



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΠΜΣ «ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΦΑΡΜΟΣΤΟΥΝ ΣΤΗ
ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΕΩΣ ΤΟ
2050»

ΟΝΟΜ/ΕΠΩΝΥΜΟ : ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΗΛΙΟΠΥΡΗΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ : 08118804

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Β. ΛΥΡΙΔΗΣ

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που αναμένεται να επηρεάσει τόσο τις σύγχρονες γενιές όσο και τις επόμενες. Τα τελευταία 1 δισεκατομμύριο χρόνια, η ατμόσφαιρα της γης έχει μεταβληθεί έντονα. Κλιματολογικές και ωκεανογραφικές μελέτες έχουν οδηγήσει τους επιστήμονες στο συμπέρασμα ότι οι μεταβολές του κλίματος επήλθαν σταδιακά και συνδέονται άμεσα με μεταβολές στις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) στην ατμόσφαιρα. Τα δύο αυτά αέρια και ειδικά το CO₂, επηρεάζουν τη θερμοκρασία του πλανήτη.

Λόγω της επικείμενης αύξησης του διεθνούς εμπορίου, διογκώνεται το ποσοστό ρύπανσης από μέρους της ναυτιλίας. Έτσι έχει καταστεί επιτακτική η ανάγκη εφαρμογής μέτρων σχεδιασμένων με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ναυτιλιακής βιομηχανίας για την αντιμετώπιση των ναυτιλιακών εκπομπών. Η Διεθνής Κοινότητα, μέσω της δραστηριοποίησης των διεθνών οργανισμών (IMO), κυβερνητικών συνασπισμών και βιομηχανικών ενώσεων έχει μπει σε μία τροχιά σχεδίασης πρακτικών και μέτρων που έχουν συμπεριληφθεί στην υποχρεωτική εφαρμογή ενός θεσμικού πλαισίου για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Αρχικά η εργασία αυτή θα περιγράψει:

- τι είναι κλιματική αλλαγή και που οφείλεται
- πόσο την επηρεάζουν οι θαλάσσιες μεταφορές και
- ποια είναι τα μέτρα και οι παρεμβάσεις που έχουν ήδη εφαρμοστεί και που θα εφαρμοστούν στη ναυτιλία στο μέλλον για την μείωση των εκπομπών CO₂.

Ειδικότερα θα γίνει αναφορά και θα γίνει προσπάθεια να αξιολογηθούν ποιοτικά και ποσοτικά:

- ο ρόλος της περιβαλλοντικής πολιτικής των λιμένων για την ανάπτυξη αποτελεσματικών λιμενικών υποδομών και υπηρεσιών
- τα τεχνολογικά μέτρα (στη γάστρα, στην έλικα και στη μηχανή του πλοίου)

- τα λειτουργικά μέτρα (μείωση της ταχύτητας πλεύσης, μείωση της αντίστασης με σωστή κατανομή φορτίου και έρματος)
- τα εναλλακτικά καύσιμα (LPG, LNG)
- η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών και εναλλακτικών πρακτικών με εναλλακτικές μορφές ενέργειας (αιολική, ηλιακή και κυψέλες καυσίμων)
- η αλλαγή του τρόπου σχεδίασης των πλοίων (πλοία με κοιλότητες αέρα, αποθήκευση και φύλαξη ρύπων στα πλοία) και
- τα οικονομικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων από τη ναυτιλία.

Τέλος συμπερασματικά θα γίνει μία σύνοψη των τεχνολογικά εφικτών λύσεων που πρέπει να εξερευνηθούν, με στόχο την μείωση των εκπομπών CO₂ στη ναυτιλία.

Abstract

Climate change is a global problem that is expected to affect both modern generations and the future. Over the past 1 billion years, the earth's atmosphere has changed sharply. Climatic and oceanographic studies have led scientists to conclude that climate changes have occurred gradually and are directly linked to changes in concentrations of carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) in the atmosphere. These two gases, especially CO₂, affect global temperature.

Due to the impending increase in international trade, the rate of pollution from shipping is increasing. This has made it imperative to implement measures designed on the basis of the specific characteristics of the shipping industry to address maritime emissions. The International Community, through the activities of international organisations (IMO), governmental coalitions and industrial associations, has entered into a drawing orbit of designing practices and measures included in the mandatory implementation of an institutional framework to combat climate change.

First of all, this paper will describe:

- what climate change is and where it is due
- how much maritime transport affects it and

- what measures and interventions have already been implemented and which will be implemented in shipping in the future to reduce CO₂ emissions.

In particular, reference will be made and an effort will be made to evaluate qualitatively and quantitatively:

- the role of the environmental policy of ports in the development of efficient port infrastructure and services,
- technological measures (in the hull, propeller and ship engine)
- operational measures (reducing cruising speed, reducing resistance with proper load and ballast distribution)
- alternative fuels (LPG, LNG)
- the use of innovative technologies and alternative practices with alternative forms of energy (wind , solar and fuel cells)
- changing the design of ships (ships with air cavities storage of pollutants on board ships) and
- economic measures to reduce emissions of gaseous pollutants from shipping.

Finally, in conclusion, there will be a summary of the technologically feasible solutions to be found, with a view to reducing CO₂ emissions in shipping, will be completed.

Ευχαριστίες

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Δημήτριο Λυρίδη, που με δέχτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα. Η καθοδήγηση, η συμμετοχή και η επίβλεψή του, ήταν καθοριστικός παράγοντας για την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Τον ευχαριστώ ακόμη για την υπομονή, την εμπιστοσύνη και την στήριξη που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	12
1.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	12
1.1.1. Μηχανισμός φυσικού φαινομένου θερμοκηπίου	13
1.1.2. Τα αέρια του θερμοκηπίου	14
Διοξείδιο του άνθρακα.....	17
Υποξείδιο του αζώτου	18
Μεθάνιο	18
Φθοριούχα αέρια.....	19
Μονοξείδιο του άνθρακα.....	19
Οξείδια του Αζώτου.....	19
Αιωρούμενα σωματίδια	20
1.2 Κλιματική αλλαγή.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	27
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	27
2.1 Θαλάσσιες μεταφορές.....	27
2.2. Ναυτικοί κινητήρες.....	34
2.3. Ναυτιλιακά καύσιμα	40
2.3.1. Προϊόντα κατεργασίας αργού πετρελαίου.....	41
2.3.2. Τύποι ναυτιλιακών καυσίμων.....	42
2.3.3. Ιδιότητες ναυτιλιακών καυσίμων	47
2.4. Εκπομπές μιας ναυτικής μηχανής.....	60
2.5. Παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο και εκπομπές CO ₂	64
2.6. Σενάρια για την Εκτίμηση της Κλιματικής Αλλαγής (Climatechange).....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	76
ΙΜΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	76

3.1	Ιστορικό.....	76
3.2	Δράσεις του ΙΜΟ	79
3.3	Η πορεία των Αποφάσεων	82
3.4	Θεσμικό Πλαίσιο για τον περιορισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία - ΙΜΟ 88	
3.5	Χρηματιστήριο Αερίων Ρύπων	90
3.6	EEDI.....	91
3.7	Μέτρα της Ε.Ε. - MRV	94
3.8	SEEMP.....	95
3.9	ΕΕΟΙ.....	98
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	100
	ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	100
4.1	Τρόποι μείωσης Διοξειδίου του Άνθρακα (CO ₂).....	100
4.1.1	Περιβαλλοντική πολιτική λιμένων (ενέργεια από την ξηρά Shore Side Electricity ή Cold Ironing).....	101
4.1.2	Τεχνολογικά μέτρα	103
4.1.2.1	Βελτιώσεις στο κύτος	103
4.1.2.2	Βελτιώσεις στην έλικα.....	105
4.1.2.3	Βελτιώσεις στις μηχανές του πλοίου	109
4.1.3	Λειτουργικά μέτρα	110
4.1.4	Εναλλακτικά καύσιμα	113
	Υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas – LNG).....	114
	Βιοκαύσιμα	116
4.1.5	Εναλλακτικές μορφές ενέργειας.....	117
4.1.5.1	Αιολική ενέργεια.....	117
4.1.5.2	Φωτοβολταϊκά	125
4.1.5.3	Κυματική Ενέργεια	127
4.1.5.4	Συνδυασμός των παραπάνω τεχνολογιών.....	128

4.1.5.5. Πυρηνικοί αντιδραστήρες.....	132
4.1.6. Αποθήκευση και φύλαξη ρύπων στα πλοία	134
4.1.7. Προσαρμογή βυθισμάτων	135
4.1.8. Πλόες βάσει καιρικών συνθηκών.....	136
4.2. Τρόποι μείωσης οξειδίων του θείου και του αζώτου.....	137
4.3. Ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των μέτρων	140
4.4. Οικονομικά εργαλεία για την μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων από τη ναυτιλία.....	147
4.5. Μελλοντικά μέτρα και παρεμβάσεις.....	148
4.6. Τα πλοία στα επόμενα τριάντα χρόνια.....	152
Συμπεράσματα	157
Βιβλιογραφία	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Σχήματα

Σχήμα 1. Πηγή: Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, βάσει της έκθεσης απογραφής της ΕΕ του 2019 (δεδομένα για τις εκπομπές του 2017), της εθνικής ενημερωτικής έκθεσης και της διετούς έκθεσης του 2017 της ΕΕ στην UNFCCC (δεδομένα προβλέψεων) καθώς και των δεδομένων του εγγράφου του ΕΟΠ με τίτλο «Trends and projections in Europe 2018 – Tracking progress towards Europe’s climate and energy targets» (ετήσιες μειώσεις που απαιτούνται για την επίτευξη των στόχων).....	25
Σχήμα 2. Προβλέψεις των κρατών μελών βάσει των υφισταμένων μέτρων.....	26
Σχήμα 3. Κατηγορίες φορτίου εξωτερικού εμπορίου.....	27
Σχήμα 4. Κατηγορίες φορτίου εσωτερικού εμπορίου.....	28
Σχήμα 5. Παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο ανάλογα με τον τύπο φορτίου.....	30
Σχήμα 6. Παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο για διάφορους τύπους φορτίου.....	31
Σχήμα 7. Θαλάσσιο εμπόριο κατά τύπο φορτίου και κατά περιοχή.....	32
Σχήμα 8. Εκπομπές CO ₂ από διάφορες κατηγορίες πλοίων, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές.....	33
Σχήμα 9. Εκπομπές CO ₂ από μέσα μεταφοράς και βιομηχανίες.....	34
Σχήμα 10. Κλασματική απόσταξη αργού πετρελαίου.....	41
Σχήμα 11. Μεταβολή της τιμής του κινηματικού ιξώδους ναυτιλιακών καυσίμων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.....	50
Σχήμα 12. Είσοδος και έξοδος μιας ναυτικής μηχανής.....	61
Σχήμα 13. Εκπομπές CO ₂ από τη ναυτιλία και από άλλες βιομηχανίες.....	62
Σχήμα 14. Εκπομπές CO ₂ από την ποντοπόρο ναυτιλία και από την παράκτια ναυτιλία ανά τύπο πλοίου.....	63
Σχήμα 15. Εξέλιξη παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου σε τόνους φορτίου ανά μίλι.....	64
Σχήμα 16. Πρόβλεψη του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου μέχρι το 2023.....	65
Σχήμα 17. Εξέλιξη της έντασης άνθρακα των πλοίων στο βασικό σενάριο.....	68
Σχήμα 18. Προβλεπόμενες εκπομπές CO ₂ από τον ναυτιλιακό τομέα.....	69
Σχήμα 19. Μελλοντικά σενάρια για τις εκπομπές CO ₂ στην παγκόσμια ναυτιλία (2007 έως το 2050) με τη παρουσία ρυθμιστικού πλαισίου (Eivind S. Vagstad (2009) Presentation “IMO’s Work on Control of GHG Emissions from Ships”).....	71
Σχήμα 20. Γραμμή αναφοράς της απαιτούμενης τιμής (τιμή ισχύος) EEDI ανάλογα με τον τύπο του πλοίου.....	93
Σχήμα 21. Τα στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής του SEEMP.....	96

Σχήμα 22. Οι προοπτικές της GHG στρατηγικής του IMO.....	99
Σχήμα 23. Αρχή λειτουργίας στροφείου Flettner – Αξιοποίηση του φαινομένου Magnus με περιστροφή του στροφείου, απόθεση του αέρα και επίτευξη πρόωσης	121
Σχήμα 24. Κατανομή ηλικίας του εμπορικού στόλου τον Ιανουάριο του 2019.....	153

Πίνακες

Πίνακας 1. Σενάρια για την Εκτίμηση της Κλιματικής Αλλαγής.....	69
Πίνακας 2. η ποσοστιαία αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου για κάθε κλιματικό σενάριο	75
Πίνακας 3. Σχέση μεταξύ ταχύτητας πλοίου, ισχύος της μηχανής και κατανάλωσης καυσίμου(Πηγή: IMO (2010)).....	112
Πίνακας 4. Μέτρα και εξοικονόμηση CO ₂ /τόνο-μίλι.....	137
Πίνακας 5. Μέτρα υποψηφίων χωρών περιλαμβανομένου του αρχικού σχεδιασμού της στρατηγικής του IMO	141
Πίνακας 6. Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	144
Πίνακας 7. Μείωση εκπομπών CO ₂ με μέτρα κατά τη ναυπήγηση νέων πλοίων και με τρόπους διαχείρισης και λειτουργίας πλοίων.....	144

Εικόνες

Εικόνα 1. Μηχανές Diesel πλοίου	39
Εικόνα 2. Βιοντίζελ κατασκευασμένο από σογιέλαιο	45
Εικόνα 3. Βολβοειδείς επεκτάσεις bulbous bow	104
Εικόνα 4. Προπέλα BossCapFins (PBCF).....	106
Εικόνα 5. Προπέλα τύπου Kappel	107
Εικόνα 6. Προπέλα Ducted.....	107
Εικόνα 7. Αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες (Contra Rotating Propellers CRPs)..	108
Εικόνα 8. VikingGrace	115
Εικόνα 9. Μαλακά πανιά	119
Εικόνα 10. Σταθερά πανιά	119
Εικόνα 11. Πλοίο με εγκατεστημένο σύστημα στροφείων Flettner	120
Εικόνα 12. Το E-Ship 1 που χρησιμοποιεί ρότορες Flettner	121
Εικόνα 13. MS Beluga Skysails.....	123
Εικόνα 14. Solar Eagle	126
Εικόνα 15. MS Turanor PlanetSolar	127
Εικόνα 16. Solar Sailor	130
Εικόνα 17. Aquarius EcoShip	154
Εικόνα 18. Super Eco Ship	155
Εικόνα 19. E / S Orcelle	156

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

1.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια διαδικασία με την οποία η θερμική ακτινοβολία από μια πλανητική επιφάνεια απορροφάται από κάποια αέρια της ατμόσφαιρας, τα αέρια του θερμοκηπίου και στη συνέχεια επανεκπέμπεται εκ νέου προς όλες τις κατευθύνσεις. Ένα μέρος από την ακτινοβολία αυτήν επιστρέφει στην επιφάνεια και στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Τα τελευταία χρόνια ο όρος φαινόμενο του θερμοκηπίου συνδέεται με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης που οδηγεί στην κλιματική αλλαγή (Climate Change). Ο πλανήτης γη σταδιακά θερμαίνεται όλο και περισσότερο, η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει λόγω της τήξης των πολικών παγετώνων και τα ακραία καιρικά φαινόμενα σε διάφορες περιοχές παρουσιάζονται όλο και πιο συχνά. Οι μεταβολές αυτές, επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στην ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, στους υδάτινους πόρους, στην προσφορά της τροφής, στη βιομηχανία όπως επίσης στις γεωργικές καλλιέργειες, τις μεταφορές και τις υποδομές.

Η ανθρώπινη δραστηριότητα ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του στην ατμόσφαιρα και αποτελεί την κυρίαρχη πηγή της σταδιακής αλλαγής του κλίματος.

Ο όρος φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να αναφέρεται όμως, είτε στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, που συμβαίνει φυσικά από τα αέρια του θερμοκηπίου και εξασφαλίζει μια σταθερή θερμοκρασία στη γη, με την οποία είναι δυνατή η ανάπτυξη ζωής σε αυτήν, είτε στο ενισχυμένο ανθρωπογενές φαινόμενο, που προκύπτει από τα αέρια που εκπέμπονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη γη κατοικήσιμη. Πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία, χωρίς την παρουσία της ατμόσφαιρας, θα ήταν περίπου -18°C , δηλαδή 33 βαθμούς χαμηλότερη από αυτήν στην επιφάνεια της γης.¹

1.1.1. Μηχανισμός φυσικού φαινομένου θερμοκηπίου

Η Γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου 1.966 W/m^2 , στο όριο της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης. Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 32% από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς.

Λόγω της θερμοκρασίας της, η Γη εκπέμπει επίσης θερμική ακτινοβολία (κατά τρόπο ανάλογο με τον Ήλιο), η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος, σε αντίθεση με την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι μικρού μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην μεγάλη μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία, έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της, ποσοστό περίπου 71%. Η ίδια η ατμόσφαιρα επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται ακόμη περισσότερο. Η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη - μαζί με τον Ήλιο - πηγή θερμότητας.¹

Βασική μορφή εμφάνισης της κλιματικής αλλαγής αποτελεί η «Θέρμανση της Γης» (Global Warming). Η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης με τη σειρά της επιφέρει αρνητικές συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον, στους έμβιους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα, καθώς επίσης στην ανθρώπινη κοινωνία και οικονομία. Το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» είναι η κύρια αιτία εμφάνισης της θέρμανσης της Γης και γενικότερα της κλιματικής αλλαγής (Greenhouse Effect).

Ο μηχανισμός του φαινομένου ταυτίζεται συχνά με τη λειτουργία ενός πραγματικού θερμοκηπίου, ωστόσο η ταύτιση αυτή αποτελεί υπεραπλούστευση, καθώς τα θερμοκήπια στηρίζονται στην «απομόνωση» της θερμότητας και την εξάλειψη φαινομένων μεταφοράς της.

Από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι ο πλανήτης μας έχει μηχανισμούς για την διατήρηση της βιώσιμης θερμοκρασίας του. Η συμβολή του ανθρώπινου στοιχείου όμως, μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων διαταράσσουν τις ισορροπίες αυτές. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα που μέχρι πρότινος (προ

βιομηχανικής επανάστασης) ήταν ευεργετικές για την διατήρηση της θερμοκρασίας του πλανήτη γη, σήμερα αποβαίνουν καταστροφικές, καθώς όλο και μικρότερο ποσοστό της ακτινοβολίας αυτής απελευθερώνεται στο σύμπαν και συνεπώς όλο μεγαλύτερες ποσότητες θερμικής ακτινοβολίας «παγιδεύεται» στην γη αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία της (GlobalWarming) με το πέρασμα των χρόνων και βιώνοντας την κλιματική αλλαγή.

1.1.2. Τα αέρια του θερμοκηπίου

Όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναφέρονται συνολικά με τον όρο αέρια του θερμοκηπίου. Απορροφούν την μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία θερμαίνοντας την επιφάνεια.

Τα αέρια που εκπέμπονται από την καύση ορυκτών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από τη ναυτιλία, επιδρούν άμεσα (μέσω της άμεσης επαφής με την ηλιακή ενέργεια) ή έμμεσα (μέσω της εμπλοκής τους στις λειτουργίες των στοιχείων της ατμόσφαιρας) στη διατάραξη αυτής της αναλογίας, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είτε θετικά είτε αρνητικά.

Τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία παράγονται με φυσικές και βιομηχανικές διαδικασίες είναι τα αέρια εκείνα, που παρόντα στην ατμόσφαιρα, μειώνουν την απώλεια θερμότητας στο διάστημα και επομένως συμβάλλουν στις σφαιρικές θερμοκρασίες μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το νιτρώδες οξείδιο (N_2O), το μεθάνιο (CH_4), είναι τα αρχικά αέρια θερμοκηπίου στη γήινη ατμόσφαιρα. Επιπλέον, υπάρχουν διάφορα εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα από τον άνθρωπο αέρια θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, όπως αλογόνα (βρώμιο, χλώριο) μαζί με άνθρακα (halocarbons), εξαφθοριούχο θείο-sulphurhexafluoride ($-\text{SF}_6$), φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες – hydrofluorocarbons - (HFCs) και οι υπερφθοράνθρακες – perfluorocarbons - (PFCs).

Λέγοντας, λοιπόν, «αέρια του θερμοκηπίου» εννοούμε τα ακόλουθα:

- Διοξείδιο του άνθρακα CO₂
- Μεθάνιο CH₄
- Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)
- Μόλυβδος (Pb)
- Υδροφθοράνθρακες (Hydrofluorocarbons) HFCs
- Πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες (Perfluorocarbons) (PFCs)
- Εξαφθοριούχο θείο (SF₆)

Τα αέρια που επιδρούν έμμεσα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι:

- το Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- τα Οξείδια του αζώτου (NO_x)
- οι Οργανικές ουσίες (NMVOCs)
- τα Οξείδια του θείου(SO_x)

Αναφορικά με τη συνεισφορά των υπόλοιπων αερίων στην παγκόσμια θέρμανση ισχύουν τα ακόλουθα: Τα ίδια τα NO_x δεν απορροφούν ούτε ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, είναι δηλαδή κλιματικά ουδέτερα. Όμως συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις, όπου με την επίδραση του ηλιακού φωτός, συνδυάζονται με πτητικές οργανικές ενώσεις, δημιουργούν επιφανειακό όζον (O₃), το κύριο συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης (smog).

Το όζον, προκαλεί βλάβες στους βλεννογόνους και στους αναπνευστικούς ιστούς των ζώων, αλλά και στους ιστούς των φυτών, σε συγκεντρώσεις πάνω από περίπου 100 ppb. Αυτό κάνει το όζον έναν δυνάμει αναπνευστικό κίνδυνο και επομένως ένα ρυπαντή, όταν βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Από την άλλη όμως, το αποκαλούμενο «στρώμα του όζοντος», ένα τμήμα της στρατόσφαιρας με μια υψηλότερη συγκέντρωση όζοντος, που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8 ppm, είναι ζωτικής σημασίας, γιατί αποτρέπει τη βλαβερή υπερϊώδη ακτινοβολία του ήλιου από το να φθάσει στην επιφάνεια της Γης, προς όφελος των φυτών, των ζώων και των ανθρώπων.

Από την άλλη πλευρά, τα NO_x συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις διάσπασης του μεθανίου (CH₄), το οποίο αποτελεί ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Οι δύο αυτές δράσεις

είναι παρόμοιου μεγέθους και αλληλοεξουδετερώνονται. Συνεπώς, η καθαρή έμμεση επίδραση των NOx στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι αμελητέα.

Τα οξειδία του θείου στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν σωματίδια θεικών, τα οποία έχουν την ιδιότητα να σκεδάζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, περιορίζοντας το ποσοστό που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Συνεπώς μειώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου ψύχοντας την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, έχουν και μια έμμεση επίδραση, που και αυτή προκαλεί ψύξη στην ατμόσφαιρα.^{2,3} Αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μιας ρυπασμένης περιοχής γίνονται πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών και συντελούν στη δημιουργία νεφών. Στα νέφη αυτά, οι σταγόνες της υγρασίας έχουν μικρότερη διάμετρο σε σχέση με μια μη ρυπασμένη περιοχή. Κατ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τα σύννεφα, δηλαδή αυξάνεται η ανακλαστικότητα των σύννεφων. Η έμμεση αυτή επίδραση των SOx δεν έχει ποσοτικοποιηθεί με ακρίβεια, όμως υπάρχουν εκτιμήσεις ότι είναι σημαντική.

Επιπλέον, η ναυτιλία εκπέμπει αιθάλη ως μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων. Η αιθάλη, όταν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, λόγω του μαύρου χρώματός της, ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυξάνοντας την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας ενώ παράλληλα σκιάζει και ψύχει την επιφάνεια της γης που βρίσκεται από κάτω. Όταν η αιθάλη πέσει σε ανοιχτόχρωμες περιοχές του πλανήτη (π.χ. Αρκτική) μειώνει την ανακλαστικότητά τους, συντελώντας στη θέρμανση.²

Ορισμένα αέρια, όπως το όζον, έχουν ημιδιαφάνεια και στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μέρος της, συμβάλλοντας ως ένα βαθμό και στην ψύξη της γήινης επιφάνειας.

Από την βιομηχανική επανάσταση και έπειτα οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξηθεί με άμεση συνέπεια και την αύξηση της ποσότητας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας έτσι στην αυξημένη κατακράτηση ακτινοβολίας από τα αέρια αυτά. Παρατηρείται λοιπόν μια έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η έξαρση αυτή του φαινομένου συνδέεται άμεσα με την υπερθέρμανση του πλανήτη και οδηγεί σύμφωνα με τους επιστήμονες και σε μία έντονη αλλαγή του κλίματος.

Οι υποστηρικτές της άποψης αυτής θα πρέπει πάντως να συνεκτιμήσουν ότι το SO₂ και το CO₂ λειτουργούν σε πολύ διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Τα σωματίδια θεικών παραμένουν στην ατμόσφαιρα για λίγες μέρες (διασπώνται γρήγορα). Το CO₂ παραμένει στην ατμόσφαιρα για 5 έως 200 έτη (είναι σχετικά αδρανές). Συνεπώς, οι επιπτώσεις στο κλίμα από ένα μόριο CO₂ που εκπέμφθηκε σήμερα θα συνεχίσουν να υφίστανται για πολλαπλάσιο χρόνο σε σχέση με την ψύξη που θα προκαλέσει έμμεσα ένα μόριο SO₂.

Αναμένεται λοιπόν ότι η θέρμανση από το CO₂ θα επικρατήσει σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα.

Επιπλέον, όπως ήδη αναφέρθηκε, τα NO_x, SO₂ και PM από τη ναυτιλία ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, ιδιαίτερα σε όσους κατοικούν σε περιοχές έντονης ναυτιλιακής δραστηριότητας και ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές ή λιμάνια.

Τα αέρια των οποίων οι συγκεντρώσεις έχουν αυξηθεί λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων επηρεάζοντας σε παγκόσμιο επίπεδο τις κλιματικές συνθήκες, περιγράφονται παρακάτω και είναι:

Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελεί ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου, το οποίο διαπερνάται από το ορατό φως αλλά απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο συμβάλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στην άνοδο της θερμοκρασίας στη κατώτερη ατμόσφαιρα.

Οι συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα είχαν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια κυρίως εξαιτίας της καύσης ορυκτών καυσίμων και άλλων δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Εκπέμπεται φυσικά από τα ηφαίστεια και τις θερμές πηγές, την καύση οργανικής ύλης, τις διαδικασίες αναπνοής των αερόβιων οργανισμών, και από την ζύμωση και την κυτταρική αναπνοή διαφόρων μικροοργανισμών. Βρίσκεται φυσικά στην ατμόσφαιρα ως μέρος του κύκλου του άνθρακα. Ο κύκλος του άνθρακα εκφράζει την κίνηση του άνθρακα μεταξύ της ατμόσφαιρας, της επίγειας βιόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και των ωκεανών.

Η κύρια τεχνητή πηγή εκπομπών CO₂ είναι η καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για τις μεταφορές, κάποιες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η παραγωγή τσιμέντου και αλλαγές χρήσεων γης.

Πολλές φορές ξεχνάμε τις ζωτικής σημασίας ιδιότητες του CO₂ και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Η γη λόγω της παρουσίας του διοξειδίου του άνθρακα από ηφαιστειακές εκρήξεις έχει μεταμορφωθεί από μια επιφάνεια που καλυπτόταν από πάγους πριν από περίπου 600 εκατομμύρια χρόνια σε ένα πλανήτη με ευνοϊκή θερμοκρασία για να φιλοξενεί ζωή.

Η καταστροφή των δασών με την αποψίλωση των τροπικών δασών και άλλες αιτίες, όπως οι δασικές πυρκαγιές, συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα. Επίσης, τα τελευταία χρόνια αυξάνονται και άλλα αέρια του θερμοκηπίου, όπως

το μεθάνιο και το νιτρικό οξύ, τα οποία απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία. Η αύξηση αυτών των αερίων έχει επίδραση ίση περίπου με αυτή του CO₂ στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σήμερα, το σύνολο του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται κάθε χρόνο είναι περίπου 6-7δισεκατομμύρια τόνοι.

Υποξείδιο του αζώτου

Το υποξείδιο του αζώτου N₂O είναι μια χημική ένωση που εκπέμπεται φυσικά μέσω του κύκλου του αζώτου μεταξύ της ατμόσφαιρας, των φυτών, των ζώων, μικροοργανισμών του εδάφους και του νερού. Φυσικές εκπομπές αποτελούν τα βακτήρια του εδάφους, τα δάση και οι ωκεανοί. Το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών N₂O προέρχεται από την χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων, καθώς και από την χρήση φιαλών αεροζόλ και σπρέι, που χρησιμοποιείται ως προωθητικό. Επίσης σημαντικές εκπομπές προέρχονται από την καύση καυσίμων στα μέσα μεταφοράς, από την παραγωγή νάιλον και άλλων συνθετικών προϊόντων.

Μεθάνιο

Το μεθάνιο (CH₄) αποτελεί βασικό συστατικό του φυσικού αερίου. Φυσικές πηγές εκπομπών μεθανίου είναι οι υγρότοποι, όπου βακτήρια εκπέμπουν μεθάνιο κατά την αποσύνθεση οργανικών υλικών στην απουσία οξυγόνου, ενώ μικρότερες εκπομπές προέρχονται από τους τερμίτες κατά την διαδικασία της πέψης, τους ωκεανούς, τα ιζήματα και τα ηφαίστεια.

Βασικές πηγές εκπομπών προέρχονται από τον βιομηχανικό τομέα, την γεωργία, τα ανθρακωρυχεία, από διαρροές κατά την μεταφορά άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου, και κατά την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής αστικών στερεών αποβλήτων. Στον βιομηχανικό τομέα οι εκπομπές αναφέρονται από την παραγωγή, την αποθήκευση, την μεταφορά και την κατανάλωση του φυσικού αερίου. Σημαντική ανθρωπογενής πηγή αποτελεί και η συνεχώς αυξανόμενη εκτροφή οικόσιτων ζώων, τα οποία εκπέμπουν μεθάνιο με την εντερική ζύμωση κατά την διαδικασία της πέψης. Επίσης εκπομπές προέρχονται και από τη διαχείριση των ζωικών λιπασμάτων.

Φθοριούχα αέρια

Στα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνονται οι:

υδροφθοράνθρακες (HFC), (χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα ψύξης και κλιματισμού)

υπερφθοράνθρακες (PFCs) (χρησιμοποιούνται συνήθως στον τομέα των ηλεκτρονικών, καθώς και στον τομέα των καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων) και

το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) (χρησιμοποιείται κυρίως εκεί που υπάρχουν υψηλές ηλεκτρικές τάσεις, στους υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος).

Μονοξειδίο του άνθρακα

Το μονοξειδίο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο, ελαφρύτερο από τον αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Παράγεται από την ατελή καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα αλλά και από ορισμένες βιολογικές και βιομηχανικές διεργασίες. Κύρια πηγή του είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης και η καύση της βιομάζας.

Εμφανίζει μεγάλη τάση να ενωθεί με την αιμογλοβίνη του αίματος και να σχηματίσει ανθρακυλαιμοσφαιρίνη ελαττώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει ικανή ποσότητα οξυγόνου στους ιστούς με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα ανοξίας. Επίσης, επηρεάζεται το κεντρικό νευρικό σύστημα, αρχίζοντας από κεφαλαλγίες, ζαλάδες και αναπνευστικές δυσκολίες. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου (απώλεια προσανατολισμού) και σε ακραίες περιπτώσεις σε απώλεια των αισθήσεων και της πνευματικής διαύγειας.

Οξειδία του Αζώτου

Το άζωτο, που αποτελεί το 78 % του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξειδία του αζώτου κατά την καύση σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσεως (π.χ. πλοία). Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που σχηματίζεται. Το μονοξειδίο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα το διοξείδιο έχει δριμεία μυρωδιά και κόκκινο – κίτρινο καστανό χρώμα. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και δημιουργεί τη φωτοχημική αιθαλομίχλη (φωτοχημικό νέφος). Το φωτοχημικό νέφος δημιουργείται όταν τα NO_x και άκαυστοι υδρογονάνθρακες, με μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων παρουσία φωτός καταλήγουν στη δημιουργία όζοντος (O_3) και μιας μεγάλης ποικιλίας άλλων

οργανικών ουσιών. Τέλος τα (NO_x) συνεισφέρουν μαζί με τα (SO_x) στον σχηματισμό της όξινης βροχής.

Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου λόγω της περιορισμένης διαλυτότητας τους διεισδύουν βαθιά στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα και προκαλούν έντονο ερεθισμό του τραχειοβρογχικού βλεννογόνου και του αναπνευστικού επιθηλίου. Χαρακτηριστικό για τους νιτρώδεις ατμούς είναι ότι αν η συγκέντρωση τους δεν είναι πολύ μεγάλη τα συμπτώματα από την εισπνοή δεν είναι άμεσα αλλά εμφανίζονται μετά από μερικές ώρες. Οι ενοχλήσεις μπορούν να αρχίσουν από χαμηλές συγκεντρώσεις των 15 ppm (ppm: μέρη στο εκατομμύριο), με τσούξιμο στα μάτια και στη μύτη. Από 25 ppm αρχίζουν οι αναπνευστικές ενοχλήσεις, με βήχα, δύσπνοια, πόνους στο στήθος, βήχα με κίτρινο επίχρισμα ή αίμα, κυάνωση, πυρετό, κρίση άσθματος, αυξημένο αναπνευστικό ρυθμό, τραχειοβρογχίτιδα, βρογχοπνευμονία και πνευμονικό οίδημα. Έκθεση σε 150-200 ppm μπορεί να οδηγήσει σε θανατηφόρα πνευμονική ίωση.

Αιωρούμενα σωματίδια

Ως αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matter , SPM) χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα, ώστε καθίστανται ορατά σαν καπνός, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που δύναται να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, αέρια όπως CO, SO₂, NO_x, και VOC αντιδρούν με διάφορες ενώσεις του αέρα και δημιουργούν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Η φύση τους και η χημική σύστασή τους ποικίλλει, και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι της τάξεως των 10 μg/m³.^{4,5,6}

1.2 Κλιματική αλλαγή

Ο φυσικός θερμοστάτης του πλανήτη είχε καθορίσει μια ευχάριστη μέση θερμοκρασία των 59 βαθμών (F) (15°C) για τα τελευταία 10 χιλιάδες χρόνια περίπου και τώρα λόγω των ανθρωπογενών παρεμβάσεων η θερμοκρασία της γης υποβάλλεται σε μια γρήγορη αλλαγή. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν αλλάξει τον πλανήτη Γη. Ένα από τα επιτεύγματα των ανθρώπων είναι πως έχει καταφέρει να εξαγάγει και να κάψει ένα μεγάλο μέρος των ορυκτών καύσιμων κοιτασμάτων του πλανήτη. Οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί και παρατηρούνται τώρα οι αλλαγές στη μορφή του καιρού και του κλίματος που είναι αποτέλεσμα των ενεργειών των ανθρώπων.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη σημαίνει ότι η γη παρακρατεί όλο και περισσότερη από τη θερμότητα του ήλιου με το πέρασμα του χρόνου. Οι θερμαντικές επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου έχουν παρουσιάσει μια μείωση καθώς εξαιτίας της ρύπανσης τα σωματίδια και τα σύννεφα (νέφος) στην ατμόσφαιρα που εμποδίζουν εν μέρει την εισερχόμενη υπέρυθη ακτινοβολία. Χωρίς την παρουσία των ρυπογόνων σωματιδίων, κρυστάλλων πάγου και υδρατμών στην ατμόσφαιρα, η υπερθέρμανση του πλανήτη θα είχε ραγδαία εξέλιξη.

Η κλιματική αλλαγή συντελείται ήδη: οι θερμοκρασίες αυξάνονται, τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων αλλάζουν, οι παγετώνες και το χιόνι λιώνουν και η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει όλες τις περιοχές του κόσμου. Ορισμένες περιοχές πλήττονται συχνότερα από ακραία καιρικά φαινόμενα και βροχοπτώσεις, ενώ άλλες δοκιμάζονται από μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες. Οι επιπτώσεις αυτές αναμένεται να ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες.

Συνέπειες για την Ευρώπη

Οι χώρες της νότιας και κεντρικής Ευρώπης πλήττονται όλο και πιο συχνά από κύματα καύσωνα, δασικές πυρκαγιές και ξηρασίες.

Η λειψυδρία στις περιοχές της Μεσογείου αυξάνεται συνεχώς με αποτέλεσμα να μεγαλώνουν οι κίνδυνοι ξηρασίας και ανεξέλεγκτων πυρκαγιών.

Η Βόρεια Ευρώπη δέχεται μεγαλύτερες ποσότητες βροχοπτώσεων και οι πλημμύρες θα γίνουν σύνηθες φαινόμενο τον χειμώνα.

Οι αστικές περιοχές, όπου ζουν σήμερα 4 στους 5 Ευρωπαίους, εκτίθενται σε καύσωνες, πλημμύρες ή στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αλλά συχνά δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένες για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

Συνέπειες για τις αναπτυσσόμενες χώρες

Πολλές φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες βρίσκονται ανάμεσα στις χώρες που πλήττονται περισσότερο. Οι άνθρωποι που ζουν εκεί συχνά εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το φυσικό τους περιβάλλον και διαθέτουν τους λιγότερους πόρους για να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή.

Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία

Η κλιματική αλλαγή έχει ήδη επιπτώσεις στην υγεία:

Έχει σημειωθεί αύξηση του αριθμού των θανάτων που σχετίζονται με τον καύσωνα σε ορισμένες περιοχές και μείωση των θανάτων που σχετίζονται με το κρύο σε άλλα κράτη.

Βλέπουμε ήδη αλλαγές στην κατανομή ορισμένων ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό καθώς και φορέων νόσων.

Κόστος για την κοινωνία και την οικονομία

Οι υλικές ζημιές και οι ζημιές στις υποδομές, καθώς και στην ανθρώπινη υγεία, συνεπάγονται υψηλό κόστος για την κοινωνία και την οικονομία.

Το διάστημα 1980 - 2011, οι πλημμύρες έπληξαν περισσότερα από 5,5 εκατομμύρια άτομα και προκάλεσαν άμεσες οικονομικές ζημιές άνω των 90 δισ. ευρώ.

Τομείς που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, όπως η γεωργία, η δασοκομία, η ενέργεια και ο τουρισμός πλήττονται σε μεγάλο βαθμό.

Κίνδυνοι για την άγρια πανίδα και χλωρίδα

Η κλιματική αλλαγή επέρχεται εξαιρετικά γρήγορα και πολλά είδη φυτών και ζώων αγωνίζονται να αντιμετωπίσουν την κατάσταση.

Πολλά είδη που ζουν στην ξηρά ή σε γλυκά και θαλασσινά νερά έχουν ήδη μετακινηθεί προς νέες περιοχές. Ορισμένα είδη φυτών και ζώων θα αντιμετωπίσουν υψηλό κίνδυνο εξαφάνισης εάν η μέση θερμοκρασία της γης εξακολουθήσει να αυξάνεται ανεξέλεγκτα.

Για την κατανόηση της έννοιας της κλιματικής αλλαγής, είναι αναγκαίο να γίνει η διάκριση των εννοιών «καιρός» (μετεωρολογική πρόγνωση) και «κλίμα» (κλιματική πρόγνωση). Οι καιρικές συνθήκες ενός τόπου ορίζονται από τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία και ταχύτητα ανέμου) μια δεδομένη χρονική στιγμή. Από την άλλη, το κλίμα κάθε περιοχής καθορίζεται από το μέσο όρο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν, ενώ το εύρος της χρονικής κλίμακας μπορεί να αφορά μήνες έως και εκατομμύρια χρόνια, συνήθως όμως ορίζεται γύρω στα 30 χρόνια.

Τα τελευταία 1 δισεκατομμύριο χρόνια η ατμόσφαιρα της γης έχει μεταβληθεί έντονα και κατά συνέπεια και το κλίμα. Ο επιστημονικός όρος για τις αλλαγές αυτές είναι «κυκλικές μεταβολές», οι οποίες αντιστοιχούν σε κύκλους 10.000, 20.000, 60.000 και 100.000 χρόνων. Οι κλιματικές αλλαγές συνδέονται άμεσα με αλλαγές στην τροχιά του πλανήτη (κύκλοι Milankovich). Οι εν λόγω κύκλοι, που χαρακτηρίζονται από εποχές παγετώνων και μεσοπαγετωνικές περιόδους, παρουσιάζουν περιοδικότητα 20.000, 40.000 και 100.000 χρόνων, μεταβάλλοντας την ηλιακή ακτινοβολία και τη χημική σύσταση της ατμόσφαιρας. Αυτό επιφέρει συνεπακόλουθα μεταβολές στο κλίμα, ανάμεσα σε «θερμές» και «παγωμένες» περιόδους.

Κλιματολογικές και ωκεανογραφικές μελέτες έχουν οδηγήσει τους επιστήμονες στο συμπέρασμα ότι οι κυκλικές αυτές μεταβολές του κλίματος (συνοδευόμενες από αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του πλανήτη) επήλθαν σταδιακά και συνδέονται άμεσα με μεταβολές στη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) στην ατμόσφαιρα. Τα δυο αυτά αέρια και ιδιαίτερα το διοξείδιο του άνθρακα ελέγχουν τη θερμοκρασία του πλανήτη.

Η γη έχει βιώσει πολλούς φυσικούς κλιματικούς κύκλους κατά τη διάρκεια της μακράς ιστορίας της. Το γεγονός που προκαλεί την μεγαλύτερη ανησυχία είναι ότι προκαλούμε τις αλλαγές να συμβούν σε ένα ταχύτατο ρυθμό, πολύ γρηγορότερα από την φυσική εξέλιξη των πραγμάτων.

Ο ρυθμός των κλιματικών αλλαγών συμβαίνει πλέον τόσο γρήγορα και πρέπει να παρθούν δραστικά μέτρα έτσι ώστε η φιλοσοφία μας, οι οικονομικές μας δραστηριότητες και ο τρόπος ζωής μας να συντελέσει στην επιβράδυνση του φαινομένου.

Σύμφωνα με έρευνα της βρετανικής μετεωρολογικής υπηρεσίας, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα φέτος αναμένεται να παρουσιάσει τη μεγαλύτερη ετήσια αύξηση από το 1958, οπότε ξεκίνησε η καταγραφή του. Αναμένεται να ξεπεράσει τα 417 μικροσωματίδια ανά εκατομμύριο (ppm) τον Μάιο, ενώ ο ετήσιος μέσος όρος αναμένεται να είναι περίπου 414 ppm, αύξηση κατά 3 pp, σε σχέση με το 2019.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι πριν τη βιομηχανική επανάσταση, η συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν λίγο κάτω από 280 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο κατ' όγκο).

Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παρατηρούμενη αύξηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα των εκπομπών που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Για να μετριάσουμε τις συνέπειες της

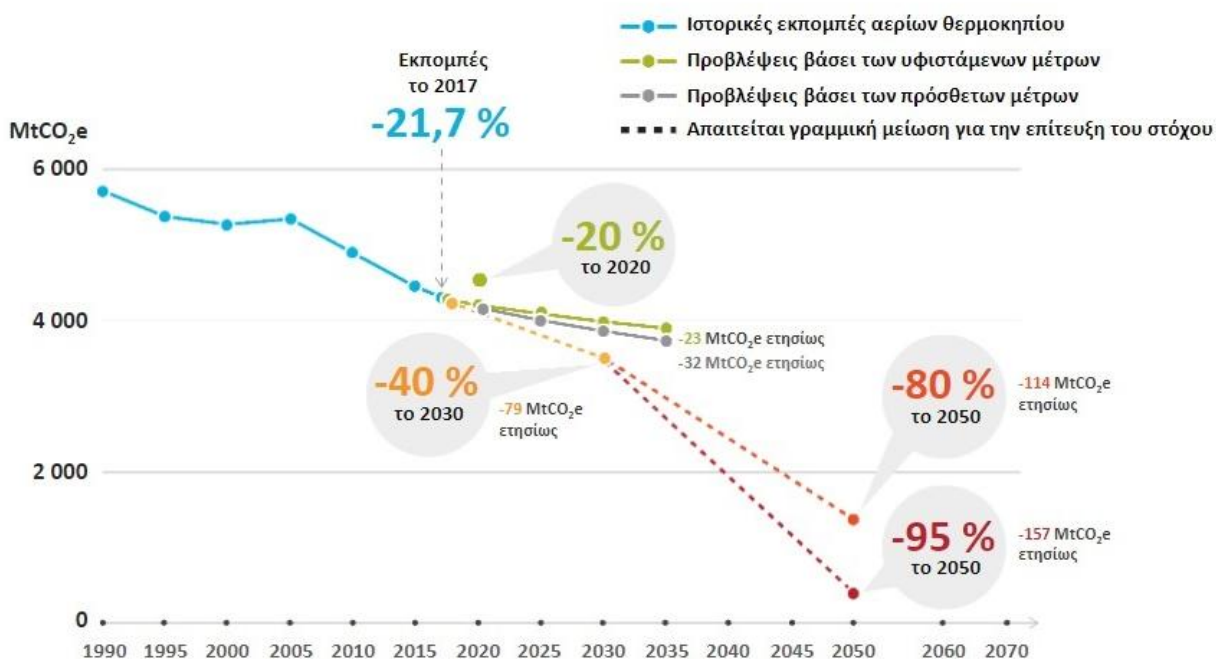
κλιματικής αλλαγής, πρέπει να μειώσουμε αυτές τις εκπομπές ή να διασφαλίσουμε την πρόληψη της παραγωγής τους.

Για να διασφαλίσουν την πρόληψη της εκδήλωσης δυσμενέστερων συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, οι χώρες που υπέγραψαν τη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (σύμβαση UNFCCC) συμφώνησαν να περιορίσουν την παγκόσμια μέση αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας από την προβιομηχανική εποχή σε λιγότερο από 2 °C. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, οι εγχώριες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2030 πρέπει να μειωθούν κατά 40 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 με τελικό στόχο η μείωση να φτάσει 50% μέχρι το 2050.

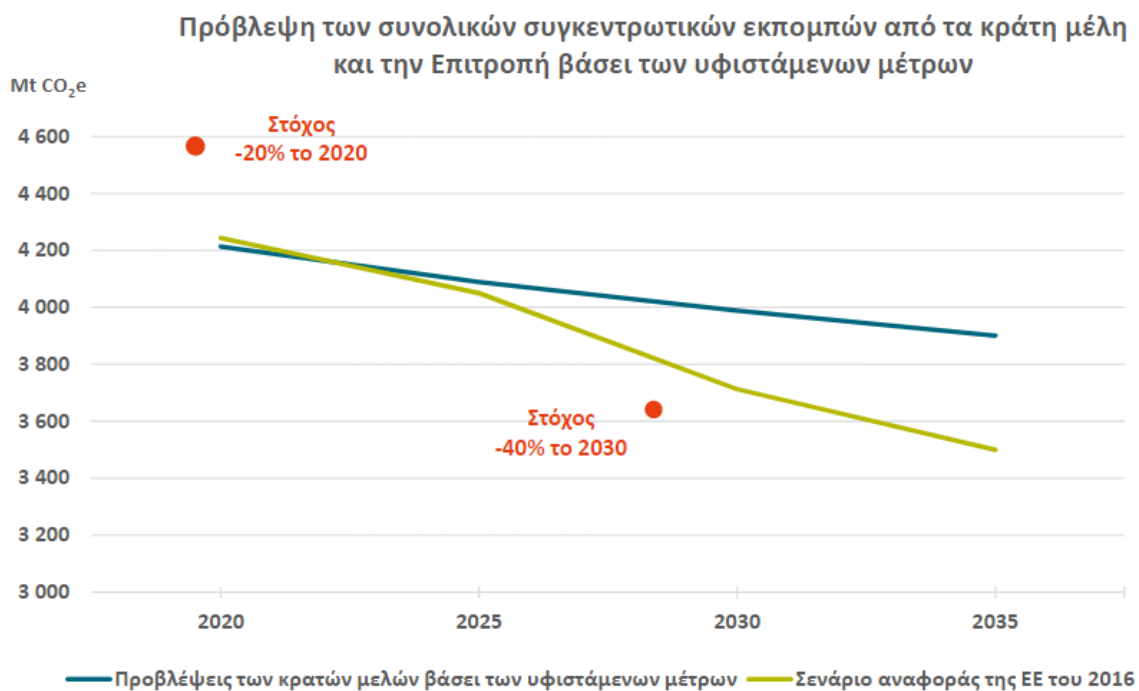
Η σύνοδος του ΟΗΕ για το κλίμα (Σεπτέμβριος 2019) ανακοίνωσε πως 66 χώρες προσχωρούν στον στόχο για μηδενικές εκπομπές άνθρακα μέχρι το 2050.

Η ΕΕ στηρίζει τον στόχο της σύμβασης UNFCCC και επιδιώκει, μέχρι το 2050, να έχει μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 80 – 95 % σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Τα σημαντικά αυτά επίπεδα μείωσης λαμβάνουν υπόψη τις μικρότερες μειώσεις που απαιτούνται από τις αναπτυσσόμενες χώρες.

Εκτιμήσεις για παρελθούσες και μελλοντικές εκπομπές σε σύγκριση με τους στόχους μείωσης των εκπομπών



Σχήμα 1. Πηγή: Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, βάσει της έκθεσης απογραφής της ΕΕ του 2019 (δεδομένα για τις εκπομπές του 2017), της εθνικής ενημερωτικής έκθεσης και της διετούς έκθεσης του 2017 της ΕΕ στην UNFCCC (δεδομένα προβλέψεων) καθώς και των δεδομένων του εγγράφου του ΕΟΠ με τίτλο «Trends and projections in Europe 2018 – Tracking progress towards Europe’s climate and energy targets» (ετήσιες μειώσεις που απαιτούνται για την επίτευξη των στόχων)



Σχήμα 2. Προβλέψεις των κρατών μελών βάσει των υφισταμένων μέτρων

(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52003DC0735&from=FI>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

2.1 Θαλάσσιες μεταφορές

Περισσότερο από το 90% του παγκόσμιου εμπορίου διακινείται μέσω θαλάσσης.⁷

Για να έχουμε μια εικόνα των θαλάσσιων μεταφορών στην Ελλάδα, αναφέρουμε ότι εμπόριο με το εξωτερικό καταγράφεται σε 62 λιμάνια. Σε 203 λιμάνια καταγράφεται εμπορευματική κίνηση προς το εσωτερικό μικτού βάρους φορτίων 59.456.182 τόνων.



