



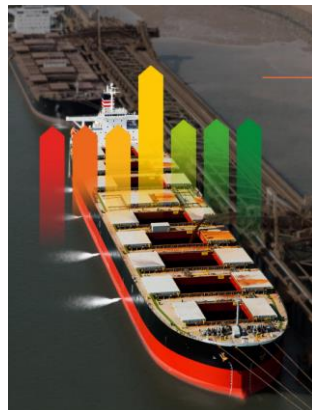
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

ΤΙΤΛΟΣ:

ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub> ΑΠΟ ΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΜΕΧΡΙ ΤΟ  
ΕΤΟΣ 2050

TITLE:

PROPOSAL FOR ZERO CO<sub>2</sub> EMISSIONS FROM SHIPPING BY THE YEAR 2050



ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ

ΜΥΛΩΝΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α.Μ 46141

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

| A/A | Όνοματεπώνυμο                               | Υπογραφή |
|-----|---|----------|
| 1   | Μουστρής Κωνσταντίνος<br>Καθηγητής          |          |
| 2   | Σπυρόπουλος Γεώργιος<br>ΕΔΙΠ                |          |
| 3   | Ζαφειράκης Δημήτριος<br>Επίκουρος Καθηγητής |          |

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΜΥΛΩΝΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, με αριθμό μητρώου 46141 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



Μυλωνάς Γεώργιος

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Κωνσταντίνο Μουστρή για την συνεργασία μας και την καθοδήγηση του στην παρούσα διπλωματική εργασία καθώς επίσης για το ήθος που τον διακατέχει, για τις πολύτιμες γνώσεις του και το κίνητρο για μάθηση που εμπνέει στους φοιτητές του κατά τη διάρκεια των σπουδών τους για την απόκτηση του πτυχίου του μηχανολόγου μηχανικού.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τη μητέρα μου και την αδερφή μου για την αμέριστη στήριξη τους για την απόκτηση του διπλώματος μου ως μηχανολόγος μηχανικός.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την συνεισφορά της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς και στην υπερθέρμανση του πλανήτη μας. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την ναυτιλία, σε ολόκληρο τον πλανήτη, συντελεί σε μια γεωμετρικά αυξανόμενη ανησυχία.

Θα μελετήσουμε τους τρόπους σχετικά με την απανθρακοποίηση των καυσαερίων των πλοίων ώστε να μειωθούν τα αέρια του θερμοκηπίου που αυξάνουν την μέση θερμοκρασία του πλανήτη μας. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει θέσει ως στόχο 40% έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050 τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> προερχόμενες από τη ναυτιλία σε σύγκριση με τις μετρήσεις ρύπων του 2008.

Στην 4<sup>η</sup> Μελέτη Αερίων του Θερμοκηπίου (4<sup>th</sup> Green House Gas Study 2020), ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός – IMO, υπολόγισε ότι η συνολική ναυτιλία παρήγαγε 1.056 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> το 2018, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 2,89% των συνολικών παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών CO<sub>2</sub> για εκείνο το έτος αυξημένες κατά 10% από το 2012 έως το 2018. Το αποτέλεσμα ήταν να δεσμευτούν για μια πιο πράσινη ναυτιλία. Δηλαδή να μειωθεί η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου μέσω της ενίσχυσης των πλοίων για μια καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Ο στόχος για μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προερχόμενες από τα καυσαέρια των πλοίων έως το 2050 αποτελεί πρόκληση. Επιβάλλεται να εφαρμοστεί στα πλοία ο Δείκτης Πλοίων Ενεργειακής Απόδοσης (EEXI) για την παρακολούθηση της προόδου του εγχειρήματος αυτού και ο Δείκτης Έντασης Άνθρακα (CII). Επίσης επιβάλλεται η μετάβαση από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούν σήμερα τα πλοία σε μια νέα εποχή με χρήση βιοκαυσίμων και εναλλακτικών καυσίμων με μειωμένο ή μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα και λοιπών αέριων ρύπων όπως SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, και PM.

## **ABSTRACT**

The present dissertation examines the contribution of shipping at the air pollution and the overheating of our planet as well. Green House Gases (GHG) emissions are producing from the international maritime are a big concern.

Methods of decarbonization ships exhaust gases been examine in order to be reduced the GHG which overheating our planet. International Maritime Organization (IMO) has set an ambitious target which is the reduction of CO<sub>2</sub> emissions coming from the shipping at least 40% until 2030 and 70% until 2050 compared the 2008 levels.

According to IMO at 4<sup>th</sup> Green House Gas Study 2020, evaluate that shipping in total produced 1.056 million tones CO<sub>2</sub> on 2018, value which represents the 2,89% of the total anthropogenic CO<sub>2</sub> for that year, value which from 2012 till 2018 increased about 10%. Consequently, IMO is committed towards a global approach in order to raise the energy efficiency of the ships and the measures for the reduction of GHG. The proposal for zero carbon dioxide emissions coming from ships until 20250 is a challenge. It is mandatory to be implemented the Energy Efficiency Existing Indicator (EEXI) in order to monitor the progress of this factor and the Carbon Intensity Indicator (CII). It is mandatory a new era to come and change the usage of bunkering fuels from traditional fossil fuels into biofuels and alternative zero carbon fuels without producing air pollutants like SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, and PM.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....   | 5  |
| ABSTRACT.....   | 6  |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....  | 7  |
| ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΩΡΩΝ.....  | 10 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....   | 11 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ.....  | 13 |
| 1.1 Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.).....   | 13 |
| 1.2 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός / International Maritime Organization (IMO).....   | 15 |
| 1.2.1 Δραστηριότητες του IMO.....   | 15 |
| 1.3 MARPOL 73/78.....   | 17 |
| 1.3.1 MARPOL VI.....  | 18 |
| 1.4 IMO 2020.....   | 19 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....   | 19 |
| 2.1 Ιστορικό υπόβαθρο .....   | 19 |
| 2.1.1 Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή / United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)..... | 20 |
| 2.1.2. Φαινόμενο του θερμοκηπίου .....  | 20 |
| 2.1.3. Πρωτόκολλο του Κιότο.....  | 24 |
| 2.1.4. Συμφωνία του Παρισιού / Paris Agreement.....   | 26 |
| 2.1.5. Marine Environment Protection Committee (MEPC).....  | 28 |
| 2.1.6. Αρχική στρατηγική IMO GHG 2018.....  | 29 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....  | 29 |
| 3.1. Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (MEPC 76).....  | 29 |
| 3.2. Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων (EEXI).....   | 31 |
| 3.3 Δείκτης έντασης άνθρακα (CII).....  | 31 |
| 3.4 Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP).....   | 32 |
| 3.5 Ανασκόπηση του δείκτη ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων (EEXI) και του δείκτη έντασης άνθρακα (CII).....          | 32 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 3.6  | Πότε ο IMO ξεκίνησε τις δράσεις για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου GHG..  | 33 |
| 3.7  | Ενεργειακή απόδοση της διεθνούς ναυτιλίας .....  | 34 |
| 3.8  | Σύστημα συλλογής δεδομένων κατανάλωσης μαζούτ .....  | 35 |
| 3.9  | Στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία.....  | 35 |
| 3.10   | Εφαρμογή του δείκτη ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων EEXI. Ένα σημαντικό αλλά δαπανηρό βήμα προς την προστασία των ωκεανών.....             | 36 |
| 3.11   | Τι είναι ο δείκτης EEDI .....  | 37 |
| 3.12.  | Τι είναι ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων EEXI.....   | 41 |
| 3.13   | Ανάπτυξη & επαλήθευση του SEEMP Μέρους III.....  | 48 |
| 3.13.1.  | SEEMP Μέρους I.....  | 48 |
| 3.13.2.  | Fuel Oil Data Collection System (DCS) του IMO και SEEMP Μέρους II.....   | 48 |
| 3.13.3   | Αξιολόγηση CII και SEEMP Μέρους III.....   | 49 |
| 3.14   | Απαιτήσεις και χρονοδιάγραμμα υλοποίησης.....  | 50 |
| 3.15   | Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης μαζούτ, συλλογή δεδομένων και αναφορά στην Αρχή σημαίας του πλοίου ή σε Recognized Organization (RO) για επαλήθευση..... | 52 |
| 3.16   | Χρονοδιάγραμμα για την υποβολή δεδομένων στο DCS.....  | 52 |
| 3.17   | Τι είναι ο δείκτης ένταση άνθρακα CII .....  | 53 |
| 3.18   | Υπολογισμός του CII.....   | 56 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΟΥΔΕΤΕΡΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ..... |  | 58 |
| 4.1  | Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG).....   | 58 |
| 4.2.   | Υγραέριο LPG.....  | 61 |
| 4.2.1.   | Πλεονεκτήματα του υγραερίου.....   | 62 |
| 4.2.2  | Προκλήσεις του υγραερίου .....   | 63 |
| 4.3  | Μεθανόλη .....   | 64 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....                                    |  | 68 |
| 5.1.   | Βιοκαύσιμα.....  | 68 |
| 5.2  | Υγρά βιοκαύσιμα.....   | 72 |
| 5.3.   | Βιοντίζελ .....  | 72 |
| 5.4.   | Βιοαέριο.....  | 73 |



|   |     |
|---|-----|
| 5.5. Βιομεθάνιο.....  | 73  |
| 5.5.1. Οφέλη από το Βιομεθάνιο .....  | 74  |
| 5.5.2. Προκλήσεις από του Βιομεθάνιο.....   | 75  |
| 5.6. Αιθανόλη .....   | 75  |
| 5.7. Αμμωνία .....  | 76  |
| 5.8. Υδρογόνο.....  | 81  |
| 5.8.1. Μαύρο υδρογόνο .....   | 85  |
| 5.8.2. Πράσινο Υδρογόνο.....  | 85  |
| 5.8.3. Υδρογόνο (Κίτρινο, Καφέ, Μπλέ, Γκρι).....  | 85  |
| 5.8.4. Υγρό Υδρογόνο (LH <sub>2</sub> ).....  | 86  |
| 5.8.5. Πλεονεκτήματα του υδρογόνου .....  | 87  |
| 5.8.6. Ρυθμιστικό πλαίσιο.....  | 87  |
| 5.8.7. Αποθήκευση υδρογόνου.....  | 87  |
| 5.8.8. Ενεργειακή ικανότητα .....   | 89  |
| 5.8.9. Ασφάλεια υδρογόνου.....  | 89  |
| 5.8.10. Λιμενικές υποδομές και εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καθώς και αποθήκευσης .....   | 90  |
| 5.8.11. Επενδύσεις & Κόστος καυσίμων.....   | 90  |
| 5.9. Κυψέλες καυσίμου .....   | 91  |
| 5.10. Αιολική ενέργεια.....   | 93  |
| 5.10.1.Ανεμογεννήτριες .....  | 95  |
| 5.10.2. Τεχνολογία μαλακών πανιών .....   | 95  |
| 5.10.3. Τεχνολογία σταθερού πανιού .....  | 95  |
| 5.10.4. Τεχνολογία Kite-sail .....  | 96  |
| 5.10.5. Τεχνολογία Rotor-Sail .....   | 96  |
| 5.11. Ηλιακή ενέργεια.....  | 98  |
| 5.12. Ενέργεια κυμάτων .....  | 99  |
| 5.13. Slow Steaming.....  | 101 |
| 5.13.1.Ακαδημαϊκή έρευνα.....   | 101 |
| 5.13.2. Οφέλη εκπομπών άνθρακα.....   | 104 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΟ.....                                | 106 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> : ΚΕΝΑ ΓΝΩΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΟΥΝ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ..... | 107 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8° : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 108 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8° : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 112 |

#### **ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΌΡΩΝ**

**IMO** International Maritime Organization

**ΟΗΕ** Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

**CII** Carbon Intensity Indicator

**EEXI** Energy Efficiency Existing Ship Index

**EEDI** Energy Efficiency Design Indicator

**GHG** Green House Gases

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις αρχές του 19ου αιώνα, ο Svante Arrhenius υπολόγισε ότι οι εκπομπές από τις βιομηχανικές δραστηριότητες του ανθρώπου θα μπορούσε να φέρει κάποια μέρα μια παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Άλλοι επιστήμονες απέρριψαν την ιδέα του ως λανθασμένη. Το 1938, ο G.S Callendar προσπάθησε να αποδείξει ότι καθώς αυξανόταν το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα, αναλογική ήταν και η αύξηση της θερμοκρασία του πλανήτη. Η επιστημονική κοινότητα θεώρησε αβάσιμη τη θεωρία του. Γύρω στο 1950, τυχαία κάποιοι ερευνητές συνειδητοποίησαν ότι όντως οι θερμοκρασίες του πλανήτη μπορούν να ανεβούν σε ανησυχητικά επίπεδα. Δέκα χρόνια μετά, ο C.D. Keeling, ανακάλυψε ότι τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονταν με γρήγορους ρυθμούς στην ατμόσφαιρα και ότι το αέριο είχε το σημαντικότερο ρόλο στη μελλοντική αλλαγή του κλίματος.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αν και άργησε να γίνει φανερό η επιρροή του. Πριν το 1965 μία ομάδα επιστημόνων είχε προτείνει ότι μέχρι το 2000 η αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα μπορεί να είναι αρκετή ώστε να οδηγήσει σε αλλαγές του κλίματος. Όμως οι περισσότεροι ελάχιστοι έβλεπαν το CO<sub>2</sub> σαν αίτιο μια μελλοντικής υπερθέρμανσης. Έπρεπε να φτάσει το 1970 ώστε το φαινόμενο του θερμοκηπίου να γίνει αντικείμενο μελέτης και τότε οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι πάνω από τις μισές των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που προκαλούν αλλαγές στο κλίμα οφείλονται στις εκπομπές του CO<sub>2</sub>. Το CO<sub>2</sub> εκλύεται άμεσα στην ατμόσφαιρα από την χρήση ορυκτών καυσίμων και έμμεσα από την εκχέρωση δασικών εκτάσεων. Τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζεται ότι αυξάνουν κατά 0,4 – 0,5% περίπου το χρόνο. Ακολουθώντας αυτούς τους ρυθμούς η συγκέντρωσή του υπολογίζεται ότι θα έχει διπλασιαστεί το 2040. Μια τέτοια αύξηση θα μπορέσει να οδηγήσει σε μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3-5 οC.

Η ανάπτυξη των οικονομιών και του πληθυσμού ήταν ο λόγος για τη μεγάλη επέκταση του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου καθώς και για της αύξησης του στόλου της παγκόσμιας ναυτιλίας. Συνεπώς αυτοί είναι οι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Η Ελλάδα είναι από τα ισχυρότερα και πιο σημαντικά ναυτικά κράτη του κόσμου με τον ελληνόκτητο στόλο να κατέχει το 17% του παγκόσμιου

στόλου με βάση τη μεταφορική ικανότητα καθιστώντας τον επι σειρά ετών στη πρώτη θέση ανά την υφήλιο. Η ναυτιλία είναι υπεύθυνη για το 80-90 % του παγκόσμιου εμπορίου, το οποίο περιλαμβάνει περίπου 12 δισεκατομμυρίων τόνων εμπορευματοκιβωτίων ετησίως όπου μεταφέρουν στερεό και υγρό φορτίο χύδην ανά τον κόσμο μέσω των ωκεανών. Μεταξύ 2017 και 2019 το διεθνές εμπόριο αυξήθηκε 19% που είχε ως αποτέλεσμα αύξηση 52% στη χρήση καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία τα έτη 2013 και 2023. Κύριο καύσιμο των πλοίων είναι το μαζούτ, ένα ορυκτό καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο της τάξεως του 3,5% πράγμα που ισοδυναμούν οι αέριοι ρύποι για ένα πλοίο όσο 210.000 φορτηγών αυτοκινήτων. [8] Ως αποτέλεσμα, να συμβάλει η ναυτιλία στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές σχεδόν στο 3%. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τα πλοία, όπως των οξειδίων του αζώτου, του θείου και των σωματιδίων ΡΜ αποτελούν πρόβλημα και απειλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Έχει παρατηρηθεί ότι η αέρια ρύπανση φτάνει ακόμη και σε απόσταση 400 χιλιομέτρων από την ξηρά [5]. Ο ΙΜΟ το 2014 διοργάνωσε την τρίτη μελέτη αερίων θερμοκηπίου και ανέφερε ότι η ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση από 52% έως 260% στις αέριες εκπομπές ρύπων προερχόμενες από τη ναυτιλία έως το έτος 2050. Συνεπώς η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε μέτρα με σκοπό μείωσης των εκπομπών GHG κατά τουλάχιστον 60% κάτω από τα επίπεδα του 1990 έως το 2030, με στόχο την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) έως το 2050.

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (ΜΕΡC), τον Απρίλιο του 2018, ψήφισε υπέρ της στρατηγικής του ΙΜΟ για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ναυτιλία (Ψήφισμα ΜΕΡC.304 (72)). Ο στόχος που έχει τεθεί είναι αρκετά φιλόδοξος. Επιθυμούν να μειωθούν οι τιμές στο ήμισυ. Δηλαδή κατά 50% έως το 2050, με μέτρο σύγκρισης τις τιμές του 2008. Έως τότε ο στόχος είναι να μειωθούν κατά 40% οι εκπομπές CO<sub>2</sub> έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050. Η σύγκριση θα γίνεται πάντα με τα επίπεδα του 2008. Σημαντική παρατήρηση είναι ότι ο ΙΜΟ δεν έχει βρει ακόμη τρόπο να μετρήσει ποσοτικά την ένταση των εκπομπών, με αποτέλεσμα να την μετρούν ως γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά διαδρομή. Η μεταφορική απόσταση της κάθε διαδρομής μετριέται συνήθως σε τονοχιλιόμετρα. Μια ασφαλής εναλλακτική είναι τα καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα για την μείωση της ευθύνης της ναυτιλίας. Τα καύσιμα που εξετάζονται για το μέλλον της ναυτιλίας αποτελούνται από την αμμωνία, τη μεθανόλη, τα βιοκαύσιμα, τις κυψέλες καυσίμου, την ηλεκτρική ενέργεια όπως ο άνεμος και το υδρογόνο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

### 1.1 Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.)

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.), γνωστός ως Ηνωμένα Έθνη, είναι διεθνής οργανισμός παγκόσμιας εμβέλειας μεταξύ των κρατών του κόσμου του οποίου ο σκοπός είναι η διατήρηση της διεθνούς ειρήνης και ασφάλειας, η ανάπτυξη φιλικών σχέσεων μεταξύ των εθνών, η επίτευξη διεθνούς συνεργασίας για την επίλυση διεθνών προβλημάτων και το κέντρο εναρμόνισης των ενεργειών των εθνών για την επίτευξη κοινών σκοπών. Είναι ο μεγαλύτερος διεθνής οργανισμός στον κόσμο και η έδρα του υπάγεται στην Νέα Υόρκη.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, ήταν απαραίτητος ένας οργανισμός που θα φρόντιζε για την ειρήνη μεταξύ των κρατών μελών και την αποφυγή πολέμων. Τότε δημιουργήθηκε ο ΟΗΕ διαδεχόμενος την Κοινωνία των Εθνών.

Στις 25 Απριλίου 1945, στο Σαν Φρανσίσκο, συναντήθηκαν 50 κυβερνήσεις ώστε να διαμορφώσουν το Χάρτη των Ηνωμένων Εθνών. Δύο μήνες αργότερα, στις 25 Ιουνίου, εγκρίθηκε και η εφαρμογή τέθηκε σε ισχύ στις 24 Οκτωβρίου της ίδιας χρονιάς. Στην αρχή της ίδρυσης του ΟΗΕ, τα κράτη μέλη ήταν 51, ενώ σήμερα αριθμεί 193 κράτη μέλη, δηλαδή σχεδόν όλα τα διεθνώς αναγνωρισμένα ανεξάρτητα έθνη.

Τα Ηνωμένα Έθνη αποτελούν μέρος του ευρύτερου συστήματος της δομής των Ηνωμένων Εθνών, το οποίο περιλαμβάνει ένα εκτεταμένο δίκτυο ιδρυμάτων και οντοτήτων. Κεντρικό στοιχείο του οργανισμού είναι τα πέντε κύρια όργανα που διαμορφώθηκαν από τον Χάρτη των Ηνωμένων Εθνών. Αυτά είναι η Γραμματεία του ΟΗΕ, το Συμβούλιο Ασφαλείας, η Γενική Συνέλευση, το Διεθνές Δικαστήριο και το Οικονομικό και Κοινωνικό Συμβούλιο.

Υπό την ομπρέλα του ΟΗΕ υπάρχει μια ποικιλία από οργανισμούς. Χρονολογικά κάποιοι είναι παλαιότεροι ακόμη και από τον ΟΗΕ. Κάποιοι οργανισμοί αφορούν ιδρύματα έρευνας και κατάρτισης, ταμεία, εξειδικευμένες οντότητες και διάφορα προγράμματα.

Το τρίτο όργανο από τα έξι που αποτελεί το μεγαλύτερο και το πιο περίπλοκο θυγατρικό όργανο του ΟΗΕ είναι το Οικονομικό και Κοινωνικό Συμβούλιο. Ουσιαστικά είναι υπεύθυνο για τη διεύθυνση και τον συντονισμό των οικονομικών, κοινωνικών, ανθρωπιστικών και

πολιτιστικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται από τον ΟΗΕ όπου ιδρύθηκε το 1945 με τον Χάρτη των Ηνωμένων Εθνών.

Ο Χάρτης των Ηνωμένων Εθνών ορίζει ότι κάθε κύριο όργανο των Ηνωμένων Εθνών μπορεί να ιδρύσει διάφορους εξειδικευμένους φορείς για την εκπλήρωση των καθηκόντων του. Οι εξειδικευμένοι φορείς λειτουργούν ως αυτόνομοι οργανισμοί, σε συνεργασία πάντα με τα Ηνωμένα Έθνη και το Κοινωνικό και Οικονομικό Συμβούλιο. Όλοι αυτοί οι οργανισμοί ενσωματώθηκαν με το σύστημα του ΟΗΕ σύμφωνα με το άρθρο 57 του Χάρτη των Ηνωμένων Εθνών. Οι κύριοι φορείς είναι 15, και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

| No. ↕ | Αρκτηκόλεξο ↕ | Φορέας  | Κεντρικά γραφεία   | Επικεφαλής  | Ίδρυση ↕       |
|-------|---------------|---|--|---|----------------|
| 1     | FAO           | Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών                         |  Ρώμη, Ιταλία               |  Qu Dongyu   | 1945           |
| 2     | ICAO          | Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας                                     |  Μόντρεαλ, Καναδάς          |  Juan Carlos Salazar   | 1947           |
| 3     | IFAD          | Διεθνές Ταμείο για την Αγροτική Ανάπτυξη                                    |  Ρώμη, Ιταλία               |  Gilbert Hounbo  | 1977           |
| 4     | ILO           | Διεθνής Οργάνωση Εργασίας   |  Γενεύη, Ελβετία            |  Guy Ryder   | 1946<br>(1919) |
| 5     | IMO           | Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός  |  Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο |  Kitack Lim   | 1948           |
| 6     | IMF           | Διεθνές Νομισματικό Ταμείο  |  Ουάσινγκτον, ΗΠΑ         |  Kristalina Georgieva  | 1945<br>(1944) |
| 7     | ITU           | Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών   |  Γενεύη, Ελβετία          |  Houlin Zhao   | 1947<br>(1865) |
| 8     | UNESCO        | Εκπαιδευτικός, Επιστημονικός και Πολιτιστικός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών |  Παρίσι, Γαλλία           |  Audrey Azoulay  | 1946           |
| 9     | UNIDO         | Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιομηχανική Ανάπτυξη                   |  Βιέννη, Αυστρία          |  Gerd Müller   | 1967           |
| 10    | UNWTO         | Παγκόσμιος Οργανισμός Τουρισμού   |  Μαδρίτη, Ισπανία         |  Zurab Pololikashvili  | 1974           |
| 11    | UPU           | Παγκόσμια Ταχυδρομική Ένωση   |  Βέρνη, Ελβετία           |  Masahiko Metoki   | 1947<br>(1874) |
| 12    | WBG           | Όμιλος Παγκόσμιας Τράπεζας  |  Ουάσινγκτον, ΗΠΑ         |  David Malpass<br>(πρόεδρος)   | 1945<br>(1944) |
| 13    | WHO           | Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας   |  Γενεύη, Ελβετία          |  Tedros Adhanom  | 1948           |
| 14    | WIPO          | Παγκόσμιος Οργανισμός Πνευματικής Ιδιοκτησίας                               |  Γενεύη, Ελβετία          |  Daren Tang  | 1974           |
| 15    | WMO           | Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός  |  Γενεύη, Ελβετία          |  Petteri Taalas (γ. γραμματέας)<br> Gerhard Adrian (πρόεδρος) | 1950<br>(1873) |

Εικόνα 1: Εξειδικευμένοι φορείς των Ηνωμένων εθνών [35]

Στην διπλωματική εργασία που σας παρουσιάζω, εξετάζεται η απανθρακοποίηση των καυσαερίων των πλοίων, πρωταρχικό ρόλο σε όλα τα νομοθετήματα που άπτονται επί του θέματος ασκείται από τον πέμπτο φορέα του ΟΗΕ που δεν είναι άλλος από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό - International Maritime Organization (IMO).

## **1.2 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός / International Maritime Organization (IMO)**

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO), είναι ένας εξειδικευμένος πολυεθνικός, διακυβερνητικός οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) ο οποίος επιβλέπει και προωθεί τη σωστή και ασφαλή επικοινωνία και αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των χωρών-μελών του σε παγκόσμια κλίμακα στον τομέα της ναυτιλίας. Ο IMO χρησιμεύει ως ζωτικό φόρουμ για τα κράτη μέλη για την ανάπτυξη και εφαρμογή διεθνών ναυτιλιακών κανονισμών και προτύπων. Αποτελεί οργανισμό του ΟΗΕ, διακρατικού χαρακτήρα. Ιδρύθηκε στις 17 Μαρτίου 1948 στη Γενεύη υπό την ονομασία IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization. Το 1982 όμως μεταφέρθηκε η έδρα του στο Λονδίνο και μετονομάστηκε σε IMO.

### **1.2.1 Δραστηριότητες του IMO**

Ο IMO έχει πρωταρχικό στόχο να διασφαλίσει την ασφάλεια των πλοίων της διεθνούς ναυτιλίας ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της, καθώς επίσης και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τη ρύπανση που προκαλεί ο ανθρώπινος παράγοντας, κατά τη διάρκεια των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων του. Αυτό το επιτυγχάνει μέσω της υιοθέτησης και επιβολής παγκόσμιων συμβάσεων, πρωτοκόλλων και κατευθυντήριων γραμμών που διέπουν διάφορες πτυχές των θαλάσσιων επιχειρήσεων.

Την 1<sup>η</sup> δραστηριότητα την ανέλαβε από έναν παλιό οργανισμό τον IMCO, ο οποίος είχε στόχο την σύζευξη μεταξύ ασφάλειας και των κανονισμών ναυσιπλοΐας. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, ανέλαβε την 2<sup>η</sup> δραστηριότητά του, με σκοπό τη μείωση της ρύπανσης των θαλασσίων υδάτων λόγω έλλειψης νομοθετικού πλαισίου. Το 1912 με τη βύθιση του Τιτανικού έγινε απαραίτητη μια διενεργηθείσα νομοθεσία για την αποφυγή παρόμοιων ατυχημάτων στο μέλλον διότι η κάθε χώρα είχε διαφορετικούς κανόνες ασφαλείας κάνοντας τα πλοία ευάλωτα στις απρόβλεπτες, έως τότε, θαλάσσιες συνθήκες. Οι αντίστοιχοι οργανισμοί που υπήρχαν πριν τους Παγκόσμιους Πολέμους είχαν πετύχει κάποιους στόχους, αλλά η λειτουργία τους δεν συνεχίστηκε. Η λειτουργία του IMO σχηματίστηκε με αυστηρότερες προδιαγραφές καθώς υπάγεται κάτω από τον ΟΗΕ. Τα κράτη μέλη δεσμεύονται σε αυτές τις προδιαγραφές. Ένα παράδειγμα είναι η MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) που αφορά την προστασία από τη ρύπανση στη θάλασσα. Όλες οι νέες κατασκευές πλοίων και οι

εξοπλισμοί αυτών δεσμεύονται για την πρόληψη ρύπανσης παγκοσμίως, συνδυάζοντας την αντίστοιχη εκπαίδευση και πιστοποίηση των ναυτικών. Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι το SOLAS (Safety Of Life At Sea), αφορά την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα και στη ναυσιπλοΐα. Οι κανόνες αυτοί αναβαθμίζονται τακτικά ανάλογα με την ανάπτυξη και εξέλιξη της ναυπηγικής και με τις εκ νέου συμβουλές των νηογνωμόνων μέσα από την αυξανόμενη εμπειρία τους. Τα ναυπηγεία πρέπει να ενημερώνονται και να ακολουθούν όλες τις ανανεωμένες προδιαγραφές στην ναυπήγηση νέων πλοίων.

Επιπλέον, όλοι οι ναυτικοί πρέπει να συμμορφώνονται με τις υποδομές των πλοίων στα οποία θα εργαστούν για να γνωρίζουν πως συμπεριφέρεται το κάθε φορτίο. Υπάρχουν επικίνδυνα φορτία, παράγωγα του πετρελαίου, τα οποία χρήζουν αυστηρότερα μέτρα κατά τη φόρτωση / εκφόρτωση, αλλά και στη μεταφορά.

Ο IMO είναι υπεύθυνος για οποιαδήποτε παράνομη δραστηριότητα στη θάλασσα, όπως η τρομοκρατία, η πειρατεία και η παράνομη αλιεία. Βοηθά στην συλλογική στρατηγική εναντίων όλων αυτών των προκλήσεων καθώς και στην βελτίωση των πρακτικών μέτρων.

Η δομή του οργανισμού αποτελείται από τη Συνέλευση, το Συμβούλιο και πέντε κύριες Επιτροπές. Αυτές είναι η Νομική Επιτροπή, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), η Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC), η Επιτροπή Διευκόλυνσης και η Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας, σε συνεργασία με δευτερεύουσες υπο-επιτροπές που ενισχύουν το έργο τους.

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος / Marine Environment Protection Committee (MEPC) είναι αρμόδια να εξετάζει κάθε ζήτημα που εμπίπτει στο σκοπό του Οργανισμού σχετικά με την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης από τα πλοία. Αντιμετωπίζει περιβαλλοντικά ζητήματα υπό την αρμοδιότητα του IMO όπου περιλαμβάνει τον έλεγχο και την πρόληψη της θαλάσσιας ρύπανσης, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, λόγω των ατμοσφαιρικών ρύπων, η διαχείριση του θαλάσσιου έρματος, αλλά και τη μόλυνση των υδάτων από τα λύματα, τη μεταφορά χημικών και οτιδήποτε υπάγεται στη συνθήκη της MARPOL. Επίσης η ετοιμότητα και η αντιμετώπιση της ρύπανσης και ο εντοπισμός των ειδικά ευαίσθητων θαλάσσιων περιοχών.

Στις συνεδριάσεις της επιτροπής τα ψηφίσματα που εγκρίνονται, δημοσιεύονται. Εμφανίζονται ως παράρτημα της έκθεσης της συνεδρίασης. Π.χ. το MEPC.209(63) αφορά



την πλειοψηφική αποδοχή της MEPC με αριθμό 209, όπου εγκρίθηκε στην 63η σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος.

### **1.3 MARPOL 73/78**

Η MARPOL 73/78 είναι η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία η οποία εγκρίθηκε στις 2 Νοεμβρίου 1973 και τροποποιήθηκε με το Πρωτόκολλο του 1978. Αυτό συνέβη διότι το 1976-1977 συνέβησαν κάποια ατυχήματα με δεξαμενόπλοια και είχε ως στόχο να βελτιώσει την πρώτη έκδοση η οποία δεν είχε εφαρμοστεί ακόμη. Έτσι οι δύο συμβάσεις έγιναν μία, και τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983. Το όνομα MARPOL 73/78 είναι τα αρχικά των λέξεων Marine-Pollution σε συνδυασμό με τις δύο ενσωματωμένες ημερομηνίες σε μία.

Είναι μια από τις σημαντικότερες διεθνείς συμβάσεις για την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πλοία από επιχειρησιακά ή τυχαία αίτια όπου αναπτύχθηκε από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό IMO με στόχο την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης των ωκεανών και των θαλασσών από πετρέλαια καθώς και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Αριθμεί 156 κράτη που είναι συμβαλλόμενα μέρη στη σύμβαση, τα οποία αποτελούν το 99,42% της παγκόσμιας ναυτιλίας.

Όλα τα πλοία που φέρουν σημαία από χώρες που έχουν υπογράψει τη σύμβαση MARPOL είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν τους κανονισμούς της, ασχέτως το που δραστηριοποιούνται. Επίσης η χώρα στην οποία ανήκει ο νηογνώμονας των πλοίων, είναι υπεύθυνη για τα πλοία αυτά.

Οι θαλάσσιοι ρύποι χωρίζονται σε έξι Παραρτήματα / Annexes, ανάλογα την κατηγορία, όπως κατηγοριοποιούνται στον παρακάτω πίνακα.

| Annex  | Title   | Entry into force <sup>[1][5]</sup> | No. of Contracting Parties/States <sup>[1]α</sup> | % of the World Tonnage <sup>[1]β</sup> |
|--|---|------------------------------------|---|--|
| Annex I  | Prevention of pollution by oil & oily water                                   | 2 October 1983                     |   |  |
| Annex II   | Control of pollution by noxious liquid substances in bulk                     | 6 April 1987                       |   |  |
| Annex III  | Prevention of pollution by harmful substances carried by sea in packaged form | 1 July 1992                        | 138   | 97.59                                  |
| Annex IV   | Pollution by sewage from ships  | 27 September 2003                  |   |  |
| Annex V  | Pollution by garbage from ships   | 31 December 1988                   |   |  |
| Annex VI   | Prevention of air pollution from ships  | 19 May 2005                        | 72  | 94.70                                  |
| <b>Notes</b>   |   |                                    |   |  |
| <sup>α</sup> As of 31 July 2013<br><sup>β</sup> Based on World Fleet Statistics as of 31 December 2012 |   |                                    |   |  |

Εικόνα 2: Παραρτήματα της σύμβασης MARPOL 73/78 [32]

### 1.3.1 MARPOL VI

Με την πάροδο των ετών είδαν ότι είναι απαραίτητη η αναβάθμιση αυτών των κανονισμών και το 1997 ψηφίστηκε να προστεθεί το νούμερο VI. Ένα νέο τεχνικό παράρτημα όπου εφαρμόστηκε στις 19 Μαΐου 2005.

Στην παρούσα εργασία μου είναι αυτονόητο ότι θα ασχοληθούμε το τελευταίο παράρτημα, το παράρτημα έξι => MARPOL VI (19/05/2005). Η σύμβαση περιλαμβάνει κανονισμούς που στοχεύουν στην πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από πλοία τόσο τυχαία όσο και υπό τις συνηθισμένες εργασίες. Η ρύθμιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι μείζον θέμα για την ναυτιλία. Όπως οι ρύποι που εκλύονται και που καταστρέφουν το όζον, όπως οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>), οξειδία του θείου (SO<sub>x</sub>), πτητικά οργανικές ενώσεις (VOCs) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Καλύπτει υποχρεωτικά τεχνικά και λειτουργικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προερχόμενα από τα πλοία. Έχουν καθοριστεί οι περιοχές όπου ελέγχονται οι εκπομπές αερίων, οι λεγόμενες SECA areas (sulfur emission control areas (SECAs)). Έχουν αυστηρά μέτρα για τα SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και τα σωματίδια PM. Όταν εισέρχεται ένα πλοίο σε αυτές ακολουθεί τον κανονισμό για καύση

συγκεκριμένης ποιότητας μαζούτ. Επιπλέον, το 2011 προτάθηκε σαν λύση οι πλυντηρίδες καυσαερίων / scrubbers. Είναι συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων των πλοίων, αλλά λόγω μεγέθους μπορούν να τοποθετηθούν μόνο σε μεγάλα πλοία. Τέλος οι αποτεφρωτήρες / incinerators καίνε τα σκουπήδια που δημιουργούνται στην καθημερινότητα [32].

#### 1.4 IMO 2020

Από την 1η Ιανουαρίου 2020, τέθηκε σε ισχύ το παγκόσμιο όριο σε περιεκτικότητα θείου στο μαζούτ Heavy Fuel Oil / HFO [και εκτός των Sulphur Emission Control Areas (SECA)]. Από 3,5% σε 0,5%. Ο κανονισμός λέγεται IMO 2020. Αυτή η απόφαση προσδοκά να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα του αέρα σε πολλές κατοικημένες παράκτιες περιοχές καθώς και στα πολυσύχναστα λιμάνια. Υπολογίζεται ότι θα αποτρέψει περισσότερους από 100.000 πρόωρους θανάτους ετησίως και πολλές περιπτώσεις άσθματος σε αυτές τις περιοχές. Περισσότερες από 170 χώρες έχουν υπογράψει για την αλλαγή αυτή, συμπεριλαμβανομένων και των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτό δημιούργησε αλλαγές στη ναυτιλία. Τα διυλιστήρια πετρελαίου προχώρησαν σε αλλαγές για να καταστεί ικανή η παραγωγή καυσίμου χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο.

