

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ (MARINE DIESEL).
ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΛΟΙΑ.**

A. ΑΤΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΕΠΩΝΥΜΟ-ΟΝΟΜΑ- ΑΜ: ΚΑΝΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ 3771

B. ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ/...../.....

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΘΕΜΑ

**ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ
(MARINE DIESEL). ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΛΟΙΑ.**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΚΑΝΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ
ΑΓΜ: 3771**

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ:

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Κεφάλαιο 1ο	5
1.1 Ιστορική αναδρομή στο πετρέλαιο ως καύσιμο.....	5
1.2 Ναυτιλιακά καύσιμα	8
1.3 Χημική σύσταση πετρελαίου	15
1.4 Τα δεδομένα για τα συμβατικά καύσιμα	20
1.5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ναυτιλιακών καυσίμων - ISO	21
Κεφάλαιο 2 ^ο	28
2.1 Δύλιση αργού πετρελαίου.....	28
2.2 Επικίνδυνοι ρύποι κατά την καύση ναυτικών πετρελαίων	30
2.3 Διεθνείς κανονισμοί για την εκπομπή ρύπων από την ναυτιλία-Ο ρόλος του IMO.....	34
2.4 Κανονισμοί του παραρτήματος VI της MARPOL	40
2.5 Οξείδια του αζώτου – Οξείδια του θείου.....	45
2.6 Προτάσεις για εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία, επικράτηση του LNG	50
Κεφάλαιο 3 ^ο	55
Εισαγωγή	55
3.1 Το LNG ως βιώσιμο καύσιμο στη ναυτιλία.....	56
3.3 Παραδείγματα εφαρμογής του LNG ως καύσιμο στη σύγχρονη ναυτιλία.....	61
3.4 Υποδομές bunkering LNG	66
3.5 Σύγκριση LNG και συμβατικών επιλογών	73
Βιβλιογραφία	78

Περίληψη

Ο θεματικός άξονας στον οποίο κυμαίνεται η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι οι νέες τάσεις για την επιλογή καυσίμων στα εμπορικά πλοία. Πιο συγκεκριμένα, κρίνεται απαραίτητο να αναθεωρηθούν τα καύσιμα, τα οποία έως τώρα χρησιμοποιούνται από εμπορικά πλοία, προκειμένου η ναυτιλία να έχει ενεργό ρόλο στην παγκόσμια προσπάθεια οικολογικής συνείδησης και προστασίας του περιβάλλοντος.

Αρχικά, στην εν λόγω πτυχιακή εργασία θα παρουσιαστούν τα ναυτιλιακά καύσιμα που είναι ευρέως διαδεδομένα και τα οποία χρησιμοποιούν στην πλειονότητά τους τα εμπορικά πλοία. Επίσης θα παρουσιαστούν οι κατηγορίες καυσίμων που υπερισχύουν στο χώρο της ναυτιλίας και θα γίνει μια σύντομη αναδρομή τόσο στο πετρέλαιο γενικότερα ως καύσιμο, όσο και στις επιπτώσεις που προκαλεί η ρύπανση από τη συνεχή χρήση του.

Βάση του νέου κανονισμού του IMO (International Maritime Organization), ο οποίος τέθηκε σε ισχύ από 1/1/2020, οι πλοιοκτήτριες εταιρείες οφείλουν να προβούν σε ορισμένες αλλαγές των πλοίων τους, οι οποίες θα μειώνουν κατά 3% το ποσοστό του θείου το οποίο εντοπίζεται στα καύσιμα που χρησιμοποιούν. Αυτό λοιπόν θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ρύπανσης που προέρχεται από τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται από τα εμπορικά πλοία.

Προκειμένου λοιπόν, να ολοκληρωθεί με επιτυχία η προσπάθεια μείωσης των περιβαλλοντικών ρύπων που προκαλούν τα καύσιμα του παρόντος γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης και εξέλιξης εναλλακτικών μορφών καυσίμων. Αναφορικά με αυτό, θα γίνει εισαγωγή στα εναλλακτικά καύσιμα και θα παρουσιαστεί αναλυτικά το LNG ως βιώσιμο καύσιμο της ναυτιλίας. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημανθεί πως θα αναφερθούν όχι μόνο τα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν το LNG αλλά και τα μειονεκτήματα που υπάρχουν σε αυτή τη μορφή καυσίμου. Ωστόσο, το υγροποιημένο φυσικό αέριο εξακολουθεί να πλεονεκτεί συγκριτικά με το πετρέλαιο όσον αφορά τα θετικά στοιχεία που είναι συμβατά με το περιβάλλον.

Εν κατακλείδι, θα γίνει παρουσίαση των συμπερασμάτων που θα εκμαιευτούν από τις πληροφορίες και τα δεδομένα της πτυχιακής εργασίας. Συνοψίζοντας, θα γίνει μια προσέγγιση και άλλων μορφών καυσίμων που θα μπορούσαν να αποτελέσουν μέρος της μελλοντικής και σύγχρονης ναυτιλίας, με πρωταρχικό στόχο τη σημαντική μείωση, ακόμα και την μηδενική εκπομπή ρύπων.

Κεφάλαιο 1ο

1.1 Ιστορική αναδρομή στο πετρέλαιο ως καύσιμο

Το πετρέλαιο (από το ελληνικό πέτρα και έλαιο “λάδι της πέτρας”/λατινικά petroleum), γνωστό και ως μαύρος χρυσός. Ονομάζεται αργό πετρέλαιο, επειδή πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία ή “διύλιση” για να μετατραπεί σε εύρηστα προϊόντα όπως η βενζίνη, είναι ένα παχύρρευστο, μαύρο ή σκούρο καφετί ή πρασινωπό υγρό που αποτελεί σήμερα μια από τις σπουδαιότερες, αν όχι, την σπουδαιότερη πηγή ενέργειας παγκοσμίως που όμως τείνει να εξελιχτεί σε είδος υπό εξαφάνιση. Το πετρέλαιο ορίζεται ως ένα προϊόν αποσύνθεσης ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη. Αυτοί οι οργανισμοί ήταν κυρίως θαλάσσιοι. Τα απομεινάρια των οργανισμών αυτών παρασύρθηκαν από θαλάσσια ρεύματα και από τον αέρα και συγκεντρώθηκαν κατά μεγάλες ποσότητες στα βάση θαλασσιών λεκανών (κόλπων, λιμνοθαλασσών κ.τ.λ.). Έτσι, με αποσύνθεση αυτού του οργανικού υλικού υπό την επίδραση αναερόβιων βακτηρίων προέκυψε το πετρέλαιο. Στις μέρες μας, το πετρέλαιο αποτελεί ίσως την σημαντικότερη πρώτη ύλη για την βιομηχανία και τη παραγωγή ενέργειας.

Το πετρέλαιο χρησιμεύει σήμερα κυρίως:

- Στις μηχανές εσωτερικής καύσης ως καύσιμο,
- Ως πρώτη ύλη για την παράγωγή πολλών χημικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των διαλυτών, των λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων, καθώς και πλαστικών, απορρυπαντικών ακόμη και ορισμένων εκρηκτικών υλών
- Για μονάδες θέρμανσης

Το πετρέλαιο ντίζελ είναι ένα από τα πιο πολύτιμα καύσιμα στην οικονομία του κόσμου, παρέχει την ενέργεια για να τη μεταφορά αγαθών από τους κατασκευαστές στους καταναλωτές.

Ας κάνουμε όμως μια σύντομη αναδρομή για το πώς φτάσαμε στο πετρέλαιο στον χώρο της ναυτιλίας και για το μέλλον αυτού στον συγκεκριμένο κλάδο.

Από τα πρωτόγονα ναυπηγήματα των παλαιολιθικών χρόνων, τους κορμούς, τις σχεδίες τα μονόξυλα, τα πλοιάρια από πάπυρο (παπυρέλλα), την τριήρης, το πιο ένδοξο πλοίο της αρχαιότητας όπου εμφανίστηκε περί του 1500 π.χ.,¹ τα πρώτα κωπήλατα πλοία της νεολιθικής εποχής μέχρι τα πρώτα ιστιοφόρα πλοία του εμπορικού ναυτικού και τα πρώτα ατμόπλοια φορτηγά πλοία.

Στην πρώτη δεκαετία του 1800 γεννήθηκαν τα πρώτα ατμόπλοια, ήταν ξύλινα και έπλεαν σε ποταμιά και κανάλια, Το 1850 έγιναν σιδερένια και μπορούσαν πλέον να πλεύσουν στον Ειρηνικό ωκεανό. Από την δεκαετία του 1870 μέχρι το και το 1900 εξελίχθηκαν ώσπου αντικατέστησαν τα ιστιοφόρα. Τα πρώτα ατμόπλοια ήταν τύπου

¹ Ινστιτούτο ιστορίας εμπορικής ναυτιλίας, « ιστορία της ναυτιλίας»

tree - island φτιαγμένα σε βρετανικά ναυπηγεία και έφταναν τους 5000 Κοχ. Συγκεκριμένα το πρώτο ατμόπλοιο που κατασκευάστηκε ήταν το τροχήλατο πλοίο Κλερμοντ το 1807². Το 1820 παρατηρείται μια γενίκευση της χρήσης του ατμού στα πλοία άρχισε να γενικεύεται ενώ το 1850 όπου άρχισε η ευρύτερη εφαρμογή του διαμήκη ελικοφόρου άξονα: αντί του εγκάρσιου των τροχήλατων, ο εκτοπισμός των ιστιοφόρων αφενός ,αλλά και αυτών των ατμοκίνητων τροχήλατων αφετέρου, διαγράφονταν πλέον ως δεδομένος. Οι πρώτες ατμοτουρμπίνες εγκαταστάθηκαν σε πλοίο το 1907 στο υπερωκεάνιο «Μαυριτάνια»³.

Οι ατμοστρόβιλοι είναι κινητήριες μηχανές που χρησιμοποιούν ατμό υψηλής πίεσης για την παραγωγή κινητήριας ενέργειας. Ο ατμοστρόβιλος αποτελείται από έναν ρότορα ο οποίος είναι ένα περιστρεφόμενο τύμπανο που έχει περιφερειακά πτερύγια. Η σύγχρονη μορφή του κινητήρα αυτό εφευρέθηκε από τον Σερ Τσαρλς Πάρσονς το 1884⁴. Από ναυπηγικής πλευράς η εμφάνιση των ατμόπλοιων οδήγησε στο διαχωρισμό ναυπήγησης φορτηγών πλοίων και επιβατηγών ,που αποτέλεσαν έκτοτε τους δυο βασικούς κλάδους στη ναυτιλία.

Κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, το ολοένα αυξανόμενο κόστος των καυσίμων οδήγησε σχεδόν στο τέλος της ζωής του ατμοστρόβιλου. Η πλειοψηφία των νέων πλοίων από το 1960 και μετά έχουν κατασκευαστεί με δίχρονους ή τετράχρονους κινητήρες ντίζελ ενώ, το τελευταίο μεγάλο επιβατηγό πλοίο που ναυπηγήθηκε με ατμοστρόβιλους ήταν το Fairsky, το οποίο ξεκίνησε το 1984. Ένα πλήθος παλιών ατμόπλοιων επανατροποποιήθηκαν για να βελτιωθεί η απόδοση καυσίμου τους . Ένα τέτοιο γνωστό παράδειγμα ήταν το χτισμένο το 1968 Queen Elizabeth 2 το οποίο είχε αντικαταστήσει τους ατμοστρόβιλους του με ηλεκτροπρόωση το 1986,ωστόσο το ντίζελ αρχίζει να κερδίζει συνεχώς έδαφος ώσπου φθίνουμε στις μέρες μας ,οπού το ντίζελ ως καύσιμο είναι το πλέον διαδεδομένο καύσιμο στη ναυτιλία μέχρι την στιγμή που έρχεται ο ΙΜΟ να βάλει ένα φρένο στον συγκεκριμένο τύπο καυσίμου και να θέσει νέα όρια και διατάξεις ,τις τροποποιήσεις του οποίου θα ασχοληθούμε εκτενώς παρακάτω. Όσον αφορά το ντίζελ:

Γενικά ,το καύσιμο ντίζελ είναι οποιοδήποτε υγρό καύσιμο χρησιμοποιείται στους ντιζελοκινητήρες. Το καύσιμο ντίζελ προέκυψε μετά από μια σειρά πειραμάτων που έκανε ο Γερμανός εφευρέτης και επιστήμονας Ρούντολφ Ντίζελ για τον ντιζελοκινητήρα τον οποίο ανακάλυψε το 1892. Στην δημιουργία του κινητήρα πειραματίστηκε αρχικώς με την χρήση ως καυσίμου σκόνη άνθρακα και άλλα έλαια όπως φυσικέλαιο άλλα κατέληξε στο πετρελαίου ντίζελ. Το πρωτότυπο του κινητήρα του ξεκίνησε να σχεδιάζεται το 1892 μέχρι το 1897 όπου και ολοκληρώθηκε στο εργοστάσιο του Άουγκσμπουργκ. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κινητήρας δεν χρησιμοποιούσε μπουζί όπως οι βενζινοκινητήρες άλλα χρησιμοποιούσε την αρχή της αυτανάφλεξης του καυσίμου από την θέρμανση υπό ισχυρή συμπίεση. Η παραγωγή των κινητήρων ντίζελ ξεκίνησε το 1898 και το 1903 έχουμε την πρώτη εφαρμογή

² Πηγή: Wikipedia, «Ατμόπλοιο»

³ Πηγή: Wikipedia, «Ατμόπλοιο»

⁴ Πηγή: Wikipedia, «Ατμοστρόβιλος»

κινητήρα ντίζελ στην ναυτιλία όπου τα δυο πρώτα πλοία εξοπλήστηκαν με τους κινητήρες αυτούς⁵. Τα πλοία αυτά ήταν η φορτηγίδα Vandal και το μηχανοκίνητο πλοίο Sarmat τα οποία ταξίδευαν κατά μήκος του Βόλγα. Μετά από το σημείο αυτό οι κινητήρες ντίζελ άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο.

Οι κινητήρες ντίζελ χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον χρόνο κύκλου της λειτουργίας τους:

- α) Δίχρονοι
- β) Τετράχρονοι

Οι δίχρονοι κινητήρες Ντίζελ:

Οι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες Diesel είναι συνήθως αργόστροφοι και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κίνηση μεγάλων ποντοπόρων πλοίων (πετρελαιοφόρα, πλοία μεταφοράς χύμα φορτίου και πλοία μεταφοράς container). Χρησιμοποιούνται για μεγάλα πλοία μεσαίας ταχύτητας με ισχύς >10000 kW. Οι βραδύστροφοι κινητήρες Diesel μεγάλης ισχύος (πάνω από 4000 PS) έχουν μελετηθεί, σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά ως ναυτικές μηχανές πρόωσης. Έχουν μεγάλο βάρος και καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο στο μηχανοστάσιο. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι, ότι είναι πολύ απλοϊκές σαν κατασκευές, ότι έχουν μεγάλο αρχικό κόστος όμως τις χαρακτηρίζει η υψηλή απόδοση και η μεγάλη αξιοπιστία. Επιπλέον, όλοι οι σύγχρονοι δίχρονοι αργόστροφοι κινητήρες έχουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως ευθύγραμμη σάρωση με μια βαλβίδα εισαγωγής καυσίμου, μια βαλβίδα εξαγωγής καυσαερίων, και μεγάλους λόγους διαδρομής προς διάμετρο εμβόλου, Επίσης οι κινητήρες αυτοί είναι αναστρέψιμοι. Το χαμηλότερο όριο της ταχύτητας περιστροφής τους έχει κατέλθει πλέον στις 55 στροφές το λεπτό, επιτρέποντας την περιστροφή μεγάλων ελίκων με πολύ καλή απόδοση πρόωσης.

Οι τετράχρονοι κινητήρες Ντίζελ:

Οι τετράχρονοι κινητήρες⁶ συναντώνται κυρίως σε μεσόστροφους και πολύστροφους ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες και επιλέγονται ως Κύριες Μηχανές πρόωσης σε πλοία όπου απαιτείται χαμηλό ύψος μηχανοστασίου (πχ. Ferry, cruise vessels), σε μικρά εμπορικά πλοία καθώς επίσης και σε ταχύπλοα σκάφη. Επίσης, οι τετράχρονοι κινητήρες Diesel χρησιμοποιούνται για χρήση σε ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη. Χαρακτηριστικά των τετράχρονων κινητήρων είναι το χαμηλότερο βάρος σε σχέση με ίδιας ισχύος αργόστροφου κινητήρα, το χαμηλότερο αρχικό κόστος, η ανάγκη χρήσης μειωτήρα, η χρήση καλύτερης ποιότητας ναυτικών καυσίμων. Οι τετράχρονοι κινητήρες έχουν συνήθως 2 βαλβίδες εισαγωγής αέρα και 2 βαλβίδες

⁵ Πηγή: Wikipedia, «Ρούντολφ Ντίζελ»

⁶ Πηγή: Αργόστροφες και μεσόστροφες πετρελαιομηχανές, «Μηχανές εσωτερικής καύσης» τόμος πρώτος, Β έκδοση, Λαζάρου Κλιάνη, Ιωάννη Νικολού, Ιωάννη Σιδέρη, Αθήνα 2017

εξαγωγής καυσαερίων, ενώ η αρχή λειτουργίας τους διακρίνεται στα 4 εξής στάδια (4 χρόνοι)⁷

Παράγοντες επιλογής κινητήρα:

Αφού αναλυθήκαν διάφοροι τύποι ναυτικών κινητήρων, θα πρέπει να αναφερθεί ότι γενικά για την επιλογή της κύριας μηχανής πρόωσης/κινητήρα ενός πλοίου λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Είδος πλοίου
- Μέγεθος ισχύος
- Μέγεθος έλικας
- Σχεδιασμός υποσυστημάτων
- Βάρος εγκατάστασης κινητήρα
- Κόστος εγκατάστασης κινητήρα
- Κόστος λειτουργίας κινητήρα
- Κόστος συντήρησης κινητήρα
- Σχεδιασμός/επιλογή στοιχείων μετάδοσης ισχύος

Γενικά στην ναυτιλία κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι πρόωσης στα πλοία και διάφοροι συνδυασμοί κύριων και βοηθητικών μηχανών σήμερα έχουν επικρατήσει οι μηχανές εσωτερικής καύσης πετρελαίου ντίζελ είτε τετράχρονες είτε δίχρονες άλλα και μηχανές διπλού καυσίμου. Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών ρύπων που απελευθερώνουν τα πλοία και η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει οδηγήσει την ναυτιλία σε μια μεταβατική περίοδο και ένα στάδιο προς αναζήτηση εναλλακτικών και βιώσιμων καυσίμων των οποίων οι εκπομπές ρύπων θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον είτε αυτό επιτευχτεί με τον περιορισμό τους είτε με τον πλήρη μηδενισμό τους.

1.2 Ναυτιλιακά καύσιμα

Σε γενικές γραμμές, τα υγρά καύσιμα του πλοίου δηλαδή το πετρέλαιο (fuel oil), καθιερώθηκαν διεθνώς με την ορολογία "μπάνκερς" (bunkers) από την αγγλική ονομασία της δεξαμενής καυσίμων μπάνκερ (bunker).⁸ Παλαιότερα ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιούνταν το κάρβουνο (coal) που με τον καιρό, εκτόπισε τα ιστιοφόρα.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία ταξινομήθηκαν με βάση το κινηματικό ιξώδες τους, το οποίο αποτελεί το βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση της ποιότητας του πετρελαίου. Σήμερα σχεδόν όλα τα καύσιμα των πλοίων βασίζονται σε κλάσματα από άλλες πιο προηγμένες διεργασίες διύλισης όπου το ίδιο το ιξώδες από μόνο του μας παρέχει ελάχιστες πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του καυσίμου. Το CII (Calculated Ignition Index) και το CCAI (Calculated Carbon Aromaticity Index) είναι δυο δείκτες οι οποίοι περιγράφουν την ποιότητα ανάφλεξης

⁷Πηγή: Μηχανές εσωτερικής καύσης, τόμος πρώτος, Β έκδοση, Λαζάρου Κλιάνη, Ιωάννη Νικολού, Ιωάννη Σιδέρη, Αθήνα 2017

⁸ Πηγή: Wikipedia, «Καύσιμα πλοίου»

του υπολειμματικού μαζούτ⁹. Το CCAI υπολογίζεται συχνά για καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

Γενικά, τα ναυτιλιακά καύσιμα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Το βαρύ μαζούτ το οποίο αποτελείται κυρίως από υπολείμματα καύσιμου (Residual oil or heavy fuel oil γνωστό και ως HFO)
- Αποστάγματα (distillates) γνωστά και ως πετρέλαια εσωτερικής καύσης (MGO-Marine Gas Oil).

Η πρώτη ομάδα, το βαρύ μαζούτ περιλαμβάνει και άλλα προϊόντα όπως τα LSFO (Low Sulfur Fuel Oil), ULSFO (Ultra-Low Sulfur Fuel Oil) και το HSFO (High Sulfur Fuel Oil). Η δεύτερη ομάδα, δηλαδή τα μείγματα βαρέως μαζούτ και αποσταγμάτων που χρησιμοποιούνται συχνά αποκαλούνται συχνά ως ναυτιλιακό ντίζελ (Marine Gas Oil) ή ενδιάμεσα καύσιμα (IFO-Intermediate Fuel Oil). Το ντίζελ πλοίων ως όρος αναφέρεται συχνά σε μείγματα με πολύ χαμηλό ποσοστό βαρέως μαζούτ. Αυτός ο τύπος πετρελαίου ταξινομείται ως απόσταγμα. Ανάλογα με το εάν το καύσιμο παρήχθη μέσω απόσταξης ή συγκεντρώθηκε ως υπόλειμμα στο διωλιστήριο πετρελαίου ταξινομείται ως απόσταγμα ή υπολειμματικό.

Heavy fuel oil- (HFO)

Ο γενικός όρος βαρύ μαζούτ (HFO) περιγράφει καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κίνησης ή για καύσιμα για την παραγωγή θερμότητας που χουν ιδιαίτερα υψηλό ιξώδες και πυκνότητα. Στην σύμβαση της MARPOL του 1973, το βαρύ μαζούτ ορίζεται είτε με πυκνότητα μεγαλύτερη από 900 kg/m³ στους 15⁰C είτε με κινηματικό ιξώδες μεγαλύτερο από 180 mm²/s¹⁰ στους 50⁰C. Τα βαρέα μαζούτ έχουν μεγάλα ποσοστά βαρέων μορίων όπως υδρογονάνθρακες μακράς αλυσίδας και αρωματικά με πλευρικές αλυσίδες μακράς διακλαδώσεως. Συνήθως έχει μαύρο χρώμα.

Τα βαρέα μαζούτ χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμα πλοίων και το HFO είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο καύσιμο πλοίων αυτή τη στιγμή. Σχεδόν όλοι οι μεσαίων και χαμηλών ταχυτήτων ναυτιλιακοί κινητήρες ντίζελ έχουν σχεδιαστεί για βαρύ μαζούτ. Όμως οι παλαιότερες ατμομηχανές και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με καύσιμο πετρέλαιο παράγουν επίσης ενέργεια από βαρέα μαζούτ¹¹.

Το βαρύ μαζούτ είναι ένα υπολειμματικό καύσιμο που προκύπτει κατά την απόσταξη αργού πετρελαίου. Η ποιότητα του υπολειμματικού καυσίμου εξαρτάται από την ποιότητα του αργού πετρελαίου που χρησιμοποιείται στο διωλιστήριο. Για να αναπτυχτούν διάφορες προδιαγραφές και επίπεδα ποιότητας, αυτά τα εναπομείναντα

⁹Πηγή: The International council on combustion engine « *Fuel quality guide-ignition and combustion* », 2011

¹⁰Square millimeter per second, Μονάδα μέτρησης στο SI για το κινηματικό ιξώδες.

¹¹ Πηγή: Marquard & Bahls, « *Heavy fuel oil-HFO* »

καύσιμα αναμιγνύονται με ελαφρύτερα καύσιμα όπως το marine gas oil ή το marine diesel oil. Τα προκύπτοντα μίγματα αναφέρονται επίσης ως ενδιάμεσα καύσιμα (IFO) ή marine diesel oil. Ταξινομούνται ανάλογα και με το ιζώδες τους. Εάν υπάρχει ένα μίγμα βαρύ μαζούτ σε ένα μίγμα τότε αντιστοιχεί στην κατηγορία βαρέως μαζούτ. Το βαρύ μαζούτ δεν μπορεί γενικά να αντληθεί σε θερμοκρασία 20⁰C και επομένως πρέπει να προθερμανθεί στις δεξαμενές του πλοίου σε τουλάχιστον 40⁰C και να παραμείνει για να διασφαλιστεί ότι το καύσιμο παραμένει αντλήσιμο. Σε θερμοκρασία 15⁰C το IFO έχει την μορφή ασφάλτου.

Το διεθνές πρότυπο ISO 8217 διαιρεί τα καύσιμα πλοίων σε αποστάγματα και υπολειμματικά καύσιμα. Τα τελευταία ονομάζονται συλλογικά βαρέα μαζούτ (heavy fuel oils). Εξαιρέση είναι το χαμηλότερο επίπεδο ποιότητας ιζώδους, το RMA 10, το οποίο δεν αναφέρεται πλέον ως HFO, καθώς το ποσοστό του βαρέως μαζούτ είναι μικρό. Το ISO 8217 ορίζει ότι τα εναπομείναντα καύσιμα και συνεπώς όλα τα βαρέα μαζούτ ενδέχεται να μην περιέχουν παλιό λάδι ή λιπαντικά.

Ένας βασικός διαφοροποιητής των βαρέως μαζούτ είναι η περιεκτικότητά τους σε θείο. Σύμφωνα με το ISO 8217, η περιεκτικότητα σε θείο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3.5%. Μπορούν να διακριθούν οι ακόλουθες κύριες τάξεις όσον αφορά την περιεκτικότητα σε θείο:

Marine fuel	Max. sulphur content
High sulphur fuel oil (HSFO)	3.5%
Low sulphur fuel oil (LSFO)	1.0%
Ultra low sulphur fuel oil (ULSFO)	0.1%

Πίνακας 1: Η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο.

Πηγή: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/heavy-fuel-oil-hfo.html>, Ανακτήθηκε (04/03/2021)

Low sulphur fuel oil (LSFO)

Το πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τα βαρέα μαζούτ αναφέρονται ως καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO) εάν η περιεκτικότητά τους σε θείο είναι κάτω από 1%. Συνήθως αυτοί είναι τύποι καυσίμων πλοίων IFO 180 ή IFO 380 τα οποία έχουν αποθειωθεί. Μέχρι το τέλος του 2014, τα πλοία θα μπορούσαν ακόμη να ταξιδεύουν μέσω των περιοχών ελέγχου εκπομπών (ECA) με αυτόν τον τύπο καυσίμου¹².

Ultra low sulphur fuel oil (ULSFO)

Μαζούτ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Από την 1^η Ιανουαρίου του 2015, σύμφωνα με το παράρτημα VI της MARPOL, οι εκπομπές πλοίων δεν πρέπει

¹²Πηγή: Marquard & bahls « Low sulfur fuel oil-LSFO»

να περιέχουν περισσότερο από 0.1% θείο στις προστατευόμενες περιοχές (ECAs). Λόγω αυτών των αυστηρότερων περιορισμών, τα LSFO δεν παίζουν πλέον αξιόλογο ρόλο σε αυτές τις περιοχές και έχουν αντικατασταθεί ουσιαστικά με το μαζούτ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSFO), το οποίο συμμορφώνεται με αυτά τα όρια. Θεωρητικά θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν βαριά αποθειωμένα καύσιμα IFO εδώ, αλλά στην πράξη η αποθείωση τέτοιων βαρέων μαζούτ είναι πολύ ακριβή για να έχει οικονομική σημασία. Για το λόγο αυτό, σήμερα ο όρος μαζούτ με εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο συνήθως δεν αναφέρεται σε αποθειωμένα βαρέα μαζούτ αλλά σε marine gas oil το οποίο έχει ήδη χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Αποτελείται αποκλειστικά από αποστάγματα και έχει περιεκτικότητα σε θείο κάτω του 0.1%. Αυτό το καύσιμο πλοίων είναι επίσης γνωστό και ως ultra-low marine gas oil. Το ULSFO χρησιμοποιείται σε κινητήρες ντίζελ μεσαίων έως υψηλών ταχυτήτων. Κατά τη μετατροπή από LSFO σε ULSFO πρέπει να διασφαλίζεται ότι η τεχνολογία του κινητήρα είναι συμβατή με το ULSFO¹³.

High sulphur fuel oil (HSFO)

Μαζούτ υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HSFO). Η εναλλακτική λύση στη χρήση καυσίμων πλοίων με τόσο χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο σε ECA είναι η χρήση πλυντηρίδων. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει την έγχυση νερού στην εξάτμιση για την μείωση του θείου και άλλων εκπομπών. Ωστόσο η τοποθέτηση αυτής της τεχνολογίας σε ένα πλοίο κοστίζει αρκετά εκατομμύρια ευρώ σε συνδυασμό με το ότι το πλοίο πρέπει να παραμείνει αγκυροβολημένο για μια χρονική περίοδο, γεγονός που οδηγεί σε απώλεια εσόδων και εσόδων για τους πλοιοκτήτες. Από την άλλη πλευρά, ένα τέτοιο σύστημα scrubber επιτρέπει στα πλοία τη χρήση καυσίμων με υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο. Σε αυτό το πλαίσιο, τέτοια βαρέα μαζούτ χαρακτηρίζονται ως καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HSFO) τα οποία έχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 3.5%, όπως επιτρέπεται βάση του ISO 8217.

MGO - Marine Gas Oil

Το ναυτιλιακό πετρέλαιο Marine gas oil (MGO) περιγράφει καύσιμα πλοίων που αποτελούνται αποκλειστικά από αποστάγματα. Τα αποστάγματα είναι όλα αυτά τα συστατικά του αργού πετρελαίου που εξατμίζονται στην κλασματική απόσταξη και στην συνέχεια συμπυκνώνονται από την αέρια φάση τους σε υγρά κλάσματα. Το ναυτιλιακό πετρέλαιο MGO αποτελείται συνήθως από ένα μίγμα διαφόρων αποσταγμάτων και είναι παρόμοιο με το πετρέλαιο Ντίζελ με μόνη διαφορά ότι έχει μεγαλύτερη πυκνότητα, σε αντίθεση με το βαρύ μαζούτ (HFO), το MGO δεν πρέπει να θερμαίνεται κατά την αποθήκευση.

¹³Πηγή: Marquard & bahls, «Ultra -Low Sulphur fuel oil- ULSFO»

Το MGO και το τυπικό πετρέλαιο θέρμανσης μοιράζονται σε μεγάλο βαθμό τις ίδιες ιδιότητες. Επομένως, το πετρέλαιο θέρμανσης παρέχεται μερικές φορές ως καύσιμο πλοίου όταν υπάρχουν ελλείψεις ναυτιλιακού πετρελαίου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του **ISO 8217 DMA**. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση το σημείο ανάφλεξης του επισημασμένου λαδιού θέρμανσης πρέπει να είναι πάνω από 60°C κάτι που συνήθως συμβαίνει. Επιπλέον, πρέπει να διασφαλιστεί ότι η τεχνολογία του κινητήρα ή τυχόν εγκατεστημένα συστήματα φίλτρων καυσαερίων στα πλοία είναι συμβατά με τη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο του λαδιού θέρμανσης.

Το MGO έχει διαφανές έως ανοιχτό χρώμα. Εάν το ναυτιλιακό καύσιμο χρησιμοποιείται στην ναυτιλία εσωτερικής ναυσιπλοΐας, όπως το πετρέλαιο θέρμανσης πρέπει να επισημαίνεται με κίτρινη αζω-βαφή¹⁴ επιπλέον το marine gas oil έχει κόκκινο χρώμα. Αυτά τα μέτρα αποσκοπούν ή επιτρέπουν την ανίχνευση της κατάχρησης χαμηλού φόρου του σχετικά φθηνού πετρελαίου θέρμανσης ή του MGO, που στην πραγματικότητα είναι συχνά το ίδιο καύσιμο στην ναυτιλία εσωτερικής ναυσιπλοΐας

Το MGO χρησιμοποιείται κυρίως σε βοηθητικούς κινητήρες, σε κινητήρες πλοίων και σε βοηθητικές μονάδες μεσαίων έως υψηλών ταχυτήτων. Όσον αφορά τους κινητήρες πλοίων συναντάται συνήθως σε κινητήρες μικρών σκαφών, σε αλιευτικά σκάφη ή σε κινητήρες ρυμουλκών. Σε αντίθεση με το heavy fuel oil (βαρύ μαζούτ) ή το heavy marine diesel oil (MDO-βαρύ πετρέλαιο ντίζελ) με μεγάλο ποσοστό βαρέως μαζούτ, το marine gas oil, το οποίο βασίζεται στα ελαφρύτερα αποστάγματα, έχει χαμηλό ιξώδες και μπορεί εύκολα να αντληθεί στον κινητήρα σε θερμοκρασίες περίπου 20°C.

Οι βασικές απαιτήσεις για καύσιμα πλοίων ορίζονται στο πρότυπο ISO 8217. Οι ποιοτικοί βαθμοί DMX, DMA, DMB και DMZ αναφέρονται επίσης συνήθως ως marine gas oil¹⁵. Αλλά επειδή το καύσιμο πλοίων DMB μπορεί επίσης να περιέχει ένα μικρό ποσοστό βαρύ μαζούτ, δεν είναι καθαρό απόσταγμα, άρα επομένως όχι "πραγματικό" marine gas oil.

Το marine gas oil παράγεται επίσης, με ποικίλους βαθμούς περιεκτικότητας σε θείο, αν και η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα βρίσκεται κάτω από εκείνη του βαρέως μαζούτ. Η ετικέτα ποιότητας του ISO 8217 DMA έχει μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή 1.5%. Το marine gas oil χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (low sulphur marine gas oil-LS-MGO) έχει περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη του 0.1%. Αυτό το καύσιμο πλοίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λιμένες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή σε περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA), οι οποίες μεταξύ των άλλων επιβάλλουν όριο εκπομπών θείου που αντιστοιχεί σε αυτό του LS-MGO. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες ναυτιλιακές εταιρείες χρησιμοποιούν μια ποικιλία χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο

¹⁴ Πηγή: Wikipedia, «Solvent yellow 124, Κίτρινου χρώματος αζω-βαφή που χρησιμοποιείται στην Ε.Ε. ως βαφή καυσίμου»

¹⁵ Πηγή: iso.org, «Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217. «Petroleum products-Fuels class F»

marine gas oil DMA σε αυτά τα μέρη. Εναλλακτικά, αυτό το όριο μπορεί να επιτευχθεί μέσω του καταλλήλου εξοπλισμού (συστήματα πλυντηρίδων-Scrubbers).