Σχήμα 3. Κατηγορίες φορτίου εξωτερικού εμπορίου



Σχήμα 4. Κατηγορίες φορτίου εσωτερικού εμπορίου

(<http://www.wwf.gr/images/pdfs/MaritimeTransportLow.pdf>)

Η σύγχρονη ναυπηγική βιομηχανία, με την παράλληλη διάνοιξη διωρύγων, την βελτίωση των λιμενικών εγκαταστάσεων και την ίδρυση μεγάλων ναυτιλιακών εταιρειών, παρουσιάζει μια εκπληκτική άνοδο που όμοιά της δεν υφίσταται σε άλλους τομείς μεταφορών. Με τη σύγχρονη και ευρύτατη εξειδίκευση των τύπων των πλοίων το διεθνές εμπόριο πραγματοποιείται σε τεράστιες ποσότητες με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Ο παγκόσμιος στόλος, ξεπέρασε τα 2 δισ. dwt (dead weight tonnage) σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του ναυλομεσιτικού οίκου Clarksons Research, στις αρχές Μαΐου του 2020. Η άνοδος αυτή της μεταφορικής ικανότητας δεν προήλθε μόνο από τη μέση αύξηση του μεγέθους των πλοίων, που είναι και αυτός ένας παράγοντας, αλλά προκλήθηκε κυρίως από την προσθήκη 26.000 νέων πλοίων στον παγκόσμιο στόλο. Από αυτά, το 50% των προστιθέμενων dwt καταγράφεται στον τομέα των πλοίων μεταφοράς χύδην ξηρού φορτίου.

Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν ένα ιδιαίτερα ευρύ πεδίο των γενικών μεταφορών ανθρώπων και φορτίων, που εκτελούνται με εμπορικά πλοία, η ιστορία των οποίων χάνεται στα βάθη των αιώνων. Η ναυπήγηση σκαφών από την εποχή του Ομήρου και η συνεχής εξέλιξη από το κουπί στο ιστίο, την εφεύρεση της πυξίδας, όπου επέτρεψε στους θαλασσοπόρους την ανακάλυψη νέων θαλάσσιων οδών και τόπων ανάπτυξης εμπορίου και

στη συνέχεια η εφαρμογή του ατμού, της έλικας και της επιλογής του σιδήρου και του χάλυβα ως μέσον υλικού, έδωσαν μια εκπληκτική πρόοδο στις θαλάσσιες μεταφορές.

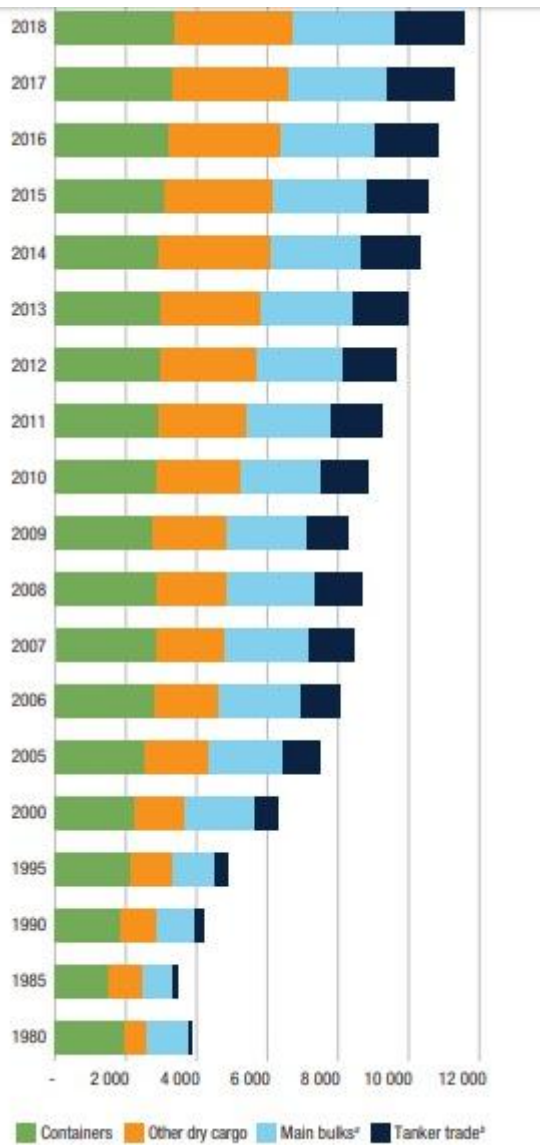
Τα πλεονεκτήματα των θαλάσσιων μεταφορών είναι ότι επιτυγχάνεται η μεταφορά μεγάλων φορτίων με χαμηλότερο κόστος, για τους εγγώριους και υπερπόντιους προορισμούς, η μεταφορά κάθε είδους φορτίου και η αποκλειστική μεταφορά επικίνδυνων και εξειδικευμένων φορτίων, είτε για λόγους ασφάλειας, είτε γιατί δεν επιτρέπεται η διέλευση από συγκεκριμένα κράτη.

Τα θαλάσσια μεταφορικά μέσα είναι περισσότερο προσαρμοσμένα προς τις ειδικές απαιτήσεις των μεταφερόμενων αγαθών. Αυτό επιτυγχάνεται τόσο με την εξειδίκευση των ναυπηγείων στην κατασκευή των κατάλληλων πλοίων όσο και στην προσαρμογή των λιμενικών εγκαταστάσεων υποδοχής των πλοίων και των φορτίων.

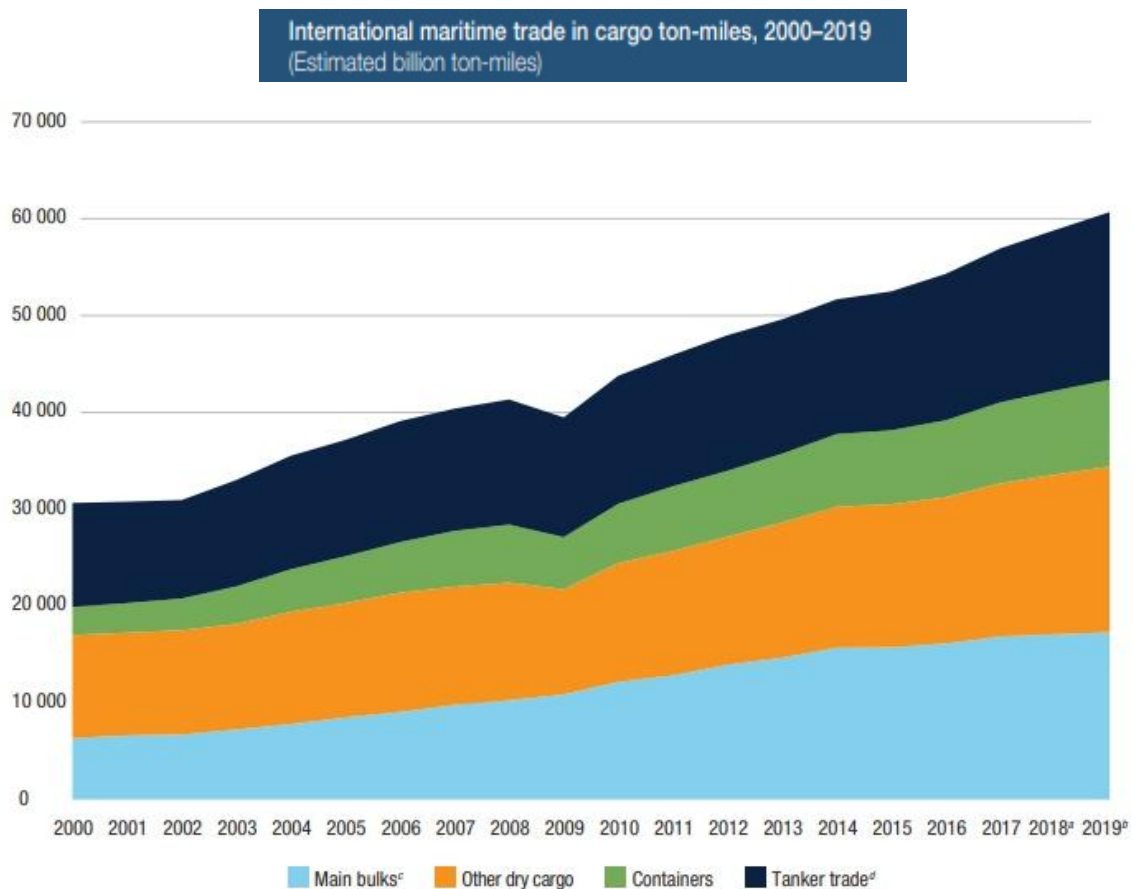
Βασικές κατηγορίες θαλάσσιων μεταφορών είναι:

- πλοία μεταφοράς Χύδην Υγρού Φορτίου
- πλοία μεταφοράς Χύδην Ξηρού Φορτίου
- πλοία μεταφοράς Γενικού Φορτίου
- πλοία Επιβατηγά
- πλοία Ειδικών Υπηρεσιών και Βοηθητικής Ναυτιλίας

International maritime trade,
by cargo type, selected years
(Million tons loaded)



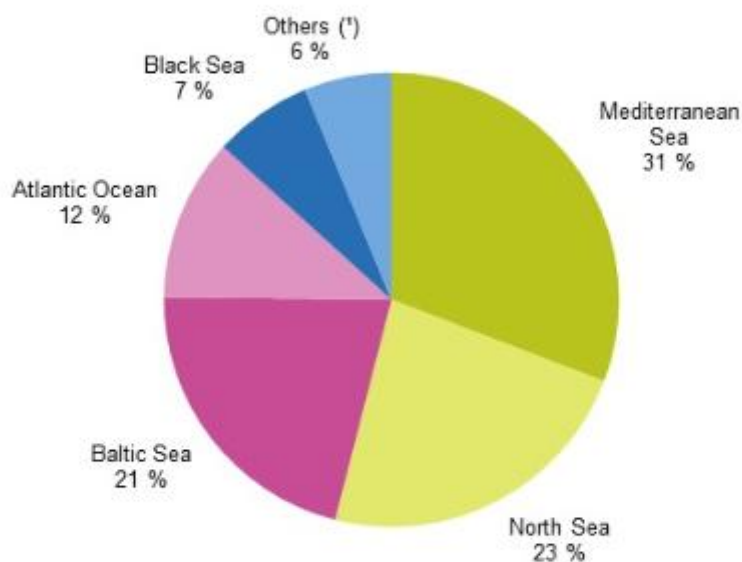
Σχήμα 5. Παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο ανάλογα με τον τύπο φορτίου



Σχήμα 6. Παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο για διάφορους τύπους φορτίου
(https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf)

Επιπλέον, οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν το πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο μεταφοράς εμπορευμάτων. Για παράδειγμα, έχει εκτιμηθεί ότι για κάθε τόνο μεταφερόμενου εμπορεύματος σε απόσταση ενός χιλιομέτρου (δηλαδή για κάθε τονοχιλιόμετρο), η μεταφορά με πλοίο συνεπάγεται 4 φορές λιγότερες εκπομπές CO₂ από τη μεταφορά με φορηγό και 40 φορές λιγότερες εκπομπές από τη μεταφορά με αεροπλάνο. Έτσι, παρότι ο κύριος όγκος του διεθνούς εμπορίου μεταφέρεται δια θαλάσσης, οι θαλάσσιες μεταφορές συμβάλλουν μόλις κατά 3,5% (2,7% η ποντοπόρος ναυτιλία) στις παγκόσμιες εκπομπές CO₂.^{8,9,10,11}

Short sea shipping of freight by sea region of partner ports, EU-27, 2018
(% share in tonnes)



eurostat 

Σχήμα 7. Θαλάσσιο εμπόριο κατά τύπο φορτίου και κατά περιοχή

(https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Maritime_transport_statistics_-_short_sea_shipping_of_goods#Short_sea_shipping_by_type_of_cargo, 2020)

Για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία δημοσιεύθηκαν οι παρακάτω μελέτες:

Η πρώτη μελέτη του IMO δημοσιεύτηκε το 2000 και εκτιμούσε ότι τα πλοία που χρησιμοποιούνταν στο διεθνές εμπόριο το 1996 συνεισέφεραν με ποσοστό περίπου 1,8% του παγκόσμιου συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂.^{12,13,14}

Η δεύτερη παρόμοια μελέτη του IMO, δημοσιεύτηκε το 2009 και εκτιμούσε ότι η διεθνής ναυτιλία εξέπεμψε 870 εκ. τόνους, δηλαδή περίπου 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ του 2007. Η δεύτερη αυτή μελέτη του IMO, προσδιορίζει ένα ευρύ φάσμα επιλογών για

την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, αλλάζοντας τη σχεδίαση και τη λειτουργία του πλοίου.¹⁵

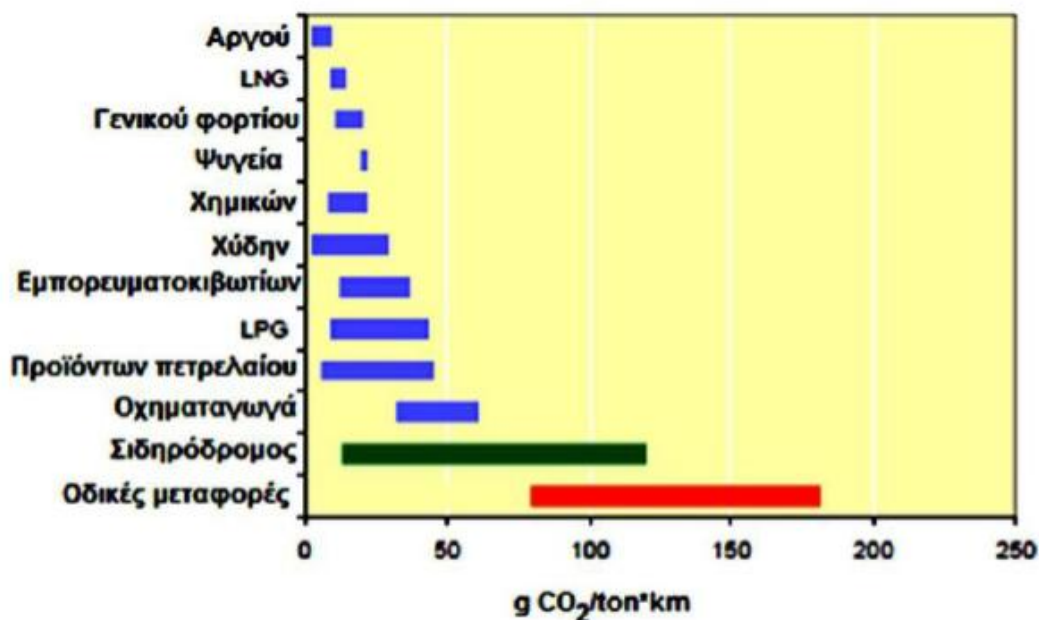
(<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>)

Η τρίτη μελέτη GHG, του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας δημοσιεύθηκε το 2014 και δείχνει ότι μεταξύ του 2007 και του 2012, ο παγκόσμιος ναυτιλιακός στόλος κατανάλωσε 250-325 εκατομμύρια τόνους καυσίμου, αποτελώντας το 2.8% των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως (3.1% των ετήσιων εκπομπών CO₂).¹⁶

(<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>)

Είναι γεγονός πλέον, ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του πλανήτη με ορατά τα αρνητικά αποτελέσματα αυτής.

Οι εκπομπές διοξειδίου το άνθρακα από διάφορες κατηγορίες πλοίων, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές φαίνονται στο επόμενο σχήμα.^{17,18,16,2}



Σχήμα 8. Εκπομπές CO₂ από διάφορες κατηγορίες πλοίων, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές.

(https://seors.unfccc.int/applications/seors/attachments/get_attachment?code=TJQGYTI096K3J33ANM1HDWYEU51VRXNC, 2019)



Σχήμα 9. Εκπομπές CO₂ από μέσα μεταφοράς και βιομηχανίες

(europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/125/)

2.2. Ναυτικοί κινητήρες

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης πετρελαίου δημιουργήθηκε το 1892 από τον Rudolf Diesel, ενώ δώδεκα χρόνια αργότερα κατασκευάστηκε και η πρώτη τετράχρονη diesel μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την πρόωση πλοίου. Αργότερα, το 1930 άρχισαν να κατασκευάζονται δίχρονοι μηχανές diesel, μεγαλύτερες και με πολύ καλύτερη απόδοση.

Ο επικρατέστερος τύπος μηχανής στη ναυτιλία τόσο για την κίνηση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο ναυτικός κινητήρας Diesel. Τα μεγάλα σε μέγεθος, ποντοπόρα, φορτηγά πλοία, χρησιμοποιούν κυρίως για την κίνηση τους μηχανές Diesel χαμηλών και μεσαίων στροφών, ενώ κάποια επιβατηγά ή πολεμικά πλοία, στα οποία η αυξημένη ταχύτητα είναι επιθυμητή, είναι εξοπλισμένα με αμοστροβίλους ή αεριοστροβίλους. Ο αριθμός των πλοίων αυτών είναι ιδιαίτερα μικρός, καθώς αυτού του τύπου οι μηχανές δεν είναι αποδοτικές, συγκρινόμενες με τις μηχανές Diesel.

Οι κινητήρες Diesel στη ναυτιλία ξεχωρίζουν ως προς τον αριθμό των στροφών τους σε:

A) Diesel χαμηλών στροφών, 70 έως 140 rpm. Είναι δίχρονοι και ογκώδεις και διαθέτουν συνήθως 4-12 κυλίνδρους. Οι διαστάσεις τους είναι μεγάλες, έτσι ώστε το έμβολο να εκτελεί μεγαλύτερη διαδρομή και να επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση μέσω του μεγαλύτερου λόγου συμπίεσης. Οι πιο σύγχρονοι κινητήρες αυτού του τύπου παράγουν ισχύ μεγαλύτερη από 4000 kW/κύλινδρο. Οι χαμηλές στροφές προσφέρουν σχεδιαστικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπουν:

- την επιτυχή καύση του βαρέως πετρελαίου, παρέχοντας επαρκή χρόνο για την καλή ανάμειξη του μίγματος αέρα-καυσίμου
- καθιστούν δυνατή την απευθείας σύνδεση του στροφάλου με την προπέλα, χωρίς να απαιτείται μειωτήρας.
- η κατασκευή τους είναι με αυτόν τον τρόπο απλούστερη και συνεπώς οικονομικότερη
- μειώνονται τα πιθανά σφάλματα που μπορούν να εμφανιστούν κατά την λειτουργία τους και
- χάρη στην απλότητα τους, έχουν μεγάλη μακροζωία

Για τους λόγους αυτούς, οι κινητήρες τέτοιου τύπου προτιμούνται από τους πλοιοκτήτες που επιθυμούν πλοία με μία μηχανή. Αν στα παραπάνω χαρακτηριστικά των δίχρονων κινητήρων υπολογίσει κανείς και τη δυνατότητα λειτουργίας με τα οικονομικότερα βαρέα καύσιμα (HFO-heavy fuel oil), τότε είναι φανερό ότι αποτελούν την καλύτερη επιλογή για όλα σχεδόν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος πλοία. Είναι απλές και αξιόπιστες μηχανές, εύκολες στον χειρισμό και στην συντήρηση που καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις των πλοίων αυτών.

B) Diesel μεσαίων στροφών. Είναι συνήθως τετράχρονοι με ταχύτητες 400-1000 rpm με έως και 12 κυλίνδρους σε σειρά ή έως 20 κυλίνδρους σε σχηματισμό "V". Οι σύγχρονοι κινητήρες τέτοιου τύπου, παράγουν ισχύ μεταξύ 100-2000 kW/κύλινδρο. Χρησιμοποιούνται και για την κίνηση των πλοίων αλλά και για την ηλεκτροπαραγωγή. Στις εφαρμογές πρόωσης στα πλοία, συνήθως δεν χρησιμοποιούνται ως μονάδες, αλλά σε εγκαταστάσεις πολλών μηχανών που συνδέονται με τις έλικες του πλοίου μέσω μειωτήρα.

Η εξέλιξη των ναυτικών κινητήρων γενικά στοχεύει στο τρίπτυχο: αύξηση βαθμού απόδοσης, περιορισμός εκπομπών ρύπων, βελτίωση αξιοπιστίας.

Αύξηση βαθμού απόδοσης

Η βελτίωση του βαθμού απόδοσης (β.α.) ναυτικών κινητήρων ήταν εντυπωσιακή τα τελευταία 30 χρόνια, αλλά πλέον προσεγγίζονται τα θεωρητικά όρια του κύκλου diesel. Περαιτέρω μείωση της ειδικής καταναλώσεως και των εκπομπών CO₂, μπορεί να προκύψει με βελτιστοποίηση χρήσεως της ενέργειας σε σταθερές συνθήκες, καθώς και με βελτίωση της παραγωγής ισχύος σε μεταβαλλόμενες συνθήκες, μέσω ηλεκτρονικών ρυθμίσεων και ανάκτησης ενέργειας.

Η προσπάθεια για αύξηση της μέσης και μέγιστης πίεσης μηχανών για επίτευξη μεγαλύτερης ειδικής ισχύος περιορίζεται από τα προβλήματα υλικών, τριβολογίας, φθορών και, τελικά, αξιοπιστίας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις προσέφεραν βελτιωμένα υλικά και μεθόδους σχεδίασεως που επέτρεψαν την παραγωγή μηχανών με αυξημένα όρια θερμικής και μηχανικής φορτίσεως. Η βελτίωση του β.α. υπερπληρωτών και η κατασκευή συστημάτων εγχύσεως υψηλής πίεσεως συνέβαλαν στην αύξηση της μέσης πίεσης. Οι εξελίξεις επέτρεψαν αύξηση της μέγιστης πίεσεως και βελτίωση της σχεδίασης του θαλάμου καύσεως, ώστε να μειώνονται τα θερμικά φορτία και να ευνοείται η ανάμειξη αέρα-καυσίμου. Η υιοθέτηση εδράνων αλουμινίου με δυνατότητα παραλαβής αυξημένου φορτίου σε αργόστροφες μηχανές θα οδηγήσει σε μικρότερες αποστάσεις κυλίνδρων και αύξηση ειδικής ισχύος, άρα μικρότερο βάρος. Συγχρόνως, η αύξηση του λόγου διαδρομής/διαμέτρου εμβόλου 2-X κινητήρων - διατηρώντας μέση ταχύτητα εμβόλου υπαγορευμένη από τριβολογία- επιτρέπει χαμηλότερες στροφές ελικοφόρου άρα μεγαλύτερη διάμετρο και καλύτερο β.α. έλικας, εντός περιορισμών βυθίσματος πλοίου και πλάτους μηχανής.

Αλλαγή «κλασικού» κύκλου diesel

Βελτιώσεις στις επιδόσεις κινητήρων μπορούν να επιτευχθούν με μεταβαλλόμενο λόγο συμπίεσης, πιθανόν με έμβολο μεταβλητής γεωμετρίας, αλλά κυρίως με μεταβολές χρονισμού, ρυθμού ανοίγματος/κλεισίματος και βυθίσεως των βαλβίδων. Τα συστήματα VVA (Variable Valve Actuation) έχουν υδραυλική ή ηλεκτρομαγνητική κίνηση ελεγχόμενη από ηλεκτρονικό σύστημα. Η απεξάρτηση κινήσεως των βαλβίδων από μηχανική ζεύξη επιτρέπει ενδιαφέρουσες επεμβάσεις στη λειτουργία της μηχανής.

Περιορισμός εσωτερικών απωλειών κυλίνδρου

Ο περιορισμός απωλειών ενέργειας στην ψύξη της μηχανής φαίνεται κατ' αρχήν ένας ενδιαφέρων στόχος στην αύξηση της αποδόσεως. Όμως, έχει αποδειχθεί ότι η κατασκευή τοιχωμάτων του κυλίνδρου από υλικά ικανά να αντέξουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και η μόνωσή τους δεν μεταβάλλει τον θερμοδυναμικό β.α. του κινητήρα. Συγχρόνως, τα θερμότερα τοιχώματα οδηγούν σε ογκομετρικές απώλειες πληρώσεως.

Λόγω της μειωμένης απόρριψης θερμότητας, αυξάνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων, οπότε ο υπερπληρωτής μπορεί να χρησιμοποιήσει τμήμα της επιπλέον ενέργειας για να εξισορροπήσει τις απώλειες ογκομετρικού βαθμού αποδόσεως. Οι δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας κατάντι του υπερπληρωτή εξαρτώνται και από το κόστος της επιπλέον εγκαταστάσεως, που πιθανόν περιλαμβάνει ατμοστρόβιλο ή και στρόβιλο ισχύος, μειωτήρες, γεννήτριες.

Ανάμειξη βαρέως καυσίμου με γαλάκτωμα νερού

Αρχικές εφαρμογές καύσεως γαλακτωμάτων νερού και βαρέως καυσίμου έγιναν με σκοπό την καλύτερη καύση καυσίμου μεταβαλλόμενης ποιότητας. Η μέθοδος παρουσίασε πολλά προβλήματα αστάθειας του μείγματος, διάβρωσης εγχυτήρων και κακής διασποράς σε χαμηλά φορτία κινητήρα από τις οπές των ακροφυσίων.

Για έγχυση άλλου μέσου μέσα στον κύλινδρο έχουν δοκιμαστεί εγχυτήρες με στρωματοποιημένη έγχυση ή δύο χωριστοί εγχυτήρες. Παρόμοια διάταξη συναντάται σε ορισμένες μηχανές gas-diesel με πιλοτική έγχυση πετρελαίου και κύρια έγχυση αερίου.

Ο άμεσος ψεκασμός νερού ψύχει τον αέρα γομώσεως και προκαλεί βελτίωση ανάμειξης και καύσης λόγω των μικροεκρήξεων κατά την ατμοποίηση των σταγονιδίων νερού στον κύλινδρο. Το σχετικό ενδιαφέρον είναι κυρίως για ελάττωση της μέσης θερμοκρασίας καύσεως και άρα της παραγωγής NOx.

Άλλη μέθοδος είναι η υπερκρίσιμη προανάμειξη (fumigation) νερού με έγχυση σε 220 bar και 375° C, και επίσης η έγχυση ατμού κατευθείαν μέσα στον κύλινδρο σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, που υποβοηθά το έργο εκτονώσεως. Τα παραπάνω συστήματα παραμένουν μηχανικά περίπλοκα με αμφιλεγόμενη αξιοπιστία.

Μία απλούστερη παραλλαγή των παραπάνω μεθόδων είναι ο κορεσμός του αέρα εισαγωγής με νερό που καταιονίζεται υπό χαμηλή πίεση στο δοχείο αέρα, οπότε η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης στους αυλούς εισαγωγής και στον κύλινδρο μειώνει τη θερμοκρασία της γομώσεως. Τυχόν βραχυκύκλωση της ψυχρής γομώσεως οδηγεί σε ανεπιθύμητη ψύξη της ροής καυσαερίων προ του υπερπληρωτή, ιδιαίτερα σε δίχρονης

μηχανές. Η εφύγραση του αέρα σαρώσεως μπορεί να επιφέρει διάβρωση των χιτωνίων, που εν μέρει μπορεί να αντιμετωπιστεί με προηγμένα συστήματα λίπανσης κυλίνδρου και ανασχεδίαση της διεπιφάνειας χιτωνίου/ελατηρίων.

Αύξηση πιέσεως πληρώσεως

Η αύξηση της πιέσεως του συστήματος υπερπλήρωσης με διατήρηση της μορφής καύσεως οδηγεί σε σημαντική αύξηση του βαθμού αποδόσεως και της συγκέντρωσης ισχύος. Όμως, δημιουργούνται πολύ υψηλές μέγιστες πιέσεις (μπορούν να υπερβούν τα 300 bar), οπότε οι μηχανικές φορτίσεις δημιουργούν προβλήματα σε στροφαλοφόρο, έδρανα και στη λίπανση των κινούμενων μερών. Η υπερπλήρωση μιας βαθμίδας με εύλογο εύρος πεδίου λειτουργίας συμπίεστη έχει πρακτικά όριο πιέσεων 5:1. Υπάρχουν και όρια υλικών για τα στροφέα φυγοκεντρικών συμπίεστων, λόγω υψηλής περιφερειακής ταχύτητας άκρου και της θερμοκρασίας συμπίεσμένου αέρα (270° C σε λόγο συμπίεσης 5:1), που οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο ερπυσμού των πτερυγίων από κράμα αλουμινίου, απαιτώντας είτε ψύξη του άκρου συμπίεστη είτε στροφέο τιτανίου. Η λύση της υπερπλήρωσης δύο βαθμίδων επιτρέπει αύξηση της ειδικής ισχύος, αλλά συνοδεύεται από αυξημένο κόστος, περιπλοκότητα διατάξεως καθώς και μειωμένη απόδοση σε χαμηλά φορτία όπου τα στροφέα λειτουργούν με χαμηλούς β.α. Φαίνεται ότι θα εφαρμοστεί στο άμεσο μέλλον, πιθανόν σε συνδυασμό με χρονισμό Miller – Atkinson.

Για βελτίωση του εύρους λειτουργίας και β.α. προτείνεται μεταβλητή γεωμετρία υπερπληρωτών. Έχουν δοκιμαστεί πτερύγια προ-περιστροφής και μεταβλητός διαχύτης στο συμπίεστη και ήδη χρησιμοποιούνται μεταβλητά ακροφύσια στο στρόβιλο, ακόμα και για λειτουργία με βαρύ καύσιμο.

Με την αύξηση του β.α. υπερπληρωτών, η περίσσεια ισχύος μιας βαθμίδας μπορεί να παραληφθεί από ηλεκτρική γεννήτρια/κινητήρα σε διάταξη PTO/PTI (Power Take Out/Power Take In) για βελτίωση του συνολικού β.α. της εγκατάστασης. Για μείωση των μηχανικών προβλημάτων λόγω υψηλών στροφών, χρησιμοποιήθηκαν άξονες συνδέσεως από συνθετικά υλικά και μαγνητικά έδρανα.

Βελτίωση της αξιοπιστίας

Η πλέον σημαντική απαίτηση για ναυτικούς κινητήρες πρόωσης πλοίων είναι η αξιοπιστία, η οποία συνδέεται με τη μακροβιότητα των κυρίων τμημάτων του κινητήρα. Μελλοντική επιδίωξη για τα τμήματα αυτά είναι να έχουν διάρκεια ζωής άνω των 60.000 ωρών, άρα 10 έτη TBO.

Τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου του κινητήρα είναι πλέον ευρείας αποδοχής και συχνά προσφέρονται από τους κατασκευαστές μαζί με τη μηχανή. Θέμα παραμένει η διαχείριση και αξιολόγηση του όγκου στοιχείων παρακολούθησης από τους operators, ώστε να εφαρμοστεί η συντήρηση βάσει κατάστασης (CBM).

Οι εφαρμογές ηλεκτρονικών ελεγκτών με ευρύτατες δυνατότητες ρυθμίσεων επιτρέπουν την αναθεώρηση των κλασικών προσεγγίσεων ελέγχου του κινητήρα. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες, ενεργοποιητές και τα συστήματα παρακολούθησης και βελτιστοποίησης λειτουργίας θα περιβάλλουν την αξιόπιστη, αυτορρυθμιζόμενη μηχανή του μέλλοντος, ρυθμίζοντας χρονισμό βαλβίδων, διαμόρφωση εγχύσεως καυσίμων, γεωμετρία υπερπληρωτών, προσωρινή διακοπή λειτουργίας (cut-out) κυλίνδρων και υπερπληρωτών, διατάξεις επεξεργασίας καυσαερίων και απομάστευσης/πρόσδοσης/ανάκτησης ενέργειας.^{19, 20}

(Κυρτάτος, Εξελίξεις στην τεχνολογία ναυτικών κινητήρων, 2013)



Εικόνα 1. Μηχανές Diesel πλοίου

2.3. Ναυτιλιακά καύσιμα

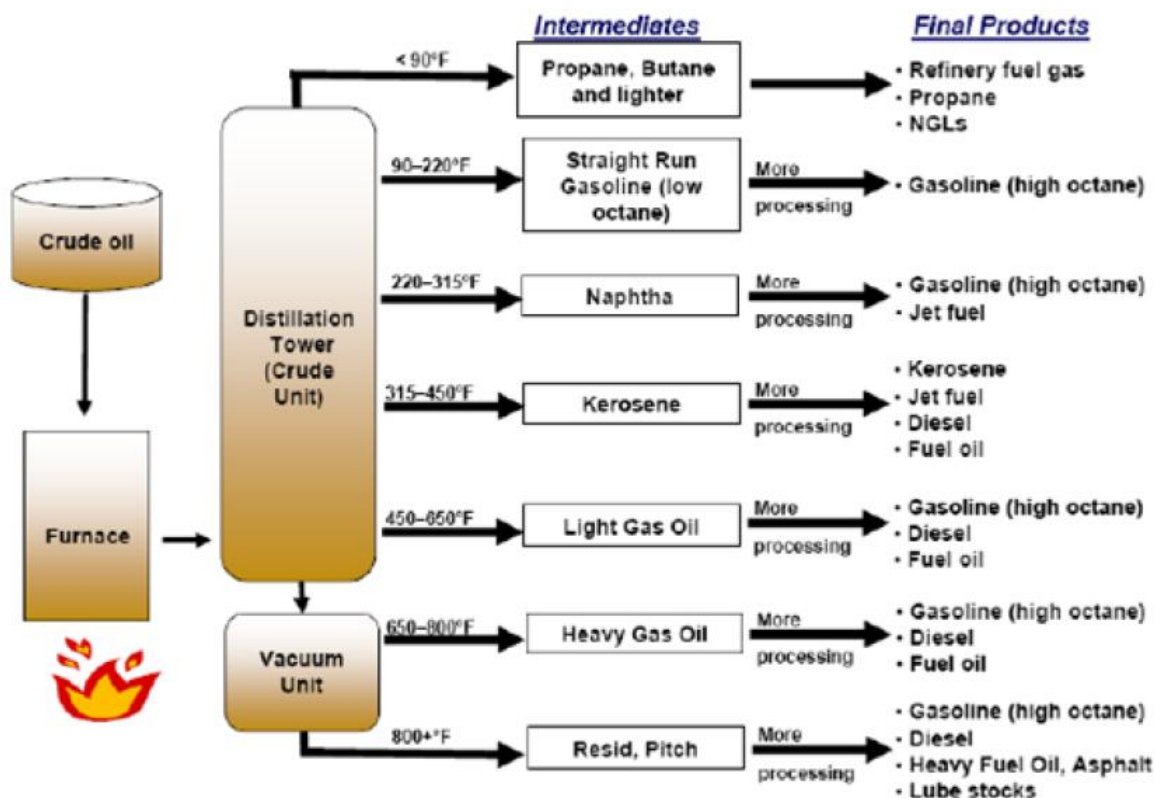
Η χρήση heavy fuel oil σε ναυτικούς κινητήρες (M/V “Princess of Vancouver”), είχε αρχίσει ήδη από το 1950, με μια σειρά καινοτομιών που εφαρμόστηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν λιπαντικά ιδιαίτερα αλκαλικά, ικανά να ουδετεροποιήσουν τα οξέα που παράγονται κατά την καύση καυσίμων με υψηλό αριθμό θείου (residual fuels).

Το θέμα της επιλογής ενός συγκεκριμένου καυσίμου είναι κυρίως οικονομικό. Επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα του συγκεκριμένου τύπου, οι δυνατότητες επεξεργασίας του καυσίμου στο πλοίο και η αντοχή του κινητήρα στις επιβλαβείς προσμίξεις και στις αλλαγές ιδιοτήτων του κάθε καυσίμου, σε σχέση πάντα και με το κόστος συντήρησης. Οι περισσότεροι μεγάλοι ναυτικοί κινητήρες Diesel έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με καύσιμα διαφόρων ποιοτήτων (από ελαφρύ καύσιμο απόσταξης έως βαρύ υπόλειμμα χαμηλής ποιότητας). Συνήθως οι κατασκευαστές δίνουν επιτρεπτά όρια των χαρακτηριστικών του καυσίμου για κάθε τύπο κινητήρα. Σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό του παγκοσμίου στόλου της εμπορικής Ναυτιλίας κινείται με τα υπολείμματα της απόσταξης του αργού πετρελαίου (HFO), τα οποία έχουν τη χαμηλότερη τιμή πώλησης.

Υπάρχει σημαντική επίδραση στη λειτουργία των κινητήρων από την ποιότητα των καυσίμων, κυρίως όταν είναι μεταβαλλόμενη. Οι μηχανές (γενικά, αλλά κυρίως οι μεγάλοι κινητήρες) μπορούν να ρυθμιστούν να λειτουργούν ικανοποιητικά με καύσιμα ιδιαίτερα χαμηλής ποιότητας. Αλλά επειδή τα πλοία εφοδιάζονται με καύσιμο από διάφορα μέρη του κόσμου και διαφορετικούς προμηθευτές, αυτό είναι πολύ δύσκολο. Επίσης, τα χαρακτηριστικά του ίδιου τύπου καυσίμου, από το ίδιο σημείο ανεφοδιασμού, για δυο διαφορετικές ημερομηνίες, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Αλλά και το ίδιο το καύσιμο από διαφορετικές πηγές συνήθως διαφέρει σημαντικά. Έτσι, καύσιμα από δυο ανεφοδιασμούς που πιθανόν να έχουν προβλήματα συμβατότητας, αν γίνει προσπάθεια να αναμιχθούν, μπορεί να έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα. Καλύτερη γνώση των χαρακτηριστικών του καυσίμου επιτρέπει τη σωστή ρύθμιση του συστήματος καυσίμου του πλοίου και βοηθά στην αποθήκευση και επεξεργασία του καθώς και στη σωστή ρύθμιση και λειτουργία των διαχωριστών.

2.3.1. Προϊόντα κατεργασίας αργού πετρελαίου

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους εμβολοφόρους κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι προϊόντα της κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου μέσω της στήλης απόσταξης και διαχωρίζονται ανάλογα με το σημείο βρασμού (ζέσεως).



Σχήμα 10. Κλασματική απόσταξη αργού πετρελαίου

Από την διύλιση του αργού πετρελαίου (crude oil) παράγονται περισσότερα από 2000 προϊόντα τα οποία μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω τέσσερις ευρείες κατηγορίες προϊόντων:^{21,22,23}

- 1) **Αέριο διυλιστηρίου** (κυρίως μεθάνιο, αιθάνιο και υδρογόνο),
- 2) **υγραέριο** (κυρίως προπάνιο και βουτάνιο),
- 3) **καύσιμα αποστάγματα** (distillate fuels), που είναι προϊόντα απόσταξης σε θερμοκρασίες 200 έως 360 °C. Αυτά χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται. Αυτά είναι:

α) η βενζίνη. Είναι το πιο ελαφρύ και πτητικό από τα αποστάγματα αυτά. Λαμβάνεται κατά την απόσταξη, μετά το υγραέριο και έχει πυκνότητα 0,70-0,76 kg/lit και κατώτερη θερμογόνο δύναμη 42000-44000 kJ/kg.

β) η κηροζίνη, με την ίδια θερμογόνο δύναμη και πυκνότητα 0,78-0,82 kg/lit, η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση και φωτισμό, αλλά και ως καύσιμο στους στροβιλοαντιδραστήρες.

γ) το καύσιμο Diesel που χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών για οικιακή θέρμανση και κίνηση οχημάτων με πυκνότητα 0,82-0,87 kg/lit. Και τέλος

δ) τα βαρέα καύσιμα προϊόντα της απόσταξης, τα οποία συνήθως αναμειγνύονται με τα κατάλοιπα της διύλισης (residual oil).

4) τα καύσιμα κατάλοιπα (residual fuels). Είναι τα προϊόντα που δεν μπόρεσαν να αποσταχθούν κατά την διεργασία της κλασματικής απόσταξης. Αποτελούνται από τα βαρύτερα συστατικά του αργού πετρελαίου τα οποία συγκεντρώνονται στην βάση του πύργου της απόσταξης.

2.3.2. Τύποι ναυτιλιακών καυσίμων

Ως ηλεκτρικές γεννήτριες και κινητήρες πλοίων, χρησιμοποιούνται οι μεγάλες σε μέγεθος δίχρονες μηχανές Diesel, που μπορούν να λειτουργήσουν με μία ποικιλία καυσίμων ή και ανάμιξη αυτών. Οι μηχανές αυτές μπορούν να κάψουν κάθε προϊόν της απόσταξης του αργού πετρελαίου από φυσικό αέριο και βενζίνη μέχρι και τα κατάλοιπα της απόσταξης του.

Πιο αναλυτικά τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα από αυτού του τύπου μηχανές τόσο στην ναυτιλία όσο και στην ηλεκτροπαραγωγή είναι τα εξής:²⁴

Diesel Oil (distillate oil). Το καύσιμο Diesel αποτελεί το παραδοσιακό καύσιμο των κινητήρων Diesel. Αποτελείται από ένα μείγμα υδρογονανθράκων που προέρχεται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου. Για την χρήση του, δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία, διαχωρισμός ή προθέρμανση πριν την καύση. Όμως οι ιδιότητές του μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη ουσιών ώστε να επιτύχουμε την καλύτερη απόδοση του κινητήρα. Είναι γενικά το βασικό καύσιμο των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα των μικρότερων μονάδων και των ναυτικών κινητήρων. Η τιμή του αυξάνεται

συνήθως κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών λόγω της αυξημένης χρήσης του στην οικιακή θέρμανση. Αύξηση της τιμής του έχει προκαλέσει επίσης η επιβολή περαιτέρω επεξεργασίας του καυσίμου στα διυλιστήρια, λόγω των νέων ορίων εκπομπών οξειδίων του θείου, ώστε να μειώνεται το ποσοστό θείου σε αυτό.

HeavyFuelOils (HFO) (βαρύμαζούτ). Τα καύσιμα αυτά είναι τα κατάλοιπα της διύλισης του αργού πετρελαίου. Η ποιότητά τους ποικίλει ανάλογα με τη διαδικασία διύλισης που ακολουθείται καθώς και με την σύνθεση του ακατέργαστου πετρελαίου που χρησιμοποιείται. Τα καύσιμα HFO έχουν μεγάλο ιξώδες και υψηλό ποσοστό θείου. Λόγω του μεγάλου ιξώδους τους απαιτούν προθέρμανση πριν την εισαγωγή τους στον θάλαμο καύσης, αλλά επίσης και τη διατήρηση συγκεκριμένης θερμοκρασίας κατά την αποθήκευσή τους. Τα αρνητικά αυτά χαρακτηριστικά, επιτρέπουν την χρήση τους μόνο από τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία.

Emulsified Fuels (γαλακτοποιημένα καύσιμα). Είναι βαριά κλάσματα υδρογονανθράκων και προέρχονται είτε από φυσικές πηγές με την μορφή της πίσσας, είτε είναι προϊόντα διύλισης, που υφίστανται επεξεργασία με νερό ώστε να ομογενοποιηθούν. Χρησιμοποιούνται από τους ίδιους κινητήρες που χρησιμοποιούν καύσιμα HFO.

Τα ναυτιλιακά καύσιμα κατατάσσονται με βάση το πρότυπο ISO 8217-2017. Η πρώτη τυποποίηση για τα καύσιμα έγινε το 1982 από τον B.S.I. (British Standards Institute) και ακολούθησαν και οι υπόλοιποι οργανισμοί τυποποίησης. Το πρότυπο ISO 8217-2017 είναι αναθεώρηση των προηγούμενων ISO 8217-2005 και ISO 8217-2012.²⁵

Αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Το περιεχόμενο του ναυτιλιακού πετρελαίου σε άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 84,9% και 87,4%²⁶. Με βάση το ISO 8217, διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με τις φυσικές του ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης τους. Όμως για λειτουργικούς και οικονομικούς λόγους, στις προωστήριες εγκαταστάσεις με μηχανές diesel χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών εναλλάξ, είτε σε μείγματα σε διάφορες αναλογίες.²⁷ Το γράμμα D στην αρχή της ονομασίας υποδηλώνει πως το καύσιμο αυτό είναι προϊόν απόσταξης (Distillate fuel). Το γράμμα R στην αρχή της ονομασίας υποδηλώνει πως το καύσιμο είναι υπόλειμμα (Residual fuel). Το γράμμα M δηλώνει πως πρόκειται για ναυτιλιακό καύσιμο (Marine fuel).

Residual Oil (RO). Είναι το βαρύτερο κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου και λόγω του μεγάλου ιξώδους του, χρειάζεται προθέρμανση πριν την εισαγωγή του στον

θάλαμο καύσης ώστε να είναι δυνατή σωστή ροή του. Τείνει να έχει υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, μεταξύ αυτών και θείου. Είναι το πιο φθηνό υγρό καύσιμο στην αγορά.

Intermediate Fuel Oil (IFO). Το καύσιμο αυτό αποτελεί μείγμα 2% Diesel Οίλ και 98% HFO και ονομάζεται IFO380 ή μείγμα 12% Diesel και 88% HFO και ονομάζεται IFO180. Το IFO180 είναι πιο ακριβό από το IFO380 καθώς περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό Diesel Oil.

Marine Diesel Oil (MDO). Αποτελούνται κυρίως από Diesel Οίλ και περιέχουν χαμηλό ποσοστό θείου. Το MDO έχει μικρότερο ποσοστό θείου από τα IFO 180, IFO 380 και RO αλλά μεγαλύτερο από τα MGO.

Marine Gas Oil (MGO). Ονομάζεται έτσι επειδή αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούνταν στις μηχανές diesel. Έχει χαμηλό ιξώδες και υψηλό βαθμό καθαρότητας που εξασφαλίζει καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα. Είναι απόσταγμα καθαρού πετρελαίου (=distillate fuel), ανήκει δηλαδή στα ευγενή προϊόντα του. Κατατάσσεται στα καλύτερα και ακριβότερα καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης. Το gas oil οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι, ουσιαστικά, πρόκειται για έλαιο που με εξαερίωση παράγει αέριο. Το MGO έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο από όλους τους τύπους καυσίμων.

Liquefied Natural Gas (LNG). Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄) και ένα πολύ μικρό ποσοστό σεαιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο. Βρίσκεται σε υγρή μορφή για λόγους ευκολίας για την αποθήκευση και τη μεταφορά του. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο καταλαμβάνει περίπου το 1/600 του όγκου του φυσικού αερίου σε αέρια κατάσταση.²⁸

Υπάρχουν επίσης εναλλακτικές λύσεις που δεν παράγονται από πετρέλαιο, όπως βιοντίζελ, υγρά καύσιμα από βιομάζα (Biomass to Liquid) (BTL) ή υγρά καύσιμα ντίζελ από αέρια (gas to liquid) (GTL), που αναπτύσσονται και υιοθετούνται με αυξανόμενους ρυθμούς. Για τη διάκριση αυτών των τύπων, το ντίζελ που παράγεται από πετρέλαιο αποκαλείται με αυξανόμενη συχνότητα **πετροντίζελ**. Το πρότυπο ULSD ορίζει το καύσιμο ντίζελ με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Από το 2006, σχεδόν όλα τα καύσιμα ντίζελ πετρελαϊκής βάσης που διατίθενται στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική είναι του τύπου ULSD.^{29,30,31}

Συνθετικό ντίζελ. Μπορεί να παραχθεί από οποιοδήποτε ανθρακούχο υλικό, που συμπεριλαμβάνει τη βιομάζα, το βιοαέριο, το φυσικό αέριο, άνθρακα και πολλά άλλα. Το ακατέργαστο υλικό εξαερώνεται σε αέριο σύνθεσης, που μετά τον καθαρισμό μετατρέπεται από τη διεργασία Φίσερ-Τρόπς (Fischer-Tropsch) σε συνθετικό ντίζελ.

Ανάλογα με την ακατέργαστη χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη η διεργασία αναφέρεται ως υγρά καύσιμα από βιομάζα (BTL), υγρά καύσιμα από αέρια (GTL) ή υγρά καύσιμα από άνθρακα (CTL).

Το αλκανικό συνθετικό ντίζελ έχει γενικά περιεκτικότητα σε θείο σχεδόν μηδενική και πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε αρωματικές ενώσεις, μειώνοντας τις αρρυθμιστες εκπομπές τοξικών υδρογονανθράκων, υποξειδίου του αζώτου και μικροσωματιδίων (PM).

Βιοντίζελ



Εικόνα 2. Βιοντίζελ κατασκευασμένο από σογιέλαιο

Οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAME), γνωστότεροι ως βιοντίζελ, λαμβάνονται από φυτικά λάδια ή ζωικά λίπη (βιολιπίδια) που έχουν μετεστεροποιηθεί με μεθανόλη. Μπορεί να παραχθεί από πολλούς τύπους ελαίων, με πιο συνηθισμένο το κραμβέλαιο (μεθυλεστέρας κράμβης, RME) στην Ευρώπη και το σογιέλαιο (μεθυλεστέρας σόγιας, SME) στις ΗΠΑ. Η μεθανόλη μπορεί επίσης να αντικατασταθεί με αιθανόλη για τη διεργασία της μετεστεροποίησης, που καταλήγει στην παραγωγή αιθυλεστέρων. Οι διεργασίες μετεστεροποίησης χρησιμοποιούν καταλύτες, όπως υδροξείδιο του νατρίου ή του καλίου για να μετατρέψουν φυτικά λάδια και μεθανόλη σε FAME και τα ανεπιθύμητα παραπροϊόντα γλυκερόλης και νερού, που θα πρέπει να αφαιρεθούν από το καύσιμο μαζί με τα ίχνη της μεθανόλης. Το FAME μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρό (B100) σε κινητήρες όπου ο κατασκευαστής αποδέχεται τέτοια χρήση, αλλά πιο συχνά χρησιμοποιείται ως μείγμα με ντίζελ, BXX όπου XX είναι το περιεχόμενο σε βιοντίζελ σε ποσοστό.^{104, 105}

Οι προδιαγραφές του καυσίμου FAME ρυθμίζονται από το EN 14214|DIN EN 14214 και το ASTM D6751.

Το FAME έχει χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο από το ντίζελ λόγω της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο, και ως αποτέλεσμα η απόδοση και η κατανάλωση του καυσίμου μπορούν να επηρεαστούν. Μπορεί να έχει επίσης υψηλότερα επίπεδα εκπομπών NO_x, τα οποία ενδεχομένως να ξεπερνούν το νόμιμο όριο. Το FAME έχει επίσης χαμηλότερη σταθερότητα οξείδωσης από το ντίζελ και προσφέρει ευνοϊκές συνθήκες για βακτηριακή ανάπτυξη, έτσι οι εφαρμογές που έχουν χαμηλή ζήτηση σε καύσιμο δεν πρέπει να χρησιμοποιούν το FAME. Η απώλεια σε ισχύ κατά τη χρήση καθαρού βιοκαυσίμου είναι 5 με 7%.

Οι κατασκευαστές εξοπλισμών καυσίμου έχουν εκδηλώσει αρκετές ανησυχίες σχετικά με τα καύσιμα FAME ως προς τα εξής: ελεύθερη μεθανόλη, διαλυμένο και ελεύθερο νερό, ελεύθερη γλυκερίνη, μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα, συνολικά επίπεδα ακαθαρσιών στερεών, ενώσεις αλκαλίων σε διαλύματα, καθώς και οξείδωση και θερμική σταθερότητα. Έχουν επίσης ταυτοποιήσει το FAME να είναι η αιτία των παρακάτω προβλημάτων: διάβρωση των στοιχείων έγχυσης του καυσίμου, έμφραξη συστήματος καυσίμου χαμηλής πίεσης, αυξημένη αραίωση και πολυμερισμό του λαδιού της λεκάνης αποστράγγισης (κάρτερ), εμφράξεις αντλιών λόγω του υψηλού ιξώδους καυσίμου σε χαμηλή θερμοκρασία, αυξημένη πίεση έγχυσης, αστοχίες ελαστομερών παρεμβυσμάτων και έμφραξη στον ψεκασμό καυσίμου.

Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι η πηγή της χαμηλότερης σταθερότητας οξείδωσης· αντιδρούν με το οξυγόνο και σχηματίζουν υπεροξειδία και καταλήγουν σε παραπροϊόντα υποβάθμισης, που μπορεί να προκαλέσουν λάσπη και βερνίκωμα στο σύστημα του καυσίμου.

Επειδή το FAME έχει χαμηλά επίπεδα περιεκτικότητας σε θείο, οι εκπομπές οξειδίων του θείου καιθεικών, κύριων συστατικών της όξινης βροχής, είναι χαμηλές. Η χρήση του βιοντίζελ καταλήγει επίσης σε μειώσεις των άκαυστων υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και μικροσωματιδίων. Οι εκπομπές του CO χρησιμοποιώντας βιοντίζελ μειώνονται σημαντικά και είναι της τάξης του 50% συγκρινόμενο με τα περισσότερα καύσιμα πετροντίζελ. Τα μικροσωματίδια στα καυσαέρια από βιοντίζελ έχει βρεθεί ότι είναι κατά 30% μικρότερα από τις εκπομπές συνολικών μικροσωματιδίων από το πετροντίζελ. Οι συνολικοί υδρογονάνθρακες στα καυσαέρια (ένας παράγοντας που συντελεί στον τοπικό σχηματισμό αιθαλομίχλης και όζοντος) είναι μέχρι 93% χαμηλότεροι στο βιοντίζελ από άλλα καύσιμα ντίζελ.^{32, 33, 34, 35, 31}

Το βιοντίζελ μπορεί επίσης να μειώσει τους κινδύνους υγείας που σχετίζονται με το πετρελαϊκό ντίζελ. Τα καυσαέρια του βιοντίζελ εμφανίζουν μειωμένα επίπεδα από πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH) και νιτρώδεις ενώσεις PAHs, που έχουν ταυτοποιηθεί ως δυνητικά καρκινογόνες ενώσεις. Σε πρόσφατες δοκιμές, οι ενώσεις PAH μειώθηκαν κατά 75 έως 85%, εκτός από το βενζανθρακένιο, που μειώθηκε σχεδόν 50%. Στοχευμένες ενώσεις nPAH μειώθηκαν επίσης δραματικά με βιοντίζελ, με τα 2-νιτροφθορένιο και 1-νιτροπυρένιο να μειώνονται κατά 90% και οι υπόλοιπες ενώσεις nPAH να μειώνονται σε επίπεδα ιχνών.^{36,37,38}

Υδρογονωμένα λάδια και λίπη. Αυτή η κατηγορία καυσίμων ντίζελ περιλαμβάνει τη μετατροπή των τριγλυκεριδίων των εδώδιμων ελαίων και των ζωικών λιπών σε αλκάνια με εξευγενισμό φυτικών ελαίων και υδρογόνωση. Το παραγόμενο καύσιμο έχει πολλές ιδιότητες που είναι παρόμοιες με αυτές του συνθετικού ντίζελ και είναι ελεύθερο από τα περισσότερα μειονεκτήματα του FAME.

Διμεθυλαιθέρας. Ο διμεθυλαιθέρας, DME, είναι ένα συνθετικό, αέριο καύσιμο ντίζελ που έχει ως αποτέλεσμα καθαρή καύση με πολύ λίγη αιθάλη και μειωμένες εκπομπές NOx.³⁹

100

2.3.3. Ιδιότητες ναυτιλιακών καυσίμων

Θερμογόνος δύναμη (Heating Value)

Η θερμογόνος δύναμη μετρά την ικανότητα παραγωγής θερμικής ενέργειας ενός υλικού, το οποίο μπορεί να καεί, κατά την καύση του. Είναι η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση ενός κιλού στερεού ή υγρού καυσίμου ή ενός κυβικού μέτρου αερίου καυσίμου που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες. Λέγεται και θερμική αξία.

Διακρίνεται σε:

- Ανώτερη ή ακάθαρτη θερμική αξία (HHV) και
- Κατώτερη ή καθαρή θερμική αξία (LHV).

Η ανώτερη ή ακάθαρτη θερμική αξία HHV αναφέρεται στη θερμότητα που απελευθερώνεται από την καύση του καυσίμου με την αρχική και την παραγόμενη ποσότητα νερού σε υγρή κατάσταση, όταν δηλαδή δεν έχει απορροφήσει ενέργεια. Ενώ η κατώτερη ή καθαρή θερμική αξία LHV προϋποθέτει ότι το παραγόμενο νερό διαφεύγει ως αέριο, δηλαδή το νερό έχει απορροφήσει ενέργεια και η θερμογόνος δύναμη έχει κατά συνέπεια μικρότερη τιμή από της ανώτερης.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου, δεδομένου ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης αποβάλλουν το νερό με τη μορφή ατμού στα καυσαέρια. Συνήθως αυτή είναι 5% με 7% μικρότερη στα βαρέα υπολείμματα συγκριτικά με τα ελαφρύτερα παράγωγα κλασματικής αποστάξεως. Σε περιπτώσεις μιγμάτων, η θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται αναλογικά. Συνήθως οι ειδικές καταναλώσεις που αναφέρονται από τους κατασκευαστές είναι για ελαφρύ πετρέλαιο υψηλής θερμογόνου δυνάμεως (marine diesel oil, ISO-F-DMX, $H_u=42700 \text{ kJ/Kg}$).

Πυκνότητα (Density)

Η πυκνότητα ορίζεται ως ο λόγος της μάζας μιας ουσίας προς τον όγκο αυτής. Η μονάδα μέτρησης της πυκνότητας στο SI είναι τα kg/m^3 . Για τα καύσιμα πρέπει να δηλώνεται η θερμοκρασία αναφοράς, καθώς η πυκνότητα μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία αυτή είναι συνήθως 15°C . Στην πράξη η πυκνότητα των καυσίμων μετριέται στη θερμοκρασία αποθήκευσης και στη συνέχεια διορθώνεται από πρότυπους πίνακες στη θερμοκρασία αναφοράς. Η πυκνότητα των μαζούτ μετριέται μεταξύ 50°C και 60°C και έπειτα διορθώνεται και αναφέρεται στους 15°C . Η διόρθωση γίνεται με συντελεστές διόρθωσης που έχουν δημοσιευτεί από τους επίσημους φορείς τυποποίησης (ASTM, IP, ISO). Η πυκνότητα των Diesel μετριέται κατευθείαν στους 15°C (ISO 12185). Το ειδικό βάρος είναι το πηλίκο της μάζας μιας ουσίας σε συγκεκριμένο όγκο προς τη μάζα του νερού σε ισοδύναμο όγκο και στην ίδια θερμοκρασία.

Η γνώση της πυκνότητας του ναυτιλιακού καυσίμου έχει μεγάλη σημασία για το εμπόριο, γιατί τα καύσιμα παραλαμβάνονται με βάση τον όγκο τους και πωλούνται με βάση

τη μάζα τους. Η πυκνότητα μπορεί να δώσει χρήσιμες ενδείξεις για την σύσταση του καυσίμου, την ποιότητα ανάφλεξης, την ισχύ, την οικονομία, την τάση για σχηματισμό καπνού καθώς και για την δυνατότητα ροής σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αποτελεί έναν από τους παράγοντες που εισέρχονται στις εμπειρικές εξισώσεις, τόσο για το ενεργειακό περιεχόμενο όσο και για τον δείκτη αρωματικότητας (CCAI).

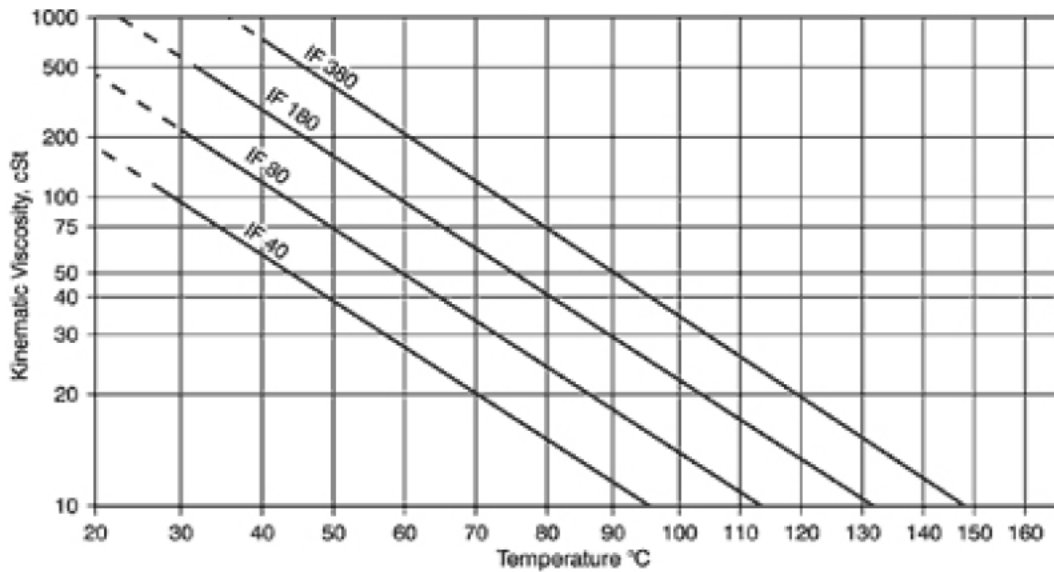
Στα περισσότερα καύσιμα ως άνω όριο ώστε να γίνει διαχωρισμός του νερού από το καύσιμο, θεωρείται η τιμή 991 kg/m^3 . Ο διαχωρισμός γίνεται με φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες (purifier). Σήμερα η τεχνολογία έχει επιτρέψει ακόμα και τον διαχωρισμό του νερού σε καύσιμα πυκνότητας έως 1010 kg/m^3 με ειδικούς διαχωριστήρες. Η πυκνότητα επηρεάζει και τις αντλίες εγχύσεως (όπου μετράται ο όγκος του καυσίμου). Έτσι για διάφορες πυκνότητες και θερμογόνους δυνάμεις του καυσίμου, η θέση του κανόνα (rack) των αντλιών μεταβάλλεται για να επιτευχθεί σταθερή ισχύς του κινητήρα. Τα χαρακτηριστικά ανάφλεξης και καύσης των βαρέων υπολειμμάτων είναι συνήθως κατώτερα από αυτά των ελαφρύτερων αποσταγμάτων. Ο συνδυασμός υψηλής πυκνότητας και χαμηλού ιξώδους είναι συνήθως ενδεικτικό καυσίμου χαμηλής ποιότητας αναφλέξεως και καύσεως.

Ιξώδες (Viscosity)

Το ιξώδες ενός ρευστού είναι ένα μέτρο της αντίστασης που αυτό παρουσιάζει στη σταδιακή παραμόρφωσή του μετά από διατμητική ή εντατική τάση, που εκφράζεται επίσης και με την αντίσταση που προβάλλει κατά τη ροή του. Για υγρά, ειδικότερα, αντιστοιχεί στην ιδιότητα της «πηκτότητας». Το ιξώδες είναι μια ιδιότητα ενός ρευστού που προκύπτει από τις συγκρούσεις μεταξύ γειτονικών σωματιδίων, καθώς τμήματα του ρευστού αυτού κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες, αλλά και από την εφαρμογή των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των μορίων αυτών.

Ορίζονται δύο είδη μέτρησης του ιξώδους το δυναμικό και το κινηματικό. Το δυναμικό ιξώδες αναφέρεται και ως απόλυτο ιξώδες και είναι η εφαπτομενική δύναμη ανά μονάδα επιφανείας που απαιτείται για να διατηρηθεί η κίνηση ενός οριζοντίου επιπέδου ως προς ένα άλλο σταθερό σε σταθερή ταχύτητα αφού το ρευστό έχει διανύσει κάποια απόσταση. Το κινηματικό ιξώδες είναι ο λόγος του δυναμικού ιξώδους προς την πυκνότητα, μετρημένα στην ίδια θερμοκρασία με μονάδες τα Stokes (St). $1 \text{ St} = \text{cm}^2/\text{s} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, Η υποδιαίρεση του είναι τα cSt. ($1\text{cSt} = 10^{-2} \text{ St} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Το κινηματικό ιξώδες, σαν μέγιστη τιμή, είναι συχνά το μόνο καθοριζόμενο χαρακτηριστικό της ποιότητας του καυσίμου ανεφοδιασμού κατά την παραγωγή. Το ιξώδες είναι ένα μέτρο της εσωτερικής αντίστασης ενός ρευστού σε διάτμηση ή ροή και κατ' επέκταση επηρεάζει τη δυνατότητα άντλησης, κυκλοφορίας και ψεκασμού του καυσίμου. Η τιμή του εξαρτάται από την θερμοκρασία και την πίεση. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται το ιξώδες των υγρών μειώνεται, ενώ όσο αυξάνεται η πίεση το ιξώδες των υγρών αυξάνεται.



Σχήμα 11. Μεταβολή της τιμής του κινηματικού ιξώδους ναυτιλιακών καυσίμων σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Οι σύγχρονες διαδικασίες αποστάξεως αργού πετρελαίου οδηγούν στην παραγωγή βαρέων υπολειμμάτων με μεγάλο ιξώδες. Γενικά σε περίπτωση καύσεως βαρέων υπολειμμάτων το ιξώδες θα πρέπει να διατηρείται με κατάλληλη θέρμανση σε ορισμένα όρια, για να είναι δυνατή η άντληση, μεταφορά, καθίζηση, διαχωρισμός, έγχυση και διασκορπισμός του καυσίμου. Αρχική άντληση είναι δυνατή από τα 1000 cSt περίπου, ενώ για σωστό διαχωρισμό, τα βαρέα καύσιμα με ιξώδες 180 cSt στους 50°C και μεγαλύτερο, επιβάλλεται να διατηρούνται στους 98°C μέσω του προθερμαντήρα του διαχωριστή. Για το διασκορπισμό του καυσίμου από τους εγχυτήρες των κινητήρων Diesel το ιξώδες θα πρέπει να είναι μεταξύ 8 και 27 cSt, ενώ καλός διασκορπισμός επιτυγχάνεται συνήθως για ιξώδες μικρότερο των 17 cSt.

Ακατάλληλη τιμή του ιξώδους κατά την έγχυση του καυσίμου μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα:

- υψηλή θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε βρασμό του πετρελαίου στις σωληνώσεις με αποτέλεσμα να κολλήσουν οι αντλίες καυσίμου
- χαμηλή θερμοκρασία, άρα υψηλό ιξώδες, έχει σαν αποτελέσματα ατελή διασκορπισμό του καυσίμου στα ακροφύσια των εγχυτήρων, πιθανότητα προσκρούσεως της δέσμης καυσίμου στα τοιχώματα, πλημμυρή ανάμειξη με αέρα, καθυστερημένη καύση και ως εκ τούτου προβλήματα λιπάνσεως και αυξημένων φθορών του κυλίνδρου και των βαλβίδων εξαγωγής, λόγω υψηλής θερμοκρασίας προς το τέλος της φάσεως εκτονώσεως.

Λιπαντική Ικανότητα (Lubricity)

Ως λιπαντική ικανότητα (lubricity) ορίζεται η εγγενής ικανότητα ενός ρευστού, να ελαχιστοποιεί την τριβή και τη φθορά μεταξύ δύο επιφανειών που βρίσκονται σε σχετική κίνηση υπό φορτίο. Η λιπαντική ικανότητα του καυσίμου είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς το καύσιμο θα πρέπει να λιπαίνει κατά κύριο λόγο τα κινητά εξαρτήματα του συστήματος ψεκασμού. Η λιπαντική ικανότητα ενός καυσίμου μετριέται με το ιξώδες του και τη μέση διάμετρο φθοράς (lubricity).

Η φθορά λόγω υπερβολικής τριβής με αποτέλεσμα την μείωση της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων του κινητήρα, όπως αντλίες και μπεκ ψεκασμού καυσίμου ντήζελ, μερικές φορές έχει αποδοθεί στην έλλειψη λίπανσης από το καύσιμο.

Η μείωση της περιεκτικότητας του ντήζελ σε θείο είχε ως επακόλουθο τη μείωση της λιπαντικής του ικανότητας (αφαίρεση αρωματικών ενώσεων κατά την αποθείωση) και κατέστησε επιτακτική την καθιέρωση μεθόδου μέτρησης της λιπαντικής ικανότητας. (μέθοδος ISO 12156 -ASTM D 6079).

Πτητικότητα

Με τον όρο πτητικότητα, χαρακτηρίζεται η φυσική ιδιότητα ενός υγρού για την ιδιαίτερη ευκολία της εξάτμισής του σε κανονικές συνθήκες.

Τα χαρακτηριστικά πτητικότητας ενός καυσίμου Diesel, εκφράζονται σε όρους θερμοκρασίας στην οποία αποστάζουν συγκεκριμένες ποσότητες από ένα δείγμα του καυσίμου, υπό ελεγχόμενη θέρμανση και εντός προτυποποιημένης συσκευής.

Η απόσταξη μπορεί να γίνει με πολλές μεθόδους, με πιο συνηθισμένη την ASTM D-86 (ISO 12185). Η απόσταξη, ή περιοχή βρασμού του καυσίμου επηρεάζει και άλλες ιδιότητες όπως το ιξώδες, το σημείο ανάφλεξης, τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης, τον αριθμό κετανίου και την πυκνότητα. Καθώς η απόσταξη είναι ο δρόμος με τον οποίο το διυλιστήριο ξεχωρίζει τα ρεύματα με τα οποία με ανάμιξη παρασκευάζει τα τελικά προϊόντα, είναι ένας σημαντικός παράγοντας ελέγχου της ποιότητας του καυσίμου.

Σημείο Ανάφλεξης (Flash Point)

Το σημείο ανάφλεξης (flash point) είναι το κατώτερο όριο θερμοκρασίας για το οποίο το καύσιμο αναφλέγεται όταν έρθει σε επαφή με φλόγα. Η μέτρηση του γίνεται όπως ορίζεται από την πρότυπη μέθοδο ASTM D 93. Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς, και αποτελεί την πρώτη ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά (βενζίνη).

Το ελάχιστο αποδεκτό σημείο ανάφλεξης για τα καύσιμα στα πλαίσια εντός των μηχανημάτων εμπορικού σκάφους ορίζεται από τη διεθνή νομοθεσία στους 60°C. Για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για λόγους έκτακτης ανάγκης, σε χώρους εκτός των μηχανημάτων (π.χ. Ναυαγοσωστικές λέμβοι), το σημείο ανάφλεξης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 43°C.

Το όριο του σημείου ανάφλεξης τίθεται ως προστασία έναντι πυρκαγιάς και είναι η μόνη παράμετρος καυσίμων ναυτιλίας που έχει νομική σημασία. Αντίθετα με άλλες παραμέτρους των ναυτιλιακών καυσίμων, όπου κατά διαστήματα μπορούν να χορηγηθούν εξαιρέσεις υπό τη συμμόρφωση με ορισμένες περιοριστικές τιμές προδιαγραφών, στο σημείο ανάφλεξης δεν μπορεί να υπάρξει καμιά εξαίρεση που να ανταποκριθεί στην ελάχιστη προδιαγραφή των 60°C κάτω από οποιοσδήποτε περιστάσεις. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή για να εξασφαλιστεί ότι οποιοσδήποτε ανιχνευτής φλόγας είναι σε καλή κατάσταση στους διάφορους σωλήνες διεξόδου στις δεξαμενές καυσίμων πετρελαίου και ότι δεν υπάρχει καμιά πηγή ανάφλεξης στην περιοχή που να περιβάλλει το σύστημα εξαερισμού.

Τα υπολειμματικά καύσιμα ακόμα και όταν είναι σε θερμοκρασία κάτω από το μετρούμενο σημείο ανάφλεξης τους, είναι σε θέση να παράγουν ελαφρούς υδρογονάνθρακες στο άνω μέρος των δεξαμενών, έτσι ώστε η σύνθεση ατμού να είναι πλησίον ή εντός της περιοχής αναφλεξιμότητας. Ως εκ τούτου όλο το καύσιμο που υπάρχει σε δεξαμενή πρέπει να θεωρηθεί ενδεχομένως εύφλεκτο. Το σημείο ανάφλεξης αποτελεί έγκυρο δείκτη του κινδύνου εκδήλωσης φωτιάς που τίθεται από το καύσιμο, αλλά δεν είναι αξιόπιστος δείκτης των συνθηκών αναφλεξιμότητας στους χώρους που υπάρχουν οι ατμοί των καυσίμων.

Σημείο Αυτανάφλεξης

Το σημείο αυτανάφλεξης, είναι η θερμοκρασία που αυταναφλέγεται το καύσιμο υπό ατμοσφαιρική πίεση. Η θερμοκρασία του καυσίμου στις δεξαμενές πρέπει να κρατείται χαμηλότερα από το σημείο αυτανάφλεξης για να μειωθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Κίνδυνος πιθανό να εμφανισθεί στην περίπτωση που βαρύ καύσιμο θερμαίνεται σε διαχωριστή (όπου η θερμοκρασία μπορεί να φθάσει και τους 98°C) και στη συνέχεια επιστρέφει στη δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πιθανό να κριθεί σκόπιμη η χρήση ενδιάμεσου ψυγείου πριν την επιστροφή.

Σημείο Ροής (Pour Point)

Σημείο ροής είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία για την οποία το καύσιμο μπορεί να ρέει. Κάτω από αυτή την θερμοκρασία η ροή του καυσίμου είναι πολύ δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη. Η μέτρηση του γίνεται με βάση με την μέθοδο ASTM D 97 (ISO 3016). Η πρακτική σημασία του σημείου ροής των μαζούτ είναι πολύ μικρή. Το μαζούτ ακόμη και πολλούς βαθμούς πάνω από το σημείο ροής του δεν πληροί τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του κινητήρα για την έγχυση στον θάλαμο. Η θέρμανση του μαζούτ είναι απολύτως απαραίτητη για να οδηγηθεί στους εγχυτήρες όπου θα ψεκαστεί στους κυλίνδρους. Η σημασία του σημείου ροής στο Diesel είναι μεγάλη καθώς το καύσιμο δεν θερμαίνεται προ της εισαγωγής του στον κινητήρα. Η θερμοκρασία στην οποία το diesel σταματάει να ρέει είναι πολύ σημαντική για

πλοία τα οποία πλέουν στα πιο ψυχρά γεωγραφικά πλάτη της Γης όπως για παράδειγμα τα παγοθραυστικά.

Σημείο Θόλωσης (Cloud Point)

Σημείο θόλωσης είναι η θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο γίνεται θολό ή νεφελώδες λόγω εμφάνισης κρυστάλλων. Οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες είναι οι πρώτοι που παγώνουν λόγω του υψηλού σημείου ροής τους, δημιουργώντας κρυστάλλους. Αξίζει να σημειωθεί πως η εμφάνιση των κρυστάλλων δεν περιορίζει την δυνατότητα ροής του καυσίμου. Η προδιαγραφή για το σημείο θόλωσης υπάρχει μόνο για το καύσιμο DMX και είναι $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η πρακτική σημασία αυτής της απαίτησης είναι πως το καύσιμο πρέπει να είναι κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες έως $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ χωρίς την θέρμανση του. Η μέτρηση του σημείου θόλωσης γίνεται με βάση την πρότυπη μέθοδο ASTM D-2500 (ISO 3015).

Περιεκτικότητα σε Τέφρα (Ash)

Ως τέφρα ορίζεται το ανόργανο στερεό υπόλειμμα που μένει μετά από την καύση. Αποτελεί ένδειξη της τάσης των καυσίμων να σχηματίζουν ανόργανες αποθέσεις μετά την καύση. Η τέφρα προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-482 (ISO 6245). Με τη μέθοδο αυτή καίγεται σε ελεγχόμενες συνθήκες μια ποσότητα καυσίμου στους $775\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι να καταναλωθεί όλη η ποσότητα του καυσίμου και να απομείνουν μόνο τα άκαυστα ανόργανα συστατικά. Εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό στη συνολική μάζα του καυσίμου. Για τα καύσιμα πετρελαίου, η αναφερόμενη περιεκτικότητα σε τέφρα είναι αυτή που λαμβάνεται από την απλή καύση σε υψηλή θερμοκρασία, αποκαλούμενη πολλές φορές και ως “τέφρα οξειδίων”.

Το καύσιμο μαζούτ μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες υλικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό τέφρας κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Τα μεγαλύτερα σωματίδια αφαιρούνται με κατακάθιση, καθαρισμό σε φυγοκεντρικό διαχωριστή (purifier) και φιλτράρισμα. Τα μικρότερα σωματίδια, όπου περιλαμβάνονται και τα κατάλοιπα της καταλυτικής απόσταξης (περιεκτικότητα σε τμήματα ανά εκατομμύριο, ppm, αλουμινίου) είναι δυνατόν να απομακρυνθούν αποτελεσματικά μόνο με τη χρήση διαχωριστών σε σειρά (διαχωριστής,

purifier, και ένας ή περισσότεροι διαυγαστήρες, clarifiers) και πολύ λεπτών φίλτρων στη συνέχεια. Η τέφρα σε συνδυασμό με άκαυστο άνθρακα και στοιχεία μετάλλων αναμιγνύεται με το έλαιο λιπάνσεως και φθείρει τα ελατήρια των εμβόλων, τους κυλίνδρους και τις βαλβίδες και συντείνει στην ρύπανση και στο κάψιμο τους. Διάφορα στερεά υπόλοιπα, επικαθίσεις και υπολείμματα καύσης είναι δυνατό να παρασυρθούν και να προκαλέσουν ζημιές στο στρόβιλο του υπερπληρωτή. Τα στερεά υπόλοιπα σε μορφή ιζήματος αποτελούνται συνήθως από άλατα του αργού πετρελαίου, σκουριά και άλλες επικαθίσεις από τις σωληνώσεις μεταφοράς του πετρελαίου. Το ίζημα αυτό, εφόσον δεν απομακρυνθεί μέσω κατακάθισης, διαχωριστών και φίλτρων είναι δυνατό να προκαλέσει μηχανική και χημική διάβρωση.

Περιεκτικότητα σε Νερό (Water)

Το νερό είναι ο πιο κοινός μολυσματικός παράγοντας ναυτιλιακών καυσίμων και το επίπεδο παρουσίας του πρέπει να είναι πολύ χαμηλό. Το νερό προϋπάρχει στο αργό πετρέλαιο από την φάση άντλησης του από τις γεωτρήσεις και δεν δύναται να διαχωριστεί ολόκληρη η ποσότητα του στον πύργο απόσταξης. Επιπρόσθετα η συνεχής μεταβολή θερμοκρασίας στις δεξαμενές αποθήκευσης δημιουργεί συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα και συγκέντρωση τους στον πυθμένα της δεξαμενής. Το φαινόμενο μεγεθύνεται όταν οι δεξαμενές είναι άδειες ειδικά σε περιοχές με υψηλό δείκτη υγρασίας. Επίσης νερό μπορεί να εισέλθει στο καύσιμο από διαρροές που υπάρχουν στο σύστημα θέρμανσης των δεξαμενών με ατμό. Ο προσδιορισμός του νερού γίνεται με απόσταξη (ASTM D 123, ISO 3733) με διαλύτη που είναι μίγμα τουλουολίου-ξυλολίου που βοηθά την απομάκρυνση του νερού από το καύσιμο.

Η ύπαρξη του δημιουργεί λειτουργικά προβλήματα στον κινητήρα αλλά και προβλήματα οικονομικής φύσεως. Τα λειτουργικά προβλήματα στον κινητήρα είναι πως το νερό συμβάλει στο σχηματισμό ιζήματος, διαβρώνει τις δεξαμενές, τις σωληνώσεις καθώς και τους εγχυτήρες. Επιπλέον προκαλεί καθυστέρηση στην ταχύτητα της καύσης με συνέπεια τα μόρια να καίγονται όταν χτυπούν στα τοιχώματα και την κορόνα των εμβόλων, προκαλώντας κρουστικά φορτία. Τα οικονομικής φύσεως προβλήματα είναι η μείωση της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου που ως επακόλουθο είναι η μείωση της αποδιδόμενης ισχύος της μηχανής. Επιπρόσθετα με την αγορά του καυσίμου αγοράζεται και ένα ποσοστό του νερού το οποίο είναι ανεπιθύμητο και για το οποίο πρέπει να ξοδευτεί ενέργεια πάνω στο

πλοίο για να απομακρυνθεί. Το νερό στα καύσιμα πρέπει να αφαιρεθεί με φυγοκέντρωση (φυγοκεντρικός διαχωριστής – purifier) των καυσίμων πριν από τη χρήση. Αυτό ισχύει ειδικά για το θαλασσινό νερό δεδομένου ότι η περιεκτικότητά του σε νάτριο μπορεί να οδηγήσει σε αποθέσεις στις βαλβίδες και τους στροβιλοσυμπιεστές.

Εξανθράκωμα (Carbon Residue)

Το εξανθράκωμα είναι η τάση να διαμορφωθούν αποθέσεις άνθρακα σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας σε αδρανή ατμόσφαιρα. Επίσης προσδιορίζει την ποσότητα των βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο και κατά τη διάρκεια της καύσης δεν οξειδώνονται πλήρως αλλά πυρολύονται σχηματίζοντας ένα είδος αιθάλης και επικάθονται μέσα στον κύλινδρο και στις βαλβίδες. Τα καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε υπόλειμμα άνθρακα προκαλούν αυξανόμενη φθορά των αεραγωγών της μηχανής, ειδικά των λεβήτων και των στροβιλοϋπερπληρωτών. Η μέτρηση του εξανθρακώματος γίνεται με 2 μεθόδους. Είτε με την μέθοδο Micro Carbon Residue (ASTM D 4530, ISO 10370) είτε με την Ramsbottom Carbon Residue (ASTM D-524). Για τα diesel η μέτρηση του εξανθρακώματος δεν γίνεται στο καύσιμο αλλά στο υπόλειμμα 10% της απόσταξης. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε ποσοστό % κατά βάρος.⁴¹

Ολικό Ίζημα (Total Sediment)

Ίζηματα είναι τα αδιάλυτα υπολείμματα όπως άμμος ρύποι και σκουριά που δεν προέρχονται από το καύσιμο. Το ίζημα είναι σημαντικό στο καύσιμο και στην σταθερότητα του. Σταθερότητα ενός καυσίμου μπορεί να οριστεί ως η δυνατότητα να παραμένει αμετάβλητο παρά τις καταστάσεις που μπορούν να προκαλέσουν την αλλαγή του. Ένα μίγμα θεωρείται πως είναι ομοιογενές δηλαδή έχει τις ίδιες ιδιότητες σε κάθε σημείο του αμέσως μετά την παρασκευή του και παραμένει το ίδιο μετά την αποθήκευσή του. Αντίθετα ένα μη σταθερό καύσιμο είναι αυτό που κατά την πάροδο του χρόνου ή με την αύξηση της θερμοκρασίας σχηματίζει ασφαλτικά ή ανθρακούχα αποθέματα. Η μέτρηση του ιζήματος πραγματοποιείται με την μέθοδο TSP (Total Sediment Potential) ή όποια όμως έχει χρόνο

προετοιμασίας 24 ώρες. Αντί της TSP χρησιμοποιείται συχνά η μέθοδος TSA (Total Sediment Accelerated) η οποία είναι πιο γρήγορη. (ISO 10307-2)

Αριθμός Κετανίου (Cetane Number)

Η κύρια μέτρηση για την ποιότητα του καυσίμου ντίζελ είναι ο αριθμός κετανίου. Ένας αριθμός κετανίου είναι το μέτρο της καθυστέρησης της ανάφλεξης ενός καυσίμου ντίζελ. Ένας υψηλότερος αριθμός κετανίου δείχνει ότι το καύσιμο αναφλέγεται πιο εύκολα όταν ψεκάζεται σε ζεστό συμπιεσμένο αέρα. Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 590 ντίζελ κίνησης έχει έναν ελάχιστο αριθμό κετανίου 51. Καύσιμα με υψηλότερους αριθμούς κετανίου, κανονικά καύσιμα "ανώτερης ποιότητας" με πρόσθετους παράγοντες καθαρισμού και πιο συνθετικό περιεχόμενο, είναι διαθέσιμα σε κάποιες αγορές.

Η αυτανάφλεξη που προκαλεί την καύση δεν είναι ακαριαία γιατί το καύσιμο στην μηχανή diesel βρίσκεται σε μορφή λεπτών σταγονιδίων, δηλαδή σε υγρή κατάσταση και πρέπει πριν την ανάφλεξη να προηγηθούν άλλες διεργασίες μετά από τις οποίες ακολουθεί η καύση όλου του μείγματος, όπως: α) πλήρης ανάμιξη των σταγονιδίων με τον αέρα, β) εξαέρωση των σταγονιδίων, γ) ανάμιξη των ατμών του καυσίμου με τον αέρα, δ) προφλογική οξείδωση του καυσίμου, ε) τοπική ανάφλεξη.

Με τις ίδιες λειτουργικές και μηχανικές συνθήκες, η εξέλιξη του φαινομένου της καύσεως εξαρτάται από το καύσιμο και την ποιότητα αναφλέξεως, η οποία μετράται με τον αριθμό κετανίου. Επιθυμητό είναι να υπάρχει όσο το δυνατό μικρότερη καθυστέρηση ανάφλεξης μέσα τον κύλινδρο δηλαδή καύσιμο με μεγάλο αριθμό κετανίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση έναυσης τόσο περισσότερο άκαυστο πετρέλαιο συσσωρεύεται στον κύλινδρο. Αυτό θα καεί απότομα, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Οι απότομες μεταβολές προκαλούν τους λεγόμενους κτύπους στην μηχανή και φθείρουν τα εξαρτήματα της. Ο προσδιορισμός του αριθμού κετανίου γίνεται σε πρότυπο μονοκύλινδρο κινητήρα (CFR Cetane Engine, ASTM D-613, ISO 5165). Δείκτης αρωματικότητας υδρογονανθράκων (CCAI).

Στα βαρέα καύσιμα συνήθως ο αριθμός κετανίου δεν αναφέρεται γιατί οι σχετικές διαδικασίες μετρήσεως δεν είναι εφαρμόσιμες. Μερικές φορές αναφέρεται ο δείκτης αρωματικότητας υδρογονανθράκων, που εξαρτάται από την πυκνότητα και το κινηματικό ιξώδες. Η κλίμακα των τιμών του δείκτη CCAI έχει σαν τυπικά όρια την τιμή 800 περίπου για

παραφινικά παράγωγα καλής ποιότητας καύσης έως περίπου 940 για πολύ χαμηλής ποιότητας καύσιμα (residual fuels).

Δείκτης Κετανίου (Cetane Index)

Η ανάγκη χρήσης κινητήρα για τον προσδιορισμό της ποιότητας ανάφλεξης των καυσίμων Diesel, έχει κάνει τη μέθοδο του αριθμού κετανίου να μην είναι ιδιαίτερα ελκυστική. Ο δείκτης κετανίου είναι μια προσπάθεια πρόβλεψης του αριθμού κετανίου μέσω απλούστερων αναλύσεων, όπως η πυκνότητα και η καμπύλη απόσταξης με αρκετά καλή ακρίβεια. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η ASTM D-4737 (ISO 4264) και χρησιμοποιεί τρία σημεία της καμπύλης απόσταξης και την πυκνότητα του καυσίμου.

Περιεκτικότητα σε Θείο (Sulfur)

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε. Το θείο περιέχεται στο καύσιμο σαν ετεροάτομο στους υδρογονάνθρακες και μπορεί να βρίσκεται ενωμένο είτε σε ευθύγραμμη αλυσίδα είτε σε δακτύλιο. Το ποσοστό του θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα εξαρτάται κυρίως από την πηγή ακατέργαστου πετρελαίου και σε μικρότερη έκταση από τη διαδικασία επεξεργασίας. Για τα υπολλειματικά καύσιμα σε παγκόσμια βάση η τιμή είναι κατά παραγγελία ή περίπου 1,5 – 4% m/m.

Σε έναν κινητήρα diesel, το θείο που περιέχεται στα καύσιμα καίγεται αρχικά προς SO₂. Το αέριο αυτό είναι όξινο και διαβρωτικό ενώ συμβάλει και στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Κατόπιν συνδυάζεται με περίσσεια οξυγόνου για να διαμορφώσει SO₃⁴⁰, το οποίο παρουσία υδρατμών μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H₂SO₄). Το θειικό οξύ συμπυκνώνεται στους 140 °C. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί από τους κατασκευαστές κινητήρων στο να εξασφαλιστεί η περίπτωση οι επιφάνειες των κυλίνδρων να μην πλησιάζουν το σημείο δρόσου, δηλαδή τη θερμοκρασία στην οποία τα αέρια συμπυκνώνονται σε υγρό. Η θερμοκρασία των καυσαερίων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν για να μην υγροποιηθεί το οξύ. Ο σχεδιασμός του λέβητα καυσαερίων γίνεται με θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων υψηλότερη των 140 °C. Λόγω όμως της υψηλής θερμοκρασίας χάνεται πολύτιμη θερμική ισχύς και μειώνεται ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης. Μόνο σχετικά μικρό

ποσοστό του θείου μετατρέπεται στο οξύ και τα εναπομείναντα οξείδια περνούν από τον κύλινδρο προς τα έξω μαζί με τα αέρια εξάτμισης.

Η διάβρωση εντοπίζεται συνήθως στα κατώτερα τμήματα των χιτωνίων και στα έμβολα, κυρίως σε περιπτώσεις παρατεταμένης λειτουργίας σε χαμηλά φορτία και είναι έντονη σε περιπτώσεις χρήσης ακατάλληλου ελαίου λιπάνσεως, οπότε μπορεί να σχηματιστεί όξινη λάσπη στις επιφάνειες. Η μόλυνση του ελαίου λιπάνσεως (του κυλινδρελαίου σε περιπτώσεις δυο ξεχωριστών συστημάτων λιπάνσεως) είναι ένα άλλο επακόλουθο της δημιουργίας όξινων θεικών ενώσεων. Τρόποι αντιμετώπισης, είναι η διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών στο σύστημα ψύξεως σε μερικά φορτία, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα υπερπληρώσεως και η χρήση ελαίου λιπάνσεως με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκαλικά (υψηλό βαθμό TBN-Total Base Number), ώστε να επιτυγχάνεται ουδετεροποίηση του οξέος. Ο αριθμός βάσης (Base Number- BN) χαρακτηρίζει τα λιπαντικά και αποτελεί το μέτρο της ικανότητας των λιπαντικών να ουδετεροποιούν τα οξέα. Συνήθως χρησιμοποιείται κυλινδρέλαιο SAE 50 με TBN 70-80. Κατά τη χρήση τέτοιου είδους ελαίου, η σωστή ουδετεροποίηση είναι αναγκαία, γιατί η υπερβολική αλκαλικότητα του ελαίου λιπάνσεως έχει σαν συνέπεια αυξημένες φθορές (scoring) στα ελατήρια των εμβόλων και στα χιτώνια (το έλαιο λιπάνσεως - κυκλοφορίας - είναι συνήθως SAE 30 με TBN 5 έως 10 σε βραδύστροφους κινητήρες με ξεχωριστό σύστημα ελαίου λιπάνσεως κυλίνδρων και SAE 30 με TBN 30 για μεσόστροφους και βοηθητικούς κινητήρες).⁴¹

Όταν η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο είναι χαμηλή, χρησιμοποιούνται ειδικοί αναλυτές προσδιορισμού θείου με φθορισμό στο υπεριώδες (UVF). Η μέτρηση του βασίζεται σε φθορισμό ακτίνων X (ASTM D-4294, ISO 8754). Τα επίπεδα θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα αυξάνουν συνεχώς σαν αποτέλεσμα της χρήσης βαρύτερων αργών πετρελαίων με υψηλότερα περιεχόμενα σε θείο και πιο εκλεπτυσμένων δευτερευόντων διεργασιών, όπως η απόσταξη υπό κενό και η ισχυρή διάσπαση (έντονη πυρόλυση), οι οποίες συγκεντρώνουν περισσότερο θείο στο υπόλειμμα, το οποίο αναμιγνύεται, για την παραγωγή βαρέων ναυτιλιακών καυσίμων.

2.4. Εκπομπές μιας ναυτικής μηχανής

Σε μια ναυτική μηχανή τα ναυτιλιακά καύσιμα καίγονται με το οξυγόνο του αέρα και παράγεται η απαραίτητη μηχανική ενέργεια για την κίνηση του πλοίου, αποβάλλεται θερμική ενέργεια και εκπέμπονται καυσαέρια.

Τα ναυτιλιακά καύσιμα, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Το περιεχόμενο του ναυτιλιακού πετρελαίου σε άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 84,9% και 87,4% (MEPC,2014). Περιέχουν επίσης προσμίξεις, όπως θείο, η περιεκτικότητα των οποίων διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του καυσίμου (εάν είναι αποσταγματικό – MDO, MGO– ή υπολειμματικό καύσιμο – HFO).

Τα καυσαέρια μιας ναυτικής μηχανής περιέχουν κατά κύριο λόγο άζωτο (N_2), οξυγόνο (O_2), υδρατμούς (H_2O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Σε πολύ μικρότερο ποσοστό περιέχουν οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM).

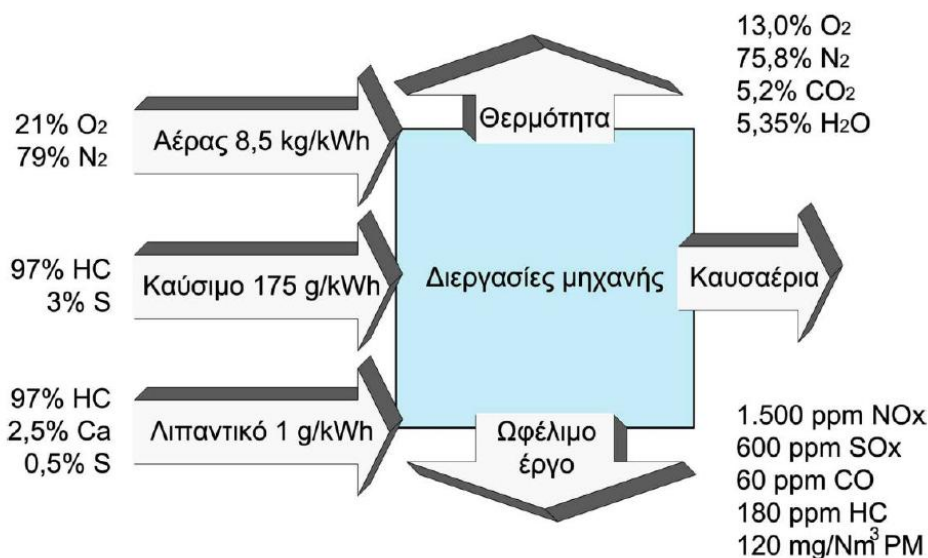
Με την ανάφλεξη του κινητήρα ένα μείγμα αέρα και καυσίμου απελευθερώνει μηχανική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την ώθηση του πλοίου, ενώ ταυτόχρονα παράγονται αέρια εκτόνωσης ως παραπροϊόν της διαδικασίας. Σε αυτά τα αέρια περιλαμβάνονται το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), με άμεση, παγκόσμια, και μακρόχρονη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ο μαύρος άνθρακας (BC) ή αιθάλη, επίσης με άμεσες αλλά πιο τοπικές και μικρότερης έντασης επιπτώσεις στην υπερθέρμανση, τα οξείδια του θείου και ειδικά το διοξείδιο (SO_x και SO_2)⁴⁰ που συνιστούν ιδιαίτερο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το τοπικό φυσικό περιβάλλον, τα οξείδια του αζώτου (NO_x) που δρουν ως πρόδρομες ουσίες του τροποσφαιρικού όζοντος (O_3) – ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, το μεθάνιο (CH_4) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) που συμμετέχει στο σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος και μεθανίου.^{42,43}

Το CO_2 προέρχεται από την τέλεια καύση του άνθρακα των καυσίμων. Αντίστοιχα, το υδρογόνο των καυσίμων μετατρέπεται σε υδρατμούς (H_2O). Δυστυχώς, στις μηχανές εσωτερικής καύσης δεν επικρατούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης, οπότε από την ατελή καύση των καυσίμων μπορεί να προκύψει πλειάδα καυσαερίων: σωματίδια άνθρακα (αιθάλη), CO , άκαυστοι υδρογονάνθρακες ή μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες (Heywood, 1988).

Τα SO_x οφείλονται στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων. Το SO₃ αντιδρά με την υγρασία (H₂O) και δημιουργεί σωματίδια θειικού οξέος (H₂SO₄) μικροσκοπικού μεγέθους, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα).^{40,44}

Το άζωτο (N₂) του ατμοσφαιρικού αέρα είναι χημικά αδρανές υπό κανονικές θερμοκρασίες και δεν αντιδρά με το οξυγόνο (O₂) του αέρα. Μέσα όμως στις μηχανές εσωτερικής καύσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται σε οξειδία του αζώτου, γνωστά ως NO_x – μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Τα NO_x μπορεί επίσης να σχηματιστούν (σε μικρότερο ποσοστό) από την καύση συστατικών των καυσίμων που περιέχουν άζωτο. Άρα λοιπόν, και σε αντίθεση με τα SO_x, ο έλεγχος των NO_x δεν μπορεί να γίνει με βελτιώσεις στη σύσταση των καυσίμων, αλλά με βελτιώσεις στη διαδικασία της καύσης.^{45, 46, 47}

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM)^{48,49} αποτελούν ένα σύνθετο μίγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών και περιλαμβάνουν ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη, πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς, άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά και υγρασία (Reynolds, 2004). Ειδικά στις εξατμίσεις των πλοίων, παράγονται κυρίως σωματίδια θειικών και καπνιάς.²⁰

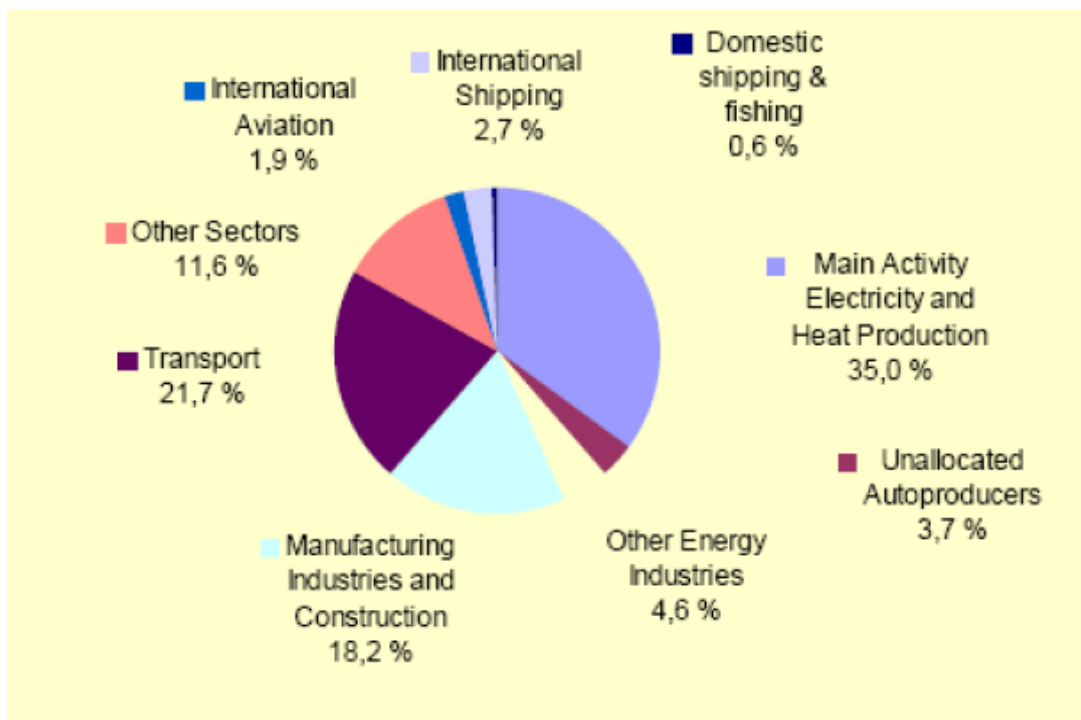


Σχήμα 12. Είσοδος και έξοδος μιας ναυτικής μηχανής

(Δεδομένα για τις ποσότητες αέρα, καυσίμου, λιπαντικού, τη σύνθεση του καυσίμου και του λαδιού και τη σύσταση των καυσαερίων από Man & Diesel, 2004)

Η Ναυτιλιακή Βιομηχανία θεωρείται μία από τις κύριες δραστηριότητες για την εκπομπή στην ατμόσφαιρα σημαντικών ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως

διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Το διοξείδιο του άνθρακα είναι και το σημαντικότερο εκ των αερίων του θερμοκηπίου και εμφανίζεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα καθώς αποτελεί προϊόν της καύσης ορυκτών καυσίμων, δραστηριότητας δηλαδή που εμπλέκεται σε όλες της βιομηχανικές δραστηριότητες της ανθρωπότητας. Αξίζει να αναφερθεί ότι, το 2007, σύμφωνα με εκθέσεις του Διεθνούς Οργανισμού για την Ναυτιλία (IMO) σχετικά με την κλιματική αλλαγή, οι ναυτιλιακές δραστηριότητες της ποντοπόρου ναυτιλίας (πλοία άνω των 100 GRT) καθίστανται υπεύθυνες για την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα 843 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα, ποσό που μεταφράζεται σε 2,7% του συνόλου των παγκοσμίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



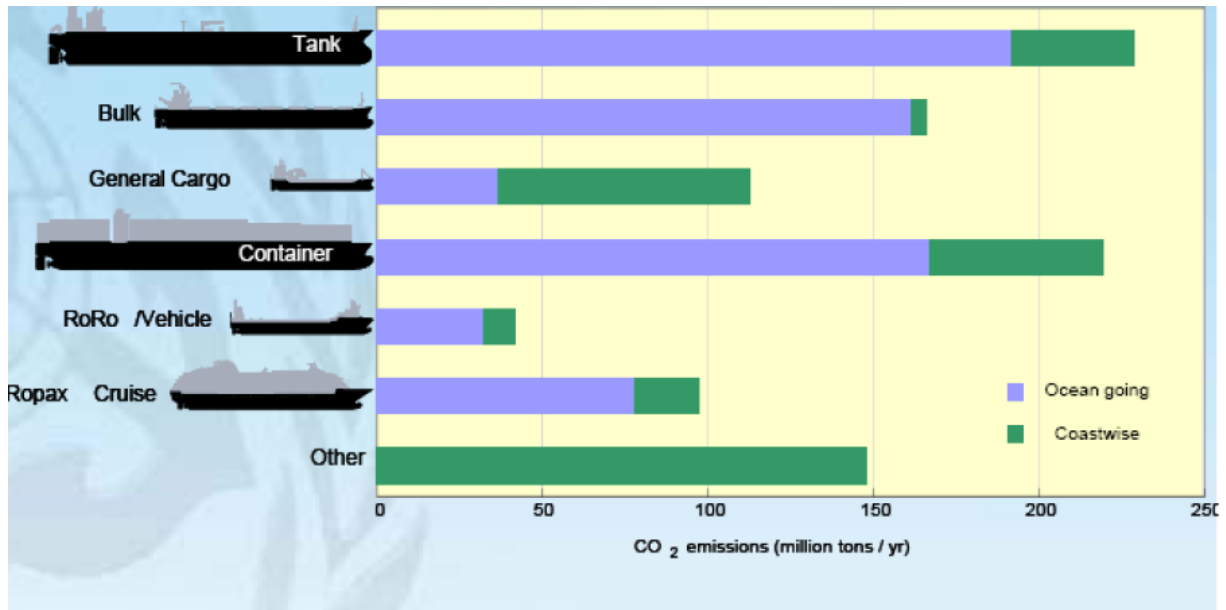
Σχήμα 13. Εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία και από άλλες βιομηχανίες

(<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>, 2009)

Επιπλέον, εάν προσθέσουμε στην παραπάνω εκτίμηση τις εκπομπές που προκύπτουν από την εσωτερική ναυσιπλοΐα και τα αλιευτικά πλοία (πλοία άνω των 100 GRT) τότε οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανέρχονται στους 1,019 εκατομμύρια

τόνους αντιπροσωπεύοντας το 3,3% του συνόλου των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που προκύπτει από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Από το 2007 έως σήμερα, έχουν αλλάξει πολλά όσον αφορά τη νομοθεσία για τις εκπομπές CO₂, καθώς και την πλήρη εναρμόνιση της ναυτιλίας με αυτή, όπως θα αναφερθεί παρακάτω, με αποτέλεσμα οι εκπομπές να σημειώσουν μείωση, αντί της προβλεπόμενης αύξησης.^{2,3}



Σχήμα 14. Εκπομπές CO₂ από την ποντοπόρο ναυτιλία και από την παράκτια ναυτιλία ανά τύπο πλοίου

(<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>, 2009)

2.5. Παγκόσμιο θαλάσσιο εμπόριο και εκπομπές CO₂

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εξέλιξη του παγκόσμιου εμπορίου τα τελευταία χρόνια, ανά τύπο φορτίου:



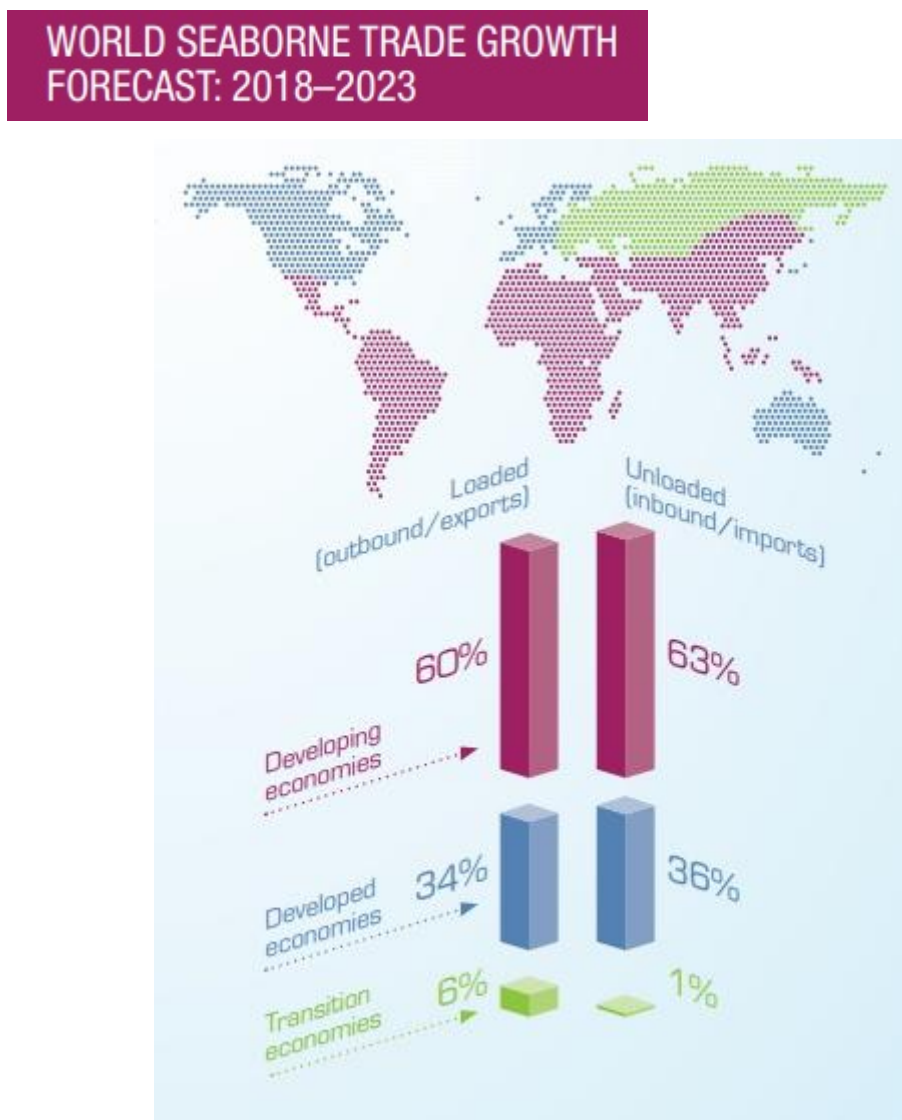
Σχήμα 15. Εξέλιξη παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου σε τόνους φορτίου ανά μίλι
(https://www.ugs.gr/media/13625/eee_mail_gr.pdf, 2019)

Η συμβολή της ελληνικής ναυτιλίας στη χώρα είναι σημαντική και πολύπλευρη και δεν περιορίζεται στις εισροές στο ισοζύγιο πληρωμών από την παροχή ναυτιλιακών υπηρεσιών.

