυτιλιακό κλάδο.
5. Εναλλακτικές Λύσεις: Ανάπτυξη προτάσεων για τη χρήση καθαρών καυσίμων, καινοτόμων τεχνολογιών και βιώσιμων πρακτικών που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών και στη συμμόρφωση με τον κανονισμό.
6. Στρατηγικός Ρόλος των Φορέων: Ανάλυση του ρόλου συστημικών φορέων, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, ο IMO και οι ναυτιλιακές εταιρείες, στη διευκόλυνση της εφαρμογής του κανονισμού και της μετάβασης σε καθαρές τεχνολογίες.
7. Ενίσχυση Βιωσιμότητας: Παροχή στρατηγικών εργαλείων και προτάσεων που θα συμβάλουν στη μετάβαση της ναυτιλίας σε ένα πιο βιώσιμο μοντέλο, ευθυγραμμισμένο με τη Συμφωνία των Παρισίων.

1.4. Ερευνητικά Ερωτήματα

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, η μελέτη επικεντρώνεται στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά και οι στόχοι του κανονισμού FuelEU Maritime;
2. Πώς υπολογίζονται οι εκπομπές CO₂ και τα πρόστιμα εντός και εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, και ποιο είναι το σύστημα παρακολούθησης και συμμόρφωσης;
3. Ποιες είναι οι οικονομικές, τεχνολογικές και λειτουργικές επιπτώσεις του κανονισμού στις ναυτιλιακές εταιρείες και στην εφοδιαστική αλυσίδα;
4. Ποιες προκλήσεις και δυσκολίες αντιμετωπίζουν οι ναυτιλιακές εταιρείες κατά την εφαρμογή του κανονισμού;

5. Ποιες εναλλακτικές πηγές ενέργειας και τεχνολογίες, όπως το LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο), το πράσινο υδρογόνο και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών;
6. Ποιος είναι ο ρόλος των συστημικών φορέων, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση και ο IMO (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός), στην εφαρμογή του κανονισμού και την υποστήριξη της μετάβασης σε βιώσιμες πρακτικές;
7. Ποια μέτρα πρέπει να ληφθούν για την ενίσχυση της εφαρμογής του κανονισμού και την υποστήριξη της ναυτιλιακής βιομηχανίας στη μετάβασή της σε καθαρότερες τεχνολογίες;

1.5. Συμπεράσματα και Προοπτικές

Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να αποτελέσει ένα ολοκληρωμένο εργαλείο κατανόησης του κανονισμού FuelEU Maritime και των επιπτώσεών του. Μέσα από τη βαθιά ανάλυση και τις προτεινόμενες λύσεις, εστιάζει στη διευκόλυνση της συμμόρφωσης των ναυτιλιακών εταιρειών και στη διαμόρφωση ενός βιώσιμου μοντέλου λειτουργίας που συνδυάζει οικονομική ανάπτυξη και περιβαλλοντική προστασία.

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να αποτελέσει οδηγό για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις, τους συστημικούς φορείς και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, προάγοντας τη βιωσιμότητα και την καινοτομία στον κλάδο.

1.6. Δομή Εργασίας

Η εργασία δομείται σε επτά βασικά κεφάλαια όπου παρουσιάζονται συνοπτικά πιο κάτω:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Παρουσιάζεται η ανάγκη για τον κανονισμό FuelEU Maritime, οι στόχοι της έρευνας και τα ερευνητικά ερωτήματα. Περιγράφεται η δομή της εργασίας και οι αναμενόμενες προοπτικές.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

Αναλύεται η σχέση της ναυτιλίας με την κλιματική αλλαγή, το νομοθετικό πλαίσιο, και ειδικά ο κανονισμός FuelEU Maritime. Γίνεται επισκόπηση προηγούμενων ερευνών και των διαθέσιμων στρατηγικών συμμόρφωσης.

Κεφάλαιο 3: Υπολογισμός Προστίμων και Συμμόρφωση

Εξετάζεται ο μηχανισμός επιβολής προστίμων του κανονισμού FuelEU Maritime, οι

οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της συμμόρφωσης και οι παράγοντες υπολογισμού. Περιλαμβάνει μελέτη περίπτωσης και ανάλυση του κόστους χρήσης εναλλακτικών καυσίμων.

Κεφάλαιο 4: Εναλλακτικά Καύσιμα

Εστιάζει στα εναλλακτικά καύσιμα και τις τεχνολογικές ευκαιρίες των ναυτιλιακών εταιριών.

Κεφάλαιο 5: Προτάσεις για Βιώσιμες Πρακτικές

Προτείνονται εκπαιδευτικές δράσεις, τεχνολογικές λύσεις, βελτίωση διαχείρισης εναλλακτικών καυσίμων, χρηματοδοτικά εργαλεία και στρατηγικές συνεργασίες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και τη βιωσιμότητα του κλάδου.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και Συστάσεις

Γίνεται συνοπτική ανακεφαλαίωση των βασικών ευρημάτων, προτείνονται βελτιώσεις στην εκπαίδευση και κατάρτιση, ενώ διατυπώνονται συστάσεις για μελλοντική έρευνα.

Η ολοκλήρωση της εργασίας επιδιώκει να συμβάλει στην κατανόηση των πολυδιάστατων επιπτώσεων του κανονισμού FuelEU Maritime και στην προώθηση της βιωσιμότητας στον ναυτιλιακό τομέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

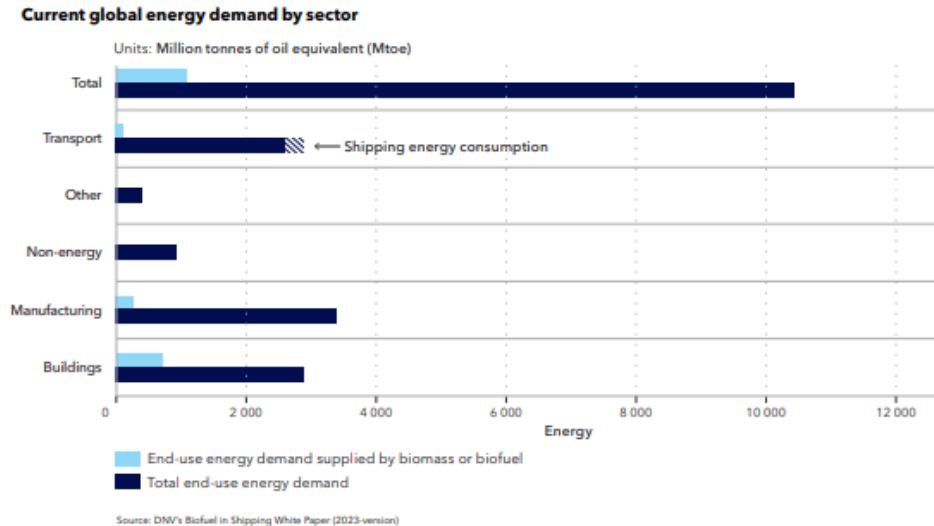
Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει τη σύνδεση μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ναυτιλίας, αναλύοντας τις επιπτώσεις που έχει η μεταβολή του κλίματος στον κλάδο, καθώς και τον ρόλο της ναυτιλίας ως πηγής εκπομπών ρύπων. Παρουσιάζονται οι στρατηγικές προσαρμογής των ναυτιλιακών εταιρειών, οι τεχνολογικές λύσεις και οι κανονιστικές ρυθμίσεις που επιδιώκουν τη βιώσιμη ανάπτυξη του τομέα. Ειδική αναφορά γίνεται στο νομοθετικό πλαίσιο, τόσο σε διεθνές όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο, και στον τρόπο με τον οποίο τα νέα μέτρα επηρεάζουν τις ναυτιλιακές πρακτικές και την περιβαλλοντική συμμόρφωση.

2.1. Κλιματική Αλλαγή και Ναυτιλία

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά τη ναυτιλία, προκαλώντας μεταβολές στις θαλάσσιες διαδρομές, αυξημένους κινδύνους λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων και την ανάγκη για αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Οι ναυτιλιακές εταιρείες προσαρμόζονται μέσω της χρήσης νέων τεχνολογιών, εναλλακτικών καυσίμων και βελτιωμένων πρακτικών διαχείρισης για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η διεθνής συνεργασία και οι στρατηγικές βιωσιμότητας είναι κρίσιμες για τον μετριασμό των επιπτώσεων και τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας του κλάδου στο μέλλον.

2.1.1. Επίδραση της ναυτιλίας στις εκπομπές CO₂ και άλλων ρύπων

Ως γνωστόν η ναυτιλία ευθύνεται περίπου για το 2-3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), σύμφωνα με εκτιμήσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) (DNV, 2025). Οι εκπομπές αυτές προκύπτουν από την καύση του συμβατικού καυσίμου, δηλαδή του πετρελαίου, στα πλοία. Ο μεγάλος όγκος καυσίμων που απαιτείται για τη λειτουργία των πλοίων, ιδίως των μεγάλων εμπορευματικών και επιβατηγών πλοίων, καθιστά τη ναυτιλία σημαντική πηγή εκπομπών CO₂ (Istrate et al., 2022) (Εικόνα 3) (DNV, 2025).



Εικόνα 3: Παρουσίαση παγκόσμιας κατανάλωσης καυσίμου ανά τομέα (DNV, 2025).

2.1.2. Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στη Ναυτιλία

Η κλιματική αλλαγή προκαλεί μεταβολές στα θαλάσσια οικοσυστήματα και τις κλιματικές συνθήκες, επηρεάζοντας τη ναυτιλία με διάφορους τρόπους (Lin et al., 2024):

- Αύξηση της στάθμης της θάλασσας: Η άνοδος της στάθμης των ωκεανών μπορεί να επηρεάσει τις λιμενικές υποδομές, αυξάνοντας το κόστος συντήρησης και προσαρμογής.
- Μεταβολές στα καιρικά φαινόμενα: Η αύξηση της συχνότητας και της έντασης ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι τυφώνες και οι καταιγίδες, δημιουργεί κινδύνους για την ασφάλεια των πλοίων και τη μεταφορά φορτίου.
- Αλλαγές στις θαλάσσιες διαδρομές: Η τήξη των πάγων στην Αρκτική ανοίγει νέες διαδρομές, όπως ο Βόρειος Θαλάσσιος Δρόμος. Παρόλο που αυτό μπορεί να μειώσει τον χρόνο ταξιδιού, εγείρει ανησυχίες για την περιβαλλοντική προστασία της περιοχής.

2.1.3. Προσαρμογή της Ναυτιλίας στις Απαιτήσεις Βιωσιμότητας

Η πίεση για μείωση των εκπομπών και συμμόρφωση με κανονισμούς, όπως ο FuelEU Maritime, οδηγεί στη λήψη μέτρων που περιλαμβάνουν:

- Υιοθέτηση καθαρότερων καυσίμων: Η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), βιοκαυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί βασική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών (Law et al., 2021).

- Ενεργειακή αποδοτικότητα: Η ενσωμάτωση τεχνολογιών, όπως τα αεροδυναμικά πρόσθετα και τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου.
- Ψηφιοποίηση: Η χρήση δεδομένων και τεχνητής νοημοσύνης για την πρόβλεψη και τον βέλτιστο σχεδιασμό δρομολογίων μειώνει τις εκπομπές και τα λειτουργικά κόστη (Agarwala et al., 2021).

2.1.4. Ηθικές και Οικονομικές Διαστάσεις

Η μετάβαση της ναυτιλίας προς πιο βιώσιμες πρακτικές δεν είναι μόνο τεχνολογικό και οικονομικό ζήτημα, αλλά και βαθιά ηθικό. Οι βασικές ηθικές διαστάσεις περιλαμβάνουν:

- Περιβαλλοντική Ευθύνη: Η ναυτιλία έχει την υποχρέωση να μειώσει το αποτύπωμά της, όχι μόνο για την προστασία του πλανήτη αλλά και για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας (Pirota et al., 2018). Η υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών, όπως η χρήση καθαρότερων καυσίμων και η μείωση των εκπομπών, αποτελεί ηθική υποχρέωση προς τις επόμενες γενιές (Law et al., 2021).
- Κοινωνική Δικαιοσύνη: Οι αλλαγές στις ναυτιλιακές πρακτικές επηρεάζουν ευρύτερα τις παράκτιες κοινότητες, τις τοπικές οικονομίες και τους εργαζομένους στον τομέα. Οι ανισότητες που δημιουργούνται από το υψηλό κόστος συμμόρφωσης επιβαρύνουν περισσότερο τις μικρότερες ναυτιλιακές εταιρείες, αναδεικνύοντας την ανάγκη για δίκαιη κατανομή των επιβαρύνσεων (EC, 2020).
- Διαχείριση Κοινών Πόρων: Η εκμετάλλευση νέων θαλάσσιων διαδρομών λόγω της τήξης των πάγων (όπως ο Βόρειος Θαλάσσιος Δρόμος) εγείρει ερωτήματα για τη διατήρηση των ευαίσθητων οικοσυστημάτων και τη διασφάλιση της πρόσβασης στους πόρους με τρόπο που να μην προκαλεί περιβαλλοντική υποβάθμιση (Lin et al., 2024).
- Διαφάνεια και Υπευθυνότητα: Οι ναυτιλιακές εταιρείες καλούνται να υιοθετήσουν διαφανείς πρακτικές σχετικά με τις εκπομπές τους, ανταποκρινόμενες τόσο στους κανονισμούς όσο και στις απαιτήσεις των ενδιαφερόμενων φορέων για ηθική διαχείριση (Rahim et al., 2019).

Ταυτόχρονα, η συμμόρφωση με τους κανονισμούς επιφέρει σημαντικές οικονομικές διαστάσεις (Bark και Viirmäe, 2016), όπως:

- Υψηλά Κόστη Επένδυσης: Η μετάβαση σε νέες τεχνολογίες και καύσιμα απαιτεί μεγάλα κεφάλαια, γεγονός που επηρεάζει ιδιαίτερα τις μικρότερες επιχειρήσεις (Farris et al., 2025).
- Ανταγωνιστικότητα: Οι ναυτιλιακές εταιρείες που επενδύουν πρώτες σε βιώσιμες λύσεις ενδέχεται να αποκτήσουν συγκριτικό πλεονέκτημα, καθώς οι πελάτες δίνουν πλέον μεγαλύτερη βαρύτητα στις περιβαλλοντικά υπεύθυνες υπηρεσίες (Consilium E.C., 2025).
- Κίνητρα και Υποστήριξη: Τα χρηματοδοτικά εργαλεία και οι επιδοτήσεις από κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμούς μπορούν να επιταχύνουν τη μετάβαση, εξισορροπώντας τα οικονομικά βάρη (Transport, 2024).

Συμπερασματικά, η ναυτιλία διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην κλιματική αλλαγή, τόσο ως αιτία όσο και ως θύμα των επιπτώσεών της. Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι πλέον επιτακτική, με τη βιομηχανία να καλείται να υιοθετήσει καινοτόμες και βιώσιμες λύσεις. Παράλληλα, οι προκλήσεις που ανακύπτουν απαιτούν συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, εταιρειών και διεθνών οργανισμών, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι για μια πιο πράσινη και ανθεκτική ναυτιλιακή βιομηχανία (Pirotta et al., 2018).

