



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**Η επίδραση των νέων κανονισμών για την
απανθρακοποίηση και ειδικά του κανονισμού
FuelEU στην βιωσιμότητα των ναυτιλιακών
εταιρειών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συγγραφέας

Κωνσταντίνος Οδυσσέας Χουσιαδας

Αθήνα, Ιούνιος 2023

Περίληψη Διπλωματικής

Καθώς η ναυτιλία αναπτύσσεται ραγδαία, νέοι κανονισμοί επιβάλλονται με σκοπό την μείωση των εκπομπών και τον ρύπων κατά τις ναυτιλιακές δραστηριότητες. Η θεσμοθέτηση νέων νομοθεσιών και ειδικότερα της FuelEU initiative υπόσχεται να έχει σημαντική επίδραση στην απανθρακοποίηση (decarbonization) των ναυτιλιακών εταιριών. Η ενσωμάτωση τέτοιων νομοθεσιών θα προυποθέτει την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών και την πραγματοποίηση κατάλληλων ενεργειών από τη ναυτιλία προκειμένου να ικανοποιούν τους νέους στόχους κατά MARPOL εκπομπών ρύπων.

Η FuelEU Maritime Initiative, επικεντρώνεται στην απαίτηση όλων των πλοίων εντός των ευρωπαϊκών λιμένων να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων (GHG) και τονίζει την αναγκαιότητα των εταιριών να διερευνήσουν της προοπτική εναλλακτικών μορφών καυσίμων πέραν του VLSFO (Very Low Sulfur Fuel Oil), όπως η αμμωνία (NH₃), κυψέλες υδρογόνου (fuel cells) ακόμη και ναυτιλιακά βιοκαύσιμα (Marine biofuels). Επομένως δημιουργείται η ανάγκη του ερωτήματος της επίδρασης των νομοθεσιών αυτών που απαιτούν την μείωση των εκπομπών στην βιωσιμότητα των ναυτιλιακών εταιριών. Η πρόκληση της επένδυσης σε ενεργειακά αποδοτικά πλοία μειωμένων εκπομπών απαιτεί την επένδυση σε τεχνολογίες υψηλού κεφαλαίου, πιθανότατα retrofits των κύριων μηχανών σε dual fuel και εγκατάσταση συστημάτων μείωσης των εκπομπών όπως scrubbers και carbon capture storages.

Στην παρακάτω διπλωματική καλούμαστε να παρουσιάσουμε με κατάλληλη μελέτη βιωσιμότητας την επίδραση που έχουν οι κανονισμοί απανθρακοποίησης και ειδικότερα η FuelEU directive στις ναυτιλιακές δραστηριότητες.

Thesis Abstract

The implementation of new regulations, particularly the FuelEU Maritime initiative, has had a significant impact on the decarbonization and sustainability of maritime companies. The adoption of these regulations has led to the development of more environmentally friendly technologies and practices in the shipping industry, as companies strive to meet the new emissions targets and comply with the regulations.

The FuelEU Maritime initiative, which requires all ships using EU ports to reduce their greenhouse gas emissions, has prompted companies to explore alternative fuel sources such as hydrogen and biofuels, and to invest in more energy-efficient vessels. These changes have not only helped to reduce emissions and improve the sustainability of the industry but also to enhance the competitiveness of the companies that have embraced these changes.

While there are challenges associated with the implementation of these new regulations, such as the high costs of adopting new technologies and the need for investment in infrastructure, the benefits are clear. By reducing emissions and improving sustainability, maritime companies are not only fulfilling their responsibilities to the environment but also positioning themselves for long-term success in a rapidly evolving industry.

In the following thesis we want to investigate the effects of implementing such legislation, especially the FuelEU directive in the sustainability of the maritime companies.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	1
1.1	Θαλάσσιες Μεταφορές στην Ναυτιλία	1
1.2	Ναυτιλιακά Καύσιμα	2
1.3	Οι Στόχοι των Θεσμών	4
2	Καύσιμα και Εκπομπές Ρύπων	7
2.1	Εκτιμήσεις και Προβλέψεις Εκπομπών	7
2.2	Market Based Μέθοδοι (MBM) και Bunker Levy	9
2.3	Εναλλακτικά Καύσιμα και Εναλλακτική Πρόωση	10
2.4	Πολιτικοί Θεσμοί και Κανονισμοί	11
2.5	Η Θέση των Ορυκτών Καυσίμων μελλοντικά	13
2.6	Προοπτικές για Ναυτιλιακές Πράσινες Επενδύσεις	14
3	FuelEU Maritime Initiative	15
3.1	Περιγραφή του Πλαισίου Νομοθεσίας	15
3.2	Τρέχουσες Συνθήκες και Οδηγίες κατά Ε.Ε.	17
3.3	Κοινοβουλευτική Αφετηρία	20
3.4	Ανάπτυξη της Πρότασης FuelEU	20
3.5	Συμβουλευτικές Επιτροπές και Νομοθετικά Όργανα	23
3.6	Κλίση των Εθνικών Νομοθετικών Οργάνων	23
3.7	Απόψεις των Ενδιαφερόμενων Μερών (Stakeholders)	23
3.8	Προοπτικές Εμπειρογνομώνων	25
3.9	Νομοθετική Διαδικασία	26
3.10	Η Νομοθεσία FuelEU στην Ναυτιλία	30
3.11	EU MRV Και Όρια Έντασης GHG	33
3.12	Αξιολόγηση Δεδομένων MRV	35
3.13	Πρόβλεψη οδών συμμόρφωσης για εναλλακτικά καύσιμα	39
4	Μεθοδολογία Διπλωματικής.....	44
4.1	Νομοθεσία FuelEU και Όρια Εκπομπών	44
4.2	Στρατηγικές Επίτευξης Ορίων Εκπομπών κατά FuelEU	48
5	Αποτελέσματα Διπλωματικής.....	49

5.1	Εφικτότητα Εγκατάστασης Dual Fuel Τεχνολογιών	49
5.2	Μελέτη Εφικτότητας Τεχνολογίας Carbon Capture	60
6	Συμπεράσματα και Επίλογος	68
6.1	Συμπεράσματα Διπλωματικής	68
6.2	Βιωσιμότητα Τεχνολογιών Μείωσης Εκπομπών CO ₂	69
6.3	Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	71
7	Βιβλιογραφία και Πηγές.....	73

1

Εισαγωγή

1.1 Θαλάσσιες Μεταφορές στην Ναυτιλία

Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ζωτικής σημασίας για την παγκόσμια οικονομία, αλλά εξακολουθούν να βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα. Αυτός ο κλάδος εξασφαλίζει τη μεταφορά εμπορευματικών αγαθών, επιβατών και πετρελαίου από το ένα μέρος του κόσμου στο άλλο, αποτελώντας έτσι το κύριο μέσο παγκόσμιας συνδεσιμότητας. Οι θαλάσσιες μεταφορές προσφέρουν οικονομική αποδοτικότητα, καθώς τα πλοία μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες εμπορευμάτων σε συνεχή βάση. Επιπλέον, αυτές οι μεταφορές είναι περιβαλλοντικά φιλικές, αφού οι πρόσφατες τεχνολογικές προόδους έχουν οδηγήσει σε μείωση της ρύπανσης και της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Οι θαλάσσιες μεταφορές προσφέρουν επίσης ευκαιρίες απασχόλησης και είναι σημαντική πηγή εσόδων για πολλές χώρες που εξαρτώνται από τη θάλασσα για την οικονομία τους. Συνολικά, οι θαλάσσιες μεταφορές στη ναυτιλία αποτελούν έναν ζωτικό τομέα που συνδέει τον κόσμο και συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη και τη βιωσιμότητα των εθνών. Εάν δεν λάβουμε μέτρα πέραν της ενεργειακής απόδοσης και των λύσεων που βασίζονται στην αγορά, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τα πλοία θα συνεχίσουν να αυξάνονται. Στην παρούσα διπλωματική, προτείνουμε έναν τολμηρό στόχο για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στη ναυτιλία έως το 2050. Αυτή η προθεσμία παροτρύνει τον τομέα της ναυτιλίας να στραφεί άμεσα σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Συμφωνίας του Παρισιού (Paris agreement).

Η ναυτιλία, παρότι αποτελεί σημαντικό μέσο μεταφοράς, δυστυχώς συνεπάγεται και την παραγωγή ορισμένων μορφών ρύπων. Οι πλοίοι καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες καυσίμων, όπως πετρέλαιο ναυτιλίας, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του θείου. Επιπλέον, η απόρριψη λυμάτων και αποβλήτων από τα πλοία μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και το

θαλάσσιο οικοσύστημα. Για τη μείωση αυτής της επίδρασης, έχουν θεσπιστεί διεθνείς και περιφερειακές ρυθμίσεις που απαιτούν τη χρήση πιο καθαρών καυσίμων και την εφαρμογή τεχνολογιών μείωσης εκπομπών στα πλοία. Επιπλέον, οι ναυτιλιακές εταιρείες προωθούν πρωτοβουλίες για τη βελτίωση της απόδοσης καυσίμων, τον περιορισμό της θορύβου και την εφαρμογή βέλτιστων περιβαλλοντικών πρακτικών. Παρά τις προκλήσεις, πρέπει να αναγνωριστεί ότι η ναυτιλία έχει σημειώσει πρόοδο στη μείωση των ρύπων της. Οι σύγχρονες τεχνολογίες πλοίων προσφέρουν πιο αποδοτικές και καθαρές λύσεις, όπως τα πλοία με υγραέριο φυσικού αερίου (LNG) ως καύσιμο. Επιπλέον, οι επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη προωθούν την καινοτομία για ακόμη πιο βιώσιμες μεθόδους μεταφοράς θαλάσσιων εμπορευμάτων. Συνεπώς, η ναυτιλία βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη προς την κατεύθυνση της βιωσιμότητας, με την ανάπτυξη και υιοθέτηση πιο φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων, προκειμένου να μειωθεί η επίδρασή της στην παραγωγή ρύπων και να διατηρηθεί η υγεία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

1.2 Ναυτιλιακά Καύσιμα

Τα καύσιμα αποτελούν ένα ουσιαστικό στοιχείο της ναυτιλίας, καθώς εξασφαλίζουν την κίνηση και τη λειτουργία των πλοίων. Η επιλογή του κατάλληλου καυσίμου επηρεάζει την απόδοση, την περιβαλλοντική επίπτωση και την οικονομική βιωσιμότητα του ναυτιλιακού τομέα. Ας ρίξουμε μια ματιά στα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία:

Πετρέλαιο ναυτιλίας (Heavy Fuel Oil - HFO): Το HFO είναι το πιο κοινό καύσιμο που χρησιμοποιείται στη ναυτιλία. Είναι χαμηλού κόστους και παρέχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Ωστόσο, παράγει υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (όπως διοξείδιο του άνθρακα) και ρύπων (όπως διοξείδιο του θείου), οι οποίες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Υγραέριο φυσικού αερίου (Liquefied Natural Gas - LNG): Το LNG αποτελεί μια πιο καθαρή εναλλακτική λύση στο HFO. Παράγει λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και μειώνει τις εκπομπές ρύπων, όπως του θείου. Επιπλέον, το LNG είναι πιο αποδοτικό σε σχέση με το HFO και έχει λιγότερες απώλειες καυσίμου.

Υγροποιημένο πετρέλαιο (Liquefied Petroleum Gas - LPG) και μεθανόλη: Αυτά τα καύσιμα προσφέρουν καθαρές επιλογές, καθώς παράγουν λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ρύπων σε σχέση με το HFO. Ωστόσο, η χρήση τους είναι περιορισμένη στη ναυτιλία λόγω της περιορισμένης υποδομής και διαθεσιμότητάς τους.

Fuel Switching: Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η αλλαγή καυσίμου κατά τη διάρκεια της πλοήγησης. Για παράδειγμα, τα πλοία μπορούν να χρησιμοποιήσουν HFO κατά την πλοήγηση σε ανοιχτά ύδατα και να μεταβούν σε καθαρότερο καύσιμο, όπως το LNG, κατά την είσοδο σε περιοχές με αυστηρότερους κανονισμούς περί εκπομπών.

Παράλληλα, σημειώνεται η τάση για την ανάπτυξη και εισαγωγή νέων καθαρών τεχνολογιών στη ναυτιλία, όπως η χρήση κυκλώνιων φίλτρων, εκτεταμένων συστημάτων επεξεργασίας εκπομπών και αιολικής ή ηλιακής ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών και τη βελτίωση της απόδοσης των πλοίων. Το 2019, οι θαλάσσιες μεταφορές διακίνησαν 11,08 δισεκατομμύρια τόνους εμπορευμάτων, σημειώνοντας αύξηση 85% από το 2000 [1]. Σχεδόν το σύνολό τους στηρίχθηκε σε ορυκτά καύσιμα. Το βαρύ μαζούτ (HFO), το οποίο είναι ουσιαστικά απόβλητα διωλιστηρίων, τροφοδοτεί το 79% των θαλάσσιων μεταφορών, ενώ το υπόλοιπο οφείλεται στο ναυτιλιακό πετρέλαιο ντίζελ, το ναυτιλιακό πετρέλαιο αερίου και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) [2]. Το LNG έχει αναδειχθεί ως ένα από τα πιο ελπιδοφόρα εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και είναι χαμηλότερο σε ρύπους από τα παραδοσιακά καύσιμα. Η χρήση του LNG στα πλοία οδηγεί σε μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, θείου και αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, παρέχει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και μειώνει τον θόρυβο κατά τη λειτουργία του πλοίου.. Η απαλλαγή των θαλάσσιων μεταφορών από τις εκπομπές CO₂ αποτελεί τεράστια πρόκληση, η οποία δεν θα πρέπει να περιοριστεί χρονικά μόνο στην υποχρεωτική προθεσμία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι προσπάθειες για τη μείωση της περιβαλλοντικής επίπτωσης των καυσίμων στη ναυτιλία είναι συνεχείς. Πολλές χώρες και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει αυστηρότερους κανονισμούς για τις εκπομπές των πλοίων και προωθούν την έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και βιώσιμων καυσίμων στον τομέα της ναυτιλίας.

Η επίδραση των εναλλακτικών καυσίμων στην ναυτιλία είναι θετική από περιβαλλοντικής και αειφόρου απόψεως. Με τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ρύπων, συνεισφέρουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την προστασία της υγείας του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Επιπλέον, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από τα παραδοσιακά καύσιμα και να διασφαλίσει μια πιο βιώσιμη και ασφαλή προμήθεια ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας.

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα των εναλλακτικών καυσίμων, υπάρχουν και ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι υποδομές για την προμήθεια και αποθήκευση εναλλακτικών καυσίμων είναι περιορισμένες, και απαιτείται η επένδυση στην ανάπτυξη αυτών των υποδομών. Επιπλέον, οι κινητήρες και τα συστήματα των πλοίων πρέπει να προσαρμοστούν για να λειτουργούν αποτελεσματικά με εναλλακτικά καύσιμα.

Συνολικά, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στη ναυτιλία είναι ένα βήμα προς την κατεύθυνση μιας πιο βιώσιμης και περιβαλλοντικά φιλικής ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η επίδρασή τους συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών και την προστασία του περιβάλλοντος, παρέχοντας ταυτόχρονα οικονομικά οφέλη και προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων θα πρέπει να συνεχίσουν να υποστηρίζονται, προκειμένου να επιτευχθούν ακόμα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών.

Συνολικά, η επιλογή και η χρήση κατάλληλων καυσίμων στη ναυτιλία είναι αναγκαία για την επίτευξη μιας πιο βιώσιμης και περιβαλλοντικά φιλικής ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή πιο καθαρών τεχνολογιών και η προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των εκπομπών ρύπων και την προστασία του περιβάλλοντος στον τομέα της ναυτιλίας.

1.3 Οι Στόχοι των Θεσμών

Οι θεσμοί, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν θέσει σημαντικούς στόχους σχετικά με τους ρύπους στη ναυτιλία, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Ορισμένοι από αυτούς τους στόχους περιλαμβάνουν:

Μείωση εκπομπών θείου: Ένας από τους βασικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η μείωση των εκπομπών θείου από τη ναυτιλία. Αυτό έχει οδηγήσει στη θέσπιση των οδηγιών για την περιορισμένη περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από πλοία σε ευρωπαϊκά ύδατα και λιμάνια. Οι νέες προδιαγραφές προβλέπουν χαμηλότερα όρια θείου, προωθώντας την χρήση χαμηλόθειου καυσίμου ή εναλλακτικών καυσίμων όπως το υγραέριο φυσικού αερίου (LNG).

Μείωση εκπομπών CO₂: Οι θεσμοί έχουν θέσει στόχους για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τη ναυτιλία. Αυτό απαιτεί την προώθηση της εφαρμογής τεχνολογιών που επιτρέπουν την αποδοτικότερη καύση των καυσίμων, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων και την υποστήριξη της έρευνας και ανάπτυξης για τις νέες τεχνολογίες.

Μείωση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων: Τα αιωρούμενα σωματίδια από την καύση των καυσίμων στη ναυτιλία μπορούν να έχουν αρνητική επίδραση στην ατμόσφαιρα και την υγεία. Οι θεσμοί επιδιώκουν τη μείωση αυτών των εκπομπών μέσω της εφαρμογής πιο αποτελεσματικών συστημάτων φιλτραρίσματος και την προαγωγή της χρήσης καθαρότερων καυσίμων.

Προαγωγή της εφαρμογής τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον: Οι θεσμοί ενθαρρύνουν την ανάπτυξη και την υιοθέτηση τεχνολογιών που μειώνουν τις εκπομπές και τους ρύπους στην ναυτιλία. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν τα καθαριστικά συστήματα εξάτμισης, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου εκπομπών.

Οι παραπάνω στόχοι αποτελούν το πλαίσιο για την προώθηση μιας περιβαλλοντικά φιλικής και βιώσιμης ναυτιλιακής βιομηχανίας. Μέσω της εφαρμογής αυτών των στόχων, προωθείται η μείωση της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα, η προστασία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων που εξαρτώνται από τη θαλάσσια μεταφορά.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι ο κύριος θεσμικός φορέας που ρυθμίζει την πολιτική εκπομπών ρύπων στη ναυτιλία. Ο IMO έχει θεσπίσει διάφορα μέτρα και κανονισμούς με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, τη μείωση της ρύπανσης και την προώθηση της βιώσιμης ναυτιλίας. Ο IMO έχει εισαγάγει το Πρότυπο Διεθνούς Κανονισμού για τη Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL), το οποίο καθορίζει τις προδιαγραφές για τις εκπομπές από τα πλοία. Οι κανονισμοί MARPOL περιλαμβάνουν όρια εκπομπών θείου, αιωρούμενων σωματιδίων, οξειδίων του αζώτου και άλλων ρύπων, καθώς και πρότυπα για την απορρόφηση και επεξεργασία των λυμάτων πλοίων. Ο IMO έχει επίσης θεσπίσει τον Διεθνή Κώδικα για τη Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (ISPS), που προβλέπει τις προδιαγραφές για την ασφάλεια των πλοίων και των λιμένων. Αυτός ο κώδικας περιλαμβάνει κανονισμούς για την πρόληψη των εκπομπών CO₂ και την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Ο IMO έχει θεσπίσει κανονισμούς για την επεξεργασία και τη διάθεση των αποβλήτων που παράγονται από τα πλοία. Αυτοί οι κανονισμοί περιλαμβάνουν την υποχρέωση των πλοιοκτητών να διαθέτουν ασφαλή συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων και την απαίτηση να απορρίπτονται τα απόβλητα σύμφωνα με τους κανονισμούς IMO. Ο IMO έχει θεσπίσει την Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS), που περιλαμβάνει κανονισμούς για τη μεταφορά επικίνδυνων ουσιών. Αυτοί οι κανονισμοί προβλέπουν τις απαιτήσεις για την ασφάλεια των πλοίων και τη μεταφορά τέτοιων ουσιών, με σκοπό την πρόληψη της ρύπανσης των θαλασσών

από επικίνδυνα φορτία. Οι πολιτικές εκπομπών ρύπων στη ναυτιλία που θεσπίζονται από τον IMO αναθεωρούνται και ενημερώνονται τακτικά για να ανταποκριθούν στις εξελίξεις της τεχνολογίας, της επιστήμης και των περιβαλλοντικών προκλήσεων. Με την υποστήριξη και τη συνεργασία των κρατών μελών και των διεθνών ενώσεων, ο IMO συνεχίζει να εργάζεται για την προώθηση της βιώσιμης ναυτιλίας και τη μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα και στις θάλασσες. Οι εκθέσεις του IPCC έχουν σημαντική επίδραση στον καθορισμό των πολιτικών στόχων που σχετίζονται με τις εκπομπές ρύπων στην ναυτιλία. Μέσω της αξιολόγησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των εκτιμήσεων για την αντιμετώπισή της, το IPCC συνεισφέρει στην κατάρτιση διεθνών συμφωνιών και πολιτικών που αφορούν τις εκπομπές ρύπων στη ναυτιλία. Συνολικά, οι κύριοι στόχοι που τίθενται από τη διεθνή κοινότητα και που έχουν επηρεαστεί από την εργασία του IPCC, σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων στη ναυτιλία, περιλαμβάνουν την μείωση των εκπομπών SO₂, CO₂: Οι εκπομπές θείου από τα πλοία μπορούν να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία. Έχουν τεθεί στόχοι για τη μείωση των περιεκτικότητων θείου στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα πλοία, με την υιοθέτηση χαμηλόθειων ή αποκαθιδρωμένων καυσίμων. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν σημαντικό μέρος των συνολικών εκπομπών του κλάδου. Έχουν θεσπιστεί στόχοι για τη μείωση των εκπομπών CO₂ της ναυτιλίας, με την υιοθέτηση μέτρων όπως η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών.

Οι προσπάθειες των θεσμών επικεντρώνονται στην ανάπτυξη και εφαρμογή μέτρων που θα προάγουν τη βιώσιμη ναυτιλία, περιλαμβάνοντας την ανανέωση του στόλου με πιο αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία, την προώθηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και την υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών για τη μείωση των εκπομπών.

Η IPCC έχει θέσει ως στόχο την πλήρη απεξάρτηση από τον άνθρακα έως το 2050 και πολλές προσπάθειες καταβάλλονται για να διασφαλιστεί ότι οι κυβερνήσεις θα αγκαλιάσουν αυτόν τον στόχο και θα λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για την επίτευξή του. Ωστόσο, το Πρωτόκολλο του Κιότο του 1997 αναφέρει ότι οι διεθνείς εκπομπές από τη ναυτιλία είναι πολύ περίπλοκες για να κατανεμηθούν σε εθνικά καθορισμένες συνεισφορές (NDC) και, ως εκ τούτου, παραμένουν στη δικαιοδοσία του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) [3]. Παρ' όλα αυτά, ο IMO έχει θέσει στόχο μείωσης κατά 50% έως το 2050. Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού και το σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων εισήχθησαν το 2011 και οι δυνατότητες για μελλοντικές ΕΔΣ συζητούνται αλλά δεν έχουν ακόμη συμφωνηθεί [4].

2

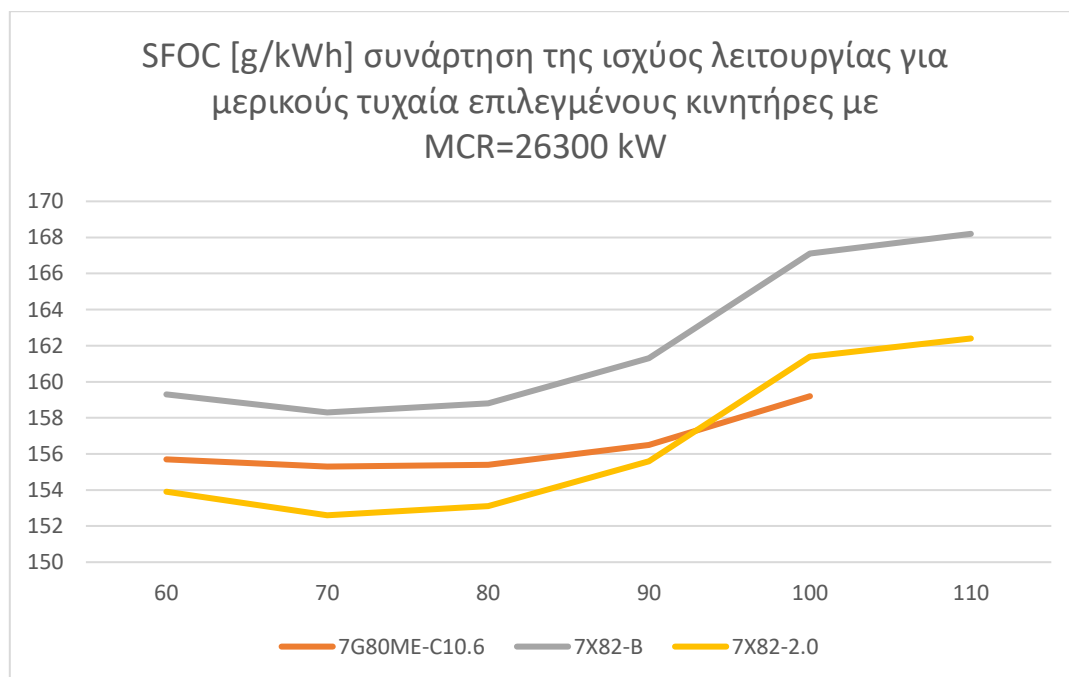
Καύσιμα και Εκπομπές Ρύπων

2.1 Εκτιμήσεις και Προβλέψεις Εκπομπών

Οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις για τις εκπομπές ρύπων στη ναυτιλία βασίζονται σε εκτεταμένη έρευνα και ανάλυση δεδομένων από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), τον Οργανισμό IPCC και άλλους αναγνωρισμένους επιστημονικούς φορείς. Οι προβλέψεις αυτές επικεντρώνονται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), θείου (SO_x), αζώτου (NO_x), σωματιδίων και άλλων ρύπων που παράγονται από τη ναυτιλία. Μια σημαντική εκτίμηση αφορά τις εκπομπές CO₂ στη ναυτιλία. Σύμφωνα με τον IMO, οι εκπομπές CO₂ από τα πλοία αυξήθηκαν σημαντικά τα τελευταία χρόνια, καθώς η παγκόσμια ναυτιλία αυξήθηκε και αυξήθηκε η ανάγκη για μεταφορά εμπορευμάτων. Προβλέπεται ότι οι εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία θα συνεχίσουν να αυξάνονται στο μέλλον, εκτός εάν ληφθούν συναφείς μέτρα μείωσης. Επιπλέον, οι προβλέψεις αναφέρονται στη μείωση των εκπομπών θείου (SO_x) από τα πλοία. Μετά τη θέσπιση των περιορισμών στα επιτρεπόμενα όρια θείου για τα καύσιμα πλοίων, αναμένεται ότι οι εκπομπές θείου θα μειωθούν σημαντικά στο μέλλον. Επιπλέον, οι εκπομπές αζώτου (NO_x) είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης στη ναυτιλία. Προβλέπεται ότι οι εκπομπές NO_x θα μειωθούν με την υιοθέτηση τεχνολογιών και μέτρων ελέγχου εκπομπών στα πλοία.

Από το 2000, το συνολικό μεταφερόμενο φορτίο, τα ton-miles (τονοχιλιόμετρα) και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί, αν και η ένταση του διοξειδίου του άνθρακα έχει μειωθεί (βλ. Σχήμα 1) [1]. Περισσότερο από το ήμισυ αυτής της βελτίωσης σημειώθηκε πριν από το 2012, χάρη σε μεγάλο βαθμό στο slow steaming. Η πρακτική αυτή της μείωσης της ταχύτητας υπηρεσίας των πλοίων οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ ανά ton-miles. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι εγκαταστάσεις πρόωσης των περισσότερων εμπορικών πλοίων σημειώνουν το ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου (SFOC) στο 75% περίπου της μέγιστης συνεχούς ισχύος MCR. Για παράδειγμα, για ένα τυχαία επιλεγμένο bulk carrier, θεωρούμε επιλέγεται ταχύτητα υπηρεσίας 11 knots έναντι των 14 knots της ταχύτητας σχεδίασης (21% μείωση). Αυτή η μείωση στην ταχύτητα, χρήση των δεδομένων από τα sea trials (προσδιορίζονται από καμπύλη έλικας σε αυτό το παράδειγμα) μεταφράζεται σε μείωση των στροφών 52 rpm (έναντι του αρχικού 66 rpm) και από το διάγραμμα λειτουργίας του κινητήρα σε 17,500 kW (μείωση 32% έναντι του MCR=26,300 kW). Για το ίδιο πλοίο από την

καμπύλη κατανάλωσης που παρατίθεται παρακάτω, η μείωση αυτή στην ισχύ μεταφράζεται σε κατανάλωση καυσίμου 153.0 g/kWh (έναντι 161.4 g/kWh για MCR). Δηλαδή κατά την υπηρεσία θα καταναλώνει 2.67 ton/h (έναντι 4.24 ton/h για MCR). Άρα μια μείωση της τάξης του 21% στην ταχύτητα οδηγεί σε μείωση της τάξης του 37% για τις εκπομπές CO₂ ανά χρονική μονάδα. Συνολικά, οι προβλέψεις για τις εκπομπές ρύπων στη ναυτιλία εστιάζουν στην ανάπτυξη τεχνολογιών και μέτρων που θα μειώσουν τις εκπομπές και θα προωθήσουν την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στον τομέα. Οι στόχοι περιλαμβάνουν την ανάπτυξη νέων καθαρών καυσίμων, την εφαρμογή αποδοτικών μεθόδων καύσης, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων και την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως το πλοίοινημα αέρα.



Διάγραμμα 1: SFOC [g/kWh] συνάρτηση της ισχύος λειτουργίας για μερικούς τυχαία επιλεγμένους κινητήρες του προς σχεδίαση πλοίου με MCR=26300 kW που μελετήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Εγκαταστάσεις πρόωσης» της ΣΝΜΜ του ΕΜΠ.

Η μέθοδος εκτίμησης των εκπομπών παρατηρούμε πως εξαρτάται έντονα από την κατάσταση της αγοράς καθώς σκοπός κάθε ναυτιλιακής εταιρίας είναι η μεγιστοποίηση των καθαρών κερδών της, και επομένως ενέργειες όπως slow steaming εξαρτώνται έντονα από την διακύμανση των ναύλων την τρέχουσα περίοδο μελέτης. Τα υψηλά ναύλα δεν προωθούν το slow steaming καθώς το κέρδος που θα αποκομίσει ο πλοιοκτήτης αν αυξήσει την ταχύτητα υπηρεσίας (και άρα το ετήσιο μεταφορικό του έργο) θα είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το επιπλέον κόστος καυσίμου που θα πληρώσει λόγω της αύξησης της κατανάλωσης. Αντίθετα για χαμηλά ναύλα ο πλοιοκτήτης επιλέγει το slow steaming για να μειώσει το κόστος υπηρεσίας.

Μετά την οικονομική κρίση του 2008-2012, οι μεταφορείς αντιμετώπισαν οικονομικές δυσκολίες λόγω της πλεονάζουσας παραγωγικής ικανότητας. Από το 2015 και μετά, έχουν επιτευχθεί μόνο περίπου 1-2% ετήσιες βελτιώσεις αποδοτικότητας. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) προβλέπει ότι, στην καλύτερη περίπτωση, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη διεθνή ναυτιλία θα παραμείνουν σταθερές έως το 2050, αλλά στη χειρότερη περίπτωση, θα αυξηθούν κατά 50% [2].