Τα ναυτιλιακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε ζώνη ελέγχου εκπομπών, παραδείγματος χάρη στη Βόρεια Θάλασσα πρέπει να έχουν περιεκτικότητα σε θείο ακόμη μικρότερη της τάξεως του 0,1% (1000 ppm).

Ο IMO έχει διασφαλίσει την συνεπή εφαρμογή του ορίου του 0,5% περιεκτικότητα σε θείο, διαφορετικά υπάρχουν τεράστιες ποινές. Την 1<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2021, έλαβε μέρος το COP 22 του Barcelona Convention, και 22 κράτη μέλη ψήφισαν ομόφωνα να συμπεριληφθεί η Μεσόγειος Θάλασσα στις προστατευμένες ζώνες (SECA) υπό το παράρτημα VI της MARPOL, ώστε να υιοθετηθεί στην Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC 78) τον Ιούνιο του 2022 και στην υποεπιτροπή για την Πρόληψη και Αντιμετώπιση της Ρύπανσης (PPR). Εν συνεχεία αποφασίστηκε στην Μεσόγειο Θάλασσα να χρησιμοποιούνται καύσιμα σε περιεκτικότητα σε θείο 0,1% από 0,5% που ισχύει σήμερα από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου το 2025. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών ρυθμιστικών και πρακτικών μέτρων όπως FONAR's, Απαγόρευση Μεταφοράς, Σχέδιο Εφαρμογής Πλοίων κ.λπ. ώστε να επιτρέπουν τον εντοπισμό μη συμμόρφωσης από τους ελέγχους από το κράτος Port State Controls (PSC).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

### 2.1 Ιστορικό υπόβαθρο

#### 2.1.1 Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή / United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Στις δεκαετίες του 1960 και του 1970 μετρήσεις έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα αυξάνονταν και οι επιστήμονες επισήμαναν τη διεθνή προσοχή για τους κινδύνους που έθετε η υπερθέρμανση του πλανήτη και που τελικώς χρειάστηκαν χρόνια μέχρι να απαντήσει η διεθνής κοινότητα με δράσεις.

Έτσι το 1988, δημιουργήθηκε μια Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή η επονομαζόμενη Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), το οποίο εξέδωσε μια πρώτη έκθεση αξιολόγησης το 1990, η οποία αντικατόπτριζε τις απόψεις 400 επιστημόνων. Η έκθεση ανέφερε ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη ήταν πραγματική και προέτρεπε να ληφθούν μέτρα για αυτό.

Τα ευρήματα της επιτροπής ώθησαν τις κυβερνήσεις να δημιουργήσουν τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή / United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), η οποία ήταν έτοιμη για υπογραφή στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη το 1992, ευρύτερα γνωστή ως "Earth Summit" που διεξήχθη στο Ρίο ντε Τζανέιρο.

#### 2.1.2. Φαινόμενο του θερμοκηπίου

«Το φαινόμενο του θερμοκηπίου» ανακαλύφθηκε τον 19ο αιώνα. Κάποιοι ερευνητές ανακάλυψαν ότι τα αέρια που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μπορούν να προκαλέσουν κάτι ανάλογο με αυτό που συμβαίνει στα θερμοκήπια, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία της γης.

Θα χαρακτηρίζαμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου ως εξής, «η ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια της Γης απορροφάται από ορισμένα αέρια στην ατμόσφαιρα τα οποία την επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις». Αυτό συμβαίνει με τον εξής τρόπο. Ο ήλιος

μέσω της ακτινοβολίας δίνει ενέργεια στη Γη. Καθώς απορροφάται αυτή η ενέργεια, η γη φτάνει στους 15 βαθμούς Κελσίου στην επιφάνεια τη και με σειρά της ακτινοβολεί σαν μέλαν σώμα αυτής της θερμοκρασίας. Η μακροκυματική υπέρυθη ακτινοβολία βρίσκεται μεταξύ 4 και 100  $\mu\text{m}$ . Σε αυτά τα μήκη κύματος τα θερμοκηπικά αέρια, που είναι διαφανή στη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, είναι πιο απορροφητικά. Κάθε στρώμα της ατμόσφαιρας

απορροφά μέρος της θερμότητας που ακτινοβολήθηκε από τα κατώτερα στρώματα όταν περιέχει αέρια του θερμοκηπίου. Στη προσπάθεια διατήρησης της ισορροπίας εκπέμπει από την αρχή θερμότητα προς πάσα κατεύθυνση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να θερμαίνονται περισσότερο τα κατώτερα στρώματα. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φαινόμενο ουσιώδες και απαραίτητο για την εξέλιξη και διατήρηση ζωής στον πλανήτη. Εάν δεν υπήρχε αυτή η αυτόματη ακτινοβολία θερμότητας, τότε η γη θα βρισκόταν σε αρνητική θερμοκρασία. Δηλαδή  $-20^{\circ}\text{C}$  αντί για  $15^{\circ}\text{C}$ . Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του φαινομένου. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξάνουν την ικανότητα της ατμόσφαιρας να παγιδεύει την εξερχόμενη ακτινοβολία της γης επιδρώντας έτσι στο κλίμα της. Έτσι όταν αναφερόμαστε στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σαν πρόβλημα είναι πιο σωστό να μιλάμε για το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ένα εκ των πιο σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων σήμερα είναι οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα κύρια φυσικά αέρια που προκαλούν το φαινόμενο αυτό είναι το διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$ , το υποξείδιο του αζώτου  $\text{N}_2\text{O}$ , οι υδρατμοί  $\text{H}_2\text{O}$ , το μεθάνιο  $\text{CH}_4$ , καθώς και το αεροσόλ προκαλούμενο από εκρήξεις ηφαιστειών. Αέρια προερχόμενα από ανθρωπογενείς παρεμβολές στο περιβάλλον συμβάλουν καθοριστικά στην διαρκώς αυξανόμενη μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας. Αυτά τα αέρια ονομάζονται χλωριοφθοριοάνθρακες όπου αρχικώς δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα πριν την δεκαετία του 1930. Η αναμενόμενη αύξηση στην συγκέντρωση τους ξεκίνησε στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Οι συγκεντρώσεις των βασικών αερίων του θερμοκηπίου από την προ-βιομηχανική εποχή που ήταν η περίοδος 1750-1800 έως σήμερα έχουν αυξηθεί σημαντικά.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα ποσοστά των ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου με τις μειώσεις που είναι απαραίτητες να γίνουν έως το 2050 ώστε να σταθεροποιηθούν οι συγκεντρώσεις στα επίπεδα του έτους 1999.

| Αέριο θερμοκηπίου                     | Μείωση (%) |
|---------------------------------------|------------|
| CO <sub>2</sub> Διοξείδιο του άνθρακα | >60        |
| CH <sub>4</sub> Μεθάνιο               | 15-20      |
| N <sub>2</sub> O Διοξείδιο του αζώτου | 70-80      |
| CFC-11 Τριχλωροφθορομεθάνιο           | 70-75      |
| CFC-12 Φθοροχλωράνθρακες              | 75-85      |
| HCFC-22 Υδροθοροχλωράνθρακες          | 40-50      |

Πίνακας 1: Αέρια του θερμοκηπίου που πρέπει να μειωθούν

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, λόγω των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων που προκαλούν. Το 90% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας βασίζεται κυρίως από τις καύσεις πετρελαίου, άνθρακα και φυσικού αερίου. Η καύση αυτών των καυσίμων συνεισφέρει περίπου κατά 50% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σαν κύρια λύση επιβάλλεται η απανθρακοποίηση για να αποφευχθούν ασυνήθιστες κλιματικές αλλαγές. Μελέτη αναφέρει ότι αν διπλασιαστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως σαν αποτέλεσμα θα έχει η μεταβολή της παγκόσμιας μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας να αυξηθεί κατά 1,5-4,5°C. Όπου κατά την περίοδο των τελευταίων εκατό ετών η παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα αυξήθηκε κατά 0,3-0,6 °C.

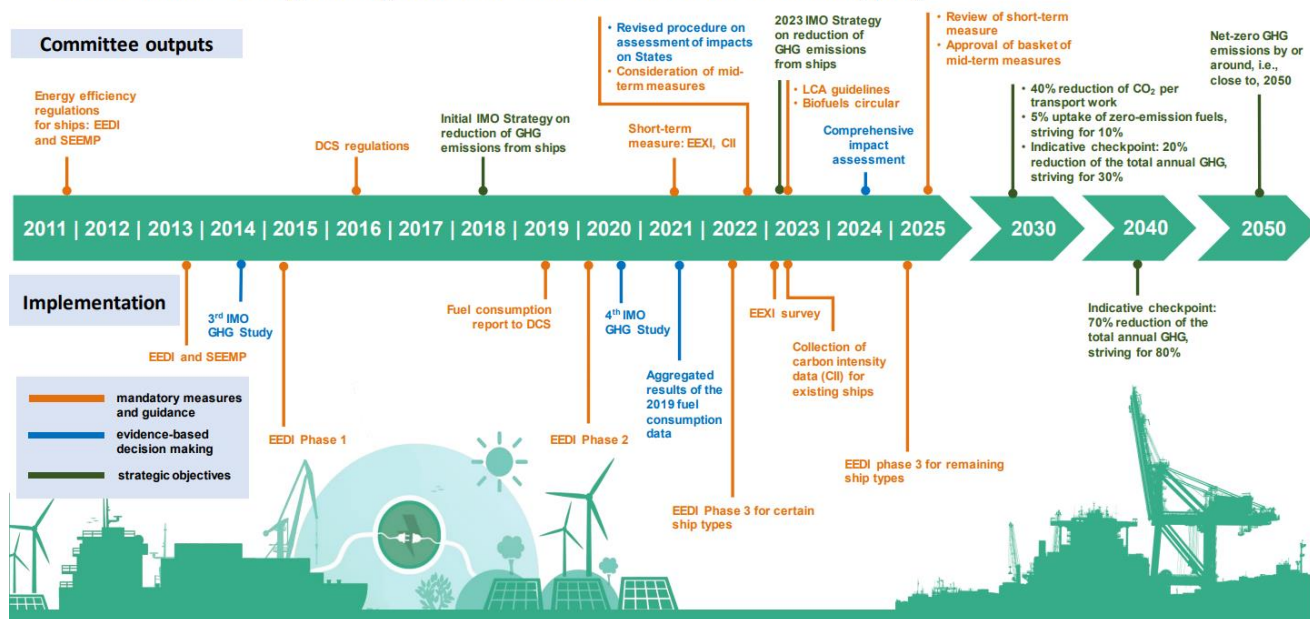
| Type of fuel                     | C <sub>F</sub><br>(t-CO <sub>2</sub> /t-fuel) | Carbon<br>content |
|----------------------------------|---|-------------------|
| 1. Diesel/Gas Oil                | 3.2060  | 87.5 %            |
| 2. Heavy Fuel Oil                | 3.1144  | 86 %              |
| 3. Liquefied Petroleum Gas (LPG) | 3.0000  | 82 %              |
| 4. Liquefied Natural Gas (LNG)   | 2.7500  | 75 %              |

Πίνακας 2: Αναλογία καυσίμου μαζούτ σε διοξείδιο του άνθρακα [17]

Γενικά για κάθε τόνο κατανάλωσης μαζούτ από μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) παράγονται τρεις τόνοι διοξειδίου του άνθρακα και για κάθε τόνο LNG παράγονται 2.7 τόνοι CO<sub>2</sub>. Παρατηρείται ότι είναι ευμενέστερο το LNG ως αέριο του θερμοκηπίου από το μαζούτ [17].

# Addressing climate change

Over a decade of regulatory action to cut GHG emissions from shipping



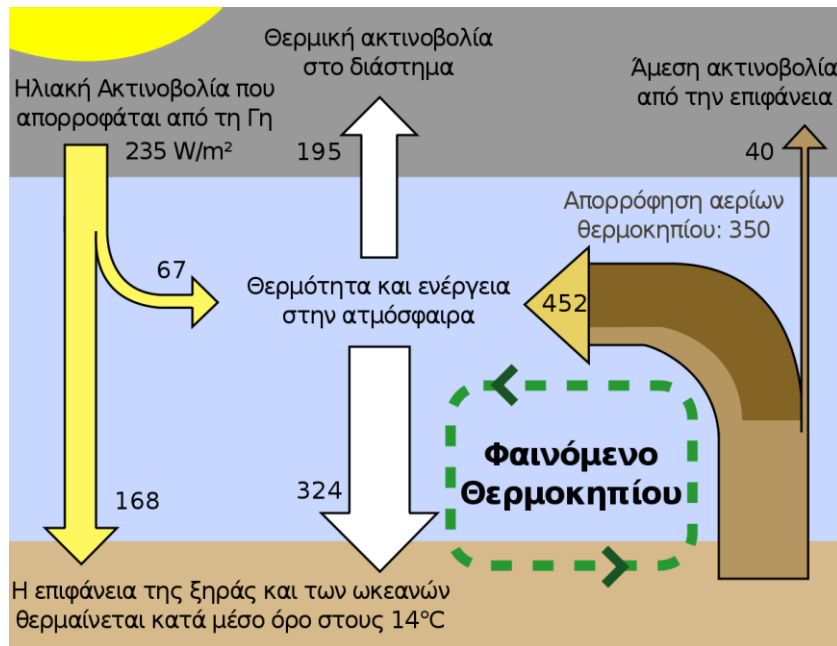
Εικόνα 3: IMO's work to cut GHG emissions from ships,[42]

Έρευνες παρατήρησαν ότι περισσότερο πιθανόν είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη να επηρεάσει περισσότερο τα μεσαία πλάτη και τις πολικές περιοχές παρά τον ισημερινό και τις τροπικές περιοχές. Η διαστολή των ανωτέρω στρωμάτων των ωκεανών αυξάνουν την στάθμη της θάλασσας καθώς επίσης και η τήξη των πάγων. Μικρή αύξηση στην εξάτμιση και συμπύκνωση σε όλη την γήινη σφαίρα ίσως εντείνει τα καιρικά φαινόμενα όπως η συχνότητα των τυφώνων.

Η αύξηση του φαινομένου αυτού οφείλεται κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων.

Τον Ιούνιο του 1988 στο συνέδριο παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας World Conference on the Changing Atmosphere, Implications for Global Security στο Τορόντο προτάθηκε παγκόσμια, σύμφωνα με τα επίπεδα που θα καταγράφονταν το 1990, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20% έως το 2005 και 50% έως το 2050.

Το φυσικό φαινόμενο αυτό παίζει βασικό ρόλο στη θερμοκρασιακή εξέλιξη της γης.



Εικόνα 4: Φαινόμενο του θερμοκηπίου [17]

### 2.1.3. Πρωτόκολλο του Κιότο

Εν συνεχεία το «Πρωτόκολλο του Κιότο» που εγκρίθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997 ήταν μια ακόμη διεθνής συμφωνία που το συνέδεε με την Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC), της οποίας το περιεχόμενο ήταν η δέσμευση τριάντα επτά βιομηχανικών χωρών και της Ευρωπαϊκής Κοινότητας σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG). Οι κανόνες της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου εγκρίθηκαν το 2001 στο COP 7 στο Μαρρακές όπου ονομάστηκε «Συμφωνίες του Μαρρακές-Marrakesh Accords».

Εν τέλει στις 16 Φεβρουαρίου 2005 το «Πρωτόκολλο του Κιότο» τέθηκε σε ισχύ, το οποίο περιείχε αποφάσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή αεροπορία και τη ναυτιλία καθώς αντιμετώπισε αυτούς τους κλάδους με διαφορετικό τρόπο από των υπόλοιπων λόγω των παγκόσμιων δραστηριοτήτων τους. Ο έλεγχος γινόταν μέσω του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) και του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) αντίστοιχα όπου και ανέφεραν τακτικά την πρόοδο των εργασιών τους στην UNFCCC.

Το παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο έθετε δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών για 37 βιομηχανικές χώρες και οικονομίες και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Με αυτήν τη δέσμευση αποσκοπούσαν στη μείωση των εκπομπών για τα έτη 2008 έως 2012 κατά 5% συγκριτικά με το που βρίσκονταν τα αντίστοιχα επίπεδα το 1990. Στις 8 Δεκεμβρίου 2012,



ψηφίστηκε η «Τροποποίηση της Ντόχα» στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Η ανανεωμένη αυτή δέσμευση ξεκίνησε από το 2013 έως και το 2020. Η τροποποίηση της Ντόχα παρόλα αυτά τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 2020, διότι στις 28 Οκτωβρίου 2020, τα απαιτούμενα 147 κράτη μέλη (με όριο τα 144) την αποδέχτηκαν πλήρως. Σε αυτήν τη δεύτερη περίοδο δέσμευσης ο στόχος της μείωσης των εκπομπών ήταν κατά 18% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990.



Εικόνα 5: www.EmiCert.com Verification of Greenhouse Gases, Policy Framework [47]

Όλοι αυτοί οι κανονισμοί προωθούν τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου ώστε στον αναπτυσσόμενο κόσμο να είναι οικονομικά πιο εφικτό και αποδοτικό, καθώς δεν παίζει ρόλο από που ελλατώνονται οι εκπομπές. Το θέμα είναι να απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα. Ο ιδιωτικός τομέας συντελεί σημαντικά σε αυτήν την προσπάθεια μέσω των “πράσινων” επενδύσεων. Η όχι και τόσο καθαρή τεχνολογία τείνει να εξαλειφθεί. Οδηγείται σε καθαρότερες υποδομές με οφέλη τα οποία θα φανούν σε βάθος χρόνου. [29]

#### 2.1.4. Συμφωνία του Παρισιού / Paris Agreement

Η κλιματική αλλαγή είναι μια παγκόσμια έκτακτη ανάγκη που υπερβαίνει τα εθνικά σύνορα. Είναι ένα θέμα που απαιτεί διεθνή συνεργασία με μαζικές και πολυποικιλιακές λύσεις. Ορόσημο σε αυτήν την διεθνή προσπάθεια κλιματικής αλλαγής είναι η Συμφωνία του Παρισιού. Στις 12 Δεκεμβρίου 2015 στη Διάσκεψη του ΟΗΕ στο Παρίσι για την Κλιματική Αλλαγή (COP21), ψηφίστηκε ομόφωνα από 196 κράτη μέλη και τέθηκε σε ισχύ στις 4

Νοεμβρίου 2016, με κύριο στόχο η διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας της γης σε χαμηλά επίπεδα. Η Διακυβερνητική Επιτροπή του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή δίνει έμφαση στις περιβαλλοντολογικές αλλαγές που θα λάβουν μέρος σε περίπτωση υπερθέρμανσης του πλανήτη, όπως οι καύσωνες συνοδευόμενοι από έντονες ξηρασίες και έντονες βροχοπτώσεις.

Η Συμφωνία θέτει μακροπρόθεσμους στόχους ώστε να καθοδηγήσει όλα τα κράτη να α) μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για να μην αυξηθεί περισσότερο από 2 βαθμούς Κελσίου η θερμοκρασία μέχρι το 2100, β) να συνεδριάζουν κάθε πέντε έτη ώστε να ανανεώνουν τις σχετικές δεσμεύσεις και γ) την οικονομική βοήθεια ως προς τις αναπτυσσόμενες χώρες σχετικά με την βελτίωση του κλίματος. Με αυτόν τον τρόπο θα δημιουργηθεί το πλαίσιο για τη παρακολούθηση και αναφορά των κλιματικών στόχων των χωρών.

Η Συμφωνία του Παρισιού παρέχει το πλαίσιο που θα καθοδηγεί την παγκόσμια προσπάθεια για τις επόμενες δεκαετίες ως προς τη μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας. Σηματοδοτεί την αρχή προς έναν κόσμο καθαρών μηδενικών εκπομπών βασιζόμενη σε πενταετές κύκλους δράσης. Για αυτό και από το 2020, όλα τα κράτη μέλη και για κάθε πέντε χρόνια θα υποβάλλουν τα αναθεωρημένα εθνικά πλάνα τους σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, γνωστά ως Nationally Determined Contribution ή NDC.

Φέτος θα γίνει η πρώτη απογραφή ώστε να αξιολογήσουν εάν οι στόχοι της Συμφωνίας του Παρισιού είναι επιτεύξιμοι. Οι προβλέψεις είναι θετικές στο να καταφέρουν να διατηρήσουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου. Συνεπώς η Συμφωνία του Παρισιού καλεί τα κράτη να διαμορφώσουν και να υποβάλουν μακροπρόθεσμες στρατηγικές όπου σε αντίθεση με τα NDC, δεν είναι υποχρεωτικές.

Στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (COP24) τον Δεκέμβριο του 2019 στην Πολωνία, συμφωνήθηκαν όλες οι λεπτομέρειες για την εφαρμογή της Συμφωνίας του Παρισιού. Η οριστικοποίηση εδραιώθηκε στην Σκωτία στο COP26 τον Νοέμβριο του 2021.[44] Καθιερώθηκε επίσης ένα πλαίσιο διαφάνειας το ETF. Αυτό σημαίνει ότι από το 2024 τα κράτη μέλη θα εναποθέτουν δημόσια τις ενέργειες που έλαβαν μέρος αλλά και την πρόοδο που έχει γίνει για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής καθώς και τα μέτρα προσαρμογής και την υποστήριξη που παρέχεται ή λαμβάνεται.

Οι πληροφορίες που θα συλλέγονται μέσω του ETF παγκοσμίως θα αξιολογεί τη συλλογική πρόοδο των μακροπρόθεσμων στόχων για το κλίμα. Αυτό θα βοηθήσει την ενθάρρυνση επιπλέον μέτρων που μπορεί να πρέπει να λάβουν κάποιες χώρες. [28,44]

### 2.1.5. Marine Environment Protection Committee (MEPC)

Η επιτροπή Marine Environment Protection Committee (MEPC 69), τον Απρίλιο του 2016, αντικατέστησε τη Συμφωνία του Παρισιού / Paris Agreement που είχε προηγηθεί το 2015. Αναγνώρισε τη πρόοδο της διεθνούς κοινότητας μετά τη σύναψη της Συμφωνίας του Παρισιού και αναγνώρισε τις προσπάθειες που είχαν υλοποιηθεί από τον IMO για την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων. Αναγνώρισε το ρόλο του IMO στην μείωση των εκπομπών GHG που παράγεται από τη διεθνή ναυτιλία καθώς και ότι στόχευε σε περαιτέρω μελλοντικές βελτιώσεις.

Όπως ζητήθηκε από το σώμα της επιτροπής με την απόφαση A.963(23), η γραμματεία του IMO έκτοτε υποβάλλει συνεχώς εκθέσεις στην UNFCCC SBSTA στα πλαίσια της ατζέντας "Εκπομπές από καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές" καθώς επίσης να συμμετέχει σε παρόμοιες δραστηριότητες των Ηνωμένων Εθνών.



Εικόνα 6: Environmental Performance: IMO Agreement on Technical Regulations to Reduce Ships' CO<sub>2</sub> | International Chamber of Shipping (ics-shipping.org) [48]

### 2.1.6. Αρχική στρατηγική IMO - GHG 2018

Στη 1 Μαρτίου 2018, τέθηκε σε ισχύ από τον IMO, ένας επιπλέον τρόπος καταγραφής των εκπομπών CO<sub>2</sub> των πλοίων. Αυτό είναι το Σύστημα Συλλογής Δεδομένων και αφορά πλοία άνω των 5000 GT.

Όπως έχει προαναφερθεί, από το 2018 ο στόχος είναι διπλός για την ναυτιλία. Ο πρώτος είναι να μειωθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μεταφορικό έργο 40% έως το 2030 και κατά 70% έως το 2050. Η σύγκριση θα γίνεται πάντα με τα επίπεδα του 2008 και αφορά και τον δεύτερο στόχο όπου είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις θαλάσσιες μεταφορές στο 50% το 2050. Όλη αυτή η προσπάθεια περιλαμβάνει διάφορα μέτρα είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Μέτρα για την απανθρακοποίηση των καυσαερίων των πλοίων

### 3.1. Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (MEPC 76)

Η 76η σύνοδος της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του IMO (MEPC 76) διεξήχθη εξ αποστάσεως από τις 10 έως τις 17 Ιουνίου 2021. Τότε ψηφίστηκαν ανανεωμένα μέτρα για τη μείωση της έντασης του άνθρακα, με ισχύ από το 2023. Τα μέτρα περιλαμβάνουν τον Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενου Πλοίου (EEXI), το βελτιωμένο Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP) και το σύστημα αξιολόγησης του Δείκτη Έντασης Άνθρακα (CII). [39]

Η επιτροπή MEPC 76 ενέκρινε τροποποιήσεις στα ακόλουθα:

MARPOL Παράρτημα VI – τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα για τη μείωση της έντασης του άνθρακα στη διεθνή ναυτιλία

Εγκρίθηκαν τροποποιήσεις της MARPOL στο Παράρτημα VI, οι οποίες υποχρεωτικώς εισάγουν επιχειρησιακά και τεχνικά μέτρα με βάση των στόχων για τη μείωση των εκπομπών της έντασης του άνθρακα στη διεθνή ναυτιλία. Τα μέτρα περιλαμβάνουν:

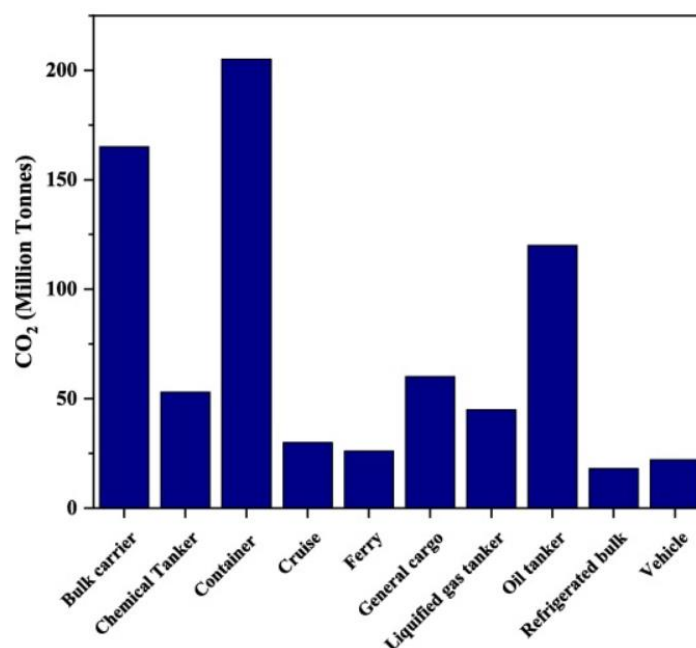
Το λειτουργικό σύστημα διαβάθμισης του δείκτη έντασης άνθρακα (CII), που τίθεται σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2023

Τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων (EEXI) όπου άρχισε να ισχύει από την 1η Ιανουαρίου 2023.

Το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP), σύμφωνα με το οποίο σε κάθε πλοίο πρέπει να διατηρείται ένα εγκεκριμένο SEEMP από την 1η Ιανουαρίου 2023.

Επιπλέον, οι τροποποιήσεις αυτές δεν ισχύουν για τα μη επανδρωμένα και μη αυτοκινούμενες φορηγίδες (UNSP).

Οι τροποποιήσεις θα τεθούν σε ισχύ την 1η Νοεμβρίου 2022 και εγκρίθηκαν ως νέο ενοποιημένο παράρτημα VI της MARPOL, συμπεριλαμβανομένης της αναδιάρθρωσης των υφιστάμενων κανονισμών.



Εικόνα 7: Εκπομπές CO<sub>2</sub> διαφόρων τύπων πλοίων [2]

### **3.2. Δείκτης σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων (EEXI)**

Τον Νοέμβριο του 2020, ο IMO τροποποίησε το Παράρτημα VI της MARPOL για να εισαγάγει ένα νέο τρόπο απόδοσης στα πλοία, τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEXI). Η έγκριση έλαβε μέρος τον Ιούνιο του 2021 και η εφαρμογή του είναι σε ισχύ από φέτος, το 2023.

Η MEPC 76 υιοθέτησε τις ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τον EEXI. Αφορά τη μέθοδο υπολογισμού του επιτευχθέντος Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Υφιστάμενων Πλοίων (EEXI), οδηγίες για την έρευνα και την πιστοποίηση του καθώς και οδηγίες για το σύστημα περιορισμού ισχύος άξονα / κινητήρα για συμμόρφωση με τις απαιτήσεις EEXI και χρήση αποθεματικής ισχύος. Ο δείκτης αυτός βγαίνει μια και μόνο φορά και ακολουθεί το κάθε πλοίο ξεχωριστά από τα άλλα.

### **3.3. Δείκτης έντασης άνθρακα (CII)**

Η MEPC 76 υιοθέτησε τις ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές για τον δείκτη CII που είναι οδηγίες σχετικά με τους λειτουργικούς δείκτες έντασης άνθρακα και τις μεθόδους υπολογισμού του. Οι οδηγίες για τη χρήση με λειτουργικούς δείκτες έντασης άνθρακα, οδηγίες για τους συντελεστές μείωσης της έντασης άνθρακα σε σχέση με τις τιμές αναφοράς.

Η MEPC 76 πρόσθεσε μια διάταξη στη MARPOL που επιτρέπει στις εκάστοτε αρχές σημαίας του πλοίου να έχει πρόσβαση στα δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό του ετήσιου CII ακόμη και σε περίπτωση αλλαγής εταιρείας πλοίου ή σημαίας κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους.

### **3.4. Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP)**

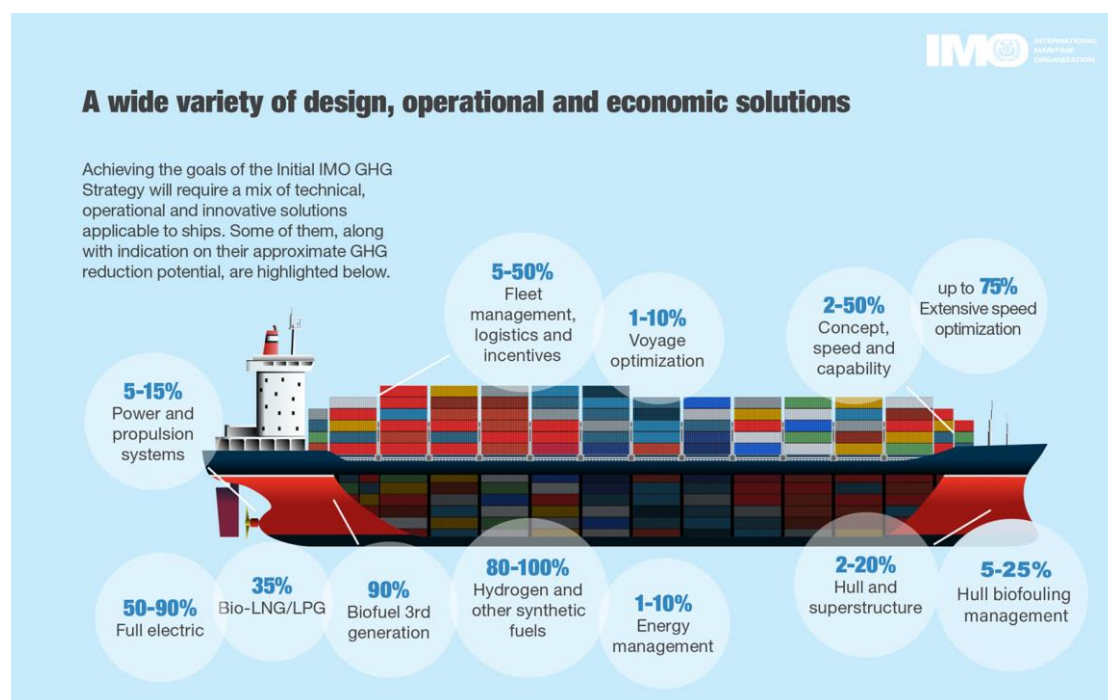
Κατά την συνεδρίαση της MEPC 76 συμφωνήθηκε να καταστήσει το κανονιστικό κείμενο σαφές με το ότι η απαίτηση επαλήθευσης και ελέγχου για το SEEMP θα ισχύει μόνο για πλοία χωρητικότητας άνω των 5.000 GT και που υπόκεινται στις απαιτήσεις CII.

Το MEPC 76 αναγνώρισε την επείγουσα ανάγκη να προχωρήσει η θέσπιση μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων μέτρων και συμφώνησε σε ένα σχέδιο εργασίας για τον σκοπό αυτό.

Η 80<sup>η</sup> σύνοδος της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC 80) είναι η τελευταία σύνοδος του IMO σχετικά με τα GHG. Η βελτιωμένη στρατηγική έχει στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία. Αυτό αποτελείται από το στόχο του 20% έως το 2030 και του 70% έως το 2040, συγκριτικά πάντα με το 2008. Το 2027 αναμένονται νέοι στόχοι προς συζήτηση ώστε να εξαιρεθούν οι εκπομπές στο μηδέν έως το 2050.

### 3.5. Ανασκόπηση του δείκτη ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων (EEXI) και του δείκτη έντασης άνθρακα (CII)

Το MEPC 80 συμφώνησε σε ένα σχέδιο αναθεώρησης των βραχυπρόθεσμων μέτρων μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, του CII και του EEXI. Το σχέδιο προβλέπει μια φάση συλλογής δεδομένων έως το MEPC 82 το φθινόπωρο του 2024, πριν από την ανάλυση των δεδομένων και την οριστικοποίηση τυχόν τροποποιήσεων στα μέτρα από το MEPC 83 το καλοκαίρι του 2025. Αυτό περιλαμβάνει τις απαιτήσεις μείωσης CII από το 2026 έως το 2030 ευθυγραμμισμένες με τον στόχο έντασης άνθρακα στην αναθεωρημένη στρατηγική του IMO GHG. Δεν θα υπάρξουν άμεσες αλλαγές στο πλαίσιο CII, συμπεριλαμβανομένων των συντελεστών διόρθωσης και των προσαρμογών ταξιδιού, πριν ολοκληρωθεί η αναθεώρηση έως το τέλος του 2025.[40]



Εικόνα 8: Παράμετροι μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου σε ένα πλοίο [14]

### **3.6. Πότε ο IMO ξεκίνησε τις δράσεις για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου GHG**

Τον Σεπτέμβριο του 1997, η Διεθνής Διάσκεψη για την Σύμβαση υπό την MARPOL, η οποία ενέκρινε το Πρωτόκολλο του 1997 για την τροποποίηση του παραρτήματος MARPOL VI ενέκρινε επίσης το ψήφισμα 8 όπου κάλεσε την Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) να εξετάσει τι στρατηγικές που δύναται να είναι εφικτές για την μείωση του CO<sub>2</sub>. Επίσης ο IMO σε συνεργασία με την UNFCCC πραγματοποίησε μελέτη για τις ποσότητες εκπομπών CO<sub>2</sub> που παράγονταν από τη ναυτιλία παγκοσμίως.

Τον Δεκέμβριο του 2003, η Συνέλευση του IMO ενέκρινε το ψήφισμα A.963(23) σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την ναυτιλία όπου προέτρεψε την επιτροπή περιβάλλοντος MEPC να εντοπίσει και να αναπτύξει τους κατάλληλους μηχανισμούς ώστε να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου. Από τότε η επιτροπή MEPC έως και σήμερα ψάχνει, επιδιώκει και θέτει μέτρα για τον περιορισμό και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου GHG παραγόμενα από τη διεθνή ναυτιλία.

### **3.7. Ενεργειακή απόδοση της διεθνούς ναυτιλίας**

Τον Ιούλιο του 2011, ο IMO ενέκρινε υποχρεωτικά μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων μέσω του ψηφίσματος MEPC.203(62), από τότε που εγκρίθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο, αντιπροσωπεύοντας παγκοσμίως το πρώτο υποχρεωτικό πρότυπο ενεργειακής απόδοσης για ένα διεθνή βιομηχανικό κλάδο όπου ασχολείται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Οι τροπολογίες που εγκρίθηκαν με το ψήφισμα MEPC.203(62) υπάγονται στο παράρτημα VI της MARPOL στο κεφάλαιο τέσσερα και ονομάστηκε "Κανονισμοί για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων". Αυτό το πακέτο των τεχνικών και λειτουργικών απαιτήσεων ισχύει για πλοία χωρητικότητας άνω των 400 GT και ονομάστηκε Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης - Energy Efficiency Design Index (EEDI), εφαρμόσιμο σε νέα πλοία. Ο δείκτης αυτός ορίζει ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης π.χ. εκπομπές CO<sub>2</sub> / τόνο-μίλι πορείας, για διαφορετικούς τύπους και μέγεθος πλοίων. Επίσης ο κανονισμός ονόματι



Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου - Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία. Αυτοί οι υποχρεωτικοί κανονισμοί τέθηκαν σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2013.

Ο δείκτης EEDI σχεδιάστηκε για να εφαρμοστεί στα μεγαλύτερα πλοία που παράγουν το 86% των εκπομπών από όλη τη διεθνή ναυτιλία. Έτσι θέτει ότι τα πλοία που κατασκευάζονται μετά το 2022 επιβάλλεται να είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτικά κατά 30% από αυτά που κατασκευάζονταν παλαιότερα.