2.2. Νομοθετικό Πλαίσιο για τις Ναυτιλιακές Εκπομπές

Οι ναυτιλιακές εκπομπές ρυθμίζονται από διεθνείς και περιφερειακούς κανονισμούς που στοχεύουν στη μείωση του περιβαλλοντικού τους αντίκτυπου. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει θεσπίσει μέτρα, όπως το Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) και το Σύστημα Συλλογής Δεδομένων (DCS), ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εντάξει τη ναυτιλία στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU ETS). Ο Κανονισμός FuelEU Maritime αποτελεί μια νέα πρωτοβουλία της ΕΕ, η οποία εισάγει αυστηρότερα όρια εκπομπών και διαφοροποιείται από άλλες ρυθμίσεις, επιδιώκοντας μεγαλύτερη συμμόρφωση και χρήση εναλλακτικών καυσίμων.

2.2.1. Κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO)

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αποτελεί τον κύριο διεθνή φορέα που θέτει κανονισμούς και πρότυπα για την ασφάλεια, την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα στη ναυτιλία. Ένας από τους σημαντικότερους κανονισμούς του είναι το Πρωτόκολλο MARPOL Annex VI, το οποίο υιοθετήθηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2005, με στόχο τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Το πρωτόκολλο αυτό

περιλαμβάνει συγκεκριμένα όρια για τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και άλλων ρυπογόνων ουσιών, ενώ εισάγει και Ζώνες Ελέγχου Εκπομπών (Emission Control Areas - ECAs), όπου ισχύουν αυστηρότεροι κανόνες. Μέσω αυτών των κανονισμών, ο IMO διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της ναυτιλίας και στην επίτευξη των παγκόσμιων στόχων για τη βιώσιμη ανάπτυξη (IMO, 2024).

Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ των κύριων μέτρων που περιλαμβάνει το Annex VI είναι τα εξής:

1. Περιορισμοί στις εκπομπές θείου (SO_x): Από το 2020, το επιτρεπτό όριο θείου στα καύσιμα μειώθηκε από 3,5% σε 0,5%, εκτός των ελεγχόμενων περιοχών εκπομπών (Emission Control Areas, ECAs), όπου το όριο είναι μόλις 0,1% (IMO, 2024).
2. Απαγόρευση Σκόπιμων Εκπομπών: Περιορισμός στις σκόπιμες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, όπως οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (halons) και οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs). Οι νέες εγκαταστάσεις που περιέχουν ουσίες καταστροφικές για το όζον απαγορεύονται σε όλα τα πλοία. Ωστόσο, οι νέες εγκαταστάσεις που περιέχουν υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) επιτρέπονταν μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2020 (IMO, 2024).
3. Περιορισμοί στις εκπομπές αζώτου (NO_x): Όρια στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) από κινητήρες ντίζελ αναλογα το μέγεθος ως εξής:
 - Στάδιο I (Tier I): Για κινητήρες κατασκευασμένους πριν το 2011, όριο 17,0 g/kWh.
 - Στάδιο II (Tier II): Για κινητήρες μετά το 2011, όριο 14,4 g/kWh.
 - Στάδιο III (Tier III): Για περιοχές Ειδικών Ζωνών Εκπομπών (ECA), όριο 3,4 g/kWh. (IMO, 2024).
4. Απαγόρευση Καύσης Προϊόντων Εν Πλω: Παράρτημα απαγορεύει επίσης την αποτέφρωση συγκεκριμένων προϊόντων εν πλω, όπως υλικά συσκευασίας που έχουν μολυνθεί και πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) (IMO, 2024).

Το Παράρτημα VI της Διεθνούς Σύμβασης MARPOL περιλαμβάνει επίσης και τις απαιτήσεις για την Ενεργειακή Απόδοση Πλοίων (EEDI και SEEMP). Πιο ειδικά,

5. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδίασης (EEDI): Ο EEDI είναι ένα υποχρεωτικό μέτρο που επιβάλλει ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για τα νέα πλοία. Ο στόχος είναι να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ ανά μονάδα μεταφορικής ικανότητας (π.χ., ανά τόνο-ναυτικό μίλι). Ο EEDI εξασφαλίζει ότι τα νεότερα πλοία που ναυπηγούνται

είναι σχεδιασμένα με τεχνολογίες που προάγουν την αποδοτική κατανάλωση καυσίμου (IMO, 2025β).

6. Σχέδιο Ενεργειακής Διαχείρισης Πλοίων (SEEMP): Το SEEMP εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία και είναι ένα εργαλείο διαχείρισης που ενθαρρύνει τη λήψη μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στη λειτουργία τους. Περιλαμβάνει προτάσεις για τη βελτιστοποίηση δρομολογίων, τη μείωση της ταχύτητας πλεύσης (slow steaming) και τη χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας (IMO, 2025α).

Δύο ακόμη βασικοί κανονισμοί του IMO, είναι ο EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) και ο CII (Carbon Intensity Indicator):

1. EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index): Πρόκειται για έναν δείκτη που αξιολογεί την ενεργειακή απόδοση των υπάρχοντων πλοίων, με σκοπό να ενθαρρύνει τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών CO₂. Ο κανονισμός αυτός απαιτεί από τα πλοία να πληρούν έναν ελάχιστο δείκτη αποδοτικότητας, ανάλογα με το μέγεθος, τον τύπο και την ηλικία τους.
2. CII (Carbon Intensity Indicator): Ο CII αφορά τον υπολογισμό της έντασης εκπομπών CO₂ ανά μονάδα μεταφερόμενου φορτίου και απόστασης (g CO₂/ton-mile). Στόχος του είναι να μειώσει την ανθρωπογενή εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στον ναυτιλιακό τομέα, προωθώντας τις τεχνολογίες και τις πρακτικές που μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων (IMO, 2025γ).

2.2.2. Στρατηγική του IMO για τη Μείωση των Εκπομπών

Το 2018, ο IMO υιοθέτησε τη στρατηγική του για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. Οι βασικοί στόχοι της περιλαμβάνουν:

- Μείωση της έντασης των εκπομπών CO₂ κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030 και 70% έως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2008.
- Συνολική μείωση των εκπομπών GHG κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050.

Ωστόσο, η πρόοδος του IMO έχει επικριθεί από ορισμένες χώρες και περιβαλλοντικές οργανώσεις, οι οποίες θεωρούν ότι τα μέτρα δεν είναι αρκετά φιλόδοξα (Joung et al., 2020; DNV, 2025).

2.2.3. Συστήματα Εμπορίας Εκπομπών: Το Παράδειγμα του EU ETS στη Ναυτιλία

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) έχει υιοθετήσει ένα φιλόδοξο πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών από όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ναυτιλίας, μέσω του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU Emissions Trading System, EU ETS) (E.C., 2025).

Το EU ETS (Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών), λειτουργεί από το 2005, και είναι το μεγαλύτερο σύστημα εμπορίας εκπομπών παγκοσμίως. Από το 2024, η ναυτιλία έχει συμπεριληφθεί στο EU ETS. Βασικά χαρακτηριστικά της ένταξης περιλαμβάνουν:

- **Κάλυψη Εκπομπών:** Αφορά το 100% των εκπομπών CO₂ που προκύπτουν από ταξίδια εντός της Ε.Ε., και το 50% των εκπομπών από διεθνή ταξίδια προς και από την Ε.Ε.
- **Υποχρεώσεις Συμμετοχής:** Οι ναυτιλιακές εταιρείες πρέπει να αγοράζουν δικαιώματα εκπομπών (allowances) για τις εκπομπές τους.

Το EU ETS παρέχει οικονομικά κίνητρα για τη μείωση των εκπομπών, αλλά μπορεί να αυξήσει το κόστος λειτουργίας για τις ναυτιλιακές εταιρείες, επηρεάζοντας ιδιαίτερα μικρότερους παίκτες της αγοράς (E.C., 2025).

Το EU ETS προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για την προώθηση της βιωσιμότητας και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος είναι η παροχή χρηματοδοτικών κινήτρων για την υιοθέτηση «πράσινων» τεχνολογιών και βιώσιμων πρακτικών.

Παρά τις προκλήσεις, το EU ETS παραμένει ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ΕΕ, και η συνεχής βελτίωση της εφαρμογής του μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών (E.C., 2025).

2.3. FuelEU Maritime: Βασικά Χαρακτηριστικά και Στόχοι

Το FuelEU Maritime αποτελεί έναν κανονισμό-σταθμό για τη ναυτιλία, σχεδιασμένο να προωθήσει τη μετάβαση σε πιο καθαρές ενεργειακές πρακτικές. Μέσα από στοχευμένα μέτρα και καινοτόμες προσεγγίσεις, ενισχύει τη βιωσιμότητα του κλάδου και ευθυγραμμίζεται με τις στρατηγικές της Ε.Ε. για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ακολουθεί η ανάλυση του κανονισμού ως προς τον Ορισμό του και τις Βασικές Παραμέτρους του καθώς και Χρονοδιάγραμμα Εφαρμογής και τις Επιδιώξεις από την εφαρμογή του.

2.3.1. Ορισμός και Βασικές Παράμετροι του Κανονισμού

Ο FuelEU Maritime αποτελεί μία από τις κύριες πρωτοβουλίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) για την προώθηση της απανθρακοποίησης του ναυτιλιακού τομέα, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Εντάσσεται στο πλαίσιο της ευρύτερης στρατηγικής "European Green Deal" και της δέσμευσης της Ε.Ε. να επιτύχει την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 (Consilium, 2025).

Ο κανονισμός επικεντρώνεται στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλής ή μηδενικής έντασης άνθρακα από τα πλοία, καθιστώντας την ναυτιλία πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον (Meijer, 2024; Refindustry, 2024).

Οι κύριοι Άξονες του Κανονισμού FuelEU Maritime είναι οι εξής:

- Εισαγωγή Υποχρεωτικών Στόχων Μείωσης Εκπομπών Ανά Μονάδα Ενέργειας: Ο κανονισμός απαιτεί τη σταδιακή μείωση της έντασης άνθρακα των καυσίμων που χρησιμοποιούν τα πλοία, με στόχους που γίνονται ολοένα πιο φιλόδοξοι έως το 2050 (Consilium, 2025).
- Προώθηση Εναλλακτικών Καυσίμων: Ο FuelEU Maritime ενθαρρύνει τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως το υδρογόνο, η αμμωνία, τα συνθετικά καύσιμα, καθώς και τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρά για την παροχή ενέργειας στα πλοία κατά την παραμονή τους σε λιμένες (shore-side electricity) (Meijer, 2024; Refindustry, 2024).
- Εφαρμογή Ποινών για Μη Συμμόρφωση: Οι ναυτιλιακές εταιρείες που δεν πληρούν τις απαιτήσεις του κανονισμού επιβαρύνονται με οικονομικές ποινές. Τα έσοδα από αυτές τις ποινές επενδύονται σε έργα πράσινης τεχνολογίας για τη ναυτιλία (Olaniyi et al., 2024; Normecverifavia, 2025).
- Εναρμόνιση με Άλλα Ρυθμιστικά Πλαίσια: Ο FuelEU Maritime λειτουργεί συμπληρωματικά με το EU Emissions Trading System (EU ETS) (E.C., 2025) και άλλες πρωτοβουλίες της Ε.Ε., όπως ο κανονισμός για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων (Alternative Fuels Infrastructure Regulation, AFIR) (Transport, 2025a).

Οι Βασικές Παράμετροι του Κανονισμού είναι οι εξής (Consilium, 2025):

- Κάλυψη Πλοίων: Ο κανονισμός ισχύει για όλα τα πλοία άνω των 5.000 gross tonnage (GT) που πραγματοποιούν ταξίδια εντός της Ε.Ε. ή εκτελούν διεθνή ταξίδια προς και από λιμένες της Ε.Ε. Εξαιρούνται τα πλοία που ασχολούνται με αλιεία και στρατιωτικές επιχειρήσεις.

- Αξιολόγηση Έντασης Άνθρακα: Ο κανονισμός βασίζεται στον υπολογισμό της έντασης άνθρακα (carbon intensity) των καυσίμων που χρησιμοποιούνται, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής του καυσίμου (well-to-wake approach).
- Σταδιακή Εφαρμογή Μειώσεων: Ο κανονισμός απαιτεί μείωση της έντασης άνθρακα κατά 2% έως το 2025, με την τιμή να αυξάνεται προοδευτικά στο 6% έως το 2030, στο 13% έως το 2040, και να φτάνει στο 75% έως το 2050.
- Παρακολούθηση και Αναφορά: Οι ναυτιλιακές εταιρείες υποχρεούνται να υποβάλλουν ετήσιες εκθέσεις σχετικά με την ένταση άνθρακα των καυσίμων που χρησιμοποιούν, σύμφωνα με το σύστημα παρακολούθησης, υποβολής εκθέσεων και επαλήθευσης (MRV) της Ε.Ε.

2.3.2. Επιβολή και Είσπραξη Ποινών στον Κανονισμό FuelEU Maritime: Θεσμικό Πλαίσιο και Εφαρμογή

Ο Κανονισμός FuelEU Maritime αποτελεί βασικό μέρος του νομοθετικού πακέτου "Fit for 55" της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στοχεύοντας στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον ναυτιλιακό τομέα (Consilium E.U., 2025). Η πλήρης εφαρμογή του κανονισμού ξεκίνησε την 1η Ιανουαρίου 2025, ενώ προβλέπει συγκεκριμένους μηχανισμούς επιβολής κυρώσεων και είσπραξης προστίμων για περιπτώσεις μη συμμόρφωσης (Transport, 2025β).

2.3.2.1. Επιβολή Κυρώσεων και Ποινών

Η επιβολή των ποινών για μη συμμόρφωση με τον Κανονισμό FuelEU Maritime εμπίπτει στην αρμοδιότητα τόσο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής όσο και των εθνικών αρχών των κρατών-μελών.

Ο κανονισμός καθορίζει ότι:

- **Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή** επιβλέπει την εφαρμογή του κανονισμού σε κεντρικό επίπεδο και δύναται να επιβάλει κυρώσεις σε εταιρείες που δεν συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις.
- **Οι εθνικές αρχές των κρατών-μελών** είναι υπεύθυνες για την επιβολή ποινών στις ναυτιλιακές εταιρείες που φέρουν τη σημαία τους ή δραστηριοποιούνται στα λιμάνια τους.

Οι ναυτιλιακές εταιρείες υποχρεούνται να υποβάλουν σχέδια παρακολούθησης για κάθε πλοίο έως τις 31 Αυγούστου 2024, περιγράφοντας λεπτομερώς τις διαδικασίες καταγραφής και αναφοράς εκπομπών. Σε περιπτώσεις μη συμμόρφωσης, επιβάλλονται πρόστιμα βάσει της

σοβαρότητας της παράβασης και του βαθμού υπέρβασης των ορίων εκπομπών (Transport, 2025β).

2.3.2.2. Μηχανισμοί Είσπραξης Προστίμων και Διάθεση Εσόδων

Τα πρόστιμα που επιβάλλονται στις ναυτιλιακές εταιρείες συλλέγονται από τις αρμόδιες αρχές των κρατών-μελών. Η κατανομή των εσόδων ακολουθεί συγκεκριμένο πλαίσιο, το οποίο περιλαμβάνει:

- **Διάθεση των εσόδων στα δημόσια ταμεία των κρατών-μελών** για τη στήριξη περιβαλλοντικών πολιτικών στον ναυτιλιακό τομέα.
- **Ενίσχυση του Ευρωπαϊκού Ταμείου για τη Ναυτιλιακή Πράσινη Μετάβαση**, το οποίο χρηματοδοτεί την έρευνα και ανάπτυξη καθαρών ναυτιλιακών τεχνολογιών.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τα κράτη-μέλη καθορίζουν από κοινού τις λεπτομέρειες διαχείρισης των εσόδων από τις κυρώσεις, διασφαλίζοντας ότι συμβάλλουν άμεσα στην επίτευξη των στόχων βιώσιμης ναυτιλίας της Ε.Ε. (Transport, 2025β).

