



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη
Ναυτιλία με Σκοπό τη Συμμόρφωση με τους
Διεθνείς Κανονισμούς Ρύπων»*

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Ραπτοτάσιου Σπυρίδων

Επιβλέπων

Ζαννίκος Φανούριος, Καθηγητής,
Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
Σύνοψη.....	4
Περίληψη.....	4
Abstract.....	6
Summary.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο	8
Συμβατικές μορφές ενέργειας στη ναυτιλία.....	8
1.1 Ναυτικοί κινητήρες	8
1.2 Ναυτιλιακά καύσιμα.....	8
1.2.1 Προϊόντα κατεργασίας αργού πετρελαίου.....	9
1.2.2 Τύποι ναυτιλιακών καυσίμων.....	10
1.2.3 Ιδιότητες ναυτιλιακών καυσίμων	11
1.2.4 Αγορά ναυτιλιακών καυσίμων-πετρέλευση	19
1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	20
1.3.1 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή	22
1.4 Η λύση της μετάβασης σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	26
Διεθνείς κανονισμοί μείωσης εκπομπών και αερίων του θερμοκηπίου.....	26
2.1 Ιστορικό.....	26
2.2 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ)	26
2.2.1 Marpol Annex VI.....	28
2.3 Αέρια Φαινομένου Θερμοκηπίου	34
2.3.1 EEDI.....	37
2.3.2 Μέτρα της E.E. - MRV.....	39
2.3.3 SEEMP	40
2.3.4 EEOI.....	41
2.4 Χρηματιστήριο Αερίων Ρύπων.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο	43
Λύσεις συμμόρφωσης – μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	43
3.1 Διατάξεις μείωσης εκπομπών ρύπων	44
3.1.1 Τεχνολογίες μείωσης NOx	44
3.1.2 Τεχνολογίες μείωσης SOx	47
3.2 Μετάβαση σε εναλλακτικά υγρά καύσιμα	52
3.2.1 MDO και ULSFO	52
3.2.2 Orimulsion	55
3.3 Ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου.....	55
3.4 Χρήση Υδρογόνου – Κυψέλες καυσίμου.....	57

3.5 Ηλεκτροκίνητα – Υβριδικά πλοία	59
3.6 Χρήση παράκτιας ηλεκτρικής ενέργειας – cold ironing	63
3.8 Τεχνολογικά Μέτρα	65
3.9 Λειτουργικά Μέτρα.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο	68
Βιομάζα.....	69
4.1 Βιοκαύσιμα.....	69
4.1.1 Χαρακτηριστικά – Ιδιότητες.....	69
4.1.2 Κατηγορίες	71
4.1.3 Διεθνής Ανάπτυξη	74
4.1.4 Εφαρμογές	75
4.1.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	76
4.2 Βιοντήζελ	77
4.2.4 Σύγκριση με Συμβατικό Ντήζελ: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	82
4.3 Βιοαιθανόλη	83
4.4 Τάσεις της Παγκόσμια Αγοράς	84
4.5 Βιοκαύσιμα στη ναυτιλία	86
4.5.1 Ερευνητική Δραστηριότητα.....	87
4.5.2 Εφαρμογές	88
4.5.4 Ανάμιξη με συμβατικά καύσιμα.....	90
4.5.3 Συμβατότητα – Κινητήρες Βιομάζας.....	91
4.5.5 Πλεονεκτήματα χρήσης βιοκαυσίμων στη ναυτιλία.....	93
4.5.6 Αποθήκευση και Μεταφορά – Επιμόλυνση ^{88,89}	94
4.5.7 Προβλήματα κατά την χρήση	97
4.5.8 Εκπομπές Ρύπων.....	100
4.5.9 Κόστος Χρήσης	102
4.5.10 Μελλοντικές Προοπτικές.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο	108
Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας μηδενικών ρύπων.....	108
5.1 Αιολική Ενέργεια	109
5.2 Φωτοβολταικά και Υβριδικά Συστήματα Πρόωσης	116
5.3 Κυματική Ενέργεια	119
5.4 Συνδυαστικά.....	120
5.4.1 Με άνεμο και βιοκαύσιμα.....	120
5.4.2 Ηλιακά Πανιά	121
5.5 Απόδοση και Κόστη.....	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο	126
Συμπεράσματα	126

Μεταπτυχιακή Εργασία:	«Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Ναυτιλία με Σκοπό τη Συμμόρφωση με τους Διεθνείς Κανονισμούς Ρύπων»
Φοιτητής:	Ραπτοτάσιος Σπυρίδων
Επιβλεπων:	Ζαννίκος Φανούριος, Καθηγητής, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
Ακαδημαϊκό Έτος:	2017-18

Σύνοψη

Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν εδώ και πάνω από εκατό χρόνια το κύριο μέσο πρόωσης των πλοίων όλων των κατηγοριών ανά τον κόσμο. Τα τελευταία χρόνια όμως δύο πολύ σημαντικοί περιορισμοί τείνουν να αλλάξουν τα δεδομένα του ναυτιλιακού χώρου. Αρχικά η αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων οδηγεί τους πλοικτήτες και τα ναυπηγεία στην διερεύνηση εναλλακτικών λύσεων. Ακόμα μεγαλύτερη επιρροή προς αυτή τη στροφή ασκούν οι ολοένα και πιο αυστηροί κανονισμοί περιορισμού ρύπων που επιβάλλονται από τις διεθνείς και τοπιές αρχές. Ένα πρώτο στάδιο μέτρων που έχουν ήδη υιοθετηθεί είναι η εφαρμογή τεχνικών περιορισμού των ρύπων. Μια ακόμα επιλογή που έχει εφαρμοσθεί είναι η χρήση εναλλακτικών καυσίμων και συστημάτων πρόωσης. Τέλος βασικό αντικείμενο αυτής της ανάλυσης αποτελεί μια ακόμα πολλά υποσχόμενη λύση η οποία όμως βρίσκεται ακόμα στα πρώιμα στάδια έρευνας και ανάπτυξης και απομένουν ακόμα πολλά τεχνικά και λειτουργικά ζητήματα τα οποία πρέπει να διευθετηθούν. Η λύση αυτή είναι η δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είτε απευθείας στο σύστημα πρόωσης του πλοίου (συμπληρωματικά ή ως το μοναδικό σύστημα πρόωσης) είτε ως παροχή ενέργειας για τις βοηθητικές λειτουργίες του πλοίου. Οι αναλώσιμες πηγές ενέργειας που αναλύθηκαν είναι η αιολική, τα φωτοβολταϊκά, η κυματική ενέργεια, ατμοβιοκαύσιμα και ο συνδυασμός αυτών. Τα τελευταία (βιοκαύσιμα) φαίνεται ότι είναι και η πιο εφικτή λύση για την εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία και ήδη οι κατασκευάστριες εταιρείες κινητήρων τα εντάσσουν στο λειτουργικό τους πλαίσιο. Απομένουν όμως πολλά τεχνικά ζητήματα για τη πλήρη εφαρμογή τους ενώ θα πρέπει και να βρεθούν τρόποι να μειωθεί η τιμή τους για να καταστούν ανταγωνιστικά σε σχέση με τα άλλα καύσιμα.

Περίληψη

Πριν από περίπου 150 χρόνια, οι τεχνολογίες πρόωσης στη ναυτιλία υπέστησαν ριζικές αλλαγές με την αντικατάσταση των ιστίων από συστήματα που κάνουν χρήση των ορυκτών καυσίμων. Η στροφή αυτή προς τα ορυκτά καύσιμα οδήγησε στην κατακόρυφη βελτίωση της απόδοσης των πλοίων, συνέβαλε όμως και στην αύξηση των εκπομπών ρύπων παγκοσμίως. Συγκεκριμένα υπολογίζεται πως η διεθνής ναυτιλία ευθύνεται για 4-9%, 14-31% και 3-6% των παγκόσμιων εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) οξειδίων του αζώτου (NO_x) και διοξειδίου του θείου (CO₂) αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό οδήγησε τους διεθνείς, καρτικούς και τοπικούς οργανισμούς στην επιβολή μέτρων για την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από την πλευρά της ναυτιλίας.

Πιο συγκεκριμένα ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (International Maritime Organisation-IMO), μέσω του αναθεωρημένου παραρτήματος VI της MARPOL, καθορίζει τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών ρύπων. Το ρυθμιστικό αυτό πλαίσιο προδιαγράφει για τις εκπομπές NO_x βάση της χρονολογίας κατασκευής της μηχανής με πιο πρόσφατο το επίπεδο Tier III, για μηχανές κατασκευασμένες από 01/01/2016, το οποίο απαιτεί μείωση 80% σε σχέση με το επίπεδο Tier I. Επίσης σχετικά με τις εκπομπές SO_x, οι απαιτήσεις των κανονισμών είναι η χρήση καυσίμων με περιεκτικότητα σε θείο 0.1% κ.β. σε ειδικές νομοθετημένες περιοχές ελέγχου εκπομπών (τις λεγόμενες ECAs) από 01/01/2015 και με περιεκτικότητα σε θείο 0.5% κ.β. παγκοσμίως από 01/01/2020. Σε κάθε περίπτωση δίνεται η δυνατότητα στις πλοιοκτήτριες εταιρείες να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν HFO (Heavy Fuel Oil) υψηλής περιεκτικότητας σε θείο υπό την προϋπόθεση χρήσης ενός συστήματος καθαρισμού καυσαερίων (EGCS-Exhaust Gas Cleaning Scrubber) το οποίο θα μπορεί να μειώσει τις εκπομπές SO_x σε επίπεδα ίδια με αυτά των εκπομπών από καύσιμα με 0.5% και 0.1% κ.β. αντίστοιχα.

Όσον αφορά στα αέρια του θερμοκηπίου, ο IMO έχει θεσπίσει το Δεικτή Σχεδίασης Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Design Index (EEDI) το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Αποδοτικότητας Πλοίου SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) το οποίο και αναθεωρήθηκε πρόσφατα με σκοπό να απαιτεί την πλήρη παρακολούθηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και τον δείκτη EEOI, όλα ως μέτρα ελέγχου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ναυτιλία με απώτερο σκοπό ενδεχομένως την λήψη μέτρων στο μέλλον για την μείωση των εκπομπών. Αντίστοιχο μηχανισμό μέτρησης έχει θεσπίσει και η Ευρωπαϊκή Ένωση (MRV-Monitoring Reporting and Verification), ο οποίος μπήκε σε ισχύ από 01/01/2018.

Όλοι οι προαναφερθέντες κανονισμοί σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των καυσίμων, οδήγησε τις πλοιοκτήτριες εταιρείες στην διερεύνηση εξεύρεσης λύσεων για τον περιορισμό των NO_x και SO_x και της κατανάλωσης καυσίμου που συνεπάγεται και μείωση εκπομπών CO₂. Διάφορες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την μείωση των NO_x, δεν επιτυγχάνουν όμως όλες τα επίπεδα μείωσης του 80% που απαιτούνται από τον κανονισμό. Οι μοναδικές τεχνικές που μπορούν να το επιτύχουν είναι η ανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR-Exhaust Gas Recirculation) και η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR-Selective Catalytic Reduction), οι οποίες όμως απαιτούν μεγάλο κόστος επένδυσης και λειτουργικό κόστος. Για την μείωση των SO_x, μοναδικές λύσεις αποτελούν η μετάβαση σε καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ή η χρήση πλυντηρίδων για έκπλυση των καυσαερίων με ποσοστό μείωσης ~99% οι οποίες μπορούν επίσης να μειώσουν τα ποσοστά αιθάλης και καπνού έως 80%.

Ένα εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να επιτύχει μείωση και των τριών ρυθμιζόμενων ρύπων είναι το φυσικό αέριο, το οποίο όμως απαιτεί μεγάλες αλλαγές στο σύστημα προσαγωγής του καυσίμου καθώς και την χρήση κινητήρων διπλού καυσίμου. Επίσης ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί ένα ευρείο σύστημα διανομής του καυσίμου στα πλοία. Άλλες εναλλακτικές με μικρή έως τώρα εφαρμογή αποτελούν οι κυψέλες υδρογόνου, τα υβριδικά-ηλεκτροκίνητα πλοία και η πυρηνική πρόωση. Τέλος βοηθητικές λύσεις οι οποίες αξιοποιούνται ήδη, αλλά δεν μπορούν να δώσουν μια καθολική επίλυση στο πρόβλημα είναι η χρήση παράκτιας ηλεκτρικής ενέργειας (cold ironing) καθώς και μια σειρά από τεχνολογικά και λειτουργικά μέτρα.

Οι διάφοροι περιορισμοί που προέκυψαν ή ενδέχεται να προκύψουν στο μέλλον σε σχέση με τις προαναφερθείσες τεχνικές, έδωσαν τις βάσεις για την διερεύνηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Την πιο πολλά υποσχόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αποτελούν τα βιοκάυσιμα και ήδη οι κατασκευάστριες εταιρείες κινητήρων επιβεβαιώνουν την δυνατότητα χρήσης βιοκαυσίμων στους κινητήρες τους. Η χρήση βιοκαυσίμων συνδυάζει πολλά πλεονεκτήματα με σημαντικότερο την μείωση των ρύπων (SO_x, αιθάλης άλλα και CO₂ καθώς αποτελούν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας).

Παρά ταύτα προκύπτουν πολλά προβλήματα κατά την αποθήκευση τους όσο και κατά την λειτουργία του πλοίου με την χρήση βιοκαυσίμων όπως η επιμόλυνση και η ανάπτυξη μικροοργανισμών. Αυτά μπορεί να έχουν αρνητικές συνέπειες στις δεξαμενές αποθήκευσης, να προκαλέσει διάβρωση σε διάφορα τμήματα προσαγωγής του καυσίμου και στη μηχανή, στην καταπόνηση των παρεμβυσμάτων από καουτσούκ και στην φραγή των σωληνώσεων και των φίλτρων καυσίμου. Επίσης η χρήση βιοκαυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε σπηλαιώση ενώ προκαλεί επίσης μια μικρή αύξηση στα NO_x και στην ειδική κατανάλωση καυσίμου. Όλα αυτά όμως θα μπορούσαν να παραμεριστούν εάν επιλύονταν άλλα βασικότερα θέματα όπως το υψηλό τους κόστος και το δεδομένο πως απαιτούνται βρώσιμα υλικά ως πρώτη ύλη. Λύση στο πρόβλημα αυτό ενδέχεται να δώσει η ανάπτυξη μιας τρίτης γενιάς βιοκαυσίμων από φύκη ή οποία ενδέχεται να δώσει και την ώθηση στην ευρεία μελλοντική τους χρήση από την ναυτιλία.

Άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες προς το παρόν έχουν αξιοποιηθεί πιλοτικά στον χώρο της ναυτιλίας αποτελούν η αιολική ενέργεια (μαλακά πανιά, σταθερά πανιά, ρότορες, πανιά τύπου χαρταετού), τα φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα πρόωσης και η αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί και δοκιμασθεί μπορούν να αποδώσουν από ένα ποσοστό μέχρι και το 100% της απαιτούμενης ενέργειας πρόωσης ή να χρησιμοποιηθούν για τις βοηθητικές λειτουργίες του πλοίου. Για την ανάπτυξη όμως ενός συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα μπορούσε να επιτύχει την απαιτούμενη παραγωγή ενέργειας για την καθολική λειτουργία ενός πλοίου, απαιτείται ο συνδυασμός όλων ή κάποιων εκ των προαναφερθέντων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Post-Graduate Thesis: «Use of Renewable Energy Sources in Shipping to Comply with the International Pollutant Regulations»
Student: Raptotasios Spiridon
Supervisor: Zannikos Fanourios, Professor, School of Chemical Engineering
Academic Year: 2017-18

Abstract

For over a hundred years, fossil fuels have been the main mean of propelling ships of all categories around the world. In recent years, however, two very important constraints tend to change the shipping industry. Initially, the rise in fossil fuel prices leads shipowners and yards to explore alternatives. Even more restrictive influence on this shift is exerted by increasingly stringent restrictions on pollutant emissions, imposed by international and local authorities. A first stage of measures that have already been adopted is the implementation of pollutant abatement techniques. Another option that has been applied is the use of alternative fuels and propulsion systems. Finally one additional promising solution, is the main subject of this analysis, but is still in the early stages of research and development and there are still many technical and operational issues that need to be addressed. This solution is the possibility of using renewable energy sources either directly in the propulsion system of the ship (complementary or as the only propulsion system) or as an energy supply for the auxiliary functions of the ship. The renewable energy sources analyzed are wind, photovoltaics, wave energy, biofuels and their combination. The latter (biofuels) appear to be the most feasible solution for the introduction of renewable energy sources in shipping and already the engine manufacturers put them in their operational framework. However, many technical issues remain to be fully implemented, and ways should be found to reduce their price to compete with other fuels.

Summary

About 150 years ago, propulsion technologies in shipping have undergone radical changes by replacing sails with fossil fuel systems. This shift to fossil fuels has led to a steady improvement in ship performance, but has also contributed to global emissions. In particular, international shipping is responsible for 4-9%, 14-31% and 3-6% of global emissions of sulfur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x) and sulfur dioxide (CO₂) respectively. This has led international, regional and local authorities to implement measures to reduce shipping emissions from the shipping industry.

More specifically, the International Maritime Organization (IMO), through the revised MARPOL Annex VI, sets the permitted emission limits. This regulatory framework specifies the NO_x emissions based on the date of manufacture of each engine, with the most recent Tier III level for engines manufactured from 01/01/2016, which requires a 80% reduction compared to the Tier I level. Regarding SO_x emissions, the requirements of the regulations are the use of fuels with a sulfur content of 0.1% by weight in special statutory control areas (ECAs) from 01/01/2015 and with a sulfur content of 0.5% by weight worldwide since 01/01/2020. In any case, shipowners are allowed to continue using high sulfur HFO (Heavy Fuel Oil) under the condition of an EGCS-Exhaust Gas Cleaning Scrubber that can reduce SO_x emissions to levels same as those from fuel emissions with 0.5% and 0.1% w / w. respectively.

With regard to greenhouse gases, the IMO has adopted the Energy Efficiency Design Index (EEDI) and the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), which has recently been revised to require full monitoring of greenhouse gas emissions and the EEOI indicator, all as measures to control greenhouse gas emissions from shipping, possibly leading to future measures to reduce emissions. A corresponding monitoring system has also been established by the European Union (MRV-Monitoring Reporting and Verification), which entered into force on 01/01/2018.

All of the above-mentioned regulations, coupled with rising fuel prices, have led shipowners to explore ways to reduce NO_x and SO_x and fuel consumption (which also leads to a CO₂ emissions reduction, which are proportionally related to fuel consumption). Several techniques have been developed to reduce NO_x, but most of them do not achieve the 80% reduction levels required by the Regulation. The only measures that can achieve this reduction are EGR-Exhaust Gas Recirculation and Selective Catalytic Reduction (SCR), which however require high investment costs and operating costs. To reduce SO_x, the only solutions are the transition to low sulfur fuels or the use of exhaust gas scrubbers with a ~ 99% reduction which can also reduce smoke and Soot up to 80%.

An alternative fuel that can achieve a reduction in all three regulated pollutants is natural gas, which however requires major changes to the fuel delivery system as well as the use of dual fuel engines. Also, there is no development of a broad fuel distribution system on board ships. Other alternatives with little application up to date are fuel cells, hybrid-powered ships and nuclear propulsion. Finally, ancillary solutions that are already being used but cannot provide a universal solution to the problem are the use of coastal electricity (cold ironing) as well as a series of technological and operational measures.

Various constraints that have arisen or are likely to arise in the future in relation to the aforementioned techniques have provided the basis for exploring the use of renewable energy sources. The most promising renewable energy source is biofuels and already the engine manufacturers confirm the possibility of using biofuels in their engines. The use of biofuels combines many advantages with a significant reduction in pollutants (SO_x, Soot and CO₂ as a renewable energy source).

However, many problems arise during their storage and in the operation of the ship with the use of biofuels such as transfection and growth of micro-organisms. These can have adverse effects on storage tanks, can cause corrosion in various fuel delivery and engine parts, strain on rubber gaskets, and fuel pipe and filter blocking. Also the use of biofuels can lead to cavitation while also causing a small increase in NO_x and specific fuel consumption. However, all this could be overcome if other key issues such as their high costs and the need for edible materials as a raw material were solved. A solution to this problem may be the development of a third generation biofuel from algae which may also give impetus to their widespread future use by shipping industry.

Other renewable sources of energy that are currently used in the field of shipping are wind energy (soft sails, stable sails, rotors, kite-type cloths), photovoltaic hybrid propulsion systems and the utilization of wave energy. Techniques developed and tested can yield up to 100% of the required propulsion energy or be used for auxiliary functions of the ship. However, in order to develop a system of renewable energy sources that could achieve the required energy production for the universal operation of a ship, it is necessary to combine all or some of the above-mentioned renewable energy sources.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Συμβατικές μορφές ενέργειας στη ναυτιλία

1.1 Ναυτικοί κινητήρες

Η αρχή της μηχανής πετρελαίου ήταν 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 δίχρονες μηχανές diesel, μεγαλύτερες και με πολύ καλύτερη απόδοση.

Οι ναυτικοί κινητήρες Diesel είναι ο επικρατέστερος τύπος μηχανής στη ναυτιλία τόσο για την κίνηση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. 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 ατμοστροβίλους 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:

- Diesel χαμηλών στροφών, 70 έως 140 rpm. Είναι δίχρονοι και ογκώδεις και διαθέτουν συνήθως 4-12 κυλίνδρους. Οι κινητήρες αυτοί είναι μεγάλοι σε διαστάσεις 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 ταχύτητες προσφέρουν σχεδιαστικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπουν την επιτυχή καύση του βαρέως πετρελαίου, παρέχοντας επαρκή χρόνο για την καλή ανάμειξη του μίγματος αέρα-καυσίμου. Επιπλέον, οι χαμηλές στροφές καθιστούν δυνατή την απευθείας σύνδεση του στροφάλου με την προπέλα, χωρίς να απαιτείται μειωτήρας. Η κατασκευή του κινητήρα είναι με αυτόν τον τρόπο απλούστερη και συνεπώς οικονομικότερη και συμβάλει στη μείωση των πιθανών σφαλμάτων που μπορούν να εμφανιστούν κατά την λειτουργία του. Οι κινητήρες τέτοιου τύπου, χάρη στην απλότητα τους, έχουν μεγάλη μακροζωία και προτιμούνται από τους πλοιοκτήτες που επιθυμούν πλοία με μία μηχανή. Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά των δίχρονων κινητήρων σε συνδυασμό με την δυνατότητα λειτουργίας με τα οικονομικότερα βαρέα καύσιμα (HFO-heavy fuel oil), τους καθιστούν την καλύτερη επιλογή για όλα σχεδόν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος πλοία. Αποτελούν μια απλή και αξιόπιστη μηχανή, εύκολη στον χειρισμό και στην συντήρηση που καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις των πλοίων αυτών.

- Diesel μεσαίων στροφών, αυτοί 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 και χρησιμοποιούνται τόσο για την κίνηση των πλοίων όσο και 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.

1.2 Ναυτιλιακά καύσιμα

Το 1950 μια σειρά καινοτομιών που εφαρμόστηκαν, επέτρεψε τη χρήση heavy fuel oil σε ναυτικούς κινητήρες (M/V "Princess of Vancouver"), καθώς χρησιμοποιήθηκαν λιπαντικά ιδιαίτερα αλκαλικά, ικανά να ουδετεροποιήσουν τα οξέα που παράγονται κατά την καύση καυσίμων με υψηλό αριθμό θείου (residual fuels).

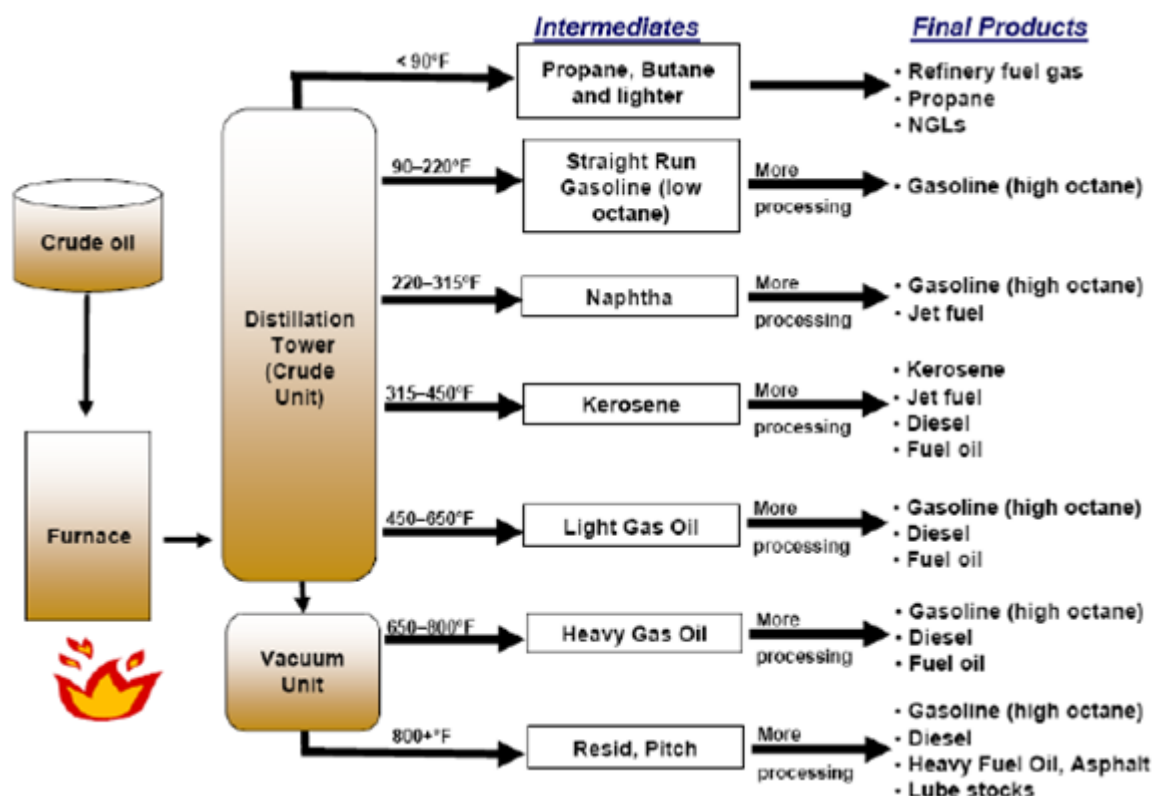
Οι περισσότεροι μεγάλοι ναυτικοί κινητήρες Diesel έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με καύσιμα διαφόρων ποιοτήτων (από ελαφρύ καύσιμο απόσταξης έως βαρύ υπόλειμμα χαμηλής ποιότητας). Η επιλογή ενός συγκεκριμένου καυσίμου είναι θέμα κυρίως οικονομικό, που επηρεάζεται όμως από παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα 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. 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.

Η ποιότητα των καυσίμων έχει σημαντική επίδραση στη λειτουργία, κυρίως όταν είναι μεταβαλλόμενη. Οι μηχανές (γενικά, αλλά κυρίως οι μεγάλοι κινητήρες) μπορούν να ρυθμιστούν να λειτουργούν ικανοποιητικά με

καύσιμα ιδιαίτερα χαμηλής ποιότητας. Στα πλοία, που εφοδιάζονται με καύσιμο από διάφορα μέρη του κόσμου και προμηθευτές, αυτό είναι πολύ δύσκολο. Τα χαρακτηριστικά του ίδιου τύπου καυσίμου, από το ίδιο σημείο ανεφοδιασμού, για δυο διαφορετικές ημερομηνίες, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Επίσης το ίδιο το καύσιμο από διαφορετικές πηγές συνήθως διαφέρει σημαντικά. Έτσι τυχόν προσπάθεια να αναμιχθούν καύσιμα από δυο ανεφοδιασμούς τα οποία πιθανόν να έχουν προβλήματα συμβατότητας 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.

1.2.1 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 1- 1. Κλασματική απόσταξη αργού πετρελαίου¹

Από την δύλιση του αργού πετρελαίου (crude oil) παράγονται περισσότερα από 2000 προϊόντα τα οποία μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω τέσσερις ευρείες κατηγορίες προϊόντων ^{2, 1}

- αέριο διυλιστηρίου (κυρίως μεθάνιο, αιθάνιο και υδρογόνο),
- υγραέριο (κυρίως προπάνιο και βουτάνιο),

- τα καύσιμα αποστάγματα (distillate fuels), είναι προϊόντα απόσταξης σε θερμοκρασίες 200 έως 360 °C και διαχωρίζονται περαιτέρω σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται. Το πιο ελαφρύ και πτητικό από τα αποστάγματα αυτά είναι η βενζίνη. Λαμβάνεται κατά την απόσταξη, μετά το υγραέριο και έχει πυκνότητα 0,70-0,76 kg/lit και κατώτερη θερμογόνο δύναμη 42000-44000 kJ/kg. Ακολουθεί 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. Στην συνέχεια, δίνεται το καύσιμο Diesel που χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών για οικιακή θέρμανση και κίνηση οχημάτων με πυκνότητα 0,82-0,87 kg/lit. Τέλος, συναντάμε τα βαρέα καύσιμα προϊόντα της απόσταξης, τα οποία συνήθως αναμειγνύονται με τα κατάλοιπα της δύλισης (residual oil).

- τα καύσιμα κατάλοιπα (residual fuels), είναι τα προϊόντα τα οποία 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.

1.2.2 Τύποι ναυτιλιακών καυσίμων

Οι μεγάλες σε μέγεθος δίχρονες μηχανές Diesel που χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικές γεννήτριες και κινητήρες πλοίων, 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:³

- **Diesel Oil (distillate oil).** Το καύσιμο Diesel είναι ένα μείγμα υδρογονανθράκων που προέρχεται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου. Το Diesel Oil αποτελεί το παραδοσιακό καύσιμο των κινητήρων Diesel. Για την χρήση του, δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη προετοιμασία, διαχωρισμός ή προθέρμανση πριν την καύση, αν και οι ιδιότητές του βελτιώνονται με την προσθήκη ουσιών με σκοπό την καλύτερη απόδοση του κινητήρα. Είναι 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 έχουν προκαλέσει επίσης και τα νέα όρια εκπομπών οξειδίων του θείου που επιβάλλουν στα διυλιστήρια περαιτέρω επεξεργασία του καυσίμου, ώστε να μειώνεται το ποσοστό θείου σε αυτό.

- **Heavy Fuel Oils (HFO).** Τα καύσιμα αυτά αποτελούν τα κατάλοιπα της διύλισης του αργού πετρελαίου, η ποιότητα των οποίων ποικίλει ανάλογα με την διαδικασία διύλισης που ακολουθείται και την σύνθεση του ακατέργαστου πετρελαίου που χρησιμοποιείται. Τα καύσιμα HFO έχουν μεγάλο ιξώδες και υψηλό ποσοστό θείου. Εξαιτίας του μεγάλου ιξώδους τους απαιτούν προθέρμανση πριν την εισαγωγή τους στον θάλαμο καύσης, καθώς επίσης την διατήρηση συγκεκριμένης θερμοκρασίας κατά την αποθήκευσή τους. Τα αρνητικά αυτά χαρακτηριστικά τους επιτρέπουν την χρήση τους, μόνο από τα μεγάλα ποντοπόρα πλοία.

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

Η κατάταξη των ναυτιλιακών καυσίμων γίνεται 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 8217-2012.⁴ 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%.⁵

Με βάση το ISO 8217, τα ναυτιλιακά καύσιμα διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με τις φυσικές του ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης τους. Όμως για λειτουργικούς και οικονομικούς λόγους, στις προωσθήριες εγκαταστάσεις με μηχανές diesel χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών εναλλάξ, είτε σε μείγματα σε διάφορες αναλογίες, Πίνακας 1.1.⁶ 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).⁴

- **Residual Oil (RO).** Αποτελεί το βαρύτερο κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου και εξαιτίας του μεγάλου ιξώδους του απαιτεί προθέρμανση πριν την εισαγωγή του στον θάλαμο καύσης ώστε να είναι δυνατή η σωστή ροή του. Τείνει να έχει υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, μεταξύ αυτών και θείου και είναι το πιο φθηνό υγρό καύσιμο στην αγορά.

- **Intermediate Fuel Oil (IFO).** Το καύσιμο αυτό αποτελεί μείγμα 2% Diesel Oil 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 Oil και περιέχουν χαμηλό ποσοστό θείου. Το MDO έχει μικρότερο ποσοστό θείου από τα IFO 180, IFO 380 και RO αλλά μεγαλύτερο από τα MGO.

- **Marine Gas Oil (MGO).** Οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούνταν στις μηχανές diesel λόγω του χαμηλού ιξώδους του και του υψηλού βαθμού καθαρότητας που εξασφαλίζει καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα. Αποτελεί απόσταγμα καθαρού πετρελαίου (=distillate fuel), ανήκει δηλαδή στα ευγενή προϊόντα του και κατατάσσεται στα καλύτερα και ακριβότερα καύσιμα μηχανών εσωτερικής καύσης. Το gasoil 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 σε αιθάνιο, 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.⁷

Πίνακας 1- 1. Ναυτιλιακά Καύσιμα⁶

INDUSTRIAL NAME	ISO NAME	COMPOSITION	WORLD AVERAGE
IFO380	RMG 35	98% residual oil 2% distillate oil	2,67%
IFO 180	RME 25	88% residual oil 12% distillate oil	2,67%
MDO	DMB	Distillate oil with trace of residual oil	0,65%
MGO	DMA	100% distillate oil	0,38%

1.2.3 Ιδιότητες ναυτιλιακών καυσίμων

Θερμογόνος δύναμη (Heating Value)

Γενικά, η θερμική αξία ενός καυσίμου μπορεί να οριστεί σε δυο βάσεις, η ανώτερη ή ακάθαρτη θερμική αξία (HHV) και η κατώτερη ή καθαρή θερμική αξία (LHV). Η HHV αναφέρεται στη θερμότητα που απελευθερώνεται από την καύση του καυσίμου με την αρχική και την παραγόμενη ποσότητα νερού σε συμπυκνωμένη κατάσταση, ενώ η LHV προϋποθέτει ότι το παραγόμενο νερό διαφεύγει ως αέριο.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου. 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, Hu=42700 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/m³. 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 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. Η γνώση της πυκνότητας του ναυτιλιακού καυσίμου είναι καθοριστικής σημασίας για το

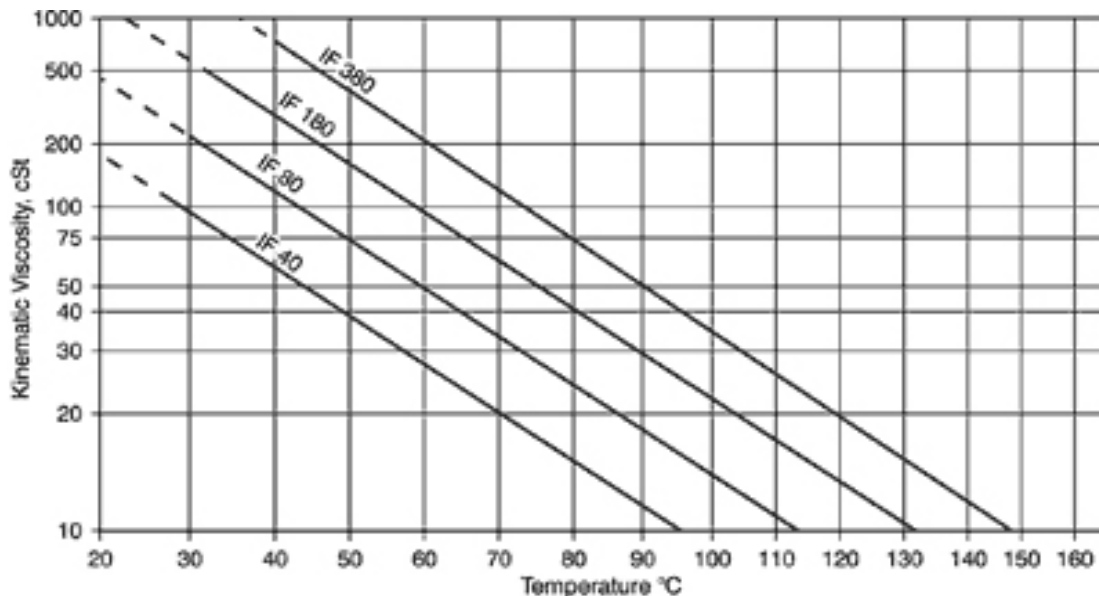
εμπόριο, καθώς αυτά παραλαμβάνονται με βάση τον όγκο τους και πωλούνται με βάση τη μάζα τους. Η πυκνότητα αποτελεί έναν από τους παράγοντες που εισέρχονται στις εμπειρικές εξισώσεις, τόσο για το ενεργειακό περιεχόμενο όσο και για τον δείκτη αρωματικότητας (CCAI).

Η τιμή 991 kg/m³ στα περισσότερα καύσιμα είναι το άνω όριο ώστε να γίνει διαχωρισμός του νερού από το καύσιμο. Ο διαχωρισμός γίνεται με φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες (purifier). Πάντως η τεχνολογία σήμερα έχει επιτρέψει ακόμα και τον διαχωρισμό του νερού σε καύσιμα πυκνότητας έως 1010 kg/m³ 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 ότι των ελαφρύτερων αποσταγμάτων. Ο συνδυασμός υψηλής πυκνότητας και χαμηλού ιξώδους είναι συνήθως ενδεικτικό καυσίμου χαμηλής ποιότητας αναφλέξεως και καύσεως.

Ιξώδες (Viscosity)

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.

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 St = cm²/s = 10⁻⁴ m²/s, Η υποδιαίρεση του είναι τα cSt. (1cSt = 10⁻² St = 10⁻⁶ m²/s)



Σχήμα 1- 2. Μεταβολή της τιμής του κινηματικού ιξώδους ναυτιλιακών καυσίμων συναρτήσει της θερμοκρασίας

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, εγχυση 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, πλημμελή 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)

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

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 αναφλεξης, 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 ανάμειξη 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 και ξανασβήνει όταν η φλόγα απομακρυνθεί. 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 αυτανάφλεξεως 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 πληρεί 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 γεκαστεί 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 °C. Η πρακτική σημασία αυτής της απαίτησης είναι πως το καύσιμο πρέπει να είναι κατάλληλο για χρήση σε θερμοκρασίες έως -16 °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°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.

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 αποθήκευση 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)

Ο αριθμός κετανίου είναι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου κατά την έγχυση του στον κύλινδρο. 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 οξειδωση 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, που είναι ένα μέτρο της ποιότητας καύσεως, 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 αναφλέξης 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 απλουστερών αναλύσεων, όπως η πυκνότητα και η καμπυλη 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 συμβάλλει και στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Κατόπιν συνδυάζεται με περίσσεια οξυγόνου για να διαμορφώσει SO₃, 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).

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.

Περιεκτικότητα σε μέταλλα

Το βανάδιο βρίσκεται στο αργό πετρέλαιο. Το νάτριο βρίσκεται στο θαλασσινό νερό που συνοδεύει το αργό πετρέλαιο. Ένα μέρος του νατρίου απομακρύνεται με την αφαλάτωση που υφίσταται το αργό πετρέλαιο. Το βανάδιο δεν μπορεί να απομακρυνθεί από το αργό πετρέλαιο και ολόκληρη η ποσότητα του θα βρεθεί στο υπόλειμμα της ατμοσφαιρικής απόσταξης. Αυτές οι ενώσεις είναι ανεπιθύμητες στο καύσιμο καθώς το βανάδιο οξειδώνεται σε V_2O_5 και το νάτριο με την παρουσία SO_2 μετατρέπεται σε Na_2SO_4 . Η ταυτόχρονη παρουσία αυτών των 2 ενώσεων σε θερμοκρασίες άνω των $550\text{ }^\circ\text{C}$ προκαλεί διάβρωση υψηλής θερμοκρασίας λόγω της δημιουργίας ευτηκτικών αλάτων, ιδίως στις βαλβίδες εξαγωγής, όπου αποτίθεται, τις οποίες βαθμιαία καταστρέφουν.

Αργίλιο (αλουμίνιο) και πυρίτιο περιέχονται στο πετρέλαιο σε αναλογία που μπορεί να φθάσει μέχρι 200 ppm. (μέρη ανά εκατομμύριο) προερχόμενα από τους καταλύτες που προσθέτονται κατά την καταλυτική πυρόλυση ορισμένων πρώτων υλών και παραμένουν στα βαριά κυρίως καύσιμα ακόμη και μετά τα διάφορα στάδια παραγωγής και επεξεργασίας του. Μετά την καύση μετατρέπονται σε πυριτικό αργίλιο, μία χημική ένωση που επειδή έχει μεγάλη σκληρότητα προκαλεί μηχανικές φθορές στα χιτώνια της μηχανής αλλά και στο σύστημα εγχύσεως του καυσίμου. Από τις προδιαγραφές για βαριά καύσιμα καθορίζονται ανώτατα επιτρεπτά όρια για τα στοιχεία αυτά και ειδικότερα για το αλουμίνιο, του οποίου η περιεκτικότητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 ppm.

Τα ασφατένια (ασφαλτικές ενώσεις) είναι μεγάλου μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες με σύνθετη μοριακή δομή (αλειφατική, ναφθενική και αρωματική) διασπαρμένοι σε κολλοειδείς αιωρήσεις στο πετρέλαιο. Η αρωματικότητα του καυσίμου καθορίζει την παραμονή των ενώσεων αυτών σε αιώρηση. Μείωση της αρωματικότητας ενός βαρέως υπολείμματος με προσθήκη παραφινικού αποστάγματος για τη δημιουργία ελαφρύτερου μίγματος, είναι δυνατό να προκαλέσει τη συνένωση των αιωρημάτων σε ασφαλτική λάσπη. Η περιεκτικότητα σε ασφατένια, κυμαίνεται μεταξύ 0.5-2% στα ελαφρύτερα καύσιμα, 6-8% στα βαρύτερα και 10-20% στα καύσιμα που προέρχονται από θερμική πυρόλυση. Αυτά κατακάθονται στις δεξαμενές, βουλώνουν τα φίλτρα και αποβάλλονται από τη φυγοκέντριση

Προδιαγραφές κατά ISO

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες (

Πίνακας 1- 2 και

Πίνακας 1- 3) ειδών ναυτικών καυσίμων σύμφωνα με το ISO 8217. Ο πρώτος είναι για ελαφρύτερο πετρέλαιο (marine diesel) και ο άλλος είναι βαρύτερα καύσιμα θερμικής ή καταλυτικής διασπάσεως (intermediate fuel και residual fuels).

Πίνακας 1- 2. Marine residual fuels

Parameter	Unit	Limit	RMA ^a	RMB	RMD	RME	RMG				RMK				
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700		
Viscosity at 50°C	mm ² /s	Max	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0		
Density at 15°C	kg/m ³	Max	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0				
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00				
Aluminium + Silicon	mg/kg	Max	25	40		50	60								
Sodium	mg/kg	Max	50	100		50	100								
Ash	% m/m	Max	0.040	0.070			0.100				0.150				
Vanadium	mg/kg	Max	50	150			350				450				
CCAI	-	Max	850	860			870								
Water	% V/V	Max	0.30					0.50							
Pour point (upper) ^b , Summer	°C	Max	6						30						
Pour point (upper) ^b , Winter	°C	Max	0						30						
Flash point	°C	Min					60.0								
Sulphur ^c	% m/m	Max					Statutory requirements								
Total Sediment, aged	% m/m	Max					0.10								
Acid Number ^e	mgKOH/g	Max					2.5								
Used lubricating oils (ULO): Calcium and Zinc; or Calcium and Phosphorus	mg/kg	-	The fuel shall be free from ULO, and shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met: Calcium > 30 and zinc >15; or Calcium > 30 and phosphorus > 15.												
Hydrogen sulphide ^d	mg/kg	Max					2.00								
^a	This residual marine fuel grade is formerly DMC distillate under ISO 8217:2005.														
^b	Purchasers shall ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially in cold climates.														
^c	The purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements.														
^d	Effective only from 1 July 2012.														
^e	Strong acids are not acceptable, even at levels not detectable by the standard test methods for SAN. As acid numbers below the values stated in the table do not guarantee that the fuels are free from problems associated with the presence of acidic compounds, it is the responsibility of the supplier and the purchaser to agree upon an acceptable acid number.														

Πίνακας 1- 3. Marine distillate fuels

Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosity at 40°C	mm ² /s	Max	5.500	6.000	6.000	11.00
Viscosity at 40°C	mm ² /s	Min	1.400	2.000	3.000	2.000
Micro Carbon Residue at 10% Residue	% m/m	Max	0.30	0.30	0.30	-
Density at 15°C	kg/m ³	Max	-	890.0	890.0	900.0
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	-	-	-	0.30
Sulphur ^a	% m/m	Max	1.00	1.50	1.50	2.00
Water	% V/V	Max	-	-	-	0.30 ^b
Total sediment by hot filtration	% m/m	Max	-	-	-	0.10 ^b
Ash	% m/m	Max	0.010	0.010	0.010	0.010
Flash point	0°C	Min	43.0	60.0	60.0	60.0
Pour point, Summer	0°C	Max	-	0	0	6
Pour point, Winter	°C	Max	-	-6	-6	0
Cloud point	°C	Max	-16	-	-	-
Calculated Cetane Index		Min	45	40	40	35
Acid Number	mgKOH/g	Max	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxidation stability	g/m ³	Max	25	25	25	25 ^c
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4 at 60°C ^d	um	Max	520	520	520	520 ^c
Hydrogen sulphide ^e	mg/kg	Max	2.00	2.00	2.00	2.00
Appearance				Clear & Bright ^f		^{b, c}
^a	A sulphur limit of 1.00% m/m applies in the Emission Control Areas designated by the International Maritime Organization. As there may be local variations, the purchaser shall define the maximum sulphur content according to the relevant statutory requirements, notwithstanding the limits given in this table.					
^b	If the sample is not clear and bright, total sediment by hot filtration and water test shall be required.					
^c	Oxidation stability and lubricity tests are not applicable if the sample is not clear and bright.					
^d	Applicable if sulphur is less than 0.050% m/m.					
^e	Effective only from 1 July 2012.					
^f	If the sample is dyed and not transparent, water test shall be required. The water content shall not exceed 200 mg/kg (0.02% m/m).					

1.2.4 Αγορά ναυτιλιακών καυσίμων-πετρέλευση

Οι διαδικασίες φορτοεκφόρτωσης πρέπει να υπολογίζουν την πιθανή διαφυγή αερίων λόγω χαμηλής πίεσης και η μεταφορά των πετρελαιοειδών από και προς τις δεξαμενές πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα στραγγαλισμού και ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων ρευστού στις σωληνώσεις.⁸


Τα χαρακτηριστικά των καυσίμων πρέπει να ελέγχονται κατά την παραλαβή (bunkering) από το πλήρωμα για εξακρίβωση της σύνθεσης τους και την καταλληλότητα ανάμειξης τους με παλαιότερα καύσιμα που πιθανόν να βρίσκονται στις δεξαμενές. Σε σχέση με τις προδιαγραφές των καυσίμων για χρήση σε Ναυτικούς κινητήρες, τα υπάρχοντα καύσιμα στην παγκοσμία αγορά είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ISO που φαίνονται στους ανωτέρω πίνακες.

Για αποσταγμένα καύσιμα όπως το Marine diesel oil και το Marine gas oil το ιξώδες τους στους 40 °C είναι το ελάχιστο έως και 1.40 cSt. Η χαμηλή τιμή αυτή για το ιξώδες είναι και ο λόγος που δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα στο μηχανοστάσιο. Η βιομηχανία καυσίμων ερευνά το θέμα από την δική της πλευρά και καταβάλλει προσπάθειες για την παραγωγή ενός καυσίμου που να είναι συμβατό και ασφαλές με τα υπάρχοντα συστήματα και δίκτυα στα πλοία. Η προσπάθεια έχει κατεύθυνση προς τη δημιουργία ενός καυσίμου που να έχει το προδιαγραφόμενο ποσοστό σε θείο με μεγαλύτερη όμως τιμή ιξώδους.

Η τιμή ωστόσο αυτού του καυσίμου αλλά και η διαθεσιμότητα του στα λιμάνια τουλάχιστον που ισχύουν οι κανονισμοί είναι κάποια από τα ζητήματα που απασχολούν τις πλοιοκτήτριες εταιρείες. Οι λόγοι είναι ότι οι εταιρείες πρέπει να επιβαρυνθούν όχι μόνο το επιπλέον κόστος του συγκεκριμένου καυσίμου αλλά και τις τυχόν καθυστερήσεις του πλοίου στο λιμάνι για να προμηθευτεί το καύσιμο αφού εάν μόνο λίγες εταιρείες το διαθέτουν στην αγορά τότε αναπόφευκτα θα υπάρξει συνωστισμός.

Εκτός από τις απαιτήσεις που περιορίζουν την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου, το παράρτημα VI της MARPOL 73/78 περιλαμβάνει απαιτήσεις που εμποδίζουν την ενσωμάτωση των δυνητικά επιβλαβών ουσιών, και ιδίως τα ρεύματα αποβλήτων (π.χ. χημικά απόβλητα), σε μαζούτ. Δελτία παραδόσεως (Bunkering), Σχήμα 1- 3 ,πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για τουλάχιστον τρία χρόνια και πρέπει να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τις ακόλουθες πληροφορίες: όνομα και αριθμός IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα, το λιμάνι ανεφοδιασμού καυσίμων, την ημερομηνία έναρξης ανεφοδιασμού, την επωνυμία, διεύθυνση, αριθμός τηλεφώνου του προμηθευτή, την ονομασία προϊόντος, την ποσότητα (σε μετρικούς τόνους), την πυκνότητα στους 15°C (kg/m³) και την περιεκτικότητα σε θείο (% m/m).

Σχήμα 1- 3. Δελτίο Παραδόσεως (Bunker Delivery Note) [Source: ibia.net]

© 2006  **IBIA Standard Bunker Delivery Note / Receipt**

Nomination No.		Date	Port	Product Details	
Supplier Details		Received By	Company Name	Grade/ISO Designation	
Company Name	Vessel Name		Density @ 15°C (kg/m ³)		
Address 1	IMO Number	Delivered By	Flag	Calculated from Components	YES / NO
Address 2	Shore Tank		Shore Tank measurement	YES / NO	
Address 3	Bunker Barge	Pipeline	Bunker Tanker measurement	YES / NO	
Address 4	Road Tank Wagon		Viscosity (mm ² /s) @ 50°C		
Telephone			Flash Point (°C)		
			Sulphur % (m/m)		
			Water Content % (m/m)		

Opening Gauges					Closing Gauges					
Tank No.	Tank Gauge (corrected for trim)	Observed Volume in litres	Observed Temperature	Volume Correction Factor	Standard Volume @15°C	Tank Gauge (corrected for trim)	Observed Volume in litres	Observed Temperature	Volume Correction Factor	Standard Volume @15°C
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
Total Standard Volume (A)					Total Standard Volume (B)					
					Total Volume transferred = A-B					
					Standard Volume @ 15°C (m ³) (A-B)/1000					
					Density @ 15°C (kg/m ³)					
					Delivered MASS Tonnes (kg/1000) in vacuo					
					Weight Correction Factor					
					Delivered MASS Tonnes (kg/1000) in air					

Event Log		CONNECTED		START PUMPING		FINISH PUMPING		DISCONNECTED	
Date	Time	Date	Time	Date	Time	Date	Time	Date	Time

Seal Numbers	Receiving Vessel	Bunker Tanker	MARPOL	Surveyor

Remarks	I, the undersigned declare that the fuel oil supplied is in conformity with regulation 14(1) or (4)(a) and regulation 18(1) of MARPOL Annex VI	Stamp of vessel/signature of vessel officer
	signed	
	Name (Print)	

Μια υπογεγραμμένη δήλωση πρέπει να δίνεται από τον προμηθευτή του καυσίμου ή εκπρόσωπο του ότι το καύσιμο είναι απαλλαγμένο από ανόργανα οξέα και δεν περιλαμβάνει καμία προστιθέμενη ουσία ή χημικά απόβλητα τα οποία θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των πλοίων, επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση της μηχανής, είναι επιβλαβής για το προσωπικό, και συνεισφέρουν συνολικά στην πρόσθετη ρύπανση του αέρα.

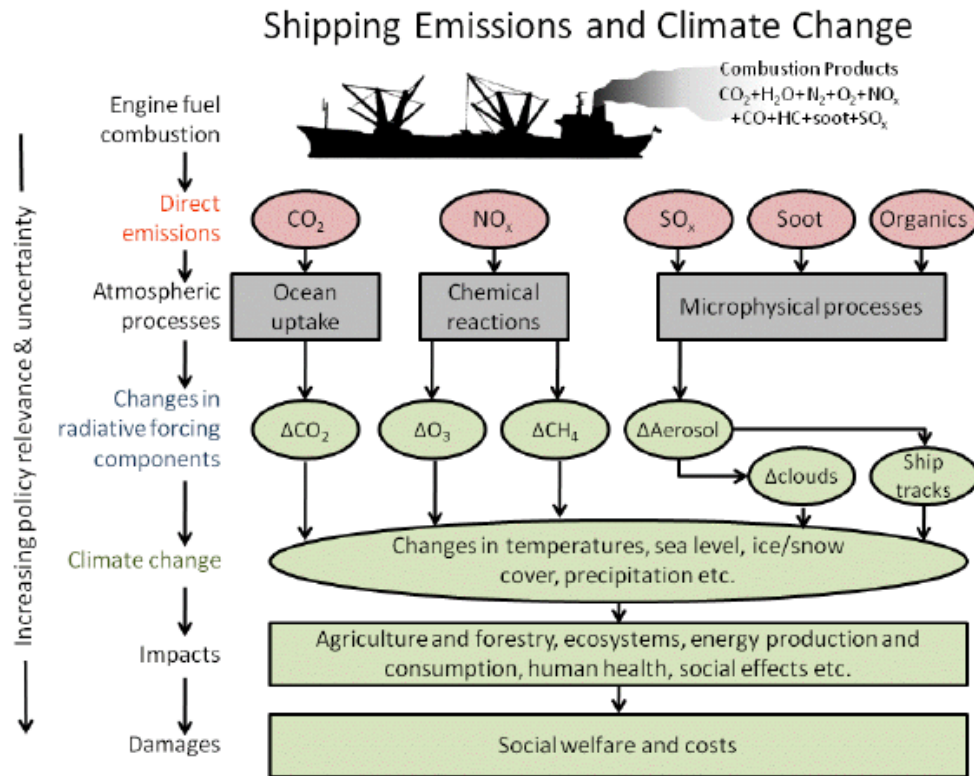
Τα δείγματα πρέπει να διατηρούνται επί του σκάφους για τουλάχιστον 12 μήνες και η ετικέτα στο κάθε δείγμα πρέπει να αναγράφει τα ακόλουθα: η θέση στην οποία ευρίσκονται, και τη μέθοδο με την οποία πήραν το δείγμα, η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε ο ανεφοδιασμός, η ονομασία του δεξαμενοπλοίου / εγκατάσταση καυσίμων, το όνομα και ο αριθμός IMO του πλοίου που παραλαμβάνει τα καύσιμα, οι υπογραφές και τα ονόματα του προμηθευτή και εκπροσώπου του πλοίου και τέλος λεπτομέρειες σχετικά με σφραγίδα ταυτοποίησης.

1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η εμπορική ναυτιλία είναι μείζονος σημασίας για το διεθνές εμπόριο και τη διεθνή οικονομία παρόλα αυτά είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό ποσοστό του παγκόσμιου προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η ναυτιλία καταναλώνει 335 εκ. τόνους καύσιμο/έτος, ενώ μεταφέρει το περίπου 90% του παγκόσμιου εμπορίου⁹. Η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, υπολογίζει ότι παρά τις διεθνείς συμβάσεις που τίθενται σε εφαρμογή, η προερχόμενη από το θαλάσσιο χώρο ατμοσφαιρική ρύπανση θα έχει ισοσκελίσει έως το 2020, την αντίστοιχη χερσαία ρύπανση εντός της Ε.Ε.

Αντίστοιχα όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, περισσότερο από το 3% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να αποδοθεί στα ποντοπόρα πλοία.¹⁰ Πρόκειται για ένα ποσό συγκρίσιμο με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των μεγάλων χωρών. Στην πραγματικότητα, εάν η παγκόσμια ναυτιλία ήταν χώρα, θα ήταν ο έκτος μεγαλύτερος παραγωγός εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Επιπλέον, τα σενάρια για τις μελλοντικές δραστηριότητες της ναυτιλίας υποδηλώνουν κάποια πιθανότητα για σημαντικές αυξήσεις στην κατανάλωση ενέργειας και εκπομπών. Τα σενάρια για τις ναυτιλιακές εκπομπές CO₂ για το 2050 συνδυάζουν διαφορετικά ποσοστά ανάπτυξης και διάφορες υποθέσεις σχετικά με την πρόσληψη τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών.¹¹ Σε γενικές γραμμές, όλα τα σενάρια δείχνουν μια ανάπτυξη στη θαλάσσια δραστηριότητα, με αύξηση των εκπομπών CO₂. Μια αναφορά του United Nations Environmental Programme¹² δείχνει ότι, το 2050, οι εκπομπές CO₂ θα κυμαίνονται από 1,25 Gt μέχρι 3,5 Gt.



Σχήμα 1- 4. Σχηματικό διάγραμμα των αερίων ρύπων από την ναυτιλία.¹³

Τα SO_x οφείλονται στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων. Σήμερα, τα ναυτιλιακά καύσιμα παγκοσμίως περιέχουν κατά μέσο όρο 2,7% κ.β. θείο ή 27.000 ppm. Συγκριτικά, το όριο σε θείο για το πετρέλαιο κίνησης είναι 10 ppm, σύμφωνα με την οδηγία 2003/17/EK. Το θείο που περιέχουν τα καύσιμα οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης στη μηχανή σε οξείδια του θείου, κυρίως SO₂ και SO₃.¹⁴ Τα οξείδια του θείου αναφέρονται ως SO_x. Το SO₃ αντιδρά με την υγρασία (H₂O) και δημιουργεί σωματίδια θειικού οξέος (H₂SO₄) μικροσκοπικού μεγέθους, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα). Ο κλάδος της ναυτιλίας βρίσκεται μεταξύ των κορυφαίων εκπομπών SO_x. Οι εκπομπές SO_x από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό μεταξύ 5% και 8% του συνόλου των εκπομπών SO_x του κόσμου.¹⁵ Μετα την εφαρμογή των νέων κανονισμών που τέθηκαν σε εφαρμογή το 2010 και το 2015 παρατηρείται μια ελαφριά μείωση των εκπομπών SO_x η οποία θα κορυφωθεί από το 2020 οπότε και θα τεθούν αυστηρά όρια περιεκτικότητας σε θείο σε παγκόσμια εμβέλεια.

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 οξείδια του αζώτου, NO_x. Τα NO_x μπορεί επίσης να σχηματιστούν (σε μικρότερο ποσοστό) από την καύση συστατικών των καυσίμων που περιέχουν άζωτο (fuel NO_x). 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. Οι εκπομπές NO_x από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν περίπου το 15% του συνόλου των εκπομπών NO_x του κόσμου.¹⁶ Με την πάροδο των χρόνων και με τις νέες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στους δίχροτους κινητήρες diesel εμφανίζεται μια τάση μείωσης των NO_x η οποία όμως αντιστράφηκε τα έτη 2013-2015 με μια αύξηση της

τάξης του 3,5%.¹⁷ Η εφαρμογή των νέων κανονισμών του IMO που εφαρμόζεται σε πλοία που χτίζονται από 01/01/2016 αναμένεται να επιφέρει μια δραματική μείωση στον συγκεκριμένο ρύπο, η οποία όμως δεν έχει ακόμη παρατηρηθεί λόγω του ότι ακόμα και σήμερα χτίζονται καράβια με πιστοποιητικά που έχουν εκδοθεί πριν την 01/01/2016.

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) 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.¹⁸ Ειδικά στις εξατμίσεις των πλοίων, παράγονται κυρίως σωματίδια θεικών και καπνιάς.¹⁹

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις εντοπίζονται κυρίως στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων. Στην περίπτωση αυτή οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds) είναι μίγματα ελαφρών υδρογονανθράκων (μεθάνιο έως οκτάνιο) που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα κυρίως κατά τη φόρτωση δεξαμενόπλοιων με αργό και προϊόντα πετρελαίου. Σε όλα τα παραπάνω μπορεί να υπάρχει αδρανές αέριο, υδρόθειο και άλλες ανόργανες ενώσεις. Το μεθάνιο αποτελεί αέριο που συντελεί στο φαινόμενο θερμοκηπίου σε βαθμό πολλαπλάσιο σε σχέση με το CO₂ ενώ τα άλλα βαρύτερα αέρια όπως το προπάνιο και βουτάνιο συντελούν στη δημιουργία όζοντος χαμηλά στην ατμόσφαιρα που είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία.

Τα βασικά αέρια που εξετάζονται και η ετήσια ποσότητα εκπομπών τους καθώς και ο αριθμός των πλοίων που μελετήθηκαν και τα χιλιόμετρα που διένυσαν δίνονται στον παρακάτω πίνακα βάσει μιας έρευνας για το έτος 2015.²⁰

Πίνακας 1- 4. Εκτίμηση των αερίων ρύπων από την ναυτιλία, με βάση τα δεδομένα του 2015. ²⁰

	NO _x	SO _x	PM _{2.5}	CO	CO ₂	Travel	Payload	Ships
	[10 ⁶ kg]	[10 ⁶ kg]	[10 ⁶ kg]	[10 ⁶ kg]	[10 ⁶ kg]	[10 ⁶ km]	[10 ⁹ km*ton]	
All ships	20,880	9690	1490	1350	831,300	5050	105,490	376,219
IMO-registered	19,200	9180	1390	1220	756,000	3630	101,860	65,804
Identified, non-IMO	1560	487	88	115	69,000	1240	3630	234,438
Not identified	124	24	6	13	6800	180	–	75,977

Η επίδραση των αερίων ρύπων από τη Ναυτιλία δεν έχει τοπικό χαρακτήρα αφού τα πλοία βρίσκονται σε συνεχή κίνηση ανά τον κόσμο. Όπως γίνεται φανερό, οι εκπομπές ρύπων εξαιτίας της λειτουργίας των πλοίων δεν είναι ισομερώς κατανομημένες αλλά συγκεντρώνονται στις ακτογραμμές και στις θαλάσσιες οδούς. Τα πλοία ακόμα και όταν δεν κινούνται στα ανοικτά πελάγη, παράγουν αέριους ρύπους. Το γεγονός αυτό έγκειται στην ανάγκη που υπάρχει για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και παραγωγή ατμού για ποικίλες εφαρμογές επί του πλοίου.²¹

Μελέτες σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή της ναυτιλιακής κίνησης έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνουν χώρα στο βόρειο ημισφαίριο, εντός ενός καλά προσδιορισμένου συστήματος διεθνών θαλάσσιων οδών.²² Επίσης, εκτιμάται ότι περίπου το 70% των εκπομπών από την ναυτιλία συμβαίνουν εντός 200 ν.μ., με το 44% αυτών σε απόσταση 50 ν.μ. από την ξηρά.²³

1.3.1 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή

Οι βλαβερές επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στον άνθρωπο είναι ο βασικότερος λόγος των προσπαθειών που καταβάλλονται για την πλήρη κατανόηση και τον έλεγχο των πηγών εκπομπής ρύπων. Μπορούμε να διακρίνουμε τις επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό με συντελεστή το επίπεδο έκθεσης, σε ισχυρές επιδράσεις, όπου οι ρύποι επιδρούν για μικρό χρονικό διάστημα και σε δόσεις σχετικά υψηλές, και σε χρόνιες επιδράσεις, όπου οι ρύποι συναντώνται σε μικρές δόσεις, ανεπαρκείς για να δημιουργήσουν μια άμεση δηλητηρίαση, αλλά με έναν επαναλαμβανόμενο τρόπο. Οι ισχυρές επιδράσεις προκαλούν συχνά το θάνατο και δημιουργούνται συνήθως σε εσωτερικούς χώρους ή έχουν σχέση με τοξικά αέρια τα οποία απελευθερώνονται σε εξαιρετικές περιστάσεις (π.χ. βιομηχανικά ατυχήματα).

Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο 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.

Διοξείδιο του θείου

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) είναι ένας από τους κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας. Είναι αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειώδες οξύ. Σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO_3 , το οποίο μετατρέπεται σε θειικό οξύ H_2SO_4 , κύριο συστατικό της όξινης βροχής.

Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιοαγγειακές και χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις (όπως η βρογχίτιδα ή το εμφύσημα), τα άτομα που πάσχουν από άσθμα, καθώς και τα μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Εισπνεόμενο προκαλεί ερεθισμό του βλεννογόνου, του ρινοφάρυγγα, του λάρυγγα και των βρόγχων, σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκληθεί σπασμός του λάρυγγα και πνευμονικό οίδημα. Η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιοαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες.

Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο τα διάφορα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα (π.χ. βροχή, χαλάζι, χιόνι) αποκτούν έναν όξινο χαρακτήρα λόγω των όξινων αερίων που διαλύονται σε αυτά. Τα πιο σημαντικά αέρια που προκαλούν την όξινη βροχή είναι: το διοξείδιο του θείου (SO_2), και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) από το οποίο σχηματίζεται το νιτρικό οξύ (HNO_3). Όξινη βροχή έχει καταστρεπτικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς επίσης στα κτήρια και τα μνημεία.

Το SO_2 και τα NO_x μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια των ανέμων και να δημιουργήσουν όξινη βροχή χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους. Συχνά, οι χώρες που υφίστανται τις επιπτώσεις της όξινης βροχής δεν είναι εκείνες που παρήγαγαν την αρχική ρύπανση. Το νερό της βροχής φυσιολογικά έχει pH 6,5 έως 5,6. Το pH είναι το μέγεθος που δηλώνει αν ένα διάλυμα είναι ουδέτερο (pH=7), όξινο (pH μικρότερο του 7) ή αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7). Το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4,6 και 4, ενώ κατά καιρούς μετριούνται και πιο ακραίες τιμές του pH (έως και 2,4). Φυσικά, συνδυασμός SO_2 και NO_x αποτελεί τον πρόδρομο εμφάνισης της όξινης βροχής, η οποία σχετίζεται με την οξίνιση του εδάφους, των λιμνών και ρεμάτων-χειμάρρων, την επιτάχυνση της διάβρωσης κτιρίων και μνημείων, καθώς και τη μείωση της ορατότητας.

Υψηλές συγκεντρώσεις όξινης εναπόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά. Το πρόβλημα της όξινης βροχής άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα έντονο από τη δεκαετία του 1970 και μετά. Ιδιαίτερα καταστρεπτική έχει θεωρηθεί η επίδρασή του, στα φυτά και ειδικότερα στα δέντρα, αφού λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, εκτίθενται μακροχρόνια. Ο μεταβολισμός τους διαταράσσεται και το ριζικό σύστημα υφίσταται βλάβες, με αποτέλεσμα να προσλαμβάνονται μικρότερες ποσότητες θρεπτικών αλάτων και νερού.

Επιπλέον, το ίδιο το έδαφος υποβαθμίζεται, γιατί τα οξέα που φτάνουν σ' αυτό σε μεγάλη ποσότητα καταστρέφουν τους ωφέλιμους μικροοργανισμούς, διαλύουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων που κατόπιν απομακρύνονται με το νερό της βροχής και απελευθερώνουν τοξικά για τα φυτά βάρη μέταλλα (κυρίως ιόντα αργιλίου και μαγγανίου). Συνέπεια όλων αυτών είναι, η εξασθένιση των δέντρων, που τα καθιστά ευάλωτα σε βακτήρια, και ασθένειες. Καταστρεπτικές είναι οι επιδράσεις της όξινης βροχής και στα επιφανειακά νερά, κυρίως στις λίμνες και στα μικρά ποτάμια, καθώς η αυξημένη συγκέντρωση οξέων καταστρέφει το πλαγκτόν, την υδάτινη χλωρίδα και τα αβγά αμφιβίων και ψαριών.

Η όξινη βροχή καταστρέφει κτήρια, μνημεία και αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), που απορροφά το SO_2 και μετατρέπεται σε γύψο (CaSO_4). Ο γύψος είναι πολύ περισσότερο υδατοδιαλυτός από το μάρμαρο, με αποτέλεσμα να παρασύρεται από τη βροχή.

Επίσης, ο μοριακός όγκος του γύψου είναι μεγαλύτερος από αυτόν του μαρμάρου, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ρωγμές στο μάρμαρο. Καταστροφές μνημείων εξαιτίας της όξινης βροχής έχουν σημειωθεί σε πάρα πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο.²⁴ Τα φαινόμενα αυτά έχουν παρατηρηθεί σε αρχαιολογικούς χώρους της Αθήνας, όπως η Ακρόπολη, και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση αγαλμάτων από εξωτερικούς χώρους και την επιβολή μέτρων για τη μείωση του περιεχομένου θείου στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης στην Αθήνα ήδη από τη δεκαετία του '80.



Σχήμα 1- 5. Φωτογραφία που απεικονίζει φθορά των μαρμάρων της Ακρόπολης από την όξινη βροχή

Οξείδια του Αζώτου

Το άζωτο, που αποτελεί το 78 % του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξείδια 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 μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα το διοξείδιο έχει δριμεία μωρωδιά 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 NOx και άκαυστοι υδρογονάνθρακες, με μια σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων παρουσία φωτός καταλήγουν στη δημιουργία όζοντος (O₃) και μιας μεγάλης ποικιλίας άλλων οργανικών ουσιών. Τέλος τα NOx συνεισφέρουν μαζί με τα SOx 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 συγκέντρωσή 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 τσουξίμο 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

Με βάση την ταξινόμηση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος (σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα) και σε συσχέτιση με την διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό, γίνεται η εισαγωγή δύο νέων ρυπαντικών παραμέτρων, των σωματιδίων PM₁₀ και των σωματιδίων PM_{2.5}. Ο αυστηρός ορισμός των PM όπως τον αναφέρει η ΕΕ στις οδηγίες της είναι:²⁵

PM₁₀ νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10μm.

PM_{2,5} νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5μm.