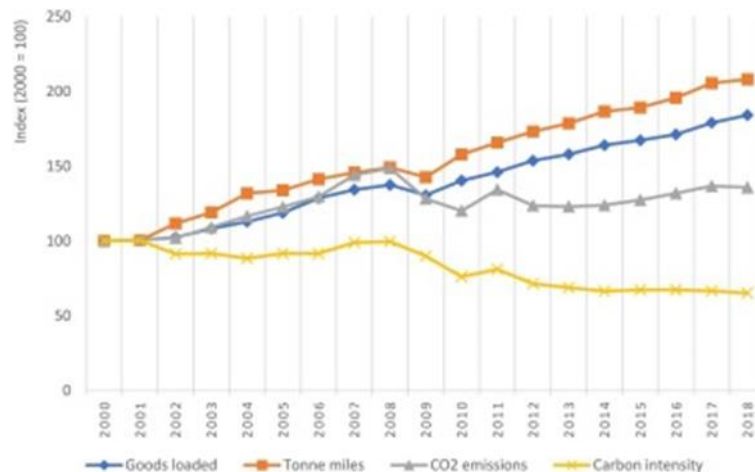


Fig. 2. Carbon intensity vs goods loaded, tonne miles and CO2 emissions, 2000–2018 (2000 = 100).[5] Van Leeuwen and J. Monios

2.2 Market Based Μέθοδοι (MBM) και Bunker Levy

Οι "Market Based Methods" είναι μέτρα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση και τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων στη ναυτιλία με βάση την αρχή της οικονομίας της αγοράς. Αυτά τα μέτρα ενθαρρύνουν τη μείωση των εκπομπών μέσω της δημιουργίας οικονομικών κινήτρων ή προστίμων που συνδέονται με τις εκπομπές ρύπων. Ένα παράδειγμα "Market Based Method" που χρησιμοποιείται στη ναυτιλία είναι το σύστημα της Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής (Emission Trading System - ETS). Μέσω αυτού του συστήματος, ορίζονται όρια εκπομπών για τα πλοία και εκδίδονται άδειες εκπομπής (emission allowances) σε ορισμένους φορείς. Οι φορείς αυτοί μπορούν να αγοράζουν και να πωλούν τις άδειες εκπομπής στην αγορά, ανάλογα με τις ανάγκες τους. Με αυτόν τον τρόπο, η αγορά των άδειων εκπομπής δημιουργεί οικονομικούς κινήτρους για τη μείωση των εκπομπών ρύπων, καθώς οι φορείς που μειώνουν τις εκπομπές τους μπορούν να πωλούν τα υπόλοιπα δικαιώματα σε άλλους που χρειάζονται περισσότερες άδειες. Ένα άλλο "Market Based Method" που χρησιμοποιείται είναι ο Φόρος Εκπομπής Ρύπων (Bunker Levy). Με αυτό το σύστημα, επιβάλλεται ένας φόρος στις εκπομπές ρύπων που προέρχονται από τα πλοία. Ο φόρος αυτός μπορεί να είναι βασισμένος σε μονάδες

όγκου καυσίμου που χρησιμοποιείται ή σε ποσοστό της αξίας του καυσίμου. Ο σκοπός είναι να δημιουργηθεί ένα οικονομικό κίνητρο για τις εταιρείες να μειώσουν τις εκπομπές τους και να επενδύσουν σε πιο καθαρές τεχνολογίες. Αυτά τα "Market Based Methods" δημιουργούν ένα περιβάλλον οικονομικής ενθάρρυνσης για τη μείωση των εκπομπών ρύπων στη ναυτιλία. Μέσω αυτών των μέτρων, επιδιώκεται η επίτευξη μακροπρόθεσμων και βιώσιμων λύσεων για τη μείωση της ρύπανσης στον ναυτικό τομέα. Αν και το γράφημα (2) δείχνει ότι η τρέχουσα πολιτική είναι προφανώς αναποτελεσματική, οι μηχανισμοί που βασίζονται στην αγορά (Market Based Measures MBM) είναι η δεύτερη σημαντική εναλλακτική πολιτική που συζητείται στον IMO [6]. Καθώς ο κλάδος είναι γενικά αντιδραστικός και όχι προληπτικός σε περιβαλλοντικά θέματα [7], θεωρώντας τις επενδύσεις αυτές ως πρόσθετο κόστος για τους πελάτες, ο IMO ευνοεί MBM όπως ένας φόρος άνθρακα ή ένα σύστημα εμπορίας εκπομπών. Ωστόσο, η συζήτηση αυτή έλαβε χώρα πριν από μια δεκαετία και εγκαταλείφθηκε το 2013 [8] χωρίς λύση. Και πάλι, εξετάζεται το ενδεχόμενο ενός μικρού bunker levy (τέλους άνθρακα), αλλά μέχρι στιγμής χωρίς επιτυχία, και είναι απίθανο να υπάρξει σοβαρή δράση σε αυτό το μέτωπο στο εγγύς μέλλον. Τέτοιες χρεώσεις ή ακόμη και ένας σημαντικός φόρος άνθρακα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία χρηματοδότησης για την έρευνα και την επιτάχυνση της μετάβασης, αλλά δεν θα οδηγούσαν στην απαλλαγή από τον άνθρακα [9].

2.3 Εναλλακτικά Καύσιμα και Εναλλακτική Πρόωση

Ενώ δεν υπάρχει επί του παρόντος κανένα άμεσα διαθέσιμο εναλλακτικό καύσιμο ή τεχνολογία για την απαλλαγή του τομέα από τον άνθρακα [10], η έρευνα και οι δοκιμές ανανεώσιμων καυσίμων συνεχίζονται. Τα καύσιμα αυτά περιλαμβάνουν επιλογές zero carbon (μηδενικού άνθρακα), όπως το υδρογόνο και η αμμωνία, επιλογές neutral carbon (ουδέτερου άνθρακα), όπως η συνθετική μεθανόλη, και βοηθητικές επιλογές, όπως η αιολική ενέργεια [11]. Ωστόσο, όπως ακριβώς οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τις τράπεζες και τις εταιρείες ορυκτών καυσίμων δεν μπορούν να αξιολογηθούν ανεξάρτητα από τις πολύ μεγαλύτερες συνεχιζόμενες επενδύσεις τους στην έρευνα και εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων, έτσι και οι προσπάθειες της ναυτιλιακής βιομηχανίας προς τα ανανεώσιμα καύσιμα δεν μπορούν να αξιολογηθούν ανεξάρτητα από τις πολύ μεγαλύτερες συνεχιζόμενες επενδύσεις τους στις επιχειρήσεις ορυκτών καυσίμων [12]. Δεδομένης της μακράς εμπορικής ζωής των πλοίων (20-30 έτη) και του μεγάλου χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τη μετάβαση σε ένα νέο σύστημα καυσίμων (που περιλαμβάνει όχι μόνο τα πλοία αλλά και την παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων, τη μεταφορά σε σημεία ανεφοδιασμού κ.λπ. Ελλείψει άμεσης νομοθετικής δράσης, τα εναλλακτικά καύσιμα, όπως το υδρογόνο και η αμμωνία, θα παραμείνουν μικρής κλίμακας και θα συνυπάρχουν με τη συνεχιζόμενη χρήση ορυκτών

καυσίμων μακροπρόθεσμα. Παρόλαυτα, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εναλλακτικής πρόωσης που έχουν προταθεί από ερευνητές ναυπηγούς με σκοπό τη μείωση της εξάρτησης από τα παραδοσιακά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών ρύπων. Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους περιλαμβάνουν: Ηλεκτρική Πρόωση: Τα ηλεκτρικά πλοία χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρες και μπαταρίες για την κίνησή τους, αντί για την παραδοσιακή εσωτερική καύση. Αυτό επιτρέπει τη μείωση των εκπομπών αερίων και θορύβου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Υδρογονοκίνηση: Η υδρογονοκίνηση είναι μια εναλλακτική πρόωση που χρησιμοποιεί υδρογόνο ως καύσιμο για τη λειτουργία του πλοίου. Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια, παρέχοντας καθαρή και αποδοτική πρόωση χωρίς εκπομπές αερίων. Ιστιοφορία: Η ιστιοφορία είναι μια παραδοσιακή και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος πρόωσης. Η χρήση ιστίων για την κίνηση των πλοίων επιτρέπει την εκμετάλλευση των φυσικών ανέμων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών ρύπων.

2.4 Πολιτικοί Θεσμοί και Κανονισμοί

Η Ναυτιλία ευθύνεται – μόνο - για το περίπου 3% των παγκοσμίων εκπομπών GHGs. Αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ινδία έχουν δηλώσει ότι δεν μπορούν παρά να χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για πολλά χρόνια ακόμα, δίνοντας έμφαση στην ταχεία οικονομική τους ανάπτυξη. Το οικονομικό κόστος της απανθρακοποίησης της Ναυτιλίας είναι τεράστιο. Οι νέες τεχνολογίες, το bunker levy και όλα τα μέτρα που υπάρχουν σήμερα στο τραπέζι δεν μπορούν να υποστηρικτούν άμεσα. Το κόστος της μεταφοράς των αγαθών θα αυξανόταν σε μεγάλο ποσοστό, και θα διαμοιραζόταν εν τέλει στον καταναλωτή. Αυτό θα είχε επιδράσεις στη ζήτηση, στην βιωσιμότητα των ναυτιλιακών εταιριών και προ πάντων στο παγκόσμιο εμπόριο. Φυσικά ένα τέτοιο παγκόσμιο μοντέλο θα μπορούσε να ισοροπήσει εν τέλει όπως άλλωστε έχει γίνει και εν μέρη στο παρελθόν (πολιτική του προστατευτισμού). Επομένως προκύπτει ένα ερώτημα: Αξίζει η μείωση του 3% του παγκόσμιου GHGs την αύξηση του κόστους μεταφοράς; και αν ναι, σε ποιο ποσοστό; Προφανώς η πολιτική αυτή μπορεί μονάχα να απαντηθεί εισάγοντας πολιτική, και αυτός δεν είναι ο στόχος της παρούσας διπλωματικής.

Η πολιτική για το κλίμα στον IMO έχει αδρανοποιηθεί εδώ και αρκετό καιρό [13]. Ο IMO επικεντρώνεται σε τεχνικά ζητήματα και είναι επιρρεπής σε βιομηχανικά λόμπι και εμπορικά συμφέροντα. Η αβεβαιότητα γύρω από τη μελλοντική διαθεσιμότητα εναλλακτικών καυσίμων για την πλήρη απαλλαγή της ναυτιλίας από τον άνθρακα εμποδίζει τη ναυτιλιακή βιομηχανία και πολλά ναυτιλιακά κράτη να υιοθετήσουν επιθετικά μέτρα του IMO για την κλιματική αλλαγή. Ομάδες της ναυτιλιακής βιομηχανίας, όπως το Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο (ICS), το Παγκόσμιο Ναυτιλιακό Συμβούλιο (WSC) και το Βαλτικό και Διεθνές Ναυτιλιακό Συμβούλιο (BIMCO), έχουν αντιταχθεί επιθετικά στην υιοθέτηση κανονισμών για την

κλιματική αλλαγή από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) [14, 15]. Είναι επίσης σύνηθες οι φορείς του κλάδου να εκπροσωπούν έθνη στις συνεδριάσεις της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO, επιτρέποντάς τους να επηρεάζουν τις συζητήσεις της MEPC.

Ως εκ τούτου, το σύστημα θαλάσσιας διακυβέρνησης είναι στάσιμο ή ίσως διαλυμένο λόγω της εξάρτησής του από τη λογική της "συνήθους λειτουργίας" [4]. Η συνέχιση μιας στάσης αναποφασιστικότητας απλώς ενισχύει την αβεβαιότητα του κλάδου, καθυστερώντας την πρόοδο. Ο IMO έχει καθυστερήσει τη μακροπρόθεσμη δράση τουλάχιστον μέχρι το 2030, επιλέγοντας αντ' αυτού να επικεντρωθεί σε βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες πρωτοβουλίες. Ωστόσο, λόγω του επείγοντος χαρακτήρα των εργασιών και της μεγάλης διάρκειας ζωής των πλοίων, η συζήτηση σχετικά με τις μακροπρόθεσμες διορθωτικές ενέργειες που έχει προωθήσει ο IMO για μετά το 2030 πρέπει να διεξαχθεί άμεσα. Πρέπει επείγοντως να παρουσιαστούν και να αξιολογηθούν εναλλακτικές λύσεις για την αποδοτικότητα και τους μηχανισμούς που βασίζονται στην αγορά, αλλά η τρέχουσα διαδικασία πολιτικής που επικεντρώνεται στον IMO βρίσκεται σε αδιέξοδο [4].

Η αργή πρόοδος του IMO ώθησε ορισμένα άλλα μέρη να επιδιώξουν μονομερή δράση. Διάφορες βιομηχανικές ενώσεις, όπως το Working Group on Net Cargo, το Environmental Ship Index και το Marine Cargo Map [16], [17], έχουν αναλάβει εθελοντικές δεσμεύσεις και έχουν δημιουργήσει προγράμματα για να υπερβούν τη νομοθεσία του IMO και να ενθαρρύνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία. Ωστόσο, η χρήση αυτών των τεχνολογιών είναι περιορισμένη και παρατηρείται κυρίως σε οργανισμούς που υπόκεινται σε εξωτερικές πιέσεις και προσδοκίες πελατών [5, 17]. Όσον αφορά την πολιτική, η ΕΕ έχει προηγηθεί του IMO εφαρμόζοντας τη νομοθεσία για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και την επαλήθευση (MRV) για την παρακολούθηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία και στοχεύοντας στην ενσωμάτωση της ναυτιλίας στο σύστημα εμπορίας εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της ΕΕ έως το 2023 [18].

Οι κανονισμοί αυτοί θα έχουν μικρό αντίκτυπο σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς ο IMO παραμένει το κύριο φόρουμ για τη χάραξη ναυτιλιακής πολιτικής. Ωστόσο, η ΕΕ ασκεί πίεση τόσο στον κλάδο όσο και στον IMO να εντείνουν το παιχνίδι τους, λόγω της ιδιότητάς της ως ισχυρού συνασπισμού πρόθυμων εθνών που αναλαμβάνουν μονομερή δράση. Στην πραγματικότητα, η ΕΕ έχει ήδη επηρεάσει τον IMO επιταχύνοντας τους νόμους περί διπλού κύτους για την ελαχιστοποίηση των πετρελαιοκηλίδων, εισάγοντας ισχυρότερο έλεγχο του κράτους λιμένα για την επιθεώρηση των πλοίων και δημιουργώντας περιορισμούς στις εκπομπές θείου [19].

Υπήρξαν προτάσεις για να ξεπεραστεί η αποτυχία του IMO με την επιστροφή των ναυτιλιακών εκπομπών στην UNFCCC και τα NDCs και την κατανομή τους στη χώρα του πλοιοκτήτη, ο οποίος υποστηρίζεται ότι είναι σε καλύτερη θέση να δράσει από τη χώρα της σημαίας του

πλοίου (νηολόγηση) ή τη θέση του λιμένα εισαγωγής/εξαγωγής [20]. Η τροποποίηση αυτή θα επέτρεπε σε μεμονωμένα έθνη και μπλοκ όπως η ΕΕ να συμπεριλάβουν τη διεθνή ναυτιλία στα τρέχοντα πρότυπα απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές που ισχύουν τώρα για τις εγχώριες μεταφορές. Ωστόσο, ανεξάρτητα από το αν η ευθύνη για την απαλλαγή από τις θαλάσσιες εκπομπές θα παραμείνει στον ΙΜΟ ή θα επανέλθει σε κρατικό επίπεδο, πρέπει να σταματήσουμε να νομιμοποιούμε τη συνήθη λειτουργία και να προσφέρουμε τολμηρές, εναλλακτικές λύσεις.

2.5 Η Θέση των Ορυκτών Καυσίμων μελλοντικά

Σύμφωνα με τους ειδικούς σε θέματα κλίματος, τα ορυκτά καύσιμα πρέπει να παραμείνουν στο έδαφος. Η προγραμματισμένη εξόρυξη και παραγωγή ορυκτών καυσίμων υπερβαίνει την ποσότητα που απαιτείται για την απαλλαγή από τον άνθρακα έως το 2050, εξαιρουμένων των πρόσθετων ανακαλύψεων [21]. Εάν δεν διακοπεί η παροχή αυτή, η βιομηχανία θα συνεχίσει να τη χρησιμοποιεί παρά την ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων. Ο τομέας της ναυτιλίας θα συνεχίσει να νομιμοποιεί μια στάση "αναμονής" και η μετάβαση σε εναλλακτικά καύσιμα θα αναβληθεί επανειλημμένα πολύ πέραν του 2050. Αντί να επικεντρωνόμαστε αποκλειστικά στην ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων και συστημάτων πρόωσης ή να επηρεάζουμε τη ζήτηση μέσω προτύπων επιδόσεων και εισφορών, πρέπει επίσης να αντιμετωπίσουμε τη συνεχιζόμενη διαθεσιμότητα ορυκτών καυσίμων για τη ναυτιλία [22]. Για να επιτευχθεί η απαλλαγή της διεθνούς ναυτιλίας από τον άνθρακα, προτείνουμε ότι είναι σημαντικό να απαγορευτεί η χρήση ορυκτών καυσίμων στα πλοία έως το 2050.

Μπορούμε να αντλήσουμε έμπνευση από άλλες βιομηχανίες μεταφορών. Πολλές χώρες, ιδίως η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και οι Κάτω Χώρες, έχουν απαγορεύσει την πώληση νέων οχημάτων με ορυκτά καύσιμα μεταξύ 2030 και 2040. Μια παρόμοια στρατηγική θα μπορούσε να υιοθετηθεί για τη διεθνή ναυτιλία, απαγορεύοντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων μέχρι το 2050 και πουλώντας νέα πλοία που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα τουλάχιστον μια δεκαετία νωρίτερα. Οποιαδήποτε πλοία που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα και επιθυμούν να παραμείνουν σε λειτουργία μετά το 2050 θα πρέπει να αντικαταστήσουν τις μηχανές ή τα συστήματα καυσίμων τους με εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές. Η νομοθεσία αυτή δεν θα πρέπει να θεωρηθεί περιοριστική, αλλά μάλλον ως μια ευκαιρία για την εισαγωγή νέας τεχνολογίας στην αγορά, όπως φαίνεται από τη Volvo και την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA) που πιέζουν ώστε όλα τα νέα φορτηγά που θα παράγονται μετά το 2040 να μην χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα [23]. Γιατί όχι η ναυτιλιακή βιομηχανία;

2.6 Προοπτικές για Ναυτιλιακές Πράσινες Επενδύσεις

Στην COP26, πολλά έθνη προέτρεψαν τον IMO να θέσει στόχο μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050 [24], και ο ίδιος στόχος έχει συγκεντρώσει την υποστήριξη αρκετών παραγόντων της βιομηχανίας [25]. Ωστόσο, πρέπει να διασφαλίσουμε ότι ο όρος "καθαρό μηδέν" δεν χρησιμοποιείται ως "πράσινο πλύσιμο" αντί του πραγματικού μηδενός. Τον Οκτώβριο του 2021, αρκετοί μεγάλοι ναυλωτές, συμπεριλαμβανομένων των Amazon, IKEA και Unilever, υπέγραψαν τη δήλωση Cargo Owners for Zero Emission Vessels (coZEV), δεσμευόμενοι να χρησιμοποιούν αποκλειστικά ναυτιλία με μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως το 2040 [26].

Αν και σκληρή, η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων δεν είναι μόνο ένα ουτοπικό σενάριο για τους οικολόγους, εντούτοις υπάρχουν πολλά οφέλη. Οποιαδήποτε σοβαρή πολιτική απεξάρτησης από τον άνθρακα, η οποία βασίζεται σε επιχειρηματικές δραστηριότητες, θα αντιμετωπίσει παρόμοια εμπόδια, όπως πολιτική αντίθεση, προβλήματα πρακτικής εφαρμογής και την πιθανότητα διαρροής διοξειδίου του άνθρακα, εάν δεν επιτευχθεί διεθνής συμφωνία και λίγες μόνο χώρες εφαρμόσουν την πολιτική. Ωστόσο, είναι μια πιο ελκυστική στρατηγική από το σημερινό περίπλοκο πολιτικό περιβάλλον, το οποίο βασίζεται σε διάφορους νόμους και σε μια συνεχιζόμενη τεχνική διαμάχη σχετικά με τους μηχανισμούς που βασίζονται στην αγορά, τη δέσμευση του άνθρακα, τη μέτρηση και την υποβολή εκθέσεων σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές με πλοία. Στην πράξη, οι απαγορεύσεις είναι απλούστερο να εφαρμοστούν από τις μειώσεις ή τις πληρωμές, καθώς δεν υπάρχει απαίτηση αξιολόγησης ή ποινής [27]. Από επιχειρηματικής άποψης, η πολιτική θα παρέχει ασφάλεια στην αγορά και θα επιτρέψει στους συμμετέχοντες στον κλάδο να πραγματοποιήσουν την απαραίτητη μετάβαση για την επίτευξη των στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού για το κλίμα σε ισότιμους όρους ανταγωνισμού [30]. Θα επιταχύνει τις επενδυτικές προσπάθειες και θα εργαστεί για να καταστήσει τα νέα συστήματα καυσίμων προσιτά στη σωστή κλίμακα, ανταμείβοντας τους πρώτους χρήστες και επιτρέποντάς τους να έχουν μια μακροπρόθεσμη προοπτική για τις επενδύσεις τους στη ναυτιλία με μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [43]. Χωρίς ένα τέτοιο μήνυμα, οι μεταφορείς και οι πλοιοκτήτες θα υιοθετήσουν εναλλακτικά καύσιμα με ανεπαρκή ρυθμό. Μια προσέγγιση από την πλευρά της προσφοράς που θα στοχεύει σε απολύτως μηδενικές εκπομπές έως το 2050 θα έστειλε ένα ισχυρό μήνυμα στους χρηματοδότες, τους ερευνητές, τους πλοιοκτήτες και τις ναυτιλιακές εταιρείες να εργαστούν για την πλήρη απαλλαγή της ναυτιλίας από τις ανθρακούχες εκπομπές [65]. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για να αποφευχθεί η παραπλάνηση από αποσπασματικές δράσεις που είναι μεν χρήσιμες μεμονωμένα, αλλά δεν θα επιτύχουν την απαιτούμενη αλλαγή σε όλο το σύστημα μέχρι το 2050.

3

FuelEU Maritime Initiative

3.1 Περιγραφή του Πλαισίου Νομοθεσίας

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε τη νομοθετική δέσμη "fit for 55" τον Ιούλιο του 2021 στο πλαίσιο της δέσμευσής της για την ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία. Μία από τις ιδέες της εν λόγω δέσμης είναι η ναυτιλιακή νομοθεσία FuelEU, η οποία αποσκοπεί στην προώθηση της απαλλαγής από τον άνθρακα στη ναυτιλιακή βιομηχανία της ΕΕ.

Η Επιτροπή Μεταφορών και Τουρισμού (TRAN) ηγείται των εργασιών για το θέμα αυτό στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και στις 4 Απριλίου 2022, ο Jorgen Warborn, εισηγητής της TRAN, παρουσίασε το σχέδιο της έκθεσής του, το οποίο θα συζητηθεί σε συνέδριο της TRAN αργότερα τον Απρίλιο. Για την ενθάρρυνση της χρήσης βιώσιμων ναυτιλιακών καυσίμων, η Επιτροπή προτείνει τον περιορισμό της έντασης άνθρακα της χρήσης ενέργειας στα πλοία. Κατά συνέπεια, το σχέδιο θεσπίζει ένα πρότυπο καυσίμων για τα πλοία και επιβάλλει στους πιο ρυπογόνους τύπους πλοίων να καταναλώνουν ενέργεια στην ξηρά κατά τη διάρκεια του ελλιμενισμού. Αναθέτει ευθύνες συμμόρφωσης στη ναυτιλιακή εταιρεία.

Το νομοθετικό αποτέλεσμα αυτής της πρότασης θα συνδεθεί στενά με τους ταυτόχρονα προτεινόμενους κανονισμούς για την ενσωμάτωση του ναυτιλιακού τομέα στο σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ, καθώς και με τους κανονισμούς για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων, τους ενεργειακούς φόρους και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η ναυτιλία συνέβαλε μόνο στο 2,9% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ το 2018. Τα πλοία παρήγαγαν το 13,5% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τις μεταφορές στην ΕΕ εκείνο το έτος, πολύ λιγότερο από τις οδικές μεταφορές (71%) και τις αερομεταφορές (14,4%). Παρά τη μείωση της δραστηριότητας το 2020 λόγω της πανδημίας του κοροναϊού, η ναυτιλιακή βιομηχανία έχει ανακάμψει και πρόκειται να επεκταθεί περαιτέρω, ακολουθώντας την μακροχρόνια τάση για αύξηση του όγκου των μεταφερόμενων αγαθών.

Ο IMO υιοθέτησε την αρχική του στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία το 2018, θέτοντας ως στόχο τη μείωση της μέσης έντασης άνθρακα (CO₂ ανά τονομίλι) κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050, καθώς και τη μείωση των συνολικών εκπομπών κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 (σε

σύγκριση με το 2008) και τη σταδιακή εξάλειψή τους το συντομότερο δυνατό. Ο IMO έχει προγραμματίσει να επανεκτιμήσει την πρώτη του προσέγγιση το 2023, αλλά η παγκόσμια πίεση έχει αυξηθεί ώστε να δράσει ταχύτερα.

Σύμφωνα με τη δέσμευσή της στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί να επιτύχει μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία έως το 2050. Περιέγραψε το σχέδιό της για την επίτευξη αυτού του στόχου στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία για το 2019 και θέσπισε τον Ευρωπαϊκό Νόμο για το Κλίμα, ο οποίος καθιέρωσε έναν εκτελεστό στόχο για τη διατήρηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη πολύ κάτω από τους 2°C και την επιδίωξη μέτρων για τη διατήρησή της στον 1,5°C. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η ΕΕ έθεσε έναν νέο στόχο για το 2030 για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, απαιτώντας τη συμβολή όλων των οικονομικών τομέων.

Η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τη βιώσιμη και έξυπνη κινητικότητα του Δεκεμβρίου 2020 περιγράφει λεπτομερώς τις δράσεις που προτίθεται να αναλάβει για τη μεταρρύθμιση του συστήματος μεταφορών της ΕΕ σύμφωνα με τους στόχους της ευρωπαϊκής πράσινης συμφωνίας. Τον Ιούλιο του 2021, η κυβέρνηση δημοσίευσε τη δέσμη μέτρων "fit for 55" με δεκατρία νομοθετικά μέτρα.

Επί του παρόντος, η ναυτιλιακή βιομηχανία εξαρτάται σχεδόν πλήρως από τα ορυκτά καύσιμα, συγκεκριμένα το βαρύ μαζούτ. Με τις επί του παρόντος διαθέσιμες τεχνολογίες, ο στόχος μείωσης του IMO για το 2030 μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό βραχυπρόθεσμων και μεσοπρόθεσμων επιχειρησιακών πρωτοβουλιών, όπως πιο αργές ταχύτητες, ενισχυμένη λειτουργική απόδοση μέσω ανάλυσης δεδομένων, περιορισμένη χρήση καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα και ενέργεια αποτελεσματικά σχέδια. Για να επιτευχθούν οι στόχοι του 2050, η ναυτιλία πρέπει να αναλάβει μια παγκόσμια στροφή προς εναλλακτικά καύσιμα και πηγές ενέργειας. Παρόλα αυτά, όλα τα γνωστά εναλλακτικά καύσιμα έχουν μειονεκτήματα, πολλές λύσεις δεν είναι ακόμη ώριμες και δεν υπάρχει ξεκάθαρη επιλογή "ένα καύσιμο" για ολόκληρο τον στόλο. Εκτός από την ηλεκτροδότηση των πορθμείων, τα εναλλακτικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία βασίζονται κυρίως σε ορυκτά και κυριαρχούν το υδροποιημένο φυσικό αέριο, σύμφωνα με τον DNV.

Ο DNV εκτιμά στη μελέτη της Energy Transition πρόβλεψη για το 2021 ότι έργα επίδειξης για τη χρήση υδρογόνου και αμμωνίας στο πλοίο ενδέχεται να πραγματοποιηθούν έως το 2025 και ότι αυτές οι τεχνολογίες θα είναι έτοιμες για εμπορική χρήση εντός τεσσάρων έως οκτώ ετών. Για όλα τα καύσιμα, θεωρούν ότι η τεχνολογία μεθανόλης (που χρησιμοποιείται ήδη εμπορικά για πρώτη φορά) είναι πιο ώριμη από τις κυψέλες καυσίμου, τις οποίες θεωρούν πολύ λιγότερο ανεπτυγμένες. Ως εκ τούτου, προτρέπουν η ευελιξία στα καύσιμα να είναι μια σημαντική απαίτηση για όλες τις νέες κατασκευές, έτσι ώστε τα πλοία να μπορούν να υποστούν πολλές

μεταβάσεις καυσίμων κατά τη διάρκεια της ζωής τους, εάν υπάρχει εμπορικός λόγος για κάτι τέτοιο.

Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει. Ενώ τα καύσιμα αντιπροσωπεύουν σημαντικό μέρος των εξόδων των ναυτιλιακών εταιρειών, η διαφορά τιμών μεταξύ των ορυκτών καυσίμων πλοίων και των επιλογών καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα παραμένει. Η απαλλαγή των καυσίμων από άνθρακα θα χρειαστεί σημαντικό χρόνο, προσπάθεια και κόστος. Ενώ η ναυτιλιακή βιομηχανία θεωρεί την πρώτη πολιτική του IMO ως σημαντικό εμπόδιο, έχει δεσμευτεί για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές και τους στόχους του 2050. Για την επίτευξη αυτών των στόχων θα χρειαζόταν επίσης κυβερνητική δράση, λένε οι υποστηρικτές. Ούτε ο IMO ούτε η ΕΕ διαθέτουν μηχανισμό (όπως φόρος άνθρακα ή πρόγραμμα αντιστάθμισης άνθρακα) για τον μετριασμό των επιπτώσεων του κλάδου στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τον Ιούνιο του 2021, ο IMO θέσπισε περαιτέρω απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης που θα τεθούν σε ισχύ το 2023. 3

Στις 5 Οκτωβρίου 2021, το Διεθνές Επιμελητήριο Ναυτιλίας (ICS), ο παγκόσμιος εμπορικός οργανισμός για πλοιοκτήτες και φορείς εκμετάλλευσης, παρουσίασε στον IMO προτάσεις που προτείνουν μέτρα που πρέπει να εφαρμοστούν από τις κυβερνήσεις για να βοηθήσουν τον κλάδο να επιτύχει καθαρές μηδενικές εκπομπές CO₂ έως το 2050, επομένως διπλασιάζοντας αρχικούς στόχους του IMO. Λαμβάνοντας υπόψη τη μέση διάρκεια ζωής των νέων ποntonόρων πλοίων τα 25 χρόνια, πιστεύουν ότι έως το 2030, εκατοντάδες πλοία μηδενικών εκπομπών θα πρέπει να είναι σε λειτουργία. Το Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο (ICS) υποστηρίζει την εφαρμογή φόρου άνθρακα στη ναυτιλία για να επιταχυνθεί η μετάβαση σε πιο δαπανηρά καύσιμα μηδενικών εκπομπών άνθρακα και να δημιουργηθεί ένα υποχρεωτικό ταμείο E&A για να βοηθήσει την ανάπτυξη τεχνολογίας μηδενικού άνθρακα.

3.2 Τρέχουσες Συνθήκες και Οδηγίες κατά Ε.Ε.

Οι θαλάσσιες μεταφορές της ΕΕ μεταφέρουν το 77% του εξωτερικού εμπορίου και το 35% του συνόλου του εμπορίου ανά αξία μεταξύ των χωρών της ΕΕ, με εκτιμώμενο το 9% της κίνησης μεταξύ λιμένων εντός του ίδιου μέλους της ΕΕ (εσωτερικά ταξίδια). Αυτά τα πλοία χρησιμοποιούν καύσιμα καυσίμων που δεν φορολογούνται, τόσο διεθνώς όσο και εντός της ΕΕ. Ο ισχύων κανονισμός της ΕΕ διέπει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των καυσίμων πλοίων:

α) Η οδηγία για την υποδομή για εναλλακτικά καύσιμα («AFID», 2014/94/ΕΕ)

Στην αντίστοιχη επικράτεια τους, τα κράτη μέλη πρέπει να αναπτύξουν υποδομές για εναλλακτικά καύσιμα σύμφωνα με τα εθνικά τους πλαίσια πολιτικής. ΥΦΑ για πλοία: επαρκής αριθμός εγκαταστάσεων τροφοδοσίας LNG σε θαλάσσιους λιμένες, επιτρέποντας στα σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας ή στα ποντοπόρα πλοία LNG να κυκλοφορούν στο κεντρικό δίκτυο του ΔΕΔ-Μ έως το 2025 και στους λιμένες εσωτερικής ναυσιπλοΐας έως το 2030.

Τα λιμάνια του βασικού δικτύου του ΔΕΔ-Μ πρέπει να κατασκευάσουν ηλεκτρική παροχή από την ξηρά για σκάφη εσωτερικής ναυσιπλοΐας και ποντοπόρα πλοία σε θαλάσσιους και λιμένες εσωτερικής ναυσιπλοΐας έως το τέλος του 2025, εκτός εάν δεν υπάρχει ζήτηση και το κόστος είναι δυσανάλογο με τα πλεονεκτήματα.

Παρακολούθηση, αναφορά και επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από τις θαλάσσιες μεταφορές (EE MRV, Κανονισμός 2015/757/ΕΕ). Από το 2018, τα πλοία άνω των 5.000 μεικτών τόνων που καταπλέουν σε λιμάνια του ΕΟΧ απαιτείται να παρακολουθούν και να αναφέρουν τη χρήση καυσίμων, τις εκπομπές CO₂ και τις μεταφορικές εργασίες κάθε ταξίδι και ετησίως. Οι εκπομπές CO₂ των πλοίων εντός των λιμένων του ΕΟΧ καταγράφονται χωριστά. Λίγο αργότερα, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) καθιέρωσε το παγκόσμιο σύστημα συλλογής δεδομένων GHG (DCS), το οποίο λειτουργεί από το 2019. Τα δύο συστήματα παρακολούθησης δεν είναι ακόμη συγχρονισμένα, με αποτέλεσμα να επικαλύπτονται και να γίνεται περισσότερη γραφειοκρατία για τους ναυτιλιακούς φορείς.