Γενικότερα, ο Κανονισμός FuelEU Maritime συνδέεται στενά με άλλες πρωτοβουλίες της Ε.Ε., όπως το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (EU ETS) και η Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RED III). Μέσω των μηχανισμών επιβολής κυρώσεων και διαχείρισης των προστίμων, ενισχύεται η μετάβαση προς μια κλιματικά ουδέτερη ναυτιλία έως το 2050, ευθυγραμμισμένη με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (Consilium E.U., 2025).

2.3.3. Χρονοδιάγραμμα Εφαρμογής και Επιδιώξεις

Ο FuelEU Maritime θα εφαρμοστεί σταδιακά, ώστε να δοθεί επαρκής χρόνος προσαρμογής στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. **1η Ιανουαρίου 2025:** Εφαρμογή των πρώτων υποχρεωτικών στόχων μείωσης της έντασης άνθρακα κατά 2%. Οι ναυτιλιακές εταιρείες καλούνται να προσαρμόσουν τις δραστηριότητές τους, υιοθετώντας εναλλακτικά καύσιμα ή βελτιωμένες τεχνολογίες καύσης.
2. **2030:** Επιδιώκεται η μείωση των εκπομπών κατά 6%. Παράλληλα, προωθείται η εγκατάσταση υποδομών για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρά στα μεγάλα λιμάνια της Ε.Ε.
3. **2035:** Στόχος η μείωση των εκπομπών κατά 14.5%
4. **2040:** Ενδιάμεσος στόχος μείωσης της έντασης άνθρακα κατά 31%. Η χρήση πράσινων καυσίμων αναμένεται να έχει ενσωματωθεί ευρέως στη ναυτιλιακή βιομηχανία.

5. **2045:** Επίτευξη μείωσης των εκπομπών 62%
6. **2050:** Ο τελικός στόχος είναι η μείωση της έντασης άνθρακα κατά 80%, συνεισφέροντας αποφασιστικά στη μετάβαση προς την κλιματική ουδετερότητα (Clydeco, 2025).

Ο κανονισμός FuelEU Maritime επιδιώκει ή αλλιώς στοχεύει, σε πολλαπλά επίπεδα, αντανακλώντας την πολυπλοκότητα και τις απαιτήσεις του ναυτιλιακού τομέα (Consilium E.C., 2025):

- Μείωση Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος: Η πρωταρχική επιδίωξη είναι η δραστική μείωση των εκπομπών GHG, ώστε να περιοριστεί η συμβολή της ναυτιλίας στην κλιματική αλλαγή.
- Ενίσχυση Πράσινων Καινοτομιών: Με την επιβολή αυστηρών απαιτήσεων, ο κανονισμός δημιουργεί κίνητρα για την ανάπτυξη και υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών, όπως κινητήρες με καύση υδρογόνου ή συστήματα ενεργειακής απόδοσης.
- Δημιουργία Ενιαίας Αγοράς Καυσίμων Χαμηλού Άνθρακα: Ο FuelEU Maritime στοχεύει στη δημιουργία μιας σταθερής ζήτησης για καύσιμα χαμηλού ή μηδενικού άνθρακα, ενισχύοντας τη μαζική παραγωγή και μειώνοντας το κόστος τους.
- Βελτίωση της Ανταγωνιστικότητας της Ε.Ε.: Ο κανονισμός ενισχύει την ηγετική θέση της Ε.Ε. στη βιώσιμη ναυτιλία, καθιστώντας την πρότυπο για άλλες περιοχές του κόσμου.
- Συμπλήρωση των Κανονισμών του IMO: Παρότι ο IMO εφαρμόζει διεθνή πρότυπα, ο FuelEU Maritime επιδιώκει να θέσει αυστηρότερους κανόνες, καλύπτοντας τις ελλείψεις των διεθνών κανονισμών.

2.3.3.1. Προκλήσεις και Ευκαιρίες από την Εφαρμογή του Κανονισμού

Η εφαρμογή του FuelEU Maritime συνεπάγεται από προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες (Consilium E.C., 2025) :

Προκλήσεις:

- Υψηλό κόστος μετάβασης σε καύσιμα χαμηλού άνθρακα.
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα πράσινων καυσίμων στην αγορά.
- Τεχνικές δυσκολίες στην ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών.

Ευκαιρίες:

- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε τομείς πράσινης ενέργειας και τεχνολογίας.
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, που οδηγεί σε μείωση των λειτουργικών εξόδων μακροπρόθεσμα.
- Ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ κρατών-μελών της Ε.Ε. για την ανάπτυξη πράσινων υποδομών.

Με βάση τα παραπάνω, ο κανονισμός FuelEU Maritime αποτελεί μια φιλόδοξη και κρίσιμη πρωτοβουλία για την επίτευξη των κλιματικών στόχων της Ε.Ε. Ενσωματώνοντας τη βιωσιμότητα στον ναυτιλιακό τομέα, συμβάλλει καθοριστικά στη μετάβαση προς μια πράσινη οικονομία.

2.3.3.2. Σύγκριση του FuelEU Maritime με Άλλες Ρυθμιστικές Πρωτοβουλίες

Ως γνωστόν, ο FuelEU Maritime έχει τεθεί σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2025, και αποτελεί μία από τις πιο ολοκληρωμένες πρωτοβουλίες της Ε.Ε. για τη ναυτιλία. Επιδιώκει τη μείωση των εκπομπών CO₂ μέσω της εισαγωγής απαιτήσεων για την ένταση άνθρακα στα καύσιμα και της προώθησης εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών (Refindustry, 2024).

Οι διαφορές του από άλλους κανονισμούς βασίζονται:

1. **Στην Εστίαση της Χρήσης Καυσίμων:** Ενώ το EU ETS αφορά τη συνολική ποσότητα εκπομπών, ο FuelEU Maritime επικεντρώνεται στη μείωση της έντασης άνθρακα (carbon intensity) των καυσίμων.
2. **Στην Συμπληρωματικότητα:** Ο FuelEU Maritime λειτουργεί συμπληρωματικά με άλλους κανονισμούς, όπως ο EU ETS και ο IMO EEDI, ενισχύοντας τη συμμόρφωση με φιλόδοξους στόχους.
3. **Στην Περιβαλλοντική Αυστηρότητα:** Σε αντίθεση με τους κανονισμούς του IMO, που εφαρμόζονται παγκοσμίως, ο FuelEU Maritime επιβάλλει αυστηρότερους κανόνες εντός της Ε.Ε. (Refindustry, 2024).

Συνολικά, ο FuelEU Maritime αποτελεί έναν φιλόδοξο και πρωτοποριακό κανονισμό που ενισχύει τη βιώσιμη ναυτιλία, συνδυάζοντας την περιβαλλοντική αυστηρότητα με τη συμπληρωματικότητα άλλων ευρωπαϊκών και διεθνών κανονισμών, συμβάλλοντας έτσι καθοριστικά στην επίτευξη των στόχων για την κλιματική ουδετερότητα.

2.4. Χαρακτηριστικά Εναλλακτικών Μεθόδων Συμμόρφωσης

Οι εναλλακτικές μέθοδοι συμμόρφωσης με τους κανονισμούς βιωσιμότητας περιλαμβάνουν τεχνολογικές λύσεις, αλλαγές στα καύσιμα και διοικητικές προσαρμογές.

1. Εναλλακτικά Καύσιμα

- **Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG):** Σύμφωνα με την Lindstad., (2018), το LNG μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 20-25% σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα. Ωστόσο, παραμένουν ζητήματα σχετικά με τις εκπομπές μεθανίου.
- **Υδρογόνο και Αμμωνία:** Πρόσφατες μελέτες (Celik et al., 2021) δείχνουν ότι τα καύσιμα αυτά έχουν μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Εντούτοις, η παραγωγή τους απαιτεί σημαντική ενεργειακή επένδυση.
- **Βιοκαύσιμα:** Τα βιοκαύσιμα θεωρούνται βιώσιμη επιλογή, αν και η ευρεία χρήση τους εξαρτάται από την αιεφόρο παραγωγή πρώτων υλών (DNV, 2025).

2. Τεχνολογικές Εφαρμογές

- **Scrubbers:** Οι καθαριστές καυσαερίων μειώνουν τις εκπομπές SO₂, αν και υπάρχουν ανησυχίες για την περιβαλλοντική ρύπανση από τα υποπροϊόντα.
- **Πρόωση με Αιολική Ενέργεια:** Συστήματα όπως τα Flettner rotors έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.
- **Shore-Side Electricity:** Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ξηρά μειώνει τις εκπομπές σε λιμάνια.

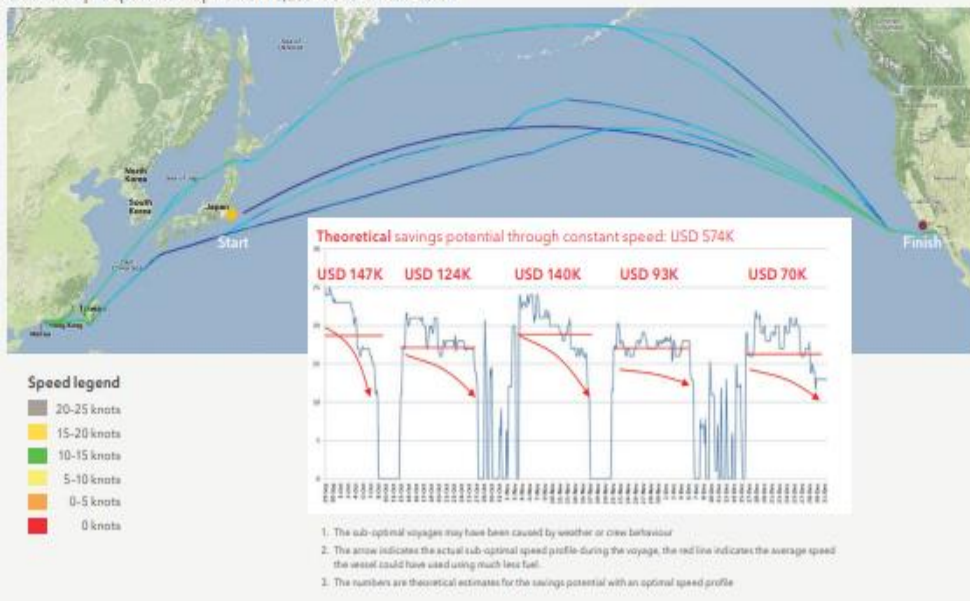
3. Διαχειριστικές Προσεγγίσεις

- **Βελτιστοποίηση Δρομολογίων:** Η χρήση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου έχει αποδειχθεί αποτελεσματική.
- **Μείωση Ταχύτητας Πλοίων (Slow Steaming):** Μειώνει την κατανάλωση καυσίμου, αν και επιδρά στην αποτελεσματικότητα των εμπορευματικών μεταφορών (Εικόνα 4) (DNV, 2025).



Irregular speed patterns resulted in USD 0.5m higher fuel bill for one vessel over a three-month period

Client example: Speed development of a 8,500 TEU container vessel



Εικόνα 4: Επιπτώσεις των Προτύπων Ταχύτητας στην Κατανάλωση Καυσίμου και το Κόστος στη Ναυτιλία (DNV, 2025).

Η εικόνα 4 παρουσιάζει τις επιπτώσεις των μεταβαλλόμενων ταχυτήτων στην κατανάλωση καυσίμου και το οικονομικό κόστος στη ναυτιλία. Δείχνει πως η πρακτική του "σπεύδω-και-αναμένω" οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και επιπλέον έξοδα, ενώ η διατήρηση σταθερής και βέλτιστης ταχύτητας μπορεί να αποφέρει σημαντική εξοικονόμηση. Αυτή η ανάλυση συνδέεται άμεσα με τον Κανονισμό FuelEU Maritime, που αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών ρύπων και την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στη ναυτιλία (DNV, 2025).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ FUELEU MARITIME

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθεί η μεθοδολογία υπολογισμού των προστίμων που επιβάλλονται σύμφωνα με τον κανονισμό FuelEU Maritime καθώς και τους μηχανισμούς συμμόρφωσης που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στον ναυτιλιακό τομέα. Εξετάζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό των προστίμων, οι διαδικασίες παρακολούθησης εκπομπών, και τα τεχνολογικά και οικονομικά εργαλεία που διατίθενται για τη συμμόρφωση με τον κανονισμό.

3.1. Ορισμός και στόχοι του μηχανισμού προστίμων

Ο κανονισμός FuelEU Maritime εισάγει αυστηρές απαιτήσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία που δραστηριοποιούνται εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα πρόστιμα επιβάλλονται όταν οι πλοιοκτήτες ή οι διαχειριστές πλοίων αποτυγχάνουν να συμμορφωθούν με τους καθορισμένους στόχους (Ενότητα 2.3.) εκπομπών CO₂. Η εισαγωγή του μηχανισμού προστίμων αποσκοπεί στην επίτευξη συγκεκριμένων περιβαλλοντικών, τεχνολογικών και οικονομικών στόχων, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

Τα πρόστιμα λειτουργούν ως οικονομικό κίνητρο για την υιοθέτηση φιλικότερων προς το περιβάλλον τεχνολογιών. Ειδικότερα, οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές πλοίων ενθαρρύνονται να επενδύσουν σε τεχνολογίες που μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων (Maritime Cyprus, 2024), όπως:

- Ενεργειακά αποδοτικά συστήματα προώθησης
- Τεχνολογίες ανάκτησης ενέργειας
- Συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (scrubbers)

Παράλληλα, η υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων, όπως LNG, βιοκαύσιμα, αμμωνία ή υδρογόνο, γίνεται πιο ελκυστική, καθώς μειώνει σημαντικά την πιθανότητα επιβολής προστίμων. Οι επενδύσεις αυτές δεν περιορίζονται μόνο στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, αλλά δημιουργούν και μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη, μειώνοντας τη συνολική κατανάλωση καυσίμων και εξασφαλίζοντας πρόσβαση σε περισσότερα λιμάνια που απαιτούν συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς (Christodoulou et al., 2023).

3.1.1. Μηχανισμός επιβολής προστίμων

Τα πρόστιμα επιβάλλονται όταν οι πλοιοκτήτες ή οι διαχειριστές πλοίων δεν συμμορφώνονται με τους καθορισμένους στόχους εκπομπών CO₂. Ο μηχανισμός επιβολής περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια:

1. **Παρακολούθηση εκπομπών μέσω του συστήματος MRV (Monitoring, Reporting, Verification)** (Maritime Cyprus, 2024):
 - Καταγραφή και επαλήθευση των ετήσιων εκπομπών από ανεξάρτητους φορείς
 - Συγκριτική αξιολόγηση των εκπομπών σε σχέση με τα θεσπισμένα όρια
2. **Επιβολή κυρώσεων** (Council of the European Union, 2021; Christodoulou, 2024):
 - Πρόστιμα ανά τόνο υπερβάλλουσας εκπομπής CO₂
 - Δυνατότητα αποκλεισμού των πλοίων από λιμάνια της Ε.Ε. σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων παραβάσεων
3. **Κλιμάκωση προστίμων:**
 - Η κλιμάκωση γίνεται ανάλογα με τον βαθμό και τη διάρκεια της μη συμμόρφωσης (Council of the European Union, 2021).