Μελέτη που πραγματοποιήθηκε μετά την υιοθέτηση των υποχρεωτικών μέτρων ενεργειακής απόδοσης, δείχνει ότι ο SEEMP θα έχει σημαντική επίδραση βραχυπρόθεσμα, ενώ τα μέτρα EEDI θα έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο μακροπρόθεσμα, καθώς συνεχώς νεότερα πλοία κατασκευάζονται και δημιουργούνται νεότερες τεχνολογίες. Μελέτες αναφέρουν ότι η επιτυχής εφαρμογή των μέτρων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των πλοίων μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> έως και 1,3 γιγατόνους ετησίως έως το 2050 που είναι ο στόχος του IMO.

Στην επιτροπή περιβάλλοντος MEPC 70 που διεξήχθη τον Οκτώβριο του 2016 συμφωνήθηκε η ανάγκη αναθεώρησης των απαιτήσεων EEDI Φάση 3 που θα αρχίσει να ισχύει από την 1 Ιανουαρίου 2025 και μετά. Οι απαιτήσεις θέτουν ότι τα νέα πλοία που θα ναυπηγούνται θα είναι 30% πιο ενεργειακά αποδοτικά σε σύγκριση με την αρχική εκτίμηση. Εν συνεχεία όμως η επιτροπή MEPC 74 (Μάιος 2019) ενέκρινε την επίσπευση της απόφασης να ξεκινήσει το 2022 αντί το 2025 για όλους τους τύπους πλοίων όπως πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου – LNG, πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, και πλοίων γενικού φορτίου.

### **3.8. Σύστημα συλλογής δεδομένων κατανάλωσης μαζούτ**

Στην συνεδρίαση της επιτροπής MEPC 70 τον Οκτώβριο του 2016 ο IMO ενέκρινε την ανάπτυξη μιας στρατηγικής για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία, η οποία αποτελείτο από τρία βήματα:

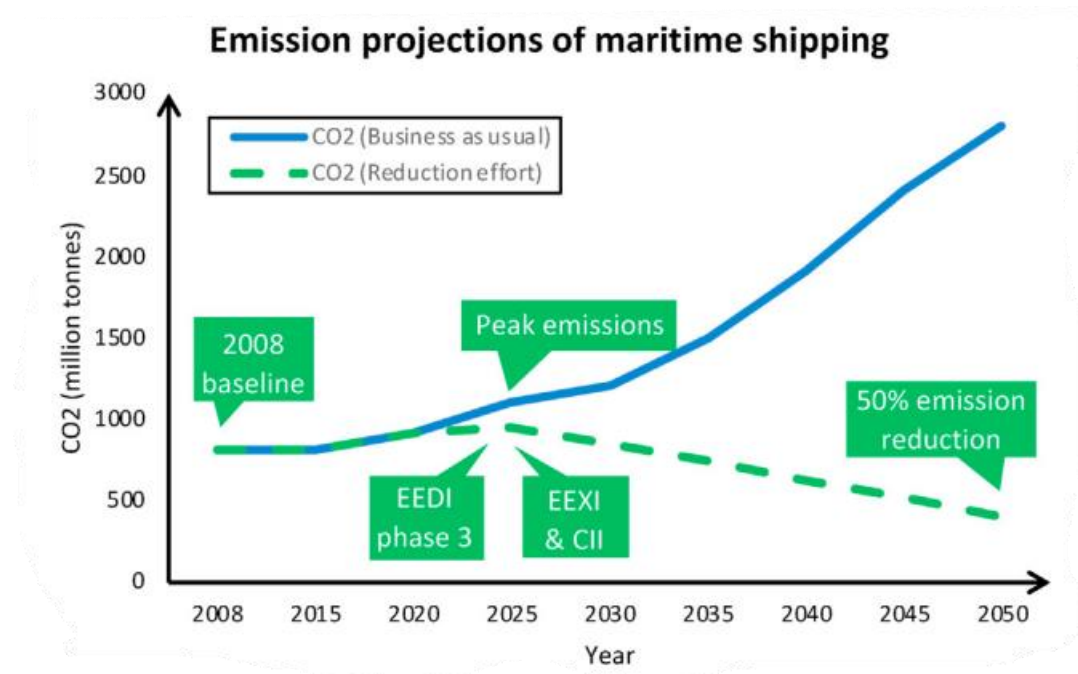
- 1) Τη συλλογή δεδομένων από την κατανάλωση καυσίμου των πλοίων,
- 2) Επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων και
- 3) Λήψη αποφάσεων για τυχόν περαιτέρω εάν απαιτούνται για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

Έτσι από την 1η Ιανουαρίου 2019, πλοία χωρητικότητας 5.000 GT και άνω όπου αντιπροσωπεύουν περίπου το 85% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> προερχόμενα από την διεθνή ναυτιλία συλλέγονται ετήσια δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση τους και στο τέλος κάθε έτους τα δεδομένα αποστέλλονται στο κράτος της σημαίας που υπάγεται το πλοίο και εκδίδει τη Δήλωση Συμμόρφωσης για το εκάστοτε πλοίο.

Στη συνέχεια κάθε Αρχή υποχρεούται να καταθέτει αυτά τα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων περί κατανάλωσης καυσίμων πλοίων του IMO. Η γραμματεία υποχρεούται να συντάσσει ετήσια έκθεση προς την επιτροπή MEPC, συνοψίζοντας τα δεδομένα που συλλέγονται.

### 3.9. Αρχική στρατηγική του IMO για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία

Η επιτροπή MEPC 72 (Απρίλιος 2018) ενέκρινε το ψήφισμα MEPC.304(72) όπου αυτή η σημαντική συμφωνία προβλέπει για πρώτη φορά στρατηγικές για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία, η οποία αναφέρει ότι πρέπει να μειωθούν οι συνολικές ετήσιες εκπομπές GHG κατά τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008. [34]



Εικόνα 9: Προοπτικές μείωσης των εκπομπών από την ναυτιλία και τα κύρια βήματα [14]

### **3.10. Εφαρμογή του δείκτη ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων EEXI. Ένα σημαντικό αλλά δαπανηρό βήμα προς την προστασία των ωκεανών**

Οι θαλάσσιες μεταφορές μεταφέρουν περίπου το 80 % του όγκου των παγκόσμιων αγαθών. Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τις θαλάσσιες μεταφορές έχουν γίνει μία από τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή. Τα προηγούμενα μέτρα για τη ναυτιλία για την αντιμετώπιση της ρύπανσης επικεντρώθηκαν στα SO<sub>x</sub> και NO<sub>x</sub> και σχεδόν καθόλου έρευνα για τα επίπεδα εκπομπών που έχει το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>. Οι θάλασσες μας και οι ωκεανοί είναι σημαντικοί για την αειφόρο ανάπτυξη και αυτό είναι αναμφισβήτητο μιας και η ναυτιλία παράγει περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub>. Έτσι για να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) η ναυτιλία, έχει ξεκινήσει μια παγκόσμια συζήτηση να εξετάζει το CO<sub>2</sub> ως GHG που σχετίζεται με τη ναυτιλία και την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλούν τα καράβια στις θαλάσσιες μεταφορές τους. Ως εκ τούτου, τα μέτρα που έχουν ληφθεί για τη μείωση του CO<sub>2</sub> είναι με την εισαγωγή του Σχεδίου Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP) για τα υπάρχον πλοία σήμερα και του Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) για τα νέα πλοία που κατασκευάζονται και λειτουργήσουν μελλοντικά.

Το SEEMP είναι ένα σύστημα διαχείρισης σε επιχειρησιακό επίπεδο και αποσκοπεί στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου παρακολουθώντας συνεχώς μετρήσεις τιμών (monitoring) των εκπομπών CO<sub>2</sub> υπό πραγματικές συνθήκες.

### **3.11. Τι είναι ο δείκτης EEDI**

Ο IMO ενέκρινε τροποποιήσεις της MARPOL Παράρτημα VI το 2011 ώστε να επιβληθούν τεχνικά και λειτουργικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης για την απανθρακοποίηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη διεθνή ναυτιλία. Έτσι όρισε τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) και το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίων (SEEMP) που εγκρίθηκαν στην 62η συνεδρίαση της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC 62) που πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2011, ο οποίος απαιτεί από όλα τα νέα πλοία από το 2013 να είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά.

Ο κανονισμός EEDI ισχύει μόνο για τα νέο ναυπηγημένα πλοία μετά την 1η Ιανουαρίου 2013 και ισχύει για πλοία άνω των 400 τόνων ολικής χωρητικότητας που εκτελούν διεθνή ταξίδια. Εξαιρούνται τα γεωτρύπανα, οι πλατφόρμες και τα πλευστά που δεν προωθούνται με μηχανικά μέσα, όπως φορτηγίδες). [27]

$$EEDI = \frac{(\prod_{j=1}^n f_j)(\sum_{i=1}^{ME} P_{ME(i)} \times C_{FME(i)} \times SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \times C_{FAE} \times SFC_{AE}) + PTI + EFF}{f_i \times f_c \times ShipCapacity \times f_w \times V_{ref}}$$

$$f_{CO_2} = 1 - \frac{m_{CO_2,captured}}{m_{CO_2,exhaust}}$$

$$P_{AE} = (0.025 + P_{ME}) + 250$$

Τύπος υπολογισμού EEDI [9]

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έχει θέσει αρχικώς τον δείκτη EEDI με πρωταρχικό στόχο τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> για να πετύχει την απανθρακοποίηση των καυσαερίων των πλοίων. Αυτός ο δείκτης μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ένα είδος μέτρησης της αποδοτικότητας των μεταφορών, αλλά σε πολύ περιορισμένη έκταση για πλοία που σχεδιάστηκαν πρόσφατα από το 2015 και μετά. Έτσι, χρησιμοποιείται συχνά από τους πλοιοκτήτες ως μέτρο όσον αφορά τις λειτουργικές & τεχνικές παραμέτρους του κάθε πλοίου. Ο σκοπός είναι να επιτευχθεί η μεγιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης του πλοίου. Ο IMO αναφέρει ότι η εισαγωγή του δείκτη EEDI ήταν ένας τρόπος να αναγκάσει τα νεότευκτα πλοία να πληρούν το ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης. Ο IMO ανακοίνωσε το 2018 έθεσε στόχο την μείωση των εκπομπών που προκαλεί η ναυτιλία κατά 50% έως το 2050 σε σύγκριση με τους ρύπους του 2008.

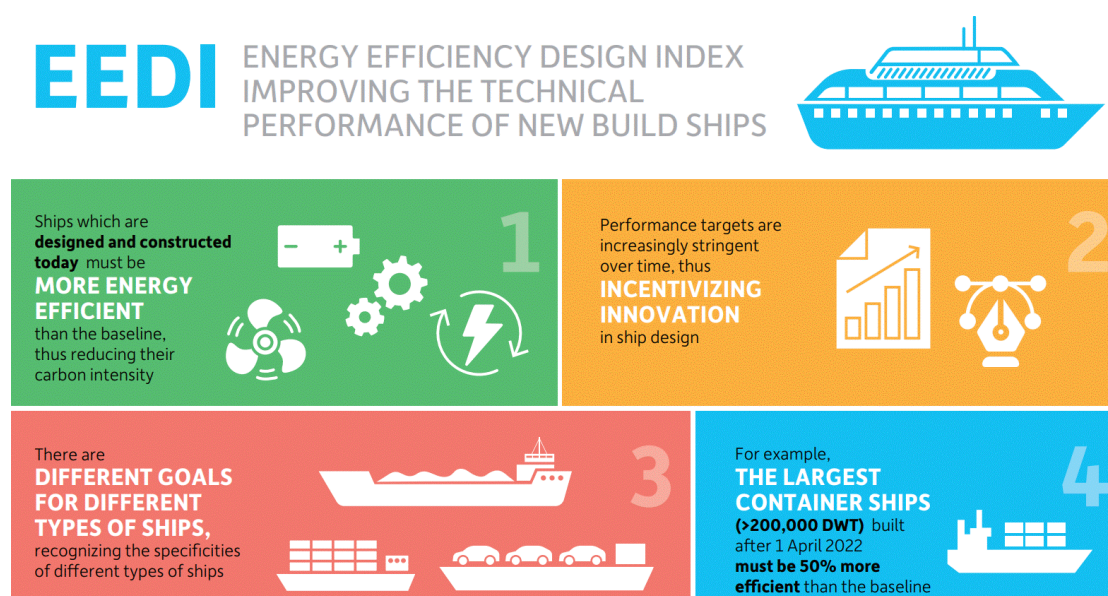
Τα πλοία που ναυπηγήθηκαν τα έτη 2014 έως 2019 θα πρέπει να βελτιωθούν κατά 10%, αυτά που κατασκευάστηκαν το 2020–2024 κατά 20% και μετά το 2024 η βελτίωση να

ανέλθει τουλάχιστον 30%. Το ψήφισμα του IMO να εισάγει το EEDI για τη διεθνή ναυτιλία ως ένα εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι η πρώτη πράξη του διεθνούς δικαίου μετά την έναρξη ισχύος του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Αυτό το μέτρο ορίζεται γενικώς ως οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> εκφρασμένες σε γραμμάρια ανά 1 τόνο για κάθε μίλι μεταφορικού έργου του πλοίου.

Ο EEDI είναι μια συγκεκριμένη τιμή για κάθε πλοίο, εκφρασμένη σε γραμμάρια (CO<sub>2</sub>) διοξειδίου του άνθρακα όπου όσο μικρότερη είναι η τιμή EEDI τόσο πιο ενεργειακά αποδοτικός είναι ο σχεδιασμός του πλοίου. Αυτή η τιμή υπολογίζεται και βασίζεται σε μαθηματικό τύπο συμπληρώνοντας παραμέτρους τεχνικής σχεδίασης για κάθε πλοίο ξεχωριστά.

Ο τύπος υπολογισμού είναι  $EEDI = \text{Εκπομπές CO}_2 / \text{Μεταφορικό έργο}$ . Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αντιπροσωπεύουν τις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> από την καύση καυσίμου. Το μεταφορικό έργο είναι η χωρητικότητα του πλοίου όπως έχει σχεδιαστεί, πολλαπλασιαζόμενη με την ταχύτητα σχεδιασμού του πλοίου.

Από την 1η Ιανουαρίου 2015 ισχύει ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης για τα νεότευκτα πλοία όπου θα ενισχύεται σταδιακά σε τρεις φάσεις έως το 2025.



Εικόνα 10: EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system (imo.org) [50]

Η μεθοδολογία υπολογισμού EEDI έχει αναπτυχθεί από τον IMO, στο οποίο αρκετές προτάσεις για διάφορους διορθωτικούς παράγοντες και τροποποιήσεις εξετάζονται ακόμη και βρίσκονται υπό συζήτηση. Το ψήφισμα για την εφαρμογή της EEDI συντάχθηκε όταν τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είχαν χωρητικότητα περίπου 15.000 containers δηλαδή μήκους είκοσι ποδιών Twenty-foot Equivalent Unit (TEU). Επί του παρόντος, υπάρχουν πλοία χωρητικότητας περίπου 24.000 TEU, με ακόμη μεγαλύτερα πλοία να σχεδιάζονται για το μέλλον.

Μελέτες δηλώνουν ότι η πιθανότητα περαιτέρω μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μπορεί να επιτευχθεί με το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), δεδομένου ότι σήμερα σχεδόν όλα τα πλοία που ναυπηγούνται εξοπλίζονται με κινητήρες διπλού καυσίμου όπως μαζούτ και LNG για να πληρούν τις προϋποθέσεις του δείκτη EEDI. Με βάση εκτεταμένη έρευνα από τον IMO, η εφαρμογή του EEDI στη ναυτιλία φαίνεται να στοχεύει θετικά στα διάφορα επίπεδα τιμών EEDI που έχουν τεθεί όπου βοηθούν στην επίτευξη των στόχων μείωσης του CO<sub>2</sub> εντός του προβλεπόμενου χρονικού πλαισίου. Επιπλέον, έρευνα για φορτηγά πλοία χύδην φορτίου (Bulk Carriers) έδειξε ότι η μείωση του CO<sub>2</sub> σύμφωνα με τις διαδικασίες του δείκτη EEDI, είναι πιο εφικτή από ό,τι είχε αρχικά υποτεθεί, επομένως η έκταση αυτής της μείωσης μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη.

Είναι ενδιαφέρον ότι ερευνητές κατασκεύασαν ένα μοντέλο ενεργειακής απόδοσης για φορτηγά χύδην με βάση τον Λειτουργικό Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI). Το μοντέλο αυτό εξετάζει 1.) την κατανάλωση καυσίμου του πλοίου, 2.) την ισχύ του κύριου κινητήρα και 3.) την τιμή (Drag) οπισθέλκουσας του πλοίου λόγω αντίστασης και τριβής του κύτους του πλοίου στη θάλασσα. Του μοντέλου τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο δείκτης EEOI παρείχε αρκετή ακρίβεια για την προσομοίωση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου σε σχέση με το φορτίο που κουβαλάει, την ταχύτητα του πλοίου και τυχαίες επιδράσεις πολλών φυσικών περιβαλλοντικών παραμέτρων που εκτίθεται ένα πλοίο στη διάρκεια του ταξιδιού του (π.χ. άνεμος, ρεύματα, κυματισμός και βυθίσματος). Σύμφωνα με τους ερευνητές, αυτό μπορεί να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου στην πραγματικότητα.

Μια εφαρμογή διερεύνησε με κριτήριο το κόστος και της αποτελεσματικότητας ώστε να αξιολογήσει τα κριτήρια που βασίζονται σε λήψη αποφάσεων. Παρουσίασαν μια νέα προσέγγιση στην οποία το απαιτούμενο επίπεδο δείκτη μπορεί να προσδιοριστεί με την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των διαθέσιμων μέτρων για την μείωση των εκπομπών.[6] Για παράδειγμα, απόφαση χρέωσης 52\$ ανά τόνο CO<sub>2</sub> χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση μέτρων μείωσης των εκπομπών ενώ ο IMO απαιτεί 110\$USD ανά τόνο CO<sub>2</sub> αυτό αύξησε την υποκειμενικότητα για τα επίπεδα που έχει θέσει ο IMO στη ναυτιλιακή κοινότητα και την μέθοδο βελτιστοποίησης της αντιστοίχισης πλοίου-κινητήρα-έλικα όπως περιγράφεται στο EEDI. Ανάλυση έγινε για να ληφθεί η σχέση μεταξύ παραμέτρων και EEDI της αντιστοίχισης του συστήματος, όπως η ταχύτητα πλοίου, η πραγματική ισχύς και η διάμετρος της έλικας-προπέλας αποτυπώνοντας το εύρος των τιμών του EEDI όταν αλλάζουν αυτές οι τρεις παράμετροι.

Για την έκδοση της τιμής του EEDI λαμβάνονται κατά τον υπολογισμό του αρκετά εσφαλμένα δεδομένα αν και έχουν τονιστεί οι επιχειρησιακές βελτιώσεις. Γενικά, ο δείκτης EEDI είναι καλά τεκμηριωμένος ως μέτρηση που μπορεί να βοηθήσει στη ρύθμιση της έντασης των εκπομπών του CO<sub>2</sub> των νεότευκτων πλοίων, όπου αυτή η προσέγγιση έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί ζωτικό στοιχείο του ρυθμιστικού πλαισίου που καθορίζεται από τον IMO. Εκτός των νεότευκτων πλοίων υπάρχουν και τα παλαιότερα πλοία που εκπέμπουν καυσαέρια και η ενεργειακή τους απόδοση είναι επίσης κρίσιμη μέτρηση.

Για τα παλαιότερα πλοία εισήχθη ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης των Υφιστάμενων Πλοίων - Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) για τη μέτρηση των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά μεταφορικό έργο λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους σχεδιασμού ενός πλοίου αυτή τη φορά. Το EEXI δεν λαμβάνει πραγματικές καταγραφές (report) των στοιχείων για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ενώ το πλοίο βρίσκεται σε λειτουργία.

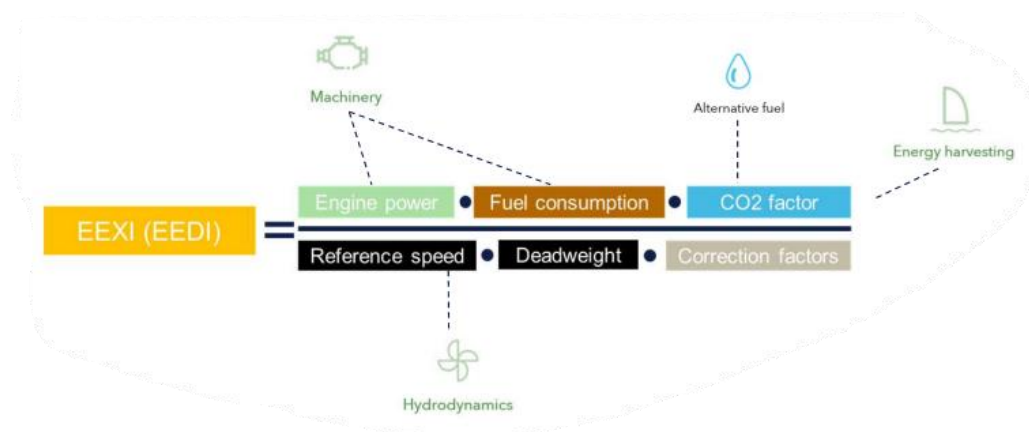
Σε αυτή τη μελέτη ο σκοπός είναι να εξετάσει το EEXI και να εκτιμήσει το κόστος και το μέγεθος για την απανθρακοποίηση της μελλοντικής ναυτιλίας.

### **3.12. Τι είναι ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων EEXI**

Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης των υφιστάμενων πλοίων (EEXI) εφαρμόζεται ύστερα την συνεδρίαση της επιτροπής του περιβάλλοντος MEPC 76 και την απόφαση του IMO τον Ιούνιο του 2021 για την επίτευξη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των πλοίων. Το EEXI είναι ένα μέτρο που σχετίζεται με τον τεχνικό σχεδιασμό ενός πλοίου. Τα

πλοία πρέπει να λάβουν έγκριση EEXI μία φορά στη ζωή τους έως το 2023. Η απαιτούμενη τιμή EEXI καθορίζεται από τον τύπο του πλοίου, την χωρητικότητα του πλοίου και το σύστημα πρόωσης που διαθέτει.[40]

Ο δείκτης EEXI αφορά την ποσότητα CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται ανά μονάδα μεταφοράς (με μονάδα μέτρησης τα ναυτικά μίλια) και όχι ανά μονάδα φορτίου.



Τύπος υπολογισμού EEXI [17]

Πλοία σχεδιάζονται σύμφωνα με τους στόχους EEDI από το 2022. Έτσι, πληρούν τις απαιτήσεις EEXI χωρίς περαιτέρω τροποποιήσεις όπου ελπίζουμε να δούμε μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιωμένη απόδοση των πλοίων.

Από την άλλη πλευρά, τα πλοία του υπάρχοντος στόλου μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για ενεργειακή απόδοση, μειώνοντας την ισχύ του κινητήρα του πλοίου (slow steaming) μίας και θεωρείται ο ευκολότερος τρόπος για τα παλαιότερα πλοία ώστε να πληρούν τις απαιτήσεις του δείκτη EEXI, καθώς απαιτεί ελάχιστες αλλαγές στο πλοίο και δεν αλλάζει τη μέση απόδοση του κινητήρα. Ωστόσο, όσον αφορά την απανθρακοποίηση και τους δείκτες οικονομικής απόδοσης, η μείωση της ισχύς του πλοίου (δηλαδή της ετήσιας μεταφορικής ικανότητας φορτίου) μπορεί τελικά να σημαίνει την ανάγκη κατασκευής επιπλέον πλοίων στη για την κάλυψη της ίδιας ζήτησης που υπάρχει σήμερα μιας και η ταχύτητα των πλοίων έχει μειωθεί άρα και οι χρόνοι παράδοσης των αγαθών θα έχουν καθυστέρηση. Ο υπολογισμός του EEXI βασίζεται στον τύπο υπολογισμού για το EEDI μόνο που θέτει δεσμευτικούς στόχους έντασης CO<sub>2</sub> για τα νεότευκτα πλοία. Σύμφωνα με το EEXI τα υφιστάμενα πλοία θα πρέπει να πληρούν τα πρότυπα τεχνικής απόδοσης με βάση τους στόχους EEDI ανάλογα τον τύπο του πλοίου και θα τεθεί σε ισχύ από το 2023, δηλαδή τα πλοία νέας κατασκευής θα έχουν τον δείκτη EEXI. Ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι όλα τα είδη



πλοίων θα έχουν εφαρμογή και όχι όλα τα μεγέθη πλοίων. Συγκεκριμένοι συντελεστές μείωσης ανά τύπο και μέγεθος πλοίου εμφανίζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.

Συντελεστής μείωσης EEXI ανά τύπο πλοίου και χωρητικότητα σε συνδυασμό με τον δείκτη έντασης άνθρακα (CII).

| Τύπος πλοίου                    | Μέγεθος (DWT και GT για κρουαζιερόπλοιο): | Συντελεστής μείωσης (Υ) |
|---------------------------------|---|-------------------------|
| Πλοίο μεταφοράς υγρών φορτίου   | 10.000–19.999                             | 0–20 %*                 |
|                                 | 20.000 +                                  | 20 %                    |
| Φορέας αερίου                   | 2000–9999                                 | 0–20 %*                 |
|                                 | 10.000–14.999                             | 20 %                    |
| Λιμνοπόλο                       | 15.000 +                                  | 30 %                    |
|                                 | 4000–19.999                               | 0–20 %*                 |
| Φορτηγό πλοίο                   | 20.000 +                                  | 20 %                    |
|                                 | 10.000–14.999                             | 15–30 %*                |
|                                 | 15.000–39.999                             | 30 %                    |
|                                 | 40.000–79.999                             | 35 %                    |
|                                 | 80.000–119.999                            | 40 %                    |
| Γενικό φορτηγό πλοίο            | 120.000–199.999                           | 45 %                    |
|                                 | 200.000 +                                 | 50 %                    |
|                                 | 3000–14.999                               | 0–30 %*                 |
| Φορτίο ψυγείου φορέας           | 15.000 +                                  | 15 %                    |
|                                 | 3000–4999                                 | 0–15 %*                 |
| Φορέας συνδυασμού               | 5000 +                                    | 15 %                    |
|                                 | 4000–19.999                               | 0–20 %*                 |
| Μεταφορέας LNG                  | 20.000 +                                  | 20 %                    |
|                                 | 10.000 +                                  | 30 %                    |
| Φορτίο οχημάτων Ro-ro πλοίο     | 10.000 +                                  | 15 %                    |
|                                 | 1000–1999                                 | 0–20 %*                 |
| Ro-ro καθαρό φορτηγό πλοίο      | 2000 +                                    | 20 %                    |
|                                 | 400–999                                   | 0–20 %*                 |
| επιβατηγό πλοίο Ro-ro           | 1000 +                                    | 20 %                    |
|                                 | 25.000–74.999 GT                          | 0–30 %*                 |
| Κρουαζιερόπλοιο επιβατηγό πλοίο | 75.000 + GT                               | 30 %                    |

:DWT= χωρητικότητα νεκρού βάρους, GT = ολική χωρητικότητα. \* Ο ρυθμός μείωσης παρεμβάλλεται γραμμικά μεταξύ του μεγέθους του πλοίου με τον χαμηλότερο στόχο να ισχύει για τα μικρότερα πλοία.

Πίνακας 3: Συντελεστής μείωσης Υ για τον δείκτη EEXI [11]

Μέχρι το 2030 η μείωση του CO<sub>2</sub> στο πλαίσιο της εφαρμογής του δείκτη EEXI θα είναι διαφορετική επειδή νέα πλοία θα εισαχθούν για την κάλυψη της αυξημένης εμπορικής ζήτησης ή λόγω απόσυρσης των παλιών πλοίων. Τα νέα πλοία που ναυπηγήθηκαν από το 2022 και μετά πληρούν ήδη τις απαιτήσεις EEXI εφαρμόζοντας τις ισοδύναμες τιμές του EEDI. Ένα φαινόμενο που παρατηρείται είναι η δυσκολία στην επίτευξη της ενεργειακής απόδοσης όταν τα πλοία τα διαχειρίζονται οι ναυλωτές και όχι ο ίδιος ο πλοιοκτήτης. Έτσι στη λειτουργία των πλοίων δημιουργούνται κενά ενεργειακής απόδοσης και όλο να αυξάνονται λόγω της έλλειψης πληροφοριών για την ενεργειακή απόδοση, της έλλειψης εκπαίδευσης και της έλλειψης χρόνου για ανάπτυξη και παροχή αξιόπιστων πληροφοριών. Από την τελευταία της συνεδρίαση η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) δεν έχει επιλύσει ακόμη αυτά τα σημαντικά ζητήματα και πρέπει επίσης να διευθετήσει ζητήματα όπως ο τρόπος υπολογισμού του  $V_{ref}$  χρησιμοποιώντας μετρήσεις

ταχύτητας εν λειτουργία του πλοίου, συστήματα αιολικής πρόωσης και τον συντελεστή διόρθωσης χωρητικότητας για φορτηγά πλοία ro-ro. Παρόλα αυτά, η MEPC εξέδωσε κατευθυντήριες γραμμές για τη μέθοδο υπολογισμού για την επιτευχθείσα τιμή EEXI και για τη συμμόρφωση του συστήματος περιορισμού ισχύος άξονα και κινητήρα (EPL) σύμφωνα με τις απαιτήσεις EEXI. Ως αποτέλεσμα, αξίζει να αναφερθεί ότι το LNG ως καύσιμο πλοίων θα πρέπει να συνδέεται με μείωση των εκπομπών με συντελεστή 5–20% όταν ένα καθαρό καύσιμο λαμβάνεται υπόψη στη κατανάλωση.

Για να διατυπωθεί ο EEXI, ο υπολογισμός EEDI που επιτεύχθηκε είναι με βάση επαληθευμένες θαλάσσιες δοκιμές και θεωρητικές προσεγγίσεις σύμφωνα με το ψήφισμα του IMO της MEPC.203(62) και αφορά την εφαρμογή του SEEMP ειδικά για τον έλεγχο και τη διαχείριση πραγματικού φορτίου σε επιχειρησιακό επίπεδο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει κατανάλωση καυσίμου δηλαδή μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> υπό συνθήκες θαλάσσιας δοκιμής προκειμένου να επαληθευτεί η φάση σχεδιασμού. Ο υπολογισμός EEDI που χρησιμοποιείται για νέα ή υπάρχοντα πλοία και που έχουν υποστεί σημαντική μετατροπή είναι ο πάρα κάτω:

$$\text{attained EEDI} = 0.75 \times \text{MCR} \times \text{fuel} \times \text{CF} / \text{DWT} / S \text{ (g (CO}_2\text{) / tnm)}$$

Όπου: 0,75 x MCR = 75% του φορτίου του κινητήρα; fuel = κατανάλωση καυσίμου; CF= συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub> (kg/t καυσίμου); DWT = DWT κατά 70% ωφέλιμο φορτίο; και S = ταχύτητα πλοίου. [11]

Το επιτευχθέν αποτέλεσμα EEDI είναι η συγκεκριμένη εκπομπή CO<sub>2</sub> ενός πλοίου υπό καθορισμένες συνθήκες, π.χ. γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά τόνο και ταξιδιού ενός ναυτικού μιλίου.

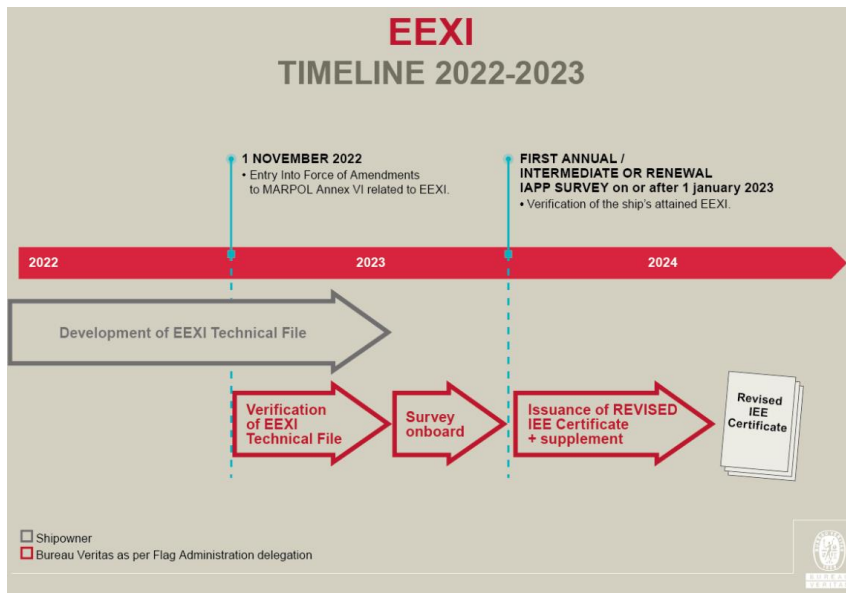
Η υποβοήθηση με πανιά αέρα μειώνει το φορτίο του κύριου κινητήρα, εξοικονόμηση ενέργειας όπως καθώς επίσης και η χρήση συνθετικού καυσίμου με χαμηλότερο συντελεστή εκπομπών μπορούν να μειώσουν το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>. Τη στιγμή της εφαρμογής

του, ο δείκτης EEDI προέβλεπε πενταετή σταδιακή δέσμευση του CO<sub>2</sub> για μείωση κατά την περίοδο 2013-2025.



Εικόνα 11: EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system (imo.org) [50]

Σήμερα, ο κανονισμός EEXI σχεδιάζει να περιορίσει το CO<sub>2</sub> στις τιμές που έχουν τεθεί για το χρονικό πλαίσιο 2022–2030. Σύμφωνα με το ψήφισμα MEPC 76 του IMO τον Ιουνίου 2021, τα εναπομείναντα υφιστάμενα πλοία που δεν έχουν συμμορφωθεί με τον δείκτη EEXI πρέπει να το πράξουν έως το 2023 με την υιοθέτηση και την τεχνική διαδικασία που αποσκοπεί στη μείωση εκπομπών έως το 2030 της τάξεως του 40% των εκπομπών του CO<sub>2</sub>. Τα πολύ μεγάλα πλοία εμπορευματοκιβωτίων άνω των 200.000 DWT ενώ έχουν πολύ μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα ευνοούνταν συχνά στο παρελθόν ενώ τώρα θα έχουν αντί για 30% συντελεστή μείωσης αλλά 50% του EEDI. Αυτό συμβαίνει διότι ο δείκτης EEXI είναι αυστηρότερος από τον δείκτη EEDI.



Εικόνα 12: EEXI | Bureau Veritas [51]

Στα υφιστάμενα πλοία σταδιακή βελτίωση εκπομπών CO<sub>2</sub> θα επαληθεύεται ετησίως και θα βαθμολογείται από το "A" έως "E". Όπου το E θα είναι ο χειρότερος βαθμός και η διαδικασία ευθυγραμμίζεται με τον Δείκτη Έντασης Άνθρακα Carbon Intensity Indicator - CII η οποία ετησίως αναφέρει το επίπεδο μείωσης των εκπομπών του άνθρακα όλων των πλοίων νέων και υφιστάμενων. Μια οικονομικά αποδοτική λύση είναι η προσαρμογή όλων των πλοίων έως το 2025 στο πρότυπο εκπομπών που έχουν τεθεί για το έτος 2030 ή την διάλυση πλοίων πριν από το 2025 και να γίνει χρήση μειωμένης ισχύς δηλαδή ταχύτητας (slow steaming) ως μεταβατικής μεθόδου έως το 2030. Συνεπώς, η διαφορά μεταξύ τιμών που έχουν επιτευχθεί και στις τιμές που απαιτείται για τον δείκτη EEXI είναι ο παρακάτω:

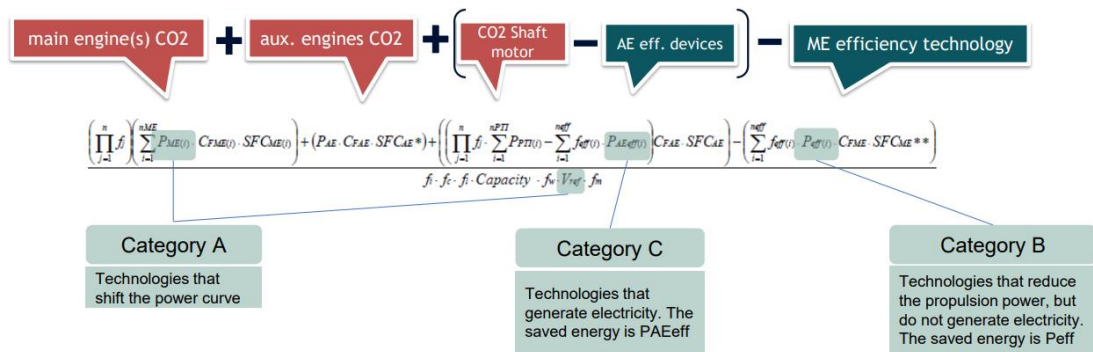
$$attained\ EEXI \leq required\ EEXI = (1 - Y / 100) \times EEDI_{ref}$$

Όπου Y=συντελεστής μείωσης για την κατηγορία τύπου πλοίου που υποδηλώνεται στον Πίνακα 1.