Οδηγία (2016/802/ΕΕ) για τη μείωση της περιεκτικότητας σε θείο ορισμένων υγρών καυσίμων. Για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x), που είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, η ΕΕ συμπεριέλαβε στη νομοθεσία της τους προηγούμενους κανονισμούς του IMO για το μέγιστο θείο περιεκτικότητα σε καύσιμα πλοίων στις "ζώνες ελέγχου εκπομπών". Μόλις διαπιστώθηκε ότι ήταν διαθέσιμα συμβατά καύσιμα, ο IMO κήρυξε το 2016 ένα παγκόσμιο "ανώτατο όριο θείου" σε όλους τους ωκεανούς έως το 2020. Για να συμμορφωθούν, τα πλοία μπορούν να προσθέσουν ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (scrubber), χρησιμοποιήστε καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ή μετατρέψτε σε LNG. Οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις είναι υπεύθυνες για την επιλογή μιας μεθόδου και τη διασφάλιση της συμμόρφωσης. Ωστόσο, αν και αυτή η πολιτική μειώνει τις εκπομπές SO_x, δεν αντιμετωπίζει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη ναυτιλία.

β) Η τροποποιημένη Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RED, 2018/2001/EU)

Ο κανονισμός απαιτεί από τα κράτη μέλη να εγγυώνται ότι το ποσοστό της ανανεώσιμης ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας του τομέα των μεταφορών είναι τουλάχιστον 14% έως το 2030. Επιπλέον, θεσπίζει υποστόχο 3,5% για προηγμένα βιοκαύσιμα και

περιορισμούς σε άλλα βιοκαύσιμα. Το ενεργειακό περιεχόμενο των καυσίμων πλοίων που παράγονται με αειφόρο τρόπο πολλαπλασιάζεται επί 1,2.

Πέντε συστάσεις στο πακέτο "fit for 55" θα επηρεάσουν τη ναυτιλία:

□ Ένας νέος κανονισμός για το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU-ETS, COM(2021) 551) προτείνει τη συμπερίληψη της ναυτιλιακής βιομηχανίας στην τιμολόγηση του άνθρακα της ΕΕ. 6 Στοχεύει σε σκάφη τουλάχιστον 5.000 μικτών τόνων που εισέρχονται σε λιμάνια της ΕΕ, ανεξαρτήτως σημαίας. Ισχύει για εκπομπές που πραγματοποιούνται σε ελλιμενισμό σε λιμάνι της ΕΕ, για όλες τις διαδρομές εντός της ΕΕ και για το 50 τοις εκατό των εκπομπών από ταξίδια που εισέρχονται ή εξέρχονται από λιμένα της ΕΕ. Αξιολογούνται μόνο οι εκπομπές που παράγονται από το πλοίο ("tank-to-wake").

Το FuelEU Maritime (το τρέχον σχέδιο, βλέπε παρακάτω) Είναι ένας νέος κανόνας για τα βιώσιμα ναυτιλιακά καύσιμα που στοχεύει στην επιτάχυνση της μετάβασης σε θαλάσσια καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ενώ το γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής είναι το ίδιο με το EU-ETS, αυτός ο κανόνας θα περιλαμβάνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού («well-to-wake»). 7 Μια νέα οδηγία για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFID, που προτείνεται τώρα ως κανονισμός, COM(2021) 559) στοχεύει στην αύξηση της διαθεσιμότητας LNG έως το 2025 και της παροχής ενέργειας από την ξηρά σε βασικούς λιμένες της ΕΕ (που ορίζεται από τον αριθμό των ετήσιων λιμένων κλήσεις) έως το 2030.

Ένας νέος κανονισμός για τους ενεργειακούς φόρους (COM(2021) 563) σκοπεύει να καταργήσει τις φορολογικές απαλλαγές για τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων και να ενθαρρύνει τη χρήση εναλλακτικών λύσεων. Τα καύσιμα καυσίμων που πωλούνται στην ΕΕ για χρήση σε ταξίδια εντός της ΕΕ δεν θα είναι πλέον απαλλαγμένα από φορολογία.

Ένας αναθεωρημένος κανονισμός για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II, COM(2021) 557) καθορίζει τον νέο στόχο για την οικονομία της ΕΕ για τουλάχιστον 40% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2030 και τον στόχο νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για μείωση της έντασης GHG τουλάχιστον κατά 13% έως το 2030 στις μεταφορές. τομέας. Διατηρεί τον πολλαπλασιαστική ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη χρήση του πλοίου.

Οι επόμενες συνομιλίες μεταξύ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τα μέτρα αυτά αναμένεται να είναι περίπλοκες και χρονοβόρες..

3.3 Κοινοβουλευτική Αφετηρία

Στο ψήφισμά του της 27ης Απριλίου 2021 σχετικά με τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα για πιο αποτελεσματικές και καθαρότερες θαλάσσιες μεταφορές (2019/2193(INI)), το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κάλεσε την Επιτροπή να εφαρμόσει την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και να προωθήσει τη χρήση εναλλακτικών λύσεων αντί των βαρέων καυσίμων Επιπλέον, το Κοινοβούλιο έχει εκφράσει την υποστήριξή του για μια σταδιακή κατάργηση του βαρέος μαζούτ στη ναυτιλία και για τεχνική ουδετερότητα, εφόσον είναι συμβατή με τους περιβαλλοντικούς στόχους της ΕΕ. Τόνισε την ανάγκη διασφάλισης των ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής βιομηχανίας θαλάσσιων μεταφορών, προειδοποίηση για διαρροή άνθρακα. Απαιτούσε τη χρήση όλων των εύκολα εφαρμόσιμων λύσεων για τη μείωση των θαλάσσιων εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων των μεταβατικών τεχνολογιών όπως το LNG. Το 2020, το ψήφισμα (2019/2956/RSP) του Ευρωπαϊκού Το Κοινοβούλιο σχετικά με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία ζήτησε τον τερματισμό της χρήσης βαρέος μαζούτ, τις επενδύσεις στην έρευνα σε νέες τεχνολογίες για την απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλίας και κατανάλωση μηδενικών εκπομπών και πράσινων πλοίων. Στο ψήφισμά του της 25ης Οκτωβρίου 2018 σχετικά με την ανάπτυξη υποδομών για εναλλακτικά καύσιμα στην ΕΕ (2018/2023(INI)), το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο προέτρεψε την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να υποστηρίξει την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές του ναυτιλιακού τομέα με σαφή έμφαση στην καινοτομία, την ψηφιοποίηση και προσαρμογή λιμένων και πλοίων. Επιπλέον, βοήθησε στην υλοποίηση ενεργειακών προμηθειών από την ξηρά τόσο σε λιμένες εσωτερικής όσο και σε θαλάσσια λιμάνια.

3.4 Ανάπτυξη της Πρότασης FuelEU

Μεταξύ Ιουλίου και Σεπτεμβρίου 2020, η Επιτροπή διεξήγαγε ανοιχτή δημόσια διαβούλευση και έλαβε 136 απαντήσεις. Όλες οι ομάδες ενδιαφερομένων υποστήριξαν την τεχνολογική ουδετερότητα και ευνόησαν μια στρατηγική βασισμένη σε στόχους σε σχέση με μια κανονιστική στρατηγική, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε τεχνολογικό κλείδωμα και λανθάνοντα περιουσιακά στοιχεία.

Η ιδέα του FuelEU marine περιλαμβάνει ανάλυση επιπτώσεων (IA). Οι Ecorys και CE Delft, δύο εξωτερικοί σύμβουλοι, ολοκλήρωσαν μια έρευνα για την υποστήριξη της ΙΑ. Διεξήγαγαν μια εστιασμένη διαβούλευση με εμπειρογνώμονες από το Ευρωπαϊκό Φόρουμ Αειφόρου Ναυτιλίας (ESSF) και μια παράλληλη σειρά συνεντεύξεων με ενδιαφερόμενους φορείς, συμπεριλαμβανομένων εκπροσώπων του κλάδου και εθνικών αρχών, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο του 2020. Επιπλέον, τον Σεπτέμβριο του 2020, η Επιτροπή διοργάνωσε συζήτηση με τα μέλη του ESSF και του Ευρωπαϊκού Φόρουμ Λιμένων. Οι ενδιαφερόμενοι συμφώνησαν

ότι τα μεγαλύτερα εμπόδια ήταν το υψηλό κόστος καυσίμων και επενδύσεων, καθώς και η αβεβαιότητα των επενδυτών, και ζήτησαν περισσότερη σαφήνεια σχετικά με τα προβλεπόμενα κλιματικά και περιβαλλοντικά κριτήρια για τη ναυτιλία. Η προηγούμενη ανάλυση υπογράμμισε την ανάγκη για δράση πολιτικής της ΕΕ. Δεδομένου ότι τα πλοία θα μπορούν να ανεφοδιάζονται εκτός ΕΕ, η έκθεση συμβουλεύει ότι η πολιτική στοχεύει τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα ταξίδια προς τα λιμάνια της ΕΕ σε αντίθεση με τα καύσιμα που παρέχονται εντός της ΕΕ. Δεδομένου ότι η έλλειψη ζήτησης για καθαρά καύσιμα θεωρήθηκε πρωταρχικό ζήτημα, η πολιτική θα πρέπει να επικεντρωθεί στην πλευρά της ζήτησης σε αντίθεση με την πλευρά της προσφοράς. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων ξεκινά με την ανάγκη παροχής νομικής σαφήνειας, με επίκεντρο την πλευρά της ζήτησης για την ενίσχυση της παραγωγής και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών καυσίμων και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα, ενώ αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της διαρροής άνθρακα. Εξετάζει τρεις εναλλακτικές πολιτικές, καθεμία από τις οποίες ακολουθεί διαφορετική προσέγγιση για την επιλογή της τεχνολογίας και την επίτευξη των απαιτούμενων επιδόσεων. Η πρώτη εναλλακτική είναι μια δεσμευτική στρατηγική που περιλαμβάνει τη χρήση συγκεκριμένων αναλογιών καυσίμων. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ρυθμιστής επιλέγει την τεχνολογία. Αντίθετα, τόσο η δεύτερη όσο και η τρίτη εναλλακτική βασίζονται σε στόχους, αφήνοντας την επιλογή της τεχνολογίας στους φορείς εκμετάλλευσης της αγοράς, ενώ καθορίζονται περιορισμοί μέγιστης έντασης GHG για την ενεργειακή χρήση του πλοίου. Επιπλέον, η τρίτη εναλλακτική ενσωματώνει ένα σύστημα ευελιξίας που επιτρέπει τη συγκέντρωση και πολλαπλασιαστές για τεχνολογία μηδενικών εκπομπών. Τα φορτηγά και τα επιβατηγά πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά ή ισοδύναμη τεχνολογία μηδενικών εκπομπών σε όλες τις εναλλακτικές λύσεις. Η τρίτη εναλλακτική λύση καθορίστηκε ως η καλύτερη επιλογή με βάση τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ στόχων και εξόδων, την ικανότητά της να χειρίζεται την απαίτηση για ευελιξία και τα καθαρά μακροπρόθεσμα πλεονεκτήματά της ύψους 58,4 δισεκατομμυρίων ευρώ. Οι προτεινόμενες τροποποιήσεις θα επιφέρουν

Το σχέδιο απαιτεί τη χρήση χερσαίου τροφοδοτικού (OPS) στα λιμάνια της ΕΕ και θέτει περιορισμούς στην ένταση άνθρακα της ενέργειας που χρησιμοποιείται στα πλοία για να ενθαρρύνει τη χρήση καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η ετήσια μέση ένταση της ενέργειας GHG που χρησιμοποιείται στο πλοίο θα μειωθεί κατά 2% από το 2025, σε σύγκριση με τη βασική γραμμή του 2020. Ωστόσο, οι περιορισμοί θα γίνουν πιο αυστηροί με την πάροδο του χρόνου, απαιτώντας βελτίωση 6% έως το 2030 και μείωση 75% έως το 2050. Οι ακόλουθοι κανόνες θα ισχύουν για το 100% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε πλοίο εντός ή μεταξύ λιμένων της ΕΕ, αλλά μόνο Το 50% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ταξίδια σε τρίτες χώρες από πλοία που εισέρχονται ή εξέρχονται από λιμάνια της ΕΕ. Θα ισχύουν για όλα τα εμπορικά πλοία με ολική χωρητικότητα άνω των 5.000 τόνων, ανεξαρτήτως σημαίας. 8 Ενώ

το γεωγραφικό πεδίο είναι πανομοιότυπο με τη σχεδιαζόμενη επέκταση του EU-ETS, η τρέχουσα πρόταση χρησιμοποιεί μια πλήρη μεθοδολογία κύκλου ζωής για τον υπολογισμό των ισοδυνάμων εκπομπών CO₂ (συμπεριλαμβανομένων μεθανίου και οξειδίων του αζώτου) από την ενέργεια που χρησιμοποιείται.

Η συμμόρφωση θα είναι ευθύνη των ναυτιλιακών εταιρειών. Οι νέοι κανόνες καυσίμων θα ισχύουν για πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμα που αγοράζονται τόσο από την ΕΕ όσο και από την ΕΕ. Η πρόταση παρουσιάζει ένα πλαίσιο για την ανάλυση του κύκλου ζωής του καυσίμου και καθολικές αρχές για την παρακολούθηση, την αναφορά, την επαλήθευση και την πιστοποίηση των καυσίμων. Το προτεινόμενο σύστημα θα διαφέρει και θα προστίθεται στο σημερινό σύστημα MRV της ΕΕ, αν και θα πρέπει να βασίζεται στην υπάρχουσα βάση δεδομένων αναφοράς THETIS της ΕΕ. Θα απαιτείται έγκυρο πιστοποιητικό συμμόρφωσης FuelEU για όλα τα πλοία. Μέσω του μέσου όρου και της συγκέντρωσης, προβλέπεται ότι τόσο τα πλοία όσο και οι επιχειρήσεις θα είναι προσαρμόσιμα.

Επιπλέον, από τον Ιανουάριο του 2030, τα φορτηγά και επιβατηγά πλοία που διαμένουν σε λιμάνια της ΕΕ για περισσότερες από δύο ώρες θα πρέπει να συνδεθούν με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά (επίσης γνωστή ως "παροχή ρεύματος στην ξηρά" ή OPS) και να χρησιμοποιούν αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια για όλους ενεργειακές ανάγκες ενώ βρίσκονται σε ελλιμενισμό, εκτός εάν χρησιμοποιούν τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών ή βρίσκονται σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Μέχρι το τέλος του 2034, τα πλοία που δεν μπορούν να συνδεθούν στο OPS επειδή δεν υπάρχουν σημεία σύνδεσης στο λιμάνι ή επειδή η εγκατάσταση του λιμένα δεν είναι συμβατή με την ενσωματωμένη τεχνολογία OPS θα αποκλείονται. Από το 2035, αυτή η ευελιξία θα περιοριστεί δραστικά. Για παραβάσεις τόσο των κανονισμών για τα καύσιμα όσο και των απαιτήσεων OPS προβλέπονται εναρμονισμένες κυρώσεις. Τα συγκεντρωμένα κεφάλαια θα συνεισφέρουν στο Ταμείο Καινοτομίας και θα βοηθήσουν στην υποστήριξη της παραγωγής ανανεώσιμων ναυτιλιακών καυσίμων και άλλων πρωτοβουλιών οικολογικής ανάπτυξης του ναυτιλιακού τομέα.

Η εφαρμογή της πρότασης θα κοστίσει στους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων 89,7 δισ. ευρώ (υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες 25,8 δισ. ευρώ και δαπάνες καυσίμων 63,9 δισ. ευρώ) και θα εξοικονομήσει 2,3 δισ. ευρώ από το μειωμένο λειτουργικό κόστος. Τα λιμάνια θα πρέπει να επενδύσουν 5,7 δισεκατομμύρια ευρώ σε πρόσθετες εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καυσίμων. Θα υπάρξουν διοικητικές δαπάνες για τους φορείς εκμετάλλευσης πλοίων (521,7 εκατομμύρια ευρώ) για τη συλλογή δεδομένων και για τους λιμένες για τη θέσπιση κανόνων για την ασφαλή διακίνηση εναλλακτικών καυσίμων (1,8 εκατομμύρια ευρώ). Οι δημόσιες αρχές θα επιβαρυνθούν με δαπάνες επιβολής ύψους 1,5 εκατ. ευρώ.

3.5 Συμβουλευτικές Επιτροπές και Νομοθετικά Όργανα

Αυτή η νομοθετική διαδικασία χρειάζεται τις απόψεις τόσο της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Κοινωνικής Επιτροπής (ΕΟΚΕ) όσο και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής των Περιφερειών (ΕτΠ). Στην απόφασή της της 8ης Δεκεμβρίου 2021 (εισηγητής Κωνσταντίνος Κατσάμπης, Εργοδότες - Ομάδα Ι, Ελλάδα), η ΕΟΚΕ πιστεύει ότι η πρόταση πρέπει να εναρμονιστεί με τους κανόνες του ΙΜΟ, ιδίως με αυτούς που αφορούν την ασφάλεια των καυσίμων πλοίων. Επιπλέον, προειδοποιεί ότι ο ενεργειακός μετασχηματισμός και η απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλίας θα είναι αποτελεσματικές μόνο εάν υπάρχει κοινωνική αποδοχή και προστατεύονται οι διαδικασίες λειτουργίας της ναυτιλίας και άλλων τομέων. Η ΕΟΚΕ θεωρεί ότι ο αντίκτυπος της πρότασης FuelEU Maritime στη ναυτιλία είναι υπερβολικός σε σύγκριση με άλλους τομείς και ότι οι μακροπρόθεσμες ενέργειες που απαιτούνται για τις μειώσεις των αερίων του θερμοκηπίου 2030-2050 εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τεχνολογίες που δεν έχουν ακόμη ωριμάσει. Ως εκ τούτου, χρειάζεται έντονη βοήθεια Ε&Α, κάποια προσαρμοστικότητα για τον τομέα και ουδετερότητα επιλογής καυσίμων.

3.6 Κλίση των Εθνικών Νομοθετικών Οργάνων

Ζητήθηκε από τα εθνικά νομοθετικά όργανα να εξετάσουν το σχέδιο για τυχόν ζητήματα επικουρικότητας έως τις 8 Νοεμβρίου 2021. Στην αιτιολογημένη γνώμη τους σχετικά με έξι από τις ιδέες «ταιριασμένες για 55», οι Irish Houses of Oireachtas ισχυρίζονται ότι δεν περιλαμβάνουν επαρκείς ποσοτικούς και ποιοτικούς δείκτες για για συνολική εξέταση όλων των προεκτάσεων και κατά συνέπεια παραβίαση της αρχής της επικουρικότητας.

3.7 Απόψεις των Ενδιαφερόμενων Μερών (Stakeholders)

Πριν από την κυκλοφορία του πακέτου 'fit for 55', η FuelsEurope, η οποία αντιπροσωπεύει τα διωλιστήρια της ΕΕ, υποστήριξε η ρύθμιση των καυσίμων να βασίζεται στην ένταση του άνθρακα σε καλή κατάσταση. Ως τεχνολογικά ουδέτερα μέτρα για την ενθάρρυνση της ανάπτυξης καθαρών καυσίμων, πρότειναν τη θέσπιση ορίου έντασης άνθρακα για τις θαλάσσιες μεταφορές και την ευθύνη του χειριστή του πλοίου. Οι θαλάσσιοι λιμένες της ΕΕ (ESPO) έχουν ζητήσει μια στρατηγική βασισμένη σε στόχους και ουδέτερη από άποψη τεχνολογίας, προκειμένου να προωθηθεί η καινοτομία και να αποτραπούν τα λανθάνοντα περιουσιακά στοιχεία. Επιπλέον, ζήτησαν αναγνώριση της σημασίας του LNG ως μεταβατικού καυσίμου και διασφάλιση υποστήριξης για επενδύσεις που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 2021 και τουλάχιστον 2027. Και οι δύο οργανισμοί τόνισαν την αναγκαιότητα συνεργασίας με τον ΙΜΟ προκειμένου να δημιουργηθεί μια παγκόσμια στρατηγική. Οι απαντήσεις των

ενδιαφερομένων μετά την κυκλοφορία του "fit for 55" τον Ιούλιο λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την πρόταση Fuel EU Maritime αλλά και τις συνδέσεις της με άλλες προτάσεις της δέσμης. Η ένταξη του θαλάσσιου τομέα στο EU-ETS και το σχέδιο FuelEU Maritime έχουν επικριθεί από το Διεθνές Εμπορικό Επιμελητήριο (ICS) για την επιβολή μονομερών περιφερειακών περιορισμών στη διεθνή ναυτιλία, εμποδίζοντας έτσι πιθανώς την πρόοδο προς τους κανονισμούς του IMO.

Έχοντας δηλώσει την επιθυμία για μια διεθνή λύση (IMO), οι Ευρωπαίοι πλοιοκτήτες (ECSA) συμφωνούν με τον στόχο της αύξησης της χρήσης καθαρότερων καυσίμων στη ναυτιλία, αλλά τονίζουν την έλλειψη ομοιομορφίας μεταξύ των προτάσεων του πακέτου «κατάλληλο για 55». Όσον αφορά το σχέδιο FuelEU Maritime, η ECSA σημειώνει ότι έγγραφα από προμηθευτές καυσίμων εκτός ΕΕ θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των μειώσεων άνθρακα για καύσιμα που αγοράζονται εκτός ΕΕ. Αυτό μπορεί επίσης να στρεβλώσει τον ανταγωνισμό μεταξύ των παρόχων καυσίμων και να δημιουργήσει ανησυχίες για την ασφάλεια που σχετίζονται με τη θερμοκρασία ανάφλεξης των βιοκαυσίμων.

Επιπλέον, προτείνουν να λογοδοτήσουν οι πάροχοι καυσίμων της ΕΕ, σε αντίθεση με τις ναυτιλιακές εταιρείες, για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα καυσίμων. Επιπλέον, θεωρούν τη δημιουργία ενός νέου συστήματος παρακολούθησης και επαλήθευσης ως επίπονη και προτείνουν την επέκταση του τρέχοντος MRV. Τέλος, οι πλοιοκτήτες πιστεύουν ότι τα πλοία δεν πρέπει να τιμωρούνται όταν τα λιμάνια στερούνται OPS.

Μια μελέτη που ανατέθηκε από την ECSA και το ICS τον Μάιο του 2021 προειδοποίησε ότι ο τρέχων πολλαπλασιαστής 1,2 για τα ανανεώσιμα καύσιμα είναι ανεπαρκής για να ενθαρρύνει τη χρήση καθαρών καυσίμων για τη ναυτιλία και συνέστησε υψηλότερο πολλαπλασιαστή και συγκεκριμένους στόχους στους προμηθευτές καυσίμων για να κάνουν καθαρά καύσιμα και ναυτιλιακά καύσιμα και διαθέσιμη ενέργεια. Πρότείνει να θεωρηθούν υπεύθυνοι οι πάροχοι βενζίνης για τη διασφάλιση ότι τα μείγματα καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα είναι ασφαλή, κατάλληλα για την προβλεπόμενη χρήση τους και προσβάσιμα σε επαρκείς ποσότητες στα λιμάνια της ΕΕ. Η Transport & Environment (T&E), ένας μη κερδοσκοπικός περιβαλλοντικός οργανισμός, προειδοποιεί ότι παρά τους στόχους ηλεκτροδότησης, τα λιμάνια κινδυνεύουν να εξαρτηθούν από τα ορυκτά αέρια. Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα πράσινα καύσιμα για ανεφοδιασμό στα ευρωπαϊκά λιμάνια, η μετάβαση σε καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα είναι αδύνατη. Υπογραμμίζουν την κρίσιμη σύνδεση μεταξύ του σχεδίου FuelEU Maritime και της τροποποιημένης πρότασης για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων και πιστεύουν ότι η Επιτροπή «ποντάρει σε λάθος άλογο» ενισχύοντας το LNG. Αντίθετα, η T&E προτείνει ότι η νομοθεσία της ΕΕ θα πρέπει να θέτει μόνο δεσμευτικούς στόχους για την υποδομή ανεφοδιασμού με καύσιμα για πράσινα καύσιμα, προκειμένου να επιταχυνθεί η υιοθέτηση πραγματικά βιώσιμων καυσίμων στη ναυτιλία, όπως το πράσινο υδρογόνο και η

αμμωνία, τα οποία είναι απαραίτητα για την απανθρακοποίηση του τομέα. 2050. Προτρέπουν να εξαιρεθούν οι προβλεπόμενες απαιτήσεις LNG και οι επενδύσεις σε ορυκτές υποδομές. Επιπλέον, συνιστούν την επιτάχυνση της ηλεκτροδότησης των λιμανιών, καθώς η τεχνολογία προμήθειας OPS δεν είναι νέα και όλοι οι τύποι πλοίων μπορούν θεωρητικά να εξοπλιστούν με αυτήν. Το μέλλον της ναυτιλίας, σύμφωνα με το DNV, θα καθοριστεί από την αλληλεπίδραση τριών παραγόντων: κανόνων και πολιτικών, διαθεσιμότητας για τους επενδυτές και τη χρηματοδότηση, και τις προσδοκίες των ιδιοκτητών φορτίου και των καταναλωτών. Σε μια σειρά από γνώσεις του κλάδου, προβλέπουν ότι παρόλο που το ενημερωμένο EU-ETS θα αύξανε δραματικά το κόστος των εκπομπών CO₂, το σχέδιο FuelEU Maritime, εάν εφαρμοστεί, θα αναγκάσει τη μετάβαση σε καύσιμα με χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα, τα οποία ενδέχεται να έχουν σημαντικές τεχνολογικές επιπτώσεις για τα πλοία. Ωστόσο, το μέγεθος αυτής της επίδρασης θα βασιζόταν κυρίως στο είδος των καυσίμων που έγιναν προσβάσιμα. Δεδομένου του τρόπου κατασκευής του υπολογισμού, το DNV επιβεβαιώνει ότι τα τυπικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που απλώς χαμηλότερη χρήση καυσίμου είναι ανεπαρκή για να συμμορφωθούν τα πλοία. Τουλάχιστον αρχικά, αναμένουν ότι το νέο σύνολο νόμων της ΕΕ θα ενισχύσει τη χρήση του LNG και των βιοκαυσίμων.

3.8 Προοπτικές Εμπειρογνομώνων

Σε μια τριάδα εργασιών του 2021, ειδικοί της Παγκόσμιας Τράπεζας συζητούν την ασάφεια γύρω από τα βασικά πλεονεκτήματα και τα «μειονεκτήματα» της χρήσης LNG ως καυσίμου καυσίμων. Όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεταφοράς, το LNG έχει άμεση ευνοϊκή επίδραση στην ποιότητα του αέρα, αλλά η ικανότητά του να συμβάλλει στη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου είναι αμφίβολη. Λόγω της έντασης άνθρακα του, το LNG δεν μπορεί να αποτελέσει σημαντικό κλάσμα του μείγματος καυσίμων καυσίμων το 2050, σύμφωνα με μια συναίνεση στη βιβλιογραφία και στη βιομηχανία. Κατά συνέπεια, εξετάζουν τρία σενάρια υποδομής: έναν μεταβατικό ρόλο για το LNG («χρησιμοποιήστε το τώρα και επαναχρησιμοποιήστε το αργότερα με άλλα καύσιμα»), έναν μεταβατικό ρόλο («χρησιμοποιήστε το και μετά σταματήστε») και έναν περιορισμένο ρόλο («περιορισμένη χρήση συνολικά »).

Δεδομένης της αβεβαιότητας γύρω από τα πλεονεκτήματα του LNG για τα GHG, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι «η νέα δημόσια πολιτική που ευνοεί το LNG ως καύσιμο καυσίμων θα πρέπει να αποφευχθεί». Με αυτό, συνεπάγονται πολιτικές που προσφέρουν στο LNG ένα ρυθμιστικό πλεονέκτημα έναντι των καυσίμων πλοίων που παραδίδονται με πετρέλαιο, καθώς και μέτρα που αφορούν αποκλειστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που καλύπτουν τις δεξαμενές. Επιπλέον, προτείνουν τη μείωση της τρέχουσας κρατικής υποστήριξης για το LNG και τον έλεγχο των εκπομπών μεθανίου τόσο στην αλυσίδα εφοδιασμού LNG όσο και

στη χρήση του LNG στα πλοία. Η έρευνα, η ανάπτυξη και η εφαρμογή καυσίμων καυσίμων μηδενικών εκπομπών άνθρακα πρέπει να είναι η κύρια έμφαση της κρατικής χρηματοδότησης. Το έγγραφο προτείνει ότι οι πλοιοκτήτες επενδύουν στην ενεργειακή απόδοση και διασφαλίζουν ότι οι μελλοντικές τους επενδύσεις είναι συμβατές με πολλά υποψήφια καύσιμα καυσίμων μηδενικών εκπομπών άνθρακα, ενώ η αμμωνία και το υδρογόνο είναι τα πιο υποσχόμενα.

3.9 Νομοθετική Διαδικασία

Στις 25 Αυγούστου, η Επιτροπή υπέβαλε την πρόταση στην ομάδα εργασίας ναυτιλίας του Συμβουλίου. Η ιδέα έχει αναλυθεί από την Ομάδα Εργασίας Ναυτιλίας. Η Επιτροπή των Μόνιμων Αντιπροσώπων (Μέρος I) είχε συζήτηση για τα τρία θέματα μεταφορών στις 12 Νοεμβρίου. Στη συνέχεια, η σλοβενική Προεδρία απέστειλε στα κράτη μέλη μια προκαταρκτική έκδοση του συμβιβαστικού κειμένου με μόνο τεχνικές και συντακτικές προσαρμογές. Η δήλωση αυτή έγινε δεκτή ως έκθεση προόδου στη συνεδρίαση του Συμβουλίου Μεταφορών στις 9 Δεκεμβρίου. Όσον αφορά τη ναυτιλιακή βιομηχανία, το Συμβούλιο έδωσε προτεραιότητα σε μια συνολική αξιολόγηση της συμβολής του στη μείωση των εκπομπών και των επιπτώσεων των προτεινόμενων αλλαγών στον τομέα και την ανταγωνιστικότητά του. Τα κράτη μέλη ζήτησαν αξιολόγηση των σωρευτικών συνεπειών του Fit for 55 προτάσεων σχετικά με τους φόρους ETS, ReFuelEU Aviation, FuelEU Maritime και ενέργειας, δεδομένων των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των μέτρων.

Στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, αρμόδια είναι η Επιτροπή Μεταφορών και Τουρισμού (TRAN) (εισηγητής: Jorgen Warborn, ΕΛΚ, Σουηδία), με τις Επιτροπές Περιβάλλοντος, Δημόσιας Υγείας και Ασφάλειας (ENVI) και Βιομηχανίας, Έρευνας και Ενέργειας (ITRE) εμπλέκονται σύμφωνα με το άρθρο 57. Στο σχέδιο έκθεσής του της 25ης Μαρτίου 2022, ο εισηγητής υποστηρίζει τον προτεινόμενο βαθμό φιλοδοξίας της Επιτροπής, καθώς και τον τύπο του πλοίου και τη γεωγραφική εμβέλεια. Ωστόσο, προειδοποιεί ότι τα αυξημένα μεγάλα έξοδα στη φάση της διαμετακόμισης θα μεταφερθούν στα στάδια παραγωγής και λιανικής, επηρεάζοντας τελικά τους καταναλωτές.

Για να αποφευχθεί η αύξηση του συνολικού ρυθμιστικού φόρτου, επιθυμεί να απαιτήσει από την Επιτροπή να παράσχει μέτρα για την εξισορρόπηση του πρόσφατα προστιθέμενου κόστους συμμόρφωσης σύμφωνα με την προσέγγιση "one in, one out".

Θεωρώντας ότι ο προτεινόμενος κανονισμός αποτελεί εργαλείο για την προώθηση των διαπραγματεύσεων του IMO σχετικά με τα παγκόσμια πρότυπα GHG, ο εισηγητής προτείνει μια ρήτρα αναθεώρησης που θα επιτρέψει την πλήρη ευθυγράμμιση των κανόνων της ΕΕ με τους μελλοντικούς διεθνείς, εξαλείφοντας έτσι κάθε ανταγωνιστικό μειονέκτημα για τις ευρωπαϊκές ναυτιλιακές εταιρείες. Ενώ η Επιτροπή πρότεινε πίνακες με προεπιλεγμένες τιμές

αναφοράς για τον υπολογισμό των συντελεστών εκπομπών για τα καύσιμα από το πηγάδι στο δοχείο και το από το δοχείο μέχρι το wake στα παραρτήματα, ο εισηγητής προτείνει ένα συμπληρωματικό μέτρο στο οποίο ο πλοιοκτήτης ή ο αερομεταφορέας θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την πραγματική τιμή των εκπομπών εάν Αυτά πιστοποιούνται μέσω εργαστηριακών δοκιμών ή άμεσων μετρήσεων εκπομπών. Με αυτόν τον τρόπο, λύσεις καθαρής αποστολής που ξεπερνούν τις προεπιλεγμένες τιμές ενδέχεται να ανταμειφθούν.

Όσον αφορά το OPS, ο εισηγητής επιμένει ότι οι σχετικές διατάξεις των FuelEU Maritime και AFIR πρέπει να ευθυγραμμιστούν πλήρως και προτείνει ότι η υποχρέωση σύνδεσης με προμήθεια OPS θα πρέπει να ισχύει μόνο για πλοία που καταπλέουν σε λιμένες που καλύπτονται από AFIR (σημαντικοί λιμένες στο ΔΕΔ-Μ βασικό και ολοκληρωμένο δίκτυο) και όχι σε όλους τους λιμένες της ΕΕ. Επιπλέον, επιθυμεί μόνιμη φορολογική απαλλαγή για το ρεύμα που παρέχεται από την OPS.