Η συμβολή της ναυτιλίας περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, έμμεσες οικονομικές επενδύσεις, ευκαιρίες απασχόλησης και την προβολή της εικόνας της χώρας σε διεθνές επίπεδο, ως σημαντικού εμπορικού και στρατηγικού εταίρου σημαντικών οικονομικών και πολιτικών δυνάμεων, με το 22,5% και το 20,3% της δραστηριότητας του ελληνικού στόλου να εξυπηρετεί το εμπόριο από/προς τις ΗΠΑ και την Ευρώπη αντίστοιχα και με το μεγαλύτερο μερίδιο της δραστηριότητας του ελληνικού στόλου, δηλαδή το 31,8%, να εξυπηρετεί τις ταχέως αναπτυσσόμενες ασιατικές οικονομίες.

Οι Έλληνες πλοιοκτήτες υπερδιπλασίασαν τη μεταφορική ικανότητα του στόλου τους στο διάστημα 2007-2018. Ο ελληνόκτητος στόλος αντιπροσωπεύει το 53% του στόλου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σε dwt και το 20,9% του παγκόσμιου στόλου σε dwt.

Πρόβλεψη του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου:



Σχήμα 16. Πρόβλεψη του παγκόσμιου θαλάσσιου εμπορίου μέχρι το 2023 (https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf, 2018)

Η Ευρώπη διαδραματίζει κύριο ρόλο στον σημερινό κόσμο της ναυτιλίας, όπου οι ευρωπαϊκές εταιρείες κατέχουν το 41% του συνόλου του παγκόσμιου στόλου (σε μεταφορική

ικανότητα, dwt). Κάθε χρόνο οι θαλάσσιες μεταφορές στην Ευρώπη εκλύουν 140 εκατ. τόνους CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες περιορισμού των εκπομπών που προέρχονται από τη ναυτιλία. Υφίστανται ήδη τεχνικές λύσεις για τον περιορισμό της κατανάλωσης καυσίμων, των αερίων ρύπων και των αερίων του θερμοκηπίου, που κυμαίνονται από τη βελτίωση του σχεδιασμού, της πρόωσης και των μηχανολογικών χαρακτηριστικών των πλοίων, με βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών πλωιότητάς τους. Ήδη ξεκίνησε από 1ης Ιανουαρίου 2020 η επιβολή του φόρου για εκπομπές Θείου (Sulphur Cap) από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Θαλάσσιων Μεταφορών (IMO), που επιτάσσει στα πλοία να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη του 0,5%.

Η τελευταία μελέτη, που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Nature το 2018, αποδίδει σε αυτού του είδους την περιβαλλοντική μόλυνση 400.000 θανάτους από καρκίνο του ήπατος και καρδιαγγειακά νοσήματα, ενώ θεωρεί ότι είναι υπεύθυνη για 14 εκατ. κρούσματα εμφάνισης παιδικού άσθματος τον χρόνο.^{2,3}

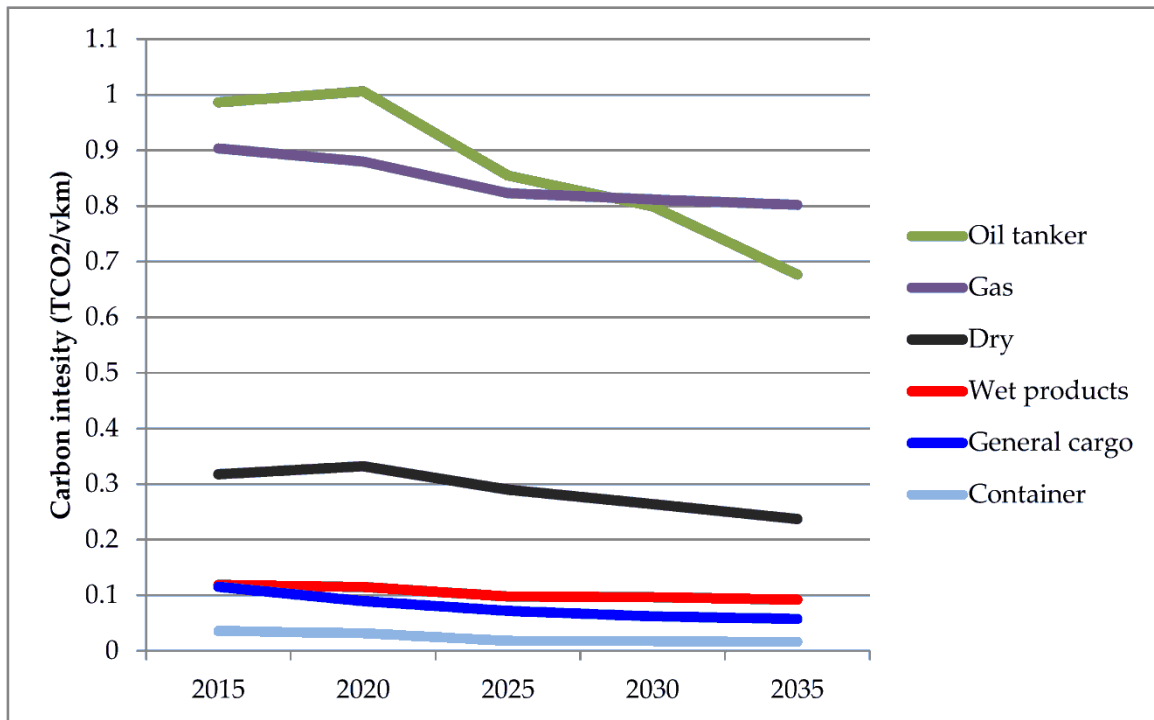
Παρότι τα πλοία μεταφέρουν περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου, εκπέμπουν μόλις το 2,2% των ρύπων CO₂ έναντι μάλιστα 2,8% το 2007, σύμφωνα με σχετική μελέτη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO). Ήδη η διεθνής ναυτιλία έχει μειώσει τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακος από τα πλοία κατά 10% το διάστημα 2007 μέχρι και 2012 παρά το γεγονός ότι την ίδια περίοδο έχει αυξηθεί σημαντικά το μεταφορικό έργο. Παράλληλα με την κατασκευή μεγαλύτερων πλοίων, αποτελεσματικότερων κινητήρων και πιο έξυπνη διαχείριση της λειτουργίας του πλοίου και της ταχύτητάς του, η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι σίγουρη ότι θα επιτύχει τον στόχο για μείωση κατά 50% των εκπομπών CO₂ μέχρι το 2050, περίοδος κατά την οποία ο παγκόσμιος στόλος θα περιλαμβάνει πλοία που θα χρησιμοποιούν καθαρότερα καύσιμα, όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο.^{17,18,50}

2.6. Σενάρια για την Εκτίμηση της Κλιματικής Αλλαγής (Climatechange)

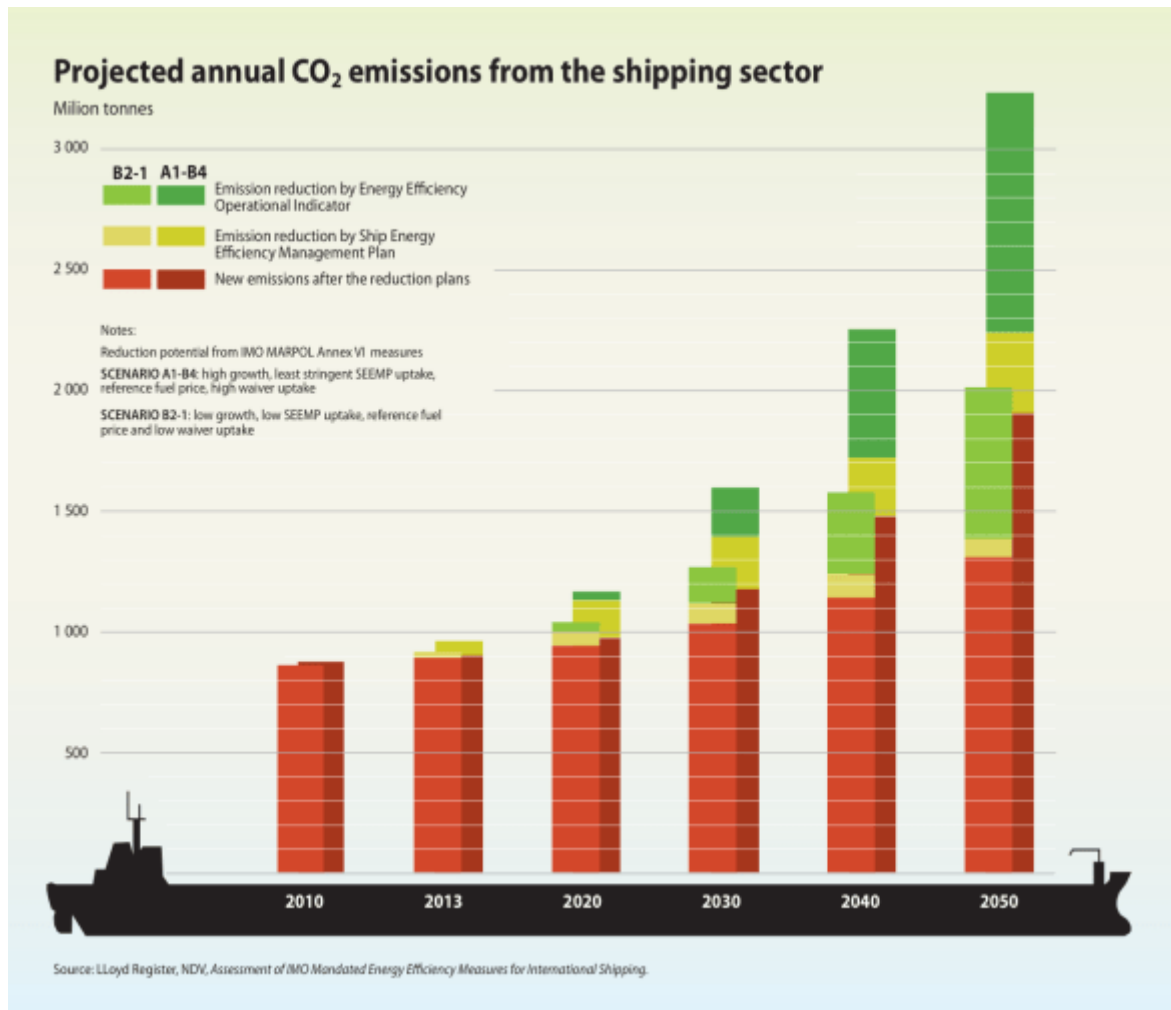
Οι εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή έχουν δημοσιευτεί από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC). Η IPCC έχει αναπτύξει μια σειρά από μακροπρόθεσμα σενάρια εκπομπών, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην εκτίμηση της αλλαγής του κλίματος αλλά και στην αποτίμηση των δυνατοτήτων να μετριαστεί η κλιματική αλλαγή (Special Report on Emissions Scenarios-SRES). Τα σενάρια της ομάδας SRES καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα παραγόντων που θα καθορίσουν τις μελλοντικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, περιλαμβάνοντας από δημογραφικές αλλαγές μέχρι τεχνολογικές και οικονομικές εξελίξεις. (Κωνσταντίνος Καρτάλης, 2017)

Τα σενάρια περιγράφουν διαφορετικές εξελίξεις στην οικονομική ανάπτυξη ή στην πληθυσμιακή αύξηση, αλλά και εξελίξεις που μπορούν να επηρεάσουν τις πηγές προέλευσης και τις περιοχές απόληξης των αερίων του θερμοκηπίου, όπως είναι οι εναλλακτικές δομές των ενεργειακών συστημάτων και οι αλλαγές στη χρήση γης. Το σύνολο των σεναρίων αυτών περιλαμβάνει τις ανθρωπογενείς εκπομπές όλων των θερμοκηπιακών αερίων, του διοξειδίου του θείου (SO₂), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και των πτητικών οργανικών υδρογονανθράκων (VOCs).

Σύμφωνα με πρόσφατη εκτίμηση, οι εκπομπές CO₂ από τα πλοία θα αυξηθούν έως και κατά 250% τα επόμενα 35 χρόνια και θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν το 14% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών έως το 2050. Αυτό θα μπορούσε να καταστρέψει τις ελπίδες μας να φθάσουμε σε θερμοκρασία κάτω από 2 °C σενάριο. Ο IMO έχει θεσπίσει δεσμευτικά μέτρα ενεργειακής απόδοσης ώστε μέχρι το 2025 όλα τα νέα πλοία θα πρέπει να είναι κατά 30% πιο αποτελεσματικά από αυτά που χτίστηκαν σήμερα.



Σχήμα 17. Εξέλιξη της έντασης άνθρακα των πλοίων στο βασικό σενάριο.



Σχήμα 18. Προβλεπόμενες εκπομπές CO₂ από τον ναυτιλιακό τομέα

(<https://transportpolicymatters.org/2016/05/04/carbon-emissions-paris-climate-agreement/>, 2016)

A1	Γρήγορη οικονομική ανάπτυξη έως το 2050 με παγκόσμια σύγκλιση και ταχεία ανάπτυξη αποδοτικών τεχνολογιών
	A1FI: Προτεραιότητα στη χρήση ορυκτών καυσίμων
	A1B: Ισορροπημένη χρήση όλων των μορφών ενέργειας
	A1T: Προτεραιότητα στη χρήση μη ορυκτών πηγών ενέργειας
A2	Σημαντικές παγκόσμιες αποκλίσεις στην οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη
B1	Παγκόσμια σύγκλιση με έμφαση στη φιλική προς το περιβάλλον ανάπτυξη
B2	Μικρότερη παγκόσμια σύγκλιση με φιλική όμως προς το περιβάλλον ανάπτυξη

Πίνακας 1. Σενάρια για την Εκτίμηση της Κλιματικής Αλλαγής

Σύμφωνα με την MDPI – Publisher of Open Access Journals, συλλέχτηκαν δεδομένα από διάφορα σύνολα για την εκτίμηση για κάθε τύπο πλοίου, για να μελετηθούν οι εκπομπές CO₂ μέχρι το 2035 χρησιμοποιώντας το πλαίσιο ASIF. Το σύνολο δεδομένων της ECLAC καταγράφει τα εμπορικά δεδομένα μεταξύ χωρών της Λατινικής Αμερικής και χωρών σε όλο τον κόσμο.

Δεδομένης της βασικής προβολής της ζήτησης μεταφορών για 6 τύπους πλοίων, τα οχηματοχιλιόμετρα των πλοίων υπολογίζονται βάσει δεδομένων συντελεστών φορτίου για κάθε τύπο πλοίου. Τα στοιχεία του συντελεστή φορτίου για κάθε τύπο πλοίου εκτιμώνται πολλαπλασιάζοντας τη μέση χωρητικότητα μεταφοράς και το μέσο ποσοστό χρησιμοποίησης κάθε τύπου πλοίου.

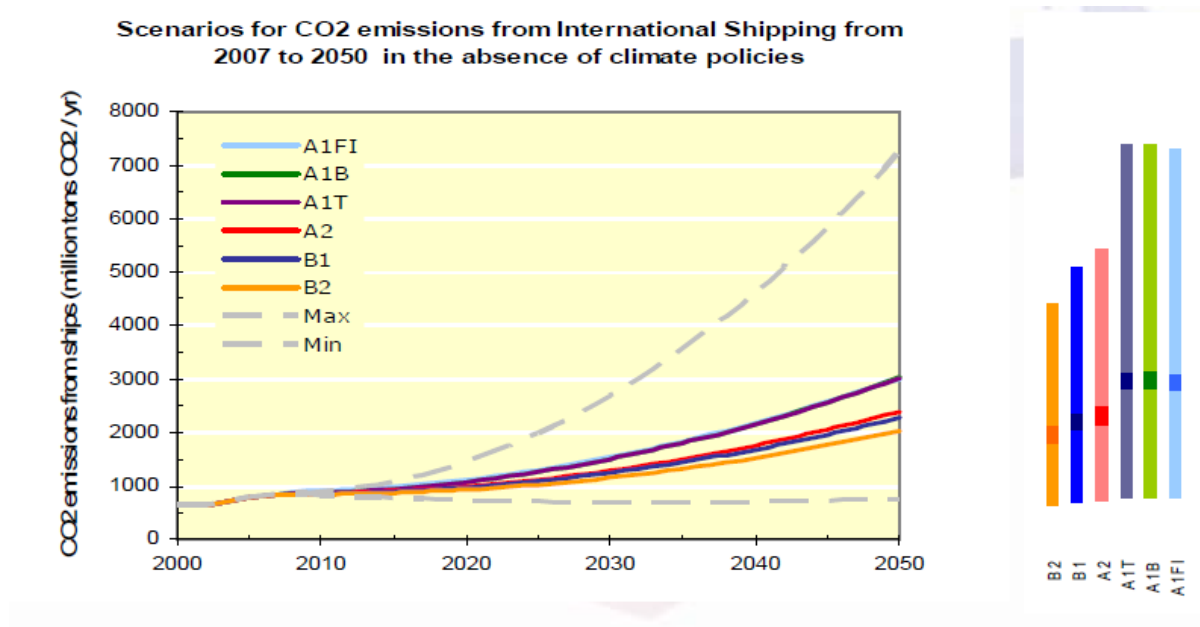
Έγινε υπολογισμός της εξέλιξης του συντελεστή φορτίου των πλοίων, λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική εξέλιξη του μεγέθους του πλοίου. Αυτή η προβολή του μεγέθους του πλοίου βασίζεται στο παρατηρούμενο ιστορικό πρότυπο μεγέθους πλοίων από το 1996 έως το 2015. Οι διαδρομές για την αποδοτικότητα των κινητήρων των πλοίων για κάθε τύπο πλοίου για το βασικό σενάριο λήφθηκαν από μια μελέτη UMAS. Επιπλέον, τα στοιχεία των συντελεστών εκπομπών για διαφορετικούς τύπους καυσίμων ελήφθησαν από το μοντέλο κινητικότητας του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας. Με πολλαπλασιασμό της απόδοσης του κινητήρα (σε MJ / νkm) με τον συντελεστή εκπομπών για διαφορετικούς τύπους καυσίμων (σε CO₂ / MJ), λαμβάνουμε την ένταση άνθρακα κάθε τύπου πλοίου.

Με βάση τις εργασίες της IPCC, αναπτύχθηκαν συνολικά 40 κλιματικά σενάρια, όλα με ίση ισχύ, χωρίς δηλαδή να έχουν οριστεί πιθανότητες πραγματοποίησής τους. Μέσα σε κάθε ομάδα σεναρίων, ορίζονται κοινές «εναρμονισμένες» υποθέσεις σχετικά με τον παγκόσμιο πληθυσμό, το ακαθάριστο παγκόσμιο προϊόν, και την τελικώς παραγόμενη ενέργεια. Αυτά τα σενάρια χαρακτηρίζονται ως εναρμονισμένα (Harmonized Scenarios-HS), ενώ ως άλλα σενάρια (Other Scenarios-OS) χαρακτηρίζονται τα σενάρια που διερευνούν τις αβεβαιότητες στις αιτίες των εκπομπών (IPCC, 2001).

Οι εκτιμήσεις αυτές βασίζονται στις προβλέψεις για συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μεταφορά μέσω των πλοίων άρα αύξηση του παγκόσμιου στόλου και πολλαπλασιασμό των ταξιδιών. Επιπλέον, εκτιμάται ότι οι τεχνικές και λειτουργικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των πλοίων μπορούν να συντελέσουν στην αξιολογη μείωση των εκπομπών μόνο εάν σημειωθούν σημαντικές μειώσεις στην ζήτηση.

Τα κλιματικά σενάρια A1 περιγράφουν μια ταχεία οικονομική ανάπτυξη με την κορύφωση του παγκόσμιου πληθυσμού στα μέσα του 21ου αιώνα, μείωση του μετέπειτα και

μια παράλληλη ραγδαία εισαγωγή νέων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Πρόκειται για μια οικογένεια σεναρίων συμπεριλαμβανόμενων τριών διαφορετικών σεναρίων, A1FI, A1T και A1B.



Σχήμα 18. Μελλοντικά σενάρια για τις εκπομπές CO₂ στην παγκόσμια ναυτιλία (2007 έως το 2050) με τη παρουσία ρυθμιστικού πλαισίου (Eivind S. Vagstad (2009) Presentation “IMO’s Work on Control of GHG Emissions from Ships”)

Αυτά τα τρία σενάρια περιγράφουν εναλλακτικές κατευθύνσεις των τεχνολογικών αλλαγών στο σύστημα της ενέργειας, με το πρώτο να παρουσιάζει έντονη χρήση ορυκτών καυσίμων, το δεύτερο χρήση κατά κύριο λόγο μη ορυκτών καυσίμων και το τρίτο εξισορρόπηση μεταξύ όλων των πηγών ενέργειας. Η οικογένεια A1 αντιπροσωπεύει τους υψηλότερους ρυθμούς τεχνολογικών μεταβολών και οικονομικής ολοκλήρωσης.

Σενάριο A1: Αντικατοπτρίζει ταχεία και επιτυχή οικονομική ανάπτυξη με τους περιφερειακούς μέσους όρους του κατά κεφαλήν εισοδήματος να συγκλίνουν και γεφύρωση των διακρίσεων μεταξύ πλουσίων και φτωχών. Ο παγκόσμιος πληθυσμός φτάνει τα 9 δις. μέχρι το 2050 και ύστερα φθίνει. Υπάρχει ταχεία ανάπτυξη αποτελεσματικών τεχνολογιών

για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Το Σενάριο αυτό διακρίνεται σε τρία ειδικότερα σενάρια:

Σενάριο A1FI: Δίνει έμφαση στη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Σενάριο A1T: Γίνεται χρήση ήπιων μορφών ενέργειας, ενώ έχει εγκαταλειφθεί η χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Σενάριο A1B: Ραγδαία οικονομική ανάπτυξη, ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας αλλά παράλληλα διάδοση νέων τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μικρές αλλαγές στις χρήσεις γης. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα η οποία θα φτάσει τα 720 ppm το 2100.

Η βάση των κλιματικών σεναρίων A2 βασίζεται στην υπόθεση ενός μη ομογενοποιημένου κόσμου, με αυτοδυναμία και διατήρηση της τοπικής ταυτότητας. Τα πρότυπα αναπαραγωγής μεταξύ των περιοχών συγκλίνουν με αργούς ρυθμούς και αυτό οδηγεί σε αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Ο οικονομικός προσανατολισμός είναι τοπικός και διαφοροποιείται ως προς τις περιοχές, ενώ η αύξηση του κατά κεφαλήν εισοδήματος και της τεχνολογικής προόδου χαρακτηρίζεται από αργούς ρυθμούς.

Σενάριο A2: Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στις χρήσεις γης. Ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα η οποία θα φτάσει τα 850 ppm το 2100.

Τα κλιματικά σενάρια B1 περιγράφουν έναν κόσμο με ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Προβλέπεται αλλαγή στην οικονομία προς την κατεύθυνση των υπηρεσιών και των πληροφοριών καθώς και με την εισαγωγή καθαρών και ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών. Παράλληλα, προβλέπεται εξοικονόμηση φυσικών πόρων, ενώ δίνεται έμφαση σε γενικές λύσεις με στόχο την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα κατανέμοντας ομοιόμορφα τους οικονομικούς πόρους.

Σενάριο B1: Μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μείωση της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας και στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην

ατμόσφαιρα με ήπιους σχετικά ρυθμούς ιδιαίτερα από το 2050 και μετά η οποία θα φτάσει το 2100 τα 550 ppm.

Στα κλιματικά σενάρια B2 η έμφαση δίνεται στις τοπικές λύσεις, σε αντίθεση με τις προτεινόμενες παγκόσμιες λύσεις των B1 σεναρίων. Εκτιμάται μια συνεχής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αλλά με βραδύτερους ρυθμούς από αυτούς των σεναρίων A2, ενώ ως προς την κατεύθυνση της οικονομικής ανάπτυξης προβλέπονται ενδιάμεσα στάδια αλλά με ρυθμούς λιγότερο ταχείς συγκριτικά με τους αντίστοιχους στα σενάρια A1 και B1.

Σενάριο B2: Ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με μέτριους ρυθμούς. Ηπιότερες τεχνολογικές αλλαγές σε σύγκριση με τα σενάρια εκπομπών A1 και B1. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα με μέτριους αλλά σταθερούς ρυθμούς, η οποία θα φτάσει τα 620 ppm το 2100.

Από την περιγραφή των παραπάνω σεναρίων εντοπίζονται αβεβαιότητες που αναπόφευκτα επηρεάζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των κλιματικών μοντέλων. Στις παραπάνω αβεβαιότητες προστίθενται και αυτές που συναρτώνται με την πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει τις διαδικασίες αλληλεπίδρασης της ατμόσφαιρας με τη βιόσφαιρα, την υδρόσφαιρα, την κρυόσφαιρα και τη γεώσφαιρα. Μία πρακτική για να περιορίζονται οι αβεβαιότητες είναι να αναλύονται τα αποτελέσματα διαφορετικών μοντέλων ποικίλων σεναρίων εκπομπής για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή ώστε με αυτό τον τρόπο να απομονώνονται ακραίες προβλέψεις και να διαμορφώνεται η τάση που εκτιμάται ότι παρακολουθεί πιστότερα τις οικονομικές, ενεργειακές και κοινωνικές συνθήκες.

Τα κλιματικά μοντέλα συμφωνούν μέσω των αποτελεσμάτων τους ότι θα συνεχιστεί η αύξηση της θερμοκρασίας και της στάθμης της θάλασσας και για τις επόμενες δεκαετίες, ενδεχομένως με αργότερους ρυθμούς, ανάλογα με τον βαθμό επιτυχίας των μέτρων που σήμερα εφαρμόζει η διεθνής κοινότητα. Σε κάθε περίπτωση, αρνητικοί παράγοντες για την αναστροφή των παρατηρούμενων αυξητικών τάσεων, είναι ο μεγάλος χρόνος ζωής των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και η σημαντική αδράνεια του κλιματικού συστήματος. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να επισημανθούν τα εξής:

(α) Το σύνολο των χρησιμοποιούμενων κλιματικών μοντέλων συμφωνεί σε αύξηση της θερμοκρασίας σε πλανητικό και περιφερειακό επίπεδο, αν και σε διαφορετικό βαθμό αύξησης από 1,1 έως 6,4 βαθμούς Κελσίου, αύξηση των βροχοπτώσεων στις τροπικές και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους περιοχές και μείωση στις υποτροπικές περιοχές.

(β) Τα κλιματικά μοντέλα που σήμερα χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών, προσομοιώνουν με επιτυχία τις καταγραφείσες κλιματικές συνθήκες της προηγούμενης τριακονταετίας.

Η IPCC κατά την πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (IPCC, 2013) εισήγαγε προς αξιολόγηση και εφαρμογή μία νέα γενιά σεναρίων εκπομπών, τα Representative Concentration Pathways (RCPs). Τα τέσσερα νέα αυτά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) διαφοροποιούνται ανάλογα με τη μεταβολή της ροής ακτινοβολίας και τον καταναγκασμό (radiative forcing) που προκαλεί στο σύστημα Γη - Ατμόσφαιρα λόγω της διαφοροποιημένης ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (π.χ. για το RCP8.5 αντιστοιχεί αύξηση 8.5 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο, κατά το έτος 2100). Τα κυριότερα στοιχεία κάθε σεναρίου είναι τα ακόλουθα:

- RCP2.6: Άμεση ραγδαία μείωση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων με στόχο την συγκράτηση της παγκόσμιας αύξησης θερμοκρασίας στους 2°C.
- RCP4.5: Μέγιστη τιμή εκπομπών το 2040 και έπειτα σημαντική μείωσή τους.
- RCP6.0: Διατήρηση μίας αυξητικής τάσης εκπομπών έως το 2060 με ακόλουθη μείωση.
- RCP8.5: Συνεχής αύξηση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων έως και το τέλος του αιώνα.

Οι τιμές και η χρονική εξέλιξη των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των παραπάνω σεναρίων καθορίζονται με βάση υποθέσεις για την πορεία της παγκόσμιας οικονομίας, την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, την αύξηση του πληθυσμού της γης, κ.α.. Κατά αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα διερεύνησης μέτρων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Ως προς την αναλογία των RCPs με τα SRES, το RCP8.5 είναι ανάλογο του A2, το RCP6.0 του A1B και του B2, το RCP4.5 του A1FI, ενώ για το RCP2.6 δεν υπάρχει κάποιο αντίστοιχο σενάριο SRES.

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται για κάθε κλιματικό σενάριο, που παρουσιάστηκε σε έκθεση της «Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής» που αποτελεί τμήμα της Κεντρικής Τράπεζας της Ελλάδος με τίτλο «ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ», η ποσοστιαία αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου.

Κλιματικά Σενάρια	A1B		A2		B2	
	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100	2041-2050	2091-2100
Αύξηση της Συγκέντρωσης CO ₂ (%)	40	89	40	125	26	63
Αύξηση Θερμοκρασίας (°C)	1,95	3,5	2	4,5	1,98	3,1

Πίνακας 2. η ποσοστιαία αύξηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα και η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου για κάθε κλιματικό σενάριο (bankofgreece.gr/Publications, 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΙΜΟ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

3.1 Ιστορικό

Ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας, IMO (International Maritime Organization), είναι ένας πολυεθνικός, διακυβερνητικός Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός, ο οποίος επιβλέπει την σωστή και ασφαλή επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των χωρών-μελών του στον τομέα της ναυσιπλοΐας. Αποτελεί οργανισμό του ΟΗΕ, διακρατικού χαρακτήρα, και ιδρύθηκε στην Γενεύη στις 17 Μαρτίου 1948 ως IMCO (International Maritime Cooperation Organization) και που μετονομάστηκε σε IMO το 1982, με έδρα το Λονδίνο.⁵¹

Καλύπτει τους τομείς της ασφάλειας στα πλοία και της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος από την ρύπανση που προκαλεί ο ανθρώπινος παράγοντας, κατά την διάρκεια των ναυτιλιακών δραστηριοτήτων του. Την πρώτη δραστηριότητα ανέλαβε από παλαιότερους οργανισμούς όπως τον IMCO, ο οποίος με τη σειρά του είχε δημιουργηθεί για τη ενοποίηση των κανόνων ναυσιπλοΐας και ασφάλειας. Η δεύτερη δραστηριότητά του δημιουργήθηκε λίγο μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν τα επίπεδα ρύπανσης της θάλασσας έγιναν ιδιαίτερα επικίνδυνα (λόγω της ανυπαρξίας σχετικής νομοθεσίας). Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός τέτοιου οργάνου ξεκίνησαν μετά την βύθιση του Τιτανικού το 1912. Καθώς τότε κάθε χώρα είχε τους δικούς της κανόνες ασφάλειας πολλά πλοία βρισκόνταν ιδιαίτερα ευάλωτα στον τομέα αυτόν - όπως και ο Τιτανικός. Καθώς πολλές χώρες δεν είχαν ασχοληθεί ιδιαίτερα με τις νομοθεσίες τέτοιου είδους και καθώς άλλες δεν ήταν πρόθυμες να μοιραστούν την εμπειρία τους, ήταν προφανές ότι οποιαδήποτε αδράνεια θα οδηγούσε σε ακόμα μεγαλύτερα ναυτικά ατυχήματα. Οι πρώτοι οργανισμοί, αν και εν μέρει πέτυχαν τον σκοπό τους, αποτελούσαν πρωτοβουλίες μεμονωμένων κρατών που όμως οι δύο Παγκόσμιοι Πόλεμοι σταμάτησαν την όποια δραστηριότητά τους.⁵¹

Αντίθετα, ο IMO τελεί υπό την αιγίδα του ΟΗΕ με ανεπτυγμένες και ιδιαίτερα αυστηρές προδιαγραφές και δεσμευτικές δυνάμεις τουλάχιστον για τις Χώρες-μέλη. Οι εκδόσεις του, SOLAS (Safety Of Life At Sea) και MARPOL, που αφορούν η πρώτη την

ασφάλεια στη ναυσιπλοΐα και η δεύτερη στη προστασία από τη ρύπανση στη θάλασσα, παρέχουν δεσμευτικούς κανόνες για όλες τις νέες κατασκευές πλοίων που ισχύουν παγκοσμίως. Οι κανόνες αυτοί αναβαθμίζονται τακτικά ανάλογα με την ανάπτυξη της ναυπηγικής και λαμβάνοντας υπ' όψιν τις παρατηρήσεις και υποδείξεις των νηογυμνάσιων. Όλοι οι ναυπηγοί και τα ναυπηγικά γραφεία υποχρεούνται να ναυπηγούν τα πλοία σύμφωνα με τις προδιαγραφές αυτές.

Ταυτόχρονα, λαμβάνει υπ' όψιν του και τομείς ναυτικής υποδομής, όπως το ικανοποιητικό επίπεδο εκπαίδευσης των ναυτών, αλλά και την σωστή διαχείριση όλων των τύπων φορτίων, από πετρέλαιο μέχρι τα πλέον επικίνδυνα φορτία. Αυτό γίνεται δυνατό με την χρήση αυστηρών μέτρων, προδιαγραφών και διαδικασιών.

Η έδρα του ΙΜΟ βρίσκεται στο Λονδίνο.

Δομή

Ο Οργανισμός αποτελείται από τη Συνέλευση, το Συμβούλιο και πέντε κύριες Επιτροπές: την Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC), την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), τη Νομική Επιτροπή, την Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας και την Επιτροπή Διευκόλυνσης. Υπάρχει, επίσης, ένας σημαντικός αριθμός υποεπιτροπών, που υποστηρίζουν το έργο των κύριων τεχνικών επιτροπών.

Συνέλευση

Είναι το ανώτατο Κυβερνητικό Σώμα του Οργανισμού και συνεδριάζει μία φορά κάθε δύο χρόνια σε τακτικές συνεδρίες. Η Συνέλευση είναι αρμόδια για την έγκριση του προγράμματος εργασίας, του προϋπολογισμού και της εκλογής του Συμβουλίου.

Συμβούλιο

Εκλέγεται από τη Συνέλευση για δύο χρόνια. Είναι το εκτελεστικό όργανο του ΔΝΟ, που εποπτεύει το έργο του. Μεταξύ των Συνελεύσεων, το Συμβούλιο εκτελεί όλα τα καθήκοντα της Συνέλευσης, εκτός από τη διενέργεια υποδείξεων στις κυβερνήσεις σχετικά με τη θαλάσσια ασφάλεια και την πρόληψη της ρύπανσης.

Επιτροπή Ναυτικής Ασφάλειας (MSC)

Είναι το υψηλότερο τεχνικό σώμα του Οργανισμού. Αποστολή της είναι να «εξετάζει κάθε θέμα που εμπίπτει στο σκοπό του Οργανισμού σχετικά με τις ενισχύσεις στη ναυσιπλοΐα, την κατασκευή και τον εξοπλισμό των σκαφών, την επάνδρωση από άποψη ασφάλειας, τους κανόνες για την πρόληψη συγκρούσεων, τον χειρισμό επικίνδυνων φορτίων, τις διαδικασίες και τις απαιτήσεις ασφάλειας, τις υδρογραφικές πληροφορίες, τα ημερολόγια και τα αρχεία πλοήγησης, τις έρευνες ναυτικού ατυχήματος, τη διάσωση φορτίου και ανθρώπων και οποιοσδήποτε άλλες πτυχές επηρεάζουν άμεσα την ασφάλεια στη θάλασσα».

Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (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.

Νομική Επιτροπή

Έχει την εξουσία να ασχολείται με οιοδήποτε νομικό θέμα εμπίπτει στο σκοπό του Οργανισμού.

Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας

Ασχολείται με την υλοποίηση έργων τεχνικής συνεργασίας για τα οποία ο Οργανισμός ενεργεί ως εκτελεστικός ή συνεργαζόμενος οργανισμός και οποιονδήποτε άλλων θεμάτων, που σχετίζονται με τις δραστηριότητες του Οργανισμού στον τομέα της τεχνικής συνεργασίας.

Επιτροπή Διευκόλυνσης

Ασχολείται με την εξάλειψη περιττών διατυπώσεων και γραφειοκρατίας στη διεθνή ναυτιλία και τη διευκόλυνση της διεθνούς θαλάσσιας κυκλοφορίας.

Γραμματεία

Βρίσκεται στην έδρα του Οργανισμού στο Λονδίνο και αποτελείται από τον Γενικό Γραμματέα και περίπου 300 διεθνείς υπαλλήλους.

Κύριες συμβάσεις του IMO

1. Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα του 1974 (N. 1045/1980, Safety Of Life At Sea, SOLAS).

2. Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία του 1973 (N.1269 /1982, Maritime Pollution, MARPOL).

3. Διεθνής Σύμβαση για τα Πρότυπα Εκπαίδευσης, Πιστοποίησης και Παρακολούθησης των Ναυτικών του 1978 (N. 1314/1983, Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW).⁵²

3.2 Δράσεις του IMO

Η σύγχρονη τεχνολογία σε συνδυασμό με την ευαισθητοποίηση, δημιουργούν ένα σύγχρονο νομοθετικό πλαίσιο και μηχανισμούς ελέγχου που δίνουν τη δυνατότητα να βελτιώσουμε τη ρύπανση από ναυτιλιακές δραστηριότητες.

Ένα φαινόμενο στο οποίο οι θαλάσσιες μεταφορές και η ναυτιλία γενικότερα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαίωσή του, είναι η κλιματική αλλαγή, φαινόμενο που επιδεινώνεται με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια.. Λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό ποσοστό αύξησης της θαλάσσιας κίνησης, είναι ουσιαστικό να αντιμετωπιστούν οι εκπομπές αερίων από τη ναυτιλία ως ένας μείζον παράγοντας ρύπανσης. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που οι αρνητικές του συνέπειες φαίνονται στις μέρες μας. Τα αέρια του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το όζον (O₃) που εκπέμπονται από τα πλοία συντελούν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον οι λεγόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS), επηρεάζουν αρνητικά τόσο περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η διεθνής πολιτική έχει εντάξει τον έλεγχο των αερίων ρύπων σε όλους τους τομείς δράσης της επιδιώκοντας τους εξής στόχους: βελτίωση της αποδοτικότητας της κατανάλωσης ενέργειας, μείωση των παραγόμενων ρύπων, ανάπτυξη φιλικότερων προς το περιβάλλον και πιο ισορροπημένων συστημάτων μεταφορών, ενίσχυση της υπευθυνότητας των επιχειρήσεων κατά τρόπο ώστε να μη θίγεται η ανταγωνιστικότητά τους, υπαγωγή στις επιταγές της προστασίας του περιβάλλοντος και δημιουργία ενός πλαισίου ευνοϊκού για την έρευνα και την καινοτομία.

Η Επιτροπή για την Προστασία του Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO στα μέσα του 1980 αναθεώρησε την ποιότητα των καυσίμων, αφού το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είχε αρχίσει να συζητείται. Το 1987 η δεύτερη διεθνής συνδιάσκεψη για την προστασία της Β. θάλασσας, εξέδωσε διακήρυξη με την οποία οι κυβερνήσεις των κρατών της Β. θάλασσας συμφώνησαν να ξεκινήσουν ενέργειες μαζί με τους κατάλληλους οργανισμούς, όπως ο IMO, «που θα οδηγήσουν στην βελτίωση των ποιοτικών στάνταρτ των βαρέων καυσίμων και στην ενεργό υποστήριξη των δράσεων που στοχεύουν στην μείωση της θαλάσσιας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης».

Το 1990 η Νορβηγία υπέβαλλε έναν αριθμό επιστημονικών εργασιών στην MEPC δίνοντας μια γενική επισκόπηση της αέριας ρύπανσης από πλοία. Στις εργασίες αυτές σημειώνονταν ότι:

Οι εκπομπές θείου από τα καυσαέρια πλοίων εκτιμούνταν σε 4,5 ως 6,5 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο, περίπου 4% των παγκόσμιων εκπομπών θείου. Οι εκπομπές στις ανοιχτές θάλασσες διαχέονται και έχουν μέτριες επιδράσεις, όμως σε σταθερές διαδρομές οι εκπομπές δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα.

Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από πλοία ανέρχονταν σε περίπου 5 εκατομμύρια τόνους ανά έτος, περίπου 7 % των παγκόσμιων εκπομπών. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου προκαλούν ή επιδεινώνουν τα τοπικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένης της όξινης βροχής και προβλήματα υγείας σε περιοχές όπως τα λιμάνια.⁴²

Εκπομπές CFCs από τον παγκόσμιο στόλο εκτιμήθηκε σε 3.000 - 6.000 τόνους, περίπου 1 με 3% των παγκόσμιων ετήσιων εκπομπών. Οι εκπομπές αλογονιδίων από την ναυτιλία ανέρχονταν σε 300 ως 400 τόνους περίπου 10% των παγκόσμιων εκπομπών.

Το 1991 οι συζητήσεις στην MEPC οδήγησαν στην υιοθέτηση της απόφασης της συνέλευσης του IMO για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης από πλοία. Λαμβάνοντας υπ' όψιν και την αρχή της προφύλαξης, που ορίζει ότι όταν απειλείται σοβαρή βλάβη για το περιβάλλον, δεν θα πρέπει να καθυστερεί η ανάληψη δράσης για την αντιμετώπισή της ακόμα και αν δεν υπάρχει αδιάμφευστη επιστημονική βεβαιότητα για το θέμα, η προσπάθεια του IMO για τη μείωση όλων των ρύπων της ναυτιλίας μπορεί να θεωρηθεί βάσιμη, τουλάχιστον έως ότου υπάρξουν επαρκή επιστημονικά δεδομένα που να υποστηρίζουν το αντίθετο. Το διεθνές πλαίσιο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθορίζεται από τη Σύμβαση-Πλαίσιο του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή, που άνοιξε προς υπογραφή το 1992 στη Διάσκεψη του Ρίο και τέθηκε σε ισχύ το 1994. Για την υλοποίηση της Σύμβασης-Πλαίσιο, υιοθετήθηκε το 1997 το Πρωτόκολλο του Κιότο, με το οποίο ορίστηκαν δεσμευτικές διαδικασίες και χρονοδιαγράμματα για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Πιο συγκεκριμένα στην συνδιάσκεψη του Σεπτεμβρίου του 1997, συμφωνήθηκε να υιοθετηθεί το νέο παράρτημα με την προσθήκη Πρωτοκόλλου στην σύμβαση MARPOL 73/78, το οποίο συμπεριλαμβάνει το νέο παράρτημα.^{43, 53}

Το Σεπτέμβριο του 1997 η Διεθνής Διάσκεψη των Συμβαλλόμενων Μερών στη MARPOL υιοθέτησε απόφαση σχετικά με τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία. Σύμφωνα με την απόφαση αυτή, καλούνταν η αρμόδια Επιτροπή του IMO για την Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), να εξετάσει εφικτές στρατηγικές μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, ζητούσε από τον IMO να προβεί στη διεξαγωγή ειδικών μελετών

για τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία ώστε να προσδιοριστεί σαφώς η ποσότητα και το ανάλογο ποσοστό των εκπομπών CO₂ από τη ναυτιλία σαν τμήμα της παγκόσμιας κατάστασης εκπομπών CO₂.¹⁴

Οι πρόσφατοι κανονισμοί του IMO έχουν στόχο τη μείωση του αζώτου και των ενώσεων θείου (NO_x και SO_x), καθώς και του CO₂. Η μείωση των εκπομπών CO₂ μπορεί να επιτυγχάνεται μέσω της μειωμένης κατανάλωσης μαζούτ ή της μεγαλύτερης απόδοσης.

Όπως επισημαίνεται στη δεύτερη πρόταση του IMO (Second IMO GHG Study 2009) αναφορικά με την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου που προέρχεται από τη διεθνή ναυτιλία συνέβαλε κατά 2,7% το 2007 του συνόλου των παγκόσμιων εκπομπών CO₂. Εξαιτίας της αυξανόμενης τάσης του παγκόσμιου εμπορίου και της ζήτησης των θαλάσσιων μεταφορών προβλέπεται και αύξηση των εκπομπών μέχρι το 2050. Γι' αυτό και τα λειτουργικής φύσεως, τεχνικά και αγοροκεντρικά μέτρα που διακυβεύονται και ορίζονται στους διεθνούς κανονισμούς περιορίζουν τις εκπομπές αερίων κατά 25-75%.^{52,12,43,14,15}

Οι σχετικές διεργασίες στον IMO ξεκίνησαν το 2000 με την παρουσίαση της πρώτης μελέτης για τα αέρια του θερμοκηπίου, οπότε και αποφασίστηκε να σχηματιστεί μια ομάδα εργασίας σχετικά με το θέμα.