Τα πλοία που δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις θα πρέπει να βρουν τρόπους συμμόρφωσης με τις απαιτούμενες τιμές EEXI. Τεχνικές αλλαγές όπως ο περιορισμός ισχύος κινητήρα (EPL) και ο περιορισμός ισχύος άξονα (SHaPoLi) μπορούν να μειώσουν τις υπολογιζόμενες εκπομπές. Τα πλοία με ιδιαίτερα κακή απόδοση EEXI ενδέχεται να απαιτούν μετασκευή,

χρησιμοποίηση συσκευών εξοικονόμησης ενέργειας, τροποποιήσεις στην έλικας ή πράσινες λύσεις όπως η αιολική πρόωση.

Τα υπάρχον πλοία θα κληθούν να αξιολογήσουν τον δείκτη ενεργειακής τους απόδοσης γνωστό ως «attained EEXI». Όλα τα πλοία πρέπει να υπολογίζουν και να λαμβάνουν έγκριση για την επίτευξη του EEXI τους από την Διεθνή Πρόληψη της Ρύπανσης της Ατμόσφαιρας International Air Pollution Prevention (IAPP) το 2023. Στη συνέχεια, το EEXI που έχει επιτευχθεί θα συγκριθεί με το απαιτούμενο EEXI που ορίζεται από τους κανονισμούς του IMO. Οι απαιτούμενες τιμές EEXI προσδιορίζονται με βάση τα στατιστικά στοιχεία του στόλου ανά τύπο πλοίου, χωρητικότητα φορτίου και μέθοδο πρόωσης.[51]

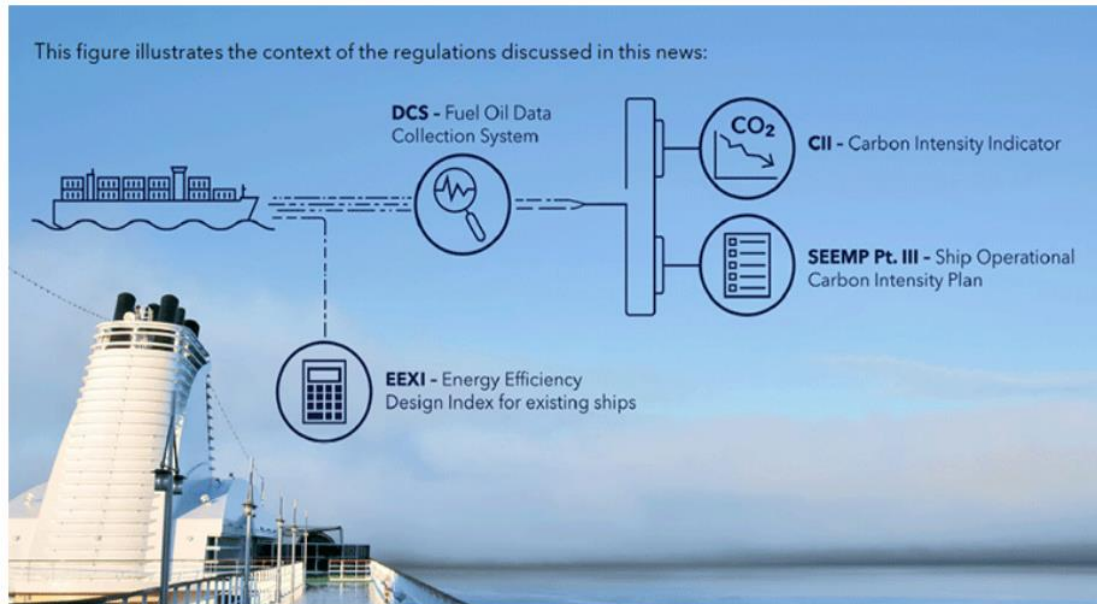


Εικόνα 13 : Τύπος εύρεσης EEXI [17]

Στόχος του IMO είναι να μειώσει κατά 40% τις εκπομπές CO2 από τη ναυτιλιακή βιομηχανία έως το 2030 σε σχέση με το επίπεδο του 2008. Αυτό, κατά πάσα πιθανότητα, δεν θα είναι αρκετό γιατί για την περίοδο από το 2008 έως το 2030 η παγκόσμια ναυτιλία πιθανότατα θα συνεχίσει να αυξάνεται εκθετικά. Ως αποτέλεσμα, το slow steaming να χρησιμοποιείται ήδη με αισιόδοξα αποτελέσματα το οποίο είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς EEXI για την απανθρακοποίηση των εκπομπών CO2 μέχρι το τέλος της δεκαετίας.

### 3.13 Ανάπτυξη & επαλήθευση του SEEMP Μέρους III

Ο δείκτης CII απαιτεί από το έτος 2023 να αναπτύξουν τα πλοία το Μέρος III του SEEMP έως τις 31 Δεκεμβρίου 2022, το οποίο επιβεβαιώνεται από την Αρχή σημαίας του πλοίου ή έναν Αναγνωρισμένο Οργανισμό – Recognized Organization (RO).



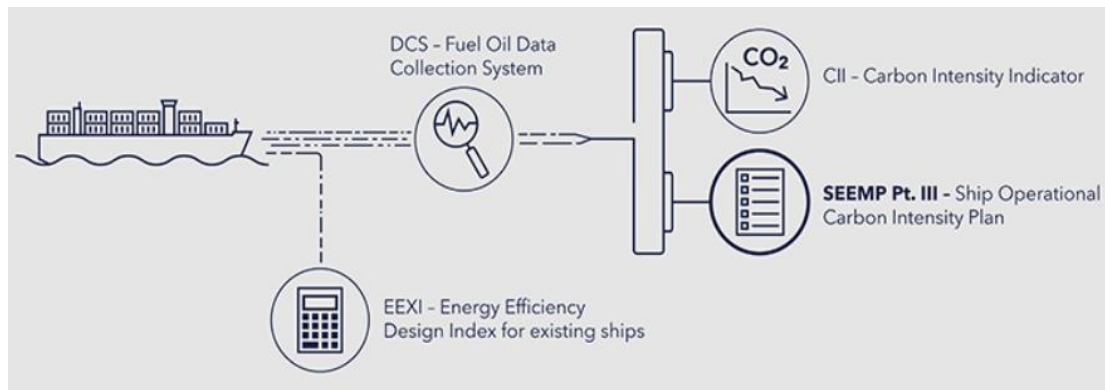
Εικόνα 14: [EEXI and CII requirements taking effect from 1 January 2023 \(dnv.com\)\[52\]](#)

#### 3.13.1. SEEMP Μέρους I

Σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL, μετά την 1η Ιανουαρίου 2013, τα πλοία 400 Gross tonnage - μεικτών τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω που εκτελούν διεθνή ταξίδια θα πρέπει να διατηρούν επί του σκάφους Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου - Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP).

#### 3.13.2. Fuel Oil Data Collection System (DCS) του IMO και SEEMP Μέρους II

Επιπλέον, οι τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI MARPOL, που εγκρίθηκαν το 2016, ζητούν από πλοία 5.000 Gross Tonnage - μικτών τόνων ολικής χωρητικότητας και άνω που εκτελούν διεθνή ταξίδια να συλλέγουν και να αναφέρουν τα δεδομένα κατανάλωσης μαζούτ τους στις αρχές σημαίας του κράτους που υπάγεται το πλοίο ή σε Αναγνωρισμένο Οργανισμό (RO) από το έτος 2019 (IMO DCS). Τα πλοία που υπόκεινται στο DCS του IMO απαιτείται να αναπτύξουν ένα σχέδιο συλλογής δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου του πλοίου (SEEMP Μέρος II) και το σχέδιο θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από την Αρχή ή μια RO.



Εικόνα 15: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/seemp-part-iii/index.html>

[SEEMP Part III - DNV](#) [41]

### 3.13.3. Αξιολόγηση CII και SEEMP Μέρος III

Περαιτέρω τροποποιήσεις στο Παράρτημα VI MARPOL (Ψήφισμα IMO MEPC.328(76)) εγκρίθηκαν στην 76η σύνοδο της Επιτροπής Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC 76) του IMO το 2021 καθώς και η βαθμολογία του δείκτη CII που ξεκινάει υποχρεωτικά από την 1η Ιανουαρίου 2023 με βάση την ετήσια κατανάλωση καυσίμου κάθε πλοίου. Τα πλοία που υπόκεινται στην ικανότητα CII πρέπει να αναπτύξουν το SEEMP (Μέρος III) που θα περιλαμβάνει τη μεθοδολογία υπολογισμού του CII, τις απαιτούμενες τιμές CII για τα επόμενα 3 χρόνια, το σχέδιο εφαρμογής για την επίτευξη του απαιτούμενου CII και τις διαδικασίες αξιολόγησης και βελτίωσης του.

Το Μέρος III του SEEMP προορίζεται να βοηθήσει τις εταιρείες να επιτύχουν το απαιτούμενο CII (Δείκτης Έντασης Άνθρακα). Σε σχέση με αυτήν την ετήσια βαθμολογία, το Μέρος III του SEEMP είναι ένα υποχρεωτικό ετήσιο ειδικό έγγραφο για το πλοίο που καθορίζει το σχέδιο βελτίωσης του CII για τα επόμενα τρία χρόνια της λειτουργικής ενεργειακής απόδοσης του πλοίου.

Το SEEMP Μέρος III είναι ένα έγγραφο που υπόκειται σε τακτικές ενημερώσεις και αναθεωρήσεις, αντικατοπτρίζοντας τις μεταβαλλόμενες επιδόσεις και τα απαιτούμενα μέτρα. Πρέπει να επαληθεύεται και να διατηρείται στο αντίστοιχο πλοίο από την 1η Ιανουαρίου 2023 μαζί με την Επιβεβαίωση Συμμόρφωσης Confirmation of Compliance (CoC).

Τα δεδομένα που θα συλλέγει το Fuel Oil Data Collection System του IMO θα υπόκεινται στην αξιολόγηση του δείκτη CII όπου ξεκινώντας από το 2024 θα δίνεται βαθμολογία σε κάθε πλοίο A, B, C, D ή E. Για τα πλοία που θα έχουν κάκιστη βαθμολογία όπως E για ένα έτος ή D για 3 συναπτά έτη, απαιτείται να ενημερωθεί με σχέδιο διορθωτικών ενεργειών όπου θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από τη αρχή σημαίας του πλοίου πριν εκδοθεί το Statement of Compliance SoC. Το σχέδιο διορθωτικής δράσης **θα πρέπει να αποτελείται από ανάλυση του γιατί δεν επιτεύχθηκε η απαιτούμενη τιμή CII και να περιλαμβάνει ένα αναθεωρημένο σχέδιο εφαρμογής.**

"Appendix X

**Form of Statement of Compliance – Fuel Consumption Reporting**  
**STATEMENT OF COMPLIANCE – FUEL CONSUMPTION REPORTING**

Issued under the provisions of the Protocol of 1997, as amended by resolution MEPC.XXX(XX), to amend the International Convention for the Prevention of Pollution by Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 related thereto (hereinafter referred to as "the Convention") under the authority of the Government of:

.....  
*(full designation of the Party)*

by .....

*(full designation of the competent person or organization authorized under the provisions of the Convention)*

Particulars of ship<sup>2</sup>:

Name of ship .....

Distinctive number or letters .....

IMO Number<sup>3</sup> .....

Port of registry .....

Gross tonnage .....

THIS IS TO CERTIFY:

Εικόνα 16 : National Workshop (virtual) on Ratification and Effective Implementation of MARPOL Annex VI for Algeria, REMPEC [31]

### 3.14. Απαιτήσεις και χρονοδιάγραμμα υλοποίησης

Θα πρέπει να εφαρμόζονται οι ακόλουθες απαιτήσεις.

1) SEEMP Μέρος I για το σχέδιου διαχείρισης πλοίου για τη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης του πλοίου.

2) Επανεξέταση του "Σχεδίου συλλογής δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου πλοίου (SEEMP Μέρος II)" από την Αρχή σημαίας του πλοίου ή έναν RO, και διατήρηση στο πλοίο του SEEMP Μέρος II και Επιβεβαίωση Συμμόρφωσης-Μέρος II.

3) Επανεξέταση του «Σχεδίου Επιχειρησιακής Έντασης Ανθρακούχων Πλοίων (SEEMP Μέρος III)» από την Αρχή ή RO, το οποίο περιέχει μεθοδολογία υπολογισμού του CII, απαιτούμενος CII για τα επόμενα 3 χρόνια, σχέδιο υλοποίησης για την επίτευξη του απαιτούμενου CII και διαδικασίες για αυτό- αξιολόγηση και βελτίωση και διατήρηση στο πλοίο του SEEMP Μέρος III και Επιβεβαίωση Συμμόρφωσης-Μέρος III.



- 4) Συλλογή των καταναλώσεων μαζούτ του πλοίου και σχετικές παραμέτρους
- Συλλογή για κάθε ημερολογιακό έτος των στοιχείων από την 1η Ιανουαρίου έως τις 31 Δεκεμβρίου
- 5) Υπολογισμός της βαθμολογίας CII ύστερα της συγκέντρωσης των δεδομένων και αναφορά στην Αρχή σημαίας του πλοίου ή σε RO εντός τριών μηνών από τη λήξη κάθε ημερολογιακού έτους αρχίζοντας από τα δεδομένα του 2023 που θα υπόκεινται στην αξιολόγηση
- 6) Σε περίπτωση αποτελέσματος αξιολόγησης E σε οποιοδήποτε έτος ή βαθμολογίας D για 3 συνεχόμενα έτη, είναι απαραίτητο να συνταχθεί σχέδιο διορθωτικών ενεργειών στο SEEMP III και να υποβληθεί στη Αρχή σημαίας του πλοίου ή σε RO εντός τεσσάρων μηνών από τη λήξη κάθε ημερολογιακού έτους
- 7) Επαλήθευση των δεδομένων συμπεριλαμβανομένου του αποτελέσματος αξιολόγησης CII, επαλήθευση του αναθεωρημένου SEEMP Μέρους III συμπεριλαμβανομένου ενός σχεδίου διορθωτικής δράσης και έκδοση δήλωσης συμμόρφωσης από τη διοίκηση ή έναν RO το αργότερο πέντε μήνες μετά το τέλος κάθε ημερολογιακού έτους
- 8) Επιθεώρηση από τις ίδιες τις ναυτιλιακές εταιρείες - Audits στο Μέρος III του SEEMP το αργότερο έξι μήνες μετά την έκδοση της Δήλωσης Συμμόρφωσης
- 9) Πρόσβαση στα συγκεντρωτικά δεδομένα τουλάχιστον δώδεκα μήνες μετά το τέλος κάθε ημερολογιακού έτους
- 10) Ενημέρωση κάθε τρία χρόνια του SEEMP Μέρος III. Είναι απαραίτητο να επικαιροποιούνται τα περιεχόμενα του Μέρους III του SEEMP (απαιτείται CII για τα επόμενα 3 χρόνια, σχέδιο υλοποίησης για την επίτευξη του απαιτούμενου CII, διαδικασίες αυτοαξιολόγησης και βελτίωσης) και να λαμβάνεται η επιβεβαίωση από τη διοίκηση ή έναν RO κάθε τρία χρόνια μετά το 2025. Έτσι θα εκδίδεται ανανεωμένη η Επιβεβαίωση Συμμόρφωσης-SEEMP Μέρος III.[27]

### **3.15. Συλλογή δεδομένων κατανάλωσης μαζούτ, συλλογή δεδομένων και αναφορά στην Αρχή σημαίας του πλοίου ή σε Recognized Organization (RO) για επαλήθευση.**

Ο MEPC 70 ενέκρινε τον Οκτώβριο του 2016, με ψήφισμα με αριθμό MEPC.278(70) σχετικώς με το σύστημα κατανάλωσης μαζούτ των πλοίων του Διεθνή Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO DCS), το οποίο απαιτεί από τα πλοία να καταγράφουν και να αναφέρουν την κατανάλωση μαζούτ τους με σκοπό την ενημέρωση του IMO για τη εφαρμογή περαιτέρω μέτρων για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγουν τα πλοία.

Από την 1η Ιανουαρίου 2019 το IMO Data Collection System απαιτεί συλλογή και αναφορά δεδομένων για πλοία χωρητικότητας 5.000 GT και άνω (τα οποία παράγουν περίπου το 85% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> τις διεθνής ναυτιλίας) πρέπει να συλλέγουν δεδομένα κατανάλωσης για κάθε τύπο μαζούτ που χρησιμοποιούν.

Από το 2023, τα δεδομένα Data Collection System (DCS) του IMO χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της λειτουργικής έντασης άνθρακα του πλοίου (CII).

### **3.16. Χρονοδιάγραμμα για την υποβολή δεδομένων στο DCS**

1. Τα δεδομένα ενός έτους αποστέλλονται στο κράτος σημαίας που φέρει το πλοίο μετά το τέλος κάθε ημερολογιακού έτους.
2. Το κράτος σημαίας εκδίδει δήλωση συμμόρφωσης στο πλοίο, αφού επαληθεύσει ότι αυτά τα δεδομένα έχουν αναφερθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις, το αργότερο έως τις 31 Μαΐου του έτους.
3. Στη συνέχεια, το κράτος της σημαίας του πλοίου διαβιβάζει αυτά τα δεδομένα στη βάση δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου των πλοίων του IMO έως τις 30 Ιουνίου το αργότερο.
4. Τέλος, ο IMO συντάσσει ετήσια έκθεση στην επικείμενη επιτροπή περιβάλλοντος MEPC, συνοψίζοντας τα δεδομένα που συλλέγονται από τα διάφορα κράτη σημαίας.[53]

Οι νηογνώμονες έχουν αναπτύξει και προσφέρουν διαδικτυακές εφαρμογές για την επαλήθευση των DCS και EU MRV. Οι λειτουργίες που προσφέρουν οι εφαρμογές είναι η αναφορά των δεδομένων, η διαχείριση των δεδομένων στο ναυτιλιακό γραφείο και επαλήθευση των δεδομένων, δήλωση συμμόρφωσης και διαχείριση των τιμολογίων. Επίσης οι νηογνώμονες αξιολογούν τα Σχεδία Παρακολούθησης των πλοίων Monitoring Plans (MP) καθώς και τις Αναφορές Εκπομπών Emission Report (ER) και έκδοσης Εγγράφου Συμμόρφωσης Document of Compliance (DOC) βάσει του κανονισμού EU-MRV.

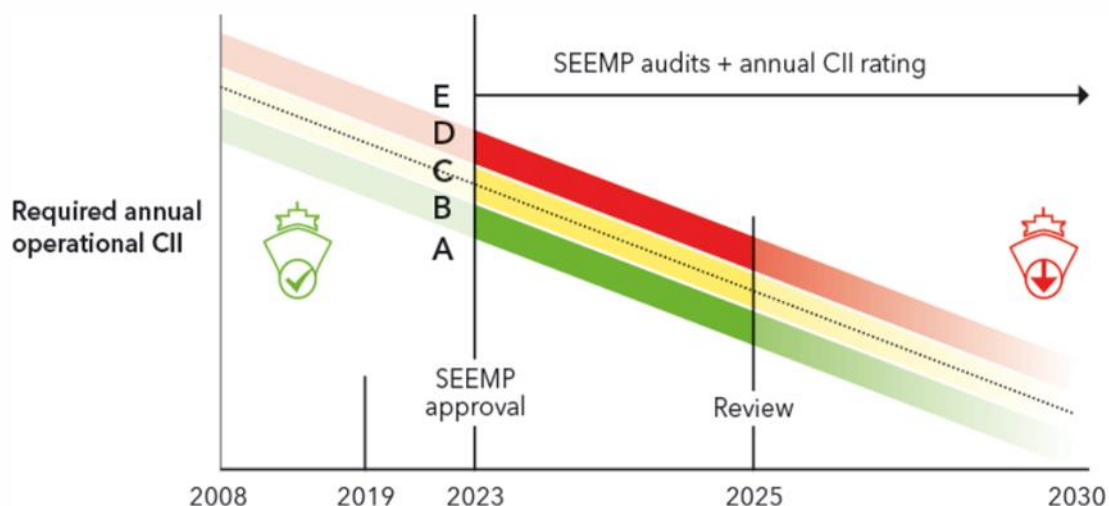
Ο EU-MRV είναι ένας κανονισμός της ΕΕ όπου τέθηκε για πρώτη φορά σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2015. Σκοπός του είναι η παρακολούθηση, η αναφορά και η επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκλύονται από τα καυσαέρια των πλοίων. Ορίζει κανόνες για την ανάπτυξη Σχεδίων Παρακολούθησης και την υποβολή των Αναφορών Εκπομπών για πλοία άνω των 5.000 μικτών τόνων που ελλιμενίζονται σε λιμένες της

Ευρώπης. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται σε διαπιστευμένα όργανα από εθνικό φορέα της ΕΕ.

Οι ναυτιλιακές εταιρείες (πλοιοκτήτης, διαχειριστής πλοίου ή υπεύθυνος οργανισμός ή άτομο για τη λειτουργία) υποχρεούνται να υποβάλουν το σχέδιο παρακολούθησης στο διαπιστευμένο όργανο να συλλέξουν πληροφορίες και να αναπτύξουν την Έκθεση Εκπομπών σύμφωνα με το αξιολογούμενο Σχέδιο Παρακολούθησης. Μετά την επαλήθευση της Έκθεσης Εκπομπών και την έκδοση του Document of Compliance DOC, οι ναυτιλιακές εταιρείες υποχρεούνται να διατηρούν στο πλοίο το DOC.[54]

### **3.17. Τι είναι ο δείκτης ένταση άνθρακα CII**

Ο Δείκτης Έντασης Άνθρακα - Carbon Intensity Indicator (CII) καθορίζει τον ετήσιο συντελεστή μείωσης που απαιτείται για την συνεχή βελτίωσης της επιχειρησιακής έντασης άνθρακα των καυσαερίων του πλοίου. Αυτός πρέπει να κυμαίνεται εντός συγκεκριμένων επιπέδων αξιολόγησης που καθορίζεται από τον IMO. Είναι ένας ετήσιος συντελεστής μείωσης που δείχνει πόσο αποτελεσματικά ένα πλοίο μεταφέρει αγαθά ή επιβάτες δηλαδή την ενεργειακή απόδοση του πλοίου και δίνεται η μονάδα μέτρησης του σε γραμμάρια CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται ανά μεταφορική ικανότητα και ναυτικό μίλι που διανύει ένα πλοίο κατά τον πλου του. Το σύστημα αξιολόγησης CII χρησιμοποιεί μια μέτρηση που περιορίζεται σε αποτελέσματα που εκτείνονται από το A έως το E σύμφωνα με την οποία τα επίπεδα αξιολόγησης θα γίνονται όλο και πιο αυστηρά προς το 2030. Ο CII ισχύει για όλα τα φορτηγά, δεξαμενόπλοια, RoPax και κρουαζιερόπλοια άνω των 5.000 GT. Το ετήσιο CII υπολογίζεται με βάση τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις στα αναφερόμενα δεδομένα DCS του IMO και το πλοίο βαθμολογείται από το A έως το E, όπου A(ανώτατο), B (ανώτερο), C (μέτρια) , D (κατώτερο) ή E (κατώτατο επίπεδο απόδοσης). Για πλοία που επιτυγχάνουν βαθμολογία D για τρία συνεχόμενα έτη ή βαθμολογία E για ένα μόνο έτος πρέπει να υπάρχει σχέδιο διορθωτικών ενεργειών ως μέρος του SEEMP. Το 2024 θα είναι η πρώτη φορά που θα εκδοθεί ο CII και θα αφορούν τις μετρήσεις που έγιναν το 2023.



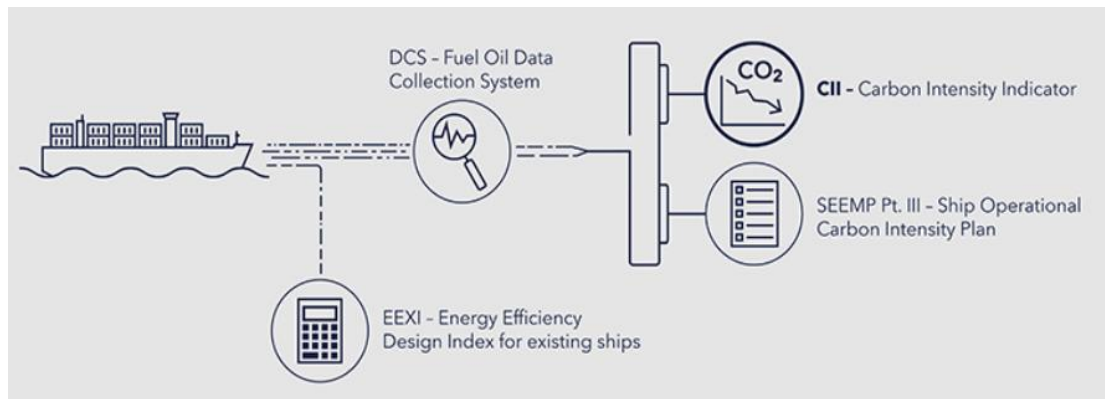
Εικόνα 17: [39] Βαθμολογία δείκτη CII [17]

Όπως προαναφέρθηκε το 2024 αρχής γενομένης, οι τιμές του CII πρέπει να υπολογίζονται και να καταγράφονται τα δεδομένα συγκεντρωτικά για το προηγούμενο έτος στο Data Collection System DCS συμπεριλαμβανομένων τυχόν συντελεστών διόρθωσης και προσαρμογών ταξιδιού και να κατατίθεται στις 31 Μαρτίου κάθε έτους.

Οι ετήσιες τιμές CII και η περιβαλλοντική βαθμολογία (A έως E) κάθε πλοίου θα καταγράφεται στη Δήλωση Συμμόρφωσης Statement of Compliance - SoC, η οποία θα πρέπει να φυλάσσεται στο πλοίου για πέντε χρόνια.

Σε περίπτωση κατώτερης βαθμολογίας D για τρία συνεχόμενα έτη ή ενός έτους κατώτατης βαθμολογίας E, το SEEMP Part III η εταιρεία θα είναι υποχρεωμένη να υποβάλει ένα σχέδιο διορθωτικών ενεργειών SEEMP Μέρος III πριν εκδοθεί η Δήλωση Συμμόρφωσης DCS.

Το σχέδιο διορθωτικών ενεργειών θα πρέπει να αποτελείται από ανάλυση του γιατί δεν επιτεύχθηκε η απαιτούμενη επίδοση CII και να περιλαμβάνει ένα αναθεωρημένο σχέδιο εφαρμογής. Προς το παρόν δεν έχει ανακοινωθεί ότι θα υπάρχει κάποιο πρόστιμο αλλά αυτό ίσως αλλάξει με τους κανονισμούς του IMO 2025.



Εικόνα 18: Σύνδεση μεταξύ CII, DCS και SEEMP III. [39]

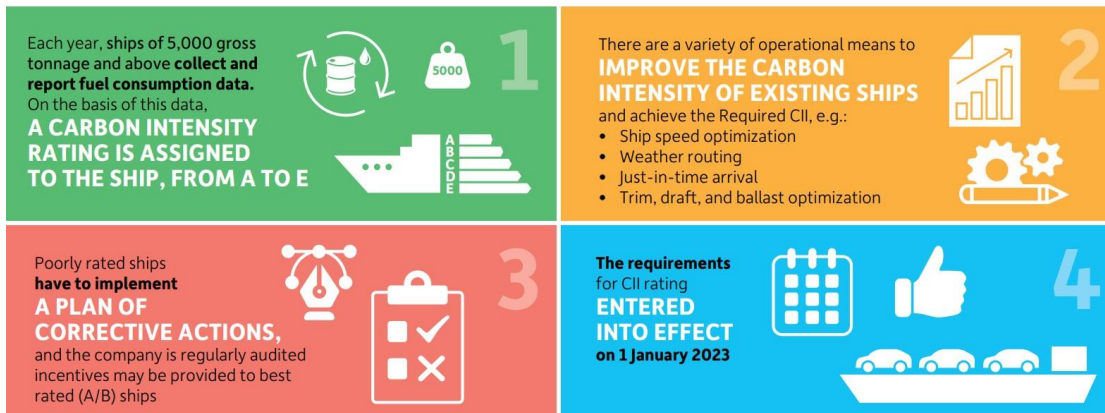
Ο δείκτης CII απορρέει από την ετήσια κατανάλωση καυσίμου που έχει γενικά το κάθε πλοίο η οποία επηρεάζεται από τον τρόπο λειτουργίας του σε συνδυασμό με την τεχνική του απόδοση που έχει ως πλοίο και τα καύσιμα που χρησιμοποιεί. Η τιμή του θα επηρεάζεται από τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται, την απόδοση του πλοίου και λειτουργικές παραμέτρους όπως η ταχύτητα του, το μεταφερόμενο φορτίο, οι καιρικές συνθήκες και η γενική κατάσταση του πλοίου.

Όταν ο πλοιοκτήτης μπορεί να ελέγξει το CII βελτιστοποιώντας τις λειτουργίες και διασφαλίζοντας ότι τα πλοία του είναι σε καλή κατάσταση, όμως οι ναυλωτές θα έχουν μεγάλη επιρροή στο CII των πλοίων που ναυλώνουν επιλέγοντας την ταχύτητα. Θα είναι επωφελές για τους πλοιοκτήτες ή διαχειριστές του πλοίου να παρακολουθούν συνεχώς τις επιδόσεις CII ώστε να επιτυγχάνουν τους στόχους προς αποφυγή εκατών μέτρων απροσδόκητα. Οι νηογνώμονες έχουν αναπτύξει λογισμικά για τους πελάτες τους που παρέχουν οδηγίες στην παρακολούθηση του δείκτη CII.

# CARBON INTENSITY INDICATOR (CII RATING)



IMPROVING THE OPERATIONAL PERFORMANCE OF EXISTING SHIPS



Εικόνα 19: [EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system \(imo.org\)](https://www.imo.org) [50]

### 3.18. Υπολογισμός του CII

Η μονάδα μέτρησης του δείκτη CII είναι σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από ένα πλοίο ανά μεταφορική ικανότητα και ναυτικού μιλίου ταξιδιού που κάνει το πλοίο, όπου η μεταφορική ικανότητα αναφέρεται ανάλογα με τον τύπο του πλοίου είτε στο απόβάρό του φορτίου που μεταφέρει είτε στο μεικτό βάρος. Προσαρμογές ταξιδιού καθώς και συντελεστές διόρθωσης μπορούν να εφαρμοστούν στους βασικούς υπολογισμούς CII ώστε να προκύψει η βαθμολογία του κάθε καραβιού.

Ο ετήσιος απλοποιημένος τύπος CII που επιτεύχθηκε είναι ο ακόλουθος:

$$CII = \frac{\text{Annual fuel consumption} \cdot \text{CO}_2 \text{ factor}}{\text{Annual distance travelled} \cdot \text{Capacity}} \cdot \text{Correction factors}$$

Εικόνα 20: Τύπος υπολογισμού δείκτη CII. [39]

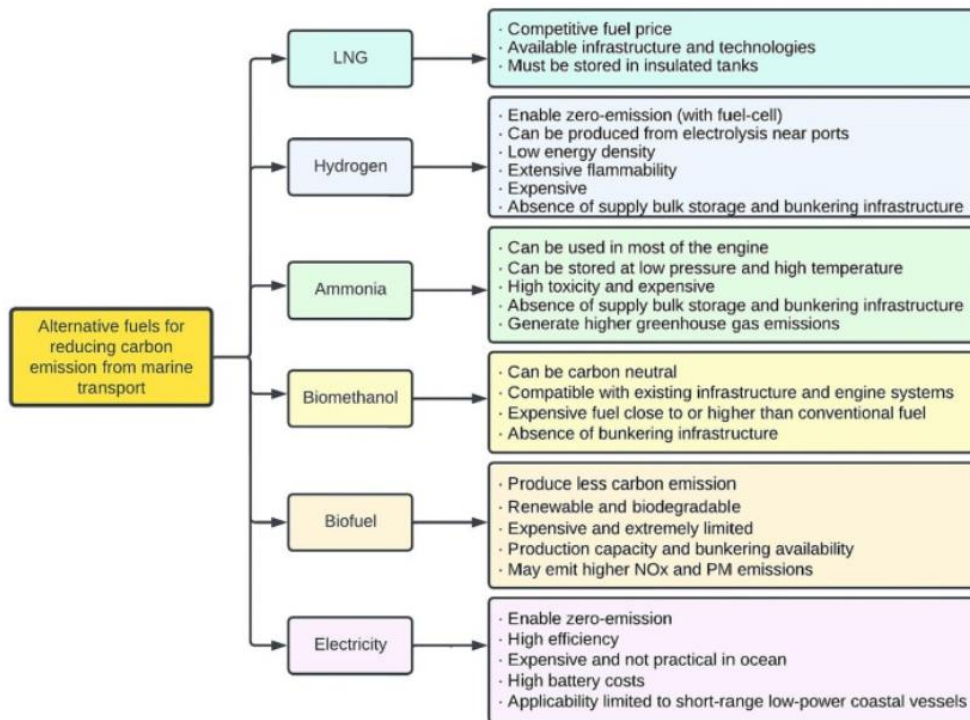
Οι εκάστοτε νηογνώμονες έχουν αναπτύξει πλατφόρμες Data Collecting System - DMS όπου προμηθεύουν τους πελάτες, τους δηλαδή τις ναυτιλιακές εταιρείες, ώστε να καταγράφονται οι τιμές CII των πλοίων συμπεριλαμβανομένων των συντελεστών διόρθωσης και των

προσαρμογών ταξιδιού που θα υπολογίζεται αυτόματα βάση των δεδομένων DCS. Η ναυτιλιακή εταιρεία έχει επίσης πρόσβαση σε πίνακα εργαλείων Emissions Insights στην πλατφόρμα Veracity για τον Νορβηγικό νηογνώμονα DNV όπου μπορεί να παρακολουθεί την προκαταρκτική βαθμολογία CII καθενός από τα πλοία του στόλου της εταιρείας. Αυτή η δυνατότητα πρόσβασης στα στοιχεία δίνει τη δυνατότητα να αξιολογεί και να βελτιώνει την απόδοση του στόλου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι CII τα επόμενα χρόνια. Σε περίπτωση κατώτερης βαθμολογίας CII, το Σχέδιο Διορθωτικών Δράσεων Μέρος III SEEMP μπορεί εφαρμοστεί.[39]

Ο μηχανισμός αναθεώρησης απαιτεί ότι το σχέδιο τροποποιήσεων από τον IMO θα επανεξετάσει την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής των απαιτήσεων CII και EEXI, το αργότερο έως την 1η Ιανουαρίου 2026 όπου ελπίζουμε να δούμε μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιωμένη απόδοση των πλοίων και εάν είναι απαραίτητο να αναπτύξει και να εγκρίνει περαιτέρω τροποποιήσεις.[55]



Εικόνα 21: RightShip's GHG Rating [49]



Εικόνα 22: Διάφορα πιθανά εναλλακτικά καύσιμα για την ναυτιλία [2]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Ορυκτά καύσιμα ουδέτερου αποτυπώματος άνθρακα

### 4.1 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια και γίνεται όλο και πιο δημοφιλές συνήθως ως ναυτιλιακό καύσιμο. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) εν συγκρίσει με την αέρια κατάστασή του, καταλαμβάνει 600 φορές λιγότερο χώρο κατά την αποθήκευσή του. Η υγροποίηση του επιτυγχάνεται ψύχοντάς το στους  $-162^{\circ}\text{C}$ . Προς το παρόν το LNG είναι το καθαρότερο διαθέσιμο καύσιμο για τη ναυτιλία που μπορεί να παραχθεί σε σημαντικές ποσότητες και είναι ταυτόχρονα ένα οικονομικό καύσιμο. Το LNG μετά την καύση του τα  $\text{SO}_x$  μειώνονται 92%, τα  $\text{NO}_x$  και τα PM μειώνονται επίσης αρκετά καθώς και οι εκπομπές  $\text{CO}_2$  μειώνονται κατά 25% πράγμα που συμβαδίζει με τις απαιτήσεις του IMO περί των αέριων ρύπων και για τις μειωμένες εκπομπές που πρέπει να έχουν.

Η χρήση LNG στους κινητήρες των πλοίων μπορεί να εξαλείψει τα  $\text{SO}_x$  και να πετύχει σημαντική μείωση των  $\text{NO}_x$ , των σωματιδίων PM και των αερίων του θερμοκηπίου. Το LNG είναι ένα καθαρό και αξιόπιστο καύσιμο με μείωση κατά 25%-30% των εκπομπών του  $\text{CO}_2$  από τα παραδοσιακά καύσιμα. Σε σύγκριση με άλλα καύσιμα υδρογονανθράκων, το φυσικό



αέριο έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και τις χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα για κάθε μονάδα απελευθέρωσης ενέργειας. Το αποτύπωμα του άνθρακα που αφήνουν τα πλοία από την καύση του φυσικού αερίου έχει τη δυνατότητα μείωσης του έως και 24% σε σύγκριση με τα συμβατά ναυτιλιακά καύσιμα.