Ενώ η Επιτροπή προσπάθησε να θεωρήσει ότι τα βιοκαύσιμα και το βιοαέριο που παράγονται από καλλιέργειες τροφίμων και ζωοτροφών έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά εκπομπών με τα λιγότερο ευνοϊκά ορυκτά καύσιμα, ο εισηγητής αντιτίθεται σε αυτήν την προσέγγιση. Ούτε θέλει να επιτρέψει στην Επιτροπή την εξουσία να προτείνει κατ' εξουσιοδότηση πράξεις προκειμένου να τροποποιηθούν οι κυρώσεις, οι παράγοντες εκπομπών και οι αναφορές σε νέα τεχνολογία.

Μεταξύ των πρόσθετων αναθεωρήσεων που προτείνει ο εισηγητής περιλαμβάνονται διευκρινίσεις σχετικά με την καταμέτρηση των εκπομπών για τα πλοία που σπάζουν πάγο.

Σημαντικά υψηλές ποσότητες εκπεμπόμενων ρύπων χαρακτηρίζουν τον ναυτιλιακό τομέα (Bullock et al., 2020), Ως αποτέλεσμα, η απαλλαγή των θαλάσσιων μεταφορών από άνθρακα έχει καταστεί σημαντική πρόκληση για τη ναυτιλία, καθώς επιδιώκει να ευθυγραμμιστεί με τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού για «διατήρηση θέρμανση πολύ κάτω από τους 2 °C στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία (GMT), σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, και συνέχιση των προσπαθειών για περιορισμό της θέρμανσης στους 1,5 °C» και τα αποτελέσματα της πιο πρόσφατης Διάσκεψης των Μερών 26η (COP26), η οποία προσδιόρισε τη σημασία της συμβολής της ναυτιλίας στη συνολική υπερθέρμανση του πλανήτη (UNFCCC, 2015, UNFCCC, 2021). Σύμφωνα με αυτές τις συνεχιζόμενες πολιτικές εξελίξεις, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) υιοθέτησε την «Αρχική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία», η οποία στοχεύει σε μείωση κατά 50% των εκπομπών GHG από το 2008 έως το 2050 και, τελικά, πλήρης απαλλαγή από τον άνθρακα των θαλάσσιων μεταφορών (MEPC, 2018). Προκειμένου να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα, η αρχική στρατηγική του IMO GHG τονίζει την επείγουσα ανάγκη μετάβασης της ναυτιλιακής βιομηχανίας σε εναλλακτικά καύσιμα και πηγές ενέργειας.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετά εναλλακτικά καύσιμα πλοίων με τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλά το καθένα έχει τα δικά του οφέλη και μειονεκτήματα στη ναυτιλιακή επιχείρηση (Bouman et al., 2017, Wan et al., 2018). Πρόσφατη έρευνα έχει τονίσει τη δυνατότητα του υδρογόνου και της αμμωνίας να απελευθερώσουν πλήρως τις θαλάσσιες μεταφορές. Αν και υπάρχουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση αυτών των καυσίμων, υπάρχουν ανησυχίες για την κοινωνική και την ασφάλεια που πρέπει να αντιμετωπιστούν, καθώς και το υψηλό επίπεδο κεφαλαίων που απαιτείται για την εγκατάσταση νέων κινητήρων και το υψηλότερο λειτουργικό κόστος που σχετίζεται με τη χρήση αυτά τα εναλλακτικά καύσιμα, τα οποία είναι σημαντικά πιο ακριβά από τις πιο συμβατικές επιλογές (Hansson et al., 2020, Kim et al., 2020, Lovdahl and Magnus, 2015). Επιπλέον, η προμήθεια αυτών των καυσίμων είναι επί του παρόντος περιορισμένη, με εναλλακτικά καύσιμα, όπως LNG, LPG και μεθανόλη, να προτείνονται ως βραχυπρόθεσμες μεταβατικές επιλογές (Ampah et al., 2021, Andersson et al., 2020, Yeo et al. , 2022, Yoo, 2017). Παρά το γεγονός ότι όλα αυτά τα καύσιμα μπορεί να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα, το LNG και το LPG είναι σαφώς «ορυκτά» καύσιμα, αν και η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από μη ορυκτές πηγές. Ως εκ τούτου, το LNG και το LPG δεν μπορούν να συμβάλουν στην ενδεχόμενη απαλλαγή από τον άνθρακα των θαλάσσιων μεταφορών και η χρήση τους μπορεί επίσης να συμβάλει σε πρόσθετες εκπομπές GHG, όπως η ολίσθηση μεθανίου από την καύση του κινητήρα κατά τη χρήση LNG (Brynolf et al., 2014, Jang et al., 2021). Σε σύγκριση με άλλα ορυκτά θαλάσσια καύσιμα, οι Foretich et al. (2021) διαπίστωσε ότι το LPG είχε τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική απόδοση.

Εκτός από τις παγκόσμιες δραστηριότητες του IMO, το πακέτο «Fit for 55» της ΕΕ, το οποίο ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2021 και στοχεύει στην επίτευξη του στόχου της «Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας» για την ουδετερότητα των εκπομπών άνθρακα στην Ευρώπη έως το 2050, περιλαμβάνει ρυθμιστικά ειδικά για τη θάλασσα. νομοθεσία (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2021, Sikora, 2021). Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι πιθανότατα ο τελευταίος ανεξέλεγκτος βιομηχανικός τομέας στην ΕΕ, με τις εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία να αντιπροσωπεύουν περίπου το 14% των συνολικών εκπομπών της ΕΕ που σχετίζονται με τις μεταφορές (<https://emsa.europa.eu/emter.html>). Προκειμένου να αντιμετωπιστεί η επείγουσα ανάγκη εξάλειψης των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία, το πακέτο «Fit for 55» της ΕΕ προτείνει την υιοθέτηση μιας σειράς ρυθμιστικών πολιτικών, συμπεριλαμβανομένης της συμπερίληψης της ναυτιλίας στο σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ (EU ETS) και την υιοθέτηση του FuelEU Maritime Initiative, η οποία θέτει συγκεκριμένα όρια έντασης GHG στην ενέργεια που χρησιμοποιείται στα πλοία από το 2025. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021). Σύμφωνα με την FuelEU Maritime Initiative, κάθε πλοίο θα πρέπει να χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα ή πηγές ενέργειας ώστε να μην υπερβαίνει το όριο έντασης GHG, το

οποίο θα γίνει πιο αυστηρό με την πάροδο του χρόνου, επιτυγχάνοντας μειώσεις GHG 75% το 2050 σε σύγκριση με το 2020.

Το Παράρτημα II της Ναυτιλιακής Πρωτοβουλίας FuelEU περιέχει συντελεστές εκπομπών και εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε καλή κατάσταση εναλλακτικών καυσίμων ως καθοδήγηση για τα σκάφη που δραστηριοποιούνται στον ΕΟΧ για να τους βοηθήσει να συμμορφωθούν με τους καθορισμένους περιορισμούς ενεργειακής έντασης της Πρωτοβουλίας. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου Well-to-Wake περιλαμβάνουν και αντιπροσωπεύουν τόσο το Well-to-Tank (εκπομπές που δημιουργούνται κατά την παραγωγή, επεξεργασία, αποστολή και ανεφοδιασμό καυσίμων) όσο και Tank-to-Wake (εκπομπές από την καύση θαλάσσιων καυσίμων).

Εκτός από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και τα βιοκαύσιμα, η Πρωτοβουλία αξιολογεί το δυναμικό απανθρακοποίησης των ηλεκτροκαυσίμων (ηλεκτρονικά καύσιμα που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές). Τα ηλεκτρονικά καύσιμα περιλαμβάνουν e-diesel, e-LNG και e-μεθανόλη (τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τρέχοντα σκάφη χωρίς σημαντικές αλλαγές) εκτός από το e-hydrogen και την e-αμμωνία, τα οποία χρειάζονται τη μετατροπή των υπάρχοντων θαλάσσιων κινητήρων ή την παράδοση νέων σκαφών. Με όλα τα ηλεκτρονικά καύσιμα, σίγουρα θα υπάρξει ανάγκη για επιπλέον επενδύσεις υποδομής (Hansson et al., 2020, Lindstad et al., 2021, Svanberg et al., 2018, Zincir and Deniz, 2021). Πρόσφατη έρευνα έχει επισημάνει την κρίσιμη σημασία των μέτρων που βασίζονται στην αγορά (MBMs) – όπως ένας παγκόσμιος φόρος στα καύσιμα πλοίων ή ένα σύστημα εμπορίας εκπομπών – στην επιτάχυνση της μετάβασης σε νεότερα/εναλλακτικά καύσιμα (Lagouvardou et al., 2022, Psaraftis et al., 2021, Wang et al., 2021a, Wang et al., 2021b, Pomaska and Acciaro, 2022).

Πρόσφατες ακαδημαϊκές εργασίες έχουν αναλύσει τις δυνατότητες των εναλλακτικών καυσίμων πλοίων για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία και την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές των θαλάσσιων μεταφορών. Ωστόσο, οι πιθανές επιπτώσεις στον ναυτιλιακό τομέα από την υιοθέτηση της πρόσφατης νομοθεσίας της ΕΕ και τις διάφορες προσεγγίσεις ή οδούς συμμόρφωσης με τα νέα πρότυπα δεν έχουν λάβει το ίδιο επίπεδο προσοχής. Μαζί με τα διάφορα αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εναλλακτικών καυσίμων πλοίων, υπάρχει μια αναδυόμενη ανάγκη να διερευνηθούν τα καύσιμα πλοίων που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος στον ΕΟΧ και να παρασχεθεί ένα σχέδιο πρόβλεψης πιθανών εναλλακτικών καυσίμων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη συμμόρφωση με τα επερχόμενα όρια έντασης GHG ενέργεια που χρησιμοποιείται επί του σκάφους από πλοία της περιοχής. Αυτή η έκθεση σκοπεύει να αντιμετωπίσει αυτό το κενό προσφέροντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση της ναυτιλιακής πρωτοβουλίας FuelEU και μια αξιολόγηση της παρούσας κατάστασης των εκπομπών CO₂ το 2020, των τύπων καυσίμων που χρησιμοποιούνται και της κατανάλωσης καυσίμου των σκαφών που δραστηριοποιούνται εντός

του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX). Αυτό θα χρησιμεύσει ως βάση για την εκτέλεση της Πρωτοβουλίας. Μετά από μια εις βάθος εξέταση της χρήσης καυσίμων το 2020, αυτή η έκθεση επιδιώκει να παρουσιάσει ένα σχέδιο πρόβλεψης βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη συμμόρφωση με τους περιορισμούς της πρωτοβουλίας FuelEU Maritime Initiative. Τα ευρήματα αυτής της ανάλυσης παρέχουν στους ναυτιλιακούς φορείς και στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής ουσιαστική εικόνα για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της Πρωτοβουλίας για την υιοθέτηση καθαρών θαλάσσιων καυσίμων και τη συμβολή του ναυτιλιακού τομέα σε μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη έως το 2050.

Οι υπόλοιπες ενότητες αυτής της εργασίας είναι δομημένες ως εξής. Η δεύτερη ενότητα εξετάζει την πρωτοβουλία FuelEU Maritime Initiative. Η ενότητα 3 περιγράφει τη μεθοδολογία και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη μας. Στην Ενότητα 4, παρέχονται τα ευρήματα της μελέτης των δεδομένων MRV που σχετίζονται με τα ναυτιλιακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται τώρα στον EOX, μαζί με μια προβολή των πιθανών εναλλακτικών καυσίμων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τους περιορισμούς της Πρωτοβουλίας με την πάροδο του χρόνου. Η ενότητα 5 ολοκληρώνεται με τα κύρια πορίσματα και τις προτάσεις πολιτικής.

3.10 Η Νομοθεσία FuelEU στην Ναυτιλία

Το πακέτο της ΕΕ «Fit for 55» προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή τον Ιούνιο του 2021 ως όχημα για την επίτευξη του στόχου της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας για ουδετερότητα άνθρακα στην Ευρώπη έως το 2050. (Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2021). Το FuelEU Maritime Initiative αποτελεί συστατικό στοιχείο του πακέτου της ΕΕ "Fit for 55" και σε μια προσπάθεια να αντιμετωπιστεί η επείγουσα ανάγκη εξάλειψης των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία, θεσπίζει αυστηρούς περιορισμούς έντασης GHG στην ενέργεια που καταναλώνεται στα πλοία από το 2025. Οι περιορισμοί της ενεργειακής έντασης υπολογίζονται ως η ποσότητα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά μονάδα ενέργειας. Κάθε πλοίο που λειτουργεί εντός του EOX θα πρέπει να χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα ή πηγές ενέργειας για να αποφευχθεί η υπέρβαση του ορίου έντασης GHG, το οποίο θα γίνει πιο αυστηρό με την πάροδο του χρόνου. επίτευξη του στόχου μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου κατά 75% της ενέργειας που χρησιμοποιείται το 2050 σε σύγκριση με το 2020, έτος αναφοράς για την εφαρμογή της Πρωτοβουλίας.

Η πρωτοβουλία FuelEU Maritime Initiative ισχύει για όλα τα πλοία άνω των 5000 μεικτών τόνων, ανεξαρτήτως σημαίας, και «περιλαμβάνει (α) την ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της παραμονής τους σε λιμάνι καταπληξίας υπό τη δικαιοδοσία ενός κράτους μέλους, (β) το 100% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ταξίδια από λιμένα υπό τη δικαιοδοσία κράτους μέλους προς λιμάνι καταπληξίας υπό τη δικαιοδοσία κράτους μέλους, και (γ) το 50% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ταξίδια που αναχωρούν από ή φθάνουν σε λιμένα υπό (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021). Ορισμένοι τύποι σκαφών απαγορεύονται από αυτήν την Πρωτοβουλία, συμπεριλαμβανομένων πολεμικών πλοίων, βοηθητικών ναυτικών, σκαφών αλιεύσης ή επεξεργασίας ψαριών, ξύλινων πλοίων πρωτόγονης κατασκευής, πλοίων χωρίς μηχανική πρόωση και κυβερνητικών σκαφών που χρησιμοποιούνται για μη εμπορικούς σκοπούς. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι παρόμοια προσέγγιση ακολουθείται για την προτεινόμενη ένταξη της ναυτιλίας στο EU ETS, με πλήρη συμπερίληψη των εκπομπών CO₂ από ενδοευρωπαϊκά ταξίδια και 50% συμπερίληψη των εκπομπών από τα ταξίδια Αναχώρηση από ευρωπαϊκά λιμάνια για μη ευρωπαϊκά λιμάνια και άφιξη σε ευρωπαϊκά λιμάνια από μη ευρωπαϊκά λιμάνια (Christodoulou et al., 2021).

Το άρθρο 4 της Πρωτοβουλίας θεσπίζει συγκεκριμένους περιορισμούς στην ένταση των αερίων του θερμοκηπίου για την ενέργεια που καταναλώνεται σε πλοίο κατά τη διάρκεια μιας περιόδου αναφοράς, οι οποίοι δεν πρέπει να υπερβαίνουν. Αυτά τα όρια προκύπτουν μειώνοντας την τιμή αναφοράς των [X γραμμάρια ισοδυνάμου CO₂ ανά MJ] κατά τα ποσοστά που εμφανίζονται στον Πίνακα 1.

Όρια GHG Εκπομπών

-2% from 1 January 2025
-6% from 1 January 2030
-13% from 1 January 2035
-26% from 1 January 2040
-59% from 1 January 2045
-75% from 1 January 2050.

Πίνακας 1: GHG intensity limits of energy used on-board a ship during a reporting period – calculated by reducing the reference value of [X grams of CO₂ equivalent per MJ].

Συγκεκριμένα, η τιμή αναφοράς για τον υπολογισμό της ενεργειακής έντασης που χρησιμοποιείται σε ένα πλοίο αντιστοιχεί στη μέση ένταση GHG του στόλου της ενέργειας που χρησιμοποιείται από τα πλοία το 2020, όπως προσδιορίζεται με βάση τα δεδομένα που

παρακολουθούνται και αναφέρονται σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/757 (Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757, 2015). Ο κανονισμός ΕΕ MRV 2015/757 θεωρείται ως το πρώτο βήμα προς τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη, καθώς δημιούργησε τη βάση δεδομένων παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης της ΕΕ (MRV), η οποία παρέχει ετήσια στατιστικά στοιχεία για την ενεργειακή απόδοση, την κατανάλωση καυσίμου, και εκπομπές CO₂ των σκαφών. Είναι προφανές ότι μια ανάλυση της βάσης δεδομένων MRV για το έτος 2020, που θα είναι το έτος αναφοράς για την εφαρμογή της ναυτιλιακής πρωτοβουλίας FuelEU, είναι απαραίτητη προκειμένου να αξιολογηθεί η τελευταία λέξη της τεχνολογίας στις εκπομπές CO₂, στους τύπους καυσίμων που χρησιμοποιούνται και την κατανάλωση καυσίμου των σκαφών που λειτουργούν εντός του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΕΟΧ) το έτος 2020, και επομένως για τον προσδιορισμό της τιμής αναφοράς της ενεργειακής έντασης GHG επί των πλοίων που πρέπει να μειωθεί με τα έτη t.

Επιπλέον, το Παράρτημα II της Ναυτιλιακής Πρωτοβουλίας FuelEU περιέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή ένταση GHG διαφόρων καυσίμων πλοίων, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή τη μελέτη για τον εντοπισμό βιώσιμων εναλλακτικών οδών καυσίμων για την επίτευξη συμμόρφωσης με τους δεσμευτικούς περιορισμούς. Πρέπει να αναγνωριστεί ότι, εκτός από τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των εναλλακτικών καυσίμων πλοίων, πρέπει να ληφθούν υπόψη και πρόσθετα χαρακτηριστικά για την ευρεία αποδοχή τους στη ναυτιλιακή επιχείρηση. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν τεχνολογικά ζητήματα, όπως τα συστήματα τροφοδοσίας που πρέπει να εισαχθούν στα πλοία (Brynolf et al., 2014), με τους κινητήρες διπλού καυσίμου να κερδίζουν δημοτικότητα λόγω της ευελιξίας που προσφέρουν στο τρέχον αβέβαιο ρυθμιστικό τοπίο και των πρόσθετων ανησυχιών σχετικά με την πιθανή διαθεσιμότητα ορισμένων εναλλακτικών καυσίμων. Η παροχή κατάλληλων λιμενικών υποδομών για ανεφοδιασμό με εναλλακτικά καύσιμα είναι ένας επιπλέον παράγοντας που πρέπει να αντιμετωπιστεί για την ευρεία χρήση τους και τη μείωση των κινδύνων που συνδέονται με την υιοθέτησή τους. Η επένδυση σε εναλλακτικά καύσιμα παρεμποδίζεται σημαντικά από ανησυχίες κόστους, οι οποίες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο. Εκτός από το ότι είναι πολύ πιο ακριβά από τα συμβατικά καύσιμα, ορισμένα εναλλακτικά καύσιμα, όπως το e-hydrogen και η e-αμμωνία, χρειάζονται ουσιαστική αρχική επένδυση για τη μετατροπή του κινητήρα και την εγκατάσταση βοηθητικών συστημάτων καυσίμου (Hansson et al., 2019, Kesime et al., 2019, Prussi et al., 2021).

Ορισμένα χαρακτηριστικά εναλλακτικών καυσίμων είναι επίσης καθοριστικά για την υιοθέτησή τους από τον ναυτιλιακό τομέα. Οι ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια πρέπει να αντιμετωπιστούν, ιδιαίτερα στην περίπτωση του υδρογόνου λόγω του υψηλού εκρηκτικού του ορίου και στην περίπτωση της αμμωνίας λόγω της υψηλής διάβρωσης και τοξικότητάς του

(Andersson et al., 2020, Cheliotis et al., 2021, Hansson et al. ., 2020, Lovdahl and Magnusson, 2019). Τα εναλλακτικά καύσιμα διαφέρουν επίσης ως προς την ενεργειακή τους πυκνότητα και τον όγκο αποθήκευσης, με το υδρογόνο να έχει τη χαμηλότερη ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, να καταλαμβάνει περισσότερο χώρο στα σκάφη και έτσι να μειώνει τη μεταφορική ικανότητα των σκαφών (Brynolf et al., 2014, Foretich et al., 2021 , Prussi et al., 2021).

3.11 EU MRV Και Όρια Έντασης GHG

Όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, η ναυτιλιακή πρωτοβουλία FuelEU επιβάλλει συγκεκριμένα όρια έντασης GHG στην ενέργεια που χρησιμοποιείται στα πλοία από το 2025 και κάθε πλοίο που λειτουργεί εντός του EOX θα πρέπει να χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα ή πηγές ενέργειας ώστε να μην υπερβαίνει αυστηρό όριο έντασης GHG. Η τιμή αναφοράς για τον υπολογισμό των περιορισμών ενεργειακής έντασης αντιστοιχεί στη μέση ένταση GHG του στόλου της ενέργειας που καταναλώνεται στα πλοία το 2020. Αυτό παρέχει το έτος αναφοράς για την εφαρμογή της Πρωτοβουλίας, η οποία βασίζεται στα δεδομένα MRV του 2020. Για τον υπολογισμό αυτής της τιμής αναφοράς, πραγματοποιήθηκε μια στατιστική αξιολόγηση των δεδομένων MRV για το έτος 2020. Η έρευνα παρέχει μια αξιολόγηση της τελευταίας τεχνολογίας το 2020 για τις εκπομπές CO₂, τους τύπους καυσίμων που χρησιμοποιούνται και την κατανάλωση καυσίμου για σκάφη που λειτουργούν εντός του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX).

Η βάση δεδομένων MRV δημιουργήθηκε με τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/757 σε μια προσπάθεια επίλυσης των πρακτικών δυσκολιών που σχετίζονται με την εφαρμογή της περιφερειακής νομοθεσίας για τη μείωση των εκπομπών GHG από τη ναυτιλία στον EOX. Σημαντικό εμπόδιο ήταν η παρακολούθηση και η επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από τα σκάφη που δραστηριοποιούνται στην περιοχή αυτή, καθώς και ο καθορισμός της γεωγραφικής εμβέλειας ενός περιφερειακού σχεδίου (Baeuerle et al., 2010, Miola et al., 2011). Με την εφαρμογή του Κανονισμού (ΕΕ) 2015/757, όλα τα εμπορικά πλοία 5.000 μεικτών τόνων και άνω που εκτελούν δρομολόγια εντός του EOX, που αναχωρούν ή φθάνουν σε λιμένα της ΕΕ, ανεξάρτητα από τη σημαία τους, υποχρεούνται να παρακολουθούν, να αναφέρουν και να επαληθεύουν εκπομπές CO₂ ετησίως. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας στη Θάλασσα (EMSA) παρέχει ετησίως στατιστικά στοιχεία από τη βάση δεδομένων MRV που περιέχει πληροφορίες για την κατανάλωση καυσίμου, τις εκπομπές CO₂, τις μεταφορικές εργασίες και την απόσταση των σκαφών που λειτουργούν στον EOX. Με τον τρόπο αυτό, καλύπτει περίπου το 90 τοις εκατό των συνολικών θαλάσσιων εκπομπών CO₂ του EOX (Nikitakos et al., 2018).

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη ο τύπος καυσίμου που χρησιμοποιείται και οι σχετικές εκπομπές CO₂ από τον στόλο που περιλαμβάνεται στη βάση δεδομένων MRV,

ενσωματώθηκαν επίσης οι συντελεστές εκπομπών διαφορετικών καυσίμων πλοίων, σε gCO₂/g καυσίμου, που αναφέρονται στον κανονισμό (ΕΕ) 2015/757 στη στατιστική ανάλυση που διεξάγεται εδώ. Εκτός από τον υπολογισμό των μέσων συντελεστών εκπομπών του στόλου για καύσιμα που χρησιμοποιούνται από πλοία το 2020, καθορίστηκαν επίσης οι μέσοι συντελεστές εκπομπών καυσίμων που χρησιμοποιούνται από διάφορα θαλάσσια τμήματα. Αυτό προσέφερε σημαντικές πληροφορίες για τις ομάδες που καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και, ως εκ τούτου, ενδέχεται να έχουν μεγαλύτερη δυσκολία να συμμορφωθούν με τη νέα Πρωτοβουλία τα επόμενα χρόνια. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τους παράγοντες εκπομπής CO₂ για διάφορα καύσιμα πλοίων.

Class	Fuel Type	gCO ₂ /gfuel
Fossil	HFO	3.114
	LSFO	3.114
	LFO	3.151
	MGO/MDO	3.206
	LNG	2.755
	LPG	3.03
	H ₂	0
	NH ₃	0
	Methanol	1.375
Renewable Fuels of non-Biological Origin (e-fuels)	e-diesel	3.206
	e-methanol	1.375
	e-LNG	2.755
	e-H ₂	0
	e-NH ₃	0

Πίνακας 2 CO₂ emission factors of different marine fuels. Regulation (EU) 2015/757; Annex II of the FuelEU

Μετά την ανάλυση της κατανάλωσης καυσίμου για το έτος 2020 και την τιμή αναφοράς για τον υπολογισμό των ορίων έντασης ενέργειας GHG που τέθηκαν στο πλαίσιο της FuelEU Maritime Initiative, αναλύονται και συνδυάζονται τα δεδομένα για την ένταση ενέργειας GHG διαφορετικών καυσίμων πλοίων (gCO₂eq/MJ). και τις μειώσεις εκπομπών Well-to-Wake για τον προσδιορισμό πιθανών εναλλακτικών οδών καυσίμου για τον στόλο που λειτουργεί εντός του EOX για την επίτευξη συμμόρφωσης με τα δεσμευτικά όρια (2021).

Συγκεκριμένα, η παρούσα έρευνά περιορίζεται στις εκπομπές CO₂ Tank-to-Wake και αποκλείει άλλες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών Well-to-Tank. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι βασίζεται σε μια εξέταση δεδομένων MRV που περιέχει ακριβώς αυτές τις συγκεκριμένες πληροφορίες. Ένα άλλο μειονέκτημα της προσέγγισής μας είναι ότι επικεντρώνεται στην επίτευξη συμμόρφωσης με την πρωτοβουλία μέσω της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και όχι εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνά μας προέρχονται από τη βάση δεδομένων MRV, η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες για τις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου ανά σκάφος για κάθε έτος. Ωστόσο, δεδομένου ότι η τιμή αναφοράς της Πρωτοβουλίας θα προκύψει χρησιμοποιώντας δεδομένα MRV για το έτος 2020 και δεδομένου ότι το γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής της Πρωτοβουλίας είναι ίσο με αυτό του κανονισμού MRV, η ανάλυση αυτών των δεδομένων εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας μελέτης.

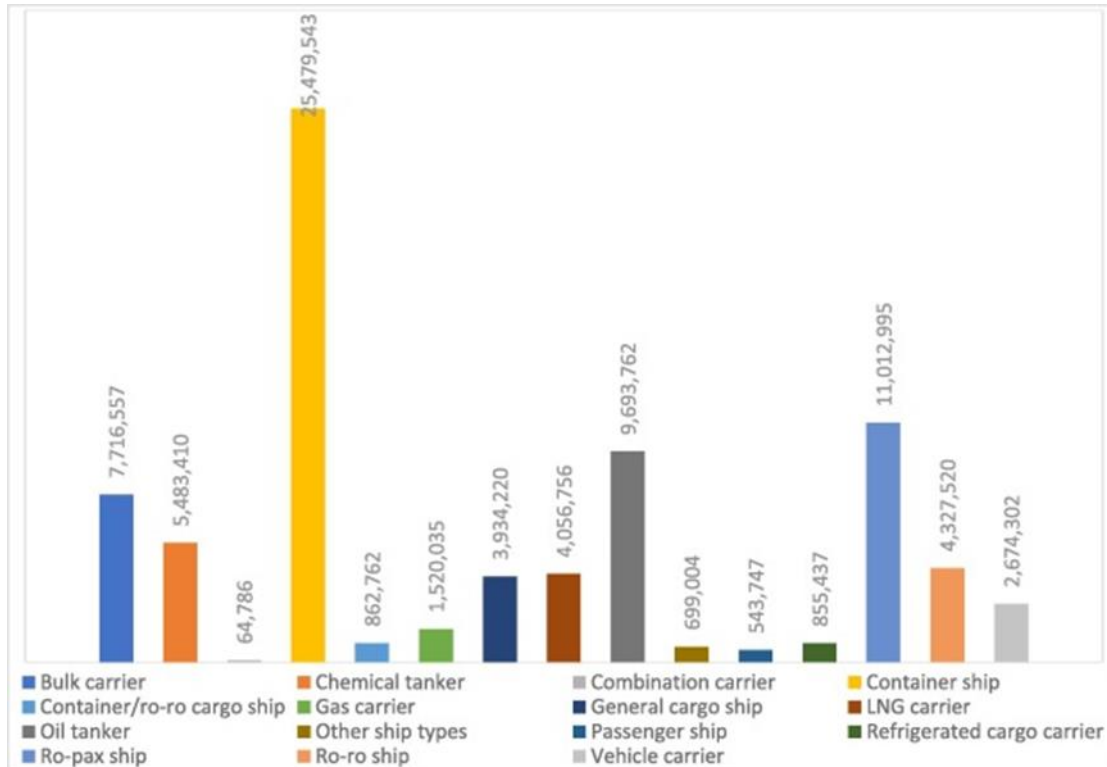
3.12 Αξιολόγηση Δεδομένων MRV

Η πρωτοβουλία FuelEU Maritime Initiative δηλώνει ότι καλύπτει «το 100% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ταξίδια από λιμένα προσέλευσης υπό τη δικαιοδοσία κράτους μέλους σε λιμάνι καταπληξίας υπό τη δικαιοδοσία κράτους μέλους και το 50% της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε ταξίδια που αναχωρεί από ή φθάνει σε λιμένα καταπληξίας που υπάγεται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους, όπου ο προηγούμενος ή ο επόμενος λιμένας κατάπλου βρίσκεται στη δικαιοδοσία τρίτης χώρας." Η πρώτη φάση στην ανάλυση των δεδομένων MRV συνίστατο στην εκτίμηση των συνολικών εκπομπών CO₂ από ενδοευρωπαϊκά ταξίδια το 2020 και του πενήντα τοις εκατό των συνολικών εκπομπών CO₂ από ταξίδια που αναχωρούν από ή φθάνουν σε λιμάνι της ΕΕ το 2020. Από το 2020 είναι η βασική γραμμή έτος για την εφαρμογή της Πρωτοβουλίας, η τιμή αναφοράς για τον υπολογισμό των περιορισμών της ενεργειακής έντασης που θα αρχίσουν να εφαρμόζονται το 2025 θα βασίζεται στις εκπομπές CO₂ και την κατανάλωση καυσίμου αυτών των ταξιδιών το 2020.

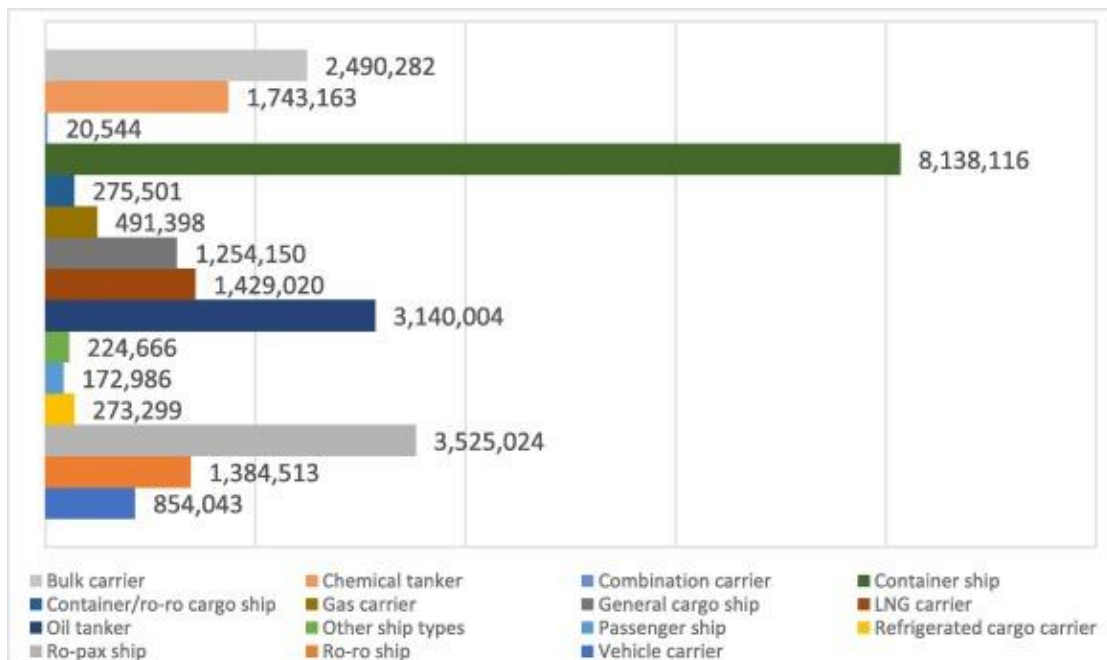
Το Σχήμα 1 δείχνει τις συνολικές εκπομπές CO₂ ανά τύπο πλοίου για ενδοευρωπαϊκά ταξίδια και το 50% των συνολικών εκπομπών CO₂ για ταξίδια που αναχωρούν από ή φθάνουν σε λιμάνι της ΕΕ για το έτος 2020, ενώ το σχήμα 2 απεικονίζει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο πλοίου για παρόμοια ταξίδια για την ίδια χρονιά.