Η επίδραση που έχει στην ανθρώπινη υγεία η έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση καθορίζεται από το μέγεθος, τη συγκέντρωση και τη χημική σύσταση των σωματιδίων.²⁶ Συνολικά λοιπόν, τα συμπτώματα που μπορούμε να εντοπίσουμε είναι κυρίως προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα και ενδεχόμενες καρδιακές παθήσεις. Τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm παγιδεύονται στη μύτη ή τον φάρυγγα και στην συνέχεια απομακρύνονται ή καταπίνονται χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα. Τα μικρότερα όμως σωματίδια, και ιδιαίτερα εκείνα με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm, εισέρχονται στους πνεύμονες, όπου και

παραμένουν, και είναι δύσκολη η απομάκρυνσή τους, με αποτέλεσμα την πρόκληση πνευμονικών προβλημάτων. Επιπροσθέτως, τα ενδιάμεσα σωματίδια που ελευθερώνονται μέσα στον οργανισμό κατά τη διάρκεια μίας φλεγμονώδους αντίδρασης είναι ύποπτα για να αυξήσουν τον κίνδυνο μίας συμφόρησης του κυκλοφοριακού και εν συνεχεία μίας καρδιακής προσβολής.

Είναι γενικά παραδεκτό ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μειώσει τη διάρκεια της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο. Ακόμα, υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμη και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια.²⁷ Σύμφωνα με άλλη μελέτη,²⁸ τα αιωρούμενα σωματίδια από τη ναυτιλία είναι υπεύθυνα για περίπου 60.000 πρόωρους θανάτους ετησίως σε όλο τον πλανήτη από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο του πνεύμονα, με τους περισσότερους να λαμβάνουν χώρα κοντά στις ακτές της Ευρώπης, της Ανατολικής Ασίας και της Νότιας Ασίας, όπου συμπίπτει έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού.

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs)

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω κατά τη φόρτωση δεξαμενόπλοιων με αργό και προϊόντα πετρελαίου διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα μίγματα ελαφρών υδρογονανθράκων (μεθάνιο έως οκτάνιο). Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων είναι δυνατόν να έχουμε στις τερματικές εγκαταστάσεις στους σταθμούς διανομής καυσίμων που υπάρχουν στα λιμάνια. Στην περίπτωση αυτή οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούνται κυρίως από πτητικές αρωματικές ενώσεις όπως είναι το βενζόλιο το οποίο έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Το βενζόλιο είναι μία ιδιαίτερα τοξική χημική ένωση. Όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει ζαλάδες, ταχυκαρδία, πονοκεφάλους, σύγχυση και αναισθησία, ακόμα και τον θάνατο. Μακροχρόνια έκθεση σε βενζόλιο έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και κυρίως στο αίμα. Καταστρέφει το μυελό των οστών και μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση αναιμίας. Επίσης μπορεί να προκαλέσει υπερβολική αιμορραγία και να μειώσει την ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος αυξάνοντας τις πιθανότητες μόλυνσης. Τέλος το βενζόλιο θεωρείται καρκινογόνο για τον άνθρωπο, μακροχρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση λευχαιμίας.

1.4 Η λύση της μετάβασης σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε ταχύρρυθμα μεταξύ 1990-2018. Τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, φυσικό αέριο και πετρέλαιο) καταλαμβάνουν περίπου το 80% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η πρόβλεψη για τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες είναι ότι αυτές αυξάνονται ταχύτατα, κυρίως λόγω της αύξησης των αναπτυσσόμενων οικονομιών (Κίνα, Ινδία) και του σχετικά χαμηλού βαθμού ενεργειακής τους απόδοσης. Έως το 2030 τουλάχιστον, οι απαιτήσεις αυτές θα συνεχίσουν να ικανοποιούνται κατά κύριο λόγο από κατανάλωση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, αέριο). Η εξέλιξη αυτή θα έχει αρνητικές συνέπειες με επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής, περαιτέρω επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τάχιστα μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων.

Η διαφαινόμενη εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων του πλανήτη μας (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, σχάσιμα υλικά) σε συνδυασμό με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, αλλά και την βαθμιαία επιδείνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, οδήγησε τις σύγχρονες κοινωνίες να στραφούν αφενός σε τεχνικές εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αφετέρου στην αξιοποίηση εναλλακτικών ή ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Οι τεχνολογίες αξιοποίησης των εναλλακτικών και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στον τομέα της Ναυτιλίας με σκοπό την τη συμμόρφωση με τους διεθνείς κανονισμούς ρύπων αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Διεθνείς κανονισμοί μείωσης εκπομπών και αερίων του θερμοκηπίου

2.1 Ιστορικό

Ο ΙΜΟ είναι ένας οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών με έδρα το Λονδίνο, που λειτουργεί μέσω ενός αριθμού εξειδικευμένων επιτροπών και υποεπιτροπών, καθεμιά από τις οποίες αποτελείται από αντιπροσώπους των κρατών μελών. Η Επιτροπή για τη Ναυτιλιακή Ασφάλεια (Maritime Safety Committee – MSC) είναι η παλιότερη από αυτές. Η Επιτροπή για την Προστασία του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee – MEPC) ιδρύθηκε το 1973 και είναι υπεύθυνη για τον συντονισμό των δραστηριοτήτων του ΙΜΟ για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τη ναυτιλία. Στον ΙΜΟ συμμετέχουν επιπλέον ως παρατηρητές χωρίς ψήφο, και επηρεάζουν τις αποφάσεις παρέχοντας στοιχεία ή έχοντας συμβουλευτικό ρόλο, πάνω από 40 διακυβερνητικές και 60 μη κυβερνητικές οργανώσεις, που εξυπηρετούν διάφορες ομάδες της ναυτιλιακής βιομηχανίας (π.χ. πλοιοκτήτες), των νομικών και περιβαλλοντικών οργανώσεων.²⁹

Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η ταχύτητα αναπτυσσόμενη οικονομία απαιτούσε τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Το 1948 τα Ηνωμένα Έθνη συγκάλεσαν μια Ναυτιλιακή Διάσκεψη στη Γενεύη, στην οποία, μεταξύ άλλων, ιδρύθηκε ο IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization) που αποτέλεσε πρόδρομο του ΙΜΟ (International Maritime Organization) (συγκεκριμένα, ο IMCO μετονομάστηκε σε ΙΜΟ το 1982). Παραδοσιακές ναυτιλιακές χώρες, όπως η Μεγάλη Βρετανία, έβλεπαν με καχυποψία τις αρμοδιότητες ενός τέτοιου οργανισμού και ήθελαν η δράση του να είναι απλώς συμβουλευτική, με αποτέλεσμα η ιδρυτική σύμβασή του να τεθεί σε ισχύ, μόλις το 1958. Παράλληλα, όμως, οι ίδιες χώρες επιθυμούσαν ένα διεθνές πλαίσιο ελέγχου της ναυτιλιακής ρύπανσης, διότι τα κράτη που θα έπαιρναν μονομερώς αυστηρά εθνικά μέτρα θα μείωναν την ανταγωνιστικότητά τους. Εκείνες τις εποχές, οι κύριοι συντελεστές της ναυτιλιακής βιομηχανίας είχαν την έδρα τους στις αναπτυγμένες χώρες, οι οποίες και επηρέαζαν σημαντικά τις αποφάσεις του νεοσύστατου οργανισμού.²⁹

Η εξέλιξη των πολιτικών για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκινά από την δεκαετία του 1970, όπου με τη Διάσκεψη της Στοκχόλμης τέθηκαν οι βάσεις της περιβαλλοντικής πολιτικής σε διεθνές επίπεδο, έως σήμερα. Το σημαντικότερο γεγονός στην εικοσαετία που μεσολάβησε από τη Σύνοδο της Στοκχόλμης ήταν η δημοσίευση, το 1987, από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη του ΟΗΕ, της έκθεσης με τίτλο «Το κοινό μας μέλλον». Η έκθεση αυτή είναι περισσότερο γνωστή και ως έκθεση Brundtland, από το όνομα της πρωθυπουργού της Νορβηγίας και προέδρου της επιτροπής Gro Harlem Brundtland. Η Επιτροπή αποτελούνταν από 21 μέλη, τα περισσότερα προέρχονταν από τις αναπτυσσόμενες χώρες και ήταν κυρίως πολιτικοί αλλά και εκπρόσωποι της επιστημονικής κοινότητας και του επιχειρηματικού κόσμου. Στο πλαίσιο λειτουργίας της, τα μέλη της επιτροπής έπρεπε να δράσουν σύμφωνα με τις ιδιότητές τους και όχι ως εκπρόσωποι των κυβερνήσεων τους. Από την άλλη, παρά την ανεξαρτησία της, η επιτροπή λειτουργούσε βάσει συγκεκριμένων κατευθύνσεων και σε συνεργασία με το UNEP (United Nations Environment Programme)

Για την υλοποίηση της περιβαλλοντικής πολιτικής, κατά τη δεκαετία του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 χρησιμοποιούνταν παραδοσιακοί κανονισμοί που έθεταν όρια στις εκπομπές των ρύπων και επέβαλλαν πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος, διεργασιών και τεχνολογιών.

2.2 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ)

Παρατηρούμε ότι η αλλαγή του κλίματος είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Ένα φαινόμενο στο οποίο οι θαλάσσιες μεταφορές και η ναυτιλία γενικότερα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαίωσή του. 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

(NOx), 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 σύγχρονη τεχνολογία σε συνδυασμό με την ευαισθητοποίηση, δημιουργούν ένα σύγχρονο νομοθετικό πλαίσιο και μηχανισμούς ελέγχου που δίνουν τη δυνατότητα να βελτιώσουμε την περιβαλλοντική ασφάλεια των θαλάσσιων δρόμων, να μειώσουμε τα περιστατικά ρύπανσης και να αποτρέψουμε τα ναυτικά ατυχήματα. Υπάρχουν πια θαλάσσιες περιοχές και διαδρομές, όπου παρατηρείται μεγάλη κίνηση σκαφών κάθε είδους, με συνέπεια να μιλάμε σήμερα για θαλάσσιους δρόμους και θαλάσσιες λεωφόρους.

Η χρήση τεχνολογίας για βελτίωση της περιβαλλοντικής ασφάλειας των θαλάσσιων δρόμων και περιοχών, γενικότερα, είναι αντικείμενο μελέτης παγκοσμίως. Στο πλαίσιο αυτό, 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 σημαντικότερη σύμβαση που ρυθμίζει και που αποτρέπει τη θαλάσσια μόλυνση από τα πλοία είναι η διεθνής Συνθήκη του IMO για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, του 1973, όπως τροποποιείται από το πρωτόκολλο του 1978 που αφορά την επιπλέον MARPOL 73/78. Καλύπτει την τυχαία και λειτουργική ρύπανση από πετρέλαιο καθώς επίσης τη μόλυνση από τις χημικές ουσίες, αγαθά σε συσκευασμένη μορφή, τα λύματα, τα απορρίμματα και την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η Συνθήκη του IMO βεβαιώνει το δικαίωμα ενός παράκτιου κράτους να λάβει τα σχετικά μέτρα για να αποτρέψει, να μετριάσει ή να εξαλείψει τον κίνδυνο στην ακτή του από ένα θαλάσσιο ατύχημα. Τη διεθνή συνθήκη International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation (OPRC), 1990 παρέχει ένα παγκόσμιο πλαίσιο για διεθνή συνεργασία στην καταπολέμηση σημαντικών γεγονότων ή απειλών θαλάσσιας ρύπανσης. Ένα πρωτόκολλο σε αυτήν την σύμβαση (HNS πρωτόκολλο) καλύπτει τη θαλάσσια μόλυνση από τις επικίνδυνες και επιβλαβείς ουσίες.

Ο IMO έχει επίσης ευθύνες γραμματείας για τη Συνθήκη σχετικά με την πρόληψη της θαλάσσιας μόλυνσης από το απόρριψη των αποβλήτων και άλλων ουσιών (LDC) 1972,³⁰ γενικά γνωστή ως London Convention, η οποία έχει ενημερωθεί από το πρωτόκολλο του 1996.

Η Επιτροπή για την Προστασία του Θαλασσιού Περιβάλλοντος (MEPC) του IMO στα μέσα του 1980 αναθεώρησε την ποιότητα των καυσίμων σε σχέση με τις απαιτήσεις εκκένωσης του Παραρτήματος I και το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είχε αρχίσει να συζητείται. Το 1988, η MEPC συμφώνησε να συμπεριλάβει το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο πρόγραμμα εργασίας του ακολουθώντας το υπόμνημα της Νορβηγίας για την κλίμακα του προβλήματος. Επιπλέον, η δεύτερη διεθνής συνδιάσκεψη για την προστασία της Β. θάλασσας, τον Νοέμβριο του 1987, 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». Στην επόμενη σύνοδο της MEPC, τον Μάρτιο του 1989, διάφορες χώρες υπέβαλλαν επιστημονικές εργασίες σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων και την ατμοσφαιρική ρύπανση και συμφώνησαν να εκφράσουν τις απόψεις τους για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία, όπως και για την ποιότητα των καυσίμων στα πλαίσια του μακροπρόθεσμου προγράμματος εργασιών της επιτροπής, που άρχισε το Μάρτιο του 1990.

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.

- 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 ή περίπου 10% των παγκόσμιων εκπομπών.

Οι συζητήσεις στην MEPC και η συνθετική δουλειά μιας ομάδας εργασίας, οδήγησαν στην υιοθέτηση το 1991, της απόφασης A.719 (17) της συνέλευσης του IMO για τον Περιορισμό της αέριας ρύπανσης από πλοία. Το ψήφισμα ζητούσε από την MEPC να προετοιμάσει ένα νέο σχέδιο Παραρτήματος της MARPOL 73/78 για τον Περιορισμό της αέριας ρύπανσης.

Το νέο σχέδιο παραρτήματος αναπτύχθηκε τα επόμενα 6 χρόνια και τελικά υιοθετήθηκε 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.

2.2.1 Marpol Annex VI

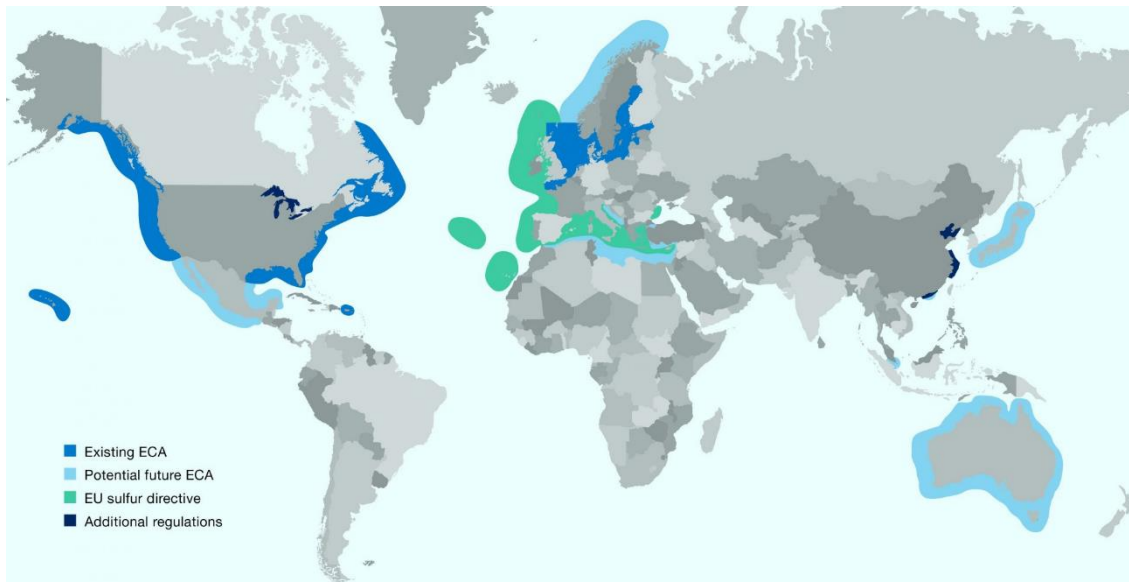
Οι εκπομπές μη-αερίων του θερμοκηπίου ρυθμίζονται από τον IMO. Η πιο σημαντική σύμβαση, η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (MARPOL) εκδόθηκε το 1973 και στοχεύει σε αρκετές πτυχές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από πλοία. Το Παράρτημα VI, που προστέθηκε στην Σύμβαση το 1997, αναφέρει εκπομπές καυσαερίων, όπως τα SO_x, τα NO_x και των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και περιοχές ελέγχου των εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων στα δεξαμενόπλοια.³¹

Το Παράρτημα VI της MARPOL ρυθμίζει επίσης τη διάλυση του πλοίου και τις εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων από τα δεξαμενόπλοια.³² Μετά την έναρξη ισχύος του Παραρτήματος VI της MARPOL στις 19 Μαΐου 2005, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), κατά την 53η σύνοδό της (Ιούλιος 2005), συμφώνησε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI της MARPOL με στόχο τη σημαντική αύξηση των ορίων εκπομπών υπό το πρίσμα των τεχνολογικών βελτιώσεων και της έως τώρα εμπειρίας. Ως αποτέλεσμα τριετούς μελέτης, η MEPC 58 (Οκτώβριος 2008) εξέδωσε το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL και το σχετικό Τεχνικό Κώδικα NO_x του 2008, η οποία τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2010.

Τον Οκτώβριο του 2008, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) στην 58η σύνοδό της ενέκρινε τις προτεινόμενες τροποποιήσεις στο παράρτημα VI της MARPOL, σχετικά με τους κανονισμούς για την μείωση των επιβλαβών εκπομπών από τα πλοία. Οι βασικές αλλαγές αναφέρονται στην σταδιακή μείωση των εκπομπών οξειδίων θείου (SO_x) από τα πλοία, με το παγκόσμιο όριο του θείου να μειώνεται αρχικά σε 3,50% (από 4,50%), από την 1η Ιανουαρίου 2012 και έπειτα σταδιακά σε 0,50 %, από την 1η Ιανουαρίου 2020, υπό τον όρο ότι μία μελέτη σκοπιμότητας θα έχει ολοκληρωθεί το αργότερο έως το 2018. Η μελέτη αυτή υπέδειξε την αναγκαιότητα του μέτρου αυτού και τον βαθμό εφικτότητας του και είχε ως συμπέρασμα την επιβεβαίωση της λήψης του συγκεκριμένου μέτρου. Από την 1η Ιανουαρίου 2015 τα όρια στις περιοχές ελέγχου εκπομπής θείου SECAs (Sulphur Emissions Control Areas) μειώθηκαν στο 0,1%. Με τον όρο SECA, χαρακτηρίζονται οι θαλάσσιες περιοχές, στις οποίες τα διερχόμενα πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Ο IMO έχει υλοποιήσει τρεις βαθμίδες ρυθμιστικού πλαισίου για τη μείωση των εκπομπών NO_x από τη ναυτιλία. Το πρώτο στάδιο της μείωσης NO_x, γνωστό και ως IMO Tier I, τέθηκε σε ισχύ το 2000 και το επόμενο στάδιο, IMO Tier II, τέθηκε σε ισχύ το 2011, αναφέροντας μείωση της τάξεως του 20 τοις εκατό από τα επίπεδα του IMO Tier I. Το επόμενο βήμα, IMO Tier III, κάνει λόγο για ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις, της τάξης του 80 τοις εκατό από τα επίπεδα του IMO Tier I.³³

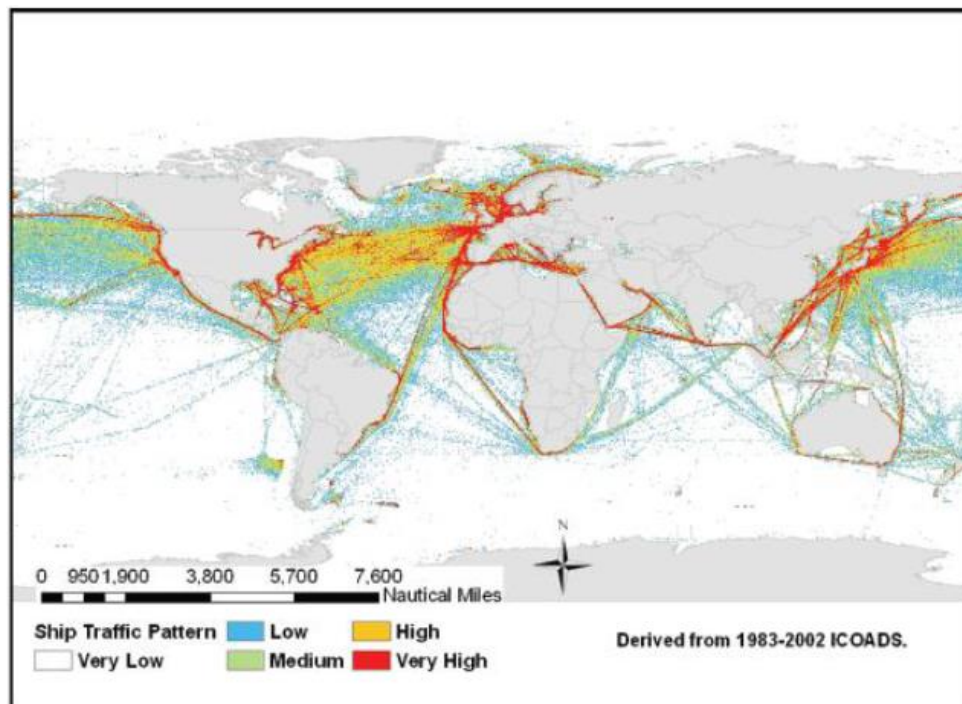
Ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 1) παρουσιάζει τις τρέχουσες και τις επερχόμενες Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs). Ορισμένες νέες ECAs στην περιοχή της Μεσογείου, της Σιγκαπούρης και της Ιαπωνίας μπορεί να τεθούν σε ισχύ τα επόμενα χρόνια.³⁴



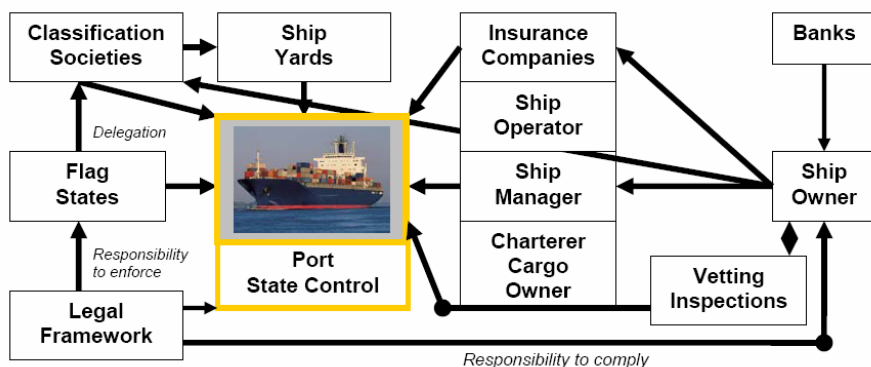
Σχήμα 2- 1. Τρέχουσες και επερχόμενες Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) ανά τον Κόσμο

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.³³

Ο παρακάτω παγκόσμιος χάρτης εμφανίζει τους πιο δημοφιλείς προορισμούς και περιοχές πλεύσης των πλοίων, κατά τα έτη 1983 – 2002. Είναι εμφανές πως οι περιοχές με τη μεγαλύτερη κινητικότητα, που παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα, είναι αυτές που αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και που είναι ή πρόκειται να γίνουν περιοχές ECA.



Σχήμα 2- 2. Αποτύπωση της Παγκόσμιας κινητικότητας των πλοίων τα έτη 1983–2002.¹³



Σχήμα 2- 3. Επιβλέποντες οργανισμοί νομοθετικού πλαισίου για την ναυτιλία.¹³

Η Ελλάδα ως κράτος-μέλος της παγκόσμια Ναυτιλιακής κοινότητας έχει επικυρώσει όλα τα παραρτήματα και τις τροποποιήσεις της διεθνούς σύμβασης MARPOL 73/78.

Οι διατάξεις του εν λόγω Παραρτήματος VI της MARPOL 73/78 για την πρόληψη ρύπανσης του αέρα, εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία, σύμφωνα με τις επίμερους απαιτήσεις. Θεσπίζονται ενιαίοι κανόνες που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από τα πλοία. Ειδικότερα, μεταξύ των λοιπών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται ρυθμίσεις, υπό μορφή κανονισμών, με τις οποίες καθορίζονται:

- α. οι ανώτατα επιτρεπόμενες περιεκτικότητες σε θείο του καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα πλοία,
- β. τα επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου για μηχανές diesel πλοίων,
- γ. τα ληπτέα μέτρα σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την υποδοχή δεξαμενοπλοίων στα οποία μπορεί να απαιτηθεί η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs),
- δ. Απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών από πλοία.
- ε. επιθεωρήσεις - Κανονισμός 5: Σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 gt και άνω και κάθε μόνιμη και πλωτή εγκατάσταση εξόρυξης πετρελαίου και άλλες πλατφόρμες, διενεργούνται οι ακόλουθες επιθεωρήσεις από τον αρμόδιο Νηογνώμονα που έχει επιλέξει ο πλοιοκτήτης.³⁵

- i) αρχική επιθεώρηση: διενεργείται πριν το πλοίο τεθεί σε λειτουργία ή πριν την αρχική έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (IAPPC),
- ii) περιοδικές επιθεωρήσεις: διενεργούνται σε χρόνο που καθορίζεται από την Αρχή, χωρίς να υπερβαίνουν τα πέντε (5) έτη (συνήθως κατά τη διάρκεια του «Special Survey» του πλοίου),
- iii) τουλάχιστον μία ενδιάμεση επιθεώρηση: στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα μόνο μία τέτοια επιθεώρηση κατά τη διάρκεια των πέντε ετών, αυτή θα πραγματοποιείται μέσα σε χρονικό διάστημα έξι μηνών πριν ή μετά την ημερομηνία του μέσου της περιόδου αυτής («Intermediate Survey»).

Οι παραπάνω επιθεωρήσεις πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις και υλικά συμμορφώνονται πλήρως με τις εφαρμοζόμενες απαιτήσεις για τον έλεγχο των εκπομπών και είναι σε καλή κατάσταση λειτουργίας. Οι επιθεωρήσεις των υπόχρεων πλοίων γίνονται είτε από επιθεωρητές της Αρχής είτε από Αναγνωρισμένους Οργανισμούς -συνήθως από επιθεωρητές του Νηογνώμονα του πλοίου. Εφόσον, κατά τη διενέργεια της επιθεώρησης, κριθεί από τον επιθεωρητή ότι ο εξοπλισμός του πλοίου δεν ανταποκρίνεται στα στοιχεία του Πιστοποιητικού, θα λαμβάνεται μέριμνα προκειμένου να διασφαλίζεται ότι έχουν ληφθεί ενέργειες αποκατάστασής του, με παράλληλη ενημέρωση της Αρχής. Για οποιοσδήποτε αλλαγές στον εξοπλισμό, συστήματα, εξαρτήματα, διατάξεις ή υλικά που καλύπτονται από την επιθεώρηση, απαιτείται η προηγούμενη έγκριση της Αρχής.

στ. Έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (ΔΠΠΡΑ) International Air Pollution Prevention Certificate (IAPPC) - Κανονισμός 6

- i) Τα πλοία και οι πλατφόρμες ή εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου που υποχρεούνται σύμφωνα με τον επισυναπτόμενο Πίνακα να έχουν ΔΠΠΡΑ και κατασκευάστηκαν πριν την 19η Μαΐου 2005 (υπάρχοντα πλοία), θα εφοδιάζονται με Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα, που θα χορηγείται

όχι αργότερα από την πρώτη προγραμματισμένη επιθεώρηση στην ξηρά, μετά την 19η Μαΐου 2005 αλλά σε καμία περίπτωση μετά την 19η Μαΐου 2008.

ii) Το ΔΠΠΡΑ εκδίδεται είτε από την Αρχή είτε από Αναγνωρισμένο Οργανισμό.

iii) Ο τύπος του Πιστοποιητικού θα ανταποκρίνεται στο υπόδειγμα που παρατίθεται στο Προσάρτημα I του Παραρτήματος του εν λόγω Πρωτοκόλλου και θα συντάσσεται στην Ελληνική και Αγγλική γλώσσα.

iv) Το εν λόγω Πιστοποιητικό έχει διάρκεια ισχύος πέντε έτη από την ημερομηνία έκδοσής του.

Σύμφωνα με τους εννοιολογικούς προσδιορισμούς του υπόψη Νόμου, ως «εκπομπή» νοείται οποιαδήποτε απελευθέρωση ουσιών από πλοία στον αέρα ή στη θάλασσα, που υπόκειται σε έλεγχο από το Παράρτημα VI της Δ.Σ. MARPOL 73/78.

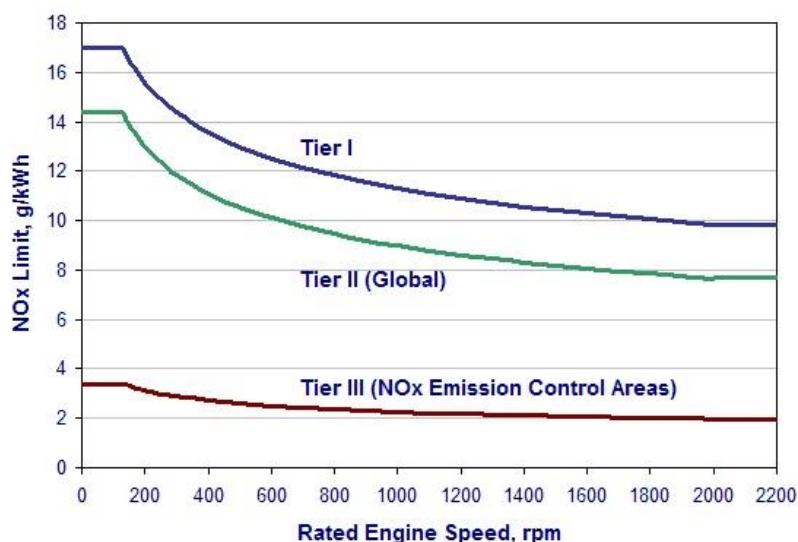
2.2.1.1 Κανονισμοί ρύπων οξειδίων του αζώτου (NOx)

Ο κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε κκάθε μηχανή diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW, σε όλα τα υπάρχοντα πλοία και σε όσα αναμένεται να κατασκευαστούν τα επόμενα χρόνια. Ο Κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται σε: Μηχανές diesel έκτακτης ανάγκης - Emergency diesel generator, μηχανές πρόωσης σωσίβιων λέμβων και σε οποιαδήποτε συσκευή ή εξοπλισμό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Η λειτουργία μιας μηχανής diesel επιτρέπεται επίσης όταν λειτουργεί ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο σύμφωνα με τον Τεχνικό Κώδικα NOx ή εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη μέθοδος, εγκεκριμένη από την Αρχή, για τη μείωση των εκπομπών NOx στο πλοίο, τουλάχιστον μέχρι τα όρια που παρατίθενται παρακάτω.- Προδιαγραφές εκπομπών NOx για καινούριες μηχανές:

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).



Σχήμα 2- 4. Όρια εκπομπών οξειδίων του αζώτου βάση του κανονισμού 13 της MARPOL

Ο Κανονισμός 13 καθορίζει τις ποσότητες των NOx τις οποίες επιτρέπεται ένα πλοίο να εκπέμπει ανά kWh. Οι ποσότητες εξαρτώνται από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (Σχήμα 2-4). Υπάρχουν τρία επίπεδα εκπομπών, τα Tier I-III. Όσο νεότερο είναι ένα πλοίο τόσο αυστηρότερα είναι τα όρια. Οι προβλέψεις του Επιπέδου I (Tier I) αφορούν μηχανές εγκατεστημένες σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά ή μετά την 1/1/2000, ενώ τα όρια εκπομπών του Επιπέδου II (Tier II) αφορούν μηχανές εγκατεστημένες σε πλοία που

κατασκευάστηκαν κατά ή μετά την 1/1/2011. Τα όρια του Επιπέδου III (Tier III) είναι τα αυστηρότερα και θα ισχύσουν μόνο στις Ειδικές Περιοχές για τα NOx (NOx Emission Control Areas – NECAs), για μηχανές σε πλοία που κατασκευάστηκαν κατά ή μετά την 1/1/2016. Συγκεκριμένα, τα όρια Tier III είναι κατά 80% αυστηρότερα σε σύγκριση με τα όρια Tier I.

2.2.1.2 Κανονισμοί ρύπων οξειδίων του θείου (SOx)

Στις αρχές Οκτωβρίου 2008 σε συνεδρίαση που έλαβε χώρα στο Λονδίνο, ο διεθνής θαλάσσιος οργανισμός (IMO) των Ηνωμένων Εθνών ο οποίος απαριθμεί 168 μέλη-κράτη έλαβε την απόφαση για την περαιτέρω μείωση των επιβλαβών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα σκάφη μέσω ενός χρονοδιαγράμματος τουλάχιστον έως το 2015 (MEPC 58).

Με τον Κανονισμό αυτό καθιερώνεται ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου, το 0,5% κατά βάρος από το 2010.³² Περαιτέρω, για τα πλοία που βρίσκονται εντός των προαναφερόμενων περιοχών SECA ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου, ορίζεται το 0,1% κατά βάρος. Γενικότερα, θα πρέπει να ικανοποιείται τουλάχιστον μία από τις παρακάτω προϋποθέσεις:³⁶

1. Η περιεκτικότητα του θείου στο καύσιμο πετρέλαιο δεν υπερβαίνει το 0,1% κ.β. για περιοχές SECA ή 0,5% κ.β. για τον υπόλοιπο κόσμο

2. Υπάρχει σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο από την Αρχή, που εφαρμόζεται στη μηχανή του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των κύριων ή βοηθητικών μηχανών πρόωσης, για τη μείωση των ολικών εκπομπών οξειδίων του θείου. Το συνολικό βάρος εκπομπής διοξειδίου του θείου δεν θα υπερβαίνει τα 6 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (συνολικό βάρος εκπομπής $\leq 6,0$ g SO_x/KWh) ή

3. Εφαρμόζεται οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη τεχνολογική μέθοδος για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x, εντός των παραπάνω ορίων, εγκεκριμένη από την Αρμόδια Αρχή. Για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου ($S \leq 0,5\%$ κ.β. είτε $S \leq 0,1\%$ κ.β. σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SO_x), αυτή θα αναφέρεται στο δελτίο παράδοσης του.



Σχήμα 2- 5. Όρια SO_x από IMO και ΕΕ

Η πλέον αναγνωρισμένη διαδικασία για την επίτευξη του στόχου αυτού, είναι η χρήση των Scrubbers. Το εκάστοτε σύστημα απόπλυσης πρέπει να είναι αποδεκτό και πιστοποιημένο από το Νηογνώμονα του πλοίου ώστε να πληροί τις προδιαγραφές, όπως αυτές καθορίζονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO). Επίσης, προβλέπεται ο περιοδικός έλεγχος της απόδοσης του συστήματος για την διασφάλιση της σωστής λειτουργίας. Οι οδηγίες περιλαμβάνουν τις δοκιμές, τις επιθεωρήσεις και την τελική έκδοση του πιστοποιητικού. Exhaust Gas Scrubber μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε μηχανή εσωτερικής καύσης και σε οποιοδήποτε μηχανήμα χρησιμοποιεί καύσιμο που υπάρχει στο πλοίο, δηλαδή στην Κύρια Μηχανή, στις Ηλεκτρογεννήτριες και στον Λέβητα. Εξαιρείται το incinerator (κλίβανος αποτέφρωσης), η χρήση του οποίου, εντός των περισσότερων λιμένων απαγορεύεται.³⁷

Ο Κανονισμός απαιτεί η κάθε μονάδα απόπλυσης να συνοδεύεται από ένα τεχνικό εγχειρίδιο, στο οποίο θα καταγράφονται οι προδιαγραφές του μηχανήματος. Το εγχειρίδιο αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνει την διαδικασία επαλήθευσης και επιθεώρησης της σωστής λειτουργίας του μηχανήματος. Η διαδικασία αυτή δεν πρέπει να απαιτεί την χρήση ειδικού εξοπλισμού ή την ειδικευμένη γνώση για την μονάδα. Αν χρειαστούν βοηθητικά μηχανήματα αυτά πρέπει να συνοδεύουν τη μονάδα. Η βασική αρχή της μεθόδου επιθεώρησης

είναι ότι, αν εξεταστούν όλες οι παράμετροι λειτουργίας όλων των μηχανημάτων που αποτελούν τη μονάδα και οι ρυθμίσεις τους βρεθούν σύμφωνες με τις τιμές που αναγράφονται στο τεχνικό εγχειρίδιο, τότε δεν απαιτείται η μέτρηση των εκπομπών καυσαερίων. Η επιθεώρηση του συστήματος μπορεί να γίνεται σε τακτικά διαστήματα, τόσο από τον Νηογνώμονα, όσο και από τις τοπικές αρχές Port State Controls.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων από πλοία είναι υψηλότερα από αυτά των χερσαίων μέσων μεταφοράς. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών στις ευρωπαϊκές θάλασσες προέρχεται από πλοία μεγαλύτερα των 500 GRT. Περίπου το 45% των εκπομπών προέρχεται από πλοία με ευρωπαϊκή σημαία και κατ'εκτίμηση το 20% παρατηρείται εντός των 12 ναυτικών μιλίων από την ακτή.

Σημειώνεται, ότι για την είσοδο του πλοίου σε Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών SOx (ΠΕΕΘ), όπως η Βαλτική, η Βόρεια Θάλασσα και η Μάγχη θα καταγράφονται στοιχεία που αφορούν τον όγκο του καυσίμου πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (μικρότερης ή ίσης του 0,1% κ.β. σε περιεχόμενο θείο ως το 2015)³² σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου, όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία εναλλαγής του καυσίμου. Ενδεικτικά η σχετική εγγραφή μπορεί να γίνεται στο ημερολόγιο γεφύρας ή μηχανής του πλοίου.

Επίσης, η αλλαγή του καυσίμου, σε καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, θα πρέπει να γίνεται μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα, αρκετά πριν από τα όρια της ελεγχόμενης περιοχής, ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης απόπλυση του συστήματος πετρελαίου από το HFO. Η διαδικασία fuel oil change-over procedure, πρέπει να είναι καταγεγραμμένη, για κάθε πλοίο ξεχωριστά, διότι επηρεάζεται από τις δεξαμενές και τον τύπο της μηχανής του εκάστοτε πλοίου. Για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου πετρελαίου ($S \leq 3,5\%$ κ.β. είτε $S \leq 1\%$ κ.β. σε περιοχές ελέγχου εκπομπών SOx), αυτή θα αναφέρεται στο δελτίο παράδοσης του καυσίμου (bunker delivery note), με ευθύνη του προμηθευτή.

Όταν η μηχανή γυρίζει από χρήση καυσίμου HFO σε MGO ή MDO όπου δεν απαιτείται προθέρμανση, λόγω της υπολειμματικής θερμότητας στο κύκλωμα καυσίμου, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλήματα στις αντλίες από εξαέρωση του ελαφρού καυσίμου εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας. Πρέπει λοιπόν να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το γύρισμα από HFO σε MGO ή MDO.

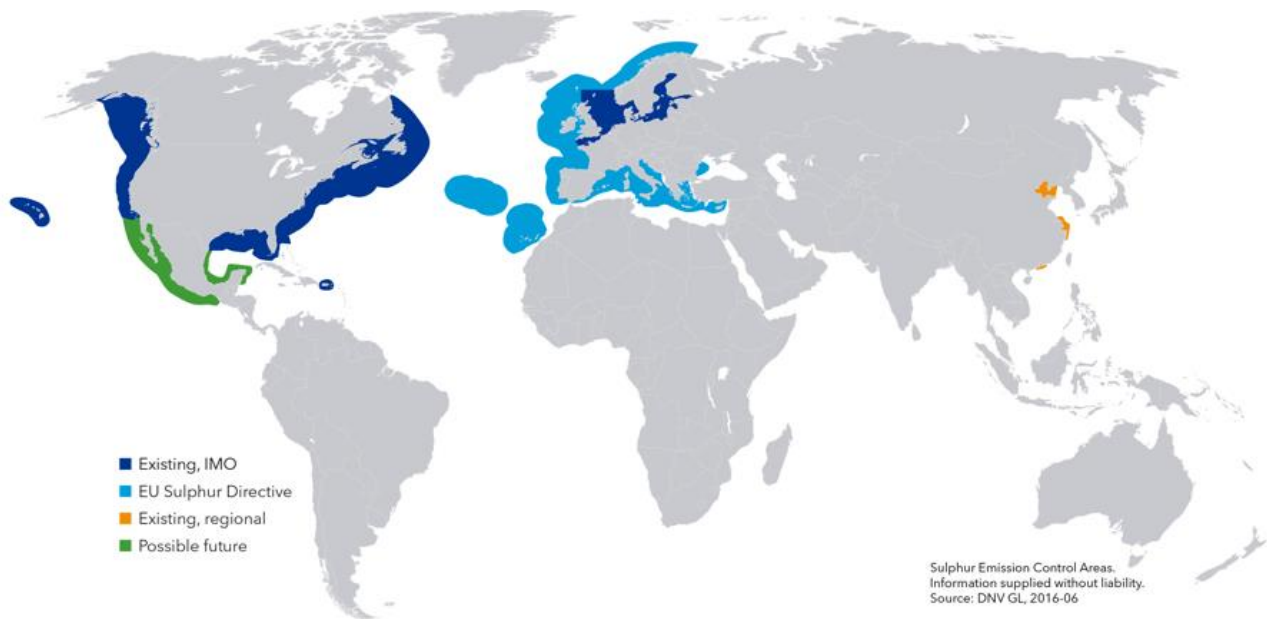
Οι κανονισμοί πλέον απαιτούν κατά τον ελλιμενισμό την χρήση καυσίμου με την περιεκτικότητα σε θείο 0,1%. Είναι προφανές ότι το μόνο καύσιμο που πληρεί αυτούς τους όρους είναι το MGO. Είναι όμως πιθανό ότι θα υπάρχουν διαρροές καυσίμου από τις αντλίες εφόσον οι αντλίες είναι σχεδιασμένες για ιξώδη 10 – 20 mm²/s ενώ τα χαμηλού θείου καύσιμα έχουν ιξώδη από 1 – 3 mm²/s.

Τα κάτωθι μπορούν να συμβούν ως επακόλουθο των διαρροών: 1. Πτώση της πίεσεως στις αντλίες, 2. Περιορισμός στην ποσότητα εκχύσεως καυσίμου, 3. Φαινόμενα Εξαερώσεως, 4. Διαρροές καυσίμου, 5. Βραδυπορία στην ανάφλεξη για μηχανές που έχουν σχεδιασθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς NOX.

Από την άλλη, η ανάμειξη του καυσίμου με το λιπαντικό της μηχανής θα επιφέρει και τα κάτωθι προβλήματα: 1. Πτώση του ιξώδους του λιπαντελαίου, 2. Πτώση του Σημείου Αναφλέξεως. Αυτό μπορεί να γίνει και αιτία ανάφλεξης, 3. Επειδή το καύσιμο αυτό έχει χαμηλά αρωματικά δεν είναι φιλικό σε πολλά λάστιχα στεγανοποίησης και αυτό μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στεγανοποίησης στο κύκλωμα καυσίμου.

- California Air Resources Board (CARB)

Η πολιτεία της Καλιφόρνιας στην Αμερική έχει θεσπίσει επιπλέον μέτρα και πιο αυστηρά για της εκπομπές οξειδίων του θείου από αυτές που περιγράφονται στην MARPOL Annex VI. Τα μέτρα αυτά απευθύνονται στα ποντοπόρα πλοία που ταξιδεύουν εντός 24 μιλίων από τις ακτές της Καλιφόρνιας και περιλαμβάνουν τις εκπομπές των κυρίων μηχανών πρόωσης, των βοηθητικών γεννητριών και των βραστήρων.



Σχήμα 2- 6. Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών οξειδίων του θείου ανά τον Κόσμο

2.2.1.3 Κανονισμοί ρύπων πτητικών ενώσεων (VOC's)

Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τα VOCs απελευθερώνονται από τους χώρους φορτίου των δεξαμενόπλοιων όταν η πίεση ατμών στις δεξαμενές ξεπεράσει την καθορισμένη τιμή των ασφαλιστικών βαλβίδων πίεσης – κενού (P/V valves). Αύξηση της πίεσης στις δεξαμενές προκαλείται από τη θέρμανση του φορτίου ή την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Δεξαμενόπλοια που εκτελούν κλειστές φορτώσεις σε εγκαταστάσεις που διαθέτουν Σύστημα Ελέγχου Εκπομπών (Vapour Emissions Control Systems) λαμβάνουν συγκεκριμένες προφυλάξεις για την παρακολούθηση της πίεσης στις δεξαμενές, τον ρυθμό φόρτωσης, κ.α. οι οποίες συνοψίζονται στην νεότερη έκδοση του ISGOTT (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals). Να αναφέρουμε ότι ISGOTT είναι ένας οδηγός που ρυθμίζει τον ασφαλή χειρισμό και μεταφορά του ακατέργαστου πετρελαίου (crude oil) καθώς και των παραγωγών του σε πλοία Tankers καθώς και στους τερματικούς σταθμούς και λιμάνια. Ο οδηγός αυτός πρωτοδημοσιεύτηκε το 1978 από την International Chamber of Shipping (ICS) και την Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) και η τελευταία του έκδοση δημοσιεύτηκε το 2006.

MARPOL Annex VI - Κανονισμός 15 (IMO).

Στον Κανονισμό αυτό καθορίζονται γενικές απαιτήσεις/υποχρεώσεις, στην περίπτωση που ένα Μέρος στο Πρωτόκολλο 1997, σκοπεύει να καθορίσει λιμάνια ή τερματικούς σταθμούς, που ανήκουν στη δικαιοδοσία του και στα οποία οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από δεξαμενόπλοια πρόκειται να αποτελέσουν αντικείμενο ρύθμισης.

Στην περίπτωση αυτή, το Μέρος στο εν λόγω Πρωτόκολλο θα πρέπει να διασφαλίζει ότι, στα λιμάνια και στους τερματικούς σταθμούς στους οποίους ισχύουν ειδικά μέτρα για εκπομπές VOCs, διατίθενται συστήματα ελέγχου των ατμών συγκεκριμένων πτητικών φορτίων, που λειτουργούν με ασφάλεια και χωρίς να προκαλούν αδικαιολόγητη καθυστέρηση στα δεξαμενόπλοια. Τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι εγκεκριμένου τύπου και σύμφωνα με την πρότυπη προδιαγραφή για συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών που αναφέρεται στην Απόφαση MSC/Circ.585 του IMO.

Σημειώνεται, ότι για τα υγραεριοφόρα δεξαμενόπλοια ο Κανονισμός αυτός θα εφαρμόζεται μόνον όταν ο τύπος φόρτωσης και τα συστήματα εγκλωβισμού επιτρέπουν την κατακράτηση ατμών VOCs που δεν περιέχουν μεθάνιο πάνω στο πλοίο ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά.

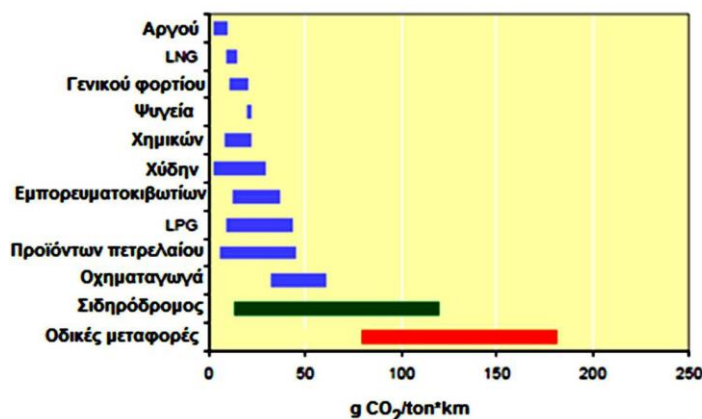
2.3 Αέρια Φαινομένου Θερμοκηπίου

Η πρώτη μελέτη του IMO³⁸ για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, η οποία δημοσιεύτηκε το 2000, εκτιμούσε ότι τα πλοία που χρησιμοποιούνταν στο διεθνές εμπόριο το 1996 συνεισέφεραν με ποσοστό περίπου 1,8% του παγκόσμιου συνόλου των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂. Η δεύτερη παρόμοια

μελέτη του IMO, ³⁹ που δημοσιεύτηκε το 2009, εκτιμούσε ότι η διεθνής ναυτιλία εξέπεμψε 870 εκ. τόνους, δηλαδή περίπου 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ του 2007. Η δεύτερη μελέτη του IMO, για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία προσδιορίζει ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, αλλάζοντας τη σχεδίαση και τη λειτουργία του πλοίου.

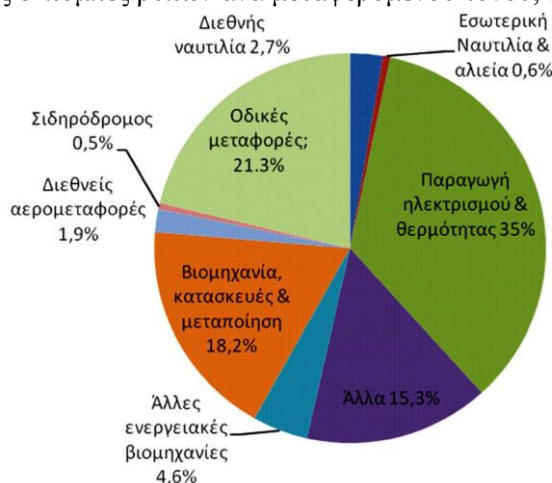
Η τρίτη μελέτη GHG του 2014, ⁴⁰ του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας δείχνει ότι μεταξύ του 2007 και του 2012, ο παγκόσμιος ναυτιλιακός στόλος κατανάλωσε 250-325 εκατομμύρια τόνους καυσίμου, αποτελώντας το 2.8% των ετήσιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως (3.1% των ετήσιων εκπομπών CO₂).

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί πλέον ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα της ανθρωπότητας τα αρνητικά αποτελέσματα της οποίας είναι ορατά σε ολόκληρο τον πλανήτη. Η ναυτιλία αποτελεί έναν περιβαλλοντικά φιλικό μέσο μεταφοράς αγαθών ως προς τις επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς οι εκπομπές CO₂ ανά μονάδα μεταφορικού έργου είναι σχετικά χαμηλές και μπορεί να συγκριθούν μόνο με τις αντίστοιχες εκπομπές των σιδηροδρομικών μεταφορών (σχήμα) εκφράζονται όμως φόβοι ότι οι συνολικές εκπομπές από τη ναυτιλία μπορεί να τριπλασιαστούν μέχρι το 2050, εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα. Οι εκπομπές διοξειδίου το άνθρακα από διάφορες κατηγορίες πλοίων, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές φαίνονται στο Σχήμα 2- 7.



Σχήμα 2- 7. Εκπομπές CO₂ με βάση το μεταφορικό έργο, από διάφορες κατηγορίες πλοίων, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές.

Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τους άλλους τομείς δραστηριότητας σε παγκόσμιο επίπεδο. Όπως φαίνεται, σε σχέση με άλλες μορφές μεταφορών, η ναυτιλία παράγει πολύ χαμηλές εκπομπές ρύπων ανα μεταφερόμενου τόνου, ανά διανυθέντος χιλιόμετρο



Σχήμα 2- 8. Εκπομπές CO₂ από τα πλοία σε σύγκριση με το σύνολο των παγκόσμιων εκπομπών.

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 και έχουν όγκο μικρότερο από 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα σημαντικότερα είναι οι υδρατμοί (H₂O), το διοξείδιο του άνθρακα (C O₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και το τροποσφαιρικό όζον (O₃). Κάθε μεταβολή στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων, διαταράσσει το ενεργειακό ισοζύγιο, προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου κλιματικές αλλαγές. Οι υδρατμοί οφείλονται σε φυσικό μηχανισμό, αν και απορροφούν το 65% της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δεν φαίνεται να έχουν επηρεαστεί άμεσα

από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των υπόλοιπων αερίων έχουν μεταβληθεί σημαντικά με σημαντικότερη την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα.

Αναφορικά με τη συνεισφορά των υπόλοιπων ρύπων της ναυτιλίας 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 στην κατώτερη ατμόσφαιρα (φωτοχημικό νέφος) που έχουν ως συνέπεια την παραγωγή όζοντος (O₃), το οποίο αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου. 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 NO_x 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:⁴¹ 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 μικρότερο 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 SO_x 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.⁴¹

Η καθαρή επίδραση του συνόλου των εκπομπών της ναυτιλίας (CO₂, NO_x, SO₂, PM) στο κλίμα σήμερα είναι ότι ψύχουν την ατμόσφαιρα.⁴² Για τον λόγο αυτό υπάρχουν φωνές που υποστηρίζουν ότι δεν είναι απαραίτητο να ληφθούν μέτρα περιορισμού των εκπομπών CO₂ αλλά και των υπολοίπων ρύπων από τη ναυτιλία ή τουλάχιστον τα μέτρα αυτά δεν πρέπει να είναι πολύ αυστηρά.

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. Η εκτίμηση για το πότε θα συμβεί η αλλαγή (αναφέρονται εκτιμήσεις μεταξύ 150 και 1.000 έτη) ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα, λόγω της αβεβαιότητας στην εκτίμηση της έμμεσης συνεισφορά των σωματιδίων θεικών και των υπολοίπων αερίων κ.λπ.⁴²

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.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω 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 αδιάψευστη 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.

Η διεθνής ναυτιλία και οι αεροπορικές μεταφορές, λόγω ακριβώς του διεθνούς τους χαρακτήρα, δεν συμπεριλήφθησαν στα συνολικά εθνικά στοιχεία των απογραφών. Συγκεκριμένα, υπήρχε πρόβλημα σχετικά με την κατανομή των εκπομπών από τις δύο αυτές πηγές. Προτάθηκε να αποδοθούν στη χώρα πώλησης των καυσίμων ανάλογα με τις ποσότητες, στην χώρα αναχώρησης/προορισμού, στη χώρα του διαχειριστή, στη χώρα σημαίας (για τα πλοία) ή στη χώρα στη θαλάσσια επικράτεια της οποίας πραγματικά συμβαίνουν. Όλες

αυτές οι λύσεις εμφάνιζαν προβλήματα. Τελικά, στο Άρθρο 2.2 του Πρωτοκόλλου του Κιότο αναφέρεται ότι οι αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να επιδιώξουν μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη ναυτιλία και τις αεροπορικές μεταφορέςσυνεργαζόμενες με τον IMO και τον ICAO (International Civil Aviation Organization), τους δύο οργανισμούς του ΟΗΕ για τη ναυτιλία και τις αερομεταφορές, αντίστοιχα.

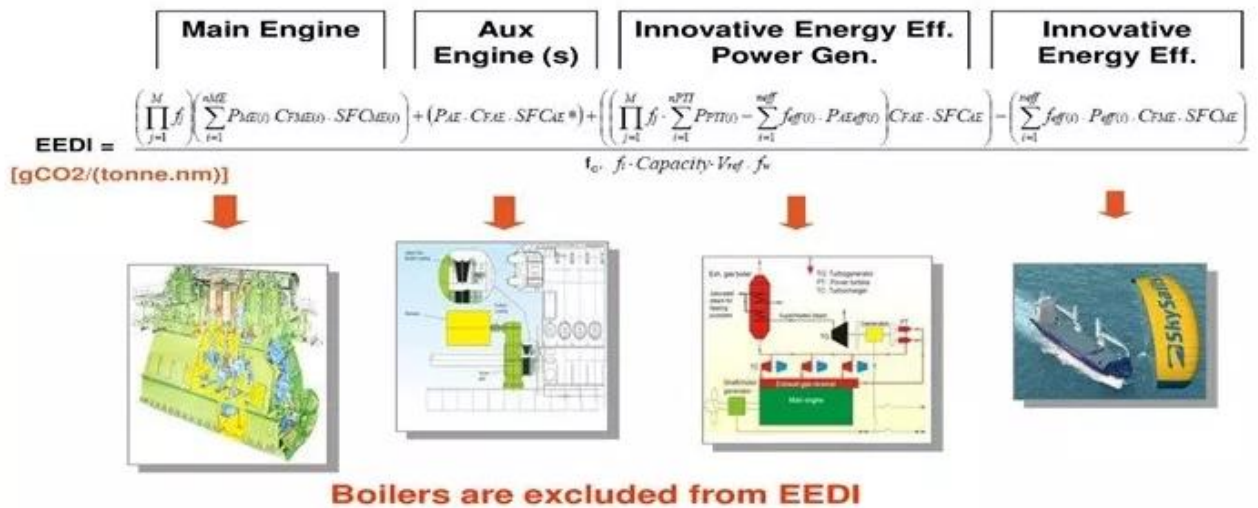
Οι σχετικές διεργασίες στον IMO ξεκίνησαν το 2000 με την παρουσίαση της πρώτης μελέτης για τα αέρια του θερμοκηπίου, οπότε και αποφασίστηκε να σχηματιστεί μια ομάδα εργασίας σχετικά με το θέμα. Το 2003 η ολομέλεια του IMO κάλεσε τη MEPC να αναπτύξει ένα πλαίσιο μείωσης των εκπομπών CO₂, αναγνωρίζοντάς το ως το κύριο θερμοκηπιακό αέριο από τη ναυτιλία. Στο πλαίσιο αυτό περιλαμβάνεται ένας δείκτης εκπομπών CO₂ και η σχετική γραμμή αναφοράς. Το 2005 η MEPC 53 ενέκρινε τις προσωρινές οδηγίες για την εφαρμογή ενός εθελοντικού δείκτη εκπομπών CO₂ και κάλεσε τις χώρες να τον δοκιμάσουν και να υποβάλουν σχετικές εκθέσεις. Το 2006 η MEPC 55 υιοθέτησε ένα πρόγραμμα εργασιών που θα κατέληγε το 2009 με στόχους τη βελτίωση του δείκτη εκπομπών, την καθιέρωση των γραμμών αναφοράς και την μελέτη τεχνικών, λειτουργικών και αγοροκεντρικών μηχανισμών για τη μείωση των εκπομπών CO₂. 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. 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.

Επόμενες συνεδριάσεις της MEPC ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση θεμάτων για κατηγορίες πλοίων που δεν συμπεριλήφθησαν στην αρχική ανάλυση του EEDI, όπως τα οχηματαγωγά και επιβατικά οχηματαγωγά πλοία. Τελικά, ο EEDI και λοιπές προβλέψεις εγκρίθηκαν στην 62η Σύνοδο της MEPC, με την απόφαση MEPC.203(62).

Την 1η Ιανουαρίου 2013 τέθηκαν σε ισχύ οι προβλέψεις του νέου Κεφαλαίου 4 του Παραρτήματος VI 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. Στον Κανονισμό 21 του Κεφαλαίου 4 εισάγεται ο Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ο οποίος αφορά κυρίως τεχνικά μέτρα και είναι υποχρεωτικός για τα νέα πλοία, ενώ στον Κανονισμό 22 εισάγεται και 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.

2.3.1 EEDI

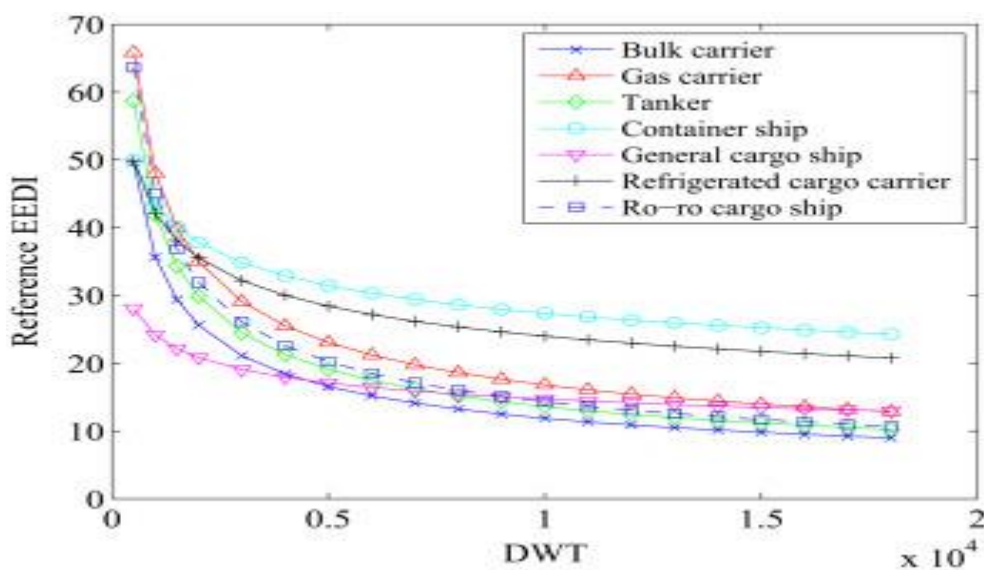
Στο πλαίσιο των κατευθυντήριων οδηγιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, η MEPC (Marine Environment Protection Committee) , μετά από αριθμό συνεδριάσεων ανέπτυξε τον Δείκτη Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index, EEDI). Ο EEDI αποτελεί ένα μαθηματικό τύπο, ο οποίος εκφράζει την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



Σχήμα 2- 9. Σχηματική παράσταση της θεμελιώδους αρχής του EEDI

Οι εκπομπές CO₂ θεωρείται ότι προέρχονται από τις κύριες μηχανές και από 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), που 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 2- 10. 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 ($P_{ME} = a \cdot v^3$). 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.

Εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Αφορά τεχνικά εφικτές τεχνολογίες που έχουν εφαρμογή σε κάποιον τύπο πλοίου και έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν επηρεάζουν ή δεν θέτουν περιορισμούς σε λειτουργικές ή σχεδιαστικές του 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.

Από την άλλη πλευρά, αναφέρονται διάφορα προβλήματα τόσο για τον Επιτευχθέντα EEDI όσο και για τις γραμμές αναφοράς. Κατ' αρχάς γίνονται συζητήσεις σχετικά με την εγκυρότητα της (επίσημης 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

2.3.2 Μέτρα της Ε.Ε. - MRV

Όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η Ε.Ε. έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους και συζητά διάφορους μηχανισμούς αναπτυξιακής πολιτικής. Η Ε.Ε. έχει θέσει ως στόχο 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 τόρους που καλούν σε λιμένες της ΕΕ. 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 λέγχου των κανονισμών. Ο IMO, που είναι οργανισμός υπό τον ΟΗΕ, δεν διαθέτει τέτοιες εξουσίες. Παρόλο που στη ναυτιλία ειδικά τα πρότυπα και οι

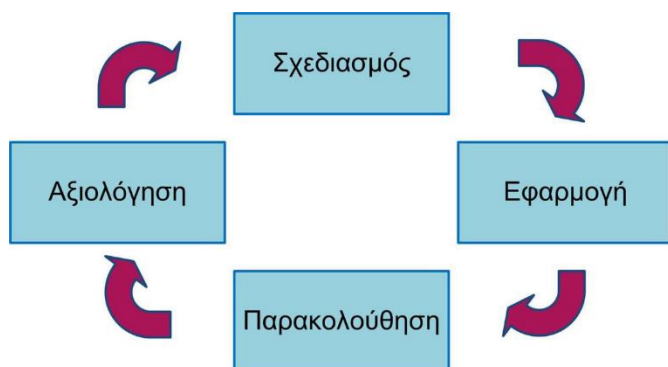
κανονισμοί είναι (και πρέπει να είναι) παγκόσμια, το επίπεδο επιβολής και συμμόρφωσης σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Τα κράτη της ΕΕ έχουν το πλεονέκτημα έναντι του ΙΜΟ ότι διαθέτουν την εξουσία να επιβάλουν τους κανονισμούς, όπως και να επιβάλουν κυρώσεις σε περιπτώσεις 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.

2.3.3 SEEMP

Το 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 ΙΜΟ 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).

Κάθε πλοίο θα πρέπει να διαθέτει ένα SEEMP επί του σκάφους, που θα έχει εκπονηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. 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 2- 11):



Σχήμα 2- 11. 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 ΙΜΟ αποφάσισε να αναθεωρήσει το SEEMP, σε ένα εργαλείο παρόμοιο με το MRV αλλά σε παγκόσμια κλίμακα. Το SEEMP θα πρέπει έγκαιρα να αναθεωρηθεί σύμφωνα με την Απόφαση MEPC.282(70) του ΙΜΟ (MEPC 70) και να εγκριθεί από την Αρχή της σημαίας ή αναγνωρισμένο Οργανισμό.⁴³

Ειδικότερα, επισημαίνεται ότι θα πρέπει να επανεξεταστούν και να τροποποιηθούν κατάλληλα οι αντίστοιχες διαδικασίες που περιγράφονται στο Σύστημα Ασφαλούς Διαχείρισης (Safety Management System – SMS) του πλοίου, ως αναπόσπαστο τμήμα του Συστήματος Ασφαλούς Διαχείρισης (SMS) του πλοίου, ως προς τη μεθοδολογία που τηρείται στο πλοίο για τη συλλογή δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου το αργότερο μέχρι την 31/12/2018, δηλαδή πριν την έναρξη της πρώτης χρονικής περιόδου συλλογής και αναφοράς δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου (“Statement of reporting period), η οποία θα ξεκινήσει από 01/01/2019. Επισημαίνεται ότι η ύπαρξη Δήλωσης Συμμόρφωσης (Statement of Compliance – Fuel Oil Consumption Reporting”) στα υπόχρεα πλοία θα αποτελεί αντικείμενο ελέγχου κατά τις επιθεωρήσεις των πλοίων στα λιμάνια (Port State Control).

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου που αφορούν σε υπόχρεο πλοίο θα 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, σύμφωνα με το υπόδειγμα του νέου Προσαρτήματος ΙΧ, περιλαμβάνονται υποχρεωτικά τα στοιχεία του πλοίου (IMO number, τεχνικά στοιχεία (GT, DWT, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για κύριες και βοηθητικές μηχανές με υποδύναμη 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 του νέου Προσαρτήματος ΙΧ 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 ΜΕΡC 71 (Ιούλιος 2017) απλουστευμένων Κατευθυντήριων Γραμμών (Απόφαση ΜΕΡC.292(71), 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 ΙΜΟ. 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 σύμφωνα με το νέο Κανονισμό 22Α (ΜΑΡΡΟL, Annex VI). 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).

Τα δεδομένα και πληροφορίες που περιλαμβάνονται στο Προσάρτημα ΙΧ υποβάλλονται συγκεντρωτικά από την Αρχή της σημαίας για συμπερίληψη στη Βάση Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμου Πλοίου του ΙΜΟ εντός μηνός από την έκδοση Δήλωσης Συμμόρφωσης για υπόχρεο πλοίο, με προβλεπόμενο τύπο (standardized format) και ακολουθώντας την προβλεπόμενη διαδικασία (via electronic communication).

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

2.3.4 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.³¹

2.4 Χρηματιστήριο Αερίων Ρύπων

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 (πηγή: <http://www.environmentalshipindex.org/Public/Home>)

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). 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 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.

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

- 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.
- 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Λύσεις συμμόρφωσης – μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η επιστημονική κοινότητα εξετάζει τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, με σκοπό την ικανοποίηση της ανάγκης πρόωσης των πλοίων. Κρίνεται σκόπιμη η αναφορά των καυσίμων εκείνων, που είναι πολύ πιθανόν να τεθούν σε εφαρμογή. Ορισμένα από τα καύσιμα ήδη έχουν υιοθετηθεί σε πλοία. Παρόλο που το ποσοστό των πλοίων αυτών, σε σχέση με τον παγκόσμιο στόλο είναι μικρό, το ενδιαφέρον εξέλιξης σήμερα είναι έντονο.

Το καύσιμο LNG που έχει τεθεί ήδη σε εφαρμογή, αποτελεί μια αποδοτική πηγή ενέργειας και παρουσιάζει εξαιρετική απόδοση όσο αφορά την πρόωση του πλοίου. Η εξέλιξη της εφαρμογής έχει ήδη υποστηριχθεί από τις κατασκευάστριες εταιρίες μηχανών. Ωστόσο, οι υπάρχουσες μονάδες ανεφοδιασμού δεν επαρκούν για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες παγκοσμίως.

Το LPG (Liquid Petroleum Gas). Το καύσιμο αυτό εμφανίζει δυσκολίες και επικινδυνότητα στην μεταφορά, τη χρήση και την αποθήκευσή του αφού είναι εξαιρετικά εύφλεκτο. Τα δύο κύρια φυσικά χαρακτηριστικά του LPG, είναι ότι υγροποιείται σε θερμοκρασία υψηλότερη από το LNG και είναι βαρύτερο από τον αέρα.

Ένα ακόμα καύσιμο που έχει εξετασθεί είναι το CNG – Compressed Natural Gas. Το καύσιμο αυτό, απαιτεί διπλάσιο όγκο δεξαμενών συγκριτικά με το καύσιμο LNG, για την κάλυψη ίδιων αναγκών. Το γεγονός αυτό δημιουργεί αμφιβολίες για μελλοντική ένταξη του στα ναυτιλιακά καύσιμα.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία αποβλέπει στη χρήση βιοαερίου (καύσιμο με πρώτη ύλη αγροτοβιομηχανικά απόβλητα). Υπάρχουν ενδείξεις αυξημένης διαθεσιμότητας βιοαερίου στο μέλλον. Επιπλέον, σημειώνεται ότι ο απαιτούμενος εξοπλισμός επί του σκάφους για τη χρήση του βιοαερίου, είναι παρόμοιος με αυτόν του καυσίμου LNG.

Όσο αφορά το υδρογόνο ως εναλλακτική μορφή ενέργειας, οι μελετητές επισημαίνουν ότι το καύσιμο δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω μελέτη, καθώς προς το παρόν το καύσιμο αυτό, λαμβάνεται από υδρογονάνθρακες και νερό με τη κατανάλωση, άλλων ενεργειακών πηγών. Η περίπτωση του υδρογόνου παρουσιάζει μειονεκτήματα στο γεγονός ότι απαιτεί εξοπλισμό αποθηκευτικό όγκο σε σχέση με το LNG, για την κάλυψη ίδιων αναγκών. Σημειώνεται ότι τόσο η παραγωγή του, όσο και η αποθήκευσή του, βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο.