Ωστόσο, η πραγματική μείωση θα είναι μεταξύ 15-22 % λόγω της ολίσθησης μεθανίου, το οποίο έχει αντίκτυπο στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Επίσης όταν δεν καίγεται όλο το καύσιμο κατά την καύση του στους κινητήρες, το μεθάνιο που είναι το κύριο συστατικό του LNG απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα αύξηση κατά είκοσι τέσσερις φορές στα αέρια του θερμοκηπίου από το CO<sub>2</sub>. [2]

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο επιβάλλεται να αποθηκεύεται σε θέρμο-μονωμένες δεξαμενές διπλού τοιχώματος. Γενικώς η υιοθέτηση του LNG έχει περιβαλλοντικό και οικονομικό πλεονέκτημα μιας και η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι πολύ πιο φθηνή σε σύγκριση με την τιμή των πρώτων υλών άλλων εναλλακτικών καυσίμων.

Το LNG έχει χαμηλή θερμογόνος δύναμη της τάξης των 34 MJ/m<sup>3</sup> σε σύγκριση με το πετρέλαιο που είναι 39 MJ/L, πράγμα που σημαίνει ότι καταναλώνεται περισσότερο καύσιμο LNG για να επιτευχθεί ίδια απόδοση ισχύος με το πετρέλαιο.

Το νορβηγικό οχηματαγωγό-επιβατηγό Glutra το 2000 πρώτο χρησιμοποίησε το LNG ως κύριο καύσιμο και εν συνεχεία αρκετά νορβηγικά πορθμεία και πλοία υιοθέτησαν το LNG ως καύσιμο. Η χρήση LNG ως καύσιμο πλοίων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Το πλεονέκτημα της χρήσης LNG είναι περισσότερο περιβαλλοντικό παρά οικονομικό.

Μπορεί να προσφέρει μέτρια περιβαλλοντικά οφέλη λόγω της διαρροής μεθανίου στην ατμόσφαιρα σε αέρια μορφή κατά την καύση του από μηχανές MEK η οποία διαφέρει ανάλογα τον τύπο του κινητήρα. Αυτό ονομάζεται ολίσθηση μεθανίου και σημερινοί κινητήρες LNG έχουν της τάξης 3% με 6%. Το LNG μπορεί να είναι μια άμεση λύση με μικρή πολιτική παρέμβαση κρατών και θεσμών σύμφωνα με μελέτες σχετικά με τις εκπομπές GHG ανά kWh. Υπολογίστηκε ότι οι μέσες συνολικές εκπομπές GHG είναι 660 gCO<sub>2e</sub> /kWh. Εν συνόλω από την εξόρυξη των πόρων, επεξεργασία, υγροποίηση και μεταφορά και οι εκπομπές που προκύπτουν από την καύση και την ολίσθηση μεθανίου. Οι κινητήρες, στρόβιλοι χρησιμοποιούν σήμερα τέσσερις κύριες τεχνολογίες καύσιμο με διαφορετικά προφίλ εκπομπών, χαρακτηριστικά και απόδοση.

- Ανάφλεξη με σπινθήρα
- Χαμηλής πίεσης διπλού καυσίμου MEK μηχανές
- Υψηλής πίεσης διπλού καυσίμου και
- Στρόβιλος αερίου.

Η Shell LNG έφτιαξε με την Carnival Corporation πιο αθόρυβους κινητήρες για να επιτύχει μειωμένες εκπομπές ρύπων, χωρίς ορατές εκπομπές όπου είναι ένα παράδειγμα επιτυχημένης προσπάθειας τροφοδοσίας από LNG είναι το AIDA Nova το πρώτο κρουαζιερόπλοιο παγκοσμίως που κινείται με LNG και πέτυχε μείωση 98% των εκπομπών SO<sub>x</sub>, 87% στα PM και 85% στα NO<sub>x</sub> καθώς και συνολικά μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με το ναυτιλιακό πετρέλαιο έως 24%.

Λόγω της υψηλής ολίσθησης του μεθανίου μελέτες υποστηρίζουν ότι το LNG ρυπαίνει με αέρια του θερμοκηπίου ενώ ως καύσιμο περιέχει άνθρακα στη μοριακή του φόρμουλα και ως εκ τούτου δεν μπορεί να απελευθερώσει τον άνθρακα κατά την καύση του οπότε μπορεί να βοηθήσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία να επιτύχει τους στόχους της προς τον δρόμο της απανθρακοποίηση με το LNG ως μεταβατικό καύσιμο [23]. Ωστόσο μεταξύ των εναλλακτικών καυσίμων έναντι του πετρελαίου το LNG είναι το πιο παραγωγικό με περίπου τριακόσια πλοία σε λειτουργία και πολλά άλλα υπό παραγγελία κατασκευής. Το 2019 ο νορβηγικός νηογνώμονας είχε επιβεβαιώσει ότι 165 πλοία λειτουργούσαν και 154 ήταν υπό παραγγελία.

| Advantages   | Disadvantages   |
|--|---|
| No sulfur in its molecular formula, hence no SO <sub>x</sub> emissions   | Slip methane (un-combusted methane leak) enhances GHG gains compared to traditional fuels such as MGO and HFO [74,75]   |
| Lower CO <sub>2</sub> emissions because of C:H ratio (25% less compared to diesel or bunker fuel), so can help the industry to decarbonize as a transitional fuel [74] | Still an emitter of CO <sub>2</sub> , hence cannot achieve decarbonization and need to take into account embodied CO <sub>2</sub> (well-to-tank analysis)     |
| Compared to its gaseous state, takes up 600 times less space for storage and transportation [66]   | But special care is required for transportation and storage   |
| Compared to hydrogen and ammonia storage, lower implications in terms of toxicity and safety   | Safety issues (explosion hazard or cold fracture of hull due to low temperatures)   |
| Low NO <sub>x</sub> emissions if low-pressure dual fuel engine is used [74]  | High NO <sub>x</sub> emissions if high-pressure dual fuel engine is used [74]. Depending on engine conditions, CO and unburnt hydrocarbons may increase [76]. |

Πίνακας 4: Συνοψίζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του LNG ως μεταβατικού καυσίμου για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. [7]

## 4.2. Υγραέριο LPG

Το LPG είναι η υγρή φάση του μείγματος προπανίου και βουτανίου. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι 16% μικρότερες από του HFO. Στο LNG ο μεγάλος αποθηκευτικός χώρος που απαιτεί και η ατελής καύση του είναι τα δύο μειονεκτήματα του ενώ η εγκαταστάσεις αποθήκευσης για το LPG είναι πολύ μικρότερες. [4] Εμπεριέχει υδρογονάνθρακες από βουτάνιο και προπάνιο. Το υγραέριο προέρχεται από διύλιση αργού πετρελαίου και στους -50°C βαθμούς ψύξης επιτυγχάνεται η υγροποίηση του και φυσικά απομειώνεται ο όγκος του. Έχει μειωμένες εκπομπές SO<sub>x</sub> όπως και το LNG που συμβάλουν και τα δυο αρκετά στη αέρια ρύπανση περιβάλλοντος και ένα πλεονέκτημα επιπλέον είναι η δυνατότητα τροφοδοσίας των πλοίων στα λιμάνια.

Εκτός από το συμβατικό υγραέριο υπάρχει και το βιολογικό (BioLPG) που έχει ακόμη καλύτερο αποτύπωμα άνθρακα της τάξεως του 79% σε σχέση με το συμβατικό. Παράγεται από ανακυκλώσιμη διαδικασία όπως μικροοργανισμούς αποβλήτων, ζύμωση γλυκόζης και φυτικά έλαια.

Η χρήση του υγραερίου έναντι του μαζούτ έχει το περιβαλλοντικό πλεονέκτημα ότι παράγει μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> όταν χρησιμοποιείται από μηχανές εσωτερικής καύσης.

Φυσικά, το υγραέριο έχει προκλήσεις οι οποίες αναλύονται στην ακόλουθη παράγραφο.

### 4.2.1. Πλεονεκτήματα του υγραερίου

Από περιβαλλοντικής άποψης το υγραέριο μπορεί ήδη να θεωρηθεί ως μια ώριμη εναλλακτική λύση, καθώς συμμορφώνεται με τους κανονισμούς του IMO 2020 και υποστηρίζει τη στρατηγική για την διαδρομή προς μηδέν εκπομπές και προς μια βιώσιμη βιομηχανία. Κατά την καύση του το υγραέριο παράγει μειωμένα 21% NO<sub>x</sub>, μειωμένες εκπομπές SO<sub>x</sub> κατά 98%, και εκπομπές σωματιδίων (PM) 91%. Εν γένει το LPG έχει 14% μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το μαζούτ που λογίζεται μια καλή λύση στον δρόμο προς την απανθρακοποίηση των καυσαερίων των πλοίων.

Αναφερόμενοι στην ασφάλεια το υγραέριο είναι ένα μη τοξικό αέριο, καθιστώντας τον χειρισμό του ευκολότερο και ασφαλέστερο ενώ δεν είναι επιβλαβές για το περιβάλλον σε

τυχόν διαρροή καθώς και στη ολίσθηση μεθανίου που απλά δεν υφίσταται κατά την καύση του όπως έχει το LNG που είναι ένας επιπλέον αέριος ρύπος.

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος υγραερίου (LPG) είναι μειωμένο κατά το ήμισυ σε ένα πλοίο συγκριτικά με το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) για τον κύριο λόγο ότι δεν χρειάζεται ψύξη υπό κρυογονικές συνθήκες διότι έχει υψηλότερο σημείο βρασμού λόγω της σύνθεσης και του τρόπου της διύλισης του. Έτσι το υγραέριο αποθηκεύεται σε χαμηλές πιέσεις, όπου κατά συνέπεια απαιτεί οι δεξαμενές αποθήκευσης του να είναι μικρότερου πάχους στα μεταλλικά μέρη του και όχι τόσο αυστηρή θερμομόνωση άρα δεν απαιτείται κάποιος εξειδικευμένος εξοπλισμός συνεπώς το κόστος συντήρησης τους να είναι λιγότερο.

Σχετικά με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης με υγραέριο, είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση του συστήματος LPG σε σχέση με το LNG. Το κόστος συντήρησης και η αγορά του είναι λιγότερο άρα είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με τη χρήση άλλων εναλλακτικών καυσίμων.

Η διαθεσιμότητα ανεφοδιασμού σε παγκόσμια κλίμακα αριθμεί πάνω από 1500 εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγραερίου σε λιμάνια και 800 εταιρείες να ασχολούνται με την μεταφορά υγραερίου.

#### **4.2.2 Προκλήσεις του υγραερίου**

Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι είναι ένα σχετικά εύφλεκτο αέριο όταν αναμιγνύεται με το οξυγόνο. Απαιτεί αυστηρά μέτρα ασφαλείας στην εγκατάσταση του διότι αναφλέγεται ιδιαίτερα εύκολα και έτσι θα είναι μια ασφαλής λύση για την ναυτιλία να απεξαρτοποιηθεί από τη χρήση μαζούτ. Συγκριτικά με το υγροποιημένο φυσικό αέριο έχουν ίδιο σημείο ανάφλεξης πάντα υπό κανονικές συνθήκες.

Σχετικά με το κόστος εγκατάστασης για χρήση υγραερίου είναι υψηλό διότι χρειάζεται εγκατάσταση δεξαμενών αποθήκευσης υπό πίεση για να μην υπάρξει κίνδυνος κατά την καύση του. Αντισταθμίζεται μελλοντικά βεβαίως με το χαμηλό κόστος συντήρησης που απαιτεί. Η χρήση του ενδείκνυται περισσότερο σε πλοία που κάνουν μικρότερες διαδρομές και αυτά είναι τα επιβατικά πλοία όπου απαιτεί βελτίωση αρκετή η νέα αυτή τεχνολογία.

Ένα επιπλέον κόστος είναι ο ανεφοδιασμός του υγραερίου από τα λιμάνια στα πλοία όπου οι εγκαταστάσεις κοστίζουν πολύ.

Σήμερα το υγραέριο χρησιμοποιείται μόνο σε πλοία που το μεταφέρουν το υγραέριο ως φορτίο και από τις αναθυμιάσεις που εκλύει συλλέγονται και τροφοδοτείται ο ΜΕΚ κινητήρας του. Ένα πλεονέκτημα ακόμη είναι ότι τα υλικά των δεξαμενών αποθήκευσης του υγραερίου είναι συμβατά και με αυτά της αμμωνίας άρα θα είναι σχετικά εύκολο ένα πλοίο να εγκαταστήσει σύστημα χρήσης αμμωνίας μελλοντικά ως καύσιμο χαμηλού άνθρακα με τροποποίηση των κινητήρων τους.

Το υγραέριο γενικώς έχει περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη σχετικά ασφαλές στη χρήση του και φυσικά μια καλή λύση για την απανθρακοποίηση των καυσαερίων των πλοίων.

### 4.3 Μεθανόλη

Η μεθανόλη σε σύγκριση με το μαζούτ και γενικότερα τα παράγωγα πετρελαίου για χρήση σε πλοία εκπέμπει λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Είναι ένα υγρό καύσιμο που μπορεί να αποθηκευτεί εύκολα με χαμηλό σημείο ανάφλεξης, αναμιγνύεται με το νερό εύκολα, βιοδιασπάται, συναντάται σε παγκόσμια κλίμακα η διάθεση της, είναι ένα καύσιμο 100% εναλλακτικό και δεν περιέχει καθόλου θείο στο στοιχείο του. [23]

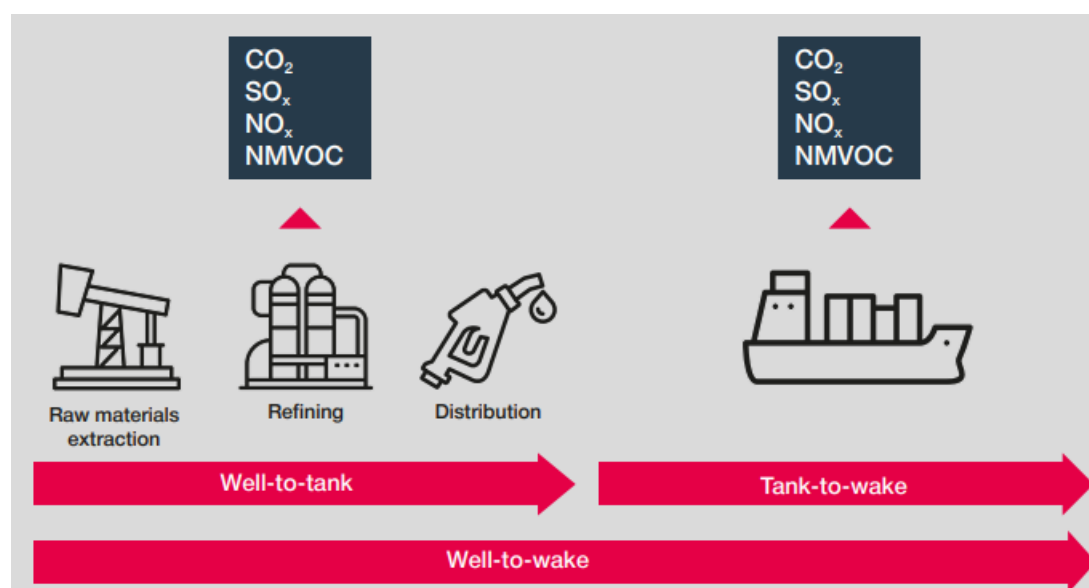
Η μεθανόλη συγκρίνεται με το LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο στο ότι η μεθανόλη είναι υγρή σε τυπική θερμοκρασία και πίεση και συνεπώς είναι ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί. [6]

Παράγεται από διάφορες πηγές ορυκτών καυσίμων δηλαδή γαιανθράκων, από μεθάνιο, φυσικό αέριο και ανανεώσιμες πηγές όπως τα γεωργικά απόβλητα και τα εργοστάσια χαρτιού και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μελλοντικό ναυτιλιακό καύσιμο οδηγώντας σε διαφορετικά επίπεδα τις εκπομπές CO<sub>2</sub> καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Για παράδειγμα, η μεθανόλη που παράγεται από τον άνθρακα εκπέμπει πολύ υψηλότερο CO<sub>2</sub> από τη μεθανόλη με βάση το φυσικό αέριο. Η μεθανόλη έχει την υψηλότερη αναλογία

υδρογόνου προς άνθρακα μεταξύ των υγρών καυσίμων. [1] Η καύση της μεθανόλης παράγει 1.375 kg CO<sub>2</sub> ανά κιλό καυσίμου που καίγεται.

Μπορεί επίσης να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί εύκολα, καθιστώντας το μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία. Οι υπάρχοντες κινητήρες μπορούν να προσαρμοστούν με μέτριες τροποποιήσεις, μειώνοντας το κόστος για μετάβαση στη μεθανόλη. Η χρήση της μεθανόλης στη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ακόμη περιορισμένη, η πρόοδος στην τεχνολογία των κινητήρων ντίζελ και η ανάπτυξη των υποδομών στα λιμάνια για τροφοδότηση μεθανόλης θα υπάρξει ευρύτερη υιοθέτηση στο μέλλον. [1]

Η μεθανόλη θεωρείται πολύ καλό εναλλακτικό καύσιμο λόγω της απλότητας που απαιτεί στο σχεδιασμό του ένας κινητήρα και της τεχνολογίας του πλοίου καθώς και της ταχείας διαθεσιμότητας της χρήσης της υπάρχουσας υποδομής. Μέχρι σήμερα 11 πλοία έχουν τεθεί σε λειτουργία που κινούνται και χρησιμοποιούν μεθανόλη.



Εικόνα 23: Από τη εξόρυξη στην κατανάλωση ενός καυσίμου. [17]

Όταν συζητάμε το προφίλ εκπομπών των ναυτιλιακών καυσίμων αυτά συνήθως υποδιαιρούνται σε well -to -wake (WtW) και εκπομπές από tank-to-wake (TtW).

Το Well to Wake καλύπτει ολόκληρη την αλυσίδα και επιτρέπει προφίλ καθαρών μηδενικών εκπομπών με βιογενή ή συνθετικές πηγές. Το Tank to Wake περιλαμβάνει μόνον τις εκπομπές καυσαερίων επί του πλοίου και επιτρέπει προφίλ μηδενικών εκπομπών.

Για τις εκπομπές GHG, δηλαδή CO<sub>2</sub>, στο TtW βλέπουμε μείωση μόνο 5%. Όταν εξετάζουμε το WtW, αυτό εξαρτάται από την πρώτη ύλη και τον τρόπο παραγωγής όπως μεθανόλη από ορυκτές πηγές θα έχει σημαντικά χειρότερο αποτύπωμα, αλλά η βιογενές και η συνθετική μεθανόλη (δηλαδή ανανεώσιμη ενέργεια συν πράσινο υδρογόνο συν CO<sub>2</sub> από βιοαέριο ή άμεση σύλληψη αέρα) θα μπορούσε να επιτευχθεί εξοικονόμηση αερίων του θερμοκηπίου σε βάση WtW έως και 90%.

Αυτό καθιστά σαφές ότι προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές GHG, η ναυτιλία πρέπει να στοχεύει στη συνθετική («πράσινη») μεθανόλη και σε μπλε μεθανόλη ή υβρίδια όπως η μεθανόλη χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα ως ενδιάμεσο βήμα. Τρέχων τρόποι παραγωγής μεθανόλης προέρχεται κατά 65% από φυσικό αέριο ("γκρίζο") και 35% από άνθρακα («καφέ»)

Η μεθανόλη προσφέρει μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> κατά 25% σε σύγκριση με το μαζούτ (HFO). Επιπρόσθετα η μεθανόλη μπορεί να μειώσει τις εκπομπές των οξειδίων του θείου SO<sub>x</sub> κατά 99%, των οξειδίων του νατρίου NO<sub>x</sub> κατά 60% και των PM κατά 95%. Ωστόσο, η μεθανόλη μπορεί επίσης να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως βιομηχανικά απόβλητα, αστικά απόβλητα, βιομάζα καθώς και με δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα (CCS). Όλοι αυτοί οι τρόποι επιδρούν στο να μειωθούν σημαντικά τα καυσαέρια του θερμοκηπίου (GHG) που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Έχει σχετικά χαμηλό σημείο ανάφλεξης, είναι τοξική και οι ατμοί της είναι πιο πυκνοί από του αέρα [23].

Η μεθανόλη έχει δυνατότητες να χρησιμοποιηθεί καθώς απαιτεί απλούστερο χειρισμό, έχει χαμηλότερο κόστος επένδυσης και είναι μια καλή επιλογή ως καύσιμο διότι έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και καθόλου θείο. Διεθνώς η μεθανόλη έχει μια τεράστια ανάπτυξη στην παραγωγή της. [23]

Η εταιρεία Stena Line κατασκεύασε το 2014 το Stena Germainca το πρώτο πλοίο με χρήση μεθανόλης στον κόσμο και μείωσε τις εκπομπές του οξειδίου του θείου κατά 98%, οξειδίου του αζώτου κατά 62%, σωματιδίων κατά 95%, και του διοξειδίου του άνθρακα κατά 25%, τηρώντας έτσι τα πρότυπα των περιοχών ελέγχου εκπομπών στο ταξίδι του στη Βαλτική Θάλασσα.

Το ενδιαφέρον για τη μεθανόλη ως ναυτιλιακό καύσιμο αυξήθηκε και το 2018 όπου υπήρχαν επτά πλοία με καύσιμο μεθανόλης σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο.

Το πλοίο METHARU χρονολογείται από το 2006–2009 που χρησιμοποίησε μεθανόλη με το πιο πρόσφατο πλοίο που είναι το SUMMETH το 2018 όπου στοχεύει στη διερεύνηση της καύσης μεθανόλης σε μικρότερους ναυτιλιακούς κινητήρες περίπου 250–1200 kW ώστε να προτείνει βιώσιμες επιλογές για τη διείσδυση στην αγορά ναυτιλιακών καυσίμων της μεθανόλης από ανανεώσιμες πηγές. Οι εκπομπές SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, και τα PM έχουν αναφερθεί ότι είναι χαμηλότερα σε πλοία που κινούνται με μεθανόλη. Μια δοκιμή εκπομπών στον ναυτικό κινητήρα Vasa 32 έδειξε ότι οι εκπομπές NO<sub>x</sub> ήταν 3–5 g/kWh που εκπέμπονταν από τον κινητήρα όταν τροφοδοτούνταν με μεθανόλη, ενώ με χρήση MGO ήταν περίπου 11,8 g/kWh.

NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, και CO<sub>2</sub> μειώθηκαν κατά 95%, 99% και 7% από μεθανόλη σε σύγκριση με το HFO 380. Έτσι, η καύση μεθανόλης στα πλοία έχει αποδειχθεί ότι συμμορφώνεται με τον κανονισμό των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών. Ωστόσο, οι εκπομπές GHG από μη ανανεώσιμη μεθανόλη όπου προέρχεται από φυσικό αέριο είναι 10% υψηλότερες από τις HFO και MDO. Από την άλλη πλευρά, εάν χρησιμοποιηθεί ανανεώσιμη μεθανόλη από πρώτη ύλη βιομάζας, ο αντίκτυπος του GHG μπορεί να είναι περίπου 56% χαμηλότερος από αυτόν του HFO. Από οικονομικής άποψης οι επενδύσεις σε μεθανόλη είναι σχετικά χαμηλές σε σύγκριση με το LNG. Είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος με το MGO, υπό την προϋπόθεση ότι η τιμή σε βάση ενεργειακής ισοδυναμίας είναι χαμηλότερη.

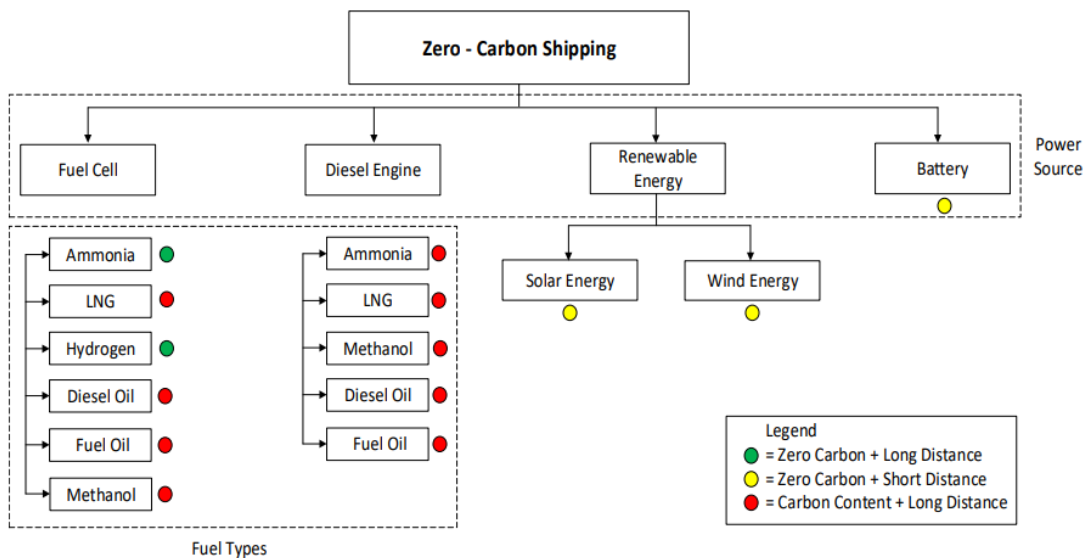
Ως άλλο παράδειγμα στα πλαίσια του προγράμματος Effship αξιολόγησαν διάφορες τεχνικές λύσεις και καύσιμα πλοίων που θα είναι ικανά να πληρούν τους κανόνες μείωσης των εκπομπών του οξειδίου του θείου SO<sub>x</sub> και του οξειδίου του αζώτου NO<sub>x</sub> «βραχυπρόθεσμα» (2015–2016), καθώς και στόχους μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου «μεσοπρόθεσμα» (2030) και «μακροπρόθεσμα» (2050). Συμπέραναν ότι η μεθανόλη είναι το καλύτερο εναλλακτικό καύσιμο λαμβάνοντας υπόψη την άμεση διαθεσιμότητα, τη χρήση της υπάρχουσας υποδομής, την τιμή και την απλότητα σχεδιασμού του κινητήρα και της τεχνολογίας πλοίων που απαιτείται. [23]

Η μεθανόλη μπορεί να δημιουργηθεί από μια μεγάλη ποικιλία πηγών, όπως το φυσικό αέριο, μέσω της καταλυτικής υδρογόνωσης ρεύματος αποβλήτων διοξειδίου του άνθρακα ή ακόμα και από βιομάζα. Όταν χρησιμοποιείται βιομάζα ως πρώτη ύλη, οι παραγόμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα θεωρούνται βιογενείς και μπορούν να αφαιρεθούν. Στις



μέρες μας, η ετήσια παραγωγή μεθανόλης προβλέπεται πάνω από 100 εκατομμύρια τόνους και η πλειονότητα αυτής της παραγωγής δεν είναι ανανεώσιμη και προέρχεται από άνθρακα και φυσικό αέριο. Το κόστος παραγωγής μεθανόλης από ορυκτά καύσιμα είναι 1,6 έως 4,1 φορές μεγαλύτερο από την μεθανόλη που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Οι προοπτικές χρήσης και διάθεσης της μεθανόλης ως ναυτιλιακού καυσίμου στα λιμάνια ανά τον κόσμο σε σταθερή προσφορά θα μπορούσε να είναι εφικτή. Οι νηογνώμονες έχουν θέσει ήδη κανόνες για τη μεθανόλη ως καύσιμο πλοίων. [3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ



Εικόνα 24: Καύσιμα μηδενικών εκπομπών (CO<sub>2</sub>) διοξειδίου του άνθρακα [3]

### 5.1. Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα είναι μια εκ των λύσεων στα ναυτιλιακά καύσιμα που έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Γεγονός που σημαίνει ότι οι υπάρχον κινητήρες απαιτούν πολύ μικρή τροποποίηση για να λειτουργήσουν με βιοκαύσιμα. Θεωρούνται βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις για το άμεσο και μεταγενέστερο μέλλον.

Παράγονται από οργανικά απόβλητα δηλαδή φυτικά και ζωικά απόβλητα. [8,22] Το καθαρό φυτικό έλαιο (SVO), το υδροκατεργασμένο φυτικό έλαιο (HVO), ο μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων (FAME) και η βιοιθανόλη είναι παραδείγματα συμβατικών βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς που είναι εύκολα διαθέσιμα σε μεγάλους αριθμούς σήμερα. Ωστόσο, λόγω των ανησυχιών για τη βιωσιμότητα που σχετικά με την μεγάλη παραγωγή, τα παραδοσιακά βιοκαύσιμα αποτελούν παγκόσμιο ζήτημα. Οι κύριες πηγές βιοκαυσίμων μέχρι πρότινος ήταν από σάκχαρα και έλαια φυτικής προέλευσης όπως φοίνικες, σόγια και κραμβόσπορο την γνωστή ελαιοκράμβη. Η Ευρωπαϊκή Τεχνολογική Πλατφόρμα Βιοκαυσίμων διαχωρίζει σε τρεις γενιές τα βιοκαύσιμα, όπου οι δύο τελευταίες θεωρούνται προηγμένα βιοκαύσιμα ανάλογα την πηγή άνθρακα που χρησιμοποιούν.

- Πρώτη Γενιά: Ο άνθρακας του βιοκαύσιμου είναι το άμυλο που εξάγεται απευθείας από φυτά, λιπίδια και η ζάχαρη.

Συμβατικά βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς έχουν υποστεί επεξεργασία με υδρογόνο, βιοντίζελ και βιοιθανόλη προερχόμενα από φυτικό λάδι, φυτικό έλαιο και είναι ευρέως διαθέσιμα. Έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω ανησυχιών για την καθαρότητα των ρύπων τους.

Τα προβλήματα που έχει η πρώτη γενιά μπορούν να μετριαστούν από τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αλλά αυτά αντιμετωπίζουν τεχνολογικά και οικονομικά εμπόδια. Μία λύση είναι τα χρησιμοποιημένα λάδια όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν να μετριάσει αυτά τα προβλήματα, αλλά δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της μαζικής παραγωγής.

- Δεύτερη γενιά: Ο άνθρακας τους προέρχεται από λιγνίνη και πηκτίνη, κυτταρίνη και ημικυτταρίνη και προέρχονται από δασοκομικά ή γεωργικά απόβλητα ή υπολείμματα που καλλιεργούνται για τον σκοπό αυτό.

Τα δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα όπως το FT- Diesel και το πετρέλαιο πυρόλυσης βοηθούν στην μείωση των αερίων του θερμοκηπίου GHG περισσότερο. Με τους παρόν ναυτικούς κινητήρες υπάρχει συμβατότητα που απαιτεί μικρές αλλαγές και στην υπάρχουσα υποδομή

αποθήκευσης και ανεφοδιασμού. Άλλα καύσιμα δεύτερης γενιάς, όπως η βιομεθανόλη, η αιθανόλη LC, το DME και το βιο-LNG απαιτούν μετατροπές στην αποθήκευσης και στους κινητήρες.

- Τρίτη Γενιά: Ο άνθρακας του βιοκαυσίμου προέρχεται από φύκια δηλαδή από υδρόβιους αυτότροφους οργανισμούς. Το διοξείδιο του άνθρακα, το φώς και τα θρεπτικά συστατικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της πρώτης ύλης. [23]

Είναι εξαιρετική λύση για τον ναυτιλιακό τομέα και η πιο βιώσιμη επιλογή ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, έχουν πολύ χαμηλά επίπεδα θείου και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>, ως εκ τούτου αποτελούν μια «πράσινη» λύση σε αντικατάσταση των καυσίμων με πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO) και για το μαζούτ με εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο Ultra Low Sulphur Fuel Oil (ULSFO).

Τα βιοκαύσιμα είναι επί του παρόντος είναι μια εναλλακτική λύση πετυχαίνοντας ανάμειξη με βενζίνη όπου αναμειγνύεται με βιοαιθανόλη και το πετρέλαιο όπου αναμειγνύεται με βιοντίζελ.

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα προηγμένα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιεί η διεθνής ναυτιλία είναι το ντίζελ Fischer-Tropsch (FT-Diesel), η βιομεθανόλη, βιο-LNG, το λάδι πυρόλυσης, η λιγνοκυτταρινική αιθανόλη (LC Ethanol) και ο διμεθυλαιθέρας από βιομεθανόλη.

Σε σύγκριση με τα βιοκαύσιμα πρώτης και δεύτερης γενιάς, τα τρίτης γενιάς παράγουν λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αλλά είναι πιο ακριβά [6]

Δε μπορούν να ανταγωνιστούν εναλλακτικές λύσεις ορυκτών καυσίμων έως ότου εφαρμοστεί μια σημαντική στρατηγική μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, όπως ο φόρος άνθρακα. Ακόμη και τότε, πρέπει να γίνεται διαχείριση των πόρων για να διασφαλιστεί ότι οι αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργία και στην επάρκεια πόρων σίτισης περιορίζονται στο ελάχιστο.

Ωστόσο, η χρήση και η εμπειρία στη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ελλείψεις σχετικά με το χειρισμό τους και τον ανεφοδιασμό των πλοίων και αυτή ακριβώς είναι η πρόκληση με τα βιοκαύσιμα είναι ότι υπάρχει μικρή εμπειρία και γνώση.

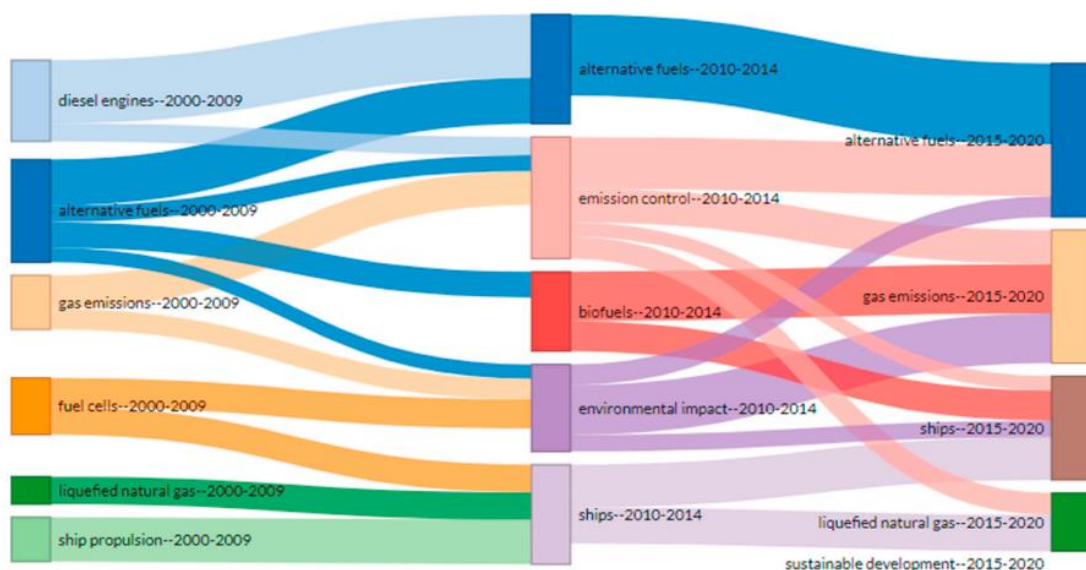
Η βιομηχανία της ναυτιλίας πρόσφατα τα τελευταία χρόνια άρχισε να πειραματίζεται με τη συμβατότητα των κινητήρων και τις ιδιότητες των καυσίμων με διάφορα είδη βιοκαυσίμων

και επίσης κατασκευάζοντας ερευνητικά προγράμματα για την ανάμειξη βιοντίζελ πρώτης γενιάς με συμβατικά καύσιμα. Σήμερα έχουν αρχίσει να πωλούνται βιοκαύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντικατάσταση του μαζούτ με μειωμένη τιμή των βιοκαυσίμων αυτών για την ευρύτερη χρήση τους. Οι κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων εστιάζουν στην ανάπτυξη νέων κινητήρων ικανών να λειτουργούν με διάφορα εναλλακτικά καύσιμα χωρίς να απαιτείται περαιτέρω τροποποίηση.

Μια άλλη πρόκληση είναι η τεράστια ποσότητα βιοκαυσίμων που απαιτείται για τον εφοδιασμό των πλοίων και που σήμερα είναι περιορισμένη λαμβάνοντας υπόψη την τιμή των τροφίμων και τους φυσικούς πόρους, τη καλλιέργεια της γης και την διαθεσιμότητά της καθώς επίσης και τις κοινωνικές συνθήκες. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την αποθήκευση των βιοκαυσίμων και τη σταθερότητα στην οξείδωση που προκαλούν τα βιοκαύσιμα. Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, τα βιοκαύσιμα έχουν υψηλότερο κόστος και αυτό αναμένεται να παραμείνει τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα. Ωστόσο, η βελτίωση τεχνολογίας των κινητήρων και μπορεί να συμβάλει στα μείον που έχουν τα βιοκαύσιμα.

Το βιοντίζελ δεν έχει θείο επομένως έχει πολύ χαμηλή συγκέντρωση θείου ίση με 20 ppm επίσης εκπέμπει λιγότερα οξείδια του αζώτου και σωματίδια PM [2].

Σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα τα περιβαλλοντικά οφέλη των διαφόρων βιοκαυσίμων έχουν αναφερθεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Σε σύγκριση με το βαρύ μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο της τάξεως του 1%, το βιοντίζελ FAME σε μία αργόστροφη ναυτική μηχανή μείωσε τις εκπομπές PM 74%, τους ρύπους SOx κατά 88% και οι εκπομπές των NOx αυξήθηκαν κατά 14%.



## 5.2 Υγρά βιοκαύσιμα

Τα υγρά βιοκαύσιμα έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται σε κινητήρες συμπίεσης ή και ανάφλεξης με σπινθήρα και είναι εφαρμόσιμα σε οποιονδήποτε τύπο πλοίου. Ένας κινητήρας ανάφλεξης με σπινθήρα μπορεί να κάψει μείγμα έως και 10% βιοαιθανόλη (E10) και ένας κινητήρας ανάφλεξης με συμπίεση μπορεί να κάψει μείγμα έως και 21% βιοντίζελ (B21) χωρίς προσαρμογές. Για μείγματα καυσίμων μεταξύ E10 και E85 ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του κινητήρα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με αισθητήρα καυσίμου προκειμένου να προσδιορίζει την αναλογία αιθανόλης στο μείγμα του. Για μεγαλύτερη αναλογία από E85 η απόδοση των κινητήρων είναι κακή.

Οι κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση λειτουργούν με μείγματα B20 και B100 πράγμα που σημαίνει 100% βιοντίζελ και χωρίς να απαιτεί μετασκευή του κινητήρα χωρίς να μειώνεται η απόδοσης του κινητήρα με μεγάλη προσοχή βέβαια να έχουν τα σωστά ιξώδες τα βιοκαύσιμα αυτά.

Στα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς έχουν γίνει δοκιμές από την Maersk με το πλοίο Maersk Kalmar, όπου η συνεργάστηκε με το Αμερικάνικο ναυτικό για δοκιμή βιοκαυσίμων 100% προερχόμενα από φύκια. Η δοκιμή περιελάμβανε δοκιμή μιγμάτων καυσίμου από 7% έως 100% στον βοηθητικό κινητήρα μέσω ενός ταξιδιού ~ 6500 ναυτικών μιλίων από τη Βόρεια Ευρώπη στην Ινδία. [23]

## 5.3. Βιοντίζελ

Για το βιοντίζελ η κύρια πρώτη ύλη είναι το σογιέλαιο και μετά το φοινικέλαιο, τα ηλιέλαιο και τα απόβλητα από μαγειρικά έλαια. Η Caterpillar ξεκίνησε μεγάλη έρευνα , η Cummins και η MAN για δοκιμές στους κινητήρες τους με βιοντίζελ και παρέχουν μίγματα 30%, 5–

20% και έως 100% κλάσματος βιοντίζελ για τους σύγχρονους ναυτικούς κινητήρες ντίζελ τους.

Το βιοντίζελ αναμιγνύεται σε οποιαδήποτε αναλογία σε ναυτική μηχανή προς καύση χωρίς να απαιτείται αλλαγή στο υλικό κατασκευής. Το βιοντίζελ μπορεί να αναμιχθεί με λιπαντικά επίσης και με παράγωγα πετρελαίου. Ορισμένες αναφορές υποδηλώνουν ότι το βιοντίζελ μειώνει τις εκπομπές ρύπων όταν καίγεται απευθείας ή αναμιγνύεται με άλλα ναυτιλιακά καύσιμα. Επιπλέον, οι βασικές ιδιότητες του βιοντίζελ ως καύσιμο είναι ανώτερες από τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων και η καύση του θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτιωμένες επιδόσεις και χαρακτηριστικά καύσης. Η πιο κοινή πρακτική για την εφαρμογή βιοντίζελ είναι ως πρόσθετο όπου ρίχνεται απευθείας στις δεξαμενές καυσίμου. Ωστόσο, μπορούν να αντικαταστήσουν το marine πετρέλαιο πλοίων (MGO) σε ναυτικούς αργόστροφους δίχρονους κινητήρες ντίζελ καθώς και μεσόστροφους. Τα κύρια μειονεκτήματα του βιοντίζελ ώστε να εδραιωθεί η χρήση του ως ναυτιλιακό καύσιμο αναφέρεται στο αμφιλεγόμενο ζήτημα τροφίμων έναντι των καυσίμων, την αντίσταση του βιοντίζελ κατά της οξείδωσης, τη συμβατότητα υλικών, το υψηλό κόστος παραγωγής, τις ιδιότητες ψυχρής ροής και την έλλειψη ποιότητας στις προδιαγραφές του. [6]

#### **5.4. Βιοαέριο**

Το βιοαέριο είναι ένας ανανεώσιμος πόρος ενέργειας που αποτελείται από έναν συνδυασμό μεθανίου, CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων και παράγεται από την επεξεργασία οργανικών υλικών όπως ζωικά απορρίμματα και υπολείμματα τροφίμων. Το βιοαέριο δημιουργείται μέσω της αναερόβιας χώνευσης όπου είναι μια διαδικασία όπου τα απόβλητα διασπώνται σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο. Η σύνθεσή του εξαρτάται κάθε φορά ανάλογα την παραγωγή του και την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Μετά την αναερόβια χώνευση παράγεται μεθάνιο τις τάξεις του 50% με 70% και το υπόλοιπο 30% διοξείδιο του άνθρακα. Και εν συνεχεία αν γίνει βιομεθάνιο μπορεί εύκολα να αντικαταστήσει το LNG. [4]

Να αναφερθεί ότι ενεργειακή απόδοση του βιοαερίου εξαρτάται από την προέλευση της πρώτης ύλης και τον τρόπο παραγωγής του.

#### **5.5. Βιομεθάνιο**

Το βιομεθάνιο ονομάζεται και υγροποιημένο ανανεώσιμο φυσικό αέριο. Δημιουργείται από την αναβάθμιση κλάσης του βιοαερίου καθώς και με την απομεθανοποίηση της βιομάζας έτσι θεωρείται καύσιμο με μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα στον κλάδο της ναυτιλίας και γενικότερα στον κλάδο των μεταφορών.

Το (LBG ) Liquefied biogas σημαίνει υγροποιημένο βιοαέριο ονομάζεται επίσης και υγροποιημένο βιομεθάνιο και BioLNG όπου έχει την δυνατότητα να αναμιγνύεται με LNG αφού και τα δυο αποτελούνται από μεθάνιο. Αναμιγνύοντας τα δύο καύσιμα αυτά η ποσότητα του CO<sub>2</sub> που εκλύεται στην ατμόσφαιρα είναι μειωμένη 90% σε σχέση με το μαζούτ διότι απελευθερώνονται μόνο υδρατμοί αφού προέρχονται από βιοδιασπώμενη ύλη. Εάν το ψύξουμε το βιοαέριο στους -163°C σαν αποτέλεσμα έχει να υγροποιείται και να συμπυκνώνεται 602 φορές που βοηθάει πολύ στην πράξη στην αποθήκευση και στη χρήση πάνω σε ένα πλοίο και φυσικά το καθιστά οικονομική λύση.

#### **5.5.1. Πλεονεκτήματα του Βιομεθανίου**

Το βιομεθάνιο είναι εύκολο να βρεθεί σε μεγάλες ποσότητες λόγω της πρώτης ύλης που αποτελείται και της διαδικασίας παραγωγής του. Έτσι πολλά λιμάνια θα μπορούν τροφοδοτούν τα πλοία ανά τον κόσμο επιτρέποντας την εύκολη παροχή καυσίμων για πλοία που καταναλώνουν οι κινητήρες τους βιομεθάνιο. Εκτός αυτού, η αποθήκευση του βιομεθανίου μπορεί να πραγματοποιηθεί απροβλημάτιστα σε δεξαμενές LNG, καθώς και τα δύο αποτελούνται από ίδια μόρια και δεν υπάρχει πρόβλημα συμβατότητας. Βέβαια το βιομεθάνιο δεν είναι ορυκτό σαν το φυσικό αέριο μιας και έχουν ίδια αποδοτικότητα και παράγεται από την διεργασία αναβάθμισης βιοαερίου με την αύξηση της θερμογόνου δύναμης έτσι αφαιρείται το CO<sub>2</sub>.

Το βιομεθάνιο όταν καίγεται αποβάλλει σχεδόν το 98% NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, και σωματιδίων PM, ενώ μειώνεται έως και 88% το CO<sub>2</sub>, σε σύγκριση με τις εκπομπές του μαζούτ (HFO). Το βιομεθάνιο έχει υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα το υγροποιημένο φυσικό αέριο και σχεδόν ίδια τιμή με το μαζούτ. Οι κανονισμοί του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) και του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO), το καθιστούν τέλεια εναλλακτική «πράσινη» λύση καθώς πληροί τις απαιτήσεις τους .

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι η καύση του βιομεθανίου μπορεί να γίνει απροβλημάτιστα σε υπάρχον κινητήρες εσωτερικής καύσης, γεγονός που δεν απαιτεί από

τους πλοιοκτήτες να επενδύσουν υπέρογκα ποσά για τυχόν μετασκευές ή και ακόμη για την παραγγελία νέων πλοίων με τυχόν εξειδικευμένο εξοπλισμό.

Το βιομεθάνιο σε σχέση με το LNG δεν είναι ορυκτό καύσιμο συνεπώς η παραγωγή του είναι πιο «πράσινη» και συχνά αναμειγνύεται με το LNG κατά την καύση στους κινητήρες MEK ώστε να επέλθει απανθρακοποίηση σταδιακά καθώς δεν υπάρχουν τεχνικοί περιορισμοί. [4]

### **5.5.2. Προκλήσεις του Βιομεθανίου**

Ένα βασικό μειονέκτημα του βιομεθανίου είναι ότι δεν υπάρχουν εκτεταμένες μελέτες σχετικά με την αξιοπιστία του και το καθιστεί μια ανώριμη τεχνολογία ως προς την αποτελεσματικότητά του και δεύτερον απαιτεί μεγάλες δεξαμενές για την αποθήκευση του πράγμα που μειώνει τη χωρητικότητα για φορτίο. Παρόλα αυτά θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη βιώσιμη λύση για την ναυτιλία για την απανθρακοποίηση των καυσαερίων τους. Σήμερα παράγεται στην Αμερική και στην Ευρώπη και όχι μαζικά πράγμα που δυσχεραίνει τα πλοία στον ανεφοδιασμό τους στα ποντοπόρα ταξίδια τους και γενικώς το βιομεθάνιο είναι μια ακριβή λύση σε σχέση με τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα.

### **5.6. Αιθανόλη**

Η αιθανόλη είναι ένα υγρό καύσιμο όπου η βάση του είναι η αλκοόλη που παράγεται γενικώς από καλλιέργειες όπως καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο και λοιπές ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Εν συγκρίσει με τα ορυκτά καύσιμα παράγει όταν καίγεται λιγότερα SOX και PM. Συνεπώς θεωρείται μια υποσχόμενη λύση για την χρήση της ως εναλλακτικό ναυτιλιακό βιοκαύσιμο με τη σχετική τροποποίηση των κινητήρων και των λεβήτων για να μπορέσουν να λειτουργήσουν με καύσιμο την αιθανόλη. Η αιθανόλη και η μεθανόλη δεν είναι καύσιμα μηδενικών εκπομπών διότι εκλύουν CO<sub>2</sub> και δεν είναι τόσο ενεργειακά πυκνά όσο τα συμβατά ναυτιλιακά καύσιμα, πράγμα που σημαίνει ότι τα πλοία πρέπει να καταναλώνουν περισσότερα καύσιμα για να διανύσουν την ίδια απόσταση. Μεγάλη πρόκληση αποτελεί η



έλλειψη υποδομών στην τροφοδοσία στα λιμάνια παγκοσμίως για να διευρυνθεί η χρήση της αιθανόλης και της μεθανόλης ως ναυτιλιακό καύσιμο.

### 5.7. Αμμωνία

Για να παραχθεί αμμωνία γίνεται μέσω της διαδικασίας υψηλών θερμοκρασιών και καταλύτη που συνδυάζει υδρογόνο και άζωτο. [8] Η πράσινη αμμωνία παράγεται με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική ενέργεια η οποία δίνει στην αμμωνία ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με την παραγωγή από μαζούτ. Ωστόσο, δεν είναι ακόμη ανταγωνιστική η παραγωγή πράσινης αμμωνίας από πλευράς κόστους σε σύγκριση με τη συμβατή αμμωνία διότι η παραγωγή της περί το 89% βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα όπως το φυσικό αέριο [8].

Ο παραγωγός πράσινης αμμωνίας Yara σχεδιάζει να κατασκευάσει έως το 2025 στο εργοστάσιο του σύνθεση πράσινης αμμωνίας επόμενης γενιάς που θα χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια.

Η αμμωνία εν συγκρίσει με το υδρογόνο αποθηκεύει περισσότερο υδρογόνου σε υγρή μορφή χωρίς την ανάγκη χρήσης κρυογονικής αποθήκευσης στους  $-33^{\circ}\text{C}$  για την αμμωνία σε σύγκριση με τους  $-253^{\circ}\text{C}$  που χρειάζεται το υδρογόνο. [8]

Το πλεονέκτημα της αμμωνίας είναι η απουσία ατόμων άνθρακα και θείου στον χημικό τύπο της γεγονός που σημαίνει ότι συμβάλλει στην απανθρακοποίηση που έχει θέσει ο IMO για την ναυτιλία.[6]

Η αμμωνία υπάρχει στη φύση και χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή πλαστικών, εκρηκτικών, λιπασμάτων και μια μεγάλη ποικιλία άλλων βιομηχανικών εφαρμογών όπως των συνθετικών ινών.

Η επονομαζόμενη διαδικασία Haber Bosch χρησιμοποιείται στην εμπορική παραγωγή αμμωνίας που συνδυάζει υδρογόνο και άζωτο με τη βοήθεια υψηλών θερμοκρασιών πιέσεων και καταλυτών αζώτου και υδρογόνου. [22]

Η μικτή χρήση της αμμωνίας με μαζούτ προσφέρει μείωση κατά 28% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά τόνο και χιλιόμετρο μεταφοράς. Ενώ η αμμωνία που παράγεται από αιολική ενέργεια ως διπλό καύσιμο όπου η αναλογία αμμωνίας προς

υδροφθοροοκτάνιο είναι μοιρασμένη 50/50, έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 34,5 % ανά τόνο. [4]

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση της χρήση της αμμωνίας ως εναλλακτικού καυσίμου λόγω της καθαρής ενέργειας που έχει. Η παραγωγή παγκοσμίως της αμμωνίας ήταν 187 Mt για το 2020 και το 86 % χρησιμοποιήθηκε έμμεσα ή άμεσα στη γεωργία ως ποικιλία χημικών λιπασμάτων. Η αμμωνία επειδή δεν περιέχει άνθρακα όταν καίγεται παράγει υποπροϊόντα που είναι μόνο νερό και άζωτο. Ως καύσιμο η αμμωνία δεν απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα οξείδια του θείου, διοξείδιο του άνθρακα και σωματίδια.[4] Αυτό καθιστά την αμμωνία ένα ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο.

Ένα από τα τρία συνηθέστερα χημικά που μεταφέρονται με πλοία και ως εκ τούτου υπάρχουν γνωστά συστήματα αποθήκευσης και παράδοσης είναι η αμμωνία. Η αμμωνία αποθηκεύεται σε χαμηλότερη πίεση και υψηλότερη θερμοκρασία από το LNG και το υγροποιημένο υδρογόνο, μεταφέρεται και αποθηκεύεται ευκολότερα και στοιχίζει λιγότερο από το υδρογόνο ενώ έχει υψηλότερη ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας. Η ανάπτυξη των υποδομών ανεφοδιασμού του καυσίμου αυτού είναι το σημαντικότερο σήμερα . [6]

Το κόστος που απαιτείται για την αποθήκευση της αμμωνίας είναι πολύ πιο φθηνό σε σύγκριση με του υδρογόνο, παρά το γεγονός ότι η θερμογόνος δύναμη και των δύο καυσίμων είναι παρόμοια. Όπως το υδρογόνο έτσι και η αμμωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε πετρελαιοκινητήρες καθώς και σε κυψέλες καυσίμου που σημαίνει ότι η αμμωνία είναι πολύ ελκυστική και ανταγωνιστική επιλογή.[8]

Η αμμωνία είναι αέριο με έντονη οσμή άχρωμη και μπορεί να ανιχνευθεί στον αέρα από τον άνθρωπο σε συγκέντρωση από 5 ppm και πάνω. Εξατμίζεται ακαριαία επειδή είναι ελαφρύτερη από τον αέρα, είναι τοξική όπου η δομή της έχει μια ένωση χωρίς άνθρακα όπου αποτελείται από ένα άτομο αζώτου και τρία άτομα υδρογόνου. Είναι φορέας ενέργειας υδρογόνου με περιεκτικότητα σε υδρογόνο 18% κ. β και η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα της υγρής αμμωνίας είναι ανώτερη από αυτή του υγρού υδρογόνου. [3]

Το 82% της παραγόμενης αμμωνίας χρησιμοποιείται για λίπασμα και το υπόλοιπο για συνθετικές ίνες, ρητίνες, πλαστικά, εκρηκτικά, ψυκτικά και ορισμένες χημικές ουσίες. Το 2019 η παγκόσμια ετήσια παραγωγή αμμωνίας ήταν 150 εκατομμύρια τόνοι

Πριν από 101 χρόνια ο Fritz Haber και ο Carl Bosch εφεύραν την παραγωγική (H-B) διαδικασία για να δημιουργήσουν αμμωνία. Αυτή η μέθοδος ισχύει ακόμη και σήμερα

Οι κύριες πρώτες ύλες για την παραγωγή υδρογόνου στη διαδικασία σύνθεσης αμμωνίας είναι ο άνθρακας 21%, το φυσικό αέριο (73%), το μαζούτ (1%), η νάφθα (1%), το αέριο διυλιστηρίου και το αέριο κοκ (1%), το άζωτο παράγεται με αέρα σε κρουγονική απόσταξη, με διαχωρισμό πολυμερικής μεμβράνης και μεθόδους απορρόφησης αιώρησης πίεσης.

Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η τοξικότητα της αμμωνίας για την αποθήκευση και την χρήση της σε ένα πλοίο. Η αμμωνία είναι τρεις φορές πιο τοξική από τη βενζίνη και τη μεθανόλη όπου η διαρροή της στη θάλασσα μπορεί να θέσει σοβαρούς κινδύνους για την υδρόβια ζωή. Η αμμωνία διαλύεται στο νερό και σχηματίζει υδροξείδιο του αμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) και αμμώνιο ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ), είναι βιοαποικοδομήσιμη μακροπρόθεσμα, αλλά η άμεση έκθεση προκαλεί βλάβες και θανατηφόρες συνέπειες στους οργανισμούς. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της αμμωνίας είναι ότι είναι ασυμβίβαστη με ορισμένες ουσίες, διαβρωτική σε κράματα μαγνησίου, αλουμινίου, ορείχαλκου, χαλκού, και ψευδαργύρου. Επιπλέον, η αμμωνία δεν είναι εύφλεκτη σε σύγκριση με άλλα πιθανά εναλλακτικά καύσιμα πλοίων. Η αμμωνία έχει ένα στενό εύρος αναφλεξιμότητας 15% με 26% κ.ο στον αέρα και 2 με 3 φορές περισσότερο αναφλέξιμη από τα συμβατικά καύσιμα υδρογονανθράκων και τέσσερις φορές χαμηλότερος από το μεθάνιο ρυθμός καύσης. Ωστόσο, η αμμωνία είναι μια πολύ γνωστή ουσία στα καράβια καθώς χρησιμοποιείται ως ψυκτικό υγρό.

Έως σήμερα έχει μεταφερθεί ως φορτίο υγροποιημένου αερίου από πλοίο και αναπτύχθηκαν οι διαδικασίες και τα μέτρα ασφαλείας για την αποθήκευση και τη χρήση της στο πλοίο.

Η αμμωνία προτιμάται ως καύσιμο στις κυψέλες καυσίμου λόγω της ικανότητας μεταφοράς υδρογόνου. Οι κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου Solid Oxide Fuel Cells (SOFCs) καθώς και οι αλκαλικές κυψέλες καυσίμου Alkaline Fuel Cells (AFC) έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν αμμωνία απευθείας στις στοιβάδες τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα AFC επηρεάζονται από το  $\text{CO}_2$  στον αέρα λόγω χαμηλής αντοχής και τα SOFC

έχουν ευελιξία καυσίμου και ικανότητα υψηλής ισχύος και για αυτό προτιμώνται σε μελέτες αμμωνίας.

Το πρώτο SOFC άμεσης αμμωνίας λειτούργησε το 1980. Εξετάστηκε η αμμωνία (SOFC 30) κυψελών με ισχύ εξόδου 1 kW και απόδοση 58% όπου η εφαρμογή λειτούργησε για 1000 ώρες. Ωστόσο τα SOFC απευθείας αμμωνίας δεν είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και βρίσκονται επί του παρόντος υπό ανάπτυξη. Ένα πρόγραμμα με τροφοδοσία αμμωνίας SOFC Ship FC είναι σε εξέλιξη και ο στόχος είναι να μετατραπεί σε SOFC με αμμωνία ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος από τα τρία που έχει ένα πλοίου και ονομάζεται Viking Energy,. Οι πρώτες δοκιμές των 100kW έγιναν σε εγκαταστάσεις στη στεριά και θα εγκατασταθεί επί του πλοίου στα τέλη του 2023. [3]

Η πράσινη αμμωνία αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι προς το παρόν ανταγωνιστική σε σχέση με το κόστος της συμβατικής αμμωνίας καθώς το 91% της παραγωγής της εξαρτάται από ορυκτά καύσιμα. Εκτός από τον ανεφοδιασμό της αμμωνίας, άλλα ζητήματα που επιβραδύνουν την υιοθέτηση αυτού του καυσίμου στη ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν να κάνουν με την κακή ποιότητα ανάφλεξης, την τοξικότητα, τη διαβρωτικότητα, τα υψηλότερα επίπεδα εκπομπών NO<sub>x</sub> και την έλλειψη κανονισμών μέχρι σήμερα.[6]

Ωστόσο, η δυνατότητα χρήσης της αμμωνίας σε ναυτικούς κινητήρες τα τελευταία χρόνια έχει διερευνηθεί από κορυφαίες εταιρείες του κλάδου όπως η Wärtsilä, η Knutsen OAS Shipping AS, η Repsol και η Sustainable Energy Catapult Center όπου σχεδιάζουν από κοινού και θα δοκιμάσουν την αμμωνία ως καύσιμο σε έναν θαλάσσιο τετράχρονο κινητήρα στο πλαίσιο του Νορβηγικού Ερευνητικού Συμβουλίου μέσω του προγράμματος DEMO 2000. Επιπλέον, η MAN Energy Solutions, η Shanghai Merchant Ship Design and Research Institute (SDARI) και ο Αμερικάνικος νηογνώμονας American Bureau of Shipping (ABS) έχουν ένα πρόγραμμα ανάπτυξης για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με τροφοδοσία καυσίμου την αμμωνία που προορίζεται να χρησιμοποιήσει αυτήν την τεχνολογία.

Επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής κάθε τύπου καυσίμου στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών. Με όλα τα οφέλη που σχετίζονται με τα εναλλακτικά καύσιμα πλοίων, οι κύριες μηχανές πρόωσης των πλοίων που τροφοδοτούνται με βιοκαύσιμα παρουσιάζουν διάφορες ζημίες όπως λόγω της υψηλής τοξικότητας, φθορά των αντλιών καυσίμου και των ακροφυσίων τους, προβληματική λίπανση λόγω οξείδωσης και που οδηγεί σε κολλήματα των ελατηρίων των εμβόλων και αυξημένη κατανάλωση καυσίμου. Αυτά τα προβλήματα αντιμετωπίζονται ρίχνοντας κατάλληλα πρόσθετα στο καύσιμο και με τη σωστή διαχείριση της καύσης.

Στον Πίνακα 4, πιθανές μειώσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζονται για την χρήση κάθε εναλλακτικού καυσίμου. Οι βασικές ιδιότητες των καυσίμων και οι μειώσεις εκπομπών των εναλλακτικών καυσίμων σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα πλοίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Οι κύριοι κίνδυνοι για τα ναυτιλιακά καύσιμα είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (τοπικοί ρύποι), η τοξικότητα και η ευφλεκτότητα. Ο Πίνακας 5 συνοψίζει τα σχετικά επίπεδα κινδύνου από μια σειρά εναλλακτικών καυσίμων πλοίων σε σύγκριση με το πρότυπο του νορβηγικού νηογνώμονα DNV GL. Το ύψος του κινδύνου καθορίζει τα μέτρα ασφαλείας που λαμβάνουν μέρος στη μεταφορά και ανεφοδιασμό καυσίμων πλοίων. Παρόλο που τα περιβαλλοντικά οφέλη εξαρτώνται στενά από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται, έτσι και τα εναλλακτικά καύσιμα πλοίων που καταναλώνονται από κινητήρες MEK με αποτέλεσμα τοπικούς ρύπους CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και PM.

Το LSHFO έχει υψηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub>, PM και εκπομπές SO<sub>x</sub>, όπου είναι το χειρότερο εναλλακτικό καύσιμο όσον αφορά την τοπική ποιότητα του αέρα. Σε αντίθεση με τα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο HFO, η πρόωση με MDO και HVO προκαλεί κάποια τοπική ρύπανση, αλλά μεγαλύτερη από αυτή των προωθήσεων NG και METH.

Όσον αφορά τις εκπομπές καύσης σε MEK κινητήρες και τοξικότητα, το υδρογόνο και η αμμωνία ήταν τα καύσιμα που παρήγαγαν τις χαμηλότερες ποσότητες με NT και HT, αντίστοιχα.

Ωστόσο, τα ηλεκτρικά συστήματα μπορούν να ενισχύσουν την απόδοση του συστήματος πρόωσης με μηδενικές εκπομπές ρύπων όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες ως εναλλακτική πηγή ενέργειας με την ευρύτερη έννοια. Αν και, τα ηλεκτρικά συστήματα είναι εφικτά μόνο σε πλοία που λειτουργούν σε μικρές αποστάσεις για ορισμένους συγκεκριμένους τύπους και μεγέθη σκαφών. Στη ποντοπόρο ναυτιλία, οι μπαταρίες από μόνες τους δεν είναι επαρκές υποκατάστατο για καύσιμες πηγές ενέργειας [25]

Η αμμωνία είναι ένα άλλο εναλλακτικό καύσιμο που έχει διερευνηθεί. Υπάρχει ένα ερευνητικό πρόγραμμα 26 εκατομμυρίων δολαρίων που βρίσκεται σε εξέλιξη με στόχο την ανάπτυξη ενός ποντοπόρου πλοίου το Viking Energy το 2024 όπου τροφοδοτείται με αμμωνία χωρίς άνθρακα από την Equinor και την Eidesvik. Η φιλοδοξία είναι ότι το 60%-70% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από αμμωνία, ενώ με LNG και μπαταρίες θα χρησιμοποιηθούν τα εφεδρικά συστήματα. [3]

## 5.8. Υδρογόνο

Το υδρογόνο παράγεται από εναλλακτικούς πόρους όπως το φυσικό αέριο, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και θεωρείται ένα πολύ καθαρό καύσιμο. Είναι το πιο άφθονο χημικό στοιχείο, που εκτιμάται ότι αποτελείται από περίπου το 75% της μάζας του σύμπαντος.[4]

Είναι το πιο άφθονο και απλούστερο στοιχείο στη γη, επίσης το ελαφρύτερο και έχει την υψηλότερη αποθήκευση ενέργειας εν συγκρίσει με το βάρος του από όλα τα καύσιμα. [2]

Το υδρογόνο είναι ένα πολλά υποσχόμενο εναλλακτικό καύσιμο για χρήση σε κινητήρες εσωτερικής καύσης λόγω των χαρακτηριστικών του. [6]

Η πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου είναι το πετρέλαιο ντίζελ, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και η βιομάζα. Το υδρογόνο παράγεται από διαφορετικές πρώτες ύλες που το 96% αυτών είναι ορυκτά καύσιμα όπως φυσικό αέριο 48%, πετρέλαιο 30%, άνθρακας 18% και 4% από ανανεώσιμες πηγές.[3]

Το πλεονέκτημα του είναι ότι δεν εμπεριέχει CO<sub>2</sub>, αιωρούμενα σωματίδια (PM) και SO<sub>x</sub> που απελευθερώνονται κατά την καύση του, μόνο νερό και θερμότητα παράγονται από τη διαδικασία οξείδωσης όταν το υδρογόνο καίγεται ως καύσιμο χωρίς άλλες εκπομπές να παράγονται. Ωστόσο, η διαθεσιμότητά του και η χαμηλή θερμογόνος δύναμη του απαιτούν σημαντική υποδομή και σχεδιασμό του συστήματος του. Επίσης μπορούν να δημιουργηθούν και NO<sub>x</sub> εκπομπές σε σημαντικά επίπεδα, εάν οι θερμοκρασίες καύσης είναι μεγαλύτερες από 1700 K και με το οξυγόνο να βοηθάει σε αυτό. Συνήθως το υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα όπου στην πραγματικότητα το 6% του CH<sub>4</sub> και το 2% του άνθρακα χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κυψέλες καυσίμου με απόδοση 55% και σε προσαρμοσμένη μηχανή εσωτερικής καύσης με απόδοση 45% καθώς και ως μίγμα με μαζούτ (HFO) σε χαμηλά επίπεδα ανάμειξης χωρίς σημαντικούς κινδύνους βλάβης του κινητήρα και δεν απαιτεί προσαρμογή του κινητήρα του συστήματος καυσίμου ή του δικτύου διανομής καυσίμου. [6,22, 26] Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει σε κινητήρες που διατίθενται σήμερα είτε σε καθαρή μορφή ή και αναμεμιγμένο σε οποιαδήποτε ποσότητα με άλλα καθαρά ή συμβατικά καύσιμα.

Το υδρογόνο έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι δεν εκλύει κατά την καύση του CO<sub>2</sub>, PM και SO<sub>x</sub>. Ωστόσο, απαιτείται σημαντική αύξηση των υποδομών και σχεδιασμός του όλου συστήματος λόγω της διαθεσιμότητάς του και της χαμηλής ογκομετρικής ενεργειακής πυκνότητας. Για παράδειγμα, απαιτείται 10-20 φορές περισσότερος χώρος αποθήκευσης

για το συμπιεσμένο υδρογόνο, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα πλοίων, σε αναλογία με την πίεση που κυμαίνεται από 250-700 bar, ενώ για το υγρό υδρογόνο με κρυογονική αποθήκευση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (-253°C) η απαίτηση χώρου αποθήκευσης είναι μόνο 4-5 φορές μεγαλύτερη από τα παραδοσιακά καύσιμα πλοίων [6]

Οι κύριες τεχνολογίες αποθήκευσης του είναι το συμπιεσμένο υγρό, η στερεά κατάσταση και οι εναλλακτικοί φορείς. Γενικά, το υδρογόνο αποθηκεύεται σε δεξαμενές υψηλής πίεσης ως συμπιεσμένο αέριο ή κρυογονικό υγρό σε θερμοκρασία (-253°C). Τα μεγάλα όρια ευφλεκτότητας του υδρογόνου και η υψηλή ταχύτητα φλόγας είναι οι ιδιότητες που πρέπει να δίνεται προσοχή κατά τη λειτουργία και αποθήκευσης του καυσίμου. Το υδρογόνο δεν έχει ούτε τοξικές ούτε διαβρωτικές ιδιότητες. Με την έννοια του βάρους, το υδρογόνο είναι ένας σημαντικός φορέας ενέργειας όσον αφορά τη χαμηλότερη τιμή θέρμανσης Lower Heating Value (LHV) 33 kWh/kg που είναι περίπου 3 φορές την τιμή του πετρελαίου που είναι 11 kWh/kg αντίστοιχα. Αντίθετα, υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες το υδρογόνο είναι σε αέρια μορφή και η ογκομετρική ενεργειακή ικανότητα είναι περίπου 3000 φορές μικρότερη σε σύγκριση με το πετρέλαιο.[3]

Το Διεθνές Πρακτορείο Ενέργειας (IEA) αναφέρει ότι η παγκόσμια ζήτηση για καθαρό υδρογόνο από την περίοδο 1975 έως 2018 έχει αυξηθεί και αυτό δείχνει το γεγονός ότι η ζήτηση για υδρογόνο όλο και αυξάνεται. Το κόστος παραγωγής υδρογόνου είναι η μεγαλύτερη πρόκληση, ειδικά για το πράσινο υδρογόνο όπου είναι το υδρογόνο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι εκπομπές του υδρογόνου μπορεί να είναι κοντά στο μηδέν, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι, επειδή το υδρογόνο υπάρχει σε μορφή ενώσεων καταναλώνεται τεράστια ποσότητα ενέργειας κατά την παραγωγής του.[6]

Επιπλέον, το υδρογόνο δεν διαθέτει τυποποιημένη διαδικασία σχεδιασμού και τροφοδοσίας καυσίμων για τα πλοία καθώς και υποδομή ανεφοδιασμού.

Επί του παρόντος, υπάρχουν δύο τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου:

Η πρώτη είναι με πυρόλυση και με αναμόρφωση φυσικού αερίου με υδρατμό. Αυτές οι δύο μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου είναι οι πιο ώριμες και χρησιμοποιούμενες μέθοδοι που καλύπτουν σχεδόν τη συνολική παγκόσμια ζήτηση υδρογόνου. Η παραγωγή υδρογόνου από καύσιμα υδρογονανθράκων μπορεί να γίνει με υψηλές αποδόσεις και χαμηλό κόστος.

Η δεύτερη τεχνική και πιο ενεργοβόρα μέθοδος και συνεπώς όχι συχνά χρησιμοποιούμενη είναι με διάσπαση νερού και γίνεται με τρεις μεθόδους. Αυτές οι μέθοδοι η φωτοηλεκτρόλυση, η ηλεκτρόλυση και η θερμόλυση.[3] Ωστόσο, ως επί το πλείστον το υδρογόνο σήμερα παράγεται από φυσικό αέριο.

Το υδρογόνο που παράγεται από βιομάζα θεωρείται ο τρόπος παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές και υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες για την παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα, η πρώτη είναι η θερμοχημική διαδικασία και η άλλη είναι η βιολογική διαδικασία. Οι υποκατηγορίες της θερμοχημικής διεργασίας είναι η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Η βιολογική διαδικασία περιλαμβάνει βιοφωτόλυση, σκοτεινή ζύμωση και φωτοζύμωση. Παρόλο που υπάρχουν διάφοροι τρόποι παραγωγής υδρογόνου από βιομάζα, οι περισσότερες από τις τεχνικές δεν είναι αρκετά ώριμες και ο ρυθμός παραγωγής υδρογόνου δεν επαρκεί για να αντικατασταθεί με τα ορυκτά καύσιμα. [3]

Η παραγωγή, αποθήκευση, παράδοση και χρήση υδρογόνου είναι σημαντικά ζητήματα ώστε να το καταστήσουν οικονομική λύση. Επιπλέον, για να επιτευχθεί ευρύτερη αποδοχή του υδρογόνου ως βιώσιμου καυσίμου πρέπει να αντιμετωπιστούν ζητήματα ασφάλειας και αξιοπιστίας, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κοινή γνώμη μπορεί να έχει άμεσο αντίκτυπο στα βήματα αυτά.

Η ασφάλεια του υδρογόνου, λόγω της πτητικότητάς του είναι ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί. Το υδρογόνο έχει υψηλό κόστος αποθήκευσης και στο πλοίο θα υπάρχει μειωμένος χώρος για την μεταφορά φορτίου. Ως εκ τούτου, απαιτούνται σημαντικές βελτιώσεις για να μειωθεί το κόστος αποθήκευσης και ο τρόπος αποθήκευσης πάνω σε ένα πλοίο ώστε να γίνει πιο ανταγωνιστικό το υδρογόνο σε σύγκριση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα. [23]

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου η οποία κυμαίνεται από 121 έως 141 MJ/kg. [2] Αξιολόγηση από τους Bicer and Dincer [2] διαπίστωσε ότι η παραγωγή υδρογόνου με χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει εννέα φορές λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από αυτές που παράγονται από το μαζούτ. Επιπλέον, η χρήση μίγματος υδρογόνου μαζούτ μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 45% ανά τόνο-χιλιόμετρο. Αυτό δείχνει ότι είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγάλη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των



εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έστω και αν μια μικρή μείωση συμβατικών καυσίμων αντικατασταθούν με υδρογόνο.[2]

### **5.8.1. Μαύρο υδρογόνο**

Το υδρογόνο που παράγεται χρησιμοποιώντας άνθρακα ονομάζεται «μαύρο» υδρογόνο.