Μετά τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών CO₂ από τα ταξίδια που περιλαμβάνονται στην Πρωτοβουλία FuelEU Maritime Initiative καθώς και της σχετικής κατανάλωσης καυσίμου, είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο μέσος συντελεστής εκπομπών του στόλου των καυσίμων που χρησιμοποιούν τα πλοία το 2020, ο οποίος θα χρησιμεύσει ως τιμή αναφοράς για τον υπολογισμό του όρια ενεργειακής έντασης για τα επόμενα έτη. Με βάση τα ευρήματα αυτής της έρευνας, αυτή η συνολική τιμή αναφοράς είναι 3.119 gCO₂/g καύσιμο, που

αντιστοιχεί στον συντελεστή εκπομπής είτε του HFO είτε του VLSFO σύμφωνα με τους συντελεστές εκπομπών διαφόρων καυσίμων ναυτιλίας που προβλέπονται στον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/757.

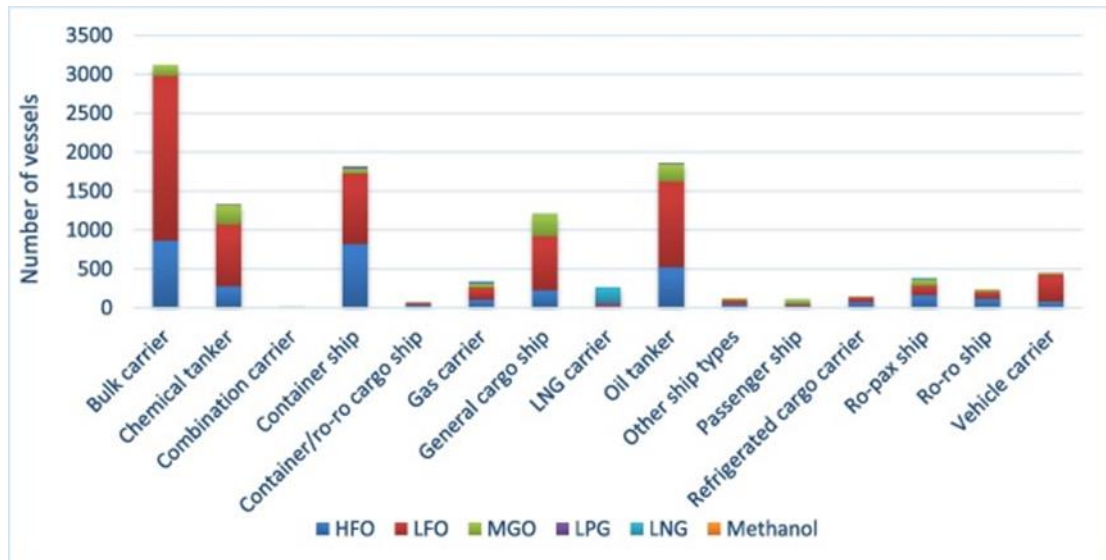


Διάγραμμα 2 Maritime CO2 emissions in the EEA in 2020 by ship type (Tonnes).



Διάγραμμα 3 Fuel consumption per ship type in the EEA in 2020 (Tonnes).

Δεδομένου ότι, από την αρχή του 2020, όλα τα σκάφη πρέπει να συμμορφώνονται με το παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου του IMO (Zis and Cullinane, 2020), είναι λογικό να υποθέσουμε ότι όλα τα πλοία που κινούνται με HFO διαθέτουν πλυντρίδες που πληρούν τον παγκόσμιο περιορισμό στις εκπομπές θείου. Με βάση τους συντελεστές εκπομπών διαφόρων καυσίμων πλοίων, εκφρασμένους σε gCO₂/gfuel, όπως προσδιορίζεται στον κανονισμό (ΕΕ) 2015/757, το σχήμα 3 και ο πίνακας 3 απεικονίζουν τα διάφορα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε ταξίδια που καλύπτονται από την πρωτοβουλία FuelEU Maritime Initiative για κάθε τύπο πλοίου.



Διάγραμμα 4 . Fuel types used per ship type in the EEA in 2020 (number of vessels).

Όπως αναμενόταν, η πλειονότητα των σκαφών το 2020 (6.513) χρησιμοποίησε LFO για να συμμορφωθεί με το παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας σε θείο, ενώ 3.381 σκάφη συνέχισαν να χρησιμοποιούν HFO παρά το γεγονός ότι πιθανότατα είχαν εγκαταστήσει scrubbers για να μειώσουν τις εκπομπές SO_x στο απαραίτητο επίπεδο. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι το LNG έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως από μεταφορείς LNG (201 σκάφη) και πολύ σπάνια από πλοία μεταφοράς αερίου (20) και πλοία RoPax (13). Το 2020, μόνο πέντε σκάφη χρησιμοποιούσαν μεθανόλη, εκ των οποίων τα τρία ήταν δεξαμενόπλοια χημικών. Σύμφωνα με την τρέχουσα έρευνα, φαίνεται πιθανό ότι αυτά τα πλοία δεν χρησιμοποιούν μεθανόλη στο σύνολό της, αλλά μόνο εν μέρει (Zis et al., 2020). Οι επενδύσεις σε αυτά τα καύσιμα πιθανότατα σχετίζονται με εθελοντικές πρωτοβουλίες που αναλαμβάνονται από μεμονωμένες ναυτιλιακές εταιρείες για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξής τους και τη διαφοροποίηση των υπηρεσιών τους παρέχοντας μια λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον ναυτιλιακή υπηρεσία (Christodoulou and Cullinane, 2020, Christodoulou and Woxenius, 2019, Lai et al., 2011, Lun et al., 2016, Parviainen et al., 2018, Yliskyla-Peuralahti and Gritsenko, 2014).

Fuel types used per ship type in the EEA in 2020						
Ship types	Fuel types					
	HFO	LFO	MGO	LPG	LNG	Methanol
Empty Cell						
Bulk carrier	864	2,114	143			
Chemical tanker	277	796	244	6	6	3
Combination carrier	4	9	2			
Container ship	818	906	62	24	9	
Container/ro-ro cargo ship	40	28	2			
Gas carrier	105	154	52	10	20	
General cargo ship	228	689	289		3	
LNG carrier	19	26		18	201	
Oil tanker	521	1,100	226	11	3	
Other ship types	48	48	22	1	2	2
Passenger ship	25	24	57	1	1	
Refrigerated cargo carrier	70	69	5			
Ro-pax ship	164	119	81	6	13	
Ro-ro ship	117	85	34			
Vehicle carrier	81	346	22	2		

Διάγραμμα 5 Fuel types used per ship type in the EEA in 2020 (number of vessels) Own elaboration based on the analysis of the data (Regulation (EU) 2015/757).

Για να εξεταστεί η επίδραση του παγκόσμιου περιορισμού του θείου στην επιλογή του τύπου καυσίμου για τα πλοία, τα δεδομένα για το 2020 συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα δεδομένα MRV από το 2019 – πριν τεθεί σε ισχύ το παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου. Τα ευρήματα επιβεβαίωσαν ότι είχε συμβεί μια σημαντική μετατόπιση από το HFO στο LFO και το MGO (Εικ. 4).



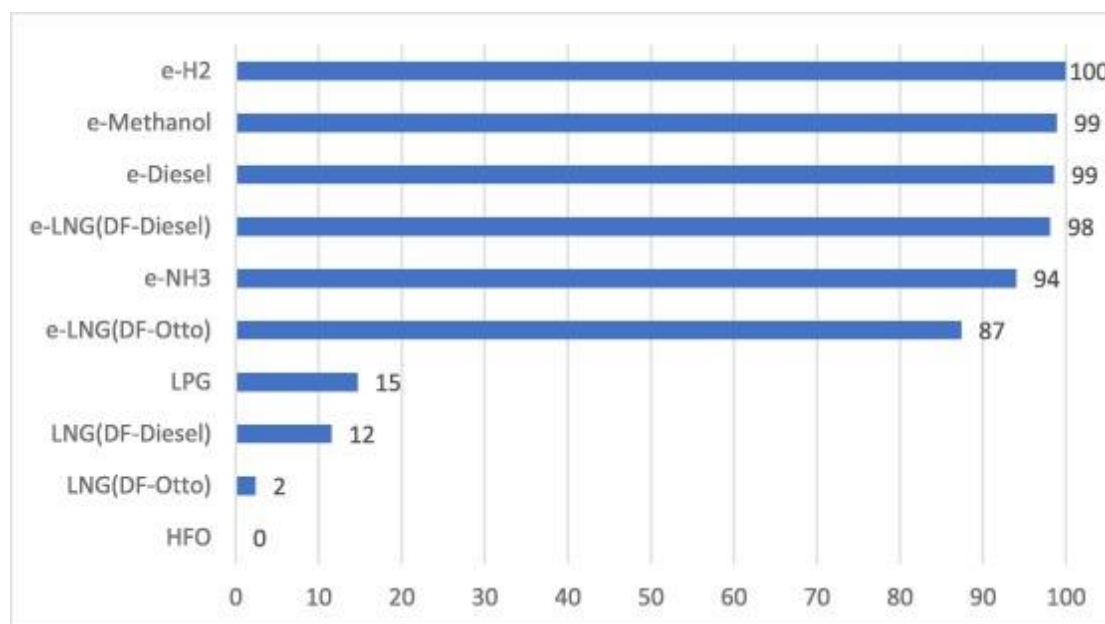
Διάγραμμα 6 Comparison of marine fuels used in the EEA in 2019 and 2020.

3.13 Πρόβλεψη οδών συμμόρφωσης για εναλλακτικά καύσιμα

Έχοντας υπολογίσει τους τύπους καυσίμων που χρησιμοποιούνται για το έτος αναφοράς του 2020, που θα είναι το έτος αναφοράς για την εφαρμογή της ναυτιλιακής πρωτοβουλίας FuelEU και τον καθορισμό συγκεκριμένων ορίων έντασης GHG της ενέργειας που χρησιμοποιούν τα πλοία από το έτος 2025, η τιμή αναφοράς για Ο υπολογισμός αυτών των ορίων ενεργειακής έντασης έχει καθοριστεί με βάση τον μέσο συντελεστή εκπομπών του στόλου για κάθε τύπο καυσίμου. Σε αυτήν την υποενοότητα, αναλύονται οι πιθανές οδοί για την ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων που θα μπορούσαν να ακολουθηθούν για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τη ναυτιλιακή πρωτοβουλία FuelEU.

Το άρθρο 4 της Ναυτιλιακής Πρωτοβουλίας FuelEU θεσπίζει συγκεκριμένους περιορισμούς έντασης αερίων του θερμοκηπίου για την ενέργεια που καταναλώνεται από ένα πλοίο κατά τη διάρκεια μιας περιόδου αναφοράς, οι οποίοι δεν πρέπει να υπερβαίνουν, και καθορίζονται με μείωση της τιμής αναφοράς των [X γραμμάρια ισοδυνάμου CO₂ ανά MJ] κατά ορισμένο ποσοστό. Με βάση την προηγουμένως περιγραφείσα ανάλυση των δεδομένων MRV για το έτος 2020, αυτή η τιμή αναφοράς είναι 3.119 gCO₂/g καυσίμου, η οποία αντιστοιχεί στον συντελεστή εκπομπής είτε του HFO είτε του VLSFO σύμφωνα με τους συντελεστές εκπομπών διαφόρων καυσίμων πλοίων, σε gCO₂ /gfuel, όπως ορίζεται στον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/757.

Τα δεδομένα αναλύθηκαν περαιτέρω και συνδυάστηκαν με τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα II της Πρωτοβουλίας σχετικά με την ενεργειακή ένταση GHG διαφορετικών καυσίμων πλοίων (gCO₂eq/MJ) και τις μειώσεις εκπομπών Well-to-Wake σε gCO₂eq/kWh που εκτιμήθηκαν από τους Lindstad et al. (2021) για τον προσδιορισμό πιθανών οδών εναλλακτικών καυσίμων για τον στόλο που δραστηριοποιείται εντός του ΕΟΧ ώστε να συμμορφώνεται με τα δεσμευτικά όρια. Το δυναμικό μείωσης των εκπομπών CO₂eq Well-to-Wake από τη χρήση διαφορετικών ναυτιλιακών καυσίμων εκτιμάται από τους Lindstad et al. (2021), μαζί με τους συντελεστές εκπομπών διαφορετικών καυσίμων που αναφέρονται στον κανονισμό (ΕΕ) 2015/757 και στο Παράρτημα II της Πρωτοβουλίας, χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για τον προσδιορισμό των καυσίμων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των απαιτήσεων του FuelEU Maritime Πρωτοβουλία, χρησιμοποιώντας ως σημείο εκκίνησης την τιμή αναφοράς που υπολογίστηκε από την ανάλυση της πρωτοβουλίας FuelEU Maritime Initiative. Το Σχήμα 5 απεικονίζει την πιθανή μείωση των εκπομπών CO₂eq Well-to-Wake από τη χρήση διαφόρων καυσίμων πλοίων. Ακόμη και αν η χρήση του ηλεκτρονικού υδρογόνου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση κατά 100% των εκπομπών από τη ναυτιλία όταν παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αυτή η ενέργεια θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του καυσίμου αντί για την τροφοδοσία ενός άλλου τομέα που χρειάζεται εναλλακτική ενέργεια. Επομένως, υπάρχει κάποιο είδος περιβαλλοντικού κόστους ευκαιρίας.



Διάγραμμα 7 Well-to-Wake CO₂eq. emissions reduction potential from the use of different marine fuels compared to HFO (%).

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει πιθανές οδούς εναλλακτικών καυσίμων για τον στόλο που δραστηριοποιείται εντός του ΕΟΧ προκειμένου να επιτύχει συμμόρφωση με τα δεσμευτικά όρια συνδυάζοντας αυτά τα όρια με το δυναμικό μείωσης των εκπομπών CO₂eq Well-to-Wake από τη χρήση διαφορετικών ναυτιλιακών καυσίμων και χρησιμοποιώντας την τιμή αναφοράς που προέρχεται από η ανάλυση των δεδομένων MRV ως σημείο εκκίνησης.

Pathway name	Well-to-Wake CO ₂ eq. emissions reduction potential from the use of different marine fuels compared to HFO (%)	GHG energy intensity limits
HFO	0	
LNG(DF-Otto)	2%	2% from 01/01/2025
LNG(DF-Diesel)	12%	6% from 01/01/2030
LPG	15%	13% from 01/01/2035
e-LNG(DF-Otto)	87%	26% from 01/01/2040
e-NH ₃	94%	
e-LNG(DF-Diesel)	98%	
e-Diesel	99%	59% from 01/01/2045
e-Methanol	99%	
e-H ₂	100%	75% from 01/01/2050

Διάγραμμα 8 Well-to-Wake CO₂eq. emissions reduction potential from the use of different marine fuels compared to HFO (%).

Ο Πίνακας 4 δείχνει ότι οι περιορισμοί στην ένταση της ενέργειας GHG που θεσπίστηκαν από την FuelEU Maritime Initiative θα μπορούσαν να εκπληρωθούν πριν από την έναρξη του 2040, ακόμη και αν τα σκάφη που λειτουργούν στον ΕΟΧ συνέχιζαν να χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα (LPG). Προκειμένου να εκπληρωθούν οι σημαντικά υψηλότεροι ενεργειακοί περιορισμοί που καθορίστηκαν για το 2040 και μετά, οι οποίοι φτάνουν έως και 75% μειώσεις το 2050 σε σύγκριση με το 2020, η χρήση ανανεώσιμων ηλεκτρονικών καυσίμων καθίσταται ζωτικής σημασίας. Το γεγονός ότι η χρήση υγραερίου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου Well-to-Wake σε σύγκριση με άλλα ορυκτά

καύσιμα έχει επίσης αξιολογηθεί στην τρέχουσα βιβλιογραφία. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη ολίσθησης μεθανίου από τη διαδικασία καύσης του, σε αντίθεση με το LNG (Bryngolf et al., 2014, Jang et al., 2021, Prussi et al., 2021, Yeo et al., 2022).

Αυτή η έρευνα καταδεικνύει ότι η εφαρμογή διεθνών και περιφερειακών νόμων μπορεί να έχει σημαντική επιρροή και να επιταχύνει την ενεργειακή μετάβαση στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Κατά την εξέταση των καυσίμων πλοίων που χρησιμοποιούνται στον ΕΟΧ μετά την εφαρμογή του παγκόσμιου κανονισμού περί θείου του IMO, είναι προφανές ότι η πρωταρχική απάντηση της βιομηχανίας στη μείωση των εκπομπών SO_x από τις ναυτιλιακές δραστηριότητες και στην επίτευξη συμμόρφωσης με τον κανονισμό του IMO ήταν η μετατόπιση από HFO σε LFO και MGO. Από την άποψη αυτή, η ναυτιλιακή πρωτοβουλία FuelEU έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει τη μετάβαση του κλάδου σε εναλλακτικά καύσιμα. Ωστόσο, λόγω πολλών παραγόντων που επηρεάζουν, είναι πιθανό να συμβεί πρώτα μια μετάβαση σε ορυκτά καύσιμα με χαμηλότερη ενεργειακή ένταση GHG (όπως το LNG και το LPG), με την ευρεία υιοθέτηση των ανανεώσιμων καυσίμων πιθανό να συμβεί αργότερα.

Επί του παρόντος, η παροχή ανανεώσιμων καυσίμων είναι περιορισμένη. Πριν από μια σχετικά πρόσφατη περίοδο, οι περισσότερες προσπάθειες επικεντρώνονταν στην ανάπτυξη λιμενικών και χερσαίων υποδομών για ανεφοδιασμό με LNG. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα μιας ποικιλίας εναλλακτικών καυσίμων εντός των λιμανιών κερδίζει ρυθμό, με τα μεγάλα λιμάνια να αρχίζουν να κατασκευάζουν εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού για διάφορα καύσιμα. Για να συνεχιστεί η ανάπτυξη της αμμωνίας και του υδρογόνου ως καυσίμων στη θάλασσα, πρέπει να επιλυθούν οι περιορισμοί ασφάλειας και κανονιστικών ρυθμίσεων. Τα τρέχοντα πρότυπα ασφαλείας του IMO απαγορεύουν τη χρήση υδρογόνου και αμμωνίας ως καύσιμα για τη θάλασσα λόγω του υψηλού εκρηκτικού ορίου του υδρογόνου και της διάβρωσης και της τοξικότητας της αμμωνίας, τα οποία εντείνουν τα προβλήματα ασφαλείας που σχετίζονται με τη χρήση τους. Σε αυτό το πλαίσιο, απαιτούνται τροποποιήσεις στις πρακτικές ασφαλείας και στις απαιτήσεις του IMO.

Για τη μετάβαση στα ανανεώσιμα καύσιμα πλοίων, το «χάσμα κόστους» μεταξύ της χρήσης τους και των συμβατικών καυσίμων παραμένει το σημαντικότερο εμπόδιο που πρέπει να ξεπεραστεί. Υπό το φως της νομοθετικής αβεβαιότητας και των υψηλών κεφαλαιουχικών και λειτουργικών δαπανών που συνδέονται με τη χρήση ανανεώσιμων καυσίμων, το LNG και το LPG παρέχουν το όφελος των μειωμένων τιμών των καυσίμων εκτός από την τεχνολογική και λειτουργική τους ωριμότητα (Wang & Wright, 2021). Σε σύγκριση με τα ανανεώσιμα καύσιμα, οι επενδύσεις σε υποδομές LNG και LPG θα έχουν ταχύτερη περίοδο απόδοσης λόγω του χαμηλότερου κόστους κεφαλαίου τους. Επιπλέον, οι προβλέψεις κόστους καυσίμων για το 2030 δείχνουν ότι τα ηλεκτρονικά καύσιμα θα συνεπάγονταν πολύ μεγαλύτερα λειτουργικά έξοδα από τα παραδοσιακά καύσιμα (Korberg et al., 2021). Ενώ τα ετήσια λειτουργικά έξοδα

για ένα μεγάλο πλοίο που χρησιμοποιεί HFO αναμένεται να είναι περίπου 200.000 € (συμπεριλαμβανομένου του συστήματος πρόωσης και των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης), αυτά τα έξοδα αυξάνονται σε 3.000 € και 3.300 €, αντίστοιχα, όταν χρησιμοποιούν e-μεθανόλη και e-αμμωνία. Στην περίπτωση ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, η διαφορά στο ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι πολύ πιο έντονη, φτάνοντας τα 14.250 χιλ. € και τα 16.300 χιλ. € όταν χρησιμοποιούνται e-μεθανόλη και e-αμμωνία, αντίστοιχα. Αυτό σε σύγκριση με €2400 χιλ. όταν χρησιμοποιείται HFO. Πρόσφατη έρευνα διερεύνησε επίσης το γεγονός ότι ορισμένα ανανεώσιμα καύσιμα πλοίων είναι πιο πλεονεκτικά για διάφορες ναυτιλιακές βιομηχανίες (Brynolf et al., 2022)^[83]. Όσον αφορά τα ηλεκτρονικά καύσιμα, η χρήση της ηλεκτρονικής μεθανόλης και της ηλεκτρονικής αμμωνίας φαίνεται να είναι περισσότερο εφαρμόσιμη στις μεταφορές βαθέων υδάτων και στους εξειδικευμένους τομείς των θαλάσσιων μεταφορών μικρών αποστάσεων, ενώ η ηλεκτροδότηση αναμένεται να διαδραματίσει κυρίαρχο ρόλο στην απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές μικρών αποστάσεων.

Οι Brynolf et al. (2022) υπολόγισε ότι το κόστος μείωσης του άνθρακα για τα διάφορα ηλεκτρονικά καύσιμα για τη ναυτιλία κυμαίνεται από 150 έως 1250 €/τόνο CO₂, με το προβλεπόμενο κόστος μείωσης άνθρακα για το υδροποιημένο υδρογόνο στη ναυτιλία κυμαίνεται από 220 έως 850 €/τόνο CO₂. Παρά την προσδοκία ότι το κόστος παραγωγής των ηλεκτρονικών καυσίμων θα μειωθεί μακροπρόθεσμα (μετά το 2040) λόγω τεχνικής ωριμότητας και αυξημένης ζήτησης, είναι σαφές ότι αυτές οι μεγάλες διαφορές κόστους καυσίμων πρέπει να μετριαστούν, είτε μέσω φόρων άνθρακα στα καύσιμα πλοίων που βασίζονται σχετικά με την ενεργειακή τους ένταση GHG ή μέσω της επιδότησης ανανεώσιμων καυσίμων, τουλάχιστον κατά την αρχική φάση της υιοθέτησής τους (Foretich et al., 2021, Prussi et al., 2021)^[84].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι προορατικές εταιρείες σε όλο τον κόσμο επενδύουν ήδη σε ηλεκτρονικά καύσιμα και άλλες πηγές ενέργειας προκειμένου να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να απελευθερώσουν τις δραστηριότητές τους, παρά τα τρέχοντα εμπόδια και περιορισμούς για την υιοθέτηση εναλλακτικών καυσίμων. Ιδιαίτερα στη Βόρεια Ευρώπη, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις ναυτιλιακών εταιρειών που επενδύουν σε ηλεκτρονική μεθανόλη (A.P. Moller-Maersk and Stena Line) και αιολική πρόωση (Wallenius Marine) για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (A.P. Moller-Maersk, 2022, Stena Line, 2022, Wallenius Marine, 2022).

4

Μεθοδολογία Διπλωματικής

4.1 Νομοθεσία FuelEU και Όρια Εκπομπών

Όπως αναπτύχθηκε στο θεωρητικό μέρος, η FuelEU νομοθεσία είναι μια πρόταση που έχει προταθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η πρόταση αποσκοπεί στη θέσπιση ενός συστήματος πιστοποίησης καυσίμων για τα πλοία που εισέρχονται και εξέρχονται από τα λιμάνια της ΕΕ. Σύμφωνα με την πρόταση, οι εταιρείες ναυτιλίας πρέπει να δηλώνουν το επίπεδο εκπομπών CO₂ από τα πλοία τους και να επιβεβαιώνουν ότι χρησιμοποιούν καύσιμα που πληρούν τους κανονισμούς της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών. Σε περίπτωση που οι εκπομπές υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια, οι εταιρείες θα πρέπει να αποκτήσουν εκπομπικά δικαιώματα για να καλύψουν το πλεόνασμα. Ο στόχος της νομοθεσίας FuelEU είναι να διασφαλίσει ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία μειώνονται σταδιακά και συνεισφέρουν στην προσπάθεια της ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η πρόταση είναι μέρος της προσπάθειας της ΕΕ να επιτύχει τον στόχο της κλιματικής αλλαγής του Παρισιού, που στοχεύει στον περιορισμό της παγκόσμιας θερμοκρασίας αύξησης κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με τα προβιοληθέντα επίπεδα.

Στις 16 Ιουλίου 2021 εκδόθηκε από την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Επιτροπής η αναθεωρημένη πρόταση για την θεσμοθέτηση των Απαιτήσεων των Πλοίων σε Ενέργεια κατά την πλεύση τους (Requirements on Energy Used On-Board by Ships, Chapter 4, Article 4, 2021/0210COD). Σύμφωνα με την FuelEU:

“ Η μέση ετήσια ένταση σε εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου CO₂ δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα όρια που θεσμοθετούνται από την FuelEU. Τα όρια αυτά υπολογίζονται ως προς την τιμή αναφοράς $X \text{ gCO}_2/\text{MJ}$ (γραμμάρια CO₂ ανα MJ) με το ακόλουθο ποσοστό μείωσης:

- -2% από την 1^η Ιανουαρίου του 2025
- -6% από την 1^η Ιανουαρίου του 2030
- -13% από την 1^η Ιανουαρίου του 2035
- -26% από την 1^η Ιανουαρίου του 2040
- -59% από την 1^η Ιανουαρίου του 2045
- -75% από την 1^η Ιανουαρίου του 2050

Η τιμή αναφοράς αναφέρεται στον μέσο όρο έντασης εκπομπών του παγκοσμίου στόλου το 2020 όπως έχει καταγραφεί στο framework της νομοθεσίας EU MRV (EU) 2015/757, Monitoring Reporting and Verification και αποτελεί default value της μελέτης. Σύμφωνα με την έκθεση της EU MRV, ο μέσος όρος της έντασης εκπομπών του παγκοσμίου στόλου μέσα στο 2020 υπολογίστηκε με βάση τα στοιχεία των ναυτιλιακών εταιριών που συμμορφώνονται με την νομοθεσία MRV. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τη ποσότητα του καυσίμου που καταναλώθηκε, άρα τις αντίστοιχες εκπομπές CO₂, την ισχύ υπηρεσίας των πλοίων, στοιχεία τα οποία επαυξάνονται στον υπολογισμό των μέσων εκπομπών GHG.

Σύμφωνα με την μελέτη της Christodoulou et al., 2021^[85], από την συλλογή όλων των στοιχείων μέσω των BDN που είναι υποχρεωτική, σύμφωνα με την MARPOL Annex VI η τιμή αναφοράς X της FuelEU ανέρχεται στα:

$$x = 3.119 \text{ gCO}_2/\text{g}[fuel]$$

Αυτή η τιμή αναφοράς αναλύεται περαιτέρω με τα στοιχεία που διαθέτει η EU MRV^[86] και η Annex II της Initiative on the GHG Energy για τα διάφορα emission fractions των διάφορων Emission Fractions για τα διάφορα καύσιμα στη ναυτιλία:

HFO (Heavy Fuel Oil): $EF_{HFO} = 76 \text{ g}[HFO]/MJ$

MDO (Marine Diesel Oil): $EF_{HFO} = 74 \text{ g}[MDO]/MJ$

LPG (Liquid Petroleum Gas): $EF_{LPG} = 62 \text{ g}[LPG]/MJ$

LNG (Liquid Natural Gas): $EF_{LNG} = 57 \text{ g}[LNG]/MJ$

Όσον αφορά τα Ναυτιλιακά Βιοκαύσιμα (Marine Biofuels) έχει πραγματοποιηθεί εκτενής έρευνα από τους Noor και Mamat (2019)^[87] σχετικά με τον υπολογισμό των emission factors και υπάρχει ένα εύρος στην τιμή τους καθώς αυτή εξαρτάται από την διαδικασία παραγωγής και την περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες του ναυτιλιακού βιοκαυσίμου. Με μια ασφαλή υπόθεση των παραπάνω ερευνητών θεωρούνται 3 ειδών Ναυτιλιακά Βιοκαύσιμα:

HMB (High Carbon Intensity Marine Biofuel): $EF_{HMB} = 40 \text{ g}[HMB]/MJ$

MMB (Medium Carbon Intensity Marine Biofuel): $EF_{MMB} = 30 \text{ g}[MMB]/MJ$

LMB (Low Carbon Intensity Marine Biofuel): $EF_{LMB} = 20 \text{ g}[LMB]/MJ$

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω αποτελέσματα η τιμή αναφοράς X της FuelEU ως ένταση εκπομπών CO₂ εξαρτάται από το καύσιμο που χρησιμοποιείται με συνηθέστερο το HFO στην ναυτιλία και μπορεί να λάβει την τιμή:

$$X = X_{HFO} = 237.044 \text{ gCO}_2/MJ$$

Σημειωτέον σύμφωνα και με την Christodoulou^[85] (2021) από τα Fuel Oil καύσιμα, τα emission factors CO₂ των LSFO, VLSFO και ULSFO είναι (σχεδόν) ίδια κοινά και έχουν ληφθεί ως HFO, και αυτό γιατί η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο (S%) και η διαδικασία αποθείωσης

του HFO δεν επιρεάζει ονομαστικά την περιεκτικότητα του σε υδρογονάνθρακες και το EF ως προς CO₂.

	Fuel	EF (gFuel/MJ)	MARPOL (gCO ₂ /gFuel)	FuelEU X (gCO ₂ /MJ)
HFO	Heavy Fuel Oil	76	3.119	237.044
MDO	Marine Diesel Oil	74		230.806
LPG	Liquid Petroleum Gas	62		193.378
LNG	Liquid Natural Gas	57		177.783
HMB	High Carbon Intensity Marine Biofuel	40		124.760
MMB	Medium Carbon Intensity Marine Biofuel	30		93.570
LMB	Low Carbon Intensity Marine Biofuel	20		62.380

Μια συνήθης προσέγγιση στην μελέτη των εκπομπών σύμφωνα με τους Ziegler και Eigaard^[88] (2019) αποτελεί η θεώρηση ενός πλοίου το οποίο καταναλώνει HFO στην κύρια μηχανή και στους ηλεκτροκινητήρες του. Βάσει του παραπάνω πίνακα, η υπάρχουσα emission intensity θα έχει την παρακάτω τιμή αναφοράς κατά FuelEU με τιμή X [gCO_2/MJ]:

$$X = 237.044 \text{ } gCO_2/MJ$$

Επομένως η FuelEU επιτάσσει την μείωση της έντασης εκπομπών σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα της νομοθεσίας^[89]:

Year	Reduce [%]	Xref (gCO ₂ /MJ)	Emission Goal (gCO ₂ /MJ)
2025	-2%	237.044	232.303
2030	-6%		222.821
2035	-13%		206.228
2040	-26%		175.413
2045	-59%		97.188
2050	-75%		59.261

Αυτός λοιπόν είναι και ο στόχος ως όριο που θέτει η νομοθεσία FuelEU για την ναυτιλία σε στάδια ανά 5ετία. Η ποντοπόρα ναυτιλία αντιμετωπίζει προκλήσεις σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων των πλοίων και την αντίκτυπο τους στο περιβάλλον. Για να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων τους, οι εταιρείες ποντοπόρας ναυτιλίας μπορούν να λάβουν μια σειρά μέτρων και υιοθετήσουν τεχνολογίες που συμβάλλουν στην πιο βιώσιμη λειτουργία των πλοίων. Οι ερευνητές Wang et al^[90] (2021) προτείνουν τις παρακάτω τις κύριες προσεγγίσεις και μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των εκπομπών ρύπων στην ποντοπόρα ναυτιλία:

Εναλλακτικά καύσιμα: Μια από τις κύριες προσεγγίσεις για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι η αντικατάσταση των παραδοσιακών καυσίμων, όπως το βαρέων

θείου φορτηγού πετρέλαιο (HFO), με εναλλακτικά καύσιμα που είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Παραδείγματα εναλλακτικών καυσίμων είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το υγροποιημένο πετρέλαιο αέριο (LPG), οι βιοκαύσιμοι κ.ά. Αυτά τα καύσιμα έχουν χαμηλότερο επίπεδο εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα.

Τεχνολογίες καύσης: Οι σύγχρονες τεχνολογίες καύσης μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι υψηλής απόδοσης καυστήρες και οι προηγμένες τεχνολογίες καύσης μπορούν να επιτύχουν καλύτερη καύση και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων.