3.1.2. Οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις

Ο μηχανισμός επιβολής προστίμων μπορεί να επιφέρει τόσο άμεσα όσο και έμμεσα αποτελέσματα στον ναυτιλιακό κλάδο, επηρεάζοντας τη στρατηγική και τη λειτουργία των ναυτιλιακών εταιρειών (Hollander, 2024):

- **Άμεσο οικονομικό κόστος:** Τα πρόστιμα που επιβάλλονται στους παραβάτες των περιβαλλοντικών κανονισμών αυξάνουν σημαντικά τα λειτουργικά τους έξοδα, δημιουργώντας οικονομική επιβάρυνση που μπορεί να επηρεάσει την κερδοφορία τους.
- **Στρατηγικές προσαρμογές:** Η ανάγκη αποφυγής των προστίμων ωθεί τους πλοιοκτήτες να επανεξετάσουν τις επενδυτικές τους επιλογές, οδηγώντας τους στη διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων, όπως η υιοθέτηση πιο καθαρών καυσίμων ή η εφαρμογή τεχνολογιών μείωσης εκπομπών, με στόχο τη μακροπρόθεσμη μείωση του κόστους.
- **Συμβολή στη διαφάνεια:** Η απαίτηση αναφοράς των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ενισχύει τη διαφάνεια στον ναυτιλιακό τομέα, διευκολύνοντας την

εφαρμογή πολιτικών βιωσιμότητας και επιτρέποντας στις αρχές να παρακολουθούν την περιβαλλοντική απόδοση των ναυτιλιακών εταιρειών με μεγαλύτερη ακρίβεια.

- **Περιορισμοί στη λειτουργία:** Πλοία που δεν συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του κανονισμού ενδέχεται να αντιμετωπίσουν αυστηρούς περιορισμούς, όπως η απαγόρευση εισόδου στα λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Δεδομένου ότι τα ευρωπαϊκά λιμάνια αποτελούν βασικά εμπορικά κέντρα παγκόσμιας σημασίας, η επιβολή τέτοιων κυρώσεων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την επιχειρηματική δραστηριότητα των πλοιοκτητών, περιορίζοντας τις εμπορικές τους ευκαιρίες.
- **Απώλεια φήμης:** Η μη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς μπορεί να πλήξει σοβαρά τη φήμη μιας ναυτιλιακής εταιρείας, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει σε μείωση της εμπιστοσύνης των συνεργατών και των πελατών της, καθώς και σε απώλεια πολύτιμων εμπορικών συμφωνιών.

Συνολικά, ο μηχανισμός προστίμων που προβλέπεται από τον κανονισμό FuelEU Maritime λειτουργεί ως ένας ισχυρός σύνδεσμος μεταξύ της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας και της οικονομικής επιβάρυνσης, προσφέροντας ουσιαστικά κίνητρα στις ναυτιλιακές εταιρείες ώστε να υιοθετήσουν βιώσιμες πρακτικές και να επιταχύνουν τη μετάβασή τους προς ένα πιο πράσινο και υπεύθυνο ναυτιλιακό μέλλον.

3.2. Παράγοντες υπολογισμού προστίμων

Η εφαρμογή του μηχανισμού επιβολής προστίμων στο πλαίσιο του κανονισμού FuelEU Maritime βασίζεται σε ένα σύνολο παραμέτρων που διασφαλίζουν τη δίκαιη και αποτελεσματική λειτουργία του. Παρακάτω παρουσιάζεται μια πλήρης ανάλυση των κύριων παραμέτρων που επηρεάζουν τον υπολογισμό των προστίμων (Consilium E.C., 2025):

1. Ετήσιες εκπομπές CO₂:

- Οι εκπομπές υπολογίζονται με τη χρήση του συστήματος **MRV** (Monitoring, Reporting, and Verification), το οποίο απαιτεί την καταγραφή και αναφορά δεδομένων για τα καύσιμα που καταναλώνονται από κάθε πλοίο.
- Τα δεδομένα εκπομπών βασίζονται σε παραμέτρους όπως:
 - Ο τύπος του καυσίμου (π.χ. πετρέλαιο, LNG, υδρογόνο).
 - Η απόσταση που διανύθηκε.
 - Η ταχύτητα και η κατανάλωση καυσίμου του πλοίου.

2. Περιθώριο υπέρβασης εκπομπών:

- Τα πρόστιμα υπολογίζονται βάσει της διαφοράς μεταξύ των πραγματικών εκπομπών CO₂ και του επιτρεπτού ορίου.
- Για κάθε τόνο CO₂ που υπερβαίνει το όριο, επιβάλλεται συγκεκριμένο χρηματικό ποσό (π.χ. €100 ανά τόνο).

3. Κατηγορία και μέγεθος πλοίου:

- Οι απαιτήσεις εκπομπών διαφοροποιούνται ανάλογα με την κατηγορία του πλοίου (π.χ. επιβατηγά, φορτηγά, δεξαμενόπλοια).
- Τα μεγαλύτερα πλοία υπόκεινται σε αυστηρότερους περιορισμούς λόγω της υψηλότερης κατανάλωσης καυσίμων.

4. Επιπτώσεις μη συμμόρφωσης: Η μη συμμόρφωση μπορεί να οδηγήσει σε κυρώσεις όπως:

- Πρόστιμα που κλιμακώνονται βάσει της σοβαρότητας της παραβίασης.
- Εμπόδια στη λειτουργία πλοίων στα λιμάνια της Ε.Ε.

5. Επαλήθευση δεδομένων: Τα δεδομένα που υποβάλλονται ελέγχονται από ανεξάρτητους φορείς για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις.

Επομένως, ο υπολογισμός των προστίμων στο πλαίσιο του κανονισμού FuelEU Maritime αποτελεί έναν πολυδιάστατο μηχανισμό που λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως οι ετήσιες εκπομπές CO₂, το περιθώριο υπέρβασης, το μέγεθος και η κατηγορία του πλοίου. Αυτή η δομή διασφαλίζει τη δίκαιη και αποδοτική επιβολή κυρώσεων, ενισχύοντας τη συμμόρφωση του ναυτιλιακού τομέα με τους περιβαλλοντικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

3.3. Μελέτη Περίπτωσης

Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού προστίμων με φανταστικό σενάριο και εξεύρεση λύσεων συμμόρφωσης. Περιγραφή Πλοίου και Χαρακτηριστικών: Το υπό εξέταση πλοίο είναι φορτηγό μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με χωρητικότητα 20.000 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit). Το πλοίο χρησιμοποιεί zero 5 ως κύριο καύσιμο και δραστηριοποιείται εντός και εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, με ετήσια κατανάλωση καυσίμου περίπου 10.000 τόνους. Η ετήσια παραγωγή CO₂ υπολογίζεται σε 30.000 τόνους, με το επιτρεπτό όριο βάσει του κανονισμού FuelEU Maritime να είναι 25.000 τόνοι.

Απλό πρόστιμο CO₂ (100 €/τόνο) (ECA, 2025):

Υπολογισμός Υπέρβασης Εκπομπών CO₂

Τύπος: Υπέρβαση εκπομπών=Πραγματικές εκπομπές – Επιτρεπτές εκπομπές

Ανάλυση:

- Πραγματικές εκπομπές: 30.000 τόνοι CO₂ (εκπομπές του πλοίου)
- Επιτρεπτές εκπομπές: 25.000 τόνοι CO₂ (μέγιστο όριο εκπομπών)
- Υπολογισμός: 30.000–25.000=5.000 τόνοι CO₂

Υπολογισμός Προστίμου

Τύπος: Πρόστιμο = Υπέρβαση εκπομπών × Κόστος ανά τόνο

Ανάλυση:

- Υπέρβαση εκπομπών: 5.000 τόνοι CO₂ (από την προηγούμενη πράξη)
- Κόστος ανά τόνο: €100 (κόστος προστίμου για κάθε τόνο CO₂)
- Υπολογισμός: 5.000×100=500.000 ευρώ

Υπολογισμός Νέων Εκπομπών με Χρήση άλλου τύπου καυσίμου π.χ. LNG

Τύπος: Νέες εκπομπές = Πραγματικές εκπομπές × (1–Μείωση εκπομπών από LNG)

Ανάλυση:

- Πραγματικές εκπομπές: 30.000 τόνοι CO₂ (εκπομπές του πλοίου)
- Μείωση εκπομπών από LNG: 25% (μεγαλύτερη δυνατή μείωση)
- Υπολογισμός: 30.000×(1–0.25)=30.000×0.75=22.500 τόνοι CO₂

Αποφυγή Προστίμου με Χρήση LNG

Τύπος: Αποφυγή προστίμου = Πρόστιμο χωρίς LNG

Ανάλυση:

- Πρόστιμο χωρίς LNG: €500.000 (υπολογίστηκε παραπάνω)
- Με χρήση LNG: Οι εκπομπές μειώνονται σε 22.500 τόνους, που είναι εντός του επιτρεπτού ορίου (25.000 τόνοι), άρα δεν επιβάλλεται πρόστιμο
- Αποφυγή προστίμου: €500.000 ευρώ εξοικονόμηση

Κόστος Μετάβασης σε LNG

1. Απαιτούμενη επένδυση

- Ποσό: €15.000.000
- Δεν χρειάζεται υπολογισμός, είναι δεδομένο

2. Ετήσια εξοικονόμηση Τύπος:

Ετήσια εξοικονόμηση = Αποφυγή προστίμου + Μείωση κόστους καυσίμου

Ανάλυση:

- Αποφυγή προστίμου: €500.000 (πρόστιμο που αποφεύγεται λόγω μείωσης εκπομπών CO₂)
- Μείωση κόστους καυσίμου: 10% εξοικονόμηση από το κόστος καυσίμου
- Αν η αρχική ετήσια δαπάνη για καύσιμα είναι C, τότε:
Μείωση κόστους καυσίμου = $0.10 \times C$
- Συνολικά: Ετήσια εξοικονόμηση = $€500.000 + 0.10 \times C$

Ενεργειακά Αποδοτικές Τεχνολογίες

1. Μείωση εκπομπών CO₂ Τύπος: Νέες εκπομπές CO₂ = Πραγματικές εκπομπές × (1-Μείωση από τεχνολογίες)

Ανάλυση:

- Πραγματικές εκπομπές: 30.000 τόνοι CO₂
- Μείωση από τεχνολογίες: Μειωση απο ανακτηση θερμότητας (10%) + Ανεμογεννητριες (15%) + Ειδικες επιστροφες (7%) = $0.10 + 0.15 + 0.07 = 0.32$
- Υπολογισμός: $30.000 \times (1 - 0.32) = 30.000 \times 0.68 = 22.800$ τόνοι CO₂

2. Κόστος εγκατάστασης

- Ποσό: €5.000.000
- Δεν απαιτείται υπολογισμός, είναι δεδομένο

3. **Ετήσια εξοικονόμηση Τύπος:** Ετήσια εξοικονόμηση = Αποφυγή προστίμου + Μείωση κόστους καυσίμου

Ανάλυση:

- Αποφυγή προστίμου: €500.000 (όπως και παραπάνω)
- Μείωση κόστους καυσίμου: €200.000 (δεδομένο)
- Συνολικά: Ετήσια εξοικονόμηση = €500.000 + €200.000= €700.000

Συνολική Αξιολόγηση

Κόστος μετάβασης σε LNG

- Απαιτούμενη επένδυση: για τροποποίηση μηχανών και δεξαμενών καυσίμου περίπου €15.000.000
- Ετήσια εξοικονόμηση: €500.000 (πρόστιμο) + 10% μείωση κόστους καυσίμου

Ενεργειακά Αποδοτικές Τεχνολογίες

- Κόστος εγκατάστασης: €5.000.000
- Ετήσια εξοικονόμηση: €700.000

Άλλες Ενεργειακά Αποδοτικές Τεχνολογίες

Η υιοθέτηση τεχνολογιών όπως:

1. Συστήματα ανάκτησης θερμότητας: Μείωση κατανάλωσης καυσίμου έως και 10%.
2. Ανεμογεννήτριες προώθησης: Μείωση κατανάλωσης κατά 15%.
3. Ειδικές επιστρώσεις γάστρας: Μείωση αντίστασης στο νερό κατά 5%-7%.

Συνολική μείωση εκπομπών:

- $30.000 \times (1 - 0.10 - 0.15 - 0.07) = 22.800$ τόνοι CO₂

Συγκριτική Ανάλυση: Πιο κάτω παρουσιάζεται συγκριτική ανάλυση για αγορά νέου πλοίου χρήσης LNG, μετατροπής υπάρχοντος πλοίου και μετάβαση σε LNG και χρήση αποδοτικότερων τεχνολογιών (Dias, 2025; Forbesgreece, 2025) στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Συγκριτική ανάλυση για νέο πλοίο LNG, υπάρχον πλοίο και μετάβαση σε LNG και χρήση αποδοτικότερων τεχνολογιών.

Επιλογή	Κόστος Επένδυσης (€ εκατ.)	Χρόνος (έτη)	Ρίσκο	Μακροπρόθεσμη Απόδοση	Εξοικονόμηση/Έτος (€)	Χρόνος Απόσβεσης (έτη)	Μείωση Εκπομπών (%)
Νέο πλοίο LNG	110-138	2-3	Υψηλό	Πολύ υψηλή	2-3 εκατ.	~50	30-40
Μετατροπή σε LNG	18-28 (+9 απώλειες)	0.5-1	Μέτριο	Υψηλή	700.000	~21	25
Τεχνολογίες αποδοτικότητας	5	0.5-1	Χαμηλό	Μέτρια	700.000	~7	32

Η ανάλυση δείχνει ότι η μετάβαση σε LNG έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος και μεγαλύτερο χρόνο απόσβεσης (21 έτη), ενώ οι ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες προσφέρουν γρηγορότερη απόσβεση (7 έτη) και μεγαλύτερη συνολική μείωση εκπομπών CO₂ (32% έναντι 25%). Το νέο πλοίο έχει μεγάλο κόστος και μεγαλύτερη αναμονή, παρόλα αυτά η μακροπρόθεσμη απόδοση είναι πολύ υψηλή.

Επιπλέον Επιλογές:

1. Χρήση Βιοκαυσίμων (Biofuels)

- Μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 20-50%, ανάλογα με το μείγμα.
- Δεν απαιτεί μεγάλες μετατροπές στο πλοίο.
- Κόστος καυσίμου υψηλότερο από LNG αλλά χαμηλότερο από πρόστιμα.

2. Υβριδικές Λύσεις (Hybrid Systems – Μπαταρίες – Εικόνα 5)

- Μπορεί να μειώσει τη χρήση καυσίμου στις χαμηλές ταχύτητες.
- Χρήσιμο σε πλοία που κινούνται σε περιοχές χαμηλών εκπομπών (ECA).

3. Slow Steaming (Μείωση Ταχύτητας)

- Μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂.
- Δεν απαιτεί επενδύσεις, αλλά αυξάνει τον χρόνο ταξιδιού.



Εικόνα 5: Χρήση μπαταριών στην Ναυτιλία (DNV, 2025).

Αν η εταιρεία έχει διαθέσιμα κεφάλαια και θέλει να επενδύσει μακροπρόθεσμα, η μετάβαση σε LNG είναι μια καλή επιλογή. Εάν όμως επιθυμεί άμεση απόδοση επένδυσης, τότε οι ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες ή η χρήση βιοκαυσίμων μπορεί να είναι πιο συμφέρουσες λύσεις (Clydeco, 2025; DNV, 2025).