### **5.8.2. Πράσινο Υδρογόνο**

Η ναυτιλία εκπέμπει σχεδόν το 3% όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως ως εκ τούτου το πράσινο υδρογόνο μπορεί να είναι μια μελλοντική λύση. Το πράσινο υδρογόνο παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο ήλιος, η βιομάζα και ο άνεμος μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης. Είναι μια διαδικασία όπου το υδρογόνο δημιουργείται αποκλειστικά από μόρια νερού και έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Όταν το υδρογόνο είναι σε συμπιεσμένη ή υγροποιημένη μορφή είναι εντελώς καθαρό με μηδενικές εκπομπές GHG για το λόγω αυτό είναι από τις επικρατέστερες επιλογές για την μείωση του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. [4] Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος παραγωγής πράσινου υδρογόνου προβλέπεται να μειωθεί σημαντικά την επόμενη δεκαετία λόγω τεχνολογικών βελτιώσεων καθώς και ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτά μπορούν να κάνουν την τιμή του πράσινου υδρογόνου ανταγωνιστική σε σύγκριση με το γκρι και το μπλε υδρογόνο που ήδη σε εξειδικευμένες εφαρμογές ισχύει. Το κόστος παραγωγής πράσινου υδρογόνου έχει μειωθεί κατά 55% από το 2014 έως το 2022 και αναμένετε περαιτέρω μείωση της τάξης του 35% έως το 2025 για τον λόγω ότι η παραγωγή του είναι αρκετά τυποποιημένη. Το 2021 το πράσινο υδρογόνο κόστιζε 0,12 €/kWh, ενώ το γκρίζο υδρογόνο που παράγεται από τη μετατροπή του φυσικού αερίου σε μεθανίο και απελευθερώνει CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, το 2021 κόστιζε 0,044 €/kWh. [23]

### **5.8.3. Υδρογόνο (Κίτρινο, Καφέ, Μπλέ, Γκρι)**

Το κίτρινο υδρογόνο παράγεται από πυρηνική ενέργεια επομένως είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί λόγω πολιτικών λόγων διότι οι τοπικές λιμενικές αρχές δεν θα είναι πρόθυμες να δέχονται ξένα πλοία με πυρηνικό αντιδραστήρα.

Το γκρίζο υδρογόνο παράγεται από αναμόρφωση μεθανίου, αυτοθερμική αναμόρφωση, μερική οξειδωση, αναμόρφωση πλάσματος χαμηλής θερμοκρασίας και αναμορφωτής, ηλεκτρόλυση και διαχωριστής, ενώ το καφέ υδρογόνο παράγεται από άνθρακα.

Το «μπλε» είναι μια άλλη παραλλαγή του υδρογόνου και επιτυγχάνεται με τη χρήση θερμικών διεργασιών όπου παράγεται από φυσικό αέριο. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> δεσμεύονται από το σύστημα Carbon Capture System (CCS) και ως εκ τούτου, η καθαριότητα και η βιωσιμότητα του υδρογόνου είναι στην πραγματικότητα συνάρτηση του τρόπου παραγωγής του. Επί του παρόντος, η παραγωγή του υδρογόνου αφήνει υψηλότερο αποτύπωμα άνθρακα, διότι εξαρτάται από τον άνθρακα και το φυσικό αέριο, εν συγκρίσει με τη χρήση μαζούτ HFO από τα πλοία ως καύσιμο. [4]

Το ιδανικό υδρογόνο είναι το πράσινο, όπου το υδρογόνο παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική ενέργεια κ.λπ. [23]

#### **5.8.4. Υγρό Υδρογόνο (LH<sub>2</sub>)**

Σε έρευνα της η Shell αναφέρει τα πολλά πλεονεκτήματα που έχει το υγρό υδρογόνο (LH<sub>2</sub>) εν συγκρίσει με άλλα πιθανά «πράσινα» καύσιμα πλοίων. Έτσι ενδέχεται να επικρατήσει στο μέλλον η χρήση του. Το μειονέκτημα του είναι η αποθήκευση του που είναι περίπλοκη και δαπανηρή με αρκετά ζητήματα ασφάλειας λόγω της απαίτησης κρυογονικής αποθήκευσης (δηλ. σε υψηλές πιέσεις και χαμηλές θερμοκρασίες: -253°C). Έτσι σημαντικό πρόβλημα είναι η διαδικασία τροφοδοσίας του πλοίου σε χαμηλές θερμοκρασίες όπου απαιτούνται συγκεκριμένα μονωτικά υλικά να έχουν οι δεξαμενές για να αποκόπτονται οι μεγάλες ροές θερμότητας από και προς τη δεξαμενή προκειμένου να αποφευχθεί τυχόν εξάτμιση του LH<sub>2</sub>. Το LH<sub>2</sub> θα είναι μια από τις λύσεις στο μέλλον εάν νέα συστήματα μόνωσης χρησιμοποιηθούν.

Σήμερα δεν υπάρχει έρευνα για το υγρό υδρογόνο λόγω της μη διαθεσιμότητας του στα λιμάνια καθώς και της δυσκολίας της αποθήκευσης της.

Σε πιλοτική έρευνα η Kawasaki Heavy Industries, διαπιστώθηκε ότι είναι οικονομικά εφικτή η μεταφορά και αποθήκευση του LH<sub>2</sub> καθώς και τεχνικά εφικτό με δεξαμενόπλοιο από την Αυστραλία στην Ιαπωνία. [23]

### 5.8.5. Πλεονεκτήματα του υδρογόνου

- Το υδρογόνο όταν παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παράγει εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Έχει χαμηλές εκπομπές κατά την καύση του.
- Το υδρογόνο σε κυψέλες καυσίμου εξαλείφει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και μειώνει επίσης τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και PM.
- Είναι μια μη τοξική, άχρωμη και άοσμη ουσία.
- Μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- Το υδρογόνο αποθηκεύεται υγροποιημένο στους -253°C και καταλαμβάνει το 800 φορές μειωμένο τον όγκο του σε αέρια κατάσταση.

Θα πρέπει να τονιστεί η έλλειψη εμπειρίας όσων αφορά το υδρογόνο μέχρι σήμερα και η μειωμένες δοκιμές ως ναυτιλιακό καύσιμο.

### 5.8.6. Ρυθμιστικό πλαίσιο

Συμπεριλαμβανομένου του υδρογόνου ως καυσίμου πλοίων, της χρήσης κυψελών καυσίμου για πρόωση πλοίων ή τον ανεφοδιασμό με υδρογόνο σήμερα δεν υπάρχουν κανονισμοί σχετικά με τη χρήση και τον σχεδιασμό του υδρογόνου για πλοία.

### 5.8.7. Αποθήκευση υδρογόνου

Οι εφαρμογές αποθήκευσης του υδρογόνου μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις σταθερές για επιτόπια αποθήκευση και σταθερή παραγωγή ενέργειας και στις κινητές που αποτελεί τη μεταφορά υδρογόνου στον τελικό προορισμό. Το υδρογόνο υπό τυπικές συνθήκες έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη επομένως για την αποθήκευση του απαιτείται α) πιέσεις υψηλές β) θερμοκρασίες χαμηλές και γ) το κατάλληλο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δεξαμενή υδρογόνου.

Οι εφαρμογές των μεθόδων αποθήκευσης υδρογόνου είναι οι ακόλουθες: [23]

1. Υδρογόνο συμπιεσμένο

2. Υγρό υδρογόνο υπό ψύξη στους  $-253^{\circ}\text{C}$

3. Χημική αποθήκευση του με:

A. Αποθήκευση αμμωνίας με βάση το άζωτο (μέσω της αντίδρασης Haber-Bosch, η αμμωνία μπορεί να χρησιμεύσει ως μέσο αποθήκευσης και ως καύσιμο).

B.  $\text{CO}_2$ , αποθήκευση με βάση (μέσω δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα, παραγωγής συνθετικών καυσίμων όπως συνθετικό ντίζελ, συνθετικό υγροποιημένο συνθετικό μεθάνιο—LSM, μεθανόλη και μυρμηκικό οξύ).

Γ. Aromatic Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs) (χρήση αρωματικών LOHCs και καταλύτη για την αποθήκευση υδρογόνου).

4. Υβρίδια μετάλλων (αποθηκεύουν υδρογόνο μέσα στα υλικά).

Το συμπιεσμένο υδρογόνο είναι σήμερα η πιο αποδεκτή και χρησιμοποιούμενη μέθοδος αποθήκευσης για τη ναυτιλία. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται σε πλοία όπως το επιβατηγό πλοίο ακτοπλοΐας FCS Alsterwasser, το οποίο λειτουργεί από το 2008.

Το υγρό υδρογόνο έχει αρκετές πολυπλοκότητες και επί του παρόντος δεν υπάρχει ζήτηση για τη ναυτιλία εκτός από ένα πιλοτικό έργο της Kawasaki Heavy Industries.

Η αποθήκευση αμμωνίας με βάση το άζωτο και η αποθήκευση με βάση το  $\text{CO}_2$  χρησιμοποιούνται σε άλλους κλάδους και ως εκ τούτου έχουν πολλές δυνατότητες για μεταφορά γνώσης. Τα υβρίδια μετάλλων είναι πολλά υποσχόμενα, αλλά και πάλι απαιτείται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη για την εμπορευματοποίηση, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί σε υποβρύχιες εφαρμογές. [23]

#### 5.8.8. Ενεργειακή ικανότητα

- Το υδρογόνο απαιτεί πολλή ενέργεια για να παραχθεί.
- Το γκρι και το μπλε υδρογόνο απελευθερώνουν περισσότερο  $\text{CO}_2$  κατά την παραγωγή τους από ότι το μαζούτ HFO.
- Το υδρογόνο έχει 51% χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από το LNG και το HFO.

### 5.8.9. Ασφάλεια υδρογόνου

Το υδρογόνο (H) μπορεί εύκολα να διαρρεύσει ειδικά όταν αποθηκεύεται σε συμπιεσμένη κατάσταση λόγω ότι είναι το ελαφρύτερο χημικό στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Επίσης λόγω ότι έχει χαμηλό σημείο ανάφλεξης ενδέχεται να οδηγήσει σε καταστροφικές εκρήξεις για ένα πλοίο αν και οι δεξαμενές αποθήκευσης του συμπιεσμένου υδρογόνου αντέχουν υψηλές πιέσεις και έχουν γενικά συντελεστές ασφάλειας υψηλούς. Σε κινητήρες εσωτερικής καύσης το χαμηλό σημείο ανάφλεξης οδηγεί σε κρουστική καύση. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των δεξαμενών για χρήση σε κρυογενείς συνθήκες πρέπει να αντέχουν σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες  $-253^{\circ}\text{C}$  διαφορετικά γίνονται εύθραυστα. Εκτός από τον κίνδυνο έκρηξης του υδρογόνου πάνω σε ένα πλοίο οι διαρροές υπό κρυογενείς συνθήκες επί του πλοίου είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες επειδή μπορεί το κύτος ενός πλοίου να αστοχήσει από θραύση λόγω ψύχους. Η αποθήκευση σε χημικά δεξαμενόπλοια ενέχει κινδύνους όπως η αμμωνία και το μεθανικό οξύ.

#### Εν γένει:

- Το υδρογόνο είναι πολύ εύφλεκτο.
- Το υδρογόνο ως καύσιμο πλοίων είναι πολύ επικίνδυνο για μεταφορά χύδην.
- Το συμπιεσμένο υδρογόνο μπορεί να οδηγήσει σε ευθραυστότητα μετάλλων ή διαρροές αερίου.
- Υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τη συμπεριφορά του υδρογόνου στις διαρροές.
- Η ανομοιόμορφη διασπορά του υδρογόνου σε έναν κλειστό χώρο μπορεί να δημιουργήσει υψηλό κίνδυνο έκρηξης.
- Απαιτείται εξειδικευμένη εκπαίδευση στα πληρώματα των πλοίων.

### 5.8.10. Λιμενικές υποδομές και εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καθώς και αποθήκευσης

- Επί του παρόντος, λόγω της πολύ χαμηλής ζήτησης δεν υπάρχει υποδομή ανεφοδιασμού υδρογόνου για τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο
- Προτιμότερο υλικό θεωρείται ο χάλυβας για ειδικές εγκαταστάσεις με συγκολλητές συνδέσεις για την παροχή υδρογόνου.

- οι κινητήρες χρειάζονται ειδικός σχεδιασμός εάν δεν υπάρχουν κυψέλες καυσίμου.
- Το υγροποιημένο υδρογόνο απαιτεί συνθήκες κρουγονικής ψύξης στις δεξαμενές των πλοίων προκειμένου να αποθηκευτεί λόγω της σύνθεσης του.
- Υπάρχουν προβλήματα αποθήκευσης με συμπίεση ή ψύξη διότι λόγω της πολύ χαμηλής ενεργειακής του πυκνότητας απαιτεί μεγάλους όγκους αποθήκευσης.

#### 5.8.11. Επενδύσεις & Κόστος καυσίμων

Γενικά οι εγκαταστάσεις στα λιμάνια για τον ανεφοδιασμό των πλοίων είναι υψηλότερος από το LNG καθώς και αν παράγεται υδρογόνο από φυσικό αέριο είναι ακριβότερο. Έως σήμερα χρησιμοποιούσαν υδρογόνο τα πλοία ως εναλλακτικό καύσιμο μόνο σε ταξίδια μικρών αποστάσεων στη Νορβηγία, Γαλλία, στο Βέλγιο και την Αμερική. Λόγω της περιορισμένης παγκόσμιας υποδομής ανεφοδιασμού καυσίμων, το υδρογόνο είναι επί του παρόντος μια βιώσιμη λύση μόνο για την ακτοπλοΐα σε ορισμένα κράτη. Η χρήση του υδρογόνου ως εναλλακτική επιλογή δεν εφαρμόζεται επί του παρόντος στη ποντοπόρο ναυτιλία καθώς υπάρχει έλλειψη των απαραίτητων εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού καυσίμων, γεγονός που καθιστά τη παροχή υδρογόνου εξαιρετικά αναποτελεσματική.

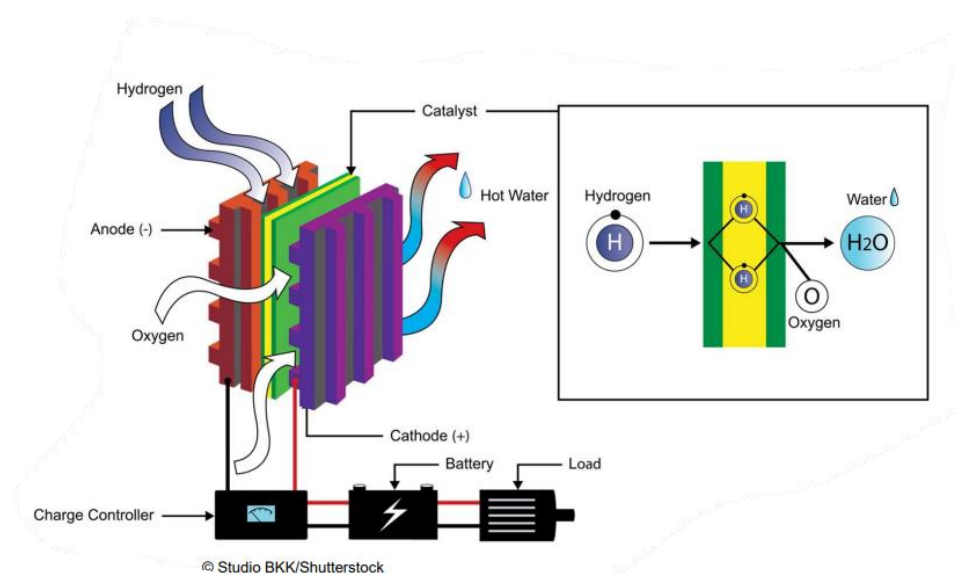
Υπήρξε κάποια συζήτηση σχετικά με τη βιωσιμότητα του υδρογόνου ως καθαρού καυσίμου. Κατά την αντικατάσταση του κινητήρα εσωτερικής καύσης με κυψέλες καυσίμου με βάση το υδρογόνο, μηδενικό CO<sub>2</sub> εκπέμπεται. Ωστόσο, η αποθήκευση του υδρογόνου είναι η μεγαλύτερη ανησυχία ως το μικρότερο μόριο, το υδρογόνο διαρρέει εύκολα. Ο χώρος αποθήκευσης υγροποιημένου υδρογόνου είναι περίπου πενταπλάσιος από αυτόν του HFO με την ίδια ενέργεια. Δεν υπάρχει διαθέσιμη υποδομή ανεφοδιασμού υδρογόνου για πλοία επί του παρόντος.

Μια άλλη πιθανή εφαρμογή του υδρογόνου είναι η ανάμειξή του με αμμωνία για να ληφθεί υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα όμως δεν υπάρχει αναπτυγμένη τεχνολογία αυτή τη στιγμή. Ωστόσο, υπάρχει κάποια πρόοδος στην δημιουργία υδρογονοκίνητων ποντοπόρων πλοίων που ξεκίνησε το 2020 όπου έγινε ο πρώτος πλήρης σχεδιασμός πλοίου με υδρογόνο από την Ulstein Design & Solutions BV και τη Nedstack Fuel Cell Technology BV. Το δοχείο υποστήριξης κατασκευής τροφοδοτείται από υδρογόνο σε κυψέλες καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) της Nedstack. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι οι κυψέλες καυσίμου PEM μετατρέπουν το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια με μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

## 5.9. Κυψέλες καυσίμου

Ουσιαστικά οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές. Σκοπός τους είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας που έχει ο κάθε τύπος καυσίμου, απευθείας σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μέσω της ηλεκτροχημικής οξείδωσης.

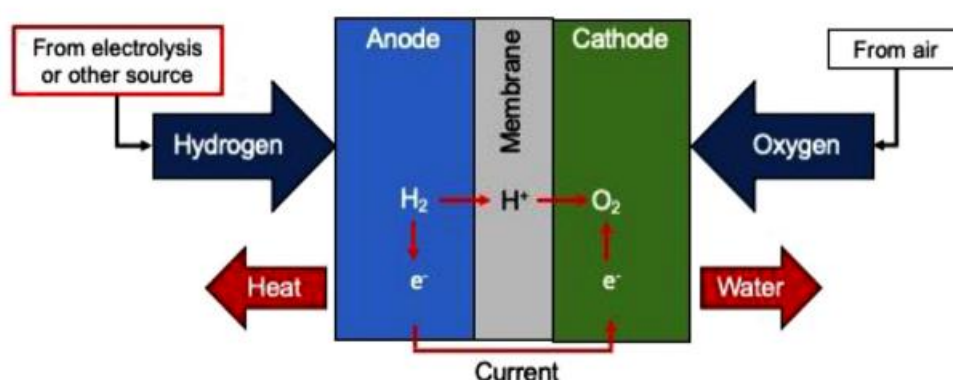
Ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης καυσίμου και το καύσιμο που χρησιμοποιείται επιτυγχάνεται απόδοση έως και 62% και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους στην χρήση τους στη ναυτιλία είναι η περιβαλλοντική πτυχή τους.



Εικόνα 26 : Κυψέλες καυσίμου [4]

Η τεχνολογία αυτή μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> εν συγκρίσει με τα καύσιμα με υδρογονάνθρακες περί το 33% ενώ εξαλείφει τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, και τις εκπομπές PM σχεδόν 98%. Θεωρείται ότι μελλοντικά οι κυψέλες καυσίμου θα λειτουργούν ανεξάρτητα και χωρίς την ανάγκη κινητήρων MEK ως μια εμπορική λύση για καθαρή ενέργεια. Επιπλέον, το κόστος της συντήρησης θα είναι μικρότερο από αυτό των MEK κινητήρων. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι οι κυψέλες καυσίμου θα βελτιώσουν την ποιότητα του ταξιδιού με τα πλοία διότι μειώνονται τα επίπεδα θορύβου και οι κραδασμοί από τη λειτουργία του κινητήρα. Παρά τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρει αυτή η τεχνολογία, οι κυψέλες καυσίμου απαιτούν ακόμη αρκετές δοκιμές διότι δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη ναυτιλία και η αξιοπιστία τους δεν έχει ακόμη αποδειχθεί. Επί του παρόντος δεν υπάρχει από τον IMO αξιολόγηση της ασφάλειας για χρήση στα πλοία

μιας και οι κυψέλες καυσίμου είναι μια νέα και ανώριμη τεχνολογία. Επίσης απαιτείται υψηλό κόστος εγκαταστάσεων και γενικά των επενδύσεων συν το κόστος εκπαίδευσης του πληρώματος που είναι απαραίτητο καθώς το πλήρωμα του πλοίου πρέπει να έχει εξειδικευμένες γνώσεις για τον έλεγχο και την επιθεώρηση των κυψελών καυσίμου. Ενδείξεις μέχρι πρότινος δείχνουν ότι πρέπει να χρησιμοποιείται καθαρό καύσιμο όταν λειτουργεί σε κυψέλες καυσίμου διότι η απόδοση μειώνεται σταδιακά με την πάροδο του χρόνου λόγω της ρύπανσης από τους ηλεκτρολύτες και της υποβάθμισης του καταλύτη. Επί του παρόντος, οι κυψέλες καυσίμου δεν έχουν εφαρμογή στη ποντοπόρο εμπορική ναυτιλία.[4]



Εικόνα 27: Σχηματική απεικόνιση κυψελών καυσίμου [4]

### 5.10. Αιολική ενέργεια

Μια τεχνολογία εκμεταλλευόμενη την αιολική ενέργεια δεν είναι άλλη από την υποβοηθούμενη πρόωση πλοίων - Wind Assisted Ship Propulsion (WASP). Ο άνεμος έχει αποδειχθεί μπορεί να συμβάλει στην απανθρακοποίηση των εκπομπών των καυσαερίων περίπου στο 21% και να συμβάλλει επικουρικά στη ισχύ που χρειάζεται ένα πλοίο για να λειτουργήσει. Έρευνες έχουν αναδείξει την τεχνολογία WASP ως μια εκ των πολλών βιώσιμη εναλλακτική λύση για τη μείωση της ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται από τη ναυτιλία.

Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία WASP συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που παράγονται από τα πλοία για κάθε μονάδα μιλίου μεταφορικών εργασιών που εκτελούν σύμφωνα με τη στρατηγική μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου του IMO. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να χρησιμεύσει ως πολύτιμο



συμπλήρωμα στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Η πρόταση που έκαναν οι Νήσοι Καμόρα στη πρόσφατη επιτροπή περιβάλλοντος MEPC 75 του IMO και θέτουν επίσημα στο τραπέζι όπου λαμβάνονται οι αποφάσεις, τον δελεαστικό ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει ο η αιολική ενέργεια στη διαδικασία απανθρακοποίησης καθώς και πληθώρα τεχνολογιών που ερευνώνται επί του παρόντος θα είναι εμπορικά βιώσιμες μέχρι το 2035. Τεχνολογίες όπως οι βοηθητικοί χαρταετοί Sky Sails έχουν εγκατασταθεί σε δύο φορτηγά πλοία καθώς και η εταιρεία Bore, η οποία χρησιμοποιεί σε πολλά φορτηγά πλοία που ταξιδεύουν μεταξύ Ρότερνταμ και Αγγλίας του κυλινδρικούς ρότορες Flettner.

Η αιολική ενέργεια είναι η διαδικασία με την οποία ο άνεμος μέσω της μηχανικής κίνησης παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω ανεμογεννητριών. Παγκοσμίως η αιολική ενέργεια είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή παραγωγής ήπιων μορφών ενέργειας και πρώτη στην Αμερική και έτσι πολλές άλλες χώρες άρχισαν να υιοθετούν την πρακτική των Ηνωμένων Πολιτειών. Συνεπώς η αιολική ενέργεια συγκαταλέγεται στις σύγχρονες ήπιες μορφές ενέργειας και υπάρχουν πλέον και εγκατεστημένα συστήματα σε πλοία ώστε να βοηθούν στην πρόωση του πλοίου. Από αρχαιοτάτων χρόνων ο άνεμος είναι συνώνυμος της ναυτιλίας με τα ιστία και τα πανιά τους και ταξίδευαν στις θάλασσες αιώνες πριν η ατμομηχανή κάνει την εμφάνιση της και μηδενίζει την χρήση των πανιών στην εμπορική ποντοπόρο ναυτιλία. Ερχόμενοι στο σήμερα και στην απαίτηση για ένα πιο βιώσιμο περιβάλλον, αρχίζουμε και αναζητούμε λύσεις στρεφόμενοι ακόμη και στην αιολική ενέργεια για ακόμη μια φορά. Έτσι έχουμε σήμερα πέντε τύπους εκμετάλλευσης του ανέμου όπου η καθεμία βρίσκεται σε διαφορετικό επίπεδο εφαρμογών και ανάπτυξης. Τα πανιά υπερτερούν έναντι των ανεμογεννητριών σήμερα.[4]



Εικόνα 28 : Flettner Rotor [4]

#### **5.10.1.Ανεμογεννήτριες**

Οι ανεμογεννήτριες θεωρούνται ένας ανανεώσιμος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια για να βοηθήσουν την πρόωση σε ένα πλοίο. Γνωρίζουμε από τις εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες στη στεριά ότι είναι πολύ αποτελεσματικές ώστε να παράγουν ρεύμα, ωστόσο υπάρχουν πολλά εμπόδια που καθιστούν την τεχνολογία των ανεμογεννητριών φτωχή όσον αφορά τις απαιτήσεις των πλοίων. Κατά συνέπεια, υπάρχει ακόμη μεγάλη πρόοδος που πρέπει να σημειωθεί. Ωστόσο υπάρχει πεποίθηση ότι η ναυτιλιακή βιομηχανία θα μπορούσε να επωφεληθεί από την υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας. [4]

#### **5.10.2. Τεχνολογία μαλακών πανιών**

Συνδέονται στα κατάρτια των πλοίων όπου τα μαλακά πανιά είναι κατασκευασμένα από ελαφριά υλικά που παραμορφώνονται, κρεμούν και κάμπτονται λόγω των δυνάμεων του ανέμου που δρουν πάνω τους. Μοιάζουν πολύ με τα παραδοσιακά πανιά από ύφασμα από λινάρι και λινό που χρησιμοποιούνταν στα πλοία παλαιότερα. Αν και προσφέρουν μια αποδεδειγμένη τεχνολογία WASP δεν είναι πολύ πρακτικά ειδικά για πλοία μεγαλύτερων

μεγεθών. Εξαιτίας αυτού, δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στην εμπορική ναυτιλία και αλλά κυρίως σε μικρότερα σκάφη και κότερα αναψυχής. [4]

### 5.10.3. Τεχνολογία σταθερού πανιού

Τα τύπου σταθερά πανιά έχουν πολλές ομοιότητες με τα μαλακά πανιά όπου είναι κατασκευασμένα από άκαμπτα υλικά που δεν παρέχουν ευελιξία και είναι προσαρτημένα σε έναν περιστρεφόμενο ιστό. Η κατασκευή τους εμπνεύστηκε από το σχεδιασμό των πτερυγίων του αεροπλάνου και σήμερα προτείνονται σε ποικιλία σχεδίων και διατάξεων σε πλοία με μαλακά πανιά. Ουσιαστικά το πλεονέκτημα των σταθερών πανιών έναντι των μαλακών είναι το σχήμα τους που είναι αεροδυναμικό και έτσι βοηθάει αρκετά την πρόωση του πλοίου.[4]

### 5.10.4. Τεχνολογία Kite-Sail

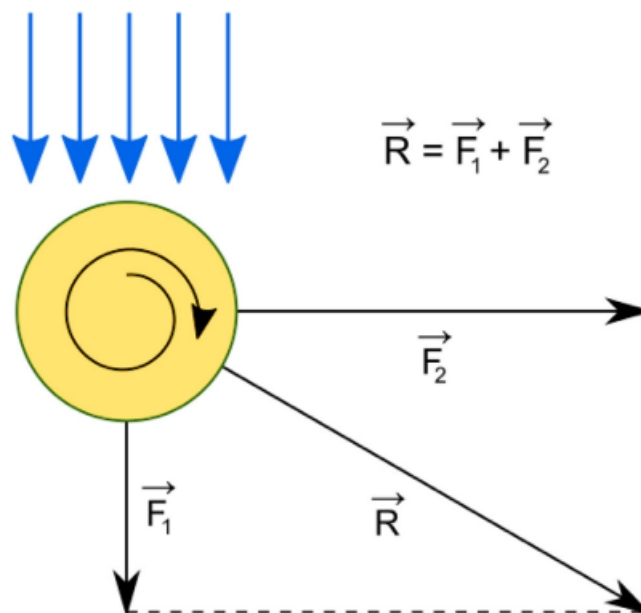
Η τεχνολογία των πανιών Kite είναι παρόμοια με τα συνηθισμένα μαλακά πανιά. Με ένα σχοινί δεμένο στην πλώρη του καραβιού φουσκώνει από τον αέρα σε προκαθορισμένο ύψος πάνω από την πλώρη. Αυτοσκοπός είναι η μεγιστοποίηση της δύναμης και της ταχύτητας του ανέμου για την παραγωγή της ενέργειας που απαιτείται για την πρόωση του πλοίου. Ο τύπος αυτός πανιού σαν «χαρταετός» έχει κάνει δειλά την εμφάνιση του στα πλοία. [4]



Εικόνα 29 : Τεχνολογία Kite Sail [4]

### 5.10.5. Τεχνολογία Rotor-Sail

Είναι πρωτοπορία του Γερμανού μηχανικού Anton Flettner η τεχνολογία του ρότορα Flettner όπου είναι ένα νέο σύστημα πρόωσης που βασίζεται στο Magnus Effect. Προερχόμενο από μελέτη της ρευστοδυναμικής το φαινόμενο Magnus είναι ένα φαινόμενο που περιγράφει τη συμπεριφορά ενός περιστρεφόμενου αντικειμένου που κινείται ανάμεσα σε ένα ρευστό. Στην απλούστερη μορφή του, το φαινόμενο Magnus είναι το αποτέλεσμα που παράγεται όταν ο άνεμος (ρευστό) διαπερνά έναν κύλινδρο που περιστρέφεται (Εικ. 30).



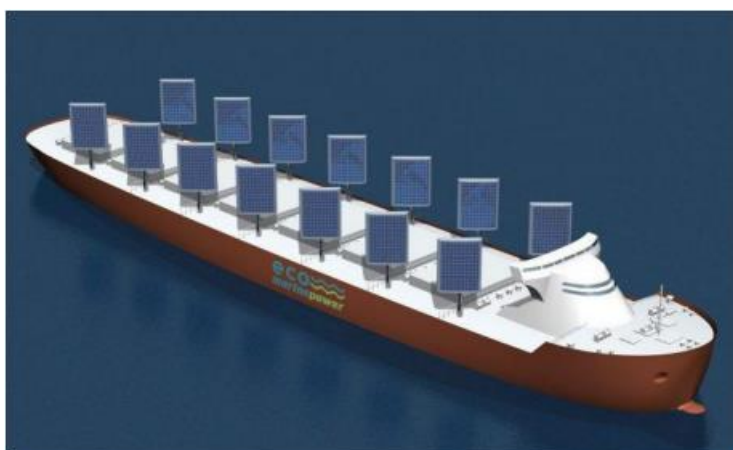
Εικόνα 30 : Δυνάμεις που ασκούνται στον ρότορα Flettner [4]

Ο ρότορας Flettner έχει δύο ή περισσότερους όρθιους κυλίνδρους – ρότορες όπου τοποθετούνται κάθετα στο κατάστρωμα του πλοίου, καθώς και μικρών κινητήρων που βρίσκονται στο κύτος αυτού. Οι ρότορες Flettner είναι κάθετοι κύλινδροι που περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους. Ο άνεμος προσπίπτει στον κύλινδρο συνήθως κάθετα. Αυτοί οι ρότορες παρέχουν επικουρική ηλεκτρική ισχύ λόγω του φαινομένου Magnus που λειτουργούν. [15] Στη θάλασσα ο άνεμος φυσά από τα πλάγια τους ρότορες

οι οποίοι τροφοδοτούνται από μικρούς κινητήρες και περιστρέφονται. Οι μικροί κινητήρες βοηθούν στην πρόωση επίσης. Αν και οι πρώτες εφαρμογές των δρομέων Flettner σε πλοία παρατηρήθηκαν τη δεκαετία του 1920, αυτή η τεχνολογία δεν εξελίχθηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν τελικά αναγνωρίστηκε η δυναμική της. [4]

### 5.11. Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια είναι η διαδικασία όπου τα φωτοβολταϊκά πάνελ αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να δημιουργήσουν χρήσιμη θερμική ενέργεια ή ηλεκτρισμό. Έτσι τα φωτοβολταϊκά πάνελ αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια σε μπαταρίες στο πλοίο για να παρέχει επικουρική ηλεκτρική ισχύ.



Εικόνα 31 : Ηλιακά πάνελ και σταθερά πανιά [4]

Οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στο κατάστρωμα και εξαρτάται με τον τύπο του συλλέκτη που χρησιμοποιείται συλλέγουν και μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα. [4]

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την αιολική τεχνολογία η οποία αποτελείται από μια κατασκευή παρόμοια με έναν ιστό, για την αύξηση της επιφάνειας συλλογής ηλιακής ενέργειας. Η απόδοση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται φυσικά από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες όπως συμβαίνει και με την αιολική ενέργεια. Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας φθάνει σε υψηλότερες τιμές σε περιοχές κοντά στον ισημερινό γεγονός

που την καθιστά πιο βιώσιμη επένδυση για πλοία που δραστηριοποιούνται σε αυτές τις περιοχές. Οι πιθανές εξοικονομήσεις από την ηλιακή ενέργεια δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές μιας και η μείωση στη χρήση καυσίμου ενός βοηθητικού κινητήρα στο πλοίο είναι περίπου 0,2% έως 2,9%. Μία έρευνα αναφέρει ότι το ιαπωνικό Nichioh Maru, που λειτουργεί με ηλιακή υποβοήθηση αναφέρουν μείωση κατά 1.450 τόνους πετρελαίου το χρόνο νούμερο που ισοδυναμεί σε ετήσια μείωση κατά 4.250 τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Υπάρχουν συσκευές ηλιακής τεχνολογίας αξιοποιούν το ηλιακό φως για να παράγουν θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Οι συσκευές αυτές χωρίζονται ανάλογα με τη μέθοδο που συλλέγουν, διανέμουν και μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια, σε ενεργητικές ηλιακές τεχνολογίες και παθητικές ηλιακές τεχνολογίες. Οι τεχνολογίες ενεργητικής ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιούνται για να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και οι τεχνολογίες παθητικής ηλιακής ενέργειας συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια χωρίς να τη μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια ή φως. Οι ενεργητικές ηλιακές τεχνολογίες περιλαμβάνουν τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων συγκεντρώνοντας ηλιακή ενέργεια και ηλιακή θέρμανση νερού για την παραγωγή ενέργειας.

#### **5.12. Ενέργεια κυμάτων**

Η ενέργεια των κυμάτων καθώς και η ισχύς του κυματισμού είναι η κίνηση των κυμάτων της θάλασσας που από την μηχανική κίνηση παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τα κύματα του ωκεανού καθώς αυτά κινούνται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία στροβίλων οι οποίοι μπορούν με τη σειρά τους την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 32: Ενέργεια κυμάτων [4]

Η αρχή λειτουργίας είναι ότι κίνηση του κυματισμού μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα δεν είναι ανεπτυγμένη ακόμη εμπορικά αυτή η τεχνολογία αλλά εργαστηριακές δοκιμές με πρότυπα σχεδιασμού απέδειξαν ότι θα είναι εφικτή μελλοντικά

Το Hybrid Trimaran είναι ένα παραδοσιακό Φιλιπινέζικο σκάφος που χρησιμοποιεί την κυματική ενέργεια με την βοήθεια υδραυλικού συστήματος που παίρνει κίνηση από των κυματισμό της θάλασσας και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και εν συνεχεία μια γεννήτρια τη διανέμει στις ανάγκες του σκάφους. Πρωτίστως βέβαια βοηθάει τον κύριο κινητήρα στην πρόωση του σκάφους. [3]

Στην ουσία όσο περισσότερα κύματα συναντά το Hybrid Trimaran τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παράγει.

Το μέγεθος του μετατροπέα παίζει ρόλο διότι πρέπει να παράγει επαρκής ενέργεια ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις του εκάστοτε πλοίου. Προφανώς, αυτό σημαίνει ότι τα μεγαλύτερα πλοία απαιτούν μεγαλύτερους μετατροπείς διότι χρειάζονται περισσότερη ισχύ. Εκτιμάται ότι η ενέργεια κυμάτων μπορεί να παράγει ισχύ περί το 92% του χρόνου λόγω της υψηλής πυκνότητας της κυματικής ενέργειας ειδικά σε σύγκριση με τις τεχνολογίες αιολικής ενέργειας καθώς και της ηλιακής ενέργειας που παράγουν περίπου 25%.