Βελτιωμένη διαχείριση καυσίμων: Η βελτιωμένη διαχείριση των καυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και, ως εκ τούτου, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της βελτιστοποίησης των ρυθμίσεων των κινητήρων, της αποτελεσματικής λειτουργίας των συστημάτων καυσίμων και της εκπαίδευσης του προσωπικού για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Οι προηγμένες τεχνολογίες όπως οι ηλιακοί πίνακες και οι αιολικοί σταθμοί μπορούν να ενσωματωθούν στα ποντοπόρα πλοία για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του πλοίου και να μειώσει την εξάρτηση από τα παραδοσιακά καύσιμα.

Βελτιστοποίηση λειτουργιών: Η βελτιστοποίηση των λειτουργιών των πλοίων μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της βελτιστοποίησης των δρομολογίων και των ταχυτήτων, της χρήσης προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης καυσίμων και της εφαρμογής τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας, όπως η αποσύνδεση κινητήρων και η χρήση της θαλάσσιας ρεύματος για την παροχή ενέργειας στο λιμάνι.

Όπως αναφέρουν οι Wang και Deng^[90] στην έρευνά τους οι παραπάνω προσεγγίσεις μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των ποντοπόρων πλοίων. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και πρακτικών είναι σημαντική για την επίτευξη ακόμη μεγαλύτερων μειώσεων στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ποντοπόρα ναυτιλία. Συνολικά, η μείωση των εκπομπών ρύπων στην ποντοπόρα ναυτιλία απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει την αντικατάσταση των παραδοσιακών καυσίμων, την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των πλοίων. Η διαρκής ανάπτυξη R&D και συνεργασία μεταξύ των εταιρειών ναυτιλίας, των κατασκευαστών, των κρατικών φορέων και των θεσμικών οργάνων είναι ζωτικής σημασίας για την περαιτέρω πρόοδο στον τομέα της μείωσης των εκπομπών ρύπων στην ποντοπόρα ναυτιλία.

4.2 Στρατηγικές Επίτευξης Ορίων Εκπομπών κατά FuelEU

Σύμφωνα με την έρευνα του Hughes^[91] (2021) προκειμένου μια ναυτιλιακή εταιρία να πετύχει τα όρια που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση με την θεσμοθέτηση της FuelEU θα πρέπει να αξιολογήσει την επένδυση της σε:

- 1) Εναλλακτικά Καύσιμα, με την αξιολόγηση εγκατάστασης ενός συστήματος:
 - a. Dual Fuel (με HFO και LNG) ή (HFO και Βιοκαύσιμα)
 - b. Μετασκευή της Κύριας Μηχανής προς κατανάλωση MDO ή κάποιου άλλου εναλλακτικού καυσίμου από τα παραπάνω (LPG, ή Βιοκαύσιμα)
- 2) Επένδυση σε εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως:
 - a. Solar Panels (βλ. Eco Marine Power Wind – Solar Ship)
 - b. Χρήση Wind Harvesting τεχνολογίας (βλ. Sky Sails / Kite Ships)
 - c. Χρήση Wind Rotors (βλ. Flettner Rotor Ship)
- 3) Επένδυση σε τεχνολογία ShaPoLi (Shaft Power Limitation) προς μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, άρα και των εκπομπών ρύπων
- 4) Επένδυση σε τεχνολογίες Zero-Carbon-Emissions, με σημαντικότερη την τεχνολογία Carbon Capture, την οποία και θα μελετήσουμε στην παρούσα διπλωματική

Στην παρούσα διπλωματική επιχειρούμε την πραγματοποίηση μελέτη σκοπιμότητας και εφικτότητας για την αξιολόγηση των επενδύσεων οι οποίες σύμφωνα και με τους Feenstra και Monteiro^[92] (Ship-based carbon capture onboard of diesel or LNG-fuelled ships, 2019) ίσως να είναι οι πιο εφικτές και βιώσιμες προς μελέτη:

- Dual Fuel και Main Engine Modification προς κατανάλωση εναλλακτικών καυσίμων
- Τεχνοοικονομική μελέτη αξιολόγησης σε επένδυση Carbon Capture τεχνολογίας

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε την εφικτότητα και την σκοπιμότητα των παραπάνω επενδύσεων θα πρέπει να συγκρίνουμε τις επενδύσεις αυτές σε ένα πλοίο αναφοράς. Όπως και στην έρευνα των Wissner και Cames^[93] (2022), έτσι και στην παρούσα διπλωματική ορίζουμε ως πλοίο αναφοράς το συνηθέστερο Aframax^[94] εμπορικό πλοίο με τα εξής στοιχεία:

Reference Vessel 1		
Type	Product Carrier	
DWT	120000	t
L	240	m
B	45	m
D	22	m
Tdesign	14	m
MCR	12000 kW x 82 RPM	
ENGINE:	MAN B&W 6G60ME-C9.2	
FUEL:	HFO (LSFO & VLSFO)	

5

Αποτελέσματα Διπλωματικής

5.1 Εφικτότητα Εγκατάστασης Dual Fuel Τεχνολογιών

Η τεχνολογία Dual Fuel όπως τονίζουν οι Beshouri και Fische^[94] (2019) αναφέρεται στη χρήση δύο διαφορετικών καυσίμων σε μια μηχανή ποντοπόρου πλοίου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για τη χρήση τόσο παραδοσιακών καυσίμων όπως το Heavy Fuel Oil (HFO) ή το Marine Diesel Oil (MDO), όσο και εναλλακτικών καυσίμων όπως το υγραέριο φυσικό (LNG) ή το υγροποιημένο πετρέλαιο (LPG). Για να εφαρμοστεί η τεχνολογία Dual Fuel σε ένα ποντοπόρο πλοίο, απαιτούνται ορισμένες μετασκευές στην υπάρχουσα μηχανή. Οι κύριες μετασκευές περιλαμβάνουν:

A) Εγκατάσταση αποθηκευτικού χώρου για τα εναλλακτικά καύσιμα: Ανάλογα με το εναλλακτικό καύσιμο που επιλέγεται, χρειάζεται να προστεθεί επιπλέον αποθηκευτικός χώρος στο πλοίο για τον αποθεματοποιημένο όγκο του καυσίμου.

B) Τροποποίηση του συστήματος καυσίμων: Οι μετασκευές περιλαμβάνουν την εγκατάσταση διπλού συστήματος παροχής καυσίμου, που θα επιτρέπει την παραλαβή και την επεξεργασία τόσο του παραδοσιακού καυσίμου όσο και του εναλλακτικού καυσίμου. Αυτό περιλαμβάνει την προσθήκη επιπλέον συστημάτων ψύξης, αντλιών και δοχείων για το εναλλακτικό καύσιμο.

Γ) Αναβαθμίσεις στο σύστημα ελέγχου: Οι μετασκευές περιλαμβάνουν την αναβάθμιση των συστημάτων ελέγχου της μηχανής, προκειμένου να διαχειρίζονται την αλλαγή του καυσίμου και να εξασφαλίζουν την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία του πλοίου.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας Dual Fuel στα ποντοπόρα πλοία προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Όπως αναφέρεται στην έρευνα των Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως το LNG ή το LPG μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO₂, ενώ η χρήση του HFO ή του MDO μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν δεν είναι διαθέσιμα τα εναλλακτικά καύσιμα. Επιπλέον, η τεχνολογία Dual Fuel επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις μελλοντικές εξελίξεις και περιορισμούς που αφορούν τις εκπομπές ρύπων στη ναυτιλία.

Η μετασκευή σε Dual Fuel τεχνολογία μπορεί να έχει επιπτώσεις στο λειτουργικό κόστος του πλοίου. Ωστόσο, η ακριβής αύξηση του κόστους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος της μηχανής, τον εξοπλισμό που απαιτείται για την αποθήκευση και τη χρήση των εναλλακτικών καυσίμων, καθώς και την διαθεσιμότητα των καυσίμων στην περιοχή δρομολόγησης του πλοίου. Αρχικά, οι μετατροπές και οι προσθήκες που απαιτούνται για την εφαρμογή της Dual Fuel τεχνολογίας μπορεί να επιφέρουν αρχικά κόστη. Αυτό περιλαμβάνει την αγορά και την εγκατάσταση των συστημάτων χειρισμού καυσίμων, την αλλαγή του συστήματος παροχής καυσίμων και την αναβάθμιση των συστημάτων ελέγχου.

Παρόλαυτά, το λειτουργικό κόστος μπορεί να επηρεαστεί ανάλογα με την διαθεσιμότητα και την τιμή των εναλλακτικών καυσίμων. Συνήθως, εναλλακτικά καύσιμα όπως το LNG και το LPG μπορεί να έχουν υψηλότερη αρχική επένδυση, αλλά μπορεί να παρουσιάζουν χαμηλότερο κόστος καυσίμου σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα στο μακροπρόθεσμο. Επιπλέον, οι απαιτήσεις συντήρησης και εκπαίδευσης του προσωπικού για την ασφαλή χρήση της Dual Fuel τεχνολογίας μπορεί να προσθέσει κάποια λειτουργικά έξοδα.

Συνολικά, σύμφωνα με τους Tam και Dev^[95] (2019), παρά το αρχικό κόστος και τις πιθανές αυξημένες δαπάνες, η εφαρμογή της Dual Fuel τεχνολογίας μπορεί να επιφέρει μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και να συνεισφέρει στην αειφόρο ανάπτυξη της ποντοπόρας ναυτιλίας. Τα οφέλη από τη μείωση των εκπομπών ρύπων και την συμμόρφωση με την νομοθεσία περί περιβαλλοντικής προστασίας μπορεί να αντισταθμίσουν το αυξημένο λειτουργικό κόστος στον μακροπρόθεσμο χρόνο.

Υπάρχουν οι εξής δυνατότητες επένδυσης με σκοπό Dual Fuel Retrofitting της Κύριας Μηχανής όπως:

- HFO με LPG
- HFO με LNG
- HFO με Marine Biofuels
- HFO με NH₃ (Αμμωνία)

Η επιλογή του εναλλακτικού καυσίμου που θα εφαρμόσουμε στην μετασκευή Dual Fuel είναι κρίσιμη διότι πρέπει να λάβουμε υπόψη την αύξηση του κόστους επένδυσης στην μετασκευή, το οποίο θα είναι πολύ σημαντικό όσο αυξάνεται και η πολυπλοκότητα εγκατάστασης ιδιαίτερα σε concept-type εγκαταστάσεις dual fuel όπως αμμωνίας. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη η αύξηση του κόστους λόγω της διαθεσιμότητας του εναλλακτικού καυσίμου υπό μελέτη στα λιμάνια που κάνει berthing το πλοίο, καθώς δεν είναι δεδομένο ότι όλα τα λιμάνια έχουν την δυνατότητα σε bunkering εναλλακτικών καυσίμων (πχ marine biofuels). Σύμφωνα με τις τάσεις μετασκευών όπως τονίζουν και οι A Sharafian et al.^[96] (2019), τα πλοία τείνουν να πραγματοποιούν μετασκευή dual fuel με HFO & LNG, ιδίως τα LNG carriers τα οποία ήδη μεταφέρουν LNG, και μπορούν να έχουν την δυνατότητα με σχετικά εύκολη μετασκευή να

τροφοδοτήσουν με LNG την κύριά τους μηχανή. Γι αυτό και η περίπτωση αυτή θα μελετηθεί στην παρακάτω ανάλυση σκοπιμότητας αντί για το reference vessel τύπου Aframax, το αντίστοιχο σε μέγεθος LNG πλοίο με χωρητικότητα των 170000 m³, συνηθέστερο μέγεθος στα LNG Newbuildings από το 2019 και μετά σύμφωνα με τους Stanivuk και Mahić (LNG Market and Fleet Analysis, Transport Problems: an International Scientific Journal, 2021)^[97]

Reference Vessel 2		
Type	LNG Carrier	
Capacity	170000	cu.m
L	280	m
B	45	m
D	25	m
Tdesign	12	m
MCR	12000 kW x 82 RPM	
ENGINE:	Wärtsilä 34DF	
FUEL:	DUAL FUEL HFO & LNG	

Κόστος Επένδυσης για Μετασκευή Πλοίου σε Dual Fuel (HFO & LNG)

Το πρώτο μας βήμα είναι η εκτίμηση του CAPEX της επένδυσης σε μετασκευή, η τιμή των επιμέρους στοιχείων του λήφθηκε από την έρευνα των Ge και Wang (2017) “Techno-economic study of LNG Diesel Powered Dual Fuel Ship”^[98]

A) Κόστος Μελέτης και Σχεδίασης: Το κόστος της ανάληψης του project μελέτης της μετασκευής που αφορά την μελέτη της εγκατάστασης και της μετασκευής του μηχανοστασίου με την δημιουργία αναλυτικών μηχανολογικών σχεδίων με τα κατάλληλα approvals από την κλάση, κυμαίνεται από τα διάφορα μελετητικά γραφεία διαθέσιμα στο εύρος:

$$C_{DESIGN} = \$50,000 - \$200,000$$

B) Εξοπλισμός και Εγκατάσταση Retrofitting Συστημάτων: Περιλαμβάνει το κόστος της αγοράς και εγκατάστασης του απαραίτητου εξοπλισμού για το retrofit σε dual fuel της μηχανής όπως: fuel injection systems, fuel storage tanks, LNG vaporizers και συστήματα ελέγχου τους. Το κόστος κυμαίνεται ανάλογα την πολυπλοκότητα της εγκατάστασης και της απαίτησης για αποθηκευτικό χώρο του καυσίμου (dual fuel capacity) και μπορεί να εκτιμηθεί:

$$C_{INST} = \$200,000 - \$1,000,000$$

C) Μετασκευή του Δικτύου Τροφοδοσίας: Το δίκτυο τροφοδοσίας του καυσίμου FO θα πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να τοποθετηθούν οι νέες γραμμές για την παροχή

του dual fuel υπό μελέτη. Συνήθως αυτή περιλαμβάνει προσθήκες νέων σωληνώσεων, βαλβίδων, αντλιών και δεξαμενών (πχ overflow tanks) για την ασφαλή τροφοδοσία του συστήματος με το νέο καύσιμο:

$$C_{RETR} = \$500,000 - \$1,500,000$$

- D) Απαιτούμενες Αναβαθμίσεις στο σύστημα εκπομπών καυσαερίων: Για να είμαστε σε συμμόρφωση με τους κανονισμούς εκπομπών τόσο της FuelEU όσο και της MARPOL Annex VI για τα SOX, NOX emissions, θα πρέπει να εγκατασταθεί σύστημα EGR (Exhaust Gas Recirculation) καθώς και σύστημα SCR (Selective Catalytic Reduction) το κόστος του οποίου κυμαίνεται στα:

$$C_{SYS} = \$500,000 - \$2,000,000$$

- E) Κόστος εκπαίδευσης και πιστοποίησης του πληρώματος: Όπως απαιτείται και από την κλάση στην οποία είναι το πλοίο, ύστερα από μια μετασκευή dual fuel, το πλήρωμα πρέπει να είναι σε θέση να μπορεί να χειρίζεται τα νέα εγκατεστημένα συστήματα και να τα συντηρεί σύμφωνα με το προβλεπόμενο PMS της εταιρίας. Η εκπαίδευση και η πιστοποίηση από την κλάση και τον προμηθευτή μπορεί να κυμαίνεται σε κόστος:

$$C_{TRAIN} = \$10,000 - \$50,000$$

- F) Κόστος Project Management και Labor Costs: Περιλαμβάνει το κόστος διαχείρισης του project μετασκευής και των εργατικών καθώς και το κόστος subcontractors για την εγκατάσταση τυχόν auxiliary εξοπλισμού που απαιτείται:

$$C_{PROJ} = \$100,000 - \$500,000$$

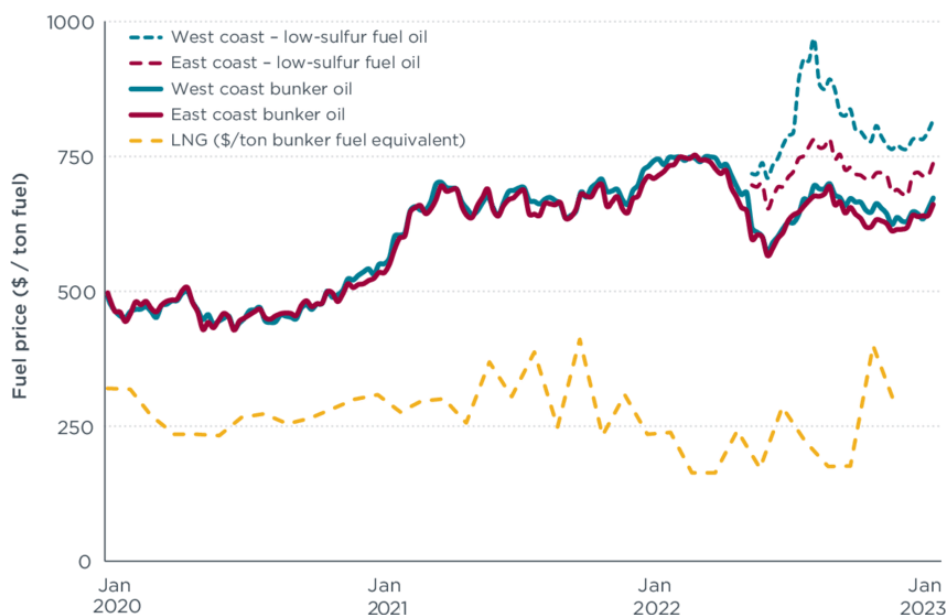
Συνεπώς το συνολικό κόστος μετασκευής ανέρχεται στα παρακάτω ανάλογα αν είμαστε στο χαμηλό – μεσαίο – υψηλό εύρος:

Dual Fuel Retrofit Project (HFO & LNG) CAPEX

	Low Range	Mid Range	High Range
Engineering and Design	\$ 50,000	\$ 125,000	\$ 200,000
Equipment and Components	\$ 200,000	\$ 600,000	\$ 1,000,000
Fuel System Modifications	\$ 500,000	\$ 1,000,000	\$ 1,500,000
Exhaust Gas System Upgrades	\$ 500,000	\$ 1,250,000	\$ 2,000,000
Training and Certification	\$ 10,000	\$ 30,000	\$ 50,000
Project Management and Labor	\$ 100,000	\$ 300,000	\$ 500,000
Total Cost	\$ 1,360,000	\$ 3,305,000	\$ 5,250,000

Λειτουργικά Κόστη/Οφέλη μετά την εγκατάσταση Dual Fuel (HFO, LNG) συστήματος

A) Κόστος Καυσίμου: Συνήθως στις περιπτώσεις εγκατάστασης Dual Fuel συστημάτων, το κόστος του εναλλακτικού καυσίμου είναι παραπάνω από αυτό του HFO (όπως στην περίπτωση MDO, NH₃, Biofuels). Ωστόσο στην περίπτωση χρήσης LNG, το LNG είναι κατά κανόνα χαμηλότερο σε κόστος από το HFO. Όπως παρατηρούμε και στο παρακάτω συγκριτικό γράφημα μεταξύ Bunker Cost για HFO και LNG οι τιμές του LNG παραμένουν σταθερά χαμηλότερα του HFO:



Από την μελέτη μας στα 11 πολυσύχναστα λιμάνια του κόσμου φόρτωσης/εκφόρτωσης και bunkering, με βάση τα στοιχεία της ανοιχτής βάσης δεδομένων «Bunker Index»^[99] το κόστος του LNG σε σύγκριση με το HFO, καθώς και η διαφορά κόστους η οποία έρχεται σαν κέρδος στον πλοιοκτήτη συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Bunkering Cost Comparison (HFO vs LNG) at Top 11 Most visited Ports 2022

Ports	LNG Price (\$/MMBTu)	LNG Price (\$/ton)	HFO Price (\$/ton)	Price Saving (\$/t)
Singapore	8.47	338.80	579.50	240.70
Shanghai	11.57	462.80	791.50	328.70
Ningbo-Zhoushan	8.58	343.20	587.00	243.80
Santos	9.36	374.40	640.00	265.60
Guangzhou	8.51	340.40	582.50	242.10
Qingdao	9.17	366.80	627.50	260.70
Busan	9.87	394.80	675.25	280.45
Tianjin	8.92	356.80	610.00	253.20
Hong Kong	9.40	376.00	642.75	266.75
Rotterdam	7.81	462.80	534.50	71.70
Total Average	9.17	381.68	627.05	245.37

Συνεπώς αν ετησίως το υπό μελέτη μας πλοίο (120,000 DWT) έχει κατα μέσο όρο κατανάλωση σε HFO: 50mt/day, για μια ναύλωση 300 ημερών τότε έχει ετήσια κατανάλωση:

$$FC = 50 \frac{mt}{day} \cdot 300 days = 15000 mt/year$$

Και άρα θα ξοδεύει ετησίως σε έξοδα καυσίμου:

$$C_{BUNK} = 15000 mt \cdot 627.05 \frac{\$}{mt} = 9,405,750 \$/year$$

Μετά όμως την μετασκευή retrofit σε dual fuel, η κατανάλωση σε καύσιμο θεωρούμε πως θα είναι η μισή από HFO και η άλλη μισή από LNG, επόμενως το νέο κόστος διαμορφώνεται σε:

$$C_{BUNK} = 7500 mt \cdot 627.05 \frac{\$}{mt} + 7500 \cdot 381.68 \frac{\$}{mt} = 7,565,475 \$/year$$

Συνεπώς ετησίως από την μετασκευή σε LNG, ο πλοιοκτήτης θα βλέπει ένα επιπλέον κέρδος:

$$P_{BUNK} = 1,840,275 \$/year$$

- B) Κόστος Συντήρησης και Επισκευής Εξοπλισμού. Το ετήσιο κόστος μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα την πολυπλοκότητα της μετασκευής, του εξοπλισμού που έχει εγκατασταθεί καθώς και από το PMS που έχει οριστεί από την εκάστοτε εταιρία. Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα μέσο κόστος ετήσιας συντήρησης και ανταλλακτικών του Dual Fuel συστήματος:

$$C_{MAINT} = \$100,000$$

- C) Κόστος Συμμόρφωσης με τους Κανονισμούς: Προανώς το dual fuel retrofit που πραγματοποιήθηκε, ως νέα τεχνολογία, επιβάλλεται από τον EU MRV η συνεχής παρακολούθηση ώστε να είναι σε πλήρη συμμόρφωση με την νομοθεσία και τα όρια εκπομπών. Μπορεί να θεωρηθεί ασφαλώς ένα μέσο κόστος για το κατάλληλο monitoring, τα service attendances και την ολική συμμόρφωση τα regulatory frameworks της εκάστοτε κλάσης σε:

$$C_{REG} = \$30,000$$

- D) Αποδοτικότητα Εν Πλω Λειτουργίας (Operational Efficiency): Καθώς το LNG ως καύσιμο προσδίδει πιο αποδοτική καύση από αυτή του HFO, θα πρέπει να συμμεριστεί ένα επιπλέον κέρδος από την βέλτιστη καύση του προς μείωση της κατανάλωσης. Εκτιμάται ότι ένα όφελος της τάξης του 5-10% του κόστους bunkering μπορεί να γίνει saved από την αυξημένη αποδοτικότητα του LNG ως:

$$P_{EFF} = 10\% \cdot 7500 \cdot 381,68\$ = \$286,260$$

Επομένως ο πλοιοκτήτης θα μπορεί μετά από την μετασκευή Dual Fuel LNG να δει ένα επιπλέον συνολικό κέρδος από την επένδυση σε LNG της τάξης των \$2,000,000 όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Revenue/OPEX	
Fuel Costs	\$ 1,840,275
Maintenance & Servicing	\$ (100,000)
Regulatory Costs	\$ (30,000)
Operational Efficiency	\$ 286,260
Total Annual Profit	\$ 1,996,535

Ο σκοπός της παρακάτω μελέτης σκοπιμότητας είναι να εξετάσουμε κατά πόσο πρέπει να αυξηθούν τα ναύλα ή κατά πόσο μπορούν να μειωθούν ύστερα από την επικείμενη επένδυση ώστε να διασφαλιστεί η κερδοφορία του πλοιοκτήτη.

Στην υπόθεση μας θεωρούμε πως ο πλοιοκτήτης επενδύει σε μια μετασκευή Dual Fuel η οποία έχει ύψος \$5,000,000 και ετησίως λόγω της χαμηλότερης τιμής του LNG καταφέρνει και εξοικονομεί από το OPEX του ετησίως έως και \$2,000,000. Θεωρούμε το ευκαιριακό κόστος της επένδυσης $r=5\%$ από παρόμοιες μελέτες σκοπιμότητας. Σκοπός μας είναι να υπολογίσουμε τους βασικούς τεχνοοικονομικούς δείκτες: το NPV, το IRR και να βρούμε την μεταβολή που επιφέρει στα ναύλα του πλοίου σε ένα εύρος 10ετίας ($n=10$) μετά την μετασκευή.

Για την Καθαρή Παρούσα Αξία εφαρμόζουμε τον τύπο:

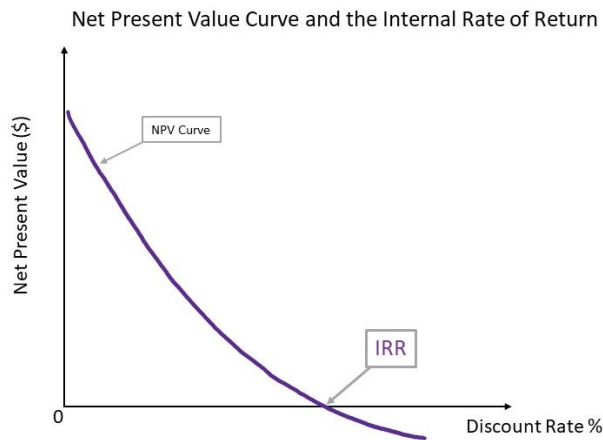
$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} - I = R \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} - I \rightarrow NPV = \$10,443,469 > 0$$

Για το IRR εφαρμόζουμε τον παρακάτω τύπο:

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+IRR)^i} - I = 0 \rightarrow IRR = 38.455\% > r$$

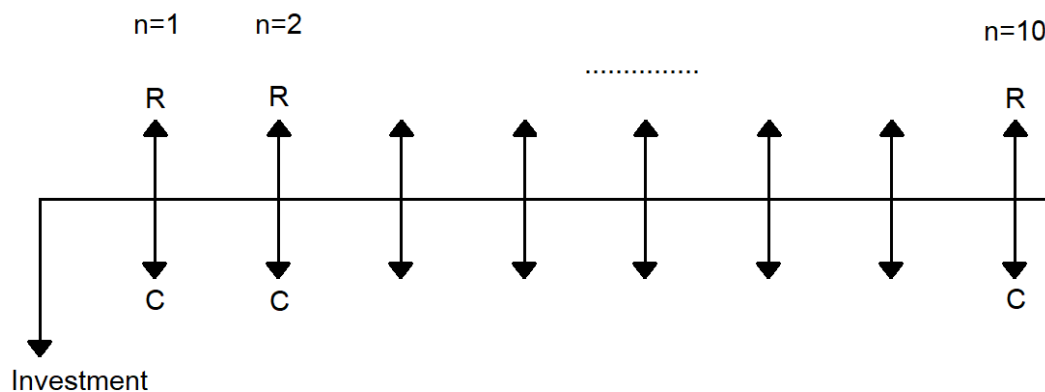
Η απόφαση για το αν μια επένδυση με βάση τον καθαρό παρόντα αξία (Net Present Value - NPV) είναι κερδοφόρα ή όχι εξαρτάται από την αξιολόγηση του NPV και των συναφών παραμέτρων. Ο NPV αξιολογεί την καθαρή παρούσα αξία των μελλοντικών ρευστών ταμείου που σχετίζονται με μια επένδυση, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του κεφαλαίου και τη χρονική αξία του χρήματος. Γενικά, αν το NPV είναι θετικό, αυτό υποδηλώνει ότι η επένδυση αναμένεται να προσφέρει καθαρό κέρδος. Αντίστροφα, αν το NPV είναι αρνητικό, αυτό υποδηλώνει ότι η επένδυση αναμένεται να προκαλέσει καθαρές απώλειες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που, με μια επένδυση που έχει ένα NPV των 10,000,000 δολαρίων σε ένα πλοίο αξίας 30,000,000 δολαρίων, πως η επένδυση αναμένεται να προσφέρει θετικό καθαρό κέρδος,

ωστόσο επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί μελέτη ευαισθησίας σε μελλοντικές διακυμάνσεις της τιμής του LNG καθώς αυτή θα καθορίσει και την μελλοντική κερδοφορία.



Ελάχιστος Απαιτούμενος Ναύλος (RFR)

Ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος (Rate of Freight Required - RFR) αναφέρεται στο ελάχιστο ποσό που απαιτείται να πληρωθεί ανά μονάδα χωρητικότητας ενός πλοίου για να επιτευχθεί μια συμφωνία ναύλωσης. Ο RFR είναι το βασικό σημείο εκκίνησης για τις διαπραγματεύσεις μεταξύ ναυλωτή και ναυλωτήριου. Ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η προσφορά και η ζήτηση στην αγορά ναύλωσης, η διάρκεια του ταξιδιού, οι όροι του συμβολαίου ναύλωσης, η κατάσταση της αγοράς, και οι χαρακτηριστικές παράμετροι του πλοίου (όπως η χωρητικότητα, το μέγεθος, ο τύπος, και η κατάσταση του). Ο RFR συνήθως εκφράζεται σε μονάδες νομίσματος ανά μονάδα χωρητικότητας του πλοίου, όπως δολάρια ανά τόνο DWT (Deadweight Tonnage) ή ευρώ ανά κυβικό μέτρο χωρητικότητας. Ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος καθορίζεται κατά τη διάρκεια των διαπραγματεύσεων και στοχεύει στην επίτευξη μιας συμφωνίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών που είναι αμοιβαία αποδεκτή και πλήρως συμβατή με τις συνθήκες της αγοράς. Για να βρούμε την μεταβολή του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου (RFR) μετά την επένδυσή μας:



$$NPV = I + R \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} - C \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = 0 \rightarrow I = (C - R) \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$$

$$I \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = C - R \rightarrow R = C - I \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

$$R = \$2M - \$5M * 0.1295 = \$1,352,477$$

Η μεταβολή του απαιτούμενου ναύλου ΔRFR εκφράζει το εξής. Πως αν ο πλοιοκτήτης αποφασίσει να πραγματοποιήσει μετασκευή σε Dual Fuel, τότε αν ο αρχικός ναύλος πριν την μετασκευή είναι RFR , τότε ο νέος ναύλος μετά την μετασκευή θα είναι $RFR' < RFR$ λόγω των επιπλέον εσόδων της επένδυσης ετησίως.

Οπότε θα μπορούσαμε να δούμε μια μείωση στον ελάχιστο απαιτούμενο ναύλο ύψους:

$$\Delta RFR = RFR' - RFR = \left(RFR - \frac{R}{N} \right) - RFR$$

$$\Delta RFR = -\frac{R}{350} = -\frac{\$1,352,477}{350 \text{ days}} \rightarrow \Delta RFR = -3864 \text{ \$/day}$$

Παρατηρούμε πως η επένδυση σε Dual Fuel είναι αρκετά ελκυστική ιδίως για πλοιοκτήτη με πλοία LNG. Σε περίπτωση που επιδιώκει να πετύχει ακόμα μεγαλύτερα κέρδη, θα ήταν συνετό να προχωρήσει με ένα batch order για περισσότερα του ενός πλοίου, επιτυγχάνοντας έτσι οικονομία κλίμακος, με καλύτερες τιμές CAPEX.

Αξιολόγηση Βιωσιμότητας ως προς την Νομοθεσία FuelEU

Ωστόσο από πλευράς μακροχρόνιας βιωσιμότητας μπορούμε να δούμε πως το πλοίο μας από HFO τώρα που καίει LNG επιτυγχάνει την ακόλουθη μείωση έντασης εκπομπών:

$$X_{HFO} = 237.044 \frac{gCO_2}{MJ} \rightarrow X_{LNG} = 177.783 \frac{gCO_2}{MJ}$$

Άρα επιτυγχάνει **μείωση της τάξης του 25%**. Η μείωση εκπομπών 25% καθιστά το πλοίο future-proof ως προς την νομοθεσία FuelEU **μέχρι το 2040**. Αν θεωρήσουμε πως η ζωή ενός πλοίου διαρκεί από 25-30 χρόνια, πλοία (LNG) τα οποία έχουν κατασκευαστεί πριν το 2010 αξίζει να εξετάσουν την εφικτότητα της μετασκευής τους σε Dual Fuel (HFO & LNG) γιατί τότε μέχρι το τέλος της διάρκειας της ζωής τους θα βρίσκονται εντός του ορίου που επιβάλλει η νομοθεσία.

Η FuelEU λοιπόν πρέπει να μελετηθεί και η βιωσιμότητα των ναυτιλιακών εταιριών θα πρέπει να κριθεί σε βάθος χρόνου. Στην μελέτη μας επιδιώκουμε τα πλοία μας να είναι future-proof στην νομοθεσία προκειμένου να μπορούν να πραγματοποιούν εμπόριο εντός της Ε.Ε. χωρίς να τους επιβάλλονται κυρώσεις. Παρόλαυτά, είναι εμφανές πως οι Dual Fuel μετασκευές δεν είναι Future proof για πλοία κτίσης μετά το 2010 καθώς και νεόκτιστα πλοία.