3.3.1. Υπολογισμός FuelEU Penalty

Σύμφωνα με τον τύπο (Sertica, 2025) ο υπολογισμός του προστίμου βάσει του κανονισμού FuelEU Maritime έχει ως εξής:

$$\text{FuelEU Penalty} = \left(\frac{\text{Compliance balance}}{\text{GHGIE}_{\text{actual}} \times 41.000} \right) \times 2.400$$

Δεδομένα:

- **Compliance balance** = 5.000 τόνοι CO₂
- **GHGIE_{actual}** (εκτιμώμενη τιμή για zero 5) = **0,03**
- **Σταθερές τιμές:**
 - 41.000 MJ/τόνο
 - 2.400 €/τόνο

$$\text{FuelEU Penalty} = \left(\frac{5.000}{0,03 \times 41.000} \right) \times 2.400$$

Το πρόστιμο FuelEU Maritime υπολογίζεται σε **9.756,10 ευρώ** για την υπέρβαση των εκπομπών CO₂ του πλοίου. Το απλό πρόστιμο CO₂ (100 €/τόνο) επιβάλλεται άμεσα για κάθε υπέρβαση εκπομπών CO₂. Το FuelEU Penalty, υπολογίζεται με βάση την παραβίαση του κανονισμού FuelEU Maritime και σχετίζεται με τη χρήση καυσίμου και τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις εκπομπών. Τα δύο πρόστιμα ισχύουν και αθροίζονται στο συνολικό κόστος συμμόρφωση όπου ανέρχεται στην περίπτωση μας στα 509.756,10 € (απλό πρόστιμο CO₂: 500.000 € και FuelEU Penalty: 9.756,10 €).

3.4. Ανάλυση επιβάρυνσης πλοίων (οικονομική διάσταση)

Η οικονομική διάσταση της επιβάρυνσης των πλοίων εξαιτίας του κανονισμού FuelEU Maritime είναι σημαντική και πολυδιάστατη, επηρεάζοντας τόσο τις επιχειρήσεις όσο και τους διάφορους τομείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η ανάλυση της επιβάρυνσης περιλαμβάνει την εκτίμηση του κόστους συμμόρφωσης, των επενδύσεων σε νέες τεχνολογίες και καύσιμα, καθώς και την οικονομική επίπτωση των προστίμων σε περίπτωση μη συμμόρφωσης με τα όρια εκπομπών CO₂ (Flodén et al., 2024).

Πρώτον, το κόστος συμμόρφωσης με τον κανονισμό είναι υψηλό και περιλαμβάνει επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα (Horvath et al., 2018). Τα πλοία που λειτουργούν με παραδοσιακά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, πρέπει να επενδύσουν σε νέες τεχνολογίες ή να αναβαθμίσουν τις υπάρχουσες για να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ και να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις του κανονισμού. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) (Iannaccone et al., 2020), υδρογόνο ή βιοκαύσιμα (Christodoulou et al., 2023), μπορεί να μειώσει τις εκπομπές, αλλά η εγκατάσταση και η συντήρηση των νέων συστημάτων καυσίμου συνεπάγεται αυξημένα κόστη (Horvath et al., 2018). Επίσης, η δημιουργία υποδομών για τη φόρτωση και αποθήκευση εναλλακτικών καυσίμων απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, γεγονός που αυξάνει το συνολικό κόστος λειτουργίας των πλοίων (Vassileva, 2022).

Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών που βελτιώνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων μπορεί να έχει σημαντικό κόστος, τουλάχιστον αρχικά. Τεχνολογίες όπως τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας, οι ανεμογεννήτριες και οι συσκευές που μειώνουν την τριβή στο νερό, μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂, αλλά απαιτούν υψηλή αρχική επένδυση και ενδέχεται να αυξήσουν τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας (Balcombe et al., 2019).

Στην περίπτωση που τα πλοία δεν συμμορφώνονται με τα όρια εκπομπών, η επιβολή προστίμων αποτελεί έναν άλλο σημαντικό οικονομικό παράγοντα. Ο κανονισμός FuelEU

Maritime προβλέπει συγκεκριμένα πρόστιμα για κάθε τόνο CO₂ που υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο εκπομπών. Αυτό σημαίνει ότι τα πλοία που δεν εφαρμόζουν τις αναγκαίες τεχνολογίες ή στρατηγικές μείωσης εκπομπών μπορεί να αντιμετωπίσουν υψηλά πρόστιμα, τα οποία αυξάνονται αναλογικά με την ποσότητα των εκπομπών CO₂ που ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια. Η επιβάρυνση αυτή μπορεί να είναι σημαντική, ειδικά για τις εταιρείες που δεν είναι έτοιμες να επενδύσουν σε καθαρότερα καύσιμα ή τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας. Μια επιπλέον οικονομική διάσταση αφορά την επιβολή περιορισμών στη λειτουργία των πλοίων στους λιμένες της Ε.Ε., η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένα έσοδα για τις ναυτιλιακές εταιρείες. Η αποφυγή των προστίμων μέσω της συμμόρφωσης με τον κανονισμό μειώνει τον κίνδυνο αποκλεισμού από ευρωπαϊκούς λιμένες, όπου τα πλοία μπορούν να υποστούν μεγάλες καθυστερήσεις ή να αντιμετωπίσουν επιπλέον δαπάνες για να συμμορφωθούν με το τοπικό κανονιστικό πλαίσιο (Consilium E.C., 2025).

Το συνολικό κόστος συμμόρφωσης με τον κανονισμό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος του πλοίου, η ηλικία του, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και το είδος των καυσίμων. Ωστόσο, η απόφαση για συμμόρφωση δεν πρέπει να εξετάζεται μόνο με βάση το άμεσο οικονομικό κόστος, αλλά και με την προοπτική της μείωσης του κόστους λειτουργίας μακροπρόθεσμα. Η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου και οι μειωμένες εκπομπές μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλότερα λειτουργικά κόστη, καθώς και σε ενισχυμένη φήμη στον τομέα της ναυτιλίας, γεγονός που μπορεί να προσφέρει ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα (Hollander, 2024; Consilium E.C., 2025) .

Ως εκ τούτου, η οικονομική επιβάρυνση από τον κανονισμό FuelEU Maritime είναι σημαντική, αλλά δεν είναι μόνο αρνητική. Οι ναυτιλιακές εταιρείες που επενδύουν στις κατάλληλες τεχνολογίες και καύσιμα μπορούν να μειώσουν το κόστος συμμόρφωσης και να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις της Ε.Ε., όπως η μείωση των προστίμων και η αυξημένη δυνατότητα πρόσβασης σε ευρωπαϊκούς λιμένες (Consilium E.C., 2025).

3.4.1. Κόστος αντικατάστασης και μετασκευής πλοίων: Εναλλακτικές επιλογές και προκλήσεις

Το κόστος πλήρους αντικατάστασης πλοίων μετά την 01/01/2025 αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες οικονομικές προκλήσεις για τη ναυτιλία, ιδιαίτερα σε μια περίοδο που οι ναύλοι παραμένουν χαμηλοί. Η αγορά νέων πλοίων που συμμορφώνονται πλήρως με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς απαιτεί τεράστιες επενδύσεις, καθιστώντας αυτήν την επιλογή πρακτικά αδύνατη για πολλές ναυτιλιακές εταιρείες (Farris et al., 2025).

Μία εναλλακτική επιλογή είναι η μετατροπή των υφιστάμενων πλοίων ώστε να χρησιμοποιούν LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) ως κύριο καύσιμο ή η μετατροπή των μηχανών σε προηγμένες ηλεκτρομηχανές. Το εύρος κόστους συνδέεται εν μέρει με τον σχεδιασμό του πλοίου, τον τύπο της μηχανής (διπλού καυσίμου ή αποκλειστικά LNG), το μέγεθος της δεξαμενής καυσίμου (δηλαδή, ανάλογα με τη συχνότητα ανεφοδιασμού) κ.λπ. (Wang και Wright, 2021). Ωστόσο, το κόστος μετασκευής ενός υπάρχοντος πλοίου για χρήση LNG μπορεί να φτάσει έως και το 50% του κόστους κατασκευής ενός νέου πλοίου, καθώς οι δεξαμενές LNG μπορεί να κοστίζουν έως και τρεις φορές περισσότερο από τις δεξαμενές βαρέος πετρελαίου (Balcombe et al., 2021). Ειδικότερα, η κατασκευή νέων πλοίων με καύσιμο LNG είναι ακριβότερη κατά 20-25% σε σχέση με τα παραδοσιακά πλοία που χρησιμοποιούν πετρέλαιο (Yoo, 2017). Επιπρόσθετα στις επιλογές για μετατροπή των υφιστάμενων πλοίων συγκαταλέγονται και τα συστήματα ανάκτησης απορριπτόμενης θερμότητας (WHRS) μπορούν να συμβάλουν στην εξοικονόμηση καυσίμου κατά 4-16%, μετατρέποντας τη χαμένη θερμότητα σε μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια. Η μείωση ταχύτητας πλοίου (slow steaming) αποτελεί μια επιχειρησιακή πρακτική που δεν απαιτεί τροποποίηση του πλοίου, αλλά μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου κατά 15-20% για κάθε μείωση ταχύτητας κατά 10%. Συνολικά, το slow steaming έχει συμβάλει στη μείωση των εκπομπών της ναυτιλίας κατά 10-30% την τελευταία δεκαετία. Επιπλέον, οι επικαλύψεις κύτους και η αερολίπανση μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου κατά 5-15%, ενώ ο βελτιωμένος σχεδιασμός νέων πλοίων, με ελαφρύτερα υλικά, λεπτότερο κύτος και βολβοειδή πλώρη, μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση καυσίμου της τάξης του 10% (Balcombe et al., 2021). Αυτές οι επενδύσεις, αν και δαπανηρές, είναι απαραίτητες για τη συμμόρφωση με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και τη μείωση των εκπομπών ρύπων στη ναυτιλία. Επιπλέον, υπάρχουν σημαντικές τεχνικές και επιχειρησιακές προκλήσεις, όπως η ανάγκη για υποδομές ανεφοδιασμού LNG στα μεγάλα λιμάνια, η εκπαίδευση του πληρώματος στη χρήση του νέου καυσίμου και η πιθανή μείωση του διαθέσιμου χώρου φορτίου λόγω της δεξαμενής LNG (Transport, 2025β; Clydec0, 2025).

Αντί της μετάβασης στο LNG, ορισμένες εταιρείες εξετάζουν τη χρήση βιοκαυσίμων, πράσινης αμμωνίας ή υδρογόνου. Αν και αυτά τα καύσιμα εμφανίζονται ως πιο βιώσιμες λύσεις μακροπρόθεσμα, η εμπορική διαθεσιμότητά τους είναι περιορισμένη, ενώ οι σχετικές τεχνολογίες βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο (Transport, 2025β; Clydec0, 2025). Μια άλλη επιλογή είναι η υιοθέτηση τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης, όπως οι ανεμογεννήτριες, τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας, τα air lubrication systems και οι ηλεκτρομηχανές, που

μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμου και να βελτιώσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου (Balcombe et al., 2019).

Ο χρονικός περιορισμός για συμμόρφωση μέχρι το 2025 καθιστά την εφαρμογή πολλών από αυτές τις λύσεις δύσκολη υπόθεση. Πολλές εταιρείες, λόγω του υψηλού αρχικού κόστους και των αβέβαιων αποδόσεων, είναι διστακτικές να επενδύσουν, αναμένοντας περαιτέρω ρυθμιστικές εξελίξεις ή πιθανές επιδοτήσεις για τη μετάβαση σε καθαρότερες τεχνολογίες (Consilium E.C., 2025). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει κίνδυνος να σημειωθούν σημαντικές καθυστερήσεις στη μετάβαση της ναυτιλίας σε βιώσιμες λύσεις, επηρεάζοντας όχι μόνο τις επιχειρήσεις αλλά και την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Ε.Ε. για το 2030 (Consilium, 2025).

3.5. Εμπλεκόμενοι φορείς και ευθύνες

Η επιτυχής εφαρμογή του κανονισμού FuelEU Maritime εξαρτάται από τη συνεργασία πολλών εμπλεκόμενων φορέων, καθένας από τους οποίους έχει συγκεκριμένες ευθύνες και ρόλους στην εξασφάλιση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του κανονισμού. Η κατανομή αυτών των ευθυνών είναι κρίσιμη για την αποτελεσματικότητα του μηχανισμού και την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών CO₂ στον ναυτιλιακό τομέα.

- 1. Πλοιοκτήτες και διαχειριστές πλοίων:** Οι βασικοί υπεύθυνοι για τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του FuelEU Maritime είναι οι πλοιοκτήτες και οι διαχειριστές των πλοίων. Αυτοί είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση των δραστηριοτήτων των πλοίων και για τη λήψη μέτρων που διασφαλίζουν τη μείωση των εκπομπών CO₂. Οι πλοιοκτήτες και διαχειριστές πρέπει να εφαρμόζουν τα απαραίτητα συστήματα παρακολούθησης και αναφοράς, να διασφαλίζουν ότι τα πλοία χρησιμοποιούν καθαρότερα καύσιμα και τεχνολογίες με χαμηλές εκπομπές, και να αναλαμβάνουν τη χρηματοδότηση των απαιτούμενων επενδύσεων για την επίτευξη των στόχων εκπομπών. Επίσης, έχουν την υποχρέωση να υποβάλλουν τα δεδομένα για τις εκπομπές CO₂ στις αρμόδιες αρχές και να συνεργάζονται με τους φορείς επαλήθευσης (Yan et al., 2021; Tran και Lam, 2021).
- 2. Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αρμόδιες αρχές της Ε.Ε.:** Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην παρακολούθηση και εφαρμογή του κανονισμού FuelEU Maritime. Η Επιτροπή είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη και ενημέρωση των πολιτικών που σχετίζονται με την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής στον τομέα της ναυτιλίας και για τη δημιουργία του νομικού πλαισίου. Παράλληλα, είναι υπεύθυνη για την έκδοση κατευθυντήριων γραμμών και για την επιβολή κυρώσεων σε περίπτωση μη συμμόρφωσης. Οι αρμόδιες αρχές της Ε.Ε. σε κάθε κράτος μέλος παρακολουθούν

την εφαρμογή του κανονισμού σε τοπικό επίπεδο, ελέγχουν τα δεδομένα των πλοίων, και συνεργάζονται με άλλους οργανισμούς για την επικύρωση των εκθέσεων (Refindustry, 2024).

3. **Ανεξάρτητοι φορείς επαλήθευσης (Verifiers):** Οι ανεξάρτητοι φορείς επαλήθευσης είναι υπεύθυνοι για την επαλήθευση των δεδομένων που υποβάλλονται από τους πλοιοκτήτες και διαχειριστές πλοίων. Αυτοί οι φορείς εξετάζουν τις αναφορές εκπομπών CO₂ και την ακριβή συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του κανονισμού, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα είναι ακριβή και αξιόπιστα. Η διαδικασία επαλήθευσης είναι καθοριστική για την αποφυγή λαθών ή πλαστογράφησης δεδομένων και για την εξασφάλιση της διαφάνειας και της ακεραιότητας της διαδικασίας (E.C. EUROPA E.U., 2025).
4. **Παροχείς καυσίμων και τεχνολογικοί προμηθευτές:** Οι εταιρείες που παρέχουν καύσιμα και τεχνολογίες στους ναυτιλιακούς φορείς παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή του κανονισμού. Οι προμηθευτές καυσίμων είναι υπεύθυνοι για την προμήθεια εναλλακτικών και πιο καθαρών καυσίμων (όπως LNG, υδρογόνο, βιοκαύσιμα) που μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ των πλοίων. Επίσης, οι προμηθευτές τεχνολογιών που αναπτύσσουν λύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας (όπως συστήματα ανάκτησης θερμότητας και σύγχρονα συστήματα πρόωσης) πρέπει να διασφαλίζουν την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα των προϊόντων τους για να υποστηρίξουν τη συμμόρφωση των πλοίων με τις απαιτήσεις του κανονισμού (Transport, 2025α).
5. **Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και άλλοι νομοθετικοί φορείς:** Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, σε συνεργασία με το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι υπεύθυνο για τη διαμόρφωση και ψήφιση του νομοθετικού πλαισίου που ρυθμίζει τον τομέα των εκπομπών CO₂ και την ενεργειακή αποδοτικότητα στην ναυτιλία. Αυτό περιλαμβάνει την έγκριση ή την τροποποίηση του κανονισμού FuelEU Maritime και τη διασφάλιση της εφαρμογής των κανονιστικών απαιτήσεων. Οι αποφάσεις του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ενδέχεται να οδηγήσουν σε τροποποιήσεις και βελτιώσεις του κανονιστικού πλαισίου σε περίπτωση που απαιτηθούν περαιτέρω ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την προώθηση της πράσινης ναυτιλίας (Europarl, 2025; Transport, 2025β).
6. **Λιμενικές αρχές και φορείς υποδομών:** Οι λιμενικές αρχές έχουν σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή του κανονισμού, καθώς οι επιπτώσεις της μη συμμόρφωσης μπορεί να επηρεάσουν τη δυνατότητα πρόσβασης των πλοίων στα λιμάνια της Ε.Ε. Οι λιμενικές

αρχές επιβλέπουν τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς κατά την είσοδο και έξοδο των πλοίων και συνεργάζονται με τις αρμόδιες αρχές για την επιβολή κυρώσεων, εφόσον απαιτείται (Fuelreadyports, 2025; Transport, 2025β).