Ten future fuel options for shipping

 <p>LNG</p> <ul style="list-style-type: none"> Often a cost-efficient energy source Superb environmental performance for ship propulsion Requires larger fuel tanks than oil fuels, improvements coming Bunkering infrastructure under development 	 <p>LPG</p> <ul style="list-style-type: none"> Liquid at higher temperatures and higher hydrocarbons than LNG More expensive + available in smaller volumes Safety concerns (different flammability, heavier than air) 	 <p>CNG</p> <ul style="list-style-type: none"> Easier to distribute to the ships than LNG (extracted from existing gas distribution grids) Twice tank volume as LNG to offer the same sailing distance 	 <p>HFO</p> <ul style="list-style-type: none"> A cost-efficient fuel Widely available, safe, uncomplicated Needs proper exhaust cleaning systems to comply with future requirements Poses a potential marine spill risk 	 <p>Distillate Fuels</p> <ul style="list-style-type: none"> A change to distillates requires only a minor change to engines and fuel systems Analysts expect high prices going forward Uncertain supply capacity (refineries' capacity to meet demand)
 <p>Biogas</p> <ul style="list-style-type: none"> Signals of increased biogas availability in the future Currently shipping industry is awaiting a new generation of biofuels. Similar on board systems as for LNG 	 <p>DME</p> <ul style="list-style-type: none"> DME (dimethyl ether) origins from natural gas, biomass, or hydration of H₂ and CO₂ Similar storage and distribution system as for LPG Small production capacity and costly 	 <p>Hydrogen</p> <ul style="list-style-type: none"> Clean energy carrier, high future expectations Production in land-based plants and then utilised in fuel cells Challenges: Efficient production, volume occupied (~ 3 times the space of LNG) 	 <p>Battery</p> <ul style="list-style-type: none"> Battery is another way of carrying energy from land-based plants to ship (in the form of electricity) Battery technology and lifecycle efficiency are key challenges Improvements coming 	 <p>Nuclear</p> <ul style="list-style-type: none"> A 'wild card' in this list of future fuels Potential is tremendous, and the environmental benefits are strong provided proper waste handling and public acceptance Safety concerns (?)

Σχήμα 3 - 1. Εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία.⁴⁴

3.1 Διατάξεις μείωσης εκπομπών ρύπων

3.1.1 Τεχνολογίες μείωσης NOx

Είναι γνωστό ότι το οξυγόνο του θαλάμου καύσης σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες καύσης οδηγεί στον σχηματισμό των οξειδίων αζώτου (NOx) κατά τη διαδικασία καύσης. Κατά καιρούς έχουν εξετασθεί και έχουν εφαρμοσθεί διάφορες τεχνολογίες μείωσης των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου. Άλλες μέθοδοι οι οποίες ονομάζονται εσωτερικές αποσκοπούν στην μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας καύσης στον κύλινδρο μέσω της μείωσης της περιεκτικότητας σε οξυγόνο στις περιοχές του θαλάμου καύσης που βρίσκονται κοντά στα εξωτερικά στρώματα της εγχυόμενης δέσμης καυσίμου.⁴⁵ Άλλες μέθοδοι βασίζονται στην μετεπεξεργασία των καυσαερίων που εξέρχονται από τον κινητήρα και καλούνται εξωτερικές μέθοδοι. Στον Πίνακα 3-1 αναφέρονται οι σημαντικότερες μέθοδοι μείωσης των οξειδίων του αζώτου καθώς και το ποσοστό μείωσης που επιτυγχάνουν.

Πίνακας 3-1. Μέθοδοι μείωσης των οξειδίων του αζώτου καθώς και το ποσοστό μείωσης που επιτυγχάνουν.

NOx abatement techniques	NOx reduction
Alternative Fuels	50–60%
Emulsified Fuel – Water Addition	50–60%
Basic IEM – Slide Fuel Valves	20%
Injection timing retardation	30%
Compression Ratio Modification	10–30%
Injection System Modification	30%
Scavenge/Charge Air Cooling	14%
Scavenge/Charge Air Pressure Increase	10–40%
Direct Water Injection (DWI)	40–60%
Humid Air Motor (HAM)	70–80%
Exhaust Gas Recirculation (EGR)	80–98%
Selective Catalytic Reduction (SCR)	80–99%

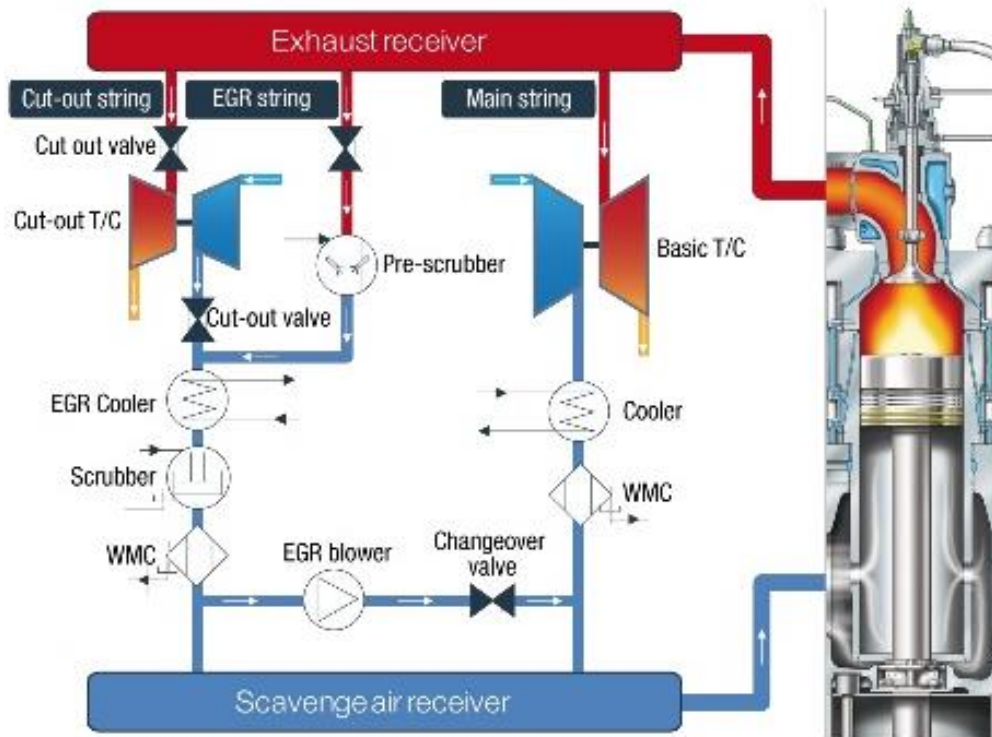
Λόγω της σημαντικής μείωσης που απαιτείται βάση των κανονισμών του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας για μηχανές κατασκευασμένες μετά τη 01/01/2016, οι δύο κυριότερες μέθοδοι μείωσης των NOx οι οποίες και θα αναλυθούν παρακάτω είναι οι: α) επανακυκλοφορία καυσαερίων και β) επιλεκτική καταλυτική αναγωγή.

Επανακυκλοφορία καυσαερίων⁴⁶

Η τεχνική της ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (exhaust gas recirculation) δεν είναι νέα τεχνική. Για διάφορους όμως λόγους η ανακυκλοφορία μέρους της ποσότητας των καυσαερίων (EGR), που παράγονται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας και η ανάμιξη τους με τον αέρα εισαγωγής έχει γίνει προσφάτως απαραίτητη, για την επίτευξη χαμηλότερων επιπέδων εκπομπών NOx. Τα οξείδια του αζώτου μειώνονται, εξαιτίας της μείωσης του ποσοστού οξυγόνου του ρεύματος αέρα, λόγω της υποκατάστασης του από τα καυσαέρια, αλλά και λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης από την αύξηση της θερμοχωρητικότητας του καυσίμου μείγματος. Η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου (NOx-bsfc trade off), ενώ η μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών αιθάλης (NOx-soot trade off). Ως ποσοστό EGR ορίζουμε το επί τοις εκατό ποσοστό του λόγου της μάζας του καυσαερίου που ανακυκλοφορεί προς τη συνολική μάζα που εισέρχεται και παγιδεύεται στον κύλινδρο.

Η ανακυκλοφορία των καυσαερίων δύναται να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικές διαδρομές. Στο σύστημα χαμηλής πίεσης τα καυσαέρια αντλούνται από το σύστημα της εξαγωγής μετά τον στρόβιλο και αναμειγνύονται με τον φρέσκο αέρα πριν τον συμπιεστή. Η υψηλή περιεκτικότητα των καυσίμων μιας μεγάλης ναυτικής μηχανής σε θείο δεν επιτρέπει την εφαρμογή αυτής της διάταξης διότι τα παραγόμενα οξείδια του θείου μπορούν να καταστρέψουν το σύστημα στροβιλουπερπλήρωσης. Έτσι εφαρμόζεται η τεχνική υψηλής πίεσης (Σχήμα 3.2α). Στο σχήμα αυτό φαίνεται μια διάταξη ανακυκλοφορίας καυσαερίων με

δύο υπερπληρωτές. Όταν δεν χρησιμοποιείται η τεχνική του EGR, η λειτουργία των δύο υπερπληρωτών γίνεται βάση της βελτιστοποίησης που υπολογίζει την απαιτούμενη πίεση σάρωσης στον κύλινδρο ανάλογα με το φορτίο στο οποίο δουλεύει η μηχανή. Όταν απαιτείται η χρήση του EGR για την μείωση των NOx "κόβεται" ο ένας στρόβιλος (cut out string) και λειτουργεί η γραμμή του EGR. Τα καυσαέρια περνούν από μια πρώτη διάταξη απόπλυσης όπου έχουμε και μια πρώτη μείωση της θερμοκρασίας τους. Στη συνέχεια ψύχονται ως την θερμοκρασία του αέρα πλήρωσης (EGR cooler) και μετά καθαρίζονται με την χρήση ενός συστήματος scrubber, το οποίο αποτελεί μια παρόμοια αλλά μικρότερη σε μέγεθος διάταξη σε σχέση με αυτή που θα αναλυθεί παρακάτω και χρησιμοποιείται για την μείωση των οξειδίων του θείου. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένα σύστημα για την συγκράτηση των υδρατμών (water mist catcher) και τέλος χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής (EGR blower) για την ανύψωση της πίεσης των καθαρισμένων καυσαερίων στα επίπεδα της πίεσης του αέρα πλήρωσης του κυλίνδρου.



Σχήμα 3 - 2α. Διάταξη ανακυκλοφορίας καυσαερίων με δύο υπερπληρωτές

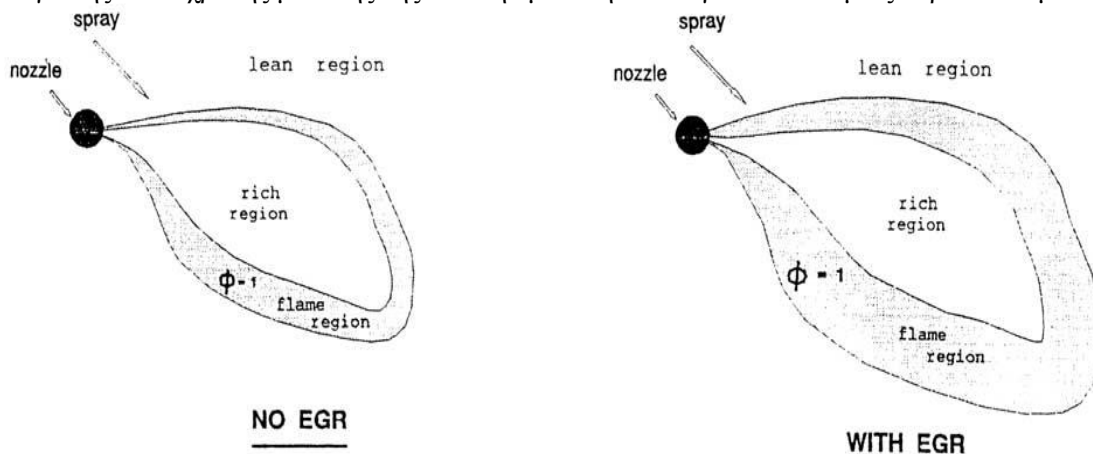
Οι μηχανισμοί που επηρεάζουν την λειτουργική συμπεριφορά και τις εκπομπές ρύπων του κινητήρα λόγω του EGR είναι:

1. **Θερμικοί μηχανισμοί:** Τα καυσαέρια που ανακυκλοφορούν, αποτελούνται μεταξύ άλλων και από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O), οι συγκεντρώσεις των οποίων αυξάνονται με την αύξηση του ποσοστού ανακυκλοφορίας. Τα δύο αυτά συστατικά του EGR έχουν υψηλότερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα και λόγω της υψηλότερης θερμοχωρητικότητας που αποκτά το μίγμα, απαιτείται περισσότερη ενέργεια για την προθέρμανση του και ως εκ τούτου μειώνονται οι θερμοκρασίες.

2. **Οι μηχανισμοί αραίωσης:** Ο αυξημένος χρόνος ανάμιξης και η μεγαλύτερη διάρκεια κάυσης που προκαλούνται από την αραίωση του μίγματος, λόγω μικρότερης διαθεσιμότητας σε οξυγόνο. Μια πιθανή εξήγηση για αυτήν την επίδραση παρουσιάζεται με την βοήθεια και του σχήματος 3.2β, το οποίο παρουσιάζει την καύση που εκτυλίσσεται σε δύο δέσμες καυσίμου ενός κινητήρα diesel, όπου στη μία περίπτωση έχει γίνει χρήση ανακυκλοφορίας, ενώ στην άλλη όχι. Αρχικά, όπως έχει ήδη εξηγηθεί, η καύση πραγματοποιείται στις περιοχές, όπου ο λόγος ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου είναι κοντά στις στοιχειομετρικές αναλογίες, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Με την χρήση EGR, η τοπική συγκέντρωση O_2 στον κύλινδρο μειώνεται και ως συνέπεια μία δεδομένη παροχή καυσίμου θα πρέπει να διασκορπιστεί περισσότερο, μέχρι να επιτευχθεί η ανάμιξη του με το κατάλληλο ποσοστό O_2 για την δημιουργία ενός στοιχειομετρικού μίγματος.

Για τη δεδομένη παροχή καυσίμου του κινητήρα, αυτή η μεγαλύτερη περιοχή του στοιχειομετρικού μίγματος περιέχει όχι μόνο το στοιχειομετρικό μίγμα, αλλά και τις συγκεντρώσεις CO_2 και H_2O των ανακυκλοφορούντων καυσαερίων. Συνεπώς ο αναγκαίος μεγαλύτερος διασκορπισμός του καυσίμου, οδηγεί επίσης σε αύξηση της καθυστέρησης αναφλέξεως και μείωση του ρυθμού καύσης, με την έναρξη της

ελεγχόμενης καύσης. Βέβαια τελικώς δεν παρουσιάζονται εμφανείς διαφορές στην καθυστέρηση αναφλέξεως, λόγω της ταυτόχρονης μείωσης της από την μείωση του λόγου ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου.



Σχήμα 3.2β: Διασκορπισμός της δέσμης καυσίμου και ανάμιξη αέρα-καυσίμου χωρίς και με χρήση EGR

3. Χημικοί μηχανισμοί: Μείωση της θερμοκρασίας που προωθεί την χημική δραστηριότητα κατά τις φάσεις σχηματισμού και διάσπασης, λόγω του αυξημένου διαχωρισμού και των αντιδράσεων των σύνθετων μορίων του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι κατά τη διάρκεια της φάσης σχηματισμού των NO_x, η θερμοκρασία αντίδρασης προσεγγίζει την αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας. Η αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας και η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της καύσης μειώνονται όσο αυξάνεται η ανακυκλοφορία, λόγω των παραπάνω παραμέτρων και μηχανισμών. Οι τρεις αυτοί μηχανισμοί επηρεάζουν την απόδοση και τις εκπομπές ρύπων ενός κινητήρα Diesel. Έτσι, η αύξηση της ανακυκλοφορίας καυσαερίων είναι μια αποτελεσματική μέθοδος μείωσης των εκπομπών NO_x, με ισχυρή αρνητική επίπτωση στην ειδική καταναλωση καυσίμου (NO_x-bsfc trade off). Μειονέκτημα εντούτοις αποτελεί η σημαντική αύξηση στις σωματιδιακές εκπομπές (NO_x-Soot trade off).

Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction, SCR)⁴⁷

Η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) χρησιμοποιείται για πάνω από είκοσι έτη για να ελέγξει τις εκπομπές NO_x από εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Προσφάτως έχει εφαρμοστεί σε αυτοκίνητα, φορτηγά αλλά και πλοία. Στην βιβλιογραφία αναφέρονται μειώσεις στα NO_x μεταξύ 90% και 99%. Επιπλέον, ορισμένες πηγές αναφέρουν μειώσεις στα PM 25-40%, ενώ μειώνεται και ο θόρυβος. Η τεχνολογία της καταλυτικής αναγωγής συνίσταται στον ψεκάσιμο διαλύματος ουρίας ή αμμωνίας στο ρεύμα των καυσαερίων της ναυτικής μηχανής.

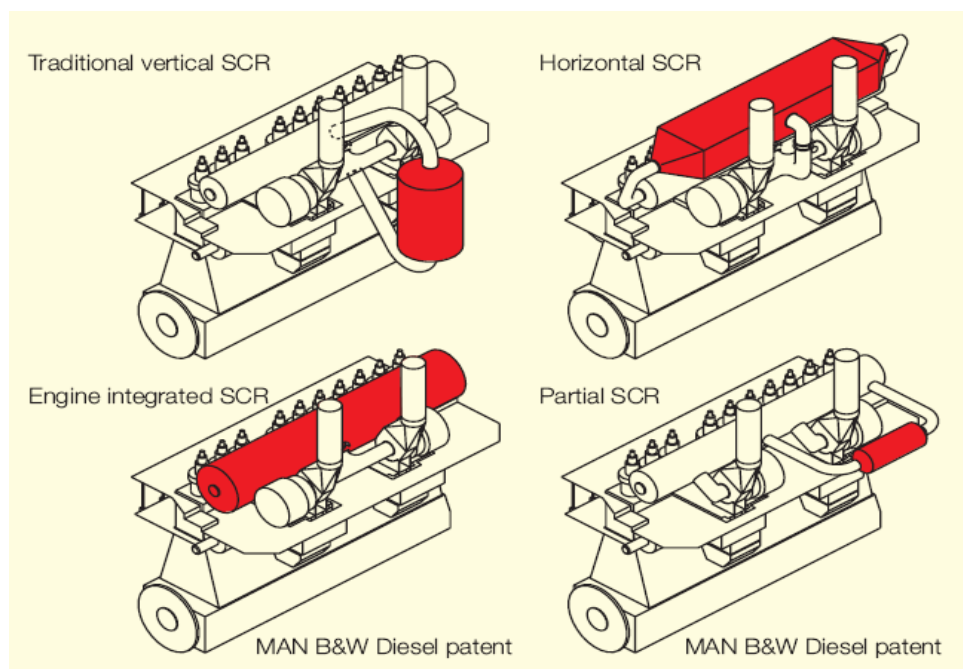
Για να πραγματοποιηθεί η καταλυτική αντίδραση απονίτρωσης και να έχει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, πρέπει το μίγμα των καυσαερίων και του υδατικού διαλύματος αμμωνίας να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 300 °C (μεταξύ 300 °C και 400 °C). Αν η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από τις παραπάνω τιμές έχουμε καύση της αμμωνίας, ενώ αν είναι μικρότερη έχουμε πολύ μικρή ταχύτητα αντίδρασης και συνεπώς πολύ μικρή απόδοση του συστήματος. Για να επιτευχθούν οι θερμοκρασίες αυτές, απαιτείται κάποιος χρόνος προθέρμανσης της μηχανής. Ένας καταλύτης τοποθετείται στον αγωγό καυσαερίων, πάνω στον οποίο οι αναγωγικές ενώσεις (ουρία ή αμμωνία) αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου και σχηματίζουν άζωτο (N₂) και νερό (H₂O).

Η αντίδραση με την αμμωνία έχει ως εξής: $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Αντίστοιχα, η αντίδραση με την ουρία είναι: $4\text{NO} + 2(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να διαφύγει αμμωνία. Αυτό συμβαίνει όταν η ποσότητα της αμμωνίας που ψεκάζεται στο ρεύμα των καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές ή ο καταλύτης έχει υποβαθμιστεί. Η αμμωνία μπορεί να διαβρώσει τον αγωγό των καυσαερίων. Επίσης, η παρουσία θείου στα καύσιμα μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία σωματιδίων θειικού αμμωνίου. Συνεπώς, για τη μέθοδο αυτή θα πρέπει να προτιμάται καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Βέβαια, μελέτες έχουν δείξει ότι περιεκτικότητα θείου έως και 2,7% κ.β. είναι ασφαλής. Η θερμοκρασία αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην καταλυτική αναγωγή, διότι όλες οι μηχανές έχουν κάποιο χρονικό διάστημα κατά την εκκίνηση όπου η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι πολύ χαμηλή για να επιτευχθεί αναγωγή των

NOx. Στο σχήμα 3.2γ παρουσιάζονται οι διατάξεις τοποθέτησης συστήματος SCR σε μονάδες Diesel μεγάλου μεγέθους, ανάλογα συνήθως με τη θερμοκρασία των καυσαερίων τους.

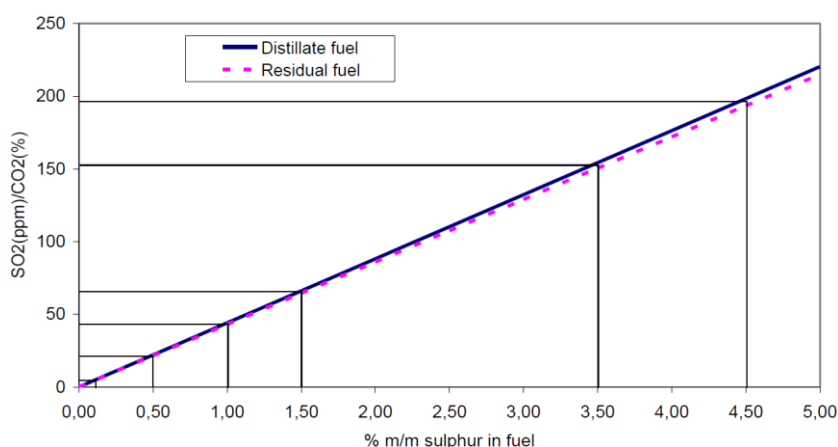


Σχήμα 3.2γ: Τρόποι τοποθέτησης συστήματος SCR σε μονάδες Diesel

3.1.2 Τεχνολογίες μείωσης SOx

Αντί της χρήσης καυσίμου χαμηλού σε θείο που θα αναλυθεί παρακάτω υπάρχει η δυνατότητα της απόπλυσης των καυσαερίων με αποτέλεσμα την μείωση της περιεκτικότητάς τους σε οξείδια του θείου SOx σε ποσοστό έως και 99%, ενώ παράλληλα μειώνονται και τα αιωρούμενα σωματίδια κατά 80-85%. Αποτελεί ισοδύναμο μέτρο της αλλαγής από καύσιμο περιεκτικότητας 3,5% κ.β. σε 0,1 % κ.β. σε θείο. Συνεπώς, αν το πλοίο διαθέτει scrubber, μπορεί να συνεχίσει να καίει βαρύ καύσιμο (που είναι φθηνότερο και διαθέσιμο σε ικανές ποσότητες) παντού στη θάλασσα. Η χρήση των μονάδων απόπλυσης για τη μείωση του SO2 αναγνωρίζεται από τον IMO βάσει της MEPC 184(59). Σε αυτήν ορίζεται ένα ποσοστό περιεκτικότητας σε θείο ενός καυσίμου που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή του λόγου επεμπόμενων διοξειδίων του θείου προς το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3. Έτσι μέσω της συνεχούς μέτρησης των συγκεκριμένων εκπομπών στην έξοδο του scrubber, μπορεί να επιβεβαιωθεί η συμμόρφωση με τους κανονισμούς του IMO.

Fuel oil sulphur content (% m/m)	Ratio emission SO2(ppm)/CO2(% v/v)
4.50	195.0
3.50	151.7
1.50	65.0
1.00	43.3
0.50	21.7
0.10	4.3



Σχήμα 3-3. Αντιστοίχιση εκπομπών διοξειδίου του θείου ανά εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα με ποσοστό θείου στο καύσιμο βάση των κανονισμών του IMO

Η επίτευξη της προσδοκώμενης μείωσης των βλαβερών εκπομπών, εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως την θερμοκρασία, την αλμυρότητα και την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, αλλά και από την

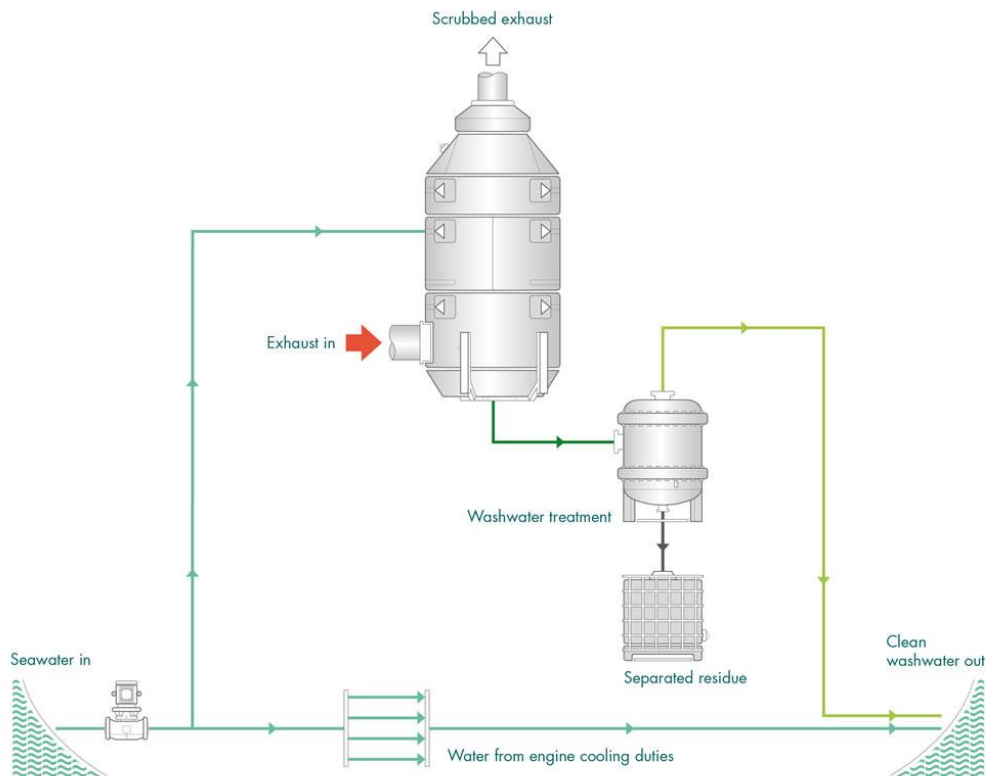
μερική πίεση των οξειδίων του θείου SOx. Μονάδες απόπλυσης μπορούν να τοποθετηθούν σε καινούρια πλοία αλλά και σε υπάρχοντα με ορισμένες μετασκευές. Στα καινούρια πλοία, η τοποθέτηση των εξαρτημάτων είναι ευκολότερη και με καλύτερη διάταξη. Πλέον, ακόμα και αν η μονάδα δεν εγκατασταθεί κατά την παράδοση του πλοίου, στις σύγχρονες κατασκευές, γίνεται χωροταξική μελέτη για μελλοντική τοποθέτηση. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι ένα σύστημα Scrubber που υποστηρίζει μηχανή με απόδοση 8400kW, έχει ύψος 8m, διάμετρο 2,9m και βάρος υπό συνθήκες λειτουργίας 13,4 tons.⁴⁸

Υπάρχουν τρεις τύποι:

- Με θαλασσινό νερό, ανοιχτού βρόχου,
- Με γλυκό νερό, κλειστού βρόχου
- Υβριδικοί

Θαλασσινό νερό, ανοιχτού βρόχου⁴⁸

Τα καυσαέρια εισέρχονται στον scrubber και ψεκάζονται με θαλασσινό νερό. Το διοξείδιο του θείου μετατρέπεται σε θειικό οξύ ($\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$) όταν έρχεται σε επαφή με το νερό. Δεν χρειάζονται χημικά, καθώς η φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού εξουδετερώνει το θειικό οξύ. Το θαλασσινό νερό μετά τον καθαρισμό των καυσαερίων παρακολουθείται και υπόκειται σε επεξεργασία, εάν αυτό απαιτείται ώστε να ικανοποιεί τα κριτήρια της MEPC 184(59) (η επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει διήθηση για αιωρούμενα σωματίδια και βαρέα μέταλλα). Κατόπιν μπορεί να απορριφθεί στη θάλασσα χωρίς τον κίνδυνο να βλάψει το θαλάσσιο περιβάλλον.



Σχήμα 3 - 4. Σύστημα απόπλυσης ανοιχτού βρόχου (Open loop Scrubber)

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες θάλασσες του κόσμου, όπου η αλκαλικότητα είναι υψηλή. Με τον όρο αλκαλικότητα δεν εννοείται μόνο το pH του διαλύματος αλλά και η ικανότητα του να αντιστέκεται σε αλλαγές του pH. Το θαλασσινό νερό έχει αλμυρότητα κατά μέσο όρο, 3.5% περιεκτικότητα κατά βάρος. Το νερό μπορεί να έχει υψηλή αλκαλικότητα και καθόλου αλμυρότητα, αυτό εξαρτάται από την συγκέντρωση του ασβεστίου. Τα συστήματα απόπλυσης που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό ως μέσο απόπλυσης, μπορούν να λειτουργήσουν και στις περιοχές που το νερό έχει χαμηλή αλκαλικότητα αλλά με μικρότερο βαθμό απόδοσης. Η επίτευξη της προσδοκώμενης μείωσης των βλαβερών εκπομπών, εξαρτάται επιπρόσθετα και από άλλες παραμέτρους, όπως τη θερμοκρασία και την μερική πίεση των οξειδίων του θείου SOx. Έχει παρατηρηθεί ότι το θαλασσινό νερό έχει σχεδόν την διπλάσια ικανότητα στην απορρόφηση των

βλαβερών στοιχείων από τα καυσαέρια σε σχέση με το υφάλμυρο νερό. Η ικανότητα απορρόφησης μειώνεται όσο μειώνεται η αλμυρότητα και η αλκαλικότητα του χρησιμοποιούμενου νερού απόπλυσης.

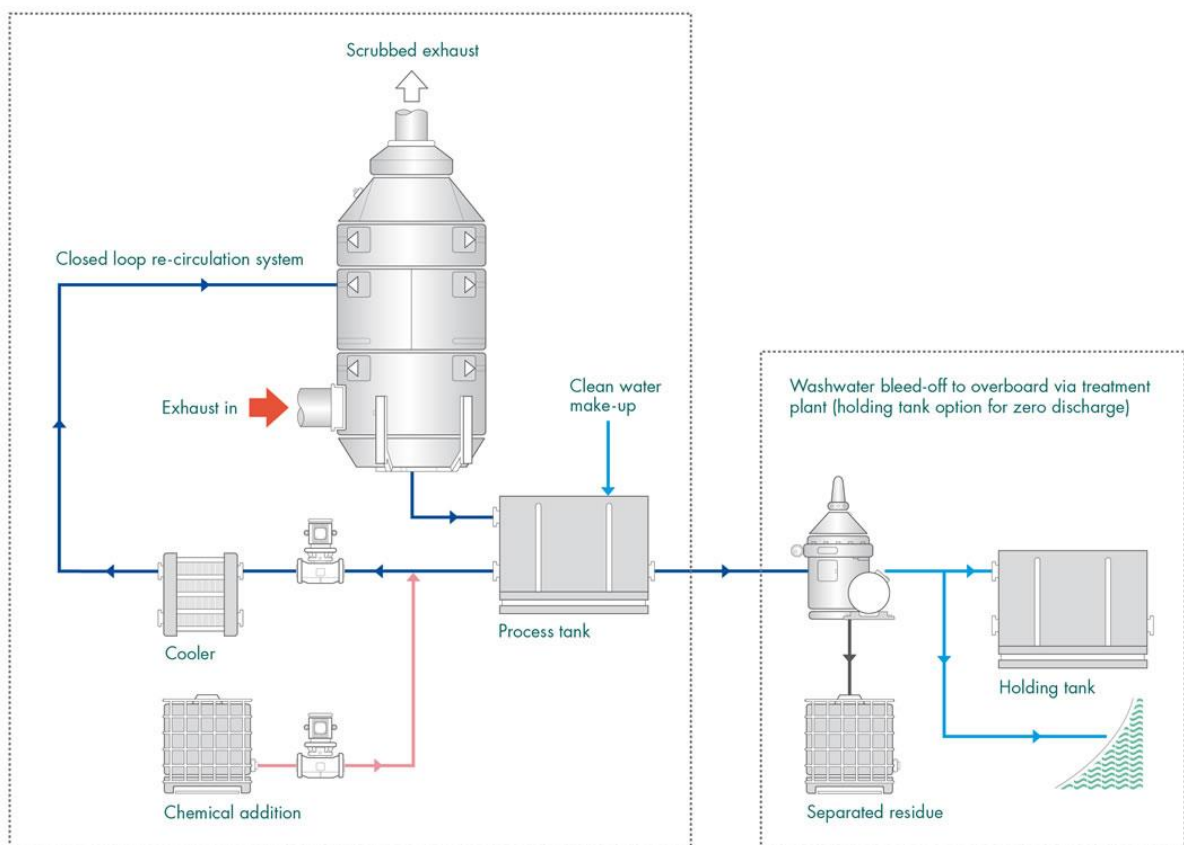
Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Δεν χρησιμοποιούνται πρόσθετα παρά μόνον θαλασσινό νερό το οποίο λειτουργεί ως απορροφητικό υλικό
2. Δεν παράγονται βλαβερά απόβλητα, μόνο αυξάνει ελαφρώς η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε θειικά οξέα.
3. Είναι σαφέστερα η οικονομικότερη λύση σε σχέση με άλλες εναλλακτικές μεθόδους.

Με γλυκό νερό, κλειστού βρόχου⁴⁸

Αποτελεί την εναλλακτική λύση όταν απαιτείται υψηλός βαθμός απόδοσης και όταν μπορεί να προκύψουν ζητήματα με την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, κυρίως όμως όταν λόγω αυστηρών κανονισμών σε συγκεκριμένα λιμάνια δεν υπάρχει η δυνατότητα απόρριψης του καθαρισμένου νερού (zero discharge). Σε τέτοιες εγκαταστάσεις σαν χημικό πρόσθετο χρησιμοποιείται η καυστική σόδα (NaOH) για την απορρόφηση των SOx. Ο βαθμός απόδοσης απόπλυσης τέτοιων εγκαταστάσεων φτάνει το 99%, κάνοντας έτσι τις εκπομπές να είναι ισοδύναμες, με τη χρήση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0.1%.

Καυστική σόδα - (NaOH) υδροξείδιο του νατρίου: Είναι ένα διάλυμα με συγκέντρωση περίπου 50%. Έχει πυκνότητα 1.52 t/m³ και Ph=14. Στερεοποιείται στους 12°C και μεταφέρεται ζεστό. Η χρήση θερμαντήρα απαιτείται αφού η ενδεικνυόμενη θερμοκρασία είναι περίπου 25-35°C. Στη θερμοκρασία αυτή, μπορεί να αντληθεί κανονικά από σταθμούς και να αποθηκευτεί σε κοινή δεξαμενή φτιαγμένη από χάλυβα αλλά βαμμένη με ειδικό υλικό. Το κόστος της κυμαίνεται περίπου, 0.5 – 4% του κόστους του καυσίμου.



Σχήμα 3 - 5. Αποτύπωση συστήματος κλειστού βρόχου (Closed loop Scrubber)

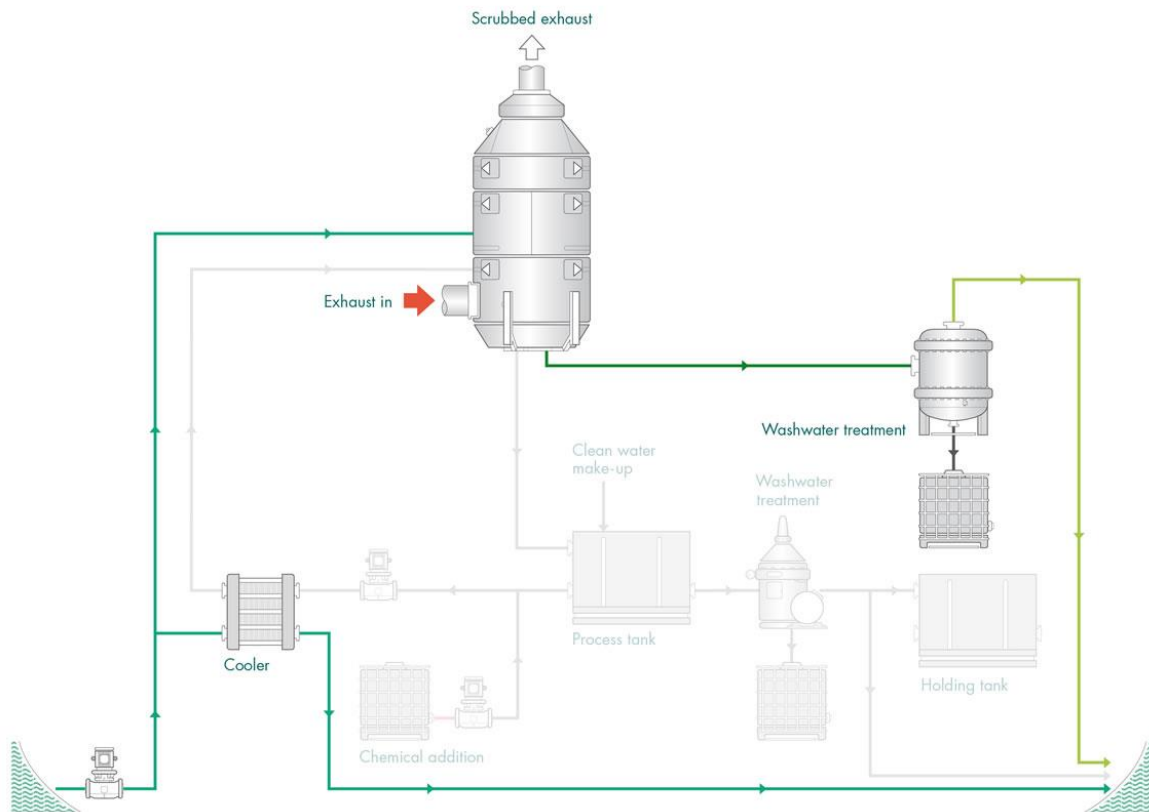
Το μέσο απόπλυσης είναι γλυκό νερό που υπάρχει σε δεξαμενές. Το νερό αντλείται από την Process tank διέρχεται από ένα ψυγείο και διοχετεύεται στη μονάδα απόπλυσης. Από τη μονάδα απόπλυσης το μέσο επιστρέφει στην Process tank με τη βοήθεια της βαρύτητας. Με την αντλία τροφοδοσίας (feed pump) αναμειγνύεται το NaOH με το γλυκό νερό και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η στάθμη στο νερό της δεξαμενής πρέπει να συμπληρώνεται, διότι τμήμα αυτού εξατμίζεται και αποβάλλεται μαζί με τα καυσαέρια. Σημειώνεται πως στα προϊόντα των καυσαερίων εμπεριέχεται νερό, που σε ένα βαθμό μπορεί να αντισταθμίσει

την απώλεια που αναφέραμε. Το νερό απόπλυσης οδηγείται κατευθείαν στην μονάδα επεξεργασίας (treatment unit) και μετά το φιλτράρισμα, επανακυκλοφορεί. Τα υπολείμματα της διαδικασίας, συλλέγονται σε κάποια ειδική δεξαμενή (acid proof coated tank). Η μονάδα αυτή μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να χρειάζεται να αποβάλλει τίποτα στη θάλασσα, Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονεκτήματα για περιοχές όπου απαγορεύεται οποιαδήποτε απόρριψη στη θάλασσα.

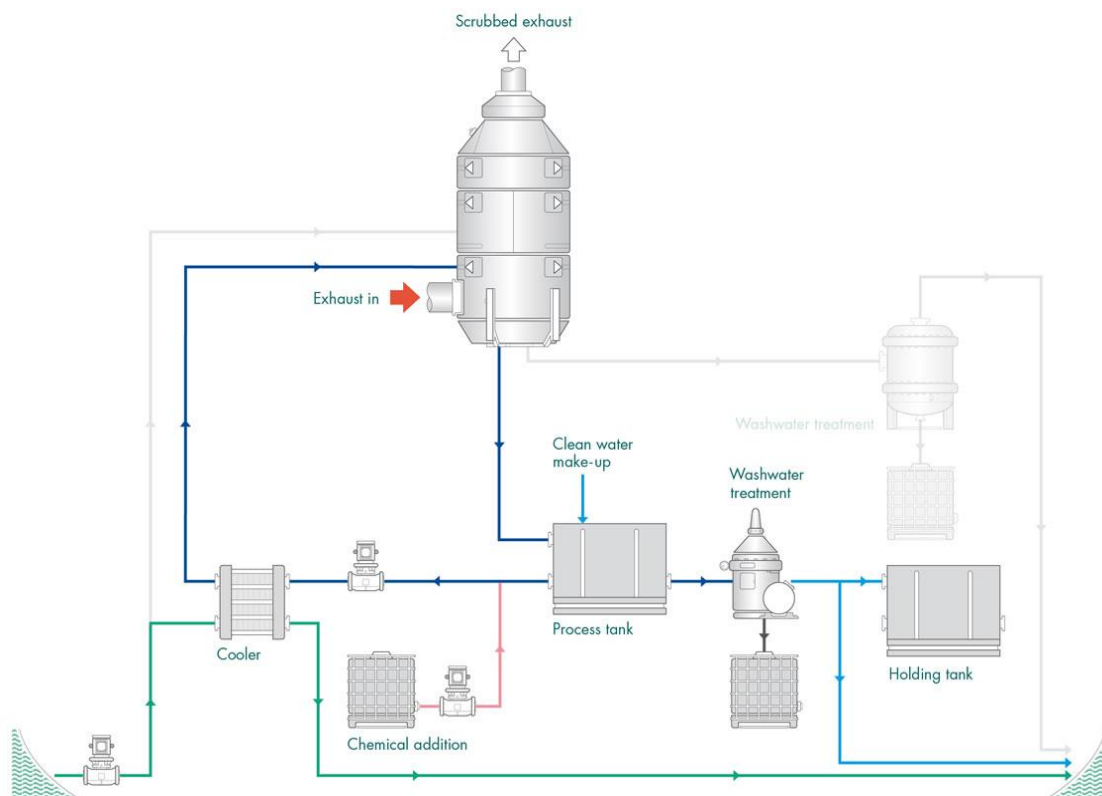
Τα καυσαέρια, στην έξοδο τους μετά από τη μονάδα απόπλυσης έχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας. Μπορεί το φαινόμενο να περιορισθεί με την χρήση ενός συλλέκτη έτσι ώστε να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα μικρότερο ποσοστό νερού και κατά συνέπεια μικρότερη ποσότητα νερού να χρειάζεται να συμπληρώνεται στο δίκτυο. Η μονάδα συλλέκτη υγρασίας (water mist catcher), μειώνει επίσης τις εκπομπές θορύβου με αποτέλεσμα να μπορεί να παραλειφθεί από το δίκτυο εξαγωγής των καυσαερίων, η τοποθέτηση σιγαστήρα (silencer). Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα των μονάδων απόπλυσης είναι η δραστική μείωση επιπλέον σωματιδίων που βρίσκονται στα καυσαέρια.

Υβριδικά συστήματα⁴⁸

Με ένα υβριδικό σύστημα, όταν το πλοίο είναι στην ανοιχτή θάλασσα λειτουργεί το σύστημα ανοιχτού βρόχου με θαλασσινό νερό. Όταν το πλοίο εισέρχεται σε μια περιοχή χαμηλής αλκαλικότητας, λειτουργεί ως κλειστού βρόχου με επιπρόσθετο NaOH.



Σχήμα 3 - 6. Υβριδικό σύστημα, χρήση της διάταξης ανοιχτού βρόχου



Σχήμα 3 - 7. Υβριδικό σύστημα, χρήση της διάταξης ανοιχτού βρόχου

Πλεονεκτήματα από τη χρήση μονάδων απόπλυσης καυσαερίων (EGC)

1. Αποφεύγεται το ρίσκο καθυστέρησης του πλοίου σε κάποιο λιμάνι λόγω της έλλειψης του προδιαγραφόμενου καυσίμου των κανονισμών.
2. Αποφεύγεται η επιπλέον χρέωση από τους προμηθευτές καυσίμων για την παραλαβή καυσίμων διαφορετικών προδιαγραφών.
3. Αποδοτική και ασφαλή λειτουργία όλων των μηχανημάτων καθώς δεν χρειάζεται να λειτουργήσουν με καύσιμα χαμηλότερης λιπαντικής ικανότητας.
4. Δεν χρειάζεται η προμήθεια και αποθήκευση λιπαντικών με διαφορετικό Total base number (TBN).
5. Δεν χρειάζεται να αλλάξει η διαδικασία παραλαβής των καυσίμων.
6. Δεν χρειάζονται ειδικοί όροι για την οικονομική εκμετάλλευση του πλοίου σε περιπτώσεις ναυλώσεων.
7. Το κόστος λειτουργίας του πλοίου παραμένει το ίδιο και δεν επηρεάζεται από τις νέες απαιτήσεις που αναμένεται να γίνουν πιο αυστηρές στο μέλλον.
8. Το πλοίο γίνεται πιο φιλικό προς το περιβάλλον μειώνοντας δραστικά τις εκπομπές.
9. Το πλοίο είναι έτοιμο να ανταπεξέλθει, ακόμα και σε μελλοντικές απαιτήσεις, για τον περιορισμό άλλων αέριων ρύπων, κυρίως στην περίπτωση του closed loop, που μπορεί να γίνει χρήση διαφόρων χημικών ουσιών.
10. Ελάχιστη συντήρηση του συστήματος.

Κόστος Εγκατάστασης

Εκτιμάται ότι το αρχικό κεφάλαιο για την εγκατάσταση Scrubber, σε νεότευκτα πλοία είναι οικονομικότερη κατά 20-40% σε σχέση με μετασκευές σε παλιότερα πλοία. Το κόστος συντήρησης της μονάδας είναι πολύ μικρό. Η συντήρηση είναι απλή και μπορεί να γίνει στο πλαίσιο των συνήθων εργασιών του πληρώματος. Το κόστος συντήρησης εμφανίζει διαβάθμιση ως προς το μέγεθος της εγκατάστασης και επομένως ως προς το μέγεθος του πλοίου, με ποσοστό 1-3% του αρχικού κόστους κτίσης του Scrubber.

Παρόλο που η συντήρηση του συστήματος είναι σχετικά χαμηλή, εντούτοις, το κόστος λειτουργίας του καραβιού, υπολογίζεται ότι θα αυξηθεί. Η αύξηση αυτή θα σημειωθεί, κυρίως λόγω της παραγωγής των sludges από την μονάδα απόπλυσης. Το πλοίο αποθηκεύει sludges κατά τον πλου του, από διάφορες εργασίες όπως καθαρισμούς σε δεξαμενές ή στο μηχανοστάσιο (σεντίνες). Το πλοίο είναι υποχρεωμένο να παραδίδει τα απορρίμματα αυτά, στα λιμάνια για σωστή διαχείριση και εξουδετέρωση. Σε κάθε τέτοια παράδοση πρέπει

να δίνεται έγγραφο, στο οποίο καταγράφεται η ποσότητα των αποβλήτων. Ανάλογη, επίσης, αναφορά πρέπει να γίνεται στο βιβλίο μηχανής. Το κόστος για την παράδοση των sludges, διαφέρει μεταξύ των λιμανιών. Σε πολλά λιμάνια, το κόστος είναι σταθερό έως ένα συγκεκριμένο όγκο αποβλήτων και αυξάνεται κλιμακωτά από εκεί και έπειτα.

3.2 Μετάβαση σε εναλλακτικά υγρά καύσιμα

3.2.1 MDO και ULSFO

Τα ποντοπόρα πλοία χρησιμοποιούν καύσιμα που περιέχουν κατά μέσο όρο 2,5-3% κ.β. θείου, το οποίο αντιστοιχεί σε 2.500-3.000 φορές το ποσοστό θείου στις οδικές μεταφορές στην Ευρώπη (το οποίο είναι 10 ppm ή 0,001% κ.β.). Ο απλούστερος και πιο αποτελεσματικός τρόπος για να μειωθούν οι εκπομπές SO₂ είναι η αλλαγή σε καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Ο ισχυρισμός αυτός υπήρξε αντικείμενο μελέτης, που έγινε υπό πραγματικές συνθήκες, σε τετράχρονη μηχανή 4500kW. Κατά την μελέτη αυτή, εξετάστηκαν στην ίδια μηχανή, για την ίδια θαλάσσια διαδρομή και σε παρόμοιες καιρικές συνθήκες, δύο τύποι καυσίμου. Τα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το heavy fuel oil HFO και το marine gas oil MGO. Οι δύο τύποι καυσίμου, βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια της διύλισης του πετρελαίου, αφού το πρώτο αποτελεί το κατάλοιπο της απόσταξης του πετρελαίου με περιεκτικότητα σε θείο συνήθως 3.5-4,5%, ενώ το δεύτερο αποτελεί καθαρό και επεξεργασμένο καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη ή ίση με 1%.

Ο στόχος της μελέτης αυτής ήταν η μέτρηση της σύστασης των καυσαερίων, συγκεκριμένα των CO₂, CO, NO_x, SO₂, PM και HCs. Τα αποτελέσματα στα δύο καύσιμα δεν διέφεραν τόσο πολύ στα περισσότερα συστατικά των αερίων εκτός από τις μετρήσεις που παρατηρήθηκαν στο SO₂. Προτού αποδώσουμε τις τιμές που προέκυψαν από την μέθοδο αυτή για το SO₂, θα πρέπει να τονίσουμε πως τα μικροσωματίδια (PM) που μετρήθηκαν για το HFO ήταν περισσότερα από αυτά στην περίπτωση του MGO, για σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,3-0,4 micron. Ωστόσο, για τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 0,3-0,4 micron συνέβη το αντίθετο. Η έμφαση αυτή γίνεται για να τονισθεί πως παρά την μείωση των εκπομπών SO_x που παρατηρείται, έχουμε παράλληλα, αύξηση των επικίνδυνων μικροσωματιδίων. Τα αποτελέσματα για το SO₂ σε μέσο όρο μετρήθηκαν 0,33g/kWh (ακραίες τιμές 0,18-0,48) για το MGO, και 1,34g/kWh (ακραίες τιμές 0,56 – 2,12) για το HFO.

Η παραγωγή των ναυτικών καυσίμων με χαμηλό ποσοστό θείου (0.5%) γίνεται με δύο τρόπους:

- Ανάμιξη καυσίμων με διαφορετικά ποσοστά θείου 0,1% και 3.5% με αναλογία 88% και 12% αντίστοιχα για την παραγωγή καυσίμου με ποσοστό θείου 0.5%
- Την αποθείωση του κοινού αργού πετρελαίου

Το ποσοστό του θείου στο πετρέλαιο δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από την περιοχή απάντλησης. Υπάρχουν δηλαδή περιοχές που έχουν το προνόμιο να εμφανίζονται μικρές ποσότητες θείου στα κοιτάσματά τους. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, η μείωση του ποσοστού θείου στα καύσιμα επιτυγχάνεται με περαιτέρω επεξεργασία του πετρελαίου μετά από την απόσταξη. Η διαδικασία αυτή, καλείται αποθείωση. Η αποθείωση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω μιας ποικιλίας τεχνικών (hydrotreating, hydrodesulphurization) οι οποίες, αν και ανεπτυγμένες τεχνολογικά, δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, αφού η απόσβεση της επένδυσης καθίσταται αβέβαιη λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης και του φόβου μη εφαρμογής της συγκεκριμένη ενεργειακή απαίτηση. Τα διυλιστήρια και οι προμηθευτές καυσίμων στην Ευρώπη δηλώνουν έτοιμοι να ανταποκριθούν στην αυξημένη ζήτηση καυσίμων με μικρή συγκέντρωση θείου. Η ζήτηση όμως για τα καύσιμα αυτά, είναι πιθανόν να μην καλυφθεί εγκαίρως καθώς απαιτείται αναβάθμιση των διυλιστηρίων. Οι δυσκολίες αυτές στη παραγωγή καυσίμων με μικρό ποσοστό θείου, σε συνδυασμό με την αύξηση στην ζήτηση τους, αναμένεται να αυξήσουν σημαντικά την τιμή των Low Sulphur Fuel Oils, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Η χρήση δύο τύπων πετρελαίου απαιτεί ανεξάρτητες δεξαμενές αποθήκευσης του πετρελαίου. Αν το πλοίο είναι παλιότερο και οι δεξαμενές δεν είναι αρκετές, θα χρειασθούν αλλαγές και τροποποιήσεις στις ήδη υπάρχουσες.

Στο σημείο αυτό θα εξετασθεί και από την σκοπιά του κινητήρα, η χρήση του καυσίμου χαμηλού σε θείο. Οι σύγχρονες μηχανές μπορούν να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, αρκεί να δίνεται προσοχή στην λίπανση τους. Τα συνήθη λιπαντικά που χρησιμοποιούνται στους δίχρονους κινητήρες περιέχουν αλκαλικά πρόσθετα, συνήθως άλατα ασβεστίου, που εξουδετερώνουν τα παραγόμενα θειικά και νιτρικά οξέα που σχηματίζονται στον κύλινδρο, προστατεύοντας με αυτόν τον τρόπο τον κύλινδρο από τη διάβρωση. Η διάβρωση λόγω των οξέων αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες φθοράς στους

κυλίνδρους των μηχανών. Η φθορά εντείνεται από την παρουσία νερού στον θάλαμο καύσης σε συνδυασμό με τις αυξημένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και οδηγεί στο σχηματισμό τριοξειδίου του θείου.

Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται συνήθως, σε συνδυασμό με καύσιμα υψηλού ποσοστού σε θείο (HFO) έχουν BN70. Ο αριθμός βάσης (Base Number- BN) χαρακτηρίζει τα λιπαντικά και αποτελεί το μέτρο της ικανότητας των λιπαντικών να ουδετεροποιούν τα οξέα. Τα λιπαντικά αυτά, αν χρησιμοποιηθούν μαζί με καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα φθοράς. Η αυξημένη αλκαλικότητά τους σε συνδυασμό με την απουσία οξέων, δημιουργεί ανεπιθύμητες συνέπειες. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η αυξημένη αλκαλικότητα, συγκρατεί τους υδρατμούς, σχηματίζοντας γαλακτώματα. Τα γαλακτώματα δημιουργούν προβλήματα στα συστήματα φιλτραρίσματος. Για μικρά χρονικά διαστήματα, οι κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν με τα λιπαντικά αυτά. Για μεγαλύτερες όμως περιόδους λειτουργίας απαιτούνται λιπαντικά με μικρότερο αριθμό BN. Στην καθημερινή λειτουργία του πλοίου, η χρήση δύο λιπαντικών δημιουργεί δυσκολίες καθώς και επιπρόσθετες δαπάνες για την αποθήκευσή τους.

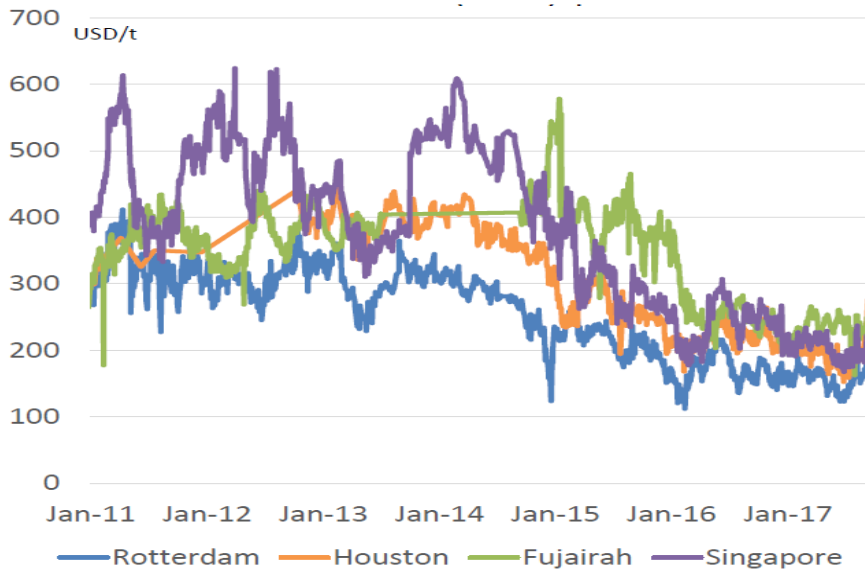
Τα κυριότερα προβλήματα τα οποία εμφανίζονται και απειλούν τις βασικές λειτουργίες των πλοίων είναι:

- **Λιπαντική ικανότητα:** Μειωμένη λιπαντική ικανότητα σε καύσιμα χαμηλού θείου θέτουν τον κίνδυνο, μη επαρκούς λίπανσης των αντλιών καυσίμου, με αποτέλεσμα εκτεταμένη φθορά και πρόωμη αστοχία.
- **Συμβατότητα:** Κατά την μετάβαση από λειτουργία με βαρέα καύσιμα, σε καύσιμα απόσταξης χαμηλού θείου τίθεται ο κίνδυνος δημιουργίας προβλημάτων συμβατότητας καυσίμων.
- **Ιξώδες:** Τα αποστάγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο έχουν σχετικά χαμηλό ιξώδες, (σε εύρος 1.5 έως 3.0 centistokes (cst)). Οι αντλίες καυσίμων βασίζονται στο ιξώδες για να ικανοποιούν την απαιτούμενη ογκομετρική χωρητικότητα, κάτι πολύ σημαντικό όσον αφορά την κατάλληλη τροφοδοσία.
- **Λιπαντικά:** Οι μηχανές που λειτουργούν με βαρέα καύσιμα απαιτούν λιπαντικά με μεγαλύτερο συνολικό αριθμό βάσης (Total Base Number – TBN) για να διαχειριστούν την υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Εάν το λιπαντικό δεν αλλάξει σε κάποιο άλλο με χαμηλότερο TBN, οι μηχανές που λειτουργούν για εκτεταμένες περιόδους με π.χ. 0.1% MGO ενώ παράλληλα χρησιμοποιούν λιπαντικό με υψηλό TBN, διατρέχουν κίνδυνο συσσώρευσης αλάτων ασβεστίου στο θάλαμο ανάφλεξης.
- **Υψηλός TAN (Αριθμός οξύτητας):** Καύσιμα απόσταξης χαμηλού θείου είναι επιρρεπή σε υψηλά επίπεδα δημιουργίας υπεροξειδικών σχηματισμών, με αποτέλεσμα υψηλό συνολικό αριθμό οξύτητας. Με τη σειρά τους, οι αντλίες καυσίμων υφίστανται έντονη επίθεση από οξείδωση, διάβρωση και τελικά αστοχία.
- **Λειτουργία λεβήτων:** Για σκάφη με βοηθητικούς λέβητες, θα απαιτηθεί η εκτεταμένη τροποποίησή τους, συμπεριλαμβανομένων και αλλαγών σε καυστήρες, στον ψεκασμό και στην εγκατάσταση πρόσθετου εξοπλισμού άντλησης και αποθήκευσης καυσίμου.
- **Θερμική Σταθερότητα – Ποιότητα Ανάφλεξης:** Η απουσία φυσικών αντιοξειδωτικών ουσιών σε καύσιμα χαμηλού θείου έχει ως αποτέλεσμα μειωμένη θερμική σταθερότητα, υποβαθμισμένη ποιότητα ανάφλεξης και φθορά των μηχανικών μερών.
- **Εκπομπές:** Με υποβαθμισμένη την ποιότητα ανάφλεξης και μη αρκετή φυσική και θερμική σταθερότητα, τα ναυτιλιακά καύσιμα χαμηλού θείου συχνά παράγουν υπερβολικές ποσότητες υδρογονανθράκων που δεν έχουν υποστεί καύση και ορατές εκπομπές ποσοτήτων σωματιδίων.

Το τμήμα έρευνας του DNV Petroleum Services, σε παρατηρήσεις που έχει κάνει από την χρήση καυσίμων χαμηλών σε θείο, έχει εκφράσει επιφυλάξεις για την ποιότητα και την σύνθεση των καυσίμων αυτών. Ο φόβος αυτός έγκειται στο γεγονός ότι με στόχο τη μείωση του θείου, τα καύσιμα που προωθούνται υστερούν σε άλλες βασικές ιδιότητες που θα έπρεπε να έχουν. Η χρήση των καυσίμων αυτών μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα έναρξης του κινητήρα και αστάθειας στην λειτουργία του. Η εναλλαγή των πετρελαίων διαφορετικής σύνθεσης, είναι δυνατόν να αυξήσει τα επίπεδα του Aluminum & Silicon (αλουμίνιο & πυρίτιο) προκαλώντας μεγαλύτερη φθορά στον κινητήρα. Ο νηογνώμονας εκφράζει την ανησυχία του, πως η παραγωγή καυσίμων χαμηλών σε θείο, θα επιβαρύνει τα υπόλοιπα καύσιμα αυξάνοντας τη συγκέντρωσή τους σε θείο. Σε έσχατες περιπτώσεις έχουν υπάρξει αναλύσεις, πετρελαίων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, που ενώ βρέθηκαν να ικανοποιούν την απαίτηση χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, εμφανίσθηκαν να παρουσίαζαν στην σύνθεσή τους υψηλές τιμές χημικών απορριμμάτων.

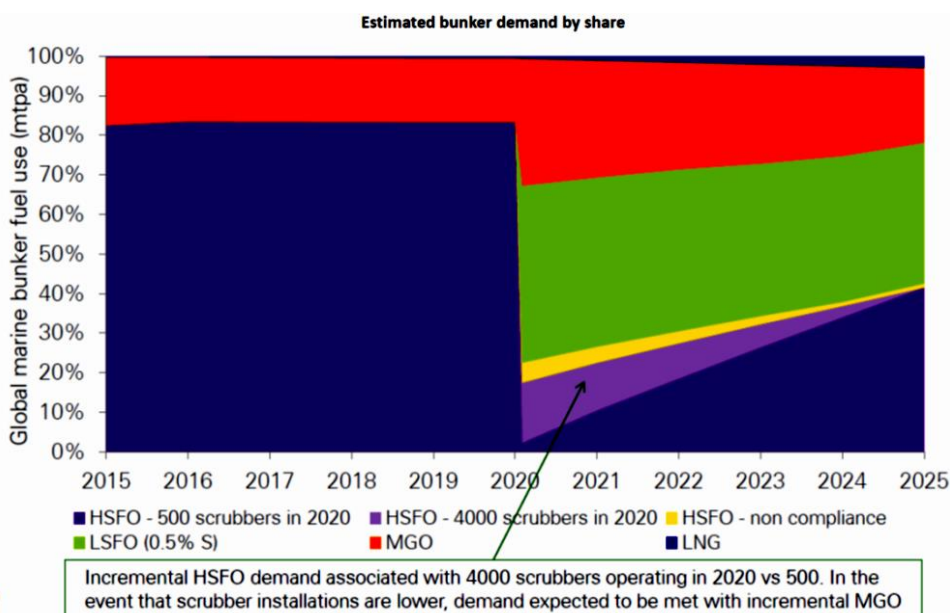
Είναι πολύ δύσκολο κανείς να κάνει προβλέψεις για την τιμή του πετρελαίου με περιεκτικότητα 0,1% σε θείο, αφού εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Σημαντικός είναι ο παράγοντας της προσφοράς

και της ζήτησης. Τα διωλιστήρια έχουν αρχίσει ήδη τη παραγωγή καυσίμων χαμηλών σε θείο, εξαιτίας της απαίτησης που υπάρχει για τα καύσιμα στα χερσαία μέσα. Η αύξηση όμως της ζήτησης για επιπλέον ποσότητες καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, θα οδηγήσει στην ανάγκη νέων επενδύσεων από τα διωλιστήρια. Το κόστος της επένδυσης θα αποδοθεί απευθείας στην τιμή του καυσίμου. Ένα ιστορικό της μεταβολής των τιμών των καυσίμων σε τέσσερις μεγάλες αγορές για τα έτη 2011 με 2017 δίνεται στην εικόνα, ενώ μια διαγραμματική εκτίμηση της μελλοντικής ζήτησης που θα κρίνει και την τελική διαφορά των τιμών μεταξύ HFO και MGO δίνεται στο Σχήμα 3 - 8.



Σχήμα 3 - 8. Διάγραμμα MGO vs HFO (IFO380)

Αναφέρεται επίσης η άποψη, ότι παρόλο που η χρήση των νέων καυσίμων αυξάνει το κόστος, ταυτόχρονα μειώνει άλλα λειτουργικά έξοδα του πλοίου. Ο ισχυρισμός αυτός έγκειται στη μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη των νέων καυσίμων. Το HFO έχει κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 40MJ/kg ενώ το Diesel Oil περίπου 43MJ/kg. Τα καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο είναι αποστάγματα που εμφανίζουν ιδιότητες πιο κοντά στο MGO. Η διαφορά αυτή στις ιδιότητες των δύο καυσίμων μεταφράζεται σε μείωση της κατανάλωσης. Επιπλέον μείωση εξασφαλίζεται από τον περιορισμό των αποβλήτων, sludges, που η διαχείρισή τους είναι αρκετά δαπανηρή.²⁴



Σχήμα 3 - 9. Εκτίμηση της ζήτησης των βασικών καυσίμων έως το έτος 2025.

Είναι ιδιαίτερος σημαντικό η διαδικασία αλλαγής καυσίμου από HSFO σε LSFO να γίνεται με τον σωστό τρόπο καθώς όπως είπαμε οι αντλίες βασίζονται στο ιξώδες για να ικανοποιούν την απαιτούμενη ογκομετρική χωρητικότητα. Έτσι για χρήση HSFO το καύσιμο θερμαίνεται για να αποκτήσει το απαραίτητο ιξώδες. Εάν η εναλλαγή δεν γίνει σωστά και το ιξώδες του LSFO μειωθεί περαιτέρω λόγω των θερμών σωληνώσεων τότε εμφανίζεται ο κίνδυνος διαρροών καυσίμου καθώς και η μεταβολή του μηχανισμού καύσης.

Η διαδικασία αλλαγής καυσίμου από HSFO σε LSFO σύμφωνα με τους κανονισμούς πριν τη είσοδο του πλοίου στις ειδικές περιοχές SECAs δίνεται παρακάτω:

1) Τοποθετείται ο διακόπτης λειτουργίας της αντλίας μεταφοράς καυσίμων FO από την θέση αυτόματο στη θέση χειροκίνητο.

2) Συνεχίζεται η λειτουργία της κύριας μηχανής με HSFO (υψηλής περιεκτικότητας σε θείο μαζούτ) χωρίς την αναπλήρωση της δεξαμενής των καταναλωμένων καυσίμων FO.

3) Ελέγχεται το επίπεδο της δεξαμενής έως ότου έχει μειωθεί το HSFO περίπου στα 10m³.

4) Μεταστρέφονται τα επιστόμια του φυγοκεντρικού καθαριστή ώστε το καύσιμο να επανακυκλοφορεί στη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης έως ότου το καύσιμο στη δεξαμενή να μειωθεί μέχρι τα 40m³.

5) Ανοίγεται το επιστόμιο αναρρόφησης από τη δεξαμενή καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO).

6) Τοποθετείται ο διακόπτης λειτουργίας της αντλίας μεταφοράς καυσίμων FO από την θέση χειροκίνητο σε αυτόματο και ξαναγεμίζεται η δεξαμενή του FO με LSFO.

7) Μεταστρέφονται τα επιστόμια του φυγοκεντρικού καθαριστή του FO ώστε το καύσιμο να ξαναγεμίσει τη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης.

8) Ο χρόνος και η θέση όπου τα καύσιμα αλλάζουν από το HSFO σε LSFO θα επιλεγούν με τέτοιο τρόπο ώστε κατά τη είσοδο του πλοίου στις SECAs να χρησιμοποιείται πετρέλαιο LSFO.

9) Η θέση και η χρονική στιγμή της αλλαγής από το HSFO σε LSFO καταγράφεται στα ημερολόγια γέφυρας, μηχανής και στο ημερολόγιο θείου (S).

3.2.2 Orimulsion

Orimulsion ονομάζεται το προϊόν της μίξης ασφάλτου (bitumen) και νερού σε αναλογία 70/30. Το προϊόν αυτό δημιουργήθηκε προκειμένου να γίνουν αντικείμενο εκμετάλλευσης τα τεράστια αποθέματα φυσικής ασφάλτου που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Ορενόκου στη λατινική Αμερική. Το καύσιμο που προκύπτει από την ανάμειξη της φυσικής ασφάλτου και του νερού είναι ένα γαλάκτωμα, στο οποίο τα σταγονίδια της ασφάλτου αιωρούνται μέσα στο νερό με την βοήθεια χημικών προσθέτων και μηχανικής ανάδευσης. Το καύσιμο έχει πυκνότητα 1.0113 kg/m³ και είναι αρκετά σταθερό. Η διαχείρισή του δεν διαφέρει σε τίποτα από αυτή των κοινών καυσίμων και για το λόγο αυτό δεν απαιτείται αλλαγή του μηχανολογικού εξοπλισμού επεξεργασίας καυσίμου.

Στο χώρο των ναυτικών μηχανών έχουν εκτελεστεί πειράματα κυρίως σε αργόστροφες και μεσόστροφες μηχανές diesel. Τα αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά και δείχνουν ότι η απόδοση του orimulsion είναι συγκρίσιμη αυτής των κοινών καυσίμων. Η μακροχρόνια χρήση του orimulsion έχει παρουσιάσει αποδεκτά επίπεδα διάβρωσης χωρίς να απαιτείται η χρήση χημικών προσθέτων. Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα σε σχέση με άλλα εναλλακτικά καύσιμα είναι τα επίπεδα εκπομπής ρύπων. Το orimulsion περιέχει θείο σε ποσοστό 2,8% και γι' αυτό απαιτείται η χρησιμοποίηση τεχνικών απομάκρυνσης του διοξειδίου του θείου.