Σε σύγκριση με τα ναυτιλιακά καύσιμα με περισσότερο ή λιγότερο ποσοστό μαζούτ, οι εκπομπές από το marine gas oil περιέχουν σημαντικά λιγότερα σωματίδια και αιθάλη. Καθώς η περιεκτικότητα σε θείο του αποσταγμένου καυσίμου μπορεί να διατηρηθεί χαμηλή και τα διυλιστήρια βελτιστοποιούν τις διαδικασίες παραγωγής τους, για να παράγουν όλο και λιγότερο υπολειπόμενο καύσιμο¹⁶ λόγω της πτώσης της τιμής του βαρέως μαζούτ, οι ειδικοί της βιομηχανίας αναμένουν ότι το marine gas oil θα χρησιμοποιείται συχνότερα τα επόμενα χρόνια και ως αποτέλεσμα η τεχνολογία κινητηρίων στη ναυτιλία θα προσαρμοστεί. Τα ελαφρύτερα καύσιμα marine gas oil (MGO) και marine diesel oil (MDO) είναι σημαντικά πιο ακριβά από το βαρύ μαζούτ επομένως, δεν χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην εμπορική ναυτιλία. Για παράδειγμα στις αρχές του Απριλίου του 2016 η τιμή του marine gas oil ήταν υπερδιπλάσια από το βαρύ μαζούτ¹⁷.

MDO-Marine Diesel Oil & intermediate fuel oil-IFO:

Με τον όρο marine diesel oil (MDO) περιγράφει γενικά καύσιμα πλοίων που αποτελούνται από διάφορα μίγματα αποσταγμάτων (επίσης καλούμενα marine gas oil και heavy fuel). Σε αντίθεση με τα καύσιμα Ντίζελ στην ξηρά που χρησιμοποιούνται για αυτοκίνητα και φορτηγά, το marine diesel oil δεν είναι καθαρό απόσταγμα. Οι διαφορετικοί λόγοι ανάμειξης του marine diesel oil μπορούν να ελεγχτούν άμεσα με διαδικασίες στο διυλιστήριο ή με ανάμειξη έτοιμων ναυτιλιακών καυσίμων. Το ναυτιλιακό Ντίζελ είναι παρόμοιο με το καύσιμο Ντίζελ αλλά έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Σε αντίθεση με το βαρύ μαζούτ (HFO), το marine diesel oil δεν χρειάζεται να θερμαίνεται κατά την αποθήκευση¹⁸.

Το marine diesel oil μερικές φορές χρησιμοποιείται επίσης συνώνυμα με τον όρο «ενδιάμεσο μαζούτ-IFO». Με την αυστηρή έννοια, ο όρος marine diesel oil αναφέρεται κυρίως σε μίγματα με πολύ μικρό ποσοστό βαρύ μαζούτ. Αυτός ο τύπος ναυτιλιακού πετρελαίου κίνησης ταξινομείται επίσης ως απόσταγμα σε ορισμένα εγχειρίδια, πράγμα που σημαίνει ότι κατηγοριοποιείται επίσης ως μεσαίο απόσταμα. Τα ενδιάμεσα καύσιμα από την άλλη πλευρά, έχουν υψηλότερη αναλογία βαρύ μαζούτ. Κατά συνέπεια, οι τύποι IFO με ιδιαίτερα υψηλές αναλογίες βαρύ μαζούτ ταξινομούνται μερικές φορές ως βαρύ μαζούτ σε ορισμένα εγχειρίδια, πρότυπα και δημοσιεύσεις. Αυτό οδηγεί στις ακόλουθες σύντομες περιγραφές:

- Το marine diesel oil με την ευρύτερη έννοια : ένα μίγμα αποσταγμάτων και βαρύ μαζούτ

¹⁶ Residual fuel-heavy fuel oil

¹⁷ Πηγή:Marquard & bahls, « marine Gasoil-MGO»

¹⁸ Πηγή:Marquard & bahls, « marine Diesel oil-MDO»

- Το marine diesel oil ειδικότερα: ένα μίγμα αποσταγμάτων και βαρύ μαζούτ, αλλά με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε βαρύ μαζούτ.
- Intermediate fuel oil (IFO- Ενδιάμεσο μαζούτ): marine diesel με υψηλότερες αναλογίες βαρέως μαζούτ

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8217: «Προϊόντα πετρελαίου-καύσιμα (class F)», το marine diesel oil με χαμηλότερη αναλογία βαρέως μαζούτ περιλαμβάνει τα καύσιμα DMB και RMA 10. Τα συστατικά βαρέως μαζούτ σε πετρελαϊκό ντίζελ DMB, το οποίο ταξινομείται ως απόσταγμα σύμφωνα με το ISO 8217, προέρχονται κυρίως από υπολείμματα βαρέως μαζούτ από δεξαμενές όπου αποθηκεύεται το DMB. Λόγω αυτής της ρύπανσης από το βαρύ μαζούτ, οι αλλαγές χρώματος μπορεί να κυμαίνονται από ανοιχτό καφέ έως μαύρο. Καθώς τα όρια εκπομπών για τις περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) γίνονται όλο και πιο αυστηρά, το DMB με τη σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε θείο περίπου 2% χρησιμοποιείται λιγότερο¹⁹.

Σύμφωνα με το ISO 8217, το marine diesel oil RMA 10 μετρά ήδη ως υπολειπόμενο καύσιμο. Έχει παρόμοιο χαμηλό ιξώδες με το DMB, αλλά υψηλότερη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο 3.5% και επίσης υψηλότερη αναλογία σε βαρύ μαζούτ. Επομένως αυτός ο τύπος καυσίμου είναι συνήθως πιο σκούρο από το DMB. Το χρωματικό του φάσμα ξεκινά από σκούρο καφέ και ομοίως καταλήγει σε μαύρο.

Τα ενδιάμεσα καύσιμα (IFO) είναι μαύρα λόγω του υψηλότερου ποσοστού βαρέως μαζούτ. Στο ISO 8217, τα καύσιμα IFO με ονομασίες RME, RMG και RMK και ιξώδες 180mm²/s ή 380mm²/s²⁰ υπολογίζονται ως υπολειπόμενα καύσιμα. Αυτά τα ναυτιλιακά πετρέλαια ντίζελ είναι ήδη τόσο ιξώδη που πρέπει να θερμανθούν ώστε να μπορέσουν να αντληθούν.

Το marine diesel oil πωλείτε με διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας σε θείο. Για παράδειγμα, τα IFO 180 και IFO 380 μπορούν να έχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 3.5% σύμφωνα με το ISO 8217. Πωλούνται επίσης και σε ποικιλίες χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, το οποίο είναι λιγότερο από 1%. Τα πλοία θα μπορούσαν ακόμα και να εισέλθουν σε μια περιοχή ελέγχου (ECA) με την τελευταία ποικιλία. Ωστόσο εάν οι πλοιοκτήτες χρησιμοποιούν συνδυασμό κινητήρα-καυσίμου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, οι οριακές τιμές εκπομπών μπορούν επίσης να ικανοποιηθούν με τη χρήση πρόσθετης τεχνολογίας (π.χ. Scrubbers).

Οι διαφορετικές αναλογίες ανάμειξης τους, καθιστούν δυνατή τη χρήση marine diesel oil σε πολλούς διαφορετικούς κινητήρες. Οι ελαφρύτερες εκδόσεις όπως το DMB και το RMA 10 χρησιμοποιούνται για τη τροφοδοσία μικρότερων ναυτιλιακών κινητήρων μεσαίων έως υψηλών ταχυτήτων και βοηθητικών μονάδων ισχύος, καθώς

¹⁹ Πηγή: Marquard & bahls, «marine Diesel oil-MDO»

και βοηθητικών κινητήρων σε πολύ μεγάλα πλοία, ενώ το ιξώδες IFO 380 χρησιμοποιείται σε μεγάλα μίγματα. Το ελαφρύ και χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο marine diesel oil μερικές φορές καίγεται και σε μεγαλύτερους κινητήρες, οπότε μπορεί να περάσει μια περιοχή με αυστηρότερα όρια εκπομπών. Μόλις έξω από την περιοχή, το πλοίο θα επιστρέψει σε καύσιμο με υψηλότερες εκπομπές²¹.

1.3 Χημική σύσταση πετρελαίου

Γενικά, το ακατέργαστο πετρέλαιο περιέχει πολλές οργανικές ενώσεις, με διαφορετικές ιδιότητες. Το πιο σημαντικό από τα προϊόντα που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο είναι το πετρέλαιο κίνησης και το πετρέλαιο θέρμανσης, επίσης παράγεται και το πετρέλαιο ντίζελ ένα από τα σημαντικότερα καύσιμα στη παγκόσμια οικονομία όπου χρησιμοποιείται σε κινητήρες τρένων, λεωφορείων, πλοίων, φορτηγών κ.α. Από το αργό πετρέλαιο παράγονται και άλλα εξίσου σημαντικά καύσιμα όπως η κηροζίνη που χρησιμοποιείται σε κινητήρες τύπου jet από αεροσκάφη καθώς επίσης και η βενζίνη που χρησιμοποιούμε όλοι στα αυτοκίνητά μας. Τέλος από το αργό πετρέλαιο παράγονται επίσης και τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται από τους κινητήρες (φορτηγών, αυτοκινήτων, αεροπλάνων κτλ) για την μείωση της τριβής και των φθορών όλων των κινούμενων μερών τους, αλλά και λιπαντικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φαρμάκων, καλλυντικών και διάφορων αλοιφών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι από την διύλιση του αργού πετρελαίου τίποτα δεν πάει χαμένο καθώς τα κατάλοιπα της διύλισης χρησιμοποιούνται για παραγωγή της ασφάλτου της πίσσας δηλαδή για την κατασκευή δρόμων, διαφόρων πλαστικών και γεωργικών λιπασμάτων και από την δευτερογενή επεξεργασία του πετρελαίου παίρνομαι εξίσου σημαντικά προϊόντα για την καθημερινότητα μας τα λεγόμενα πετροχημικά προϊόντα όπως πλαστικά, απορρυπαντικά χρώματα και συνθετικά υφάσματα.

Γενικώς διαπιστώνεται ότι με την διύλιση του αργού πετρελαίου παράγονται προϊόντα τα οποία έχουν μεγάλη χρησιμότητα και είναι πολύ σημαντικά στις καθημερινές και όχι μόνο ανάγκες ολοκληρώου σχεδόν του πλανήτη.

Το αργό πετρέλαιο²², είναι ένα υγρό πέτρωμα μίγμα υδρογονανθράκων δηλαδή χημικών ενώσεων που περιέχουν άνθρακα (C) και υδρογόνο (H) κατά ένα μεγάλο μέρος της σειράς των αλκανίων που όμως περιέχει και αρκετούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες καθώς και άλλες οργανικές ενώσεις²³. Όταν αυτές οι ενώσεις διαχωρίζονται, παράγουν διυλισμένα προϊόντα. Μολονότι το πετρέλαιο αποτελείται από χημικές ενώσεις δύο μόνο στοιχείων, του άνθρακα και του υδρογόνου, δημιουργείται ωστόσο μια μεγάλη ποικιλία σύνθετων μοριακών δομών. Άσχετα με τις φυσικές ή χημικές μεταβολές, σχεδόν όλοι οι τύποι αργού πετρελαίου περιέχουν

²¹Πηγή: Marquard & bahls, «marine Diesel oil-MDO»

²² Πηγή: Πετρέλαιο-προϊόντα πετρελαίου, Χημεία Β' λυκείου

²³Πηγή: Η χημεία του άνθρακα, Χημεία Γ γυμνασίου

82 -87% άνθρακα κατά βάρος και 12 -15% υδρογόνο, ενώ οι πιο ιξώδεις άσφαλτοι περιέχουν 80 -85% άνθρακα και 8-11% υδρογόνο .

Οι διάφοροι τύποι αργού πετρελαίου μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις βασικές ομάδες: τα αρωματικά πετρέλαια, τα ναφθέλαια και τα παραφινέλαια. Τα περισσότερα πετρέλαια είναι μίγμα των τριων αυτών τύπων σε διάφορες και σε άπειρες αναλογίες και κανένα πετρέλαιο δεν έχει την ίδια σύσταση με άλλο ειδικά αν προέρχονται από διαφορετικά κοιτάσματα. Οι πιο κοινοί υδρογονάνθρακες τόσο στο πετρέλαιο όσο και στο φυσικό αέριο είναι οι παραφίνες ,οι οποίες είναι κορεσμένοι αλειφατικοί υδρογονάνθρακες.

Τα αέρια των παραφινών ,με πιο σύνηθες το μεθάνιο αποτελούν τα περισσότερα φυσικά αέρια, ενώ τα υγρά μέρη της ένωσης αποτελούν τα σημαντικότερα συστατικά της βενζίνης.

Τα συστατικά του πετρελαίου:

Συστατικά	περιεκτικότητα (κ.β.)
Άνθρακας	83-87%
Υδρογόνο	10-14%
Άζωτο	0.1-2.0%
Οξυγόνο	0.05-1.5%
Θείο	0.05-6.0%
Μέταλλα(Ni,V,Fe κτλ)	<1000ppm

Πίνακας2: Τυπική ανάλυση συστατικών του πετρελαίου.

Οι υδρογονάνθρακες:

Ο Άνθρακας (αγγλικά: carbon) που προέρχεται από το λατινικό carbo (ξυλοκάρβουνο)²⁴. Η ελληνική ονομασία του άνθρακα σύμφωνα με την ετυμολογική σημασία του «άνθραξ» προέρχεται, από το αρχαιοελληνικό αναθέραξ (ανά + θέρω δηλαδή θερμαίνω και άξω (μέλλοντος του άγω δηλαδή μεταφέρω). Με αποβολή δε των α και ε προέκυψε η ονομασία άνθραξ, καθώς και το νεοελληνικό άνθρακας²⁵ .Ο άνθρακας είναι το αμέταλλο χημικό στοιχείο με χημικό σύμβολο C ,είναι πιθανόν το αρχαιότερο χημικό στοιχείο που ανακάλυψε ο άνθρωπος μέσω της καύσης του ξύλου και είναι το τέταρτο σε αφθονία χημικό στοιχείο κατά μάζα στο σύμπαν μετά το οξυγόνο ήλιο και υδρογόνο συνήθως σε μορφή διαμαντιών. Ο άνθρακας από μονός του δεν αναφλέγεται υπό κανονικές συνθήκες και γ' αυτό για να έχουμε ανάφλεξη απαιτείται η εξωτερική προσφορά ενέργειας συνήθως μέσω θερμότητας που προσφέρεται από την φωτιά.

²⁴ Πηγή: Wikipedia, «Άνθρακας»

²⁵ Βασδέκης Στάυρος, Σελίδα24, «Ετυμολογικό λεξικό της Ελληνικής γλώσσας», Αυτοεκδότης

Η παγκοσμία ανάγκη για την παράγωγη ενέργειας οδήγησε στην εκμετάλλευση ενός πλήθους ουσιών φυσικής ή τεχνίτης προέλευσης. Κύρια πηγή ενέργειας αποτελεί ο γαιάνθρακας ο οποίος εξορύσσεται από την γη κυρίως στα ανθρακωρυχεία. Όσον αφορά την καύση χρειάζεται η συνεισφορά μιας πηγής ενέργειας. Βασικό μοχλό της βιομηχανικής επανάστασης αποτέλεσε η συστηματική εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων, δηλαδή των γαιανθράκων, του φυσικού αερίου και του πετρελαίου. Λόγω της εντατικής αυτής εκμετάλλευσης των ορυκτών καυσίμων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής καθώς σημαντικό ρόλο επίσης έπαιξε και η αυξημένη ζήτηση και η δυσανάλογη αύξηση του πληθυσμού στο πέρασμα των χρόνων αλλά και η υπερκατανάλωση. Τα καύσιμα είναι υλικά τα οποία κατά την καύση τους, απελευθερώνουν πολύ σημαντικά και εκμεταλλεύσιμα ποσά θερμότητας. Τα ορυκτά καύσιμα²⁶ είναι καύσιμα τα οποία προέρχονται από φυσικές πηγές όπως η αποσύνθεση νεκρών οργανισμών. Τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς χρειάζεται πάρα πολλά εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και εξαντλούνται με ταχύτερο ρυθμό από τον ρυθμό που χρειάζεται για να σχηματιστούν.

Υδρογονάνθρακες ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις που αποτελούνται μόνο από άτομα υδρογόνου (H) και άνθρακα (C). Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι η κύρια πηγή παραγωγής υδρογονανθράκων. Ο αριθμός των ενώσεων που σχηματίζουν έχει ξεπεράσει σήμερα τις 25.000.000 και ο κυριότερος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η ιδιαίτερη ικανότητα που έχουν τα άτομα του άνθρακα να συνδέονται μεταξύ τους και να σχηματίζουν ανοιχτές και κλειστές αλυσίδες που ονομάζονται δακτύλιοι. Η ανάγκη για ουσιαστική μελέτη των χαρακτηριστικών και των μεθόδων παρασκευής τους υποχρέωσε τους χημικούς να τους ταξινομήσουν σε ομάδες είτε με τον τρόπο σύνδεσης των ατόμων άνθρακα μεταξύ τους είτε με βάση τη μορφή της ανθρακικής αλυσίδας. Ανάλογα με τη μορφή της ανθρακικής αλυσίδας ταξινομούνται σε²⁷ :

Άκυκλους: στους οποίους τα άτομα άνθρακα σχηματίζουν ανοιχτές αλυσίδες. Σε αυτές τα άτομα του άνθρακα ή είναι διατεταγμένα στη σειρά (ευθεία αλυσίδα) ή διακλαδίζονται (διακλαδισμένη αλυσίδα)

Κυκλικούς: στους οποίους τα άτομα άνθρακα σχηματίζουν κλειστές αλυσίδες, δηλαδή δακτύλιους. Από τους κυκλικούς υδρογονάνθρακες ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες που περιέχουν βενζολικό δακτύλιο.

Οι κυκλικές ενώσεις με την σειρά τους χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την δομή και την χημική συμπεριφορά τους²⁸ :

- i. **Τις αλειφατικές ενώσεις :** στις οποίες τα άτομα άνθρακα περιλαμβάνουν ενώσεις με αλυσίδα άνθρακα ευθεία ή διακλαδισμένη ανοικτή ή κλειστή με απλούς ή πολλαπλούς δεσμούς άνθρακα αλλά και άλλων στοιχείων. Οι αλειφατικές ενώσεις χαρακτηρίζονται από τις αντιδράσεις υποκατάστασης μέσω ελεύθερων ριζών των αλκανίων και από τις αντιδράσεις ηλεκτρονιόφιλης προσθήκης των αλκενίων.
- ii. **Τις αρωματικές ενώσεις:** είναι ενώσεις οι οποίες παράγουν μια ευχάριστη οσμή οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερη χημική συμπεριφορά και σταθερότητα. Οι

²⁶ Καύσιμα, « Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα », Κωνσταντίνος Τσακαλάκης, Ιωάννης Ιωακείμ, 2005,

²⁷ Πηγή: Ταξινόμηση υδρογονανθράκων, Χημεία Γ' Γυμνασίου

²⁸ Πηγή: Κατάταξη των Οργανικών ενώσεων, Οργανική χημεία Γ λυκείου

αρωματικοί υδρογονάνθρακες διαφέρουν σημαντικά από τους υπόλοιπους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες (αλκάνια, αλκένια, αλκίνια). Πρόκειται περί ακόρεστων ενώσεων μικρής δραστηριότητας που χαρακτηρίζονται από την αντίδραση της ηλεκτρονιόφιλης αρωματικής υποκατάστασης. Η ονομασία των αρωματικών ενώσεων αναφέρεται σε προϊόντα φυσικής προέλευσης με ευχάριστη οσμή και αποτελούν παράγωγα του απλούστερου αρωματικού υδρογονάνθρακα, του βενζολίου. Το βενζόλιο είναι κυκλικό μόριο που αποτελείται από έξι άτομα άνθρακα που σχηματίζουν εξαμελή δακτύλιο. Τα άτομα άνθρακα συνδέονται με τρεις απλούς και με τρεις διπλούς δεσμούς και όλοι οι άνθρακες του δακτυλίου είναι ισοδύναμοι. Η χημική συμπεριφορά του βενζολίου δεν παρουσιάζει κανένα από τα χαρακτηριστικά των αλκενίων ή των αλκινίων καθώς το βενζόλιο είναι ελάχιστα δραστικό σε σύγκριση με τα άλλα αλκένια τέλος οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες ή αρένια είναι αδιάλυτα στο νερό.

Ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται τα άτομα άνθρακα μεταξύ τους ταξινομούνται σε:

Κορεσμένοι²⁹: ονομάζονται οι υδρογονάνθρακες στους οποίους όλα τα άτομα άνθρακα συνδέονται μεταξύ τους με έναν απλό δεσμό.

Ακόρεστοι³⁰: ονομάζονται οι υδρογονάνθρακες στους οποίους δυο τουλάχιστον άτομα άνθρακα συνδέονται μεταξύ τους με διπλό ή με τριπλό δεσμό.

Οι άκυκλοι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες ονομάζονται **αλκάνια**, δηλαδή περιέχουν μόνο άνθρακα και υδρογόνο ενωμένα μεταξύ τους με απλούς δεσμούς και παρουσιάζουν τετραεδρική δομή και κορεσμένου γιατί στο μόριό τους απαντώνται μόνο απλοί δεσμοί άνθρακα-άνθρακα. Τέλος τα αλκάνια ονομάζονται και παραφίνες λόγω της χημικής τους αδράνειας. Τα πρώτα μέλη των αλκανίων: Μεθάνιο, Βουτάνιο, Αιθάνιο, Προπάνιο. Τα αλκάνια αποτελούν βασική πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα με τη μορφή ακάθαρτου και φωτιστικού πετρελαίου καθώς επίσης και του φυσικού αερίου. Χρησιμοποιούνται ακόμα ως διαλυτικά μέσα και ως λιπαντικά έλαια. Αλκάνια με περισσότερα από 20 άτομα άνθρακα στο μόριό τους χρησιμοποιούνται στη φαρμακευτική (βαζελίνη) και για την παρασκευή κεριών (παραφίνη).

Αλκένια: ονομάζονται και ολεφίνες, είναι οι άκυκλοι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με έναν διπλό δεσμό, ορισμένα σημαντικά αλκένια είναι τα αιθένιο και το προπένιο.

Αλκίνια: είναι οι άκυκλοι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με έναν τριπλό δεσμό, ορισμένα σημαντικά αλκίνια είναι το αιθίνιο και το προπίνιο.

Αλκαδιένια: είναι οι άκυκλοι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με δυο διπλούς δεσμούς. Σημαντικά αλκαδιένια είναι τα βουταδιένιο και το προπαδιένιο.

Γενικά η σύσταση του πετρελαίου γίνεται με βάση την ταξινόμηση τριών βασικών κατηγοριών χημικών ενώσεων:

- Τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες
- Τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες
- Τις ενώσεις του άνθρακα με τα ετερο-άτομα (όπως φαινόλες, αιθέρες κτλ)

²⁹ Πηγή: Κορεσμένοι Υδρογονάνθρακες, Οργανική χημεία Γ λυκείου

³⁰ Πηγή: Ακόρεστοι Υδρογονάνθρακες, Οργανική χημεία Γ λυκείου

Στη συνέχεια, έρευνες οι οποίες έγιναν σχετικά με τη σύσταση του πετρελαίου διαπιστώθηκε η ύπαρξη αυτών των τριων κατηγοριών των υδρογονανθράκων ,οι οποίες ανάλογα με την περιεκτικότητά τους καθορίζουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του πετρελαίου. Αυτές είναι οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι παραφίνες και τα ναφθένια.

Με κριτήριο λοιπόν ,τις τρεις αυτές τάξεις των υδρογονανθράκων έχουμε την παρακάτω ταξινόμηση:³¹

- **Αρωματικά:** κύρια παράγωγα του βενζολίου, πλούσια σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.
- **Παραφινικά:** Με παραφινικούς υδρογονάνθρακες τουλάχιστον το μισό της μάζας των ελαφρών κλασμάτων.
- **Ναφθενικά:** Οι ναφθενικοί υδρογονάνθρακες έχουν ποσοστό μεγαλύτερο του 60% της μάζας του πετρελαίου.
- **Παραφίνο-ναφθενικά:** περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό παραφινικούς και ναφθενικούς υδρογονάνθρακες και σε μικρότερο ποσοστό αρωματικούς.
- **Ναφθενο-αρωματικά**
- **Παραφίνο-ναφθενο-αρωματικά:** περιέχουν ίσα μέρη των τριων τάξεων υδρογονανθράκων και είναι τα πιο διαδεδομένα.

Πίνακας 1: Αλκάνια				
όνομα	μοριακός τύπος	συντακτικός τύπος	προσομοίωμα	σημείο βρασμού (°C)
μεθάνιο	CH ₄			- 162
αιθάνιο	C ₂ H ₆			- 88,5
προπάνιο	C ₃ H ₈			- 42

Πίνακας 2: Αλκένια				
όνομα	μοριακός τύπος	συντακτικός τύπος	προσομοίωμα	σημείο βρασμού (°C)
αιθένιο	C ₂ H ₄			- 102
προπένιο	C ₃ H ₆			- 48

Πίνακας 3: Αλκίνια				
όνομα	μοριακός τύπος	συντακτικός τύπος	προσομοίωμα	σημείο βρασμού (°C)
αιθίνιο	C ₂ H ₂			- 75
προπίνιο	C ₃ H ₄			- 23

Εικόνα 1. Πίνακας Υδρογονανθράκων που περιέχουν 1-3 άτομα άνθρακα στο μόριο τους.

³¹ Πηγή: Κατάταξη Οργανικών Ενώσεων, Οργανική χημεία Γ λυκείου

Πηγή: Χημεία Γ γυμνασίου http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2208/Chimeia_G-Gymnasiou_html-empl/index3_1.html, Ανακτήθηκε (09/03/2021)

1.4 Τα δεδομένα για τα συμβατικά καύσιμα

Τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται στις μηχανές εσωτερικής καύσεως είναι υγρά η αέρια και αποτελούνται από διάφορα μείγματα υδρογονανθράκων. Απ την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου (crude oil) η απ την συνθετική μέθοδο από λιθάνθρακες κτλ προέρχονται τα υγρά καύσιμα, ενώ τα αέρια καύσιμα αποτελούν προϊόντα της κλασματικής αποστάξεως του αργού πετρελαίου (υγραέρια κτλ) η από την επεξεργασία του φυσικού αερίου.

Μαζί Με τα υγρά καύσιμα χρησιμοποιούνται και τα αλκοολούχα καύσιμα όπως η μεθανόλη. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια προσπάθεια για την εισαγωγή νέων καυσίμων στη ναυτιλία και ένα από αυτά είναι το biodiesel για την καύση στις υπάρχοντες ντιζελομηχανές. Το biodiesel ³²είναι ένα βιοκαύσιμο το οποίο προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυρίως από την ελαιούχο μάζα όπως είναι τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη. Το βιοκαύσιμο έχει παρόμοιες φυσικές ιδιότητες με το συμβατικό πετρελαϊκό ντίζελ και είναι πλήρως συμβατό και αναμίξιμο με αυτό σε οποιαδήποτε αναλογία πράγμα που το καθιστά βιώσιμο για το μέλλον στον κλάδο της ναυτιλίας και όχι μόνο.

Η ναυτιλία σήμερα αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές οικονομικές και μεταφορικές δραστηριότητες παγκοσμίως και η ανάπτυξή της αναμένεται να είναι ακόμα μεγαλύτερη τα επόμενα έτη, όμως το μέλλον για τα συμβατικά καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στην ναυτιλία προμηνύεται δυσοίωνα. Αυτό συμβαίνει διότι η παγκόσμια ναυτιλία έρχεται αντιμέτωπη με ένα πλήθος αυστηρών νόμων και κανονισμών μεταξύ των οποίων αυτοί που αφορούν την μείωση των εκπομπών των ρύπων για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου και γενικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 με απόφαση του IMO το παγκόσμιο όριο του θείου στα καύσιμα μειώθηκε από το 3.50% στο 0.50% για τη χρήση καυσίμων σε περιοχές ECA (Emission control areas), επίσης υπάρχουν και οι κανονισμοί για το Sox και τα μικροσωματίδια στις ECAs από την 1^η Ιανουαρίου 2015³³. Σύμφωνα με τις οδηγίες του IMO (International Maritime Organization):

Από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 για τον περιορισμό των αερομεταφερόμενων εκπομπών των πλοίων μειώθηκε το ποσοστό της εκπομπής των οξειδίων του θείου, έτσι οι ναυτιλιακές προχώρησαν σε άμεσες λύσεις είτε χρησιμοποιώντας καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (low sulfur) είτε με την τοποθέτηση των scrubbers. Τα scrubbers (πλυντηρίδες) είναι ένα σύστημα προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των καυσαερίων των πλοίων και μείωση των εκπομπών επικινδύνων ρύπων για το περιβάλλον. Αποτελούν δηλαδή ένα σύστημα φιλτραρίσματος των επικινδύνων ρύπων για την ατμόσφαιρα.

Οι βασικές κατηγορίες των scrubbers είναι δυο: ξηρού τύπου και υγρού τύπου. Τα scrubbers υγρού τύπου περιλαμβάνει δυο βασικά είδη: τα scrubbers ανοιχτού τύπου(

³² Πηγή: Wikipedia, «βιοντίζελ»

³³ Πηγή: IMO «IMO 2020, cutting sulphur oxide emissions »

open loop) και τα scrubbers κλειστού τύπου (close loop). Τα συστήματα ανοιχτού τύπου χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για το ξέπλυμα των ρύπων και έπειτα τα διοχετεύουν ξανά στη θάλασσα σε αντίθεση με αυτά του κλειστού τύπου τα οποία αποθηκεύουν εν πλω αυτά τα καυσαέρια και τα παραδίδουν σε ειδικές εγκαταστάσεις στην ξηρά.

Παρότι φαντάζει απλό σαν κατασκευή ,παρουσιάζει ορισμένες επιστημονικές , μηχανολογικές και τεχνικές προκλήσεις. Μια από αυτές αποτελεί η άποψη ότι τα scrubbers μπορεί να μειώνουν την μόλυνση της ατμόσφαιρας αλλά παράλληλα μεταφέρουν το πρόβλημα της ρύπανσης στη θάλασσα μέσω της διοχέτευσης των επιβλαβών ρύπων σ αυτήν, πράγμα που καθιστά τα scrubbers μια αμφιλεγόμενη λύση στον χώρο της ναυτιλίας και σε συνδυασμό με το ότι επιβαρύνονται αρκετά οικονομικά οι πλοιοκτήτριες εταιρείες με την τοποθέτηση τους καθώς μια τέτοια εγκατάσταση απαιτεί να δαπανηθούν αρκετά εκατομμύρια αν λάβουμε υπόψη ότι μια ναυτιλιακή εταιρεία μπορεί να διαχειρίζεται δεκάδες πλοία. Επομένως μια όχι τόσο “σίγουρη” λύση είναι επόμενο ότι θα δημιουργήσει ένα αίσθημα αμφισβήτησης και την ανάγκη για εύρεση μιας λύσης σε όλο αυτό το πρόβλημα που έχει προκύψει και από πλευράς περιβάλλοντος αλλά και από πλευράς πλοιοκτητών και διαχειριστριών εταιρειών. Σήμερα τα συστήματα open-loop scrubbers αποτελούν την πλειοψηφία παγκοσμίως, όπου σύμφωνα με τα στοιχεία του νορβηγικού νηογνώμονα DNV GL³⁴, έχουν τοποθετηθεί 3.754 scrubbers ανοιχτού τύπου σε πλοία αντιπροσωπεύοντας το 70% του συνολικού αριθμού των scrubbers, ταυτόχρονα όμως οι χώρες η μια μετά την άλλη παίρνουν πρωτοβουλία και απαγορεύουν την χρήση open-loop scrubber’s σε πλοία που καταπλέουν στα λιμάνια τους παρότι ο IMO δεν έχει θέσει τέτοιο περιορισμό³⁵.

Άρα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι οικονομικές ζημίες είναι πάρα πολλές ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι ένα πλοίο μπορεί εύκολα να χάσει κάποιον ναύλο για κάποιο λιμάνι όπου έχει πάρει μια τέτοια απόφαση απαγόρευσης για τα πλοία που έχουν εγκαταστήσει το συγκεκριμένο σύστημα. Έτσι κάποιος μπορεί να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ναυτιλία διανύει μια μεταβατική περίοδο με όμως μακροχρόνιο σχέδιο στην οποία καλείται να συμμορφωθεί με τους αιτούμενους κανονισμούς και να εναρμονιστεί με το σχέδιο του IMO ενώ ταυτόχρονα γίνεται η αναζήτηση για προτάσεις με καλύτερα ποσοστά βιωσιμότητας δηλαδή ακόμα και η παύση χρήσης του πετρελαίου σε οποιαδήποτε μορφή και την αξιοποίηση ενός καυσίμου το οποίο θα αλλάξει τα δεδομένα για την εκπομπή των ρύπων ακόμα και τον μηδενισμό αυτών.

1.5 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ναυτιλιακών καυσίμων - ISO

Τα ναυτικά πετρέλαια έχουν διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία και καθορίζονται από τους ανάλογους δείκτες. Η χρήση των καυσίμων για παράδειγμα επηρεάζει την ποιότητα της ανάφλεξης στους διάφορους κινητήρες. Καλή ποιότητα ανάφλεξης σε κινητήρες diesel,σημαίνει ότι ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση ανάφλεξης, να γίνει δηλαδή η προετοιμασία του μίγματος στον δυνατότερο καλύτερο

³⁴ DNV, «scrubbers at a glance », πηγή: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Scrubbers-at-a-glance.htm>,

³⁵ Μηνάς Τσαμόπουλος Ναυμαχίες δισεκατομμυρίων στη ναυτιλία για τα Scrubbers , 21 Οκτωβρίου 2020 πηγή: newmoney.gr,

χρόνο. Για τον προσδιορισμό της ποιότητας ανάφλεξης χρησιμοποιούνταν ο αριθμός και ο δείκτης κετανίου.

Αριθμός κετανίου

Ο αριθμός κετανίου³⁶ (Cetane number ή CN) καθιερώθηκε για την αξιολόγηση ενός καυσίμου ως προς την ποιότητα ανάφλεξης. Ο αριθμός κετανίου ορίζεται ως η επί τις εκατό% κατ' όγκο αναλογία κετανίου και επτα-μεθυλο-εννεανιο ενός πρότυπου μίγματος.

Το κετάνιο είναι κορεσμένος υδρογονάνθρακας και συγκεκριμένα το κ-δεκαεξάνιο (C₁₆H₃₄). Έχει την ιδιότητα να αυταναφλέγεται πολύ εύκολα και γ' αυτό του δόθηκε η τιμή 100. Ο αέρας προκαλεί την ανάφλεξη του καυσίμου, χωρίς να χρειάζεται η δημιουργία σπινθήρα. Ένα καύσιμο αν είναι καλής ποιότητας αναφλέγεται αμέσως μόλις έρθουν σε επαφή ενώ ένα κακής ποιότητας μετά από κάποιο χρόνο. Η προδιαγραφή για τον αριθμό κετανίου στο diesel που διακινείται στα κράτη- μέλη της Ε.Ε. αυξήθηκε το 2000 από 49 σε 51.

Δείκτης κετανίου

Ο δείκτης κετανίου (CCI-Calculated Cetane Index), είναι μια προσπάθεια πρόβλεψης του αριθμού κετανίου μέσω απλούστερων αναλύσεων όπως η πυκνότητα και η καμπύλη απόσταξης (3 σημεία) με αρκετά καλή ακρίβεια και με την πρότυπη μέθοδο ASTM D-4737 και λαμβάνει κυρίως υπόψη του τα χαρακτηριστικά βρασμού και την πυκνότητα των μειγμάτων.