7. **Επιχειρηματικοί και εμπορικοί σύλλογοι:** Οι επιχειρηματικοί και εμπορικοί σύλλογοι, που εκπροσωπούν τις ναυτιλιακές εταιρείες, τις ενώσεις πλοιοκτητών και τους άλλους φορείς της ναυτιλιακής βιομηχανίας, έχουν συμβουλευτικό και υποστηρικτικό ρόλο στην εφαρμογή του κανονισμού. Αυτοί οι σύλλογοι παρέχουν καθοδήγηση και υποστήριξη στα μέλη τους για τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του κανονισμού, προσφέρουν εκπαιδευτικά προγράμματα και συνδράμουν στη διαδικασία διαμόρφωσης πολιτικής για την πράσινη ναυτιλία (ICS, 2025; Transport, 2025α).

Συμπερασματικά, η αποτελεσματική εφαρμογή του κανονισμού FuelEU Maritime απαιτεί τη συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων, οι οποίοι πρέπει να αναλάβουν τις ευθύνες τους και να δράσουν από κοινού για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Η αποτυχία συμμόρφωσης από οποιονδήποτε από τους εμπλεκόμενους φορείς μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την επιτυχία της στρατηγικής της Ε.Ε. για την κλιματική ουδετερότητα και να έχει αρνητικές συνέπειες για τη ναυτιλιακή βιομηχανία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν δύο βασικοί άξονες για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στη ναυτιλία: η χρήση εναλλακτικών, καθαρότερων καυσίμων και η αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών που ενισχύουν την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα των πλοίων.

4.1. Εναλλακτικά καύσιμα

Η μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα είναι ένας από τους κύριους τρόπους για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ναυτιλία. Τα εναλλακτικά καύσιμα περιλαμβάνουν:

1. LNG (Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο): Το LNG αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς επιλογές για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στον ναυτιλιακό τομέα. Η καύση του LNG παράγει σημαντικά λιγότερες εκπομπές CO₂ και άλλων ρύπων (όπως SO_x και NO_x) σε σχέση με το παραδοσιακό πετρέλαιο. Η χρήση LNG μπορεί να μειώσει έως και 20-25% τις εκπομπές CO₂, ενώ παράλληλα μειώνει και τις εκπομπές σωματιδίων και θείου (Law et al., 2021).
2. Υδρογόνο: Το υδρογόνο είναι ένα από τα πιο καθαρά καύσιμα, καθώς όταν χρησιμοποιείται στην καύση ή στις κυψέλες καυσίμου, παράγει μόνο νερό ως απόβλητο. Παρά τις τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με την αποθήκευση και τη διανομή του, το υδρογόνο αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τον ναυτιλιακό τομέα, ειδικά για τα πλοία μεγάλου βεληνεκούς που διανύουν μεγάλες αποστάσεις (Balcombe et al., 2019; Christodoulou et al., 2023).
3. Βιοκαύσιμα: Τα βιοκαύσιμα, όπως το βιοντίζελ και το βιομεθάνιο, αποτελούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση καθώς προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές. Η χρήση τους σε παραδοσιακές μηχανές καύσης μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ και να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων του FuelEU Maritime, χωρίς να απαιτείται σημαντική τροποποίηση των υποδομών ή των μηχανών των πλοίων (Christodoulou et al., 2023; Sinay, 2025).
4. Αμμωνία: Η αμμωνία θεωρείται ένα από τα πιο υποσχόμενα καύσιμα για τον τομέα της ναυτιλίας, καθώς μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές και δεν εκλύει CO₂ κατά την καύση της. Ωστόσο, η τεχνολογία για την καύση της αμμωνίας στα πλοία βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, ενώ υπάρχουν προκλήσεις σχετικά με την αποθήκευση και τη διαχείριση της αμμωνίας λόγω της τοξικότητάς της (Celik et al., 2021; Christodoulou et al., 2023).

4.2. Καινοτόμες τεχνολογίες

Αναφορικά με τις καινοτόμες τεχνολογίες, οι εξής λύσεις έχουν τη δυνατότητα να βοηθήσουν τα πλοία να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂:

1. Συστήματα ανάκτησης θερμότητας: Αυτά τα συστήματα ανακτούν την παραγόμενη θερμότητα από τις μηχανές του πλοίου και την επαναχρησιμοποιούν για τη θέρμανση του νερού ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να αυξήσει την ενεργειακή αποδοτικότητα των πλοίων και να μειώσει την ανάγκη για επιπλέον καύσιμα (Wilberforce, et al., 2022; Maritime Cyprus, 2024).
2. Ανεμογεννήτριες και ηλιακοί συλλέκτες: Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως οι ανεμογεννήτριες και οι ηλιακοί συλλέκτες, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να βοηθήσουν στην προώθηση των πλοίων όταν οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν, ενώ οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να παρέχουν ενέργεια για άλλες ανάγκες του πλοίου, όπως το φωτισμό ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Balcombe et al., 2019).
3. Ενεργειακά αποδοτικοί σχεδιασμοί πλοίων: Η χρήση εξελιγμένων εργαλείων σχεδίασης και προσομοίωσης μπορεί να οδηγήσει σε πλοία με καλύτερη αεροδυναμική και υδροδυναμική απόδοση. Ο σχεδιασμός πλοίων που μειώνει την αντίσταση του νερού και του αέρα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα (Balcombe et al., 2019).
4. Συστήματα πρόωσης με μπαταρίες και υβριδικές τεχνολογίες: Η χρήση ηλεκτρικών ή υβριδικών συστημάτων πρόωσης, που συνδυάζουν συμβατικές μηχανές καύσης με μπαταρίες ή άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελεί μια καινοτόμο λύση για τη μείωση των εκπομπών και την αύξηση της αποδοτικότητας του πλοίου. Αυτά τα συστήματα ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για πλοία που εκτελούν σύντομες ή ενδοναυτιλιακές διαδρομές (Kolodziejcki και Michalska-Pozoga, 2023).
5. Ηλεκτρονικές πλατφόρμες και τεχνολογίες πληροφορικής: Οι εξελιγμένες τεχνολογίες πληροφορικής και οι ψηφιακές πλατφόρμες μπορούν να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου μέσω της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, προσαρμόζοντας τη λειτουργία του πλοίου ανάλογα με τις συνθήκες του καιρού, την ταχύτητα και τη διαδρομή (Riyadh, 2024).
6. Ηλεκτρομηχανές και προηγμένα συστήματα πρόωσης: Η ανάπτυξη ηλεκτρομηχανών νέας γενιάς από το 2017 και μετά αποτελεί μία σημαντική τεχνολογική εξέλιξη για τη ναυτιλία, προσφέροντας βελτιωμένη απόδοση και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ

Ακολουθούν μερικές από τις προτάσεις που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν από τις εταιρείες, εστιάζοντας στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης:

5.1. Εκπαίδευση και Κατάρτιση

Η εκπαίδευση και η κατάρτιση των ναυτικών, καθώς και των στελεχών της ναυτιλιακής βιομηχανίας, αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο για την επιτυχή μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη ναυτιλία. Η υιοθέτηση πρακτικών φιλικών προς το περιβάλλον, η χρήση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και η συμμόρφωση με τους σύγχρονους περιβαλλοντικούς κανονισμούς δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς ένα καλά καταρτισμένο ανθρώπινο δυναμικό. Η εκπαίδευση δεν περιορίζεται μόνο στη βασική ενημέρωση για τις νέες τεχνολογίες, αλλά επεκτείνεται στη βαθύτερη κατανόηση των θεμάτων βιωσιμότητας, της περιβαλλοντικής διαχείρισης και των προκλήσεων που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλία (Dimitranon και Belev, 2024).

Μερικές από τις πιο σημαντικές πρωτοβουλίες που μπορούν να ενισχύσουν την εκπαίδευση και την κατάρτιση περιλαμβάνουν:

- **Εξειδικευμένα εκπαιδευτικά προγράμματα για νέες τεχνολογίες και κανονισμούς:**
Η συνεχής επιμόρφωση σχετικά με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, την εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και την κατανόηση των περιβαλλοντικών κανονισμών, όπως το MRV (Monitoring, Reporting and Verification) της E.E., μπορεί να διευκολύνει τη συμμόρφωση των ναυτιλιακών εταιρειών με τις νέες απαιτήσεις. Η ενσωμάτωση αυτών των θεμάτων σε εκπαιδευτικά προγράμματα και εργαστήρια μπορεί να διασφαλίσει ότι οι ναυτικοί και τα στελέχη των εταιρειών θα είναι προετοιμασμένοι για τις τεχνολογικές αλλαγές και τις νέες νομοθετικές ρυθμίσεις που έρχονται (Katranas et al., 2020; Dewan και Godina, 2023). Επιπλέον, η ενίσχυση της γνώσης γύρω από τη βιωσιμότητα στη ναυτιλία. Συγκεκριμένα, η δημιουργία και προώθηση εκπαιδευτικών προγραμμάτων που εστιάζουν στη βιωσιμότητα είναι κρίσιμης σημασίας για τη διάδοση των βέλτιστων πρακτικών και την κατανόηση των περιβαλλοντικών προκλήσεων (Transport, 2025a).

- **Χρηματοδοτικά εργαλεία και κίνητρα για την εκπαίδευση και την υιοθέτηση καθαρών τεχνολογιών:** Οι κυβερνήσεις και οι διεθνείς οργανισμοί μπορούν να παρέχουν επιδοτήσεις ή φορολογικά κίνητρα για τις ναυτιλιακές εταιρείες που επενδύουν στην εκπαίδευση των εργαζομένων τους ή στην ενσωμάτωση καθαρών τεχνολογιών στα πλοία τους. Η ύπαρξη οικονομικών κινήτρων μπορεί να λειτουργήσει καταλυτικά, ενισχύοντας τη μετάβαση της ναυτιλίας προς πιο φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές (Transport, 2024).

5.2. Υιοθέτηση Καινοτόμων Τεχνολογιών

Η Ανάπτυξη και Χρήση Ενεργειακά Αποδοτικών Τεχνολογιών για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων είναι κρίσιμη για τη μείωση των εκπομπών CO₂, χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στον τύπο καυσίμου (Balcombe et al., 2019).

Τεχνολογίες όπως οι εξής συνεισφέρουν στην επίτευξη αυτού του στόχου:

- **Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας:** Αυτά τα συστήματα ανακτούν την παραγόμενη θερμότητα από τα καυσαέρια του κινητήρα και τη χρησιμοποιούν για να μειώσουν τη ζήτηση ενέργειας για άλλες διαδικασίες στο πλοίο, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου (Wilberforce, et al., 2022).
- **Ανεμογεννήτριες και Αιολική Υποβοήθηση:** Η χρήση ανεμογεννητριών για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές CO₂ (Balcombe et al., 2019).
- **Βελτιωμένη Σχεδίαση Σκαφών:** Η βελτίωση της αεροδυναμικής και της υδροδυναμικής σχεδίασης των πλοίων μπορεί να μειώσει την αντίσταση του νερού και την ανάγκη για καύσιμο, εξοικονομώντας ενέργεια (Balcombe et al., 2019).
- **Αυτονομία και τεχνολογία AI:** Η ανάπτυξη συστημάτων που χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη για να βελτιστοποιήσουν τη ναυσιπλοΐα και τη διαχείριση των καυσίμων, επιτυγχάνοντας τη βέλτιστη χρήση ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών (Riyadh, 2024).

5.3. Βελτίωση Διαχείρισης Καυσίμου και Επιχειρησιακών Δραστηριοτήτων

Η πιο αποδοτική διαχείριση των καυσίμων και των λειτουργιών των πλοίων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂:

- **Συστήματα Διαχείρισης Καυσίμου (Fuel Management Systems):** Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους πλοιοκτήτες να παρακολουθούν την κατανάλωση

καυσίμου σε πραγματικό χρόνο και να εντοπίζουν περιοχές όπου μπορεί να γίνει εξοικονόμηση (Yan et al., 2021).

- **Αναγνώριση και Προγραμματισμός Διαδρομών:** Η βελτιστοποίηση των διαδρομών και η αποφυγή ανεπιθύμητων καθυστερήσεων μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και να μειώσει τις εκπομπές CO₂ (Prgić-Oršić et al., 2016).
- **Διαχείριση Ταχύτητας (Speed Management):** Η μείωση της ταχύτητας των πλοίων, όταν είναι εφικτό, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές. Η χρήση λογισμικού ναυσιπλοΐας που υπολογίζει την πιο αποδοτική διαδρομή και ταχύτητα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές (Tran και Lam, 2021).
- **Διαχείριση του βάρους του πλοίου:** Ο περιορισμός του βάρους του πλοίου με τη μείωση των φορτίων ή την αλλαγή του τρόπου φόρτωσης μπορεί να μειώσει την ανάγκη για καύσιμα και να αυξήσει την ενεργειακή αποδοτικότητα (Rajkovic et al., 2016).
- **Τακτικός έλεγχος και συντήρηση κινητήρων:** Η τακτική συντήρηση των κινητήρων και των συστημάτων πρόωσης εξασφαλίζει ότι το πλοίο λειτουργεί με την πιο αποδοτική καύση και χωρίς απώλειες ενέργειας (MTR, 2024).

5.4. Ανάπτυξη Υποδομών Καθαρής Ενέργειας

Η υποστήριξη της πράσινης μετάβασης απαιτεί την ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών που θα επιτρέψουν την αποτελεσματική χρήση εναλλακτικών καυσίμων και την εφαρμογή νέων τεχνολογιών (Balcombe et al., 2019):

- **Ανάπτυξη σταθμών ανεφοδιασμού με εναλλακτικά καύσιμα:** Η Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικές κυβερνήσεις μπορούν να επενδύσουν στην δημιουργία υποδομών, σταθμών, σε λιμάνια για εφοδιασμό πλοίων με LNG και υδρογόνο είναι απαραίτητη για τη μετάβαση σε καθαρότερα καύσιμα (Balcombe et al., 2019).
- **Αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών:** Η αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών θα επιτρέπουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία για την τροφοδοσία τους κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο λιμάνι, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για καύσιμο και υποστηρίζοντας τις νέες τεχνολογίες, με στόχο τη μείωση των εκπομπών και την αποτελεσματική διαχείριση των νέων τεχνολογιών (Sadiq et al., 2021).