Στη MEPC 57 του Απριλίου 2008 αποφασίστηκε με συντριπτική πλειοψηφία η υιοθέτηση εννέα αρχών που θα διέπουν την συζήτηση για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ανάμεσα σε αυτές περιλαμβάνονταν ότι οποιοδήποτε μέτρο θα έπρεπε να είναι αποτελεσματικό στη μείωση των εκπομπών, αλλά και οικονομικά αποδοτικό, να μην «τιμωρεί» το παγκόσμιο εμπόριο και την ανάπτυξη, και να περιορίζει ή και να ελαχιστοποιεί στρεβλώσεις του ανταγωνισμού. Στο σημείο αυτό προτάθηκαν αγοροκεντρικά εργαλεία και συγκεκριμένα η Νορβηγία, η Γερμανία και η Γαλλία έκαναν προτάσεις για εμπόριο ρύπων στη ναυτιλία, ενώ η Δανία πρότεινε έναν παγκόσμιο φόρο στα ναυτιλιακά καύσιμα. Επίσης προτάθηκε τα νέα μέτρα να αποτελέσουν ξεχωριστή σύμβαση του IMO και όχι να ενσωματωθούν στη MARPOL.¹⁶

Στη MEPC 58 του Οκτωβρίου 2008 αποκαλύφθηκε μεγάλη διαίρεση των κρατών πάνω στα ανωτέρω θέματα. Επιπλέον, τέθηκε το θέμα της ανάγκης ευνοϊκότερης αντιμετώπισης των αναπτυσσόμενων κρατών σε σχέση με τα αναπτυγμένα.^{54, 55, 56, 57}

Τον Ιανουάριο 2013 τέθηκαν σε ισχύ οι προβλέψεις παραρτήματος της MARPOL, το οποίο εισάγει μέτρα που έχουν στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ναυτιλίας, ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές CO₂. Εισάγεται ο Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ο οποίος αφορά κυρίως τεχνικά μέτρα και είναι υποχρεωτικός για τα νέα πλοία, και επίσης ένα

υποχρεωτικό εργαλείο διαχείρισης (Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP), το οποίο αφορά λειτουργικά κυρίως μέτρα, για όλα τα πλοία (νέα και υπάρχοντα). Για να μπορέσει ένα πλοίο να αποκτήσει το Διεθνές Πιστοποιητικό Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate – IEEC), θα πρέπει να τηρεί τις απαιτήσεις για τον EEDI και το SEEMP.^{15,58,34}

3.3. Η πορεία των Αποφάσεων

55^η Σύνοδος MEPC: 9- 13 Οκτωβρίου 2006.

Η σύνοδος συμφώνησε σε ένα σχέδιο εργασίας, με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, ώστε να προσδιοριστούν και να αναπτυχθούν οι κατάλληλοι μηχανισμοί που απαιτούνται για να επιτευχθεί ο περιορισμός ή η μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία.

Το σχέδιο εργασίας προέβλεπε την περαιτέρω ανάπτυξη του σχεδίου του Δείκτη Εκπομπής του CO₂, προκαλώντας τα κράτη μέλη και τη βιομηχανία να συνεχίσουν να πραγματοποιούν δοκιμές, και να αξιολογούν τη μεθοδολογία για τη βασική γραμμή εκπομπής του CO₂.

56^η Σύνοδος MEPC: 9- 13 Ιουλίου 2007.

Συμφωνήθηκε ότι η μελέτη θα πρέπει να συμπεριλάβει και να καλύπτει:

Τις τρέχουσες παγκόσμιες απογραφές των αερίων του θερμοκηπίου και όλων των αντίστοιχων ουσιών που εκπέμπονται από τα πλοία που εκτελούν διεθνείς μεταφορές.

Τον εντοπισμό της μέχρι τότε προόδου στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ουσιών.

Τον εντοπισμό πιθανών λαμβανόμενων μελλοντικών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και να προβαίνει στην ανάλυση του κόστους - οφέλους αυτών.

Τον καθορισμό των συνεπειών και των επιπτώσεων των εκπομπών από τη ναυτιλία που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή.

57^η Σύνοδος MEPC: 31 Μαρτίου - 4 Απριλίου 2008.

Η σύνοδος υιοθέτησε οδηγίες για τη μείωση των εκπομπών GHG στη ναυτιλία. Από αυτή τη συνεδρίαση προέκυψε ένα σύνολο οδηγιών για τον υπολογισμό του Δείκτη Εκπομπής του CO₂ για τη χρήση στις δοκιμές, στηριζόμενες σε σχεδιαστικές παραμέτρους του πλοίου και μια μεθοδολογία. Η MEPC συμφώνησε ότι ένα συνολικό πλαίσιο του IMO για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τα πλοία, θα πρέπει να:

Είναι αποτελεσματικό στη συμβολή του στη μείωση των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Είναι δεσμευτικό και εξίσου εφαρμόσιμο σε όλες τις σημαίες των κρατών

Είναι οικονομικά αποδεκτό και αποδοτικό.

Είναι ικανό να θέσει όρια στην αποτελεσματική στρέβλωση του ανταγωνισμού.

Είναι βασισμένο στην έννοια της αειφόρου/βιώσιμης περιβαλλοντικής ανάπτυξης χωρίς να θέτει εμπόδια στο παγκόσμιο εμπόριο και στην ανάπτυξη.

Είναι βασισμένο στην επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου και να μην επιβάλλει συγκεκριμένες μεθόδους.

Υποστηρίζει την προώθηση, την αναζήτηση και τη διεύρυνση τεχνολογικών καινοτομιών μέσω των κατάλληλων ερευνών με σκοπό την εν γένει ανάπτυξη του ναυτιλιακού τομέα.

Υιοθετεί τεχνολογίες αιχμής στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης.

Είναι πρακτικό και επομένως εύκολα διαχειρίσιμο, διαφανές, ελεύθερο από απάτες.

Πρώτη μεταξύ συνόδων συνεδρίαση της ομάδας Εργασίας Αερίων Θερμοκηπίου του IMO:23-27 Ιουνίου 2008.

Η Ομάδα Εργασίας Αερίων Θερμοκηπίου του IMO, (Working Group on GHG Emissions from Ships) συνήρθε για να αναθεωρήσει και να επεκτείνει τις οδηγίες από τη 57^η MEPC. Η ομάδα κατέληξε στην εξέλιξη του μαθηματικού τύπου για τον προτεινόμενο υποχρεωτικό Δείκτη Σχεδίασης CO₂ καθώς ανέλυσε και τη μεθοδολογία υπολογισμού του. Επίσης εξέδωσε ένα σχέδιο κειμένου για το σχετικό κανονιστικό πλαίσιο.

Θεώρησε ότι ο δείκτης σχεδίασης θα περιλαμβάνει ένα ελάχιστο επίπεδο αποδοτικότητας καυσίμου, σε σχέση με μια γραμμή αναφοράς, η οποία θα καθοριστεί με βάση τον παράγοντα της αποδοτικότητας του καυσίμου, για τα πλοία που παραδόθηκαν μεταξύ των ετών 1995 και 2005. Το πραγματικό ελάχιστο επίπεδο όπως επίσης και η

συχνότητα με την οποία τα όρια θα γίνονται αυστηρότερα, ήταν μεταξύ των θεμάτων που θα εξετάζε η επόμενη MEPC τον Οκτώβριο 2008 (MEPC 58).

58^η Σύνοδος MEPC: 6 - 10 Οκτωβρίου 2008.

Η MEPC συζήτησε επιπλέον κατά πόσον τα μέτρα για τη μείωση ή τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, θα πρέπει να είναι υποχρεωτικά ή προαιρετικά για όλα τα κράτη μέλη.

Υπογραμμίστηκε ότι οποιοδήποτε ρυθμιστικό καθεστώς για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία δεν μπορεί να είναι αποτελεσματικό και αποδοτικό για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, αν έχει ορισμένη ισχύ και δεν εφαρμοστεί από όλες τις χώρες .

Η επιτροπή μετονόμασε τον δείκτη, από «Δείκτη σχεδίασης CO₂» (Design CO₂ Index) σε «Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (Energy Efficiency Design Index, EEDI). Παράλληλα ενέκρινε τη χρήση ενός σχεδίου προσωρινών κατευθυντήριων γραμμών, σχετικά με την μέθοδο υπολογισμού του Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI) των νέων πλοίων για πειραματική εφαρμογή, με στόχο την περαιτέρω διαμόρφωση και βελτίωση του.⁵³

Ακόμη, αποφάσισε να συνεχιστούν περαιτέρω οι σχετικές εργασίες σε μια ενδιάμεση συνάντηση στις αρχές του 2009, τα αποτελέσματα της οποίας θα υποβληθούν στη MEPC 59 τον Ιούλιο του ίδιου έτους.

Δεύτερη μεταξύ συνόδων συνεδρίαση της ομάδας Εργασίας Αερίων Θερμοκηπίου του IMO: 9 έως 13 Μαρτίου του 2009.

Σε αυτή σημειώθηκε μεγάλη πρόοδος στην ανάπτυξη μέτρων για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στη διεθνή ναυτιλία και κατ' επέκταση στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ομάδα εργασίας μελέτησε ένα μεγάλο αριθμό εγγράφων από τις κυβερνήσεις μέλη και τις οργανώσεις παρατηρητές, σχετικά με τον τρόπο που θα οδηγήσει στην αποδοτικότητα των καυσίμων στον παγκόσμιο στόλο.

Ο κύριος και βασικός στόχος ήταν η βελτίωση του EEDI για τα νέα πλοία, με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από την περίοδο της δοκιμαστικής εφαρμογής του, κατά τους τελευταίους έξι μήνες. Η συνάντηση εξέδωσε έκθεση με τα αποτελέσματα των εργασιών στην 59η σύνοδο της επιτροπή MEPC του IMO.

59^η Σύνοδος MEPC: 13- 17 Ιουλίου 2009.

Η MEPC αποφάσισε να καταρτιστεί και καθοριστεί ένα πακέτο ενδιάμεσων εθελοντικών τεχνικών και λειτουργικών μέτρων για τη μείωση των προερχόμενων αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τη διεθνή ναυτιλία.

Αναφορικά με τον Δείκτη Σχεδίαση Ενεργειακής Αποδοτικότητας (EEDI), τα μέτρα περιλαμβάνουν ενδιάμεσες κατευθυντήριες γραμμές για:

Τη μεθοδολογία υπολογισμού του Δείκτη Σχεδίαση Ενεργειακής Αποδοτικότητας για νέα πλοία.

Την εθελοντική επαλήθευση του Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας για νέα πλοία.

Τα συμφωνηθέντα μέτρα, προορίζονταν να χρησιμοποιηθούν για δοκιμαστικούς σκοπούς μέχρι την εξηκοστή σύνοδο της επιτροπής (MEPC 60) το Μάρτιο του 2010. Τότε θα υποβάλλονταν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή τους για περαιτέρω κατάλληλη επεξεργασία.

60^η Σύνοδος MEPC: 22-26 Μαρτίου 2010.

Η επιτροπή αποφάσισε αναφορικά με τον EEDI τα εξής :

Συμφώνησε, παρά τις αρκετές διαφωνίες από μέρους των κρατών μελών, να γίνει ο δείκτης EEDI υποχρεωτικός και να ενταχθεί στο Παράρτημα VI της MARPOL. Στο πλαίσιο αυτό συνέταξε ένα προσχέδιο τροπολογίας στο Παράρτημα VI της MARPOL, αναφορικά με τις απαιτήσεις ενεργειακής αποδοτικότητας των πλοίων.

Αναγνώρισε ότι είναι καίριας σημασίας να καθοριστούν οδηγίες με τις οποίες θα υποστηρίζεται το ρυθμιστικό πλαίσιο για επαλήθευση του EEDI.

Αναγνώρισε ότι υπάρχουν άλυτα και εκκρεμή ζητήματα που αφορούν στο μέγεθος των πλοίων, στις προβλεπόμενες ημερομηνίες και τέλος στα ποσοστά μείωσης σε σχέση με ό,τι ορίζεται στις απαιτήσεις του EEDI.

61^η Σύνοδος MEPC: 27 Σεπτεμβρίου - 01 Οκτωβρίου 2010.

Η σύνοδος προετοίμασε ένα σύνολο κανονισμών για να κατασταθεί ο EEDI υποχρεωτικός, το οποίο υποστηρίχτηκε από την πλειοψηφία των απόψεων που εκφράστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής.

Στην εν λόγω Σύνοδο δεν υιοθετήθηκε κάποια απόφαση αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο θα συνεχίσει περαιτέρω με το κείμενο αυτό, εξαιτίας τόσο της ποικιλομορφίας όσο και της διαφοροποίησης των απόψεων, παρά τις πολυάριθμες προσπάθειες να επιτευχθεί συμφωνία και άρα συναίνεση. Ωστόσο, το συμφωνηθέν κείμενο κυκλοφόρησε τον Νοέμβριο, ύστερα από απαίτηση ενός ικανοποιητικού αριθμού μελών, με σκοπό την επίσημη υιοθέτηση του από την επόμενη σύνοδο (MEPC τον Ιούλιο του 2011).⁵⁴

Επιπλέον εκδόθηκαν οι παρακάτω οδηγίες:

Υπολογισμού των γραμμών αναφοράς, για τη χρήση τους με τον EEDI, με βάση τον μέσο όρο του EEDI των υπαρχόντων πλοίων.

Επιθεώρησης και πιστοποίησης του EEDI, οι οποίες αντικατέστησαν τις προηγούμενες οδηγίες της εγκυκλίου MEPC.1/ Circ. 682.

62^η Σύνοδος MEPC: 11- 15 Ιουλίου 2011.

Αναφορικά με τον δείκτη EEDI η σύνοδος αποφάσισε την τροποποίηση του παραρτήματος VI της MARPOL καθιστώντας τον δείκτη EEDI υποχρεωτικό. Η ημερομηνία έναρξης της ισχύος της σχετικής απαίτησης του EEDI καθορίστηκε η 1η Ιανουαρίου 2013, ενώ οι τύποι των πλοίων, τα ποσοστά μείωσης και άλλα ζητήματα παρέμειναν τα ίδια, όπως είχαν οριστεί προηγουμένως.

63^η Σύνοδος MEPC – Μάρτιος 2012.

Η σύνοδος αυτή επικύρωσε οδηγίες υπολογισμού και εξακρίβωση του EEDI. Οι οδηγίες αυτές αποτελούν τη βάση του κανονισμού καθώς καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα υπολογίζεται το EEDI για κάθε νέο πλοίο. Το EEDI θα εφαρμοστεί στα πλοία συμβολαίου από 1/1/2013 .

64^η Σύνοδος MEPC – Οκτώβριος 2012.

Κύριο αντικείμενο της συνόδου σε ότι αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα ήταν η θέσπιση ενός κατώτερο ορίου ασφαλείας προκειμένου να ικανοποιείται ο κανονισμός για την ενεργειακή αποδοτικότητα του πλοίου εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα τις προϋποθέσεις για ασφαλή ναυσιπλοΐα. Η επιτροπή αποφάσισε ότι το αρχικό όριο ασφαλείας θα είναι εντελώς στατιστικό. Με άλλα λόγια, ως όριο θα τεθεί η μικρότερη ιπποδύναμη με την οποία έχει κατασκευαστεί οποιοδήποτε πλοίο κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας.

65^η Σύνοδος MEPC – Ιούλιο 2013.

Καίριο ζήτημα της συγκεκριμένης Συνόδου αποτελεί η οριστικοποίηση των κατευθυντήριων γραμμών για τη μείωση του CO₂ ταυτόχρονα με την αναθεώρηση των απαιτήσεων για τα μικρά σκάφη, τα μεγάλα δεξαμενόπλοια και τα φορτηγά πλοία.

66^η Σύνοδος MEPC – Μάρτιο 2014.

Αναφέρεται στο Πλαίσιο για να συμπεριληφθούν τα πλοία υβριδικής πρόωσης, τα επιβατηγά, τα ντιζελοκίνητα και τα RoRo πλοία.

Φάση 1^η – Ιανουάριος 2015

Αξιολόγηση των τεχνολογικών εξελίξεων και την προσαρμογή στο χρονικόδιάστημα που διανύθηκε και τους παράγοντες μείωσης που ελήφθησαν βάσει πλαισίου.

3.4. Θεσμικό Πλαίσιο για τον περιορισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία - IMO

Ο τομέας της ναυτιλίας δεν αποτελούσε ξεχωριστό τμήμα των απαιτήσεων του Κιότο για την επίτευξη του παγκόσμιου στόχου μείωσης των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου προς αποφυγή και μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν εν γένει περιβαλλοντικές ρυθμίσεις για τα μη αέρια του θερμοκηπίου, όπως το SO_x, NO_x και άλλων. Μετά από πιέσεις της Διεθνούς Κοινότητας (ΟΗΕ) και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αναλύει διάφορες πτυχές του προβλήματος και διεξάγουν ένα ευρύ φάσμα μέτρων για να συμπεριληφθεί στις διατάξεις MARPOL 73/78 (Annex VI). Τα μέτρα αναλύονται και εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες.^{59, 60, 61, 62}

Τεχνικά μέτρα: η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μια σειρά μέτρων που αφορούν στην αποτελεσματική υδροδυναμική των υφάλων των πλοίων, τους κινητήρες ενεργειακής εξοικονόμησης, σε χρήση αποτελεσματικότερων συστημάτων πρόωσης, χρήση εναλλακτικών καυσίμων και χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της χρήσης ορυκτού καυσίμου. Επιπρόσθετα, ορίζεται το ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας καθώς ακόμη και η σταδιακή αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων για τις επόμενες δεκαετίες.

Λειτουργικά μέτρα: η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μέτρα που αφορούν στην βελτίωση της ταχύτητας βελτιστοποίησης των διαδρομών, στο σχεδιασμό βέλτιστης δρομολόγησης, στην χρήση εναλλακτικών καυσίμων με έμφαση στη χρήση βιο-καυσίμων, σε καλύτερη διαχείριση της ενέργειας τόσο στο εσωτερικό του πλοίου όσο και στο σύνολο της εφοδιαστικής του αλυσίδας και τέλος στην τροποποίηση του σχεδιασμού των σκαφών.

Μέτρα που βασίζονται στις απαιτήσεις της αγοράς (τα market-based-measures): τα συγκεκριμένα μέτρα διαχωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

Σύστημα «Φορολογία Άνθρακα» (Carbon Levy): πρόκειται για την θεσμοθέτηση ενός ειδικού ταμείου, το οποίο θα ενισχύει τις επενδύσεις σε συστήματα μείωσης των εκπομπών. Επιπλέον, το ταμείο θα βοηθάει στη χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων με σκοπό την ανεύρεση φιλικών τεχνολογιών προς το περιβάλλον ώστε να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών άνθρακα.

Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής (Emission Trading Schemes): δύο είναι οι καίριοι στόχοι του εν λόγω συστήματος τους οποίους καλείται να εξυπηρετεί:

1) Ο συμψηφισμός της μείωσης των εκπομπών των πλοίων με άλλους βιομηχανικούς τομείς.

2) Η παροχή φορολογικών κινήτρων για τη ναυτιλιακή βιομηχανία έτσι ώστε οι ενδιαφερόμενοι φορείς να έχουν ως κίνητρο την επένδυση σε αποδοτικότερα πλοία και τεχνολογίες με λιγότερες ενεργειακές ανάγκες.

Τα τεχνικά μέτρα (EEDI - Energy Efficiency Design Index) οριστικοποιήθηκαν από την 61^η συνεδρίαση της MEPC (2010). Σύμφωνα με αυτά προβλέπεται και απαιτείται μείωση των εκπομπών της τάξης του 30% κατά την περίοδο 2025-2030 σε σχέση με τα ισχύοντα επίπεδα της δεκαετίας 2000-2010.

Το σχέδιο για τον προσδιορισμό της τρέχουσας κατάστασης του πλοίου και των αναμενόμενων βελτιώσεων της ενεργειακής αποδοτικότητας του (SEEMP- Ship Energy Efficiency Management Plan) κοινοποιήθηκε στα συμβαλλόμενα μέλη τον Νοέμβριο του 2010 και ορίστηκε ως υποχρεωτική η επικύρωση του νομοθετικού πλαισίου από 1^η Ιανουαρίου 2013. Βασικός στόχος είναι η μείωση κατά 10% των συνολικών εκπομπών μέχρι το 2020, 20% μέχρι το 2025, 30% μέχρι το 2030 και 50% μείωση των εκπομπών του CO₂ μέχρι το 2050.⁵⁸

Τα λειτουργικά μέτρα (EEOI- Energy Efficiency Operational Index) θα εφαρμόζονται κατά βούληση (voluntary compliance) ενώ τα μέτρα που θα βασίζονται στην αγορά (MBM's) βρίσκονται υπό συζήτηση για την υποχρεωτική εφαρμογή τους.

Εκτός, λοιπόν, των παραπάνω τεχνολογικών αλλαγών και λειτουργικών βελτιώσεων των πλοίων, ο IMO στοχεύει και στην εφαρμογή οικονομικών μέτρων, τα οποία θα πρέπει να υιοθετηθούν στον τομέα της ναυτιλίας.

Τα προτεινόμενα οικονομικά μέτρα χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: σε συστήματα εισφορών όσων ρυπαίνουν και σε συστήματα εμπορίας ρύπων (emissions trading). Για την πρώτη κατηγορία, σε κάθε αγοροπωλησία καυσίμων πλοίων θα πληρώνεται και ένα τέλος (από τον προμηθευτή καυσίμων ή τον πλοιοκτήτη), το οποίο θα χρηματοδοτεί ένα ταμείο, του οποίου τα έσοδα θα διατίθενται σε δράσεις καταπολέμησης του φαινομένου του θερμοκηπίου, κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες. Μια παραλλαγή της πρότασης προβλέπει μέρος των εσόδων του ταμείου να επιστρέφεται σε πλοία με καλή ενεργειακή απόδοση, που θα αποδεικνύεται από τον δείκτη EEDI και τον δείκτη EEOI.

Όσον αφορά το προτεινόμενο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (Emission Trading System – ETS) για τη ναυτιλία, αυτό θα λειτουργεί ως εξής: Κατ' αρχάς θεσπίζεται ένα άνω όριο συνολικών εκπομπών CO₂ από τον τομέα της ναυτιλίας (σε τόνους), το οποίο μπορεί να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Κατόπιν εκδίδεται ένας αριθμός αδειών εκπομπών (κάθε άδεια μπορεί να αντιστοιχεί σε εκπομπές 1 τόνου CO₂), που αντιστοιχεί σε ποσότητα CO₂ ίση με το άνω όριο που έχει ήδη τεθεί. Οι άδειες πωλούνται μέσω δημοπράτησης στα πλοία, ώστε να καλύπτουν τις εκπομπές του καθενός.

Αν κάποιο πλοίο καταφέρει να μειώσει τις εκπομπές του με κάποιο τεχνολογικό ή λειτουργικό μέτρο που θα λάβει, μπορεί να πωλήσει τις επιπλέον άδειες. Αντίθετα, ένα πλοίο που αυξάνει τις εκπομπές του θα χρειαστεί να αγοράσει αναλογικά επιπλέον άδειες. Με τον τρόπο αυτό το συνολικό ποσό της ρύπανσης από τη ναυτιλία είναι το επιθυμητό, αλλά κατανέμεται στις διάφορες κατηγορίες πλοίων ανάλογα με την τεχνολογική και οικονομική δυνατότητα που υπάρχει για μείωση των εκπομπών από αυτά.

3.5. Χρηματιστήριο Αερίων Ρύπων

Μια νέα χρηματιστηριακή αγορά αναδύθηκε μετά την ενεργοποίηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο, στις 16 Φεβρουαρίου 2005, είναι το χρηματιστήριο των ρύπων. Μια αγορά με μεγάλο ενδιαφέρον, όπου χώρες και βιομηχανικές εγκαταστάσεις που ρυπαίνουν λιγότερο από τα επιτρεπτά όρια μπορούν πλέον να πωλούν τα περιθώρια τους σε άλλες - που ξεπερνούν τα όρια των επιτρεπόμενων ρύπων - έναντι αδρού τιμήματος. Με τον ίδιο τρόπο, όσοι ρυπαίνουν μπορούν αντί προστίμου, με πολύ λιγότερα χρήματα, να αγοράζουν «δικαιώματα στη ρύπανση» στο διεθνές Χρηματιστήριο Ρύπων. (Χρηματιστήριο των ρύπων, 2005).

Η πρωτοδότηση Green Shipping (οικολογική ναυτιλία) που καθιερώθηκε από το Λιμάνι του Αμβούργου το 2001 προβλέπει τη μείωση των λιμενικών τελών, ανάλογα με την περιβαλλοντική επίδοση των πλοίων. Οι εκπτώσεις έχουν τεθεί σε ισχύ από 1η Ιουλίου του 2011 και φτάνουν μέχρι και το 10% ανάλογα με την βαθμολόγηση του πλοίου με βάση τον Environmental Ship Index (ESI).

Ο ESI αναπτύχθηκε από την World Ports Climate Initiative (WPCI), μία θυγατρική του International Association of Ports and Harbors (IAPH). Συγκεκριμένα, ο ESI βαθμολογεί τα πλοία με βάση τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του θείου και οξειδίων του αζώτου σε μία κλίμακα από 0 έως 100, όπου η μέγιστη κλίμακα αντιστοιχεί σε μηδενική εκπομπή των προαναφερθέντων ρύπων. Οι εκπτώσεις εφαρμόζονται όταν ένα πλοίο επιτυγχάνει βαθμολογία από 20 πόντους και άνω.

Τον Ιανουάριο του 2011 τα Ολλανδικά λιμάνια Amsterdam, Moerdijk, Dordrecht και Rotterdam ξεκίνησαν να εφαρμόζουν εκπτώσιμες τιμές στα πλοία που επιτυγχάνουν στον δείκτη ESI. Αυτή τη στιγμή ο ESI περιλαμβάνει έναν αριθμό από 54 συμμετέχοντα λιμάνια και 50 πλοία στα οποία έχει δοθεί βαθμολογία (environmentalshipindex.org/Public/Home)

Αλλα μέτρα βασισμένα στις δυνάμεις της αγοράς στην ΕΕ και σε άλλα μέρη, τα οποία επιβραβεύουν τα πλοία που έχουν χαμηλές εκπομπές, είναι τα εξής:

1) Το σχέδιο Green Award προσφέρει ποικίλα κίνητρα σε λιμάνια σε ολόκληρο τον κόσμο, ανάλογα με την περιβαλλοντική επίδοση των πλοίων που εκτιμάται βάσει ορισμένων περιβαλλοντικών κριτηρίων.

2) Η περιβαλλοντική διαφοροποίηση των τελών επί της χωρητικότητας στη Νορβηγία ισχύει για τα πλοία νορβηγικής σημαίας, ανάλογα με την περιβαλλοντική επίδοσή τους σύμφωνα με διάφορα κριτήρια.

3.6.EEDI

Μετά από αρκετές συνεδριάσεις, η MEPC (Marine Environment Protection Committee), ανέπτυξε τον Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index, EEDI). Ο EEDI αποτελεί ένα μαθηματικό τύπο, ο οποίος εκφράζει την αναλογία μεταξύ του κόστους (δηλαδή εκπομπής CO₂) και του κέρδους που παράγεται, το οποίο εκφράζεται ως ικανότητα μεταφοράς αγαθών, από τη λειτουργία του πλοίου.

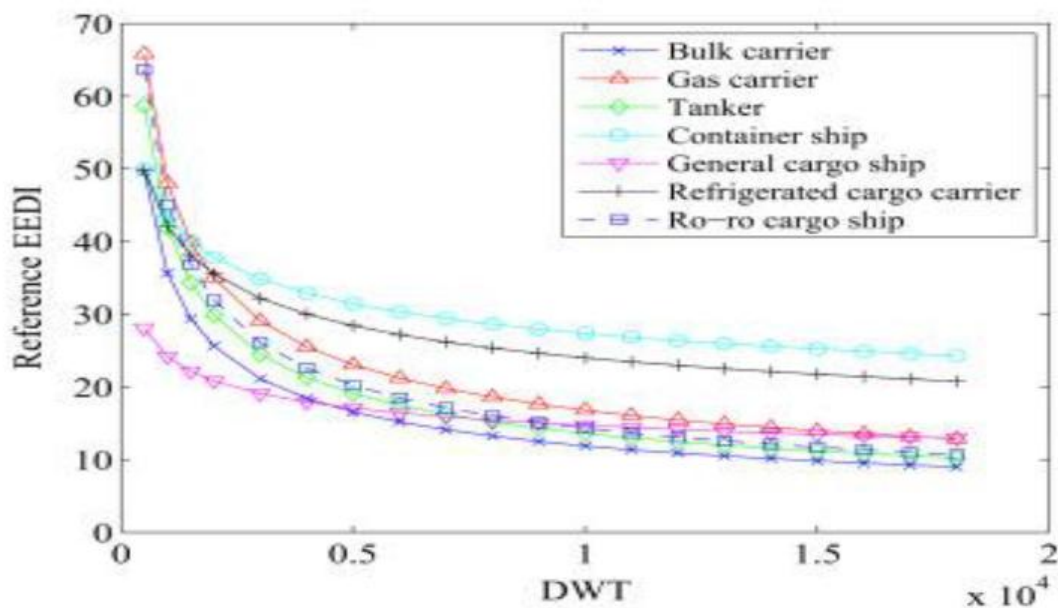
$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{transport work}}$$

Απλουστευμένη σχέση EEDI

Οι εκπομπές CO₂ θεωρείται ότι προέρχονται από τις κύριες και τις βοηθητικές μηχανές, μετά την αφαίρεση των εκπομπών που αναλογούν στην ισχύ που προσφέρεται από τη χρήση αντίστοιχων καινοτόμων τεχνολογιών. Το κέρδος που παράγεται θεωρείται ότι αποτελείται από το μεταφερόμενο φορτίο επί την ταχύτητα του πλοίου. Ο δείκτης EEDI εκφράζει τις εκπομπές CO₂ από ένα πλοίο κάτω από ειδικές συνθήκες (π.χ. φορτίο μηχανών, έλξη, αέρας, κύματα κτλ) σε σχέση με ένα ονομαστικό ποσοστό μεταφοράς.

Η μονάδα EEDI είναι «γραμμάρια CO₂ ανά χωρητικότητα – μίλι», όπου «χωρητικότητα» είναι μια έκφραση της ικανότητας μεταφοράς του φορτίου, για το οποίο το πλοίο έχει σχεδιαστεί να μεταφέρει. Για τα περισσότερα σκάφη, η «χωρητικότητα» εκφράζεται ως πρόσθετο βάρος (deadweight).

Ο πρωταρχικός σκοπός του EEDI είναι να μειώσει τις εκπομπές CO₂ από τη ναυτιλία, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα των νέων κατασκευών. Βάσει της μεθοδολογίας αυτής, ο υπολογισθείς EEDI (ή επιτευχθείς EEDI) ενός νέου πλοίου με βάση τα σχεδιαστικά του χαρακτηριστικά και θαλάσσιες δοκιμές θα πρέπει να λαμβάνει χαμηλότερη τιμή από μια τιμή αναφοράς (τον απαιτούμενο EEDI). Η τιμή αναφοράς προκύπτει με εφαρμογή στατιστικών μεθόδων (ανάλυση παλινδρόμησης) σε τιμές EEDI υπαρχόντων πλοίων που χτίστηκαν μεταξύ 1999 και 2009 (γραμμή αναφοράς) και κάποιου ποσοστού μείωσης. Η βασική ιδέα είναι ότι η τιμή του EEDI ενός νέου πλοίου πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη από την απαιτούμενη τιμή (τιμή στόχο) του EEDI. Με βάση τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου, η ενεργειακή απόδοση του πλοίου θα μετράται με το ποσοστό μείωσης που μπορεί να επιτευχθεί από την γραμμή αναφοράς.



Σχήμα 19. Γραμμή αναφοράς της απαιτούμενης τιμής (τιμή ισχύος) EEDI ανάλογα με τον τύπο του πλοίου.

Κατά τη MEPC (2010) υπάρχουν τρεις απλές προσεγγίσεις για τη βελτίωση της τιμής του EEDI:

Αύξηση του DWT. Η αύξηση του DWT απαιτεί παράλληλα και μεγαλύτερη ισχύ των μηχανών του πλοίου. Γενικά, καθώς αυξάνεται το DWT, η αναγκαία αύξηση της ισχύος δεν είναι αναλογική, αλλά υψωμένη στη 2/3. Συνεπώς, η αύξηση στον παρονομαστή υπερβαίνει την αύξηση στον αριθμητή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ η αύξηση του DWT βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και μειώνει τον Επιτευχθέντα EEDI, παράλληλα είναι πιθανόν το πλοίο να υπόκειται σε μικρότερο απαιτούμενο EEDI, λόγω αύξησης της χωρητικότητας.

Μείωση της ταχύτητας (slow steaming). Η ισχύς της κύριας μηχανής είναι ανάλογη της ταχύτητας του πλοίου υψωμένης στην τρίτη δύναμη ($PME = a \cdot v^3$). Συνεπώς, η μείωση της ταχύτητας θα μειώσει την απαιτούμενη ισχύ σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό, άρα θα μειώσει και την επιτευχθείσα τιμή του EEDI. Η μείωση της ταχύτητας του πλοίου θεωρείται πολύ αποτελεσματικό μέσο για τη βελτίωση της ενεργειακής του αποτελεσματικότητας.

Κάποιες νέες τεχνολογίες που έχουν εφαρμογή σε ορισμένους τύπους πλοίων, έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζουν ή δεν θέτουν περιορισμούς σε λειτουργικές ή σχεδιαστικές παραμέτρους, όπως η ταχύτητα και το DWT.

Ο EEDI αξιολογείται θετικά και αρνητικά σε μια έντονη συζήτηση που λαμβάνει χώρα αυτή την περίοδο. Πρόκειται για έναν δείκτη που μετράει την ενεργειακή απόδοση των πλοίων και δεν δεσμεύει για τις κατασκευαστικές βελτιώσεις και τεχνολογίες με τις οποίες θα

επιτευχθεί η απαιτούμενη ενεργειακή αποδοτικότητα. Αυτό σημαίνει ότι κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων θα μπορούν να χρησιμοποιούνται κάθε φορά οι πιο σύγχρονοι και αποδοτικοί τρόποι συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Θεωρείται ότι είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, διότι για πρώτη φορά είναι διαθέσιμος σε παγκόσμιο επίπεδο ένας δείκτης που εστιάζει στις εκπομπές CO₂ από κάποιο μέσο μεταφοράς, ώστε να βοηθήσει στην αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας του μέσου αυτού.

Επίσης, αναφέρονται διάφορα προβλήματα τόσο για τον Επιτευχθέντα όσο και για τις γραμμές αναφοράς. Κατ' αρχάς γίνονται συζητήσεις σχετικά με την εγκυρότητα της (επισήμως συμφωνημένης στον IMO) βάσης δεδομένων IHS Fairplay, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των γραμμών αναφοράς του EEDI. Καθώς δεν είναι υποχρεωτικό για τους πλοιοκτήτες να παρέχουν δεδομένα για τα πλοία τους στη βάση αυτή, η ακρίβεια των δεδομένων αμφισβητείται και έχουν αποδειχθεί αποκλίσεις σε σύγκριση με διασταυρωμένα δεδομένα πλοίων. Υπάρχει ανοιχτό το ερώτημα για τη δημιουργία μιας νέας βάσης ειδικά για τον σκοπό αυτό, με διασταυρωμένα δεδομένα με τους πλοιοκτήτες, τις χώρες σημαίας, τους νηογνώμονες και τα ναυπηγεία.

Επιπλέον, σε συζητήσεις στο πλαίσιο της MEPC αναδείχτηκε ότι ενώ το πλαίσιο υπολογισμού του EEDI είναι ξεκάθαρο, η εφαρμογή του στα πλοία είναι μάλλον πολύπλοκη, λόγω της τεράστιας ποικιλίας σχεδιασμών και λειτουργικοτήτων των πλοίων.^{53, 63}

3.7 Μέτρα της E.E. - MRV

Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η E.E. έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους και συζητά διάφορους μηχανισμούς αναπτυξιακής πολιτικής. Σαν στόχο έχει θέσει τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το έτος 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 και τη μείωση των εκπομπών της ναυτιλίας κατά 40-50% έως το 2050. Με βάση αυτόν τον στόχο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτείνει ένα νέο σύστημα για την παρακολούθηση, αναφορά και επιβεβαίωση των εκπομπών (Monitoring, Reporting and Verification– MRV) των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για πλοία πάνω από 5.000 κόρους που καλούν σε λιμένες της EE. (1 κόρος=100 κυβικά πόδια ή 2.83 κυβικά μέτρα).⁵⁸

Βάσει του MRV:

Τα πλοία θα πρέπει να παρακολουθούν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, τις αποστάσεις που διανύθηκαν, καθώς και το φορτίο που μετέφεραν, για κάθε ταξίδι που ξεκινά ή τελειώνει σε κάποιο λιμάνι της Ευρώπης.

Τα παραπάνω δεδομένα θα πρέπει να επιβεβαιώνονται από έναν ανεξάρτητο φορέα και να αποστέλλονται κάθε χρόνο στο κράτος σημαίας του πλοίου και στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Οι κανόνες ισχύουν από 1/1/2018 και αναμένεται να οδηγήσουν σε μείωση 2% των εκπομπών CO₂ και μείωση του κόστους για τους πλοιοκτήτες κατά 1,2 δισ. ευρώ το 2030.

Μια σημαντική πρόκληση είναι η δυνατότητα επιβολής και ελέγχου των κανονισμών. Ο IMO, που είναι οργανισμός υπό τον ΟΗΕ, δεν διαθέτει τέτοιες εξουσίες. Παρόλο που στη ναυτιλία ειδικά τα πρότυπα και οι κανονισμοί είναι (και πρέπει να είναι) παγκόσμια, το επίπεδο επιβολής και συμμόρφωσης σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Τα κράτη της ΕΕ έχουν το πλεονέκτημα έναντι του IMO ότι διαθέτουν την εξουσία να επιβάλουν τους κανονισμούς, όπως και να επιβάλουν κυρώσεις σε περιπτώσεις παραβάσεων. Η αυξανόμενη χρήση από τα κράτη μέλη της δυνατότητας ελέγχου των πλοίων από το κράτος λιμένα (Port State Control – PSC) μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό εργαλείο στο πεδίο αυτό. Το πλαίσιο λειτουργίας του PSC στην ΕΕ τίθεται με την οδηγία 2009/16/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 2013/38/ΕΕ.

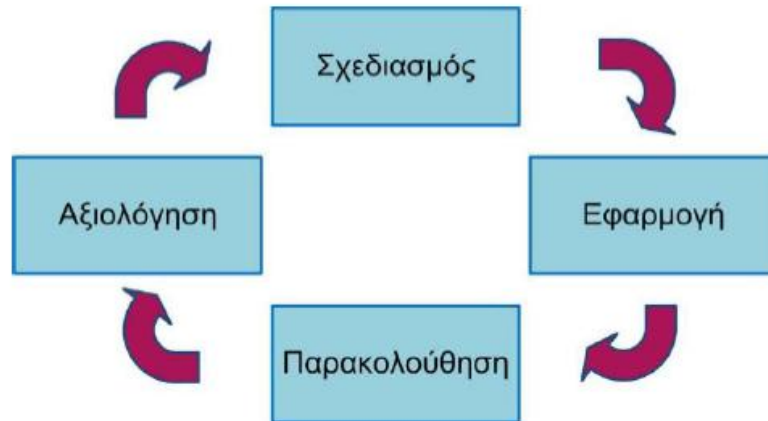
3.8. SEEMP

Το SEEMP είναι ένα σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου. Είναι ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο το οποίο καθιερώνει έναν μηχανισμό βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας του πλοίου με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Το SEEMP έγινε υποχρεωτικό από τον IMO για όλα τα πλοία πάνω από 400 GT σε διεθνείς πλόες από την 1/1/2013 και απαιτείται για την έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Ενεργειακής Αποδοτικότητας (International Energy Efficiency Certificate – IEEC).⁵⁸

Κάθε πλοίο θα πρέπει να διαθέτει ένα SEEMP επί του σκάφους, που θα έχει εκπονηθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Το SEEMP δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια ακόμη γραφειοκρατική διαδικασία, αλλά ως ιδανική ευκαιρία για τον

διαχειριστή του πλοίου να μειώσει το κόστος του καυσίμου, βελτιώνοντας την ενεργειακή αποτελεσματικότητα του πλοίου.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή του SEEMP είναι μια κυκλική διαδικασία που περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια:



Σχήμα 20 . Τα στάδια ανάπτυξης και εφαρμογής του SEEMP.

Ενώ το SEEMP είναι ένα υποχρεωτικό λειτουργικό μέτρο για όλα τα πλοία, μπορεί παράλληλα να θεωρηθεί μη δεσμευτικός κανονισμός (soft regulation), υπό την έννοια ότι δεν υπάρχει μηχανισμός που να επιβάλλει ή να δίνει κίνητρα στους διαχειριστές του πλοίου να εφαρμόσουν το SEEMP που έχει εκπονηθεί για κάθε πλοίο τους. Η επιβολή του κανονισμού περιορίζεται στην εξακρίβωση (για παράδειγμα κατά τον έλεγχο του πλοίου από το κράτος λιμένα) ότι το SEEMP υπάρχει επί του πλοίου ως μέρος των επίσημων εγγράφων του και ότι έχει εκπονηθεί βάσει των οδηγιών.

Μετά τη επιβολή του MRV από την ΕΕ, ο IMO αποφάσισε να αναθεωρήσει το SEEMP, σε ένα εργαλείο παρόμοιο με το MRV αλλά σε παγκόσμια κλίμακα.

Ειδικότερα, επισημαίνεται ότι επανεξετάστηκαν και τροποποιήθηκαν κατάλληλα οι αντίστοιχες διαδικασίες που περιγράφονται στο Σύστημα Ασφαλούς Διαχείρισης (Safety Management System – SMS) του πλοίου, ως προς τη μεθοδολογία που τηρείται στο πλοίο για τη συλλογή δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου. Επισημαίνεται ότι η ύπαρξη Δήλωσης Συμμόρφωσης (Statement of Compliance – Fuel Oil Consumption Reporting”) στα υπόχρεα πλοία αποτελεί αντικείμενο ελέγχου κατά τις επιθεωρήσεις των πλοίων στα λιμάνια (Port State Control).

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου που αφορούν σε υπόχρεο πλοίο πρέπει να συλλέγονται και να υποβάλλονται από τις Διαχειρίστριες Εταιρείες συγκεντρωτικά (aggregated), στην Αρχή της σημαίας ή σε εξουσιοδοτημένο Οργανισμό, εντός τριμήνου από τη λήξη του ημερολογιακού έτους αναφοράς (reporting period). Στις συγκεντρωτικές αναφορές, περιλαμβάνονται υποχρεωτικά τα στοιχεία του πλοίου, IMO number, τεχνικά στοιχεία GT, DWT, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για κύριες και βοηθητικές μηχανές με ιπποδύναμη άνω των 130 kW, ο σχεδιαστικός δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας (EEDI) (εάν είναι διαθέσιμος), ο χαρακτηρισμός Ice Class (εάν υπάρχει) κ.α. Επιπρόσθετα, αναφέρονται αθροιστικά η μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο καυσίμου, ανάλογα με τη μέθοδο συλλογής δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου που χρησιμοποιείται στο πλοίο, π.χ. με βάση τα δελτία παράδοσης καυσίμου (BDN) και την περιοδική καταμέτρηση περιεχομένου δεξαμενών καυσίμου, η συνολική διανυθείσα απόσταση, καθώς και οι συνολικές ώρες λειτουργίας του πλοίου. Η περίοδος αναφοράς (reporting period) αφορά στη χρονική περίοδο συλλογής και αναφοράς δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου για υπόχρεο πλοίο, εφόσον αυτό διατηρεί την ίδια σημαία ή λειτουργεί υπό την ευθύνη ίδιας διαχειρίστριας εταιρείας (Company).

Επισημαίνεται ότι τα αναλυτικά δεδομένα (disaggregated data), στα οποία βασίζεται η προαναφερθείσα συγκεντρωτική αναφορά δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου για το προηγούμενο ημερολογιακό έτος ή μέρος αυτού κατά περίπτωση, πρέπει να είναι άμεσα προσβάσιμα για χρονική περίοδο όχι μικρότερη των 12 μηνών από το τέλος του ημερολογιακού έτους και να διατίθενται στην Αρχή της σημαίας, κατόπιν αιτήματός της. Με την υιοθέτηση από την MEPC 71 (Ιούλιος 2017) απλουστευμένων Κατευθυντήριων Γραμμών, συμπληρώθηκαν οι διαδικασίες επαλήθευσης κατανάλωσης καυσίμου από τις ναυτιλιακές διοικήσεις των κρατών της σημαίας για δεδομένα (κατανάλωσης καυσίμου) που θα συλλέγονται και αφορούν σε υπόχρεα ποντοπόρα πλοία που φέρουν τη σημαία τους.

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου επαληθεύονται με βάση τις διαδικασίες που έχει θεσπίσει η Αρχή της σημαίας του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές Κατευθυντήριες Γραμμές του IMO. Εφόσον επαληθευτεί από την αρμόδια Αρχή της σημαίας ή εξουσιοδοτημένο από αυτήν Οργανισμό ότι τα δεδομένα πληρούν τις απαιτήσεις του νέου Κανονισμού, εκδίδεται Έντυπο Δήλωσης Συμμόρφωσης σχετικά με την αναφορά κατανάλωσης καυσίμου (Statement of Compliance – Fuel Oil Consumption Reporting), όχι αργότερα από τη λήξη του πενταμήνου από την έναρξη του ημερολογιακού έτους για το υπόχρεο πλοίο. Σε κάθε περίπτωση, η αρμόδια Αρχή της σημαίας διατηρεί ακέραιη την

ευθύνη για την έκδοση της Δήλωσης Συμμόρφωσης ακόμα και στην περίπτωση έκδοσής της από εξουσιοδοτημένο από αυτήν Οργανισμό.

Η Δήλωση Συμμόρφωσης με την οποία εφοδιάζονται τα υπόχρεα πλοία, πιστοποιεί ότι έχουν υποβληθεί στην Αρχή της σημαίας ή σε εξουσιοδοτημένο Οργανισμό τα δεδομένα (κατανάλωσης καυσίμου) που απαιτούνται και επίσης, πιστοποιεί όχι μόνο ότι τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν, αλλά και ότι για αυτά υποβλήθηκαν έγκαιρα οι προβλεπόμενες αναφορές σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τις διαδικασίες που περιγράφονται στο Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας του πλοίου (SEEMP).

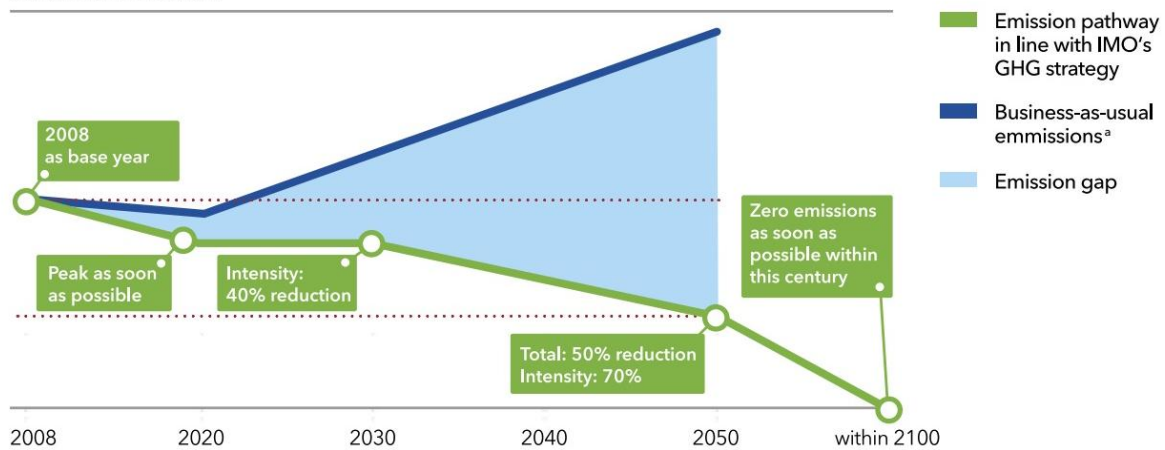
Στη συνέχεια, τα υποβληθέντα από την Αρχή της σημαίας δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία και τηρούνται συγκεντρωτικά στη βάση δεδομένων του IMO (IMO Ship Fuel Oil Consumption Database – SFOCD), στην ηλεκτρονική πλατφόρμα GISIS ή εξάγονται από αυτήν ανώνυμα (anonymized), με αρχιτεκτονική που διασφαλίζει, υπό την εποπτεία της Γραμματείας του IMO, ότι δεν υπάρχει πρόσβαση τρίτων μερών (πλην εξουσιοδοτημένων χρηστών της Γραμματείας IMO και της Αρχής της σημαίας) στα τηρούμενα στη βάση δεδομένων του IMO (SFOCD) στοιχεία για την ποντοπόρο ναυτιλία, και δεν είναι δυνατή η ταυτοποίηση και εξατομίκευση του πλοίου.⁵⁸

3.9. ΕΕΟΙ

Ο ΕΕΟΙ αποτελεί μια πρωτοβουλία για την παρακολούθηση της κατανάλωσης του καυσίμου και των εκπομπών CO₂ για τα πλοία που βρίσκονται σε λειτουργία. Ο ΕΕΟΙ είναι ένα εθελοντικό εργαλείο και δεν είναι υποχρεωτικό. Όπως και ο EEDI, ο ΕΕΟΙ εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ που εκπέμπονται ανά χωρητικότητα φορτίου και μεταφέρονται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου (για παράδειγμα, γραμμάριο CO₂/tonmile). Σε αντίθεση με τον EEDI, ο υπολογισμός του βασίζεται στην πραγματική κατανάλωση καυσίμου, στο βάρος του φορτίου και συνήθως υπολογίζεται σε ημερήσια βάση.⁵⁴

The foundation for the outlook is the IMO GHG strategy

Units: GHG emissions



Σχήμα 21. Οι προοπτικές της GHG στρατηγικής του IMO

(<https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2016/11/DNV-GL.pdf>, 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η ανάπτυξη και η εφαρμογή των πρακτικών που είναι ενδεδειγμένες και ταυτόχρονα αποδοτικές, έτσι ώστε να πληρούν τα αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα που ισχύουν ήδη από το 2015, είναι μια πρόκληση για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ο τελικός στόχος είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών μηδενικών εκπομπών ρύπων.

Με βάση το ρυθμιστικό πλαίσιο του IMO, οι περισσότερες τεχνολογίες που αναπτύσσονται αφορούν τη μείωση των NO_x και SO₂ και CO₂. Παρ' όλα αυτά, ορισμένες τεχνολογίες αφορούν επίσης στις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων. Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες μέθοδοι μείωσης των εκπομπών ανά ρύπο καθώς και οι μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις που θα επηρεάσουν και θα καθορίσουν την μορφή των πλοίων του αύριο, τόσο σε θέματα εξοπλισμού για την μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων όσο και σε θέματα σχεδίασης του κύτους με γνώμονα την μείωση κατανάλωσης καυσίμου, την βελτίωση της καύσης από τον ναυτικό κινητήρα και συνεπώς την εκπομπή μικρότερων ποσοτήτων βλαβερών ουσιών στον αέρα.

4.1. Τρόποι μείωσης Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂)

Τα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών CO₂ εμπίπτουν στις εξής κατηγορίες:

- περιβαλλοντική πολιτική των λιμένων
- τεχνολογικά μέτρα
- λειτουργικά μέτρα
- εναλλακτικά καύσιμα και
- εναλλακτικές πηγές ενέργειας

4.1.1. Περιβαλλοντική πολιτική λιμένων (ενέργεια από την ξηρά Shore Side Electricity ή Cold Ironing)

Εκτιμάται ότι ο ετήσιος μέσος χρόνος λειτουργίας των ναυτικών μηχανών ανά πλοίο είναι 6.000 ώρες στη θάλασσα με τις προωστήριες μηχανές και τις ηλεκτρομηχανές και 700 ώρες στο λιμάνι με τις ηλεκτρομηχανές μόνο σε λειτουργία. Επίσης, ο χρόνος ελιγμών μέσα στο λιμάνι ανέρχεται στις 20 ώρες ετησίως. Φαίνεται δηλαδή ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών των πλοίων γίνεται στην ανοιχτή θάλασσα και όχι στο λιμάνι. Βέβαια, για πλοία όπως τα κρουαζιερόπλοια, τα επιβατικά και ορισμένα οχηματαγωγά ο χρόνος στο λιμάνι μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερος.