Δείκτης αρωματικότητας

Η ποιότητας ανάφλεξης (ignition quality) στα ναυτιλιακά καύσιμα παίζει εξαιρετικά σημαντικό ρόλο λόγω των φαινομένων 'χτυπήματος' στους κινητήρες ντίζελ δείκτης αρωματικότητας (CCAI-Calculated Carbon Aromaticity Index), είναι ένας δείκτης ο οποίος εκτίμα την καθυστέρηση ανάφλεξης. Ο δείκτης αρωματικότητας³⁷ εισήχθη ως ένα εργαλείο για τον χαρακτηρισμό της ανάφλεξης έπειτα από μια σειρά πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν από τον Dr Zeelenberg A.P. το 1982 και ερμηνεύει την περιεκτικότητα των μειγμάτων σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Γενικά όσο περισσότεροι είναι οι υδρογονάνθρακες σε ένα μίγμα τόσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση ανάφλεξης και τόσο μικρότερος ο αριθμός κετανίου.

Ιξώδες

Το ιξώδες (viscosity)³⁸ είναι ένα μέτρο της αντίστασης ενός ρευστού στην ροή υπό πίεση, η οποία αυξάνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Το ιξώδες επηρεάζει την κυκλοφορία του καυσίμου τον ψεκασμό του αλλά και την δυνατότητα άντλησής του.

³⁶ Fuel oil, Everything you need to know about Marine fuels, Chevron Global Marine Products,

³⁷ The International council on combustion engine « Fuel quality guide-ignition and combustion », 2011

³⁸ Fuel oil, Kinematic viscosity, Everything you need to know about Marine fuels, Chevron Global Marine Products

Στο μαζούτ μετριέται το κινηματικό ιξώδες σύμφωνα με τη μέθοδο ISO 3104. Ακαταλληλη τιμή του ιξώδους μπορεί να επιφέρει:

- υψηλή θερμοκρασία άρα και βρασμό του πετρελαίου με αποτέλεσμα να κολλήσουν οι αντλίες πετρελαίου ή να παρουσιάσουν διαρροή, απώλεια πρόωσης και ελιγμών, φθορές στο σύστημα ψεκασμού κ.α.
- Χαμηλή θερμοκρασία άρα υψηλό ιξώδες, το οποίο μπορεί να επιφέρει πολλά προβλήματα στην λειτουργία του κινητήρα όπως ελλιπής λίπανση επομένως φθορές στους κυλίνδρους αλλά και τις βαλβίδες.

Θερμοκρασία αναφοράς του ιξώδους για τα μαζούτ είναι οι 50⁰C. Για τα καύσιμα diesel η θερμοκρασία αναφοράς είναι 40⁰C.

Η πυκνότητα

Η πυκνότητα (density)³⁹ είναι πολύ σημαντική για τα πετρέλαια καύσης, δεδομένου ότι τα καύσιμα πλοίου καθαρίζονται πριν από τη χρήση για την απομάκρυνση του νερού και των ρύπων. Το πετρέλαιο πρέπει να έχει διαφορετική πυκνότητα από αυτή του νερού. Η αύξηση του αριθμού ατόμων άνθρακα στο μόριο, αυξάνει την πυκνότητα του υδρογονάνθρακα.

Το σημείο ροής

Το σημείο ροής (Pour point)⁴⁰, είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία το πετρέλαιο μπορεί να ρέει. Κάτω από αυτή τη θερμοκρασία το καύσιμο παύει να ρέει. Όσον αφορά το μαζούτ, η θέρμανση του είναι απαραίτητη για να ψεκαστεί στους κυλίνδρους μέσω των εγχυτήρων. Το Ντίζελ δεν θερμαίνεται πριν την εισαγωγή του στον θάλαμο καύσης του κινητήρα, επομένως το σημείο ροής του πετρελαίου έχει μεγάλη σημασία για τα πλοία τα οποία πλέουν σε ψυχρές περιοχές λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών.

Θερμογόνος δύναμη

Θερμογόνος δύναμη (Calorific ή heating value) ενός καυσίμου, ονομάζεται το πόσο της θερμότητας το οποίο εκλύεται κατά την τέλεια καύση του με οξυγόνο, με τα προϊόντα και τα αντιδρώντα να βρίσκονται σε θερμοκρασία 25⁰C .

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών χωρίζεται σε:

- Ανώτερη θερμογόνο δύναμη: οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υγρή μορφή
- κατώτερη θερμογόνο δύναμη: οι υδρατμοί παραμένουν σε αέρια μορφή

³⁹ Fuel oil, Density, Everything you need to know about Marine fuels, Chevron Global Marine Products,

⁴⁰ Fuel oil, Pour point, Everything you need to know about Marine fuels, Chevron Global Marine Products

Αυτανάφλεξη

Είναι η θερμοκρασία στην οποία το καύσιμο αναφλέγεται μόνο του υπό ατμοσφαιρική πίεση. Είναι συνήθως 350-500°C, όπου σε συμπίεση κατέρχεται στους 200-250°C

Σημείο ανάφλεξης

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. Το σημείο ανάφλεξης σχετίζεται με την πτητικότητα του καυσίμου. Κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 70-120°C.

Σημείο καύσεως

Η θερμοκρασία στην οποία ένα καύσιμο αναφλέγεται όταν το πλησιάσει φλόγα και εξακολουθεί να φλέγεται όταν η φλόγα απομακρυνθεί. Είναι συνήθως 15-25°C μεγαλύτερο από το σημείο αναφλέξεως.

Περιεκτικότητα σε θείο

Η περιεκτικότητα σε θείο (sulfur content) σε ποσοστό επί τις εκατό%. Επηρεάζεται διότι κατά την καύση δημιουργούνται διαβρωτικές ενώσεις και προκαλούν φθορές στο εσωτερικό του κινητήρα, αλλά και οι εκπομπές του θείου απ την εξάτμιση οι οποίες είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον.

Περιεκτικότητα σε τέφρα

Η τέφρα είναι ανόργανα στέρεα συστατικά τα οποία περιέχονται μέσα στο αργό πετρέλαιο και παραμένουν μέσα σε αυτό και μετά την διαδικασία της απόσταξης. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να δημιουργήσουν πρόβλημα στο σύστημα ψεκασμού καυσίμου στον κινητήρα. Η περιεκτικότητα σε τέφρα (ash content) κυμαίνεται από 0.01-0.02% κατά βάρος.

Περιεκτικότητα σε νερό

Η περιεκτικότητα σε νερό (water content) κατά όγκο. Το νερό δεν μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα απ το μαζούτ επειδή έχει παρεμφερή πυκνότητα με αυτό. Απαιτεί καταβύθιση στις δεξαμενές και φυγοκέντριση για να περιοριστεί στο 0.2%.

ISO καυσίμων

Από το 1987, οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται σε πετρελαιοκινητήρες και λέβητες στη ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν καθοριστεί από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO) στο πρότυπο ISO 8217 «Petroleum products- fuel(class F)-προδιαγραφές καυσίμων πλοίων». Είναι ένα αποδεκτό παγκόσμιο πρότυπο για τον προσδιορισμό των καυσίμων πλοίων, και τα διακρίνει σε υπολειπόμενα καύσιμα και απόσταμα καυσίμων σύμφωνα με τα κύρια συστατικά τους. Επιπλέον τα ISO ταξινομεί κατηγορίες για καύσιμα πλοίων.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές των ναυτιλιακών καυσίμων οι οποίες έχουν τεθεί σύμφωνα με το Διεθνές πρότυπο ISO 8217 τελευταία αναθεώρηση το 2017, έκδοση έκκτη⁴¹.

Η έκκτη έκδοση ήρθε για να αντικαταστήσει την προηγούμενη έκδοση ISO 8217:2012, έχοντας κύρια διαφοροποίηση την προσθήκη μιας κύριας σειράς βαθμών αποσταγμάτων, τα οποία περιέχουν βιοκαύσιμα. Ο έλεγχος πραγματοποιείται από δυο εταιρίες, την ASTM (American Society for Testing and Material) και την BSS (British Standard Specification) Μια διαφοροποίηση η οποία έρχεται να συμπληρώσει τις ολοένα και αυστηρότερες διατάξεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), για τον περιορισμό και μείωση του διοξειδίου του θείου με τελευταία αυτή της 1^{ης} Ιανουαρίου του 2020 και την μείωση στο 0.5% απ όλα ανεξαρτήτως τα πλοία μέσα που κινούνται εκτός των καθορισμένων περιοχών ελέγχου.

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες των προδιαγραφών των αποσταγματικών και υπολειμματικών ναυτιλιακών καυσίμων αντίστοιχα σύμφωνα με τα ISO 8217 2017 :

⁴¹ ISO 8217-1:2017, Petroleum products-Fuels (class F)-specifications of marine fuels, Πηγή: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8217:ed-6:v1:en>

**ISO 8217 2017
FUEL STANDARD**

ISO 8217 2017 Fuel Standard
for marine distillate fuels

MARINE DISTILLATE FUELS

Limit	Parameter	DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB	DFB
Max.	Viscosity at 40°C (mm ² /s)	5.500	6.000		6.000		11.00	
Min.	Viscosity at 40°C (mm ² /s)	1.400	2.000		3.000		2.000	
Max.	Micro Carbon Residue at 10% Residue (% m/m)	0.30	0.30		0.30		-	
Max.	Density at 15°C (kg/m ³)	-	890.0		890.0		900.0	
Max.	Micro Carbon Residue (% m/m)	-	-		-		0.30	
Max.	Sulphur (% m/m)	1.00	1.00		1.00		1.50	
Max.	Water (% V/V)	-	-		-		0.30	
Max.	Total sediment by hot filtration (% m/m)	-	-		-		0.10	
Max.	Ash (% m/m)	0.010	0.010		0.010		0.010	
Min.	Flash point (°C)	43.0	60.0		60.0		60.0	
Max.	Pour point in Winter (°C)	-	-6		-6		0	
Max.	Pour point in Summer (°C)	-	0		0		6	
Max.	Cloud point in Winter (°C)	-16	Report		Report		-	
Max.	Cloud point in Summer (°C)	-16	-		-		-	
Max.	Cold filter plugging point in Winter (°C)	-	Report		Report		-	
Max.	Cold filter plugging point in Summer (°C)	-	-		-		-	
Min.	Calculated Cetane Index	45	40		40		35	
Max.	Acid Number (mgKOH/g)	0.5	0.5		0.5		0.5	
Max.	Oxidation stability (g/m ³)	25	25		25		25	
Max.	Fatty acid methyl ester (FAME)	-	-	7.0	-	7.0	-	7.0
Max.	Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4 at 60°C) (µm)	520	520		520		520	
Max.	Hydrogen sulphide (mg/kg)	2.00	2.00		2.00		2.00	
	Appearance	Clear & Bright						-

Εικόνα 2 πίνακας 1 :Οι προδιαγραφές των καυσίμων σύμφωνα με το ISO 8217:2017 για τα προϊόντα απόσταξης (Marine distillate fuels).

Πηγή: <https://shipinsight.com/articles/the-different-types-of-fuels-for-ships/> , Ανακτήθηκε (11/3/2021)

**ISO 8217 2017
FUEL STANDARD**

ISO 8217 2017 Fuel Standard
for marine residual fuels

MARINE RESIDUAL FUELS

Limit	Parameter	RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK			
		10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700	
Max.	Viscosity at 50°C (mm ² /s)	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0	
Max.	Density at 15°C (kg/m ³)	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0			
Max.	Micro Carbon Residue (% m/m)	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00			
Max.	Aluminium + Silicon (mg/kg)	25	40		50	60							
Max.	Sodium (mg/kg)	50	100		50	100							
Max.	Ash (% m/m)	0.040	0.070			0.100				0.150			
Max.	Vanadium (mg/kg)	50	150			350				450			
Max.	CCAI	850	860			870							
Max.	Water (% V/V)	0.30					0.50						
Max.	Pour point (upper) in Summer (°C)	6				30							
Max.	Pour point (upper) in Winter (°C)	0				30							
Min.	Flash point (°C)					60.0							
Max.	Sulphur (% m/m)	To comply with statutory requirements as defined by purchaser											
Max.	Total Sediment, aged (% m/m)					0.10							
Max.	Acid Number (mgKOH/g)					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.											
Max.	Hydrogen sulphide (mg/kg)					2.00							

Εικόνα 3 πίνακας 2: Οι προδιαγραφές των καυσίμων σύμφωνα με το ISO 8217:2017 για τα υπολειμματικά ναυτιλιακά καύσιμα (Marine residual fuels).

Πηγή: <https://shipinsight.com/articles/the-different-types-of-fuels-for-ships/>, Ανακτήθηκε (11/-3/2021)

Κεφάλαιο 2^ο

2.1 Διύλιση αργού πετρελαίου

Το πετρέλαιο αντλείται από γεωτρήσεις μέσω των πετρελαιοπηγών, οι οποίες βρίσκονται είτε κάτω από τη θάλασσα είτε κάτω από τη γη, δηλαδή στο υπέδαφος. Στην περίπτωση που η πετρελαιοπηγή εντοπίζεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας η διύλιση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών πλωτών εξεδρών εξόρυξης το οποίο υλοποιείται με χρονοβόρα μελέτη και πολύ μεγάλο κόστος. Στη δεύτερη περίπτωση, όταν δηλαδή η πετρελαιοπηγή είναι στο υπέδαφος, το πετρέλαιο αντλείται μέσω ειδικών αγωγών. Και στις δυο περιπτώσεις, η μεταφορά του πετρελαίου γίνεται με βυτιοφόρα οχήματα, πλοία τάνκερ ή μέσω ειδικών αγωγών για να μεταβεί στα διυλιστήρια όπου θα έπεται η επεξεργασία του.

Τα διυλιστήρια είναι βαριές εγκαταστάσεις επεξεργασίας του πετρελαίου από τα οποία παίρνουμε τα χρήσιμα προϊόντα και τις διάφορες μορφές του πετρελαίου. Το πετρέλαιο αποτελεί μια πολύπλοκη μίξη πολλών οργανικών ενώσεων. Ο καθαρισμός του πετρελαίου και ο διαχωρισμός των συστατικών του για τη δημιουργία προϊόντων ονομάζεται διύλιση και τα προϊόντα που προκύπτουν από αυτήν ονομάζονται κλάσματα⁴². Η διαδικασία της διύλισης αποτελεί την πρώτη επεξεργασία του πετρελαίου μετά την εξόρυξη του και χωρίζεται στα εξής στάδια :

- Τον διαχωρισμό του νερού από το πετρέλαιο
- Αποθείωση Την απομάκρυνση των προσμίξεων του θείου που περιέχει δηλαδή, μέσα στο οποίο υπάρχουν διαλυμένοι στερεοί και αέριοι υδρογονάνθρακες
- Και την κλασματική απόσταξη

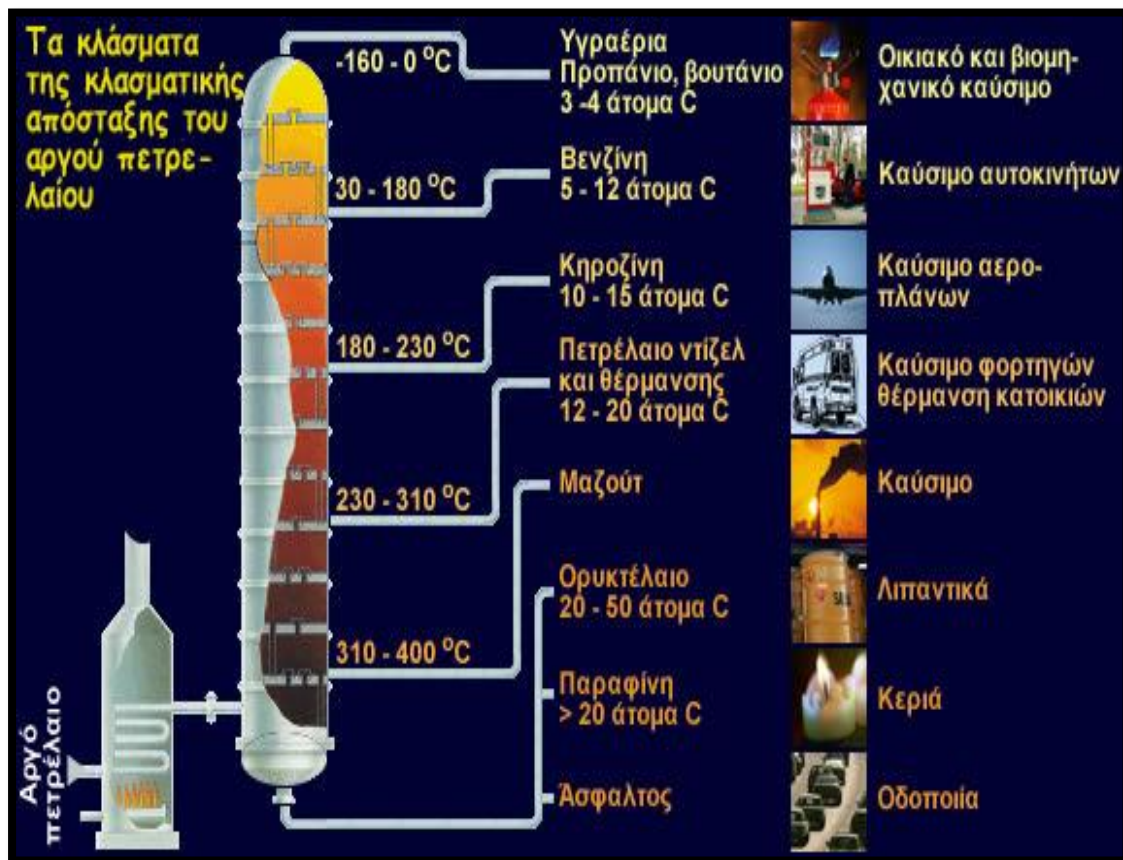
Το αργό πετρέλαιο αποθηκεύεται σε δεξαμενές και υπόκειται σε μια φυσική διεργασία απομάκρυνσης ανόργανων αλάτων και κατόπιν οδηγείται στην ατμοσφαιρική στήλη απόσταξης για το διαχωρισμό του σε επιμέρους κλάσματα και την αναβάθμιση του πετρελαίου σε προϊόντα χρήσιμα για τις ανάγκες της αγοράς.

Ο διαχωρισμός των κλασμάτων του πετρελαίου γίνεται σε συσκευές που ονομάζονται αποστακτικές στήλες. Αυτό συμβαίνει λόγω τη διαφορετικής πτητικότητας που παρουσιάζουν υπό τις συνθήκες διεργασίας τα συστατικά του. Η λειτουργία της αποστακτικής στήλης στηρίζεται στο διαφορετικό σημείο βρασμού των υδρογονανθράκων. Έτσι το πετρέλαιο θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες (400 βαθμούς περίπου) μέχρι να εξαεριωθεί.

Τα προϊόντα με διαφορετικό σημείο βρασμού συγκεντρώνονται σε διαφορετικά σημεία στην αποστακτική στήλη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των συστατικών του. Σε υψηλές θερμοκρασίες παίρνουμε το μαζούτ, τα λιπαντικά, τις παραφίνες και τα διαφορά ορυκτέλαια ενώ στις χαμηλότερες θερμοκρασίες παίρνουμε τα πιο “καθαρά” αποστάγματα όπως είναι για παράδειγμα η βενζίνη, η κηροζίνη, υγραέρια, προπάνια κ.α. Η διαδικασία της κλασματικής απόσταξης γίνεται

⁴²Αντωνάτος Γεώργιος, «Τεχνολογίες διαχείρισης στερεών υπολειμμάτων πετρελαίου σε διυλιστήριο», Χανιά 2014

πιο κατανοητή με την αναλυτική παρατήρηση των δεδομένων που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα⁴³.



Εικόνα 4: Τα κλάσματα της κλασματικής απόσταξης του αργού πετρελαίου.

Πηγή: <http://molwave.chem.auth.gr/fabchem/?q=node/266> , Ανακτήθηκε (13/03/2021)

Δευτερογενής επεξεργασία του πετρελαίου

Η κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου αποτελεί την πρωτογενή επεξεργασία του πετρελαίου μετά την εξόρυξη, τα προϊόντα της οποίας απελευθερώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας κατά την καύση τους. Αντιθέτως, με την δευτερογενή επεξεργασία λαμβάνονται προϊόντα μείζονος σημασίας, τα πετροχημικά.

Τα πετροχημικά είναι χημικά προϊόντα που παράγονται από το πετρέλαιο και είναι ευρέως διαδεδομένα στην καθημερινότητα και στη χρήση τους από το σύνολο της κοινωνίας. Με άλλα λόγια, ο αριθμός των πετροχημικών που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας είναι μεγάλος, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα πλαστικά, τα ελαστικά και οι συνθετικές ίνες. Επίσης κάποιες επιπλέον χρήσεις των πετροχημικών εντοπίζονται στον τομέα της ιατρικής και της φαρμακευτικής όπου

⁴³ Μ. Κροκίδα, « Κλασματική απόσταξη », Μάρτιος 2017

χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ρητινών, πλαστικών μελών και ιατρικού εξοπλισμού αλλά και για την παρασκευή φαρμάκων συμπεριλαμβανομένων και των θεραπειών.

Ακόμη, στις συσκευασίες τροφίμων, τα περισσότερα προϊόντα τα οποία χρησιμοποιούν συντηρητικά για τη διατήρηση των τροφίμων περιέχουν πετροχημικές ουσίες. Στη γεωργία τα πετροχημικά χρησιμοποιούνται για την παρασκευή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και αμέτρητα ακόμα προϊόντα οικιακής χρήσης όπως απορρυπαντικά, σαμπουάν, αρώματα κ.α.

2.2 Επικίνδυνοι ρύποι κατά την καύση ναυτικών πετρελαίων

Όσο χρήσιμο είναι το πετρέλαιο και τα προϊόντα του, τόσο οι εκπομπές των ρύπων από την καύση των προϊόντων αυτών επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον με επιβλαβείς ουσίες αλλά ταυτόχρονα και την υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, με το πρόβλημα να εντοπίζεται κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, χωρίς όμως να εξαιρούνται οι μικρές πόλεις και η επαρχία.

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα⁴⁴, δηλαδή, κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στα οικοσυστήματα και στους ζωντανούς οργανισμούς.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, που ανά τον κόσμο απασχολούν τις υπηρεσίες προστασίας του περιβάλλοντος είναι: το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου, οι υδρογονάνθρακες, το όζον, ο καπνός, τα αιωρούμενα σωματίδια και ο μόλυβδος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους ρύπους είναι:

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Όξινη βροχή
- Η καταστροφή του ατμοσφαιρικού στρώματος αζώτου
- Καπναιθάλη
- Περιορισμένη ορατότητα (Καπναιθάλη, Σωματίδια)

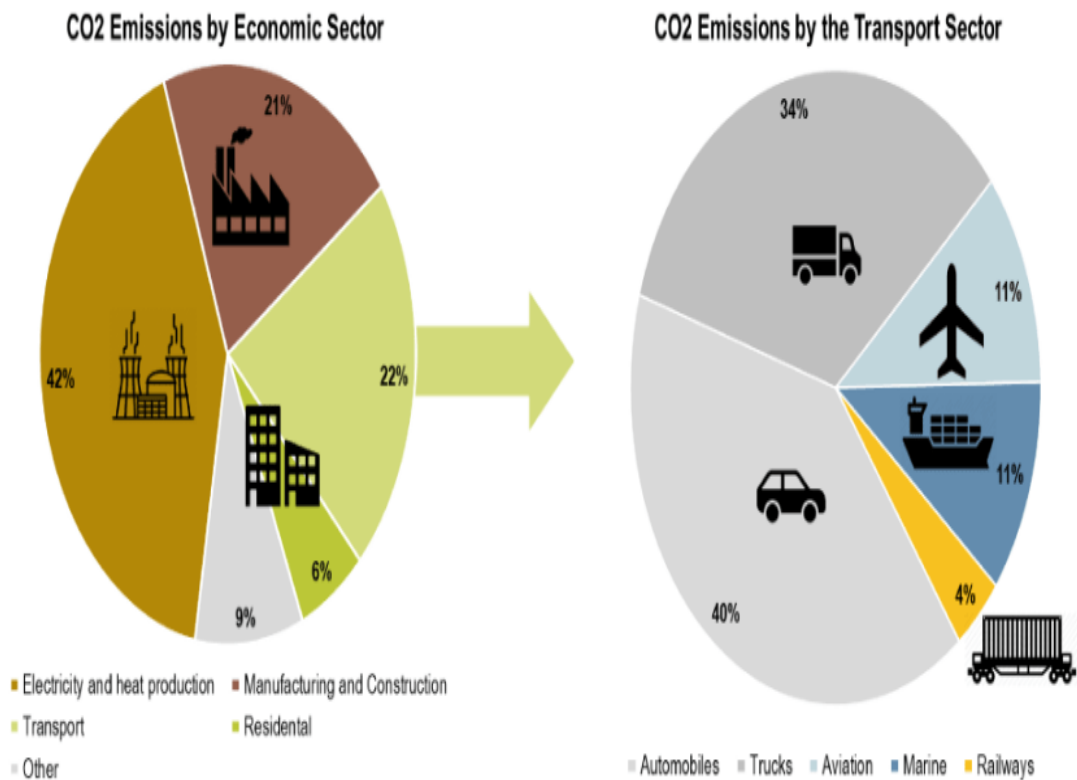
Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν τη βασικότερη πηγή ενέργειας σήμερα καθώς όλες οι μεγάλες βιομηχανίες και τα εργοστάσια, με πρώτα τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Οι μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται οδηγούν στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου.

Οι βιομηχανίες δεν αποτελούν το μοναδικό πρόβλημα, σημαντικό μέρος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα απελευθερώνονται από τα μέσα μαζικής μεταφοράς, τα λεωφορεία και τα τρένα καθώς χρησιμοποιείται εκτενώς το πετρέλαιο. Τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούμε για τις ιδιωτικές μας μετακινήσεις, η θέρμανση που

⁴⁴ Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Ατμοσφαιρική ρύπανση, πηγή: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>

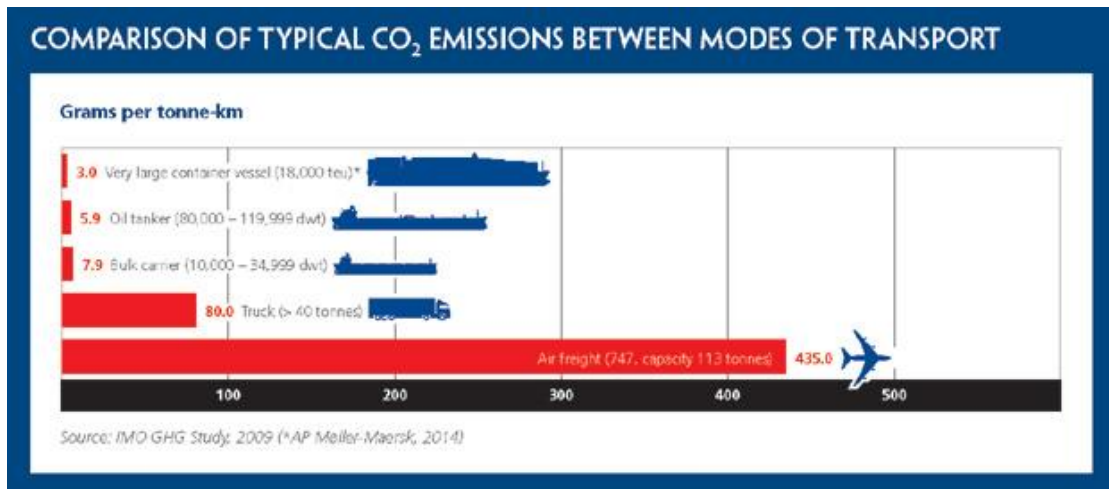
χρησιμοποιούμε στα σπίτια μας αποτελούν επίσης σημαντικό παράγοντα μόλυνσης επιφέροντας επιβάρυνση της ατμόσφαιρας,

Τέλος, εξίσου επιβαρυντικές για το περιβάλλον αποδεικνύονται οι επιχειρηματικές δραστηριότητες της αεροπορίας και της ναυτιλίας με ποσοστό 22% αθροιστικά, του συνόλου εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο τομέα της μεταφοράς, σύμφωνα με το γραφήματα της IEA (International Energy Association) που παρατίθεται παρακάτω (εικόνα 5) και του IMO (εικόνα 6):



Εικόνα 5: Η συνεισφορά του τομέα της οικονομίας(αριστερά) και του τομέα της μεταφοράς (δεξιά) στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Πηγή: International Energy Association. «*IEA and IPCC (2014) Summary for Policymakers*», Ανακτήθηκε (14/03/2021)



Εικόνα 6 :Σύγκριση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ μέσων μεταφοράς σύμφωνα με μελέτη του IMO.

πηγή : <https://www.imo.org/en> , Ανακτήθηκε (14/03/2021)

Στην αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμβάλει όμως και η ναυτιλία. Τα ναυτιλιακά καύσιμα είναι ένα μίγμα υδρογονανθράκων που κατά την καύση τους απελευθερώνουν σημαντικά πόσα ρυπογόνων ουσιών. Οι εκπομπές CO₂ του αργού πετρελαίου κυμαίνονται μεταξύ 2.940-3.212 γραμμάρια ανά γραμμάριο αργού πετρελαίου. Οι εκπομπές CO₂ για το μαζούτ είναι 3.314 γραμμάρια και 3.206 γραμμάρια CO₂ ανά γραμμάριο marine diesel σύμφωνα με μελέτη του IMO.

Τα καυσαέρια μια τυπικής μηχανής ενός πλοίου ,περιέχουν⁴⁵ : κυρίως άζωτο (N₂), υδρατμούς (H₂O), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)και οξυγόνο (O₂) ενώ σε μικρότερη κλίμακα οξείδια του θείου(SO_x), οξείδια του αζώτου(NO_x) ,μονοξείδιο του άνθρακα (CO) άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Mater-PM) Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι εξαιτίας της καύσης χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες : τους πρωτογενείς ρύπους και τους δευτερογενείς .

Πρωτογενείς ρύποι:

Το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ Αποτελεί υποπροϊόν όλων των καύσεων ορυκτών καυσίμων και από αποσύνθεση οργανικών ενώσεων. Υπό συνθήκες ατελής καύσης μπορεί να προκύψουν καυσαέρια όπως :σωματίδια άνθρακα (αιθάλη),CO₂,άκαυστοι υδρογονάνθρακες ,η μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες. Είναι ένα από τα αέρια που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι άχρωμο ,άγευστο και άοσμο υπό κανονικές συνθήκες.

Τα οξείδια του θείου (SO_x) οφείλονται στην υψηλή περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο. Ο άνθρακας και το πετρέλαιο περιέχουν συχνά ενώσεις του θείου η καύση τους δημιουργεί διοξείδιο του θείου. Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται παραπέρα

⁴⁵ IMO, «Reducing greenhouse gas emissions from ships», Πηγή: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

σε τριοξειδίο του θείου πράγμα που όταν γίνεται στην ατμόσφαιρα δημιουργεί την όξινη βροχή.

Τα οξειδία του αζώτου (NO_x), παράγωγο της υψηλής θερμοκρασίας του αζώτου, το οποίο παράγεται φυσικά από την ηλεκτρική εκκένωση κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Το διοξείδιο του αζώτου αποτελεί τοξικό αέριο και έχει έντονη μυρωδιά και κόκκινο-κίτρινο-καστανό χρώμα .

Το NO_x σχηματίζεται στις περισσότερες διεργασίες καύσης χρησιμοποιώντας τον αέρα ως οξειδωτικό και αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) .Η πιο σημαντική πηγή του είναι η ατελής καύση και γενικά των υδρογονανθράκων. Το CO παράγεται κυρίως από τις ΜΕΚ (μηχανές εσωτερικής καύσης) κατά ένα ποσοστό περίπου 90% ενώ άλλες πηγές εκπομπής αποτελούν τα ηφαίστεια ,οι πυρκαγιές στα δάση κυρίως τους θερινούς μήνες που έχουμε έξαρση. Τέλος ,το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο άγευστο και άοσμο αέριο και εξαιρετικά τοξικό για τον άνθρωπο και άλλους οργανισμούς.

Τα σωματίδια (Particulate Matter-PM) Τα μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται από 0.0002 μm έως 500μm.Η σκόνη και ο καπνός αποτελούν χαρακτηριστικά αιωρούμενα σωματίδια οι πηγές των οποίων μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες: φυσικές και ανθρωπογενείς .

Φυσικές πηγές σωματιδίων είναι τα σταγονίδια που περιέχουν διάφορα άλατα ή η σκόνη που δημιουργείται από έκρηξη ηφαίστειου, πυρκαγιές, από τη γύρη των φυτών.

Ανθρωπογενείς πηγές σωματιδίων είναι τα σωματίδια από καύσεις (π.χ. αιθάλη),ιδιαίτερα των ορυκτών καυσίμων, τις διεργασίες διαχείρισης υλικών (π.χ. βιομηχανίες) Τα σωματίδια αυτά είναι εξαιρετικά επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία καθώς ορισμένα μπορούν να προκαλέσουν χρόνιες παθήσεις ,άλλα είναι τοξικά ,ενώ άλλα είναι καρκινογόνα όπως ο αμίαντος. Στο περιβάλλον τώρα σοβαρές επιπτώσεις αποτελούν η αιθαλομίχλη που παρατηρείται στα μεγάλα αστικά κέντρα , η δημιουργία όξινων ποταμών και λιμνών και η καταστροφή ευαίσθητων δασικών οικοσυστημάτων.

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) Σε αυτό τον τύπο συναντάμε τις διάφορες κατηγορίες μεθανίου και πτητικών οργανικών ενώσεων πλην των “πτητικών οργανικών ενώσεων έκτος μεθανίου”.Οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούν σημαντικό ρύπο για την ατμόσφαιρα και το μεθάνιο είναι από τα αέρια τα οποία συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (UHC) Ένα ποσοστό εκπομπής των άκαυστων υδρογονανθράκων οφείλεται σε άκαυστο καύσιμο, για παράδειγμα στις μηχανές εσωτερικής καύσης οι κύριοι λόγοι για την εμφάνιση άκαυστων υδρογονανθράκων οφείλεται σε κακής ποιότητας καύση, απελευθέρωση καυσίμου από εσοχές από το εσωτερικό του κινητήρα π.χ. εμβολα και στην ψύξη της φλόγας στα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Δευτερογενείς ρύποι:

Τριοξείδιο του θείου (SO₃) Είναι ανόργανη χημική ένωση, αιωρούμενο στην ατμόσφαιρα και αποτελεί σημαντικό ρύπο. Η ανάμειξη του με το νερό προκαλεί την δημιουργία του θειικού οξέος (βιτριόλι), αφυδατώνει ακόμη και τα υλικά που περιέχουν υδρογόνο και οξυγόνο στην αναλογία του νερού και γ αυτό το λόγο προκαλεί σοβαρά εγκαύματα όταν εισπνέεται ή καταπίνεται. **Το θειικό οξύ (Sulfuric Acid)** είναι διαυγές, άοσμο, άχρωμο υγρό και είναι ισχυρότατο διαβρωτικό και καυστικό οξύ, όπως και οξειδωτικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις και υψηλές θερμοκρασίες.

Διοξείδιο του αζώτου (NO₂) Είναι ένα από τα οξείδια του αζώτου, έχει ένα πορτοκαλί χρώμα, είναι τοξικό αέριο, με χαρακτηριστική οσμή και αυτό είναι ένας σημαντικός ρύπος. Σύμφωνα με ενδείξεις η μακροχρόνια έκθεση σε NO₂ μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα και παθήσεις των πνευμόνων

2.3 Διεθνείς κανονισμοί για την εκπομπή ρύπων από την ναυτιλία-Ο ρόλος του IMO

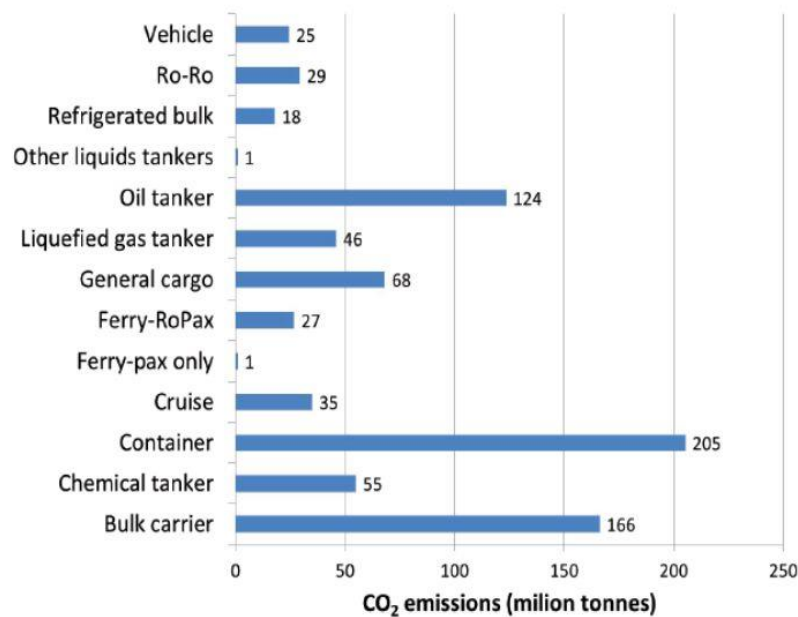
Το 90% σήμερα του παγκοσμίου εμπορίου διεξάγεται μέσω θαλάσσης και των πλοίων, κάνοντας αμέσως αντιληπτό την σημαντικότητα της ναυτιλίας στο εμπόριο και την οικονομία δίνοντας της όμως το βάρος της ευθύνης και την υποχρέωση που έχει απέναντι στον άνθρωπο και το περιβάλλον.⁴⁶ Η διεθνής νομοθεσία έχει θεσπίσει κανονισμούς και οδηγίες ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα πλοία παρέχουν ασφαλές ταξίδια για τους επιβάτες αλλά και το πλήρωμα τους όπως επίσης και κανονισμούς για την κατασκευή πλοίων λιγότερο ρυπογόνων για το περιβάλλον.

Η ρύπανση από τα εμπορικά πλοία αποτελεί μια από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης ενώ ο τρόπος αντιμετώπισης αρχίζει με την λήψη ορθών μέτρων αντιμετώπισης και την κατάρτιση σχεδίου για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Παρακάτω, παρατίθεται πίνακας με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανάλογα με τον κάθε τύπο πλοίου σύμφωνα με μελέτη IMO:

⁴⁶ International Chamber of Shipping, «Shipping and world trade: driving prosperity», πηγή: <https://www.ics-shipping.org/shipping-fact/shipping-and-world-trade-driving-prosperity/>

**3rd GHG Study findings:
GHG emissions per ship type for 2012**



Εικόνα 7 πηγή: <https://imo.org/>, Ανακτήθηκε (16/03/2021)

Ο IMO (Διεθνής οργανισμός ναυσιπλοΐας)

Ο IMO, ο διεθνής οργανισμός ναυσιπλοΐας είναι ένας πολυεθνικός διεθνής ναυτιλιακός διακυβερνητικός οργανισμός με έδρα το Λονδίνο ,που δημιουργήθηκε για να αναπτύξει διεθνής συνθήκες και άλλους μηχανισμούς για τη ναυτιλιακή ασφάλεια και για την μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης .Ο διεθνής ναυτιλιακός οργανισμός είναι εξειδικευμένος οργανισμός του ΟΗΕ και συνιστά την αρχή που καθορίζει τα παγκόσμια πρότυπα σχετικά με τη διεθνή ναυτιλία.⁴⁷

Σκοπός του IMO είναι η δημιουργία ενός δίκαιου και ενός πλαισίου πιο αποτελεσματικό σχετικά με τη ναυτιλιακή βιομηχανία που θα μπορεί να υιοθετείται και να τίθεται σε εφαρμογή, από όλες τις χώρες του κόσμου. Παρόλα αυτά , δεν υπάγεται στην δικαιοδοσία του οργανισμού να επιβάλει συμμόρφωση με τους κανονισμούς του ή κυρώσεις στα κράτη που δεν συμμορφώνονται.

Ο IMO, σε συμφωνία με τον ιστορικό περιορισμό ότι ο ρόλος του θα πρέπει να περιορίζεται σε συμβουλευτικό χαρακτήρα για κυρίως τεχνικά ζητήματα, ενώ, συχνά κράτη μέλη αποστέλλουν οδηγίες για τις δράσεις του ενώ σπάνια λαμβάνει δικές του πρωτοβουλίες.

Τα θέματα με τα οποία ασχολείται ο IMO είναι κυρίως η ναυτική ασφάλεια, η προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος, η ασφάλεια της ναυσιπλοΐας και η λήψη μέτρων απέναντι σε παράνομες ενέργειες στο θαλάσσιο περιβάλλον.

⁴⁷ IMO, «Διεθνείς κανονισμοί-ναυτιλιακή πολιτική και δίκαιο της θάλασσας», Γ Έκδοση, Α. Αλεξόπουλου, Ν. Φουρναράκη

Ο IMO ιδρύθηκε στη Γενεύη, το 1948, ως Διακυβερνητικός Ναυτιλιακός Συμβουλευτικός Οργανισμός (IMCO – Intergovernmental Maritime Consultative Organization) και μετονομάστηκε σε IMO το 1982. Η Σύμβαση του IMO τέθηκε σε ισχύ το 1958 και συνεδρίασε για πρώτη φορά την επόμενη χρονιά. Η Ελλάδα είναι μέλος του Οργανισμού από το έτος ίδρύσεως του. Ο IMO διευθύνεται από έναν γενικό γραμματέα, με τετραετή θητεία, αποτελείται από 174 μέλη και επιπλέον, 63 Διακυβερνητικοί Οργανισμοί έχουν συνάψει συμφωνίες συνεργασίας με τον IMO και μετέχουν στον Οργανισμό ως παρατηρητές, ενώ σε 80 ΜΚΟ έχει παραχωρηθεί ένα καθεστώς συμβουλευτικού χαρακτήρα⁴⁸.

Κάθε δύο χρόνια συγκαλείται μια γενική συνέλευση όπου το κάθε κράτος-μέλος αντιπροσωπεύεται και η οποία αποτελεί τη βασική πηγή άντλησης πολιτικών του οργανισμού σε αντίθεση με το Συμβούλιο που αποτελείται από 40 μέλη, συνεδριάζει δύο φορές το χρόνο και είναι αρμόδιο για την διακυβέρνηση της οργάνωσης μεταξύ των συνελεύσεων. Υπάρχουν 3 κατηγορίες μελών:

- 10 χώρες κράτη –μέλη συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την παροχή διεθνών θαλάσσιων μεταφορικών υπηρεσιών.
- 10 χώρες κράτη-μέλη συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την παροχή διεθνούς εμπορίου μέσω θαλάσσης.
- 20 χώρες κράτη –μέλη με ένα ειδικό ενδιαφέρον για τις θαλάσσιες μεταφορές, που επιλέγονται για να υπάρχει δίκαιη αντιπροσώπευση με βάση την γεωγραφική τους θέση. Η Επιτροπή Ναυτιλιακής Ασφάλειας, υποβάλλει προτάσεις ασφάλειας στην συνέλευση η οποία συνεδριάζει ετησίως.

Επίσης σημαντικά θέματα στην ατζέντα του IMO αποτελούν : το περιβάλλον, τα νομικά θέματα, την μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων, ραδιοεπικοινωνίες, πυροπροστασία, το σχέδιο σκαφών, συσκευές διάσωσης, τα φορτία και τα εμπορευματοκιβώτια τα οποία εξετάζονται από ειδικές επιτροπές και υποεπιτροπές για τα συγκεκριμένα ζητήματα.

Τέλος , πριν την επίσημη ίδρυση του **IMO (1958)** εξίσου σημαντικές διεθνείς συμβάσεις είχαν ήδη δημιουργηθεί, όπως η **SOLAS (Safety of life at sea-1974-1978)**, η **OILPOL (1954)** την οποία διαδέχτηκε η **MARPOL** αλλά και άλλες διεθνείς συμβάσεις για τις γραμμές φορτώσεως (**International convention on load lines- CLL**) και την πρόληψη των συγκρούσεων (**COLREG-1972**) στη θάλασσα, καθώς και άλλες σημαντικές διεθνείς συμβάσεις, όπως η σύμβαση για την ίδρυση του Διεθνούς Ναυτιλιακού Δορυφορικού Οργανισμού γνώστη ως **INMARSAT** η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1979,τη **BWM(Ballast Water Management-2004)**,τη σύμβαση για τη ναυτιλιακή έρευνα και διάσωση (**Search And Rescue-SAR**) η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1985,τη σύμβαση για τα πρότυπα πιστοποιητικών εκπαίδευσης και τηρήσεως φυλακών των ναυτικών γνώστη ως **STCW** η οποία τέθηκε σε ισχύς το 1984 και η Διεθνής σύμβαση για τα καύσιμα των πλοίων (**Bunkers convention-2001**) αλλά, και τους δυο υποχρεωτικούς κώδικες ,δηλαδή τον **ISM Code(1998)** και τον **ISPS Code(2002)**⁴⁹.

⁴⁸ Brief History of IMO, Πηγή: <https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>

⁴⁹ IMO, «Διεθνείς κανονισμοί-ναυτιλιακή πολιτική και δίκαιο της θάλασσας», Γ Έκδοση, Α. Αλεξόπουλου, Ν. Φουρναράκη

Ο ΙΜΟ, σαν πρωταρχικό στόχο είχε την εξέλιξη αυτών των συμβάσεων αλλά και τη δημιουργία νέων συμβάσεων όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο.

MEPC-(Επιτροπή προστασίας θαλάσσιου περιβάλλοντος)

Η επιτροπή προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος αντιμετωπίζει περιβαλλοντικά ζητήματα τα οποία υπάγονται στην αρμοδιότητα του ΙΜΟ. Αυτό περιλαμβάνει την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης από πλοία που καλύπτεται από την σύμβαση MARPOL73/78⁵⁰ συμπεριλαμβανομένων του πετρελαίου, χημικών ουσιών που μεταφέρονται σε χύμα μορφή, των λυμάτων, των απορριμμάτων και των εκπομπών ρύπων και καυσαερίων από τα πλοία. Επίσης περιλαμβάνει θέματα όπως, τη διαχείριση έρματος, συστήματα αντιρρυπαντικών, ανακύκλωσης, με την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση τη ρύπανσης αλλά και τον προσδιορισμό ειδικών περιοχών και ιδιαίτερα ευαίσθητων θαλάσσιων περιοχών. Η Επιτροπή Προστασίας Θαλασσιού Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection Committee – MEPC) του ΙΜΟ έχει την δυνατότητα να αναθεωρήσει κάποια από τις διατάξεις της MARPOL οι οποίες είτε απαιτούν διευκρίνιση είτε παρουσιάζουν δυσκολίες στην εφαρμογή τους

Ο ΙΜΟ στην τελευταία συνδιάσκεψη για την (MEPC-75session) που έγινε την 20^η Νοεμβρίου του 2020 ενέκρινε τροπολογίες στο παράρτημα 6 της MARPOL για να ενισχύσει σημαντικά της απατήσεις του δείκτη ενεργειακής απόδοσης (EEDI-Energy Efficiency Design Index-phase 3)⁵¹ με αναμενόμενη έναρξη ισχύος την 1^η Απριλίου 2022. Η τροπολογία αυτή αναμένεται να τεθεί σε ισχύ νωρίτερα από τον αρχικό στόχο του 2025 και αφορά διαφόρους τύπους πλοίων όπως μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου-LNG, των φορτηγών πλοίων μεταφοράς γενικού φορτίου (general cargo) και όλων των υγραεριοφόρων πλοίων (gas carriers) με απώτερο σκοπό τα πλοία που θα κατασκευαστούν θα πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα σε σημαντικό βαθμό, από την ισχύουσα διάταξη.

MARPOL 73/78

Η MARPOL (Marine Pollution), Είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που αφορά την πρόληψη της ρύπανσης από εμπορικά πλοία, πρόληψη της ρύπανσης του θαλασσιού περιβάλλοντος λόγω της λειτουργίας των πλοίων ή ναυτικών ατυχημάτων.

Αποτελεί δημιούργημα του ΙΜΟ και ψηφίστηκε το 1973 μετά από την διεθνής συνδιάσκεψη στις από τις 8 μέχρι τις 12 Νοέμβριου του 1973. Πριν τεθεί σε ισχύ η διεθνής σύμβαση υπερψηφίστηκε το πρωτόκολλο της διεθνούς σύμβασης κατά τη διάρκεια της συνδιάσκεψης με θέμα την ασφάλεια των δεξαμενόπλοιων που συγκλήθηκε ως συνέπεια των καταστροφικών ναυάγιων εκείνης της περιόδου, με σημαντικότερο εκείνο του δεξαμενόπλοιου Torrey Canyon στα στενά της Μάγχης τον Μάρτιο του 1967 με συνολική απόρριψη πετρελαίου που ξεπέρασαν τους 119.000 τόνους αργού πετρελαίου. Δεδομένου ότι η σύμβαση MARPOL του 1973 δεν είχε ακόμη τεθεί σε ισχύ, το πρωτόκολλο του 1978 απορρόφησε τη μητρική

⁵⁰ ΙΜΟ, «MEPC», Πηγή: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-default.aspx>

⁵¹ ΙΜΟ, «Energy Efficiency Measures», Πηγή: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>

σύμβαση και τα δυο κείμενα συνδυαστήκαν σε ενιαία διεθνή σύμβαση ,η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 2 Οκτωβρίου 1983 με το όνομα MARPOL 73/78.

Η Διεθνής σύμβαση MARPOL 73/78 καθορίζει με ποιον τρόπο θα μπορεί να ασκείται η διαχείριση στα πλοία ορισμένων ρυπογόνων υλικών καθώς και τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες επιτρέπεται η απόρριψη στη θάλασσα ορισμένων από αυτά και εφαρμόζεται σε πλοία τα οποία φέρουν την σημαία ενός μέλους της σύμβασης αλλά και σε αυτά που δεν φέρουν αλλά λειτουργούν υπό τη δικαιοδοσία ενός μέλους. Η σύμβαση της MARPOL δεν εφαρμόζεται από πολεμικά πλοία ή βοηθητικά πλοία ή άλλα σκάφη που χρησιμοποιούνται για κυβερνητική μη εμπορική υπηρεσία, Τέλος όλα τα μέλη της σύμβασης οφείλουν να εφαρμόζουν τη διάταξη για την πρόληψη της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο σύμφωνα με τις διατάξεις του παραρτήματος I.⁵²

Στην παρούσα μορφή της η σύμβαση αποτελείται από έξι παραρτήματα (Annexes) το καθένα από τα οποία αφορά ρύπανση από συγκεκριμένους παράγοντες και υλικά ⁵³:

- **Παράρτημα I:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο. Τέθηκε σε ισχύ: 2 Οκτωβρίου 1983. Ειδικές περιοχές: Μεσόγειος θάλασσα ,Βαλτική θάλασσα, Μαύρη θάλασσα, Ερυθρά θάλασσα, Κόλπος του Άντεν, Κόλπος του Ομάν της Αραβικής θάλασσας, Περιοχές των κόλπων, Περσικός κόλπος, Ανταρκτική, Τα Βορειοδυτικά Ευρωπαϊκά ύδατα, Τα Νότια ύδατα της Νοτίου Αφρικής ,
- **Παράρτημα II:** Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από υγρές επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται χύδην. Τέθηκε σε ισχύ: 6 Απριλίου 1987. Ειδικές περιοχές: Ανταρκτική (Η ευρύτερη περιοχή γεωγραφικού πλάτους 60° Νότιο).
- **Παράρτημα III:** Κανονισμοί για τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται σε συσκευασίες. Τέθηκε σε ισχύ: 1 Ιουλίου 1992 . Ειδικές περιοχές: Δεν έχει
- **Παράρτημα IV:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από λύματα πλοίων. Τέθηκε σε ισχύ:27 Σεπτεμβρίου 2003. Ειδικές περιοχές: Βαλτική θάλασσα.
- **Παράρτημα V:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης από απορρίμματα πλοίων. Τέθηκε σε ισχύ: 31 Δεκεμβρίου 1988. Ειδικές περιοχές: Μεσόγειος θάλασσα, Βαλτική θάλασσα, Μαύρη θάλασσα, Ερυθρά θάλασσα, Βόρεια θάλασσα, Περιοχές των κόλπων, Περσικός κόλπος, Κόλπος του Ομάν, Ανταρκτική ,η ευρύτερη περιοχή της καραϊβικής συμπεριλαμβανομένου και του κόλπου του Μεξικό.
- **Παράρτημα VI:** Κανονισμοί για την πρόληψη της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από πλοία . Τέθηκε σε ισχύ: 19 Μαΐου 2005. Ειδικές περιοχές:

⁵² Η διεθνής Σύμβαση MARPOL(σύντομη εισαγωγή), «Διεθνείς κανονισμοί-ναυτιλιακή πολιτική και δίκαιο της θάλασσας», Γ Έκδοση, Α. Αλεξόπουλου, Ν. Φουρναράκη

⁵³Πηγή:ΙΜΟ, «MARPOL-25 years», Οκτώβριος 1988

Βαλτική θάλασσα, Βόρεια θάλασσα, Οι ακτές της Βόρειας Αμερικής, Καραϊβική⁵⁴

MARPOL -Annex VI

Το έκτο παράρτημα της **MARPOL** υιοθετήθηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ τον Μάρτιο του 2005 και οριοθετούνται οι εκπομπές οξειδίων του **Αζώτου (NOx)** και του **Θείου (SOx)** στα καυσαέρια που εκπέμπονται από τις πρωοστήριες μηχανές και λέβητες των πλοίων και απαγορεύει τις εσκεμμένες εκπομπές ουσιών μείωσης του όζοντος.

Το παράρτημα ορίζει ειδικές περιοχές έλεγχου των εκπομπών θείου και την αναλογία οξειδίου του θείου στα καύσιμα των πλοίων. Οι έλεγχοι εκπομπών SOx και NOx ισχύουν για όλα τα μαζούτ, όπως ορίζονται στον κανονισμό 2.9, τον εξοπλισμό καύσης και όλες τις συσκευές που βρίσκονται επί του πλοίου. Αυτοί οι έλεγχοι διαχωρίζονται μεταξύ εκείνων που ισχύουν εντός των περιοχών έλεγχου εκπομπών (ECA), που έχουν καθοριστεί για τον περιορισμό των εκπομπών SOx και σωματιδίων, και αυτών που ισχύουν εκτός αυτών των περιοχών. Αυτοί οι έλεγχοι επιτυγχάνονται πρωτίστως με τον περιορισμό της μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων εκείνων που χρησιμοποιούνται εν πλω και εκείνων που φορτώνονται σαν φορτίο για μεταφορά. Αυτά τα όρια του θείου στο μαζούτ εκφράζονται σε ποσοστό επί τις εκατό κατά μάζα (% m/m), και υπόκεινται σε μια σειρά σταδιακών αλλαγών με την πάροδο των ετών (κανονισμοί 14.1-14.4)⁵⁵.

Πλοία τα οποία συμμορφώνονται με τους κανονισμούς του Annex VI, λαμβάνουν το πιστοποιητικό **IAPPC (International Air Pollution Prevention Certificate)** με ισχύς 5 χρόνια.⁵⁶

Η τελευταία τροπολογία έγινε την 1^η Ιανουαρίου του 2020 που εγκρίθηκε με το ψήφισμα **MEPC .320 (74)** και τέθηκε σε ισχύ το όριο της περιεκτικότητας του θείου στο μαζούτ που χρησιμοποιείται στα πλοία σηματοδοτώντας ένα σημαντικό ορόσημο για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Ο κανονισμός περιορίζει το θείο στο μαζούτ σε πλοία που λειτουργούν εκτός καθορισμένων περιοχών έλεγχου εκπομπών σε 0.50% m/m (mass by mass- μάζα κατά μάζα) σε σχέση με το προηγούμενο όριο το οποίο ήταν 3,50% το 2012. Σε συγκεκριμένες καθορισμένες περιοχές έλεγχου (**ECA**), τα όρια ήταν ήδη αυστηρότερα (0.10%). Αυτό το νέο όριο κατέστη υποχρεωτικό μετά από τροποποίηση του παραρτήματος VI της MARPOL.

⁵⁴ Πηγή: IMO, «*Emission Control Areas*»

⁵⁵ IMO, «*Sulphur oxides (SO_x) and Particulate Matter (PM)-Regulation 14*», Πηγή: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx)

⁵⁶ Πηγή: IMO, «*MEPC.1/Circ.849*», 17 November 2014

2.4 Κανονισμοί του παραρτήματος VI της MARPOL

Το παράρτημα VI της MARPOL έχει απαιτήσεις στα ακόλουθα κύρια θέματα:

Κανονισμός 12: Εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον (Ozone Depleting substances- ODS)

Οι Χλωροφθοράνθρακες (CFC) και τα halons(ψυκτικά μέσα) που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα σε παλαιότερα συστήματα ψύξης, πυρόσβεσης και φορητού εξοπλισμού, περιλαμβάνονται στις οδηγίες του ODS. Το ODS χρησιμοποιήθηκε επίσης ως διογκωτικός παράγοντας σε αφρούς μόνωσης. Οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) εισήχθησαν ως ενδιάμεσο υποκατάστατο των CFC, αλλά οι ίδιοι εξακολουθούν να ταξινομούνται ως ODS. Ως μέρος μιας παγκόσμιας κίνησης, η παράγωγη και η χρήση όλων αυτών των υλικών καταργείται σταδιακά σύμφωνα με τις διατάξεις του πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ. Αντίστοιχα, τα ψυκτικά μέσα (halons) που χρησιμοποιούνται σε παλαιότερα συστήματα ψύξης, πυρόσβεσης και φορητό εξοπλισμό, καταργούνται σταδιακά και αυτά.

Στα πλοία, που κατασκευάστηκαν στις ή μετά την 19^η Μαΐου του 2005 το παράρτημα VI απαγορεύει οποιαδήποτε ουσία που καταστρέφει το όζον και ο εξοπλισμός του πλοίου που τυχόν περιέχει τέτοιες ουσίες πρέπει να παραδίδεται σε ειδικές εγκαταστάσεις στην στεριά. Ομοίως, δεν επιτρέπει καμιά νέα εγκατάσταση εξοπλισμού που περιέχει **HCFC** σε πλοία από και μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2020

Επιπλέον για πλοία με συστήματα ή εξοπλισμό που περιέχουν ODS απαιτείται να διαθέτουν πιστοποιητικό IAPP, και πρέπει να διατηρείται βιβλίο εγράφης ουσιών ODS, επάνω στο πλοίο.⁵⁷

Μετά το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ του 1987 η εγκατάσταση πυροσβεστήρων τύπου Halon απαγορεύτηκαν, το ίδιο υιοθέτησε και ο IMO το από το 1994, όμως για ένα καιρό επιτρεπόταν η αναγόμωση των συγκεκριμένων πυροσβεστήρων μέχρι να έρθει η Ευρωπαϊκή κοινότητα (EC) στις 31 Δεκεμβρίου του 2002 να το απαγορεύσει. (E.C Regulation No 2037/2000).⁵⁸

Κανονισμός 13: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) από κινητήρες Ντίζελ.

Κανονισμός 14: Εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) από τα πλοία.

Οι δυο κανονισμοί αυτοί αναλύονται εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο .

Κανονισμός 15: Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από τις δεξαμενές πετρελαίου των τάνκερ.

⁵⁷ Πηγή: IMO, «Ozone-Depleting substances (ODS)-Regulation 12»

⁵⁸ IMO,FP.1/Circ.37, 5 January 2009, « Halon banking and reception facilities», Πηγή:
http://www.fm200systems.info/marinefireprotection/imo_fp.1_circ.37_5_january_2009.pdf

Volatile organic compounds (VOC)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις, ⁵⁹Ο IMO έχει θεσπίσει τον **κανονισμό 15**, ο οποίος αφορά μονό τα δεξαμενόπλοια και κάποια πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου με προϋπόθεση τα συστήματα φόρτωσης να επιτρέπουν την ασφαλή συγκράτηση των VOC έκτος Μεθανίου επάνω στο πλοίο ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά. Υπάρχουν δυο πτυχές του κανονισμού, στην πρώτη πτυχή (**κανονισμοί 15.1-15.5 και 15.7**), ο έλεγχος των VOC που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα επιτυγχάνεται σε ορισμένα λιμάνια με την απαίτηση χρήσης συστήματος ελέγχου εκπομπών ατμών (**Vapour Emission Control System-VECS**).

Όπου απαιτείται, τόσο το πλοίο, όσο και το λιμάνι πρέπει να είναι σύμφωνοι με τα πρότυπα **MSC/Circ.585** (Πρότυπα για συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών) Τα δεξαμενόπλοια, που δεν είναι εξοπλισμένα με αυτό το σύστημα σε ορισμένα λιμάνια θα μπορούν να γίνονται δεκτά μέχρι τα τρία χρόνια από την εφαρμογή του κανονισμού.

Στην δεύτερη πτυχή του κανονισμού (**κανονισμός 15.6**), απαιτεί από όλα τα δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν αργό πετρέλαιο να έχουν εγκεκριμένο και αποτελεσματικό για τον τύπο του πλοίου, σχέδιο διαχείρισης **VOC**, που να καλύπτει τα σημεία που ορίζει ο κανονισμός. Οι κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την ανάπτυξη αυτών των σχεδίων αναλύονται στο ψήφισμα **MEPC.185(59)** ενώ οι τεχνικές λεπτομέρειες για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων παρέχονται από την εγκύκλιο **MEPC.1/Circ.680**.

Κανονισμός 16: Εκπομπές των αποτεφρωτηρών επί των πλοίων.

Οι απαιτήσεις για τους αποτεφρωτήρες (incinerators)⁶⁰ των πλοίων χωρίζονται σε δυο τμήματα: οι κανονισμοί 16.1-16.4 καλύπτουν εν γένει την αποτέφρωση επί του σκάφους και ως εκ τούτου, είναι εφαρμοστέοι σε όλα τα πλοία. Οι κανονισμοί 16.6-16.9 αφορούν αποκλειστικά τους αποτεφρωτήρες που έχουν εγκατασταθεί σε πλοία που κατασκευάστηκαν την 1^η Ιανουαρίου 2000 ή μετά, ή σε μονάδες που έχουν εγκατασταθεί σε υπάρχοντα πλοία την ή μετά την ημερομηνία αυτή.

Σύμφωνα με τον κανονισμό 16.1, η αποτέφρωση πραγματοποιείται μόνο σε εξοπλισμό που έχει σχεδιαστεί για τον σκοπό αυτό, ενώ ο κανονισμός 16.2 απαγορεύει την αποτέφρωση ορισμένων αναφερόμενων υλικών και ως εκ τούτου, μπορεί να θεωρηθεί συμπληρωματικός με τις απαιτήσεις του παραρτήματος V της MARPOL όσον αφορά την επεξεργασία απορριμμάτων πλοίων.

Η αποτέφρωση από τα πλοία του πολυβινυλοχλωριδίου (PVC-πολυμερές συνθετικό πλαστικό) απαγορεύεται από τον κανονισμό 16.3 επί του πλοίου, εκτός και αν η καύση πραγματοποιείται σε αποτεφρωτήρα που διαθέτει πιστοποιητικό έγκρισης τύπου IMO σύμφωνα με τα MEPC.59(33).MEPC.76(40) ή MPEC.244(66).

Κανονισμός 16.4 αναγνωρίζει ότι, με την αποτέφρωση παράγεται λυμματική λάσπη,

⁵⁹Πηγή: IMO, «Volatile organic compounds(VOC)-Regulation 15»

⁶⁰Πηγή: IMO, « Shipboard incineration-Regulation 16»

και πετρελαϊκή λάσπη θα μπορούσε εναλλακτικά να πραγματοποιηθεί σε λέβητες ή βοηθητικούς σταθμούς παραγωγής ισχύος, δεν πρέπει να πραγματοποιούνται εντός λυμένων ή στις εκβολές ποταμών.

Ο κανονισμός 16.6 απαιτεί γενικά ότι οι αποτεφρωτήρες που είναι εγκατεστημένοι στα πλοία που κατασκευάστηκαν την ή μετά την 1^η Ιανουαρίου 2000 ή μονάδες που είναι εγκατεστημένες σε υπάρχοντα πλοία την ή μετά την ημερομηνία αυτή πρέπει να είναι εγκεκριμένου τύπου σύμφωνα με την απόφαση MEPC.76(40)- όπως τροποποιήθηκε με την απόφαση MEPC.93(45) ή MEPC.244(66)-(Τυπικές προδιαγραφές για αποτεφρωτήρες).

Για αυτούς τους αποτεφρωτήρες πρέπει να διατηρούνται τα εγχειρίδια λειτουργίας 16.7, και να παρέχεται εκπαίδευση σχετικά με τη σωστή λειτουργία τους (κανονισμός 16.8). Ο κανονισμός 16.9 απαιτεί η λειτουργία του να είναι τέτοια, ώστε οι δηλωμένες θερμοκρασίες να επιτυγχάνονται, προκειμένου να διασφαλιστεί η πλήρης αποτέφρωση⁶¹.

Κανονισμός 18: Ποιότητα καυσίμου.

Σε γενικές γραμμές αυτός ο κανονισμός⁶², δεν απευθύνεται σε πλοία, αλλά σε προμηθευτές καυσίμων και στον έλεγχο τους από τις αρμόδιες αρχές μαζί με άλλες ρυθμιστικές πτυχές. Συγκεκριμένα οι απαιτήσεις των κανονισμών 18.1, 18.2, 18.4, 18.5, 18.8.2, 18.9 και 18.10 μαζί με τις πτυχές των κανονισμών 18.8.1, θα πρέπει να θεωρηθούν ως υποστηρικτικές του κανονισμού 14 όσον αφορά εκείνες τις πτυχές που είναι εκτός έλεγχου ο ιδιοκτήτης του πλοίου.

Οι κανονισμοί 18.6 και 18.8.1 έχουν συγκεκριμένο σχέδιο δράσης σχετικά με το πλοίο (για εκείνες που απαιτείται να διαθέτουν πιστοποιητικά IAPP), όσον αφορά τη φύλαξη και διατήρηση επί του πλοίου εγγράφων σχετικά με την παράδοση καυσίμων υπό τον έλεγχο του πλοίου, για τριών ετών από την ημερομηνία παράδοσης των καυσίμων, καθώς και την διατήρηση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων μαζούτ, έως ότου καταναλωθεί το καύσιμο, αλλά όχι λιγότερο από ένα έτος. Όσον αφορά την διατήρηση των εγγράφων παράδοσης καυσίμου, υπάρχει μια επιφύλαξη τυχόν χαλάρωσης που επέρχεται από την αίτηση του κανονισμού 18.11 (Τα έγγραφα να μην χρειάζεται να είναι απαραίτητα επί του πλοίου, αλλά να είναι εύκολη η πρόσβαση σε αυτά, εάν αυτό απαιτείται από τις αρμόδιες αρχές). Αυτές οι απαιτήσεις ισχύουν για όλα τα πλοία, ανεξαρτήτως με το εάν συμμορφώνονται με τον κανονισμό 14.

Οι κατευθυντήριες γραμμές, για την δειγματοληψία του μαζούτ, για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης με το παράρτημα VI της MARPOL έχουν ενημερωθεί έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη το αναθεωρημένο παράρτημα VI, (ψήφισμα MEPC.182(59))⁶³. Οι παράγραφοι 8 και 9 αυτών των κατευθυντήριων γραμμών, αναφέρονται σε συγκεκριμένες ενέργειες που πρέπει να αναλάβει το πλοίο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τοπική νομοθεσία που καλύπτει τον έλεγχο των προμηθευτών μαζούτ, σε σχέση με ζητήματα που σχετίζονται με το παράρτημα VI ενδέχεται να μην ακολουθεί άμεσα όλες τις πτυχές που δίνονται, όπως η τοποθεσία δειγματοληψίας

⁶¹ Πηγή: IMO, «Shipboard incineration-Regulation 16»

⁶² Πηγή: IMO, «Fuel oil availability and quality-Regulation 18»

⁶³ RESOLUTION MEPC.182(59), «2009 Guidelines for the sampling of fuel oil for determination of compliance with the revised MARPOL ANNEX VI»

καυσίμου δεδομένου ότι είναι μόνο συνιστώσες στην ρυθμιστική αρχή. Στην περίπτωση της τοποθεσίας της δειγματοληψίας, η αρμόδια αρχή μπορεί να έχει αποδεχτεί άλλες ισοδύναμες ρυθμίσεις οι οποίες ελέγχονται δεόντως όπως απαιτείται.

Ωστόσο, είναι απαραίτητο επιτήρηση από μεριάς πλοίου, να εφαρμόζεται τόσο στο δελτίο παράδοσης καυσίμων όσο και στο αντιπροσωπευτικό δείγμα μαζούτ. Σύμφωνα με την αναθεώρηση του παραρτήματος VI (MEPC.181(59) Παράγραφοι 2.1.1.12 και 2.1.5) όπου, το δελτίο παράδοσης δεν περιέχει τις πληροφορίες που απαιτούνται ή τα δείγματα δεν έχουν επισημανθεί, σημειωθεί ή σφραγιστεί σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες, θα πρέπει να ενημερώνεται η αρχή της σημαίας του πλοίου, να κρατούνται αντίγραφα των λιμενικών άρχων του κράτους που έγινε η πετρέλευση και του προμηθευτή και να διατηρούνται επί του πλοίου μαζί με οποιαδήποτε άλλη απόδειξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεκμηρίωση.

Από αυτήν την άποψη, πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι υπάρχουν λιμάνια χωρών όπου πραγματοποιούνται πετρελεύσεις όπου δεν είναι συμβαλλόμενα με το παράρτημα VI και επομένως εκτός από εμπορικούς λόγους δεν υπάρχει άμεση απαίτηση για συμμόρφωση με τις διάφορες απαιτήσεις του κανονισμού 18, ως εκ τούτου είναι συνηθισμένο για τους πλοιοκτήτες όταν παραγγέλνουν καύσιμα, να εισάγουν ρήτρες με τις οποίες οι διαδικασίες πετρέλευσης είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις του παραρτήματος VI και με καθορισμένη μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο, κατάλληλη για την μελλοντική περιοχή λειτουργίας.

Η άλλη πτυχή που μπορεί να επηρεάσει τους πλοιοκτήτες είναι η ρήτρα διαθεσιμότητας καυσίμου. Ο κανονισμός 18.2 προβλέπει την κατάσταση όπου δεν υπάρχει τοπική διαθεσιμότητα του απαιτούμενου μαζούτ, δηλαδή ότι ο πλοιοκτήτης είναι υποχρεωμένος να καταβάλει κάθε δυνατή προσπάθεια για να αποκτηθεί το απαιτούμενο καύσιμο και ότι πρέπει να λάβει υπόψη καθώς και να συμπεριληφθεί στο ναυλοσύμφωνο, στην περίπτωση που το πλοίο δεν θα χρησιμοποιήσει το απαιτούμενο μαζούτ.

Οι κανονισμοί 18.9, 18.1, 18.3 18.4, 18.5 αναφέρονται σε πρώτο βαθμό στον τοπικό έλεγχο των προμηθευτών μαζούτ, ενώ οι κανονισμοί 18.7 ,18.8.2 και 18.10 αναφέρονται στην εφαρμογή των ελέγχων του κράτους του λιμένα (Port state Control).

IMO-2020

Την 1^η Ιανουαρίου του 2020, τεθηκε σε ισχύ ένα νέο όριο περιεκτικότητας σε θείο στο μαζούτ που χρησιμοποιείται στα πλοία, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό ορόσημο για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, τη διατήρηση του περιβάλλοντος και την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Γνωστός ως IMO 2020⁶⁴, ο κανονισμός περιορίζει το θείο στο μαζούτ που χρησιμοποιείται σε πλοία που λειτουργούν εκτός καθορισμένων περιοχών ελέγχου εκπομπών σε 0.50% m/m (μάζα κατά μάζα), η οποία αποτελεί σημαντική μείωση από το προηγούμενο όριο του 3.5%. Εντός συγκεκριμένων καθορισμένων περιοχών

⁶⁴ Πηγή: IMO, «IMO 2020-Cutting sulphur oxide emissions»

ελέγχου εκπομπών, τα όρια ήταν ήδη αυστηρότερα (0.10%). Αυτό το νέο όριο κατέστη υποχρεωτικό μετά από τροποποίηση του παραρτήματος VI της διεθνούς σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης στα πλοία (MARPOL).

Πριν από την έναρξη ισχύος του νέου ορίου, τα περισσότερα πλοία χρησιμοποιούσαν βαρύ μαζούτ, καύσιμο το οποίο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, το οποίο με την σειρά του μετά από καύση κατέληγε στην ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με τον νέο κανονισμό, τα πλοία που κινούνται τόσο όντος αλλά και έκτος των ειδικών περιοχών (**ECA**), πρέπει να χρησιμοποιούν ειδικά καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο για να συμμορφώνονται με τα αντίστοιχα όρια. Επομένως, απαγορεύει την χρήση άλλου καυσίμου εκτός του προβλεπόμενου και υπάρχουν συγκεκριμένες διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν κατά την αλλαγή του πετρελαίου από **HFO** σε **Low Sulfur** και εγγραφές που πρέπει να γίνουν στο ημερολόγιο πετρελαίου του πλοίου. **(κανονισμός 14.6)⁶⁵**.

Ένα από τα στοιχειά ελέγχου είναι η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο. Η τιμή του θείου πρέπει να καταγράφεται από τον προμηθευτή κατά την στιγμή της παράδοσης, σύμφωνα με τον **κανονισμό 18**. Είναι ευθύνη του πλοίου να διασφαλίζει ότι το κατάλληλο καύσιμο χρησιμοποιείται εντός και έκτος **SECA**. Επιτρέπεται το **βαρύ μαζούτ (HFO)** με την προϋπόθεση ότι πληροί το ισχύον όριο θείου.

Σύμφωνα με τις οδηγίες του IMO, για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος που έχει τεθεί, είναι απαραίτητο τα πλοία ή να χρησιμοποιούν καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο **-LHSFO** (άμεση σχέση περιεκτικότητας θείου με τα οξείδια που παράγονται με την καύση) ή να εξοπλιστούν με ειδικές κατασκευές περιορισμού των εκπομπών, τα **Scrubbers** οι οποίες θα τοποθετούνται στις εξατμίσεις των πλοίων και θα λειτουργούν σαν φίλτρα, ώστε η ποσότητα οξειδίων του θείου που εκπέμπεται από τους κινητήρες και λέβητες των πλοίων στην ατμόσφαιρα να απομακρύνεται ώστε να συμβαδίζει με τους ισχύοντες κανονισμούς και τέλος να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά καύσιμα όπως το **LNG-Liquefied Natural Gas** (υγροποιημένο φυσικό αέριο), η **μεθανόλη (Methanol)**, η **αιθανόλη (Ethanol)** και τα **βιοκαύσιμα (biofuel)**.

Greenhouse Gas Emissions (GHG) - Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Το 2012, η διεθνής ναυτιλία εκτιμάται ότι συνέβαλε περίπου 2,2% στις παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Αν και η διεθνής ναυτιλία είναι ο πιο ενεργειακά αποδοτικός τρόπος μεταφοράς μαζικών μεταφορών και μόνο ένας μέτριος συντελεστής στις συνολικές εκπομπές CO₂, απαιτείται μια παγκόσμια προσέγγιση για την περεταίρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και του αποτελεσματικού ελέγχου των εκπομπών, καθώς οι θαλάσσιες μεταφορές θα συνεχίσουν να αυξάνονται ταχύτατα⁶⁶.

Οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI της MARPOL το 2011 εισήγαγαν υποχρεωτικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ο IMO

⁶⁵ Πηγή: IMO, «Sulphur oxides (SO_x) and Particulate matter (PM)-Regulation 14»

⁶⁶ Πηγή: IMO, «Reducing greenhouse gas emissions from ships»

έχει υιοθετήσει υποχρεωτικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία, σύμφωνα με τη συνθήκη πρόληψης της ρύπανσης του IMO (MARPOL)-τον υποχρεωτικό δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Design Index-EEDI)⁶⁷ για νέα πλοία και το σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης πλοίου (Ship Energy Efficiency Management Plan-SEEMP).

2.5 Οξείδια του αζώτου – Οξείδια του θείου

οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου ορίζονται ως το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) που εμφανίζονται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το άζωτο αποτελεί το 78% περίπου του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά την καύση σχηματίζονται οξείδια. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα των σχηματιζόμενων οξειδίων του αζώτου.

Οι εκπομπές NO_x από κινητήρες ντίζελ ελέγχονται μέσω συγκεκριμένων απαιτήσεων στο πλαίσιο του προγράμματος πιστοποιητικού (**Engine International Air Pollution Prevention-EIAPP**)⁶⁸, καθώς και συμμορφώσεις με τις απαιτήσεις εν χρήσει σύμφωνα με τους κανονισμούς 13.8 και 5.3.2 του τεχνικού κώδικα NO_x 2008 (ανάλυση MEPC.177(58)).

Κανονισμός 13: Εκπομπες οξειδίων του αζώτου (NO_x) από κινητήρες Ντίζελ

Ο κανονισμός 13 εφαρμόζεται σε:

- Κάθε κινητήρας με ισχύ μεγαλύτερη από 130KW, ο οποίος εγκαταστάθηκε σε πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε από την 1^η Ιανουαρίου 2000 και έπειτα.
- Κάθε κινητήρα Ντίζελ με ισχύ μεγαλύτερη από 130KW, που υπέστη σοβαρή μετατροπή από την 1^η Ιανουαρίου 2000 και έπειτα.
- Κάθε κινητήρα Ντίζελ με ισχύ μεγαλύτερη από 5000KW και όγκο κυλίνδρων 90 λίτρων και παραπάνω, ο οποίος εγκαταστάθηκε σε πλοίο που κατασκευάστηκε από την 1^η Ιανουαρίου 1990 και έπειτα, αλλά πριν από την 1^η Ιανουαρίου 2000.

Ο κανονισμός 13 δεν εφαρμόζεται σε :

- Σε κινητήρες Ντίζελ έκτακτης ανάγκης, κινητήρες εγκατεστημένους σε σωσίβιους λέμβους ή για οποιοδήποτε εξοπλισμό προορίζεται να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά σε περίπτωση ανάγκης.

Με τον όρο σοβαρή μετατροπή σημαίνει την μετατροπή ενός κινητήρα όπου:

⁶⁷ Πηγή: IMO, «Energy efficiency measures»

⁶⁸ Πηγή: IMO, «Nitrogen oxides (NO_x)-Regulation 13»

- Η αντικατάσταση κινητήρα με έναν καινούργιο κινητήρα ο οποίος αντικαταστάθηκε από την 1^η Ιανουαρίου και έπειτα ή
- Σε οποιαδήποτε ουσιαστική τροποποίηση υπέστη ο κινητήρας όπως περιγράφεται στον τεχνικό κώδικα NOx 1.3.2

οξειδία του θείου (SO_x)

Κανονισμός 14: Οι έλεγχοι εκπομπών **SO_x** και σωματιδίων ισχύουν για όλα τα μαζούτ, όπως ορίζονται στον κανονισμό 2.9, τον εξοπλισμό καύσης και τις συσκευές επί του σκάφους και συνεπώς περιλαμβάνουν τόσο τους κύριους όσο και όλους τους βοηθητικούς κινητήρες μαζί με είδη όπως λέβητες και γεννήτριες αδρανούς αερίου.

Αυτοί οι έλεγχοι χωρίζονται μεταξύ εκείνων που ισχύουν εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών (ECA) που έχουν καθοριστεί για τον περιορισμό των εκπομπών **SO_x** και σωματιδίων και εκείνων που ισχύουν εκτός τέτοιων περιοχών και επιτυγχάνονται πρωτίστως με τον περιορισμό της μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων, λιπαντικών, όπως φορτώνονται, όπως χρησιμοποιούνται για ανεφοδιασμό για χρήση επί του σκάφους. Αυτά τα όρια θείου στο μαζούτ (εκφράζονται σε % m/m δηλαδή κατά μάζα)⁶⁹.

Όπως απαιτείται βάση του κανονισμού 14, πραγματοποιήθηκε επανεξέταση ως προς τη διαθεσιμότητα του απαιτούμενου μαζούτ. Το MEPC 70 (Οκτώβριος 2016) εξέτασε την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας του μαζούτ και αποφασίστηκε ότι το πρότυπο μαζούτ (0.50% m/m) τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2020. (ψήφισμα MEPC.280 (70))⁷⁰.

Η προκύπτουσα μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (**SO_x**) από τα πλοία έχει σημαντικά οφέλη για την υγεία και το περιβάλλον για τον κόσμο, ιδίως για πληθυσμούς που ζουν κοντά σε λιμάνια και ακτές. Τα οξειδία του θείου είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία προκαλώντας αναπνευστικές καρδιακές και πνευμονικές παθήσεις. Μόλις απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα, το **SO_x** μπορεί να οδηγήσει σε όξινη βροχή, η οποία επηρεάζει τις καλλιέργειες τα δάση και τα υδρόβια είδη και συμβάλει στην όξυνση των ωκεανών. Τα πλοία μπορούν να διαθέτουν κινητήρες που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα τα οποία ενδέχεται να περιέχουν χαμηλή ή μηδενική περιεκτικότητα σε θείο, για παράδειγμα υγροποιημένο φυσικό αέριο ή βιοκαύσιμο.

Τα πρότυπα εκπομπών IMO αναφέρονται συνήθως ως Tier I-II-III
Βασικές δράσεις:

Tier I - Πρωτόκολλο του 1997

Στις 27 Σεπτεμβρίου του 1997, η σύμβαση MARPOL τροποποιήθηκε από το «πρωτόκολλο του 1997», το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI. Τα πρότυπα των εκπομπών του IMO, συνήθως αναφέρονται ως Tier I, Tier II, Tier III. Τα πρότυπα Tier καθορίστηκαν στην έκδοση του παραρτήματος VI του 1997, το οποίο τέθηκε σε ισχύ το 2005 ορίστηκε να τεθεί σε ισχύ 12 μήνες μετά την αποδοχή

⁶⁹ Πηγή: IMO, «Sulphur oxides (SO_x) and particulate matter (PM)-Regulation 14»

⁷⁰ RESOLUTION MEPC.280(70), «Effective date of implementation of the fuel oil standard in regulation 14.1.3 of MARPOL ANNEX VI» Πηγή: imo.org

του από 15 κράτη με 54,57% της παγκόσμιας χωρητικότητας εμπορικής ναυτιλίας. Ισχύει δε αναδρομικά και σε καινούργιους εγκατεστημένους κινητήρες μεγαλύτερους από 130 kW που έχουν εγκατασταθεί σε σκάφη που κατασκευάστηκαν μετά την 1η Ιανουαρίου του 2000 ή που υποβάλλονται σε σημαντική μετασκευή μετά την ημερομηνία αυτή. Οι ορισμοί «εγκατεστημένοι» και «κινητήρες ντίζελ πλοίου», δίνονται στους κανονισμούς 2.12 και 2.14 αντίστοιχα. Ισχύουν διαφορετικά επίπεδα έλεγχου (Tiers) με βάση την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου (κανονισμοί 2.19 και 2.2). Ο κανονισμός αυτός ισχύει επίσης και για σταθερές και πλωτές εξέδρες και πλατφόρμες γεώτρησης (εκτός των εκπομπών που είναι συνδεδεμένες άμεσα με την εξερεύνηση και ή την επεξεργασία μεταλλευμάτων του βυθού) Μέχρι το παράρτημα VI να επικυρωθεί, ήδη από το 2000, οι περισσότεροι κατασκευαστές ναυτικών κινητήρων κατασκεύαζαν κινητήρες συμβατούς με τους κανονισμούς αυτούς⁷¹.

Ο κανονισμός 13 του Annex VI ισχύει για τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου και ο κανονισμός 14 ισχύει για τις εκπομπές των οξειδίων του θείου. Ο κανονισμός 14, θέτει ένα παγκόσμιο μέγιστο όριο περιεκτικότητας των καυσίμων σε θείο (δηλαδή την ποσότητα του θείου που επιτρέπεται στα ναυτιλιακά καύσιμα) και ορίζει τη δημιουργία κάποιων καθορισμένων περιοχών ελέγχου εκπομπών οξειδίων του θείου (SOx Emission Control Areas). Μέσα στις περιοχές αυτές, το μέγιστο όριο έχει τεθεί ως 0.10% m/m απ την 1^η Ιανουαρίου του 2015 και εκτός από αυτές τις περιοχές το αντίστοιχο όριο είναι 0.50 % m/m από την 1^η Ιανουαρίου του 2020.

Tier II/III-Τροποποιήσεις του 2008

Οι νέες τροποποιήσεις εισήχθησαν τον Οκτώβριο του 2008, εισηγαγαν νέες απαιτήσεις ποιότητας καυσίμου από τον Ιούλιο του 2010, με αλλαγές του παραρτήματος VI. Οι έλεγχοι βαθμίδας **Tier III** ισχύουν μόνο για τα πλοία, τα οποία λειτουργούν σε περιοχές **ECA** και έχουν τεθεί σε ισχύ για να περιορίσουν τις εκπομπές **NOx**, εκτός αυτών των περιοχών ισχύουν οι έλεγχοι της κατηγορίας II. Ένας πετρελαιοκινητήρας εγκατεστημένος σε πλοίο που κατασκευάστηκε στις ακόλουθες ημερομηνίες (και μετά από αυτές) και το οποίο επιχειρεί στις ακόλουθες **ECA**, πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο **Tier III NOx**:

- Την 1η Ιανουαρίου 2016 για πλοία που επιχειρούν στην ECA της Βόρειας Αμερικής και στην ECA της θάλασσας της Καραϊβικής των ΗΠΑ
- Την 1 Ιανουαρίου 2021 και λειτουργούν στην ECA της Βαλτικής Θάλασσας ή στην ECA της Βόρειας Θάλασσας

Εν κατακλείδι, σύμφωνα με τον **κανονισμό 13**, τα όρια **NOx** ορίζονται για κινητήρες ντίζελ ανάλογα με την μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα (n, rpm), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Τα πρότυπα **Tier I** και **Tier II**, είναι παγκόσμια, ενώ τα πρότυπα **Tier III** ισχύουν μόνο σε περιοχές έλεγχου εκπομπών **NOx**

Όσον αφορά τους κινητήρες και τις τροποποιήσεις που απαιτούνται, τα πρότυπα **Tier II** αναμένονται να πληρούνται από τεχνολογίες, όπως η βελτιστοποίηση της διαδικασίας της καύσης και ο διαχωρισμός του νερού από το καύσιμο. Οι

⁷¹ Πηγή: IMO, « Nitrogen oxides (NO_x)-Regulation 13»

παράμετροι που εξετάστηκαν από τους κατασκευαστές κινητήρων περιλαμβάνουν χρόνο ψεκασμού καυσίμου, πίεση καυσίμου και ρυθμό ψεκασμοί, τη ροή των ακροφύσιων ψεκασμού, το χρονισμό των βαλβίδων εξαγωγής και τον όγκο συμπίεσης στους κυλίνδρους.

Τα πρότυπα **Tier III** αναμένεται να απαιτήσουν αποκλειστικές τεχνολογίες ελέγχου εκπομπών **NOX** από τους κατασκευαστές κινητήρων όπως, η τεχνική επανακυκλοφορίας των καυσαερίων (exhaust gas recirculation), επιλεκτική καταλυτική μείωση και την χρησιμοποίηση υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Όσον αφορά τους κινητήρες πριν από το 2000, τα πρότυπα **Tier I**, Οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI, εφαρμόζονται σε κινητήρες που είναι εγκατεστημένοι σε πλοία που κατασκευάστηκαν μεταξύ 1^{ης} Ιανουαρίου 1990 και 31 Δεκεμβρίου του 1999 και έχουν ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη η ίση των 5000KW με την προϋπόθεση ότι θα εγκαταστήσουν εγκεκριμένο σύστημα αναβάθμισης

Οι εκπομπές των διαφόρων κινητήρων ελέγχονται με ποικίλους ISO 8178 κύκλους. Οι κύκλοι E2, E3 αφορούν διαφόρους τύπους κινητήρων πρόωσης, D2 για βοηθητικούς κινητήρες σταθερής ταχύτητας, C1 για κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας και φορτίου.

Επιπροσθέτως, γίνεται συζήτηση οι απαιτήσεις για δοκιμές να μην υπερβαίνουν τα πρότυπα Tier III. Τα όρια NTE με πολλαπλασιαστή 1.5 θα ισχύουν για εκπομπές NOx σε οποιοδήποτε μεμονωμένο σημείο φόρτωσης στον κύκλο E3/E3. Οι κινητήρες δοκιμάζονται χρησιμοποιώντας αποστάγματα καυσίμων ντίζελ, παρόλο που τα υπολειμματικά καύσιμα χρησιμοποιούνται συνήθως στην πραγματική λειτουργία⁷².

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

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

Εικόνα 8: Όρια εκπομπών οξειδίων αζώτου, σύμφωνα με το παράρτημα VI Της MARPOL.

Πηγή: <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php#nox>, Ανακτήθηκε (14/03/2021)

Περιοχές ελέγχου εκπομπών (Emission Control Areas).

Ως περιοχή ελέγχου εκπομπών ορίζεται μια θαλάσσια περιοχή που είναι δυνατόν να περιλαμβάνει και λιμένες και θέτει περιορισμούς στις εκπομπές ρύπων (**οξείδια του αζώτου (NOx) και οξείδια του θείου (SOx)**).

⁷² Emission standards, «IMO marine engine regulations», Πηγή: <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php>

Περιοχές ελέγχου εκπομπών θείου και των οξειδίων του είναι γνωστές ως **SECA (Sulphur Emission Control Area)**. Περιοχές έλεγχου εκπομπών διοξειδίου του αζώτου είναι γνωστές ως **NECA (NO_x Emission Control Areas)**.

περιοχές του Annex VI της MARPOL (Emission Control Areas) για έλεγχο εκπομπών SO_x και NO_x.

- Η Βαλτική θάλασσα,
- Η Βόρεια θάλασσα
- Οι ειδικές περιοχές της Βόρειας Αμερικής(συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων ακτών των Η.Π.Α. και του Καναδά)
- Η Καραϊβική (συμπεριλαμβάνοντας το Πουέρτο Ρίκο και τις παρθένες νήσους)

Τοπικές Ειδικές περιοχές (Local ECA'S) ρυθμίζετε από κάθε κράτος (SO_x < 0.1%)

Αυτές οι περιοχές / λιμάνια καθορίζονται ως ECA από την εθνική νομοθεσία κάθε χώρας. Όλα τα σκάφη πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.⁷³

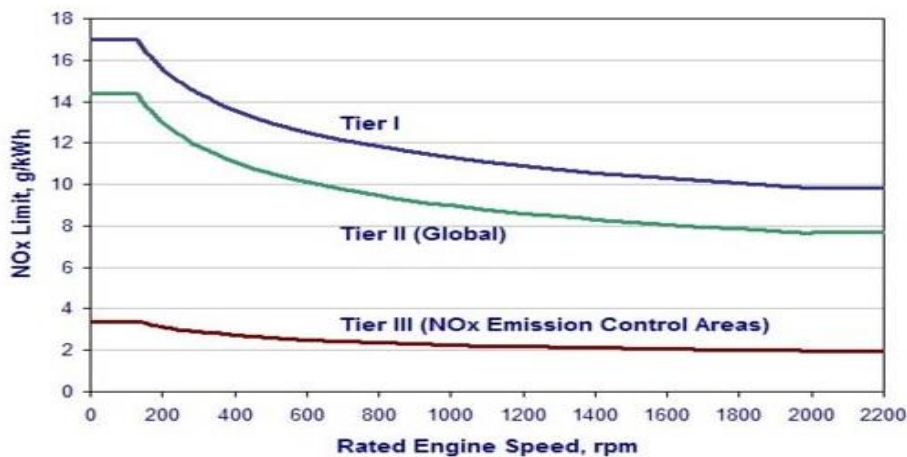
- Ευρώπη- όλα τα λιμάνια
- Ισλανδία-όλα τα λιμάνια
- Νορβηγία-όλα τα λιμάνια
- Τουρκία –όλα τα λιμάνια
- Κίνα-ορισμένα εσωτερικά λιμάνια (SO_x < 0.5%)
- Κορέα –ορισμένα λιμάνια (Ισχύει από 1^η Σεπτεμβρίου 2020)

Outside an ECA established to limit SO _x and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SO _x and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015

Εικόνα 9: Τα όρια που έχουν καθοριστεί από τον IMO για τις εκπομπές των διοξειδίων του θείου εντός και εκτός των ECA.

Πηγή: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx), Ανακτήθηκε 15/03/2021)

⁷³ Emission standards, «IMO marine engine regulations», Πηγή: <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php>



Εικόνα 10: Όρια εκπομπών NO_x σύμφωνα με το παράρτημα VI της MARPOL.

Πηγή: http://marinewiki.org/index.php?title=File:NOx_emission_standards.jpg, Ανακτήθηκε (17/03/2021)

2.6 Προτάσεις για εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία, επικράτηση του LNG

Ο IMO συνεχίσει να συμβάλλει στον παγκόσμιο αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής ,προς υποστήριξη του **στόχου 13** του **ΟΗΕ** για την αειφόρο ανάπτυξη, με στόχο να αναλάβει άμεση δράση όχι μόνο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής αλλά και για τις επιπτώσεις που αυτή έχει. Ο IMO έχει υιοθετήσει υποχρεωτικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τη διεθνή ναυτιλία, σύμφωνα με τη συνθήκη πρόληψης της ρύπανσης του IMO-τον υποχρεωτικό δείκτη σχεδιασμού ενεργειακής απόδοσης (**EEDI**) για νέα πλοία και το σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου (**SEEMP**)⁷⁴.

Το 2018, ο IMO υιοθέτησε μια στρατηγική για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, καθορίζοντας ένα όραμα που επιβεβαιώνει τη δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία.

Οι στόχοι που καθορίζονται στην στρατηγική του IMO δεν πρόκειται να επιτευχθούν μόνο με τη χρήση ορυκτών καυσίμων.. Για να γίνουν τα πλοία πιο “πράσινα”, με τον μηδενισμό του άνθρακα, και να κατευθύνονται οι επενδύσεις προς καινοτόμες βιώσιμες τεχνολογίες και εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών ή και ακόμα μηδενικών εκπομπών, απαιτείται ένα μέλλον μηδενικού άνθρακα βασισμένο σε μεγάλες έρευνες και ραγδαία ανάπτυξη. Τα υβριδικά πλοία ,πλοία με μπαταρίες και τα πλοία που δοκιμάζουν τα βιοκαύσιμα, τα πλοία που χρησιμοποιούν το υδρογόνο , η πρόωση εκμεταλλεύομενη την αιολική ενέργεια και άλλες πολλές ιδέες

⁷⁴ Πηγή: IMO, «Energy efficiency measures»

διερευνώνται διεξοδικά. Η στρατηγική **GHG** του IMO, στέλνει ένα ξεκάθαρο μήνυμα στους καινοτόμους ότι αυτός είναι ο δρόμος για το μέλλον στη ναυτιλία.

Η δημιουργία ενός παγκόσμιου δικτύου και κέντρου συνεργασίας για τη θαλάσσια τεχνολογία (GMN) από τον IMO, έχει ξεκινήσει ως ένα σχέδιο χρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχοντας δημιουργήσει ένα δίκτυο πέντε ναυτιλιακών τεχνολογιών (κέντρα τεχνολογίας-MTCC) στην Αφρική, την Ασία την Καραϊβική, λατινική Αμερική και τον ειρηνικό. Δια μέσου δραστηριότητας, συνεργασίας και ορθής προσέγγισης σε περιφερειακό επίπεδο, οι MTCC έχουν επικεντρώσει τις προσπάθειες τους, από το 2018, στο να βοηθήσουν τις χώρες να αναπτύξουν μια εθνική πολιτική θαλάσσιας ενεργειακής απόδοσης, να προωθήσουν μέτρα, να αποκτήσουν τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα και τέλος να δημιουργήσουν εθελοντικά πιλοτικά συστήματα συλλογής δεδομένων και πληροφοριών.

Το σχέδιο Green Voyage 2050⁷⁵ είναι ένα έργο συνεργασίας μεταξύ της κυβέρνησης της Νορβηγίας και του IMO που ξεκίνησε τον Μάιο του 2019 με στόχο την “απανθρακοποίηση” της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Η Παγκόσμια Εταιρική Σχέση (GPE) υποστηρίζει τις αναπτυσσόμενες χώρες συμπεριλαμβανομένων και των μικρών αναπτυσσόμενων νησιών (Small Islands Developing States-SIDS) και των λιγότερων αναπτυσσόμενων χωρών (LAX), στην εκπλήρωση της δέσμευσης τους προς τους σχετικούς στόχους της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής απόδοσης για τη διεθνή ναυτιλία μέσω της υποστήριξης της αρχικής στρατηγικής GHG του IMO.

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους του Green Voyage 2050 είναι να προωθήσει τις παγκόσμιες προσπάθειες επίδειξης και δοκιμής τεχνολογικών λύσεων. Η συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα επιτυγχάνεται με την ενίσχυση της υφιστάμενης παγκόσμιας βιομηχανικής συμμαχίας για την υποστήριξη της ναυτιλίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα με νέους συνεργάτες από τον ναυτιλιακό τομέα. Επίσης, γίνονται συζητήσεις για συνεργασίες με τρέχοντα προγράμματα που θέτουν ως πρωταρχικό στόχο να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα τέτοιων προγραμμάτων για να ενθαρρυνθεί η σταδιακή εισαγωγή λύσεων με μηδενικούς και χαμηλούς από την ναυτιλία ρύπους στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Το έργο περιλαμβάνει 4 βασικά στοιχεία :

- Στοιχείο 1 : ανάπτυξη παγκόσμιων εργαλείων για την υποστήριξη της εφαρμογής της αρχικής στρατηγικής για το GHG του IMO.
- Στοιχείο 2: ανάπτυξη ικανοτήτων, πολιτική και ανάπτυξη Εθνικού Σχεδίου Δράσης (NAP).
- Στοιχείο 3: ανάπτυξη στρατηγικής εταιρικής σχέσης.
- Στοιχείο 4: τεχνολογική συνεργασία, καινοτομία και πιλοτικές επιδείξεις.

Το Green Voyage 2050 βασίζεται σε δυο έργα του IMO που μπορούν να θεωρηθούν ως βασικά έργα σε αυτόν τον τομέα :

⁷⁵ Πηγή:IMO, «*Greenvoyage2050*»

Το έργο **GEF-UNLOMEDP-IMO GEP**⁷⁶ project (Global Maritime Energy Efficiency Partnerships): από το Νοέμβριο του 2016 έως τον Δεκέμβριο του 2019. Αυτό το έργο υποστήριξε τις αναπτυσσόμενες χώρες στην εφαρμογή απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης του IMO. Η GLOMEEP⁷⁷, δημιούργησε με επιτυχία την παγκοσμία βιομηχανική συμμαχία (GIA) για την υποστήριξη της ναυτιλίας σε εκπομπές χαμηλών διοξειδίων του άνθρακα. Αποτελεί μια σχέση μεταξύ του IMO και 15 κορυφαίων ναυτιλιακών εταιρειών που εντοπίζουν και αναπτύσσουν συλλογικά καινοτόμες λύσεις για την αντιμετώπιση κοινών εμποδίων στην υιοθέτηση αλλά και εφαρμογή τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης και επιχειρησιακά μέτρα.

Το πρόγραμμα EU-IMO GMN Project (ανάπτυξη ικανοτήτων για τον μετριασμό του κλίματος στη ναυτιλιακή βιομηχανία), το οποίο ίδρυσε 5 κέντρα συνεργασίας και ναυτιλιακής τεχνολογίας (MTCC), με ισχυρές περιφερειακές διαστάσεις το καθένα σε μια κορυφαία ναυτιλιακά αναπτυσσόμενη χώρα σε κάθε περιοχή “στόχο”. Τα MTCC λειτουργούν ως κέντρα αριστείας προωθώντας την υιοθέτηση τεχνολογιών και επιχειρήσεων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις θαλάσσιες μεταφορές.

Στόχοι αειφόρου ανάπτυξης (Sustainable Development Goals-SDGs)

Το 2015 193 χώρες υιοθέτησαν την ατζέντα του IMO 2030 για την αειφόρο ανάπτυξη και τους 17 στόχους αειφόρου ανάπτυξης (SDGs).

Η ατζέντα του IMO το 2030 για την αειφόρο ανάπτυξη, παρέχει ένα κοινό σχέδιο για την ευημερία των ανθρώπων και του πλανήτη, για το παρόν αλλά και το μέλλον. Στην καρδιά του βρίσκονται οι 17 στόχοι αειφόρου ανάπτυξης οι οποίοι αποτελούν επείγουσα κλίση για δράση σε παγκόσμια κλίμακα. Μεταξύ των SDGs, το SDG 14 αποτελεί κεντρικό στοιχείο του IMO και του Green Voyage 2050 ενώ οι πτυχές του έργου του οργανισμού μπορούν να συνδεθούν με όλα τα μεμονωμένα SDG.

Οι στόχοι της ατζέντας είναι να παρέχουν ένα σχέδιο για τη μετάβαση σε έναν υγιέστερο πλανήτη και έναν πιο δίκαιο κόσμο, όχι μόνο για το παρόν αλλά και τις μελλοντικές γενιές. Γενικά οι στόχοι αποσκοπούν στο να τερματίσουν τη φτώχεια και την πείνα, να επεκτείνουν την πρόσβαση στην υγεία, την εκπαίδευση, τη δικαιοσύνη και τις θέσεις εργασίας, να προωθήσουν την οικονομική ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς και να διατηρήσουν τον πλανήτη μας σε μια ισορροπία, αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό την περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Όσον αφορά τον τομέα της ναυτιλίας, η ατζέντα περιλαμβάνει τη διευκόλυνση της πρόσβασης σε έρευνα και τεχνολογία “καθαρής” ενέργειας, ιδίως προηγμένη και καθαρότερη τεχνολογία καυσίμων με την ταυτόχρονη επένδυση σε ενεργειακές υποδομές και τεχνολογία “πράσινης” ενέργειας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις όπως, τα αυτόνομα πλοία, οι εξελίξεις στον τομέα των λιμενικών εγκαταστάσεων, οι ευεργετικές αλλαγές στον τρόπο σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας των πλοίων είναι μερικές από τις ριζικές αλλαγές οι οποίες απαιτούνται για τη μετάβαση αυτή της ναυτιλίας σε μια νέα εποχή με γνώμονα το συμφέρον του πλανήτη και όλων των έμψυχων οργανισμών που κατοικούν σε αυτόν.

⁷⁶Πηγή:IMO, «About GloMEEP»

⁷⁷ Πηγή:IMO, « Global maritime energy efficiency partnerships projects (GLOMEEP)»

Η ανάγκη που έχει δημιουργηθεί στον τομέα της ναυτιλίας με το ολοένα και αυστηρότερο νομοθετικό πλαίσιο για τις εκπομπές των ρύπων από την ναυτιλία έχει δημιουργήσει την ανάγκη για μελέτη και εξέλιξη νέων καυσίμων, τα οποία θα είναι φιλικά προς το περιβάλλον κατά την καύση τους χωρίς να επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα αλλά και την ανθρώπινη υγεία. Έτσι, η αντικατάσταση του πετρελαίου φαντάζει δεδομένη στο προσεχές μέλλον ,χωρίς ωστόσο να θεωρείται κάποιο συγκεκριμένο καύσιμο ως δεδομένος αντικαταστάτης, Τα καύσιμα που έχουν προταθεί μέχρι στιγμής είναι τα εξής:

Τα βιοκαύσιμα (Biofuel) :

Θεωρούνται τα καύσιμα εκείνα τα οποία μπορεί να είναι είτε στερεά, είτε υγρά η αέρια και τα οποία προέρχονται από την βιομάζα, δηλαδή το βιοδιασπώμενο κλάσμα προϊόντων. Τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, επομένως θεωρούνται μια πολυσυζητημένη λύση για την περίπτωση της “πράσινης” ναυτιλίας⁷⁸. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης, επειδή όμως ο άνθρακας που περιέχουν είναι οργανικής προέλευσης έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής λύσης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση και έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στα βιοκαύσιμα επίσης συγκαταλέγονται: το βιοντίζελ, η βιοαιθανόλη, η βιομεθανόλη, το βιοαέριο, το βιοϋδρογόνο καθώς και ορισμένα συνθετικά βιοκαύσιμα. Όσον αφορά τη ναυτιλία, η πλοιοκτήτρια εταιρεία UECC⁷⁹ σε συνεργασία με την εταιρεία κατασκευής οχημάτων BMW προχώρησαν σε δοκιμή βιοκαυσίμου σε πλοίο τύπου Ro-Ro ,το M/V Autosky στις 16 Μαρτίου 2020 στο λιμάνι του Άμστερνταμ. Στη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε biofuel με βάση μαγειρικό έλαιο παραγωγής της εταιρείας βιοκαυσίμων Good Fuels. Το εν λόγω βιοκαύσιμο είναι απαλλαγμένο από οξείδιο του θείου και παρέχει 80-90% μείωση των εκπομπών άνθρακα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Το υδρογόνο (Hydrogen):

Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο οποιουδήποτε καυσίμου ευρείας χρήσεως κατά βάρος, αλλά έχει το χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο κατά όγκο⁸⁰. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται περισσότερη ενέργεια για να παραχθεί το υδρογόνο, συγκριτικά με αυτήν που παράγει το υδρογόνο σαν καύσιμο. Το υγρό υδρογόνο δεν είναι τόσο καινούριο σαν καύσιμο, καθώς χρησιμοποιείται από το 1959 από την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) ως καύσιμο πυραύλων και υπήρξε πρωτοπόρος στην χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου για την τροφοδότηση ηλεκτρικών συστημάτων των διαστημόπλοιων. Οι κυψέλες υδρογόνου λειτουργούν με καθαρό υδρογόνο έχοντας μηδενικές εκπομπές GHG και άλλους ρύπους παρέχοντας τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν σύντομα όλους τους κινητήρες εσωτερικής καύσης ,είτε ως κύρια πρόταση είτε ως ηλεκτρογεννήτριες . Σε συνδυασμό με την πλαίσιωση μπαταριών θα μπορέσουν να συμπληρώσουν όλες τις υβριδικές εφαρμογές πρόωσης στα πλοία. Όσον αφορά την εφαρμογή, η εταιρεία

⁷⁸ Πηγή: Wikipedia «*Βιοντίζελ*»

⁷⁹ Πηγή: UECC, «*MV Autosky*»

⁸⁰ Γιώργος Σπανός, «*Ναυτιλιακό καύσιμο του μέλλοντος το υδρογόνο* »,Πηγή: naftemporiki.gr

Cie.Maritime Belge SA (CMB) κατασκεύασε το Hydroville⁸¹, το οποίο είναι το πρώτο διαπιστευμένο επιβατηγό πλοίο στον κόσμο που τροφοδοτείται από υδρογόνο σε έναν πετρελαιοκινητήρα. Απώτερος στόχος της εταιρείας είναι η χρησιμοποίηση του υδρογόνου σε κύρια μηχανή φορτηγού πλοίου αφού πρώτα δοκιμαστεί ως καύσιμο σε βοηθητικές μηχανές του πλοίου.

Ηλεκτρική ενέργεια:

Η ηλεκτρική ενέργεια δεν αποτελεί μια νέα λύση. Μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στραφεί στην ηλεκτρική ενέργεια έχοντας παραμερίσει την παραγωγή ρυπογόνων κινητήρων βενζίνης και πετρελαίου σε μια προσπάθεια εναρμονισμού με τους ολοένα και αυστηρότερους κανονισμούς, αλλά και την ανάπτυξη ενός βιώσιμου σχεδίου για την αναζήτηση εναλλακτικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σύμφωνα με την IEA (International Energy Agency⁸²) οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ξεπέρασαν τις 2,1 εκατομμύρια παγκοσμίως το 2019. Στο χώρο της ναυτιλίας εταιρείες κολοσσοί επενδύουν στην ηλεκτρική ενέργεια και έχουν καθορίσει στόχους και μεγαλόπνοα σχέδια κυρίως όμως για ταξίδια σε πλόες κοντινών αποστάσεων σε αστικά κέντρα όπου θα είχε και μεγαλύτερο αντίκτυπο ο μηδενισμός των εκπομπών ρύπων από τα πλοία.

Το LNG (Liquefied Natural Gas):

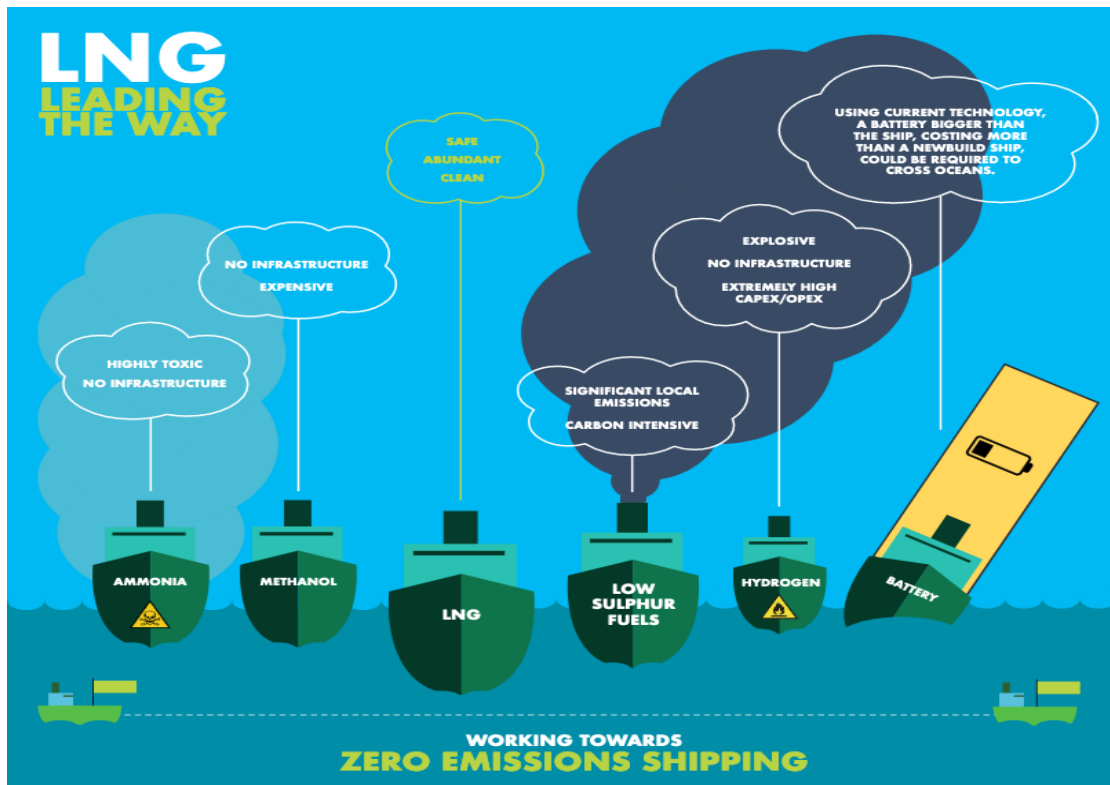
Είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο, ένα εναλλακτικό καύσιμο που φαίνεται να κερδίζει έδαφος ολοένα και περισσότερο στην ναυτιλιακή αγορά και αυτό γιατί το LNG αποτελεί μια εναλλακτική μορφή καυσίμου το οποίο έχει την δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές SO_x και NO_x σε μεγάλο βαθμό.⁸³ Το LNG έχει διεισδύσει στη ναυτιλία με τέτοιο τρόπο που φαίνεται ότι θα αποτελέσει το καύσιμο του μέλλοντος τουλάχιστον μέχρι το 2030 και τους στόχους που έχει θέσει ο IMO, καθώς ήδη αρκετά πλοία χρησιμοποιούν το υγροποιημένο φυσικό αέριο ως καύσιμο και αρκετά ακόμα βρίσκονται υπό κατασκευή στα ναυπηγεία. Εκτενεστέρα όμως θα αναλύσουμε το LNG στο επόμενο κεφάλαιο.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τη σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών καυσίμων:

⁸¹ Ship technology, «Hydroville Passenger Ferry», πηγή: ship-technology.com

⁸² Global EV outlook 2020, «entering the decade of electric drive?», Πηγή: iea.org

⁸³ Class NK. «Alternative fuels and energy efficiency for the shipping industry», MTCC Latin America, Πηγή: gmn.imo.org



Εικόνα 11: πηγή: <https://sea-lng.org/our-work/comparison-of-alternative-marine-fuels/>, Ανακτήθηκε (19/03/2021)

Κεφάλαιο 3^ο

Εισαγωγή

Το φυσικό αέριο αποτελεί ένα μείγμα υδρογονανθράκων που κατά την υγροποίηση του σχηματίζει ένα άχρωμο διαυγές και άοσμο υγρό. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο σε ποσοστό της τάξεως του 90% και σε μικρότερη αναλογία από προσμίξεις αιθανίου, προπανίου, βουτανίου, αζώτου και πεντανίου. Η εξόρυξή του πραγματοποιείται είτε από αμιγώς κοιτάσματα φυσικού αερίου ή από κοιτάσματα πετρελαίου όπου διαχωρίζεται με την μέθοδο της κλασματικής απόσταξης. Το φυσικό αέριο είναι άφθονο και είναι το καθαρότερο ορυκτό καύσιμο. Η αξιοποίησή του για εμπορικούς σκοπούς ξεκίνησε το 1810 καθώς χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο σε λάμπες φωτισμού και μετά το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου άρχισαν να κατασκευάζονται τα πρώτα δίκτυα διανομής και μεταφοράς φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο μεταφέρεται σήμερα σε αέρια μορφή με ένα δίκτυο αγωγών σε μεγάλες αποστάσεις, κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό προτέρημα. Όμως στις διηπειρωτικές μεταφορές απαιτείται άλλος τρόπος μεταφοράς γιατί για παράδειγμα ένα σύστημα αγωγών μεταφοράς αερίου από την Αμερική στην Ευρώπη θα ήταν εξαιρετικά δαπανηρό και μη πρακτικό. Η λύση που δόθηκε ήταν η υγροποίηση του φυσικού

αερίου με την ψύξη του, πετυχαίνοντας με αυτόν τον τρόπο ευκολότερη, οικονομικότερη και ασφαλέστερη μεταφορά του με τα πλοία.⁸⁴

Στο υγροποιημένο φυσικό αέριο (ΥΦΑ) έχει επικρατήσει η αγγλική του ορολογία **LNG-Liquefied Natural Gas**. Το LNG αποτελεί μια ασφαλής και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας.

Το φυσικό αέριο εξορύσσεται από το έδαφος και περιέχει ακαθαρσίες ,νερό και άλλα συναφή υγρά. Η πρώτη διαδικασία μετά την εξόρυξη είναι ο καθαρισμός του. Το αέριο διέρχεται μέσα από μια σειρά δοχείων και σωληνώσεων και με τη βοήθεια της βαρύτητας επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του αερίου από άλλα βαρύτερα υγρά τα οποία περιέχονται μέσα σε αυτό. Στη συνέχεια αφαιρούνται και οι υπόλοιπες ακαθαρσίες (θειό, άζωτο),το φυσικό αέριο διέρχεται μέσω ενός διαλύτη με βάση το νερό το οποίο απορροφά διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο τα οποία θα απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα όταν το αέριο θα ψύχονταν, κάτι το οποίο θα προκαλούσε σημαντικά προβλήματα. Στη συνέχεια το εναπομείναντα νερό απομακρύνεται, καθώς αν παρέμενε εκεί θα ψύχονταν και αυτό με τη σειρά του.

Τέλος, τα υπόλοιπα κατάλοιπα ελαφρύτερων υγρών του φυσικού αερίου, κυρίως το βουτάνιο και το προπάνιο, εξάγονται με σκοπό να πουληθούν ξεχωριστά ή να χρησιμοποιηθούν αργότερα σαν ψυκτικά στη διαδικασία ψύξης. Επίσης εξάγονται και ίχνη υδραργύρου και πλέον το καθαρισμένο φυσικό αέριο με μεθάνιο και αιθάνιο είναι έτοιμο για υγροποίηση.

Αυτό συμβαίνει σε εναλλάκτες θερμότητας μέσα στους οποίους ένα ψυκτικό υγρό που ψύχεται από γιγάντια ψυγεία απορροφά τη θερμότητα του φυσικού αερίου ψύχοντας το στους -162 βαθμούς κελσίου ,συρρικνώνοντας έτσι τον όγκο του κατά 600 φορές. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται ένα άχρωμο ,καθαρό και μη τοξικό υγρό, το υγροποιημένο φυσικό αέριο ή **LNG**, το οποίο καθίσταται εύκολο στην αποθήκευση του, όντας υγρό, αλλά και στη μεταφορά του⁸⁵.

Το LNG διατηρείται σε ειδικές εγκαταστάσεις στη στεριά μέσα σε μονωμένες κρυογενικές δεξαμενές μέχρι την στιγμή που θα φορτωθεί σε ειδικά σχεδιασμένα πλοία τα LNG carriers, ή LNG ships. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του φυσικού αερίου θα συνεχίσει να διατηρείται στους -162°C σε ατμοσφαιρική πίεση και να ελέγχεται η θερμοκρασία του από μια πληθώρα μηχανημάτων και αισθητήρων. Όταν το πλοίο φτάσει στον προορισμό του το φυσικό αέριο θα μεταφερθεί και πάλι σε μονάδα επαναεριοποίησης στην στεριά όπου θα θερμανθεί και θα καταλήξει σε αέρια μορφή. Μέσω ενός δικτύου αγωγών θα καταλήξει στην αγορά, παράγοντας ενέργεια για τις βιομηχανίες ,τις οικίες και κτίρια.

3.1 Το LNG ως βιώσιμο καύσιμο στη ναυτιλία

Σήμερα, η επιλογή του καυσίμου είναι ολοένα και πιο σημαντική απόφαση για τους πλοιοκτήτες επηρεάζοντας τόσο την κερδοφορία όσο και την περιβαλλοντική

⁸⁴ Πηγή: Shell energy, « *liquefied natural gas(LNG)* »

⁸⁵ Πηγή: Shell energy, « *How do we make LNG* »

συμμόρφωση. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) αποτελεί μια ελκυστική επιλογή καθώς είναι βιώσιμο καύσιμο που μειώνει τους επικίνδυνους ρύπους και τις επιβλαβείς εκπομπές. Η χρήση κινητήρων LNG μειώνει το κόστος του καυσίμου διασφαλίζοντας παράλληλα τη συμμόρφωση με τους όλο και πιο αυστηρούς κανονισμούς διότι είναι από τα πιο αποτελεσματικά ορυκτά καύσιμα ενώ ταυτόχρονα η μετατροπή ενός υπάρχοντα κινητήρα σε λειτουργία με φυσικό αέριο μπορεί να προσφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Όσον αφορά το κόστος του πετρελαίου ,τελευταία παρατηρείται μια πτώση στις τιμές του, πράγμα το οποίο οφείλεται κυρίως στην προτίμηση των εταιρειών σε καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον.

Η πτώση της τιμής του πετρελαίου όμως δεν αναιρεί την ανάγκη για εγκατάλειψη του πετρελαίου αλλά η αναζήτηση του εναλλακτικού καυσίμου στη ναυτιλία παραμένει σταθερά προτεραιότητα όλων και το LNG δείχνει να έχει προβάδισμα έναντι των υπολοίπων καυσίμων ⁸⁶.

Όπως αναφέρει σε έκθεση του ο Peter Keller⁸⁷, πρόεδρος της **SEA-LNG** περιγράφει πως το LNG ως καύσιμο πλοίων αποτελεί την μοναδική βιώσιμη επιλογή για την ναυτιλία προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του IMO 2030. Παράλληλα τονίζει πως το LNG έχει μηδενικές εκπομπές στο νερό σήμερα, ενώ ανοίγει τον δρόμο για την εκπλήρωση των στόχων του IMO για το 2050 χάρη στο χωρίς άνθρακα υγροποιημένο βίο-μεθάνιο, το οποίο μπορεί εύκολα να υιοθετηθεί από τα πλοία μεταφοράς LNG και από τις υποδομές Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου .

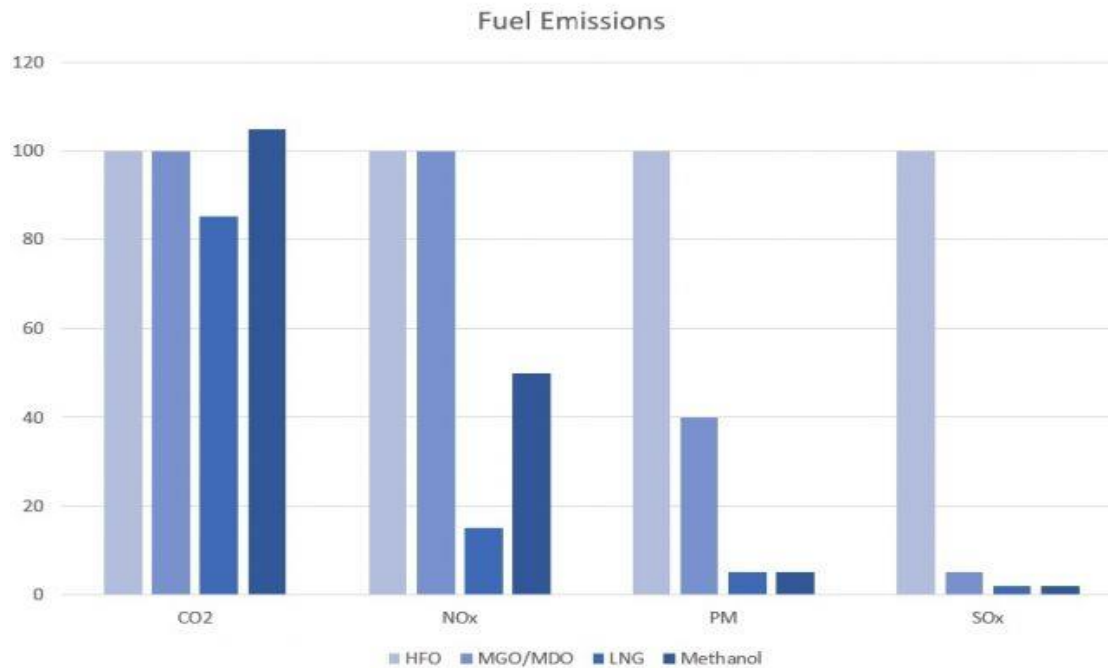
Επίσης, σύμφωνα με τον Νορβηγικό νηογνώμονα **DNV**⁸⁸, το LNG προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα ,ειδικά για τα πλοία που υπόκεινται σε αυστηρούς κανονισμούς . Το επιχείρημα για πίστη στο LNG ως αντικαταστάτη των συμβατικών καυσίμων προέρχεται από το ότι το LNG προσφέρει σημαντική μείωση (85%) της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης αλλά και στα ευαίσθητα οικοσυστήματα , που κυμαίνονται από τις εκπομπές **SO_x** και **NO_x** προς το διοξείδιο του άνθρακα, αιωρούμενα σωματίδια και τον μαύρο άνθρακα προσφέροντας πολλαπλάσια πλεονεκτήματα τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το περιβάλλον. Τέλος ο DNV προβλέπει ότι με τον υπάρχοντα ρυθμό αύξησης ναυπήγησης πλοίων, που χρησιμοποιούν για καύσιμο το LNG,ο αριθμός των πλοίων που θα κατασκευαστούν τα επόμενα χρόνια θα εκτοξευθεί κατακόρυφα.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις εκπομπές ρύπων διαφόρων τύπων καυσίμων σε σύγκριση με το ΥΦΑ:

⁸⁶ SGMF study,2019 sea change, «Natural gas as a marine fuel »,Mark Bell, DR Oliver Schuller

⁸⁷ SEA-LNG study, «LNG as a marine fuel-the investment opportunity», Peter Keller,Πηγή:sea-lng.org

⁸⁸ DNV-GL study, «In focus-LNG as a ship fuel »,Dr Gerd-Michael Wuersig, Πηγή :dnvgl.com



Εικόνα 12: Πηγή: <https://www.motorship.com/news101/lng/lng-debate-highlights-fuel-choice-challenge>, Ανακτήθηκε (20/03/2021)

Εν κατακλείδι, καθοριστικό ρόλο παίζουν και οι οδηγίες του εγγράφου εργασίας των υπηρεσιών της επιτροπής της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (**Βρυξέλλες 24/01/2013-SWD2013**)⁸⁹ όπως αναφέρεται στη λευκή βίβλο « χάρτης πορείας για έναν ενιαίο ευρωπαϊκό χώρο μεταφορών για ένα ανταγωνιστικό και ενεργειακά αποδοτικό σύστημα μεταφορών» διαπιστώνεται ότι απαιτείται η ευρεία χρήση εναλλακτικών καυσίμων για την επίτευξη των στόχων της στρατηγικής: Ευρώπη 2020 αλλά και των κλιματικών στόχων 2050. Επιπροσθέτως, ορίζονται τα τρία εναλλακτικά καύσιμα που βρίσκονται υπό εξέταση και αυτά είναι: η ηλεκτρική ενέργεια, το υδρογόνο, το φυσικό αέριο (**LNG και CNG**) στις οδικές μεταφορές και το LNG στις πλωτές μεταφορές.

3.2 Κινητήρες πλοίων με καύσιμο το LNG

Το LNG σαν καύσιμο δεν αποτελεί μια καινούργια τεχνολογία διότι χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στα πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου. Οι κινητήρες των δεξαμενοπλοίων LNG χρησιμοποιούν σαν καύσιμο τον ατμό αερίου (gas vapor)⁹⁰ που δημιουργείτε μέσα στην δεξαμενές φορτίου εξαιτίας της τριβής και της θερμότητας με αποτέλεσμα την εξάτμιση του υγρού αερίου και την μετατροπή του σε αέριο.

Υπάρχουν δυο ξεχωριστοί τύποι αερίων που παράγονται από το υγροποιημένο φυσικό αέριο ανάλογα με τον τρόπο που εξάγονται:

⁸⁹ Ευρωπαϊκή επιτροπή, Βρυξέλλες, 25.11.2013 COM(2013) 837 final

⁹⁰ Boil-off gas

Το φυσικό αέριο βρασμού (**natural boil-off gas**), το οποίο αφαιρείται από την κορυφή των δεξαμενών φορτίου LNG. Στην κορυφή της δεξαμενής, επάνω από το υγρό φυσικό αέριο όπου συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα μεθανίου και λιγότερο αζώτου και έτσι συγκεντρώνουν υψηλή αντίσταση “χτυπήματος” του κινητήρα. Η ανάλυση από τον αριθμό μεθανίου (MN_Methane Number) 100 και LCV (χαμηλή θερμογόνο δύναμη) δείχνει συνήθως μεταξύ 33-35MJ/nm³ ⁹¹

Και το εξαναγκασμένο αέριο εξάτμισης (**forced boil-off gas**), δηλαδή το αέριο το οποίο εξάγεται από το κατώτερο μέρος των δεξαμενών και εξατμίζεται ξεχωριστά. Αυτό διασφαλίζει την καλή ομοιογένεια του φυσικού αερίου και την σταθερή ποιότητα του. Αυτό το αέριο περιέχει ένα μίγμα όλων των υδρογονανθράκων που περιέχονται στο υγρό φυσικό αέριο των δεξαμενών και το “χτύπημα” που προκαλεί στον κινητήρα μπορεί να διαφέρει ανάλογα την προέλευση του φορτίου αλλά και από φορτίο σε φορτίο, με τον αριθμό μεθανίου να κυμαίνεται γύρω στο 70 με 80. Η θερμογόνο δύναμη είναι υψηλότερη από το natural boil-off gas και αρκετά σταθερό στα 38-39 MJ/nm³. Αυτός ο τύπος καυσίμου γίνεται ολοένα και δημοφιλέστερος.

Το αέριο αυτό (**Boil-off gas**)⁹² μεταφέρεται μέσω ειδικών σωληνώσεων στον χώρο του μηχανοστασίου και πιο συγκεκριμένα στο χώρο καύσης των κυρίων μηχανών, ανάλογα βέβαια και με τον τύπο του κινητήρα, όπου και θα αξιοποιηθεί ως παραγωγή ενέργειας για την πρόωση του πλοίου. Οι ατμοί εξάτμισης (boil-off gas) είναι ανεπιθύμητοι αλλά ταυτόχρονα και αναπόφευκτοι μέσα στις δεξαμενές καυσίμου και πρέπει να απομακρυνθούν. Η αύξηση της πίεσης μέσα σε μια δεξαμενή μπορεί να επιφέρει μεγάλη καταστροφή, επομένως συμβάλει τα τερπνόν μετά του ωφελίμου διότι η πίεση μέσα στις δεξαμενές φορτίου πρέπει να παραμείνει σταθερή.

Οι κινητήρες αυτοί είναι διπλού καυσίμου, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιήσουν και φυσικό αέριο και πετρέλαιο.

Η ανάπτυξη των ναυτιλιακών κινητήρων που τροφοδοτούνται με LNG ξεκίνησε το 1980 με σκοπό την ανάπτυξη κινητήρων για τα πλοία μεταφοράς υδροποιημένου φυσικού αερίου τα οποία θα το χρησιμοποιούν σαν καύσιμο.

Η πρώτη εφαρμογή στη ναυτιλία ήταν το 2000 και το πρωτότυπο πλοίο τροφοδοσίας με LNG ήταν το Επιβατηγό/Οχηματαγωγό MF Glutra.⁹³

Το έργο ΥΦΑ μικρής κλίμακας άρχισε να εξελίσσεται το 2003 στην ναυτιλιακή βιομηχανία, Το 2011 ξεκίνησε ένα ταχέως αυξανόμενο ενδιαφέρον για εφαρμογές στην ναυτιλία διεθνών πλόων. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτό το ενδιαφέρον ήταν, αφενός οι ρυθμίσεις για τις εκπομπές των ρύπων από τον IMO, το κόστος των καυσίμων κτλ και αφετέρου οι μεγάλοι χαμηλών ταχυτήτων κινητήρες που ήταν υπό κατασκευή και μετασκευές στους ήδη υπάρχοντες κινητήρες.

Η εμπορική ανάπτυξη των κινητήρων ξεκίνησε το 1984 με αποτέλεσμα την δημιουργία τριών τύπων κινητήρων οι οποίοι κυκλοφόρησαν μεταξύ 1988-1996:

⁹¹ Megajoules per normal cubic meter.

⁹² Πηγή: Wartsila encyclopedia of marine technology, «Boil-off gas (BOG)»

⁹³ Πηγή: Wartsila encyclopedia of marine technology, «Natural gas-fuelled ferry Glutra»

κινητήρας **Spark Ignited Lean Burn (Otto cycle):**

Σε αυτού του τύπου τους κινητήρες, η ανάφλεξη του μίγματος πραγματοποιούνταν με σπινθήρα. Αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά στη χερσαία βιομηχανία παραγωγής ενέργειας με υψηλές απαιτήσεις και είχαν ως χαρακτηριστικά την απλότητα και καλή συνολική απόδοση στις συνολικές εκπομπές. Αυτοί οι κινητήρες απαιτούν την μόνιμη παροχή φυσικού αερίου και στην ναυτιλία χρησιμοποιήθηκαν ως κινητήρες σε πλοία μικρών αποστάσεων. Τέτοιου τύπου κινητήρα έχει εξελίξει η Βρετανική εταιρεία Rolls Royce το 2011⁹⁴.

κινητήρας **Diesel Ignited Dual Fuel (Combined Otto/Diesel cycle):**

Οι κινητήρες διπλού καυσίμου ξεκίνησαν την παραγωγή του το 1987 και τεθήκαν σε λειτουργία το 2003. Είναι οι πιο διαδεδομένοι στους κινητήρες καύσης LNG. Ο πρώτος κινητήρας διπλού καυσίμου παραγγέλθηκε το 2002 ο τύπου 6L50DF της Wärtsilä για το πρώτο στον κόσμο δεξαμενόπλοιο LNG το **Gaz de France Energy**⁹⁵ το οποίο εγκατέστησε κινητήρα διπλού καυσίμου. Το επόμενο LNG Τάνκερ που εγκατέστησε κινητήρα διπλού καυσίμου ήταν το 150.000 m³ **Gaselys** και σύμφωνα με την Wärtsilä το 65% των νεότευκτων LNG tankers έχουν εξοπλιστεί με κινητήρες διπλού καυσίμου.

Αποτελεί κινητήρα αερίου με ανάφλεξη του Ντίζελ με ικανότητα χρήσης και των δυο καυσίμων (dual fuel). Αναπτύχθηκε και αυτός ο τύπος κινητήρα για χρήση σε χερσαίες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Όταν βρίσκεται στη λειτουργία αερίου, ο κινητήρας λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας Otto, όπου το άπαχο μίγμα καυσίμου τροφοδοτείται σε κυλίνδρους κατά τη διάρκεια της αναρρόφησης. Όταν βρίσκεται σε λειτουργία με Ντίζελ, ο κινητήρας δουλεύει σύμφωνα με τις αρχές των κινητήρων Ντίζελ. Η εναλλαγή μεταξύ καυσίμων μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την διακοπή του κινητήρα η την απώλεια ισχύος η ταχύτητας διότι ο κινητήρας έχει σχεδιαστεί να παράγει την ίδια έξοδο ισχύος ανεξαρτήτως καυσίμου. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου κινητήρα αποτέλεσε η ικανότητα χρήσης καυσίμων τόσο σε υγρή όσο και σε αέρια μορφή, έχει χαμηλές εκπομπές NO_x και σήμερα αποτελεί κυρίαρχο στη ναυτιλιακή βιομηχανία σε αυτούς τους τύπους κινητήρων. Τέτοιου τύπου κινητήρες έχει εξελίξει με μεγάλη επιτυχία η Φιλανδική εταιρεία **Wärtsilä**.

κινητήρας **High Pressure direct injection (Diesel cycle):**

Ο κινητήρας ντίζελ άμεσου ψεκασμού φυσικού αερίου πρωτοεμφανίστηκε στις βιομηχανίες υπεράκτιων κατασκευών όπου υπάρχει υψηλή ευελιξία καυσίμων και υψηλή πυκνότητα ισχύος⁹⁶. Οι απαιτήσεις για τη σταθερότητα αυτανάφλεξης του αερίου καυσίμου και οι αρχές λειτουργίας του Ντίζελ διασφαλίζουν ότι η καύση του φυσικού αερίου είναι πλήρης αλλά με κόστος τις υψηλές εκπομπές NO_x. Τέλος,

⁹⁴Rolls Royce, « *Diesel and gas engines-reliable power* » Πηγή: rolls-royce.com

⁹⁵ Wartsila encyclopedia of marine technology, « *LNG tanker Gaz de France energy* »

Πηγή: wartsila.com

⁹⁶ Πηγή: Science direct, « *Direct injection diesel engine* »

σήμερα η χρήση του στη ναυτιλιακή βιομηχανία παραμένει περιορισμένη αλλά ελπιδοφόρα.

Οι κινητήρες αερίου τύπου “Otto” χάρη στην ομοιογενή τους καύση έχουν γενικά υψηλή απόδοση αλλά και χαμηλές εκπομπές NO_x που συμμορφώνονται με τα Tier III του IMO χωρίς επεξεργασία των καυσαερίων. Ωστόσο απαιτούν μια συγκεκριμένη σταθερότητα του αερίου καυσίμου έναντι της αυτανάφλεξης και πρέπει να αναπτυχτούν προσεκτικά προκειμένου να περιορισθεί η ολίσθηση μεθανίου (methane slip) στο ελάχιστο.

Σε αντίθεση οι κινητήρες Diesel, έχουν καλύτερη ποιότητα καύσης και περιορίζουν το “χτύπημα το κινητήρα”, ενώ ταυτόχρονα έχουν λιγότερες εκπομπές άκαυτου αερίου (ολίσθηση μεθανίου- methane slip). Παράλληλα όμως απαιτούν υψηλή πίεση στο σύστημα του αερίου (300bar) και απαιτείται επεξεργασία των καυσαερίων σε συμμόρφωση με τα Tier III του IMO για τις εκπομπές NO_x.

3.3 Παραδείγματα εφαρμογής του LNG ως καύσιμο στη σύγχρονη ναυτιλία

Ο αριθμός των πλοίων που ναυπηγούνται με κινητήρες καύσης φυσικού αερίου και αυτών που υπόκεινται σε μετατροπές στους ήδη υπάρχοντες κινητήρες τους έχει αυξηθεί κατακόρυφα. Παρακάτω θα παρατεθούν ορισμένα παραδείγματα πλοίων σε εφαρμογή:

Το LNG εξελίσσεται σε δημοφιλές καύσιμο για τη ναυτιλία, με την Rolls Royce να είναι ο κορυφαίος κατασκευαστής κινητήρων για την πρόωση και την παραγωγή ηλεκτρικής πρόωσης.

Οι πρώτοι κινητήρες από την Rolls Royce ήταν η σειρά Bergen K- series⁹⁷. Παραδόθηκαν εκατοντάδες κινητήρες κυρίως για την παραγωγή ενέργειας στη χερσαία βιομηχανία με την δυνατότητα καύσης διαφόρων τύπων αερίων και παράλληλα προσφέροντας περιορισμό του φαινομένου της ολίσθησης μεθανίου σε σχέση με τους ανταγωνιστές της.

Είναι κινητήρες φτωχού μείγματος με απλό και στιβαρό σχεδιασμό και μειωμένο αριθμό εξαρτημάτων. Ένας κινητήρας του κύκλου Otto λειτουργεί με συμπίεση του μίγματος και ανάφλεξη από εξωτερική πηγή. Ένα πλούσιο μίγμα αέρα/αερίου σε θάλαμο προ-καύσης αναφλέγεται και σχηματίζει μια ισχυρή πηγή ανάφλεξης για το άπαχο μίγμα στον κύλινδρο για καύση χωρίς χτύπημα του κινητήρα. Αυτό επιτρέπει την αύξηση ισχύος του κυλίνδρου με υψηλή απόδοση και μειωμένες εκπομπές. Ο κινητήρας προσφέρει ισχύς 243-270KW ανά κύλινδρο και δυνατότητα διαμόρφωσης κινητήρων με 6,8,η 9 κυλίνδρους με ισχύς που εκτείνεται σε ένα εύρος από 1.460 μέχρι 2.430 KW.

⁹⁷ Πηγή:Rolls-Royce, «A new range of powerful medium speed engines »



Εικόνα 13: Rolls Royce Marine Builds Spark-Ignited LNG-Powered Engine
πηγή: <https://gcaptain.com/overcoming-methane-slip-rolls/>, Ανακτήθηκε (27/03/2021)

Επί του παρόντος ,οι κινητήρες της Rolls Royce ,βρίσκονται στην παραγωγή με παραγγελία για πλοία τύπου Ro-Ro ,Ferry boats,δεξαμενόπλοια, πλοία ακτοφυλακής και πλοία υποστήριξης υπεράκτιων κατασκευών.

Αυτή τη στιγμή αρκετά πλοία που εκτελούν τοπικούς πλόες στις δυτικές ακτές της Νορβηγίας χρησιμοποιούν τους κινητήρες αυτούς ,το ένα εκ αυτών είναι το επιβατηγό οχηματαγωγό Boknafjord⁹⁸ μήκους 129.9 μέτρων με ικανότητα μεταφοράς 242 αυτοκινήτων και 589 επιβατών. Το σκάφος διαθέτει 3 κινητήρες με εννέα κυλίνδρους έκαστος, με μέγιστη ταχύτητα 20 κόμβων δίνοντας όμως τη δυνατότητα λειτουργίας με μεταβλητή ταχύτητα για την μείωση της κατανάλωσης αλλά και των εκπομπών



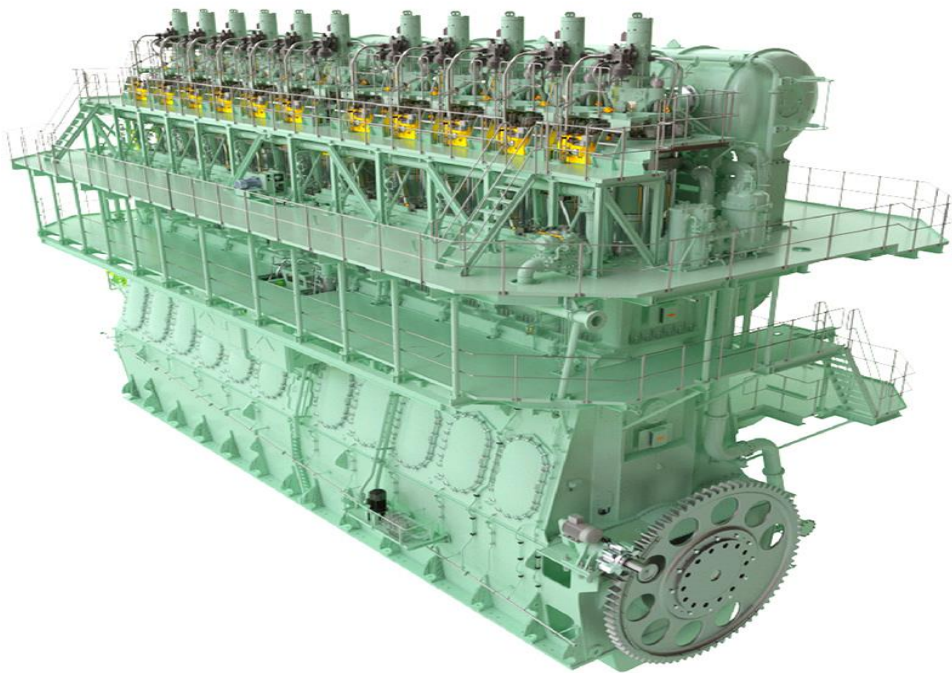
Εικόνα 14: Το Ro-Ro/ Passenger Boknafjord

Πηγή: <https://gcaptain.com/overcoming-methane-slip-rolls/>, Ανακτήθηκε (27/03/2021)

⁹⁸ Πηγή: G Captain « MF Boknafjord »

Επίσης ακόμα ένα παράδειγμα σημαντικής τεχνολογικής ανάπτυξη προηγμένων κινητήρων LNG αποτελεί και εξέλιξη του κινητήρα τύπου B&W MGE-GI Mk.2 από την Γερμανική εταιρεία κατασκευής ναυτιλιακών κινητήρων και συστημάτων πρόωσης MAN.

Η MAN έχει εξελίξει έναν δίχρονο κινητήρα διπλού καυσίμου ο οποίος βελτιώθηκε ως μια από τις πιο αξιόπιστες λύσεις της βιομηχανίας παρέχοντας ακόμα μεγαλύτερη λειτουργική απόδοση για τα εμπορικά πλοία σε σχέση με τον προηγούμενο ME-GI, αξίζει να σημειωθεί ότι η MAN Energy solutions αναφέρει ότι οι δίχρονοι της κινητήρες έχουν ξεπεράσει τις ένα εκατομμύριο ώρες λειτουργίας. Ο κινητήρας αυτός δεν απευθύνεται μόνο σε πλοία μεταφοράς LNG ,αλλά μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε πλοίο. Ο απλοποιημένος σχεδιασμός, η εξαιρετικά χαμηλή ολίσθηση μεθανίου σε συνδυασμό με τα βασικά αξιόπιστα χαρακτηριστικά του ME-GI είναι μερικοί από τους λόγους που βελτίωσαν την αξιοπιστία του κινητήρα παρέχοντας ταυτόχρονα μεγάλο βαθμό ευελιξίας για την τήρηση των κανονισμών για τις εκπομπές. Επιπλέον ο κινητήρας ελαχιστοποιεί το λειτουργικό κόστος του ,παρέχοντας την ίδια κορυφαία θερμική απόδοση, ανεξαρτήτως του καυσίμου που χρησιμοποιείται παρέχοντας ένα τεράστιο πλεονέκτημα ,ειδικά για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε μια αγορά όπου οι τιμές του πετρελαίου δεν είναι σταθερές και το LNG ως καύσιμο τείνει να καθιερωθεί.⁹⁹



Εικόνα 15: ο δίχρονος κινητήρας διπλού καυσίμου MAN B&W ME-GI Mk. 2

Πηγή: <https://www.man-es.com/marine/products/megi-mega/me-gi>, Ανακτήθηκε (20/03/2021)

⁹⁹ Πηγή:MAN energy solutions, « The world's most efficient LNG engine »

Η πρώτη παράδοση του συγκεκριμένου κινητήρα έχει προγραμματιστεί για το Μάιο του 2022. Η Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering έχει αναλάβει στα ναυπηγεία της Κορέας να κατασκευάσει τους κινητήρες για έξι πλοία εμπορευματοκιβωτίων οι οποίοι θα προσφέρουν την λειτουργία με LNG ή άλλο συμβατικό καύσιμο σύμφωνα με τα πρότυπα εκπομπών Tier III.

Όμως υπάρχουν εφαρμογές ήδη στη ναυτιλία, το LNG Τάνκερ **Creole Spirit**¹⁰⁰ με ικανότητα μεταφοράς 173.400 κυβικών μέτρων υγροποιημένου αερίου, το οποίο αποτελεί το πρώτο πλοίο LNG με κινητήρα ηλεκτρονικού ελέγχου έγχυσης αερίου (MEGI) και χαρακτηρίζεται ως το πιο αποτελεσματικό πλοίο LNG. Η τεχνολογία των δίχρονων κινητήρων που παρέχεται από την **MAN Diesel** και το σύστημα πρόωσης MEGI, οδηγεί σε μια βαθμιαία αλλαγή στη αποδοτικότητα των πλοίων LNG. Τα πιο αποδοτικά συστήματα πρόωσης **Dual Fuel Diesel Electric (DFDE)** έχουν ημερήσιες καταναλώσεις από 125 μέχρι 130 τόνους, ενώ τα πλοία MEGI έχουν κατανάλωση 100 τόνων.

Οι δίχρονες μηχανές όμως προσφέρουν αρκετά προτερήματα όπως η μείωση των αριθμών των κυλίνδρων που απαιτούν επισκευή, τη μείωση του μεγέθους των σύνθετων ηλεκτρικών συστημάτων και η εισαγωγή ενός συστήματος παθητικής μερικής επαναροής συμβάλλοντας έτσι στην αποτελεσματικότητα των πλοίων ΥΦΑ αλλά και στην μείωση του κόστους¹⁰¹.



Εικόνα 16: Το LNG Tanker Creole Spirit.

Πηγή: <https://www.marinetraffic.com/en/photos/of/ships/shipid:3656547/ships>, Ανακτήθηκε (21/03/2021)

Το MS Visborg της Rederi AB Gotland κέρδισε το βραβείο τεχνολογίας και σχεδίασης Shippax 2019¹⁰². Αποτελεί το μεγαλύτερο ferry που κινείται με LNG και το

¹⁰⁰ Πηγή: TEEKAY, « Creole spirit :first meg1 LNG vessel out for sea trials »

¹⁰¹ Πηγή: FLEX LNG, « 2 –Stroke propulsion »

¹⁰² Rebecca Moore, 14 Μαρτίου 2019, First LNG ropax built in China scoops Shippax award.

πρώτο επιβατηγό-οχηματαγωγό (Ro-pax) που κατασκευάστηκε στα κινέζικα ναυπηγεία GSI shipyard. Το πλοίο στις δοκιμές κατάφερε να αγγίξει τους 31 κόμβους πράγμα που αποτελεί κορυφαία επίδοση για πλοίο Ro-pax με κινητήρα LNG. Χρησιμοποιεί 7% λιγότερη ισχύ πρόωσης από άλλα σκάφη του στόλου και αποτελεί το ισχυρότερο του είδους του.

Το πλοίο είναι εξοπλισμένο με 4 κινητήρες διπλού καυσίμου 50DF της **Wärtsilä**, δυο κιβώτια ταχυτήτων, δυο ελεγχόμενες προπέλες βήματος (CPPs) με σύστημα τηλεχειρισμού, δυο πηδάλια Energozac, δυο bow thrusters, 4 σετ Wärtsilä 20DF βοηθητικά σετ καυσίμου, 2 συστήματα χειρισμού φυσικού αερίου LNGpac, ένα σύμπαγες σύστημα σιγαστήρα (CSS) και ένα σύστημα διαχείρισης θαλάσσιου έρματος (Aquarius UV) εγκεκριμένο από τον IMO¹⁰³.

Λειτουργώντας με LNG το 200 μέτρων πλοίο, θα συμμορφωθεί με τα πρότυπα του IMO Tier III σχετικά με τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO_x. Επιπλέον, θα εκπληρώσει και τους περιορισμούς εκπομπών θείου SO_x που απαιτούνται για την λειτουργία στις περιοχές SECA στη Βόρεια Ευρώπη, ενώ οι εκπομπές σωματιδίων περιορίζονται σχεδόν στο μηδέν. Τέλος το πλοίο θα πληροί τις απαιτήσεις του πρόσφατα συμφωνημένου κώδικα IGF του IMO σχετικά με την ασφάλεια των πλοίων που τροφοδοτούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο.



Εικόνα 17: Το Ro-pax Visborg.

Πηγή: <https://evac.com/news/reference/rederi-ab-gotland-high-speed-ropax-ferry/>, Ανακτήθηκε (21/03/2021)

Σύμφωνα με την naftemporiki.gr¹⁰⁴ παρατηρούνται γενικώς πολλές εφαρμογές κινητήρων με καύσιμο το LNG στην ακτοπλοΐα. Πολλά προηγμένα κράτη της Ευρώπης σπεύδουν να τροποποιήσουν ή να κατασκευάσουν νέα “πράσινα” και φιλικά προς το περιβάλλον πλοία.

¹⁰³ Πηγή: Wartsila, « *Worlds first high speed LNG fuelled Ro-Pax ferry to be powered by Wartsila* »

¹⁰⁴ Λάμπρος Καραγεώργος, 6 Μαΐου 2019, « *υστερεί στην κούρσα ανανέωσης του στόλου η ελληνική ακτοπλοΐα* », πηγή: naftemporiki.gr

Ένα ακόμα παράδειγμα αποτελούν τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία Huftaroy και Samnøy που κατασκευάστηκαν από την Tersan shipyards¹⁰⁵ για λογαριασμό της Νορβηγικής εταιρείας Torgatten Nord χρησιμοποιώντας το LNG ως καύσιμο .

Επίσης η ναυτιλιακή εταιρεία Havila Kyststruten έχει παραγγείλει τέσσερα LNG – Battery cruise ferries για την εξυπηρέτηση της γραμμής μεταξύ Bergen και Kirkenes για λογαριασμό του υπουργείου μεταφορών της Νορβηγίας.

Η ναυτιλιακή Rederi AB Gotland θα παραλάβει στη Σουηδία το δεύτερο ro-pax Thjelvar, αδελφό του Visborg με κινητήρα διπλού καυσίμου (LNG) από τα ναυπηγεία της Κίνας όπου θα εξυπηρετεί την γραμμή μεταξύ Visby, Gotland, Nynaeshamn και Oscarshamn στην ηπειρωτική Σουηδία.

Άλλη ναυτιλιακή της Σουηδίας ,η Kvarken Link έχει προχωρήσει σε παραγγελία επιβατηγού πλοίου με τροφοδοσία διπλού καυσίμου (LNG/βιοαέριο και μπαταρίες) το οποίο θα συνδέει τη Vaasa της Φινλανδίας με τη Umea της Σουηδίας με δυνατότητα μεταφοράς 1500 οχημάτων.

Τέλος ένα πλήθος ακόμα ναυτιλιακών εταιρειών έχει επιλέξει τους κινητήρες διπλού καυσίμου LNG όπως η Ιταλική Balearia η οποία κατασκευάζει δυο LNG Ferries. Η TT-LINE και η Φιλανδική Viking line έχει παραγγείλει στα κινέζικα ναυπηγεία Xiamen Shipbuilding Industry την κατασκευή του πρώτου πλοίου της που θα χρησιμοποιεί LNG συνδέοντας το Turku της Φινλανδίας με τα νησιά Åland και τη Στοκχόλμη.

3.4 Υποδομές bunkering LNG

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία της SEA LNG¹⁰⁶ (βιομηχανικός πολυτομεακός συνασπισμός με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο),αυτή τη στιγμή 175 πλοία με καύσιμο το LNG βρίσκονται σε λειτουργία επί του παρόντος και 203 νέα πλοία βρίσκονται υπό παραγγελία και άλλα 141 πλοία περιμένουν στα βιβλία παραγγελιών για να μετατρέψουν τους ήδη υπάρχοντες κινητήρες τους σε κινητήρες διπλού καυσίμου με LNG.

Οπότε με βάση την δεδομένη ζήτηση της ναυτιλιακής αγοράς για LNG ως καύσιμο, γεννάται η ανάγκη για δημιουργία έργα υποδομών τροφοδοσίας LNG καθώς και τεχνικής υποστήριξης αλλά ταυτόχρονα και η ανάγκη σχεδιασμό συστήματος για τη ναυπήγηση σκαφών τα οποία θα απασχολούνται με τον ανεφοδιασμό των εμπορικών πλοίων που έχουν μετατρέψει τους κινητήρες τους, με LNG.

Το LNG Bunkering είναι η πρακτική της παροχής καυσίμου υγροποιημένου φυσικού αερίου σε ένα πλοίο για δική του κατανάλωση. Το βασικό πλεονέκτημα του ΥΦΑ ως καυσίμου είναι η τεράστια μείωση του ρύπου που προκαλείται από την παραδοσιακή μέθοδο τροφοδοσίας πλοίων όπως το βαρύ μαζούτ, το MDO(Marine Fuel Oil) και MGO (Marine Gas Oil).

¹⁰⁵ Πηγή: Shippax, « HUFTARØY and SAMNØY: Two LNG-only ferries delivered in record time »

¹⁰⁶ SEA-LNG, « Global fleet-The number of vessels using LNG as a marine fuel growing rapidly », Πηγή: sea-lng.org

Ο ασφαλής ανεφοδιασμός των πλοίων που τροφοδοτούνται με ΥΦΑ και ακόμα η ασφαλής εκκένωση των καυσίμων ΥΦΑ από πλοία σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης είναι υψίστης σημασίας για τη προστασία της υποθήκευσης του φυσικού αερίου ως εμπορικά βιώσιμου και αποδεκτού τομέα.

Υπάρχουν πρότυπα και κανονισμοί για τον ανεφοδιασμό πλοίων με LNG και αναπτύσσονται από οργανισμούς όπως :

- SIGTTO (Society of International Gas Tankers and Terminal Operators)
- OCIMF (Oil Companies International Marine Forum)
- IMO (International Maritime Organization)
- ISO (International Organization for Standardization)
- EN(CEN-European Committee for Standardization)
- NFPA (National Fire Protection Association)

Αυτή τη στιγμή οι τρόποι ανεφοδιασμού των πλοίων με LNG είναι τρεις:

- Από πλοίο ανεφοδιασμού σε πλοίο (ship to ship LNG bunkering ship)

Μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταξύ δυο πλοίων. Το πλοίο ανεφοδιασμού LNG (bunkering vessel) και το πλοίο το οποίο θα παραλάβει καύσιμα. Η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε όταν τα πλοία βρίσκεται στ αγκυροβόλιο είτε το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι. Σε ορισμένες περιπτώσεις εφόσον δεν υπάρχουν περιορισμοί από τον λιμένα μπορεί η διαδικασία ανεφοδιασμού να συμβεί ταυτόχρονα με την διαδικασία φορτοεκφόρτωσης φορτίου.

Γενικά οι διαδικασίες είναι πανομοιότυπες με την διαδικασία πετρέλευσης όμως το καύσιμο LNG διαφέρει σε ιδιότητες με το συμβατικό βαρύ μαζούτ ή το LSFO που χρησιμοποιείται σε πλοία. Λόγω των κρυογονικών θερμοκρασιών που αποθηκεύεται και μεταφέρεται το LNG η διαδικασία ανεφοδιασμού του στα πλοία απαιτεί μια πιο ασφαλή προσέγγιση σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα. Για τον ανεφοδιασμό με LNG είναι σημαντικό να ακολουθούνται οι κανονισμοί που ορίζονται από τις τοπικές λιμενικές αρχές και πρέπει να λαμβάνονται οι σχετικές άδειες από αυτές. Ο κώδικας IGC ¹⁰⁷ του IMO πρέπει να ακολουθείται από το πλοίο ανεφοδιασμού που θα μεταφέρει το φυσικό αέριο και θα τροφοδοτήσει το πλοίο που θα παραλάβει τα καύσιμα. Οσον αφορά το πλοίο που θα προλάβει τα καύσιμα πρέπει να ακολουθήσει τις οδηγίες IGF¹⁰⁸ του IMO.

Πλεονεκτήματα:

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ανεφοδιασμού, η ευελιξία μεταφοράς καυσίμων από πλοίο σε πλοίο είναι υψηλή σε σχέση με τη χωρητικότητα και τη τοποθεσία του ανεφοδιασμού καυσίμων. Επειδή τα πλοία ανεφοδιασμού καυσίμων αγκυροβολούν παράλληλα με το πλοίο που θα παραλάβει τα καύσιμα ,αυτή η μέθοδος θα μπορούσε

¹⁰⁷ Πηγή: IGC code, <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGC-Code.aspx>

¹⁰⁸ Πηγή: IGF code, «*International code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels*»

να επιτρέψει τον ταυτόχρονο χειρισμό φορτίου, εάν φυσικά το επιτρέψουν οι αρμόδιες αρχές, όπως για παράδειγμα οι λιμενικές αρχές.

Μειονεκτήματα:

Το κυριότερο εμπόδιο για τα πλοία ανεφοδιασμού LNG αποτελεί το υψηλό επενδυτικό κόστος. Η βιομηχανία διστάζει να επενδύσει σε τέτοια σκάφη επειδή έχουν περιορισμένες εναλλακτικές δραστηριότητες όταν η ζήτηση αποθέματος ΥΦΑ θα είναι περιορισμένη. Ωστόσο πολλά κατασκευάζονται ή σχεδιάζονται για τις περιοχές :Zeebrugge, την Αμβέρσα, το Ρότερνταμ και το Άμστερνταμ. Επειδή τα πλοία ανεφοδιασμού LNG θεωρούνται πως μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία η είσοδος σε περιοχές Non- Petroleum Harbour απαιτεί έγκριση.¹⁰⁹



Εικόνα 18:LNG Bunkering ship to ship operation. Πηγή: <https://vpoglobal.com/2020/10/23/japan-commences-first-ship-to-ship-lng-bunkering-business/>, Ανακτήθηκε (22/03/2021)

- Από τερματικό σταθμό μέσω σταθερών εφοδιαστικών γραμμών της ξηράς σε πλοίο (LNG Terminal to ship via pipeline).

Ο τερματικός σταθμός αποτελεί μια εγκατάσταση αποθήκευσης φυσικού αερίου και ανεφοδιασμού των πλοίων με υγροποιημένο φυσικό αέριο μέσω σταθερών εφοδιαστικών γραμμών. Οι εγκαταστάσεις αυτές απαιτούν τον ελλιμενισμό του πλοίου στην ειδικά σχεδιασμένη προβλήτα συνδέσεως των σωληνώσεων.

Το ΥΦΑ ανεφοδιάζεται απευθείας από την δεξαμενή, είτε από μικρό σταθμό ή από τερματικό σταθμό εισαγωγής αερίου ή από τερματικό σταθμό εξαγωγής αερίου. Απαιτούνται αγωγοί από τον τερματικό σταθμό στην αποβάθρα ,εάν ο τερματικός σταθμός δε βρίσκεται απευθείας στο αγκυροβόλιο. Μέχρι στιγμής η δραστηριότητα ανεφοδιασμού ΥΦΑ μέσω αγωγών επικεντρώθηκε κυρίως στο βορρά όπως στην Νορβηγία στη Σκανδιναβία και στη Βαλτική. Ωστόσο, τέτοιες πρωτοβουλίες διεξάγονται και αλλού στην Ευρώπη όπως ο τερματικός σταθμός στην Αμβέρσα

¹⁰⁹ Swedish marine technology forum, « LNG ship to ship bunkering procedure »,Πηγή:smtf.se

όπου πραγματοποιήθηκε ο πρώτος ανεφοδιασμός LNG στις 23 Μαρτίου του 2021, καθώς και το έργο Poseidon Med II¹¹⁰ και άλλων πολλαπλών μελετών που επικεντρώνονται στα ελληνικά ύδατα.

Ο τρόπος αυτός ανεφοδιασμού πλοίων αποτελεί την ιδανική λύση καθώς η παράδοση γίνεται με ταχείς ρυθμούς μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες καυσίμου πράγμα που καθιστά την όλη διαδικασία εφικτή σε μικρό χρονικό διάστημα. Το μέγεθος των δεξαμενών των τερματικών σταθμών ποικίλει ανάλογα με την ζήτηση, με το μέγεθος αυτών να κυμαίνεται από 20m³ μέχρι 100.000m³.

Πλεονεκτήματα:

Αυτός ο τύπος ανεφοδιασμού αποτελεί μια καλή επιλογή για λιμάνια με σταθερή μακροπρόθεσμη ζήτηση καυσίμων ειδικά στην περίπτωση της συν χρήσης ΥΦΑ από άλλους καταναλωτές. Επειδή η διάταξη του αγωγού και του βραχίονα φόρτωσης είναι σταθερά, μπορεί να εγκατασταθεί ένας μεγαλύτερος εύκαμπτος σωλήνας για την αύξηση του ρυθμού ανεφοδιασμού (έως 3000 l/min), οδηγώντας σημαντικά σε μικρότερους χρόνους ανεφοδιασμού.

Μειονεκτήματα:

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι η προσπάθεια που χρειάζεται ένα πλοίο για να φτάσει στην θέση του τερματικού σταθμού ή του αγωγού. Επιπλέον, η περιορισμένη πρόσβαση στην προβλήτα για τα μεγαλύτερα πλοία που χρησιμοποιούν LNG για καύσιμο μπορεί επίσης να αποτελέσει εμπόδιο για τον ανεφοδιασμό¹¹¹.



Εικόνα 19: Ανεφοδιασμός πλοίου με LNG στον τερματικό σταθμό του Zeebrugge του Βελγίου

Πηγή: <https://www.vesselfinder.com/news/12577-Zeebrugge-LNG-Terminal-Coral-EnergICE-starts-regular-loading-operations>, Ανακτήθηκε (22/03/2021)

¹¹⁰ Πηγή: poseidonmed.eu, Poseidon med II « LNG bunkering project »

¹¹¹ Πηγή: Marine insight, « LNG bunkering procedure of ships explained »

- Από βυτιοφόρο όχημα σε πλοίο (Truck to ship LNG bunkering)

Αυτό συμβαίνει συνήθως σε περιοχές της βόρειας Ευρώπης όπως η Σουηδία και η Νορβηγία όπου πολλά πλοία των τοπικών ακτοπλοϊκών συνδέσεων των περιοχών αυτών χρησιμοποιούν το LNG για καύσιμο. Ο ανεφοδιασμός πραγματοποιείται μέσω βυτιοφόρου οχήματος το οποίο έχει αποθηκευμένο LNG. Το όχημα ενώ βρίσκεται στην στεριά, μέσω ειδικών σωληνώσεων μεταφέρει το φορτίο στο πλοίο το οποίο βρίσκεται δεμένο στην προβλήτα του λιμανιού. Αύτη η πρακτική είναι αποτελεσματική σε περιπτώσεις ανεφοδιασμού μικρών πλοίων καθώς τα μεγάλα εμπορικά πλοία απαιτούν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες και ο ανεφοδιασμός τους μέσω βυτιοφόρων οχημάτων θα καθίσταται ανέφικτος, χρονοβόρος και μη πρακτικός.

Πλεονεκτήματα:

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτό του τύπου ανεφοδιασμού καυσίμου LNG αποτελεί το περιορισμένο επενδυτικό κόστος για τους φορείς εκμετάλλευσης. Επίσης τα συγκεκριμένου τύπου φορτηγά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλους σκοπούς.

Μειονεκτήματα:

Το βασικό μειονέκτημα αυτού του τύπου ανεφοδιασμού για μεγάλους καταναλωτές αποτελεί η περιορισμένη χωρητικότητα των φορτηγών: περίπου 40-80 m³. Αυτή η μέθοδος ανεφοδιασμού είναι κατάλληλη μόνο για ποσότητες καυσίμων έως και 50 τόνους και επομένως είναι κατάλληλη για σκάφη που έχουν μικρές απαιτήσεις για καύσιμα. Λόγω του περιορισμένου ρυθμού ροής (περίπου 1000 l/min) η μεταφορά καυσίμων διαρκεί περίπου μια ώρα¹¹².



Εικόνα 19 :Truck to ship LNG bunkering operation.

Πηγή: <http://baltictransportjournal.com/index.php?id=307>, Ανακτήθηκε (23/03/2021)

¹¹² Πηγή: Marine insight, « LNG bunkering procedure of ships explained »

Ωστόσο είναι κ άλλοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πριν από τον ανεφοδιασμό με LNG. Για παράδειγμα ο καιρός είναι ένα στοιχείο που πρέπει να εξετάζεται από τον πλοίαρχο , αλλά και η παλίρροια στην περιοχή η το λιμάνι όπου θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία.

Η διαδικασία του ανεφοδιασμού με LNG ενδέχεται να ελλοχεύει διάφορους κινδύνους και προβλήματα:

Διαρροές και έκχυση στη θάλασσα: όπως κάθε καύσιμο που χρησιμοποιείται στο πλοίο ,οι πιθανότητες διαρροής η έκχυσης του καυσίμου στη θάλασσα είναι υπαρκτές καθώς το καύσιμο μεταφέρεται μέσω φορητών σωληνώσεων και συνδέσεων οι οποίες μπορεί να χαλαρώσουν να υπάρξει ρωγμή, φθορά η ακόμα και να σπάσουν.

Κρυογονικοί κίνδυνοι: Το καύσιμο LNG αποθηκεύεται και μεταφέρεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία -162 βαθμών κελσίου, όπου σε περίπτωση που υπάρξει διαρροή και έρθει σε επαφή με τον άνθρωπο ,θα οδηγήσει σε κρυοπαγήματα και κρυογονικά εγκαύματα στο ανθρώπινο δέρμα.

Κίνδυνοι πυρκαγιάς και έκρηξης LNG: Το LNG μεταφέρεται σε υγρή κατάσταση έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η μεταφορά αφενός και αφετέρου να μην υπάρξει οποιαδήποτε ανάφλεξη ,διότι αναφλέγετε μόνο όταν είναι σε αέρια κατάσταση και υπό προϋποθέσεις. Το καύσιμο LNG σχετίζεται με τους παρακάτω κινδύνους πυρκαγιάς:

Flash fire: εμφανίζεται όταν ένα σύννεφο αερίου καίγεται σε ανοιχτή περιοχή χωρίς αύξηση της πίεσης.

Jet fire: Αυτό συμβαίνει όταν το LNG βγαίνει με υψηλή πίεση από μια δεξαμενή υπό πίεση. Καθώς η ταχύτητα αυτού του είδους αναφλεγόμενου καυσίμου είναι υψηλή, μπορεί να καταστρέψει τις κατασκευές με τις οποίες συνδέεται.

Pool fire: αυτό συμβαίνει όταν το LNG που έχει εκχυθεί εξατμίζεται σε αέριο και πυροδοτείται είτε στην ξηρά είτε στο νερό.

Bleve-boiling liquid expanding vapor explosion: είναι μια επικίνδυνη κατάσταση που συμβαίνει εάν το LNG σε μια κλειστή δεξαμενή θερμανθεί, η οποιαδήποτε ρωγμή στην κατασκευή θα οδηγήσει σε έκρηξη. Ωστόσο στις δεξαμενές υπάρχουν μέτρα ασφαλείας έτσι, τοποθετούνται βαλβίδες εκτόνωσης της πίεσης η οποία βοηθάει στην αποφυγή της ύπαρξης υπερβολικής πίεσης των δεξαμενών και στην πρόληψη δημιουργίας ρωγμών η ζημιών.

Γρήγορη μετάβαση φάσης (RPT-Rapid Phase Transition): Είναι όταν το LNG έρχεται σε επαφή με άλλη πηγή που οδηγεί σε μεταφορά θερμότητας , η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μετάβαση φάσης από υγρό σε αέριο (ατμό) με ταχύτερο ρυθμό.

Φραγή γραμμής ανεφοδιασμού: οι γραμμές ανεφοδιασμού ανοίγουν στην ατμόσφαιρα και εάν περιέχει υγρασία, αλάτι ή CO₂ κατά τη διάρκεια ανεφοδιασμού ,θα ψυχτούν γρήγορα και θα σχηματίσουν πάγο πράγμα που θα εμποδίσει τη διέλευση του καυσίμου μέσω των σωληνώσεων.

Παγιδευμένο ΥΦΑ: Μόλις τελειώσει η διαδικασία του ανεφοδιασμού υπάρχει περίπτωση κάποια ποσότητα ΥΦΑ να έχει μείνει παγιδευμένη μέσα στους αγωγούς, η

οποία θα μετατραπεί σε ατμό ο οποίος με τη σειρά του θα οδηγήσει σε αύξηση της πίεσης μέσα στις σωληνώσεις δημιουργώντας καταστροφικές συνέπειες.

Ανατροπή: η ανατροπή συμβαίνει λόγω της ταχείας απελευθέρωσης ατμών LNG από τις δεξαμενές μεταφοράς που προκαλείται από την διαστρωμάτωση .Η διαστρωμάτωση προκύπτει όταν υπάρχουν δυο ξεχωριστά στρώματα διαφορετικής πυκνότητας LNG στη δεξαμενή, καθώς μπορεί να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας στο επάνω μέρος της δεξαμενής σε σχέση με το κατώτερο μέρος .

Έλλειψη οξυγόνου: Εάν εκχυθεί LNG σε περιορισμένο χώρο μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση του οξυγόνου καθώς θα εκτοπίσει και θα εξατμίσει τον αέρα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα στον περιορισμένο αυτόν χώρο.

Ως εκ τούτου ,το πλήρωμα που χειρίζεται τον ανεφοδιασμό πρέπει να έχει επίγνωση των διαφορετικών κινδύνων που σχετίζονται με αυτό και πρέπει να έχει λεπτομερείς οδηγίες σχετικά με την εκπαίδευση και τις λίστες ελέγχου για την διαδικασία που πρέπει να περιλαμβάνει την ευθύνη του πληρώματος σε περίπτωση που συμβεί κάτι τέτοιο.

Αυτές οι οδηγίες πρέπει να διατηρούνται και να είναι εμφανής και άμεσα διαθέσιμες σε κάθε ενδιαφερόμενο ανά πάσα στιγμή και το πλήρωμα πρέπει να είναι εξοικειωμένο με το περιεχόμενο του¹¹³.

Η συσκευή τερματισμού ανάγκης (emergency shutdown-ESD) ,ή ο διακόπτης πρέπει να υπάρχει και στα δυο πλοία (πλοίο ανεφοδιασμού και πλοίο παραλαβής) και το πλήρωμα πρέπει να το χρησιμοποιεί όταν:

Όταν υπάρχει κάποιος κίνδυνος που εξηγείται παρακάτω:

- όταν υπάρχει οποιαδήποτε απώλεια ισχύος του πλοίου
- όταν υπάρχει απώλεια επικοινωνίας μεταξύ των πλοίων η των μελών
- όταν οι κάβοι (mooring lines) είναι χαλαροί
- όταν ο καιρός επιδεινώνεται ή υπάρχει θαλασσοταραχή

Η τελευταία επισκόπηση της αγοράς από την SEA LNG¹¹⁴ έδειξε ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να παραδοθεί σε πλοία από περίπου 93 λιμάνια ανά τον κόσμο και άλλα 54 να βρίσκονται υπό κατασκευή και είναι έτοιμα να διευκολύνουν τις διαδικασίες ανεφοδιασμού αλλά και υποθήκευσης καυσίμων για παροχή στα πλοία που χρησιμοποιούν LNG ως καύσιμο.

Σε ότι αφορά τον ανεφοδιασμό σε καύσιμα υπάρχει αυτή τη στιγμή η δυνατότητα ανεφοδιασμού πλοίων σε πολλές τοποθεσίες σε όλο το κόσμο, συμπεριλαμβανομένων εννέα από τα δέκα κορυφαία λιμάνια στον κόσμο.

Το καύσιμο LNG είναι ήδη διαθέσιμο στο λιμάνι του Ρότερνταμ, στο Zeebrugge ,του Βελγίου καθώς και στο λιμάνι της Βαρκελώνης και ο αριθμός των λιμανιών και τερματικών σταθμών που παρέχουν την δυνατότητα ανεφοδιασμού στα πλοία ολοένα και αυξάνεται.

¹¹³Πηγή: Marine insight, « LNG bunkering procedure of ships explained »

¹¹⁴ Πηγή: LNG industry, « LNG bunkering market: the future of marine transportation »

Στις αρχές του 2019 υπήρχαν μόνο έξι πλοία ανεφοδιασμού LNG (bunkering vessels) σε όλο τον κόσμο. Από τον Φεβρουάριο του 2020 υπάρχουν 12 σε λειτουργία με άλλα 27 να βρίσκονται υπό παραγγελία.

Σύμφωνα με το ειδησεογραφικό πρακτορείο Reuters¹¹⁵, οι διαδικασίες ανεφοδιασμού πλοίων με LNG τριπλασιάστηκαν κατά το έτος 2019, με συνολικά 195 συνολικές επιχειρήσεις σε ισπανικά λιμάνια παραδίδοντας συνολικά 81.704m³ LNG, σε σύγκριση με τις μόλις 135 επιχειρήσεις ανεφοδιασμού του προηγούμενου έτους. Η αυξητική στάση αυτή συνεχίστηκε και το 2020 καθώς μόνο μέχρι τον Ιανουάριο είχαν ολοκληρωθεί 35 επιχειρήσεις ανεφοδιασμού παραδίδοντας συνολικά 12.055 m³ LNG.

Η Ισπανία διαθέτει 7 τερματικούς σταθμούς ΥΦΑ, περισσότερους από κάθε άλλη ευρωπαϊκή χώρα. Όλοι αυτοί οι τερματικοί σταθμοί έχουν προσαρμοστεί έτσι ώστε να επιτρέπουν υπηρεσίες μικρής κλίμακας αλλά και ανεφοδιασμού.

3.5 Σύγκριση LNG και συμβατικών επιλογών

Το υδροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί ένα ασφαλές, ώριμο και εμπορικά βιώσιμο καύσιμο πλοίων υπερτερώντας σε σχέση με το πετρέλαιο στην απόδοση εκπομπών των ειδικών περιοχών προσφέροντας παράλληλα σημαντικά οφέλη μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και δείχνοντας τον δρόμο σε μια ναυτιλία μηδενικών εκπομπών.

Παρακάτω παρατίθεται μελέτη της SEALNG¹¹⁶ και αναλύεται το LNG ως καύσιμο και η ευκαιρία για επένδυση σε αυτό έναντι του πετρελαίου ή των Scrubber.

Αυτή η μελέτη δείχνει σαφώς ότι το ΥΦΑ ως καύσιμο πλοίων προσφέρει την καλύτερη απόδοση της επένδυσης σε καθαρή παρούσα αξία-ΚΠΑ (Net Present Value- NPV) σε χρονικό εύρος δεκαετίας.

1. Καλύτερη απόδοση επένδυσης.

Το LNG προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση επένδυσης από τα open loop scrubber (πλυντηρίδες ανοιχτού τύπου) σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις έκτος, των κοινών καυσίμων για πλοία 8000 CEU (Car Equivalent Unit) για εμπόριο στον Ειρηνικό ωκεανό και για πλοία 6500CEU για εμπόριο στον ατλαντικό ωκεανό. Για να επιτύχουν μεγαλύτερες αποδόσεις επενδύσεων τα παραδείγματα με τα κοινά καύσιμα υπολογίζεται ότι πρέπει να έχουν εγκατασταθεί στα πλοία αυτά scrubbers και να λειτουργούν από τις αρχές του 2020.

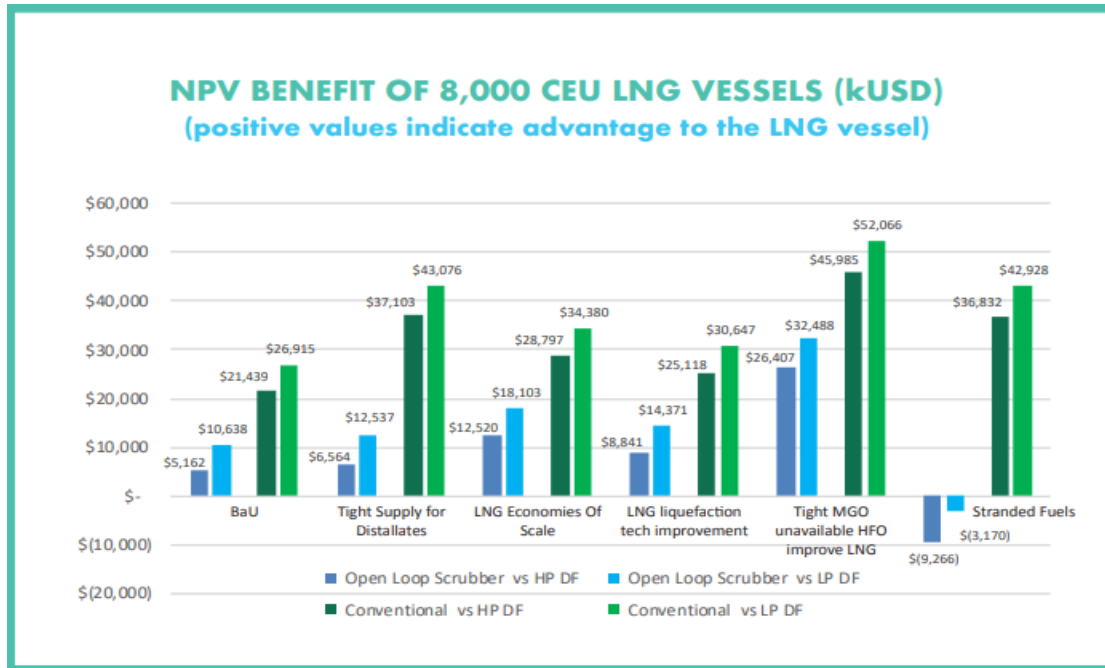
Το LNG που χρησιμοποιούν ως καύσιμο οι κινητήρες DF παρέχουν σημαντική εξοικονόμηση NPV έναντι ενός scrubber, διαφορά που κυμαίνεται από 5,1 εκατομμύρια δολάρια έως 32.5 εκατομμύρια δολάρια σε όλες τις περιπτώσεις.

¹¹⁵Πηγή: Reuters, « LNG bunkering operations triple in Spain in 2019 »

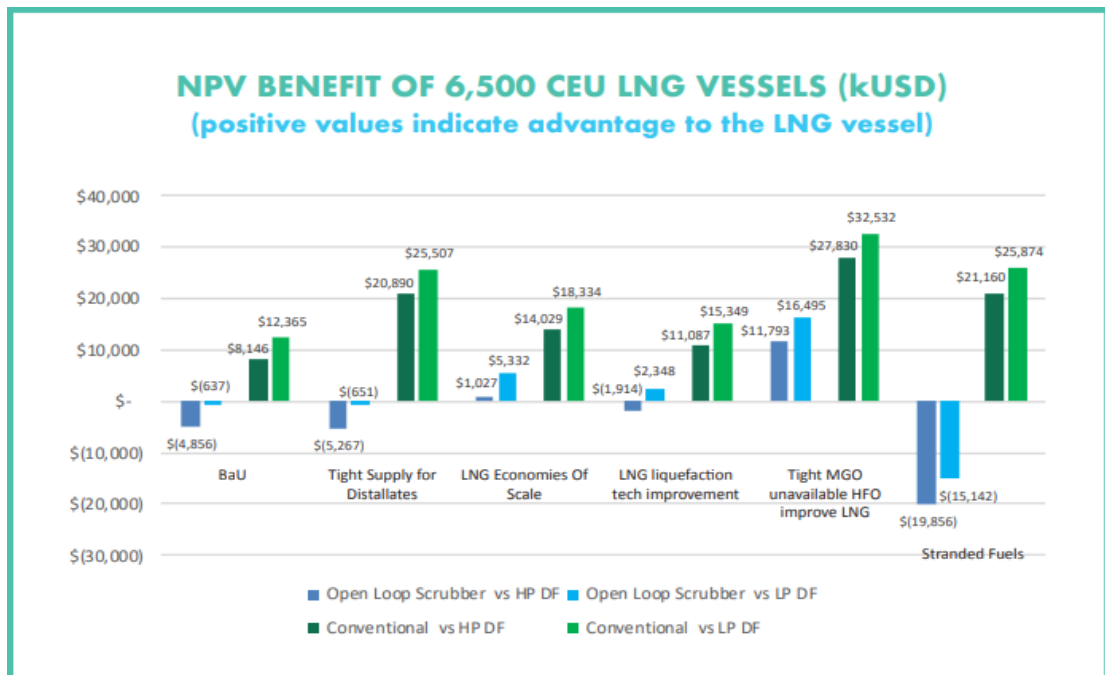
¹¹⁶ Πηγή: SEA-LNG study, « LNG as a marine fuel-the investment opportunity »

οι περιπτώσεις μεταξύ των οποίων πραγματοποιείται σύγκριση είναι:

- Open loop scrubber versus high pressure LNG dual fuel engine
- Open loop scrubber versus low pressure LNG dual fuel engine
- Conventional engine versus high pressure LNG dual fuel engine
- Conventional engine versus low pressure LNG dual fuel engine



Εικόνα 20 Το κέρδος Καθαρής Παρούσας Αξίας(NPV) των 8.000 CEU πλοίων με καύσιμο LNG. Πηγή: SEA | LNG, Ανακτήθηκε 24/03/2021)



Εικόνα 21: Το κέρδος Καθαρής Παρούσας Αξίας(NPV) των 6.500 CEU πλοίων με καύσιμο LNG.

Πηγή: SEA | LNG, Ανακτήθηκε 24/03/2021)

2. Μειωμένο εμπόδιο CAPEX.

Ιστορικά οι υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) για τους κινητήρες LNG και τις δεξαμενές καυσίμων αποτελούσε σημαντικό εμπόδιο που έπρεπε να ξεπεραστεί. Ωστόσο, πρόσφατα οι τιμές των ναυπηγείων δείχνουν σημαντική μείωση ασφάλιστρων πάνω σε παραδοσιακά LNG carriers. Η εμπειρία κατασκευής νέων πλοίων LNG και η τεχνολογική εξέλιξη οδήγησαν στα ναυπηγεία αλλά και σε αποδοτικότερα κέρδη. Αυτό μαζί με τις τρέχουσες συνθήκες της ναυπηγικής αγοράς αποτελούν ευνοϊκές συνθήκες για τους επιδόξους αγοραστές νεότευκτων πλοίων. Οι πρόσφατες αλλαγές στην κατασκευαστική πολιτική ώστε να δοθεί βάση στην εξέλιξη των κινητήρων Low Pressure Dual Fuel, έχει οδηγήσει σε αυξημένο ανταγωνισμό μειώνοντας τις δαπάνες CAPEX για LNG κινητήρες καθώς και την βελτίωση των εκπομπών GHG.

3. Ανταγωνιστικό κόστος ενέργειας.

Τα καύσιμα αγοράζονται παραδοσιακά σε δολάρια ανά τόνο, ωστόσο η συναλλαγή αφορά πραγματικά την αγορά ενέργειας. Το ΥΦΑ έχει χαμηλότερο ενεργειακό κόστος ανά τόνο. Σε τιμές έναντι του βαρέως μαζούτ (HFO) η διαφορά είναι σχεδόν στο 22% επειδή το ΥΦΑ περιέχει περισσότερη ενέργεια για μια δεδομένη μάζα. Το LNG ως καύσιμο πλοίων παρέχει 49,32GJ ενέργειας ανά τόνο, ενώ το HFO παρέχει μόνο 40,5GJ ενέργειας ανά τόνο σε μια βάση χαμηλότερης τιμής θέρμανσης (lower heating value-LHV). Επομένως, 2000 τόνοι ΥΦΑ παρέχουν την ίδια ποσότητα ενέργειας με 2.436 τόνους HFO. Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη θετική επίδραση αυτής της πρόσθετης ενεργειακής διαθεσιμότητας από το ΥΦΑ στις επενδύσεις.

4. Ενισχυμένη περιβαλλοντική επίδοση

Το ΥΦΑ πληροί κάθε τρέχουσα συμμόρφωση για τα καύσιμα πλοίων για τις απαιτήσεις των εκπομπών και το περιεχόμενο αυτών. Μια παράλληλη έρευνα της SEALNG ανέδειξε ότι το LNG ως καύσιμο έχει μειωμένες GHG εκπομπές έως και 21% σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο σε ολόκληρο τον κύκλο καυσίμου (well to wake –από την παραγωγή καυσίμων έως την κατανάλωση των καυσίμων από την λειτουργία του πλοίου).

Το ορυκτό καύσιμο LNG αποτελεί ένα μελλοντικό καύσιμο γεφύρωσης με το Βίο-LNG ή το συνθετικό LNG τα οποία είναι πλήρως εναλλάξιμα. Αυτό χρησιμεύει επίσης για την προστασία των τρεχόντων επενδύσεων και στις υποδομές LNG. Επίσης αυτά τα καύσιμα δείχνουν το δρόμο για το μέλλον διότι για παράδειγμα ένα μίγμα της τάξεως του 20% από βίο LNG μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά περαιτέρω 13% σε σύγκριση με τα 100% ορυκτής προέλευσης καύσιμα. Η μελέτη επιβεβαίωσε ότι οι εκπομπές άλλων τοξικών αέριων ρύπων, όπως τα οξείδια του θείου (Sox) και σωματίδια (PM), πλησιάζουν το μηδέν, όταν χρησιμοποιούν το LNG σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Επιπλέον άζωτο, οξείδια (Nox) μπορούν να μειωθούν κατά 95% με καύσιμο το ΥΦΑ.

Η βελτίωση της περιφερειακής ποιότητας του αέρα και της ανθρώπινης υγείας είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε πολυσύχναστα λιμάνια και παράκτιες περιοχές με υψηλές πληθυσμιακές συγκεντρώσεις όπου αυτά τα πλοία τύπου PCTC ξοδεύουν σημαντικό αριθμό ημερών λειτουργίας κάθε μήνα.

5. Πιο οικονομικά αποτελεσματικότερα μακροχρόνια μέσα συμμόρφωσης με το 2020 Sulphur cap.

Αυτή η μελέτη δείχνει ότι το ΥΦΑ ως καύσιμο πλοίων παρέχει μεγαλύτερη απόδοση σχετικά με την επένδυση σε νέα PCTC¹¹⁷ έναντι των Scrubbers (πλυντηρίδες). Υπήρξε μια πρόβλεψη για μείωση των τιμών του HFO και με αυτόν τον τρόπο οι ενδιαφερόμενοι έσπευσαν να προχωρήσουν σε παραγγελία ενός μεγάλου αριθμού scrubber με σκοπό να επωφεληθούν από την μείωση της τιμής του πετρελαίου. Όμως το “παράθυρο” οφέλους από το πετρέλαιο αναμένεται να κλείσει στο επόμενο διάστημα εξισορροπώντας έτσι την μετάβαση της αγοράς στα εναλλακτικά καύσιμα. Όσο το CAPEX για το LNG πέφτει, για τα Scrubbers ανεβαίνει διότι η ζήτηση ξεπερνά την προσφορά σε συνάρτηση με το χρόνο που απαιτείται από τα ναυπηγεία για την έγκαιρη εγκατάσταση. Επομένως το χρονικό περιθώριο οφέλους από την μείωση των τιμών του πετρελαίου ελαχιστοποιείται¹¹⁸.

6. Η λειτουργία των scrubber’s είναι σημαντικά ακριβότερη από ότι έχει αναφερθεί.

παρά τις σημαντικές κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX) που απαιτεί η εγκατάσταση LNG έναντι της λύσης των open loop scrubber των από 7.6 εκατομμυρίων δολαρίων (6.500 CEU) έως 8.1 εκατομμυρίων δολαρίων (8.000 CEU). Οι λειτουργικές δαπάνες του καυσίμου LNG (OPEX) παρέχουν επαρκή εξοικονόμηση κόστους και υπερτερούν στη διαφορά CAPEX.

Επίσης θεσπίστηκαν περεταίρω περιορισμοί που απαγορεύουν τα scrubbers ανοιχτού τύπου σε πολλά λιμάνια ανά τον κόσμο¹¹⁹:

Το λιμάνι του Μπαχρέιν, όλα τα λιμάνια του Βελγίου, όλα τα λιμάνια του Μπελίζ, ορισμένα λιμάνια της Βραζιλίας, η Κίνα, η Αίγυπτος, το Πορβό της Φιλανδίας, το λιμάνι της Μασσαλίας, της Ναντ, της Χάβρης, της Λα Ροσέλ, της Ρουέν, του Μπορντώ και στις Κάννες της Γαλλίας, τα λιμάνια της Γερμανίας, το λιμάνι της Γκάνας, το λιμάνι του Γιβραλτάρ, το λιμάνι του Δουβλίνου, του Κορκ, του Γουότερφορντ της Ιρλανδίας, όλα τα λιμάνια της Κέννας, όλα τα λιμάνια της Μαλαισίας, όλα τα λιμάνια του Μαυρίκιου, η ευρύτερη περιοχή των φιόρδ της Νορβηγίας, στα χωρικά ύδατα του Ομάν, στο κανάλι του Παναμά, στο Καράτσι και το Κασίμ του Πακιστάν, όλα τα λιμάνια της Πορτογαλίας, στο Κατάρ, τη Σαουδική Αραβία, τη Σιγκαπούρη, όλα τα λιμάνια της Τουρκίας, τη Χαβάη, το Κονέκτικατ, το Σιάτλ, τη Καλιφόρνια της Αμερικής, ορισμένα λιμάνια της Σουηδίας, της Αγγλίας και της Σκωτίας.

Τα πλοία τα οποία διαθέτουν αυτού του τύπου scrubber θα πρέπει να προβούν σε εναλλαγή καυσίμου χρησιμοποιώντας το δαπανηρό marine gas oil όταν εισέρχονται στις περιοχές αυτές.

¹¹⁷ Pure Car Truck Carrier

¹¹⁸ Πηγή: SEA-LNG study, « LNG as a marine fuel-the investment opportunity »

¹¹⁹ Πηγή: North P&I club « Countries and ports where restrictions on EGCS discharges apply »

7. Το κόστος του LNG είναι σταθερό

Το LNG ως καύσιμο είναι λιγότερο άστατο σε σχέση με το παραδοσιακό καύσιμο των πλοίων ,το πετρέλαιο όσον αφορά την τιμή του. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια διακύμανση στην τιμή του ΥΦΑ λόγω του φυσικού αερίου (Το LNG αποτελείται από 25% φυσικό αέριο),μαζί με ένα συγκεκριμένο κόστος που απαιτείται για την υγροποίηση του LNG και την επαναεριοποίηση και όλα αυτά σε συνδυασμό με το κόστος μεταφοράς του το οποίο μπορεί να συμβληθεί μακροπρόθεσμα (75%).

Συνεπώς , η τιμολόγηση του ΥΦΑ είναι πιο σταθερή σε σχέση με τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα τα οποία παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην τιμολόγησή τους αντικατοπτρίζοντας την αστάθεια των τιμών του αργού πετρελαίου. Αυτή η κύρια διαφορά είναι ο λόγος για τον οποίο το LNG αποτελεί ένα μικρότερο μέρος της δομής των τιμών και της διύλισης ωστόσο και η διανομή παίζει δυσανάλογα μεγάλο ρόλο. Ένας αιώνας βελτιώσεων των υποδομών της διύλισης οδήγησε σε μια καθοδική πορεία των τιμών επομένως, το κόστος του LNG σαν καύσιμο παραμένει πιο σταθερό στην τιμολόγηση του από τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο.

Για τους πλοιοκτήτες και τους φορείς εκμετάλλευσης , η έννοια ότι η τιμολόγηση του LNG είναι σχετικά σταθερή ,δημιουργεί έναν τεράστιο θετικό προϋπολογισμό και επιχειρηματικό πλεονέκτημα. Δεδομένου του υψηλού ποσοστού OPEX που απαιτεί το LNG,έχοντας αυτήν την τιμολόγηση σχετικά σταθερή και μακροχρόνια αποτελεί ένα στρατηγικό πλεονέκτημα για την ναυτιλιακή εταιρεία¹²⁰.

¹²⁰Πηγή: SEA-LNG study, « *LNG as a marine fuel-the investment opportunity* »

Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Τσόγκας Ιωάννης , «Πετρέλαιο και ναυτιλιακά καύσιμα» Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στη Ναυτιλία. Πειραιάς, Νοέμβριος 2013.

Λαζάρου Κλιάνη, Ιωάννη Νικολού, Ιωάννη Σιδέρη, «Μηχανές εσωτερικής καύσης », τόμος πρώτος, Β έκδοση, , Αθήνα 2017

Θεοδωρόπουλος, Παύλος Παπαθεοφάνους, Φελλένια Σιδέρη «Χημεία Γ΄ γυμνασίου »,Αθήνα 2015

Κωνσταντίνος Τσακαλάλης ,Ιωάννης Ιωακείμ, «Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα »,2005

Στέλιος Λοδάκης ,Δημήτρης Γάκης, Δημήτρης Θεοδωρόπουλος, Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος, Αναστάσιος Κάλλης, « Χημεία Β΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας», Αθήνα 2015

Γεώργιος Βάρβογλης, « Οργανική Χημεία Γ Λυκείου»,20^η έκδοση,1980

Monique B. Vermeire, «Everything you need to know about marine fuels», Chevron Global Marine Products, Ιούνιος 2012

Βασδέκης Ν. Σταύρος, «Ετυμολογικό λεξικό της Ελληνικής γλώσσας», Σελίδα 24, Αυτοεκδότης

ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Wikipedia, « Βιοντίζελ», Ανακτήθηκε (03/03/2021), Πηγή:
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB>

Marquard & Bahls, « Heavy fuel oil-HFO», Ανακτήθηκε (29/04/2021), Πηγή:
<https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/heavy-fuel-oil-hfo.html>

Marquard & Bahls, « Marine Gasoil-MGO», Ανακτήθηκε (29/04/2021), Πηγή:
<https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-gasoil-mgo.html>

Marquard & Bahls, « Marine Diesel oil-MDO», Ανακτήθηκε (29/04/2021), Πηγή:
<https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-diesel-oil-mdo-intermediate-fuel-oil-ifo.html>

Marquard & Bahls, « *Ultra-Low Sulphur Fuel Oil-ULSFO*», Ανακτήθηκε (29/04/2021), Πηγή: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/heavy-fuel-oil-hfo.html>

Marquard & Bahls, « *Low Sulphur Fuel Oil-LSFO*», Ανακτήθηκε (29/04/2021), Πηγή: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/heavy-fuel-oil-hfo.html>

DNV GL, Stine Mundual, « *Scrubbers at a glance*», Ανακτήθηκε (04/03/2021), Πηγή: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Scrubbers-at-a-glance.html>

Μηνάς Τσαμόπουλος, « *Ναυμαχίες δισεκατομμυρίων στη ναυτιλία για τα scrubbers*», 21 Οκτωβρίου 2020, Ανακτήθηκε(01/03/2021), Πηγή: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/navmachies-disekatommirion-sti-naftilia-gia-ta-scrubbers/>

Θανάσης Βαλαβανίδης - Κωνσταντίνος Ευσταθίου, « *Τριοξείδιο του θείου*», Ανακτήθηκε (01/03/2021), Πηγή: http://195.134.76.37/chemicals/chem_H2SO4.htm

Wiki dot, « *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης* », Ανακτήθηκε (01/03/2021), Πηγή: <http://iceal.wikidot.com/mek-vasi>

Ινστιτούτο ιστορίας εμπορικής ναυτιλίας, « *Ιστορία της ναυτιλίας*», Ανακτήθηκε (02/003/2021), Πηγή: <http://museum.yen.gr/History.htm>

Wikipedia, «*καύσιμα πλοίου*», Ανακτήθηκε (02/03/2021) Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1_%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%AF%CE%BF%CF%85

Wikipedia, « *Ατμοστρόβιλος*», Ανακτήθηκε (02/03/2021) Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%84%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%84%CF%81%CF%8C%CE%B2%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CF%82>

Wikipedia, « *Ρούντολφ Ντίζελ*», Ανακτήθηκε (02/03/2021) Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CF%8D%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BB%CF%86_%CE%9D%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB

Wikipedia, « *κινητήρας Ντίζελ*», Ανακτήθηκε (02/03/2021), Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82_%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB

Θανάσης Βαλαβανίδης-Κωνσταντίνος Ευσταθίου, Η χημική ένωση του μήνα, «Διοξείδιο του άνθρακα », Ανακτήθηκε (02/03/2021), Πηγή: http://195.134.76.37/chemicals/chem_carbondioxide.htm

Wikipedia, « Διοξείδιο του θείου», Ανακτήθηκε (03/03/2021), Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%B8%CE%B5%CE%AF%CE%BF%CF%85>

Wikipedia, « Διοξείδιο του αζώτου», Ανακτήθηκε (03/03/2021), Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%B1%CE%B6%CF%8E%CF%84%CE%BF%CF%85>

Wikipedia, « Μονοξείδιο του άνθρακα», Ανακτήθηκε (03/03/2021), Πηγή: <https://el.Wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1>

Wikipedia, « Διοξείδιο του άνθρακα», Ανακτήθηκε (03/03/2021), Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1>

Ship insight, «*The different types of fuels for ships*», 21 Οκτωβρίου 2020, Ανακτήθηκε (04/03/2021), Πηγή: <https://shipinsight.com/articles/the-different-types-of-fuels-for-ships/>

Online Browsing Platform (OBP), « Petroleum products -Fuels (class F) - Specifications of marine fuels», Ανακτήθηκε (06/03/2021), Πηγή: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8217:ed-6:v1:en>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Αριστοτέλης Αλεξόπουλος, Νικόλαος Φουρναράκης, «Διεθνείς κανονισμοί – ναυτιλιακή πολιτική και δίκαιο της θάλασσας » Γ' Έκδοση, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού, Αθήνα 2019.

Αντωνάτος Γεώργιος, Πολυτεχνείο Κρήτης «*Τεχνολογίες διαχείρισης στερεών υπολειμμάτων πετρελαίου σε διυλιστήριο* », Χανιά 2014

Farhan Mouhasien AL Fartoosi, «*The impact of maritime oil pollution in the marine Environment* », World maritime university, Sweden 2013

Μ. Κροκίδα, Μηχανική Φυσικών Διεργασιών ΙΙ, «Κλασματική απόσταξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2017

ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

European Environment Agency, «Ατμοσφαιρική ρύπανση», Ανακτήθηκε (06/03/2021), Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>

DNV, «Sulphur cap 2020 by DNV», Ανακτήθηκε (05/03/2021), Πηγή: <https://www.dnv.com/maritime/global-sulphur-cap/FAQ.html>

European Environment Agency, «Air pollutant emissions data viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2018», Ανακτήθηκε (06/03/2021), Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-pollutant-emissions-data-viewer-3>

IMO, «MEPC 75», Ανακτήθηκε (06/03/2021), Πηγή: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-75th-session.aspx>

World Maritime university, «The impact of maritime oil pollution in the marine environment: case study of maritime oil pollution in the navigational channel of Shatt», Ανακτήθηκε (07/03/2021), Πηγή: https://commons.wmu.se/all_dissertations/318/

IMO, «Energy Efficiency Measures», Ανακτήθηκε (07/03/2021), Πηγή: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>

IMO, «About Glomeep», Ανακτήθηκε (12/03/2021) Πηγή: <https://glomeep.imo.org/>

IMO, «Regulation greenhouse gas emissions from ships», Ανακτήθηκε (10/03/2021) Πηγή: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>

IMO, «MARPOL-25 years», Οκτώβριος 1988. Ανακτήθηκε (10/03/2021), Πηγή: [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/FocusOnIMOArchives/Focus%20on%20IMO%20-%20MARPOL%20-%202025%20years%20\(October%201998\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/FocusOnIMOArchives/Focus%20on%20IMO%20-%20MARPOL%20-%202025%20years%20(October%201998).pdf)

IMO, «Prevention of air pollution from ships», Ανακτήθηκε (10/03/2021) Πηγή: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx>

Dieselnet, «*IMO marine engine regulations*», Ανακτήθηκε (09/03/2021) Πηγή:
<https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php#s>

Transport policy, «*International marine emissions*», Ανακτήθηκε (09/03/2021)
Πηγή: <https://www.transportpolicy.net/standard/international-marine-emissions/>

IMO, «*Fuel oil availability and quality –Regulation 18*», Ανακτήθηκε (08/03/2021)
Πηγή: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fuel-oil-quality-%E2%80%93-Regulation-18.aspx>

IMO, «*Volatile organic compounds (VOC)-Regulation 15*», Ανακτήθηκε
(08/03/2021) Πηγή: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Volatile-organic-compounds-\(VOC\)-%E2%80%93-Regulation-15.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Volatile-organic-compounds-(VOC)-%E2%80%93-Regulation-15.aspx)

IMO, «*Shipboard incineration Regulation 16*», Ανακτήθηκε (08/03/2021) Πηγή:
<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Shipboard-incineration-%E2%80%93-Regulation-16.aspx>

IMO, «*Nitrogen oxides(NO_x) Regulation13*», Ανακτήθηκε 09/03/2021),Πηγή:
[https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)

IMO, «*GreenVoyage2050*», Ανακτήθηκε (08/03/2021),Πηγή:
<https://www.imo.org/en/OurWork/PartnershipsProjects/Pages/GreenVoyage2050.aspx>

Γιώργος Σπανός, «*Ναυτιλιακό καύσιμο του μέλλοντος το υδρογόνο*» 31 Οκτωβρίου
2020 ,Ανακτήθηκε (09/03/2021),Πηγή:
<https://m.naftemporiki.gr/story/1652830/nautiliako-kausimo-tou-mellontos-to-udrogono>

Compagnie Maritime Belge, 29 Νοεμβρίου 2017, Ανακτήθηκε (09/03/2021) Πηγή:
<http://hydroville.be/en/hydroville/>

IEA, «*Global EV Outlook 2020*»,Ανακτήθηκε (11/03/2021).Πηγή:
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>

Wikipedia, «*Βιοντίζελ*», Ανακτήθηκε (12/03/2021) Πηγή:
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB>

UECC, «*MV Autosky*», Ανακτήθηκε (12/03/2021) Πηγή:
<https://www.uecc.com/fleet/our-vessels/mv-autosky/>

Ship-technology, «*Hydroville technology ferry* » Ανακτήθηκε (13/03/2021) Πηγή:
<https://www.ship-technology.com/projects/hydroville-passenger-ferry/>

Class NK, «*Alternative fuels and energy efficiency for the shipping industry*», MTCC Latin America, Panama 2018, Ανακτήθηκε (14/03/2021) Πηγή:
<https://gmn.imo.org/wp-content/uploads/2018/01/AnnexV-2-5-Alternative-Fuels-and-Energy-Efficiency.pdf>

The Motorship, «*LNG Debate highlights fuel choice of challenge*», 04 Νοεμβρίου 2016, Ανακτήθηκε (15/03/2021) <https://www.motorship.com/news101/lng/lng-debate-highlights-fuel-choice-challenge>

IMO «Halon banking and reception facilities», FP.1/Circ.37 5 Ιανουαρίου 2009 , Ανακτήθηκε(16/03/2021),Πηγή:
http://www.fm200systems.info/marinefireprotection/imo_fp.1_circ.37_5_january_2009.pdf

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

- 1) Παναγιωτίδης Δήμος «*Υγραεριοφόρα πλοία περιγραφή - χειρισμός φορτίου- υπολογισμοί* » (2000)
- 2) Swedish marine technology forum, Green shipping « *LNG Ship to ship bunkering procedure* » Linde cryo AB, FKAB Marine Design, Det Norske Veritas AS, LNG GOT, White smoke AB (2010)
- 3) SEA\LNG, « *LNG as a marine fuel- the investment opportunity* » SEA\LNG study- new build pure car and truck carrier (PCTC) on Pacific and Atlantic trade lanes.(2019)
- 4) Ιωάννης Μπάκας , « *Principles of marine main engines running on LNG* » , Environmental Protection Engineering S.A.(EPE), (2015)
- 5) DNV GL, Dr Gerd - Michael Wuersig, « *In focus- LNG as ship fuel* », Latest developments and projects in the LNG industry. (2015)
- 6) Mark Bell, Dr Oliver Schuller, SGMF, « *2019 sea change* »,IMO symposium, Οκτώβριος 2019

ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

G captain, « MF Boknafjord», 14 Δεκεμβρίου 2011, Ανακτήθηκε (10/03/2021),
Πηγή: <https://gcaptain.com/meet-mf-boknafjord-worlds/>

Λάμπρος Καραγεώργος, «Υστερεί στην κούρσα ανανέωσης του στόλου η ελληνική ακτοπλοΐα», 6 Μαΐου 2019, Ανακτήθηκε (10/03/2021), Πηγή:
<https://m.naftemporiki.gr/story/1472008/ysterei-stin-koursa-ananeosis-tou-stolou-i-elliniki-aktoploia>

Shell energy, « liquefied natural gas (LNG) »Ανακτήθηκε (15/03/2021) Πηγή:
<https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/liquefied-natural-gas-lng.html>

Shell energy, «How do we make LNG », Ανακτήθηκε (15/03/2021) Πηγή:
<https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/liquefied-natural-gas-lng.html>

Ευρωπαϊκή επιτροπή, «Ανακοίνωση της επιτροπής προς το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το συμβούλιο, την ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών », Βρυξέλλες, 25.11.2013 COM(2013)837 final, Ανακτήθηκε (16/03/2021) Πηγή: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0837&from=GA>

Will Owen, « LNG bunkering market: the future of marine transportation», 17 Σεπτεμβρίου 2017, LNG Industry, ανακτήθηκε (16/03/2021) Πηγή:
<https://www.lngindustry.com/liquid-natural-gas/17092018/lng-bunkering-market-the-future-of-marine-transportation/>

Wartsila encyclopedia of marine technology, « Natural gas-fueled ferry GLUTRA», Ανακτήθηκε (17/03/2021) Πηγή:
<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/natural-gas-fuelled-ferry-glutra>

Wartsila encyclopedia of marine technology, «LNG tanker GAZ DE FRANCE ENERGY», Ανακτήθηκε (17/03/2021) Πηγή:
<https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/lng-tanker-gaz-de-france-energy>

Wartsila encyclopedia of marine technology, «Boil-off gas (BOG) », Ανακτήθηκε(17/03/2021), Πηγή: [https://www.Wärtsilä.com/encyclopedia/term/boil-off-gas-\(bog\)](https://www.Wärtsilä.com/encyclopedia/term/boil-off-gas-(bog))

Rolls Royce, «Diesel and gas engines-reliable power », Ανακτήθηκε (18/03/2021)
Πηγή: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/marine-product-finder/diesel-and-gas-engines-brochure-1216.pdf>

Science direct, « Direct injection diesel engine », Ανακτήθηκε (18/03/2021) Πηγή:
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/direct-injection-diesel-engine>

Bergen. Rolls-Royce, « *A new range of powerful medium speed engines* », Ανακτήθηκε (18/03/2021) Πηγή: <https://bergen.rolls-royce.com/B3X45/index.html>

MAN Energy solutions, « *The world's most efficient LNG engine* », Ανακτήθηκε (19/03/2021) Πηγή: <https://www.man-es.com/marine/products/megi-mega/me-gi>

Teekay, « *Creole spirit: first migi lng vessel out for sea trials* », Ανακτήθηκε (19/03/2021) Πηγή: <https://www.teekay.com/blog/2015/10/07/creole-spirit-first-megi-lng-vessel-out-for-sea-trials/>

FLEXLNG, « *2-stroke propulsion* », Ανακτήθηκε (19/03/2021) Πηγή: <https://www.flexlng.com/2-stroke-propulsion/>

SEA-LNG, « *Global fleet-the number of vessels using LNG as a marine fuel growing rapidly* », Ανακτήθηκε (20/03/2021), Πηγή: <https://sea-lng.org/why-lng/global-fleet/>

IMO, « *IGC code*», Ανακτήθηκε (21/03/2021) Πηγή: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGC-Code.aspx>

IMO, « *International code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels*», 2016 edition, Ανακτήθηκε (21/03/2021) Πηγή: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/publications/Documents/Supplements/English/Q109E_122019.pdf

Poseidon med II, « *LNG bunkering project* », Ανακτήθηκε (22/03/2021) Πηγή: <https://www.poseidonmed.eu/>

Marine insight, « *LNG bunkering procedure of ships explained* », Ανακτήθηκε (22/03/2021) Πηγή: <https://www.marineinsight.com/guidelines/lng-bunkering-procedure-of-ships-explained/>

LNG industry, « *LNG bunkering market: the future of marine transportation* », Ανακτήθηκε (23/03/2021) Πηγή: <https://www.lngindustry.com/liquid-natural-gas/17092018/lng-bunkering-market-the-future-of-marine-transportation/>

Reuters, « *LNG bunkering operations tripled in Spain in 2019* », Ανακτήθηκε (23/03/2021) Πηγή: <https://www.reuters.com/article/spain-lng-bunkering-idUSL8N2AL3E5>

Safety 4 sea, « *First LNG bunker barge arrives at the port of Antwerp* », Ανακτήθηκε (24/03/2021) Πηγή: <https://safety4sea.com/watch-first-lng-bunker-barge-arrives-at-the-port-of-antwerp-2/>

North P&I club « *Countries and ports where restrictions on EGCS discharges apply* », Ανακτήθηκε (24/03/2021) Πηγή: <https://www.nepia.com/industry-news/no-scrubs-more-ports-declare-ban-on-egcs-discharges-update>

Rebecca Moore, « *First LNG ropax built in china scoops Shippax award* », 14 Μαρτίου 2019, Πηγή: rivieramm.com, Ανακτήθηκε (25/3/2021)
<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/first-lng-ropax-built-in-china-scoops-shippax-award-54175>

SHIPPAX, « *HUFTARØY and SAMNØY- Two LNG-only ferries delivered in record time* », 8 Μαρτίου 2019, Ανακτήθηκε (22/03/2021) Πηγή:
<https://www.shippax.com/en/press-releases/huftaroy-and-samnoy-two-lng-only-ferries-delivered-in-record-time.aspx>