3.3 Ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου

Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών το φυσικό αέριο αναμένεται να είναι η γρηγορότερα αναπτυσσόμενη κύρια πηγή ενέργειας. Οι δυνάμεις που θα οδηγήσουν αυτή την ανάπτυξη είναι η μείωση των αποθεμάτων πετρελαίου, η αυξανόμενη ανησυχία για το περιβάλλον και οι συνεχώς αυστηρότεροι περιορισμοί των εκπομπών αερίων. Το φυσικό αέριο είναι μία από τις μεγαλύτερες πηγές ενέργειας παγκοσμίως. Επιπλέον οι πηγές του είναι διασκορπισμένες σε όλο τον κόσμο. Πρόσφατα έχει ανακύψει μεγάλο ενδιαφέρον για χρήση του LNG σε ναυτιλιακές εφαρμογές. Σύμφωνα με μελέτη του DNV⁴⁹ στη Ναυτιλία το 2020 θα επιδιωχθεί 1000 new buildings να έχουν ως καύσιμο φυσικό αέριο μέχρι το 2020 (10-

15% των νέων πλοίων). Πιθανότατα, η τιμή του LNG θα είναι 30% χαμηλότερη του HFO. Το 2020 η ζήτηση για υγρά καύσιμα θα είναι 200-250 εκατομμύρια τόνοι, παρόμοια με την κατανάλωση σε υγρά καύσιμα των ΗΠΑ το 2010.

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. Η τεχνολογία είναι διαθέσιμη για τετράχρονες μηχανές για πάνω από δύο δεκαετίες, ενώ για δίχρονες μηχανές η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί μόλις τα τελευταία χρόνια. Οι μηχανές LNG μπορεί να καίνε αποκλειστικά LNG ή να είναι διπλού καυσίμου, δηλαδή να καίνε LNG και συμβατικό καύσιμο.

Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄) μαζί με μικρές συγκεντρώσεις βαρύτερων υδρογονανθράκων όπως το αιθάνιο το προπάνιο το βουτάνιο και το πεντάνιο. Σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος το φυσικό αέριο είναι σε αέρια μορφή αλλά μπορεί να υγροποιηθεί με ψύξη στους -162°C. Σε υγρή μορφή ο ειδικός όγκος μειώνεται σημαντικά, κάτι το οποίο επιτρέπει ένα λογικό μέγεθος δεξαμενών σε σχέση με το περιεχόμενο ενέργειας. Η διαδικασία καύσης του φυσικού αερίου είναι πολύ καθαρή. Η υψηλή του αναλογία υδρογόνου – άνθρακα (η μεγαλύτερη ανάμεσα στα ορυκτά καύσιμα), σημαίνει χαμηλότερες εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Όταν το φυσικό αέριο είναι υγροποιημένο όλο το θείο διαχωρίζεται, κάτι το οποίο σημαίνει μηδενικές εκπομπές οξειδίων του θείου. Οι ιδιότητες καθαρής καύσης του φυσικού αερίου μειώνουν επίσης σημαντικά τα οξειδία του αζώτου, σε σύγκριση με καύσιμα που έχουν ως βάση το πετρέλαιο.

Όσον αφορά στην αποθήκευσή του, ο πιο εφικτός τρόπος να αποθηκεύσει κανείς φυσικό αέριο σε πλοία είναι σε υγρή μορφή. Σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις πλοίου, το υγροποιημένο φυσικό αέριο είναι αποθηκευμένο σε κυλινδρικές, διπλού τείχους, μονωμένες και αντιμαγνητικές δεξαμενές. Η πίεση της δεξαμενής ορίζεται από τις απαιτήσεις των μηχανών που καίνε το αέριο και είναι γενικώς λιγότερη από 5 bar Ένα σχέδιο δεξαμενής για μεγαλύτερη πίεση (9 bar) επιλέγεται εξαιτίας του φυσικού φαινομένου της εξάτμισης (boil-off). Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα θερμότητας μέσω της μόνωσης της δεξαμενής βράζει το LNG, κάτι το οποίο αυξάνει την πίεση μέσα στη δεξαμενή. Σε περιπτώσεις μεγάλων περιόδων ακινησίας, κάποια ποσότητα του εξατμιζόμενου αερίου πρέπει να απελευθερώνεται ή να καίγεται.

Το κύριο πρόβλημα στη χρήση του LNG σε πλοία είναι ο σχετικά μεγάλος χώρος που απαιτείται για τις δεξαμενές αποθήκευσής του. Σε σύγκριση με το ναυτιλιακό πετρέλαιο, ένα ίσο περιεχόμενο ενέργειας του LNG απαιτεί 1,9 φορά περισσότερο όγκο απ' ότι το πετρέλαιο. Όταν προσθέσουμε τη μόνωση της δεξαμενής και έχοντας το μυαλό τη μέγιστη αναλογία γεμίματος του 95%, τότε ο απαιτούμενος όγκος αυξάνεται στις 2,3 φορές. Ο χώρος που απαιτείται σε ένα πλοίο γίνεται 4 φορές περίπου ψηλότερος όταν επίσης ληφθεί υπόψη ο τετραγωνισμένος χώρος γύρω από την κυλινδρική δεξαμενή του LNG. Το βάρος του LNG είναι οριακά χαμηλότερο αυτού του πετρελαίου, παρόλα αυτά, η ειδική δεξαμενή και η σιδερένια κατασκευή του δωματίου της δεξαμενής, αυξάνουν το ολικό βάρος για την αποθήκευση του LNG περίπου, 1,5 φορά παραπάνω απ' ότι στο πετρέλαιο.

Ένας σημαντικός παράγοντας σε σχέση με τη χρήση του LNG είναι αυτός της ασφάλειας, καθώς κάποιος μπορεί να σκεφτεί ότι το αέριο είναι εξαιρετικά εκρηκτικό και επικίνδυνο σαν καύσιμο πλοίου. Ωστόσο, αν εξετάσουμε τις ιδιότητές του πιο προσεκτικά, θα δούμε ότι αυτό είναι ένα βιαστικό συμπέρασμα. Το φυσικό αέριο είναι στην πραγματικότητα ένα πολύ ασφαλές καύσιμο όταν λαμβάνονται οι απαραίτητες προφυλάξεις. Οι ιδιότητές του σε υγρή και αέρια κατάσταση εξηγούνται παρακάτω:

– Υγρή μορφή. Σε υγρή μορφή το LNG δεν είναι εκρηκτικό, ούτε διαβρωτικό ή τοξικό. Έτσι κάποια πιθανή υπερχειλίση δεν προκαλεί μακροχρόνια ρύπανση καθώς το υγρό εξατμίζεται σε αέριο. Ωστόσο, η χαμηλή θερμοκρασία είναι ένα θέμα όταν μιλάμε για κανονικό σίδερο πλοίου, αλλά αυτό το πρόβλημα αποφεύγεται χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα υλικά σε σύστημα LNG.

– Αέρια μορφή. Το φυσικό αέριο σε αέρια μορφή είναι ελαφρύτερο από τον αέρα, που σημαίνει ότι σε περίπτωση διαρροής το αέριο διασκορπίζεται προς τα πάνω και δεν συγκεντρώνεται στα αμπάρια του πλοίου. Η θερμοκρασία ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι σχετικά υψηλή (600ο C) σε σύγκριση με το πετρέλαιο (250ο C) και είναι εύφλεκτο μόνο σε μια μικρή ακτίνα συγκέντρωσης μεταξύ 5% και 15% του αέρα.

Ένα ακόμα μειονέκτημα του LNG είναι ότι κατά τη χρήση του υπάρχει πιθανότητα διαρροής μεθανίου (CH₄), το οποίο αποτελεί ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Άλλα προβλήματα περιλαμβάνουν την απουσία εκτεταμένου δικτύου παροχής LNG στα λιμάνια και θέματα ασφάλειας.

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

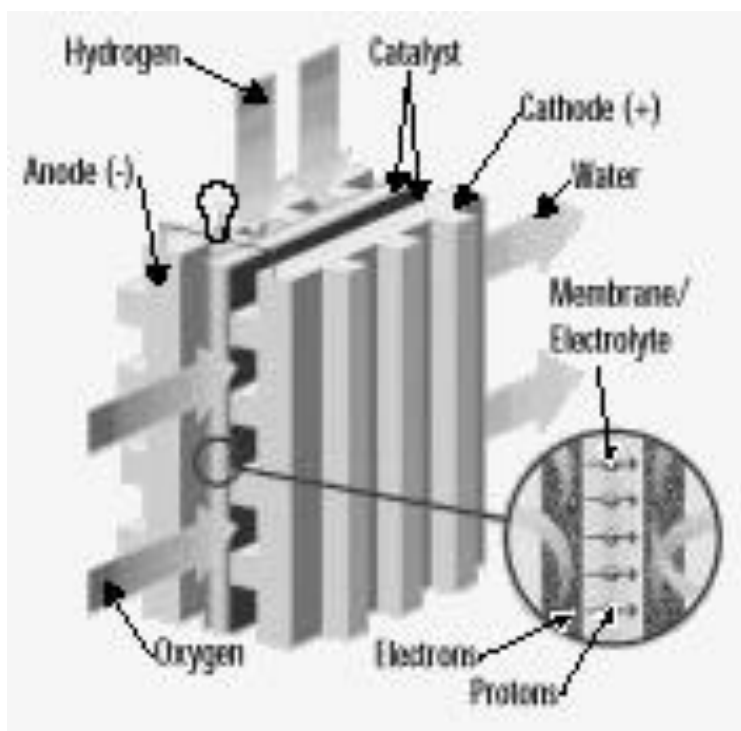
συμβατικών καυσίμων και αυτό αποτελεί κίνητρο. Κατά τα τελευταία 20 χρόνια το LNG αποδείχτηκε κατά 45% φθηνότερο σε σχέση με το MGO (Marine Gas Oil) και κατά 22% φθηνότερο σε σχέση με το HFO (Heavy Fuel Oil) με scrubber.

3.4 Χρήση Υδρογόνου – Κυψέλες καυσίμου

Το υδρογόνο ήταν πολυσυζητημένο στα μέσα της δεκαετίας του 2000 ως το καύσιμο του μέλλοντος στην ναυτιλία και ακόμα υπάρχει η ελπίδα ότι θα αποτελέσει μια μακροπρόθεσμη λύση. Η καύση του υδρογόνου, σαν drop-in καύσιμο, σε κανονικούς κινητήρες diesel είναι πιθανή μόνο σε χαμηλά επίπεδα προσμίξεων χωρίς να παρουσιάζει ιδιαίτερα ρίσκα για βλάβες του κινητήρα. Οι δυνατότητες του υδρογόνου βρίσκονται στην χρήση του σε κυψέλες καυσίμου. Η ανάπτυξη κυψελών καυσίμου υδρογόνου έχει κάνει σημαντική πρόοδο και έχει προσελκύσει ένα υψηλό επίπεδο ενδιαφέροντος, ιδιαίτερα από τις αγορές των κρουαζιερόπλοιων, των επιβατηγών και τον σκαφών υπεράκτιου εφοδιασμού.

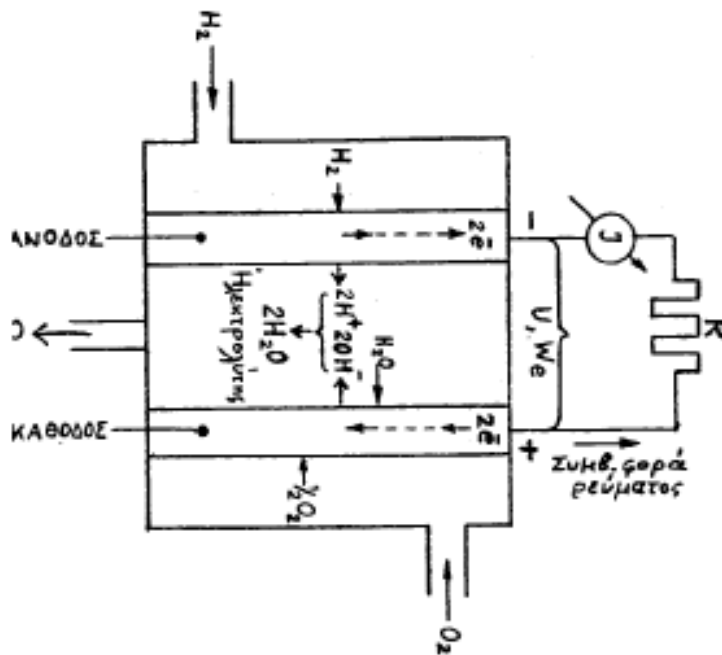
Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου βασίζεται σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις μέσω των οποίων η ενέργεια ενός καυσίμου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική. Απαιτείται ένα καύσιμο, όπως LNG, βιοκαύσιμο ή υδρογόνο, μαζί με κάποιο οξειδωτικό μέσο. Στο πλοίο μπορεί να εγκατασταθεί ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης, που να περιλαμβάνει μια μηχανή εσωτερικής καύσης και μια κυψέλη καυσίμου. Εναλλακτικά, οι κυψέλες καυσίμου μπορεί να καλύπτουν τις ανάγκες ηλεκτρισμού του πλοίου.

Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Στο Σχήμα 3 - 10 δίνεται μια εικόνα που δίνει μια τομή ενός τυπικού στοιχείου καυσίμου στο οποίο θα αναφερθούμε με λεπτομέρεια στην συνέχεια.



Σχήμα 3 - 10. Τομή τυπικού στοιχείου καυσίμου

Και τα δύο χρησιμοποιούμενα Αντιδραστήρια, δηλ. το καύσιμο και το οξειδωτικό μέσο είναι αέρια ή υγρά που ευρίσκονται με την μορφή διαλύματος. Η βασική αρχή λειτουργίας των στοιχείων καυσίμου δίνεται στο κατωτέρω σχήμα Σχ.3-11 που αναφέρεται στο απλούστερο, πλέον κλασσικό, πλέον αποδοτικό και πλέον ανεπτυγμένο σήμερα στοιχείο που είναι αυτό του H_2/O_2 .



Σχήμα 3 - 11. Βασική λειτουργία κυψέλης καυσίμου

Στη διάταξη του σχήματος το H_2 προσάγεται σε μόνιμη ροή από τη μια πλευρά και έρχεται σε επαφή με την άνοδο εντός των πόρων της οποίας λαμβάνει χώρα με την μεσολάβηση κατάλληλου πολύ δραστικού καταλύτη η οξείδωση του H_2 . Τα δύο ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται στην άνοδο έρχονται μέσω του «καταναλωτή» (δηλ. ενός «ηλεκτρονικού αγωγού») R , στον οποίο αποδίδουν ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια, στην Κάθοδο (ηλεκτρόδιο +), όπου απορροφώνται κατά τη λαμβάνουσα εκεί χώρα, πάλι παρουσία καταλλήλου δραστικού Καταλύτη, «αναγωγή» του O_2 . Τα ιόντα υδροξυλίου της καθόδου, διαβιβαζόμενα μέσω του Αλκαλικού Ηλεκτρολύτη (συνήθως πυκνού διαλύματος KOH) έρχονται προς την άνοδο, όπου ενώνονται με τα ιόντα υδρογόνου σχηματίζοντας νερό. Το παραγόμενο H_2O απομακρύνεται από το στοιχείο συνεχώς ώστε να μην επηρεάζεται ή πυκνότητα του ηλεκτρολύτη. Ο τελευταίος πρέπει να έχει πάντοτε καλή αγωγιμότητα σε ιόντα, όπως έχει π.χ. το διάλυμα KOH σε OH^- , κακή δε σε ηλεκτρόνια, των οποίων η κυκλοφορία μεταξύ ανόδου και καθόδου περιορίζεται στο εξωτερικό κύκλωμα. Επίσης δεν πρέπει να επιτρέπει την διάχυση των αντιδραστηρίων δια μέσω αυτού.

Σημαντικό τμήμα του στοιχείου αποτελούν και τα ηλεκτρόδια, που αποτελούν την έδρα των ηλεκτροχημικών δράσεων και τα στοιχεία συλλογής του ρεύματος. Ως εκ τούτου, αυτά πρέπει να πληρούν μια σειράν σοβαρών απαιτήσεων. Με βάση αυτή την αρχή λειτουργούν και τα στοιχεία με άλλα αντιδραστήρια (τα οποία ευρίσκονται σήμερα σε διάφορα στάδια εξελίξεως και επιτυχίας), ως π.χ. Μεθάνιο, Μεθανόλη, Υδραζίνη, διάφορους υδρογονάνθρακες, Αμμωνία κ.λ.π. με O_2 ή και αέρα. Τα φαινόμενα όμως που λαμβάνουν χώρα σε αυτά είναι αρκετά πολύπλοκα, εμφανίζοντας ποικίλα προβλήματα.

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.

Το 2008, το project Zemships (Zero Emissions Ships) ανέπτυξε το Alsterwasser, ένα επιβατηγό 100 επιβατών, για χρήση σε πλωτές μεταφορές στην ενδοχώρα και έναν αριθμό άλλων μικρών ferries και ποταμόπλοιων ακολούθησαν. Το Zemships, που αργότερα ονομάστηκε FCS Alsterwasser, ήταν το πρώτο πλήρως κινούμενο από κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε. Τροφοδοτούνταν από δύο κυψέλες καυσίμου υδρογόνου χωρητικότητας 48kW η καθεμία. Το πλοίο χρησιμοποιήθηκε στο Αμβούργο μέχρι τα τέλη του 2013 οπότε και η πρόκληση να λειτουργήσει οικονομικά υποδομή ανεφοδιασμού υδρογόνου το έθεσε εκτός λειτουργίας. Το 2012, σαν μέρος του FellowSHIP project, ένα πλοίο τροφοδοτούμενο από μια κυψέλη καυσίμου 330kW δοκιμάστηκε επιτυχώς επί του πλοίου υπεράκτιας τροφοδοσίας Viking Lady, λειτουργώντας για πάνω από 7000 ώρες. Αυτή ήταν η πρώτη μονάδα κυψελών καυσίμου που λειτουργησε σε εμπορικό πλοίο, με την ηλεκτρική αποδοτικότητα να υπολογίζεται στο 44.5% (υπολογίζοντας και την εσωτερική καύση), και μηδενικές εκπομπές NO_x , SO_x και αιωρούμενων σωματιδίων. Όταν η θερμική επαναφορά ενεργοποιήθηκε, η ολική απόδοση του καυσίμου έφτασε το 55% με περιθώρια βελτίωσης.

Το «Hydrogen Hybrid Harbour Tug» (HHHT), αναπτύχθηκε από την «WorldWide Marine» μαζί με τους Ολλανδούς διαχειριστές ρυμουλκών Iskes και Smit. Πρόκειται για ένα ρυμουλκό 50 τόνων που είναι εξοπλισμένο με κυψέλες καυσίμου και υδρογόνου αποθηκευμένου υπό πίεση 430 bar. Η καινοτομία εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι κυψέλες καυσίμου σε συνδυασμό με μπαταρίες εξασφαλίζουν επαρκή ισχύ για να λειτουργεί το ρυμουλκό όταν είναι σε κατάσταση αναμονής που είναι το 85% του χρόνου λειτουργίας του ρυμουλκού. Το diesel χρησιμοποιείται όταν το ρυμουλκό έχει να φέρει σε πέρας μία αποστολή. «Μπορούμε να επιτύχουμε μία μείωση κατά 98% των εκπομπών οξειδίων του θείου και αζώτου και μέχρι 30% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακος σε σύγκριση με ένα συμβατικό ρυμουλκό», δήλωσε ο κ. Michiel Wijsmuller, διευθύνων σύμβουλος της «Offshore Ship Designers».



Σχήμα 3 - 12. Hydrogen Hybrid Harbour Tug (HHHT): Υβριδικό ρυμουλκό

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 συνδυάζει κυψέλες καυσίμου και μπαταρίες. Παρόλα αυτά η βιωσιμότητα της παραγωγής υδρογόνου είναι ένα κρίσιμο ζήτημα, με όλες σχεδόν της τρέχουσες εμπορικές λύσεις παραγωγής να προέρχονται από τα ορυκτά καύσιμα. Δυνατότητες για ανανεώσιμη παραγωγή υδρογόνου θα υπάρξουν με την ηλεκτρόλυση θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας πηγές ενέργειας όπως ενέργεια που περισσεύει από υπεράκτια πάρκα αιολικής ενέργειας, άλλων τύπων προμήθειες ανανεώσιμης ενέργειας στη στεριά ή ανεμογεννήτριες επι του πλοίου.

3.5 Ηλεκτροκίνητα – Υβριδικά πλοία

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντήζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης είναι επωφελή σε πολλές εφαρμογές πλοίων με διαφορετικά προφίλ ταχύτητας, όπως σκάφη εφοδιασμού, πλωτά σκάφη παραγωγής, πλοία-γεωτρύπανα, δεξαμενόπλοια, παγοθραυστικά, πολεμικά πλοία και κρουαζιερόπλοια. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- α. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελκτικών ικανοτήτων (π.χ. πλοία διάτρησης).
- β. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- γ. Σκάφη με έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- ε. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Φυσικά οι κινητήρες ντήζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλ. γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, οπότε και αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν “prime movers” (‘κινητήριες μηχανές’). Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

Κατά τα τέλη του 19ου αιώνα σε Ρωσία και Γερμανία έλαβαν χώρα πειραματικές εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης τροφοδοτούταν απευθείας από συστοιχίες συσσωρευτών. Γύρω στα 1920, λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού για την μείωση εκτέλεσης υπερατλαντικών ταξιδιών από τις ναυτιλιακές εταιρίες επιβατικών πλοίων, εφαρμόζεται η πρώτη γενιά ηλεκτροπρόωσης. Οι μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης καλύπτονταν τότε στρόβιλο-ηλεκτρικά συστήματα.



Σχήμα 3 - 13. Το πλοίο S/S Normandie χρησιμοποιούσε ένα σύστημα ηλεκτροπρόωσης, ήταν το πρώτο σκάφος που διέσχισε τον ατλαντικό κινούμενο με 30 και πλέον κόμβους.

Οι σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες τροφοδοτούνταν από ατμογεννήτριες και η περιστροφική ταχύτητα δινόταν από την ηλεκτρική συχνότητα των γεννητριών. Σε κανονική λειτουργία, συνήθως, οι γεννήτριες τροφοδοτούσαν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, υπήρχε όμως και η δυνατότητα τροφοδότησης δύο μηχανών από μία γεννήτρια για ταξίδι χαμηλότερης ταχύτητας. Στα μέσα του 20ου αιώνα η εισαγωγή των μηχανών diesel, σήμανε το τέλος της τεχνολογίας στρόβιλων ατμού και της ηλεκτρικής πρόωσης, τουλάχιστον μέχρι τη δεκαετία του '80.

Τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα επανήλθαν με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος και κυρίως των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων. Η δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης πραγματοποιείται μέσω των ανορθωτών (E.P./Σ.P.) για τον έλεγχο προωστικών μηχανών Σ.P., περί το 1970 και με τη χρήση των μετατροπέων E.P./E.P. για τον έλεγχο μηχανών το 1980. Το προωστήριο σύστημα τροφοδοτείται πλέον από ένα ισχυρό δίκτυο σταθερής τάσης και συχνότητας. Μέσω του ελέγχου των στροφών των ηλεκτρικών κινητήρων στρέφονται οι έλικες σταθερού βήματος (fixed pitch propellers (FPP)).

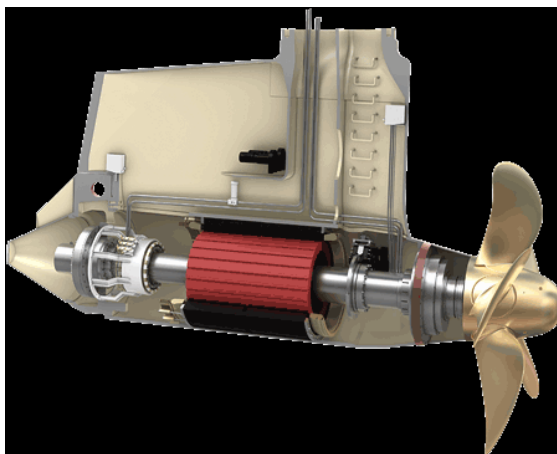
Αν και αυτές οι λύσεις αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε ειδικές κατηγορίες πλοίων όπως ερευνητικά και παγοθραυστικά από το 1975 μετατρέπονται σε ηλεκτροκίνητα και άλλα πλοία όπως κρουαζιερόπλοια, τάνκερ κ.α. (Queen Elizabeth II, Fantasy, Princess). Σημειώνεται ότι στην άμεσα οδηγούμενη πετρελαιοκίνητη πρόωση η ώση ελέγχεται μέσω ενός υδραυλικού συστήματος αλλαγής του βήματος των ελίκων. Οι έλικες αυτές είναι γνωστές ως έλικες μεταβλητού βήματος (controllable pitch propellers (CPP)).

Μία νέα έννοια η οποία ήταν πολύ επιτυχής από την δεκαετία του '90, ήταν η εισαγωγή αζιμουθιακών προωστών (Σχήμα 3-14), η οποία προσέφερε στα πλοία ευελιξία στις κινήσεις, ευκολία στις διελεύσεις από περιοχές υψηλής κινητικότητας και τη δυνατότητα δυναμικής τοποθέτησής τους (dynamic positioning – DP).



Σχήμα 3 - 14. Προωστήρας azimuth του παγοθραυστικού "Vitus Bering"

Βάσει αυτού ο ηλεκτροκινητήρας είναι τοποθετημένος εντός ενός βυθισμένου λοβοειδούς εξωτερικού περικαλύμματος (pod) με ένα πολύ κοντό άξονα στην προπέλα ή είναι απευθείας η προπέλα συνδεδεμένη με τον κινητήρα (εικόνα 1.3Σχήμα 3-15). Το εξωτερικό περικάλυμμα μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα κατά 360°, προσφέροντας στο πλοίο ευκινησία και ευελιξία (maneuverability) και η έλικα είναι σταθερού βήματος. Τα εξωτερικά περικαλύμματα αντικαταστούν τα συμβατικά πηδάλια και η συνολική υδροδυναμική απόδοση αυξάνεται για το σκάφος.⁵⁰



Σχήμα 3 - 15. Αξιμουθιακό προωστήριο σύστημα (εσωτερικό)

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των Υποβρυχίων. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία - προδιαγραφές των πολεμικών ναυτικών, (τόσο από απόψεως περιορισμών χώρου αλλά και απαιτήσεων του προωστήριου συστήματος), προϋποθέτουν περισσότερη ανάπτυξη και τελειοποίηση υποσυστημάτων για να πραγματοποιηθούν τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης.

Οι ηλεκτρικοί προωστήρες μπορούν να σχεδιαστούν για πολύ υψηλές αποδόσεις σε όλο το φάσμα της λειτουργίας τους όσο αφορά την ταχύτητα και την ιπποδύναμη, σε αντίθεση με τους κλασικούς πετρελαιοκινητήρες που έχουν μια σαφή καθορισμένη αιχμή στην απόδοσή τους γύρω ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους. Ένα πλοίο του οποίου ποικίλλει η ταχύτητά του θα είναι σε θέση να λειτουργεί με υψηλή απόδοση σε όλο το φάσμα της λειτουργίας του, επιλέγοντας το βέλτιστο αριθμό των γεννητριών για την παροχή της επιθυμητής ζήτησης ισχύος. Για ένα συμβατικό σύστημα πρόωσης με ντίζελ η απόδοση θα μειωθεί σημαντικά για τη λειτουργία έξω από την ονομαστική του λειτουργία.⁵⁰

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως επαγωγικών κινητήρων μεγάλης ισχύος (0.5-2.5 MW).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοσή της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, είναι τα ακόλουθα:⁵¹

- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0- 100 %.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.
- Οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μία να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.
- Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και, επομένως, αυξημένη ασφάλεια.
- Περιορισμός των εκπεμπομένων ρύπων διότι η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη. Ιδιαίτερα οι εκπομπές NO_x είναι αισθητά χαμηλότερες όταν, π.χ., ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές, όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.
- Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

Μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα εξής:⁵¹

- Υψηλό κόστος επένδυσης.

Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να υπερκερνάται εύκολα.

- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα.

Π.χ., σε συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel-έλικα ρυθμιζόμενου βήματος, οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4%, 2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα, όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση νηζελο-ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 - 8%, 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 - 3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως, ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

- Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως.

Οι αρμονικές αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο "ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος" που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις –πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος – ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων. Τέλος, είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες για ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλεκτρίσης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.

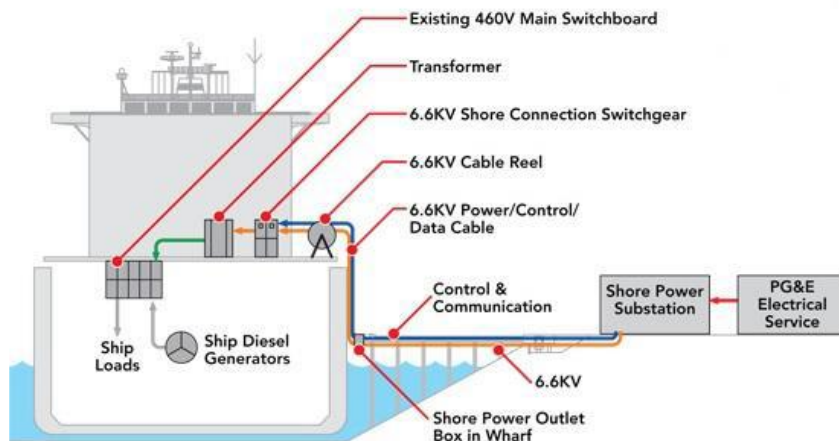
Σε πολλές εφαρμογές, η συνισταμένη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων είναι θετική, οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμα, οικονομικότερη συντήρηση, γρηγορότερα ταξίδια, μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κοκ).

3.6 Χρήση παράκτιας ηλεκτρικής ενέργειας – cold ironing

Όπως σημειώθηκε, οι εκπομπές ρύπων εξαιτίας της λειτουργίας των πλοίων δεν είναι ισομερώς κατανομημένες αλλά συγκεντρώνονται στις ακτογραμμές και στις θαλάσσιες οδούς. Η παραμονή ενός πλοίου στο αγκυροβόλιο και έπειτα στο λιμάνι, μπορεί να έχει διάρκεια ίση με αυτή του ταξιδιού. Πολλές μελέτες, υποθέτουν ότι κάθε ταξίδι μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη. Ο διαχωρισμός γίνεται ως προς την κατάσταση λειτουργίας του πλοίου. Συγκεκριμένα, οι τρεις κατηγορίες είναι: α) πλεύσης, β) χειρισμών, γ) ελλιμενισμού. Ο διαχωρισμός γίνεται λόγω της διαφορετικότητας που εμφανίζει η κάθε κατάσταση, στην κατανάλωση καυσίμου και στην σύσταση των αέριων εκπομπών. Έμφαση δίνεται στις δύο τελευταίες καταστάσεις που λόγω της κοντινής τους απόστασης από τη στεριά, έχουν άμεση επίδραση στους κατοίκους. Τα πλοία ακόμα και όταν δεν κινούνται στα ανοικτά πελάγη, παράγουν αέριους ρύπους. Το γεγονός αυτό έγκειται στην ανάγκη που υπάρχει για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και παραγωγή ατμού για ποικίλες εφαρμογές επί του πλοίου.

Ο τίτλος COLD-IRONING είναι στην ουσία ταυτόσημος με τους επίσης γνωστούς για την μέθοδο, Alternative Maritime Power (AMP) και Shore-to-Ship power supply. Η απενεργοποίηση αυτή όλων των μηχανών εσωτερικής καύσης του σκάφους έδωσε στο όνομα της μεθόδου τον όρο “cold” καθώς εκτός από το να εκμηδενίζει τις εκπομπές, μειώνει και την θερμοκρασία τους σκάφους. Η παροχή ενέργειας από την ξηρά γίνεται για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτροδότησης του πλοίου κατά την παραμονή του στο λιμάνι:

- Φορτοεκφόρτωση
- Ανεφοδιασμός
- Φωτισμός
- Κλιματισμός
- Θέρμανση
- Λοιπά ηλεκτρονικά συστήματα του πλοίου



Σχήμα 3 - 16. Παρουσίαση εγκατάστασης για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών πλοίου από την ξηρά.
πηγή: APL GGC Cold-Ironing Project

Τα πλοία από την κατασκευή τους, έχουν τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για να μπορούν να τροφοδοτούνται από χερσαίο σταθμό παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά, το κεντρικό σύστημα ηλεκτροδότησης του πλοίου, συνδέεται με το χερσαίο σύστημα, μέσω του ηλεκτρολογικού σταθμού - πίνακα που υπάρχει στο Accommodation του πλοίου, και συνήθως στο επίπεδο του Main Deck. Η τροφοδότηση του πλοίου με αυτό τον τρόπο, βρίσκει κυρίως εφαρμογή στους δεξαμενισμούς του πλοίου. Η αδυναμία της ψύξης των ηλεκτρογεννητριών κατά την περίοδο του δεξαμενισμού, καθιστά αδύνατη τη λειτουργία τους και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το όφελος από την υιοθέτηση μιας τέτοιας διαδικασίας είναι ουσιαστικό και επιδρά ευεργετικά τόσο στα λιμάνια όσο και στα πλοία. Η παύση των ηλεκτρογεννητριών, ισοδυναμεί με μηδενική εκπομπή ρύπων από το πλοίο. Το στοιχείο αυτό μαζί με το δεδομένο ότι οι χερσαίοι σταθμοί παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας δεν απαιτείται να βρίσκονται κοντά στο λιμάνι, αρκούν για να βελτιώσουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας γύρω από αυτό.

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.⁵²

Ο τρόπος είναι πλέον αυτοματοποιημένος, διότι αποτελεί διαδικασία ρουτίνας. Είναι εντυπωσιακό πως έχει μελετηθεί ειδικός μηχανισμός που αποκαλύπτει την υποδοχή, καθώς επίσης και για την ανέλκυση του καλωδίου, υπάρχει συρματόσχοινο που περνά μέσα από την υποδοχή και με τη χρήση winch, ανεβαίνει το βαρύ καλώδιο και γίνεται η ένωση.



Σχήμα 3 - 17. Αυτοματοποιημένη διεργασία ένωσης του πλοίου με το χερσαίο δίκτυο

Τα οφέλη από τη χερσαία τροφοδότηση επεκτείνονται και στον οικονομικό τομέα. Οι απαιτήσεις για προσωπικό μεγαλώνουν και έτσι δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας. Το λιμάνι επωφελείται από την κοστολόγηση της παροχής αυτής. Φυσικά η τιμολόγηση θα γίνεται σύμφωνα με την κατανάλωση που σημειώνεται. Με βάση τη σημερινή τιμή του πετρελαίου, η αλλαγή αυτή ωφελεί και την πλοιοκτήτρια εταιρία. Το όφελος θα είναι μεγαλύτερο στο μέλλον λόγω των αναμενόμενων αυξήσεων στην τιμή των καυσίμων. 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.

Επιπλέον, το έργο αυτό μπορεί να ωφελήσει την τοπική κοινωνία. Η αναπόφευκτη απορριπτόμενη θερμότητα, από την παραγωγή της ενέργειας, μπορεί να αποδίδεται σε κτίρια ή δημόσια ιδρύματα για θέρμανση (teleheating) και ψύξη (telecooling) κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο, αντίστοιχα.

3.7 Πυρηνική Πρόωση

Το πυρηνοκίνητο πλοίο σε ειδικό διαμέρισμα πρόωραθεν του μηχανοστασίου φέρει πυρηνικό αντιδραστήρα τύπου PWR (Pressurized-Water Reactors) που θέτει σε κίνηση τις ηλεκτρομηχανές. Ο εν λόγω αντιδραστήρας χρησιμοποιεί το νερό ως ψυκτικό μέσο. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν μια μεγάλη δεξαμενή όπου το πυρηνικό καύσιμο υφίσταται πυρηνική σχάση απελευθερώνοντας έτσι θερμότητα. Στην πλειοψηφία τους, οι σύγχρονοι πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν ως καύσιμο εμπλουτισμένο ουράνιο ή μεικτό οξείδιο, ενώ κάποιιοι χρησιμοποιούν φυσικό ουράνιο (U).

Τα άτομα του πυρηνικού καυσίμου υπό ορισμένες συνθήκες διασπώνται αυθόρμητα εκπέμποντας νετρόνια, τα οποία στη συνέχεια προκαλούν τη διάσπαση άλλων ατόμων, με τελικό αποτέλεσμα μια γεωμετρικά αυξανόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Στην "καρδιά του αντιδραστήρα" φέρονται επιβραδυντικό υλικό και ρυθμιστικές ράβδοι (ή "ράβδοι ελέγχου" ή "ράβδοι ρύθμισης") που συγκρατούν την αλυσιδωτή αντίδραση σε σταθερό ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή ροή της θερμότητας. Ένα "ψυκτικό μέσο" (που μπορεί να είναι αέριο ή υγρό όπως το νερό) κυκλοφορεί μέσα στον αντιδραστήρα και θερμαίνεται. Στη συνέχεια αυτό οδηγείται σε ένα "εναλλάκτη θερμότητας" όπου προκαλεί βρασμό σε νερό που υπάρχει εκεί. Ο παραγόμενος ατμός στη συνέχεια θέτει σε κίνηση στροβίλους που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα αλλά και κινητική ενέργεια.

Η ύπαρξη μη πολεμικών πλοίων που χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια ως μέσο πρόωσης είναι μια ιστορία της οποίας η αρχή έγινε μόλις το 1959 με το Σοβιετικό παγοθραυστικό «Λένιν» το οποίο ήταν και το πρώτο σκάφος επιφανείας που έφτασε στο Βόρειο πόλο. Το «Λένιν» παροπλίστηκε το 1989, όμως σήμερα υπάρχουν 7 άλλα παγοθραυστικά που χρησιμοποιούνται από τη Ρωσία για τη διευκόλυνση της ναυσιπλοΐας στις βόρειες ακτές της χώρας. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 χρησιμοποιούνται επίσης και ως κρουαζιερόπλοια, για ταξίδια στο Βόρειο Πόλο. Επίσης η Ρωσία διαθέτει και ένα πυρηνοκίνητο εμπορικό πλοίο για μεταφορά μεταλλευμάτων. Κατασκευάστηκαν άλλα 3 εμπορικά πυρηνοκίνητα πλοία. Το NS Savannah κατελκύστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 50 όμως παροπλίστηκε το 1970. Το ίδιο σύντομη ήταν και η ιστορία του Γερμανικού NS Otto Hahn το οποίο μετατράπηκε σε νηζελοκίνητο και του Ιαπωνικού NS Mutsu το οποίο μετά και από αρκετά προβλήματα λειτουργίας χρησιμοποιείται σήμερα για ερευνητικούς σκοπούς. Και στις 3 περιπτώσεις ο κυριότερος ανασταλτικός παράγοντας ήταν το μεγάλο κόστος λειτουργίας, που καθιστούσε τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας οικονομικά ασύμφορη. Δεν πρέπει όμως να παραλείψουμε και το αμερικάνικο πυρηνοκίνητο πλοίο "Savannah" που ναυπηγήθηκε το 1962 το οποίο ως φορτηγό πλοίο αποσύρθηκε για τον ίδιο ακριβώς λόγο.

Βέβαια εκτός από το υψηλό κόστος, σημαντικό μειονέκτημα ενός πυρηνικού αντιδραστήρα συμπεριλαμβανομένου και του ναυτικού πυρηνικού αντιδραστήρα είναι η έκλυση ραδιενέργειας στο περιβάλλον. Σε περίπτωση ναυαγίου ή βλάβης του αντιδραστήρα η καταστροφή που θα προκληθεί στο περιβάλλον θα είναι ανυπολόγιστη. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι στο ναυάγιο του Scorpiion (υποβρύχιο με ένα πυρηνικό αντιδραστήρα) έρευνα που διεξήχθη το 1986 έδειξε ότι ενώ δεν ανιχνεύθηκαν προϊόντα σχάσης, εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις κοβαλτίου-60 στα αδιάλυτα προϊόντα διάβρωσης στο πρωτεύον κύκλωμα ψύξης του αντιδραστήρα.

3.8 Τεχνολογικά Μέτρα

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

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.

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.

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.

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 μέθοδος αυτή αναμένεται ότι θα επιτυγχάνει 10-15% μείωση στις εκπομπές CO₂ και βέβαια αντίστοιχη μείωση στην κατανάλωση καυσίμων.

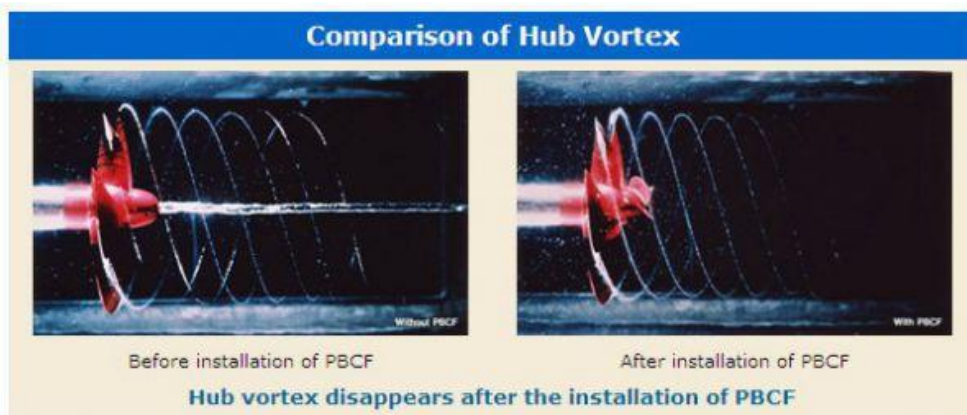
Βελτιώσεις στην έλικα

Η ώθηση του πλοίου γίνεται από την 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. Βελτιστοποίηση της απόδοσης της έλικας επιτυγχάνεται επίσης και μέσω της βέλτιστης επιλογής επιχρίσματος

Ένα παράδειγμα βελτιστοποίησης είναι οι ομοαξονικές, αντίθετα περιστρεφόμενες έλικες (coaxial contra-rotating propeller). 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 τρικυμώδεις 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.

Τέλος μπορούν να εγκατασταθούν στη προπέλα μηχανισμοί εξοικονόμησης ενέργειας όπως το Mewis Duct και τα Propeller Boss Cap Fins (PBCF). Το πλεονέκτημα από την χρήση του Propeller Boss Cap Fins (PBCF), εμφανίζεται στην εικόνα. Με διαμόρφωση παρόμοια με αυτή μικρής προπέλας, το ειδικό αυτό κάλυμμα στο παξιμάδι της προπέλας, βελτιώνει τη ροή και αυξάνει την ώση. Το κέντρο της προπέλας (Hub) όπως είναι γνωστό δεν συνεισφέρει στην ώση. Αντιθέτως, δημιουργεί δίνη που προκαλεί έντονα προβλήματα σπηλαιώσης και φθοράς. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση των στροβίλων στη πλήμνη, ανάκτηση μέρους από της περιστροφικής ενέργειας και μείωση της φθοράς. Η εγκατάσταση ενός PBCF, είναι άμεση και καθόλου χρονοβόρα. Η τελική τοποθέτηση μπορεί να γίνει είτε σε κάποιο δεξαμενισμό, είτε δίπλα στο λιμενοβραχίονα, με κατάλληλη διαγωγή του βαποριού, είτε τέλος με υποβρύχιο συνεργείο.



Σχήμα 3 - 18. Βελτίωσης της ροής, από την τοποθέτηση Boss cap fins

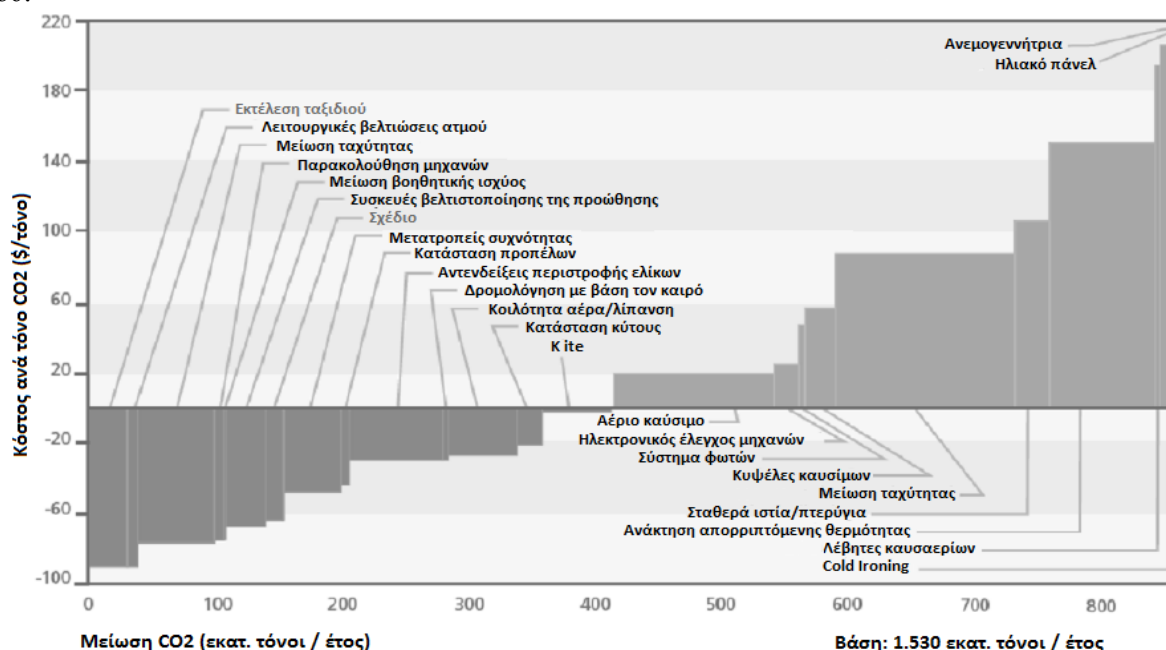
Βελτιώσεις στις μηχανές του πλοίου

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

3.9 Λειτουργικά Μέτρα

Αρκετές μελέτες έχουν τεκμηριώσει τη δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂ στον τομέα της ναυτιλίας. Υπάρχει μια σειρά λειτουργικών και τεχνικών μέτρων μείωσης των εκπομπών CO₂, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά από την άποψη του κόστους.⁵³ Η εικόνα παρουσιάζει το μέσο κόστος-

αποτελεσματικότητα 25 διαφορετικών μέτρων, τα οποία εφαρμόζονται στο σύνολο του στόλου. Τα μέτρα με αρνητική σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας δημιουργούν ένα καθαρό κέρδος κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου.



Σχήμα 3 - 19. Οριακό κόστος μείωσης των εκπομπών ανά μέτρο μείωσης των εκπομπών CO₂ από το στόλο των πλοίων το έτος 2030. Μείωση κατά μέσο όρο σε όλους τους τύπους πλοίων

Μέτρα για τη βελτίωση της Ενεργειακής Απόδοσης:

- Γύαλισμα Έλικας για εξοικονόμηση καυσίμων - Propeller Polishing for Fuel Saving

Μια μέθοδος είναι η περιοδική στίλβωση της έλικας του πλοίου, η οποία ήδη πραγματοποιείται και μπορεί να οδηγήσει σε μείωση 2-5% των εκπομπών.

- Μετρητή Ροπής του Συστήματος - Torque Meter Installation
- Χρήση ομογενοποιητών καυσίμου - Use of Fuel Oil Homogenizers
- Συστήματα Διαχείρισης Ισχύος - Power Management System
- Συστήματα Ανάκτησης θερμότητας - Waster Heat Recovery

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.

- Εξοπλισμός και συστήματα τακτικής συντήρησης και Παρακολούθησης - Hardware Systems for Regular Maintenance and Monitoring
- Παρακολούθηση απόδοσης κύριας μηχανής και ηλεκτρομηχανής - M/E and D/G Performance and Consumption

Η ακριβής και τακτική παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε όλο τον στόλο μπορεί να αναδείξει τις ανεπάρκειες, για την παροχή ενός μηχανισμού συνεχής βελτίωσης. Η κοινή χρήση των δεδομένων χρήσης ενέργειας σε ένα στόλο μπορεί να εξομαλύνει τον ανταγωνισμό μεταξύ των πληρωμάτων, προς βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης.⁵⁴

- Συσκευές παρακολούθησης των αέριων εκπομπών - Emissions Monitoring Devices / Monitoring
- Παρακολούθηση και Συντήρηση των υφάλων του πλοίου - Hull Maintenance

Το περιοδικό καθάρισμα των υφάλων του πλοίου για την αποτροπή της βιορύπανσης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών κατά 1-10%.

- Επιλογή του βέλτιστου θαλάσσιου δρόμου - Weather Routing

Η ποικιλία καιρικών συνθηκών, ρευμάτων και το βάθος κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού έχουν επιπτώσεις στην ταχύτητα του πλοίου. Επιλέγοντας τη δρομολόγηση σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες μπορεί να επιτευχθεί οικονομία στα καύσιμα άρα μείωση εκπομπών καυσαερίων. Είναι τεχνική που μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη πληροφόρηση των καιρικών συνθηκών και μελέτη της βέλτιστης διαδρομής ταξιδιού για το πλοίο λαμβάνοντας υπ' όψιν παραμέτρους όπως η ασφάλεια του πλοίου, του φορτίου και των επιβαίνοντων.

- Ακριβής Χρόνος Αύξησης - Just In Time

- Βέλτιστη κατανομή Φορτίου/Έρματος - Optimum Trim and Ballast

Η μείωση της αντίστασης του πλοίου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος είναι η βελτιστοποίηση της κατανομής φορτίου και έρματος. Η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου με τον τρόπο αυτό εκτιμάται στο 0,5-2%. 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.

- Βελτιστοποίηση της ταχύτητας - Speed Optimization

Κατά την επιλογή της σχεδιαζόμενης βέλτιστης ταχύτητας λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες. Αυτοί περιλαμβάνουν: την προσδοκία των ναυλωτών, τις συνθήκες της αγοράς, τη ταχύτητα που απαιτείται για να διατηρηθεί η κανονική υπηρεσία, τα απαραίτητα θαλάσσια περιθώρια για την προβλεπόμενη υπηρεσία και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Το κόστος των καυσίμων αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό των λειτουργικών εξόδων, και ως εκ τούτου, η δημιουργία της βέλτιστης ταχύτητας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην τιμή των καυσίμων. Επιπλέον, το ποσοστό των αποθεμάτων του φορτίου αποτελεί, επίσης, έναν σημαντικό παράγοντα.

Για οποιαδήποτε υπηρεσία, με την χρήση της ανάλυσης ναύλων και με εκτίμηση των ετήσιων ποσοτήτων φορτίου και του κόστους των καυσίμων, μπορεί να προσδιοριστεί η βέλτιστη ταχύτητα. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τον αριθμό των πλοίων που είναι απαραίτητο να πληρούν τις απαιτήσεις του φορτίου σε κάποια ταχύτητα, κόστος κεφαλαίου και λειτουργικό κόστος. Αποτελεί έναν βολικό τρόπο για τον εντοπισμό της οικονομικής αποδοτικότητας μέσα από μια σειρά από σχέδια.⁵⁵

Η πλεύση σε χαμηλότερες ταχύτητες μειώνει την κατανάλωση καυσίμων (πίνακας).⁵⁵ 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.

Πίνακας 3 - 2. Σχέση μεταξύ ταχύτητας πλοίου, ισχύος της μηχανής και κατανάλωσης καυσίμου

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

Τα πιο άμεσα και χρήσιμα εργαλεία για τη βελτίωση της απόδοσης ενός πλοίου είναι οι επιχειρησιακές αποφάσεις που λαμβάνονται σε καθημερινή βάση σχετικά με την διεξαγωγή ενός ταξιδιού, την διενέργεια της τακτικής συντήρησης και της παρακολούθησης της αποτελεσματικότητας της κατανάλωσης καυσίμων. Κάθε ταξίδι προσφέρει την ευκαιρία για βελτιστοποίηση της ταχύτητας, εντοπισμό της ασφαλέστερης διαδρομής μέσα από ήρεμες θάλασσες και την βεβαίωση ότι το πλοίο πλέει στο καλύτερο δυνατό δρομολόγιο.⁵⁴

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Βιομάζα

4.1 Βιοκαύσιμα

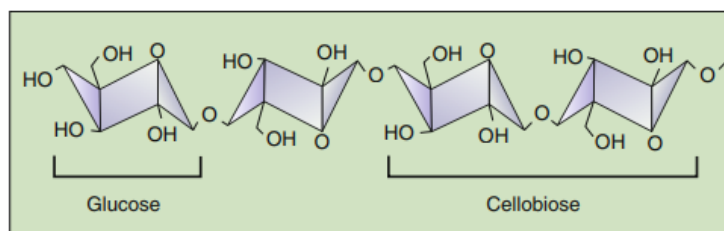
4.1.1 Χαρακτηριστικά – Ιδιότητες

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγονται από βιομάζα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ισχύος και θερμότητας αλλά και ως καύσιμα μεταφοράς σε ανάμιξη ή μη με άλλα παράγωγα του πετρελαίου. Είναι υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται κυρίως από την αξιοποίηση της βιομάζας. Η βιομάζα χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας, ξύλου, αστικά απόβλητα, τροφίμων και ζωοτροφών της βιομηχανίας) με σκοπό να αποδεσμεύσει την ενέργεια που δεσμεύτηκε από το φυτό κατά την φωτοσύνθεση. Κατά την καύση της βιομάζας η δεσμευμένη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία.

Ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε οποιοδήποτε οργανικό υλικό φυτικής προέλευσης (συμπεριλαμβανομένων φυκών, δέντρων και καρπών) το οποίο σχηματίζει υλικό με εξολοκλήρου οργανική φύση. Με μια ευρύτερη έννοια, η βιομάζα ορίζεται ως ένα εξολοκλήρου οργανικό υλικό το οποίο παράγεται με βιολογικές διεργασίες, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλο εύρος πιθανών πηγών βιομάζας. Στον ενεργειακό τομέα ο ορισμός της βιομάζας σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/EC δίνεται ως εξής: «Το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης από γεωργία (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομία και άλλες σχετικές βιομηχανίες συμπεριλαμβανομένης της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας, όπως επίσης και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων».⁵⁶

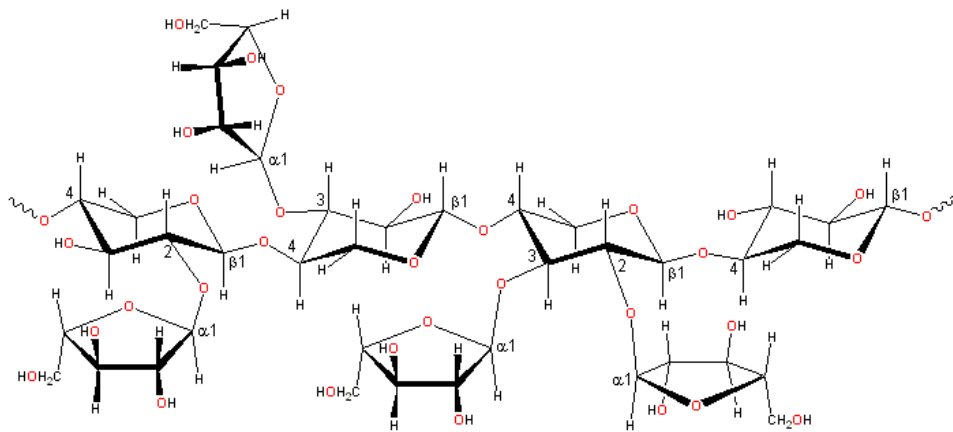
Παρά την ετερογένειά της, κατά κύριο λόγο η βιομάζα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά:

- **Κυτταρίνη.** Αποτελεί την κύρια μορφή άνθρακα που συναντάται στη βιομάζα, περίπου 40 – 60 % κ.β. ανάλογα την πηγή προέλευσης. Είναι ένας γραμμικό ομοπολυμερές, το οποίο αποτελείται μόρια D-γλυκόζης ενωμένα με 1,4-β-γλυκοσιδικούς δεσμούς. Η επαναλαμβανόμενη δομική μονάδα της κυτταρίνης (διμερές) ονομάζεται κελοβιόζη (Σχήμα 4 - 1). Το μακρομόριο της κυτταρίνης παρουσιάζει άμορφες και κρυσταλλικές περιοχές, εξαιτίας των δεσμών υδρογόνου που σχηματίζονται μεταξύ των μορίων. Ανάλογα με την προέλευσή της η κυτταρίνη μπορεί να έχει κρυσταλλικότητα μεταξύ 40 % (διογκωμένη κυτταρίνη) μέχρι 100 %, ωστόσο οι συνηθέστερες τιμές είναι 30 – 70 %. Ανάλογα με το βαθμό κρυσταλλικότητας (αλλομορφία) προκύπτουν διάφοροι τύποι κυτταρίνης (κυτταρίνη I – IV) οι οποίοι προσφέρουν διαφορετικά δομικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά στο μόριο. Βασική παράμετρος στην οποία επιδρά η κρυσταλλικότητα είναι η αντίσταση της κυτταρίνης σε ενζυματική υδρόλυση. Συγκεκριμένα ο ρυθμός της αντίδρασης υδρόλυσης αυξάνεται με την ελάττωση της κρυσταλλικότητας, δηλαδή τα ένζυμα «επιτίθενται» γρηγορότερα στην άμορφη κυτταρίνη παρά στην κρυσταλλική.⁵⁷



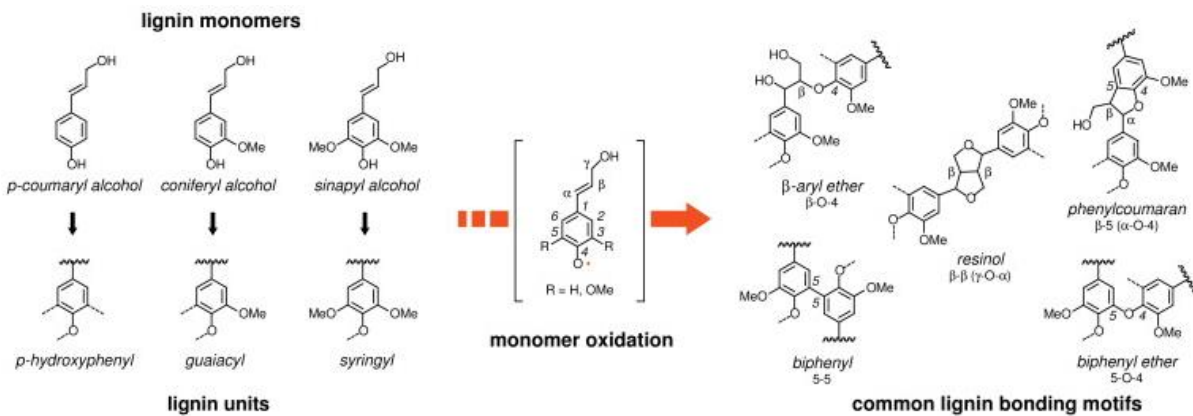
Σχήμα 4 - 1. Δομή μοριακής αλυσίδας κυτταρίνης

- **Ημικυτταρίνη.** Επίσης ένας σημαντικός πολυσακχαρίτης, ο οποίος αποτελεί το 20 – 40 % του βάρους της βιομάζας. Έχει πιο σύνθετη δομή από την κυτταρίνη, καθώς αποτελείται από ποικιλία σακχάρων με πέντε ή έξι άτομα άνθρακα. Είναι ευπαθής στην υδρόλυση, ωστόσο τα σάκχαρα που παράγονται είναι ανθεκτικά στη ζύμωση. Η ακριβής δομή της ημικυτταρίνης δεν μπορεί να καθοριστεί καθώς αποτελείται από πληθώρα διαφορετικών σακχάρων ανάλογα την προέλευσή της, ωστόσο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της δομής της δίνεται στο Σχήμα 4 - 2.⁵⁷



Σχήμα 4 - 2. Παράδειγμα δομής στον πολυσακχαρίτη της ημικυτταρίνης (αραβινοζυλάνη).

- Λιγνίνη. Πρόκειται για ένα σύνθετο πολυμερές, το οποίο παρέχει δομική ενίσχυση στα φυτά και συνδέει μεταξύ τους τις ίνες κυτταρίνης. Αποτελεί το 10 – 20 % του βάρους της βιομάζας. Γενικά η περιγραφή της λιγνίνης μπορεί να συμπυκωθεί ως το προϊόν πολυμερισμού τριών βασικών τύπων μονομερών προερχόμενα από το κινναμικό οξύ, γνωστά ως «μονολιγνίνες» (Σχήμα 4 - 3). Ως ένωση είναι αδιάλυτη στο νερό και στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες (μη εκχυλίσιμη ουσία). Μένει ως υπόλειμμα μετά τη μετατροπή (ζύμωση) των σακχάρων της βιομάζας, αλλά περιέχει αρκετή ενέργεια, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω καύσης προς παραγωγή ατμού ή ηλεκτρισμού.⁵⁸



Σχήμα 4 - 3. Δομή Λιγνίνης

Για την αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή βιοκαυσίμων είναι απαραίτητη η αποσαφήνιση και ο καθορισμός κάποιων συγκεκριμένων μεγεθών που παίζουν καθοριστικό ρόλο για την ποσότητα αλλά και την ποιότητα του παραγόμενου καυσίμου.

Θερμική Αξία (Heating Value – HV)

Η θερμική αξία ενός καυσίμου μπορεί να μετρηθεί πειραματικά χρησιμοποιώντας ειδικές διατάξεις αδιαβατικών θερμοδόμετρων, ωστόσο αποτελεί μια περίπλοκη διεργασία. Για το λόγο αυτό το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στη συσχέτιση της HHV με την χημική σύσταση της βιομάζας, είτε βασιζόμενοι στη στοιχειακή ανάλυση είτε στη συγκέντρωση των τριών βασικών συστατικών της.⁵⁹

Σύσταση

Συμπληρωματικά με τη θερμική αξία, υπάρχουν τρεις επιπλέον ιδιότητες οι οποίες είναι σημαντικές στην απόδοση της βιομάζας στην παραγωγή καυσίμων: (1) το ποσοστό στάχτης (ash), (2) η ευαισθησία στη σκωρία και στο φραγμό και (3) τα πτητικά συστατικά. Το ποσοστό στάχτης είναι το ποσοστό της μάζας πρώτης ύλης το οποίο αποτελείται από συστατικά (κυρίως άλατα και οξείδια) τα οποία δεν μπορούν να καούν. Η σκωρία και ο φραγμός είναι προβλήματα που μπορούν να συμβούν αν η στάχτη, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αρχίσει να λιώνει και να σχηματίζει αποθέσεις στις επιφάνειες των σωληνώσεων ή των αντιδραστήρων. Συγκεκριμένες ουσίες της βιομάζας μπορούν να προκαλέσουν ανάλογα αποτελέσματα ακόμη και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως το πυρίτιο, το χλώριο και το κάλιο. Ο περιορισμός αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να συμβεί κρατώντας τις θερμοκρασίες μετατροπής όσο το δυνατόν χαμηλότερες. Τα πτητικά συστατικά ενός καυσίμου αποτελούν μια λιγότερο γνωστή ιδιότητα, η οποία αναφέρεται στο ποσοστό

του καυσίμου που θα εξατμιστεί όταν η θερμοκρασία αυξηθεί. Καύσιμα με υψηλό ποσοστό πτητικών τείνουν να ατμοποιούνται πριν την καύση (φλεγόμενη καύση – flaming combustion), ενώ καύσιμα με χαμηλό ποσοστό πτητικών καίγονται κυρίως από την επιφάνεια απανθρακώματος (glowing char). Οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν την απόδοση της παραγόμενης ενέργειας και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό και τη χρήση ενός βιοκαυσίμου.

4.1.2 Κατηγορίες

Ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε οργανική ύλη (ζωντανή ή υπόλειμμα) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο υλικό ή ως πηγή παραγωγής ενέργειας, θερμότητας ή βιοκαυσίμου. Η πληθώρα πηγών από τις οποίες μπορεί να προέρχεται η βιομάζα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υλικών με πλήρως διαφορετική σύσταση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) έχει εκδώσει δυο πρότυπα, για την κατηγοριοποίηση και τη διασαφήνιση του όρου βιομάζα (EN 14961) και για τη διασφάλιση ποιότητας (EN 15234).

Βασίζόμενοι στην πηγή προέλευσης, η βιομάζα κατηγοριοποιείται σε τέσσερις κύριες ομάδες:^{60, 61}

- **Ξυλώδη Φυτά.** Ξυλώδες φυτό είναι ένα αγγειακό φυτό το οποίο διαθέτει πολυετή βλαστό ο οποίος βρίσκεται πάνω από το έδαφος και καλύπτεται από πυκνό φλοιό. Τα ξυλώδη φυτά περιέχουν ξύλο, το οποίο αποτελείται από δομές ινών κυτταρίνης και λιγνίνης ισχυρά προσδεμένες μεταξύ τους (δέντρα, θάμνοι κλπ).
- **Ποώδη Φυτά.** Πρόκειται για φυτά των οποίων τα φύλλα βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους. Αυτά τα φυτά δε διαθέτουν ξύλο, συνεπώς η δομή τους αποτελείται από ίνες λιγνίνης και κυτταρίνης πιο χαλαρά συνδεδεμένων μεταξύ τους. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως το ποσοστό λιγνίνης είναι χαμηλότερο στη βιομάζα που προκύπτει από αυτή την κατηγορία (χορτάρι, δημητριακά, στάχια κλπ).
- **Υδροβία Φυτά.** Πρόκειται για φυτά που αναπτύσσονται κάτω από την επιφάνεια του νερού, όπως τα φύκη. Το ποσοστό υγρασίας στη βιομάζα που προκύπτει είναι συνήθως υψηλό.
- **Απόβλητα.** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν απόβλητα όλων των ειδών, όπως κοπριά, λάσπη αποχετεύσεων, απορρίμματα παραγωγής καυσίμων κ.α. Όπως και στην προηγούμενη κατηγορία, τα περισσότερα από αυτά τα απόβλητα έχουν αυξημένα ποσοστά υγρασίας.

Πίνακας 4 - 1. Τυπικές τιμές σύστασης βιομάζας (% σε ξηρή βάση) ανάλογα την πηγή προέλευσης.

	Κυτταρίνη	Ημικυτταρίνη	Λιγνίνη
Ποώδη Φυτά	45	25	30
Ξυλώδη Φυτά	42	38	20
Φλοιοί Σιτηρών	40	45	15

Ανάλογα τον τρόπο από τον οποίο η βιομάζα παράγεται από κάθε πηγή μπορεί να χαρακτηριστεί ως παρθένα ή κύρια (virgin biomass) και βιομάζα αποβλήτων ή παραγόμενη (waste biomass). Η παρθένα βιομάζα περιλαμβάνει ξύλα, φυτά φύλλα και καρπούς, ενώ η βιομάζα αποβλήτων περιλαμβάνει στερεά και υγρά απόβλητα φυτικής, ζωικής, γεωργικής ή αστικής προέλευσης.⁶²

Η παραγωγή βιοκαυσίμων από βιομάζα αποτελεί μια τεχνολογία η οποία έχει αναπτυχθεί πρόσφατα και απέχει αρκετά από την πλήρη βελτιστοποίησή της. Οι κύριες πρώτες ύλες βιομάζας που χρησιμοποιούνται εμπορικά για παραγωγή ενέργειας (μέσω καύσης) είναι τα υπολείμματα από επεξεργασία ξυλείας, χάρτου ή αστικά υπολείμματα. Ωστόσο, μέχρι τώρα για παραγωγή βιοκαυσίμων χρησιμοποιούνται κυρίως καρποί από καλαμπόκι (για βιοαιθανόλη) και σόγια (για βιοντίζελ), τα οποία καλούνται πρώτης γενιάς βιοκαύσιμα.

Μέθοδοι επεξεργασίας της βιομάζας είναι η καύση που ως προϊόν της έχει την παραγωγή θερμότητας, η πυρόλυση η οποία είναι μια θερμική διαδικασία (450-600 βαθμούς Κελσίου) όπου γίνεται η αποικοδόμηση της βιομάζας με απουσία του οξυγόνου. Στην πυρόλυση παράγονται το βιοέλαιο 70% το βιοαέριο 15% και ο ξυλάνθρακας 15%. Υπάρχει επίσης και η διαδικασία της αεριοποίησης της βιομάζας όπου γίνεται η θερμική της αποικοδόμηση στους 750-850 βαθμούς Κελσίου κατά την απουσία οξυγόνου. Τα παραγόμενα προϊόντα είναι το βιοαέριο, η πίσσα και ο ξυλάνθρακας. Όσον αφορά τα υγρά βιοκαύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία της βιομάζας είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη. Το βιοντίζελ παράγεται από φυτικά έλαια κυρίως με μετεστερεοποίηση. Η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από την ζύμωση των αμυλούχων και σακχαρούχων συστατικών.

Η σημασία και η συμβολή των βιοκαυσίμων στη βιώσιμη ανάπτυξη, στην εξοικονόμηση ορυκτών πόρων, στην ενεργειακή ασφάλεια έναντι των εισαγωγών συμβατικών καυσίμων ή αργού πετρελαίου προς διύλιση, στην τόνωση της απασχόλησης ιδιαίτερα στις γεωργικές περιοχές καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα τείνουν να εμπεδωθούν στους διεθνείς οργανισμούς και στα κέντρα διαμόρφωσης ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, στο βιομηχανικό κόσμο αλλά και στο ευρύτερο κοινό.