5.5. Χρηματοδοτική Στήριξη και Επιδότησεις

Η χρηματοδότηση της μετάβασης σε πιο βιώσιμες πρακτικές είναι κρίσιμη. Οι συστημικοί φορείς, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι εθνικές κυβερνήσεις, παρέχουν οικονομική υποστήριξη για την υιοθέτηση βιώσιμων τεχνολογιών και καυσίμων μέσω διάφορων χρηματοδοτικών εργαλείων και επιδοτήσεων. Οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να επωφεληθούν και να αξιοποιήσουν χρηματοδοτήσεις από:

- **Προγράμματα Horizon Europe:** Στόχος του προγράμματος είναι η χρηματοδότηση έρευνας και καινοτομίας για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και λύσεων στον τομέα της ναυτιλίας, όπως οι εναλλακτικοί καύσιμοι και η ενεργειακή αποδοτικότητα (Ortega et al., 2021).
- **Connecting Europe Facility (CEF):** Παράσχει χρηματοδότηση για τη δημιουργία υποδομών που είναι απαραίτητες για τη μετάβαση σε καθαρότερες μορφές ενέργειας και τη βελτίωση των λιμενικών εγκαταστάσεων (Ortega et al., 2021).
- **Πράσινα χρηματοδοτικά εργαλεία:** Η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλοι φορείς προσφέρουν πράσινα ομόλογα ή άλλες χρηματοδοτικές λύσεις για την υποστήριξη των ναυτιλιακών εταιρειών στην απόκτηση και εφαρμογή πράσινων τεχνολογιών (Hessevik, 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Συμπεράσματα και συστάσεις

Συμπερασματικά, η μετάβαση της ναυτιλίας σε ένα πιο βιώσιμο και ενεργειακά αποδοτικό μοντέλο αποτελεί προτεραιότητα στο πλαίσιο των διεθνών και ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών πολιτικών. Ο κανονισμός FuelEU Maritime στοχεύει στον εκσυγχρονισμό του κλάδου μέσω της υιοθέτησης καθαρότερων καυσίμων και τεχνολογιών, αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις που σχετίζονται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η εφαρμογή του απαιτεί στοχευμένες δράσεις τόσο από τις ναυτιλιακές εταιρείες όσο και από τους αρμόδιους φορείς, διασφαλίζοντας ένα ισορροπημένο πλαίσιο βιωσιμότητας, καινοτομίας και οικονομικής βιωσιμότητας.

6.1. Συνοπτική ανακεφαλαίωση

Ο κανονισμός FuelEU Maritime επιδιώκει τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για καθαρότερα καύσιμα, καινοτόμες τεχνολογίες και ενεργειακή αποδοτικότητα.

Η συμμόρφωση με τον κανονισμό συνεπάγεται με την υιοθέτηση συστημάτων παρακολούθησης και αναφοράς δεδομένων (MRV) και τη δυνατότητα για χρηματοδοτικά εργαλεία, όπως τα ευρωπαϊκά προγράμματα χρηματοδότησης, για την υποστήριξη της έρευνας και ανάπτυξης καθαρών τεχνολογιών.

Παράλληλα, η εφαρμογή του κανονισμού συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, όπως το υψηλό κόστος των αρχικών επενδύσεων, οι τεχνολογικοί περιορισμοί και οι δυσκολίες στην ανάπτυξη της απαραίτητης υποδομής, καθώς και η ανάγκη συμμόρφωσης με ένα σύνθετο και απαιτητικό ρυθμιστικό πλαίσιο.

6.2. Συμπεράσματα βασισμένα στα ευρήματα

Από τα ευρήματα της ανάλυσης, προκύπτουν τα εξής βασικά συμπεράσματα:

1. **Αναγκαιότητα για καινοτομία και τεχνολογικές επενδύσεις:** Η υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων και η εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών είναι θεμελιώδης για την επίτευξη των στόχων του κανονισμού. Ωστόσο, η έλλειψη υποδομών για εναλλακτικά καύσιμα και η υψηλή αρχική επένδυση παραμένουν προκλήσεις για τις ναυτιλιακές εταιρείες.
2. **Οικονομικές επιπτώσεις και αναγκαία στήριξη:** Η οικονομική επιβάρυνση των ναυτιλιακών επιχειρήσεων από την εφαρμογή του κανονισμού είναι σημαντική, με τα πρόστιμα και τις απαιτήσεις συμμόρφωσης να αυξάνουν το λειτουργικό κόστος με

έντονη την απουσία ουσιαστικών χρηματοδοτικών κινήτρων από τις κυβερνήσεις. Η παροχή κινήτρων και χρηματοδότησης μέσω προγραμμάτων όπως το Horizon Europe μπορεί να βοηθήσει στην ενίσχυση της μετάβασης σε καθαρές τεχνολογίες και καύσιμα. Ωστόσο, πολλοί πλοιοκτήτες εκφράζουν επιφυλάξεις σχετικά με την άμεση εφαρμογή του κανονισμού λόγω της απουσίας συγκεκριμένων επιδοτήσεων και κρατικών κινήτρων, καθώς η συμμόρφωση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα λειτουργικά κόστη, επηρεάζοντας την ανταγωνιστικότητα των εταιρειών.

3. **Καινοτόμες στρατηγικές και συνεργασίες:** Η ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών απαιτεί συνεργασία μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Η ανταλλαγή γνώσεων και η υποστήριξη της έρευνας είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική εφαρμογή του κανονιστικού πλαισίου.
4. **Στρατηγική συμμόρφωσης και επιτυχής εφαρμογή:** Η συμμόρφωση με τον κανονισμό απαιτεί ενίσχυση των συστημάτων παρακολούθησης (MRV) και της αναφοράς δεδομένων. Η διασφάλιση της διαφάνειας και της αξιοπιστίας αυτών των δεδομένων είναι ουσιώδης για την αποφυγή προστίμων και τη μείωση των εκπομπών CO₂.
5. **Μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα και κλιματική προσαρμογή:** Ο κανονισμός FuelEU Maritime ανοίγει το δρόμο για έναν πιο βιώσιμο ναυτιλιακό τομέα, αλλά απαιτεί έναν συνδυασμό πολιτικών, επενδύσεων και τεχνολογικών καινοτομιών για να αντιμετωπιστούν οι κλιματικές προκλήσεις της εποχής. Η επιτυχής εφαρμογή του κανονισμού θα έχει μακροπρόθεσμο θετικό αντίκτυπο στη μείωση της ναυτιλιακής ρύπανσης και στην ευρύτερη κλιματική προσαρμογή της Ε.Ε.

6.3. Συστάσεις για εκπαίδευση και κατάρτιση

Ο «κόσμος» της ναυτιλίας θα πρέπει να αποκτήσει σωστή κατάρτιση, εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση μέσα από τις εξής προτάσεις:

- **Ανάπτυξη εξειδικευμένων προγραμμάτων κατάρτισης:** Δημιουργία εκπαιδευτικών προγραμμάτων που εστιάζουν στη μείωση των εκπομπών, στην υιοθέτηση καθαρών τεχνολογιών και στη συμμόρφωση με τους διεθνείς κανονισμούς, όπως ο FuelEU Maritime. Τα προγράμματα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν θεωρητική κατάρτιση και πρακτική εξάσκηση, ώστε οι συμμετέχοντες να αποκτήσουν ολοκληρωμένες γνώσεις.

- **Ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών σε υπάρχουσες δομές εκπαίδευσης:** Στα πλαίσια των ακαδημαϊκών σπουδών και των πιστοποιήσεων που απαιτούνται για τα ναυτιλιακά στελέχη, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν μαθήματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη βιωσιμότητα. Αυτό θα εξασφάλιζε ότι η νέα γενιά ναυτικών είναι πλήρως προετοιμασμένη για τις προκλήσεις της πράσινης μετάβασης.
- **Εκπαιδευτικές πλατφόρμες και διαδικτυακά σεμινάρια:** Δημιουργία ψηφιακών πλατφορμών και οργάνωση διαδικτυακών σεμιναρίων που θα προσφέρουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις νέες τεχνολογίες και τους κανονισμούς. Με αυτόν τον τρόπο, θα εξασφαλιστεί ότι και οι πιο απομακρυσμένες περιοχές έχουν πρόσβαση σε εκπαιδευτικό υλικό υψηλής ποιότητας.
- **Συνεργασίες με εξειδικευμένους φορείς:** Συνεργασία με εκπαιδευτικά ιδρύματα, κέντρα ερευνών και τεχνολογικούς φορείς για τη δημιουργία προγραμμάτων που να καλύπτουν τις τελευταίες εξελίξεις στη ναυτιλιακή τεχνολογία και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.
- **Παροχή κινήτρων για συμμετοχή στην εκπαίδευση:** Εισαγωγή κινήτρων, όπως επιδοτήσεις ή πιστοποιήσεις επαγγελματικής ανάπτυξης, για τους ναυτικούς και τις ναυτιλιακές εταιρείες που συμμετέχουν σε προγράμματα εκπαίδευσης. Αυτό μπορεί να ενθαρρύνει τη μαζική συμμετοχή και να συμβάλει στη διάδοση της γνώσης.
- **Αξιοποίηση πραγματικών δεδομένων και παραδειγμάτων:** Χρήση δεδομένων από υφιστάμενες πρακτικές για την εκπαίδευση των συμμετεχόντων, παρέχοντας ρεαλιστικά σενάρια και λύσεις. Αυτό θα βοηθήσει τους ναυτικούς και τα στελέχη να κατανοήσουν πώς οι γνώσεις τους μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη.

Με την προώθηση αυτών των εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών, οι ναυτιλιακές εταιρείες και τα στελέχη τους θα μπορέσουν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση της πράσινης μετάβασης. Η επένδυση στην εκπαίδευση και την κατάρτιση δεν αποτελεί απλώς μια ανταπόκριση στις απαιτήσεις του κανονισμού, αλλά και μια μακροπρόθεσμη στρατηγική για την ενίσχυση της καινοτομίας, της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας στον τομέα της ναυτιλίας.

6.4. Συστάσεις για μελλοντική έρευνα

Η μελλοντική έρευνα στον τομέα της ναυτιλίας και των εκπομπών CO₂ είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη των στόχων του κανονισμού FuelEU Maritime και για την ευρύτερη

προώθηση της βιώσιμης ναυτιλίας. Ειδικότερα, οι τομείς που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης περιλαμβάνουν:

- 1. Ανάπτυξη καινοτόμων εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών:** Η έρευνα στους εναλλακτικούς τύπους καυσίμων είναι κρίσιμη για τη μείωση των εκπομπών CO₂ στον ναυτιλιακό τομέα. Η ανάπτυξη καυσίμων όπως το υδρογόνο, τα βιοκαύσιμα και το LNG (υγροποιημένο φυσικό αέριο) θα μπορούσε να προσφέρει εναλλακτικές λύσεις για την μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Περαιτέρω έρευνα στην τεχνολογία αποθήκευσης και μεταφοράς αυτών των καυσίμων είναι επίσης απαραίτητη, καθώς οι υποδομές για τη χρήση τους είναι ακόμα περιορισμένες. Αντίστοιχα, η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών, όπως τα συστήματα αιολικής προώθησης και οι εξελιγμένες τεχνολογίες ανάκτησης θερμότητας, καθώς και η χρήση ηλεκτρομηχανών, θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση καυσίμου και στη μείωση των εκπομπών CO₂. Η συνεχής έρευνα πάνω σε αυτές τις τεχνολογίες είναι αναγκαία για την επιτάχυνση της προσαρμογής του τομέα.
- 2. Αξιολόγηση της οικονομικής επίδρασης και των κινήτρων για συμμόρφωση:** Η ανάλυση της οικονομικής επίδρασης του κανονισμού FuelEU Maritime είναι απαραίτητη για να κατανοήσουμε καλύτερα το πραγματικό κόστος συμμόρφωσης και τις πιθανές συνέπειες για τις ναυτιλιακές εταιρείες. Η έρευνα μπορεί να εστιάσει σε διάφορες οικονομικές στρατηγικές για την ενίσχυση της συμμόρφωσης με τον κανονισμό, όπως η βελτιστοποίηση των διαδικασιών ελέγχου και η εφαρμογή πιο αποδοτικών μεθόδων υπολογισμού των εκπομπών CO₂. Παράλληλα, η διερεύνηση του αντίκτυπου των χρηματοδοτικών κινήτρων, όπως τα προγράμματα Horizon Europe, στις επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση του ρόλου της δημόσιας στήριξης στη μετάβαση σε έναν βιώσιμο ναυτιλιακό τομέα.
- 3. Βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων παρακολούθησης και αναφοράς (MRV):** Η επιτυχής εφαρμογή του κανονισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακριβή παρακολούθηση των εκπομπών CO₂ και την επαλήθευση των δεδομένων. Η έρευνα στον τομέα των συστημάτων MRV (Monitoring, Reporting, Verification) μπορεί να προσφέρει νέα δεδομένα για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας αυτών των συστημάτων. Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τη συλλογή, ανάλυση και αναφορά δεδομένων μπορεί να καταστήσει τη διαδικασία συμμόρφωσης πιο διαφανή και αξιόπιστη. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (big

data) για την ακριβή παρακολούθηση των εκπομπών και την πρόβλεψη μελλοντικών εκπομπών, καθώς και τη βελτίωση της ασφάλειας και της διαφάνειας των δεδομένων.

4. **Ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων και στρατηγικών για την υποστήριξη της βιώσιμης ναυτιλίας:** Οι ναυτιλιακές εταιρείες θα πρέπει να εξετάσουν νέες επιχειρηματικές στρατηγικές για να μειώσουν το κόστος συμμόρφωσης και να εξασφαλίσουν τη βιωσιμότητά τους μακροπρόθεσμα. Έρευνες σε επιχειρηματικά μοντέλα που συνδυάζουν την οικονομική αποδοτικότητα με τη βιωσιμότητα είναι αναγκαίες για να κατανοήσουμε καλύτερα πώς οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να ενσωματώσουν τις απαιτήσεις του FuelEU Maritime στο επιχειρηματικό τους σχέδιο. Η συνεργασία με άλλους κλάδους, όπως οι τεχνολογίες πληροφορικής και η ενέργεια, μπορεί να επιταχύνει τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πρακτικές, προσφέροντας νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες.
5. **Μελέτες σχετικά με την κοινωνική αποδοχή και την υποστήριξη των πολιτικών από την κοινωνία:** Η κοινωνική αποδοχή των νέων κανονισμών και των τεχνολογικών καινοτομιών που σχετίζονται με τη ναυτιλία είναι επίσης σημαντική για την επιτυχία του κανονιστικού πλαισίου. Έρευνες σχετικά με τη στάση των ναυτιλιακών εταιρειών, των πολιτικών φορέων και του ευρύτερου κοινού απέναντι στις απαιτήσεις του FuelEU Maritime και των εναλλακτικών καυσίμων μπορούν να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες για την ενίσχυση της αποδοχής και της συνεργασίας μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων μερών. Ειδικότερα, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τις κοινωνικές και πολιτικές αντιφάσεις ή ανησυχίες που μπορεί να προκύψουν σχετικά με το κόστος και την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών, έτσι ώστε να αναπτυχθούν στρατηγικές επικοινωνίας και υποστήριξης που θα διευκολύνουν την εφαρμογή των αλλαγών.
6. **Ανάλυση της διεθνούς συνεργασίας και της σύγκλισης των κανονιστικών πλαισίων:** Η ναυτιλία είναι ένας παγκόσμιος τομέας, και η εφαρμογή του κανονισμού FuelEU Maritime εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να ληφθεί υπόψη στο πλαίσιο της διεθνούς συνεργασίας για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Η έρευνα στη διεθνή συνεργασία για την ευθυγράμμιση των κανονιστικών πλαισίων και την ανάπτυξη κοινών πολιτικών για την ενίσχυση της βιώσιμης ναυτιλίας είναι ζωτικής σημασίας. Η ενίσχυση των διεθνών συνεργασιών μέσω του IMO (Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός) και άλλων διεθνών φορέων μπορεί να επιταχύνει τη μετάβαση στη βιώσιμη ναυτιλία σε παγκόσμιο επίπεδο και να εξασφαλίσει μια ισχυρότερη υποστήριξη για τον κανονισμό FuelEU Maritime.