Παρακάτω παρουσιάζουμε πίνακα στον οποίο εξετάζουμε την βιωσιμότητα των επενδύσεων σε εναλλακτικά καύσιμα καθώς και την κατηγορία των πλοίων που προτιμάται ανάλογα την χρονολογία κτίσης τους:

Πίνακας: Βιωσιμότητα των επενδύσεων σε Εναλλακτικά Καύσιμα

Transition Fuel in Dual Fuel Investment	FuelEU X (gCO ₂ /MJ)	Investment Proofness	Recommended for
Heavy Fuel Oil	237.044	future-proof till 2025	Older vessels
Marine Diesel Oil	230.806	future-proof till 2030	Vessels 1995-2000
Liquid Petroleum Gas	193.378	future-proof till 2035	Vessels 2000-2005
Liquid Natural Gas	177.783	future-proof till 2040	Vessels 2005-2010
High Carbon Intensity Marine Biofuel	124.760	future-proof till 2045	Vessels 2010-2015
Medium Carbon Intensity Marine Biofuel	93.570	future-proof till 2050	Vessels 2015-2020
Low Carbon Intensity Marine Biofuel	62.380	future-proof till 2050	Vessels after 2020

Όπως καθίσταται σαφές από τον παραπάνω πίνακα πλοία κτίσης πριν το 2000 δεν αξίζει να πραγματοποιήσουν μετασκευή, αφού η FuelEU δεν θα τα επηρεάσει καθόλου καθώς ήδη βρίσκονται στο τέλος της ζωής τους, αν δεν έχουν ήδη γίνει scrap. Πλοία μεταξύ του 2000-2010 αξίζει να εξετάσουν ως εναλλακτικά καύσιμα τα LNG/LPG (ιδίως πλοία μεταφοράς LNG/LPG) γιατί στον χρόνο ζωής τους θα βρίσκονται εντός των ορίων της FuelEU, και παραπάνω επένδυση σε concept-type καύσιμα όπως Biofuels που είναι από τη μία πιο ακριβά και δύσκολα στην εύρεση κατά το bunkering δεν θα αξίζει προς μελέτη. Πλοία κτίσης μετά το 2015 θα πρέπει αναγκαστικά να στραφουν σε μια επένδυση σε εναλλακτικά καύσιμα χαμηλής έντασης σε άνθρακα όπως Marine Biofuels, καθώς μετασκευές σε LNG/LPG/MDO δεν θα είναι επαρκείς για να είναι το πλοίο εντός των ορίων της FuelEU σε όλη την διάρκεια της ζωής τους.

Τα ναυτιλιακά βιοκαύσιμα αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις στον τομέα της ναυτιλίας ως μέσο καύσης. Σύμφωνα με τους Balland και Dag^[100], μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η διαθεσιμότητά τους. Παρόλο που η τεχνολογία για την παραγωγή ναυτιλιακών βιοκαυσίμων έχει σημειώσει πρόοδο, η ποσότητα που μπορεί να παραχθεί εξακολουθεί να είναι περιορισμένη σε σχέση με την αυξανόμενη ζήτηση τους. Η ανάπτυξη βιοκαυσίμων που να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά και περιβαλλοντικά βιώσιμα παραμένει μία πρόκληση. Επιπλέον, η ποιότητα και η συμβατότητα των ναυτιλιακών βιοκαυσίμων με τους υπάρχοντες ναυτικούς κινητήρες είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα. Οι ναυτιλιακοί κινητήρες έχουν σχεδιαστεί και προσαρμοστεί για να λειτουργούν με παραδοσιακά ναυτιλιακά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο. Η ενσωμάτωση των βιοκαυσίμων στην υφιστάμενη υποδομή μπορεί να απαιτεί μεταρρυθμίσεις και προσαρμογές στους κινητήρες, οι οποίες μπορεί να είναι κοστοβόρες και χρονοβόρες διαδικασίες.

Επιπλέον αξίζει να τονιστεί ότι, οι ναυτιλιακές εταιρείες αντιμετωπίζουν προκλήσεις στον τομέα της αποθήκευσης και του εφοδιασμού των βιοκαυσίμων. Οι ναυτιλιακοί στόλοι διαθέτουν περιορισμένο χώρο για την αποθήκευση καυσίμων, και η αντικατάσταση των παραδοσιακών καυσίμων με βιοκαύσιμα μπορεί να απαιτεί επενδύσεις σε νέες υποδομές. Επιπλέον, οι εφοδιαστικές αλυσίδες για την προμήθεια ναυτιλιακών βιοκαυσίμων είναι ακόμη ανεπτυγμένες και η διασφάλιση της σταθερής προμήθειας μπορεί να είναι πρόκληση.

Τέλος, η αποδοχή και η ρύθμιση των ναυτιλιακών βιοκαυσίμων από τις διεθνείς και εθνικές ναυτιλιακές αρχές είναι ένα ζήτημα που απαιτεί προσοχή. Οι πολιτικές και οι κανονισμοί πρέπει να είναι συνεπείς και να προωθούν τη χρήση βιοκαυσίμων στη ναυτιλία, παρέχοντας ταυτόχρονα ασφάλεια και εγγυήσεις για την ποιότητα και την απόδοσή τους.

Συνολικά, όπως αναφέρουν και στην έρευνά τους οι Rochyana et. al (2014)^[101], η ανάπτυξη και η υιοθέτηση των ναυτιλιακών βιοκαυσίμων αντιμετωπίζει προκλήσεις σε πολλούς τομείς, όπως η διαθεσιμότητα, η ποιότητα, η συμβατότητα, η αποθήκευση, ο εφοδιασμός και η ρύθμιση. Παρά τις προκλήσεις αυτές, η ανάπτυξη των ναυτιλιακών βιοκαυσίμων παραμένει σημαντική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προώθηση της βιώσιμης ναυτιλίας.

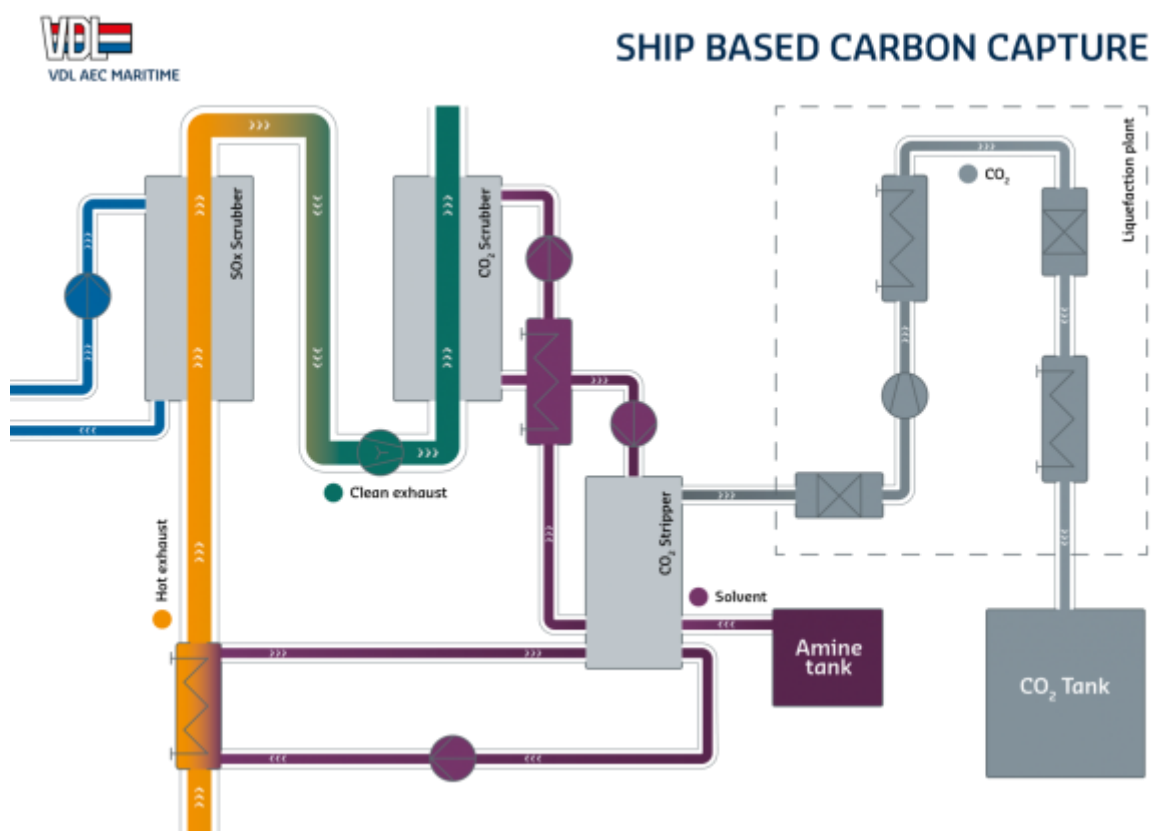
Συνοψίζουμε λοιπόν τις βασικότερες προκλήσεις που προκαλούν δυσπιστία ως προς την βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων στη ναυτιλία:

- 1) Τα Ναυτιλιακά Βιοκαύσιμα είναι αρκετά πιο ακριβά από το συμβατικό HFO. Κατά μέσο όρο τα Ναυτιλιακά Βιοκαύσιμα κοστίζουν από \$1,500-\$2,500 ανάλογα την διαθεσιμότητα του εκάστοτε λιμανιού.
- 2) Η ελλιπής διαθεσιμότητα σε ναυτιλιακά βιοκαύσιμα της πλειοψηφίας των bunker ports, κάτι το οποίο καθιστά την επιλογή προορισμών φόρτωσης αρκετά πιο δύσκολη με αποτέλεσμα την απώλεια ναύλων σε μελλοντικά ταξίδια.
- 3) Αρκετά μεγαλύτερη η επένδυση σε τάξη μεγέθους η μετατροπή Dual Fuel σε βιοκαύσιμα ακόμα και η αποκλειστική κτίση Κύριας Μηχανής με Βιοκαύσιμα καθώς η αμοιβαία συμβατότητα HFO και Marine Biofuels είναι ακόμα υπό εξέταση και μελέτη από τους ερευνητές στον χώρο της ναυτιλίας

Απαιτείται λοιπόν η εξέταση επένδυσης σε τεχνολογίες zero-carbon emissions^[102], όπως είναι η τεχνολογία Carbon Capture η οποία υπόσχεται μηδενικές εκπομπές άνθρακα και άρα 100% future-proof συμβατότητα με τους ήδη υπάρχοντες κανονισμούς της E.E, αλλά και μελλοντικούς κανονισμούς με τάση την πλήρη απανθράκωση της ναυτιλίας.

5.2 Μελέτη Εφικτότητας Τεχνολογίας Carbon Capture

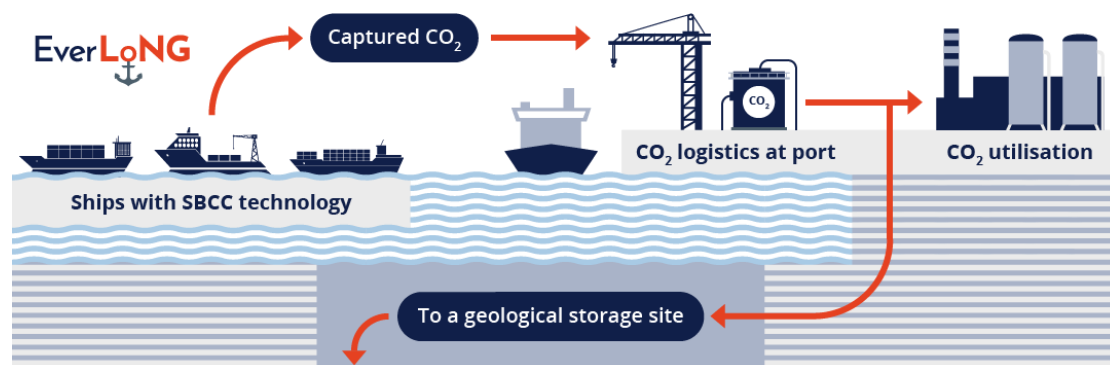
Η τεχνολογία "Carbon Capture" (απορρόφηση άνθρακα) αναφέρεται σε μια σειρά τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση και την αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα καύσιμα ή τα αέρια εκπομπής. Σύμφωνα με τον Font-Palma^[103] (2021) η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας στη ναυτιλία έχει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία και τη συμβολή στη μείωση του ανθρώπινου αποτυπώματος άνθρακα. Η διαδικασία της απορρόφησης άνθρακα αρχίζει με την απομάκρυνση του CO₂ από τα καύσιμα ή τα αέρια εκπομπής των πλοίων. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για αυτήν την απομάκρυνση, συμπεριλαμβανομένων των απορροφητών (absorbers), των μεμβρανών (membranes) και της απορρόφησης με χημικούς απορροφητές (chemical absorbents).



Αφού το CO₂ απομακρυνθεί, πρέπει να αποθηκευτεί με ασφαλή τρόπο. Οι δύο κύριες μέθοδοι αποθήκευσης είναι η αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς και η αποθήκευση σε υγροποιημένη μορφή. Στην αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς, το CO₂ εισάγεται σε φυσικούς υπόγειους χώρους, όπως αποθέσεις πετρελαίου ή αποθέσεις αλατιού, και διατηρείται εκεί μακροπρόθεσμα. Η αποθήκευση σε υγροποιημένη μορφή σημαίνει ότι το CO₂ υγροποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία και υπό πίεση και αποθηκεύεται σε ειδικά δοχεία ή

δεξαμενές. Η εφαρμογή της τεχνολογίας "Carbon Capture" στη ναυτιλία απαιτεί την εγκατάσταση πρόσθετου εξοπλισμού στα πλοία, που περιλαμβάνει τις συσκευές απομάκρυνσης CO₂, τους αποθηκευτικούς χώρους και τους συναφείς συστήματα. Αυτό μπορεί να απαιτεί τροποποιήσεις στον υπάρχοντα εξοπλισμό ή την προσθήκη νέων εξαρτημάτων και μέρη. Οι ακριβείς μετατροπές που απαιτούνται θα εξαρτηθούν από τον τύπο του πλοίου και την επιλεγμένη τεχνολογία "Carbon Capture".

Η τεχνολογία Carbon Capture στη ναυτιλία ενσωματώνει διάφορα συστήματα και διαδικασίες για την απομάκρυνση του CO₂ από τις εκπομπές των πλοίων. Ένα από τα συνηθέστερα συστήματα είναι οι απορροφητήρες CO₂ (CO₂ absorbers), που χρησιμοποιούν χημικές ουσίες για να απορροφήσουν το CO₂ από τα καυσάερια των πλοίων. Έπειτα, το CO₂ απομακρύνεται από τις χημικές ουσίες και αποθηκεύεται με ασφάλεια για μελλοντική χρήση ή απόθεση. Οι απαιτούμενες μετατροπές για την εφαρμογή της τεχνολογίας Carbon Capture σε ένα πλοίο περιλαμβάνουν την εγκατάσταση των απορροφητήρων CO₂ και των συστημάτων αποθήκευσης. Επίσης, πρέπει να δημιουργηθεί υποδομή για τη μεταφορά και αποθήκευση του απομακρυνθέντος CO₂. Αυτές οι μετασκευές μπορεί να είναι σημαντικές και να απαιτούν χρονικό και οικονομικό κόστος.



Όπως τονίζουν και στην έρευνά τους οι Wang, Zhou, et. al^[104] (2017), παρά τις προκλήσεις και τα κόστη, η τεχνολογία Carbon Capture προσφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα για τη ναυτιλία. Με τη μείωση των εκπομπών CO₂, τα πλοία μπορούν να συμμορφωθούν με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και να μειώσουν τον αντίκτυπό τους στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της εικόνας της ναυτιλίας και να δημιουργήσει ευκαιρίες για την ανάπτυξη καινοτόμων καυσίμων και τεχνολογιών. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι προκλήσεις και οι περιορισμοί της τεχνολογίας Carbon Capture. Οι απορροφητήρες CO₂ και τα συστήματα αποθήκευσης απαιτούν συντήρηση και χειρισμό, ενώ η αποθήκευση και διάθεση του απομακρυνθέντος CO₂ πρέπει να γίνεται με ασφάλεια και σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις προδιαγραφές. Επιπλέον, το κόστος της εγκατάστασης

και λειτουργίας των συστημάτων Carbon Capture μπορεί να είναι υψηλό, και η απόδοση της τεχνολογίας μπορεί να εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου.

Παρόλο που η εγκατάσταση της τεχνολογίας "Carbon Capture" μπορεί να αυξήσει το αρχικό κόστος και την πολυπλοκότητα της μετασκευής του πλοίου, αναμένεται ότι θα έχει μακροπρόθεσμα οφέλη όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Επιπλέον, η τεχνολογία "Carbon Capture" μπορεί να συνδυαστεί με άλλες τεχνολογίες μείωσης εκπομπών, όπως η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και η βελτίωση της απόδοσης των κινητήρων, για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και μείωση των λειτουργικών εξόδων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τεχνολογία "Carbon Capture" εξελίσσεται συνεχώς και υπόκειται σε περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μείωση του κόστους. Συνολικά, η εφαρμογή της τεχνολογίας Carbon Capture στη ναυτιλία αποτελεί μια σημαντική πρωτοβουλία για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την προστασία του περιβάλλοντος. Παρά τις προκλήσεις, η συνεχής ανάπτυξη και βελτίωση της τεχνολογίας Carbon Capture μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική ναυτιλία στο μέλλον.

Κόστος Επένδυσης για Carbon Capture Retrofit στο πλοίο αναφοράς

Ομοίως με την προηγούμενη περίπτωση, λαμβάνουμε μια εκτίμηση του CAPEX της επένδυσης σε Ship-Based Carbon Capture εγκατάσταση από την έρευνα του Atreya (2022)^[105] "Feasibility Study of Carbon Capture and Storage Process to implement in Maritime Industry" ως εξής:

A) Κόστος Μελέτης και Σχεδίασης: Το κόστος της ανάληψης του project μελέτης της μετασκευής που αφορά την μελέτη της εγκατάστασης και της μετασκευής του μηχανοστασίου με την δημιουργία αναλυτικών μηχανολογικών σχεδίων με τα κατάλληλα approvals από την κλάση, κυμαίνεται από τα διάφορα μελετητικά γραφεία διαθέσιμα στο εύρος:

$$C_{DESIGN} = \$100,000 - \$250,000$$

B) Εξοπλισμός και Εγκατάσταση του Carbon Capture συστήματος: Περιλαμβάνει main components του ίδιου του CCS που είναι υπεύθυνα για την αποδέυση του άνθρακα από τα παραγόμενα καυσαέρια και περιλαμβάνει εξοπλισμό όπως τους CO₂ Absorbers, CO₂ Scrubbers τις μεμβράνες δέσμησης CO₂. Το κόστος τους κυμαίνεται από

$$C_{CCS} = \$1,000,000 - \$3,000,000$$

G) Διαμόρφωση των Αποθηκευτικών Δεξαμενών CO₂: Το CO₂ που δεσμεύεται από τους CO₂ Absorbers θα πρέπει να αποθηκεύεται εντός του πλοίου σε ειδικά διαμορφωμένες

δεξαμενές CO2 Storage Tanks, μέχρι το πλοίο να φτάσει σε κατάλληλο λιμάνι ώστε να αποδεσμεύσει το αποθηκευμένο CO2 στην subcontractor εταιρία για την διαχείριση του CO2 με κατάλληλο τρόπο (είτε ανακύκλωση του CO2 είτε αποθήκευσής του υπογείως). Το κόστος των αποθηκευτικών δεξαμενών και της εγκατάστασης ψύξης και υγροποίησης (liquidification) του CO2 κυμαίνεται στα:

$$C_{STOR} = \$500,000 - \$1,000,000$$

- C) Μετασκευή του Δικτύου Τροφοδοσίας: Το δίκτυο τροφοδοσίας και οι γραμμές σωληνώσεων του πλοίου πρέπει να υποστούν μετασκευή ώστε να ενσωματωθεί το Carbon Capture σύστημα στην τροφοδοσία της εξόδου των καυσαερίων και της τροφοδοσίας του CO2 στα Storage Tanks. Απαιτείται λοιπόν η εγκατάσταση piping με νέα δίκτυα, βαλβίδες και fittings τα οποία αναλόγα το μέγεθος του πλοίου και την έκταση του μηχανοστασίου κυμαίνονται σε:

$$C_{RETR} = \$500,000 - \$1,000,000$$

- D) Απατούμενο Κόστος Integration και Monitoring: Καθώς το σύστημα Carbon Capture συνδέεται με την τροφοδοσία των καυσαερίων, θα πρέπει να γίνει κατάλληλη ενσωμάτωση στο σύστημα αυτό με sensors που θα καταγράφουν την κυκλοφορία των καυσαερίων με κατάλληλο monitoring της θερμοκρασίας τους, της πίεσής τους και της περιεκτικότητάς τους σε CO2 πριν και μετά τους CO2 Absorbers. Τα δεδομένα αυτά θα αποστέλλονται με εγκατάσταση κατάλληλου infrastructure στην γέφυρα και θα παράγεται το log τους ανά τακτά διαστήματα (σε συνδυασμό με alarms σε περίπτωση δυσλειτουργίας)

$$C_{SYS} = \$100,000 - \$400,000$$

- E) Κόστος εκπαίδευσης και πιστοποίησης του πληρώματος: Όπως απαιτείται και από την κλάση στην οποία είναι το πλοίο, ύστερα από μια μετασκευή Carbon Capture, το πλήρωμα πρέπει να είναι σε θέση να μπορεί να χειρίζεται τα νέα εγκατεστημένα συστήματα και να τα συντηρεί σύμφωνα με το προβλεπόμενο PMS της εταιρίας. Η εκπαίδευση και η πιστοποίηση από την κλάση και τον προμηθευτή μπορεί να κυμαίνεται σε κόστος:

$$C_{TRAIN} = \$10,000 - \$50,000$$

- F) Κόστος Project Management και Labor Costs: Περιλαμβάνει το κόστος διαχείρισης του project μετασκευής και των εργατικών καθώς και το κόστος subcontractors για την εγκατάσταση τυχόν auxiliary εξοπλισμού που απαιτείται:

$$C_{PROJ} = \$100,000 - \$500,000$$

Το τελικό κόστος της επένδυσης CAPEX συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα ως εύρος μεταξύ μιας Low-Range, Mid-Range και High Range επιλογής

Carbon Capture Retrofit & Storage CAPEX

	Low Range	Mid-Range	High Range
Engineering and Design	\$ 100,000	\$ 175,000	\$ 250,000
Main CCS Equipment and Components	\$ 1,000,000	\$ 2,000,000	\$ 3,000,000
CO2 Storage Tanks & Liquidification	\$ 500,000	\$ 1,000,000	\$ 1,500,000
Integration and Monitoring Framework	\$ 100,000	\$ 250,000	\$ 400,000
Training and Certification	\$ 10,000	\$ 30,000	\$ 50,000
Project Management and Labor	\$ 100,000	\$ 300,000	\$ 500,000
Total Cost	\$ 1,810,000	\$ 3,755,000	\$ 5,700,000

Στην συνέχεια μελετάμε τα ετήσια λειτουργικά κόστη που φέρει η εγκατάσταση Carbon Capture όσον αφορά την ενεργειακή απαίτηση του συστήματος, την συντήρηση αλλά και τα απαιτούμενα consumables του συστήματος:

1. Κατανάλωση Ενέργειας: Ένα σύστημα Carbon Capture απαιτεί προφανώς ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει και να καλυφθούν οι απαιτήσεις ισχύος για τις αντλίες, τους συμπιεστές υγροποίησης και τα φίλτρα δεύσμευσης. Ανάλογα το σύστημα και το μέγεθος έχουμε συστήματα με απαίτηση από 800kW μέχρι και 2000kW. Θεωρώντας πως η ειδική κατανάλωση SFOC των ηλεκτροκινητήρων του πλοίου αναφοράς είναι κατά μέσο όρο 180g/kWh, τότε αν οι γεννήτριες καταναλώνουν HFO κόστους 627.05 \$/mt, για την εγκατάσταση μας με κατά μέσο όρο απαίτηση σε ισχύ 1200kW τότε ετησίως (300 days = 7200h το HFO που θα καταναλωθεί από τις γεννήτριες θα είναι:

$$m_{HFO} = 180 \cdot 10^{-6} \frac{ton}{kWh} \cdot 1200kW \cdot 7200h = 1555.2 tons$$

Και οπότε το ετήσιο κόστος σε κατανάλωση ενέργειας λόγω του CCS προσαυξάνεται κατά:

$$C_{ENERGY} = 1555.2 tons \cdot 627.05 \frac{\$}{t} = \$975,200$$

2. Συντήρηση Εξοπλισμού και Επιθεωρήσεις: Η συντήρηση του εξοπλισμού Carbon Capture και η επιθεώρηση ορθής λειτουργίας τους είναι απαραίτητες. Αυτά περιλαμβάνουν ελέγχους ρουτίνας, καθαρισμό και προμήθεια ανταλλακτικών και επισκευές ανά τακτά διαστήματα. Αυτό το κόστος εκτιμάται από τους μελετητές πως ανέρχεται στο 1% με 5% της συνολικής επένδυσης, κατά μέσο όρο στο 3% της συνολικής επένδυσης και είναι:

$$C_{MAINT} = 0.03 \cdot \$ 5,700,000 = \$170,000$$

3. Χημικά και Αναλώσιμα: Κάποια components του συστήματος Carbon Capture απαιτούν αναλώσιμα όπως χημικά (absorbent chemicals) και καταλύτες για την δέσμευση του CO₂ από τα καυσαέρια. Αυτά τα αναλώσιμα θα πρέπει να αναπληρώνονται τακτικά το ετήσιο τους κόστος εκτιμάται στο 1% με 2% της αρχικής επένδυσης και ανέρχεται στα:

$$C_{CONSUM} = \$85,000$$

4. Κόστος Συμμόρφωσης με τους Κανονισμούς: Προανώς το dual fuel retrofit που πραγματοποιήθηκε, ως νέα τεχνολογία, επιβάλλεται από τον EU MRV η συνεχής παρακολούθηση ώστε να είναι σε πλήρη συμμόρφωση με την νομοθεσία και τα όρια εκπομπών. Μπορεί να θεωρηθεί ασφαλώς ένα μέσο κόστος για το κατάλληλο monitoring, τα service attendances και την ολική συμμόρφωση τα regulatory frameworks της εκάστοτε κλάσης σε:

$$C_{REG} = \$30,000$$

Επομένως το συνολικό λειτουργικό κόστος OPEX ετησίως που προκύπτει από την επένδυση σε Carbon Capture ανέρχεται στα σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

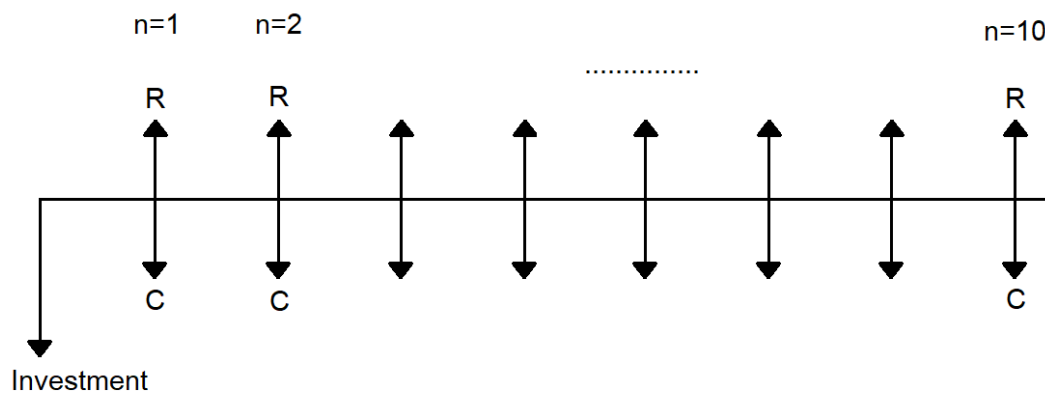
Carbon Capture Retrofit & Storage OPEX

OPEX	
Energy Consumption	\$ 975,200
Maintenance & Servicing	\$ 170,000
Chemicals & Consumables	\$ 85,000
Regulatory Costs	\$ 30,000
Total Annual Profit	\$ 1,260,200

Μέσα από την μετασκευή και την εγκατάσταση του συστήματος Carbon Capture δεν παρατηρούμε κάποιο άμεσο υπολογίσιμο κέρδος, όπως η κατανάλωση φθηνότερου LNG έναντι HFO στην περίπτωση της Dual Fuel επένδυσης. Εδώ το όφελος είναι η πλήρης απαnthράκωση του πλοίου με αποτέλεσμα αυτό να παράγει μηδενικές εκπομπές και να είναι σε πλήρη συμμόρφωση με τους κανονισμούς της E.E, FuelEU αλλά και μελλοντικών directives που τείνουν στην πλήρη απαnthράκωση της ναυτιλίας. Προφανώς μια τέτοια επένδυση σε zero-emissions τεχνολογίες ενθαρρύνεται περεταίρω από τον IMO, ωστόσο θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των λειτουργικών εξόδων και άρα και του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου. Στην παρούσα μελέτη επιδιώκουμε να μελετήσουμε πως επιδρά στην βιωσιμότητα της εταιρίας η επένδυση αυτή και κατά συνέπεια ποια θα είναι η αναμενόμενη αύξηση του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου.

Στην υπόθεση μας θεωρούμε πως ο πλοιοκτήτης επενδύει σε μια Carbon Capture εγκατάσταση πλήρους αποδέσμευσης CO₂ και αποθήκευσής του σε υγροποιημένη μορφή, η οποία έχει ύψος \$5,700,000. Ετησίως φέρει λειτουργικά έξοδα λόγω της απαιτούμενης συντήρησης, κατανάλωσης ενέργειας και αναλώσιμων ύψους \$1,260,200. Θεωρούμε το ευκαιριακό κόστος της επένδυσης $r=5\%$ από παρόμοιες μελέτες σκοπιμότητας. Σκοπός μας είναι να υπολογίσουμε την αύξηση του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου που επιφέρει μια τέτοια εγκατάσταση ώστε ο πλοιοκτήτης να συμμορφωθεί πλήρως στις νομοθεσίες της EE FuelEU και του IMO.

Όπως και προηγουμένως καταγράφουμε το διάγραμμα των χρηματοροών εντός της δεκαετίας που ορίζουμε σαν χρονικό ορίζοντα της παρούσας τεχνοοικονομικής μελέτης



Υπολογίζουμε τον ελάχιστο απαιτούμενο ναύλο όπου R τα απαιτούμενα επιπλέον έσοδα που απαιτούνται, C το ετήσιο λειτουργικό κόστος (OPEX) και I η αρχική επένδυση (Investment)

$$NPV = I - R \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} + C \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = 0 \rightarrow I = (R - C) \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$$

$$I \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = R - C \rightarrow R = C + I \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

$$R = \$1,260,200M + \$5,700,000M * 0.1295 = \$1,998,350$$

Στην περίπτωση μας λοιπόν όπου $R > 0$, προκειμένου η επένδυση στην Carbon Capture τεχνολογία να είναι βιώσιμη θα πρέπει να υπάρχουν επιπλέον ελάχιστα ετήσια απαιτούμενα έσοδα ύψους 2εκ. Δολλαρίων τα οποία θα καλύπτουν τις απώλειες εσόδων. Αυτή η αύξηση αντικατοπτρίζεται στον πλοιοκτήτη με αύξηση του απαιτούμενου ναύλου του σε:

$$RFR' = RFR + \Delta RFR$$

Οπότε θα παρατηρήσουμε αύξηση στον ελάχιστο απαιτούμενο ναύλο ύψους (ναύλωση 350d):

$$\Delta RFR = \frac{R}{350} = \frac{\$1,998,350}{350 \text{ days}} \rightarrow \Delta RFR = +5710 \text{ \$/day}$$

Παρατηρούμε λοιπόν πως η επένδυση σε τεχνολογία Carbon Capture σε ένα πλοίο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα ναύλα του πλοίου, αν και οι επιπτώσεις αυτές είναι πολυπαραγοντικές

και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Καταρχήν, η επένδυση σε τεχνολογία Carbon Capture δεν έχει άμεσο κέρδος από την άποψη της μείωσης των ναύλων. Οι διεθνείς κανονισμοί για τις εκπομπές ρύπων θέτουν όρια και απαιτήσεις για τις ναυτιλιακές εκπομπές, και η επένδυση σε τεχνολογία Carbon Capture επιτρέπει στο πλοίο να πληροί αυτούς τους κανονισμούς. Ωστόσο, η επένδυση αυτή μπορεί να έχει μακροπρόθεσμα οφέλη για το πλοίο. Η συμμόρφωση με τους διεθνείς κανονισμούς εκπομπών μπορεί να έχει θετική επίδραση στην εικόνα του πλοίου και να αυξήσει την ανταγωνιστικότητά του στην αγορά. Οι πελάτες και οι φορείς ναύλων μπορεί να προτιμούν πλοία που πληρούν τις αυστηρές περιβαλλοντικές προδιαγραφές, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης για το πλοίο και, ως εκ τούτου, να επηρεάσει τα ναύλα. Μελέτες πάντως όπως των Buirma et al^[106] (2022) ισχυρίζονται, πως η επένδυση σε τεχνολογία Carbon Capture μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών και των καυσίμων που απαιτούνται για την κίνηση του πλοίου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους καυσίμων και, συνεπώς, να επηρεάσει τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των ναύλων. Συνολικά, η επένδυση σε τεχνολογία Carbon Capture στη ναυτιλία μπορεί να επηρεάσει τα ναύλα του πλοίου, αν και οι επιπτώσεις αυτές είναι πολυπαραγοντικές. Είναι σημαντικό να εξετάζονται προσεκτικά όλοι οι παράγοντες και να διεξάγονται κατάλληλες αναλύσεις κόστους-οφέλους πριν από τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την εγκατάσταση της τεχνολογίας Carbon Capture σε ένα πλοίο.

Ως τεχνολογία, το Carbon Capture έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και να βοηθήσει στην επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων. Η επένδυση σε τεχνολογίες Carbon Capture μπορεί να θεωρηθεί θετική, καθώς προάγει την καινοτομία και την ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων. Οι τεχνολογίες Carbon Capture μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της ναυτιλίας, για την απομάκρυνση και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται κατά τη διάρκεια της καύσης καυσίμων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία και να συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος.

Ωστόσο, η επένδυση σε τεχνολογίες Carbon Capture πρέπει να γίνεται με προσοχή και να λαμβάνονται υπόψη οι οικονομικές, τεχνικές και λειτουργικές πτυχές. Οι τεχνολογίες Carbon Capture μπορεί να είναι ακόμα ακριβές και να απαιτούν επαρκή υποδομή και συντήρηση για να λειτουργούν αποτελεσματικά. Επίσης, η κλιματική νομοθεσία και οι πολιτικές πρέπει να διασφαλίζουν την αναγνώριση και την ενθάρρυνση της επένδυσης σε αυτές τις τεχνολογίες.

Συνολικά, η επένδυση σε τεχνολογίες Carbon Capture μπορεί να αποτελέσει σημαντικό βήμα προς την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ναυτιλία. Ωστόσο, απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση, συνεργασία των ενδιαφερομένων φορέων και εναρμόνιση με την παγκόσμια νομοθεσία και πρωτόκολλα για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου.

6

Συμπεράσματα και Επίλογος

6.1 Συμπεράσματα Διπλωματικής

Αυτή η έκθεση επιδιώκει να αξιολογήσει τις πιθανές επιπτώσεις στη ναυτιλιακή βιομηχανία της πρόσφατης έγκρισης της ναυτιλιακής πρωτοβουλίας FuelEU και των διαφόρων οδών συμμόρφωσης με τα καύσιμα με τα νέα πρότυπα. Εκτός από τα διάφορα αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εναλλακτικών καυσίμων πλοίων, υπάρχει μια αναδυόμενη ανάγκη να διερευνηθούν τα καύσιμα πλοίων που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος στον ΕΟΧ και να παρασχεθεί μια αρχική πρόβλεψη πιθανών εναλλακτικών καυσίμων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη συμμόρφωσης με τα επερχόμενα όρια έντασης GHG ενέργειας που χρησιμοποιείται στα πλοία της περιοχής. Αυτή η μελέτη επιχειρεί να αντιμετωπίσει αυτό το ερευνητικό κενό δίνοντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση της ναυτιλιακής πρωτοβουλίας FuelEU. εξέταση των πλεονεκτημάτων και των αρνητικών πλευρών της Πρωτοβουλίας για την υιοθέτηση καθαρών καυσίμων πλοίων και την εκτίμηση της πιθανής συμβολής του ναυτιλιακού τομέα σε μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη έως το 2050.

Τα ευρήματα της έρευνας υποδηλώνουν ότι οι ναυτιλιακές εταιρείες ενδέχεται να χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα για να επιτύχουν τους καθορισμένους περιορισμούς της έντασης GHG της ενέργειας που χρησιμοποιούν τα πλοία που καθορίστηκαν από την FuelEU Maritime Initiative, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ορυκτών καυσίμων (LNG, LPG) έως το 2040. Ωστόσο, μετά το 2040, μόνο η χρήση ανανεώσιμων καυσίμων θα ήταν επιτυχής για την κάλυψη των απαιτούμενων μειώσεων στην ένταση της ενέργειας GHG, που θα έφτανε έως και 75% το 2050 σε σχέση με το 2020. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία είναι πιο εύκολα προσβάσιμα και υποστηρίζονται από το υπάρχον λιμάνι υποδομής, η χρήση ανανεώσιμων καυσίμων απαιτεί σημαντικές κεφαλαιουχικές δαπάνες για νέες κατασκευές και τη μετατροπή υφιστάμενων κινητήρων πλοίων.

Οι δαπάνες αυτές προστίθενται στο «χάσμα κόστους» μεταξύ εναλλακτικών και παραδοσιακών καυσίμων. Προκειμένου να προωθηθεί η ευρεία υιοθέτηση των ανανεώσιμων καυσίμων, είναι σημαντικό να μειωθούν αυτές οι σημαντικές ανισότητες στις τιμές των καυσίμων, οι οποίες θα μπορούσαν να επιτευχθούν μέσω της επιβολής φόρων άνθρακα στα καύσιμα πλοίων με βάση την ενεργειακή τους ένταση GHG ή μέσω της αρχικής επιδότησης ανανεώσιμων καυσίμων.

Εκτός από την υπέρβαση της τεχνολογικής ωριμότητας των καυσίμων, των απαιτήσεων ασφάλειας, της αξιόπιστης υποδομής ανεφοδιασμού εντός των λιμένων και του κατάλληλου εφοδιασμού καυσίμων, πρέπει να αντιμετωπιστούν μια σειρά από άλλες προκλήσεις για την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων καυσίμων πλοίων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα εμπόδια που αντιμετωπίζει η εισαγωγή των ανανεώσιμων καυσίμων πλοίων, η απήχισή τους μπορεί να αυξηθεί με τη θέσπιση μέσων πολιτικής που ενθαρρύνουν την υιοθέτησή τους, όπως παγκόσμιοι και περιφερειακοί νόμοι και η συμμετοχή διαφορετικών ενδιαφερομένων. Η εισαγωγή MBM, όπως μια παγκόσμια εισφορά στα καύσιμα πλοίων με βάση την ενεργειακή τους ένταση GHG ή ένα σύστημα εμπορίας εκπομπών, μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην επιτάχυνση της μετάβασης σε νεότερα/εναλλακτικά καύσιμα, καθώς τέτοια συστήματα θα παρέχουν στις ναυτιλιακές εταιρείες πρόσθετα κίνητρα να μειώσουν τις εκπομπές τους σε σημείο όπου οι επενδύσεις τους θα ισοδυναμούν τουλάχιστον με το κόστος CO₂.

Δεδομένης της πολυπλοκότητας της επιλογής επένδυσης σε εναλλακτικά καύσιμα, είναι προφανές από την έρευνα που δίνεται εδώ ότι η πρόβλεψη του πώς θα ανταποκριθεί ο ναυτιλιακός τομέας προκειμένου να συμμορφωθεί με την πρωτοβουλία FuelEU Maritime Initiative δεν είναι απλή υπόθεση. Ωστόσο, ο ναυτιλιακός τομέας πιθανότατα θα τείνει προς «λιγότερο ριζοσπαστικές» επιλογές στο εγγύς μέλλον. Κατά συνέπεια, μια μετάβαση σε ορυκτά καύσιμα με χαμηλότερη ενεργειακή ένταση GHG (όπως LNG και LPG) είναι πιθανό να συμβεί μέσα στα επόμενα χρόνια, καθώς αυτό δεν θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου, η διαθεσιμότητα αυτών των καυσίμων είναι πιο ασφαλής και το λιμάνι οι υποδομές είναι πιο προετοιμασμένες για αυτά τα καύσιμα.

Ως αποτέλεσμα, η Πρωτοβουλία θα ξεκινήσει την απαλλαγή από τον άνθρακα των θαλάσσιων μεταφορών μέσω επενδύσεων σε ανανεώσιμα καύσιμα, αλλά πιθανότατα θα συμβεί αργότερα. Πιθανότατα μετά το 2040, όταν τα όρια έντασης ενέργειας GHG στα πλοία μπορούν να τηρηθούν μόνο με τη χρήση καυσίμων που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σαφώς, ο ναυτιλιακός τομέας θα χρειαστεί χρόνο για να εφαρμόσει αυτά τα καύσιμα μέσω της κατασκευής νέων σκαφών και της μετασκευής των σημερινών πλοίων. Ωστόσο, είναι σημαντικό οι επενδύσεις σε ανανεώσιμα καύσιμα να επικεντρωθούν με σύνεση, καθώς οι «ενδιάμεσες» λύσεις ενδέχεται να εμποδίσουν την πραγματική απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλιακής βιομηχανίας και τη συμβολή της σε μια κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη έως το 2050.

6.2 Βιωσιμότητα Τεχνολογιών Μείωσης Εκπομπών CO₂

Η βιωσιμότητα των τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών CO₂, όπως οι τεχνολογίες Dual Fuel και Carbon Capture, είναι κρίσιμη για τη μετάβαση προς μια πιο αειφόρο ναυτιλία. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν λύσεις για τη μείωση των εκπομπών CO₂, την αντιμετώπιση της

κλιματικής αλλαγής και την επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων. Η τεχνολογία Dual Fuel προσφέρει τη δυνατότητα λειτουργίας των πλοίων με διάφορα καύσιμα, όπως υγραέριο φυσικό (LNG) ή πετρέλαιο νέας γενιάς, όπως το μεικτό διηθυλένιο (MGO). Αυτό επιτρέπει στα πλοία να μειώσουν την εξάρτησή τους από το παραδοσιακό βαρέλι πετρελαίου (HFO) και να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ και άλλων ρύπων. Η τεχνολογία Dual Fuel θεωρείται πιο βιώσιμη, καθώς παρέχει μια μεταβατική λύση που μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ ενώ παράλληλα επιτρέπει την ευελιξία και την ασφάλεια της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η τεχνολογία Carbon Capture αποσκοπεί στην απομάκρυνση και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που παράγεται από την καύση καυσίμων στα πλοία. Με τη χρήση ειδικών συστημάτων, το CO₂ παγιδεύεται και αποθηκεύεται, είτε υποθαλάσσια είτε σε γεωλογικούς σχηματισμούς. Η τεχνολογία Carbon Capture προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂ στην πηγή και μπορεί να εφαρμοστεί σε υφιστάμενα πλοία, μειώνοντας έτσι τον αντίκτυπο τους στο κλίμα. Η βιωσιμότητα αυτών των τεχνολογιών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Περιλαμβάνει το κόστος επένδυσης και λειτουργίας των συστημάτων, την αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία τους, την εφαρμογή προδιαγραφών και κανονισμών, καθώς και την αναγνώριση και ανταμοιβή από τη διεθνή κοινότητα και τους φορείς λήψης αποφάσεων.

Οι τεχνολογίες Dual Fuel και Carbon Capture αντιπροσωπεύουν σημαντικά βήματα προς τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ναυτιλία. Ωστόσο, η επιτυχής εφαρμογή τους απαιτεί συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων φορέων, πολιτική υποστήριξη, τεχνολογική καινοτομία και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό. Επίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι οικονομικές και λειτουργικές πτυχές, καθώς και οι επιπτώσεις τους στον τομέα της ναυτιλίας και της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Η συνεχής έρευνα, ανάπτυξη και βελτίωση αυτών των τεχνολογιών είναι απαραίτητη για να επιτευχθεί μια βιώσιμη και χαμηλής ανθρακικής ενεργειακής ναυτιλία. Το μέλλον της ναυτιλίας συνδέεται στενά με την προσπάθεια επίτευξης μιας βιώσιμης και χαμηλής ανθρακικής ενεργειακής ναυτιλίας. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τομέας της ναυτιλίας σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την περιβαλλοντική αειφορία απαιτούν την ανάπτυξη και υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, πρακτικών και πολιτικών.

Ένας σημαντικός πυλώνας για την επίτευξη βιώσιμης ναυτιλίας είναι η μετάβαση από τα παραδοσιακά καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, όπως το Βαρέλι Καυσίμου Βαρέλι (HFO), σε πιο καθαρές και βιώσιμες εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Οι τεχνολογίες Dual Fuel, όπου τα πλοία λειτουργούν είτε με παραδοσιακά καύσιμα είτε με υγραέριο φυσικό αέριο (LNG), αναδεικνύονται ως επιλογή μείωσης των εκπομπών CO₂. Η χρήση LNG ως καύσιμο παρέχει σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ και επίσης μειώνει τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως τα οξείδια του θείου και τα σωματίδια. Πέρα από τις τεχνολογίες

καυσίμων, η ανάπτυξη και υιοθέτηση της τεχνολογίας Carbon Capture and Storage (CCS) είναι άλλος ένας κρίσιμος παράγοντας για την επίτευξη μιας βιώσιμης ναυτιλίας. Η τεχνολογία CCS απορροφά και αποθηκεύει το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τις εκπομπές καυσαερίων των πλοίων, επιτρέποντας την περιορισμένη εκπομπή αερίων στην ατμόσφαιρα. Η εφαρμογή της τεχνολογίας CCS στη ναυτιλία βοηθά στην επίτευξη των εκπομπικών στόχων και μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στην περιβαλλοντική αειφορία του τομέα. Επιπλέον, η βιωσιμότητα της ναυτιλίας εξαρτάται από την ανάπτυξη και υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και πρακτικών που προάγουν την ενεργειακή απόδοση, την ανακύκλωση των αποβλήτων, τη βελτιωμένη διαχείριση των υδάτων και τη μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, μπορεί επίσης να συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από τα παραδοσιακά καύσιμα και την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Επίσης, η ανάπτυξη και χρήση νέων υλικών και σχεδιαστικών λύσεων που μειώνουν την αντίσταση στην προώθηση και βελτιστοποιούν την απόδοση των πλοίων μπορεί επίσης να συμβάλει στη βιώσιμη ναυτιλία. Οι τεχνολογίες όπως οι νέοι σχεδιασμοί κύτους, η χρήση υβριδικών ή ηλεκτρικών συστημάτων, και η βελτιωμένη διαχείριση της λειτουργίας των πλοίων μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και μείωση των εκπομπών.

Τέλος, η διεθνής συνεργασία και οι πολιτικές δράσεις αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την προώθηση της βιώσιμης και χαμηλής ανθρακικής ενεργειακής ναυτιλίας. Οι διεθνείς κανονισμοί και συμφωνίες, όπως οι συμφωνίες του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), έχουν στόχο τη θέσπιση προτύπων και προϋποθέσεων για τη μείωση των εκπομπών και την προώθηση της βιώσιμης ναυτιλίας.

Συνοψίζοντας, το μέλλον της ναυτιλίας προσδιορίζεται από την επένδυση σε τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών CO₂, όπως οι τεχνολογίες Dual Fuel και Carbon Capture, την ανάπτυξη νέων υλικών και σχεδιαστικών λύσεων, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη διεθνή συνεργασία και πολιτικές δράσεις. Με αυτούς τους παράγοντες, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα βιώσιμο και χαμηλής ανθρακικής ενεργειακής ναυτιλία που συμβάλλει στη διατήρηση και προστασία του περιβάλλοντος.

6.3 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η εφαρμογή νομοθεσιών μείωσης εκπομπών, όπως η FuelEU, έχει θέσει τη βάση για μελλοντική έρευνα που στοχεύει στη βιωσιμότητα των ναυτιλιακών εταιριών και την εξέλιξη της ναυτιλίας προς μια χαμηλής ανθρακικής ενεργειακής κατανάλωσης και βιώσιμη παραγωγή. Οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα σε αυτό το πεδίο μπορούν να περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Ανάπτυξη Προηγμένων Τεχνολογιών: Η έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών που μπορούν να ενσωματωθούν στα πλοία για τη μείωση των εκπομπών. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη βελτιωμένων κινητήρων, προηγμένων συστημάτων καυσίμων, και την εξέλιξη τεχνολογιών Carbon Capture και χρήσης ανανεώσιμων καυσίμων.
2. Αποδοτικότερη Χρήση Ενέργειας: Η έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη τεχνολογιών και μεθόδων για την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας στα πλοία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη βελτίωση της αεροδυναμικής σχεδίασης, την χρήση ευφώνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας και την εφαρμογή εξοικονόμησης ενέργειας στις διάφορες λειτουργίες του πλοίου.
3. Ανάπτυξη Νέων Υλικών: Η έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη νέων υλικών που μπορούν να είναι πιο αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη προηγμένων καυσίμων, βελτιωμένων υλικών κατασκευής πλοίων και την εξέλιξη νέων τεχνολογιών αποθήκευσης και μεταφοράς καυσίμων.
4. Αξιολόγηση Αποδοτικότητας: Η έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των διάφορων τεχνολογιών μείωσης εκπομπών, όπως οι τεχνολογίες Dual Fuel και Carbon Capture. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της αποδοτικότητας, των κοστών, των περιβαλλοντικών οφελών και των επιπτώσεων στην ασφάλεια της ναυσιπλοΐας για κάθε τεχνολογία.
5. Ανάπτυξη Πράσινων Λιμένων: Η έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη πράσινων λιμένων και υποδομών. Αυτό περιλαμβάνει την εξέλιξη εναλλακτικών λιμένων που υποστηρίζουν την χρήση καθαρών καυσίμων, την εγκατάσταση φορτιστών για ηλεκτρικά πλοία και την ανάπτυξη υποδομών για την ανανεώσιμη ενέργεια.

Αυτές οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα θα συμβάλουν στην προώθηση της βιωσιμότητας των ναυτιλιακών εταιριών και της χαμηλής ανθρακικής ενεργειακής ναυτιλίας. Μέσω συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης, μπορούμε να επιτύχουμε αποδοτικότερες, πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για τη ναυτιλία και να προωθήσουμε μια αειφόρο και υγιή βιομηχανία ναυτιλίας στο μέλλον.

7

Βιβλιογραφία και Πηγές

1. Du, Y., Leng, R., & Jin, Y. (2022). A review of shipping decarbonization: progress, challenges and future pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 112614.
2. Mourik, R. M., & Biesbroek, R. (2020). Aligning shipping with climate goals: Stakeholder perceptions on policy options. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102474.
3. Bailey, I., van Leeuwen, J., van den Berg, M., & Grubb, M. (2019). Taming the beasts: decarbonising shipping and aviation. *Climate Policy*, 19(9), 1142-1157.
4. Gómez, C. M., Hu, W., & Zhong, M. (2021). Sustainable maritime transportation in China: An overview of policies, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110963.
5. Li, M., Li, Z., & Wang, Q. (2021). A review of carbon pricing policies and the potential impact on shipping industry decarbonization. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128460.
6. Notteboom, T. (2018). Towards a new regulatory framework for maritime transport in a globalized world. *Research in Transportation Business & Management*, 29, 1-5.
7. Zhang, H., & Chen, Y. (2020). A review of shipping emissions and policy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109628.
8. Ng, A. K., Lu, C. C., & Lee, P. T. (2021). Green shipping practices: A systematic review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 96, 102907.
9. Gil, J. M., & Wu, Y. J. (2021). Implications of the IMO's decarbonisation pathways for the shipping industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 99, 102954.
10. Hesse, M., & Von Bernstorff, C. (2021). Marine spatial planning and marine protected areas: Increasing the scope of ocean governance for a sustainable blue economy. *Journal of International Affairs*, 74(2), 169-185.

11. International Maritime Organization. (2020). Fourth IMO GHG Study 2020. London: International Maritime Organization.
12. International Transport Forum. (2020). Transport Outlook 2020: Sustainable Mobility for All? Paris: International Transport Forum.
13. Jäger, J., & Schwanitz, V. J. (2019). The evolution of international shipping policy: From environmental protection to emissions trading. *Environmental Science & Policy*, 97, 72-80.
14. Johansson, M., Ljungström, E., & Haglund, M. (2021). Barriers and drivers for implementing low carbon shipping technologies: A review. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127654.
15. Kronsell, A., & Waterton, C. (2021). Governing the oceans: Imaginaries of international ocean governance. *Journal of International Affairs*, 74(2), 99-116.
16. Lee, K. Y., Kwak, J. H., & Park, Y. (2020). A review of recent studies on green shipping practices: An updated analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84, 102327.
17. Liu, C., & Li, X. (2021). The impact of carbon pricing on international maritime shipping: A systematic review.
18. IMO. (2018). Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization.
19. European Commission. (2019). European Green Deal.
20. European Commission. (2020). European Climate Law.
21. European Parliament. (2021). Fit for 55 Package.
22. International Chamber of Shipping. (2021). Getting to Zero: Proposals to Decarbonise Shipping.
23. Wara, M. W. (2007). Greenhouse Gas Limits for Shipping: Options for Global and Domestic Policy. *Energy Policy*, 35(11), 5782-5792.
24. Eyring, V., Isaksen, I. S. A., Berntsen, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, O., et al. (2010). Transport Impacts on Atmosphere and Climate: Shipping. *Atmospheric Environment*, 44(36), 4735-4771.
25. Meir, I. A., Kozlova, N., & Ryabikov, A. (2018). Environmental and Economic Impact of International Maritime Transport. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 52-58.
26. International Energy Agency. (2020). Energy Technology Perspectives 2020: Special Report on Clean Energy Innovation.

27. Bosetti, V., Carraro, C., De Cian, E., Duval, R., & Tavoni, M. (2015). The 2030 Architecture of Global Climate Policy. *Climate Change Economics*, 6(1), 1-29.
28. Gallagher, K. S., & Grubler, A. (2015). Global Energy Challenges and Transport in 2030 and Beyond. *Energy Strategy Reviews*, 6, 23-37.
29. Depledge, J., & Yamin, F. (2019). The Paris Agreement and Shipping: The Role of International and National Policy in Reducing Emissions from Shipping. *Journal of International Affairs*, 72(1), 59-76.
30. International Transport Forum. (2020). Transport CO2 and the Paris Agreement: Tracking Progress of Nationally Determined Contributions.
31. Hall, S., & Oltra, C. (2021). The Carbon Footprint of Global Tourism. *Nature Climate Change*, 11(8), 705-710.
32. International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector.
33. European Environment Agency. (2021). Trends and Projections in Europe 2021: Tracking Progress towards Europe's Climate and Energy Targets.
34. United Nations. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
35. Smith, T. W. P., Jalkanen, J.-P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., et al. (2014). Third IMO Greenhouse Gas Study 2014. International Maritime Organization.
36. European Parliament. (2018). EU Action Plan on Climate Change and Energy Efficiency in Shipping.
37. Bows-Larkin, A., Anderson, K., & Mander, S. (2015). Shipping in Changing Climates: Provisional Title of Project to Support Maritime Emission Reduction Strategies Beyond 2020.
38. McGlade, C., Ekins, P., & Bradshaw, M. (2013). The Geographical Distribution of Fossil Fuels Unused When Limit
39. Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., ... & Sausen, R. (2018). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 1-9.
40. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). Carbon offset and reduction scheme for international aviation (CORSIA) (No. Doc 9897).
41. International Energy Agency (IEA). (2020). Net zero by 2050: a roadmap for the global energy sector. International Energy Agency.

42. International Maritime Organization (IMO). (2018). Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. International Maritime Organization.
43. IMO. (2020). Fourth IMO GHG study 2020.
44. Cames, M., Graichen, J., & Pehnt, M. (2021). Shipping and aviation emissions: Effective levies could foster climate protection in Germany. *Energy policy*, 154, 112308.
45. Aleluia Da Silva Reis, L., Bertram, C., & Harnisch, J. (2020). Decarbonizing the international shipping sector: Options for aligning the sector with the Paris Agreement. *Climate Policy*, 20(3), 318-332.
46. Sanchez, D. L., Nelson, J. H., Johnston, J., Mileva, A., Kammen, D. M., & Fripp, M. (2018). Pathways to decarbonization: charting the opportunities for international shipping. *Environmental Science & Technology*, 52(7), 3864-3872.
47. International Transport Forum (ITF). (2019). Greenhouse gas emissions from global shipping: 2013-2015. International Transport Forum.
48. International Energy Agency (IEA). (2019). Global energy & CO2 status report 2019. International Energy Agency.
49. Sanchez, D. L., Nelson, J. H., & Johnston, J. (2019). The future of oil demand: drivers and projections. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 39-67.
50. Carney, M. (2015). Breaking the tragedy of the horizon—climate change and financial stability. Speech given at the Lloyd's of London, London.
51. Jochem, E., Fichtner, W., & Mattes, K. (2017). Potential of LNG for shipping in achieving 2030 climate targets. *Energy Policy*, 105, 315-325.
52. Tanaka, M., Kondoh, A., & Komatsu, T. (2018). A study of low-carbon marine fuel alternatives for international shipping. *Applied Energy*, 213, 492-504.
53. Van der Laan, T., Hagfors, L. I., & Sørensen, K. (2018). Fuel consumption and CO2 emissions of maritime shipping: A review of estimates, approaches and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4510-4527.
54. Johansson, M., & Andersson, K. (2019). Examining future shipping fuel options: A life cycle assessment of exhaust emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 71, 129-146.
55. Van Renssen, S. (2019). Net zero shipping: An idea sailing into view. *Nature Climate Change*, 9(12), 895-897.

56. Faria, R., Jalali, M. S., Guedes Soares, C., & Zio, E. (2020). A systematic review of green shipping practices: Drivers and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110263.
57. Jiang, L., & O'Neil, J. (2020). A review of energy-efficient marine technologies for reducing greenhouse gas emissions in shipping. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(12), 1017.
58. Othman, R. M., & Hashim, M. A. (2020). Review on potential of biodiesel for sustainable shipping industry: The case of Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 109995.
59. Singh, S., & Bhattacharya, S. (2020). Maritime transportation and the environment: A review of research and policy issues. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120327.
60. Zheng, J., Wang, L., & Huang, W. (2021). Assessing global carbon emissions of international shipping from a network perspective. *Applied Energy*, 283, 116244.
61. Schinas, O., & Broussard, S. (2019). Global shipping in transition: Overview and research directions. *Journal of Shipping and Trade*, 4(1), 1-12.
62. Song, D. W., Park, Y., & Panayides, P. M. (2019). The future of maritime transportation: A review and implications for future research. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 125, 126-144.
63. Ketter, W., Collins, J., & Grosso, M. (2021). The emergence of hydrogen energy supply chains: What can we learn from a systematic review of the shipping and port sectors?. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127946.
64. Linares, P., Du, Y., & Jones, A. (2019). Towards decarbonizing international shipping: progress and challenges. *Climate Policy*, 19(9), 1151-1166.
65. Vrijenhoek, M., & Hassall, G. (2019). Exploring stakeholder perceptions of sustainable shipping: insights from a Delphi study. *Journal of Cleaner Production*, 208, 494-502.
66. Madzimbamuto, T. F., & Mathe, T. (2018). Technological innovation and the future of maritime transport: the role of institutions. *Maritime Business Review*, 3(2), 137-156.
67. Galatioto, F., Dikis, K., & Bell, M. G. (2019). Transitioning to zero-emission shipping: a review of barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 232, 779-795.

68. Kurniawan, T. A., & Wierenga, S. (2018). The influence of green supply chain management practices on performance: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1416-1438.
69. Gössling, S., Scott, D., & Hall, C. M. (2020). *Tourism and water: Interactions, impacts and challenges*. Channel View Publications.
70. Schaufele, B. (2019). *Governing green shipping: maritime pollution and the law*. Routledge.
71. Storchmann, K. H., Haider, J. J., & Poser, K. (2021). The potential of alternative maritime fuels for sustainable shipping: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124302.
72. Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., Sorrell, S., & Jenkins, K. (2017). Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates. *Energy Research & Social Science*, 33, 223-231.
73. Liu, Y., Jiang, J., Lu, G., Wang, L., & Zhou, P. (2019). Promoting clean shipping practices in the international maritime industry: A comparative analysis of policy instruments. *Sustainability*, 11(22), 6274.
74. Petzer, J., Pretorius, L., & Mathee, M. (2020). The economics of green shipping practices in the maritime industry: A systematic literature review. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 12(2), 95-128.
75. Syri, S., & Lehtilä, A. (2018). A new era for shipping: A review of maritime energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2844-2855.
76. Lee, J. H., & Shin, Y. J. (2017). Strategies for reduction in greenhouse gas emissions in the shipping sector. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1229-1243.
77. Notteboom, T. (2018). The port and hinterland interface: an overview. In *Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development, and Sustainability in the Arctic* (pp. 213-240). IGI Global.
78. Ryggvik, H. (2019). Shipping and climate change: challenges and opportunities for ports. In *Green Ports* (pp. 27-46). Springer.
79. Chen, J., Lu, C., Zhang, Y., Wang, T., & Ding, H. (2020). A review of green ports: Definition, implementation, policies and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121863.

80. Puckett, J., & Jenkins, S. (2018). A regional approach to mitigating greenhouse gas emissions from shipping: A case study of the North Sea region. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1415-1426.
81. Holmgren, K., & Södahl, B. (2019). Sustainable maritime transportation: Can demand-side policies reduce greenhouse gas emissions from shipping?. *Energy Policy*, 128, 583-591.
82. Seebregts, A. J., Ramirez-Rivera, A. J., Faaij, A. P., & Verkooyen, A. H. (2018). Barriers to the implementation of carbon dioxide capture, utilization, and storage: A review. *Energy Technology*, 6(7), 1213-1233.
83. Brynolf, Selma, et al. "Sustainable fuels for shipping." *Sustainable Energy Systems On Ships*. Elsevier, 2022. 403-428.
84. Foretich, Anthony, et al. "Challenges and opportunities for alternative fuels in the maritime sector." *Maritime Transport Research 2* (2021): 100033.
85. Christodoulou, Anastasia, and Kevin Cullinane. "Potential alternative fuel pathways for compliance with the 'FuelEU Maritime Initiative'." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 112 (2022): 103492.
86. EU MRV. "The EU Monitoring, Reporting & Verification (MRV)." Verifavia Shipping, www.verifavia-shipping.com/shipping-carbon-emissions-verification/shipping-mrv-regulation-the-eu-monitoring-reporting-verification-mrv-6.php. Accessed 18 June 2023.
87. Noor, CW Mohd, M. M. Noor, and R. Mamat. "Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review." *renewable and sustainable energy reviews* 94 (2018): 127-142.
88. Ziegler, Friederike, et al. "Adding perspectives to:" Global trends in carbon dioxide (CO₂) emissions from fuel combustion in marine fisheries from 1950-2016". *Marine Policy* 107 (2019): 103488.
89. Jaan, Soone. "FuelEU Maritime–Sustainable maritime fuels." (2022).
90. Wang, Xiao-Tong, et al. "Trade-linked shipping CO₂ emissions." *Nature Climate Change* 11.11 (2021): 945-951.
91. Hughes, Edmund. "FuelEU Maritime–Avoiding Unintended Consequences." (2021).

92. Feenstra, Maartje, et al. "Ship-based carbon capture onboard of diesel or LNG-fuelled ships." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 85 (2019): 1-10.
93. Wissner, Nora, and Martin Cames. "Briefing on the proposal to integrate maritime transport in the EU ETS." (2022).
94. Beshouri, Greg, and Gerry Fischer. "Optimization of High Pressure Direct Injection Micro-Pilot As a Retrofit Technology for Conventional Dual Fuel Engines." *Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*. Vol. 59346. American Society of Mechanical Engineers, 2019.
95. Tam, Dev, et al. "Concept Design of a Bulk Carrier Retrofit with LNG Fuel." *International Conference on Marine Engineering and Technology Oman 2019*. Newcastle University, 2019.
96. Sharafian, Amir, Paul Blomerus, and Walter Mérida. "Natural gas as a ship fuel: Assessment of greenhouse gas and air pollutant reduction potential." *Energy Policy* 131 (2019): 332-346.
97. Stanivuk, Tatjana, et al. "LNG MARKET AND FLEET ANALYSIS." *Transport Problems: an International Scientific Journal* 16.4 (2021).
98. Ge, Jiawei, and Xuefeng Wang. "Techno-economic study of LNG diesel power (dual fuel) ship." *WMU Journal of Maritime Affairs* 16 (2017): 233-245.
99. Bunker Index, "Bunker Prices Worldwide - Bunker Index." *Bunker Prices Worldwide*, www.bunkerindex.com/. Accessed 18 June 2023.
100. Balland, Océane, and Åland Sjöfartens Dag. "LNG—A COST-EFFICIENT FUEL OPTION?." (2014).
101. Roehyana, Mochamad Furqon, M. Yamin Jinca, and Jusuf Siahaya. "MDO and LNG as fuels (dual fuel) to support sustainable maritime transport (A case study in KM. Ciremai)." *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)* 3 (2014): 32-38.
102. Wang, Yang, et al. "A review of low and zero carbon fuel technologies: Achieving ship carbon reduction targets." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 54 (2022): 102762.
103. Font-Palma, Carolina, David Cann, and Chinonyelum Udemu. "Review of cryogenic carbon capture innovations and their potential applications." *C 7.3* (2021): 58.

104. Wang, Haibin, Peilin Zhou, and Zhongcheng Wang. "Reviews on current carbon emission reduction technologies and projects and their feasibilities on ships." *Journal of Marine Science and Application* 16 (2017): 129-136.
105. Aryal Atreya, Ashish. *Feasibility Study of Carbon Capture and Storage Process to implement in Maritime Industry*. MS thesis. UiT Norges arktiske universitet, 2022.
106. Buirma, Max, et al. "Ship-Based Carbon Capture and Storage: A Supply Chain Feasibility Study." *Energies* 15.3 (2022): 813.