Παρά τη θετική επίδραση που έχουν έναντι των ορυκτών καυσίμων, επέρχεται ένα ηθικό δίλλημα ως προς τη χρήση τους. Αφενός προέρχονται από βρώσιμη πρώτη ύλη και αφετέρου η στοχευμένη καλλιέργειά τους απαιτεί πόρους και χώρους οι οποίοι θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν. Και στις δυο περιπτώσεις το ερώτημα που εγείρεται είναι μήπως θα ήταν σοφότερη η χρήση τους για την κάλυψη διατροφικών αναγκών, καθώς οι γεωργοί εγκαταλείπουν τις παραδοσιακές τους καλλιέργειες για να φυτέψουν φυτά που θα χρησιμοποιηθούν ως βιοκαύσιμα. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα να ελαττωθούν οι καλλιέργειες που προορίζονται για τροφή οπότε αναπόφευκτα έχουμε την αύξηση των τιμών των γεωργικών προϊόντων (αύξηση τιμής καλαμποκιού και σιταριού).⁶³

Για την αντιμετώπιση αυτού του διλήματος μελετάται η ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς, τα οποία θα παρέχονται από μη βρώσιμη βιομάζα, όπως υπολείμματα καλαμποκιού, φλοιούς, στάχια, φύκη κ.α. Προς το παρόν η παραγωγή τέτοιων καυσίμων δεν είναι οικονομικά βιώσιμη σε όρους ανάπτυξης βιομηχανίας, ωστόσο γίνονται ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη της κατάλληλης τεχνολογίας. Η βιομάζα που παράγεται από φυτικά υπολείμματα αποτελείται κυρίως από πολυσακχαρίτες, οι οποίοι με κατάλληλη κατεργασία μπορούν να είναι ιδιαίτερα προσοδοφόροι για παραγωγή βιοκαυσίμων. Στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς ανήκουν τα συνθετικά βιοκαύσιμα που παράγονται από θερμοχημικές και καταλυτικές διεργασίες όπως πυρόλυση, εξαερίωση, και Fischer-Tropsch. (κυτταρική αιθανόλη, bio-oil, Fischer-Tropsch oil).⁶⁴

Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκει και η βιοαιθανόλη που παράγεται από λιγνοκυτταρινικό υλικό, το οποίο δύσκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα. Το υδρογόνο από αέριο σύνθεσης καθώς και το βιοαέριο αποτελούν τα κύρια αέρια βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς. Η διεργασία παραγωγής βιοκαυσίμων Fischer-Tropsch αποτελεί μία ιδιαίτερα υποσχόμενη διεργασία. Είναι μία αρκετά ευέλικτη διεργασία τόσο ως προς τους τύπους βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όσο και ως προς το εύρος των προϊόντων και των αποδόσεών τους. Συγκεκριμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί φυτική βιομάζα ή αγροτικά απόβλητα, καθώς επίσης και βιολογικά αστικά και βιομηχανικά απόβλητα. Επιπλέον οι αποδόσεις της διεργασίας σε διάφορα προϊόντα (νάφθα, κηροζίνη, ντίζελ κτλ) μπορεί να διαφοροποιηθεί εύκολα κάθε φορά που διαφοροποιούνται και οι τιμές ή οι απαιτήσεις για καύσιμα. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς συνοψίζονται στον Πίνακα 4 - 2.⁶⁵

Πίνακας 4 - 2. Βιοκαύσιμα και διεργασίες παρασκευής τους

Τύπος Βιοκαυσίμου	Ονομασία	Διεργασία
Συνθετικά βιοκαύσιμα	Fischer-Tropsch Βιοντίζελ	Εξαέρωση, σύνθεση, HDC
	Αλκοόλη από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, σύνθεση
	HTU ντίζελ	HTU, HDO, διύλιση
	Ντίζελ πυρόλυσης	Πυρόλυση, HDO, διύλιση
Βιομεθανόλη	Μεθανόλη	Εξαέρωση, wgs, σύνθεση
Βιοαιθανόλη	Αιθανόλη από κυτταρίνη	Υδρολύση, Ζύμωση, απόσταξη
Βιο-MTBE	MTBE	Σύνθεση
Βιοδιμέθυλαιθέρας	DME	Εξαέρωση, σύνθεση
Βιουδρογόνο	Υδρογόνο από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, απομάκρυνση CO ₂
Βιοαέριο	Φυσικό αέριο από αέριο σύνθεσης	Εξαέρωση, σύνθεση, απομάκρυνση CO ₂ -H ₂ O
	Συνθετικό φυσικό αέριο	Εξαέρωση

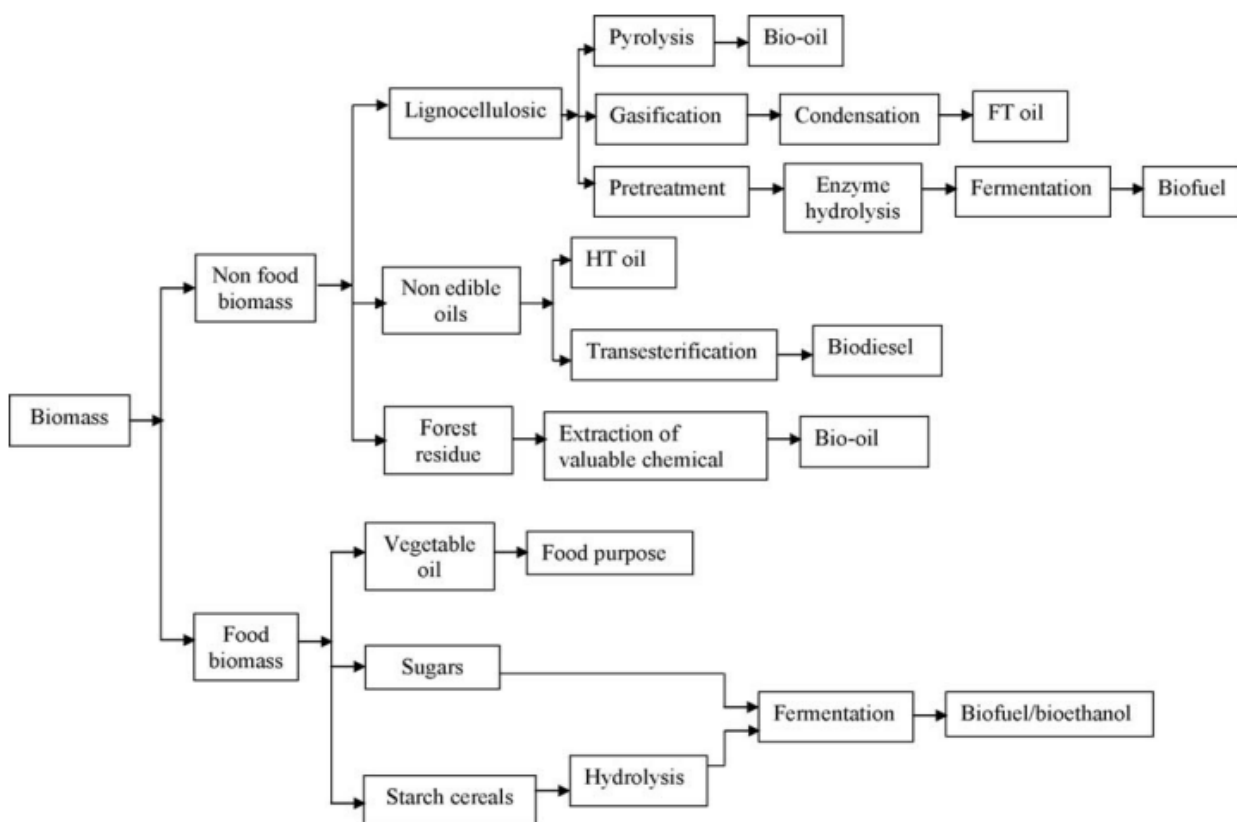
Έρευνα επίσης συντελείται στην παραγωγή βιοαιθανόλης από φύκια. Ήδη η παραγωγή τέτοιας βιοαιθανόλης ή βιοντίζελ από φύκια χαρακτηρίζεται ως τεχνολογία τρίτης γενιάς. Τα τρίτης γενιάς βιοκαύσιμα είναι γεγονός και είναι καύσιμα που προέρχονται από φύκια ή φύκι ή άλγη (algae). Τα φύκια θεωρούνται μονοκύτταροι

παρίες των λιμνών και των θαλασσών και μπορούν να αναπτύσσονται ακόμη και μέσα σε λύματα και στο θαλασσινό νερό, όπου δεν χρειάζεται τίποτε άλλο για να ευδοκιμήσουν παρά το φως του ήλιου και το διοξείδιο του άνθρακα. Είναι χαμηλών εισροών, με υψηλή όμως απόδοση πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Αρκετές νέες εταιρίες δραστηριοποιούνται στον τομέα δοκιμάζοντας να μετατρέψουν τα φύκια σε καύσιμο.

Η εταιρία Green Fuel Technologies στο Κέμπριτζ της Μασαχουσέτης καλλιεργεί φύκια μέσα σε πλαστικούς σωλήνες, απορροφώντας CO₂ από τις καμινάδες των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Από κάποια φύκια παράγεται και άμυλο από το οποίο παίρνουμε αιθανόλη, ενώ από άλλα παίρνουμε έλαιο το οποίο μετατρέπεται σε βιοντίζελ. Οι αποδόσεις θεωρούνται εξαιρετικές, αφού τα φύκια διπλασιάζουν τον όγκο τους μέσα σε λίγες ώρες. Έτσι μπορεί να παραχθεί πολύ περισσότερη ενέργεια ανά εκτάριο γης από καλλιέργειες, όπως για παράδειγμα η σόγια.

Ταυτόχρονα όμως υπάρχει η σκέψη να αξιοποιηθούν μικροοργανισμοί για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε ότι το Δεκέμβριο 2008 ερευνητές του πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας-Λος Άντζελες δημιούργησαν ένα συνθετικό κολοβακτηρίδιο (*E. coli*), το οποίο, αντί να μολύνει τα τρόφιμα, μπορεί να βοηθήσει στην παραγωγή καλύτερων βιοκαυσίμων. Μεταβάλλοντας τη βασική γενετική δομή του βακτηρίου, οι επιστήμονες μπόρεσαν να το καθοδηγήσουν, ώστε να παράγει αλκοόλη πυκνότερη σε ενέργεια από αυτή που υπάρχει στη φύση. Είναι η πρώτη φορά που οι ερευνητές κατάφεραν να συνθέσουν αλκοόλη με περισσότερα άτομα άνθρακα στο μόριό της. Αυτό έγινε εφικτό με την εισαγωγή ειδικών χρωμοσωμάτων στο DNA του *E. coli* και την υπερ-δραστηριοποίηση ορισμένων ενζύμων του, αλλάζοντας έτσι το μεταβολισμό του και αναγκάζοντάς το να μετατρέπει πλέον γλυκόζη σε αλκοόλη με περισσότερα άτομα άνθρακα στο μόριό της. Οι αλκοόλες με περισσότερα άτομα άνθρακα στη μοριακή τους αλυσίδα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια ανά λίτρο καυσίμου, δεν διαβρώνουν τον κινητήρα και είναι πιο συμβατές με τα αεροπορικά καύσιμα ή το ντίζελ. Βέβαια η αξιοποίηση μικροοργανισμών είναι ακόμα σε εμβρυακό επίπεδο και χρειάζονται να γίνουν και άλλες έρευνες.

Μια λεπτομερής ανάλυση των μεθόδων επεξεργασίας της βιομάζας για παραγωγή βιοκαυσίμων δίνεται στο σχήμα 4-4



Σχήμα 4 - 4. Παραγωγή βιοκαυσίμων από βιομάζα.⁶⁴

Πίνακας 4 - 3. Σύγχρονα βιοκαύσιμα, πρώτες ύλες και ιδιότητες.

Καύσιμο	Πρώτη Ύλη	Ενεργειακή Πυκνότητα (MJ/kg)	Εκπομπή CO ₂ (kg/kg)	Σημειώσεις
Πρώτης Γενιάς Βιοκαύσιμα				
Βιοαλκοόλες Αιθανόλη Προπανόλη Βουτανόλη	Άμυλο από σιτάρι, καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμα, πατάτες, μελάσα κ.α.	30 34 36.6	1.91 Χωρίς Αναφορά 2.37	
Βιοντήζελ	Έλαια και λίπη, συμπεριλαμβανομένων ζωικών λιπών, φυτικών ελαίων, φυκών κλπ.	37.8	2.85	Χημικά ισοδύναμο με το ντήζελ ορυκτών καυσίμων
Φυτικά Έλαια Καστορέλαιο Ελαιόλαδο Λίπη Ηλιέλαιο		39.5 39 32 40	2.7 2.8 Χωρίς Αναφορά 2.8	
Βιοαιθέρες	Αφυδρογόνωση αλκοολών	Χωρίς Αναφορά	Χωρίς Αναφορά	Χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα καυσίμων για την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών, κυρίων του όζοντος
Βιοαέριο	Μεθάνιο παραγόμενο από απόβλητα, μέσω αναερόβιας χώνευσης από βακτήρια	55	2.74 (Το μεθάνιο είναι αέριο του θερμοκηπίου, 23 φορές πιο ισχυρό από το CO ₂)	Ίδιες ιδιότητες με το μεθάνιο που παράγεται από ορυκτά καύσιμα
Δεύτερης Γενιάς Βιοκαύσιμα				
Κυτταρική Αιθανόλη	Ξύλο, γρασίδι ή μη βρώσιμα μέρη φυτών			
Βιοκαύσιμα βασιζόμενα στα φύκη	Φύκη	Μπορεί να παραχθεί οποιοδήποτε από τα παραπάνω καύσιμα – κυρίως jet fuel		Ακριβή παραγωγή, ωστόσο μπορεί να είναι 10 – 100 φορές αποδοτικότερο από τα άλλα βιοκαύσιμα
Βιοϋδρογόνο	Φύκη που διασπών το νερό	123 (σε 700 atm)	0	
Μεθανόλη	Μη βρώσιμα μέρη φυτών	19.7	1.37	Πιο τοξικό και με μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα από την αιθανόλη
Διμέθυλοφουράνιο	Φρουκτόζη και παράγωγά της	33.7		Παραπλήσια ενεργειακή πυκνότητα με τη μεθανόλη.
Fischer – Tropsh Βιοντήζελ	Απόβλητα βιομηχανίας χάρτου	37.8	2.85	Απλή παραγωγή μέσω μιας χημικής μετατροπής η οποία παράγει υδρογονάνθρακες από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο.

4.1.3 Διεθνής Ανάπτυξη

Τα βιοκαύσιμα προωθούνται ως χρήσιμο μέσο ‘για τον οικολογικό προσανατολισμό’ του κλάδου των οδικών μεταφορών. Τα καύσιμα αυτά μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα στις εκπομπές

των μέσων μεταφοράς καθώς και να μειώσουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο στον τομέα των μεταφορών. Η οδηγία 2003/30/EU του 2003 για τα βιοκαύσιμα⁶⁶ έχει ως στόχο να αυξήσει σημαντικά τη χρήση των καυσίμων αυτών στις μεταφορές.

Η ΕΕ δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην εγκαθίδρυση ερευνητικών προγραμμάτων για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών γύρω από τη βιομάζα (EU R&D programs). Τα περισσότερα σύγχρονα προγράμματα σχετικά με την παραγωγή βιοενέργειας από βιομάζα εντάσσονται στον Ορίζοντα 2020, ο οποίος έχει ενσωματώσει το πρόγραμμα «Intelligent Energy – Europe». Αυτά τα προγράμματα δουλεύουν σε συνεργασία με το Ευρωπαϊκό Σχέδιο για Στρατηγική Ενεργειακή Τεχνολογία (SET-Plan), εγκαθιδρύοντας μια διεθνή ενεργειακή πολιτική για την Ευρώπη, η οποία στοχεύει στην ανάπτυξη νέων, οικονομικά προσοδοφόρων τεχνολογιών χαμηλής εκπομπής άνθρακα.

Ο Ορίζοντας 2020 είναι το χρηματοδοτικό όργανο που υλοποιεί την εμβληματική πρωτοβουλία «EU 2020 Innovation Union». Με μια χρηματοδότηση περίπου 80 δις. € για τα χρόνια 2014-2020, θεωρείται το μεγαλύτερο ευρωπαϊκό πρόγραμμα ανάπτυξης που έχει υπάρξει. Σχετικά με τον τομέα της βιομάζας, ο Ορίζοντας 2020 απευθύνεται σε πλήθος τομέων και υποτομέων, όπως: «Ασφαλής, Καθαρή και Αποδοτική Ενέργεια», «Αποδοτικότητα Κλιματικής Δράσης, Περιβάλλοντος, Πόρων και Πρώτων Υλών» καθώς και τον υποτομέα της «Βιοοικονομίας».

Επιπλέον, εντός του Ορίζοντα 2020, έχουν εγκαθιδρυθεί νέες πρωτοβουλίες με σκοπό την ανάπτυξη νέων δυνατοτήτων ως προς τη βιομάζα, όπως ο Δημόσιος Ιδιωτικός Συνεταιρισμός Βιομηχανιών Βιολογικής Βάσης (Bio-Based Public Private Partnership), ο οποίος με ένα προϋπολογισμό 3.7 δις. € στοχεύει στην αύξηση των επενδύσεων για την ανάπτυξη ενός πιο βιώσιμου τομέα βιομηχανιών βιολογικής φύσεως στην Ευρώπη. Επίσης, τεχνολογικές πλατφόρμες όπως η Πλατφόρμα Βιοκαυσίμων της ΕΕ ή η Πλατφόρμα Ανανεώσιμης Θέρμανσης και Ψύξης παίζουν ρόλο-κλειδί στον ορισμό του μελλοντικού τομέα της βιομάζας και στην ανάπτυξη νέων προοπτικών.

Το NER 300 είναι επίσης μια πηγή για τη χρηματοδότηση κατασκευής της απαραίτητης υποδομής για την ανάπτυξη του τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας. Ως τώρα έχει προκηρύξει δυο προτάσεις με προϋπολογισμό 2.2 δις €, οι οποίες έχουν χρηματοδοτήσει 14 προγράμματα βιοενέργειας.

Τέλος το LIFE, το χρηματοδοτικό όργανο της ΕΕ για δράσεις σχετικές με το περιβάλλον και τις κλιματικές αλλαγές, χρηματοδοτεί πλήθος δράσεων σχετικών με τον τομέα της βιομάζας. Συγκεκριμένα, η βιώσιμη χρήση βιομάζας αποτελεί ένα σημείο ενδιαφέροντος για τον τομέα της Αντιμετώπισης των Κλιματικών Αλλαγών. Επιπλέον, το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης ή το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης μπορούν να δουλέψουν μαζί με τις υπόλοιπες χρηματοδοτήσεις ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητά τους.

4.1.4 Εφαρμογές

Η βιομάζα έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Μέχρι το τη δεκαετία του 1860, οι ΗΠΑ χρησιμοποιούσαν καύση βιομάζας για την κάλυψη περίπου του 90% των ενεργειακών τους απαιτήσεων. Ακόμη και στις μέρες μας, το 15% του κόσμου χρησιμοποιεί καύσιμη βιομάζα. Ωστόσο η σύγχρονη τάση που επικρατεί αποβλέπει στην εκμετάλλευση της βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων (συνήθως υγρών) και όχι την απευθείας καύση της. Ο λόγος για την τάση αυτή είναι πως η καύση της βιομάζας παράγει μεγάλα ποσοστά τέφρας (απανθρακώματος) τα οποία αποτελούν σημαντικό ρύπο της ατμόσφαιρας.

Ο τομέας των μεταφορών και της γεωργίας είναι ένας από τους κύριους καταναλωτές ορυκτών καυσίμων και ο μεγαλύτερος εισφορέας περιβαλλοντικής ρύπανσης, ο οποίος όμως μπορεί να περιοριστεί αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα με ανανεώσιμα καύσιμα βιολογικής προέλευσης. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία καυσίμων διαθέσιμα για αυτή τη δουλειά, με κυριότερα όμως το βιοντίζελ και τη βιοαιθανόλη. Η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από ποικιλία καρπών όπως ζαχαροκάλαμο, καλαμπόκι, σιτάρι και ζαχαρότευτλα. Τα δυο τελευταία είναι αυτή τη στιγμή οι κυριότερες πηγές βιοαιθανόλης στην Ευρώπη, εξαιτίας όμως των περιορισμένων αποθεμάτων σε καλαμπόκι η παραγόμενη αιθανόλη δεν μπορεί να καλύψει όλη την ενεργειακή ανάγκη για τις μεταφορές.⁶⁷

Η Ευρώπη προωθεί τη χρήση βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντικατάσταση βενζίνης ή πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών. Αυτό προϋποθέτει τα μέλη της ΕΕ να θέτουν αυστηρούς όρους κατανάλωσης βιοκαυσίμων. Συγκεκριμένα το 2005 έθεσε την εισαγωγή 2 % βιοκαυσίμων στη βενζίνη

και το πετρέλαιο (Directive 2003/30/EC), ποσοστό που αυξήθηκε το 2010 σε 5.75 %. Το 2009 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ψήφισε δυο σημαντικές οδηγίες σχετικά με την αύξηση τη χρήσης βιοκαυσίμων μέχρι το 2020. Η οδηγία RED (Renewable Energy Directive) υποχρεώνει ότι το 20 % όλης της χρήσης ενέργειας εντός της ΕΕ, συμπεριλαμβανομένου τουλάχιστον 10 % όλης της ενέργειας για τις οδικές μεταφορές, θα παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως το 2020. Συμπληρωματικά με την παραπάνω οδηγία ψηφίστηκε η FQD (Fuel Quality Directive), σύμφωνα με την οποία μέχρι το 2020 το μίγμα καυσίμων για οδική μεταφορά στην ΕΕ θα πρέπει να επιβαρύνει το περιβάλλον λιγότερο κατά 6 % ως προς τις εκπομπές άνθρακα σε σχέση με την απλή βενζίνη και το πετρέλαιο κίνησης.⁶⁸

Ένα ακόμη σημαντικό πεδίο εφαρμογής των βιοκαυσίμων είναι η παραγωγή ενέργειας. Γενικά η παραγωγή ηλεκτρισμού αποτελεί παγκόσμια τον μεγαλύτερο καταναλωτή καυσίμων. Το χρονικό διάστημα 2005 – 2010 υπολογίζεται ότι η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρισμού ήταν 20 TWh. Περίπου το 40 % της ενέργειας προήλθε από καύση άνθρακα, το 20 % από φυσικό αέριο ενώ το υπόλοιπο από μετατροπή υδροηλεκτρικής ενέργειας, πυρηνικής ενέργειας και πετρελαίου (15, 13 και 5 % αντίστοιχα). Από τα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν, μόνο το 40 % χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενέργειας, ενώ η υπόλοιπη «χάθηκε» ως θερμότητα στο περιβάλλον, καθώς λιγότερο από το 5 % της θερμότητας χρησιμοποιείται για συμπαραγωγή ενέργειας. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει πως 40 % από τα εκπεμπόμενα αέρια του θερμοκηπίου παγκοσμίως προέρχονται από βιομηχανικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, ενώ ο τομέας των μεταφορών έρχεται σε δεύτερη θέση. Συγκεκριμένα ο άνθρακας είναι ιδιαίτερα προβληματικός εξαιτίας της παραγωγής διοξειδίου του θείου, το οποίο είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι η πυρηνική ενέργεια είναι η λιγότερο επιβλαβής, σε όρους παραγόμενων ρύπων, καθώς παράγει λιγότερο άνθρακα από οποιαδήποτε άλλη πηγή ενέργειας (με εξαίρεση την ηλιακή και την υδροηλεκτρική ενέργεια).

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια –μερική τουλάχιστον– λύση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συχνά χρησιμοποιούν ως καύσιμο μεθάνιο το οποίο παράγεται από ΧΥΤΑ, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται έντονο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση αερίου σύνθεσης (syngas) που παράγεται από την πυρόλυση βιομάζας. Όπως σε κάθε άλλο βιοκαύσιμο, η ισορροπία της εξίσωσης αφορά την παραγωγή άνθρακα. Σχετικά με την παραγωγή αερίου σύνθεσης από γεωργικά απόβλητα, το καθαρό αποτύπωμα είναι μικρότερο από το να αφήνονταν για φυσική αποσύνθεση. Αυτό συμβαίνει διότι η φυσική αποσύνθεση σε περιβάλλοντα πλούσια σε οξυγόνο, οδηγεί σε παραγωγή διοξειδίου του αζώτου και μεθανίου, τα οποία είναι πολύ σημαντικά αέρια για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου.⁶⁹

Βέβαια αυτές οι εφαρμογές δεν είναι αρκετές για την κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών και γ'αυτό το λόγο η ερευνητική κοινότητα αυτή τη στιγμή επικεντρώνεται στην ανάπτυξη εξειδικευμένων καλλιεργειών για «θερισμό» μεγάλων ποσοτήτων βιοενέργειας. Φύκη και άλλα φυτά τα οποία φύονται υπό αντίξοες συνθήκες και δεν αποτελούν κίνδυνο ως προς τη διατροφική αλυσίδα αποτελούν επίκεντρο ως πιθανές πηγές παραγωγής βιοκαυσίμων όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Αυτή τη στιγμή περίπου το 13% όλης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στις ΗΠΑ παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (με εξαίρεση την υδροηλεκτρική ενέργεια), ωστόσο ένα μικρό μόνο ποσοστό προέρχεται από βιοκαύσιμα. Το Ηνωμένο Βασίλειο αποτελεί τη μεγαλύτερη αγορά μετατροπής βιοκαυσίμων σε ηλεκτρισμό, καθώς παράγεται αρκετή ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών περίπου 350 χιλιάδων νοικοκυριών.

4.1.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η βιομάζα αποτελεί μια ελκυστική πηγή ενέργεια 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. Επίσης, η μηδενική ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂) που ευθύνονται για την όξινη βροχή. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα το μηδενικό ισοζύγιο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής των βιοκαυσίμων. Περαιτέρω, η αξιοποίηση της βιομάζας ως εγχώρια πηγή ενέργειας, μειώνει την εξάρτηση των χωρών για εισαγόμενα καύσιμα και βελτιώνει το εμπορικό τους ισοζύγιο, ενώ σε κοινωνικό επίπεδο αυξάνει τα επίπεδα απασχόλησης στις αγροτικές περιοχές και ενισχύει την οικονομική τους ανάπτυξη.

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 διασπάζουν 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.

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες προκλήσεις οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας και κυρίως υγρών καυσίμων μεταφοράς. 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.

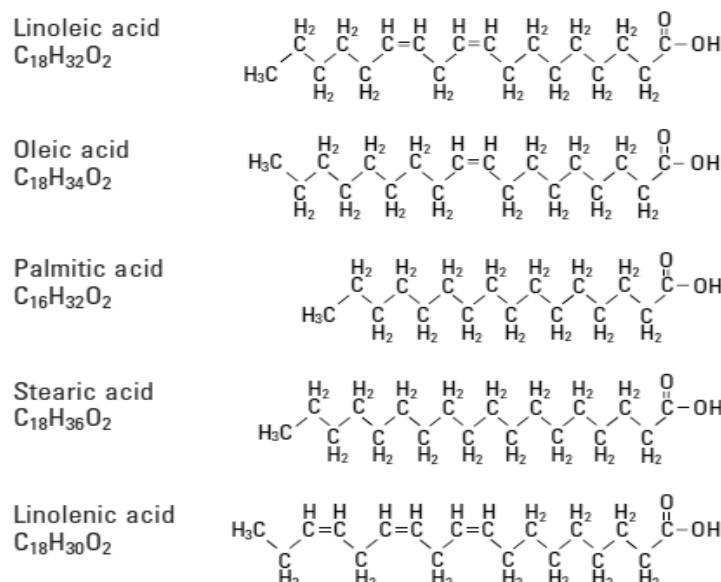
Τέλος πρέπει να αναφερθούν τα σοβαρά περιβαλλοντικά ζητήματα και το θέμα της ασφαλούς πρόσβασης στη τροφή που απορρέουν από μια ενδεχόμενη στροφή σε βιοκαύσιμα για την κάλυψη του παγκόσμιου ενεργειακού ισοζυγίου. Η παραγωγή των βιοκαυσίμων από μόνη της ως διαδικασία απαιτεί την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων 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 φαγητού για μεγάλη μερίδα πληθυσμού ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, από τη συνεπαγόμενη αύξηση των τιμών σε συγκεκριμένα βασικά είδη διατροφής όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Σύμφωνα με έρευνα που διεξήγαγε η Παγκόσμια Τράπεζα κατέδειξε την εκτίναξη στις τιμές ειδών διατροφής σε ποσοστό 75%. Πιο συγκεκριμένα στοιχεία μιλούν για αύξηση της τάξεως του 140% στις τιμές των τροφών που εξετάστηκαν την περίοδο μεταξύ 2002-2008.

4.2 Βιοντήζελ

4.2.1 Πρώτες ύλες

Σύμφωνα με την ASTM (American Society for Testing and Materials) το βιοντήζελ ορίζεται ως μονοαλκυλοεστέρες προερχόμενοι από πρώτες ύλες λιπιδικής φύσεως όπως φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Τα κύρια συστατικά των πρώτων αυτών υλών είναι οι τριακυλογλυκερόλες (TAGs), οι εστέρες λιπαρών οξέων και η γλυκερόλη. Οι TAGs, γνωστές και ως τριγλυκερίδια, αποτελούνται από διάφορα παράγωγα λιπαρών οξέων τα οποία επηρεάζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες των λιπών και των ελαίων και κατά επέκταση και την ποιότητα του παραγόμενου βιοντήζελ. Υπάρχουν δυο είδη λιπαρών οξέων, τα κορεσμένα λιπαρά οξέα τα οποία αποτελούνται εξολοκλήρου από απλούς δεσμούς άνθρακα – άνθρακα και τα ακόρεστα τα οποία διαθέτουν ένα τουλάχιστον πολλαπλό (διπλό ή τριπλό) δεσμό μεταξύ ανθράκων. Τα πιο κοινά λιπαρά οξέα (αριθμός ανθράκων : διπλοί δεσμοί) που βρίσκονται στις φυσικές πρώτες ύλες λιπιδικής φύσεως είναι το παλμιτικό (16:0), το στεατικό (18:0), το ολεϊκό (18:1), λινολεϊκό (18:2) και το λινολενικό οξύ (18:3). Πέραν των λιπαρών οξέων, άλλες ενώσεις που είναι παρούσες στα φυτικά έλαια είναι τα φωσφολιπίδια, τα καροτένια, θειούχες ενώσεις καθώς και νερό.⁷⁰



Σχήμα 4 - 5. Δομή κυριότερων φυτικών λιπαρών οξέων

Η αποτελεσματική αντικατάσταση του πετρελαϊκού ντήζελ με το βιοντήζελ είναι εφικτή μόνο αν πληροί δυο βασικές προϋποθέσεις: αρχικά η μεγάλη διαθεσιμότητα και η περιβαλλοντική αποδοχή και έπειτα να είναι οικονομικά βιώσιμη η παραγωγή του. Σε πραγματικά σενάρια λειτουργίας, το κόστος των φυτικών ελαίων αποτελούν το 60 – 80 % του συνολικού κόστους παραγωγής του βιοντήζελ. Γι' αυτό το λόγο μεγάλο εύρος πρώτων υλών έχουν μελετηθεί για την παραγωγή βιοντήζελ και θα μπορούσαν να χωριστούν σε διαφορετικές κατηγορίες, όπως τα βρώσιμα και μη βρώσιμα έλαια, τα απόβλητα ελαίων, τα ζωικά λίπη και τα λιπίδια των φυκών. Διαφορετικά είδη φυτικών πρώτων υλών, ζωικών λιπών και άλλων πηγών που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοντήζελ παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 - 4. Την παρούσα στιγμή από την παγκόσμια παραγωγή βιοντήζελ χρησιμοποιείται περίπου κατά 85 % κραμβέλαιο και 13 % ηλιέλαιο. Ωστόσο, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε βιοντήζελ εγείρουν ανησυχίες για τη χρήση βρώσιμων ελαίων, κυρίως για λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.⁷¹

Το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί λοιπόν στη χρήση μη βρώσιμων ελαίων, ζωικών λιπών ή και μπιγμάτων τους. Στα μη βρώσιμα έλαια ανήκουν και τα χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια, τα οποία αποτελούν μια πολύ ελπιδοφόρα πηγή παραγωγής βιοντήζελ. Τα μαγειρικά έλαια μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες με βάση το ποσοστό ελεύθερων λιπαρών οξέων (Free Fatty Acids – FFA) που διαθέτουν, τα κίτρινα γράσα (FFA < 15 %) και τα καφέ γράσα (FFA > 15 %).⁷² Τα ζωικά λίπη παρουσιάζουν υψηλούς αριθμούς κετανίου (CN), ωστόσο επειδή διαθέτουν κυρίως κορεσμένα λιπαρά οξέα έχουν υψηλό σημείο απόψαξης ψυχρού φίλτρου και είναι λιγότερο ανθεκτικά έναντι οξείδωσης εξαιτίας της απώλειας φυτικών αντιοξειδωτικών. Συνεπώς τα λίπη αυτά ενδείκνυνται κυρίως για χρήση ως συστατικά μπιγμάτων μαζί με άλλα λίπη ή έλαια.

Πίνακας 4 - 4. Πρώτες ύλες παραγωγής βιοντήζελ

Βρώσιμα Έλαια	Μη Βρώσιμα Έλαια	Ζωικά Λίπη	Άλλες Πηγές
Καρύδα	Καστορέλαιο	Βόειο	Φύκη
Καλαμπόκι	Σπόρος βαμβακιού	Κοτόπουλο	Μαγειρικά έλαια
Σπόροι μουστάρδας	Jojoba	Ψάρι	Απορρυπαντικά
Ελιά	Λιναρόσπορος	Χοιρινό	
Φοίνικας	Polonga	Απόβλητα σολωμού	
Φιστίκι	Φυσικό καουτσούκ		
Σπόρος κολοκύθας	Σπόροι καπνού		
Ρύζι	Tung		
Σουσάμι			
Σόγια			
Ηλιέλαιο			
Σπόροι αγριοκράμβης			

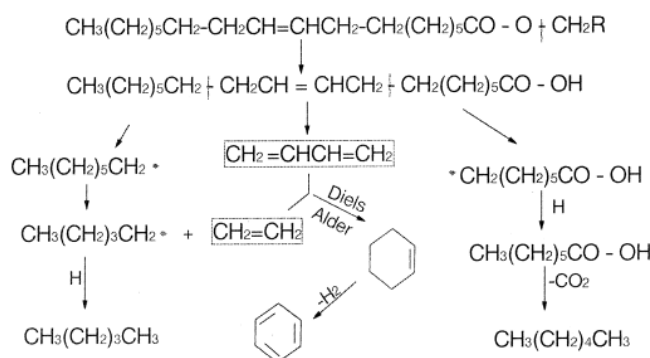
4.2.2 Μέθοδοι Παραγωγής

Το κινηματικό ιξώδες των φυτικών ελαίων κυμαίνεται περίπου 10 – 17 φορές πάνω από το ιξώδες του πετρελαϊκού ντήζελ. Η επιτυχής μετατροπή των λιπών και των ελαίων σε βιοντήζελ όχι μόνο θα μειώσει το κινηματικό ιξώδες αλλά επίσης θα βελτιώσει τις χημικές του ιδιότητες. Το βιοντήζελ το οποίο λαμβάνεται μετά το πέρας τη μετατροπής έχει φυσικοχημικές ιδιότητες παραπλήσιες με εκείνες του ντήζελ κίνησης και γι' αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε μια μηχανή χωρίς να απαιτούνται ειδικές μετατροπές. Τρεις είναι οι κυριότερες μέθοδοι παραγωγής βιοντήζελ:

Θερμική Πυρόλυση (Thermal Cracking)

Κατά τη διεργασία της πυρόλυσης πραγματοποιείται διάσπαση των μορίων του ελαίου σε υδρογονάνθρακες παρόμοιας σύστασης με το πετρελαϊκό καύσιμο. Η διεργασία περιλαμβάνει ένα στάδιο αποκαρβοξυλίωσης το οποίο πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 350 °C) παρουσία αδρανούς αερίου (αζώτου ή αργού), υψηλής πίεσης και εξειδικευμένου καταλύτη. Γενικά η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κατά κόρον για την επεξεργασία ζωικών λιπών και αποβλήτων μαγειρικών ελαίων. Τα προϊόντα της πυρόλυσης, εκτός από το κλάσμα υδρογονανθράκων περιλαμβάνουν και ένα αέριο κλάσμα (πτητικών) και ένα στερεό κλάσμα (στάχτη και άνθρακα) τα οποία πρέπει να διαχωριστούν πριν τη περαιτέρω επεξεργασία του βιοντήζελ. Ο καθορισμός των συνθηκών στον αντιδραστήρα της πυρόλυσης είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη σύσταση της πρώτης ύλης, τον καταλύτη καθώς και το επιθυμητό αποτέλεσμα

Η διεργασία θερμικής πυρόλυσης έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να τροποποιηθεί για χρήση σε βιομάζες χαμηλής ποιότητας (χαμηλής ενεργειακής αξίας). Ωστόσο αυτή η διεργασία ακολουθεί διαφορετικό μηχανισμό αντίδρασης και ο έλεγχος της εκλεκτικότητας ως προς το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα περίπλοκος. Η παρουσία του βασικού σκελετού της γλυκερόλης στα TAGs οδηγεί στο σχηματισμό ενδιάμεσων ενώσεων, όπως κετόνες, προπυλένιο, οξείδια του αιθυλενίου κ.α. τα οποία μπορούν να δράσουν ως μονομερή αντιδράσεων πολυμερισμού και για σχηματισμό περεταίρω αέριων παραπροϊόντων.⁷³



Σχήμα 4 - 6. Μηχανισμός θερμικής αποδόμησης TAGs.

Μικρογαλακτοματοποίηση (Microemulsification)

Τα μικρογαλακτώματα είναι διαυγή και θερμοδυναμικά σταθερά ισοτροπικά μίγματα τα οποία διαθέτουν τρεις φάσεις, την υδατική, το έλαιο (οργανική) και την επιφανειοδραστική. Η υδατική φάση μπορεί να περιέχει άλατα ή άλλα συστατικά, ενώ η οργανική διαθέτει μίγμα διαφόρων υδρογονανθράκων. Τα μικρογαλακτώματα υπάρχουν σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους: Winsor-Τύπος-1 (oil-in-water, O/W) όπου τα μικρογαλακτώματα διαλυτοποιούν το έλαιο σε σφαιρικά μικκύλια στη συνεχή φάση νερού ενώ ο Τύπος-2 (water-in-oil, W/O) όπου το νερό διαλυτοποιείται σε αντίστροφα μικκύλια τα οποία σχηματίζονται στην οργανική φάση. Ο Τύπος-3 (μεσαία φάση) εμφανίζει μικρογαλακτώματα με περίσσεια ελαίου και νερού σε ισορροπία και μια μικτή συνεχή φάση που περιέχει και τα δυο συστατικά. Η αύξηση της ποσότητας της επιφανειοδραστικής ουσίας αυξάνει τον όγκο της μεσαίας φάσης έως ότου το έλαιο και το νερό συνυπάρχουν σε μια μικροδιασπορά μιας φάσης Τύπου-4. Για την εν λόγω μέθοδο μπορούν να χρησιμοποιηθούν οργανικοί διαλύτες όπως η αιθανόλη και το εξάνιο καθώς και ιοντικά ή μη- ιοντικά επιφανειοδραστικά.

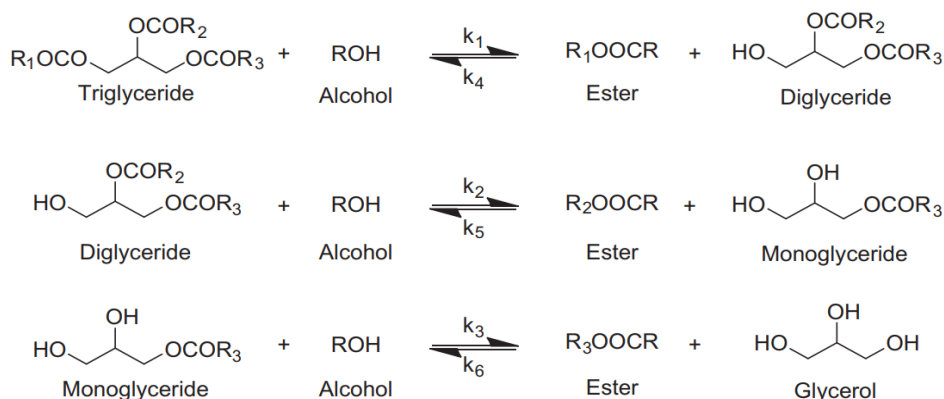
Στόχος της παραπάνω μεθόδου είναι η δημιουργία ενός σταθερού συστήματος από το οποίο να μπορεί να γίνει παραλαβή, ανά πάσα στιγμή, μεγάλης ποσότητας υδρογονανθράκων. Στη συνέχεια οι ενώσεις που παραλαμβάνονται καθαρίζονται και αναβαθμίζονται με διάφορες χημικές διεργασίες προς παραγωγή

βιοντίζελ υψηλής ποιότητας. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η ελάχιστη καταπόνηση της βιομάζας, καθώς και ο περιορισμός των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων.⁷⁴

Αλκοόλυση (Μετεστεροποίηση)

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για μετατροπή ελαίων σε βιοντίζελ. Οι καταλύτες που χρησιμοποιούνται μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ομογενείς και ετερογενείς, οι οποίοι χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες: όξινοι, βασικοί και όξινοι-βασικοί διλειτουργικοί καταλύτες. Πρόσφατα ερευνητές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην ανάπτυξη βιοκαταλυτών για τις συγκεκριμένες αντιδράσεις.

Η αντίδραση της αλκοόλυσης, επίσης γνωστή ως μετεστεροποίηση των TGA, πρόκειται για μια στοιχειομετρική αντίδραση όπου ένα μόριο TGA αντιδρά με τρία μόρια αλκοόλης προς παραγωγή τριών μορίων αλκυλεστέρων λιπαρών οξέων (FAAE – Fatty Acid Alkyl Ester) και ένα μόριο γλυκερόλης (Σχήμα 4 - 7). Αυτή η διεργασία αποτελείται από τρεις διαδοχικές αντιστρεπτές αντιδράσεις, όπου ένα τριγλυκερίδιο αντιδρά προς παραγωγή διγλυκεριδίου και έπειτα μονογλυκεριδίου, παράγοντας σε κάθε βήμα ένα μόριο – κλειδί για το βιοντίζελ. Λόγω της αντιστρεπτότητας της αντίδρασης, συνήθως απαιτείται περίσσεια αλκοόλης ώστε να μετατοπιστεί η ισορροπία προς την παραγωγή των επιθυμητών προϊόντων. Οι τύποι των αλκοολών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αντίδραση περιλαμβάνουν αλκοόλες μικρής αλυσίδας, μακρικής αλυσίδας καθώς και κυκλικές, ωστόσο χρησιμοποιούνται κυρίως μεθανόλη (FAME) ή αιθανόλη (FAEE) εξαιτίας της υπεροχής τους ως προς τη δραστηριότητα, πολικότητα, διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος.

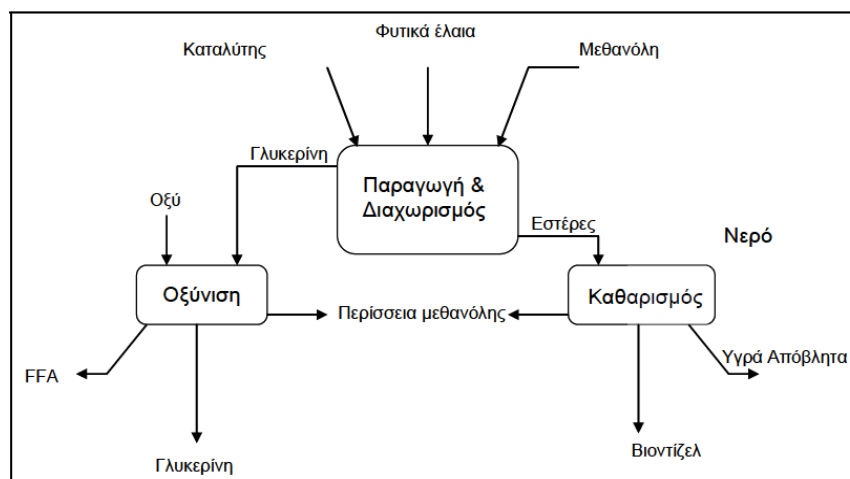


Σχήμα 4 - 7. Σταδιακή αντίδραση σχηματισμού βιοντίζελ (το R- είναι ένα μικρό αλκύλιο, τα R₁, R₂, R₃ είναι αλυσίδες λιπαρών οξέων, k₁-k₆ χημικοί ή ενζυματικοί καταλύτες.

Όπως και στις άλλες περιπτώσεις, η παραγωγή βιοντίζελ μέσω αλκοόλυσης αποτελεί μια διεργασία ισχυρά εξαρτημένη από τη φύση της βιομάζας. Οι αντιδράσεις που καταλύονται από βάσεις είναι ταχύτερες, ωστόσο η εφαρμογή βάσης περιορίζεται στις περιπτώσεις ελαίων υψηλής ποιότητας με αμελητέα ποσοστά FFA και νερού. Η παρουσία νερού ευνοεί την υδρόλυση των εστέρων προς σχηματισμό FFA, ενώ η εγγενής παρουσία υψηλού FFA ευνοεί τις αντιδράσεις σαπωνοποίησης με τις βάσεις, αδρανοποιώντας τον καταλύτη και οδηγώντας σε προϊόντα που υποβαθμίζουν την ποιότητα του βιοκαυσίμου. Η όξινη κατάλυση της αντίδρασης είναι σαφώς βραδύτερη (απαιτείται περίπου μια ημέρα για να ληφθούν συγκρίσιμες τιμές μετατροπής) ωστόσο επιτρέπει την αξιοποίηση λιπών και ελαίων με υψηλά ποσοστά FAA χωρίς να απαιτείται προκατεργασία.⁷⁵

Η πρώτη ύλη για την παραγωγή FAME βιοντίζελ είναι τα φυτικά σπορέλαια από διάφορες καλλιέργειες όπως ο ηλιόσπορος, το βαμβάκι, η ελαιοκράμβη, η σόγια, το καλαμπόκι, κτλ, καθώς και τα χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια. Η παραγωγή βιοντίζελ από φυτικά έλαια ακολουθεί την διεργασία που περιγράφεται στο Σχήμα.

Τα φυτικά έλαια έρχονται σε επαφή με περίσσεια μεθανόλης για την αντίδραση της μετεστεροποίησης παρουσία βασικού ή όξινου καταλύτη (ανάλογα με τη φύση του φυτικού ελαίου). Το παραγόμενο διφασικό μίγμα διαχωρίζεται. Οι παραγόμενοι εστέρες καθαρίζονται και συλλέγονται δίνοντας το προϊόν βιοντίζελ ενώ το παραπροϊόν γλυκερίνης καθαρίζεται και χρησιμοποιείται στην βιομηχανία φαρμάκων και καλλυντικών. Αξίζει να αναφερθεί ότι ένας τόνος λαδιού και 110 kg μεθανόλης παράγουν ένα τόνο biodiesel και 110 kg γλυκερίνης.



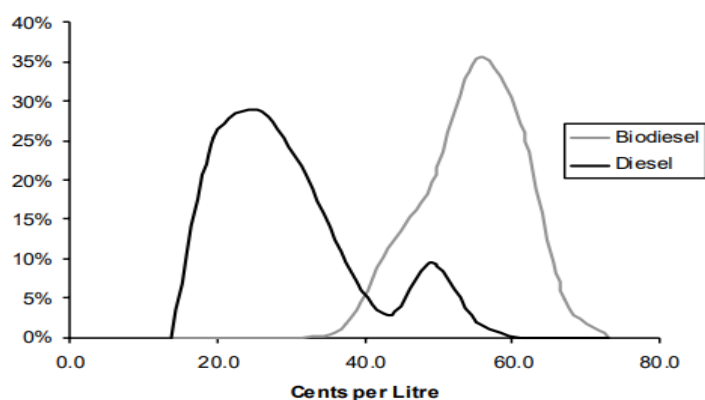
Σχήμα 4 - 8. Διεργασία παραγωγής βιοντίζελ FAME

4.2.3 Κόστος Παραγωγής

Οι κυριότερες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν το κόστος παραγωγής του βιοντίζελ συνοψίζονται παρακάτω:

- Πάγια κόστη και κόστη λειτουργίας της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων, των υπηρεσιών, των καταλυτών, της πρώτης ύλης, της αποθήκευσης των προϊόντων και των κτηρίων.
- Κόστη πρώτων υλών, δηλαδή λιπών, ελαίων και αλκοόλης (συνήθως μεθανόλη).
- Το παραπροϊόν της γλυκερόλης, το οποίο παρέχει μια δευτερεύουσα ροή στο βιοντίζελ η οποία απαιτεί πρόσθετα έξοδα για καθαρισμό της.
- Οι αποδόσεις και η ποσότητα του παραγόμενου βιοντίζελ και γλυκερόλης από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται.

Παρόλο που η τιμή πώλησης του ντίζελ κίνησης δεν μπορεί να αποτελέσει απόλυτη βάση σύγκρισης (λόγω διαφορετικού κόστους παραγωγής), αποτελεί τη βάση με την οποία το κόστος του βιοντίζελ θα πρέπει να συγκρίνεται. Από την οπτική του παραγωγού βιοντίζελ, η τιμή που θα πωληθεί το ντίζελ πρέπει να είναι ανάλογη – αν όχι ίδια – με την τιμή πώλησης του ντίζελ, γεγονός που καθορίζει τα περιθώρια κέρδους της βιομηχανίας.

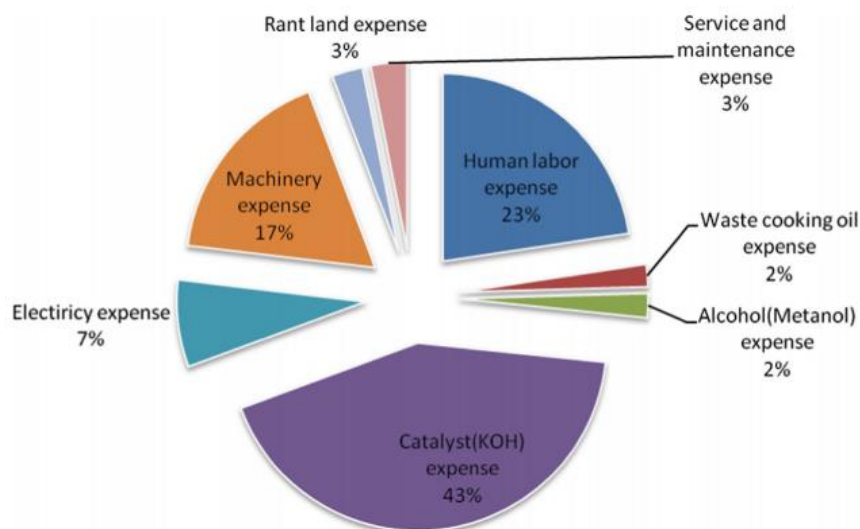


Σχήμα 4 - 9. Καθαρό κόστος παραγωγής βιοντίζελ θεωρώντας σταθερές τιμές πρώτων υλών/προϊόντων σε όλη τη διάρκεια ζωής της βιομηχανίας

Παρατηρώντας το κόστος της παραγωγής βιοντίζελ εξαρχής φαίνεται πως είναι δύσκολο να τυποποιηθεί εξαιτίας του διαφορετικού κόστους που μπορεί να έχουν οι πρώτες ύλες, κυρίως οι βιολογικές. Επίσης η τιμή του συμβατικού ντίζελ παρουσιάζει συχνά διακυμάνσεις ως άμεση εξάρτηση από την τιμή του αργού πετρελαίου, θέτοντας αβέβαιους στόχους για το κόστος παραγωγής βιοντίζελ.⁷⁶

Φαίνεται λοιπόν πως για την πρόβλεψη του κόστους παραγωγής και της τιμής πώλησης του βιοντίζελ θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάλυση κινδύνου (risk analysis). Υποθέτοντας σταθερές τιμές πρώτων

υλών/προϊόντων (Σχήμα 4 - 9) φαίνεται πως τα διαγράμματα κατανομής κόστους παρουσιάζουν ένα σημείο διχοτόμησης. Το σημείο αυτό σηματοδοτεί τις περιπτώσεις στις οποίες το κόστος παραγωγής του βιοντήζελ είναι μικρότερο από αυτό του ντήζελ, το οποίο αποτελεί λιγότερο του 5% των περιπτώσεων.



Σχήμα 4 - 10. Κατανομή εξόδων κατά τη διεργασία παραγωγής βιοντήζελ.⁷⁷

4.2.4 Σύγκριση με Συμβατικό Ντήζελ: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Το βιοντήζελ διαθέτει κάποια πλεονεκτήματα έναντι του πετρελαϊκού ντήζελ για εφαρμογή ως καύσιμο τα οποία το καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικό ως προς τη χρήση. Καταρχάς η παραγωγή βιοντήζελ μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 80 % και περίπου 100 % σε σχέση με την παραγωγή του συμβατικού. Η καύση του βιοντήζελ προκαλεί μείωση μη-καμένων υδρογονανθράκων και αρωματικών υδρογονανθράκων. Το βιοντήζελ δεν περιέχει θείο, αρωματικούς υδρογονάνθρακες και μέταλλα. Η απουσία θείου, συμβάλλει στην μείωση σχηματισμού όξινης βροχής από εκπομπές που παράγουν θειικό οξύ στην ατμόσφαιρα. Επίσης, η μικρότερη συγκέντρωση θείου, στα μίγματα βιοντήζελ-ντήζελ, μειώνει το μέγεθος της διάβρωσης λόγω συσσώρευσης θειικού οξέος στο στροφαλοθάλαμο με το πέρασμα του χρόνου. Η απουσία τοξικών και καρκινογόνων αρωματικών (βενζόλιο, τολουόλιο και ξυλόλιο) στο βιοντήζελ, καθιστά τις εκπομπές αυτού του καυσίμου λιγότερο επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Επίσης στην πλειονότητα των εφαρμογών του μπορεί να αντικαταστήσει το ντήζελ με ελάχιστες ή καμία μετατροπή στη μηχανή καύσης, όπως επίσης και στα συστήματα διανομής και αποθήκευσης. Ο αριθμός κετανίου του βιοντήζελ είναι σημαντικά υψηλότερος από το πετρελαϊκό καύσιμο, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει επαρκή λίπανση στις μηχανές χωρίς να απαιτείται η χρήση κοστοβόρων και τοξικών προσθέτων. Επιπλέον σχετικά με την παραγωγή του βιοντήζελ υπάρχουν οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, όπως π.χ. η επιλογή καταλύτη – το βιοντήζελ παράγεται παρουσία NaOH ή KOH τα οποία είναι οικονομικά, και φυσικά εξουδετερώνοντας το υγρό με φωσφορικό οξύ μπορεί να παραχθεί υψηλής ποιότητας λίπασμα το οποίο θα πωληθεί σε γεωργούς. Ακόμη ένα περιβαλλοντικό πλεονέκτημα της παραγωγής βιοντήζελ είναι πως μπορεί να παρασκευαστεί σε υψηλές αποδόσεις σε θερμοκρασίες 35 – 60 °C και ατμοσφαιρική πίεση, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τις ενεργειακές απαιτήσεις της βιομηχανίας.

Υπάρχουν διάφορες προτάσεις για υποκατάστατα του συμβατικού ντήζελ. Ο Πίνακας 4 - 5 δείχνει την υπεροχή του βιοντήζελ έναντι των συνηθέστερων υποκατάστατων καυσίμων. Η αριθμηση στον πίνακα αναφέρεται σε αδιάστατη κλίμακα όπου το 10 συμβολίζει την καλύτερη και το 0 τη χειρότερη περίπτωση, συγκεκριμένα γίνεται σύγκριση του βιοντήζελ με το συμβατικό ντήζελ, μεθανόλη, αιθανόλη, συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) και υγραέριο (LNG).

Πίνακας 4 - 5. Σύγκριση Βιοντήζελ με ντήζελ και άλλα υποκατάστατα καυσίμων. (Πηγή: Chemical weekly March 18, 2003)

	Diesel	CNG	LNG	Methanol	Ethanol	Biodiesel
Κόστος Παραγωγής	10	5	5	5	5	10

Απαιτήσεις Υποδομών	10	2	5	5	5	10
Ασφάλεια	7	4	3	1	3	8
Εύρος Λειτουργίας Καυσίμου	10	5	10	10	10	10
Κόστος Λειτουργίας	10	5	7	5	5	7
Αξιοπιστία	10	7	5	3	3	10
Αποδοχή από Πελάτες	5	8	8	8	9	8
Βοήθεια Χρηματοδότησης	1	10	2	8	8	9
Κόστος Εκπαίδευσης Προσωπικού	10	5	5	5	5	10
Διαθεσιμότητα Καυσίμου	10	10	5	5	8	6
Ποιότητα Καυσίμου	9	5	10	8	8	9
Σταθερότητα Τιμής Καυσίμου	6	8	8	6	6	6
Σύνολο	98	74	73	61	66	96

Ωστόσο, το βιοντήζελ σε καμία περίπτωση δε μπορεί να θεωρηθεί ως το ιδανικό καύσιμο του μέλλοντος καθώς υπάρχει πλήθος μειονεκτημάτων σχετικά με την παραγωγή και τη χρήση του. Ένα βασικό μειονέκτημα, όπως σε όλα τα βιοκαύσιμα, είναι το γεγονός πως η απόδοση και τα χαρακτηριστικά του βιοντήζελ εξαρτώνται άμεσα από τη σύσταση της πρώτης ύλης και μπορεί να εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις ανά περίπτωση. Επίσης το βιοντήζελ έχει εξαιρετικές ιδιότητες ως διαλύτης, με κίνδυνο να συμπαράσφρει αποθέσεις από τις επιφάνειες των αντιδραστήρων ή των σωληνώσεων νοθεύοντας την ποιότητά του με ανεπιθύμητες ή τοξικές ενώσεις (π.χ. θειούχα παράγωγα). Ακόμη ένα μειονέκτημα της διαλυτικής του ικανότητας είναι πως καύσιμα με υψηλές μίξεις σε βιοντήζελ εμφανίζουν σε σύντομο χρονικό διάστημα φθορές στα ελαστικά τμήματα των μηχανών καύσης. Επίσης η καύση του βιοντήζελ παράγει μεγάλες ποσότητες NOx και μεθανίου, τα οποία είναι πολύ πιο επικίνδυνα από το διοξείδιο του άνθρακα για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το βασικότερο μειονέκτημα του βιοντήζελ είναι το αυξημένο κόστος της τιμής του, η οποία είναι 1.5 με 2 φορές υψηλότερη από το συμβατικό ντήζελ ανάλογα με τον τύπο της πρώτης ύλης και το μέγεθος της βιομηχανίας.⁷⁸

4.3 Βιοαιθανόλη

Η βιοαιθανόλη παράγεται με τη μέθοδο της ενζυματικής υδρόλυσης. Για την παραγωγή βιοαιθανόλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν αγροτικά προϊόντα που περιέχουν σάκχαρα όπως ζαχαρότευτλο, ζαχαροκάλαμο, γλυκό σόργο, μελάσα κ.α., καθώς και άμυλο όπως δημητριακά, καλαμπόκι, πατάτα κτλ, ή κυτταρινικό υλικό (ξύλεια, υπολείμματα χαρτοβιομηχανίας). Κατά την ενζυματική υδρόλυση η βιομάζα υφίσταται την διεργασία της υδρόλυσης κατά την οποία τα μεγάλα μόρια αμύλου και σακχαρόζης διασπώνται σε μικρότερα μόρια σακχάρων, τα οποία μπορούν να ζυμωθούν και να μετατραπούν σε αιθανόλη. Η μαγιά περιέχει το ένζυμο invertase που δρα ως καταλύτης και βοηθά στην μετατροπή σακχάρων σε γλυκόζη και φρουκτόζη.

Η ζύμωση μορίων της ζάχαρης (φρουκτόζη και γλυκόζη) συντελεί στη παραγωγή αιθανόλης, μία μέθοδος πολύ διαδεδομένη στη βιομηχανία τροφίμων. Κατά τη ζύμωση, οι σακχαρομύκητες συντελούν στο μεταβολισμό της ζάχαρης απουσία οξυγόνου προς αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η φύση της βιομάζας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση της διεργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, για την παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιείται βιομάζα πλούσια σε άμυλο και σάκχαρα αλλά και λιγνοκυτταρινική βιομάζα. Γενικότερα το κυτταρινικό και ημικυτταρινικό υλικό μπορεί με τη χρήση κατάλληλων ενζύμων να μετατραπεί ως ένα μεγάλο ποσοστό σε βιοαιθανόλη. Ωστόσο η λιγνίνη δεν μπορεί να διασπαστεί και να δώσει βιοαιθανόλη. Στον Πίνακα παραθέτονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μερικών τύπων βιομάζας και συγκεκριμένα η περιεκτικότητά τους σε υδρογονάνθρακες (κυτταρινικό υλικό) και μη-υδρογονάνθρακες. Όπως φαίνεται από τον πίνακα, το άχυρο ρυζιού έχει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε μη-υδρογονάνθρακες ενώ το μαλακό ξύλο τη μεγαλύτερη. Ωστόσο το μαλακό ξύλο έχει την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε γλυκόζη που μετατρέπεται πολύ εύκολα σε αιθανόλη. Ανάλογα με τα ένζυμα (εκλεκτικότητα και απόδοση) που θα χρησιμοποιηθούν μπορούν διάφοροι τύποι βιομάζας να αποφέρουν μεγάλες αποδόσεις για παραγωγή βιοαιθανόλης.⁷⁹

Πίνακας 4 - 6. Περιεκτικότητα υδρογονανθράκων σε διάφορους τύπους βιομάζας

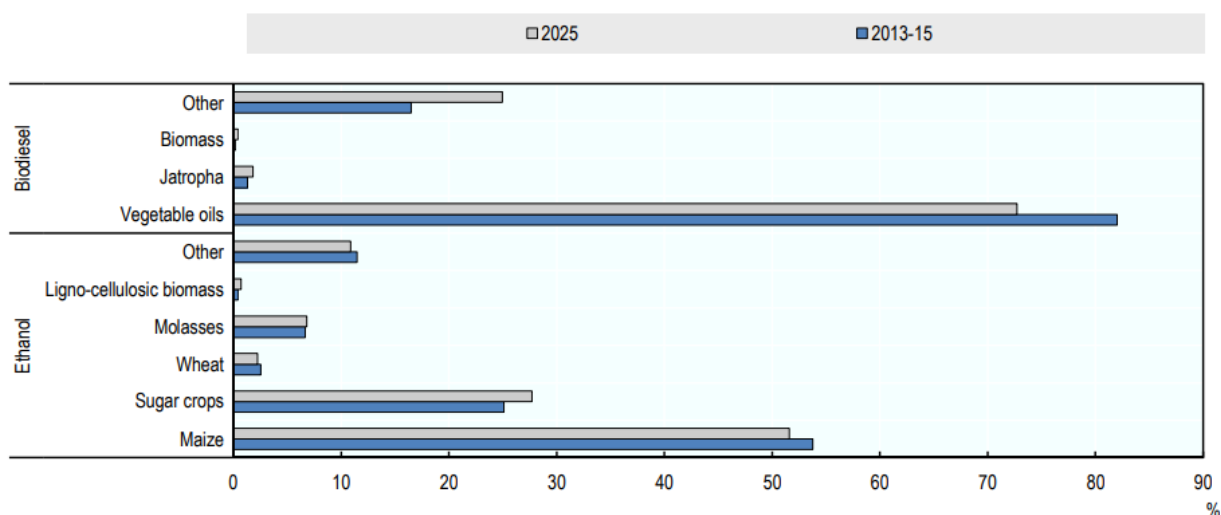
	<u>Υδρογονάνθρακες (% ισοδύναμο ζάχαρης)</u>					<u>Μη-υδρογονάνθρακες</u>	
	<u>Γλυκόζη</u>	<u>Μαννόζη</u>	<u>Γαλακτόζη</u>	<u>Ξυλόζη</u>	<u>Αραμπινόζη</u>	<u>Λιγνίνη</u>	<u>Στάχτη</u>
Σπάδικας Καλαμποκιού	39.0	0.3	0.8	14.8	3.2	15.1	4.3
Άχυρο σιταριού	36.6	0.8	2.4	19.2	2.4	14.5	9.6
Άχυρο ρυζιού	41.0	1.8	0.4	14.8	4.5	9.9	12.4
Τσόφλια ρυζιού	36.1	3.0	0.1	14.0	2.6	19.4	20.1
Υπολείμματα εκχύλισης σακχάρων	38.1	-	1.1	23.3	2.5	18.4	2.8
Σκληρό ξύλο	40.0	8.0	-	13.0	2.0	20.0	1.0
Μαλακό ξύλο	50.0	12.0	1.3	3.4	1.1	28.3	0.2

Η έρευνα σήμερα στρέφεται στην εξεύρεση ενζύμων που θα μετατρέπουν όλο και μεγαλύτερα ποσοστά της βιομάζας σε βιοαιθανόλη, ακόμα και τη λιγνίνη. Στο μέλλον η παραγωγή βιοαιθανόλης θα αυξηθεί δραστικά λόγω της αναμενόμενης αυτής εξέλιξης στον τομέα της βιοτεχνολογίας.

4.4 Τάσεις της Παγκόσμια Αγοράς

Ήδη από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, η ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς βιοκαυσίμων προωθούταν από πολιτικές οι οποίες ευνοούσαν την παραγωγή και τη χρήση τους. Σε αυτό το κλίμα, η ΕΕ ανανεώνει συνεχώς τις οδηγίες της σχετικά με την αύξηση του χρησιμοποιούμενου ποσοστού βιοκαυσίμων, κυρίως για τις μεταφορές, αλλά και για άλλες εφαρμογές.

Η τιμή του βιοντήζελ παγκοσμίως αναμένεται να αυξηθεί περί 22 % μέσα στην περίοδο 2018 – 2025, αντικατοπτρίζοντας εν μέρει την εξέλιξη των τιμών των φυτικών ελαίων. Οι παγκόσμιες απαιτήσεις για βιοντήζελ θα πρέπει να καθοδηγούνται κυρίως από διεθνείς νομοθεσίες και όχι βάσει της οικονομικότερης ή ευκολότερης επιλογής. Το εμπόριο βιοντήζελ αναμένεται να συμβαίνει κατά κόρον μεταξύ ΗΠΑ και Αργεντινής εξαιτίας του πλήθους φυσικών πόρων που διαθέτουν, καθώς και των αυξημένων εθνικών νομοθεσιών σχετικά με τα βιοκαύσιμα.

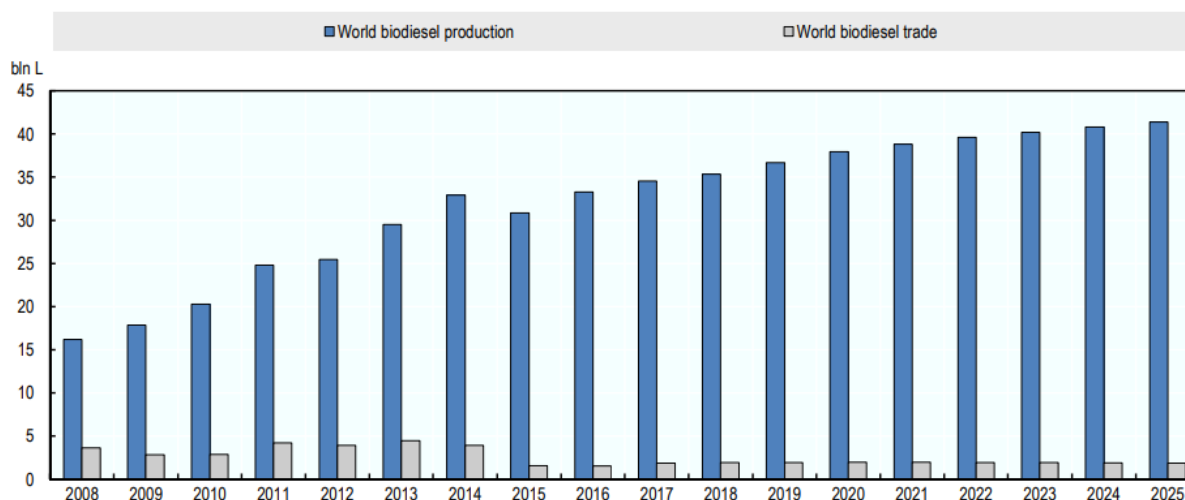


Σχήμα 4 - 11. Ποσοστό βιολογικών πρώτων υλών για χρήση σε παραγωγή βιοκαυσίμων. Πηγή: OECD/FAO (2016), “OECD-FAO Agricultural Outlook”, OECD Agriculture statistics (database)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 - 11, αναμένεται πως μελλοντικά τα βιολογικά έλαια θα παραμείνουν η προτιμότερη πηγή παραγωγής βιοντήζελ παγκοσμίως. Ωστόσο αναμένεται πως η παραγωγή βασισμένη σε μη-γεωργική βιομάζα και ειδικά τα απόβλητα ελαίων και λιπών θα αναπτυχθεί ιδιαίτερα στην ΕΕ και τις ΗΠΑ. Δεδομένης όμως της έλλειψης αποδοτικής τεχνολογίας την τρέχουσα χρονική περίοδο, δεν μπορεί να

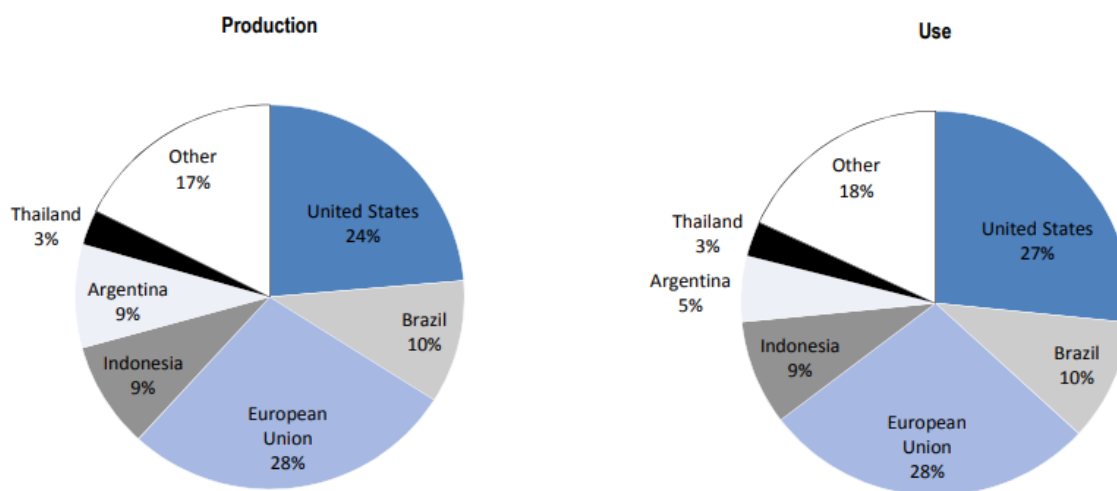
πραγματοποιηθεί πρόβλεψη για αυτή την εξέλιξη. Αναμένεται πως μέχρι το 2025 η παραγωγή βιοκαυσίμων θα καταναλώνει συνολικά το 10 % και το 12 % της παγκόσμιας παραγωγής σιτηρών και φυτικών ελαίων.