Εν κατακλείδι, η συνεχιζόμενη έρευνα στους παραπάνω τομείς θα είναι καθοριστική για την επιτυχία του FuelEU Maritime και τη συνολική πρόοδο προς έναν πιο βιώσιμο και καθαρότερο ναυτιλιακό τομέα, ο οποίος θα συμβάλλει στους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050.

Βιβλιογραφία

- Agarwala, P., Chhabra, S., & Agarwala, N. (2021). Using digitalisation to achieve decarbonisation in the shipping industry. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(4), 161–174. <https://doi.org/10.1080/25725084.2021.2009420>.
- Balcombe, P., Brierley, J., Lewis, C., Skatvedt, L., Speirs, J., Hawkes, A., & Staffell, I. (2019). How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, 182, 72–88. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.080>.
- Balcombe, P. Staffell, I. Kerdan, I. G. Speirs, J. F. Brandon, N. P. & Hawkes, Adam D. (2021). "How can LNG-fuelled ships meet decarbonisation targets? An environmental and economic analysis," *Energy*, Elsevier, vol. 227(C). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120462>.
- Bark, O. & Viirmäe, M. (2016). The Economic Impact of Environmental Regulations on a Maritime Fuel Production Company. *Research in economics and business: Central and Eastern Europe*. 8 (2). 58-86. <https://ideas.repec.org/a/ttu/rebcee/93.html>.
- Chen, J. Fei, Y. & Wan, Z. (2019). The relationship between the development of global maritime fleets and GHG emission from shipping. *Journal of Environmental Management*. 242. 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.136>.
- Christodoulou, R. C., Vanellander, T. & van Hassel, E. A (2023). Global Analysis of Emissions, Decarbonization, and Alternative Fuels in Inland Navigation—A Systematic Literature Review. *Sustainability*. 15, 14173. <https://doi.org/10.3390/su151914173>.
- Christodoulou, A. (2024). The implications of the FuelEU Maritime Regulation on the maritime sector. <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/17235>.
- Claremar, B., Haglund, K. & Rutgersson, A. (2017). Ship emissions and the use of current air cleaning technology: contributions to air pollution and acidification in the Baltic Sea, *Earth Syst. Dynam.*, 8, 901–919, <https://doi.org/10.5194/esd-8-901-2017>.
- Dewan, M. H. & Godina, R. (2023). Effective training of seafarers on energy efficient operations of ships in the maritime industry. *Procedia Computer Science*, 217, 1688–1698. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.369>.
- Dimitranov, D. & Belev, B. (2024). Sustainable Shipping Requires Sustainable Education and Training. *Sustainability*. 16, 11270. <https://doi.org/10.3390/su162411270>.

- Flodén, J., Zetterberg, L., Christodoulou, A., Parsmo, R., Fridell, E., Hansson, J., ... & Woxenius, J. (2024). Shipping in the EU emissions trading system: implications for mitigation, costs and modal split. *Climate Policy*, 24(7), 969–987. <https://doi.org/10.1080/14693062.2024.2309167>.
- Hessevik, A. (2022). Green shipping networks as drivers of decarbonization in offshore shipping companies. *Maritime Transport Research*, 3, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100053>.
- Hollander, H. (2024). The decarbonisation of the maritime transport sector: assessing the transition and systemic barriers. <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/47668>.
- Horvath, S., Fasihi, M., & Breyer, C. (2018). Techno-economic analysis of a decarbonized shipping sector: Technology suggestions for a fleet in 2030 and 2040. *Energy Conversion and Management*, 164, 230–241. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.02.098>.
- Iannaccone, T., Landucci, G., Tugnoli, A., Salzano, E., & Cozzani, V. (2020). Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121069. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121069>.
- Istrate, R., Iribarren, D., Dufour, J., Cebolla, R., Arrigoni, A., Moretto, P., & Dolci, F. (2022). Quantifying Emissions in the European Maritime Sector: A Review on Life Cycle Assessments of Maritime Systems Combined With an Analysis of the THETIS-MRV Portal. <https://doi.org/10.2760/496363>.
- Joung, T. H., Kang, S. G., Lee, J. K., & Ahn, J. (2020). The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas(GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/25725084.2019.1707938>.
- Kadir, M., Bayırhan, I. & Gazioglu, C. (2020). Analysis of the effects of CO₂ emissions sourced by commercial marine fleet by using energy efficiency design index. *Thermal Science*. 24. 187-197. <https://doi.org/10.2298/TSCI20187M>.
- Kalair, A.R., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., Abas, N. and Khan N. (2021). Waste of energy conversion for a sustainable future. *Heliyon*. (10):e08155. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08155>.
- Katranas, G., Riel, A., Corchado-Rodríguez, J.M. & Plaza-Hernández, M. (2020). The SMARTSEA Education Approach to Leveraging the Internet of Things in the Maritime

- Industry. In: Yilmaz, M., Niemann, J., Clarke, P., Messnarz, R. (eds) *Systems, Software and Services Process Improvement. EuroSPI 2020. Communications in Computer and Information Science*, vol 1251. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56441-4_18.
- Kolodziejski, M. & Michalska-Pozoga, I. (2023). Battery Energy Storage Systems in Ships' Hybrid/Electric Propulsion Systems. *Energies*. 16, 1122. <https://doi.org/10.3390/en16031122>.
- Law, L.C. Foscoli, B. Mastorakos, E. & Evans. S. (2021). A comparison of alternative fuels for shipping in terms of lifecycle energy and cost *Energies*, 14 (24). p. 8502, <https://doi.org/10.3390/en14248502>.
- Lin, D.Y. Juan, C.J. & M. N. (2021). Evaluation of green strategies in maritime liner shipping using evolutionary game theory. *J. Clean. Prod.*, 279. Article 123268. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123268>.
- Lin, B. Zheng, M., Chu, X. *et al.* An overview of scholarly literature on navigation hazards in Arctic shipping routes. *Environ Sci Pollut Res* 31, 40419–40435 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29050-2>.
- Lindstad, E. (2018). Alternative fuels versus traditional fuels in shipping. Paper presented at the SNAME 6th International Symposium on Ship Operations, Management and Economics, Athens, Greece. <https://doi.org/10.5957/SOME-2018-014>
- Sadiq M. *et al.*, (2021). "Future Greener Seaports: A Review of New Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75568-75587. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3081430>.
- Malmberg, F. von. (2023). Advocacy coalitions and policy change for decarbonisation of international maritime transport: The case of FuelEU maritime. *Maritime Transport Research*. 4, 100091. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2023.100091>.
- Meijer, F. 2024. Decarbonizing the European Maritime Industry Using RFNBOs. A Techno-Economic-Emission Analysis on the Effects of FuelEu Maritime Legislation in the EEA Fuel Mix with Special Focus on RFNBOs. Utrecht University. Thesis. 1-77. <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/47305>.
- Olaniyi, E.O., Solarte-Vasquez, M.C. & Inkinen T. (2024). Smart regulations in maritime governance: Efficacy, gaps, and stakeholder perspectives. *Mar Pollut Bull*. 202:116341. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116341>.

- Ortega, A., Gkoumas, K., Tsakalidis, A. & Pekár, F. (2021). Low-Emission Alternative Energy for Transport in the EU: State of Play of Research and Innovation. *Energies*. 14, 7764. <https://doi.org/10.3390/en14227764>.
- Pettit, S., Wells, P., Haider, J. & Abouarghoub, W. (2018). Revisiting history: can shipping achieve a second socio-technical transition for carbon emissions reduction? *Transp. Res. D Transp. Environ.* 58. pp. 292- 307. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.001>.
- Pirotta, V., Grech, A., Jonsen, I. D., Laurance, W. F., & Harcourt, R. G. (2019). Consequences of global shipping traffic for marine giants. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(1), 39–47. <https://doi.org/10.1002/fee.1987>.
- Poulsen, R.T. & Sampson, H. (2020). A swift turnaround? abating shipping greenhouse gas emissions via port call optimization. *Transp. Res. D Transp. Environ.* 86:102460. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102460>.
- Prpić-Oršić, J., Vettor, R., Faltinsen, O. M., & Guedes Soares, C. (2016). The influence of route choice and operating conditions on fuel consumption and CO₂ emission of ships. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(3), 434–457. <https://doi.org/10.1007/s00773-015-0367-5>.
- Rahim, M. M., Islam, M. T., & Kuruppu, S. (2019). Shipping companies' accountability in ballast water–induced pollution regulation. *Environmental and Planning Law Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3441641>.
- Rajkovic, R., Zrnic, N., Bojic, S. & Stakic, Đ. (2016). Role of Cargo Weight and Volume: Minimizing Costs and CO₂ Emissions in Container Transport. In: Clausen, U., Friedrich, H., Thaller, C., Geiger, C. (eds) *Commercial Transport. Lecture Notes in Logistics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21266-1_10.
- Riyadh, M. (2024). Transforming the Shipping Industry with Autonomous Ships and Artificial Intelligence. *Maritime Park Journal of Maritime Technology and Society*, 16–21. <https://doi.org/10.62012/mp.v3i2.35386>.
- Steen, M., Bach, H., Bjørgum, Ø., Hansen, T. & Kenzhegalieva, A. (2019). Greening the fleet: a technological innovation system (TIS) analysis of hydrogen, battery electric, liquefied biogas, and biodiesel in the maritime sector. *SINTEF Rep.*, 297 (93), 126651. https://lucris.lub.lu.se/ws/files/69087233/GREENFLEET_TIS_analysis_report_2019.pdf.

- Tran, N. K., & Lam, J. S. L. (2021). Effects of container ship speed on CO2 emission, cargo lead time and supply chain costs. *Research in Transportation Business & Management*, 43, 100723. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100723>.
- Vassileva, A. (2022). Green Public-Private Partnerships (PPPs) as an instrument for sustainable development. *Journal of World Economy Transformations & Transitions*. <https://doi.org/10.52459/jowett25221122>.
- Wang, Y. & Wright, L.A. (2021). A comparative review of alternative fuels for the maritime sector: economic, technology, and policy challenges for clean energy implementation. *WORLD*, 2 (4). pp. 456-481, <https://doi.org/10.3390/world2040029>.
- Wilberforce, T., Olabi, A., Muhammad, I., Alaswad, A., Sayed, E. T., Abo-Khalil, A. G., Maghrabie, H. M., Elsaid, K., & Abdelkareem, M. A. (2022). Recovery of waste heat from proton exchange membrane fuel cells – A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 933–972. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.08.069>.
- Yan, R., Wang, S., & Psaraftis, H. N. (2021). Data analytics for fuel consumption management in maritime transportation: Status and perspectives. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 155, 102489. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102489>.
- Zhang, L., Lai, Kh. & Yang, D. (2024). Shipping ecosystem: concept and policy implications. *Marit Econ Logist*. <https://doi.org/10.1057/s41278-024-00305-0>.

Διαδικτυακοί Τόποι

- Chircop et al., 2024. <https://www.cigionline.org/publications/shipping-and-climate-change-international-law-and-policy-considerations/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Clydeco, 2025. <https://www.clydeco.com/en/insights/2024/12/fueleu-maritime-series-part-3-timeline> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Consilium, 2025. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Consilium E.C., 2025. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-8164-2023-INIT/en/pdf> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Consilium E.U., 2025. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).

- Council of the European Union (2021). Fit for 55 - The EU's plan for a green transition. [online] Consilium. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Dias, 2025. <https://dias.library.tuc.gr/view/92822?locale=el> (Τελευταία επίσκεψη 31/03/2025).
- DNV, 2025. <https://www.dnv.com/maritime/publications/energy-efficiency-report-download/> (Τελευταία επίσκεψη 31/03/2025).
- ECA, 2025. https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr15_06/sr15_06_el.pdf?utm (Τελευταία επίσκεψη 31/03/2025).
- EC, 2020. European Commission: Directorate-General for Mobility and Transport, Study on social aspects within the maritime transport sector – Final report, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/49520> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- E.C., 2025. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-12/factsheet_ets_en.pdf (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- E.C. EUROPA E.U., 2025. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13953-Decarbonising-the-shipping-sector-verification-activities-Article-13-5-FuelEU-Maritime-Regulation_en (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- EMSA, 2024. <https://www.emsa.europa.eu/eumaritimeprofile.html> (Τελευταία επίσκεψη 09/01/2025).
- EU, 2021. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2021:0635:FIN:EN:PDF> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Europarl, 2025. <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-fuel-eu-maritime> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Forbesgreece, 2025. <https://www.forbesgreece.gr/brand-voice/3816669/anemos-to-katharotero-kai-fthinotero-kausimo-gia-ta-ploia?utm> (Τελευταία επίσκεψη 31/03/2025).
- Fuelreadyports, 2025. <https://fuelreadyports.org/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- ICS, 2024. <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/> (Τελευταία επίσκεψη 09/01/2025).
- ICS, 2025. <https://www.ics-shipping.org/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- IMO, 2024. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Historic-Background-.aspx> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).

- IMO, 2025α. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- IMO, 2025β. <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/data-collection-system.aspx> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- IMO, 2025γ. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Maritime Cyprus, 2024. <https://maritimecyprus.com/wp-content/uploads/2021/12/FuelEU-Maritime-Avoiding-Unintended-Consequences-1.pdf> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- MTR, 2024. <https://maritimetechnologyreview.com/2024/09/12/new-method-optimizes-ship-propulsion-maintenance-to-cut-emissions-and-costs/?utm> (Τελευταία επίσκεψη 14/05/2025).
- Normecverifavia, 2025. <https://normecverifavia.com/news/penalty-calculations-under-fueleu-maritime/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Refindustry, 2024. https://refindustry.com/upload/JRC139377_01.pdf (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Sertica, 2025. https://www.sertica.com/wp-content/uploads/2025/02/EN-How-to-calculate-FuelEU-penalties-Dashboard-Examples.pdf?utm_source=ActiveCampaign&utm_medium=email&utm_content=Your%20FuelEU%20guide%20is%20ready&utm_campaign=VRS%20campaign%3A%20Mail%201%20%28guide%29%20-&vgo_ee=RMVPiOe6EyYVMalTIACxaR9X1pu2rCKq2zgmHluNmKqb7kE%3D%3ABQ7EqBvH3llyLUw8vOE37D%2FbSgJdmo3A (Τελευταία επίσκεψη 31/03/2025)
- Sinay, 2025. <https://sinay.ai/en/impact-of-new-imo-regulations-on-global-shipping-in-2024/> (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Transport, 2024. https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/european-commission-launches-ship-financing-portal-boost-maritime-sectors-green-transition-2024-07-29_en (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Transport, 2025α. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).
- Transport, 2025β. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/maritime/decarbonising-maritime-transport-fueleu-maritime_en (Τελευταία επίσκεψη 20/02/2025).

Yoo, B.Y. (2017). Economic assessment of liquefied natural gas (LNG) as a marine fuel for CO₂ carriers compared to marine gas oil (MGO). *Energy*, 121, 772–780. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.061>.