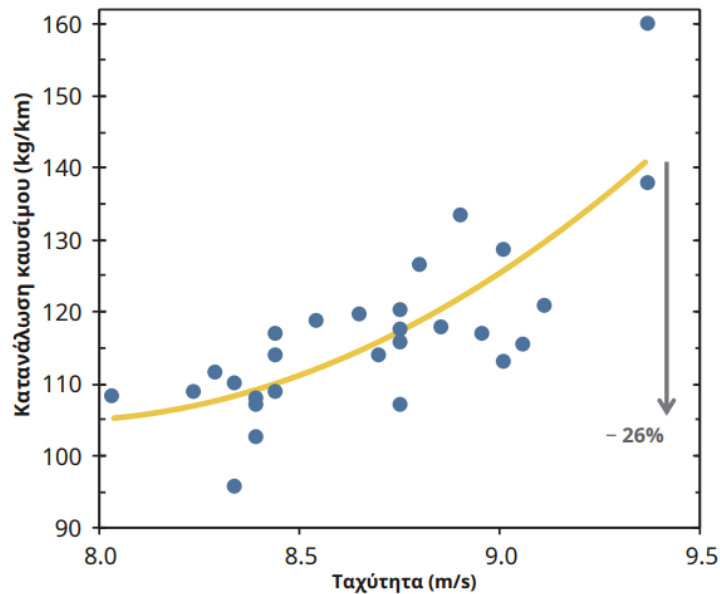
### **5.13. Slow Steaming**

#### **5.13.1.Ακαδημαϊκή έρευνα**

Αρχικώς το 1981 η πρώτη έρευνα του Slow Steaming εντόπισε το πλεονέκτημα ότι μειώνοντας τη ταχύτητα ενός πλοίου μειώνεται η κατανάλωση των καυσίμων του πλοίου άρα και το κόστος ανεφοδιασμού και κατά συνέπεια μειώνονται και οι αέριοι ρύποι που εκλύονται.

Έκτοτε μελέτες και έρευνες γίνονται σχετικά με τις διάφορες ταχύτητες ενός πλοίου που δουλεύει και την σχέση εξοικονόμησης καυσίμου. Ως επακόλουθο οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα να μειώνονται και εν γένει τα καυσαέρια του θερμοκηπίου που εκλύει μια μηχανή ΜΕΚ.

Άλλη μελέτη εξετάζει τη μείωση του κόστους των καυσίμων και των πλοίων σε σχέση με την ταχύτητα του πλοίου και τη διαθεσιμότητα ελλειμνισμού του. Οι Notteboom και Vernimmen (2009) αξιολογούν τα αποτελέσματα του σχεδιασμού των μεταφορών (δηλαδή την ταχύτητα, τους καλούμενους λιμένες και τα πλοία) ως απάντηση στην αύξηση των τιμών των καυσίμων.



Εικόνα 33 : Κατανάλωση καυσίμου πλοίου σε σχέση με τη μέση ταχύτητα. [7]

Πρόσθετες εργασίες εστιάζουν ειδικότερα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, ο Fagerholt (2010) εντοπίζει σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων και μειώσεις εκπομπών των καυσαερίων όταν τα πλοία πλέουν με μειωμένη ταχύτητα. Ομοίως ο Corbett (2009) σημείωσε ότι η προσθήκη φόρου καυσίμου \$60 ανά τόνο, ένα αμφιλεγόμενο πρόγραμμα (Rosenthal, 2010), θα μειώσει τις εκπομπές κατά 20%.

Η παραπάνω βιβλιογραφία παρέχει ισχυρά θεμέλια για πρακτικές μειωμένης ταχύτητας, αλλά συνήθως δεν την ενστερνίζονται όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, το «Slow Steaming» δηλαδή οι πιο αργές ταχύτητες πλεύσης των πλοίων είναι συνηθισμένο προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση της κατανάλωσης καυσίμου ενός πλοίου. Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα μεγαλύτερα πλοία μπορεί να καταναλώνουν αρκετές εκατοντάδες τόνους καυσίμου την ημέρα, η εξοικονόμηση κόστους μπορεί να είναι σημαντική.

Η πλήρης ταχύτητα για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων συνήθως είναι οι 24 κόμβοι δηλαδή 85% με 90% της απόδοσης του κινητήρα. Η μείωση της ταχύτητας στους 21 κόμβους αντιπροσωπεύει το «Slow Steaming», η μείωση στους 18 κόμβους ορίζεται ως «Extra Slow Steaming» και η μείωση στους 15 κόμβους ως «Super Slow Steaming». Μια



άλλη νέα τεχνολογία όχι ευρέως αναπτυγμένη ακόμη είναι η εκτόξευση φυσαλίδων αέρα στο κάτω μέρος του κύτους την επονομαζόμενη καρίνα του πλοίου. Αυτό χρησιμοποιείται ως μέσο μείωσης της αντίστασης τριβής του κύτους.



Εικόνα 34 : Φυσαλίδες αέρα στο κύτος του πλοίου [7]

Οι χαμηλότερες ταχύτητες γενικά βελτιώνουν στην οικονομία του καυσίμου. Τα καύσιμα μπορεί να υπερβούν το ήμισυ του συνολικού λειτουργικού κόστους για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και κατά συνέπεια οι αυξήσεις στις τιμές των καυσίμων έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο κόστος μεταφοράς ανά TEU. Καθώς οι τιμές των καυσίμων έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια το slow steaming έχει γίνει πιο ελκυστικό για τους πλοιοκτήτες. Σε ενδεικτική τιμή καυσίμου μαζούτ 500 \$ ανά τόνο, οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να εξοικονομήσουν 5-7% στο κόστος, το οποίο μπορεί να αντιπροσωπεύει 250.000 \$ σε ένα ταξίδι και 15-20 εκατομμύρια \$ ετησίως για ενδεικτική διαδρομή Ασίας-Ευρώπης. Δεδομένων των μικρών περιθωρίων κέρδους στον κλάδο αρκετές ναυτιλιακές έχουν υιοθετήσει την πρακτική αυτή ως πρώτο πλεονέκτημα. [24]

Ως δεύτερο πλεονέκτημα του Slow Steaming, η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου αντιστοιχεί άμεσα με χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου GHG και CO<sub>2</sub> επίσης. Ο Ψαράφτης και Κοντοβάς το 2009 σε έρευνα τους βρήκαν ότι καταναλώνει 265 εκατομμύρια τόνους καυσίμων ετησίως η ναυτιλία και παράγει 840 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> όπου αντιπροσωπεύει το 3% όλων των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ως αποτέλεσμα, οι θαλάσσιες μεταφορές ισοδυναμούν με την έκτη μεγαλύτερη ρυπογόνο χώρα στον κόσμο και τις ετήσιες εκπομπές GHG της Γερμανίας. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων εκπέμπουν τα περισσότερα GHG από τις υπόλοιπες κατηγορίες πλοίων, όπου το έτος 2009 παρήγαγαν 270 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Ο Διεθνής

Ναυτιλιακός Οργανισμός IMO προβλέπει ανησυχητικά ότι οι εκπομπές των ρύπων των ποντοπόρων πλοίων θα αυξηθούν κατά 2-3 φορές τα σημερινά επίπεδα έως το 2050 καθώς αυξάνεται το διεθνές εμπόριο. Παρά τις άλλες επιλογές για την επίτευξη μείωσης των αέριων εκπομπών των ρύπων όπως οι αλλαγές στο σχεδιασμό του κύτους, αλλαγή δρομολόγησης των πλοίων, η στίλβωση της προπέλας και τα συστήματα kite για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, το Slow Steaming αντιπροσωπεύει μια άμεση προσέγγιση για τις ναυτιλιακές ώστε να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Σαν τρίτο πλεονέκτημα το Slow Steaming αξίζει να αναφερθεί ότι επιτρέπει επίσης στους φορείς να απορροφούν την περίσσεια χωρητικότητα του στόλου σε περιόδους μειωμένης ζήτησης. Καθ' όλη τη διάρκεια του 2009 και του 2010, οι πλοιοκτήτες παρελάμβαναν πλοία που είχαν παραγγελθεί πριν από την οικονομική ύφεση διπλασιάζοντας σχεδόν τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Ωστόσο, περίπου το 5% του παγκόσμιου στόλου εμπορευματοκιβωτίων ήταν σε αδράνεια λόγω μειωμένης ζήτησης. Δεδομένου ότι οι πιο αργές ταχύτητες των πλοίων ουσιαστικά μειώνουν το μεταφορικό τους έργο, οι ναυτιλιακές μπορούν να χρησιμοποιήσουν πλεονάζοντα πλοία. Για παράδειγμα, εκτιμάται ότι το Slow Steaming θα μπορούσε να απορροφήσει 4% του διαθέσιμου στόλου.

Ο προγραμματισμός παράδοσης εμπορευμάτων αντιπροσωπεύει ένα τέταρτο κύριο πλεονέκτημα του Slow Steaming. Καθυστερήσεις στη παράδοση μπορεί να προκύψουν από ένα ευρύ φάσμα πηγών, όπως η συμφόρηση των λιμανιών, η παραγωγικότητα των τερματικών σταθμών, ο καιρός και τα μηχανικά ζητήματα σε ένα πλοίο. Αυτή η καθυστέρηση θα έχει αλυσιδωτή αντίδραση στα επόμενα λιμάνια παράδοσης εμπορευμάτων. Έτσι οι μειωμένες ταχύτητες των πλοίων και οι μεγαλύτεροι χρόνοι διέλευσης επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στις ναυτιλιακές εταιρείες να προσαρμόζουν τις ταχύτητες για να ξεπεραστούν οι καθυστερήσεις, επιτρέποντας καλύτερη τήρηση του προγράμματος. Η αξιοπιστία του προγραμματισμού παράδοσης εμπορευμάτων είναι επί του παρόντος εξαιρετικά προβληματική με τις περισσότερες εταιρείες να επιτυγχάνουν μόνο το 50-60% έγκαιρων αφίξεων.

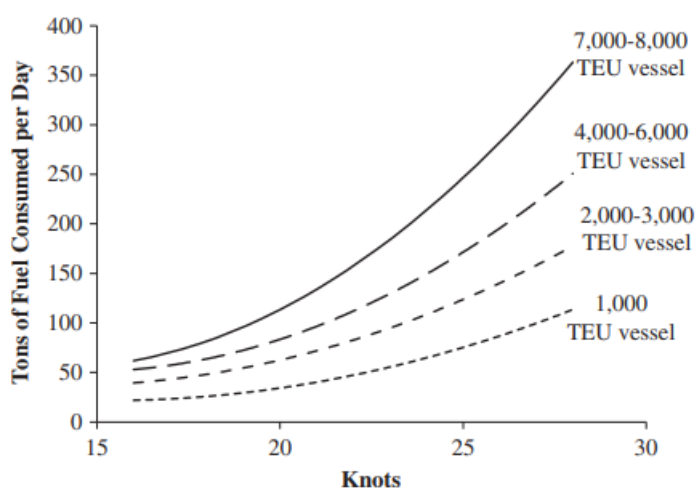
Πρόσθετα πλεονεκτήματα slow Steaming περιλαμβάνουν μειωμένες εκπομπές αέριων θερμοκηπίου (GHG), απορρόφηση όλου του στόλου πλοίων σε ταξίδια και αυξημένη αξιοπιστία του προγράμματος παράδοσης εμπορευμάτων.

Οι πλοιοκτήτες μπορούν να επωφεληθούν από το Slow Steaming άμεσα και να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις μέσω του μειωμένου αποτυπώματος άνθρακα της

αλυσίδας εφοδιασμού, αλλά οι μεγαλύτεροι χρόνοι διέλευσης θα αυξήσουν εν γένει το κόστος μεταφοράς. [24]

### 5.13.2. Οφέλη εκπομπών άνθρακα

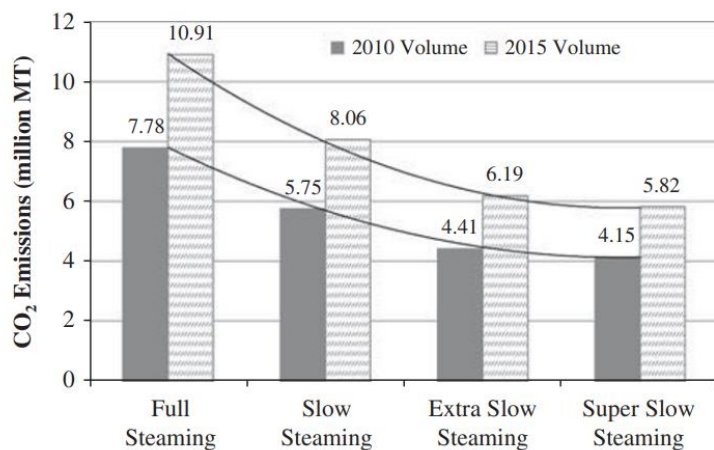
Η μελέτη του Maloni et al, μοντελοποίησε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του Slow Steaming. Για να γίνει αυτό, προσεγγίστηκαν οι εκπομπές CO<sub>2</sub> του πλοίου με βάση έναν συντελεστή 3,17 MT εκπομπών ανά MT καυσίμου που καίγεται σύμφωνα με τον IMO. Αυτό εξυπηρετεί διάφορες τιμές αποδοτικότητας του καυσίμου που σχετίζονται με διαφορετικά μεγέθη πλοίων.



Εικόνα 35: Κατανάλωση καυσίμου ανάλογα την χωρητικότητα εμπορευματοκιβωτίων ενός πλοίου. [24]

Οι μειώσεις των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα συνοψίζονται στην εικόνα 36

Ανάλογα το βαθμό Slow Steaming που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 36: Ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (εκατομμύρια μετρικοί τόνοι) για πλοία έτους 2010 και 2015. Μη γραμμική τάση :  $0,44x^2 - 3,43x + 10,79$ ,  $R^2 = 1,00$  (2010);  $0,62x^2 - 4,80x + 15,12$ ,  $R^2 = 1,00$  (2015). [24]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΡΟΥΑΖΙΕΡΟΠΛΟΙΟ

Ένα ηλεκτρικό κρουαζιερόπλοιο με γιγαντιαία ηλιακά πανιά πρόκειται να δρομολογηθεί το 2030



Εικόνα 37 : Ένα ηλεκτρικό κρουαζιερόπλοιο με γιγαντιαία ηλιακά πανιά πρόκειται να δρομολογηθεί το 2030 - ertnews.gr [21]

Το μεγαλεπήβολο έργο, με την ονομασία «Καθαρή Θάλασσα», ανακοινώθηκε τον Μάρτιο του 2022 και έκτοτε η εταιρεία Hurtigruten Norway σχεδιάζει την κατασκευή ενός ηλεκτρικού κρουαζιερόπλοιου με μηδενικές εκπομπές ρύπων έως το 2030. Θα φέρει αναδιπλούμενα πανιά που θα καλύπτονται από ηλιακούς συλλέκτες.

Το πλοίο θα λειτουργεί κυρίως με μπαταρίες 60 μεγαβάτ που θα μπορούν να φορτίζονται στο λιμάνι με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς αποτελούν το 98% του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Νορβηγίας. Οι μπαταρίες θα έχουν εμβέλεια 300 έως 350 ναυτικά μίλια, πράγμα που σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού έντεκα ημερών μετ' επιστροφής, ένα πλοίο θα πρέπει να φορτίσει περίπου επτά ή οκτώ φορές.

Έτσι για να μειωθεί η κατανάλωση από την μπαταρία, όταν φυσάει, τρία αναδιπλούμενα πανιά ή φτερά θα υψώνονται από το κατάστρωμα, φτάνοντας σε μέγιστο ύψος τα 50 μέτρα. Θα είναι ρυθμιζόμενα ανεξάρτητα το κάθε ένα για να αλλάζουν τη γωνία τους για να επιτυγχάνεται το μέγιστο της απόδοσης. Επί προσθέτως τα πανιά θα καλύπτονται από

συνολικά 1.500 τετραγωνικά μέτρα ηλιακών συλλεκτών που θα παράγουν ενέργεια για να γεμίζουν τις μπαταρίες κατά την πλεύση του.

Το βελτιωμένο σχήμα του θα έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη αντίσταση του αέρα, συμβάλλοντας στην περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Κατά τον πλου οι επιβάτες θα κληθούν να ελαχιστοποιήσουν τις δικές τους περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω μιας διαδραστικής εφαρμογής για κινητά που θα παρακολουθεί την προσωπική τους κατανάλωση νερού και ενέργειας.

Ενώ το σχέδιο της Hurtigruten Norway θα διαθέτει εφεδρικό κινητήρα για λόγους ασφαλείας, θα λειτουργεί με «πράσινα καύσιμα», όπως αμμωνία, μεθανόλη ή βιοκαύσιμα.[21]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΚΕΝΑ ΓΝΩΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΟΥΝ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Όσον αφορά τις θαλάσσιες μεταφορές, το βαρύ μαζούτ αντιπροσωπεύει περίπου το 78% των εκπομπών άνθρακα, το οποίο θα μπορούσε να αντικατασταθεί από καύσιμα ουδέτερα από άνθρακα, όπως LNG και LPG, βιοκαύσιμα, υδρογόνο και αμμωνία. Αν και μερικές τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί σε εμπορική κλίμακα, απαιτούνται περισσότερες επιδείξεις αυτών των τεχνολογιών για την προώθηση ευρέως διαδεδομένων εφαρμογών. Επιπλέον, η βελτίωση της απόδοσης του πλοίου είναι επίσης μια αποτελεσματική μέθοδος για την απανθρακοποίηση που απαιτεί περαιτέρω έρευνα. [1]

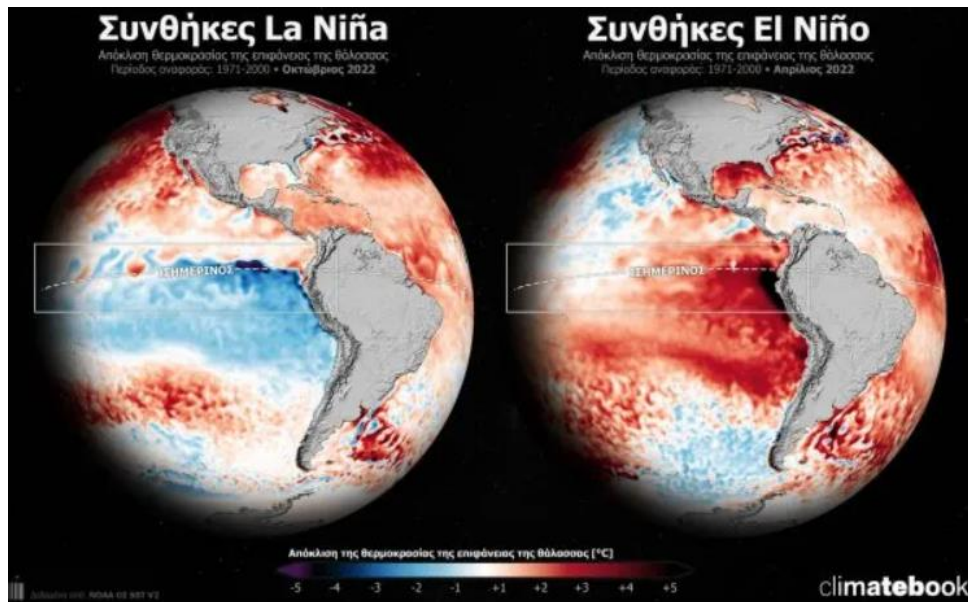
Τα εναλλακτικά καύσιμα και τα βιοκαύσιμα εν γένη είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που δεν υπάρχει σήμερα αρκετή γνώση για το πως θα εδραιωθούν απροβλημάτιστα στη ναυτιλία. Όλος ο κύκλος ζωής τους (well to tank) και (tank to wake) από την παραγωγή τους, την αποθήκευση τους, την διανομή τους στο πλοίο, την αποθήκευση τους επι του πλοίου και τελικώς να μπορέσει να καεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης χρήζει μελλοντικής έρευνας και ανάλυσης. Οι κυψέλες καυσίμων είναι μια νέα τεχνολογία επίσης που χρειάζεται περαιτέρω ανάπτυξη.

Τέλος, σε μελλοντικές έρευνες, μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση συνολικής απόδοσης του εκάστοτε συστήματος για κάθε προκαθορισμένο τύπο πλοίου ανάλογα με τα διαφορετικά συστήματα καυσίμων και κυψελών καυσίμου που θα εγκατασταθούν σε αυτό. Επί πλέον η αμμωνία και το υδρογόνο μπορεί να έχουν διαφορετικές συμπεριφορές και επομένως διαφορετική βαρύτητα η χρήση του σε εναλλακτικούς τύπους πλοίων. Έτσι, πιο συγκεκριμένη ανάλυση και διαφορετικές παραμέτρους επιλογής μπορούν να γίνουν κατά περίπτωση ανάλογα με το πλοίο και το προφίλ λειτουργίας του.

Μια άλλη νέα τεχνολογία που χρήζει έρευνας είναι η εκτόξευση φυσαλίδων αέρα από το κάτω μέρος του κύτους του πλοίου ως μέσο μείωσης της αντίστασης τριβής του κύτους.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στις διαφορετικές αποδόσεις του κλίματος ήρθαμε όλοι μας αντιμέτωποι φέτος το καλοκαίρι. Πιο πολύ επίκαιρο παρά ποτέ είναι το θέμα της παρούσας εργασίας με τα στοιχεία της κλιματικής αλλαγής να μας απασχολούν περισσότερο από ποτέ. Ένα διαφορετικό κλιματικό φαινόμενο που αναπτύσσεται κάθε επτά έτη προερχόμενο απο διαφορετικό μέρος του πλανήτη στον Ειρηνικό ωκεανό συνδέεται με την αύξηση των θερμοκρασιών της επιφανείας του ωκεανού με καταστροφικό αντίκτυπο στο πλανήτη και δεν είναι άλλο από το φαινόμενο El Niño - La Niña. Η πιο καυτή καταγεγραμμένη χρονιά στη ιστορία ήταν το 2016 που καθοδηγήθηκε από ένα μεγάλο Ελ Νίνιο. Έτσι, φέτος το καλοκαίρι του 2023 ακριβώς μετά από επτά έτη καταγράφηκε νέο ρεκόρ έως τώρα θερμοκρασιών ιδιαιτέρως για τον μήνα Ιούλιο.



Εικόνα 38 : [https://www.reader.gr/ellada/524265\\_ti-einai-fainomeno-el-ninio-poy-epanemfanistike-2023](https://www.reader.gr/ellada/524265_ti-einai-fainomeno-el-ninio-poy-epanemfanistike-2023) [19]

Η άνωθεν φωτώ μας δείχνει τις αποκλίσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας από τις κανονικές τιμές τον Οκτώβριο του 2022 (αριστερά) και στις αρχές Απριλίου 2023 (δεξιά). Το λευκό ορθογώνιο οριοθετεί την περιοχή όπου εμφανίζονται τα φαινόμενα La Niña/El Niño.

Οι κυμαινόμενες επιπτώσεις του κύκλου Ελ Νίνιο -Λα Νίνια είναι μέρος μιας φυσικής ταλάντωσης που προκαλείται από τις θερμοκρασίες των ωκεανών και τους ανέμους. Οπότε παρατηρείται καύσωνας στην ανατολική και νότια Ευρώπη με ταυτόχρονο κρύο για την εποχή επίπεδα στη βόρεια Ευρώπη και πλημύρες. Η υπερθέρμανσή του πλανήτη λόγω αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, είναι απορία της χρήσης του ανθρώπου υγρών ορυκτών καυσίμων σε περιεκτικότητα με άνθρακα, χρήση του λιγνίτη, του φυσικού αερίου και γενικότερα των υδρογονανθράκων. Η διεθνείς κοινότητες κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη, διότι μελέτες αναφέρουν ότι θα δούμε αποτελέσματα σε τριάντα χρόνια αν σταματήσει σήμερα να εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα σήμερα. Καταλαβαίνουμε την επιτακτική ανάγκη να παρθούν μέτρα και να λάβουμε δράση άμεσα για την αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης του κλίματος. [19]

Η απανθρακοποίηση της ναυτιλίας είναι ένα σχέδιο αξίας πολλών δισεκατομμυρίων, με τα συμφέροντα να είναι τεράστια. Νέοι κανονισμοί σε παγκόσμιο και περιφερειακό επίπεδο, στους οποίους πρέπει να προσαρμοστούν σε πρώτη φάση οι εφοπλιστές και κατόπιν οι ναυλωτές, έρευνες για χρήση εναλλακτικών καυσίμων, χιλιάδες εταιρείες που συμμετέχουν



στις έρευνες, καθώς και δάνεια βασισμένα σε όρους βιωσιμότητας, αποτελούν το νέο σκητικό. Η καταιγίδα πληροφοριών προκαλεί τις περισσότερες φορές σύγχυση, ενώ όλοι προσπαθούν να πουλήσουν τα προϊόντα τους σε έναν σκληρό ανταγωνισμό.

Αυτή η εργασία στοχεύει να βρει το πιο πολλά υποσχόμενο και κατάλληλο καύσιμο μηδενικού άνθρακα για τα εμπορικά πλοία. Τα κριτήρια ορίστηκαν από τις έως σήμερα γνώσεις της βιβλιογραφίας. Η εξήγηση για κάθε κριτήριο και απόδοση των καυσίμων βασίζεται κυρίως στη θαλάσσια προοπτική και τις ναυτιλιακές εμπειρίες όπου ελπίζουμε να δούμε μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και βελτιωμένη απόδοση των πλοίων. Οι πλοιοκτήτες θα πρέπει να συνεχίσουν να ανεβάζουν τον πήχη και να συνεχίσουν την προσπάθειά τους προς την αποτελεσματικότητα της προσπάθειας αυτής.

Μέχρι το 2030, τα πλοία μηδενικών εκπομπών Zero Emission Vessels (ZEV) πρέπει να γίνουν μέρος του παγκόσμιου στόλου για να επιτύχουν τους στόχους που ορίζονται στη Συμφωνία του Παρισιού. Θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην ανάπτυξη αλυσίδων εφοδιασμού καυσίμων μηδενικού άνθρακα, συμπεριλαμβανομένων των λύσεων όσων αφορά τα πλοία και της απαραίτητης χερσαίας υποδομής. Ενώ λύσεις μηδενικών εκπομπών έχουν εφαρμοστεί σε εξειδικευμένες εφαρμογές, υπάρχει έλλειψη καθιερωμένων λύσεων για μεγάλης κλίμακας όπως στη ναυτιλία, με αποτέλεσμα αντικρουόμενες απόψεις και συζητήσεις μεταξύ της ναυτιλιακής βιομηχανίας σχετικά με εναλλακτικούς τρόπους απαλλαγής από τον άνθρακα. Οι οργανισμοί που αναζητούν αξιόπιστη καθοδήγηση πρέπει τώρα να περιηγηθούν σε αυτό το περίπλοκο τοπίο.

Σύμφωνα με τη σύγκριση αμμωνίας και υδρογόνου, η αμμωνία είναι ασφαλέστερο καύσιμο με χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερα προβλήματα αποθήκευσης και υψηλότερη βιωσιμότητα. Το μόνο μειονέκτημα της αμμωνίας είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αν και η διαφορά είναι χαμηλή, η αμμωνία έχει υψηλότερες εκπομπές «well-to-wake» δηλαδή από την παραγωγή στην κατανάλωση σε σχέση με το υδρογόνο, με αποτέλεσμα υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τελικά, Η απαλλαγή από τον άνθρακα της ναυτιλίας είναι το βασικό ζήτημα που πρέπει να επιλυθεί και η αμμωνία και το υδρογόνο είναι δύο σημαντικά εναλλακτικά καύσιμα για το μέλλον της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση μείωσης του κόστους και με ευκολότερες συνθήκες αποθήκευσης, το υδρογόνο μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο. Ωστόσο, οι σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις δίνουν περισσότερες ευκαιρίες στην αμμωνία παρά στο υδρογόνο με την έννοια της βιώσιμης και αξιόπιστης ναυτιλιακής βιομηχανίας. Και τα δύο καύσιμα επεξεργάζονται με

συστήματα κυψελών καυσίμου για την επίτευξη του στόχου μηδενικού άνθρακα επομένως το βήμα παραγωγής ενέργειας είναι αρκετά παρόμοιο και για τα δύο.

Η ναυτιλία είναι η λιγότερο επιζήμια για το περιβάλλον στον τομέα των εμπορικών μεταφορών και σε σύγκριση με τις μεταφορές στη ξηρά και στην αεροπλοΐα.

Επίσης έχει σημειωθεί σημαντική μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης τα τελευταία 15 χρόνια, ιδίως όσον αφορά τις ποσότητες πετρελαίου που διέρρεαν στη θάλασσα, παρά τη μαζική αύξηση του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου.

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι το εναλλακτικό καύσιμο για τα πλοία που έχει λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή. Το κύριο πρόβλημα με το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι ότι δεν μπορεί να εκπληρώσει την αρχική στρατηγική του IMO, η οποία απαιτεί μείωση κατά 50% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι επιστήμονες εστιάζουν όλο και περισσότερο την προσοχή τους στη μεθανόλη, την αμμωνία και τα καύσιμα υδρογόνου. Τα βιοκαύσιμα όπως η βιομεθανόλη και το βιοντίζελ μπορούν να συμβάλουν στη δραστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη ναυτιλιακή βιομηχανία έως και 100%. Ωστόσο, δεν συνιστάται η χρήση βιοκαυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία λόγω της περιορισμένης επάρκειας τους για εφοδιασμό των πλοίων καθώς και της χαμηλής ανταγωνιστικότητάς τους σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας για να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών που παράγει η ναυτιλία παγκόσμια από οικονομική, περιβαλλοντικής και τεχνολογική σκοπιά. Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν συντονισμένες ενέργειες για την αντικατάσταση των συμβατών ορυκτών καυσίμων πλοίων με εναλλακτικά καύσιμα. Ως οδηγός για την ανάπτυξη της απανθρακοποίησης της ναυτιλίας, τα ευρήματα αυτής της διπλωματικής εργασίας βοηθούν στον εντοπισμό των προτάσεων με τις περισσότερες και εφικτότερες δυνατότητες μείωσης των εκπομπών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Yanrui N., Lei W., Xiaochuan Y., Jing L. (2023). Recent development in the decarbonization of marine and offshore engineering systems. *Ocean Engineering*, 280 (2023), 114883.
- [2] Zahidul I.R., Mofijur M., Hasan M.M., Rasul M.G., Jahirul M.I., Shams F.A., Kalam M.A., Badruddin I.A., Yunus Khan T.M., Show P-L. (2023). Alternative fuels to reduce greenhouse gas emissions from marine transport and promote UN sustainable development goals. *Fuel*, 338 (2023), 127220.
- [3] Inal O.B., Zincir B., Deniz C. (2022). Investigation on the decarbonisation of shipping: An approach to hydrogen and ammonia. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (2022), 19888-19900.
- [4] Stavroulakis P.J., Koutsouradi M., Kyriakopoulou-Roussou M-C., Manoglou E-A., Tsioumas V., Papadimitriou S. (2023). Decarbonization and sustainable shipping in a post COVID-19 world. *Scientific African*, 21 (2023), e01758.
- [5] Harilaos N. Psaraftisa, Thalys Zisb. (2023). Shipping decarbonization and green ports. *Maritime Transport Research*, (2023)
- [6] Ampah J.D., Yusuf A.A., Afrane S., Jin C., Liu H. (2021). Reviewing two decades of cleaner alternative marine fuels: Towards IMO's decarbonization of the maritime transport sector. *Journal of Cleaner Production*, 320 (2021), 128871.
- [7] Balcombe P., Brierley J., Lewis C., Skatvedt L., Speirs J., Hawkes A., Staffell I. (2019). How to decarbonise international shipping: options for fuels, technologies and policies. *Energy Conversion and Management*, 182 (2019), 72-88.
- [8] Khan M.Z.A., Khan H.A., Ravi S.S., Turner J.WG., Aziz M. (2023). Potential of clean liquid fuels in decarbonizing transportation – An overlooked net-zero pathway? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183 (2023), 113483.
- [9] <https://www.naftemporiki.gr/maritime/1463628/naytilia-me-kinitra-i-strofi-sta-enallaktika-kaysima/>
- [10] [Απανθρακοποίηση: Με μείωση της ταχύτητας των πλοίων απαντά η ναυτιλία \(msn.com\)](https://www.msn.com)
- [11] Czermanski E., Oniszczyk-Jastrabek A., Spangenberg E.F., Kozłowski L. Adamowicz M., Jankiewicz J., Cirella G.T. (2022). Implementation of the energy efficiency existing ship index: an important but costly step towards ocean protection. *Marine Policy*, 145 (2022), 105259.
- [12] <https://www.capital.gr/diethni/3652700/handelsblatt-udrogono-anemos-biomaza-pos-i-iaponia-efeuriskei-ta-kathara-uperokeania/>
- [13] Lindstad E., Polic D., Rialland A., Sandaas I., Stokke T. (2022). Decarbonizing bulk shipping combining ship design and alternative power. *Ocean Engineering*, 266 (2022), 112798.

- [14] Daniel H., Trovao J.P.F., Williams D. (2021) Shore power as a first step toward shipping decarbonisation and related policy impact on a dry bulk cargo carrier. *eTransportation*, 11 (2022), 100150.
- [15] Zis T.P.V., Psaraftis H.N., Tillig F., Ringsberg J.W. (2020). Decarbonizing maritime transport: A Ro-Pax case study. *Research in Transportation Business & Management*, 37 (2020), 100565.
- [16] Corbett J.J., Wang H. Winebrake J.J. (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D*, 14 (2009), 593-598.
- [17] Stefanos Chatzinikolaou (2023). Ship Energy Efficiency. Presentation at University of Piraeus
- [18] <https://www.ertnews.gr/eidiseis/epistimi/technologia/ena-ilektriko-krouazieroploio-me-gigantiaia-iliaka-pania-prokeitai-na-dromologithei-to-2030/>
- [19] <https://boats.drivemag.com/features/video-these-are-some-of-the-weirdest-ships-in-the-world/>
- [19] [https://www.reader.gr/ellada/524265\\_ti-einai-fainomeno-el-ninio-poy-epanemfanistike-2023](https://www.reader.gr/ellada/524265_ti-einai-fainomeno-el-ninio-poy-epanemfanistike-2023)
- [20] <https://www.lr.org/en/expertise/maritime-energy-transition/maritime-decarbonisation-hub/zcfm/>
- [21] <https://www.ertnews.gr/eidiseis/epistimi/technologia/ena-ilektriko-krouazieroploio-me-gigantiaia-iliaka-pania-prokeitai-na-dromologithei-to-2030/>
- [22] International Transport Forum (2018). Decarbonizing Maritime Transport, Pathways to zero-carbon shipping by 2035.
- [23] Mallouppas G. & Yfantis E.A. (2021). Decarbonization in shipping industry: A review of research, technology development, and innovation proposals. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (415).
- [24] Maloni, M. Paul J.A. & Gligor D.M. (2013). Slow steaming impacts on ocean carriers and shippers. *Maritime Economics & Logistics*, 15 (2013), 151-171.

### **Web Magazine**

- [25] DNV Technical Regulatory News. *Monitoring of CII rating and how to stay compliant*. June 2023. No 14/2023 – Statutory.
- [26] DNV Technical Regulatory News. *IMO MEPC 80: Shipping to reach net-zero GHG emissions by 2050*. July 2023. No 17/2023 – Statutory.

## **Websites**

- [27] <http://www.classnk.or.jp>
- [28] <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- [29] [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)
- [30] <https://www.ertnews.gr/eidiseis/epistimi/technologia/ena-ilektriko-krouazieroploio-me-gigantiaia-iliaka-pania-prokeitai-na-dromologithei-to-2030/>
- [31] [https://el.wikipedia.org/wiki/MARPOL\\_73/78](https://el.wikipedia.org/wiki/MARPOL_73/78)
- [32] [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- [33] <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-default.aspx>
- [34] <https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>
- [35] [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82\\_%CE%97%CE%BD%CF%89%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD\\_%CE%95%CE%B8%CE%BD%CF%8E%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%97%CE%BD%CF%89%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD_%CE%95%CE%B8%CE%BD%CF%8E%CE%BD)
- [36] <https://unric.org/el/>
- [37] <https://safety4sea.com/cm-do-you-know-what-methane-slip-is/>
- [38] <https://safety4sea.com/cm-lng-as-marine-fuel-and-methane-slip/>
- [39] <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/CI-carbon-intensity-indicator/index.html>
- [40] <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/eexi/index.html>
- [41] <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/seemp-part-iii/index.html>
- [42] <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>
- [43] [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/2023%20Strategy%20on%20Reduction%20of%20GHG%20emissions%20from%20ships%20as%20adopted%20subject%20to%20any%20final%20editorials\\_.pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/PressBriefings/Documents/2023%20Strategy%20on%20Reduction%20of%20GHG%20emissions%20from%20ships%20as%20adopted%20subject%20to%20any%20final%20editorials_.pdf)
- [44] <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>
- [45] <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>
- [46] <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/climate-finance>
- [47] <https://www.emicert.com/index.php>
- [48] <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/environmental-performance-imo-agreement-on-technical-regulations-to-reduce-ships-co2/>

- [49] <https://rightship.com/>
- [50] <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx>
- [51] <https://marine-offshore.bureauveritas.com/shipping-decarbonization/carbon-index/eexi>
- [52] <https://www.dnv.com/news/eexi-and-cii-requirements-taking-effect-from-1-january-2023--237817>
- [53] <https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/data-collection-system.aspx>
- [54] <https://www.classnk.or.jp/hp/en/authentication/eumrv/index.html>
- [55] <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/36-ISWG-GHG-7.aspx>