Η παγκόσμια παραγωγή βιοντήζελ αναμένεται να αγγίξει τα 41 δις. L μέχρι το 2025, αντιστοιχώντας σε ένα 33 % της αύξησης σε σύγκριση με το 2015. Η ΕΕ αναμένεται να είναι ο κύριος παραγωγός βιοντήζελ, ενώ άλλοι σημαντικοί διακινητές θα είναι οι ΗΠΑ, Βραζιλία, Αργεντινή και Ινδονησία. Η πολιτική και όχι η παγκόσμια ανάγκη θα συνεχίσει να αποτελεί την ωθούσα δύναμη της παραγωγής και χρήσης αυτών των καυσίμων έναντι των συμβατικών.⁸⁰



Σχήμα 4 - 12. Παγκόσμια παραγωγή και εμπόριο βιοντήζελ. Πηγή: OECD/FAO (2016), “OECD-FAO Agricultural Outlook”, OECD Agriculture statistics (database)

Στην ΕΕ, η παραγωγή βιοντήζελ αναμένεται να αγγίξει το μέγιστο το 2020, όπου θα ολοκληρωθούν οι απαιτήσεις της οδηγίας RED., με παραγωγή 12.5 δις. L. Περίπου τα δύο τρίτα της παραγωγής θα προέρχονται από απόβλητα ελαίων και λιπών. Η Βραζιλία αναμένεται να διατηρήσει την τρίτη θέση στην κατάταξη των παραγωγών βιοντήζελ. Οι απαιτήσεις εισαγωγής από τις ΗΠΑ, οι οποίες προέρχονται κυρίως από την Ανατολική Ακτή, θα συμβάλλουν στην αύξηση περίπου κατά 50 % της παραγωγής βιοντήζελ στην Αργεντινή κατά την περίοδο που μελετάται.



Σχήμα 4 - 13. Αναμενόμενη παραγωγή και χρήση βιοντήζελ ανά χώρα το 2025. Πηγή: OECD/FAO (2016), “OECD-FAO Agricultural Outlook”, OECD Agriculture statistics (database)

Ωστόσο μέχρι το 2025 αναμένεται πως η χρήση βιοντήζελ στην ΕΕ θα έχει μειωθεί στα 12 δις L, λόγω της παγκόσμιας τάσης που επικρατεί για στροφή προς άλλες μορφές ενέργειας. Το γεγονός αυτό εγείρει το σημαντικό ερώτημα, κατά πόσο θα συνεχίσει να αποτελεί ανταγωνιστική βιομηχανία η παραγωγή βιοκαυσίμων – και ειδικά βιοντήζελ – αν σταματήσουν οι παγκόσμιες ευνοϊκές πολιτικές. Η απάντηση σε

αυτό το ερώτημα δε μπορεί να δοθεί άμεσα, φαίνεται όμως πως η επένδυση σε μια τέτοια βιομηχανία είναι σχετικά αβέβαια και αποτελεί ένα ρίσκο για τα μελλοντικά κέρδη.

4.5 Βιοκαύσιμα στη ναυτιλία

Η συνεχής αύξηση των διεθνών μεταφορών μέσω θαλάσσιων οδών έχει αυξήσει την παγκόσμια κατανάλωση ναυτικών καυσίμων. Υπολογίζεται πως 10 – 20 % της παγκόσμιας παραγωγής καυσίμων πετρελαϊκής προέλευσης καταναλώνονται στον τομέα της ναυτιλίας. Συνεπώς οι ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων από πλοία είναι αρκετά υψηλές για να αγνοηθούν, καθώς ευθύνονται για 4 – 9 %, 14 – 31 % και 3 – 6 % των παγκόσμιων εκπομπών οξειδίων του θείου, του αζώτου καθώς και διοξειδίου του άνθρακα αντίστοιχα.⁸¹ Η χρήση του βιοντίζελ είτε ως πρόσθετο είτε ως αυτόνομο καύσιμο για τη ναυτιλία, αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική.

Ωστόσο η εμπειρία από την χρήση αλλά και το εύρος των εφαρμογών τους στην ναυτιλία είναι ακόμη ελάχιστα. Διάφορες αξιολογήσεις για την πιθανότητα χρήσης βιοκαυσίμων στη ναυτιλία δίνονται στη βιβλιογραφία.⁸² Η ναυτιλία πρέπει να αρχίσει να προετοιμάζεται για μια παγκόσμια στροφή προς τα βιοκαύσιμα, παρά τα αυξανόμενα επικριτικά σχόλια που θέτουν ερωτηματικά στο κατά πόσο συντελούν στην προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τον Liouyd's, το πιο μεγάλο εμπόδιο είναι η απουσία ενός θεσμοθετημένου πλαισίου διανομής αναφορικά ιδίως με την αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα πλοίων εφοδιασμού. Επίσης, σημαντική είναι και η απουσία ενός προτύπου, το οποίο να καλύπτει ζητήματα διασφάλισης ποιότητας για τα νέα οικολογικά καύσιμα.

Η αύξηση στη ζήτηση φορτίων βιοκαυσίμων θα ήταν ικανή να απαιτήσει την ναυπήγηση επιπρόσθετων 400 φορτηγών πλοίων με ωφέλιμο φορτίο 35,000 τόνους έως το 2030. Οι επιπτώσεις από την παραγωγή και διάθεση βιοκαυσίμων στην αγορά είναι ιδιαίτερα σημαντικές με τη ναυτιλία να βρίσκεται στο κέντρο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη για νέα καινοτόμα σχέδια σχετικά με τη ναυπήγηση πετρελαιοφόρων, τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα να μετατραπούν σε πλοία κατάλληλα για την παγκόσμια μεταφορά και διάθεση οικολογικών καυσίμων στο εγγύς ή απώτερο μέλλον.

Τα Βιοκαύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον κλάδο είναι για παράδειγμα βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, βιομεθάνιο, SVO (straight vegetable oil), Διμεθυλαιθέρας (DME), έλαιο πυρόλυσης (pyrolysis oil), υδρογονωμένα φυτικά έλαια HVO (hydrogenated vegetable oil) ή κάποια άλλη παραλλαγή αυτών. Οποιαδήποτε μορφή βιοκαυσίμου χρησιμοποιηθεί, η εφαρμογή θα είναι της μορφής drop-in καυσίμων (π.χ. απευθείας αντικατάσταση υπαρχόντων συμβατικών ορυκτών καυσίμων, υπάρχουσας υποδομής και κινητήρων) ή μέσω νέων ή επανασχεδιασμένων συστημάτων και υποδομών.

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση οργανικών υλικών. Μπορεί να καθαριστεί με αφαίρεση των ακαθαρσιών όπως υγρασία, υδρόθειο και διοξείδιο του άνθρακα, για να σχηματιστεί το βιομεθάνιο που έχει την ίδια ποιότητα με το φυσικό αέριο. Όπως και το φυσικό αέριο, το βιομεθάνιο μπορεί να υγροποιηθεί για να σχηματίσει υγρό βιομεθάνιο (LBM) και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφοράς. Ο κλάδος της ναυτιλίας δείχνει μια προτίμηση στο υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) σαν μεταβατικό καύσιμο προς ένα χαμηλού άνθρακα/χαμηλών εκπομπών ρύπων μέλλοντος και ενός κατάλληλου δικτύου ανεφοδιασμού που εξελίσσεται ραγδαία σε καθιερωμένες διαδρομές μεταφοράς. Η πιθανότητα του τομέα της ναυτιλίας, να υιοθετήσει το LBM σαν την κύρια επιλογή ανανεώσιμου καυσίμου είναι υψηλή.

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοντίζελ, είναι ελαφρά χαμηλότερο από αυτό του συμβατικού ντίζελ - λόγω της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο σε ποσοστό 11% - με αποτέλεσμα η καύση του να οδηγεί σε μείωση της ροπής και της ισχύος του κινητήρα κατά ένα μικρό μόνο ποσοστό της τάξεως του 5% μόνο. Αυτή η μικρή απώλεια αντισταθμίζεται από τις αρκετά καλές λιπαντικές ικανότητες του βιοντίζελ και από τον υψηλό αριθμό κετανίων, χαρακτηριστικά τα οποία συντελούν σε αποδοτικότερη καύση κατά 7%. Η περιεκτικότητα σε στοιχεία επιβλαβή τόσο για την ατμόσφαιρα όσο και την ανθρώπινη υγεία, όπως ο άνθρακας και το θείο, είναι σημαντικά πιο περιορισμένη στο βιοντίζελ συγκριτικά με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα.

Επίσης η πυκνότητα του βιοντίζελ βρίσκεται στα ίδια περίπου επίπεδα με τα συμβατικά καύσιμα, που σημαίνει παρόμοιους χώρους αποθήκευσης και δυνατότητα αποθήκευσης της ίδιας περιόδου ποσότητας καυσίμου.

Πίνακας 4 - 7. Ιδιότητες συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων MDO, IFO180/380 και B100 (καθαρό βιοντίζελ)

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	MDO	IFO180	IFO380	B100
Πυκνότητα (15 °C) kg/m ³	900	991	1010	900
Κινηματικό Ιξώδες (15 °C) mm ² /s	11	180	380	3,5-5,0 (40 °C)
Σημείο Ανάφλεξης (°C)	60	60	60	>101
Σημείο Ροής (°C)	0/6	30/30	30/30	-9 έως 15
Σημείο Θόλωσης (°C)	-	-	-	0 έως 17
CFPP (°C)	-	22	22	0/-10
Θείο % (m/m)	2,00	4,5	4,5	1,2
Νερό % (v/v)	0,3	0,5	0,5	0,03
Τέφρα % (m/m)	0,01-0,05	0,15	0,15	0,02
Υπολείμματα άνθρακα % (m/m)	0,3-2,5	20	22	0,3
Αριθμός Κετανίου	40	-	-	>51

4.5.1 Ερευνητική Δραστηριότητα

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε συνοπτικά διάφορες ενέργειες που έλαβαν χώρα και σκοπός τους δεν ήταν άλλος από την εξέταση της συμβατότητας των βιοκαυσίμων με τις μηχανές των πλοίων και των σκαφών και η προώθηση τελικώς των βιοκαυσίμων ως εναλλακτική επιλογή αντί της χρήσης συμβατικών ορυκτών καυσίμων.

Great Lakes Biodiesel Market Development Program

Το 1998 ξεκίνησε μια μελέτη η οποία εστίαζε στην χρήση του βιοντίζελ ως καύσιμο για τα ιδιωτικά σκάφη αναψυχής της περιοχής. Το βιοντίζελ που χρησιμοποιήθηκε προέρχονταν από σπόρους σόγιας, ενώ παράλληλα εξετάστηκε και η δημιουργία ενός αποτελεσματικού δικτύου εφοδιασμού. Η έρευνα κατέληξε σε πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα, καθώς τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα μπορούσαν εύκολα να αντικατασταθούν από βιοντίζελ, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα όσο αφορά τους κινητήρες και τη λειτουργία τους.

Great Lakes Environmental Research Laboratory (GLERL)

Το εργαστήριο GLERL ξεκίνησε το 1998 ένα πρόγραμμα, μέρος τη έρευνάς τους πάνω στις πιθανές βελτιώσεις στον ναυτιλιακό τομέα, το οποίο περιελάμβανε την ανάλογη μετατροπή των ερευνητικών τους σκαφών έτσι ώστε να λειτουργούν με βιοντίζελ. Το πρόγραμμα έκανε χρήση βιοντίζελ προερχόμενο από σόγια και στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία. Μάλιστα ένα από τα ενταγμένα στο πρόγραμμα ερευνητικά σκάφη του εργαστηρίου, το R/VHuronExplorer, βραβεύτηκε από το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας (DOE) ως το πρώτο Αμερικανικό σκάφος με κινητήρα εσωτερικής καύσης το οποίο λειτουργούσε εντελώς απαλλαγμένο από προϊόντα πετρελαίου.

Great Lakes Maritime Research Institute

Το 2006 το ινστιτούτο των Μεγάλων Λιμνών, μεταξύ των Η.Π.Α. και του Καναδά, ξεκίνησε ένα πρόγραμμα με σκοπό τον καθορισμό της τεχνολογικής και οικονομικής βιωσιμότητας της χρήσης βιοντίζελ σε θαλάσσια σκάφη. Και σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε βιοντίζελ προερχόμενο από σόγια.

Από τεχνικής άποψης παρατηρήθηκαν κάποια προβλήματα, τα οποία όμως ήταν εύκολα αντιμετωπίσιμα. Τα προβλήματα αυτά όφειλαν την εμφάνισή τους στην συμπεριφορά του βιοντίζελ ως διαλυτικού μέσου, το οποίο

τείνει να μεταλλάξει και υποβαθμίζει συγκεκριμένα εξαρτήματα του κινητήρα από καουτσούκ. Η χρήση τέτοιων εξαρτημάτων παρατηρείται κυρίως σε παλιότερους κινητήρες ντίζελ, η αστοχία όμως μπορεί να αντιμετωπιστεί με την απλή αντικατάσταση αυτών των εξαρτημάτων με νέα, συνθετικής φύσης και ανθεκτικά στο βιοντίζελ. Ένα ακόμα τεχνικής φύσης πρόβλημα που παρατηρήθηκε, είναι το πιθανό φράξιμο των φίλτρων καυσίμου του κινητήρα. Αυτό μπορεί να συμβεί, όπως θα αναφερθεί και στην συνέχεια, λόγω της ικανότητας του βιοντίζελ να διαλύει τα υπολείμματα του πετρελαίου που κατακάθονται στα τοιχώματα του συστήματος εφοδιασμού καυσίμου, με αποτέλεσμα να καταλήγουν τελικά στα φίλτρα. Ο έλεγχος και ο καθαρισμός των φίλτρων καυσίμου επιλύει αυτό το πρόβλημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόμοιο πρόβλημα δεν παρατηρείται με την χρήση μιγμάτων βιοντίζελ-ντίζελ με περιεκτικότητα μικρότερη ή ίση του B20.⁸³

Annis Water Research Institute

Στον ίδιο τομέα ένα ακόμα ερευνητικό πρόγραμμα έλαβε χώρα μέσα από την συνεργασία του Πανεπιστημίου του GrandValley και του ερευνητικού κέντρου AnnisWater, που δραστηριοποιείται στους κόλπους του πανεπιστημίου. Στόχος της ενέργειας ήταν η εξακρίβωση της συμβατότητας του βιοντίζελ στους κινητήρες δύο ερευνητικών σκαφών στην λίμνη Μίσιγκαν, ενώ τα κίνητρα για την διεξαγωγή της έρευνας ήταν ο περιορισμός τόσο της περιβαλλοντικής όσο και της ανθρώπινης επιβάρυνσης από τα καυσαέρια των ντίζελοκίνητων σκαφών. Και αυτή η έρευνα συνηγορούσε με αυτές που προαναφέρθηκαν και κατέληγε στο συμπέρασμα ότι το βιοντίζελ είναι μια καλή εναλλακτική λύση, η οποία οδηγεί σε αμελητέα μόνο προβλήματα στους κινητήρες των πλοίων.

Biomex Canada

Το πρόγραμμα BioMex προέκυψε ύστερα από την συνεργασία επτά φορέων μεταξύ των οποίων τέσσερις εταιρείες οι οποίες δραστηριοποιούνται στον τομέα της κρουαζιέρας και της ξενάγησης και μια εταιρεία η οποία δραστηριοποιείται στην παραγωγή βιοντίζελ (Rothsay). Το πρόγραμμα ξεκίνησε στα μέσα Μαΐου του 2004 και διήρκησε έξι μήνες έως τα μέσα Οκτωβρίου του ίδιου χρόνου. Οι στόχοι της έρευνας ήταν η εξέταση της χρήσης καθαρού βιοντίζελ (B100) σε πλοία ξενάγησης διαφόρων μεγεθών, η αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας και των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την χρήση βιοντίζελ σε διάφορες λειτουργικές διαδικασίες της ναυτιλιακής βιομηχανίας και τέλος η μέτρηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από την χρήση βιοντίζελ σαν καύσιμο.⁸⁴

Το βιοντίζελ που χρησιμοποιήθηκε προέρχονταν από απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων και τηγανέλαια, δηλαδή χαμηλής σχετικά ποιότητας αλλά ιδιαίτερα οικονομικό. Παρακάτω στον Πίνακα 4 - 8 παρουσιάζουμε κάποια από τα αποτελέσματα της έρευνας ύστερα από την χρήση διαφόρων τύπων βιοντίζελ όπως B5, B20 και B100.

Πίνακας 4 - 8. Σύγκριση απόδοσης βιοντίζελ σε ανάμιξη με συμβατικό καύσιμο (B5, B20) και καθαρού βιοντίζελ (B100)

	Διαφορά Ενεργειακού Περιεχομένου	Διαφορά σε Απόδοση Μηχανής	Διαφορά στην Κατανάλωση
B5	-0,3%	+2,3%	-1,8%
B20	-1,4%	+2,3%	-0,8%
B100	-7,2%	+3,3%	+3,3%

4.5.2 Εφαρμογές

Παρόλο που το μερίδιο των βιοκαυσίμων στην κατανομή των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία είναι μικρό και κατά πάσα πιθανότητα θα παραμείνει έτσι βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, ο ρόλος που θα διαδραματίσουν μακροπρόθεσμα θα είναι ουσιαστικότερος. Η γνώση για την τεχνολογία παραγωγής προηγμένων (δεύτερης και τρίτης γενιάς) βιοκαυσίμων αυξάνεται, καθιστώντας αυτά τα καύσιμα την πιο βιώσιμη επιλογή ανανεώσιμης ενέργειας με τον υψηλότερο δείκτη διεσδυτικότητας για τον κλάδο της ναυτιλίας, μακροπρόθεσμα. Αυτή η υψηλή δυναμική θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα ανανεώσιμων καλλιεργειών για την παραγωγή των καυσίμων, την βιωσιμότητά του

παγκοσμίου εμπορίου βιοκαυσίμων και πως το κόστος τους θα ανταγωνίζεται άλλες επιλογές καυσίμων χαμηλών εκπομπών.

Τα υγρά Βιοκαύσιμα μπορούν να καούν σε κινητήρες diesel και είναι πιθανώς εφαρμόσιμα σε όλους τους τύπους πλοίων, με μόνο μικρές μετατροπές στον κύριο κινητήρα να είναι απαραίτητες. Οι πρώτες δοκιμές το 2006 κατέδειξαν την εμπορική και τεχνική εφικτότητα της χρήσης βιοκαυσίμων σε ναυτιλιακές εφαρμογές.

Ένα πρώτο χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης biodiesel αφορά στο πλοίο Earthrace το οποίο είναι ένα trimaran εβδομήντα οκτώ ποδών το οποίο χρησιμοποιεί εναλλακτικό καύσιμο το οποίο κατέρριψε το παγκόσμιο ρεκόρ διάπλου της γης αποκλειστικά με χρήση biodiesel το 2008.



Σχήμα 4 - 14. EARTHTRACE

Το πλοίο χρησιμοποιεί μηχανές που έχουν ως καύσιμο μόνο biodiesel. Το συγκεκριμένο καύσιμο προέρχεται κυρίως από ζωικά λίπη, σόγια και άλλες μορφές biodiesel. Οι μηχανές του είναι δύο Cummins Mercruiser 540 hp και είναι φτιαγμένο από ανθρακονήματα. Το κόστος ανέρχεται σε 1,25 εκατομμύρια δολάρια και η χρηματοδότησή του έγινε κυρίως από σπόνσορες. Η αποστολή του πλοίου είναι να παρουσιάσει τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον του όπως το biodiesel, χαμηλές εκπομπές αερίων από τις μηχανές, αντιτοξικά χρώματα και αποδοτικό σχεδιασμό κύτους.

Πολλές περιπτώσεις χρήσεως biodiesel σε πλοία αφορούν σε εταιρείες ferries όπως η εταιρεία Washington State Ferries στις ΗΠΑ. Το 2004 η εταιρεία άρχισε να χρησιμοποιεί biodiesel για τα ferries της σκοπεύοντας σε ένα πιο καθαρό και υγιεινό αέρα σε περιοχές με μεγάλη ρύπανση. Η διαδρομή Fauntleroy-Southworth-Vashon επιλέχθηκε για τις αρχικές δοκιμές. Το πρότζεκτ χρησιμοποίησε περίπου 540.000 λίτρα biodiesel μέχρι που διακόπηκε το 2005 εξαιτίας προβλημάτων από φραγμένα φίλτρα καυσίμων, κάτι το οποίο είναι επαναλαμβανόμενο ζήτημα όταν χρησιμοποιείται biodiesel. Το Μάρτιο του 2008 άρχισε η τρίτη φάση του προγράμματος biodiesel, χρησιμοποιώντας χαμηλό μίγμα biodiesel.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού 2007 η εταιρεία Pon Power δοκίμασε τη χρήση και biodiesel (B100) στο Ferry Fanofergen (ιδιοκτησίας Scandlines), το οποίο έκανε δρομολόγιο μεταξύ Esbjerg και Fano που είναι μία από τις πιο πολυσύχολες γραμμές στη Δανία. Μία μηχανή Caterpillar 3412 (περίπου 600 KW) βρίσκεται πάνω στο ferry "Fanofrogen" και λειτουργεί αποκλειστικά με biodiesel. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών ήταν θετικά και δεν χρειάστηκε να γίνουν προσαρμογές της μηχανής πριν από αυτές. Το πλοίο λειτουργούσε ομαλά ώσπου πουλήθηκε και το σχέδιο σταμάτησε. Ωστόσο, οι δοκιμές ήταν πολύ επιβλητικές για την απόκτηση γνώσης σχετικά με τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στα ferries, τόσο για τους κατασκευαστές όσο και για τους ιδιοκτήτες των πλοίων.

Το 2006-2007, η Royal Caribbean Cruises, δοκίμασε την χρήση βιοντίζελ σε επιλεγμένα κρουαζιερόπλοια, συμπεριλαμβανομένου του Jewel of the Seas (293m), ξεκινώντας με μείγματα 5% (B5) και σταδιακά έφτασαν στο 100% (B100) βιοντίζελ. Μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου 2006, το project Canadian Bioship λειτούργησε το φορτηγό Ana Desgagnes (17850 dwt) με μίγμα B20 με βιοντίζελ από τετηγμένο ζωικό λίπος και μαγειρικά έλαια. Μετά τις δοκιμές ακολούθησαν tests εφικτότητας βιοκαυσίμων από την Maersk και Lloyd's το 2011 με χρήση παρτίδων από μίγματα βιοντίζελ (FAME) στο Maersk Kalmar μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και 88669 dwt. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά αλλά ασαφή, καθώς τα tests «τρέξανε» μόνο για 160 ώρες. Το 2012 το πλοίο πολλαπλών χρήσεων, Meri της Meriaura Ltd's, μήκους 105μ. και 4359 dwt, ολοκλήρωσε την πρώτη παγκοσμίου εμπορική αποστολή χρησιμοποιώντας 100% (βιο-έλαιο από απόβλητα

χαρτοπολτού ξύλου) στην Φινλανδία. Το πλοίο χρησιμοποιούσε 3 γεννήτριες Wärtsilä οι οποίες μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν MDO ως εφεδρικό καύσιμο.

Οι δοκιμές στην χρήση τρίτης γενιάς βιοκαυσίμων από φύκια στην ναυτιλία προχωρούν. Το Δεκέμβριο του 2011 η Maersk και το πολεμικό ναυτικό των Η.Π.Α ανακοίνωσαν την συνεργασία τους στην δοκιμή βιοκαυσίμων από φύκια στο Maersk Kalmar. Η πρωτοβουλία Μεγάλος Πράσινος Στόλος του πολεμικού ναυτικού των Η.Π.Α, έχει σκοπό να μειώσει την χρήση ορυκτών καυσίμων κατά 50% μέχρι το έτος 2020 ενώ η Maersk σκοπεύει να μειώσει τις εκπομπές ρύπων κατά 25% σε σχέση με το 2007, μέχρι το 2020. Βιώσιμα, ανταγωνιστικά στο κόστος και τις τεχνολογίες Βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων.

Τον Ιούνιο του 2014 το πολεμικό ναυτικό των Η.Π.Α αναζήτησε τουλάχιστον 37 εκατομμύρια γαλιόνια σε drop-in Βιοκαύσιμα σαν μέρος του δικού του F-76 (NATO) ναυτιλιακού πετρελαίου και του JP-5 που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία jet. Οι Maersk, DONG Energy, Haldor Topsoe, MAN Diesel and Turbo, Novozymes, Το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Δανίας και το Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης συνεργάζονται για την βιοενέργεια του 21ου αιώνα (B21st), ένα project που συγχρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Προηγμένης Τεχνολογίας της Δανίας σαν τεχνολογική πλατφόρμα που στοχεύει στην ανάπτυξη βιομάζας για ναυτιλιακά καύσιμα και χημικά. Τον Φεβρουάριο του 2013 η Maersk υπέγραψε μια συμφωνία με την Progression Industry για την ανάπτυξη ενός ναυτιλιακού καυσίμου από λιγνίνη, με την ονομασία CycloX, το οποίο θα είναι βιώσιμο, ανταγωνιστικό όσον αφορά το κόστος και τεχνικά υγιές, και για το οποίο η Maersk έχει δεσμευτεί να αγοράσει 50 000 τόνους εφόσον αυτό πληροί αυτές τις προϋποθέσεις.

4.5.4 Ανάμιξη με συμβατικά καύσιμα

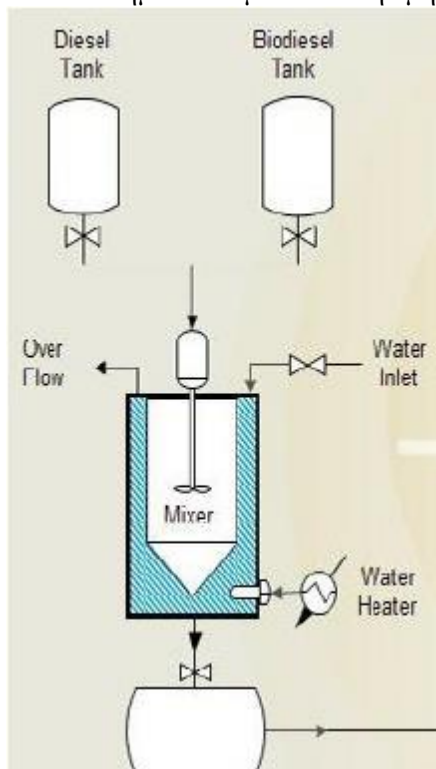
Το βιοντίζελ διαθέτει μια πολύ χρήσιμη ιδιότητα η οποία δύναται να δώσει ώθηση για την ακόμα εντατικότερη χρήση του ως καύσιμο. Αυτή η ιδιότητα είναι ότι το βιοντίζελ μπορεί να αναμιχτεί σε οποιονδήποτε βαθμό με το παραδοσιακό ορυκτό ντίζελ. Τα βιοκαύσιμα μπορούν να αναμιχθούν με συμβατικά καύσιμα ή να χρησιμοποιηθούν μόνα τους. Υπάρχουν κάποια τεχνικά θέματα που αφορούν τη χρήση του βιοντίζελ και αυξάνουν τον κίνδυνο διακοπής λειτουργίας κινητήρα, όπως η μειωμένη σταθερότητά του κατά την αποθήκευση, η ανάπτυξη μικροοργανισμών και φυκών στη δεξαμενή καυσίμων και η 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.

Το βιοντίζελ είναι ελαφρώς βαρύτερο από το ντίζελ, με ειδικό βάρος 0,88 έναντι 0,85 του τελευταίου, γεγονός που απαιτεί την προσθήκη του βιοκαυσίμου επάνω από το ντίζελ, ειδάλλως σε αντίθετη περίπτωση ενδέχεται τα δυο υγρά να μην αναμιχθούν. Το προϊόν της ανάμιξης συμβολίζεται με το γράμμα B ακολουθούμενο από ένα δείκτη π.χ. 5, 20, 100, ο οποίος αναφέρει το ποσοστό περιεκτικότητας του μίγματος σε βιοντίζελ. Έτσι έχουμε B5, την πιο διαδεδομένη μορφή βιοκαυσίμου (5% βιοντίζελ και 95% ντίζελ) που διατίθεται αυτή τη στιγμή στον Ευρωπαϊκό χώρο, το B20 (20% βιοντίζελ και 80% ντίζελ) του οποίου η χρήση γίνεται κυρίως στις Η.Π.Α. και αποφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη και πολύ περιορισμένες περιπτώσεις B100, δηλαδή καύσιμο το οποίο αποτελείται από 100% βιοντίζελ, κυρίως προοριζόμενο για χρήση σε αυτοκίνητα.

Ακολουθώντας το παράδειγμα που έχει εφαρμοστεί στα χερσαία μέσα μεταφοράς, στα πλαίσια της προσπάθειας για την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, ενδιαφέρον θα είχε η εξέταση της υιοθέτησης κανόνων για την υποχρεωτική χρήση μιγμάτων βιοντίζελ και συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων με περιορισμένη χρήση του πρώτου σε συγκεντρώσεις έως 20% και στον τομέα της ναυτιλίας.

Τα μίγματα μικρής συγκέντρωσης είναι εκείνα τα οποία το ποσοστό του βιοντίζελ δεν ξεπερνά το 20%, ενώ το υπόλοιπο μίγμα θα συμπληρώνεται από κάποιο από τα ήδη γνωστά συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα H.F.O. και M.D.O.. Για τα μίγματα αυτά στην πλειονότητα των περιπτώσεων οι ίδιοι οι κατασκευαστές παρέχουν τις ανάλογες εγγυήσεις για την σωστή και χωρίς προβλήματα λειτουργία των μηχανών τους, με τα μίγματα τις περισσότερες φορές να αφορούν το γνωστό B5 και σε μικρότερο αριθμό περιπτώσεων το B20. Μάλιστα μια πολυετής έρευνα πάνω στην χρήση B20 σε κινητήρες όπου λειτουργούσαν σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών από το National Biodiesel Board, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μια τέτοια πρακτική είναι αποδεκτή και με περιορισμένο αριθμό προβλημάτων κατά την εφαρμογή της.⁸⁷

Το μικρής συγκέντρωσης μίγμα που χρησιμοποιείται από τον μεταφορικό τομέα, τουλάχιστον για τα χερσαία μέσα μεταφοράς, είναι το B5. Το τεχνικό υπόβαθρο πίσω από αυτήν την υιοθέτηση είναι ότι μίγματα με συγκεντρώσεις έως 5%, θεωρούνται ως πρόσθετα καύσιμα και για αυτό τον λόγο γίνονται αποδεκτά από όλους τους κατασκευαστές κινητήρων. Τα μίγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεν είναι απαραίτητο να περιορίζονται στο μικρό αυτό ποσοστό. Σύμφωνα με έρευνα του ερευνητικού Ινστιτούτου Great Lakes Maritime η χρήση μιγμάτων βιοντίζελ και συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων σε ποσοστό μέχρι 20%, δεν οδηγούσε σε οποιοδήποτε πρόβλημα στο σύστημα καυσίμου και στην μηχανή του πλοίου.⁸³



Σχήμα 4 - 15. Διάταξη ανάμιξης βιοντίζελ με συμβατικό καύσιμο

Επομένως μίγματα υψηλότερων συγκεντρώσεων, ακόμα και B100, δηλαδή καθαρό βιοντίζελ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον ναυτιλιακό τομέα, με τις ανάλογες μικρής έκτασης τροποποιήσεις στις μηχανές των πλοίων, ενώ θα είχε ενδιαφέρον και αδιαμφισβήτητο περιβαλλοντικό όφελος η θέσπιση κανόνων για την υποχρεωτική χρήση μιγμάτων μικρής συγκέντρωσης βιοντίζελ από τον ναυτιλιακό τομέα, σαν ένα πρώτο στάδιο της προσπάθειας για την διεύθυνση του βιοντίζελ και στον τομέα των θαλασσιών μεταφορών.

Η εναλλαγή στα χρησιμοποιούμενα καύσιμα στα πλοία δεν είναι κάτι το καινούργιο ακόμα και στο ίδιο ταξίδι. Ένα παράδειγμα που θα μπορούσαμε να δώσουμε είναι οι αυστηρότερες περιβαλλοντικές ρυθμίσεις που ισχύουν στην κάθε επικράτεια και η υποχρέωση λόγω αυτών των πλοίων να αλλάξουν τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα με καθαρότερα, προκειμένου να μειωθούν οι επιβλαβείς εκπομπές στο λιμάνι του εκάστοτε κράτους, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το βιοντίζελ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ίδια μηχανή πλοίου και να εναλλάσσεται με το συμβατικό H.F.O. χωρίς να προκαλείται κάποιο πρόβλημα. Πιθανά σημεία όπου μπορεί να χρειαστεί παρέμβαση είναι το σύστημα καυσίμου του πλοίου και οι δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου, ενώ τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των δύο καυσίμων, για παράδειγμα η οξειδωτική δραστηριότητα και η προετοιμασία (θέρμανση των καυσίμων υπό διαφορετικές συνθήκες) πριν την κυκλοφορία του στο σύστημα, ενδέχεται να απαιτήσουν ξεχωριστούς χώρους αποθήκευσης.

4.5.3 Συμβατότητα – Κινητήρες Βιομάζας

Η πλειοψηφία των πλοίων σήμερα χρησιμοποιούν κινητήρες ντίζελ, ανάλογους σε κατασκευή με εκείνους των αυτοκινήτων, φορτηγών κ.α. Ωστόσο τα καύσιμα της ναυτιλίας διαφέρουν σε πολλούς τομείς με τα καύσιμα της αυτοκίνησης. Το ιξώδες των καυσίμων ναυτιλίας είναι συνήθως πολύ υψηλότερο – μέχρι 700 cSt, ενώ για το ντίζελ αυτοκινήτων σπάνια ξεπερνάει τα 5 cSt. Η ποιότητα των ναυτιλιακών καυσίμων είναι συνήθως χαμηλότερη και με μεγαλύτερο εύρος προδιαγραφών να κυκλοφορεί στην αγορά. Ωστόσο οι

ναυτικές μηχανές πρέπει να μπορούν να δέχονται διαφορετικούς τύπους καυσίμων, συχνά ακόμα και με υψηλά επίπεδα θείου τα οποία υπό διαφορετικές συνθήκες θα έβλαπταν τη λειτουργία της εξάτμισης της μηχανής.

Οι ναυτιλιακές μηχανές έχουν προσδόκιμο ζωής που ποικίλει από τα δέκα έτη (για μηχανές πλοίων υψηλής ταχύτητας) μέχρι και πάνω από εικοσιπέντε χρόνια (για πλοία χαμηλής ταχύτητας). Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας προσφέρει τη δυνατότητα, παρά τις απώλειες που θα υπάρχουν στην απόδοση, να μείνουν λειτουργικές για έως πενήντα χρόνια – αν συντηρούνται σωστά. Διαφορετικά καύσιμα στον ίδιο τύπο μηχανής χρειάζονται μόνο μικρές αλλαγές στη μηχανή, στα φίλτρα και στους εγχυτήρες.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του βιοντίζελ, είναι ότι ανάλογα με τη σύσταση του μίγματος που χρησιμοποιείται, απαιτούνται μικρές έως καθόλου αλλαγές στους συμβατικούς κινητήρες καύσης ντίζελ και έτσι αποφεύγονται οι πολυδάπανες μετατροπές και οι κεφαλαιακές απαιτήσεις των νέων εγκαταστάσεων. Οι κατασκευαστές μηχανών παίζουν ρόλο – κλειδί στον τομέα αυτό, καθώς πρέπει να διασφαλίζουν τους χρήστες για την ασφαλή αλλαγή καυσίμων χωρίς φόβο βλάβης στις μηχανές, εφόσον τα καύσιμα διαθέτουν συγκεκριμένες ιδιότητες. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, οι νηξελοκινητήρες πλοίων είναι πλήρως συμβατοί με πλήθος βιοκαυσίμων, μεταξύ των οποίων βρίσκονται τα βιοντίζελ, DME (διμεθυλαιθέρες), GTL (gas-to-liquid), BTL (biomass-to-liquid) και HVO (hydrotreated vegetable oil).

- MAN B&W

Η Γερμανική εταιρεία MAN η οποία εδρεύει στην Νυρεμβέργη, είναι εδραιωμένη στον χώρο των κατασκευαστών κινητήρων, με πελατολόγιο που περιλαμβάνει από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας μέχρι φορτηγά πλοία μεγάλης χωρητικότητας. Η συγκεκριμένη εταιρεία, ύστερα από την επιτυχημένη συνεργασία της με διάφορα εργοστάσια που δραστηριοποιούνται στον τομέα την παραγωγής ενέργειας, επιβεβαιώνει την δυνατότητα της χρήσης βιοντίζελ στις μηχανές της. Η MAN μαζί με την Φιλανδική Wartsila έχουν την μεγαλύτερη εμπειρία όσο αφορά την χρήση βιοντίζελ στις μηχανές τους, κυρίως λόγω του εφοδιασμού με μηχανές εργοστασίων παραγωγής ενέργειας, στα οποία γίνεται χρήση του βιοντίζελ ως καυσίμου.

Η εταιρεία διαθέτει μια σημαντική ποικιλία όσο αφορά μηχανές οι οποίες είναι συμβατές με το βιοντίζελ κάνοντας διαθέσιμες στους αγοραστές τόσο τις χαμηλόστροφες, δίχρονες όσο και τις μεσόστροφες τετράχρονες, κατηγορίες οι οποίες χρησιμοποιούνται εκτεταμένα και στον τομέα των θαλασσίων μεταφορών.

Σύμφωνα με τον αντιπρόεδρο του τμήματος έρευνας και ανάπτυξης της εταιρείας, Thomas S. Knudsen, οι χαμηλόστροφοι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται από τα πλοία της ποντοπόρου ναυτιλίας, κυρίως τα πλοία μεταφοράς χύδην ξηρού και υγρού φορτίου, μπορούν να παραγγελθούν αποκλειστικά για χρήση βιοντίζελ. Η χρήση βιοντίζελ στις μηχανές των πλοίων, σύμφωνα πάντα με την εμπειρία των τεχνικών της εταιρείας, απαιτεί τον έλεγχο διαφόρων σημείων και εξαρτημάτων όπως τις δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου, το σύστημα κατεργασίας καυσίμου, τις σωληνώσεις, τους φυγοκεντρωτές κ.α. για πιθανές απαιτούμενες τροποποιήσεις. Εκτός όμως φυσικά από τις νέες παραγγελίες, η εταιρεία δηλώνει πως και η μετασκευή ήδη υπαρχόντων κινητήρων είναι δυνατή εφόσον αποφασιστεί η λειτουργία του κινητήρα με βιοντίζελ.

Το κόστος μετασκευής ή ακόμα και η παραγγελία νέου κινητήρα συμβατού με βιοντίζελ, δεν είναι υπερβολικά υψηλό αν μάλιστα κανείς αναλογιστεί ότι ένας κινητήρας πλοίου καταναλώνει την χρηματική του αξία σε Η.Φ.Ο. μέσα σε έξι το πολύ μήνες. Η μετασκευή του κινητήρα ενός πλοίου για χρήση βιοντίζελ υπολογίζεται από τους ανθρώπους της εταιρείας, χωρίς ακόμα να έχει αναληφθεί κάποιο τέτοιο εγχείρημα, περίπου στο 5% της αξίας του κινητήρα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος αυτού του κόστους καταλαμβάνει η μετασκευή της δεξαμενής αποθήκευσης, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες της διαβρωτικής ικανότητας του βιοντίζελ. Τέλος η διαφορά στην τιμή μεταξύ του συμβατικού μαζούτ και του βιοντίζελ, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να κατασταθεί ικανός να ανακόψει περεταίρω έρευνες πάνω στο θέμα.⁸⁵

- WARTSILA

Μια ακόμα εταιρεία κατασκευής μηχανών με γνώση επάνω στο αντικείμενο του βιοντίζελ και των βιοκαυσίμων γενικότερα είναι η Φιλανδική Wartsila. Κατέχοντας μεγάλο μερίδιο της αγοράς μπορεί να προσφέρει πολλές πληροφορίες για την χρήση του βιοντίζελ στους κινητήρες της και την συμβατότητα του καυσίμου με αυτούς. Και σε αυτή την περίπτωση όπως και στην περίπτωση της Γερμανικής MAN, η εμπειρία προέρχεται όχι τόσο από τον ναυτιλιακό τομέα, όσο από την παροχή εξοπλισμού σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι πολλά από τα στοιχεία που η εταιρεία έχει αποκομίσει δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμα στις μηχανές των πλοίων.

Σύμφωνα με την Wartsila, από τεχνικής άποψης η εταιρεία δεν θεωρεί πως υπάρχουν περιορισμοί στην χρήση βιοντίζελ στις μηχανές των πλοίων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν θα έχουμε την εμφάνιση λιγωστών προβλημάτων, σχετιζόμενα κυρίως με το φαινόμενο της σπηλαιώσης (cavitation) στις αντλίες του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου, το φράξιμο των σωληνώσεων και με την συμπεριφορά τμημάτων του κινητήρα από ελαστικό.

Τέλος η εταιρεία αναγνωρίζει τις περιορισμένης έκτασης προσπάθειες στον συγκεκριμένο τομέα και αποδίδει αυτή την συμπεριφορά στην παρούσα κατάσταση της αγοράς των βιοκαυσίμων. Επισημαίνει την ανάγκη ύπαρξης ενός οργανισμού χρηματοδότησης για την έρευνα επάνω στα βιοκαύσιμα, ενώ δηλώνει ότι ένα έκδηλο ενδιαφέρον από το καταναλωτικό κοινό, θα οδηγήσει τους ανθρώπους της σε εκτεταμένες για τα βιοκαύσιμα και την υιοθέτησή τους από την ναυτιλιακή κοινότητα.⁸⁶

- ROLLS ROYCE BERGEN

Η συγκεκριμένη εταιρεία δηλώνει πως, σχετικά με την χρήση βιοντίζελ στους κινητήρες της, δεν έχει κάποια ιδιαίτερη εμπειρία, αλλά είναι έτοιμη να προχωρήσει σε κάτι τέτοιο μόλις δει το ενδιαφέρον από την πλευρά των πελατών της. Μέχρι στιγμής οι δράσεις της εταιρείας περιορίζονται στην αποστολή δειγμάτων βιοντίζελ από ελαιοκράμβη (RME) στον Νορβηγικό νηογνώμονα DNV προκειμένου να εξακριβωθεί η δυνατότητα χρήσης σε μηχανές πλοίων και στην συλλογή στοιχείων για την συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά των καυσίμων αυτών.

- CATERPILLAR

Η εταιρεία Caterpillar, η οποία ειδικεύεται στην κατασκευή κινητήρων και βαρέων οχημάτων, έχει πραγματοποιήσει κάποια βήματα όσο αφορά την χρήση βιοντίζελ στους κινητήρες της αλλά όχι στον βαθμό που έχουν εμβαθύνει οι προηγούμενες δύο εταιρείες. Η εταιρεία δηλώνει ότι οι μηχανές της θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ανεμπόδιστα τροφοδοτούμενες με βιοντίζελ, ενώ ήδη εγγυάται για την περίπτωση χρήσης μίγματος βιοντίζελ-ντίζελ σε ποσοστό 30% βιοντίζελ(B30). Για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βιοντίζελ σε ανάλογα μίγματα κάποια αντίστοιχη εγγύηση δεν διατίθεται ακόμα από την μεριά της εταιρείας.

4.5.5 Πλεονεκτήματα χρήσης βιοκαυσίμων στη ναυτιλία

Η ναυτιλία είναι ένας κλάδος με αυξημένες ενεργειακές ανάγκες αλλά και με μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση του πλανήτη. Στον τομέα αυτό η τεχνολογία προχωρά με "σταθερά βήματα" για την υιοθέτηση των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα του βιοντίζελ. Το βιοντίζελ εκτός από το γεγονός ότι πλεονεκτεί ως ανανεώσιμο καύσιμο, εμφανίζει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες με το συμβατικό ντίζελ, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει και καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτό όπως:

- μεγαλύτερο σημείο ανάφλεξης οπότε και ασφαλέστερο στη χρήση
- μικρότερη ποσότητα θείου
- μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα λόγω του οξυγόνου που περιέχει
- μεγαλύτερο αριθμό κετανίου

Η μείωση του περιεχομένου θείου, που επιβάλλεται στα ορυκτά καύσιμα, έχει αρνητική επίδραση στην λίπανση του κινητήρα λόγω της μείωσης των λιπαντικών ενώσεων του θείου στο βαθιά υδρογονοεπεξεργασμένο καύσιμο. Έτσι, τα διωλιστήρια κάνουν χρήση πανάκριβων και ταυτόχρονα μη βιοαποικοδομήσιμων πρόσθετων για την επαναφορά της λιπαντικής ικανότητας του καυσίμου. Η προσθήκη όμως του βιοντίζελ στο πετρελαϊκό ντίζελ, έστω και σε περιεκτικότητες μικρότερες από 1% κ.β. επαναφέρει την λιπαντική ικανότητα του καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατείνεται η ζωή του πετρελαιοκινητήρα, να προστατεύεται το περιβάλλον από τα πρόσθετα λίπανσης και να εξοικονομούνται αρκετά χρήματα από τα διωλιστήρια.

Ο μεγαλύτερος αριθμός κετανίου που παρουσιάζει το βιοντίζελ έναντι του συμβατικού ντίζελ, αντισταθμίζει το γεγονός ότι κατά την καύση του το βιοντίζελ απελευθερώνει ενέργεια λίγο μικρότερη από την ενέργεια που απελευθερώνει το συμβατικό ντίζελ. Έτσι η απόδοση ενός πετρελαιοκινητήρα που κινείται με καθαρό βιοντίζελ κυμαίνεται τουλάχιστον στα επίπεδα του συμβατικού ντίζελ. Επίσης το βιοντίζελ είναι κατάλληλο για τους ήδη υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες, όπου δεν χρειάζεται να γίνει σχεδόν καμία μετατροπή ακόμη και αν χρησιμοποιηθεί αμιγές βιοντίζελ.

Το βιοντήζελ έχει σημαντικά μικρότερο ιξώδες από αυτό των τριγλυκεριδίων (των φυτικών ελαίων και των ζωικών λιπών) και λίγο μεγαλύτερο από αυτό του συμβατικού ντίζελ. Οι μεθυλεστέρες έχουν μοριακά βάρη των 280-300g/mol, δηλαδή το 1/3 των μοριακών βαρών των τριγλυκεριδίων. Αποτέλεσμα του μικρότερου μοριακού τους βάρους είναι ότι είναι πτητικότεροι των τριγλυκεριδίων, κάτι που συμβάλει στην καλύτερη συμπεριφορά του καυσίμου σε συνθήκες ψύχους (χαμηλότερο σημείο θόλωσης και ροής σε σχέση με αυτά των τριγλυκεριδίων). Ο αριθμός του κετανίου του βιοντήζελ είναι μεγάλος και σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερος από αυτόν του ντίζελ. Το βιοντήζελ δεν περιέχει πτητικές οργανικές ενώσεις και παρουσιάζει υψηλό σημείο ανάφλεξης (τυπικά πάνω από 360 °F). Το προϊόν δεν ενέχει κίνδυνο έκρηξης λόγω συσσωρευμένων αναθυμιάσεων κάτω από το κατάστρωμα του σκάφους. Ο μοναδικός κίνδυνος φωτιάς εντοπίζεται στην αυθόρμητη ανάφλεξη εμποτισμένων με βιοντήζελ υφασμάτων και χαρτιών που μπορεί να βρίσκονται σε περιβάλλον χαμηλού εξαερισμού ή υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ. στο χώρο πλησίον της μηχανής).

Τα κύρια μειονεκτήματα του βιοντίζελ είναι:

- Η μικρότερη θερμογόνος δύναμη (κατά 6%) και υψηλότερο ιξώδες σε σχέση με αυτά του συμβατικού ντίζελ.
- Οι ελάχιστες μεγαλύτερες εκπομπές NOx από αυτές του συμβατικού ντίζελ.
- Το υψηλό κόστος σε σχέση με το κόστος του φθηνότερου ντίζελ. Σε αυτό συμβάλει το υψηλό κόστος της πρώτης ύλης (φυτικών ελαίων και ζωικών λιπών)
- Η παραγωγή γλυκερίνης ως παραπροϊόν.
- Η χρησιμοποίηση μεθανόλης για την παραγωγή του.

4.5.6 Αποθήκευση και Μεταφορά – Επιμόλυνση^{88,89}

Το βιοντήζελ μπορεί να αποθηκευθεί επί μακρόν σε κλειστές δεξαμενές με μικρό διάκενο αέρος. Οι δεξαμενές πρέπει να προφυλάσσονται από τις καιρικές συνθήκες, την έκθεση στον ήλιο και τις χαμηλές θερμοκρασίες. Πρέπει να αποφεύγεται η μακροπρόθεσμη αποθήκευση μερικώς πληρωμένων δεξαμενών, ιδιαίτερα σε συνθήκες υψηλής υγρασίας. Η συμπύκνωση στις δεξαμενές μπορεί να επιδεινώσει μακροπρόθεσμα το ντίζελ και το βιοντήζελ. Οι χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν πήξη του βιοντίζελ. Το βιοντίζελ και τα μείγματα βιοντίζελ – ντίζελ μεταφέρονται με βυτιοφόρα μέσα μεταφοράς πετρελαιοειδών ή με δεξαμενόπλοια. Το αυτούσιο βιοντίζελ, το οποίο δεν ταξινομείται ως επικίνδυνο για οδική μεταφορά, μπορεί να μεταφερθεί οδικώς και με βυτιοφόρα μέσα μεταφοράς χημικών υγρών.

Ωστόσο για να μπορέσουν να ενταχθούν τα βιοκαύσιμα στις θαλάσσιες μεταφορές θα πρέπει να πληρούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις σχετικά με την αποθήκευση και τη μεταφορά τους, βασιζόμενες στα εξειδικευμένα χαρακτηριστικά τους, όπως σημείο βρασμού, τάση ατμών, σημείο ανάφλεξης κ.α. Γενικά τα βιοκαύσιμα διαθέτουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα και επίσης έχουν πλήρως διαφορετική ειδική πυκνότητα.

Όσον αφορά το θέμα της αποθήκευσης και της μεταφοράς, το βιοντίζελ υπερτερεί συγκριτικά με το συμβατικό ντίζελ καθώς διαθέτει υψηλότερο σημείο ανάφλεξης (127 °C σε αντίθεση με τους 52 °C του παραδοσιακού ντίζελ), που το καθιστά ασφαλέστερο καύσιμο. Λόγω της διαβρωτικής ικανότητας του βιοντίζελ, θα πρέπει να εξετάσουμε την δυνατότητα των δεξαμενών αποθήκευσης των πλοίων να διαχειριστούν το βιοκαύσιμο. Οι συμβατικές αντιοξειδωτικές δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την χρήση βιοντίζελ χωρίς να παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα αρκεί ο καταναλωτής να λάβει υπόψη του το φαινόμενο του φραξίματος των φίλτρων στην περίπτωση όπου προηγουμένως γινότανε χρήση κάποιου συμβατικού ναυτιλιακού καυσίμου.

Οι δεξαμενές καυσίμου οι οποίες είναι εγκατεστημένες επί των πλοίων διαθέτουν ρυθμιζόμενη θερμοκρασία με βάση πάντα το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και κατ'επέκταση τις ιδιότητές του. Η θερμοκρασία του καυσίμου θα πρέπει πάντοτε να διατηρείται σε επίπεδα τουλάχιστον 10-15°C πάνω από το σημείο θόλωσης (cloud point), οπότε σύμφωνα με τις ιδιότητες του βιοντίζελ και τις επιτρεπτές τιμές θερμοκρασίας στο σύστημα, το επίπεδο της θερμοκρασίας στις δεξαμενές αποθήκευσης δεν θα αποτελούσε πρόβλημα κατά την εναλλαγή του περιεχόμενου καυσίμου από συμβατικό ναυτιλιακό καύσιμο σε βιοντίζελ.

Η σταθερότητα κατά την αποθήκευση έχει αναγνωριστεί ως κύρια πηγή ανησυχίας για το βιοντήζελ. Η σταθερότητα αναφέρεται σε δύο ζητήματα για τα καύσιμα: μακροπρόθεσμη σταθερότητα κατά την αποθήκευση ή τη γήρανση και σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες ή / και πιέσεις, καθώς το καύσιμο επανακυκλοφορεί μέσω του συστήματος καυσίμου του κινητήρα. Η χρήση βιοντίζελ αναμένεται να αλλοιώσει

τα τοιχώματα της δεξαμενής αποθήκευσης γρηγορότερα από τα συμβατικά Heavy Fuel και Marine Diesel Oil. Λόγω της γήρανσης του καυσίμου και του φαινομένου της οξειδωσης, το οποίο θα οδηγήσει στην αύξηση του αριθμού TAN (Total Acid Number) για το βιοντίζελ, θα παρατηρηθούν αύξηση της διαβρωτικής δραστηριότητας και σχηματισμοί ιζημάτων τα οποία και σε αυτήν την περίπτωση θα οδηγήσουν στο φράξιμο των φίλτρων καυσίμου. Παράγοντες όπως οι υψηλές θερμοκρασίες, η ηλιακή ακτινοβολία και το ατμοσφαιρικό οξυγόνο θα επιταχύνουν την διαδικασία γήρανσης του βιοντίζελ και θα οδηγήσουν σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα σε συντομότερο χρονικό διάστημα.

Οι συμβατικές διεργασίες εφαρμογής της αντίδρασης μετεστεροποίησης για την παραγωγή του βιοντίζελ βασίζονται συνήθως στην χρήση βασικών ομογενών καταλυτών, όπως το υδροξείδιο του νατρίου(NaOH), το υδροξείδιο του καλίου(KOH), το μεθοξείδιο του νατρίου(CH₃ONa) κ.α.. Παρόλο που η αντίδραση, με τη χρήση βασικού ομογενούς στερεού καταλύτη ολοκληρώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και σε χαμηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, υπάρχουν προβλήματα στην εφαρμογή της που σχετίζονται με την ποιότητα και την καθαρότητα των πρώτων υλών. Η βασική ομογενής κατάλυση απαιτεί ως πρώτες ύλες φυτικά έλαια και ζωικά λίπη απαλλαγμένα από υγρασία (<0,05% κ.β.) και ελεύθερα λιπαρά οξέα (<0,5% κ.β.). Η χρήση πρώτων υλών με υψηλότερες συγκεντρώσεις υγρασίας και οξύτητας έχει ως συνέπεια την εμφάνιση προβλημάτων-επιμόλυνσης που σχετίζονται με τον σχηματισμό σαπώνων μέσω ανεπιθύμητης αντίδρασης της σαπωνοποίησης των ελεύθερων λιπαρών οξέων από τον βασικό καταλύτη.



Σχήμα 4 - 16. Μορφή ελαίου κατά την ανάμιξη με γλυκερίνη για τη δημιουργία βιοντίζελ

Ψευδάργυρος, Φωσφόρος, Ασβέστιο

Η προδιαγραφή για αυτά τα 3 στοιχεία εισήλθε στην προηγούμενη αναθεώρηση του προτύπου 8217 και εξετάζει την επιμόλυνση του καυσίμου με χρησιμοποιημένο λιπαντικό (Used Lubrication Oil). Σύμφωνα με την προδιαγραφή αυτή ένα καύσιμο θεωρείται ότι δεν έχει επιμολυνθεί όταν ένα η περισσότερα ποσοστά των στοιχείων είναι κάτω από τα όρια. Για να θεωρηθεί το καύσιμο επιμολυσμένο με χρησιμοποιημένο λιπαντικό πρέπει οι συγκεντρώσεις των τριών στοιχείων να είναι μεγαλύτερες από τα καθορισμένα όρια.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των τριών παραπάνω στοιχείων έχουν προταθεί τρεις μέθοδοι:

- Προσδιορισμός αργιλίου, πυριτίου, βαναδίου, νικελίου, σιδήρου, ασβεστίου, και ψευδαργύρου με φασματομετρία ατομικής απορρόφησης
- Προσδιορισμός του φωσφόρου με φασματομετρία υπεριώδους
- Προσδιορισμός αργιλίου, πυριτίου, βαναδίου, νικελίου, σιδήρου, ασβεστίου, ψευδαργύρου και φωσφόρου με φασματομετρία πλάσματος.

Αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και εάν γίνει ανίχνευση των παραπάνω στοιχείων στο καύσιμο, δεν θα σημαίνει αυτόματα πως το καύσιμο είναι ακατάλληλο για χρήση. Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας των στοιχείων στο καύσιμο δεν μας δίνει καμία πληροφορία για το ποσοστό επιμόλυνσης του με χρησιμοποιημένο λιπαντικό. Μια εμπειρική σχέση που έχει αναπτυχθεί είναι πως 10 ppm ψευδαργύρου αντιστοιχούν σε 1% ποσοστό επιμόλυνσης με ULO.

Νερό

Το βιοντίζελ είναι υδρόφιλο (μπορεί να κατακρατήσει έως και 2,5 φορές πιο πολύ νερό από την προδιαγραφή των 0,05% κατ' όγκο) και είναι ένα εξαιρετικό μέσο για μικροβιακή μόλυνση. Το νερό μπορεί να διαλυθεί στο πετρέλαιο-βιοντίζελ ειδικά σε θερμές και υγρές συνθήκες. Ακολουθώς συμπυκνώνεται και συσσωρεύεται στον πυθμένα των δεξαμενών ή στα τοιχώματα των δεξαμενών και των σωλήνων. Θέμα εγείρεται για την ανάπτυξη μούχλας και βακτηρίων το οποίο είναι πιο σύνηθες φαινόμενο για το βιοντίζελ λόγω της οργανικής του φύσης, με αποτέλεσμα να απαιτείται η αποβολή όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του νερού για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, καθώς οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται στο νερό και όχι στα ίδια τα καύσιμα.

Οι μύκητες και οι μικροοργανισμοί βρίσκονται παντού και πολλαπλασιάζονται στην υδατική φάση του πετρελαίου ειδικά όταν υπάρχουν θρεπτικά υλικά από την προσθήκη Βιοντίζελ. Αυτή η διεργασία οδηγεί στον σχηματισμό ορατών αποικιών μυκητών την ονομαζόμενη "βιολάσπη", οπότε και φράζουν τα φίλτρα και μπλοκάρουν τις μηχανές. Επιπλέον το επιμολυσμένο πετρέλαιο-βιοντίζελ προκαλεί διάβρωση σε δεξαμενές και σωλήνες

Πιο συγκεκριμένα για τα FAME (Fatty Acid Methyl Esters),

- παρουσιάζουν μεγάλη χημική συγγένεια με το νερό και γι' αυτό αυξάνουν τον κίνδυνο μικροβιακής μόλυνσης του καυσίμου
- καταστρέφουν τις ιδιότητες ροής του καυσίμου σε χαμηλές θερμοκρασίες
- δημιουργούν προβλήματα οξείδωσης του αποστάγματος, ειδικά κατά τη μακροχρόνια παραμονή του στις δεξαμενές (περισσότερο από 4-6 μήνες).
- αυξάνουν τον κίνδυνο σχηματισμού επικαθίσεων σε εκτεθειμένες επιφάνειες π.χ. σε φίλτρα.
- προκαλούν δυσκολία στον χειρισμό του αποστάγματος, καθώς το diesel που περιέχει FAME, δεν μπορεί να διαχειριστεί με τρόπο όμοιο με αυτόν, των παραδοσιακών diesel.

Επιπροσθέτως, υπάρχουν FAME ποικίλων προελεύσεων, που το καθένα έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, ιδιότητες και απαιτήσεις στην αποθήκευση, στο χειρισμό και στην λειτουργία της μηχανής. Στις περιπτώσεις όπου αναμένεται να γίνει χρήση αποσταγμάτων που περιέχουν FAME, θα πρέπει να εξασφαλισθεί ότι, η αποθήκευση στο πλοίο, οι χειρισμοί, η διαχείριση και ο εμπλεκόμενος μηχανολογικός εξοπλισμός, είναι συμβατά με ένα τέτοιο προϊόν.

Το FAME είναι ένα επιφανειοδραστικό υλικό, το οποίο μπορεί να ροφηθεί από τα τοιχώματα των δεξαμενών αποθήκευσης ή τις σωληνώσεις και να απελευθερωθεί ερχόμενο σε επαφή με άλλες ουσίες. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να προκαλέσει πολύ σημαντικό πρόβλημα αν οι δεξαμενές ενός πλοίου χρησιμοποιηθούν για μεταφορά άλλων ουσιών μετά την αποθήκευση βιοντίζελ ή μιγμάτων βιοντίζελ/ντίζελ. Η μόλυνση των μεταφερόμενων προϊόντων μπορεί να αποβεί καταστροφική για τις εφαρμογές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Αυτή τη στιγμή σε δεξαμενές μεταφοράς πλοίων οι οποίες μεταφέρουν μίγματα καυσίμων με ποσοστά βιοντίζελ άνω του 20 % και πρόκειται να μεταφέρουν άλλα φορτία εφαρμόζεται η φόρτωση της δεξαμενής 3 φορές με φορτίο μηδενικού βιοντίζελ για να θεωρηθεί καθαρή. Για δεξαμενές που μεταφέρουν μίγματα καυσίμων με λιγότερο από 15 % βιοντίζελ ο καθαρισμός απαιτεί μόνο πλύσιμο με ζεστό νερό και κάποια επιφανειοδραστική ουσία.

Επίσης οι FAMEs έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως εξαιρετικοί διαλύτες, δεσμεύοντας οποιοδήποτε οργανικό υπόλειμμα, σκόνη ή σκωρία η οποία μπορεί να έχει αποτεθεί στην επιφάνεια των δεξαμενών και των σωληνώσεων. Αυτό μπορεί αφενός να είναι θετικό για τη συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού, όμως κατά την καύση του καυσίμου θα προκληθούν σημαντικές βλάβες στον κινητήρα, στα φίλτρα και τα συστήματα άντλησης.

Το φαινόμενο της οξείδωσης ωστόσο δεν παρατηρείται στον ίδιο βαθμό για όλα τα είδη του παραγόμενου βιοντίζελ. Το βιοντίζελ που διαθέτει μεγάλο αριθμό κορεσμένων λιπαρών οξέων, χαρακτηρίζεται ως πιο σταθερό, σχετικά με το φαινόμενο της οξείδωσης. Το πρόβλημα της οξείδωσης μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εγκατάσταση αφυγραντικών και κατάλληλων φίλτρων στις δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου. Ο Αμερικανικός Οργανισμός ASTM προτείνει ως μέγιστο χρόνο αποθήκευσης για τα λιγότερο σταθερά είδη βιοντίζελ τους οκτώ μήνες, δύο περισσότερους από την αντίστοιχη περίοδο που προτείνει το National Biodiesel Board. Κρατώντας το οξυγόνο μακριά από το καύσιμο μειώνεται ή εξαλείφεται η οξείδωση του καυσίμου και αυξάνεται η διάρκεια αποθήκευσης. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν όταν απαιτούνται μακροχρόνιες περίοδοι αποθήκευσης στις δεξαμενές καυσίμων των πλοίων, απαιτείται η παράλληλη χρήση προϊόντων που δρουν ανασταλτικά εμποδίζοντας την οξείδωση.

Το βιοντίζελ και τα μείγματα βιοντίζελ με συμβατικό ντίζελ θα πρέπει να αποθηκεύονται σε καθαρό, ξηρό και σκοτεινό περιβάλλον. Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή εισροής νερού μέσα στη δεξαμενή. Κατά την αλλαγή χρήσης μιας δεξαμενής από μείγμα βιοντίζελ σε ντίζελ, πρέπει η δεξαμενή να καθαρίζεται, να επιθεωρείται και να επισκευάζεται. Οι παλαιότερες δεξαμενές πρέπει να καθαριστούν διεξοδικά, προκειμένου να αφαιρεθούν σωματίδια και ιζήματα που ενδέχεται τελικά να μολύνουν τον εφοδιασμό της δεξαμενής. Για να αποφευχθεί η επιμόλυνση του προϊόντος, συνιστάται, πριν την φόρτωση Βιοντίζελ σε βυτιοφόρο πετρελαιοειδούς, να ελέγχεται ότι δεν υπάρχουν υπολείμματα πετρελαιοειδών και νερού. Η μεταφορά αυτούσιου Βιοντίζελ με βυτία, τα οποία προηγουμένως μετέφεραν όξινα ή και βασικά διαλύματα, γλυκερίνη, φυτικά έλαια κ.ά., γίνεται μόνον ύστερα από καθαρισμό του βυτίου. Σε κάθε περίπτωση συνιστάται να λαμβάνονται όλες οι προφυλάξεις για να μην δημιουργηθούν συνθήκες ανάφλεξης.

4.5.7 Προβλήματα κατά την χρήση

Η χρήση του βιοκαυσίμου εντείνει κάποια προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται, σε μικρότερο βαθμό, στους κινητήρες ντίζελ κατά την καύση του και παρεμποδίζουν ελαφρά τη βέλτιστη λειτουργία του. Τα προβλήματα αυτά έχουν να κάνουν με τις ιδιότητες του καυσίμου και τη συμπεριφορά του σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Έτσι για παράδειγμα ενώ οι κινητήρες που κάνουν χρήση συμβατικού ντίζελ αντιμετωπίζουν προβλήματα κατά την εκκίνηση τους σε επίπεδα θερμοκρασιών κοντά στους 7 C λόγω του φαινομένου της τήξης, η χρήση βιοντίζελ στους ίδιους κινητήρες θα οδηγήσει στην εμφάνιση του προβλήματος, δυστυχώς σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες, περίπου 8 C.

Λόγω της φύσης του, το βιοντίζελ θεωρείται ως βελτιωτικό λιπαντικότητας και έτσι μπορεί να ενισχύσει την χαμηλή αποδοτικότητα λίπανσης των καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, μειώνοντας κατά συνέπεια τη φθορά στο σύστημα παροχής καυσίμου. Παρόλα αυτά μπορεί να υποβαθμιστεί με την πάροδο του χρόνου, σχηματίζοντας μολυσματικές ουσίες με τη μορφή υπεροξειδίων, οξέων και άλλων αδιάλυτων σωματιδίων. Το βιοντίζελ, ειδικά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, μπορεί να διαλύσει ορισμένα μη μεταλλικά υλικά όπως καπάκια, λάστιχα από καουτσούκ και φλάντζες. Μπορεί επίσης να αλληλεπιδράσει με ορισμένα μεταλλικά υλικά, όπως ο χαλκός και ο ορείχαλκος. Για ένα υπάρχον πλοίο, ενδέχεται να χρειαστεί να τροποποιηθεί το σύστημα καυσίμου και οι κινητήρες, αλλάζοντας τα ευπαθή εξαρτήματα με εξαρτήματα συμβατά με το βιοντίζελ για μια αβίαστη λειτουργία.⁴ Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με κατάλληλη τροποποίηση του βιοντίζελ ή εναλλακτικά η ανάμιξή του με συμβατικό ντίζελ σε μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό ανάλογα με την περίοδο.

Η υψηλή διαλυτική ικανότητα του βιοντίζελ ενδέχεται να "καθαρίσει" τις δεξαμενές καυσίμου από τα ιζήματα που σχηματίζει το συμβατικό ντίζελ και τα στερεά υπολείμματα να καταλήξουν στο σύστημα καυσίμου των εκάστοτε μηχανών και όσα από αυτά δεν περιοριστούν από τα φίλτρα καυσίμου, ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβες στους εγχυτήρες αυτών. Υλικά όπως ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, ο ορείχαλκος και ο κασσίτερος, μπορούν να οδηγήσουν σε οξείδωση κατά την επαφή τους με το βιοντίζελ με αποτέλεσμα τη δημιουργία ιζημάτων τα οποία ενδέχεται να φράξουν επίσης τα φίλτρα του κινητήρα.

Διαβρωση

Το βιοντίζελ διαθέτει διαβρωτικές ικανότητες οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα στην μηχανή του πλοίου. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου συνιστάται είτε η παρέμβαση στην διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ, με την παραγωγή καυσίμου χαμηλής οξύτητας, είτε η παρέμβαση στη μηχανή του πλοίου με αντικατάσταση των ευπαθών τμημάτων και των άλλων μετάλλων που δρουν ως καταλύτες, με νέα αντιοξειδωτικού χαρακτήρα.

Παρεμβυσματα Απο Καουτσουκ

Καθώς το βιοντίζελ χαρακτηρίζεται ως καύσιμο μεγαλύτερης οξύτητας από τα συμβατικά Η.Φ.Ο., η καταπόνηση των παρεμβυσμάτων από καουτσούκ αυξάνεται. Το βιοντίζελ θα συμπεριφερθεί ως διαλυτικό μέσο, πράγμα που ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα καθώς τείνει να μαλακώσει και τελικώς να καταστρέψει τα ελαστικά παρεμβύσματα του συστήματος καυσίμου του πλοίου και των αντλιών. Το πρόβλημα σε αυτήν την περίπτωση επιλύεται με την αντικατάσταση των ευπαθών τμημάτων της μηχανής με νέα συνθετικής φύσης, ανθεκτικά στην διαλυτική ικανότητα του βιοντίζελ.