Ένα πολύ μικρό μέρος της ενέργειας και των καυσίμων των πλοίων καταναλώνεται κατά τη διάρκεια των ελιγμών και της πρόσδεσης στο λιμάνι, κατά συνέπεια και οι εκπομπές CO₂ είναι ανάλογες της κατανάλωσης καυσίμου. Περαιτέρω μείωση των εκπομπών αυτών, μπορεί να επιτευχθεί με μείωση του χρόνου φορτοεκφόρτωσης και με ενέργεια από την ξηρά.

Οι αυξημένες ανάγκες των λιμανιών και των ευρύτερων περιοχών τους σε ενέργεια αλλά και τα απαιτούμενα νέα έργα επιβάλλουν τόσο την ανάγκη βελτιωμένων τεχνικών στη διαχείριση της ενέργειας, όσο και την ανάγκη περαιτέρω διείσδυσης των ΑΠΕ στην κατεύθυνση των βιώσιμων, «πράσινων» λιμανιών. Με τον όρο «πράσινα λιμάνια» (sustainable/green port) εννοούμε τα λιμάνια που αξιοποιούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις εφαρμογές τις αειφόρου ανάπτυξης και που επιφέρουν θετικά αποτελέσματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στην οικονομία.

Όταν τα πλοία ελλιμενίζονται, κλείνουν τις προωστήριες μηχανές τους και λειτουργούν μόνο με τις βοηθητικές ηλεκτρομηχανές. Αυτές παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια, που χρησιμοποιείται για ψύξη, φωτισμό, εξαερισμό κ.λπ. πάνω στο πλοίο. Μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορεί να απαιτηθούν όταν μηχανικός εξοπλισμός επί του πλοίου χρησιμοποιείται για τη φορτοεκφόρτωσή του. Τα επιβατικά πλοία και τα κρουαζιερόπλοια έχουν επίσης μεγάλες ξενοδοχειακές ανάγκες σε ηλεκτρισμό, διότι αποτελούν πλωτές κοινότητες. Το ποσό της ηλεκτρικής ισχύος που απαιτείται για να λειτουργήσει ένα πλοίο στο λιμάνι κυμαίνεται από 1 έως 4 MW για ένα πλοίο εμπορευματοκιβωτίων, ενώ μπορεί να φτάσει και τα 15 MW για ένα κρουαζιερόπλοιο. Σε αποβάθρες που βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές,

εγκαταστάσεις παροχής ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσης μπορεί να είναι διαθέσιμες σε κοντινές αποστάσεις. Αυτό είναι σημαντικό διότι το κόστος παροχής ισχύος υψηλής τάσης μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, αν απαιτούνται μετασχηματιστές.

Μια πρόκληση για το θέμα είναι ότι οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στην ξηρά και στα πλοία μπορεί να διαφέρουν στην τάση ή τη συχνότητα, δημιουργώντας ασυμβατότητες και αυξημένο κόστος προσαρμογής. Οι ΗΠΑ, ο Καναδάς και η Ιαπωνία χρησιμοποιούν συχνότητα ρεύματος 60 Hz, ενώ σχεδόν όλος ο υπόλοιπος κόσμος 50 Hz. Ένα διεθνές πρότυπο βρίσκεται υπό ανάπτυξη για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων.

Σήμερα, ενέργεια υψηλής τάσης από την ξηρά παρέχεται σε ορισμένες αποβάθρες και τερματικούς σταθμούς στα λιμάνια Γκέτεμποργκ, Ρότερνταμ, Ζεμπρούγκε, Λούμπεκ, Λος Άντζελες και Λονγκ Μπιτς και σε μικρά φινλανδικά λιμάνια. Στην περίπτωση της Ευρώπης, στις περισσότερες περιπτώσεις παρέχεται ενέργεια υψηλής τάσης από το λιμάνι σε πλοία Ro-Ro, ενώ οι πρώτες δοκιμές στην Καλιφόρνια αφορούσαν πλοία εμπορευματοκιβωτίων και δεξαμενόπλοια.

Οι εκπομπές CO₂, SO₂, NO_x και PM στο λιμάνι μπορούν να περιοριστούν κατά 90% στη διάρκεια του χρόνου πρόσδεσης στο λιμάνι. Από την άλλη πλευρά, οι συνολικές εκπομπές εξαρτώνται από το ενεργειακό μίγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. Αν βασίζεται σε πηγές ενέργειας όπως ο λιγνίτης, τότε οι εκπομπές ρύπων ελαχιστοποιούνται στο λιμάνι, αλλά μεταφέρονται στην περιοχή παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν όμως η παραγωγή ενέργειας βασίζεται σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες και τα υδροηλεκτρικά, τότε οι εκπομπές περιορίζονται συνολικά.

Επιπλέον, η ενέργεια από την ξηρά μπορεί να περιορίσει τον θόρυβο στο λιμάνι. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι στην περίπτωση λιμανιών δίπλα σε κατοικημένες περιοχές, λόγω της ταυτόχρονης ελαχιστοποίησης των εκπομπών όλων των ρύπων, προστατεύεται η υγεία των κατοίκων. Η σύνδεση υψηλής τάσης και οι μετασχηματιστές στο πλοίο αποτελούν τα σημαντικότερα κόστη, όπως επίσης και το κόστος του ηλεκτρισμού. Γενικά, η δημιουργία των εγκαταστάσεων και η παροχή της ενέργειας από την ξηρά θεωρείται αποδοτικότερη για λιμάνια που προσεγγίζονται από μεγάλα πλοία που παραμένουν στο λιμάνι για μεγάλους χρόνους.^{64, 102}

4.1.2. Τεχνολογικά μέτρα

Τα τεχνολογικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών CO₂ αφορούν αλλαγές στο κύτος (hull), την έλικα ή τη μηχανή του πλοίου.

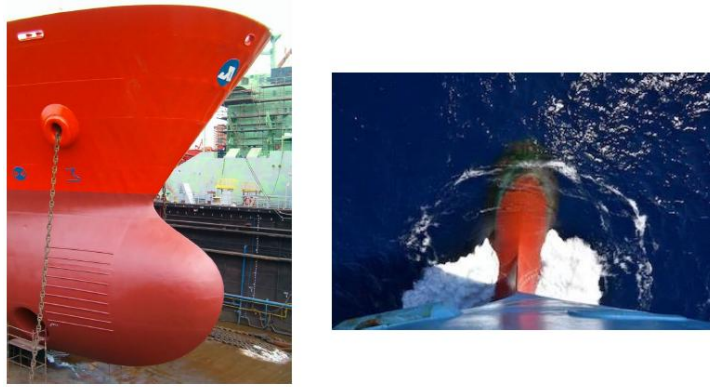
Επίσης η τοποθέτηση βολβοειδών επεκτάσεων κάτω από τη γραμμή νερού για την μείωση της αντίστασης και τριβής (drag) προκαλεί μείωση εκπομπών κατά 2-7%. Ο καθαρισμός του σκάφους και η βαφή του με επικάλυψη χαμηλής τριβής προκαλεί αύξηση της απόδοσης έως και 5%.

4.1.2.1. Βελτιώσεις στο κύτος

Οι παρεμβάσεις στο κύτος του πλοίου έχουν σκοπό να μειώσουν τις δυνάμεις (αντιστάσεις) που αντιτίθενται στην κίνηση του πλοίου. Συνοπτικά, οι δυνάμεις αυτές οφείλονται στην τριβή μεταξύ της γάστρας και του νερού, στους κυματισμούς που προκαλεί το πλοίο καθώς πλέει σε ήρεμο νερό, στις δίνες που δημιουργούνται στην πρύμνη του πλοίου, στα παρελκόμενα του πλοίου και στην πίεση που ασκεί ο ακίνητος αέρας λόγω της κίνησης του πλοίου.

Σχήμα της γάστρας

Μία από τις μεθόδους για να μειωθεί η αντίσταση του νερού είναι η βελτιστοποίηση του σχήματος της γάστρας. Από αυτό επωφελούνται κυρίως τα μικρότερα πλοία, διότι δημιουργούν σχετικά μεγαλύτερη αντίσταση λόγω κυματισμού σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα πλοία. Το μέγιστο δυναμικό μείωσης κατανάλωσης καυσίμου εκτιμάται στο 9%. Ένα παράδειγμα βελτιστοποίησης του σχήματος της γάστρας αποτελεί η βολβοειδής πλώρη (bulbous bow), η οποία δημιουργεί κύματα πριν από το ίδιο το πλοίο. Τα κύματα αυτά συμβάλλουν με τα κύματα που δημιουργεί η πλώρη του πλοίου (bow wave crest) με τέτοιο τρόπο ώστε να τα εξασθενούν, μειώνοντας έτσι την αντίσταση στην κίνηση του πλοίου λόγω κυματισμού.



Εικόνα 3. Βολβοειδείς επεκτάσεις bulbous bow

Αλλαγή βάρους

Μια ακόμη επιλογή που αφορά το κύτος του πλοίου είναι η αλλαγή του βάρους του. Μικρότερο βάρος, μέσω της χρήσης ελαφρύτερων υλικών, μειώνει τη βρεχόμενη επιφάνεια και συνεπακόλουθα την αντίσταση με το νερό. Το δυναμικό μείωσης από την ελαφριά κατασκευή φτάνει το 7% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν περιορισμοί, λόγω των απαιτήσεων αντοχής και ασφάλειας του πλοίου. Η αντίσταση τριβής της γάστρας του πλοίου με το νερό κατά την κίνησή του μπορεί επίσης να μειωθεί με τη χρήση κατάλληλων, ολισθηρών επιχρισμάτων. Το δυναμικό μείωσης της κατανάλωσης καυσίμων αυτή τη στιγμή είναι περίπου 5%, αλλά αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον, με την ανάπτυξη νέων υλικών.

Λίπανσημεαέρα (Air Cavity Ships)

Τέλος, η λίπανση με αέρα (air lubrication) είναι μια μέθοδος για τη μείωση της αντίστασης μεταξύ της γάστρας του πλοίου και του θαλασσινού νερού με χρήση φυσαλίδων αέρα. Λειτουργεί με έναν φυσητήρα αέρα που παράγει φυσαλίδες σε διαφορετικές, συμμετρικές θέσεις του πυθμένα του κύτους του πλοίου, ώστε να δημιουργείται ένα ομοιόμορφο στρώμα αέρα. Το σύστημα εφαρμόζεται σε νέα πλοία με ελάχιστο μήκος 225 m και επίπεδο, τουλάχιστον μερικώς, πυθμένα.

Η Danish-Dutch DK Group έχει πραγματοποιήσει έρευνες και εφαρμογές σχετικά με την τεχνολογία ACS και από τους υπολογισμούς το συμπέρασμα είναι ότι η τεχνολογία ACS μειώνει την τριβή ενός πλοίου περίπου 10%, η οποία δίνει εξοικονόμηση καυσίμων 10-15% για πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και δεξαμενόπλοια, ενώ για τα πλοία μεταφοράς

εμπορευματοκιβωτίων το αντίστοιχο ποσοστό είναι λίγο κάτω από 10%. Εάν η τεχνολογία ACS συνδυαστεί με πιο αποδοτικές προπέλες και συστήματα πλοήγησης, καθώς και με χρησιμοποίηση των θερμικών αποβλήτων (re-use of waste heat), η εξοικονόμηση του καυσίμου και συνεπώς η μείωση των εκπομπών CO₂ μπορεί να φτάσει το 30%.⁶⁵

4.1.2.2. Βελτιώσεις στην έλικα

Η έλικα του πλοίου μπορεί να βελτιστοποιηθεί, ώστε να επιτευχθεί υδροδυναμικός σχεδιασμός. Γενικά, αναφέρεται ότι η απόδοση της έλικας βελτιώνεται όταν αυξάνεται η διάμετρος των πτερυγίων και μειώνεται ο αριθμός των περιστροφών ανά λεπτό (revolutions per minute – rpm). Ιδανικά, ο αριθμός των πτερυγίων θα πρέπει να ελαχιστοποιείται, ώστε να μειώνεται η επιφάνεια και η αντίσταση της τριβής. Περιοριστικοί παράγοντες στον σχεδιασμό της έλικας είναι το βύθισμα του πλοίου και η μηχανική φόρτιση στην έλικα.

Με την πάροδο των ετών έχει κατασκευαστεί μια ποικιλία σχεδίων από προπέλες και κάθε σχέδιο έχει τα δικά του πλεονεκτήματα, χαρακτηριστικά και μειονεκτήματα. Τα σχέδια αυτά, έχουν τελειοποιηθεί με την εμπειρία και τη χρήση νέων εργαλείων σχεδιασμού, ενώ οι κατασκευαστές και οι λειτουργοί των πλοίων έχουν τη δική τους προτίμηση στον τύπο προπέλας που χρησιμοποιούν, υποστηρίζοντας τις επιλογές τους ως πιο αποδοτικές με την αναφορά βελτίωσης της κατανάλωσης καυσίμων ως αποτέλεσμα της αλλαγής από ένα τύπο σε ένα άλλο.

Η ζήτηση και η έρευνα για αποδοτικότερα σχέδια έχει οδηγήσει στην δημιουργία πιο σύνθετων τύπων και συστημάτων προπέλας, που εν μέρει αντικαθιστούν τους συμβατικούς τύπους επηρεάζοντας ανάλογα την ταχύτητα του πλοίου αλλά και την κατανάλωση. Μερικοί από τους τύπους αυτούς είναι:

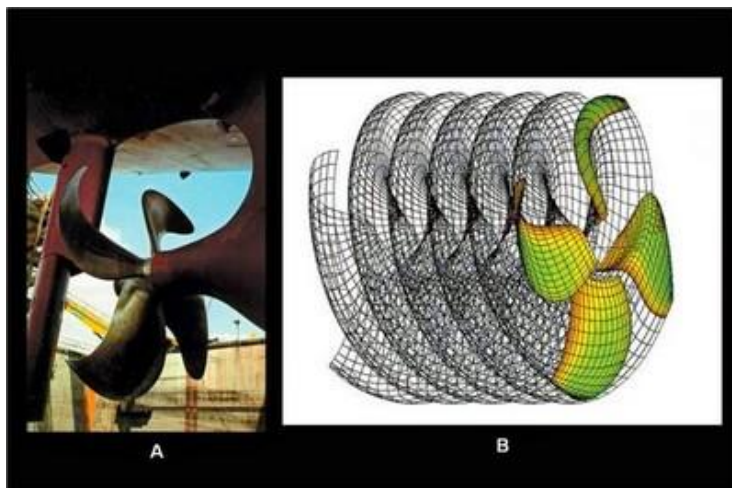
1) Οι προπέλες σταθερού βήματος (FPP Fixed Pitch Propellers), που αντιπροσωπεύουν τις συμβατικές προπέλες και χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορα μεγέθη, χωρίς να παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στην κατασκευή τους, καλύπτοντας τις ανάγκες πρόωσης μικρών σκαφών μέχρι μεγάλων δεξαμενόπλοιων. Οι βελτιώσεις στις προπέλες σταθερού βήματος είναι οι:

Προπέλα Boss Cap Fins (PBCF):πρόκειται για μικρά πτερύγια που εφαρμόζονται στο φουριστάμενο καπάκι της προπέλας. Από πραγματικές μετρήσεις σε περισσότερα από 60 πλοία, έχει υπολογιστεί ότι το όφελος φτάνει το 4-5% στην εξοικονόμηση καυσίμων και η αύξηση στην ταχύτητα είναι της τάξης του 2%. Στα οφέλη πρέπει να συμπεριληφθούν ακόμα η μείωση των δονήσεων στην πρύμνη και η μείωση του θορύβου της προπέλας.



Εικόνα 4. Προπέλα Boss Cap Fins (PBCF)

Οι προπέλες τύπου Karrel: σε αυτό τον τύπο της προπέλας η αποδοτικότητα αυξάνεται με την ανάπτυξη των πτερυγίων της. Η αύξηση του κόστους παραγωγής σε σχέση με μια συμβατική προπέλα εκτιμάται ότι είναι περίπου 20%, ενώ αναμένεται να προσφέρει όσον αφορά την εξοικονόμηση του καυσίμου είναι έως και 7% σε σύγκριση με μια καλά σχεδιασμένη συμβατική προπέλα.



Εικόνα 5. Προπέλα τύπου Kappel

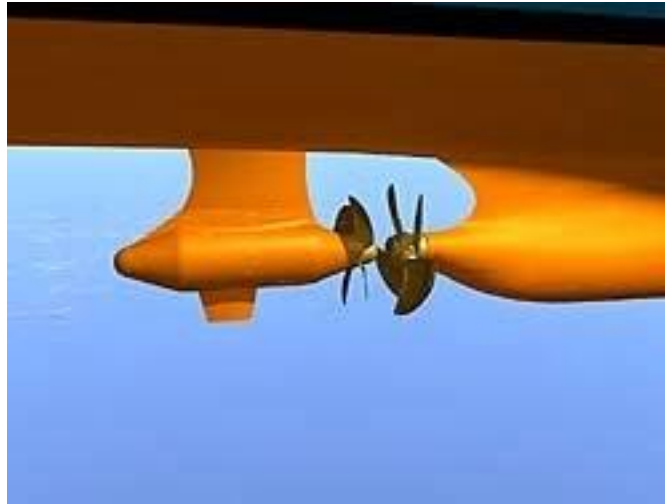
Οι προπέλες Ducted: πρόκειται για ένα σύστημα προπέλας που αποτελείται από δύοστοιχεία, ένα δακτυλιοειδή αγωγό και την προπέλα που τοποθετείται στο εσωτερικό του αγωγού. Η παρουσία του αγωγού σκοπό έχει να μειώνει τις δυνάμεις πίεσης που ασκούνται στο κύτος, ενώ ταυτόχρονα προστατεύει την προπέλα από ζημιές. Η απόδοση της προπέλας αυξάνεται ανάλογα με τη φορτίο της και η βελτίωση κυμαίνεται μεταξύ 1% και 5% σε σύγκριση με μια ανοικτού τύπου προπέλα.



Εικόνα 6. Προπέλα Ducted

2) Αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες (Contra Rotating Propellers CRPs). Η πρυμναία έλικα ανακτά μέρος της περιστροφικής ενέργειας των ρευμάτων από την μπροστινή έλικα. Οι δύο έλικες περιστρέφονται αντίθετα. Η διάταξη είναι ιδιαίτερα επωφελής για έλικες με βαρύ μηχανικό φορτίο και τα καλύτερα αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε περιπτώσεις γρήγορων φορτηγών πλοίων, Ro-Ro και πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Οι έλικες αυτές προσφέρουν μείωση στην κατανάλωση καυσίμων της τάξης του 6-20%. Μια κρίσιμη παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη είναι ότι η έλικα θα πρέπει να μπορεί να αντεπεξέλθει στο πολύ βαρύ μηχανικό φορτίο που δέχεται, ιδιαίτερα σε τρικυμιώδεις

θάλασσες. Τέλος, η έλικα, το πηδάλιο και το πλοίο αλληλεπιδρούν και για τον λόγο αυτό η βελτιστοποίησή τους θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ενιαία διαδικασία.



Εικόνα 7. Αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες (Contra Rotating Propellers CRPs).

3) Azimuth προπέλες και συστήματα πρόωσης. Στο σύστημα πρόωσης Azimuth η προπέλα τοποθετείται σε ένα λοβό, ο οποίος μπορεί και περιστρέφεται σε πλήρη κύκλο παρέχοντας τη δυνατότητα η ώθηση να δίνεται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Σε ένα λοβό είναι δυνατόν να εγκαθίστανται δύο προπέλες, μία εμπρός και μία μετά από το λοβό. Υποστηρίζεται ότι τα πλοία με σύστημα Azimuth είναι περισσότερο οικονομικά κατά την εκτέλεση των ταξιδιών, μια και μπορεί να είναι μικρότερα συγκριτικά με άλλα στη μεταφορά μια δεδομένης ποσότητας φορτίου. Βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων πρόωσης Azimuth είναι η ευελιξία που προσφέρεται από την περιστροφή των λοβών στις μανούβρες του πλοίου.

4) Πρόωση Azipod. Το Azipod αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα μεταβλητής ταχύτητας και την προπέλα που είναι εγκατεστημένη απευθείας στον άξονα του κινητήρα. Οι ηλεκτροκινητήρες των Azipod ελέγχονται από μετατροπέα συχνότητας, παρέχοντας πλήρη ονομαστική ροπή, με ομαλή και συνεχή ικανότητα μεταβολής της ταχύτητας προς

οποιαδήποτε κατεύθυνση σε όλο το φάσμα στροφών. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σύστημα οδοντωτών τροχών ή απώλειες από μηχανική μετάδοση της ισχύος, η αποδοτικότητα του Aziprod είναι υψηλότερη από άλλα συστήματα πρόωσης.⁶⁶

4.1.2.3. Βελτιώσεις στις μηχανές του πλοίου

Οι βελτιώσεις στις μηχανές του πλοίου περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας καύσης, ώστε να μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου. Ένα παράδειγμα τέτοιας τεχνολογίας αποτελεί το σύστημα ψεκασμού καυσίμου common rail, που βελτιστοποιεί την έγχυση του καυσίμου, ιδιαίτερα στα χαμηλά φορτία της μηχανής.

Η αύξηση της απόδοσης της μηχανής μπορεί επίσης να γίνει με ανάκτηση της θερμότητας. Στις ναυτικές προωστήριες μηχανές, κατά τη διάρκεια της καύσης, πάνω από το 50% της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ανάκτησης της θερμότητας αυτής και μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, η συνολική κατανάλωση καυσίμου στο πλοίο μειώνεται κατά 8-10%. Πλοία με μεγάλες κύριες μηχανές και με υψηλές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια, όπως για παράδειγμα τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων-ψυγείων, μπορούν να επωφεληθούν από τη λύση αυτή.

Άλλες επιλογές περιλαμβάνουν την ηλεκτροπρόωση, την προσαρμογή κινητήρα για slow steaming (derating, cylinder cut-out) κ.ά.

4.1.3. Λειτουργικά μέτρα

Τα λειτουργικά μέτρα αφορούν

- τη μείωση της ταχύτητας,
- τη μείωση της αντίστασης του πλοίου και
- γενικά μέτρα βελτιστοποίησης του ταξιδιού.

Η πλεύση σε χαμηλότερες ταχύτητες μειώνει την κατανάλωση καυσίμων (Πίνακας). Έτσι, για μείωση της ταχύτητας κατά 10%, η κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 19% ανά τόνο-χιλιόμετρο. Η μείωση της ταχύτητας επιφέρει ανάλογη αύξηση του χρόνου ταξιδιού. Αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί με χρήση περισσότερων πλοίων, μείωση του χρόνου στο λιμάνι κ.λπ. Αν χρησιμοποιηθούν περισσότερα πλοία, η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών περιορίζεται. Το ποσοστό μείωσης της ταχύτητας περιορίζεται από τον σχεδιασμό της μηχανής και ενδεχομένως να απαιτείται προσαρμογή της.

Πλοία που πρέπει να τηρήσουν ένα συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα (όπως τα κρουαζιερόπλοια και τα επιβατικά πλοία) πιθανόν να μη μπορούν να μειώσουν την ταχύτητά τους. Κατά τα άλλα, η μείωση της ταχύτητας μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους και τα μεγέθη των πλοίων και μάλιστα εφαρμόζεται ήδη από πολλές εταιρείες που αντιμετωπίζουν υψηλό κόστος καυσίμων και χαμηλή μεταφορική ζήτηση.

Το μέτρο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί αυξημένα τα τελευταία κυρίως από τα πλοία που μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια (containerships), σε μια προσπάθεια μείωσης του λειτουργικού τους κόστους. Το στοιχείο εκείνο που καθιστά τη μείωση της ταχύτητας ως ενδιαφέρουσα είναι ότι η αντίσταση των πλοίων αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η ταχύτητα. Συνεπώς, έστω και μια μικρή μείωση της ταχύτητας οδηγεί σε μείωση της αντίστασης του πλοίου, με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερη ενέργεια για την πρόωσή του. Αυτό με τη σειρά του μεταφράζεται σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, άρα και μικρότερης εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Το σημαντικό μειονέκτημα που προκύπτει, βέβαια, από τη μείωση της ταχύτητας είναι ότι μειώνεται και ο αριθμός των δρομολογίων σε ετήσια βάση, με αποτέλεσμα να αυξάνεται τελικά το κόστος των μεταφερόμενων εμπορευμάτων, σε περίπτωση που ο ετήσιος όγκος τους παραμένει σταθερός. Αν όμως η μείωση αυτή της ταχύτητας συνδυαστεί με πιο αποδοτική διαχείριση στη φόρτωση και εκφόρτωση των φορτίων στους τερματικούς

σταθμούς, τότε είναι δυνατόν να αντισταθμιστεί η αύξηση του λειτουργικού κόστους που περιγράφηκε παραπάνω.

Σε κάθε περίπτωση, η μείωση της ταχύτητας των πλοίων επιφέρει αύξηση του χρόνου διάρκειας των θαλάσσιων μεταφορών, κάτι που για τους ιδιοκτήτες των φορτίων περιλαμβάνει και τα ανάλογα πρόσθετα κόστη. Για το λόγο αυτό, στην παγκόσμια αγορά θαλάσσιων μεταφορών προσφέρονται για αρκετές διαδρομές δύο διαφορετικές υπηρεσίες, μια πιο αργή και μια πιο γρήγορη, και είναι στην κρίση του πελάτη να επιλέξει εάν διατίθεται να ξοδέψει παραπάνω χρήματα (για να παραμείνει σταθερή η κερδοφορία των πλοίων), προκειμένου να στείλει ή να παραλάβει το φορτίο του σε λιγότερο χρόνο.

Η μείωση όμως της αντίστασης του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος είναι η βελτιστοποίηση της διαγωγής (trim) του πλοίου με την κατάλληλη κατανομή φορτίου και έρματος. Η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου με τον τρόπο αυτό εκτιμάται στο 0,5-2%.⁶⁷

Μια άλλη μέθοδος, είναι η περιοδική στίλβωση της έλικας του πλοίου, η οποία ήδη πραγματοποιείται και μπορεί να οδηγήσει σε μείωση 2-5% των εκπομπών. Τέλος, το περιοδικό καθάρισμα των υφάλων του πλοίου για την αποτροπή της βιορύπανσης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών κατά 1-10%.

Επιπλέον, λαμβάνονται γενικά μέτρα βελτιστοποίησης του ταξιδιού που μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων. Ένα τέτοιο μέτρο αποτελεί η βελτιστοποίηση της φόρτωσης του πλοίου, ώστε να χρειάζονται λιγότερα πλοία για τη μεταφορά του ίδιου φορτίου. Αυτό οδηγεί σε μείωση των εκπομπών ανά τόνο-χιλιόμετρο και σε μείωση των συνολικών εκπομπών, αν διατηρηθεί ο μειωμένος αριθμός πλοίων, πράγμα που όμως εξαρτάται από τη μεταφορική ζήτηση.^{67, 103}

% της ταχύτητας σχεδιασμού	Ισχύς μηχανής (% MCR)	% κατανάλωσης ανά τόνο-χιλιόμετρο
100%	75%	100%
90%	55%	81%
80%	38%	64%
70%	26%	49%

Πίνακας 3. Σχέση μεταξύ ταχύτητας πλοίου, ισχύος της μηχανής και κατανάλωσης καυσίμου(Πηγή: IMO (2010)⁶⁴

Στην ίδια κατεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερα πλοία, μια και η κατανάλωση καυσίμου ανά τόνο-χιλιόμετρο μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση μεγαλύτερων πλοίων εξαρτάται από την μεταφορική ζήτηση. Επιπλέον, τα μεγαλύτερα πλοία αντιμετωπίζουν προβλήματα σε λιμάνια και κανάλια εξαιτίας του μεγέθους τους.

Στην ίδια κατηγορία κατατάσσεται και ο περιορισμός του χρόνου που περνά ένα πλοίο στο λιμάνι. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον απαιτούμενο χρόνο για φορτοεκφορτώσεις, πρόσδεση και αγκυροβολία. Ο χρόνος στο λιμάνι μπορεί να περιοριστεί χρησιμοποιώντας προηγμένα μέσα προγραμματισμού και νέες τεχνολογίες. Ο εξοικονομηθείς χρόνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να πλέει το πλοίο με χαμηλότερη ταχύτητα στη θάλασσα. Το μέτρο αυτό απαιτεί τη συνεργασία πλοίου και λιμανιού και μπορεί να εξοικονομήσει 1-7% του καυσίμου. Η πλεύση λαμβάνοντας υπόψη τον καιρό (weather routing) σημαίνει ότι η πορεία του πλοίου βελτιστοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τις καιρικές συνθήκες κατά το ταξίδι. Το μέτρο αυτό οδηγεί σε μείωση του χρόνου ταξιδιού, όμως μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε πλοία που έχουν ευελιξία στην πορεία τους. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται 2-4% της κατανάλωσης καυσίμου.

4.1.4. Εναλλακτικά καύσιμα

Το «αποτύπωμα άνθρακα» που αφήνει ο παγκόσμιος εμπορικός στόλος στο περιβάλλον έχει μειωθεί σήμερα κατά 18% σε σχέση με μία 11ετία πριν, παρά την αύξηση της χωρητικότητάς (τονάζ) του κατά 60%, σύμφωνα με στοιχεία της Clarkson Research Services. Είναι μια εξέλιξη προς τη σωστή κατεύθυνση, καθώς η εμπορική ναυτιλία καλείται να μειώσει τις εκπομπές ρύπων κατά 50% μέχρι το 2050, σύμφωνα με τους νέους κανόνες της Διεθνούς Οργάνωσης Ναυτιλίας (IMO).

Σύμφωνα με την Clarkson Research Services, η κατανάλωση καυσίμων και εκπομπών ρύπων έχει περιοριστεί περίπου κατά 820 εκατ. τόνους από το 2008 παρά την αύξηση του όγκου των μεταφερόμενων εμπορευματοκιβωτίων κατά 35% συγκριτικά με μία 11ετία πριν, βελτίωση που οφείλεται κυρίως στη μείωση της ταχύτητας των πλοίων κατά 15% με 20%. Η Clarkson, μάλιστα, υποστηρίζει πως το 30% της χωρητικότητας του παγκόσμιου εμπορικού στόλου εκπέμπει λιγότερους ρύπους κατά 20% από το 2008.

Όμως αυτή η πρόοδος αποδίδεται στη μείωση της ταχύτητας των πλοίων, που σημαίνει πως η παγκόσμια ναυτιλία θα πρέπει να αναζητήσει νέους τρόπους για να μειώσει τις εκπομπές ρύπων.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία δεν θα είναι σε θέση να επιτύχει τον στόχο μείωσης των αερίων θερμοκηπίου το 2050 χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα, επεσήμανε το Διεθνές Επιμελητήριο Ναυτιλίας (ICS). Ο Esben Poulsen, πρόεδρος του Διεθνούς Ναυτιλιακού Επιμελητηρίου (ICS), επεσήμανε ότι κατά την επόμενη δεκαετία, λοιπόν, θα απαιτηθούν τεράστιες επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη συστημάτων προώθησης μηδενικών εκπομπών CO₂ και άλλων τεχνολογιών που δεν υπάρχουν ακόμη σε μορφή που να μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στη διεθνή ναυτιλία, ειδικά σε εμπορικά βαθέων υδάτων. Αυτό θα πρέπει να είναι βασικό στοιχείο της στρατηγικής του IMO όταν προωθούνται λεπτομερείς ιδέες για μακροπρόθεσμα μέτρα κατά τη διάρκεια του 2020.

Σύμφωνα με τα μοντέλα που εξετάζει ο Νηογνώμονας, μια ποικιλία καυσίμων θα έρθει στο προσκήνιο. Το υδροποιημένο μεθάνιο θα αποτελεί ένα μεγάλο μέρος (40%-80%) του μίγματος καυσίμων το 2050. Η πρόβλεψη δείχνει επίσης ότι στον τομέα της ποντοπόρου ναυτιλίας η αμμωνία, το βιοντίζελ, το υγρό βιοαέριο και τα ηλεκτρικά καύσιμα είναι ελπιδοφόρες επιλογές «ουδέτερου άνθρακα», ενώ οι λύσεις της μπαταρίας, των υβριδικών καυσίμων και του υδρογόνου αποτελούν πιθανές επιλογές για τη ναυτιλία μικρών αποστάσεων.

Τα εναλλακτικά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη ναυτιλία είναι το LNG και τα βιοκαύσιμα.¹⁰¹

Υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas – LNG)

Το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο - LNG είναι φυσικό αέριο το οποίο ψύχεται στους -2 °C περίπου υπό κανονική πίεση. Είναι άοσμο, μη τοξικό, μη διαβρωτικό και λιγότερο πυκνό από το νερό. Στην πραγματικότητα είναι φυσικό αέριο αλλά σε υγροποιημένη μορφή ώστε να μεταφέρεται εύκολα.

Το LNG είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να μειώσει ταυτόχρονα τους τοξικούς αέριους ρύπους και το CO₂. Οι μηχανές LNG μπορεί να καίνε αποκλειστικά LNG ή να είναι διπλού καυσίμου, δηλαδή να καίνε LNG και συμβατικό καύσιμο. Το LNG έχει υψηλότερο λόγο υδρογόνου προς άνθρακα σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα και για τον λόγο αυτό οι ειδικές εκπομπές CO₂ είναι χαμηλότερες (μείωση 0-25%). Το LNG δεν περιέχει θείο και γι' αυτό οι εκπομπές SO₂ είναι σχεδόν μηδενικές (μείωση 90- 100%), ενώ υπάρχει πολύ μεγάλη μείωση και στις εκπομπές PM (72%). Ένα μειονέκτημα του LNG είναι ότι κατά τη χρήση του υπάρχει πιθανότητα διαρροής μεθανίου (CH₄), το οποίο αποτελεί ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου.⁶⁸

Το LNG χρησιμοποιείται ως καύσιμο κατά κύριο λόγο από τα πλοία μεταφοράς LNG. Το LNG έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από ατμοκίνητα δεξαμενόπλοια μεταφοράς αερίου εδώ και 50 χρόνια. Σήμερα η τεχνολογία είναι διαθέσιμη για τετράχρονες μηχανές και αναπτύσσεται για δίχρονες μηχανές. Για τα υπάρχοντα πλοία απαιτούνται σημαντικές τροποποιήσεις, ενώ απαιτείται και ικανός χώρος για την αποθήκευση του καυσίμου για όλα τα πλοία (υπάρχοντα και νέα). Άλλα προβλήματα περιλαμβάνουν την απουσία εκτεταμένου δικτύου παροχής LNG στα λιμάνια και θέματα ασφάλειας.

Πέρα από τη χρήση του LNG σε πλοία LNG, οι περισσότερες περιπτώσεις χρήσης σε άλλα πλοία είναι στη Νορβηγία. Η κυβέρνηση υποστηρίζει αυτή την τάση με έναν φόρο για τα NO_x συνδεδεμένο με ένα ειδικό ταμείο. Το ταμείο κατανέμει τον φόρο στη βιομηχανία, υποστηρίζοντας μέτρα μείωσης των NO_x. Έτσι, πολλά πλοία έχουν επιδοτηθεί για πάνω από το μισό αναγκαίο κόστος LNG. Το κόστος ενός πλοίου που χρησιμοποιεί LNG είναι περίπου

10-15% μεγαλύτερο από το κόστος ενός συμβατικού πλοίου. Από την άλλη πλευρά, αυτή την στιγμή η τιμή του LNG είναι χαμηλότερη αυτής των συμβατικών καυσίμων και αυτό αποτελεί κίνητρο. Κατά τα τελευταία 20 χρόνια το LNG αποδείχτηκε κατά 45% φθηνότερο σε σχέση με το MGO (Marine Gas Oil) και κατά 22% φθηνότερο σε σχέση με το HFO (Heavy Fuel Oil) με scrubber. Το κόστος συντήρησης αναμένεται να είναι κατά 50% φθηνότερο.⁴²

Μια καινοτομία που ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη είναι η μετατροπή των πλοίων για χρήση υδροποιημένου φυσικού αερίου. Υπάρχουν ήδη πάνω από εκατό πλοία που τροφοδοτούνται με ΥΦΑ παγκοσμίως.

Μια νέα γενιά γιγαντιαίων κρουαζιερόπλοιων που κινούνται με αυτόν τον τρόπο και θα μεταφέρουν έως και 7.000 επιβάτες θα κατασκευαστούν από την MSC Cruises από το 2022. Ήδη με αυτό τον τρόπο καταγράφεται μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 15%, αν και αυτό εξαρτάται καθοριστικά από τον έλεγχο της διαφυγής του ιδιαίτερα δραστικού αερίου του θερμοκηπίου, μεθανίου στο ελάχιστο.



Εικόνα 8. VikingGrace

Το πρώτο κρουαζιερόπλοιο με κινητήρα LNG είναι το Viking Grace, το οποίο λειτουργεί μεταξύ Φινλανδίας και Σουηδίας.

Αυτό το πλοίο καυχείται και για κάτι πρόσθετο. Ότι είναι το πρώτο πλοίο που χρησιμοποιεί "rotor sail" για να αξιοποιεί την αιολική ενέργεια, εκμεταλλευόμενο το φαινόμενο Magnus.

Η Viking Line αναφέρει ότι η επιπλέον ισχύς από τον άνεμο μειώνει τις εκπομπές CO₂ του πλοίου κατά 900 μετρικούς τόνους ετησίως.

Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς παράγονται από καλλιέργειες φυτών. Καλλιέργειες όπως το σακχαροκάλαμο (που περιέχει σάκχαρα) και το καλαμπόκι (που περιέχει άμυλο) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Καλλιέργειες που περιέχουν φυτικά έλαια (ελαιοκράμβη, ηλίανθος, σόγια) χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ. Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς δέχτηκαν κριτική διότι επέφεραν επιπτώσεις στις χρήσεις γης και αυξάνουν τις τιμές των τροφίμων, μια και εκτάσεις (ή καλλιέργειες) που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τροφίμων χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καυσίμων.

Για τον λόγο αυτό, πλέον, τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς παράγονται από υπολείμματα μη βρώσιμων καλλιεργειών, από παραπροϊόντα επεξεργασίας ξύλου, προϊόντα γρασιδιού ή βιομηχανικά απόβλητα. Τα βιοκαύσιμα έχουν μειωμένες εκπομπές CO₂ σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, διότι το CO₂ που εκπέμπεται κατά την καύση τους είχε απομακρυνθεί από την ατμόσφαιρα με τη φωτοσύνθεση για τη δημιουργία της βιομάζας του φυτού. Οι διαδικασίες παραγωγής και μεταφοράς τους πάντως παράγουν επιπλέον CO₂, οπότε η καθαρή μείωση εξαρτάται από τους τρόπους παραγωγής και μεταφοράς.

Κατά τα λοιπά, τα βιοκαύσιμα είναι μια ανανεώσιμη και εγχώρια πηγή ενέργειας. Μπορούν να αναμιχθούν με συμβατικά καύσιμα ή να χρησιμοποιηθούν μόνα τους.^{69, 70, 71, 72,73,74}

4.1.5. Εναλλακτικές μορφές ενέργειας

Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλοία είναι η αιολική, η ηλιακή και οι κυψέλες καυσίμου.^{75, 76}

Αυτές οι μορφές ενέργειας για τον ναυτιλιακό στόλο σε όλα τα επίπεδα και σε διάφορα μεγέθη επικεντρώνονται στα παρακάτω:

A) Αιολική ενέργεια χρησιμοποιώντας

Μαλακά πανιά (soft-sails)

Σταθεράπανιά (fixed-sails)

Ρότορες Flettner (Flettner rotors)

Πανιά τύπου χαρταετού (kite-sails)

Ανεμογεννήτριες (wind turbines)

B) Φωτοβολταϊκά

Γ) Κυματική ενέργεια

Δ) Συνδυασμός των παραπάνω τεχνολογιών

Ε) Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί εκ βάθρων λειτουργικές αλλαγές, όπως δρομολόγηση ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις εποχές έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η έκθεση στις πρωταρχικές ενεργειακές πηγές (ήλιος, άνεμος, κύματα). Αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική απόδοση και για την δημιουργία νέων λειτουργικών διαδικασιών.

4.1.5.1. Αιολική ενέργεια

Μια καινοτόμος τεχνολογικά λύση για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την ναυτιλία είναι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Ο άνεμος είναι μια άμεσα διαθέσιμη, αν και με διακυμάνσεις, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι πλήρως κατανοητή. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι οι διακυμάνσεις στην ισχύ του ανέμου και η δυσκολία στην αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού πρόωσης.

Στην περίπτωση των πλοίων θα μπορούσε να γίνει με τη χρήση άκαμπτων ή μαλακών πανιών, αετών, ή στροφείων Flettner, ώστε να μετατραπεί η αιολική ενέργεια σε ισχυρή δύναμη πρόωσης.

Η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλοία με διαφορετικό βαθμό αποτελεσματικότητας, που εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι αιολικές εγκαταστάσεις επί του πλοίου δεν αλληλεπιδρούν με τις λειτουργίες του πλοίου.

Μέχρι στιγμής, η πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την πρόωση των πλοίων είναι αυτή της χρήσης αετών, η οποία υποκινήθηκε κυρίως από τις υψηλές και αυξανόμενες τιμές των καυσίμων, σε μια προσπάθεια των πλοιοκτητών να μειώσουν το λειτουργικό κόστος των πλοίων τους.

Για την εγκατάσταση τέτοιου συστήματος, θα πρέπει να γίνουν αναπροσαρμογές τόσο στο σχεδιασμό, όσο και στο λειτουργικό σύστημα των πλοίων. Βέβαια, το γεγονός ότι το σύστημα αυτό εξαρτάται άμεσα από τη φορά και την ένταση του αέρα, η αποδοτικότητα της χρήσης αετών είναι αμφισβητούμενη σε κάποιο βαθμό. Εκτός από αυτό, οι ενδοιασμοί για την εγκατάσταση αετών ή στροφείων Flettner αφορούν και τον όγκο φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν τα πλοία, αλλά και τη δυνατότητα να προσεγγίσουν ορισμένα λιμάνια.

Τόσο η χρήση του συστήματος “Skysails” όσο και η χρήση των στροφείων Flettner αποτελούν τεχνολογίες που δεν έχουν γίνει ακόμα μαζικά αποδεκτές από την ναυτιλιακή κοινότητα, ιδιαίτερα λόγω του κόστους ενσωμάτωσής τους και των περιορισμών που αυτές ακόμα έχουν. Περιορισμοί μεγέθους, απαιτήσεις υψηλών ταχυτήτων αλλά και θέματα εργονομίας και σχεδιάσεως, δεν επιτρέπουν τη χρήση ιστίων από τα σύγχρονα εμπορικά σκάφη. Παρόλα αυτά έχουν γίνει πολλές προσπάθειες εφαρμογής και χρήσης πανιών σε εμπορικά πλοία.

α) Μαλακά πανιά

Παρά το γεγονός ότι τα πανιά ήταν κάποτε η μόνη πηγή πρόωσης, θεωρείται και σήμερα ότι είναι μια ενδιαφέρουσα μέθοδος για την παροχή πρόσθετης συμπληρωματικής ισχύος. Η χρήση τους όμως επιβάλλει ροπές κάμψης στο σκάφος, με αποτέλεσμα το πλοίο να παίρνει κλίση. Επιπλέον θέματα αντοχής θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην ανάγκη να

φτάσει ο ιστός έως την καρίνα, και η παρουσία του ιστού και του εξαρτισμού θα μπορούσε να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διακίνηση του φορτίου.

Η εξοικονόμηση καυσίμου με την χρήση πανιών μπορεί να ανέλθει, σε ιδανικές συνθήκες καιρού, στο 15% στην ταχύτητα των 15 κόμβων και στο 44% στην ταχύτητα των 10 κόμβων.¹²



Εικόνα 9. Μαλακά πανιά

β) Σταθερά πανιά

Τα Στερεά Ιστία σε σχήμα πτερυγίου, τα οποία είναι ουσιαστικά άκαμπτα «φτερά» σε περιστρεφόμενο κατάρτι, παρέχουν μεγαλύτερη ώθηση με μικρότερη αντίσταση από τα συμβατικά πανιά. Με τη χρήση των ιστίων αυτών δύναται να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμων μέχρι 21% για δεξαμενόπλοια, 8,5% για οχηματαγωγά και 20% για πλοία μεταφοράς αυτοκινήτων.^{77, 78}



Εικόνα 10. Σταθερά πανιά

Έχουν γίνει αρκετές μελέτες χρήσης πανιών σε εμπορικά πλοία και τα αποτελέσματα τα ποικίλουν δραματικά ανάλογα με την πηγή. Γενικό συμπέρασμα είναι ότι με προσεκτική δρομολόγηση, η οποία θα εκμεταλλεύεται τις καιρικές εναλλαγές και μείωση της ταχύτητας, η χρήση πανιών μπορεί να αποδειχθεί περιβαλλοντολογικά και οικονομικά ευεργετική.

γ) Ρότορες

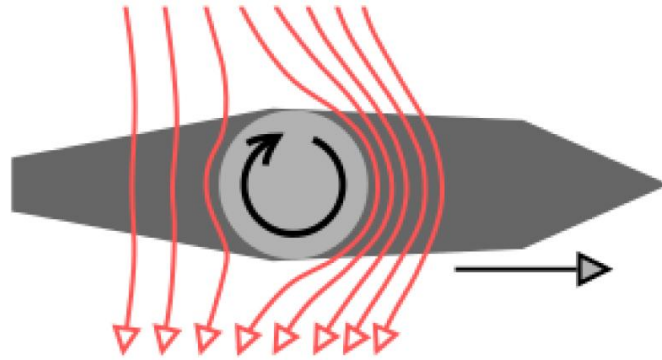
Οι ρότορες ή κινητήρες τύπου Flettner είναι κατακόρυφοι περιστρεφόμενοι ρότορες, εγκαταστημένοι επί του πλοίου, που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε πρόωση σε διεύθυνση κάθετη του ανέμου. Εκμεταλλεύονται το Φαινόμενο Magnus, που δημιουργείται όταν ο αέρας περνά πάνω από ένα ήδη περιστρεφόμενο κύλινδρο. Αυτό σημαίνει ότι το πλοίο επωφελείται από την πρόσθετη ώση, με αποτέλεσμα την μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.

Για ένα φορτηγό Supramax (55.000 τόνοι dwt), εξοπλισμένο με σύστημα τεσσάρων αιολικών κινητήρων (με ύψος ρότορα 20 μέτρα και διάμετρο ρότορα 2,3m), που είναι 246 ημέρες στη θάλασσα ετησίως, έχει εκτιμηθεί μέση εξοικονόμηση της κατανάλωσης καυσίμων ύψους 1.023 τόνων ετησίως. Ανάλογες δυνατότητες μείωσης ισχύουν και για άλλους τύπους πλοίων, ανά ημέρα και ανά ρότορα ιδίου μεγέθους.

Το ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου μειώνεται όσο το μέγεθος του πλοίου μεγαλώνει. Σε μικρά πλοία έχει επιτευχθεί εξοικονόμηση μέχρι και 60%, ενώ σε πλοία VLCC (Verylargecrudecarriers) η εξοικονόμηση πλησιάζει το 19%.⁷⁹



Εικόνα 11. Πλοίο με εγκατεστημένο σύστημα στροφείων Flettner (Πηγή: Wikipedia)



Σχήμα 22. Αρχή λειτουργίας στροφείου Flettner – Αξιοποίηση του φαινομένου Magnus με περιστροφή του στροφείου, απόθεση του αέρα και επίτευξη πρόωσης (Πηγή: Wikipedia)

Η τεχνολογία δοκιμάστηκε αρχικά την δεκαετία του 1920 σε έναν αριθμό πλοίων. Μετέπειτα είχε ξεχαστεί σε μεγάλο βαθμό, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 όταν ο διάσημος ωκεανογράφος Capt. Jacques Cousteau και η ομάδα του παρουσίασαν το Turbosail, στο ερευνητικό τους σκάφος Alcyon.

Το 2010 η Enecon άρχισε τις δοκιμές του 12800 dwt E-Ship 1, που έφερε 4 ρότορες Flettner οι οποίοι τροφοδοτούνταν ενεργειακά από τα καυσάερα του κύριου συμβατικού κινητήρα. Η μετασκευή bulkers και δεξαμενόπλοιων έως κλάσης VLCC εξετάζεται ενεργά παρόλο που η χρήση μεγάλου μέρους της επιφάνειας του καταστρώματος λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν. Πλέον υπάρχουν σύγχρονα σχέδια πρωτοτύπων που υιοθετούν τους ρότορες τύπου Flettner. Το παρακάτω σχήμα δείχνει παράδειγμα πλοίου που χρησιμοποιεί ρότορες Flettner για βοηθητική πρόωση.



Εικόνα 12. Το E-Ship 1 που χρησιμοποιεί ρότορες Flettner

δ) Πανιά τύπου χαρταετού

Μια νέα τεχνολογία για τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι ο χαρταετός ρυμούλκησης, ο οποίος συνδέεται με την πλώρη του πλοίου με ένα καλώδιο και μπορεί να ρυθμιστεί σε κατάλληλο υψόμετρο ώστε να βελτιστοποιήσει τη χρήση των ισχυρών ανέμων στη θάλασσα.

Οι ιστοί και τα πανιά τους καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στο κατάστρωμα ενός container. Η φόρτωση και η εκφόρτωση είναι δυσκολότερη, αφού οι γερανοί των containers πρέπει να δουλεύουν γύρω από τους ιστούς. Το κόστος εφοδιασμού ενός εμπορικού πλοίου με μία σειρά ιστών και η ενδυνάμωση του κύτους και του καταστρώματος, οδήγησαν στη χρήση χαρταετού ρυμούλκησης. Ο στόχος είναι να μειωθούν ή να αποφευχθούν τα παραπάνω θέματα εκμεταλλευόμενοι παράλληλα τα πλεονεκτήματα των δυνατότερων ανέμων που είναι διαθέσιμοι σε ύψη μεγαλύτερα (έως 300m) από όπου μπορούν να φθάσουν τα πανιά εξαιτίας της απουσίας αντίστασης από τις επιφάνειες του νερού και της γης.

Τα «εναέρια πανιά» δεν καταλαμβάνουν χώρο στο κατάστρωμα, απαιτούν ελάχιστη μετατροπή, μπορούν να τοποθετούνται κάτω από τις γέφυρες κι να μαζεύονται όταν δεν χρησιμοποιούνται και μπορούν να προστεθούν σε ήδη υπάρχοντα πλοία. Μπορούν να αφαιρούνται για συντήρηση και ακόμα να χρησιμοποιούνται σε δεύτερο πλοίο. Η εγκατάσταση μπορεί να διεξαχθεί σε ναυπηγείο όπως επίσης και σε κάθε λιμάνι με επαρκή εξοπλισμό σε γεραμούς. Το πλοίο μπορεί να παραμένει στο νερό κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης, η οποία απαιτεί μία με δύο εβδομάδες.

Το εν λόγω σύστημα παράγει σημαντικά υψηλότερη ενέργεια πρόωσης ανά τετραγωνικό μέτρο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά αιολικά συστήματα πρόωσης. Επίσης συγκριτικά με ένα συμβατικό πανί και ένα κατάρτι, ένας χαρταετός ρυμούλκησης στην πλώρη ενός πλοίου ελαχιστοποιεί την κλίση του πλοίου που προκαλείται από τους ισχυρούς ανέμους. Παρόλα αυτά, τα παραπάνω συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο υποβοηθητικά και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τα συστήματα πρόωσης και παραγωγής ενέργειας σε μεγάλου μεγέθους πλοία.

Η χρήση χαρταετών στα πλοία, που μπορεί να προσφέρει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 10-35% ανά πλοίο. Η επιφάνεια του χαρταετού καθορίζει την ισχύ που μπορεί να προσφέρει. Μια επιφάνεια χαρταετού ίση με 160 m² αντιστοιχεί σε 600 kW, ενώ

μια επιφάνεια ίση με 5.000 m² αντιστοιχεί σε 19.200 kW. Το ελάχιστο μήκος πλοίου στο οποίο μπορεί να εγκατασταθεί ένας χαρταετός είναι 30 m. Το κόστος επένδυσης εξαρτάται από την επιφάνεια, ενώ το λειτουργικό κόστος ανέρχεται στο 5- 15% του κόστους επένδυσης.

Το 2008 το MS Beluga Skysails ήταν το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων το οποίο μερικώς κινείται από ένα πανί τύπου χαρταετού, επιφάνειας 160 τ.μ.. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία «SKAYSAILS» με την χρήση των αετών μπορεί να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 50% τις καλές ημέρες, με ετήσια μείωση καυσίμου από 10% έως 15% ενώ χάρη σε «δυναμικές μανούβρες», ο αετός θα παράγει 5 με 25 φορές περισσότερη ισχύ ανά τετραγωνικό συμβατικό πανί. Τον Οκτώβριο του ίδιου χρόνου η Στρατιωτική Ναυτική Διοίκηση Θαλασσίων Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών ανακοίνωσε ότι είχε ναυλώσει το Beluga Skysails για τη μεταφορά προμηθειών, του στρατού και της πολεμικής αεροπορίας, από τρεις ευρωπαϊκούς λιμένες προς τις Ηνωμένες Πολιτείες.⁸⁰



Εικόνα 13. MS Beluga Skysails

Στη χρήση αιολικής ενέργειας το πρώτο βήμα είχε κάνει η ελληνικών συμφερόντων ναυτιλιακή εταιρεία, Anbros Maritime η οποία το 2011 υπέγραψε συμφωνία με μία από τις μεγαλύτερες παγκοσμίως μεταφορικές εταιρείες την Cargill για την εγκατάσταση στην πλώρη

του φορτηγού πλοίου της «Aghia Marina», ενός από τους μεγαλύτερους αιολικούς χαρταετούς του κόσμου, κατασκευασμένος με τη τεχνολογία SkySails GmbH. Στόχος της ήταν να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια που θα παράγει ο αιολικός χαρταετός για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμων μέχρι και 35%, ενώ κάτω από βέλτιστες καιρικές συνθήκες η μείωση της κατανάλωσης μπορεί να φθάσει περιοδικά έως και το 50%. Για τη συμφωνία αυτή το συγκεκριμένο φορτηγό πλοίο είχε βραβευτεί και είχε πάρει μεγάλη δημοσιότητα. Από τότε δεν υπήρξε κάποιο νεότερο.

ε) Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες ήταν για αρκετά χρόνια στην συζήτηση σχετικά με την πρόωση των πλοίων. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν επιτυχημένα πρωτότυπα εφαρμογής τους. Υπάρχουν ζητήματα με την τελική σταθερότητά τους και τις παραγόμενες δονήσεις, καθώς και την έμφυτη ανεπάρκεια στην μετατροπή της ενέργειας σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Το πλεονέκτημα των ανεμογεννητριών είναι ότι μπορούν να συνεχίσουν να παράγουν ενέργεια ακόμα κι όταν το σκάφος πλέει στον άνεμο. Υπάρχει μια περίπτωση που θα μπορούσαν να πετύχουν οι ανεμογεννήτριες σαν παραγωγοί ενέργειας για τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου ή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παράκτιες εγκαταστάσεις αντικαθιστώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές, μη ανανεώσιμες πηγές.

4.1.5.2. Φωτοβολταϊκά

Με τον γενικό όρο φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη που έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Όλες οι εξελίξεις σε αυτήν την ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία είναι διαθέσιμες για χρήση στις μεταφορές στην ναυτιλία. Οι πρωτεύοντες περιορισμοί είναι η έλλειψη αρκετής επιφάνειας ώστε να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελς αλλά και τα συστήματα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.⁸¹

Οι ηλιακοί συλλέκτες εγκατεστημένοι στο κατάστρωμα του πλοίου μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε ηλεκτρικό κινητήρα πρόωσης ή στα βοηθητικά εξαρτήματα του πλοίου. Ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο στο κατάστρωμα, οι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να μειώσουν τη συνολική κατανάλωση καυσίμων μέχρι 3.5% για δεξαμενόπλοια, μέχρι 2.5% για πλοία μεταφοράς οχημάτων και μέχρι 1% για οχηματαγωγά.

Η ηλιακή ενέργεια αντιμετωπίζεται ως πρόσθετη παροχή ενέργειας σε ένα πλοίο επειδή είναι διακοπτόμενη και γι' αυτό απαιτείται η αποθήκευσή της.

Τα φωτοβολταϊκά είναι κατάλληλα για δεξαμενόπλοια και Ro-Ro πλοία. Οι τιμές των φωτοβολταϊκών και η απόδοσή τους κάνουν μια τέτοια επένδυση όχι ιδιαίτερα αποδοτική, προς το παρόν, για τα πλοία.

Μια δοκιμή αυτής της τεχνολογίας, αποτελεί το Solar Eagle και τρία παρόμοια σκάφη τα οποία είναι τα πρώτα με υβριδικό κινητήρα. Την τεχνολογία, παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στα υβριδικά αυτοκίνητα, αναπτύσσει, η αυστραλιανή εταιρεία Solar Sailor. Η ηλεκτρική ενέργεια που συγκεντρώνεται με τα πάνελ, αποθηκεύεται και αξιοποιείται όταν το σκάφος εισέρχεται ή εξέρχεται από το λιμάνι, ενώ στον ανοικτό ωκεανό με τις μεγαλύτερες ταχύτητες, το σκάφος κινείται με ντίζελ.⁸¹



Εικόνα 14. Solar Eagle

Το MS Turanor PlanetSolar είναι το μεγαλύτερο ηλιακό σκάφος και το πρώτο πλοίο που έκανε το γύρο του κόσμου, αποκλειστικά με ηλιακή ενέργεια. Το τριάντα ενός μέτρων τύπου Catamaran πλοίο διαθέτει πλευρικά πτερύγια τα οποία ενισχύουν την ευστάθειά του, 537 τετραγωνικά μέτρα φωτοβολταϊκών ηλιακών συλλεκτών (panels) στο κατάστρωμα του, αλλά και πάλλευκο πιλοτήριο στο μέσο της υπερκατασκευής.



Εικόνα 15. MS Turanor PlanetSolar

4.1.5.3. Κυματική Ενέργεια

Τα τρέχοντα σχέδια μονάδων κυματικής ενέργειας προσπαθούν να μιμηθούν τον τρόπο με τον οποίο τα δελφίνια και τα πελαγικά ψάρια χρησιμοποιούν μυϊκή ενέργεια σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το φιλόδοξο E/S Orcelle μεταφοράς αυτοκινήτων της εταιρείας Wallenius Wilhelmsen Logistics (WWL), χρησιμοποιεί μια σειρά 23 υποβρύχιων flaps (περύγια), εμπνευσμένων από τις κινήσεις των ουρών των δελφινιών, για να αξιοποιήσουν και να μετατρέψουν την κυματική ενέργεια στον ωκεανό και να δημιουργήσουν πρόωση αλλά και για να παράγουν ηλεκτρική και υδραυλική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τα συστήματα του πλοίου.

4.1.5.4. Συνδυασμός των παραπάνω τεχνολογιών

Υποσχόμενα, νέα εμπορικά σχέδια προσαρμόστηκαν από τον κλάδο των αγωνιστικών yacht και αναπτύσσονται από την Propelwind. Η Αυστραλιανή εταιρεία, OCIUS Technology Ltd, χρησιμοποιεί σταθερά πανιά σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελς για να τροφοδοτήσει ενεργειακά harbor ferries.

Η OCIUS έχει πρόσφατα κατοχυρώσει μια μοναδική μορφή σταθερών πανιών ικανών να διπλώνουν για να μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορες καταστάσεις του ανέμου. Η εταιρεία προβλέπει ότι αυτή η τεχνολογία θα είναι χρησιμοποιήσιμη σε σύγχρονα πλοία όλων των μεγεθών.

Το πρωτότυπο σχέδιο της νορβηγικής LadeAS με την ονομασία Vindskip αποτελεί ένα υβριδικό εμπορικό πλοίο με πρωτεύον σύστημα πρόωσης που χρησιμοποιεί LNG για καύσιμο και αεροδυναμικό κύτος που λειτουργεί ως γιγαντιαίο ιστίο.

Η ιρλανδική εταιρεία B9 Shipping, αναπτύσσει το πρώτο στον κόσμο «υβριδικό» φορτηγό, το οποίο δεν θα χρησιμοποιεί ούτε σταγόνα πετρελαίου. Το πλοίο θα κινείται κυρίως με τη βοήθεια του ανέμου και μόνο σε περιπτώσεις άπνοιας θα χρησιμοποιεί τον κινητήρα του, ο οποίος θα καταναλώνει βιομεθάνιο, που θα προέρχεται από οργανικά αστικά και βιομηχανικά απόβλητα. Σύμφωνα με την εταιρεία, το «υβριδικό» φορτηγό θα περιορίσει δραστικά τις ετήσιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις θαλάσσιες μεταφορές – ποσότητες οι οποίες αντιστοιχούν στο 3% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών.

Μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά – στο ιστιοπλοϊκό Maltese Falcon («Γεράκι της Μάλτας») μιας από τις μεγαλύτερες θαλαμηγούς στον κόσμο που ανήκει στην Ελληνίδα μεγιστάνα Έλενα Αμβροσιάδου και το οποίο ναυπηγήθηκε το 2006. Με σύστημα τέτοιας τεχνολογίας, το «Γεράκι της Μάλτας» έχει ήδη διασχίσει δύο φορές τον Ατλαντικό Ωκεανό πετυχαίνοντας ανώτατη ταχύτητα 24,9 κόμβων (περίπου 46 χιλιομέτρων την ώρα). Το πλοίο έκανε το παρθενικό του ταξίδι το 2006, με σχετικά μικρά πανιά, τα οποία προσαρμόζονταν με τρόπο τέτοιο ώστε να αξιοποιείται στο έπακρο η ισχύς του ανέμου. Όπως αποδείχθηκε στην πράξη, το σύστημα απενεργοποιείται άμεσα σε περίπτωση ξαφνικής καταιγίδας.

Αν και το κόστος του συστήματος είναι αρκετά υψηλό για ιδιωτικά γιοτ, η B9 Shipping υποστηρίζει πως η εγκατάστασή του σε φορτηγά πλοία θα κάνει απόσβεση πολύ γρήγορα, από τον περιορισμό των λειτουργικών εξόδων.

Μία νέα τεχνολογία αναπτύχθηκε από την NamuraShipbuildingCoLtd και τη MitsubishiHeavyIndustryMarineMachinery&EngineCoLtd (MHIMME), και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για την υποβοήθηση της πρόωσης του πλοίου. Το νέο σύστημα ανακτά την αποβαλλόμενη θερμική ενέργεια των καυσαερίων του κύριου κινητήρα. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από μια ενσωματωμένη γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή αποδοτικότητα (στην οποία περιλαμβάνονται ατμοστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι). Η με αυτόν τον τρόπο δημιουργούμενη ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στο πλοίο και βοηθά την πρόωση του μέσω του κινητήρα ατράκτου που τοποθετείται στον στροφαλοφόρο άξονα του κύριου κινητήρα. Έτσι μειώνεται η κατανάλωση καυσίμων των πλοίων και τα ποσά CO₂ που εκπέμπει.

Ηλιακά Πανιά

Μια άλλη τεχνολογία που δοκιμάζεται είναι τα «ηλιακά πανιά», τα οποία αξιοποιούν τον ήλιο, αλλά και τον άνεμο. Ένα παράδειγμα τέτοιου πλοίου είναι το Solar Sailor, ένα μικρό καταμαράν μήκους 69 ποδιών και χωρητικότητας 100 ατόμων, του οποίου τα 8 ηλιακά wingsails μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βοηθητική πρόωση, αλλά και για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Το σκάφος έχει τοποθετημένες στο πρωαίο και στο πρυμναίο τμήμα του, σειρές φωτοβολταϊκών στοιχείων. Επιπλέον φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι τοποθετημένα σε πτέρυγες που βρίσκονται στο άνω μέρος της υπερκατασκευής του σκάφους και χρησιμοποιούνται επίσης και ως πανιά συλλέγοντας αιολική ενέργεια. Οι πτέρυγες πάνω στις οποίες είναι προσαρμοσμένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, ελέγχονται από υπολογιστή και προσανατολίζονται ανάλογα με την κατεύθυνσή της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες και μπορεί να προσδώσει στο πλοίο ταχύτητα 5 km/h.⁸¹



Εικόνα 16. Solar Sailor

Η ναυτιλιακή εταιρεία «**Wallenius Wilhelmsen**» παρουσίασε στην Παγκόσμια έκθεση EXPO 2005, ένα πρότυπο-μακέτα του πρώτου πλοίου, το οποίο θα κινείται αποκλειστικά με ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πρόκειται για το πρώτο απολύτως καθαρό πλοίο, με μόνα παράγωγα: θερμότητα και υδρατμούς και μάλιστα δεν θα έχει και θαλασσινό νερό για έρμα. Πρόκειται για ένα επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο Ro-Ro, το οποίο για την κίνησή του θα χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια η οποία θα συλλέγεται μέσω τεράστιων ιστίων πάνελ και τα οποία θα εκμεταλλεύονται ακόμη και την αιολική ενέργεια, λειτουργώντας ταυτόχρονα και ως πανιά. Ακόμη θα εκμεταλλεύεται και την ενέργεια των κυμάτων.

Κυψέλες καυσίμου

Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) βασίζεται σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις μέσω των οποίων η ενέργεια ενός καυσίμου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική. Απαιτείται ένα καύσιμο, όπως LNG, βιοκαύσιμο ή υδρογόνο, μαζί με κάποιο οξειδωτικό μέσο. Πέρα από το ότι οι εκπομπές CO₂ από τις κυψέλες είναι αισθητά χαμηλότερες από αυτές του πετρελαίου, δεν υπάρχουν χάρη στην τεχνολογία αυτή εκπομπές οξειδίων του θείου και του αζώτου (SO_x και NO_x αντίστοιχα).

Στο πλοίο μπορεί να εγκατασταθεί ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης, που να περιλαμβάνει μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μια κυψέλη καυσίμου. Εναλλακτικά, οι κυψέλες καυσίμου μπορεί να καλύπτουν τις ανάγκες ηλεκτρισμού του πλοίου.

Σε πλεονεκτική θέση βρίσκονται τα φορτηγά πλοία διότι έχουν τη χωρητικότητα για την εγκατάσταση κυψελών καυσίμου χωρίς να υπάρχει ένα ενιαίο μηχανοστάσιο.

Το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος είναι ακόμη υψηλά. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι το κόστος επένδυσης για κυψέλη καυσίμου είναι 2-3 φορές υψηλότερο από το κόστος μιας συμβατικής μηχανής. Σήμερα, υπάρχουν προγράμματα που δοκιμάζουν τη χρήση κυψελών καυσίμου σε πλοία.

Η Bloom Energy ανακοίνωσε την έναρξη συνεργασίας με τη Samsung Heavy Industries, μία από τις ισχυρότερες εταιρείες ναυπηγικής, για την ανάπτυξη караβιών που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου ως βασική πηγή ενέργειας. Οι δύο εταιρείες υπολογίζουν πως με την κατασκευή πλοίων που θα τροφοδοτούνται με κυψέλες καυσίμου μπορεί να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων κατά 45%, προσεγγίζοντας τα νέα κριτήρια της IMO.

Το 2012 η Germanischer Lloyd παρουσίασε σχεδιαστικά concepts για ένα μηδενικών εκπομπών ρύπων Scandlines ferry 1500 επιβατών και ένα 1000TEU μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με ταχύτητα service 15 κόμβων, χρησιμοποιώντας υγρό υδρογόνο σαν καύσιμο για να παράγει ισχύ με ένα σύστημα που συνδυάζε κυψέλες καυσίμου και μπαταρίες.

Διάφορα προγράμματα όπως το project Ulysses εστίασαν σε σενάρια ultra-slow steaming, για να δείξουν ότι η αποδοτικότητα του παγκοσμίου στόλου μπορεί να αυξηθεί σε μια μείωση των εκπομπών ρύπων κατά 80% μέχρι 2050 σε σχέση με της τιμές βάσης του 1990, με τα πλοία του μέλλοντος να ταξιδεύουν σε ταχύτητες των 5 κόμβων. Σε ένα τέτοιο σενάριο οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσαν να παίξουν έναν κυρίαρχο ρόλο.

4.1.5.5. Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Η λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα που εγκαθίσταται σε ένα πλοίο με σκοπό την δημιουργία ενέργειας για την πρόωσή του, βασίζεται στην πυρηνική σχάση. Η διάσπαση του ατόμου έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θερμικής ενέργειας και την εκπομπή ακτινοβολίας γ.

Πρόκειται για αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς, χωρίς ανάγκη ενεργής ψύξης, τελείως κλειστοί, χωρίς ανάγκη συντήρησης και ανατροφοδοσίας για 15-20 χρόνια, και με ελάχιστα ή καθόλου ραδιενεργά κατάλοιπα στο τέλος της ζωής τους, ενώ θα κοστίζουν μόνο 8-10 εκατ. δολάρια. Οι αντιδραστήρες αυτοί δεν ψύχονται με νερό, το οποίο χρειάζεται αντλίες, οι οποίες όταν σταματήσουν επέρχεται τήξη του αντιδραστήρα (Φουκουσίμα). Η ψύξη τους είναι με υγρό μέταλλο (π.χ. μόλυβδος) ή λιωμένο αλάτι ή ήλιον και είναι τελείως φυσική-παθητική (ούτε αντλίες ούτε ηλεκτρισμός ούτε αυτοματισμοί χρειάζονται). Ότι και να συμβεί, ο αντιδραστήρας είναι αδύνατον να ανεβάσει θερμοκρασία πέραν του σχεδιασμού.

Επιπλέον, αντί για εμπλουτισμένο ουράνιο, χρησιμοποιούν ως καύσιμο απλό ουράνιο ή και θόριο (το οποίο δεν είναι ραδιενεργό) ή ακόμα και τα απόβλητα από τα σημερινά πυρηνικά εργοστάσια ή τα πυρηνικά όπλα εν αχρηστία. Επειδή δύνανται να καταναλώσουν το καύσιμό τους σχεδόν τελείως, τα όποια απόβλητα παραμένουν ραδιενεργά μόνο για 300 χρόνια (ενώ των συνήθων αντιδραστήρων για 100.000 χρόνια).

Το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από αυτούς τους μίνι αντιδραστήρες είναι 5-10 λεπτά ανά kWh, παρόμοια δηλαδή με τα κόστη της αιολικής ενέργειας.

Οι περισσότεροι μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο τα τωρινά πυρηνικά όπλα, κάτι που θα ικανοποιούσε όλες τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη για τα επόμενα 500 χρόνια! Οι αντιδραστήρες αυτοί μαζί με τον εξοπλισμό τους (μικρο-τουρμπίνες κ.λπ.) μπορούν να παράγουν υπερκρίσιμο ατμό ή υπερκρίσιμο CO₂, που κινεί μικρές τουρμπίνες για κίνηση προπέλας ή τροφοδοσία ηλεκτρισμού-μπαταριών. Καμία ανθρώπινη επέμβαση δεν απαιτείται κατά τη λειτουργία. Στο τέλος της ζωής του, ο αντιδραστήρας θα αποσύρεται και θα αντικαθίσταται με άλλον. Φυσικά, οι αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς στη στεριά θα μπορούν να παράγουν, εκτός από άφθονη ηλεκτρική ενέργεια, εύκολο και άπλετο υδρογόνο με θερμοχημική παραγωγή (διάσπαση ύδατος σε πολύ υψηλή θερμοκρασία χρησιμοποιώντας κύκλους χημικών αντιδράσεων αντί για ηλεκτρόλυση).

Ας αναλογιστούμε τις δυνατότητες που δίνει στους ναυπηγούς η απεριόριστη διαθεσιμότητα ενέργειας σε ένα πλοίο. Θα μπορούσαν τα πλοία, για παράδειγμα, να γίνουν πολύ ταχύτερα, ακόμα και υδροπτέρυγα ή hovercrafts, όπως αναφέρει παλαιότερο άρθρο του

The Maritime Executive. Τα τεράστια hovercrafts (που λειτουργούν και στη στεριά) θα μπορούσαν να προσεγγίζουν μέσα σε αεροδρόμια –ιδίως αυτά κοντά στα παράλια– για τη μεταφορά ή την ανταλλαγή φορτίων με αεροπλάνα και τρένα.

Σίγουρα θα χρειαστούν μερικά (5 έως 10) χρόνια έως ότου οι μικρο-αντιδραστήρες αυτοί δοκιμαστούν και αποδείξουν την ασφάλειά τους και άλλα τόσα για την ευρεία παραγωγή τους. Η διάδοσή τους θα είναι θέμα χρόνου. (Ζαχαριάδης, 2020)

Αν και το κόστος κατασκευής των πυρηνικών στοιχείων καυσίμου είναι υψηλό, το συνολικό κόστος του είναι πολύ χαμηλότερο απ' ό,τι το κόστος των ορυκτών καυσίμων που απαιτείται για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας. Μια μικρή ποσότητα πυρηνικών καυσίμων παρέχει ενέργεια ισοδύναμη με εκατομμύρια φορές την ποσότητα άνθρακα ή πετρελαίου. Συνυπολογίζοντας το χαμηλό κόστος καυσίμων, τις σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρύπων και την εξάλειψη των ανησυχιών για την ασφάλεια του πληρώματος, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις ώστε η δημοτικότητα της τεχνολογίας πρόωσης των πλοίων με πυρηνική ενέργεια να αυξάνεται συνεχώς.

Η θερμότητα που παράγεται από την πυρηνική σχάση στον αντιδραστήρα είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την πρόωση και την λειτουργία του πλοίου. Για τη διαχείριση αυτής της ενέργειας, ο πυρηνικός σταθμός πρόωσης κατά τη λειτουργία του απαιτεί την συνεχή υπό πίεση επανακυκλοφορία του νερού, ενώ το όλο σύστημα περιέχει δύο υποσυστήματα το πρωτοβάθμιο και το δευτεροβάθμιο.

Το πρωτοβάθμιο σύστημα, αποτελείται από τον αντιδραστήρα, τις αντλίες και την μονάδα παραγωγής του ατμού. Η θερμότητα που εκπέμπεται από τον πυρηνικό αντιδραστήρα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού που κυκλοφορεί με μεγάλη πίεση στα στοιχεία που τον περιβάλλουν (για να αποφευχθεί η ατμοποίηση σε αυτό το στάδιο). Το ζεστό νερό στη συνέχεια οδηγείται στα στοιχεία της μονάδας παραγωγής ατμού, όπου μεταδίδει τη θερμότητα στο νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας που κυκλοφορεί εξωτερικά των στοιχείων, χωρίς να αναμιχτεί με αυτό και επιστρέφει στον αντιδραστήρα για επαναθέρμανση. Με τη μετάδοση της θερμότητας ατμοποιείται το νερό που υπάρχει εξωτερικά των στοιχείων και ο ατμός παρέχεται στο δευτεροβάθμιο σύστημα.

Το δευτεροβάθμιο σύστημα, αποτελείται από τον κύριο αμοστρόβιλο, τους μειωτήρες με το σύστημα της κίνησης προς την προπέλα, την ηλεκτρογεννήτρια που κινείται από αμοστρόβιλο, τη συσκευή συμπίκνωσης των εξατμίσεων ατμού και τις αντλίες που τροφοδοτούν τη μονάδα παραγωγής ατμού.

Η τεράστια ποσότητα ατμού που παράγεται στο πρωτοβάθμιο σύστημα χρησιμοποιείται για την λειτουργία του ατμοστρόβιλου, που συνδέεται με το σύστημα κίνησης της προπέλας και της στροβιλογεννήτριας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εξατμίσεις των ατμοστροβίλων συμπυκνώνονται και επιστρέφουν ως τροφοδοτικό νερό στη μονάδα παραγωγής ατμού, ενώ το πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται αποθηκεύεται σε μπαταρίες, για να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης καλύπτοντας τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου.

Η ποιότητα, η αντοχή και η σταθερότητα των τμημάτων του αντιδραστήρα είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία του. Έτσι τα σημερινά πυρηνοκίνητα πλοία κατασκευάζονται με προηγμένες τεχνολογίες, ασφαλή, με μεγάλα χυτά προστατευτικά του αντιδραστήρα, καλύπτοντας τις αρνητικές κριτικές που έχουν γίνει κατά καιρούς και αφορούν την ασφάλεια του πληρώματος και τους περιβαλλοντικούς κινδύνους.

4.1.6. Αποθήκευση και φύλαξη ρύπων στα πλοία

Η φύλαξη και αποθήκευση ρύπων στα πλοία αφορά κυρίως τον άνθρακα (Carbon Capture and Storage) (CCS) και πρόκειται για μια διαδικασία όπου το διοξείδιο του άνθρακα συγκεντρώνεται από τα αέρια καύσης και αποθηκεύεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην διοχετεύεται την ατμόσφαιρα. Η διαδικασία είναι ίδια με εκείνη που ισχύει για μεγάλες βιομηχανικές μονάδες ή μονάδες παραγωγής ενέργειας οι οποίες χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για να λειτουργήσουν.

Παρόλο που υπάρχουν πιλοτικά έργα προς αυτήν την κατεύθυνση σε όλο τον κόσμο, σε κανένα μέρος του πλανήτη δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί τέτοιου είδους τεχνολογίες σε τελική μορφή, καθώς υπάρχουν ενδοιασμοί του κατά πόσο οι εκπομπές λόγω της διαρροής του αποθηκευμένου άνθρακα θα καταστήσουν τα συστήματα CCS ως μια αξιόπιστη λύση αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι παρόλο που η τεχνολογία αυτή αναπτύσσεται κυρίως για μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής της σε μικρότερου μεγέθους μονάδες εκπομπής ρύπων, όπως είναι τα

πλοία αν και πάλι σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να γίνουν τέτοιες σχεδιαστικές παρεμβάσεις στα ήδη υπάρχοντα πλοία με το κόστος να είναι απαγορευτικό προς το παρόν.

4.1.7. Προσαρμογή βυθισμάτων

Το πρωραίο και πρυμναίο βύθισμα των πλοίων επηρεάζει την αντίστασή του, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η κατανάλωση των καυσίμων. Συνήθως, ένα πλοίο δεν είναι ζυγοσταθμισμένο κατά τη διάρκεια φόρτωσης, με αποτέλεσμα η ισορροπία πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος του πλοίου βάση του σχεδιασμού τους να μην επιτυγχάνεται. Επιτυγχάνοντας την ισορροπία αυτή μέσω του σωστού προγραμματισμού και πλάνου φόρτωσης δίνει τη δυνατότητα στα πλοία να μειώνουν την αντίστασή τους στο νερό, με αποτέλεσμα να εξοικονομούν καύσιμα και άρα να μειώνουν τις εκπομπές ρύπων τους στην ατμόσφαιρα. Η ζυγοστάθμιση που επιτυγχάνεται με την ορθή φόρτωση ενός πλοίου εκτιμάται ότι μειώνει την κατανάλωση καυσίμων κατά 0,5%-2% στους περισσότερους τύπους πλοίων.

Στην περίπτωση των πλοίων που ταξιδεύουν βάση τμηματικής φόρτωσης, όπως συμβαίνει με τα επιβατηγά πλοία ή αυτά που μεταφέρουν containers, η μείωση της κατανάλωσης μπορεί να φτάσει και το 5%. Στην περίπτωση όμως πλοίων ενιαίας φόρτωσης, όπως είναι τα τάνκερ και τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην, η μείωση της κατανάλωσης θα είναι μικρότερη, καθώς η αντίσταση από την παχύρρευστη τριβή είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση λόγω των θαλάσσιων κυμάτων, ενώ το ίδιο μειωμένο θα είναι και το αποτέλεσμα για πλοία που δεν έχουν μεγάλη ευελιξία σταθεροποίησης, όπως είναι τα κρουαζιερόπλοια. Προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή ισορροπία πρωραίου και πρυμναίου βυθίσματος είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ειδικού εξοπλισμού στα πλοία, όπως και πρόσθετης εκπαίδευσης του προσωπικού, το κόστος των οποίων, όμως, είναι εξαιρετικά χαμηλό, συγκριτικά με το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την πιο αποδοτική λειτουργία του πλοίου περιορισμούς στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των πλοίων.

4.1.8. Πλόες βάσει καιρικών συνθηκών

Ο αέρας, τα θαλάσσια κύματα και τα ρεύματα των ωκεανών επηρεάζουν σημαντικά την απαίτηση ενέργειας της μηχανής ενός πλοίου σε μια δεδομένη ταχύτητα. Συνεπώς, οι παραπάνω παράγοντες θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη, όταν σχεδιάζεται ένα ναυτικό ταξίδι. Σε γενικές γραμμές, όσο πιο μακρινό είναι ένα ταξίδι, τόσο περισσότερες εναλλακτικές διαδρομές υπάρχουν, ώστε να αποφευχθούν καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν αρνητικά (αυξητικά) την απαίτηση των πλοίων σε ενέργεια. Όλα τα πλοία, ανεξάρτητα από τον τύπο ή το μέγεθός τους, έχουν τη δυνατότητα εγκατάστασης συστήματος πλοήγησης, κάτι που υφίσταται ήδη στα περισσότερα πλοία, καθώς έχει προβλεφθεί στα αρχικά στάδια του σχεδιασμού τους, όπως άλλωστε προστάζεται και από το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Ανάλογα με το μέγεθος και το είδος του πλοίου, υπολογίζεται ότι η μείωση κατανάλωσης καυσίμων που προκύπτει από την αποδοτική χάραξη των ναυτικών διαδρομών που ακολουθεί ένα πλοίο κυμαίνεται από 0% έως 5%. Το κόστος εγκατάστασης συστήματος πλοήγησης είναι μικρό, οπότε και αποτελεί ένα πολύ ελκυστικό μέτρο, το οποίο μπορεί να συνδυάσει το οικονομικό όφελος των πλοιοκτητών με τη συνεισφορά των πλοίων τους στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Σχεδίαση (νέαπλοία)	Εξοικονόμηση CO ₂ / τόνο- μίλι	Συνδυασμός	Συνδυασμός
Ιδέα, ταχύτητα και ικανότητα	2 έως 50% [†]	10 έως 50% ⁺	25 έως 75% ⁺
Γάστρα και υπερκατασκευή	2 έως 20%		
Ισχύς και συστήματα πρόωσης	5 έως 15%		
Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα	5 έως 15%*		
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	1 έως 10%		
Μείωση Καυσαερίων CO ₂	0 %		
Λειτουργία (όλαταπλοία)		10 έως 50% ⁺	
Διαχείριση στόλου, logistics και κίνητρα	5 έως 50% [†]		
Βελτιστοποίηση δρομολογίου	1 έως 10%		
Διαχείριση της ενέργειας	1 έως 10%		

* Ισοδύναμου CO₂, που βασίζονται στη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

† Οι μειώσεις σε αυτό το επίπεδο θα απαιτούσαν μειώσεις των επιχειρησιακών ταχυτήτων.

(org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third)

Πίνακας 4. Μέτρα και εξοικονόμηση CO₂ /τόνο-μίλι

4.2. Τρόποι μείωσης οξειδίων του θείου και του αζώτου

Το θείο είναι φυσικό συστατικό των ορυκτών καυσίμων. Για τον περιορισμό της εκπομπής SO_x από τη ναυτιλία, αποφασίστηκε η από 1/1/2020 μείωση της περιεκτικότητας κατά βάρος των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο από 3,5%, που είναι σήμερα, σε 0,5%. Ειδικά σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών SO_x (SO_x Emission Control Areas/SECA), η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα ανέρχεται σε 0,1% ήδη από 1/1/2015. Την ευρωπαϊκή περιοχή SECA ορίζουν η Βαλτική και η Βόρεια Θάλασσα, καθώς και η Θάλασσα της Μάγχης (English Channel), ενώ επί του παρόντος εκκρεμεί η απόφαση και για τη Μεσόγειο.⁵⁵

Ο παγκόσμιος περιορισμός στην περιεκτικότητα σε θείο αρχικά αμφισβητήθηκε ως προς την τεχνική δυνατότητά του να υλοποιηθεί. Τα βαρέα ναυτιλιακά καύσιμα αποτελούν το υπόλειμμα της διύλισης ελαφρύτερων συστατικών, όπως η βενζίνη και το ντίζελ κίνησης. Η αφαίρεση του θείου από τέτοια υπολειμματικά προϊόντα είναι οικονομικά ανέφικτη,

επομένως ετέθη ο προβληματισμός εάν προϊόντα δύλισης με μικρό περιεχόμενο σε θείο επαρκούν για την ασφαλή ενεργειακή τροφοδότηση της ναυτιλίας. Μετά από έντονες διεργασίες εντός του IMO, με συμμετοχή της βιομηχανίας πετρελαιοειδών, επιβεβαιώθηκε ότι ο παγκόσμιος περιορισμός σε θείο είναι τεχνικά εφικτός.

Οι νέοι κανονισμοί επιφέρουν σημαντικές αλλαγές όχι μόνο στη βιομηχανία επεξεργασίας πετρελαιοειδών αλλά –και κυρίως– στους πλοιοκτήτες. Τα ελαφρύτερα καύσιμα δύλισης με μικρότερο περιεχόμενο σε θείο συνεπάγονται πολλαπλάσιο κόστος σε σχέση με υπολειμματικά καύσιμα. Η εκτιμώμενη διαφορά υπολογίζεται σε 200-400 δολάρια ανά μετρικό τόνο. Μια τόσο μεγάλη οικονομική επιβάρυνση ωθεί στη διερεύνηση άλλων δυνατικών τεχνικών λύσεων.

Ο κανονισμός επιτρέπει εναλλακτικές προσεγγίσεις, κάθε μία εκ των οποίων έχει τα δικά της χαρακτηριστικά. Η χρήση συσκευών αποθείωσης εντός του πλοίου, γνωστές ως scrubbers (πλυντρίδες), είναι μια από τις εναλλακτικές λύσεις που έχουν υιοθετηθεί. Τα scrubbers χρησιμοποιούν καταίωνα με νερό για να απομακρύνουν τα θειικά συστατικά, μια διεργασία η οποία έχει μακρά ιστορία σε βιομηχανικές εφαρμογές. Στα πλοία όμως υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί. Πρώτον, η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία της συσκευής αυξάνει σημαντικά το κόστος λειτουργίας. Δεύτερον, δεσμεύεται ωφέλιμος χώρος, ενώ η τοποθέτηση της συσκευής και των εξαρτημάτων της δεν είναι πάντα τεχνικά εφικτή. Τρίτον, απαιτείται επιπλέον εξειδικευμένο προσωπικό για τον έλεγχο λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης.

Τα σημαντικότερα όμως προβλήματα αφορούν τη διαχείριση του ρυπασμένου νερού, μετά τον καθαρισμό του αερίου. Σε ανοικτά (open-loop) συστήματα scrubbers, το ρυπασμένο νερό απορρίπτεται στη θάλασσα με συνέπεια την τοπική ρύπανση των υδάτων. Ήδη, περιοχές στην Ασία (Κίνα, Σιγκαπούρη) έχουν απαγορεύσει την απόρριψη του λύματος από ανοικτά συστήματα. Έχουν, επίσης, αναπτυχθεί κλειστά και υβριδικά συστήματα όπου το λύμα επανατίθεται σε κυκλοφορία μετά τον καθαρισμό του εντός του πλοίου. Όμως, η διεργασία αυτή είναι ενεργοβόρος και κοστοβόρος, και δεσμεύει σημαντική επιφάνεια εντός του πλοίου. Τέλος, εντός των λιμένων, θα πρέπει να υπάρχει σύστημα διαχείρισης της λάσπης (sludge) που παράγεται από το πλοίο κατά τον καθαρισμό του λύματος. Παρά τις τεχνικές δυσκολίες, ήδη 1.000 περίπου πλοία παγκοσμίως είναι εφοδιασμένα με scrubbers και ο πληθυσμός αναμένεται να αυξηθεί στα 3.800 πλοία εντός του 2020. Τα scrubbers είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στα κρουαζιερόπλοια λόγω των θετικών επιδράσεών τους στη μείωση του ορατού καπνού, που αποτελεί όχληση για τους επιβάτες.

Η δεύτερη εναλλακτική στη χρήση ελαφρύτερων κλασμάτων διύλισης είναι η χρήση μη συμβατικών καυσίμων, όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), η μεθανόλη και τα βιοκαύσιμα. Από αυτά, το LNG εμφανίζεται προς το παρόν ως η μόνη πραγματική εναλλακτική λόγω κόστους και ενεργειακής διαθεσιμότητας. Περίπου 100 πλοία, κυρίως στη Βόρεια Ευρώπη, τροφοδοτούνται ήδη με LNG.

Το LNG έχει σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο σε θείο και δεν παράγει ορατό καπνό κατά την καύση του. Επίσης, είναι οικονομικά ενδιαφέρον σε σχέση με υγρά καύσιμα διύλισης, ενώ ήδη αρκετοί λιμένες στον κόσμο έχουν αναπτύξει ή αναπτύσσουν σταθμούς ανεφοδιασμού. Το LNG μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε νέα πλοία ως αποκλειστικό καύσιμο ή και σε υπάρχοντα με κατάλληλη μετατροπή του κινητήρα για τη χρήση τόσο υγρού όσο και αερίου καυσίμου (dual fuel), δυνατότητα που ήδη προσφέρεται από ορισμένους κατασκευαστές κινητήρων. Μια ενδεχόμενη αρνητική συνέπεια της χρήσης φυσικού αερίου είναι η διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων άκαυστου μεθανίου (CH_4 slip), αερίου που είναι, ως αέριο θερμοκηπίου, 25 φορές πιο δραστικό από το CO_2 σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στο κλίμα. Αδυναμία ελέγχου της διαφυγής CH_4 θα έχει ως συνέπεια την εξουδετέρωση όποιας ωφέλειας από τη μείωση αερίων του θερμοκηπίου που συνεπάγεται η καύση του φυσικού αερίου λόγω της μοριακής του σύστασης (περίπου 4:1 λόγος υδρογόνου:άνθρακα).

Πέρα από τη μείωση των εκπομπών SO_x , η χρήση LNG μπορεί να οδηγήσει και σε μείωση των εκπομπών NO_x , εντός των απαιτήσεων του προτύπου Tier III, σε νέους κινητήρες με βάση τον κύκλο Otto. Το πρότυπο Tier III καθίσταται υποχρεωτικό για όλα τα πλοία με έτος κατασκευής μετά την 1/1/2021 για την πλεύση τους εντός των περιοχών ελέγχου των εκπομπών NO_x – οι οποίες για την Ευρώπη είναι η Βόρεια και η Βαλτική Θάλασσα (αλλά όχι η Θάλασσα της Μάγχης) και αντίστοιχες περιοχές ορίζονται στη Βόρεια Αμερική και την Καραϊβική (για τις οποίες το πρότυπο ισχύει ήδη από 1/1/2016). Το Tier III επιφέρει σημαντικές μειώσεις σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα, περίπου κατά 80% σε σχέση με το Tier I και 75% σε σχέση με το Tier II. Για συμβατικούς κινητήρες ντίζελ, το πρότυπο Tier III μπορεί να επιτευχθεί με χρήση καταλυτών επιλεκτικής αναγωγής (Selective Catalytic Reduction/SCR). Η τεχνολογία αυτή απαιτεί την έγχυση αμμωνίας ή ουρίας (δηλαδή ενός φορέα αμμωνίας) στη γραμμή καυσαερίου. Η αμμωνία αντιδρά και μειώνει τα οξειδία αζώτου στην επιφάνεια καταλύτη. Επίσης, γίνονται προσπάθειες η μείωση των εκπομπών NO_x να επιτευχθεί με μείωση της θερμοκρασίας καύσης με ανακυκλοφορία καυσαερίου (Exhaust Gas Recirculation/EGR) και εξάτμιση νερού στην εισαγωγή του κινητήρα. Η λύση αυτή έχει το πλεονέκτημα της μη κατανάλωσης ουρίας και ότι η επιτυγχάνεται εντός του κινητήρα, αλλά

είναι τεχνικά πολύπλοκη καθώς απαιτείται ενδιάμεσος καθαρισμός του καυσαερίου με scrubber προ της ανακυκλοφορίας του.^{82, 83, 84, 85}

Επίσης γίνονται προσπάθειες κατανόησης και μείωσης των εκπομπών αιθάλης (black carbon), που είναι ιδιαίτερα επιβαρυντική καθώς μειώνει τη λευκάγεια (albedo) του χιονιού και του πάγου με την εναπόθεσή της σε αντίστοιχες επιφάνειες.

Καθίσταται, επομένως, σαφές ότι οι προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν οι θαλάσσιες μεταφορές για τη συμμόρφωσή τους με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις είναι πλέον ιδιαίτερα σημαντικές. Ανάλογα με τις προοπτικές ανάπτυξης του κάθε στόλου, των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των πλοίων που τον συνθέτουν και των γεωγραφικών περιοχών δράσης τους, καθώς και των αναμενόμενων περαιτέρω εξελίξεων στη σχετική περιβαλλοντική νομοθεσία, μπορούν να προκριθούν διαφορετικές λύσεις. Αυτές μπορεί να αφορούν retrofit με συσκευές μετεπεξεργασίας καυσαερίου, ανακατασκευή του πλοίου για χρήση αερίου, χρήση ελαφρύτερων καυσίμων ή εναλλακτικών καυσίμων, ηλεκτρική τροφοδότηση από την ακτή κατά τον ελλιμενισμό (cold ironing), ρύθμιση της ταχύτητας του πλοίου, απόσυρση και αντικατάσταση κ.ά.

Η μεγάλη παλέτα διαθέσιμων επιλογών και η αντίστοιχη οικονομική επιβάρυνση που επιφέρουν, καθώς και οι επιχειρησιακοί περιορισμοί που τίθενται, απαιτούν τη συνεργασία των εταιρειών ναυτιλίας με ειδικούς επιστήμονες για την επιλογή των βέλτιστων λύσεων ανά περίπτωση. Οι σχετικές εξελίξεις αναμένονται ενδιαφέρουσες σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό περιβάλλον, όπου η διορατικότητα και ο σωστός σχεδιασμός αποτελούν ανέκαθεν τα όπλα των επιτυχημένων παικτών.^{82, 83, 86}

4.3. Ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των μέτρων

Η Επιτροπή Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος του IMO-Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (MEPC-IMO) αποφάσισε, κατά την 72η συνεδρίασή της, να υιοθετήσει μια αρχική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τα

πλοία, προχωρώντας στην ανάπτυξη ενός οδικού χάρτη τριών σταδίων για τη μείωση των εκπομπών CO₂ της ναυτιλίας.

Στη συνάντηση της επιτροπής (MEPC 73) όπου έλαβε χώρα από 22 έως 26 Οκτώβριου 2018, ο IMO προχώρησε στην ανάλυση αυτών των τριών σταδίων-μέτρων κατατάσσοντας τα ως, 1ον Βραχυπρόθεσμα μετρά, 2ον Μέσο-μακροπρόθεσμα μετρά 3ον Αξιολόγηση του αντίκτυπου στα Κράτη.

Type	Years	Measure	Target	Current status
Short-term	2018-2023	New Energy Efficiency Design Index (EEDI) phases	New vessels	-10% in 2015 -20% in 2020 -30% in 2025
		Operational efficiency measures (e.g. SEEMP, operational efficiency standard)	In-service vessels	SEEMP planning required
		Existing fleet improvement program	In-service vessels	—
		Speed reduction	In-service vessels	—
		Measures to address methane and VOC emissions	Engines and fugitive emissions	—
Mid-term	2023-2030	Alternative low-carbon and zero-carbon fuels implementation program	Fuels/new and in-service vessels	—
		Further operational efficiency measures (e.g. SEEMP, operational efficiency standard)	In-service vessels	SEEMP planning required
		Market-based Measures (MBMs)	In-service vessels/fuels	—
Long-term	2030+	Development and provision of zero-carbon or fossil-free fuels	Fuels/new and in-service vessels	—

Πίνακας 5. Μέτρα υπονηφίων χωρών περιλαμβανομένου του αρχικού σχεδιασμού της στρατηγικής του IMO (https://theicct.org/sites/default/files/publications/IMO_GHG_StrategyFinalPolicyUpdate042318.pdf, 2018)

Επομένως, έχουμε δυο κανονισμούς σε σχέση με την καταγραφή της κατανάλωσης καυσίμου επί του πλοίου. Ο αυστηρά ευρωπαϊκός, μέσω της υποχρεωτικής κοινοτικής οδηγίας (MRV CO₂ Regulation) η οποία ήδη εφαρμόζεται από 1/1/18 και ο υποχρεωτικός Κανονισμός του Συστήματος Συλλογής Δεδομένων (IMO DCS) για την Κατανάλωση Καυσίμου των Πλοίων που ισχύει από 1/1/19. Οι εν λόγω κανονισμοί απαιτούν τη συλλογή δεδομένων, την υποβολή εκθέσεων και την επαλήθευση των εκπομπών των αερίων ρύπων καθώς και της κατανάλωσης καυσίμου από τα πλοία, και αποσκοπούν μακροπρόθεσμα στη

λήψη μέτρων ώστε να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων που παράγονται από τη ναυτιλιακή δραστηριότητα.

Οι ναυτιλιακές εταιρείες πρέπει επομένως να εναρμονιστούν πλήρως και με τους δύο κανονισμούς. Η εναρμόνιση αυτή αποτελεί σημαντική πρόκληση για τις ιδιοκτήτριες και τις διαχειρίστριες εταιρίες πλοίων, προκειμένου να ασχοληθούν με τη μελλοντική βελτίωση της αποδοτικότητας των πλοίων.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζουμε τα μέτρα και την δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂, προκειμένου η παγκόσμια ναυτιλιακή κοινότητα να προσαρμοστεί στη νέα πραγματικότητα που δημιουργούν οι υπάρχοντες και οι επερχόμενοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί :

	Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	Ποσοστό μείωσης CO ₂
	Περιβαλλοντική πολιτική λιμένων (μείωση του χρόνου φορτοεκφόρτωσης και ενέργεια από την ξηρά)	90%

	Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	Ποσοστό μείωσης CO ₂
	Τεχνολογικά μέτρα	
1	Σχήμα γάστρας (βολβοειδής πλώρη)	2-9%
2	Υλικά πλοίου	5%
3	Λίπανση αέρα	10-15%
4	Προπέλες ((Boss Cap Fins, τύπου Kappel)	4-7%
	Αντίθετα περιστρεφόμενες έλικες	6-20%
6	Σύστημα με ανάκτηση θερμότητας	8-10%

	Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	Ποσοστό μείωσης CO ₂
	Λειτουργικά μέτρα	

1	Μείωση της ταχύτητας κατά 10%	19%
2	Βελτίωση της διαγωγής (trim)	0,5-2%
3	Στίλβωση της έλικας	2-5%

	Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	Ποσοστό μείωσης CO ₂
	Εναλλακτικά καύσιμα	
1	Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)	έως 25%
2	Βιοκαύσιμα	80-90%

	Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	Ποσοστό μείωσης CO ₂
	Εναλλακτικές μορφές ενέργειας	
1	Αιολική ενέργεια: Μαλακά πανιά	15-44%
	Σταθερά πανιά	8,5-21%
	Ρότορες (flettner)	19-60%
	Πανιά τύπου χαρταετού	10-35%
	Ανεμογεννήτριες	δεν έχει υπολογισθεί
2	Φωτοβολταϊκά πάνελς	1-3,5%
3	Κυψέλες καυσίμου	80%
4	Πυρηνικοί αντιδραστήρες	έως 100%

	Τρόποι μείωσης εκπομπών CO ₂	Ποσοστό μείωσης CO ₂
	Άλλοι τρόποι	
1	Προσαρμογή βυθισμάτων	0,5-2%

2	Πλόες βάσει καιρικών συνθηκών	0-5%
---	-------------------------------	------

Πίνακας 6. Τρόποι μείωσης εκπομπών CO₂

Ναυπήγηση Νέων Πλοίων	Μείωση CO ₂ ανά τόνο-μίλι
Σχεδιασμός, ταχύτητα & δυναμικότητα	2-50%
Κύτος & υπερ-κατασκευές	2-20%
Συστήματα ενέργειας & πρόωσης	5-15%
Ποιότητα καυσίμων	5-15%
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	1-10%
Σύνολο (συνδυαστικά)	10-50%

Τρόπος Διαχείρισης / Λειτουργίας Πλοίων (υφισταμένων & νέων)	Μείωση CO ₂ ανά τόνο-μίλι
Διαχείριση στόλου	5-50%
Βελτιστοποίηση πλόων	1-10%
Διαχείριση ενέργειας	1-10%
Σύνολο (συνδυαστικά)	10-50%

Πίνακας 7. Μείωση εκπομπών CO₂ με μέτρα κατά τη ναυπήγηση νέων πλοίων και με τρόπους διαχείρισης και λειτουργίας πλοίων

(seors.unfccc.int/applications/seors/attachments/get_attachment)

Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας, υπόσχονται σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, επομένως και των εκπομπών CO₂, αν και το κόστος κατασκευής και συντήρησης ποικίλει, παραδείγματος χάριν για τα μαλακά πανιά, προβλέπεται να είναι της τάξης του 10 ως 15% του συνολικού κόστους, ως επιστροφή για ένα προβλεφθέν 60% εξοικονομήσεων σε καύσιμα. Ταυτόχρονα όμως, προβλέπονται σημαντικές μειώσεις στην φθορά κινητήρα και προπελών, καθαρότερο κόστος συμμόρφωσης και πιθανή μελλοντική εισφορά εμπορίας εκπομπών ρύπων.

Από τις ποικίλες λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα προηγμένα **βιοκαύσιμα** έχουν πολύ υψηλή δυναμική να μεταμορφώσουν τις ενεργειακές επιλογές για τον κλάδο της ναυτιλίας από το 2030 περίπου κι έπειτα. Παρόλα αυτά, οι δυνατότητες των βιοκαυσίμων

στην ναυτιλία θα εξαρτηθούν και από έναν αριθμό παραγόντων όπως η παγκόσμια διαθεσιμότητα πρώτων υλών για την παραγωγή τους. Αναφορικά με την διαθεσιμότητα πρώτων υλών βιοκαυσίμων, οι τεχνολογίες πρώτης γενιάς, ενώ είναι βιώσιμες, είναι απίθανο να προσφέρουν τις κύριες επιλογές για την ναυτιλία με εξαίρεση κοινότητες με μεγάλο πλεόνασμα βιοπηγών και εκτεταμένων αλυσίδων τροφοδότησης για τροφοδοσία ορυκτών καυσίμων. Εξάλλου όπως αναφέρθηκε, δέχτηκαν κριτική διότι επέφεραν επιπτώσεις στις χρήσεις γης και αυξάνουν τις τιμές των τροφίμων.

Η **βιομάζα** αποτελεί μια ελκυστική πηγή ενέργειας εξαιτίας της πληθώρας πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Τα σημαντικότερα οφέλη από τη χρήση των βιοκαυσίμων είναι κυρίως περιβαλλοντικά οικονομικά και κοινωνικά. Καταρχάς η αξιοποίηση της ενέργειας από βιοκαύσιμα προσφέρει τη δυνατότητα περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η καύση βιοκαυσίμων απελευθερώνει περίπου την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα με τα ορυκτά καύσιμα, ωστόσο το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στα δεύτερα είχε δεσμευτεί από τη φωτοσύνθεση εκατομμύρια χρόνια στο παρελθόν. Συνεπώς φαίνεται πως η βιομάζα δεν προσθέτει θετικά στην αύξηση της διακινούμενης ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα μπορούν να θεωρηθούν ασφαλέστερα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα σε περιπτώσεις ατυχημάτων ή διαρροών. Θα ήταν λάθος να θεωρηθεί πως τα βιοκαύσιμα είναι πλήρως ασφαλή, καθώς διαρροή ποσότητάς τους σε υψηλές συγκεντρώσεις θα προκαλέσει ρύπανση νερού και εδάφους, καθώς και πιθανό θάνατο των οργανισμών που ζουν εκεί. Παρόλα αυτά, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα είναι τάξεις μεγέθους μικρότερες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των ορυκτών καυσίμων. Επίσης τα βιοκαύσιμα αποτελούνται από βιομόρια, γεγονός που τα καθιστά σε μεγάλο βαθμό βιοαποικοδομήσιμα. Βακτήρια και άλλοι οργανισμοί που ζουν φυσικά στο έδαφος και στο νερό έχουν τη δυνατότητα να διασπάσουν τα χημικά μόρια που υπάρχουν στα βιοκαύσιμα και να τα αποδομήσουν προς αβλαβή παραπροϊόντα. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως ακόμη και αν υπάρξει κάποια μεγάλη διαρροή, η οποία θα είναι επιβλαβής ως προς τη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής, δε θα παραμείνει στο περιβάλλον ούτε θα συνεχίσει να προκαλεί βλάβες για μεγάλο χρονικό διάστημα.^{69, 70, 71, 87}

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας και κυρίως υγρώνκαυσίμωνμεταφοράς. Βασικό πρόβλημα είναι πως η παραγωγή βιομάζας είναι εποχιακή, ενώ οι απαιτήσεις για ενέργεια συνεχείς. Επίσης αποτελεί μια ιδιαίτερα περίπλοκη και ετερογενή πρώτη ύλη, οι ιδιότητές της μπορεί να ποικίλουν ανάλογα το είδος του φυτού,

την τοποθεσία που έχει αναπτυχθεί, τις συνθήκες καλλιέργειας καθώς και τις συνθήκες θερισμού και αποθήκευσης. Η δυνατότητα, λοιπόν του αυστηρού καθορισμού των χαρακτηριστικών της βιομάζας είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό διεργασιών βιοεπεξεργασίας. Τέλος, η βιομάζα παρουσιάζει μικρότερη πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα πρώτης ύλης για την κάλυψη ίδιων ενεργειακών αναγκών σε σχέση με ένα παραδοσιακό ορυκτό καύσιμο, γεγονός που κάνει την τεχνολογία αυτή να είναι ακόμα υποανάπτυκτη.^{38, 88, 89, 90}

Τέλος πρέπει να αναφερθούν τα σοβαρά περιβαλλοντικά ζητήματα και το θέμα της ασφαλούς πρόσβασης στη τροφή που απορρέουν από μια ενδεχόμενη στροφή σε βιοκαύσιμα για την κάλυψη του παγκόσμιου ενεργειακού ισοζυγίου. Η παραγωγή των βιοκαυσίμων από μόνη της ως διαδικασία απαιτεί την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας συνεισφέροντας έμμεσα στην εκπομπή ρύπων. Επιπλέον, η εντατική καλλιέργεια ενδεχόμενα να οδηγήσει σε υποβάθμιση των βιοτόπων, να απειλήσει σοβαρά τη βιοποικιλότητα και να αποτελέσει αιτία για την αποψίλωση μεγάλων δασικών εκτάσεων, καθώς θα πρέπει να μειωθεί η έκταση της καλλιεργήσιμης γης.

Σε κοινωνικό επίπεδο, η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη τροφίμων για μεγάλη μερίδα πληθυσμού ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, από τη συνεπαγόμενη αύξηση των τιμών σε συγκεκριμένα βασικά είδη διατροφής.^{91, 92, 93, 94, 95}

Υπάρχουν επίσης κάποια τεχνικά θέματα που αφορούν τη χρήση του βιοντίζελ, που είναι μονοαλκυλοεστέρες προερχόμενοι από πρώτες ύλες λιπιδικής φύσεως όπως φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Τα τεχνικά θέματα αφορούν τη μειωμένη σταθερότητά του κατά την αποθήκευση, την ανάπτυξη μικροοργανισμών και φυκιών στη δεξαμενή καυσίμων και την αύξηση των αποθέσεων στον κινητήρα. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με μια προκατεργασία των πρώτων υλών (λιπών και ελαίων) που ονομάζεται υδρογόνωση, η οποία όμως απαιτεί ενέργεια, άρα συνεπάγεται και εκπομπές CO₂. Τα βιοκαύσιμα είναι διαθέσιμα στην αγορά, αν και όχι στις απαιτούμενες ποσότητες για τη ναυτιλία. Έχουν υλοποιηθεί αρκετά προγράμματα δοκιμών για τη χρήση τους σε πλοία.^{96, 97, 98, 106}

Στις **κυψέλες καυσίμου** το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος είναι ακόμη υψηλά. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι το κόστος επένδυσης για κυψέλη καυσίμου είναι 2-3 φορές υψηλότερο από το κόστος μιας συμβατικής μηχανής. Σήμερα, υπάρχουν προγράμματα που δοκιμάζουν τη χρήση κυψελών καυσίμου σε πλοία.

Οι **πυρηνικοί αντιδραστήρες** τέταρτης γενιάς, παρότι υπόσχονται απεριόριστη διαθεσιμότητα ενέργειας σε ένα πλοίο, έχουν πολύ υψηλό κόστος. Ένα επίσης σημαντικό

μειονέκτημα είναι η έκλυση ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Σε περίπτωση ναυαγίου ή βλάβης του αντιδραστήρα η καταστροφή που θα προκληθεί στο περιβάλλον θα είναι ανυπολόγιστη.

Τελικά, παρά την αναγκαιότητα μείωσης του CO₂ και της καθαρής ενέργειας, τα εμπόδια στην υιοθέτηση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας στην ναυτιλία είναι σύνθετα. Η περιορισμένη χρηματοδότηση έρευνας και ανάπτυξης, είναι ένας σημαντικός παράγοντας, μαζί με την ανησυχία των πλοιοκτητών για το ρίσκο κρυμμένων ή πρόσθετων εξόδων καθώς και το κόστος ευκαιρίας των λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου, τα λειτουργικά μέτρα (π.χ. μείωση ταχύτητας, επίδοση ταξιδιού, βελτιώσεις κύριας μηχανής και τεχνολογίες μείωσης της οπισθέλκουσας κτλ.) θεωρούνται από τους πλοιοκτήτες ως οι πιο εύκολα υλοποιήσιμες λύσεις.

4.4. Οικονομικά εργαλεία για την μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων από τη ναυτιλία

Πέρα από τις τεχνολογικές αλλαγές και τις βελτιώσεις στη λειτουργία των πλοίων, ο IMO θεωρεί ότι είναι απαραίτητο να ληφθούν και οικονομικά μέτρα με στόχο να στραφεί η ναυτιλιακή βιομηχανία στην υιοθέτηση φιλοπεριβαλλοντικών τεχνολογικών και λειτουργικών λύσεων. Τα προτεινόμενα οικονομικά μέτρα χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: σε συστήματα εισφορών όσων ρυπαίνουν και σε συστήματα εμπορίας ρύπων (Emissions Trading System - ETS). Για την πρώτη κατηγορία, σε κάθε αγοροπωλησία καυσίμων πλοίων θα πληρώνεται και ένα τέλος (από τον προμηθευτή καυσίμων ή τον πλοιοκτήτη), το οποίο θα χρηματοδοτεί ένα ταμείο, του οποίου τα έσοδα θα διατίθενται σε δράσεις καταπολέμησης του φαινομένου του θερμοκηπίου, κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Μια παραλλαγή της πρότασης προβλέπει μέρος των εσόδων του ταμείου να επιστρέφεται σε πλοία με καλή ενεργειακή απόδοση, που θα αποδεικνύεται από τον δείκτη

ΕΕΔΙ και τον δείκτη ΕΕΟΙ. Όσον αφορά το προτεινόμενο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών για τη ναυτιλία, αυτό θα λειτουργεί ως εξής: Κατ' αρχάς θεσπίζεται ένα άνω όριο συνολικών εκπομπών CO₂ από τον τομέα της ναυτιλίας (σε τόνους), το οποίο μπορεί να μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Κατόπιν εκδίδεται ένας αριθμός αδειών εκπομπών (κάθε άδεια μπορεί να αντιστοιχεί σε εκπομπές 1 τόνου CO₂), που αντιστοιχεί σε ποσότητα CO₂ ίση με το άνω όριο που έχει ήδη τεθεί. Οι άδειες πωλούνται μέσω δημοπράτησης στα πλοία, ώστε να καλύπτουν τις εκπομπές του καθενός. Αν κάποιο πλοίο καταφέρει να μειώσει τις εκπομπές του με κάποιο τεχνολογικό ή λειτουργικό μέτρο που θα λάβει, μπορεί να πωλήσει τις επιπλέον άδειες.

Αντίθετα, ένα πλοίο που αυξάνει τις εκπομπές του θα χρειαστεί να αγοράσει επιπλέον άδειες. Με τον τρόπο αυτό το συνολικό ποσό της ρύπανσης από τη ναυτιλία είναι το επιθυμητό, αλλά κατανέμεται στις διάφορες κατηγορίες πλοίων ανάλογα με την τεχνολογική και οικονομική δυνατότητα που υπάρχει για μείωση των εκπομπών από αυτά. Τα έσοδα από τη δημοπράτηση των αδειών εκπομπών προτείνεται να χρηματοδοτήσουν ένα ταμείο που θα υποστηρίζει δράσεις στις αναπτυσσόμενες χώρες.⁵⁴

4.5. Μελλοντικά μέτρα και παρεμβάσεις

Η ναυτιλία είναι μέρος της λύσης του προβλήματος των αυξημένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος, όπως τόνισε σε μία νέα παρέμβασή του το Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο (ICS) με την ευκαιρία της διεθνούς συνόδου για την κλιματική αλλαγή που πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι (COP21) στο διάστημα 30 Νοεμβρίου – 11 Δεκεμβρίου 2015.

Το ICS σε ειδική έκδοση αναφέρει τι έχει κάνει μέχρι τώρα η ναυτιλία για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος από τα πλοία, ποιους στόχους έχει καθορίσει μέχρι το 2050 και τι μέτρα έχει λάβει για την επίτευξη του στόχου αυτού και υπογραμμίζει ότι οποιοδήποτε μέτρο μείωσης εκπομπών αερίων μπορεί να είναι αποτελεσματικό μόνο εάν υιοθετηθεί στο πλαίσιο του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού.

Η παρέμβαση αυτή του IMO γίνεται μετά και την απόφαση του Συμβουλίου των Υπουργών Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία καλεί εν όψει του COP21 τον IMO και τον ICAO (φορέας αεροπορικών εταιρειών) «να ρυθμίσουν το συντομότερο δυνατόν με αποτελεσματικό τρόπο και σύμφωνα με τον στόχο της μη υπέρβασης των 2°C τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις διεθνείς θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές και την παραγωγή και κατανάλωση υδροφθορανθράκων (HFC) αντιστοίχως».

Σημειώνεται ότι η Ε.Ε. επικαλείται σχετικές μελέτες, σύμφωνα με τις οποίες για να μη σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη περισσότερο από 2°C, «οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων ρύπων θερμοκηπίου θα πρέπει να φτάσουν στις υψηλότερες τιμές τους έως το 2020 το αργότερο, να ελαττωθούν κατά 50% τουλάχιστον έως το 2050 σε σύγκριση με το 1990 και να είναι σχεδόν μηδενικές ή και χαμηλότερες έως το 2100».

Ήδη η διεθνής ναυτιλία έχει μειώσει τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακος από τα πλοία κατά 10% το διάστημα 2007 μέχρι και 2012 παρά το γεγονός ότι την ίδια περίοδο έχει αυξηθεί σημαντικά το μεταφορικό έργο.

Σημειώνεται ότι τα πλοία μεταφέρουν περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου, ενώ εκπέμπουν μόλις το 2,2% των ρύπων CO₂ έναντι μάλιστα 2,8% το 2007, σύμφωνα με σχετική μελέτη του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO).

Παράλληλα με την κατασκευή μεγαλύτερων πλοίων, αποτελεσματικότερων κινητήρων και πιο έξυπνη διαχείριση της λειτουργίας του πλοίου και της ταχύτητάς του, η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι σίγουρη ότι θα επιτύχει τον στόχο για μείωση κατά 50% των εκπομπών CO₂ μέχρι το 2050, περίοδο κατά την οποία ο παγκόσμιος στόλος θα περιλαμβάνει πλοία που θα χρησιμοποιούν καθαρότερα καύσιμα, όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

Πάντως, το ICS αναγνωρίζει ότι οι κυβερνήσεις έχουν δικαίωμα να περιμένουν κάτι παραπάνω από τη ναυτιλία, ωστόσο σπεύδει να υπογραμμίσει τον βαρύνοντα ρόλο που έχει ο IMO για την εξέταση επιπλέον στόχων. Υπενθυμίζει, μάλιστα, ότι ο IMO έχει ήδη θέσει ως υποχρεωτικό στόχο όλα τα πλοία που θα κατασκευασθούν από το 2025 και στη συνέχεια, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ανήκουν στις αναπτυσσόμενες χώρες, να είναι 30% πιο αποτελεσματικά από τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί τη δεκαετία του 2000. Αυτό αφορά πάνω από το 95% του παγκόσμιου εμπορικού στόλου, σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς που τέθηκαν σε ισχύ το 2013 σε όλο τον κόσμο.

Μάλιστα, το ICS τονίζει ότι ο IMO είναι το μόνο διεθνές φόρουμ που μπορεί να εξασφαλίσει ότι το σύνολο του παγκόσμιου στόλου θα συνεχίσει να προσφέρει περαιτέρω

μείωση των εκπομπών CO₂, ανεξαρτήτως της σημαίας του πλοίου, σεβόμενο το πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών - Σύμβαση για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC).

Επίσης, όπως εξηγεί το ICS, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στη στεριά, η μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 10% στη ναυτιλία επιτεύχθηκε από το 2007 σε παγκόσμιο επίπεδο και όχι μόνο σε πλοία που είναι νηολογημένα σε πλουσιότερες χώρες, οι οποίες είναι οι μόνες υποχρεωμένες από τη σύμβαση του Κιότο να μειώσουν τις εκπομπές αερίων ρύπων.

Στη ναυτιλία η μείωση αφορά και τις ανεπτυγμένες και τις υπό ανάπτυξη χώρες. Ο IMO έχει επιτύχει πολλά σε αυτό τον τομέα και είναι ο μόνος οργανισμός που μπορεί να προσφέρει ακόμη περισσότερα, αφού απέδειξε ήδη την αποτελεσματικότητά του, καθώς το σύνολο του παγκόσμιου στόλου είναι περίπου 20% πιο «πράσινο» από ό,τι το 2005, δήλωσε ο κ. Peter Hinchliffe, γενικός διευθυντής του ICS.

Στα επιπλέον μέτρα περιλαμβάνεται η συλλογή στοιχείων για τις εκπομπές CO₂ από όλα τα πλοία, η οποία έχει γίνει υποχρεωτική από το 2018.

Επίσης, στο πλαίσιο του IMO συζητείται η προσφυγή σε μέτρα που στηρίζονται στις αρχές της αγοράς (Market Based Measure-MBM). Στην περίπτωση αυτή, η πραγματική πρόκληση θα είναι να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός που μπορεί να συμφιλιώσει τη ζωτική αρχή ότι οι ίδιοι κανόνες πρέπει να ισχύουν για όλα τα πλοία, ανεξαρτήτως σημαίας, με την εξίσου σημαντική αρχή της UNFCCC περί «κοινής αλλά διαφοροποιημένης ευθύνης» (CBDR).

Το μοναδικό πλαίσιο για την υλοποίηση ενός τέτοιου μέτρου είναι του IMO τονίζει το ICS, σημειώνοντας ότι ο Διεθνής Οργανισμός είναι σε θέση να ρυθμίζει τις εκπομπές CO₂ από τα πλοία σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σε κάθε περίπτωση, εάν τα κράτη-μέλη του IMO θα πρέπει να αποφασίσουν να υιοθετήσουν για τη ναυτιλία μέτρα που βασίζονται στην αγορά, τότε το καλύτερο είναι ένας παγκόσμιος φόρος επί των καυσίμων, αντί για το μέτρο της εμπορίας ρύπων και άλλες τέτοιου είδους πολύπλοκες λύσεις που χρησιμοποιούν αυθαίρετες και θεωρητικές μετρήσεις, οι οποίες θα στρεβλώσουν τη ναυτιλιακή αγορά.

Η ναυτιλία είναι μέρος της λύσης τονίζει το ICS, καθώς είναι ήδη ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς μεταξύ όλων που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακος. Αν επιπλέον φορτίο μπορεί να μετακινηθεί από τη θάλασσα, αντί με λιγότερο αποδοτικά μέσα μεταφοράς, αυτό θα οδηγήσει πράγματι σε μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ στον κόσμο.

Ο πρόεδρος της EuropeanCommunityShipowners' Associations (ECSA) Πάνος Λασκαρίδης υπογράμμισε ότι η Ecsa κινείται δραστήρια μαζί με τις άλλες διεθνείς

ναυτιλιακές οργανώσεις, πάντα στο πλαίσιο του Διεθνούς Ναυτικού Επιμελητηρίου (ICS), προκειμένου να υλοποιηθεί η απόφαση που έλαβε ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) για τη μείωση των αερίων ρύπων του θερμοκηπίου. Μάλιστα έχει οργανώσει σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ένα σεμινάριο προκειμένου να συζητηθεί πιο διεξοδικά η ιστορική απόφαση του IMO, που προβλέπει μεταξύ άλλων την περαιτέρω βελτίωση του σχεδιαστικού δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EEDI) για τα νεότευκτα πλοία, τη μείωση των εκπομπών CO₂ ανά μεταφορικό έργο τουλάχιστον κατά 40% έως το 2030, με συνέχιση των προσπαθειών προς το 70% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008 και τη μείωση των συνολικών ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008, ενώ παράλληλα θα καταβληθούν προσπάθειες για την πλήρη κατάργησή τους σταδιακά, όπως περιγράφεται στη συμφωνία του Παρισιού για το Κλίμα.

Σε ειδικό σεμινάριο στις Βρυξέλλες, τον Μάρτιο του 2019, η Ένωση των ευρωπαϊκών εφοπλιστικών ενώσεων, ECSA παρουσίασε έξι στρατηγικές, μεταξύ των οποίων και για το περιβάλλον και το κλίμα. Στον περιβαλλοντικό τομέα η ECSA στηρίζει τη σταδιακή απεξάρτηση της ναυτιλίας από τον άνθρακα και επιδιώκει την ενίσχυση της έρευνας και ανάπτυξης για εναλλακτικά καύσιμα και τη χρηματοδότηση από την Ε.Ε. έργων που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη θάλασσα.

Μια σημαντική απόφαση, που αρκετοί τη χαρακτηρίζουν «σταθμό» για την προστασία του περιβάλλοντος, έλαβε η Επιτροπή Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) στην τελευταία σύνοδό της που πραγματοποιήθηκε στο Λονδίνο τον Μάιο του 2019.

Έπειτα από σκληρές διαπραγματεύσεις, που κράτησαν σχεδόν δύο εβδομάδες, η επιτροπή υιοθέτησε μια αρχική στρατηγική που προβλέπει τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα πλοία (αέρια θερμοκηπίου GHG) κατά 50% μέχρι το 2050 σε σύγκριση με το 2008 και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 40% μέχρι το 2030, καταβάλλοντας προσπάθειες προς το 70% έως το 2050.

4.6. Τα πλοία στα επόμενα τριάντα χρόνια

Μετά την δέσμευση της ναυτιλίας να μειώσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, κατά τουλάχιστον 50% μέχρι το 2050, άνοιξε επίσημα ο δρόμος για νέες τεχνολογίες που θα μπορέσουν να κάνουν πράσινο τον παγκόσμιο ναυτιλιακό στόλο των 50.000.

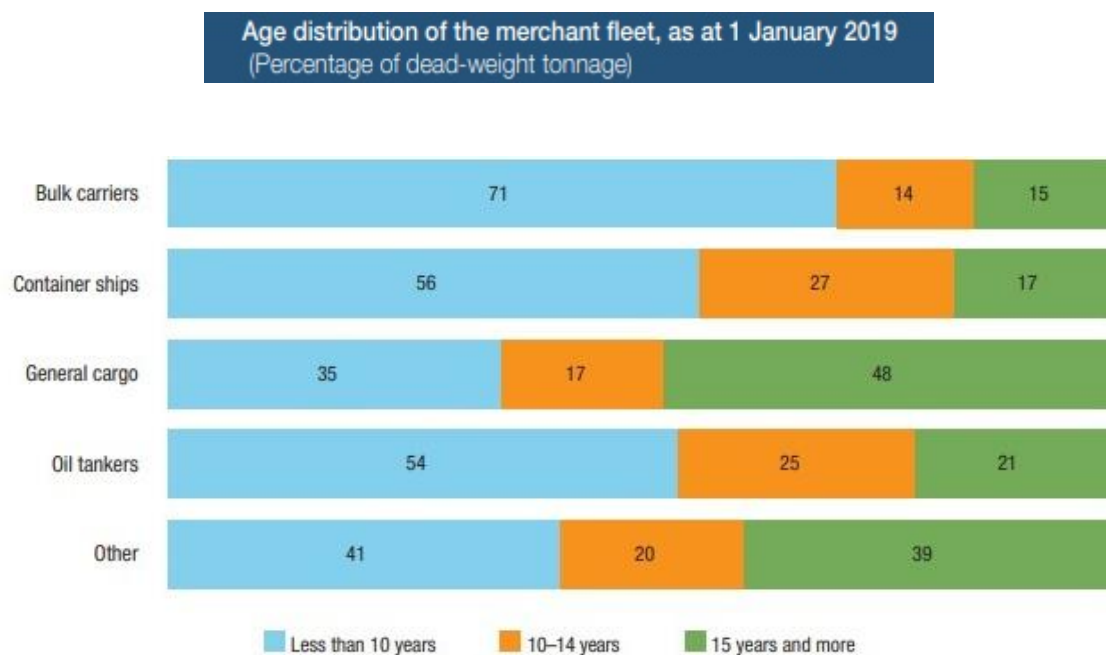
Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις επιλογές που συζητούνται. Η διεθνής ναυτιλία αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 2% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, περίπου το ίδιο με τις αερομεταφορές.

Μια έκθεση που δημοσιεύθηκε από το Διεθνές Φόρουμ Μεταφορών (ITF), που ανήκει στον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), διαπίστωσε ότι η ναυτιλία θα μπορούσε να επιτύχει μέχρι το 2035 μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 95%, με μέγιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων σήμερα τεχνολογιών.

Λόγω της ευρείας διαθεσιμότητας φθηνών (και ρυπογόνων) καυσίμων, η ναυτιλία ήταν παραδοσιακά σπάταλη. Τα περισσότερα εμπορικά πλοία είναι κατασκευασμένα από βαρύ χάλυβα και όχι ελαφρύτερο αλουμίνιο και δεν ασχολούνται με προφανή μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας όπως η επίστρωση του κύτους των πλοίων για μείωση της τριβής ή ανάκτηση θερμότητας.

Ο πιο λεπτός σχεδιασμός των πλοίων θα μπορούσε να μειώσει τη χρήση καυσίμων - και κατά συνέπεια τις εκπομπές ρύπων - κατά 10-15% σε χαμηλές ταχύτητες και έως 25% σε υψηλές ταχύτητες, λέει η ITF.

Αλλά η αντικατάσταση του υφιστάμενου στόλου απαιτεί χρόνο. Η μέση ηλικία του σημερινού στόλου της ναυτιλίας είναι 25 χρόνια. Οι κανόνες ενεργειακής απόδοσης για τα νέα πλοία, οι οποίοι θεσπίστηκαν από τον ΔΝΟ το 2013, θα τεθούν σε πλήρη ισχύ από το 2030, πράγμα που σημαίνει ότι οποιαδήποτε αλλαγή στο σχεδιασμό των πλοίων δεν θα είχε εφαρμογή για τα περισσότερα πλοία μέχρι τα μέσα του αιώνα ή και ακόμη αργότερα.



Σχήμα 23. Κατανομή ηλικίας του εμπορικού στόλου τον Ιανουάριο του 2019
(https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf, 2018)

Όμως νέα σχεδίαση και καλύτερα καύσιμα θα δημιουργήσουν τα μελλοντικά νέα είδη πλοίων. Και η σχεδίαση έχει αρχίσει ήδη.

Το Aquarius Ecoship, ένα φορτηγό πλοίο που κατασκευάστηκε από μια ιαπωνική εταιρεία με την επωνυμία Eco Marine Power, τροφοδοτείται από μια συστοιχία άκαμπτων

πανιών ηλιακών συλλεκτών. Αυτό το σύστημα θα μπορούσε να τροφοδοτήσει πετρελαιοφόρα, κρουαζιερόπλοια και πολλά άλλα είδη πλοίων.

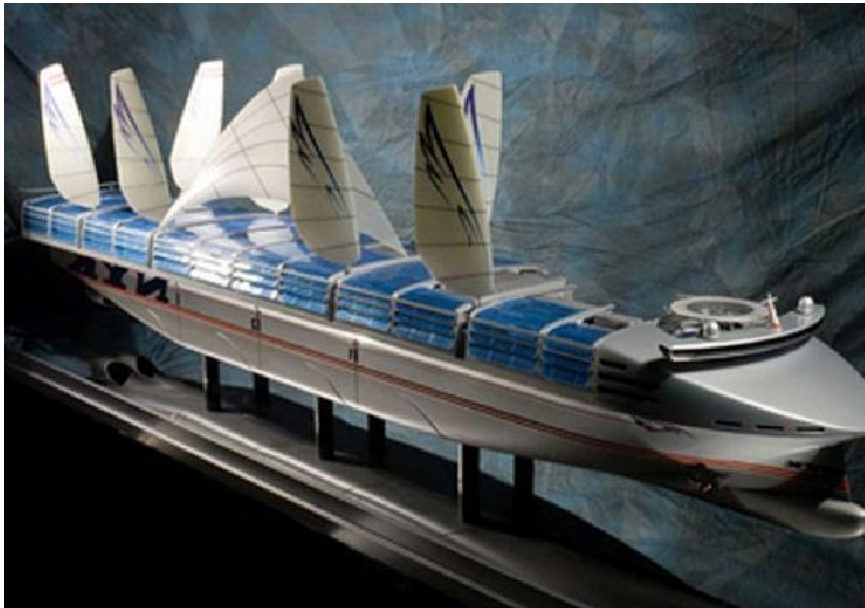
Όπως παραδέχονται οι σχεδιαστές, δεν εξαλείφεται πλήρως η ανάγκη για συμβατικά καύσιμα: Ακόμη και με μεγάλες μπαταρίες για την αποθήκευση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, θα χρειαζόταν εφεδρεία συμβατικών καυσίμων. Αλλά θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές κατά 40%.



Εικόνα17. Aquarius Ecoship

Η Ιαπωνική ναυτιλιακή NYK υπερηφανεύεται ότι ο σχεδιασμός της για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μήκους 350 μέτρων, το Super Eco Ship 2030, θα

χρησιμοποιεί LNG, υγροποιημένο φυσικό αέριο, για να παράγει υδρογόνο και να λειτουργήσει κυψέλες καυσίμου.



Εικόνα 18. Super Eco Ship

Υποστηριζόμενο από ηλιακούς συλλέκτες που καλύπτουν ολόκληρο το πλοίο και 4.000 τετραγωνικά μέτρα πανιών για να αξιοποιούν τον άνεμο, θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές κατά 70%.

Υπάρχει και μια επιλογή εντελώς μηδενικού άνθρακα, από τους μηχανικούς της Σκανδιναβικής ναυτιλιακής Wallenius Wilhelmsen οι οποίοι σχεδίασαν το E / S Orcelle, ένα ελαφρύ φορτηγό πλοίο σχεδιασμένο να μεταφέρει μέχρι 10.000 αυτοκίνητα (ηλεκτρικά, φυσικά) σε οκτώ καταστρώματα.

Τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό, κατά το ήμισυ προερχόμενο άμεσα από τον αιολική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια και την ενέργεια των κυμάτων, και κατά το άλλο μισό από τη

μετατροπή μέρους της εν λόγω ενέργειας σε υδρογόνο για να τροφοδοτήσει κυψέλες καυσίμου. Η εταιρεία εκτιμά ότι το πλοίο θα μπορούσε να καθελκυστεί μέχρι το 2025.⁹⁹



Εικόνα 19.E / S Orcelle

Συμπεράσματα

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου οδήγησε στην αποδοχή της αναγκαιότητας, να γίνουν τα πλοία περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον. Η σύγχρονη τεχνολογία σε συνδυασμό με την ευαισθητοποίηση, δημιουργούν ένα σύγχρονο νομοθετικό πλαίσιο και μηχανισμούς ελέγχου που δίνουν τη δυνατότητα να βελτιώσουμε τη ρύπανση από ναυτιλιακές δραστηριότητες.

Από τον Ιανουάριο 2013 μέσω παραρτήματος της MARPOL, εισάγονται μέτρα που έχουν στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ναυτιλίας, ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές CO₂. Εισάγεται ο Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ο οποίος αφορά κυρίως τεχνικά μέτρα και είναι υποχρεωτικός για τα νέα πλοία.

Η εμπορική ναυτιλία καλείται να μειώσει τις εκπομπές ρύπων κατά 50% μέχρι το 2050, σύμφωνα με τους νέους κανόνες της Διεθνούς Οργάνωσης Ναυτιλίας (IMO) και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 40% μέχρι το 2030, καταβάλλοντας προσπάθειες προς το 70% έως το 2050. Η IMO έχει θέσει ως υποχρεωτικό στόχο όλα τα πλοία που θα κατασκευασθούν από το 2025 και στη συνέχεια, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που ανήκουν στις αναπτυσσόμενες χώρες, να είναι 30% πιο αποτελεσματικά από τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί τη δεκαετία του 2000. Η ECSA (CommunityShipowners' Associations) στηρίζει τη σταδιακή απεξάρτηση της ναυτιλίας από τον άνθρακα και επιδιώκει την ενίσχυση της έρευνας και ανάπτυξης για εναλλακτικά καύσιμα.

Ήδη η διεθνής ναυτιλία έχει μειώσει τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακος από τα πλοία κατά 10% το διάστημα 2007 μέχρι και 2012 παρά το γεγονός ότι την ίδια περίοδο έχει αυξηθεί σημαντικά το μεταφορικό έργο. Εξάλλου, οι περισσότερες ναυτιλιακές εταιρείες υποστηρίζουν μέτρα για τη μείωση εκπομπών CO₂, που προβλέπουν βελτιωτικές παρεμβάσεις στα πλοία, μείωση της ταχύτητας, εναλλακτικά καύσιμα και μορφές ενέργειας. Όλο και περισσότερα ναυπηγία έχουν παρουσιάσει σχέδια ή έχουν ήδη κατασκευάσει πειραματικά πλοία, τα οποία θα χρησιμοποιούν ως μέσο πρόωσης τους νέες τεχνολογίας κινητήρες και καύσιμα, πολύ πιο φιλικά προς το περιβάλλον (eco-friendly) ή θα χρησιμοποιούν ολικά ή μερικά τεχνολογίες ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Τα σημαντικότερα εμπόδια σχετικά με την υιοθέτηση των οικολογικών «πράσινων» πλοίων είναι το αρχικό κόστος ναυπήγησης, το ετήσιο λειτουργικό κόστος συντήρησης, η έλλειψη των κατάλληλων υποδομών των πλοίων και η παγκόσμια οικονομική κρίση.

Η μετάβαση σε μια καθαρή ενεργειακά ναυτιλία, απαιτεί μια σημαντική μετατόπιση από τη χρήση ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές, προς τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών σχεδιαστικών λύσεων και τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα οικολογικά πλοία, τα λεγόμενα «eco-friendly» ή «green ships» θα αποδώσουν στο άμεσο μέλλον. Και αυτό γιατί γίνονται πιο ελκυστικά στους ναυλωτές λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης καυσίμων, το λειτουργικό κόστος μειώνεται συνεχώς, ενώ δίνουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης επιχειρηματικής ευελιξίας. Επομένως τα νεότευκτα, οικολογικά και σύγχρονα πλοία καθίστανται πιο ανταγωνιστικά.

Η ναυτιλία είναι ήδη ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μεταφοράς μεταξύ όλων που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακος. Όταν επεκταθεί η χρήση των εναλλακτικών καυσίμων ή των εναλλακτικών μορφών ενέργειας, ο τρόπος αυτός μεταφοράς θα γίνει ακόμα πιο αποτελεσματικός και φιλικός προς το περιβάλλον. Με τελικό σκοπό, αν επιπλέον φορτίο μπορεί να μετακινηθεί από τη θάλασσα αντί με λιγότερο αποδοτικά μέσα μεταφοράς, αυτό να οδηγήσει πράγματι σε μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ στον κόσμο.

BIBLIOGRAFIJA

1. O.G. Sorokhtin Leonid F. Khilyuk Ph.D. G.V. Chilingarian, *Global Warming and Global Cooling*, Volume 5, 1st Edition, **2007**.
2. Voiland, A., *Aerosols: Tiny Particles, Big Impact: Feature Articles*. **2010**.
3. Fuglestad, J.; Berntsen, T.; Myhre, G.; Rypdal, K.; Skeie, R. B., Climate forcing from the transport sectors. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2008**, *105* (2), 454-458.
4. Rajšić, S. F.; Tasić, M. D.; Novaković, V. T.; Tomašević, M. N., First assessment of the PM 10 and PM 2.5 particulate level in the ambient air of Belgrade city. *Environmental Science and Pollution Research* **2004**, *11* (3), 158-164.
5. Mage, D.; Wilson, W.; Hasselblad, V.; Grant, L., Assessment of human exposure to ambient particulate matter. *Journal of the Air & Waste Management Association* **1999**, *49* (11), 1280-1291.
6. Samet, J. M.; Zeger, S. L.; Dominici, F.; Curriero, F.; Coursac, I.; Dockery, D. W.; Schwartz, J.; Zanobetti, A., The national morbidity, mortality, and air pollution study. *Part II: morbidity and mortality from air pollution in the United States Res Rep Health Eff Inst* **2000**, *94* (pt 2), 5-79.
7. Christiansen, M.; Fagerholt, K., Maritime inventory routing problems maritime inventory routing problems. In *Encyclopedia of optimization*, Springer: 2008; pp 1947-1955.
8. Guerreiro, C.; Ortiz, A. G.; de Leeuw, F.; Viana, M.; Horálek, J., *Air Quality in Europe-2016 Report*. Publications Office of the European Union: 2016.
9. Johansson, L.; Jalkanen, J.-P.; Kukkonen, J., Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution. *Atmospheric Environment* **2017**, *167*, 403-415.
10. Cullinane, K., Chapter 4 An International Dimension: Shipping. In *Transport and Climate Change*, Emerald Group Publishing Limited: 2012; pp 65-104.
11. Endresen, Ø.; Sørgård, E.; Sundet, J. K.; Dalsøren, S. B.; Isaksen, I. S.; Berglen, T. F.; Gravid, G., Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2003**, *108* (D17).
12. Buhaug, Ø.; Corbett, J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D.; Lee, D.; Lindstad, H.; Markowska, A., Second imo ghg study 2009. **2009**.
13. Clark, R. B.; Frid, C.; Attrill, M., *Marine pollution*. Clarendon Press Oxford: 1989; Vol. 4
14. Skjølvik, K.; Andersen, A.; Corbett, J.; Skjelvik, J., Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships (MEPC 45/8 Report to International Maritime Organization on the outcome of the IMO Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships), MARINTEK Sintef Group. *MARINTEK Sintef Group, Trondheim, Norway* **2000**.
15. Buhaug, Ø.; Corbett, J.; Winebrake, J.; Mjelde, A.; Lee, D.; Hanayama, S.; Lindstad, H.; Pålsson, C.; Eyring, V.; Lee, D., Second IMO GHG study 2009 update of the 2000 GHG study: final report covering phrase 1 and phrase 2. *London, IMO* **2009**.

16. Smith, T.; Jalkanen, J.; Anderson, B.; Corbett, J.; Faber, J.; Hanayama, S.; O'Keefe, E.; Parker, S.; Johanasson, L.; Aldous, L., Third IMO GHG Study. **2015**.
17. Third, I., GHG study. London: International Maritime Organization (IMO) **2014**.
18. UNEP, U., Bridging the Gap Report. *United Nations Environment Programme (UNEP)* **2011**.
19. Duncan, R. N., The 1972 Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes at Sea. *J. Mar. L. & Com.* **1973**, 5, 299.
20. Κυρτάτος, Ν. (2013, Ιούνιος-Ιούλιος). Εξελίξεις στην τεχνολογία ναυτικών κινητήρων. *Ναυτικά Χρονικά* , σσ. 60-67.
21. Mishra, G. S.; Yeh, S., Inclusion of marine bunker fuels in a national LCFS scheme. A draft report prepared for the National Low Carbon Fuel Standard Project. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis **2011**.
22. Gary, J. H.; Handwerk, G. E.; Kaiser, M. J., *Petroleum refining: technology and economics*. CRC press: 2007.
23. ISO 8217:2017 Petroleum products-Fuels (class F)-Specifications of marine fuels
24. Στούρνας, Σ.; Λόης, Ε.; Ζαννίκος, Φ.; Καρώνης, ., Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών. Αθήνα: 1993.
25. Tyrovolas, T.; Dodos, G.; Kalligeros, S.; Zannikos, F., The Introduction of Biofuels in Marine Sector. **2020**.
26. Alisafaki, A. G.; Papanikolaou, A. D., On the Energy Efficiency Design Index of Ro-Ro passenger and Ro-Ro cargo ships. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment* **2017**, 231 (1), 19-30.
27. Vermeire, M. B., Everything you need to know about marine fuels. *Published by Chevron Global Marine Products* **2012**.
28. 記載なし, Practical Use of LNG Fuelled Ships and ClassNK Activities (Technical Essays). *ClassNK magazine* **2012**, (64), 10-12.
29. Fantini, M., Biomass Availability, Potential and Characteristics. In *Biorefineries*, Springer: 2017; pp 21-54.
30. Chen, H., Chemical composition and structure of natural lignocellulose. In *Biotechnology of lignocellulose*, Springer: 2014; pp 25-71.
31. Naik, S. N.; Goud, V. V.; Rout, P. K.; Dalai, A. K., Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews* **2010**, 14 (2), 578-597.
32. McKendry, P., Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology* **2002**, 83 (1), 37-46.
33. Williams, A.; Pourkashanian, M.; Jones, J., Combustion of pulverised coal and biomass. *Progress in energy and combustion science* **2001**, 27 (6), 587-610.
34. Klass, D. L., Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals. Elsevier: 1998.
35. Sims, R. E.; Mabee, W.; Saddler, J. N.; Taylor, M., An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource technology* **2010**, 101 (6), 1570-1580.

36. Lourinho, G.; Brito, P., Advanced biodiesel production technologies: novel developments. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **2015**, *14* (2), 287-316.
37. Da Porto, C.; Natolino, A.; Decorti, D., Effect of ultrasound pre-treatment of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed on supercritical CO₂ extraction of oil. *Journal of food science and technology* **2015**, (3), 1748-1753.
38. Farooq, M.; Ramli, A.; Naeem, A., Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones. *Renewable Energy* **2015**, *76*, 362-368.
39. Σταματόπουλος, Δημήτρης Σ. Σταματόπουλος & Βασίλης Δ., *Καύσιμα Ναυτιλίας*, **2008**.
40. Diesel, M., Emission control, MAN B&W Two-stroke Diesel Engines. *Copenhagen, Denmark* **2004**.
41. Bosch, P.; Coenen, P.; Fridell, E.; Åström, S.; Palmer, T.; Holland, M., Cost benefit analysis to support the impact assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the sulphur content of certain liquid fuels. *AEA Report to European Commission, Didcot* **2009**.
42. Notteboom, T.; Delhay, E.; Vanherle, K., Analysis of the consequences of low sulphur fuel requirements. *ITMMA–Universiteit Antwerpen Transport&Mobility* **2010**.
43. VI, R. M. A., Regulations for the prevention of air pollution from ships. *Resolution MEPC* **2009**, *176*, 58.
44. Risk, S. A., Air pollution from ships. *Sea* **2004**, *6* (8,000), 10,000.
45. Association, I. M., International shipping facts and Figures–Information resources on trade, safety, security, and the environment. *London: International Maritime Association* **2011**.
46. Olmer, N.; Comer, B.; Roy, B.; Mao, X.; Rutherford, D., *Greenhouse Gas Emissions From Global Shipping, 2013–2015*. **2017**
47. Corbett, J. J.; Fischbeck, P. S.; Pandis, S. N., Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **1999**, *104* (D3), 3457-3470.
48. Reynolds, G., Operational pollution from shipping: Sources, environmental impacts and global contribution. David Pinder and Brian Slack. *Shipping and Ports in the Twenty-First Century: Globalization, Technical Change and the Environment*. Routledge, Taylor & Francis Group **2004**, 233-256.
49. Agrawal, H.; Malloy, Q. G.; Welch, W. A.; Miller, J. W.; Cocker III, D. R., In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel. *Atmospheric Environment* **2008**, *42* (21), 5504-5510.
50. Guerreiro, C.; Ortiz, A. G.; de Leeuw, F.; Viana, M.; Horálek, J., *Air Quality in Europe-2016 Report*. Publications Office of the European Union: 2016.
51. Tan, A. K.-J., *Vessel-source marine pollution: the law and politics of international regulation*. Cambridge University Press: 2005; Vol. 45
52. Buhaug, Ø.; Corbett, J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D.; Lee, D.; Lindstad, H.; Markowska, A., Second imo ghg study. *International Maritime Organization (IMO), London, UK* **2009**, 24.

53. MEPC (2014). Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. Resolution MEPC.245(66), MEPC 66/21 Annex 5
54. Bazari, Z.; Longva, T., Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping. *International Maritime Organization* **2011**.
55. Nelson, P. In *Prevention of Air Pollution from Ships, Coasts & Ports 1999: Challenges and Directions for the New Century*; Proceedings of the 14th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 7th Australasian Port and Harbour Conference, National Committee on Coastal and Ocean Engineering, Institution of Engineers, Australia: 1999; p 424.
56. Grothues-Spork, H., BILGE VORTEX CONTROL DEVICES AND THEIR BENEFITS IN PROPULSION. **1988**.
57. Corbett, J. J.; Fischbeck, P., Emissions from ships. *Science* **1997**, 278 (5339), 823-824.
58. VI, A., 2012 guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP).
59. UK Parliament (2013). "Sulphur emissions by ships - Transport Committee Contents"
60. Prevention of Air Pollution from Ships, Revised MARPOL Annex VI, International Maritime Organization (IMO).
61. Marpol 73/78, NOx Technical Code, International Maritime Organization (IMO).
62. Brussels, 15.7.2011 , COM(2011) 439 final 2011/0190 (COD), «DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 1999/32/EC as regards the sulphur content of marine fuels».
63. Deltamarin (2011). Study on Tests and Trials of the Energy Efficiency Design Index as Developed by the IMO. Report for Project 6543, Raisio (Finland): Deltamarin.
64. Lockley, P.; Jarabo-Martin, A.; Sharma, K.; Hill, J., Ship efficiency: The guide. *Fathom* **2011**.
65. Waide, P.; Brunner, C. U., Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. **2011**.
66. Hansen, J. F., Modelling and control of marine power systems. Department of Marine Technology Norwegian University of Science and Technology **2000**.
67. Lindstad, H.; Asbjørnslett, B. E.; Strømman, A. H., Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds. *Energy Policy* **2011**, 39 (6), 3456-3464.
68. Register, L., Understanding exhaust gas treatment systems. *Guidance for shipowners and operators* **2012**.
69. Edwards, R.; Mahieu, V.; Griesemann, J.-C.; Larivé, J.-F.; Rickeard, D. J. *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*; 0148-7191; SAE Technical Paper: 2004.
70. An, E., strategy for Biofuels. Communication from the Commission. Brussels: Commission of the European Communities. COM **2006**, 34.
71. Fargione, J.; Hill, J.; Tilman, D.; Polasky, S.; Hawthorne, P., Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* **2008**, 319 (5867), 1235-1238.

72. Lee, J., Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of biotechnology* **1997**, *56* (1), 1-24.
73. Atmanli, A., Comparative analyses of diesel–waste oil biodiesel and propanol, n-butanol or 1-pentanol blends in a diesel engine. *Fuel* **2016**, *176*, 209-215.
74. Moirangthem, K.; Baxter, D., Alternative Fuels for marine and inland waterways. *European Commission* **2016**.
75. Smith, T.; Newton, P.; Winn, G.; Grech La Rosa, A., Analysis techniques for evaluating the fuel savings associated with wind assistance. **2013**.
76. Traut, M.; Gilbert, P.; Walsh, C.; Bows, A.; Filippone, A.; Stansby, P.; Wood, R., Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes. *Applied Energy* **2014**, *113*, 362-372.
77. Davoli, F.; Repetto, M.; Tornelli, C.; Proserpio, G.; Cucchiatti, F., Boosting energy efficiency through smart grids. *International Telecommunication Union (ITU)* **2012**.
78. O'Rourke, R. In *Navy Ship Propulsion Technologies: Options for Reducing Oil Use-Background for Congress*, LIBRARY OF CONGRESS WASHINGTON DC CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE: 2006.
79. Kågeson, P.; Faber, J., Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport. 2010.
80. Haider, J.; Katsogiannis, G.; Pettit, S.; Mitroussi, K., The emergence of eco-ships: inevitable market segmentation? *Transport Newsletter* **2014**, *64*, 11.
81. Waide, P.; Brunner, C. U., Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. **2011**.
82. Raptotasios, S. I.; Sakellariadis, N. F.; Papagiannakis, R. G.; Hountalas, D. T., Application of a multi-zone combustion model to investigate the NO_x reduction potential of two-stroke marine diesel engines using EGR. *Applied Energy* **2015**, *157*, 814-823.
83. Diesel, M. Turbo, "Emission project guide MAN B&W two-stroke marine engines," Tech. Rep: 2013.
84. Henriksson, T., SO_x scrubbing of marine exhaust gases. *Wärtsilä Technical Journal* **2007**, *2007* (2), 55-58.
85. Tetra Tech, Inc and UltraSystems Environmental Incorporated, "Low-Sulfur Marine Fuel Availability Study", 2008
86. Sheng, C.; Azevedo, J., Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy* **2005**, *28* (5), 499-507.
87. EU-Commission, Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. *Official Journal of the European Union* **2003**, *5*.
88. Parvizsedghy, R.; Sadrameli, S. M.; Towfighi Darian, J., Upgraded biofuel diesel production by thermal cracking of castor biodiesel. *Energy & Fuels* **2015**, *30* (1), 326-333.
89. Avhad, M.; Marchetti, J., A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production. *Renewable and sustainable energy reviews* **2015**, *50*, 696-718.
90. Christopher, L. P.; Kumar, H.; Zambare, V. P., Enzymatic biodiesel: challenges and opportunities. *Applied Energy* **2014**, *119*, 497-520.
91. Efficiency, E.; Authority, C.; Duncan, J., COSTS OF BIODIESEL PRODUCTION. **2003**.

92. Mohammadshirazi, A.; Akram, A.; Rafiee, S.; Kalhor, E. B., Energy and cost analyses of biodiesel production from waste cooking oil. *Renewable and sustainable energy reviews* **2014**, *33*, 44-49.
93. Kanthavelkumaran, N.; Seenikannan, P., Recent trends and applications of bio diesel. *International Journal of Engineering Research and Applications* **2012**, *2* (6), 197-203.
94. Outlook, O.-F. A., OECD Agriculture statistics (database). 2016.
95. Lin, C.-Y., Effects of biodiesel blend on marine fuel characteristics for marine vessels. *Energies* **2013**, *6* (9), 4945-4955.
96. Chryssakis, C.; Balland, O.; Tvette, H. A.; Brandsæter, A., Alternative fuels for shipping. *Position Paper* **2014**, 17-2014.
97. Tyson, K. S.; McCormick, R. L., Biodiesel handling and use guidelines. **2006**.
98. McGill, R.; Remley, W.; Winther, K., Alternative fuels for marine applications. *A Report from the IEA Advanced Motor Fuels Implementing Agreement* **2013**, 54.
99. Ouchi, K.; Uzawa, K.; Kanai, A.; Katori, M. In *Wind Challenger” the next generation hybrid sailing vessel*, The third International Symposium on Marine Propulsors, Launceston, Tasmania, Australia, 2013.
100. *Exhaust Gas Cleaning Systems Association, Handbook 2010*.
101. Alvik, S.; Eide, M. S.; Endresen, O.; Hoffmann, P.; Longva, T., Pathways to low carbon shipping-abatement potential towards 2030. **2009**.
102. Axel, B. N., Environmental Impacts of International Shipping The Role of Ports: The Role of Ports. OECD Publishing: 2011; Vol. 2011.
103. Eide, M. S.; Longva, T.; Hoffmann, P.; Endresen, Ø.; Dalsøren, S. B., Future cost scenarios for reduction of ship CO₂ emissions. *Maritime Policy & Management* **2011**, *38* (1), 11-37.
104. Groom, M. J.; Gray, E. M.; Townsend, P. A., Biofuels and biodiversity: principles for creating better policies for biofuel production. *Conservation biology* **2008**, *22* (3), 602-609.
105. Pehan, S.; Jerman, M. S.; Kegl, M.; Kegl, B., Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. *Fuel* **2009**, *88* (6), 970-979.
106. Hanna, M.; Isom, L.; Campbell, J., Biodiesel: current perspectives and future. **2005**.