Φραγή Σωληνωσεων Και Φίλτρου Καυσιμου

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό του βιοντίζελ, που πρέπει να ληφθεί υπόψη από τους καταναλωτές, είναι οι κατώτερες ιδιότητες που διαθέτει, από αυτές του συμβατικού ορυκτού ντίζελ, σε χαμηλές θερμοκρασίες. Μπορεί στην χώρα μας να συναντάμε σχετικά ήπιους χειμερινούς μήνες, ο κλάδος της ναυτιλίας όμως δεν περιορίζεται στα χωρικά ύδατα της χώρας μας, καθώς αποτελεί μια οικονομική δραστηριότητα διεθνούς χαρακτήρα, επομένως θα ήταν σημαντικό να αναφερθούμε στα πιθανά προβλήματα που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τους χειμερινούς μήνες.⁹⁰

Τα φίλτρα πρέπει να αλλάζονται συχνά όπως ακριβώς και όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα πετρελαίου. Το γεγονός ότι το biodiesel συνδυάζεται με νερό από το περιβάλλον έχει δημιουργήσει ένα πιθανό σημείο πήξης και δυσκολίας στην απρόσκοπτη ροή. Το standard του biodiesel EN14214 θέτει ένα όριο 500 mg/kg.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου συνιστά την σωστή ρύθμιση της θερμοκρασίας σε όλη την διαδρομή του καυσίμου μέσα στο σύστημα και την αύξηση του μεγέθους και της χωρητικότητας των σωληνώσεων. Πρέπει να γίνονται αυτά ώστε να διευκολύνεται η ροή του βιοντίζελ, ενώ λεπτομερής καθαρισμός των τυχών υπολειμμάτων απαιτείται προκειμένου να αποφευχθεί το φράξιμο των φίλτρων καυσίμου. Το πρόβλημα του φραξίματος μπορεί να παρατηρηθεί από πιθανές διαρροές στο σύστημα, λόγω της αυξημένης πίεσης η οποία προκαλείται από το φράξιμο.

Σημαντικό είναι επίσης να αναφέρουμε ότι βιοντίζελ έχει υποστεί συγκεκριμένη επεξεργασία, έτσι ώστε να διαθέτει χαμηλότερο ιξώδες (κινηματικό ιξώδες, cSt) από τα αυτούσια φυτικά έλαια. Το χαρακτηριστικό αυτό βέβαια πρέπει να αναφέρουμε εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την πρώτη ύλη, δηλαδή το είδος του ενεργειακού φυτού που χρησιμοποιήθηκε κατά την διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ. Το ιξώδες των διάφορων ποικιλιών βιοντίζελ πρέπει να ελέγχεται όσο αφορά την καταλληλότητά του για σημαντικά τμήματα του κινητήρα του πλοίου, όπως είναι η αντλία καυσίμου και οι εγχυτήρες καυσίμου.

Όπως και στην περίπτωση των συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων H.F.O. και M.D.O. έτσι και το βιοντίζελ απαιτεί κάποια προετοιμασία έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει η χρήση του από την μηχανή του πλοίου και πιο συγκεκριμένα από τμήματα του συστήματος. Τα καύσιμα αυτά πριν την καύση προθερμαίνονται έτσι ώστε να μειωθεί το ιξώδες, να μπορούν να κυκλοφορήσουν ανεμπόδιστα από τις σωληνώσεις και να μπορούν να λειτουργήσουν απρόσκοπτα οι αντλίες, οι φυγοκεντρωτές κ.α.. Η κατασκευή της αντλίας θα θέσει τα όρια για τις επιτρεπόμενες τιμές του ιξώδους του καυσίμου, τόσο για τις ανώτατες όσο και για τις κατώτατες τιμές. Επομένως η διατήρηση της θερμοκρασίας του συστήματος στα αποδεκτά όρια είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στον οποίο θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία, κυρίως σε περιπτώσεις ψυχρών καιρικών συνθηκών, προς αποφυγή ζημιών. Ακολουθεί ο πίνακας 4-9. όπου παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές για το βιοντίζελ και για τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα που αναφέραμε και προηγουμένως.

Πίνακας 4 - 9. Χαρακτηριστικές τιμές ιδιοτήτων βιοντίζελ και συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων

	BIODIESEL	M.D.O.	H.F.O.
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ 150C	860-900 kg/m ³	<900 kg/m ³	975-1010 kg/m ³
ΙΞΩΔΕΣ 400C/500C	3.5-5 cSt	<11 cSt	<700 cSt 500 C
ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ	>1200C	>600 C	>600 C
ΘΕΙΟ	<10 ppm	<20.000 ppm	<50.000 ppm

Ένα cSt αντιστοιχεί στην τιμή του ιξώδους του νερού στους 20oC. Τα πιο γνωστά ναυτιλιακά βαριά καύσιμα I.F.O. 180 και I.F.O. 380 , έχουν τιμή ιξώδους 180 και 380 cSt αντίστοιχα στους 50oC, ενώ για το M.D.O. η αντίστοιχη τιμή κυμαίνεται μεταξύ 1-10 cSt στους 40oC. Τα συμβατικά βαριά καύσιμα προθερμαίνονται και την στιγμή που περνούν από τους εγχυτήρες, έχουν τιμή ιξώδους 13-14 cSt, οπότε την χρήση του βιοντίζελ στις μηχανές των πλοίων δεν αναμένεται να παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα, εφόσον η θερμοκρασία του συστήματος διατηρείται στα σωστά επίπεδα.

Οι κατώτερες ιδιότητες του βιοντίζελ παρουσία ψυχρών καιρικών συνθηκών και προκειμένου να αποφευχθούν οι όποιες βλάβες στο σύστημα καυσίμου των πλοίων, μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με την χρήση πρόσθετων καυσίμου (fuel additives). Τα πρόσθετα καυσίμου είναι συνήθως πολυμερικές ενώσεις που δεν επιτρέπουν την ένωση των παραφινικών κρυστάλλων, σε επίπεδο όπου παρεμποδίζεται η απρόσκοπτη ροή του βιοντίζελ.

Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία του συστήματος καυσίμου είναι ένας σημαντικότερος παράγοντας που συμβάλει στη σωστή λειτουργία της μηχανής, απαιτείται η ακριβής ρύθμιση και διατήρησή της, καθώς πτώση ή άνοδος της από τα επιτρεπτά όρια θα οδηγήσει στα δυσάρεστα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η χρήση λοιπόν βιοντίζελ για την κίνηση των πλοίων επιβάλλει εκτός από τα πρόσθετα καυσίμου για την βελτίωση των ιδιοτήτων του και την εγκατάσταση πιθανών νέων συσκευών όπως θερμοαντίες και ψυκτές που θα ελέγχουν και θα ρυθμίζουν την θερμοκρασία του συνολικού συστήματος.

Σπηλαιωση

Η σπηλαιώση (cavitation) είναι η δημιουργία φυσαλίδων ατμού σε ένα ρέον υγρό στο σημείο όπου η πίεσή του πέφτει χαμηλότερα από την πίεση του ατμού του. Η σπηλαιώση θεωρείται από τους κύριους παράγοντες φθοράς σε βιομηχανικά συστήματα. Το φαινόμενο συνήθως διαιρείται σε δύο υποφαινόμενα.

·Vaporous Cavitation: Φαινόμενο κατά το οποίο φυσαλίδες ατμού εμφανίζονται σε ένα υγρό, λόγω της εξάτμισης η οποία προκαλείται από τοπική διαφορά πίεσης ή από τοπική αύξηση της θερμοκρασίας

·Gaseous Cavitation: Φαινόμενο κατά το οποίο φυσαλίδες αερίου εμφανίζονται, λόγω της παρουσίας διαλυμένων αερίων στο υγρό και η τοπική στατική πίεση είναι μικρότερη από την πίεση κορεσμού του αερίου.

Στην περίπτωση των μηχανών των πλοίων στις οποίες χρησιμοποιείται ως καύσιμο το βιοντίζελ έχουμε την εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαιώσης (Vaporous cavitation), το οποίο εμφανίζεται στις αντλίες έκχυσης καυσίμου. Η τοπική αύξηση της ταχύτητας του καυσίμου οδηγεί στην τοπική πτώση της πίεσης του σε τιμές χαμηλότερες από το σημείο ατμοποίησης του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον βρασμό του καυσίμου, δηλαδή την δημιουργία φυσαλίδων, φαινόμενο το οποίο θα μπορούσε να παρατηρηθεί και στην περίπτωση της τοπικής αύξησης της θερμοκρασίας του. Η διαδικασία συνεχίζεται αν δεν μεταβληθούν οι συνθήκες και έτσι νέες φυσαλίδες δημιουργούνται ενώ οι πρώτες αυξάνουν το μέγεθός τους. Αφού παρασυρθούν από το καύσιμο, οι φυσαλίδες καταλήγουν σε σημεία όπου οι τιμές της πίεσης είναι υψηλές και έτσι αρχίζουν να καταρρέουν δηλαδή να επανυγροποιούνται.

Το κενό που σχηματίζεται κατά την υγροποίηση τείνει να καλυφθεί, με ορμή από το υπόλοιπο υγρό, που "σφυρηλατεί" τα σημεία της αντλίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη απόδοση της αντλίας, τον υπερβολικό θόρυβο, την παρατήρηση δονήσεων και τελικά την φθορά της αντλίας η έκταση της οποίας μπορεί να κυμαίνεται από ένα μικρό ποσοστό μέχρι της πλήρης διάβρωσής της, σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

Τέλος σημαντικό είναι να αναφερθούμε στα πιθανά προβλήματα που μπορεί να οδηγήσει για τις δεξαμενές αποθήκευσης η ιδιότητα του βιοντίζελ να απορροφά νερό όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η παρουσία νερού θα οδηγήσει σε πλήθος προβλημάτων όπως είναι η εμφάνιση μικροοργανισμών (biological growth), η μείωση της θερμοκρασίας κατά την καύση με αποτέλεσμα την δημιουργία μεγαλύτερης ποσότητας καπνού, την εμφάνιση δυσκολιών κατά την εκκίνηση της μηχανής και την μειωμένη απόδοση, η επιτάχυνση της οξειδωσης, η εμφάνιση του φαινομένου της ευλογιάσης (pitting) στα πιστόνια της μηχανής και τέλος καθώς το νερό παγώνει και δημιουργούνται κρύσταλλοι η θερμοκρασία του βιοντίζελ μειώνεται και επιδεινώνονται οι ήδη κατώτερες ιδιότητές του παρουσία ψυχρών συνθηκών (gelling)

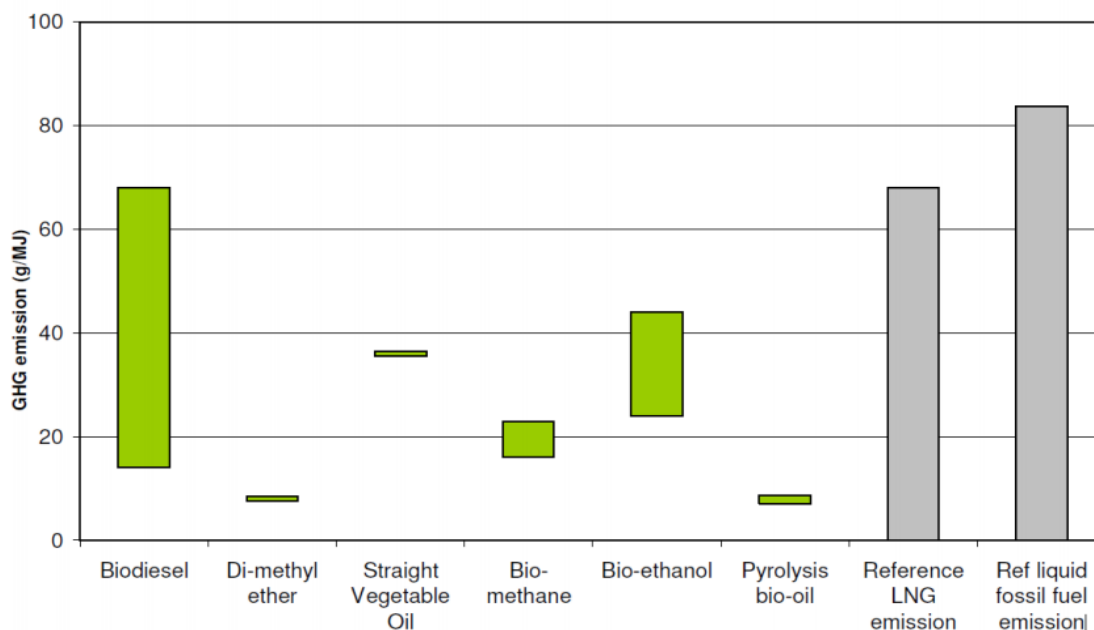
Η μικροβιακή επιμόλυνση του πετρελαίου ή βιοντίζελ προκαλεί προβλήματα. Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται πολύ λίγο νερό για να αναπτυχθούν. Στην πράξη υπάρχει αρκετό νερό-υγρασία στον πυθμένα των δεξαμενών, στις σωληνώσεις και στην επιφάνεια των καυσίμων από συμπύκνωση υδρατμών. Οι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονται με αποτέλεσμα να δημιουργούν προβλήματα σε όλη την αλυσίδα διακίνησης και λειτουργίας του, από τις δεξαμενές αποθήκευσης έως την τελική χρήση στις μηχανές καύσης. Τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν σχετίζονται με το σύστημα του πλοίου, σημαντικά τμήματα του όπως αντλίες καυσίμου και οι δεξαμενές αποθήκευσης και όχι με την μηχανή (στην λειτουργία της οποίας δεν αναμένονται να παρουσιαστούν προβλήματα από την χρήση βιοντίζελ)

Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος λειτουργίας μιας μηχανής. Ορίζεται ως η κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα ισχύος και ανά μονάδα χρόνου. Οι υψηλότερες τιμές ειδικής κατανάλωσης καυσίμου των φυτικών ελαίων οφείλονται στο χαμηλότερο θερμικό περιεχόμενο τους αλλά και στην ύπαρξη μεγάλου ποσοστού οξυγόνου (περίπου 10%) το οποίο καταλαμβάνει χώρο στο μίγμα. Ωστόσο, ένα μίγμα B20 δεν προκαλεί σημαντική αύξηση στην κατανάλωση του καυσίμου.

4.5.8 Εκπομπές Ρύπων

Γενικά επικρατεί μια δυσπιστία σχετικά με τη χρήση βιοκαυσίμων εξαιτίας των αυξημένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο έρευνες δείχνουν πως ακόμη και το βιοντίζελ, το οποίο θεωρείται το πιο επιβλαβές από τα βιοκαύσιμα όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, είναι αποδοτικότερο από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Εν αντιθέσει με τα υπόλοιπα «καθαρά καύσιμα» όπως το φυσικό αέριο (CNG) το βιοντίζελ και άλλα βιοκαύσιμα παράγονται από ανανεώσιμες γεωργικές σοδειές που αφομοιώνουν το ατμοσφαιρικό CO₂ για την ανάπτυξη τους. Ωστόσο, κάποια ενέργεια από ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιείται όταν παράγεται η πρώτη ύλη του biodiesel. Το θέμα περιπλέκεται περαιτέρω από το γεγονός ότι τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων, απελευθερώνουν πρωτοξείδιο του αζώτου, ένα πολύ δραστικό αέριο του θερμοκηπίου. Βέβαια στην περίπτωση του βιοντίζελ οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξαρτώνται σημαντικά από τη σύσταση της πρώτης ύλης.



Σχήμα 4 - 17. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από διάφορους τύπους βιοκαυσίμων. Πηγή: Florentinus et. al, 2012.

Παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στα δύο είδη καυσίμων, βιοντίζελ και συμβατικά, όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων κατά την καύση τους. Η περιεκτικότητα του βιοντίζελ σε θείο, η παρουσία του οποίου ευθύνεται για την εκπομπή οξειδίων του θείου (SO_x) στην ατμόσφαιρα, είναι σχεδόν μηδενική με αποτέλεσμα να εξαλείφεται η περίπτωση ρύπανσης από το στοιχείο αυτό. Επίσης, σε αντίθεση με το συμβατικό ντίζελ, το βιοντίζελ περιέχει 11% οξυγόνο κ.β., που οδηγεί σε λιγότερο ατελή καύση με αποτέλεσμα να περιορίζεται η εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης.

Ο Πίνακας 4-10 παρουσιάζει τη σύγκριση των εκπομπών αερίων ρύπων και πώς αυτές μεταβάλλονται με τη χρήση διαφορετικών μιγμάτων βιοντίζελ σε σχέση με το συμβατικό καύσιμο.

Πίνακας 4-10. Σύγκριση εκπομπής ρύπων μεταξύ B20 και B100 βιοκαυσίμου.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ		
ΡΥΠΟΙ	B20	B100
Μονοξειδίο του Άνθρακα (CO)	-12%	-48%
Άκαυστοι Υδρογονάνθρακες	-20%	-67%
Αιωρούμενα Σωματίδια	-12%	-47%
Οξειδία του Αζώτου (NOx)	+2%	+10%
Οξειδία του Θείου (SOx)	-20%	-100%
Τοξικά Αέρια	-12% έως -20%	-60% έως -90%

Από τα στοιχεία του πίνακα διαπιστώνουμε πως το βιοντίζελ είναι περιβαλλοντικά φιλικότερο καύσιμο από το συμβατικό ντίζελ. Οι εκλύσεις μονοξειδίου του άνθρακα είναι κατά 12% και 48% μειωμένες για το B20 και το B100, καθαρό ντίζελ, αντίστοιχα. Μείωση παρουσιάζεται κατά την καύση του καθαρού βιοντίζελ και στην ποσότητα των άκαυστων υδρογονανθράκων με μείωση της τάξης του 67%. Όσο αφορά τα οξείδια του θείου, ρύποι οι οποίοι χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής και ήδη λαμβάνονται μέτρα για τον περιορισμό τους, περιορίζονται κατά 20% για το B20 ενώ με τη χρήση καθαρού βιοντίζελ εξαλείφονται τελείως.

Οι εκπομπές NOx οφείλονται συνήθως στις υψηλές θερμοκρασίες καύσης. Τα NOx παράγονται κατά την οξείδωση του ατμοσφαιρικού N₂ μέσα στο θάλαμο καύσης της μηχανής λόγω ύπαρξης υψηλών θερμοκρασιών. Πολλές μελέτες αναφέρουν ότι αυξάνονται οι εκπομπές σε NOx όταν χρησιμοποιούνται μίγματα με βιοντίζελ. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο περιεχόμενο οξυγόνο του μίγματος καυσίμου. Περισσότερο οξυγόνο και καλύτερη καύση του καυσίμου σημαίνει αύξηση των εκπομπών σε NOx. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ένα μίγμα B20 σε μη τροποποιημένη μηχανή αποδίδει μειωμένες εκπομπές, εκτός από αυτές των NOx, οιοποιές μπορεί να είναι 2-5 % αυξημένες. Όταν το ντίζελ αντικαθίσταται από καθαρό βιοντίζελ (B100), οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου αυξάνουν κατά περίπου 10 %. Αυτές οι εκπομπές δεν οφείλονται στη χημική σύσταση του καυσίμου, αλλά στις συνθήκες καύσης. Η καύση βιοκαυσίμων σε μηχανές πλοίων είναι διαφορετική από την καύση των ναυτιλιακών καυσίμων και η ακριβής απόδοση σε περιπτώσεις υψηλών ποσοστών βιοκαυσίμου είναι δύσκολο να προβλεφθεί.

Αδιαφάνεια (θολότητα) καπνού

Τα ποσοστά θολότητας καπνού κατά τη χρήση φυτικών ελαίων είναι μεγαλύτερα από του ντίζελ. Την ελάχιστη θολότητα καπνού παρουσιάζει το ντίζελ (29%) ενώ τα μέγιστα παρουσιάζουν το σογιέλαιο, καλαμποκέλαιο και το κραμβέλαιο. Οι τιμές θολότητας των μεθυλεστέρων κυμαίνονται ανάμεσα σε αυτήν του ντίζελ και των ακατέργαστων ελαίων. Τα υψηλότερα ποσοστά θολότητας καπνού των φυτικών ελαίων οφείλονται κυρίως στην ύπαρξη βαρύτερων μορίων υδρογονανθράκων.

Καπνός και αιθάλη

Ο καπνός (σωματίδια) και η αιθάλη (άκαυστο καύσιμο και υπόλειμμα άνθρακα) επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του αστικού ατμοσφαιρικού αέρα. Η απουσία βαρέων πετρελαϊκών αποσταγμάτων από τους εστέρες φυτικών ελαίων, μειώνουν τις εκπομπές καπνού και αιθάλης σε σκάφη αναψυχής. Τα σκάφη αναψυχής αποτελούν δε, την κύρια πηγή κατανάλωσης βιοντίζελ. Το βιοντίζελ περιέχει σημαντική ποσότητα οξυγόνου, το οποίο συμβάλλει στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της καύσης ακόμα και όταν χρησιμοποιείται ως συστατικό μίγματος καυσίμου. Η καλύτερη καύση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών σε σωματίδια και άκαυστο καύσιμο, ιδίως σε παλιές τεχνολογίας μηχανές άμεσης εγχύσεως. Η χρήση μίγματος B20 (βιοντίζελ 20%) σε συνδυασμό με οξειδωτικό καταλύτη μειώνει την εκπομπή σωματιδίων κατά 45%, τους συνολικούς υδρογονάνθρακες κατά 65% και το CO κατά 41%.

Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες

Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) είναι μια κατηγορία των βαρέων υδρογονανθράκων πετρελαίου με χαρακτηριστική πολύπλοκη δομή δακτυλίων που τους καθιστούν αδιάλυτους, δύσκολους στην καύση και καρκινογόνους. Επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών σε PAH κατά 12% όταν χρησιμοποιείται καύσιμο B20 και μείωση κατά 74% όταν χρησιμοποιείται καθαρό βιοντίζελ σε μηχανή Cummins N-14, ενώ σε μηχανή Detroit Diesel η μείωση ήταν 29% και 68% αντίστοιχα.

Θαλάσσιο περιβάλλον και βιοντήζελ

Από το 1994 μέχρι το 1996, η CytoCulture σε συνεργασία με το τμήμα California Department of Fish & Game διεξήγαγε πολλές έρευνες σχετικά με την επίδραση των μεθυλικών εστέρων φυτικών ελαίων σε διάφορα εγχώρια είδη υδρόβιων φυτών και θαλασσίων οργανισμών. Οι νεογέννητες μορφές των ψαριών και των οστρακόδερμων είναι πιο ευαίσθητες από τις ενήλικες και γι' αυτό το λόγο όλες οι έρευνες τοξικότητας έγιναν σε αυτές τις μορφές. Αποδείχθηκε ότι η τοξικότητα του βιοντίζελ και οι επιπτώσεις αυτής στη θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα, είναι σημαντικά χαμηλότερες από του συμβατικού καυσίμου και κυμαίνεται σε επίπεδα 20 έως 40 φορές χαμηλότερα από το ορυκτό ντίζελ.

Η μικρή διαλυτότητα του βιοντίζελ και ο υψηλός ρυθμός βιοδιάσπασης, έχουν σαν αποτέλεσμα να θεωρείται περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικό. Οι μεθυλεστέρες του βιοντήζελ είναι πρακτικά αδιάλυτοι στο γλυκό και θαλασσινό νερό. Η συγκέντρωση κορεσμού είναι 7 ppm (σε θαλασσινό νερό) και 14 ppm (σε γλυκό νερό) στους 17°C, ενώ οι αρωματικές ενώσεις του ντίζελ διαλύονται περισσότερο (συγκέντρωση κορεσμού μερικές εκατοντάδες ppm). Αντίθετα το πετρέλαιο εναποθέτει και διασπά αρωματικές ενώσεις στο νερό με βαθμό κορεσμού εκατοντάδων ppm. Για παράδειγμα το βιοντίζελ που προέρχεται από το έλαιο του φυτού ελαιοκράμβη, γνωστό και ως RME (Rapeseed Methyl Ester), μπορεί να αποσυντεθεί κατά 98,3% μέσα σε 21 ημέρες μόνο, ενώ ο χρόνος ημιζωής, δηλαδή ο χρόνος αντίδρασης της μισής ποσότητας των ενεργών αντιδρώντων της βιοδιάσπασης, είναι οι τέσσερις πρώτες ημέρες. Η διαλυμένη φάση των μεθυλεστέρων του βιοντήζελ αποικοδομείται με φυσικό τρόπο, από τα βακτήρια που βρίσκονται στη θάλασσα.

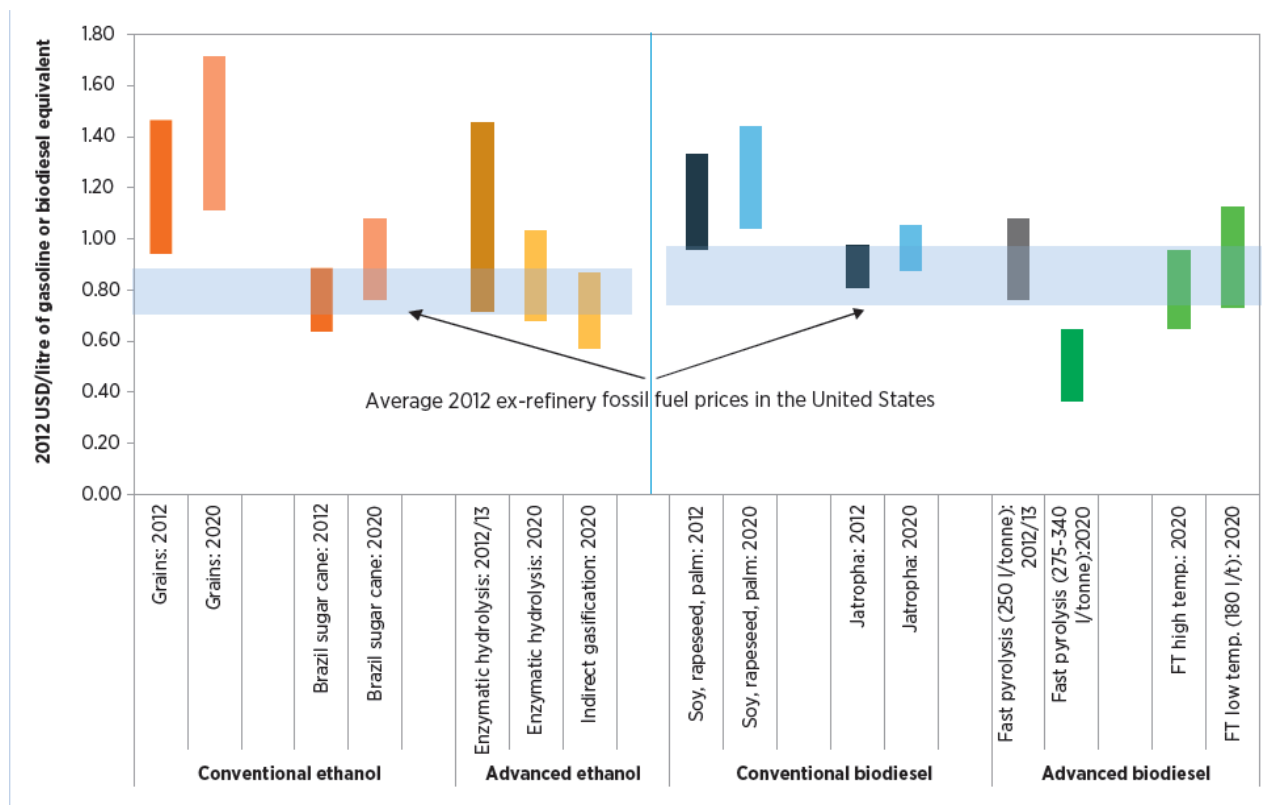
Τα παραπάνω χαρακτηριστικά του βιοντίζελ αποτελούν πλεονεκτήματα τα οποία θα έπρεπε σε κάθε περίπτωση να απασχολήσουν τον τομέα των θαλασσίων μεταφορών, μιας και η ατυχηματική ρύπανση είναι ένα φαινόμενο αναπόφευκτο σε πολλές περιπτώσεις. Παρ'όλα αυτά σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υποτιμάται μιας μεγάλης έκτασης ρύπανση από βιοντίζελ, καθώς πάντα θα αποτελεί απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον τόσο για την χλωρίδα όσο και για την πανίδα.

Ο οργανισμός EPA θεωρεί ότι οι κηλίδες ζωικών λιπών και φυτικών ελαίων είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον. Τον Οκτώβριο του 1997 η Clean Water Act χαρακτήρισε τα φυτικά έλαια ως πετρέλαιο (όπως το ντίζελ), ενώ στη Γαλλία το βιοντήζελ θεωρείται ως «τρόφιμο για μεταφορικούς σκοπούς». Η απόρριψη του βιοντήζελ, θεωρείται τόσο παράνομη όσο και η απόρριψη των πετρελαϊκών καυσίμων στη θάλασσα. Αν και το βιοντήζελ είναι σχετικά μη τοξικό και ρέει ευκολότερα από τα φυτικά έλαια, είναι επιβλαβές για τους υδρόβιους οργανισμούς υπό την μορφή μεγάλων κηλίδων στη θάλασσα.

4.5.9 Κόστος Χρήσης

Το λειτουργικό κόστος ενός πλοίου ορίζεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του από το κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Αναφορικά με τις επιλογές βιοκαυσίμων στην ναυτιλία, εξακολουθούν να υπάρχουν περιορισμοί που σχετίζονται με τα υψηλά κόστη παραγωγής αλλά και την κλίμακα που απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες της ναυτιλίας καθώς επίσης και με τον ανταγωνισμό για τα καύσιμα άλλων κλάδων όπως των οχημάτων δρόμου, των εναέριων μέσων και των σιδηροδρόμων

Μια ακριβής πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών είναι δύσκολη να πραγματοποιηθεί, καθώς οι τιμές επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, ωστόσο αναμένεται ότι τις επόμενες δεκαετίες θα αυξηθούν σημαντικά. Υψηλές τιμές αργού πετρελαίου σηματοδοτούν την αύξηση της τιμής όλων των ορυκτών καυσίμων. Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν πως η υιοθέτηση καλύτερων γεωργικών πρακτικών και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μετατροπής θα οδηγήσει μελλοντικά στη μείωση του κόστους των βιοκαυσίμων αν και οι δυνατότητες για μείωση κόστους μέχρι το έτος 2020 είναι αρκετά αβέβαιες λόγω της προβλεπόμενης αύξησης των τιμών των τροφίμων, των χαμηλών δυνατοτήτων για βελτίωση της αποδοτικότητας για τις τεχνολογίες πρώτης γενιάς βιοκαυσίμων καθώς και της αβεβαιότητας για τις τεχνολογικές ανακαλύψεις στον τομέα των προηγμένων βιοκαυσίμων (Σχήμα 4-18).



Σχήμα 4 - 18. Κόστος παραγωγής για συμβατικά και προηγμένα βιοκαύσιμα 2012-2020.⁹²

Σύμφωνα με την οδηγία RED, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί χαμηλότερης ποιότητας βιοντίζελ για ναυτιλιακό καύσιμο, το οποίο θα μείωνε κατά πολύ το κόστος τους. Στην πράξη ακόμη αυτό δεν έχει εφαρμοστεί, διότι θεωρείται βιομηχανικά ασύμφορο για μια βιομηχανία να παράγει διαφορετικές ποιότητες βιοντίζελ (διότι ο καθαρισμός πραγματοποιείται συνήθως σε ένα μόνο στάδιο) και επίσης εγείρονται προβληματισμοί σχετικά με τις ακριβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις εκπομπές του βιοντίζελ χαμηλότερης ποιότητας.

Επίσης θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη και οι λεγόμενοι περιβαλλοντικοί φόροι, δηλαδή οι φόροι που επιβάλλονται στα καύσιμα, όπως τα συμβατικά ναυτιλιακά. Οι φόροι αυτοί αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια, στα πλαίσια των διεθνών περιβαλλοντικών πρακτικών για την βιώσιμη ανάπτυξη και την περιβαλλοντική προστασία. Επίσης συγκεκριμένα για τον τομέα της ναυτιλίας, σημαντικές είναι και οι αναμενόμενες αυξήσεις στην φορολογία του διοξειδίου του θείου, το οποίο εκλύεται σε σημαντικές ποσότητες κατά την καύση των συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων. Τα παραπάνω αναμένεται να αλλάξουν την μέχρι τώρα εικόνα και να δώμε το χάσμα ανάμεσα στο βιοντίζελ και τα συμβατικά καύσιμα να μειώνεται, ακόμα και να αντιστρέφεται.

4.5.10 Μελλοντικές Προοπτικές

Οι ενέργειες για την προώθηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας δεν αφήνουν αδιάφορο τον τομέα της ναυτιλίας, ενώ η χρήση του βιοντίζελ στις μηχανές των πλοίων μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα και με σχετικά μικρό κόστος. Επίσης η τάση για υποκατάσταση του πετρελαίου έως έναν βαθμό είναι πλέον εμφανής και στο εσωτερικό των ναυτιλιακών εταιρειών, οι οποίες επενδύουν μεγάλα ποσά για την έρευνα εναλλακτικών πηγών ενέργειας και της συμβατότητάς τους.

Η χρήση όμως του βιοντίζελ απο τον τομέα της ναυτιλίας παρουσιάζει κάποια προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν έτσι ώστε να προχωρήσει η διάδοση του καυσίμου μελλοντικά. Εκτός από το σχετικά υψηλότερο κόστος του βιοντίζελ 1ης γενιάς συγκριτικά με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα και της περιορισμένης παραγόμενης ποσότητας σε παγκόσμιο επίπεδο οι εταιρείες αναφέρουν και κάποια ακόμη προβλήματα τα οποία επιζητούν λύσεις. Αυτά όπως προαναφέρθηκαν και στις προηγούμενες παραγράφους είναι:

- Η ικανότητα αποθήκευσης του βιοντίζελ στις δεξαμενές αποθήκευσης των πλοίων (storage tanks).
- Η αντίδραση του βιοντίζελ με συγκεκριμένα υλικά

- Η ανάπτυξη μικροοργανισμών (biological growth)
- Οι κατώτερες ιδιότητες σε ψυχρές κλιματικές συνθήκες, συγκριτικά με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα.
- Αυξημένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου
- Οι διαφορές της διατιθέμενης ποιότητας παγκοσμίως, σαν απόρροια της διαφορετικής χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης.

• Η χρήση πρώτων υλών οι οποίες χρησιμοποιούνται και σαν τροφή. Σε μικρότερο βαθμό το βιοντίζελ 2ης γενιάς και σε μεγαλύτερο το βιοντίζελ 3ης γενιάς από μικροάλγη αντιμετωπίζουν επιτυχώς όλα τα παραπάνω προβλήματα. Επικεντρώνοντας την προσοχή στο βιοντίζελ 3ης γενιάς, το οποίο είναι και το επικρατέστερο για την διαδοχή του πετρελαίου, σημαντικά βήματα πρέπει να γίνουν ακόμα τόσο από τεχνολογικής άποψης έτσι ώστε να μειωθεί σημαντικά το κόστος παραγωγής του όσο και από την μεριά της επαρκούς παραγωγής ώστε να επιτυγχάνεται ο διαρκής και απρόσκοπτος εφοδιασμός των πλοίων στα διάφορα σημεία του πλανήτη.

Τα επόμενα χρόνια αναμένονται επαναστατικά βήματα στον τομέα των εναλλακτικών πηγών ενέργειας γενικά και ειδικότερα στην παραγωγή και διάθεση του βιοντίζελ. Ο τομέας της ναυτιλίας μπορεί να επωφεληθεί από αυτό και με την σειρά του να συμβάλει όχι μόνο στην βιωσιμότητα και την ανάπτυξη του ίδιου του κλάδου της ναυτιλίας αλλά και στην βιωσιμότητα του πλανήτη μας.

4.5.10.1 Νέα γενιά Βιοντίζελ

Κατά πολλούς το βιοντίζελ 3ης γενιάς, αποτελεί τη μόνη λύση να αντικαταστήσει επαρκώς τα συμβατικά καύσιμα καλύπτοντας ικανοποιητικά τόσο τη ζήτηση με προσφορά επαρκούς ποσότητας, όσο και το κόστος παραγωγής το οποίο δύναται να συγκρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα. Η άλγη, δηλαδή τα μικροφύκη, συναντώνται κυρίως σε αλμυρά και γλυκά νερά, όπως σε θάλασσες, λίμνες και λιμνοθάλασσες. Ορισμένα είδη έχοντας προσαρμοστεί κατάλληλα, μπορούν να ευδοκιμήσουν σε αφθονία ακόμα και σε θερμές ή ψυχρές ερημικές εκτάσεις.



Σχήμα 4 - 19. Άλγη

Όπως και τα φυτά, έτσι και τα μικροφύκη απαιτούν ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ελαίων. Σε αντίθεση όμως με τα φυτικά είδη, τα μικροφύκη αναπτύσσονται γρήγορα και είναι εξαιρετικά πλούσια σε έλαια. Η απόδοση τους μπορεί να υπερβεί και το 80 % σε βάρος ξηρής μάζας. Ανάλογα με το είδος, τα μικροφύκη μπορούν να παράγουν πολλά διαφορετικά είδη λιπιδίων και υδρογονανθράκων. Από αυτά, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα για τα παραγωγή υγρού βιοκαυσίμου, ωστόσο πολλά από αυτά κρίνονται κατάλληλα.

Τα φύκια μπορούν να παράγουν έως και 300 φορές περισσότερο καύσιμο ανά στρέμμα από συμβατικές καλλιέργειες. Καθώς τα φύκια έχουν κύκλο συγκομιδής 1-10 ημερών, επιτρέπονται πολλές συγκομιδές σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Επειδή τα κύτταρα αναπτύσσονται σε υδατικό εναίωρημα, όπου έχουν πιο αποτελεσματική πρόσβαση σε νερό, CO₂ και διαλυμένες θρεπτικές ουσίες, τα μικροφύκη είναι ικανά να παράγουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας και λαδιού είτε σε ανοικτές λίμνες (open ponds) ή σε φωτοβιοαντιδραστήρες (photobioreactors).

Μικροφύκη μπορεί επίσης να καλλιεργούνται σε εκτάσεις που δεν είναι κατάλληλες για άλλες καθιερωμένες καλλιέργειες, για παράδειγμα, άγονη γη, γη με υπερβολικά αλατούχα εδάφη, κ.λπ. Σημαντικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη με προοπτική εφαρμογής καλλιέργειας μικροφυκών παρουσιάζονται σε βιομηχανίες από τις οποίες εκλύεται CO₂ στην ατμόσφαιρα (όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου), από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού, σε βιομηχανίες τσιμεντοποιίας, από ξηραντήρια με χρήση βιομάζας, από μεγάλες εγκαταστάσεις θέρμανσης (θερμοκήπια, ξενοδοχεία), επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Το πρώτο βήμα στην παραγωγική διαδικασία είναι η επιλογή του καταλληλότερου είδους άλγης, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη υλη και τελικώς θα μας αποδώσει το βιοντίζελ. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην περιεκτικότητα του προς επιλογή είδους, σε λιπίδια και υδρογονάνθρακες, τα οποία στο τέλος της διαδικασίας θα συνεισφέρουν στην απόδοση μεγαλύτερης ποσότητας βιοντίζελ. Επίσης θα πρέπει να γίνει ο κατάλληλος έλεγχος έτσι ώστε να εξακριβωθεί η δυνατότητα του είδους να ευδοκιμήσει στις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες και η προσαρμογή του να λάβει χώρα ανεμπόδιστα.

Εφόσον ολοκληρωθούν τα παραπάνω στη συνέχεια έχουμε την καλλιέργεια των φυκών. Η καλλιέργεια μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους :

1. Σε ανοιχτές δεξαμενές
2. Σε κλειστές δεξαμενές
3. Σε φωτοβιοαντιδραστήρες

Οι τρεις αυτές μέθοδοι διαφέρουν λόγω της αποδοτικότητας που προσφέρουν και των διαφορετικών προβλημάτων που καθεμία παρουσιάζει. Η πιο οικονομική λύση είναι η πρώτη, αυτή των ανοιχτών δεξαμενών, η οποία όμως παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα όπως μόλυνση των φυκών, εξάτμιση, μερική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και ανάπτυξη παρασίτων. Οι κλειστές δεξαμενές μοιάζουν με θερμοκήπια στα οποία οι συνθήκες καλλιέργειας μπορούν να επηρεαστούν και να ελεγχθούν κατά βούληση. Τέλος σαν βέλτιστη λύση από τους ειδικούς, παρουσιάζονται οι φωτοβιοαντιδραστήρες. Πρόκειται για ένα απόλυτα ελεγχόμενο σύστημα που οδηγεί σε ακόμα μεγαλύτερη απόδοση της καλλιεργητικής διαδικασίας. Οι φωτοβιοαντιδραστήρες κατά τη διάρκεια της παραγωγής ενσωματώνουν κάποιο είδος φωτεινής πηγής, ενώ κάθε ημιδιαφανές δοχείο ή σωλήνας που επιτρέπει τη διέλευση φωτός από το εσωτερικό τους, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας φωτοβιοαντιδραστήρας. Η μέθοδος αυτή αποτελεί την μέχρι τώρα πιο αποδοτική αλλά και πιο απαιτητική σε κεφαλαιακές ανάγκες.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

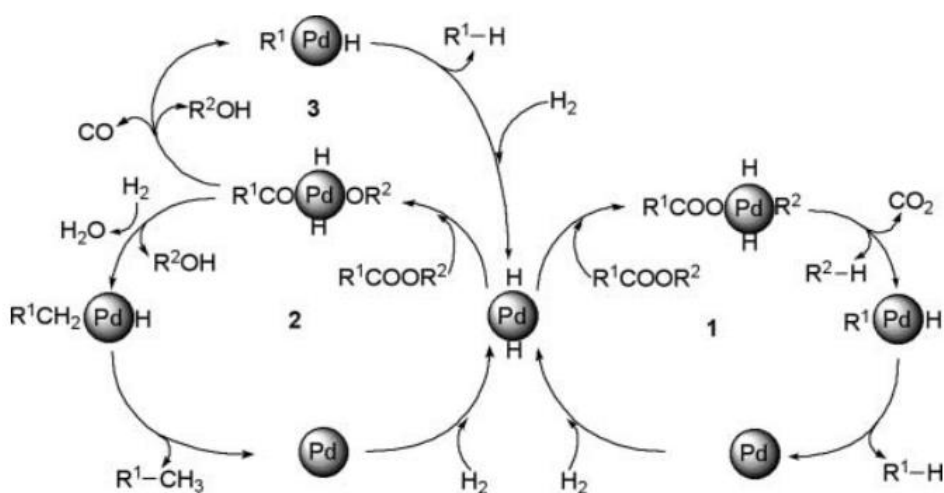
Σχήμα 4 - 20. Διάφοροι τύποι συστημάτων καλλιέργειας μικροφυκών (α) Κλειστού τύπου δεξαμενή, (β) ανοιχτού τύπου δεξαμενή, (γ) πλαστικοί υποδοχείς άλγης, (δ) κεκλιμένοι φωτοαντιδραστήρες.

Τα μικροφύκη μπορούν να παρέχουν πολλούς διαφορετικούς τύπους ανανεώσιμων βιοκαυσίμων. Αυτά περιλαμβάνουν το μεθάνιο, που παράγεται από την αναερόβια πέψη της βιομάζας των φυκών, βιοντίζελ που προέρχεται από έλαια μικροφυκών και φωτοβιολογικός παραγόμενο βιουδρογόνο.

Η εξαγωγή ελαίου από μικροφύκη απαιτεί την παραγωγή μεγάλης ποσότητας βιομάζας τους, η οποία και θα πρέπει να είναι πλούσια σε έλαια. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι η παραγωγή βιομάζας αυτών είναι πιο ακριβή από την καλλιέργεια φυτών, δυσχεραίνει την προσπάθεια για χρήση τους ως πηγές βιοκαυσίμου. Ωστόσο, το κόστος παραγωγής βιοντίζελ από μικροφύκη μπορεί να μειωθεί σημαντικά ακολουθώντας κατάλληλες στρατηγικές όπως η βελτίωση της απόδοσης των μικροφυκών μέσω της γενετικής μηχανικής. Επιπλέον, εκτός από τα έλαια, τα μικροφύκη περιέχουν και σημαντικές ποσότητες πρωτεϊνών και υδατανθράκων και άλλων θρεπτικών συστατικών. Έτσι, τα υπολείμματα από την εξαγωγή του ελαίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή ζωοτροφών γεγονός μπορεί να αντισταχθεί στο υψηλό κόστος παραγωγής βιομάζας τους.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται εντατική έρευνα για την εισαγωγή της προπανόλης ως συμπλήρωμα του βιοντίζελ. Η προπανόλη είναι συμβατή από θέμα χημικής δομής και φυσικών ιδιοτήτων (σημείο βρασμού, ιξώδες κλπ) με το βιοντίζελ και η από κοινού χρήση τους φαίνεται να παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Ωστόσο όλες οι έρευνες επικεντρώνονται σε μίγματα βιοντίζελ/προπανόλης με συγκέντρωση ως 20 %, διότι υψηλότερες συγκεντρώσεις απαιτούν την προσθήκη κάποιας ένωσης – βελτιωτή του αριθμού κετανίου (CN). Η προπανόλη έχει χαμηλή δραστηριότητα και μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης, ιδιότητες που την καθιστούν ένα ιδανικό υποψήφιο που θα επιτρέψει λειτουργίες ομογενούς ανάφλεξης συμπίεσης φορτίου (HCCI) σε κινητήρες ντήζελ. Επίσης τριμερή μίγματα προπανόλης/βιοντίζελ/ντήζελ και προπανόλης/φυτικών ελαίων/ντήζελ έχουν υψηλότερο CN και συγκέντρωση οξυγόνου και η εφαρμογή τους ως καύσιμο σε κινητήρες ντήζελ θα πρέπει να εξερευνηθεί. Το πλεονέκτημα της προτεινόμενης μίξης είναι πως υψηλά ποσοστά αλκοόλης στο καύσιμο μειώνουν την εκπομπή NOx σε μεγάλο βαθμό, ενώ προωθούν την εκπομπή CO₂.⁹³

Επιπλέον έχει παρατηρηθεί η φυσικοχημική ομοιότητα του ντήζελ – το οποίο περιέχει κυρίως βαρείς αλειφατικούς υδρογονάνθρακες με τους υδρογονάνθρακες των εστερικών αλυσίδων του βιοντίζελ. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί χαρακτηρίζονται ως βιοντίζελ δεύτερης γενιάς και αναμένεται να παρουσιάζουν βελτιωμένες ιδιότητες έναντι των εστέρων. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξερεύνησης αντιδράσεων αποκαρβοξυλίωσης λιπαρών οξέων ή εστέρων τους προς παραγωγή λιπαρών υδρογονανθράκων η οποίοι θα χρησιμοποιούνται ως πιο αποτελεσματικά μίγματα καυσίμων λόγω μεγαλύτερης συμβατότητας. Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται φυσικά σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις, καθιστώντας την πραγματοποίησή τους μη βιώσιμη και δύσκολα διαχειρίσιμη για κάποια βιομηχανία. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην εξέλιξη αυτής της τεχνικής παρουσιάζει η χρήση καταλυτών ευγενών μετάλλων (π.χ. Λευκόχρυσος) όπου επιτυγχάνει καλές μετατροπές σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ωστόσο οι καταλύτες αυτοί είναι ιδιαίτερα ακριβοί και η εφαρμογή τους βρίσκεται σε εργαστηριακό στάδιο, χρειάζεται ακόμη αρκετή προσπάθεια για να μπορέσει να γίνει κάποια βιομηχανική δοκιμή.⁹⁴



Σχήμα 4 - 21. Πιθανός μηχανισμός αποκαρβοξυλίωσης λιπαρών εστέρων σε καταλύτη παλλάδιο.⁹⁴

Τα φύκη προσφέρουν μια εξαιρετική προοπτική καθώς, στην πλειονότητά τους δε θεωρούνται βρώσιμα, και συνεπώς δεν εγείρονται ηθικά ζητήματα για καλύτερη αξιοποίησή τους. Επίσης τα φύκη φύονται σε άγονες περιοχές και σε θάλασσες, όπου δύσκολα επιβιώνουν άλλοι φυτικοί οργανισμοί.

4.5.10.2 Ερευνητικά Προγράμματα

Η ΕΕ δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην παραγωγή και τη χρήση βιοντίζελ για την αντικατάσταση κατά το μέγιστο δυνατό των ορυκτών καυσίμων. Συγκεκριμένα με κάθε αναθεώρησή τους, οι σχετικές ευρωπαϊκές οδηγίες αυξάνουν το υποχρεωτικό ποσοστό βιοντίζελ που χρησιμοποιείται ως μίγμα μαζί με τα συμβατικά καύσιμα.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρηματοδοτείται πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων τα οποία στοχεύουν στη βιώσιμη, αποδοτική και λιγότερο περιβαλλοντικά επιβλαβή παραγωγή βιοντίζελ. Συνεπώς δεν τίθεται πιθανότητα ανταγωνισμού για αξιοποίηση των χώρων που πραγματοποιούνται οι καλλιέργειες αυτές. Ο Πίνακας 4 - 10 δείχνει τα κυριότερα ερευνητικά προγράμματα παγκοσμίως, τα οποία ασχολούνται με την παραγωγή βιοντίζελ, ανοίγοντας νέες προοπτικές στην παραγωγή βιοκαυσίμων.⁹⁵

Πίνακας 4 - 10. Ερευνητικά προγράμματα παραγωγής βιοντίζελ.

ALGFUEL	Παραγωγή βιοντίζελ από μικροφύκη.
ECODIESEL	Κατασκευή μονάδας υψηλής απόδοσης παραγωγής βιοντίζελ με ελάχιστες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, για βελτιωμένη παραγωγή FAME από ποικίλες πρώτες ύλες.
SUPER METHANOL	Αναμόρφωση γλυκερόλης σε υπερκρίσιμο ατμό προς παραγωγή μεθανόλης για επαναχρησιμοποίηση σε μονάδες παραγωγής βιοντίζελ.
InteSusAL	Ανάπτυξη φωτο-βιοαντιδραστήρα για καλλιέργεια μικροφυκών με αυξημένες ικανότητες παραγωγής βιοντίζελ.
AllGas	Βιομηχανικής κλίμακας επίδειξη βιώσιμης ανάπτυξης καλλιεργειών φυκών για παραγωγή βιοκαυσίμου (Βιοντίζελ και Βιοαέριο)
BioFat	Καλλιέργεια μικροφυκών για παραγωγή βιοκαυσίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας μηδενικών ρύπων

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 150 ετών, οι τεχνολογίες πρόωσης στην ναυτιλία υπέστησαν σημαντικές αλλαγές ξεκινώντας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τη χρήση ιστίων (αιολική ενέργεια), πέρασαν στον ατμό (άνθρακας) τα βαρέα καύσιμα (HFO) και το ναυτιλιακό πετρέλαιο (MDO) με τα τελευταία να αποτελούν καύσιμα υψηλών εκπομπών ρύπων και να είναι οι κυρίαρχες πηγές ισχύος για την πρόωση των πλοίων. Κατά την ίδια χρονική περίοδο η απόδοση των εμπορικών πλοίων που κινούνται από κινητήρες diesel έχει βελτιωθεί φτάνοντας τιμές θερμικής απόδοσης στο 55% για κινητήρες χαμηλής ταχύτητας. Για παράδειγμα στο σχήμα 1 βλέπουμε ότι μεταξύ του 1855 και του 2006 η αύξηση στην αποδοτικότητα είναι ραγδαία και φαίνεται να σταθεροποιείται τα τελευταία 15 έτη της περιόδου αυτής.



Σχήμα 5 - 1. Αποδοτικότητα εμπορικών πλοίων (1855-2006)

Με κίνητρο την οικονομική ύφεση, την αύξηση της τιμής των καυσίμων και τις απαιτήσεις των ρυθμιστικών αρχών για μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, οι απαιτήσεις για πιο αποδοτικά από πλευράς καυσίμου και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία έχουν ενταθεί. Επιπλέον, τα ναυπηγεία φαίνονται πρόθυμα να αντικαταστήσουν τους υπάρχοντες στόλους με νέα φιλικά προς το περιβάλλον πλοία. Στο πλαίσιο αυτό, νέες τεχνολογίες, αλλά και άλλες ξεχασμένες για δεκαετίες έρχονται ξανά στο φως με σκοπό τη δημιουργία πλοίων που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες μορφές ενέργειας αποκλειστικά ή μερικά. Τα οικολογικά πλοία περιγράφονται ως πλοία, τα οποία κάνουν σημαντική εξοικονόμηση στο λειτουργικό κόστος. Ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό αυτών των πλοίων είναι η περιβαλλοντική τους διάσταση και η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου που παράγει χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και ρύπους στον αέρα.

Επί του παρόντος, οι επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εξετάζονται για τον ναυτιλιακό στόλο σε όλα τα επίπεδα και σε διάφορα μεγέθη επικεντρώνονται στα παρακάτω:

- **Αιολική** ενέργεια χρησιμοποιώντας
 - **Μαλακά πανιά** (soft-sails)
 - **Σταθερά πανιά** (fixed-sails)
 - **Ρότορες Flettner** (Flettner rotors)
 - **Πανιά τύπου χαρταετού** (kite-sails)
 - **Ανεμογεννήτριες** (wind turbines)
- **Φωτοβολταϊκά**
- **Κυματική ενέργεια**
- **Συνδυασμός των παραπάνω τεχνολογιών**

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι να εισαχθούν οι λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Ο πρώτος είναι η μετασκευή του υπάρχοντα στόλου και ο δεύτερος είναι η ενσωμάτωση των τεχνολογιών

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη σχεδίαση κατασκευής νέων πλοίων. Πολλές σχεδιαστικές προτάσεις για πλοία όλων των μεγεθών συμπεριλαμβάνουν επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για βοηθητική πρόωση αλλά και για παροχή ενέργειας στα βοηθητικά συστήματα του πλοίου, ενώ ένας μικρότερος αριθμός στοχεύει σε 100% χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών ρύπων για τα πρωτεύοντα συστήματα πρόωσης. Οι περισσότερες εφαρμογές οραματίζονται την ανανεώσιμη ενέργεια σαν μέρος ενός ολοκληρωμένου πακέτου μέτρων αποδοτικότητας. Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει επίσης την προοπτική εφαρμογής σε παράκτια υποδομή κυρίως ως εναλλακτική της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αν εξετάσουμε την ενεργειακή απόδοση της ναυτιλιακής βιομηχανίας στο σύνολό της, είναι σημαντικό να υιοθετηθεί μια ολιστική προσέγγιση η οποία θα υπολογίζει το ενεργειακό αποτύπωμα της κάθε τεχνολογίας σε όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου και να λαμβάνεται υπόψιν ποια ήταν η κύρια πηγή ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε.^{96,97} 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.

5.1 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Αποτελεί σημαντική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Ο άνεμος με την σειρά του δημιουργείται λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας του αέρος που δημιουργεί, διαφορές βαρομετρικής. Αν σε δυο συνεχόμενες περιοχές παρατηρηθεί να μην έχουν ίδια θερμοκρασία τότε η ατμοσφαιρική πίεση της περισσότερο ψυχρής θα είναι μεγαλύτερη της θερμότερης με αποτέλεσμα να κινηθεί αέρια μάζα από την ψυχρότερη στη θερμότερη περιοχή. Γενικά οι χρήσεις της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνουν εκτός από την ηλεκτροπαραγωγή και άντληση νερού. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται είναι οι ανεμογεννήτριες οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως για τα αιολικά πάρκα.

Είναι ήπιας μορφής ενέργεια και περιλαμβάνεται στις «καθαρές πηγές», στις πηγές δηλ. που δεν εκπέμπουν και δεν προκαλούν ρύπους. Δεν εκλύονται αέρια του θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φθηνή από όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές. Με τη χρήση της παρέχεται η ενεργειακή αυτόνομη και αναπτυσσόμενων χωρών καθώς μπορεί να αποτελέσει εναλλακτική λύση για την εξοικονόμηση πετρέλαιο, ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής, ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλοία με διαφορετικό βαθμό αποτελεσματικότητας, που εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες

Πριν από την έλευση της ατμομηχανής, τα ιστία μονοπώλησαν την ανοικτή θάλασσα, προωθώντας σχετικά μικρά πλοία με μεγάλα πληρώματα. Από την αρχαιότητα και μέχρι πριν δύο αιώνες, η κύρια πηγή πρόωσης των πλοίων στηρίζονταν στη χρήση της αιολικής ενέργειας με τη χρήση ιστίων. Ούτως ή άλλως, 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 όταν η πλεύση γίνεται μέσα ή κοντά στον άνεμο.

Η χρήση ιστιοφόρων σκαφών εξακολουθεί στις μέρες μας αλλά κυρίως στον τομέα της αναψυχής. Αν σκεφτεί κανείς ότι υπάρχουν πλοία συνολικού μεγέθους 250,000 DWT, όπως τα δεξαμενόπλοια ULCC (Ultra Large Crude Carrier), είναι εύκολο αντιληπτό ότι η χρήση πανιών είναι τεχνικά μια αδύνατη λύση. Επιπλέον πέρα από τους περιορισμούς 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.

Οι τρέχουσες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν την υιοθέτηση ενός αριθμού διαφορετικών τύπων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στοχεύοντας σε ένα φάσμα τύπων πλοίων από μικρά πλοία έως μεγάλους μεταφορείς φορτίων, τόσο ως κύρια όσο και βοηθητική μηχανή πρόωσης. Η πρόωση από τον άνεμο, μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών με μαλακά πανιά, σταθερά πανιά, ρότορες, πανιά τύπου χαρταετού, και ανεμογεννήτριες. Θα πρέπει επίσης να διασφαλίζεται ότι οι αιολικές εγκαταστάσεις επί του πλοίου δεν αλληλεπιδρούν με τις λειτουργίες του πλοίου.

5.1.1 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. Τα συμβατικά μαλακά πανιά προσφέρουν μια αποδεδειγμένη, ώριμη τεχνολογία, ικανή να εκμεταλλευτεί άμεσα την προωθητική δύναμη του ανέμου. Στον αντίποδα η χρήση των παραδοσιακών πανιών 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 τεχνολογική πρόοδος στη βιομηχανία των super yachts καθώς και των αγωνιστικών yacht μπορεί να ενσωματωθεί και στη βιομηχανική χρήση. Τα ιστία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως πρωτεύον είτε ως βοηθητικό σύστημα πρόωσης και μπορούν να τοποθετηθούν είτε μετασκευάζοντας υπάρχοντα πλοία είτε να ενσωματωθούν σε νέα κατασκευαστικά σχέδια. 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.²³ Οι ηγέτες της αγοράς είναι το Greenheart, το B9 Shipping και το Ecoliner των Dykstra/Fair Transport (Σχήμα 5-2).



DYKSTRA
FAIR TRANSPORT



Σχήμα 5 - 2. Απο αριστερά προς τα δεξιά. (πάνω) 1.Greenheart, 2.B9 Shipping, (κάτω) 3.Dykstra/Fair Transport Ecoliner, 4.Seagate Delta Wing Sails

Τα δυο τελευταία σχέδια χρησιμοποιούν εκδοχές συστημάτων Dyna-Rig (τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στο super yacht Maltese Falcon) που λειτουργούν και χειρίζονται αυτόματα από την γέφυρα, καθιστώντας ευκολότερο να αξιοποιηθεί ο άνεμος στο μέγιστο, κρατώντας το μέγεθος του πληρώματος σε αριθμούς αντίστοιχους με τα πλοία που κινούνται με ορυκτά καύσιμα και επιτρέποντας ευκολότερη πρόσβαση για φόρτωση και εκφόρτωση φορτίων. Το φορτηγό πλοίο του Greenheart αποτελεί έναν πιο συμβατικό σχεδιασμό. Η ιταλική καινοτόμος εταιρεία Seagate, έχει πατεντάρει αναδιπλώμενα δελτοειδή wing sails για μετασκευή σε υπάρχοντα πλοία (Ro-Ro, container ships, car carriers). Υπάρχουν επίσης ποικίλες διαμορφώσεις εξάρτισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρής κλίμακας φορτηγά και καταμαράν για

τοπική χρήση, ειδικά σε νησιωτικές περιοχές ή σαν βοηθητικά συστήματα πρόωσης σε ευρύ φάσμα υφιστάμενων μικρής κλίμακας συμβατικών μηχανοκίνητων σκαφών.

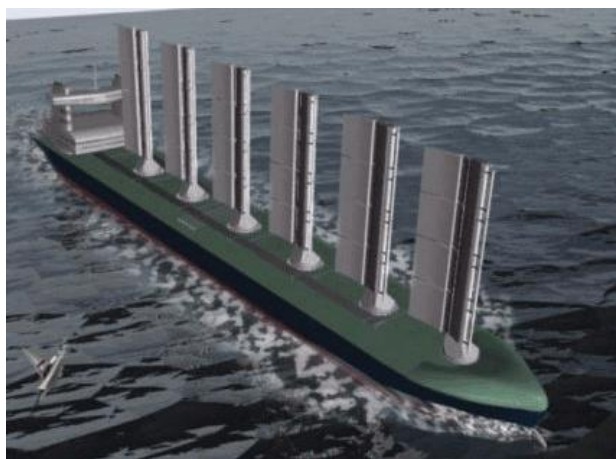
5.1.2 Σταθερά πανιά

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 (PCTC).⁹⁸ Ποικίλες μορφές σταθερών πανιών έχουν προταθεί από τα πρώτα Ιαπωνικά πειράματα τη δεκαετία του 1980. Ανάμεσά τους το Walker Wingsail, το οποίο τοποθετήθηκε στο 6500 dwt Ashington, το 1986. Οι δοκιμές τότε δεν επέδειξαν ουσιαστική εξοικονόμηση πόρων και εκτός αυτού, κάποια τεχνολογικά εμπόδια με την συγκεκριμένη προσέγγιση δεν έχουν ξεπεραστεί μέχρι σήμερα. Άλλα τέτοια παραδείγματα απο εκείνη την εποχή αποτελούν το 16.000 dwt tanker Shin Aitoku Maru και το 26.000 dwt bulk/log carrier Usuki Pioneer που δίνονται και στο Σχήμα 5-3.⁹⁹



Σχήμα 5 - 3. 16.000 dwt tanker Shin Aitoku Maru (πάνω) και 26.000 dwt bulk/log carrier Usuki Pioneer (κάτω)

Το 1995, το Δανέζικο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας χρηματοδότησε μία μελέτη του συμβούλου της Εταιρείας Naval Architects and Marine Engineers, η οποία διερεύνησε στις πιθανότητες για εμπορικά πλοία που θα υποβοηθούνταν από πανιά. Έτσι αναπτύχθηκε, μεταξύ 1995-1999, ένα σχέδιο το οποίο ονομάστηκε «Modern Windship», για ένα εμπορικό πλοίο διακοσίων μέτρων και 50.000 τόνων, του οποίου η εικόνα φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 5 - 4. Modern windship

Όταν ολοκληρώθηκε η μελέτη αναφέρθηκαν τα εξής: «Αποδείχθηκε γενικά αντικοινωνική η χρήση πανιών σε τυπικές οδούς μεταφοράς προϊόντων. Το κόστος αυξάνεται περίπου 10% σε σύγκριση με ίδιου μεγέθους παραδοσιακά εμπορικά πλοία μεταφοράς προϊόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι χαμηλώνοντας τη μέση ταχύτητα ενός παραδοσιακού πλοίου κατά ένα κόμβο, μπορεί να επιτευχθεί μείωση στην κατανάλωση καυσίμων περίπου 25%. Ωστόσο, με το να προστεθεί εξοπλισμός πανιών, επιπλέον τρεις τόνοι καυσίμου ανά 24 ώρες θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν σε μέρες με πιο πολύ αέρα. Αυτό ανταποκρίνεται στο 10% - 15% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου. Επιπλέον, και από οικονομικής άποψης τα αποτελέσματα δεν είναι θετικά. Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι το εμπορικό πλοίο μεταφοράς προϊόντων δεν είναι η κατάλληλη επιλογή για τη χρήση πανιών. Αντίθετα, υπάρχει μία αύξηση κόστους περίπου 10%. Ακόμα χειρότερα, η εξοικονόμηση καυσίμων ήταν οριακή και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες στα πλοία με πανιά καταναλώνει περισσότερο καύσιμο από ένα παραδοσιακό πλοίο. Η μελέτη καταλήγει ότι με προσεκτική δρομολόγηση, η οποία θα εκμεταλλεύεται τις καιρικές εναλλαγές και μείωση της ταχύτητας, τότε η χρήση πανιών μπορεί να αποδειχθεί περιβαλλοντολογικά και οικονομικά ευεργετική».

Επίσης, η Γερμανική Εταιρεία Sail Log ερευνήσε τη χρήση πανιών 20.000 m² σ' ένα Panamax bulker 50.000 dwt. Παραδοσιακά τετράγωνα πανιά έχουν επιλεγεί από την εταιρεία διότι είναι γνωστό ότι μπορούν να δουλέψουν ικανοποιητικά. Οι μακριές διαδρομές χύδην φορτίου (όπου δεν υπάρχει η ανάγκη για γρήγορο service), έχουν προσδιοριστεί από την Sail Log σαν πιο κατάλληλες για χρήση πανιών ως υποβοήθηση ή ακόμα και για πλήρη χρήση. Η εταιρεία υποστηρίζει ότι τα λειτουργικά κόστη ενός πλοίου χύδην φορτίου που χρησιμοποιεί αυτόματο σύστημα υποβοήθησης με πανιά θα μπορούσαν να είναι 22% χαμηλότερα από εκείνα ενός πλοίου που χρησιμοποιεί diesel. Βεβαίως πρέπει να τονισθεί ότι τα στοιχεία ποικίλουν δραματικά αναλόγως της πηγής.

Οι τρέχουσες προτάσεις περιλαμβάνουν χρήση σε μεγάλα πλοία (π.χ. UT Wind Challenger και EffShip project που χρησιμοποιεί άκαμπα πανιά και τηλεσκοπικά κατάρτια) . Μια βρετανική εταιρεία η Oceanfoil, έχει επανεξετάσει την χρήση των wing sails και προσφέρει μια νέα πατέντα για ένα αναθεωρημένο και βελτιωμένο σχέδιο που είναι διαθέσιμο για μετασκευή από τις αρχές του 2015 (oceanfoil.com/technology). Τα παραπάνω αναφερθέντα παραδείγματα εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 5 - 5.



Σχήμα 5 - 5. Σταθερά πανιά. Αριστερά UT Wind Challenge, δεξιά Oceanfoil

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.

5.1.3 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, εκμεταλλευόμενοι 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 ρότορο 20 μέτρα και διάμετρο ρότορο 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.¹⁰⁰

Επιβεβαιώθηκε αρχικά την δεκαετία του 1920 σε έναν αριθμό πλοίων, ένα εκ των οποίων ήταν και το 3000 dwt Barbara. Η τεχνολογία 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 Alcyone. Το 1985 μια αμερικανική εταιρεία ή Windship Corporation, δημοσιοποίησε τα ευρήματα από μια λεπτομερή ανάλυση 75 τροφοδοτούμενων ενεργειακά από τον άνεμο εξεδρών υποστηριζόμενα από εκτεταμένες δοκιμές, συμπεραίνοντας ότι οι ρότορες είχαν μακράν τη μεγαλύτερη δυναμική εξέλιξη.

Το 2010 η Enecon άρχισε τις δοκιμές του 12800 dwt E-Ship 1, που έφερε 4 ρότορες Flettner οι οποίοι τροφοδοτούνταν ενεργειακά από τα καυσάερια 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 υπόψιν. Πλέον υπάρχουν σύγχρονα σχέδια πρωτοτύπων που υιοθετούν τους ρότορες τύπου Flettner. Το Σχήμα 5 - 6 δείχνει παραδείγματα πλοίων που χρησιμοποιούν ρότορες Flettner για βοηθητική πρόωση.



Σχήμα 5 - 6. Πλοία που χρησιμοποιούν ρότορες Flettner. Alcyone του Cousteau και δεξιά το E-Ship 1.

5.1.4 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. Οι εταιρείες έχουν σχεδιάσει ψηλότερους ιστούς, μερικοί εκ των οποίων ξεπερνούν τα 100 μέτρα ύψος, για να μειώσουν την απώλεια χώρου αποθήκευσης. Όμως το κανάλι του Παναμά περιορίζει τους ιστούς στα 60 μέτρα και οι πτυσσόμενοι ιστοί έχουν μεγάλο κόστος παραγωγής, λειτουργίας και συντήρησης. Το κόστος εφοδιασμού ενός εμπορικού πλοίου με μία σειρά ιστών και η ενδυνάμωση του κύτους και του καταστρώματος, εκτιμάται γύρω στο 10 εκατομμύρια ευρώ. Έτσι απαιτούνται τουλάχιστον 15 χρόνια, για την επιστροφή του αρχικού κόστους.

Ο στόχος της χρήσης χαρταετού ρυμούλκησης είναι να μειώθουν ή να αποφευχθούν τα παραπάνω θέματα εκμεταλλευόμενοι παράλληλα τα πλεονεκτήματα των δυνατότερων ανέμων που είναι διαθέσιμοι σε ύψη μεγαλύτερα (εώς 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 παραμείνει 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. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των τεχνικών δυνατοτήτων που προκύπτουν από το χωροταξικό διαχωρισμό του πλοίου και του εναέριου πανιού που το ρυμουλκεί. Οι παραπάνω παράγοντες ελαττώνουν το αρχικό κεφάλαιο και το λειτουργικό κόστος του εξοπλισμού των πανιών ενώ αυξάνουν τη ενεργειακή απόδοση. Επίσης συγκριτικά με ένα συμβατικό πανί και ένα κατάρτι, ένας χαρταετός ρυμούλκησης στην πλήρη 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 ανύψωση αλλά και η αναδίπλωση του χαρταετού ρυμούλκησης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός τηλεσκοπικού ιστού. Αυτό βοηθάει στη γρήγορη και αποτελεσματική ανάπτυξη του αετού στο κατάλληλο ύψος και στην κατάλληλη θέση ως προς τον άνεμο, ώστε να επιτευχθεί γρήγορα η καλύτερη δυνατή ταχύτητα για το πλοίο. Η όλη διαδικασία ανάπτυξης και στη συνέχεια αναδίπλωσης του αετού κρατά 15-20'. Ο αετός ανυψώνεται και λειτουργεί σωστά μόνο όταν ο άνεμος έχει την απαραίτητη ένταση αλλιώς δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά και να δώσει στο πλοίο την απαιτούμενη πρόωση. Το πανί είναι συνθετικό, άρα ανθεκτικό σε αέρα και βροχή.



Σχήμα 5 - 7. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χαρταετού ρυμούλκησης

Οι χαρταετοί ρυμούλκησης διαφέρουν από τις άλλες ιδέες εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, έχοντας μικρό αποτύπωμα κατά την εγκατάστασή τους και ως εκ τούτου είναι αρκετά εύκολο να γίνει η μετασκευή τοποθέτησής τους. Η εγκατάσταση ενός χαρταετού ρυμούλκησης για τα υπάρχοντα πλοία δεν θεωρείται δύσκολη ή δαπανηρή απαιτεί όμως πολύπλοκα συστήματα εκτόξευσης, ανάκτησης και ελέγχου. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει πολύ εύκολα από τη γέφυρα μέσω ενός πίνακα ελέγχου. Η διαδικασία καθέλκυσης

και ανέλκυσης είναι ημιαυτόματη και απαιτεί μόνο λίγες ενέργειες από το πλήρωμα στο κατάστρωμα της πλώρης.¹⁰¹

Η χρήση χαρταετών στα πλοία, που μπορεί να προσφέρει μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση κατά 10-35% ανά πλοίο ανάλογα με το δρομολόγιο και τις συνθήκες του ανέμου. 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.

Ένας μικρός αριθμός καινοτόμων εταιριών υποστηρίζει αυτήν την τεχνολογία για πάνω από μια δεκαετία. 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.

Το MV Beluga ανήκει στη γερμανική εταιρεία Beluga Fleet Management GmbH, θυγατρική της Beluga Shipping GmbH του Ομίλου Beluga και κατελκύθη στο Αμβούργο στο τέλος του 2007. Ξεκίνησε το ταξίδι του από το λιμάνι της Βρέμης με προορισμό το λιμάνι Guanta της Βενεζουέλας στις 22 Ιανουαρίου 2008. Το πλοίο μετέφερε φορτίο της DHL η οποία ήταν υποστηρικτής της όλης πρωτοβουλίας. Στις 6 Οκτωβρίου του ίδιου χρόνου, η Στρατιωτική Ναυτική Διοίκηση Θαλασσιών 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.



Σχήμα 5 - 8. MS Beluga Skysails

Προς την κατεύθυνση αυτή κινήθηκε και η ελληνική εταιρία Anbros Maritime. Η Cargill μια απ' τις μεγαλύτερες εταιρείες στον κόσμο στην παραγωγή και προμήθεια τροφίμων, υπέγραψε συμφωνία με την Ελληνική Ναυτιλιακή εταιρεία Anbros Maritime S.A., για να εγκαταστήσει τον μεγαλύτερο χαρταετό στον κόσμο στο πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου «Αγία Μαρίνα». Το «Αγία Μαρίνα» τυπικά μεταφέρει φορτία γεωργικών και βιομηχανικών πρώτων υλών. Το 170 μέτρων μήκους μεταφορικό πλοίο χτίστηκε το 1994, και μπορεί να μεταφέρει περίπου 28.500 τόνους ξηρού φορτίου, είναι το μεγαλύτερο πλοίο που θα χρησιμοποιήσει την τεχνολογία αιολικής ενέργειας, που δημιουργείται από την SkySails GmbH (SkySails).

Τον Φεβρουάριο 2010 η Cargill ανακοίνωσε ότι υπέγραψε συμφωνία προμήθειας με την SkySails, που έχει ως στόχο να χρησιμοποιεί την τεχνολογία αιολικής ενέργειας για την μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα της Ναυτιλίας. Σύμφωνα με τους όρους της συμφωνίας: "Ο 320 τ.μ. αετός, θα τοποθετηθεί στο πλοίο «Αγία Μαρίνα». Για τα επόμενα πέντε χρόνια το «Αγία Μαρίνα», μακροπρόθεσμης ναύλωσης της Cargill, θα χρησιμοποιεί το σύστημα SkySails. Η SkySail θα είναι υπεύθυνη για την εκπαίδευση του πληρώματος του «Αγία Μαρίνα», στον τρόπο λειτουργίας της πρόωσης αετού. Ο αετός ρυμούλκησης της SkySails θα συνδέεται με το πλοίο με σχοινί και θα πετάει σε ορθόγωνο σχηματισμό σε ύψος μεταξύ 100 και 420 μέτρων. Πρόκειται για υπολογιστή που ελέγχεται από ένα αυτόματο rod, ώστε να μεγιστοποιεί τα οφέλη του ανέμου.

5.1.6 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. Αυτό αντανακλά συστημικά 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. Δεδομένης της τεράστιας προόδου στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν σημαντικά μαθήματα που θα πρέπει να μεταφερθούν και στον τομέα της ναυτιλίας.

5.1.7 Αίπανση με αέρα

Ο πεπιεσμένος αέρας παρέχεται μέσα σε μια εσοχή του κάτω μέρους του κύτους του πλοίου. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η αντίσταση τριβής μεταξύ του νερού και της επιφάνειας της γάστρας, έτσι ώστε να μειώνεται η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατόν να επιτευχθεί εξοικονόμηση καυσίμου μέχρι 15% για τα δεξαμενόπλοια, 7,5% για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, 3,5% για τα οχηματαγωγά και μέχρι 8,5 % για τα πλοία μεταφοράς οχημάτων.¹⁰²

5.2 Φωτοβολταϊκά και Υβριδικά Συστήματα Πρόωσης

Τα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις στην ηλιακή ενέργεια, στην αποθήκευση της καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις στην ηλεκτροκίνηση έχουν καταστήσει βιώσιμη τον σχεδιασμό πλοίων που θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα με την ηλιακή ενέργεια για την κίνηση τους. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που αφορά τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic) στοιχεία ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Μπεκερέλ (Becquerel).

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.

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.¹⁰²

Η ηλιακή ενέργεια αντιμετωπίζεται ως πρόσθετη παροχή ενέργειας σε ένα πλοίο επειδή είναι διακοπτόμενη και γι' αυτό απαιτείται η αποθήκευσή της. Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες και καλύτερες προοπτικές για συστήματα πρόωσης στα πλοία οι οποίες θα τροφοδοτούνται ενεργειακά από φωτοβολταϊκά βραχυπρόθεσμα, αλλά λύσεις που τα βασικά συστήματα πρόωσης θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά απαιτούν περαιτέρω εξελίξεις και τεχνική ανάπτυξη και είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε σχετικά μικρά πλοία.

Μια δοκιμή αυτής της τεχνολογίας, αποτελεί το πλοίο «Leader Auriga», ένα καθαρό φορτηγό μεταφοράς αυτοκινήτων ολικής χωρητικότητας 60.213 GT που αναπτύχθηκε από κοινού από την «NYK» και τη «Nippon Oil Corporation». Το Auriga Leader μετασκευάστηκε το 2008/09 και 328 φωτοβολταϊκά πάνελς τοποθετήθηκαν στο πλοίο, προσφέροντας το 10% της ενέργειας του πλοίου όταν βρίσκεται σε αποβάθρα. Ήταν επίσης το πρώτο πλοίο που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα πάνελς απευθείας στο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου. Η παραγόμενη ενέργεια μετρήθηκε ότι αντιστοιχεί στο 0,05% της ισχύος πρόωσης του πλοίου και στο 1% των καθημερινών απαιτήσεων ισχύος, όπως το μαγειρείο και ο φωτισμός των ενδιαιτήσεων.



Σχήμα 5 - 9. Leader Auriga

Αντίστοιχη περίπτωση αποτελεί και 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.



Σχήμα 5 - 10. Solar Eagle

Το σχέδιο Greenheart για ένα εμπορικό πλοίο ολικής χωρητικότητας 220 τόνων, προτείνει την χρήση μπαταριών μόλυβδου οξέος, οι οποίες θα φορτίζονται από φωτοβολταϊκά, και θα παρέχουν βοηθητική πρόωση στο κύριο σύστημα. Οι μπαταρίες ίσως προσφέρουν μια πιθανή υβριδική λύση σε συνδυασμό με άλλες καταστάσεις πρόωσης για κάποια μικρά ή και μεσαίου μεγέθους πλοία, με την προϋπόθεση ότι η επαναφόρτίσή τους δεν θα αυξάνει την παραγωγή άλλων επιβλαβών εκπομπών.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δυνατότητες όταν χρησιμοποιούνται για την φόρτιση συστημάτων μπαταριών, τα οποία με τη σειρά τους υποστηρίζουν επαναφορτιζόμενες μονάδες ηλεκτρικής πρόωσης για μικρότερης κλίμακας ferries, αλλά αυτό είναι εφαρμόσιμο μόνο σε υπερβολικά μικρά ταξίδια. Έχει επίσης εφαρμογές στην βελτίωση άλλων πηγών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για το μεγαλύτερο τμήμα της παράκτιας υποδομής. Για να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο τα οφέλη, αυτός ο τύπος χρήσης πρέπει να συνδυαστεί με τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

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. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι τα εξής: - Panel output: 22% - Ηλιακή ενέργεια: 120 kW - Μέση κατανάλωση: 20kW (26,8 HP) – Μέση ταχύτητα: 8 kn (15km/h) - Πλήρωμα: 3 skippers - 200 Άνθρωποι που μπορεί να φιλοξενήσει.

Το πρωτότυπο αυτό πλοίο κατασκευάστηκε από το ναυπηγείο Knierim Yacht Club του Κιέλου της Γερμανίας, με τη στήριξη ελβετικών οργανισμών και ιδιωτών (Candino, Immosolar, κ.ά.). Σε συνεργασία με

τον κορυφαίο Ελβετικό Οργανισμό myclimate, έχει ήδη υπολογιστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα από την κατασκευή του, μετρώντας τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκλύθηκαν δεδομένου ότι ο γύρος του κόσμου μαζί με την κατασκευή ήταν κλιματικά ουδέτερος.

Το οικολογικό «PlanetSolar» σχεδιάστηκε από τον Νεοζηλανδό Graig Loomes ως ένα καθαρόαιμο «ηλιακό καταμαράν» με φωτοβολταϊκά συστήματα. Η μελέτη διήρκεσε 8 χρόνια και χρειάστηκαν 14 μήνες κατασκευής για να αποφασιστεί το ιδανικό μέγεθος, ο τελικός σχεδιασμός, η απαιτούμενη βέλτιστη συγκέντρωση ενέργειας και αποθήκευσή της, οι αεροδυναμικές, η πρόωση του πλοίου και η επιλογή των πρώτων υλών.

Το πλοίο κινείται χωρίς καθόλου θόρυβο, και χωρίς δόνηση, καθώς δεν υπάρχει η παραδοσιακή μηχανή. Με μήκος 31μ (35μ με πτερύγια), πλάτος 15μ (23μ με πτερύγια) και ύψος 6 μ., το ηλιακό αυτό σκάφος έχει επιφάνεια φωτοβολταϊκών πάνελς, από 38.000 ηλιακές κυψέλες, σε έκταση 537 τ.μ. Κατέχει επίσης δύο ακόμη μοναδικά ρεκόρ – είναι το γρηγορότερο ηλιακό πλοίο που έχει κάνει τον διάπλου του Ατλαντικού και το πρώτο ηλιακό πλοίο που έχει καλύψει τις αποστάσεις Ειρηνικού και Ινδικού Ωκεανού.



Σχήμα 5 - 11. MS Turanor PlanetSolar

Το MS Turanor PlanetSolar πραγματοποίησε τον περίπλου της γης (37.000 μίλια απόσταση) σε 584 ημέρες, με μέση ταχύτητα έως 20 ν. κόμβους, επιτυγχάνοντας το πρώτο παγκόσμιο ταξίδι με ηλιακή ενέργεια. Το ταξίδι διήρκεσε 18 μήνες (Σεπτ. 2010 - Μάιος 2012) καθώς ο καπετάνιος Raphaell Domjan και το 5μελές πλήρωμά του, έκαναν πολλές στάσεις ανά τον κόσμο προκειμένου να ενημερώσουν και να προωθήσουν την χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Οι μηχανικοί του «Planetsolar» πρέπει να επιβλέπουν το σύστημα πρόωσης, τη σύλληψη των ηλιακών συλλεκτών, την αποθήκευση ενέργειας, την επιλογή των υλικών και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στη θάλασσα. Μια ολόκληρη σειρά από μελέτες έχουν διεξαχθεί σε τομείς όπως η υδροηλεκτρική του σκάφους και η αεροδυναμική, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, η διαχείριση και αποθήκευση της ενέργειας και, τέλος, η μονάδα παραγωγής ενέργειας και τη βέλτιστη δρομολόγηση.

Το «Medaka» είναι ένα οικολογικό – ηλιακό πλοίο, με την έννοια ότι δεν θα χρησιμοποιεί μόνο την ηλιακή ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά θα περιλαμβάνει επίσης μια σειρά από άλλα χαρακτηριστικά που θα είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα είναι τοποθετημένοι στην οροφή του σκάφους και θα χρησιμοποιούν ένα θαλάσσιο ηλιακό πάνελ, που έχει αναπτυχθεί από την Eco Marine Power, που θα του επιτρέπουν να ανυψώνεται και να χαμηλώνει. Κατά την κανονική λειτουργία, τα πάνελ θα έχουν μια μικρή κλίση ενώ το σκάφος σε γενικές γραμμές θα είναι αρκετά χαμηλό ώστε να υπάρχει η δυνατότητα διέλευσης του κάτω από χαμηλές γέφυρες και άλλου είδους εμπόδια. Οι ηλιακοί συλλέκτες θα μπορούν επίσης να ανυψώνονται σε μια σταθερή θέση στην οροφή του σκάφους.

Η βασική φιλοσοφία πίσω από τον σχεδιασμό του «Medaka» είναι η δημιουργία ενός σκάφους όσο το δυνατόν φιλικό προς το περιβάλλον αλλά και ευέλικτο. Αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιασμός του μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να εκπληρώσει διάφορους ρόλους όπως ένα φέριμποτ αστικών μετακινήσεων ή ένα σκάφος που χρησιμοποιείται για περιήγηση σε αξιοθέατα ή ακόμα ως ένα σκάφος μεταφοράς αγαθών.



Σχήμα 5 - 12. Medaka

Θα μπορεί επίσης να ρυθμιστεί ώστε να χρησιμοποιεί και άλλες πηγές ισχύος (εκτός των ηλιακών πάνελ) όπως είναι το LNG. Επιπλέον, θα είναι δυνατή η γρήγορη επαναφόρτιση των μπαταριών του όταν το πλοίο βρίσκεται κοντά σε προβλήτα ή αποβάθρα. Ένα σύστημα διαχείρισης της ενέργειας θα βελτιστοποιεί την απόδοση της μπαταρία του σκάφους ενώ παράλληλα θα γίνεται καλύτερη χρήση της διαθέσιμης ενέργειας. Επιπλέον, με τα Συστήματα ανάκτησης θερμότητας επιτυγχάνεται ο σκοπός να ανακτούν τη θερμική ενέργεια των καυσαερίων και να τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Η ενέργεια που απομένει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες χρήσεις στο πλοίο, όπως στο λέβητα.

Η Eco Marine Power (EMP), για πρώτη φορά εγκατέστησε ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, το Aquarius Management & Automation System (MAS) που θα έχει ενσωματωμένη μια σειρά ηλιακών πάνελ πάνω στο πλοίο Blue Star Delos. Η ηλιακή συστοιχία επί του σκάφους έχει ισχύ περίπου 2kW και παρέχει μια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας για το πλοίο. Πέρα από την παρακολούθηση της απόδοσης των ηλιακών πάνελ, το Aquarius MAS θα ελέγχει επίσης την κατάσταση της μπαταρίας όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλω και θα απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση καυσίμων των κύριων κινητήρων, υπολογίζοντας τις εκπομπές καυσαερίων. (CO₂, NO_x και Sox). Το Aquarius MAS, μαζί με τους ηλιακούς συσσωρευτές και την μπαταρία εγκαταστάθηκαν ως μέρος ενός πρότζεκτ καινοτόμων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας της Blue Star Delos (Blue Star Delos Renewable Energy Innovation Project).

5.3 Κυματική Ενέργεια

Τα τρέχοντα σχέδια μονάδων κυματικής ενέργειας δείχνουν ότι θα χρειαστεί ένα εντελώς νέο design concept ώστε να καταστεί εφαρμόσιμη για τις ανάγκες του κλάδου της ναυτιλίας. Ο μικρός αριθμός των κατασκευαστών στο συγκεκριμένο πεδίο προσπαθεί να μάθει από την βιολογία και να μιμηθεί 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 (πτερύγια), εμπνευσμένων από τις κινήσεις των ουρών των δελφινιών Irrawaddy, 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. Εκτός από την κυματική ενέργεια το πλοίο θα χρησιμοποιεί ηλιακά πανιά που αποτελούν ένα συνδυασμό αξιοποίησης της αιολικής και ηλιακής ενέργειας και το οποίο θα δούμε αργότερα καθώς και κυψέλες καυσίμου.

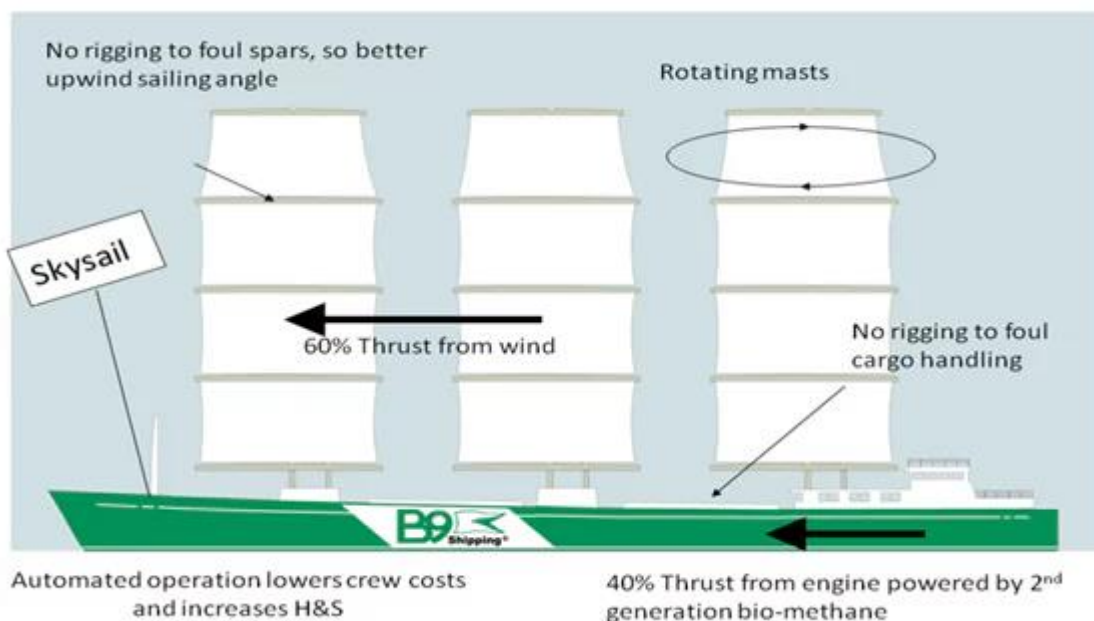


Σχήμα 5 - 13. E/S Orcelle

5.4 Συνδυαστικά

5.4.1 Με άνεμο και βιοκάυσιμα

Σε λίγα χρόνια, νέα φορτηγά πλοία θα μπορούν να «οργώνουν» τις θάλασσες, μεταφέροντας προϊόντα στις τέσσερις γωνίες της Γης, χωρίς να προκαλούν την παραμικρή εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό υποστηρίζει η ιρλανδική εταιρεία B9 Shipping, η οποία 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.



Σχήμα 5 - 14. Υβριδικό φορτηγό απο τη B9 shipping

Μάλιστα, η B9 Shipping ανακοίνωσε τη συνεργασία της με τη Μονάδα Ναυτικής Τεχνολογίας και Βιομηχανικής Αεροδυναμικής (WUMTIA) του Πανεπιστημίου του Southampton. Στις δεξαμενές της WUMTIA θα δοκιμαστούν μικρογραφίες του φορτηγού, με σκοπό να διαπιστωθεί ποιες μικροβελτιώσεις θα πρέπει να γίνουν στη σχεδίαση του σκάφους και στις τεχνολογίες κίνησής του, ώστε να παραμένει αξιόπλοο ακόμη και στις θαλασσοταραχές και να εξασφαλίζει τις μεγαλύτερες δυνατές ταχύτητες. Τα δεδομένα από τα πειράματα θα χρησιμοποιηθούν επίσης για να πραγματοποιηθούν οι πρώτες οικονομοτεχνικές μελέτες για το πλοίο. Με απώτερο στόχο να κατασκευαστεί στη συνέχεια ένα πρωτότυπο μοντέλο σε κανονικές διαστάσεις, που θα δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες.

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. Για να τα καταφέρει, το φορτηγό θα είναι εξοπλισμένο με ένα πρωτοποριακό σύστημα ιστιών που ονομάζεται Dynarig και το οποίο μπορεί να αξιοποιεί στον μέγιστο βαθμό τον άνεμο. Το Dynarig επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60 και από τότε έδειχνε εξαιρετικά ελπιδοφόρο διότι προσφέρει στα ιστία ανθεκτικότητα, ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές του ανέμου, ενώ ο χειρισμός τους γίνεται ηλεκτρονικά, χωρίς να απαιτεί χειροκίνητο χειρισμό. Ωστόσο, όταν ξεπεράστηκε η πετρελαϊκή κρίση, ατόνησε το ενδιαφέρον γύρω από αυτό. Έτσι, 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 Ελενα 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 –το Maltese Falcon θεωρείται από τα πιο πολυτελή σκάφη στον κόσμο– η B9 Shipping υποστηρίζει πως η εγκατάστασή του σε φορτηγά πλοία θα κάνει απόσβεση πολύ γρήγορα, από τον περιορισμό των λειτουργικών εξόδων. Άλλωστε, σε σχέση με την αρχική του εκδοχή, το 1966, το Dynarig που προορίζει η ιρλανδική εταιρεία για τα σκάφη της θα είναι πολύ πιο εξελιγμένο, με τα ιστία να ελέγχονται ηλεκτρονικά από τη γέφυρα, ώστε να αλλάζουν εύκολα προσανατολισμό και να μαζεύονται γρήγορα μέσα στα κατάρτια, όταν χρειάζεται.

Το φορτηγό πλοίο θα τροφοδοτείται σε ποσοστό 61% από το Dynarig, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια που απαιτεί θα προέρχεται από τον κινητήρα της Rolls - Royce. Το βιοαέριο θα παράγεται με την αναερόβια ζύμωση τροφίμων και άλλων οργανικών απορριμμάτων εμπορικής και βιομηχανικής προέλευσης, η οποία θα γίνεται στις νέες εγκαταστάσεις της B9 Organic Energy, αδελφής εταιρίας της B9 Shipping. Στο Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον, ερευνητές θα παρακολουθούν με σειρά ενδεδειγμένων μελετών την πρόοδο του νέου πλοίου, εξετάζοντας μεταξύ άλλων την οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος, αλλά και την απόδοσή του με κύτη διαφόρων σχημάτων.

5.4.2 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.



Σχήμα 5 - 15. Solar Sailor

Το πλοίο κτίστηκε το 1999 - 2000 σαν ένα σχέδιο επίδειξης και μπορεί να επιχειρήσει με αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, ενέργεια αποθηκευμένη σε μπαταρίες, ενέργεια από diesel ή με οποιονδήποτε από τους παραπάνω συνδυασμούς. Το πλοίο αναπτύχθηκε και κτίστηκε από τη Solar Sailor Holdings Ltd, με τη βοήθεια της Αυστραλιανής Κυβέρνησης και επιχειρεί στο Λιμάνι του Σύδνεϋ. Η εταιρεία έχει επίσης ετοιμάσει ένα σχέδιο για ένα υβριδικό 400 μέτρων μήκους τάνκερ, το οποίο θα μεταφέρει νερό και θα ονομάζεται Aquatanker.¹⁰²

Τον Ιούνιο του 2005 ανακοινώθηκε ότι η εταιρεία UOV LLC, η οποία είναι θυγατρική της Solar Sailor Holdings, είχε λάβει από το Αμερικανικό Ναυτικό την έγκριση για την ανάπτυξη της πρώτης φάσης ενός μη επανδρωμένου ωκεανικού οχήματος (UOV - Unmanned Ocean Vehicle). Το αυτοματοποιημένο αυτό όχημα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς και λιμενικούς σκοπούς, καθώς και για εμπορικές και ωκεανογραφικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων εγκαίρου προειδοποίησης για

τσουνάμι. Το Αμερικανικό Ναυτικό ενδιαφέρεται γι' αυτό το όχημα, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες του σε οχήματα παρατήρησης και παρακολούθησης τα οποία θα διατρέχουν τους ωκεανούς του κόσμου.

Τα UOVs χρησιμοποιούν ηλιακή και αιολική ενέργεια που τους επιτρέπει να δρουν ως ένα αυτόνομο όχημα με σχεδόν απεριόριστη ακτίνα δράσης και αντοχή. Οι σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες δεν είναι σε θέση να μας εξασφαλίσουν χαμηλούς κόστους και επαρκή ποσότητα ηλιακής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνταν από ημιαγωγούς πυριτίου, οι οποίες έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, αλλά και υψηλό κόστος παραγωγής. Φθηνότερα υλικά που είναι διαθέσιμο και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ημιαγωγών, δεν μπορούν να επιτύχουν την απόδοση του πυριτίου.

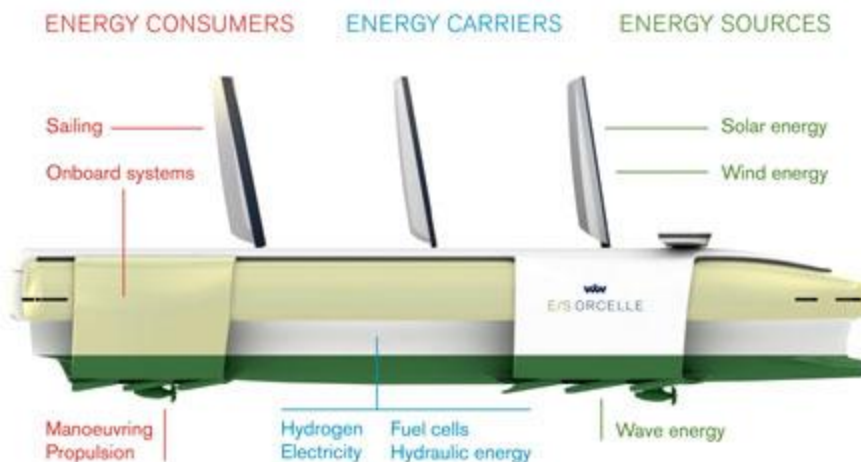
Με έδρα την Ιαπωνία, η Eco Marine Power (ecomarinepower.com) αναπτύσσει ένα μεγάλο σύστημα με ηλιακά ιστία Aquarius MRE (Marine Renewable Energy) για δεξαμενόπλοια και φορτηγά. Το πλοίο για το οποίο γίνεται λόγος ονομάζεται Aquarius (Υδροχόος). Το κεντρικό σύστημα του «Aquarius» αποτελεί ένα καινοτόμο σύστημα και ενσωματώνει μια ποικιλία από στοιχεία που περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, σύστημα ελέγχου από υπολογιστή καθώς και ένα προηγμένο άκαμπτο πανί. Βάσει του σχεδίου, τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα ελέγχονται εύκολα και γρήγορα μέσω ενός έξυπνου συστήματος ηλεκτρονικού υπολογιστή που, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, θα μετατοπίζει το βάρος της ενεργειακής παραγωγής από τον ήλιο στον άνεμο.



Σχήμα 5 - 16. Aquarius MRE

Η ναυτιλιακή εταιρεία «Wallenius Wilhelmsen» παρουσίασε στην Παγκόσμια έκθεση EXPO 2005, στο Aichi της Ιαπωνίας, 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.

Η συμβολική ονομασία του (Orcelle) παραπέμπει σε ένα είδος δελφινιού εν ονόματι Irrawandi το οποίο βρίσκεται υπό εξαφάνιση. 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.



Σχήμα 5 - 17. E/S Orcelle

Όταν η αιολική πρόωση δεν θα είναι σε χρήση, τα πανιά θα μπορούν να παίρνουν κάποια κλίση ώστε να είναι δυνατή η συλλογή της ηλιακής ενέργειας που στην συνέχεια θα μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό για άμεση χρήση ή για αποθήκευση. Η πρόωση μέσω της αιολικής ενέργειας θα χρησιμοποιείται άμεσα από τα τρία πανιά που θα είναι κατασκευασμένα από ελαφριά υλικά. Τα άκαμπτα πανιά θα είναι ικανά να αναδιπλώνονται προς τα άνω και έξω καθώς και να περιστρέφονται γύρω από την κορυφή του καταρτιού ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή θέση για την βέλτιστη παραγωγή της αιολικής ενέργειας. Ακόμη θα εκμεταλλεύονται και την ενέργεια των κυμάτων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Το κόστος του πλοίου είναι άγνωστο, αλλά θα είναι σίγουρα ακριβότερο από το κόστος ενός αντίστοιχου συμβατικού και δεν προβλέπεται να κατασκευασθεί πλήρως με όλες τις καινοτομίες πριν περάσει το 2025.

Αναφορικά με τη μεταφορά ενέργειας, στο πλοίο θα χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι οι οποίες και περιγράφονται παρακάτω.

- Περίπου το 50% της ενέργειας που θα χρησιμοποιείται για την πρόωση θα δημιουργείται μέσω των κυψελών καυσίμου. Αυτές οι κυψέλες θα συνδυάζουν δύο κοινά χημικά στοιχεία, το υδρογόνο και το οξυγόνο, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και για άλλες καταναλώσεις στο πλοίο.
- Οι διάφορες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, το σύστημα κυψελών καυσίμων και τα πτερύγια θα είναι σε θέση να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την πρόωση, τον φωτισμό, τον εξοπλισμό, τον εξαερισμό και την πλοήγηση. Οι εγκαταστάσεις μπαταριών αποθήκευσης θα παρέχουν λειτουργική ευελιξία.
- Η κυματική ενέργεια που παράγεται από την κατακόρυφη κίνηση των πτερυγίων μπορεί να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια για άμεση χρήση στην μηχανική πρόωση των πτερυγίων. Επιπλέον, η ενέργεια από την κίνηση των πτερυγίων μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή υδραυλικής ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να αποθηκευτεί.

Από την άλλη πλευρά, καταναλωτές αποτελούν τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης, ο απόπλους, οι ελιγμοί και τα διάφορα συστήματα επί του σκάφους.

- Αναφορικά με τα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης το πλοίο θα έχει δύο συστήματα, γνωστά ως rod, προκειμένου για την συμπλήρωση των συστημάτων πρόωσης με τα πτερύγια και με τα πανιά. Κάθε rod θα στεγάζει ένα κινητήρα, ένα κιβώτιο ταχυτήτων και μια προπέλα σε μια ενιαία συμπαγής μονάδα. Κάθε rod θα τοποθετηθεί σε κάθε άκρο του κυρίου κύτους, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο πλήρη ισχύ καθώς και πλήρη ευελιξία ελιγμών.
- Για τον απόπλου θα χρησιμοποιείται η ηλεκτρική και η υδραυλική ενέργεια για την παροχή ισχύος προκειμένου για την ανέγερση, το άνοιγμα και την περιστροφή των πανιών
- Για τους ελιγμούς είναι απαραίτητη η χρήση της ηλεκτρικής και της υδραυλικής ενέργειας ώστε να λειτουργούν τα πηδάλια στην πρύμνη του πλοίου. Τα πηδάλια αυτά θα παρέχουν δυνατότητες πλοήγησης όταν η ηλεκτρική ενέργεια δεν θα χρησιμοποιείται όπως όταν το πλοίο θα ιστιοπλοεί.
- Τέλος ενέργεια θα χρησιμοποιείται και από τα ενσωματωμένα συστήματα επί του σκάφους. Για αυτά θα χρησιμοποιείται πρωτίστως η ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, η υδραυλική ισχύς θα είναι απαραίτητη για την αυξομείωση του ύψους των πρυμναίων κεκλιμένων επιπέδων και τη ρύθμιση του ύψους των καταστρωμάτων.

Το E/S Orcelle (Environmental Sound Ship) θα έχει μήκος 270 μέτρα και η ταχύτητα του θα φθάνει τους 15 κόμβους. Επίσης, θα έχει μέγιστη χωρητικότητα φορτίου 85.000 m² 50% περισσότερη από ότι ισχύει σήμερα στις μεταφορικές υπηρεσίες αυτοκινήτων. Το Orcelle θα είναι σε θέση να μεταφέρει έως και 10.000 οχήματα στα οκτώ του καταστρώματα. Τρία από αυτά τα καταστρώματα θα είναι ρυθμιζόμενα έτσι ώστε να είναι ικανά να φιλοξενήσουν φορτία διαφορετικού ύψους και βάρους. Το πλοίο θα έχει μέγιστη χωρητικότητα (DWT) ίση με 13.000 τόνους και θα ζυγίζει 21.000 τόνους. Επιπλέον, θα έχει τη δυνατότητα μεταφοράς περίπου 3.000 τόνων περισσότερο χάρη στη χρήση ελαφρότερων υλικών και την μη χρήση του έρματος το οποίο θα καταστεί εφικτό λόγω του σχεδιασμού του κύτους.

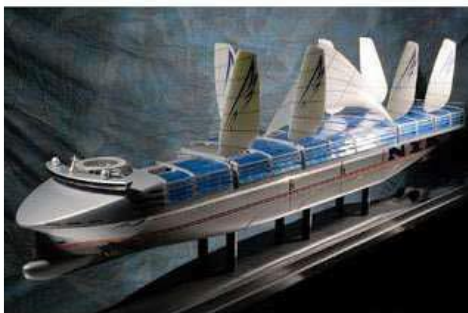
Συγκεκριμένα, θα έχει πέντε ύφαλα, ένα κύριο που θα είναι λεπτό και μακρύ και πέντε υποστηρικτικά που θα παρέχουν σταθερότητα του σκάφους στη θάλασσα. Η σταθερότητα που θα παρέχεται από το pentamaran σε συνδυασμό με τη χρήση νέων συστημάτων πρόωσης είναι αυτή που αποτρέπει τη χρήση έρματος. Επιπλέον, η χρήση του σχεδιασμού pentamaran θα συμβάλλει στη βελτιστοποίηση στη χρήση της ενέργειας και στην καθαρή ροή του νερού γύρω από το σκάφος.

Όταν κατασκευαστεί το πλοίο που θα αναφέρουμε στη συνέχεια θα είναι το πιο οικολογικό container ship. Θα ανήκει στη εταιρία NYK την ίδια εταιρία που έχει το «Auriga Leader». Παρά το μήκος των 352 μέτρων το πλοίο αυτό θα καταναλώνει 20% λιγότερο καύσιμο από τα αντίστοιχα πλοία ίδιου τύπου και θα εκπέμπει 70% λιγότερο CO₂.

Για την πρόωση του θα χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό από ηλιακή, αιολική ενέργεια και κυψέλες καυσίμου «fuel cells». Όλο το σκάφος θα καλύπτεται από ηλιακά πάνελ με συνολική έκταση 31000 τετραγωνικά μέτρα και θα μπορούν να αποδώσουν έως και 9 MW, που λόγω της χρήσης υπεραγωγίων υλικών στα καλώδια ρεύματος θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ελάχιστες απώλειες. Παράλληλα 8 αναδιπλούμενα πλήρως αυτοματοποιημένα κατάρτια θα μπορούν να ξεδιπλώνουν πανιά συνολικής επιφάνειας 4000 τετραγωνικών μέτρων που θα βοηθούν στην πρόωση. Όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επαρκούν το πλοίο θα χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Ο πρωτοποριακός σχεδιασμός του εσωτερικού και εξωτερικού του πλοίου πέρα από τη μείωση της αντίστασης τριβής θα μειώνει στο ελάχιστο τον χρόνο φορτοεκφόρτωσης. Μάλιστα η εταιρεία ανακοίνωσε ότι ίσως σε πιο μελλοντικά μοντέλα να είναι δυνατή και η διάσπαση του πλοίου σε μικρότερα τμήματα για ελαχιστοποίηση του χρόνου παραμονής στο λιμάνι. Το φορτίο καταστρώματος (deck load) εσωκλείεται από ένα πτυσσόμενο περίβλημα για προστασία από καιρικές συνθήκες και την παραγωγή ενέργειας από ηλιακές κυψέλες. Το φορτίο του κύτους (hull load) εσωκλείεται από ένα υγιές σώμα και έχει σύστημα αυτο-φόρτωσης, χωρίς να χρειάζεται εξοπλισμός στο λιμάνι. Η γάστρα είναι χωρισμένη σε ενότητες για ταχύτερη ολοκλήρωση των εργασιών στο λιμάνι.

Ο χώρος ενδιάμεσης του πληρώματος και τα μηχανήματα βρίσκονται γύρω από την πλώρη για καλύτερη ορατότητα πλοήγησης, προστασία καταστρώματος στη φορτοεκφόρτωση, βελτιωμένη αεροδυναμική, και ασφαλέστερη προσβασιμότητα του πλοίου: η επιβίβαση του πληρώματος λειτουργεί με τηλεσκοπικό κλωβό που προεξέχει από την πλατφόρμα προβόλου καταστρώματος.



Σχήμα 5 - 18. NYK Containership

5.5 Απόδοση και Κόστη

Παρόλο που ο ρόλος και η έκταση της υιοθέτησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από την ναυτιλία ποικίλει εξαρτώμενος από την κλίμακα, την λειτουργία αλλά και την περιοχή λειτουργίας του κάθε πλοίου, οι πάροχοι τεχνολογίας υποστηρίζουν ότι οι προσπάθειες στην έρευνα και την καινοτομία στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με αποδοτικά σχέδια/μελέτες έχουν ήδη πετύχει αξιοσημείωτα αποτελέσματα για την άμεση ή βραχυπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργειας σε αρκετές επιλεγμένες εφαρμογές.

Σε όλο τον κλάδο, η εξοικονόμηση από την χρήση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα λόγω της ανάπτυξης των ανανεώσιμων λύσεων ποικίλει από σχεδόν 100% (συνολική αλλαγή καυσίμου σε ανανεώσιμες πηγές), για σχέδια όπως το Greenheart μέχρι 0,05% στον κύριο κινητήρα, και 1% στον κινητήρα του βοηθητικού συστήματος) στο NYK Auriga Leader. Για τα μαλακά πανιά, οι προβλέψεις προβλέπουν πρόσθετα κόστη κατασκευής και συντήρησης από 10 ως 15% του συνολικού κόστους, ως επιστροφή για ένα προβλεφθέν 60% εξοικονομήσεων σε καύσιμα, σημαντικές μειώσεις στην φθορά κινητήρα και προπελών, καθαρότερο κόστος συμμόρφωσης και πιθανή μελλοντική εισφορά εμπορίας εκπομπών ρύπων. Η Seagate έχει προβλέψει εξοικονομήσεις 9-19% με μια περίοδο αποπληρωμής 3-4 ετών για τα πτυσσόμενα Delta Wing Sails.

Για τεχνολογίες σταθερών πανιών, η OCIUS Technology Ltd. ανέφερε 5-100% εξοικονόμηση καυσίμου ανάλογα την εφαρμογή. Η εταιρεία υποστηρίζει ότι τοποθετώντας opening wing sails σε ένα “motor sail” ,

χωρίς να μεταβληθεί το πρωτεύον σύστημα πρόωσης ενός σύγχρονου δεξαμενόπλοιου ή φορτηγού, οι διαχειριστές των πλοίων μπορούν να περιμένουν μια εξοικονόμηση καυσίμων της τάξης του 20-25% σε ταξίδια που διασχίζουν τον ισημερινό και 30-40% σε ταξίδια στο ίδιο ημισφαίριο, εκπροσωπώντας μια εκτιμώμενη επιστροφή επένδυσης σε ένα διάστημα μεταξύ ενός-δύο ετών, βάσει τιμών των καυσίμων για το 2013. Η Oceanfoil έχει υπολογίσει μια εξοικονόμηση καυσίμου 20% και μια εκτίμηση για μια περίοδο αποπληρωμής 15-18 μηνών για το νέο σχέδιο των wingsails. Το πανεπιστήμιο του Τόκιο προβλέπει ότι για το 60.000gt UT Wind Challenger, οι δαπάνες καυσίμων μπορούν να μειωθούν κατά ένα τρίτο.¹⁰³ Το EffSail, που αναπτύχθηκε από το project EffShip, έχει μοντελοποιηθεί για να αποδείξει ότι υπό συγκεκριμένες συνθήκες, η εξοικονόμηση καυσίμου μπορεί να φτάσει το 40% πετυχαίνοντας μικρότερο χρόνο αποπληρωμής από τα πανιά τύπου χαρταετού και την χρήση ρωτόρων Flettner, βασιζόμενο σε απλουστευμένες οικονομικές παραδοχές.

Η χρήση πανιών τύπου χαρταετού έχει επίσης πετύχει εξοικονόμηση καυσίμων. Το σύστημα του MS Beluga Skysails έχει εξοικονομήσει 10-15% καύσιμα σε συγκεκριμένες διαδρομές. Παρόλα αυτά, οι ετήσια εξοικονόμηση στην κατανάλωση των περισσότερων διαδρομών είναι της τάξης του 5.5%, όπως καθορίστηκε από το χρηματοδοτούμενο από την E.E project WINTEC. Εξοικονόμηση σχετιζόμενη με την πρόωση μπορεί να επιτευχθεί μόνο όταν ο άνεμος έρχεται προς το πίσω μέρος του καραβιού. Πρόσφατες μελέτες στα πλαίσια του προγράμματος EffShip, έχουν μοντελοποιήσει εξοικονομήσεις χρησιμοποιώντας βοηθητικά σταθερά πανιά, ρότορες και πανιά τύπου χαρταετού σε ένα Panamax⁹⁷ καθώς επίσης έχουν κάνει συγκρίσεις πλοίων με ρότορες και πανιά τύπου χαρταετού σε υπερατλαντικά ταξίδια.

Στην περίπτωση της τεχνολογίας ρωτόρων, το ποσόν εξοικονόμησης καυσίμου μειώνεται όσο το μέγεθος του πλοίου μεγαλώνει. Σε μικρά πλοία έχει επιτευχθεί εξοικονόμηση μέχρι και 60%, ενώ σε πλοία τύπου VLCC (Very Large Crude Carriers) οι εξοικονομήσεις πλησιάζει το 19%. Για παράδειγμα η Enercon ανέφερε το 2013 ότι το πρωτότυπο rotor sail πλοίο της, το E-Ship 1, πέτυχε εξοικονόμηση 25% μετά 170.000 ναυτικά μίλια.

Το project Ulysses εστίασε σε σενάρια ultra-slow steaming, για να δείξει ότι η αποδοτικότητα του παγκοσμίου στόλου μπορεί να αυξηθεί σε μια μείωση των εκπομπών ρύπων κατά 80% μέχρι 2050 σε σχέση με τις 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

Συμπεράσματα

Με κίνητρο την οικονομική ύφεση, την αύξηση της τιμής των καυσίμων και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όλοι έχουν αντιληφθεί την αναγκαιότητα, τα πλοία να γίνουν περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον αλλά και στο κόστος. Όλο και περισσότερα ναυπηγία έχουν παρουσιάσει σχέδια ή έχουν ήδη κατασκευάσει πειραματικά πλοία, τα οποία θα χρησιμοποιούν ως μέσο πρόωσης τους νέες τεχνολογίες κινητήρες και καύσιμα, πολύ πιο φιλικά προς το περιβάλλον (eco-friendly) ή θα χρησιμοποιούν ολικά ή μερικά τεχνολογίες ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Νέα τάση δημιουργείται στην κατασκευή πλοίων μεσοπρόθεσμα, η οποία τα θέλει οικολογικά, αλλά και πιο οικονομικά. Συνδυάζοντας την «πράσινη» ετικέτα με την εξοικονόμηση χρήματος, τα νέα «οικολογικά» πλοία αποτελούν το μέλλον της ναυπηγίας.

Καθώς η ζήτηση για ναυτιλιακές υπηρεσίες συνεχίζει να αυξάνεται, η έρευνα στην χρήση λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κλάδο – παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε σχετικά πρώιμο στάδιο – αυξάνεται πολύ γρήγορα. Από το 2007 έως το 2012, ο παγκόσμιος ναυτιλιακός στόλος κατανάλωσε 250-325 εκατομμύρια τόνους καυσίμων ετησίως, ποσότητα που μεταφράζεται στο 2.8% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ετησίως (3.1% των εκπομπών CO₂), μέσα σε μια ασταθή αγορά ορυκτών καυσίμων όπου οι τιμές των καυσίμων των πλοίων αυξάνονται, αλλά και κάτω από αυξανόμενες απαιτήσεις για σημαντική μείωση της εκπομπής ρύπων από τον κλάδο. Η Διεθνής Σύμβαση MARPOL έχει προβλέψει ,μεταξύ άλλων μέτρων, περιοχές ελέγχου χαμηλών εκπομπών θείου στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς και υποχρεωτικά τεχνικά και λειτουργικά μέτρα που απαιτούν τα πλοία να είναι περισσότερο αποδοτικά στην χρήση ενέργειας και να μειώσουν τις εκπομπές ρύπων. Οι κανονισμοί της MARPOL θέτουν ως υποχρεωτικό τον EEDI (Energy Efficiency Design Index) για νέα πλοία και το SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) για όλα τα πλοία. Αυτοί οι οικονομικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί, ως εκ τούτου, αποτελούν βασικούς παράγοντες για την υιοθέτηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας.

Οι περισσότερες ναυτιλιακές εταιρείες υποστηρίζουν πως τα κίνητρα για την τοποθέτηση στα πλοία τους φιλικών προς το περιβάλλον εφαρμογών (κατά σειρά προτεραιότητας) είναι η μεγαλύτερη οικονομία ενέργειας, οι Διεθνείς και Εθνικές φοροαπαλλαγές σε διάφορα λιμάνια, η συμμόρφωση με τις Εθνικές και Διεθνείς απαιτήσεις, η προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η βελτίωση της τεχνογνωσίας στη θαλάσσια μεταφορά επιβατών και φορτίων και η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών θαλάσσιας μεταφοράς. Ενώ, υποστηρίζουν ότι τα σημαντικότερα εμπόδια σχετικά με την υιοθέτηση των οικολογικών «πράσινων» πλοίων (κατά σειρά προτεραιότητας) για τις εταιρείες τους είναι το αρχικό κόστος ναυπήγησης, το ετήσιο λειτουργικό κόστος συντήρησης, η συμμόρφωση με τις Εθνικές και Διεθνείς απαιτήσεις, η έλλειψη υποδοχής πλοίου και η ύπαρξη υποστηρικτικών επιχειρήσεων των λιμένων, δηλαδή η έλλειψη συμβατότητας με την υφιστάμενη υποδομή λιμένων, και τέλος, η παγκόσμια οικονομική κρίση.

Αν και όλες οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας που αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη δεν είναι νέες ως ιδέες, εν τούτοις δεν μπορούν να εφαρμοσθούν σε μεγάλη κλίμακα, χωρίς πρώτα να επιλυθούν σημαντικά τεχνολογικά προβλήματα. Είναι σχεδόν βέβαιο, όπως ειπώθηκε και παραπάνω, ότι η χρήση των συμβατικών συστημάτων θα αποτελεί την κύρια πηγή παραγωγής ενέργειας και πρόωσης στις ναυτικές εφαρμογές. 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. Η συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη «ενεργειακή σύνθεση» της ναυτιλίας προς το παρόν είναι περιορισμένη βραχυπρόθεσμα αλλά και μεσοπρόθεσμα, ακόμα και υπό το πρίσμα των πιο αισιόδοξων σεναρίων.

Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές όλο και περισσότερο βελτιώνουν τον σχεδιασμό των πλοίων και τα αποτελέσματα των πιλοτικών εφαρμογών επιδεικνύουν σημαντική οικονομία σε κάποιες εφαρμογές. Η ανάπτυξη λύσεων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας για την ναυτιλία έχει παρεμποδιστεί από την υπερπροσφορά ορυκτών καυσίμων αλλά και την πληθώρα πλοίων που κινούνται με αυτά καθώς και την σχετική ύφεση των επενδύσεων στην συγκεκριμένη αγορά. Παρόλα αυτά οι τεχνολογίες αυτές έχουν μια ισχυρή αλλά και αυξανόμενα αποδεδειγμένη ικανότητα να συμβάλουν σε μικρό βαθμό σε πολλούς τομείς, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα. Για επιλεγμένες εφαρμογές, ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να γίνει σημαντικός, ακόμα και κυρίαρχος.

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 σου δίνουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης επιχειρηματικής ευελιξίας για τις χώρες που μπορείς να τα πας. Οι διεθνείς κανονισμοί γίνονται όλο και πιο πολύπλοκοι και αυστηροί και σε συνδυασμό με μια άσχημη ναυλαγορά καθιστούν τα νεότευκτα, οικολογικά και σύγχρονα πλοία πιο ανταγωνιστικά.

Δεδομένα και πληροφορίες στα πραγματικά κόστη ανάπτυξης των διάφορων λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχουν μέχρι στιγμής υιοθετηθεί στην ναυτιλία είναι πολύ σπάνια. Αυτό που είναι όμως ξεκάθαρο είναι ότι μέχρι στιγμής δεν έχει υπάρξει επαρκής επίδειξη εμπορικά βιώσιμων λύσεων στον κλάδο της ναυτιλίας ώστε να οδηγήσουν σε ανάπτυξη και κατ' επέκταση να μειώσει το κόστος κατασκευής τους.

Τα κύρια εμπόδια στην αύξηση της διείσδυσης των λύσεων που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην ναυτιλία παραμένουν τα παρακάτω:

1. Η έλλειψη εμπορικής βιωσιμότητας τέτοιων συστημάτων
2. Η ύπαρξη διαφορετικών κινήτρων μεταξύ των ιδιοκτητών και των διαχειριστών των πλοίων, που οδηγεί σε περιορισμό των κινήτρων για ανάπτυξη καθαρών ενεργειακά λύσεων στον συγκεκριμένο τομέα

Ιδιαίτερη προσπάθεια καθώς και υποστηρικτικά μέτρα πρέπει να εφαρμοστούν έτσι ώστε να προβληθεί αλλά και να αυξηθεί ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία. Συγκεκριμένα είναι κρίσιμο να δημιουργηθούν υποστηρικτικές πολιτικές και να δοθούν κίνητρα για την προώθηση της έρευνας, της καινοτομίας και της δημιουργίας απτών παραδειγμάτων, έτσι ώστε να επιτευχθεί εμπορική βιωσιμότητα για τις λύσεις ανανεώσιμης ενέργειας στη ναυτιλία. Για λύσεις άμεσης επιτυχίας η υποστήριξη θα πρέπει να εστιαστεί στα μικρά πλοία (<10000 τόνους dead weight), τα οποία είναι περισσότερο διαδεδομένα σε όλον τον κόσμο, μεταφέρουν λιγότερο μέρος του συνολικού φορτίου αλλά εκπέμπουν περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου ανα μονάδα φορτίου και διανυθήσας απόστασης σε σχέση με τα μεγαλύτερα πλοία.

Από τις ποικίλες λύσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργεια, τα προηγμένα βιοκαύσιμα έχουν πολύ υψηλή δυναμική να μεταμορφώσουν τις ενεργειακές επιλογές για τον κλάδο της ναυτιλίας από το 2030 περίπου, κι έπειτα. Έως τότε, η παραγωγή των περισσότερων βιοκαυσίμων, με την παρουσία υποστηρικτικών μέτρων και πολιτικών, αναμένεται να καταστεί ανταγωνιστική ως προς το κόστος και το μερίδιο των βιοκαυσίμων στην αγορά να αυξηθεί ως αποτέλεσμα των προσπαθειών να διπλασιαστεί το μερίδιο των ανανεώσιμων στο παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο

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. Προβλέψεις που να καλύπτουν την παγκόσμια ζήτηση και προσφορά βιοενέργειας έχει πρόσφατα συνοψιστεί και αναλυθεί. 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/ή εκτεταμένων αλυσίδων τροφοδότησης για τροφοδοσία ορυκτών καυσίμων. Σχετικά με τις δυνατότητες μείωσης των εκπομπών άνθρακα, οι εξοικονομήσεις στον πλήρη κύκλο ζωής είναι ευαίσθητες ως προς ένα μεγάλο εύρος παραμέτρων, που περιλαμβάνει τον τύπο της πρώτης ύλης, τις συνθήκες ανάπτυξης, την χρήση γης και την διαδικασία διύλισης. Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς αντιμετωπίζουν παρόμοιες προκλήσεις όσον αφορά στις πρώτες ύλες, αλλά οι δυνατότητές τους είναι πολύ μεγαλύτερες, ειδικά για το βιομεθάνιο σε συνδυασμό με τις επενδύσεις για υποδομές ναυτιλιακού LNG που είναι ήδη σε εξέλιξη ή έχει δρομολογηθεί. Επιπλέον τα τοπικά κατάλοιπα βιομάζας και τα απόβλητα μπορούν να επεξεργαστούν σε ναυτιλιακό υγρό βιομεθάνιο για να δημιουργηθεί ένας μικρός κλειστό σύστημα για απομακρυσμένες εφαρμογές σε νησιωτικές κοινότητες.

Τα τρίτης γενιάς βιοκαύσιμα που προέρχονται από φύκια, είναι ίσως η πιο πολλά υποσχόμενη κατηγορία βιοκαυσίμων για την ναυτιλία καθώς θα μπορούσε να παράγεται σε κοντινές αποστάσεις από τα λιμάνια ή παράκτιες εγκαταστάσεις και συμμορφώνεται με τις τεχνικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις βιωσιμότητας. Όταν χρησιμοποιηθεί για τη ναυτιλία, η ανάπτυξη βιοκαυσίμων από φύκια απαιτεί λιγότερη διύλιση σε σχέση με την ανάπτυξη καυσίμων για την αεροπορία ή των κλάδο των αυτοκινήτων/οχημάτων εφόσον οι κινητήρες ναυτιλιακού πετρελαίου είναι καλά προσαρμοσμένοι σε κατώτερου βαθμού HFO καύσιμα. Παρόλα αυτά η τεχνολογία των βιοκαυσίμων από φύκια είναι ακόμα σε ανάπτυξη και συνεχίζουν να υπάρχουν αβεβαιότητες σχετικά με την διαθεσιμότητα και την επεξεργασία των φυκιών για σημαντικές ποσότητες βιοκαυσίμων.

Συνολικά την μεγαλύτερη δυναμική έχουν λύσεις που συνδυάζουν χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μεγιστοποιούν την διαθεσιμότητα και την συμπληρωματικότητα των πηγών ενέργειας σε υβριδικά συστήματα. Υπό αυτήν την έννοια, το να επιτευχθούν πλήρως οι δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κλάδο της ναυτιλίας απαιτεί μια προσέγγιση ολοκληρωμένων συστημάτων η οποία θα αντιμετωπίζει επίσης τα εμπόδια στην ανάπτυξή τους.

Ωστόσο, παρά την αναγκαιότητα μείωσης του CO₂ και της καθαρής ενέργειας, η ναυτιλιακή κοινότητα φαίνεται διχασμένη και προτιμά ασφαλείς επενδύσεις σε ημι-οικολογικά πλοία σε εποχές οικονομικής ύφεσης. Τα εμπόδια στην υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ναυτιλία είναι σύνθετα. η περιορισμένη χρηματοδότηση έρευνας και ανάπτυξης, ειδικά για τεχνολογίες με αρχική απόδειξη εφικτότητας, 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. Αυτό είναι ιδιαίτερα αληθές μιας και ιστορικά υπήρξε έλλειψη αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με το κόστος και πιθανή εξοικονόμηση συγκεκριμένων λειτουργικών μέτρων ή λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τον συγκεκριμένο κλάδο.

Αναφορικά με τα εμπόδια της αγοράς, το θεμελιώδες πρόβλημα είναι ότι διαφέρουν τα κίνητρα μεταξύ των πλοιοκτητών και των ναυλωτών, περιορίζοντας τα κίνητρα των πλοιοκτητών να επενδύσουν σε λύσεις καθαρής ενέργειας αφού τα ωφέλη δεν αποκομίζονται πάντα στην πλευρά που κάνει την επένδυση και ως εκ τούτου η εξοικονόμηση δεν μπορεί να αποσβεστεί πλήρως. Άλλο ένα εμπόδιο είναι ότι μετά την κατάρρευση της ναυτιλιακής ανάπτυξης το 2006 οι επενδυτές διστάζουν να επενδύσουν στον κλάδο. Εκτός των άλλων ο τομέας της ναυτιλίας είναι σπάνια ορατός στο ευρύ κοινό, με αποτέλεσμα ο κλάδος να δέχεται μικρότερη κοινωνική πίεση ώστε να στραφεί σε καθαρές πηγές ενέργειας. Από τα εμπόδια που δεν σχετίζονται με την αγορά, οι διαφορετικές κλάσεις και κλίμακες πλοίων, οι αγορές και οι διαδρομές του εμπορίου που εξυπηρετούνται καθώς και η έλλειψη πρόσβασης στο κεφάλαιο είναι κάποια σημαντικά εμπόδια που θα πρέπει να διευθετηθούν.

Πέραν του θέματος των διαφορετικών κινήτρων, μια μελέτη μεταξύ των Νορβηγικών ναυτιλιακών εταιριών σε μέτρα για μείωση των εκπομπών ρύπων, βρήκε ότι τα λειτουργικά μέτρα (π.χ. μείωση ταχύτητας, επίδοση ταξιδιού, βελτιώσεις κύριας μηχανής και τεχνολογίες μείωσης της οπισθέλκουσας κτλ.) εκλήφθηκαν από τους πλοιοκτήτες ως οι πιο εύκολα υλοποιήσιμες λύσεις. Τεχνικά μέτρα όπως η εισαγωγή λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, αιολική ενέργεια, υγροποιημένο βιομεθάνιο και φωτοβολταϊκά) αναγνωρίστηκαν ως αυτές με τους υψηλότερους φραγμούς στην υλοποίησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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**.
2. Gary, J. H.; Handwerk, G. E.; Kaiser, M. J., *Petroleum refining: technology and economics*. CRC press: 2007.
3. Στούρνας, Σ.; Λόης, Ε.; Ζαννίκος, Φ.; Καρώνης, Δ., *Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών*. Αθήνα: 1993.
4. Tyrovola, T.; Dodos, G.; Kalligeros, S.; Zannikos, F., The Introduction of Biofuels in Marine Sector. **2020**.
5. 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.
6. Vermeire, M. B., Everything you need to know about marine fuels. *Published by Chevron Global Marine Products* **2012**.
7. 記載なし, Practical Use of LNG Fuelled Ships and ClassNK Activities (Technical Essays). *ClassNK magazine* **2012**, (64), 10-12.
8. Wang, H., Economic costs of CO₂ emissions reduction for non-Annex I countries in international shipping. *Energy for Sustainable Development* **2010**, 14 (4), 280-286.
9. Christiansen, M.; Fagerholt, K., Maritime inventory routing problems maritime inventory routing problems. In *Encyclopedia of optimization*, Springer: 2008; pp 1947-1955.
10. 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.
11. Third, I., GHG study. London: International Maritime Organization (IMO) **2014**.
12. UNEP, U., Bridging the Gap Report. *United Nations Environment Programme (UNEP)* **2011**.
13. 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.
14. Diesel, M., Emission control, MAN B&W Two-stroke Diesel Engines. *Copenhagen, Denmark* **2004**.
15. Risk, S. A., Air pollution from ships. *Sea* **2004**, 6 (8,000), 10,000.
16. Association, I. M., International shipping facts and Figures–Information resources on trade, safety, security, and the environment. *London: International Maritime Association* **2011**.
17. OLMER, N.; COMER, B.; ROY, B.; MAO, X.; RUTHERFORD, D., GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM GLOBAL SHIPPING, 2013–2015. **2017**.
18. 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.
19. 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.

20. 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.
21. Cullinane, K., Chapter 4 An International Dimension: Shipping. In *Transport and Climate Change*, Emerald Group Publishing Limited: 2012; pp 65-104.
22. Endresen, Ø.; Sørgård, E.; Sundet, J. K.; Dalsøren, S. B.; Isaksen, I. S.; Berglen, T. F.; Gravir, G., Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2003**, *108* (D17).
23. 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**.
24. Notteboom, T.; Delhaye, E.; Vanherle, K., Analysis of the consequences of low sulphur fuel requirements. *ITMMA–Universiteit Antwerpen Transport&Mobility* **2010**.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. Tan, A. K.-J., Vessel-source marine pollution: the law and politics of international regulation. Cambridge University Press: 2005; Vol. 45.
30. 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.
31. Bazari, Z.; Longva, T., Assessment of IMO mandated energy efficiency measures for international shipping. *International Maritime Organization* **2011**.
32. 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.
33. Grothues-Spork, H., BILGE VORTEX CONTROL DEVICES AND THEIR BENEFITS IN PROPULSION. **1988**.
34. Corbett, J. J.; Fischbeck, P., Emissions from ships. *Science* **1997**, *278* (5339), 823-824.
35. Clark, R. B.; Frid, C.; Attrill, M., *Marine pollution*. Clarendon Press Oxford: 1989; Vol. 4.
36. 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**.
37. VI, R. M. A., Regulations for the prevention of air pollution from ships. *Resolution MEPC* **2009**, *176*, 58.
38. Skjølvsvik, 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**.

39. 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 prase 2. *Longdon, IMO* **2009**.
40. Smith, T.; Jalkanen, J.; Anderson, B.; Corbett, J.; Faber, J.; Hanayama, S.; O'Keeffe, E.; Parker, S.; Johanasson, L.; Aldous, L., Third IMO GHG Study. **2015**.
41. Voiland, A., Aerosols: Tiny Particles, Big Impact: Feature Articles. **2010**.
42. Fuglestvedt, 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.
43. VI, A., 2012 guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP).
44. Alvik, S.; Eide, M. S.; Endresen, O.; Hoffmann, P.; Longva, T., Pathways to low carbon shipping-abatement potential towards 2030. **2009**.
45. Raptosios, S. I.; Sakellariadis, N. F.; Papagiannakis, R. G.; Hountalas, D. T., Application of a multi-zone combustion model to investigate the NOx reduction potential of two-stroke marine diesel engines using EGR. *Applied Energy* **2015**, *157*, 814-823.
46. Diesel, M. Turbo, "Emission project guide MAN B&W two-stroke marine engines," Tech. Rep: 2013.
47. Diesel, M., Turbo. MAN B&W two-stroke marine engines emission project guide for Marpol Annex VI regulations.
48. Henriksson, T., SOx scrubbing of marine exhaust gases. *Wärtsilä Technical Journal* **2007**, *2007* (2), 55-58.
49. Register, L., Understanding exhaust gas treatment systems. *Guidance for shipowners and operators* **2012**.
50. Hansen, J. F., Modelling and control of marine power systems. Department of Marine Technology Norwegian University of Science and Technology **2000**.
51. Εμμανουήλ, Σ.; Τόγιας, Ι., Ηλεκτρολογική και αντικεραυνική εγκατάσταση πλοίου. **2013**.
52. Axel, B. N., Environmental Impacts of International Shipping The Role of Ports: The Role of Ports. OECD Publishing: 2011; Vol. 2011.
53. 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.
54. Lockley, P.; Jarabo-Martin, A.; Sharma, K.; Hill, J., Ship efficiency: The guide. *Fathom* **2011**.
55. 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.
56. Fantini, M., Biomass Availability, Potential and Characteristics. In *Biorefineries*, Springer: 2017; pp 21-54.
57. Chen, H., Chemical composition and structure of natural lignocellulose. In *Biotechnology of lignocellulose*, Springer: 2014; pp 25-71.
58. Norgren, M.; Edlund, H., Lignin: Recent advances and emerging applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* **2014**, *19* (5), 409-416.
59. Sheng, C.; Azevedo, J., Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy* **2005**, *28* (5), 499-507.
60. McKendry, P., Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology* **2002**, *83* (1), 37-46.

61. Williams, A.; Pourkashanian, M.; Jones, J., Combustion of pulverised coal and biomass. *Progress in energy and combustion science* **2001**, *27* (6), 587-610.
62. Klass, D. L., Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals. Elsevier: 1998.
63. Sims, R. E.; Mabee, W.; Saddler, J. N.; Taylor, M., An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource technology* **2010**, *101* (6), 1570-1580.
64. 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.
65. Παναγιάρης, Β., Τα βιοκαύσιμα ως εναλλακτική πηγή ενέργειας. **2009**.
66. 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*.
67. 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.
68. An, E., strategy for Biofuels. Communication from the Commission. Brussels: Commission of the European Communities. COM **2006**, 34.
69. Fargione, J.; Hill, J.; Tilman, D.; Polasky, S.; Hawthorne, P., Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* **2008**, *319* (5867), 1235-1238.
70. Lourinho, G.; Brito, P., Advanced biodiesel production technologies: novel developments. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **2015**, *14* (2), 287-316.
71. 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**, *52* (3), 1748-1753.
72. 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.
73. 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.
74. Avhad, M.; Marchetti, J., A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production. *Renewable and sustainable energy reviews* **2015**, *50*, 696-718.
75. Christopher, L. P.; Kumar, H.; Zambare, V. P., Enzymatic biodiesel: challenges and opportunities. *Applied Energy* **2014**, *119*, 497-520.
76. Efficiency, E.; Authority, C.; Duncan, J., COSTS OF BIODIESEL PRODUCTION. **2003**.
77. 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.
78. Kanthavelkumaran, N.; Seenikannan, P., Recent trends and applications of bio diesel. *International Journal of Engineering Research and Applications* **2012**, *2* (6), 197-203.
79. Lee, J., Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of biotechnology* **1997**, *56* (1), 1-24.
80. Outlook, O.-F. A., OECD Agriculture statistics (database). 2016.
81. Lin, C.-Y., Effects of biodiesel blend on marine fuel characteristics for marine vessels. *Energies* **2013**, *6* (9), 4945-4955.

82. Chryssakis, C.; Balland, O.; Tvette, H. A.; Brandsæter, A., Alternative fuels for shipping. *Position Paper* **2014**, 17-2014.
83. Hasan, A.; Pope, D.; Skurla, J., Alternatives for Petroleum Based Fuel for Marine Vessels. A Final Report submitted to Great Lakes Maritime Institute: 2006.
84. 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.
85. Pehan, S.; Jerman, M. S.; Kegl, M.; Kegl, B., Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. *Fuel* **2009**, 88 (6), 970-979.
86. Juoperi, K.; Ollus, R., Alternative fuels for medium-speed diesel engines. *Wartsila technical journal* **2008**, 24-28.
87. Hanna, M.; Isom, L.; Campbell, J., Biodiesel: current perspectives and future. **2005**.
88. Tyson, K. S.; McCormick, R. L., Biodiesel handling and use guidelines. **2006**.
89. McGill, R.; Remley, W.; Winther, K., Alternative fuels for marine applications. *A Report from the IEA Advanced Motor Fuels Implementing Agreement* **2013**, 54.
90. Terry, B.; McCormick, R. L.; Natarajan, M. *Impact of biodiesel blends on fuel system component durability*; 0148-7191; SAE Technical Paper: 2006.
91. DeMello, J. A.; Carmichael, C. A.; Peacock, E. E.; Nelson, R. K.; Arey, J. S.; Reddy, C. M., Biodegradation and environmental behavior of biodiesel mixtures in the sea: An initial study. *Marine Pollution Bulletin* **2007**, 54 (7), 894-904.
92. Dincer, I., Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and sustainable energy reviews* **2000**, 4 (2), 157-175.
93. 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.
94. Han, J.; Sun, H.; Ding, Y.; Lou, H.; Zheng, X., Palladium-catalyzed decarboxylation of higher aliphatic esters: Towards a new protocol to the second generation biodiesel production. *Green Chemistry* **2010**, 12 (3), 463-467.
95. Moirangthem, K.; Baxter, D., Alternative Fuels for marine and inland waterways. *European Commission* **2016**.
96. Smith, T.; Newton, P.; Winn, G.; Grech La Rosa, A., Analysis techniques for evaluating the fuel savings associated with wind assistance. **2013**.
97. 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.
98. Davoli, F.; Repetto, M.; Tornelli, C.; Proserpio, G.; Cucchiatti, F., Boosting energy efficiency through smart grids. *International Telecommunication Union (ITU)* **2012**.
99. 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.
100. Kågeson, P.; Faber, J., Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport. 2010.
101. Haider, J.; Katsogiannis, G.; Pettit, S.; Mitroussi, K., The emergence of eco-ships: inevitable market segmentation? *Transport Newsletter* **2014**, 64, 11.

102. Waide, P.; Brunner, C. U., Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. **2011**.
103. 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.
104. Tetra Tech, Inc and UltraSystems Environmental Incorporated, "Low-Sulfur Marine Fuel Availability Study", 2008
105. ISO 8217:2017 Petroleum products-Fuels (class F)-Specifications of marine fuels
106. 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
107. UK Parliament (2013). “Sulphur emissions by ships - Transport Committee Contents”
108. Prevention of Air Pollution from Ships, Revised MARPOL Annex VI, International Maritime Organization (IMO)
109. Marpol 73/78, NOx Technical Code, International Maritime Organization (IMO)
110. 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»
111. 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.
112. *Exhaust Gas Cleaning Systems Association, Handbook 2010*
113. Οικονομικές Επιπτώσεις και Παρενεργείες Μετρών για τον Περιορισμό των Εκπομπών SO₂, Παπανδρικός Αθανασίος, διπλωματική ΕΜΠ
114. Peter Dan Petersen, "Operating on Low Sulfur Fuel", DIESEL FACTS, MAN Diesel & Turbo, 3/2005.
115. MAN Diesel & Turbo, "MAN B&W Dual Fuel Engines – Starting a New Era in Shipping With Project Examples," MAN Diesel & Turbo, Denmark, December 2014.
116. Εξελίξεις στην Ηλεκτροπροώση Πλοίων και Ανασκοπήση Ζητημάτων Σχεδιασμού στο Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο, Ι. Κ. Χατζηλάου, Ι. Μ. Προυσαλίδης, Δρ Γ. Αντωνόπουλος, Ι. Κ. Γύπαρης, Π. Βαλλιανάτος
117. Στοιχεία Για Την Αλληλεπίδραση Ναυτιλίας Και Κλιματικών Αλλαγών”, Ραμαντανής Ηλίας, διπλωματική ΕΜΠ
118. HSVA (2009). “*Optimising Container Ship Hull Forms for Real-Life Operation Profiles*”. Newswave
119. The feasibility of fueling the research vessels with biodiesel”, D.J. Angus, W.G. Jackson, 2003
120. “Bio-Diesel” MAN Diesel & Turbo Green Technology, 2011.
121. Biofuels: Marine transport, handling and storage issues, UK P&I Club, July 2010
122. Η Χρήση Βιοκαυσίμων Στην Ναυτιλία Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Προοπτικές, Πτυχιακή, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας