

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ**

**ΝΑΥΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ
ΚΑΥΣΙΜΑ**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΒΟΛΟΓΙΑΝΝΗΣ

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ναυτιλία

*Πειραιάς,
Σεπτέμβριος 2017*

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από τη Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Ερνέστος Τζαννάτος (Επιβλέπων)
- Βασίλειος Τσελέντης
- Γεώργιος Σαμιώτης

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα».

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θέλω να ευχαριστήσω τον Επιβλέπων Καθηγητή μου κύριο Ερνέστο Τζαννάτο, καθώς επίσης και την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση και τη συνεχή στήριξη τους κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	10
1.1 Ειδη συστημάτων πρόωσης-κινητήρων σε πλοία	10
1.1.1 Κινητήρες Diesel.....	10
1.1.2 Ατμοστρόβιλος/Αεριοστρόβιλος (Επιγραμματική Αναφορά)	22
1.1.3 Κινητήρας με συνδυασμένο Diesel και αέριο (CODAG) / με συνδυασμένο Diesel ή αέριο (CODOG) - (Επιγραμματική Αναφορά)	23
1.1.4 Ηλεκτροκινητήρες (Επιγραμματική Αναφορά).....	25
1.1.5 Κινητήρας με συνδυασμένο Diesel-ηλεκτρικό ρεύμα και αέριο (CODLAG) -.....	26
1.2 Επικίνδυνοι ρύποι κατά την καύση ναυτικών πετρελαίων	27
1.3 Προστασία από τη ρύπανση θαλάσσιου περιβάλλοντος.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	41
2.1 Πετρέλαιο-Γενικά	41
2.2 Χημική σύσταση πετρελαίου	46
2.3 Ναυτικά πετρέλαια - Γενικά	48
2.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ναυτικών πετρελαίων.....	50
2.5 Κατηγορίες/Τύποι ναυτικών πετρελαίων	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	68
3.1 Διύλιση αργού πετρελαίου	68
3.2 Φθορές σε κινητηρες πλοίων από ναυτικά πετρέλαια (προϊόντα απόσταξης του αργού πετρελαίου)	72
3.3 Αποτέλεσμα από τη χρήση ναυτικού πετρελαίου με υψηλά ποσοστά καταλυτικών σωματιδίων	81
3.4 Ποιοτική διαχείριση πετρελαίου στα εμπορικά πλοία –.....	84
3.5 Ποιότητα καυσίμου – Στατιστικά δεδομένα από φθορές σε κινητηρες	91
3.6 Ναυτική Ασφάλιση (Marine Insurance).....	94
3.7 Αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας ως τρόποι αποφυγής χρήσης πετρελαίου	98
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κύκλος Diesel.....	11
Εικόνα 2: Στροφαλοφόρος και εκκεντροφόρος άξονας.....	12
Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας ενός τετράχρονου κινητήρα.....	15
Εικόνα 4: Κύλινδροι σε διάταξη V σε τετράχρονο κινητήρα	16
Εικόνα 5: Αρχή λειτουργίας δίχρονου κινητήρα.....	18
Εικόνα 6: Άποψη αργόστροφου 2-χρονου ναυτικού κινητήρα.....	19
Εικόνα 7: Κύλινδροι σε σειρά σε δίχρονο κινητήρα.....	19
Εικόνα 8: Αποδοτικότητα δίχρονου μεσόστροφου και τετράχρονου μεσόστροφου κινητήρα σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας εισόδου του αέρα στον κινητήρα και θερμοκρασίας νερού ψύξης.	20
Εικόνα 9: Ατμοστρόβιλος	23
Εικόνα 10: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας κινητήρα CODAG	24
Εικόνα 11: Ηλεκτροκινητήρας.....	25
Εικόνα 12: Σχηματικό διαγραμμα λειτουργίας CODLAG.....	26
Εικόνα 13: Παράδειγμα διάβρωσης αρχαιολογικού μνημείου.....	31
Εικόνα 14: Γραφική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου	32
Εικόνα 15: Αιθαλομιχλη σε θαλάσσια περιοχή από καύση ναυτικού πετρελαίου.....	34
Εικόνα 16: Περιοχές ελέγχου εκπομπών επικίνδυνων οξειδίων από τα πλοία SECAs	36
Εικόνα 17: Περιοχές ελέγχου εκπομπών επικίνδυνων οξειδίων από τα πλοία SECAs και περιοχές που αναμένεται να συμπεριληφθούν στη ζώνη των SECAs.....	37
Εικόνα 18: Χρονική εξέλιξη της περιεκτικότητας σε θείο σε ναυτικά καύσιμα σε ότι αφορά περιοχές ελέγχου εκπομπών (SECAs), παγκοσμίως, σε ευρωπαϊκά λιμάνια, στην Καλιφόρνια και Αμερική	39
Εικόνα 19: Σεισμική τεχνική με τρισδιάστατη αντανάκλαση για την σάρωση κοιτασμάτων πετρελαίου	42
Εικόνα 20: Σταθερές πλατφόρμες και jack up πλατφόρμες	43
Εικόνα 21: Ημιβυθιζόμενες εξέδρες	43
Εικόνα 22: Σταθερή θαλάσσια εξέδρα γεώτρησης πετρελαίου	45
Εικόνα 23: Σχηματισμός πετρελαιοκηλίδας λόγω διαρροής πετρελαίου.....	46
Εικόνα 24: Χημική σύσταση πετρελαίου.....	47
Εικόνα 25: Ναυτιλία, η σημαντικότερη πηγή εμπορίου	48
Εικόνα 26: Υγρόμετρο	53
Εικόνα 27: Στήλες απόσταξης σε διυλιστήριο	70
Εικόνα 28: Προθέρμανση αργού πετρελαίου και διαχωρισμός του σε κλάσματα στην αποστακτική στήλη	71
Εικόνα 29: Κόκκοι καταλυτικών σωματιδίων (κλίμακα μm)	76
Εικόνα 30: Ποσότητες καταλυτικών σωματιδίων σε (LSFO&HSFO) σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου	76
Εικόνα 31: Καταλυτικά σωματίδια που έχουν εισχωρήσει στην επιφάνεια κυλίνδρου από γραφίτη.....	79

Εικόνα 32: Φθορά ελατηρίων πιστονιού.....	80
Εικόνα 33: Φίλτρο καυσίμου στο οποίο έχουν εισχωρήσει καταλυτικά σωματίδια.....	80
Εικόνα 34: Αναλυτής καυσίμου και για καταλυτικά σωματίδια με βάση την τεχνολογία NMR.....	89
Εικόνα 35: Στατιστικά δεδομένα από αύξηση σε φορές κινητήρων με μείωση της περιεκτικότητας σε θείο από το 2000 και έπειτα.....	93
Εικόνα 36: Αριθμός φθαρμένων κινητήρων από 2001-2013.....	94
Εικόνα 37: Ποσοστό περιστατικών που καλούνται να πληρώσουν οι ασφαλιστικές εταιρείες και κόστος περιστατικών.....	95
Εικόνα 38: Ηλιάνθος ως πρωτογενής ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ.....	101

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χρονιές εξέλιξης της διεθνούς σύμβασης MARPOL.....	38
Πίνακας 2: Τύποι ναυτικών καυσίμων-Μήκος ανθρακικής αλυσίδας.....	56
Πίνακας 3: Ιξώδη και πυκνότητες από τις 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης.....	56
Πίνακας 4: Φυσικές ιδιότητες από 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης.....	57
Πίνακας 5: Ιξώδη και πυκνότητες από 10 κατηγορίες πετρελαίων υπολείμματος.....	57
Πίνακας 6: Φυσικές ιδιότητες από 6 κατηγορίες των πετρελαίων που προέρχονται από υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου.....	58
Πίνακας 7: Ποσότητες ρύπων που εκπέμπονται με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου θέρμανσης (g ρύπου ανά kWh εισαγόμενης θερμότητας καυσίμου).....	100

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα, από τους ισχυρούς κλάδους της βιομηχανίας μιας χώρας θεωρείται η ναυτιλιακή της βιομηχανία. Με τον όρο αυτόν εννοούνται όλες οι δραστηριότητες που συνδέονται και υποστηρίζουν τις θαλάσσιες μεταφορές ανθρώπων και αγαθών. Η κίνηση όλων των τύπων των πλοίων προέρχεται από το εγκατεστημένο σύστημα πρόωσής τους, όπου στην πλειονότητα χρησιμοποιούνται κινητήρες εσωτερικής καύσης, ενώ πρωταρχικό καύσιμο για τη λειτουργία των κινητήρων και συνεπώς για τη κίνηση των τύπων πλοίων θεωρείται το πετρέλαιο. Σε αυτήν την εργασία θα γίνει εκτεταμένη αναφορά και αναλυτική μελέτη των κινητήρων που χρησιμοποιούνται στα πλοία είτε για μέσο πρόωσης είτε για μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και των τύπων πετρελαϊκών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε αυτούς. Επιπρόσθετα, θα περιγραφούν και άλλοι τύποι κινητήρων πλοίων, ενώ θα υπάρξει αναφορά στους τύπους πετρελαϊκών ναυτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πετρελαίου που πρέπει να λαμβάνονται παντα υπόψη.

Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στους τοξικούς ρύπους, τα επικίνδυνα οξειδία που εκπέμπονται από τους ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες, στις συνέπειες τους και σε τρόπους αντιμετώπισης τους κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στη διεθνή σύμβαση MARPOL για την περιβαλλοντική προστασία και στις περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων (SECAs). Μετα περιγράφονται τα προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου καθώς και οι φθορές που προκαλούνται σε κινητήρες πλοίου από συστατικά του ναυτικού πετρελαίου και προϊόντων καύσης του (π.χ. οξειδία). Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τα καταλυτικά σωματίδια (Catalytic Fines) που προστίθενται στο ναυτικό πετρέλαιο και προκαλούν φθορές. Τέλος περιγράφεται η σημασία της ασφάλισης σήμερα στη ναυτιλία. Μεγάλης ανάγκης θεωρείται η αναζήτηση νέων τρόπων και η αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας για τη πρόωση πλοίων με σκοπό την αποφυγή καύσης του ρυπογόνου πετρελαίου.

Λέξεις-κλειδιά: Ναυτικό πετρέλαιο, Κινητήρες μηχανών πλοίων, Οξειδία πετρελαίου, Διεθνής σύμβαση MARPOL, Περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων (SECAs), Φθορές κινητήρων, Καταλυτικά σωματίδια, Εναλλακτικές μορφές ενέργειας

ABSTRACT

Today, shipping industry is recognized to be a strong branch or asset of any country's industry. This term (shipping) refers to all activities connected, related and supporting the transportation of people and goods by sea. Ships' movement is provided by the fitted propulsion system, whereas on most occasions, internal combustion engines are being used. These engines are primarily designed to be operated by burning Fuel Oil. In this thesis, an extensive reference and detailed study will be made to the engines used on ships either as a main propulsion engine or as a diesel driven electric generating system, together with types of fuel oil used. Moreover, other engine types used on ships will be described, whereas an extensive reference will be made to the types of oil marine fuel used and the oil quality characteristics which are to be taken into consideration at all times.

Subsequently, toxic pollutants, hazardous oxides emitted by ships' engines, their consequences and methods of dealing with them will be referred making particular reference to the international MARPOL convention for the environmental protection and to the Security Control Areas (SECAs). Crude oil refining products as well as damage to marine engines from marine oil and its combustion products (f.e. oxides) are further described below. Particular mention is made for the catalytic particles (Catalytic Fines) which are added to fuel oil and they cause damage to engines moving parts. Furthermore, the importance of insurance in marine environment and particularly related to engines damages on account of burning off-spec fuels will be put forward. Last but not least, of great importance is the research of new ways / methods and to exploit alternative forms of energy for the propulsion of ships in order to avoid pollutant results on account of fuel oil burning.

Keywords: Marine Oil, Motor Engines, Petroleum Oxides, MARPOL International Convention, SECAs, Engine Damage, Catalytic Particles, Alternative Energy Types

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Ειδη συστημάτων πρόωσης-κινητήρων σε πλοία

Σήμερα στη ναυσιπλοΐα χρησιμοποιούνται διάφορα είδη κινητήρων. Τέτοιοι είναι:

- *Κινητήρες Diesel*
- *Ατμοστρόβιλος/Αεριοστρόβιλος*
- *Συνδυασμός κινητήρα Diesel και αεριοστρόβιλου*
- *Ηλεκτροπρόωση*
- *Συνδυασμός κινητήρα Diesel, ηλεκτρικού και αεριοστρόβιλου*

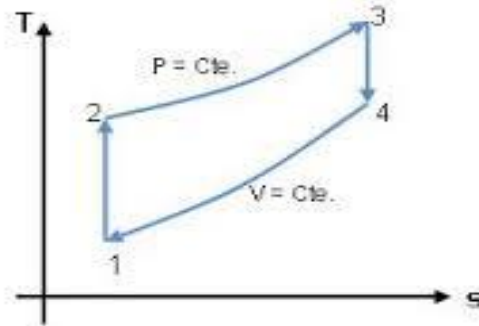
Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγράψουμε τους κινητήρες diesel οι οποίοι και είναι η πιο σήνηθες και επικρατέστερη επιλογή χρήσης σε πλοία, τόσο όσον αφορά τη πρόωση όσο και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το κάθε είδος κινητήρα Diesel θα περιγραφεί αναλυτικά παρακατω:

1.1.1 Κινητήρες Diesel

Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται και κινητήρες έναυσης με συμπίεση (compression ignition). Ο κύκλος Diesel πήρε το όνομά του από τον Rudolph Diesel (1858-1913), ο οποίος το 1897 ανέπτυξε έναν κινητήρα σχεδιασμένο έτσι ώστε να πραγματοποιείται απευθείας έγχυση υγρού καυσίμου στο θάλαμο καύσης. Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος Diesel αποτελείται από τις εξής επιμέρους διεργασίες:

- *Ισεντροπική συμπίεση αέρα (1-2)*
- *Πρόσδοση θερμότητας (καύση) υπό σταθερή πίεση (2-3)*
- *Ισεντροπική εκτόνωση (3-4)*
- *Απόρριψη θερμότητας υπό σταθερό όγκο (4-1)*



Εικόνα 1: Κύκλος Diesel

Γενικά, τα κύρια μέρη ενός κινητήρα Diesel διακρίνονται σε:

- Σταθερά μέρη και
- Κινητά μέρη

Τα σταθερά μέρη του κινητήρα είναι:

- *Η κυλινδροκεφαλή:* Η κυλινδροκεφαλή είναι το τμήμα του κινητήρα το οποίο τοποθετείται (συσφίγγεται) επάνω στο σώμα των κυλίνδρων και φέρει (αναλόγως 2T ή 4T) τον εκκεντροφόρο, τις βαλβίδες εισαγωγής αέρα και τις βαλβίδες εξαγωγής καυσαερίων.
- *Ο κύλινδρος:* Ο κύλινδρος είναι ο χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η εκτόνωση των αερίων και η καύση του μίγματος, ενώ λειτουργεί και σαν οδηγός για την κίνηση του εμβόλου
- *Το σώμα:* Σώμα ή μπλοκ των κυλίνδρων ονομάζεται το χυτό σύνολο του κινητήρα, όπου διαμορφώνονται οι κύλινδροι και στερεώνονται όλα τα τμήματα ή εξαρτήματα του κινητήρα (π.χ. ο στροφαλοφόρος άξονας, η κυλινδροκεφαλή κ.ά.)
- *Η ελαιολεκάνη:* Η ελαιολεκάνη ή κάρτερ βρίσκεται στο χαμηλότερο επίπεδο του κινητήρα (κάτω από το στροφαλοφόρο άξονα) και χρησιμοποιείται για τη συλλογή του λαδιού λίπανσης.

Τα κινητά μέρη του κινητήρα είναι:

- Το έμβολο ή πιστόνι.
- Ο στροφαλοφόρος: Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από στροφάλους και είναι το μέσο που ουσιαστικά μεταφέρει το έργο που παράγεται από την παλινδρομική κίνηση των εμβόλων και το μετατρέπει σε κυκλική κίνηση.
- Ο διωστήρας: Ο διωστήρας συνδέει το έμβολο με τον στροφαλοφόρο άξονα.
- Ο εκκεντροφόρος: Ο εκκεντροφόρος άξονας χρησιμοποιείται κατά κύριο ρόλο για την κίνηση των βαλβίδων εισαγωγής αέρα, καυσίμου και εξαγωγής καυσαερίων στην κατάλληλη χρονική στιγμή και με την σωστή διαδοχική σειρά.



Εικόνα 2: Στροφαλοφόρος και εκκεντροφόρος άξονας

- Οι βαλβίδες: Υπάρχουν οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Οι βαλβίδες εισαγωγής επιτρέπουν την είσοδο αέρα στο θάλαμο καύσης, ενώ αντίθετα οι βαλβίδες εξαγωγής επιτρέπουν την έξοδο καυσαερίων μετά τη καύση του μίγματος.

Η βαλβίδα εισαγωγής είναι η βαλβίδα που έχει την μεγαλύτερη έδρα σε διάμετρο. Η βαλβίδα αυτή ψύχεται από το μίγμα καυσίμου το οποίο έχει σχεδόν θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι βαλβίδες εισαγωγής κατασκευάζονται από χάλυβες πυριτίου και νικελίου. Αντίθετα, η βαλβίδα εξαγωγής θερμαίνεται πάρα πολύ λόγω των εξερχόμενων καυσαερίων.

Η διάκριση των πετρελαιοκινητήρων γίνεται ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους. Ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες :

- Αργόστροφοι κινητήρες, με ταχύτητα περιστροφής έως 50-250 rpm και στην πλειοψηφία τους είναι δίχρονοι (κινητήρες πρόωσης)
- Μεσόστροφοι κινητήρες, με ταχύτητα περιστροφής έως 400-800 rpm και στην πλειοψηφία τους είναι τετράχρονοι (κινητήρες πρόωσης)
- Πολύστροφοι κινητήρες, με ταχύτητα περιστροφής μεγαλύτερη των 1000 rpm (τετράχρονοι, χρήση σε πρόωση ή σε ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη)

Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων και τη διάταξή τους διακρίνονται σε κινητήρες:

- Κινητήρες με διάταξη σε σειρά, με αριθμό κυλίνδρων μέχρι 14κύλινδρους για αργόστροφους κινητήρες και μέχρι 10κύλινδρους για μεσόστροφους κινητήρες.
- Κινητήρες με διάταξη σε σχήμα τύπου V, με αριθμό κυλίνδρων μέχρι 20κύλινδρους για μεσόστροφους και πολύστροφους κινητήρες.

Ανάλογα με τον αριθμό των χρόνων του κύκλου λειτουργίας τους χωρίζονται σε:

- Δίχρονους
- Τετράχρονους

Παρακατω θα περιγραφούν οι 2 κύκλοι κινητήρων Diesel ως ακολούθως:

ι) Τετράχρονοι κινητήρες Diesel

Οι τετράχρονοι κινητήρες συναντούνται 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 εξαγωγής καυσαερίων, ενώ η αρχή λειτουργίας τους διακρίνεται στα 4 εξής στάδια (4 χρόνοι):

1ος χρόνος : Εισαγωγή

Το έμβολο βρίσκεται στο Α.Ν.Σ. και κατεβαίνει προς τα κάτω. Κατά τον χρόνο της αναρρόφησης, εισρέει στο εσωτερικό του κυλίνδρου, μέσα απ' την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής, φιλτραρισμένος καθαρός αέρας.

2ος χρόνος : Συμπίεση

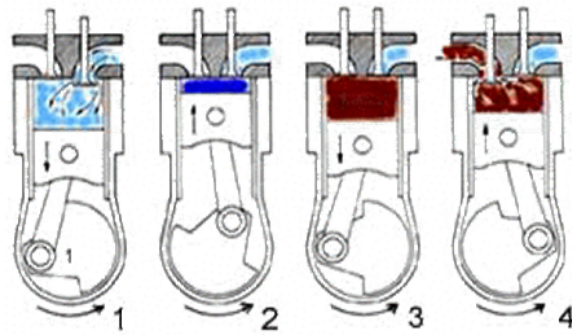
Το έμβολο βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ. και αρχίζει να κινείται προς το Α.Ν.Σ. Ο αέρας συμπιέζεται με λόγο συμπίεσης $\epsilon = 14 - 24$, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Λόγω της θερμότητας συμπίεσης, ο συμπιεσμένος αέρας υπερθερμαίνεται στους 900ο C (περίπου) κατά το τέλος της συμπίεσης. Αυτή η τελική θερμοκρασία συμπίεσης, βρίσκεται σημαντικά υψηλότερα απ' την θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου (η οποία είναι περίπου 350ο C).

3ος χρόνος : Παραγωγή έργου / Καύση

Το καύσιμο που έχει εγχυθεί προ του τέλους του χρόνου συμπίεσης, έχει εξατμιστεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και έως την στιγμή της ανάφλεξης, έχει αναμιχθεί με τον συμπιεσμένο αέρα. Η ανάφλεξη που έχει αρχίσει λίγο πριν το Α.Ν.Σ είναι η αφετηρία για την καύση. Το καύσιμο που εγχύεται μετά την έναρξη της ανάφλεξης καίγεται χωρίς καθυστέρηση ανάφλεξης.

4ος χρόνος : Εξαγωγή

Το έμβολο βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ. και αρχίζει να ανεβαίνει προς το Α.Ν.Σ. η βαλβίδα εξαγωγής έχει ανοίξει ήδη πριν το έμβολο φτάσει στο Κ.Ν.Σ και τα αέρια της καύσης κινούνται προς την ανοιχτή βαλβίδα, ωθούμενα απ' την υπερπίεση του χώρου και από το ανερχόμενο έμβολο.



Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας ενός τετράχρονου κινητήρα

Σημειώνεται ότι λίγο πριν το έμβολο φθάσει το Α.Ν.Σ κατά το χρόνο συμπίεσης, το καύσιμο που εγχύεται εκείνη την στιγμή μέσα στον θάλαμο καύσης αναμιγνύεται με το αέρα. Λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον θάλαμο, το καύσιμο αναμιγνύεται με τον συμπιεσμένο αέρα, και όταν φτάσει στην θερμοκρασία ανάφλεξης, τότε παρατηρείται η αυτανάφλεξη του μίγματος. Η αφετηρία της καύσης αρχίζει λίγο πριν το Α.Ν.Σ.

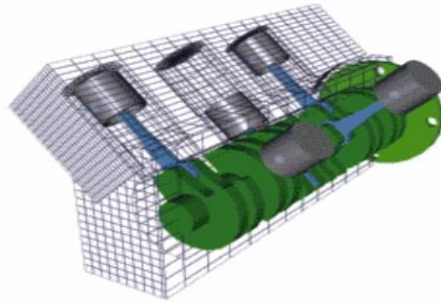
Επισημαίνεται ότι:

- Καθ' ένα από τα τέσσερα στάδια του κύκλου (χρόνοι λειτουργίας) πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια διαδρομής του εμβόλου από το Α.Ν.Σ. προς το Κ.Ν.Σ ή αντίθετα.
- Για ένα πλήρη κύκλο θέλουμε δύο ανερχόμενες και δύο κατερχόμενες διαδρομές του εμβόλου εντός του κυλίνδρου.
- Από τους τέσσερεις χρόνους λειτουργίας, μόνο ο τρίτος (καύση) παράγει έργο.

Όπως αναφέρθηκε στα χαρακτηριστικά των τετράχρονων κινητήρων, η χρήση μειωτήρα στροφών θεωρείται αναγκαστική λόγω της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής, ενώ με τη χρήση μειωτήρα επιτρέπεται η καλύτερη επιλογή ταχύτητας περιστροφής για την έλικα του πλοίου.

Οι τετράχρονοι κινητήρες κατασκευάζονται με διάταξη κυλίνδρων εν σειρά ή σε διάταξη V, ενώ είναι συχνή η χρήση υπερπλήρωσης αέρα για πλουσιότερο μίγμα καύσης με σκοπό την αύξηση απόδοσης. Επίσης, είναι συχνό να χρησιμοποιούνται περισσότεροι του ενός κινητήρες (Cruises,

Passenger Ferries), επιτρέποντας έτσι τη χρήση περισσότερων της μίας έλικας, βελτιώνοντας σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος πρόωσης, καθώς επίσης και την ικανότητα ελιγμών του πλοίου.



Εικόνα 4: Κύλινδροι σε διάταξη V σε τετράχρονο κινητήρα

Οι τετράχρονοι κινητήρες θεωρείται δύσκολο να καταναλώσουν καύσιμα χαμηλής ποιότητας (μαζούτ, HFO) καταναλώνοντας ακριβότερα αλλά υψηλότερα ποιοτικά καύσιμα τύπου MDO η IFO. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του περιορισμένου χρόνου που διατίθεται για την καύση (υψηλή ταχύτητα περιστροφής).

ii) Δίχρονοι κινητήρες Diesel

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. Διαθέτουν επίσης τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μεγάλο αρχικό κόστος
- Υψηλή απόδοση
- Απλότητα κατασκευής

- Μεγάλη αξιοπιστία
- Συνήθως με δυνατότητα αναστροφής
- Καθ' ένα από τα 2 στάδια του κύκλου γίνεται στη διάρκεια μιας διαδρομής του εμβόλου, είτε ανερχόμενη, είτε κατερχόμενη

Επιπλέον, όλοι ο 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, που φθάνουν έως το 4,2:1. 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.

Παρακατω περιγράφονται οι 2 χρόνοι λειτουργίας ενός δίχρονου κινητήρα Diesel:

α) 1ος χρόνος

Κατά το χρόνο αυτό, το έμβολο κινείται προς το Α.Ν.Σ. συμπιέζοντας τον αέρα που υπάρχει στον χώρο καύσης. Η ενέργεια που προσδίδεται στον αέρα του ανεβάζει την πίεση και την θερμοκρασία. Μόλις το έμβολο φτάνει στο Α.Ν.Σ η πίεση είναι πάνω από 100 bar και η θερμοκρασία πάνω από 500 °C (τυπικός δίχρονος πλοίου).

Ακριβώς πριν το έμβολο φτάσει στο Α.Ν.Σ. το καύσιμο ψεκάζεται στον θάλαμο καύσης από τους εγχυτήρες. Το εισερχόμενο καύσιμο αμέσως εξατμίζεται και σχηματίζει ένα νέφος πολύ μικρών σταγονιδίων. Λόγω του μικρού μεγέθους τους, τα σταγονίδια αυτά, θερμαίνονται πολύ γρήγορα και καίγονται. Έτσι έχουμε την καύση του μίγματος.

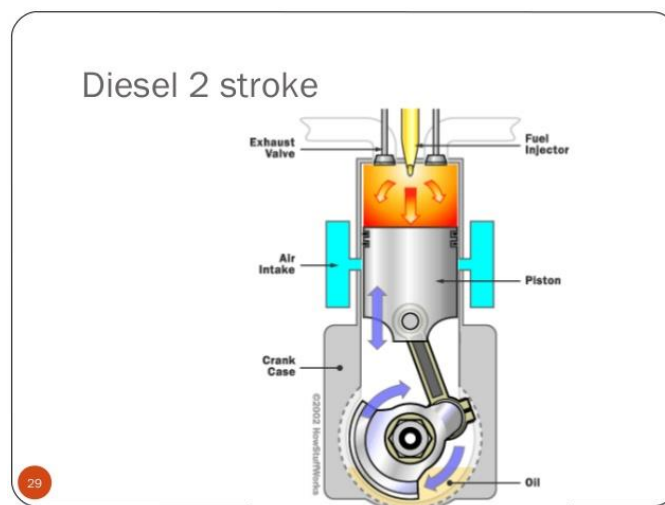
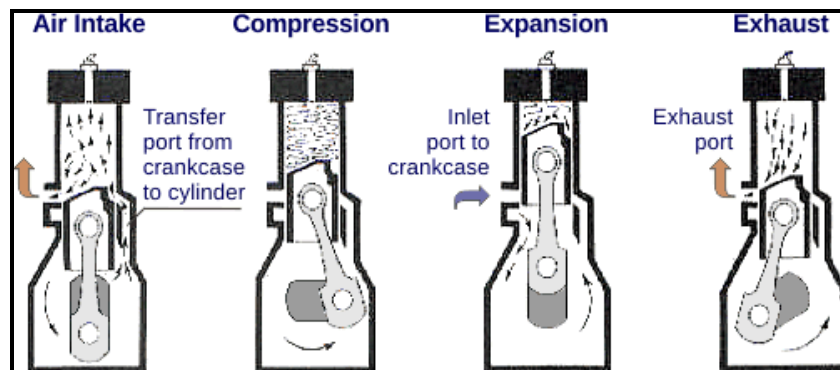
Τα καυσαέρια που προέρχονται από την καύση πιέζουν το έμβολο προς τα κάτω, γυρνώντας έτσι τον στροφαλοφόρο άξονα. Σε αυτό το σημείο λέμε ότι έχουμε παραγωγή έργου.

β) 2ος χρόνος

Όπως το έμβολο κατεβαίνει προς το Κ.Ν.Σ. η χρήσιμη ενέργεια καταναλώνεται. Στις, περίπου, 110ο μετά το Α.Ν.Σ., ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και τα θερμά καυσαέρια αρχίζουν να φεύγουν από τον κύλινδρο. Στις περίπου 140ο μετά το Α.Ν.Σ το έμβολο αποκαλύπτει έναν οχετό. Ο οχετός αυτός ονομάζεται και οχετός για την απομάκρυνση των κατάλοιπων καύσης (οχετός σάρωσης κυλίνδρου).

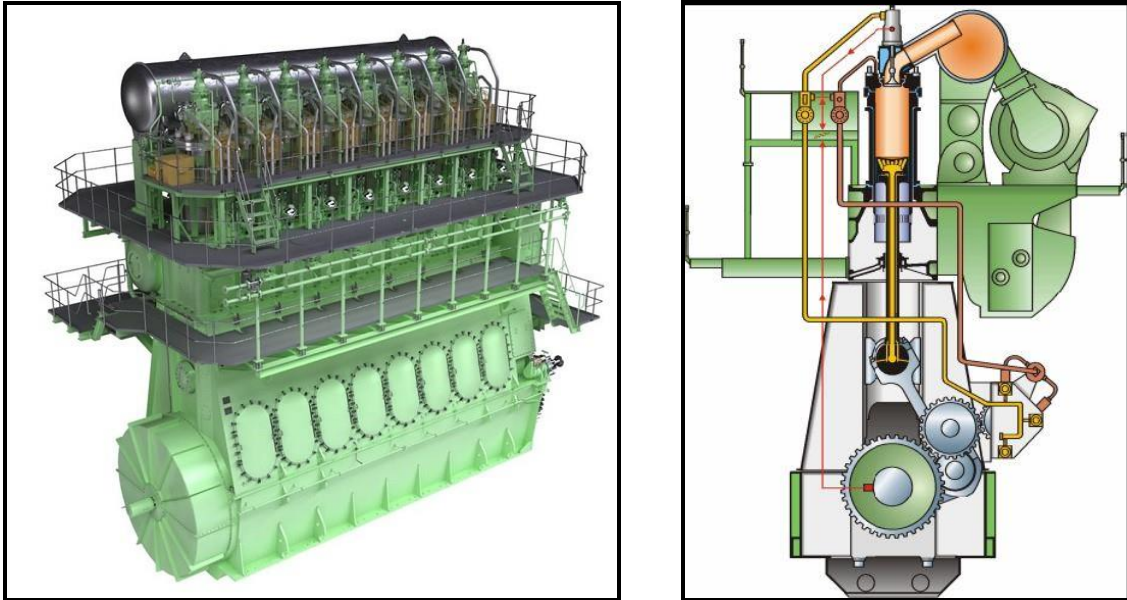
Συμπιεσμένος αέρας εισρέει στον κύλινδρο από τον οχετό και 'σπρώχνει' τα εναπομείναντα καυσαέρια προς το περιβάλλον. Το έμβολο τώρα περνάει από το Κ.Ν.Σ και αρχίζει να κινείται προς τα πάνω, κλείνοντας του οχετούς. Η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει και η συμπίεση αρχίζει.

Παρακατω απεικονίζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός δίχρονου κινητήρα Diesel:

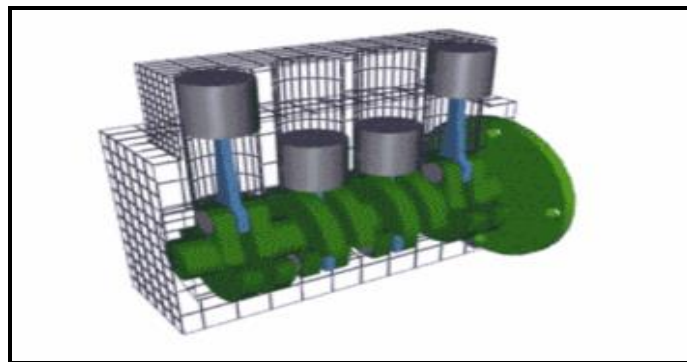


Εικόνα 5: Αρχή λειτουργίας δίχρονου κινητήρα

Οι αργόστροφοι δίχρονοι κινητήρες διαθέτουν διάταξη από 4 μέχρι 14 κυλίνδρους σε σειρά L. Ο αργός ρυθμός περιστροφής των κινούμενων των κινούμενων μερών του κινητήρα και σε συνδυασμό με την απουσία μειωτήρα στροφών, αυξάνει την αξιοπιστία του.



Εικόνα 6: Άποψη αργόστροφου 2-χρονου ναυτικού κινητήρα



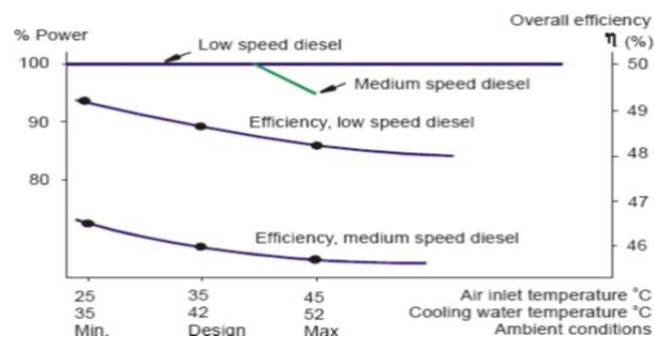
Εικόνα 7: Κύλινδροι σε σειρά σε δίχρονο κινητήρα

Ένα κύριο πλεονέκτημα των κινητήρων αυτών είναι η ικανότητα να χρησιμοποιούν «κακής» ποιότητας βαρύ καύσιμο (HFO) χωρίς πρόβλημα, καθώς η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής τους παρέχει τον απαραίτητο χρόνο για την πλήρη καύση τους.

Επίσης, οι αντλίες υψηλής πίεσης του καυσίμου και οι καυστήρες, έχουν σχεδιασθεί για χρήση βαρέων καυσίμων. Το HFO έχει καλύτερες ιδιότητες λίπανσης από το MGO ενώ με ενδεχόμενη κατανάλωση του MGO μπορεί να προκληθεί υπερθέρμανση των αντλιών.

Με τη χρήση ειδικών αλκαλικών κυλινδρελαίων (cylinder oil) αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά τα όξινα κατάλοιπα από την καύση του βαρέος πετρελαίου. Οι σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές είναι γενικά εξοπλισμένες με συστήματα έντονου καθαρισμού και επεξεργασίας των καυσίμων, ώστε οι δυσμενείς επιδράσεις από την χαμηλή ποιότητα των καυσίμων να περιορίζονται στο ελάχιστο. Γενικά, τα *πλεονεκτήματα* ενός δίχρονου σε σχέση με έναν τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα είναι τα ακόλουθα:

- Ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας θεωρητικά επιτυγχάνει ισχύ ίση με ένα τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα διπλάσιου κυβισμού. Συνεπώς, ο μικρότερος κυβισμός δηλώνει μικρότερο βάρος και χαμηλότερο κόστος.
- Η ισχύς του είναι θεωρητικά διπλάσια από εκείνης του τετράχρονου του ίδιου κυβισμού, ενώ στην πραγματικότητα είναι μεγαλύτερη κατά 75% ~ 80% περίπου
- Ένας αργόστροφος δίχρονος κινητήρας εμφανίζει μεγαλύτερη συνολική αποδοτικότητα από έναν μεσόστροφο τετράχρονο κινητήρα σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας εισόδου του αέρα στον κινητήρα και θερμοκρασίας νερού ψύξης. Αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 8: Αποδοτικότητα δίχρονου μεσόστροφου και τετράχρονου μεσόστροφου κινητήρα σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας εισόδου του αέρα στον κινητήρα και θερμοκρασίας νερού ψύξης.

- Το μήκος του στροφαλοφόρου άξονα του δίχρονου κινητήρα είναι μικρότερο του τετράχρονου με ίδια ισχύ και ίδιο αριθμό κυλίνδρων. Αυτό σημαίνει καλύτερη ζυγοστάθμιση και ευκολία εφαρμογής του σε περιορισμένο χώρο
- Οι 4χρονοι κινητήρες διαθέτουν περισσότερους κυλίνδρους και βαλβίδες, μειωτήρα (ίσως συμπλέκτη) επομένως περισσότερα εξαρτήματα για συντήρηση
- Επιπλέον, οι 4χρονοι κινητήρες διαθέτουν μικρότερη αξιοπιστία και μεγαλύτερο χρόνο επισκευών/συντήρησης
- Οι 2χρονοι κινητήρες λειτουργούν περισσότερο με το φθινό βαρύ καύσιμο μαζούτ σε αντίθεση με τους 4χρονους κινητήρες.

Τα κύρια *μειονεκτήματα* του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα αντί του τετράχρονου κινητήρα είναι τα εξής:

- Η χαμηλή απόδοση στις πολλές στροφές λόγω του κακού καθορισμού και της ελλιπούς πληρώσεως των κυλίνδρων με αέρα
- Η κατανάλωση καυσίμου ανά ώρα είναι σχετικά μεγαλύτερη
- Μεγαλύτερες καταπονήσεις και φθορές των εξαρτημάτων, του συστήματος παραγωγής της κίνησης
- Ψύχεται δυσκολότερα (ανεβάζει περισσότερη θερμοκρασία, γιατί κάνει τις διπλάσιες αναφλέξεις)
- Η ψύξη / λίπανση των εμβολοχιτωνίων είναι αυξημένη με αποτέλεσμα την αύξηση κόστους
- Ο 4χρονος κινητήρας είναι κατά 5-10% φθηνότερος από τον 2χρονο σε χαμηλές και μέσες ισχύεις.

Εκτός από τους δυο κυρίαρχους τύπους ναυτικών κινητήρων υπάρχουν και οι κινητήρες δυο καυσίμων, οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν είτε με φυσικό αέριο, είτε με βαρέα καύσιμα, είτε με καύσιμα κλασματικής απόσταξης, είτε με συνδυασμό του φυσικού αερίου με ένα από τους δυο τύπους πετρελαίου.

Κατά την λειτουργία του κινητήρα με δυο καύσιμα εισέρχεται στο κύλινδρο αέρας αναμεμειγμένος με φυσικό αέριο και το μίγμα αναφλέγεται κατά τη συμπίεση με πιλοτική έγχυση μικρής ποσότητας πετρελαίου κλασματικής απόσταξης (Light fuel oil). Οι κινητήρες αυτοί έχουν μεγάλοι ευελιξία και μπορούν άμεσα να αλλάζουν λειτουργία και από την καύση φυσικού αερίου να λειτουργούν με καύση πετρελαίου χωρίς καμία αυξομείωση στο φορτίο και το αντίστροφο.

Όταν λειτουργούν με βαρέα καύσιμα λειτουργούν σαν συμβατικοί κινητήρες Diesel. Οι εκπομπές ρύπων των κινητήρων αυτών είναι πολύ χαμηλές καθώς εξαιτίας της λειτουργίας με καύση φτωχών μειγμάτων αέρα-φυσικού αερίου συνεπώς οι μέγιστες θερμοκρασίες κατά την καύση είναι χαμηλές και αυτό συνεπάγεται χαμηλή εκπομπή οξειδίων του αζώτου, γεγονός που τις κάνει συμβατές με τους πιο αυστηρούς κανονισμούς εκπομπής ρύπων που έχουν θεσπιστεί. Επίσης, όταν λειτουργούν μόνο με βαρέα καύσιμα οι εκπομπές τους είναι εξίσου χαμηλές και συμβατές με τους κανονισμούς. Οι κινητήρες αυτοί είναι μεσόστροφοι και η ισχύς τους κυμαίνεται από 146 kW έως 950 kW ανά κύλινδρο, σε στροφές 1000rpm και 500rpm αντίστοιχα, με διάμετρο εμβολισμού αντίστοιχα 200mm και 500mm και διαδρομή αντίστοιχα 280mm και 580mm.

1.1.2 Ατμοστρόβιλος/Αεριοστρόβιλος (Επιγραμματική Αναφορά)

Είδος κινητήριας θερμικής μηχανής που χρησιμοποιεί την ενέργεια του ατμού για παραγωγή έργου, ονομάζεται και ατμοτουρμπίνα. Αποτελείται από έναν τροχό που η περιφέρειά του είναι εφοδιασμένη με πτερύγια και ο οποίος περιστρέφεται γύρω από έναν κεντρικό άξονα. Ο πρώτος ατμοστρόβιλος εγκαταστάθηκε στο ολλανδικό δεξαμενόπλοιο M/S Vulcanus το 1911

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής κατάλληλα για ισχείς 500 kW - 100 MW ή και μεγαλύτερες. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο. Ακόμη και στερεά απόβλητα καίγονται σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο βαθμός

απόδοσης φθάνει το 60-85%. Για σύγκριση υπενθυμίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης ενός συμβατικού ατμοηλεκτρικού σταθμού βρίσκεται στην περιοχή του 35%.

Τα συστήματα ατμοστροβίλου έχουν υψηλή αξιοπιστία που φθάνει το 95% υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος 12 - 18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα.

Ατμός υψηλής πίεσης (20-100bar) και θερμοκρασίας (480-540°C) παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστροβίλου στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός βγαίνει από το στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες.



Εικόνα 9: Ατμοστρόβιλος

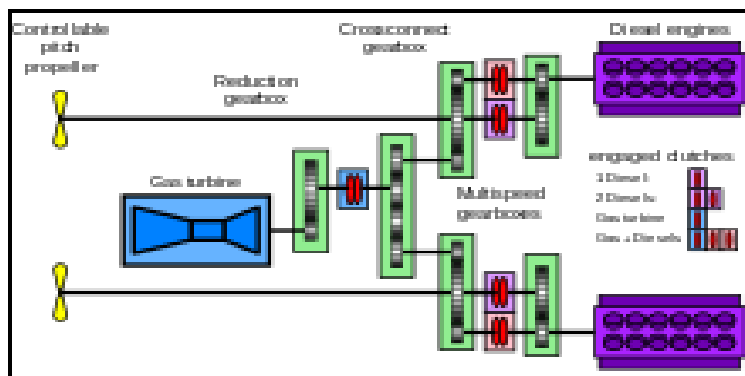
1.1.3 Κινητήρας με συνδυασμένο Diesel και αεριοστρόβιλο (CODAG) / με συνδυασμένο Diesel ή αεριοστρόβιλο (CODOG) - (Επιγραμματική Αναφορά)

Το συνδυασμένο ντίζελ και αεριοστρόβιλος (CODAG) είναι ένας τύπος συστήματος πρόωσης για πλοία που χρειάζονται μέγιστη ταχύτητα που είναι σημαντικά ταχύτερη από την ταχύτητα κρουαζιέρας τους, ιδίως πολεμικά πλοία όπως σύγχρονες φρεγάτες ή κορβέτες.

Πρωτοποριακά από τη Γερμανία με τη φρεγάτα της Κολωνίας, το σύστημα CODAG αποτελείται από κινητήρες ντίζελ και αεριοστρόβιλους που μπορούν να ενεργοποιηθούν για περιπτώσεις

μεγάλης ταχύτητας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διαφορά εξόδου ισχύος από τους κινητήρες ντίζελ σε συνδυασμό με την ισχύ του ντίζελ και του στροβίλου είναι υπερβολικά μεγάλη για τις προπέλες ελεγχόμενου βήματος για να περιορίσουν τις περιστροφές.

Εξαιτίας αυτού χρειάζονται ειδικά κιβώτια ταχυτήτων / μειωτήρες στροφών. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα συστήματα CODOG, τα οποία συνδέουν τους κινητήρες με ένα απλό, σταθερό κιβώτιο ταχυτήτων στον άξονα, αλλά αποσυνδέονται όταν ενεργοποιείται ο στροβίλος. Για παράδειγμα, οι νέες φρεγάτες του Fridtjof Nansen από το Βασιλικό Νορβηγικό Πολεμικό Ναυτικό, η σχέση μετάδοσης για τον πετρελαιοκινητήρα αλλάζει από 1: 7,7 (κινητήρας: έλικα) για το πετρέλαιο μόνο σε 1:3.2.



Εικόνα 10: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας κινητήρα CODAG

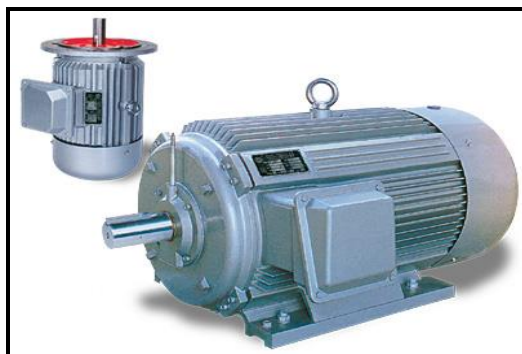
Ένα τέτοιο σύστημα πρόωσης έχει μικρότερο αποτύπωμα από μια μονάδα παραγωγής ενέργειας ντίζελ μόνο με την ίδια μέγιστη ισχύ εξόδου, δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότεροι κινητήρες και ο αεριοστροβίλος και το κιβώτιο ταχυτήτων δεν χρειάζονται τόσο μεγάλο επιπλέον χώρο. Ακόμα διατηρεί την υψηλή απόδοση καυσίμου των κινητήρων ντίζελ κατά την πλεύση, επιτρέποντας μεγαλύτερη εμβέλεια και χαμηλότερο κόστος καυσίμων απ'ό, τι μόνο με τους αεριοστροβίλους. Από την άλλη πλευρά, απαιτείται μια πιο περίπλοκη συνδεσμολογία μεταξύ αεριοστροβίλου και κινητήρα Diesel.

1.1.4 Ηλεκτροκινητήρες (Επιγραμματική Αναφορά)

Η πρόωση πλοίων με ηλεκτροκινητήρες έχει αρχίσει να εφαρμόζεται στην ναυτιλία πριν από περίπου 55 χρόνια. Μελετώνται σε αυτήν την ενότητα καθώς ηλεκτρικοί κινητήρες τοποθετούνται σε συνδυασμό συχνά σε σειρά και με κινητήρες πετρελαίου. Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 οι ηλεκτροκινητήρες παρουσιάζουν μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ.

Σε ένα πλοίο με ηλεκτροκινητήρα, το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στο καράβι, ή παράγεται εν πλω δαπανάται για την προώθηση του σκάφους. Τα πλοία που κινούνται μόνο με ηλεκτροκινητήρα ονομάζονται πλήρως εξηλεκτρισμένα, επειδή και όλα τα υπόλοιπα συστήματά τους χρησιμοποιούν ρεύμα, όπως οι αντλίες, οι συμπιεστές ή ο κλιματισμός. δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να γίνονται πλέον από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κ.λ.π.),

Ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφει τις προπέλες λειτουργώντας με ρεύμα, σε αντίθεση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν σήμερα τα περισσότερα πλοία.

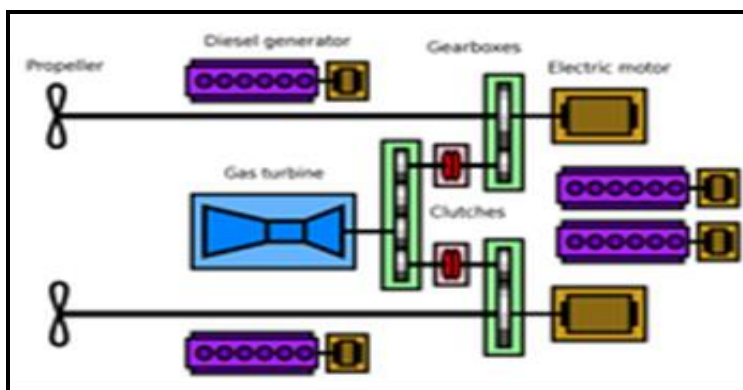


Εικόνα 11: Ηλεκτροκινητήρας

1.1.5 Κινητήρας με συνδυασμένο Diesel-ηλεκτρικό ρεύμα και αεριοστρόβιλο (CODLAG) - (Επιγραμματική Αναφορά)

Το συνδυασμένο ντίζελ-ηλεκτρικό και αεριοστρόβιλο (CODLAG) είναι μια τροποποίηση του συνδυασμένου συστήματος πρόωσης ντίζελ και φυσικού αερίου για τα πλοία. Μια παραλλαγή, που ονομάζεται σύστημα συνδυασμένου ντίζελ-ηλεκτρικού ή αεριοστροβίλου (CODLOG), περιέχει τα ίδια βασικά στοιχεία, αλλά δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση των εναλλακτικών πηγών κίνησης.

Ένα σύστημα CODLAG χρησιμοποιεί ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι συνδέονται με τους άξονες προπέλας (συνήθως 2). Οι κινητήρες τροφοδοτούνται από γεννήτριες ντίζελ. Για υψηλότερες ταχύτητες, ένας αεριοστρόβιλος τροφοδοτεί τους άξονες μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων. Για ταχύτητα κρουαζιέρας, η μετάδοση κίνησης του στροβίλου αποσυνδέεται με συμπλέκτες.



Εικόνα 12: Σχηματικό διαγραμμα λειτουργίας CODLAG

Η διάταξη αυτή συνδυάζει τους κινητήρες ντίζελ που χρησιμοποιούνται για την πρόωση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας σημαντικά το κόστος των υπηρεσιών, καθώς μειώνει τον αριθμό των διαφορετικών κινητήρων ντίζελ και ηλεκτρικών κινητήρων, που απαιτούν σημαντικά λιγότερη συντήρηση. Επίσης, οι ηλεκτρικοί κινητήρες λειτουργούν αποτελεσματικά σε ένα ευρύ φάσμα στροφών και μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τον άξονα της έλικας έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλούστερα κιβώτια ταχυτήτων για να συνδυάσουν τη μηχανική απόδοση των στροβίλων και των ντιζελοκινητήρων.

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
- Βαρος εγκατάστασης κινητήρα
- Κόστος εγκατάστασης κινητήρα
- Κόστος λειτουργίας κινητήρα
- Κόστος συντήρησης κινητήρα
- Σχεδιασμός/επιλογή στοιχείων μετάδοσης ισχύος

1.2 Επικίνδυνοι ρύποι κατά την καύση ναυτικών πετρελαίων

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει αναφορά στους επικίνδυνους ρύπους που εκπέμπονται από τους ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες. Όλα τα είδη πετρελαίων άλλα ιδιαίτερα το μαζούτ, ως υπόλειμμα απόσταξης, είναι ένας τύπος πετρελαίου που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σε θείο το οποίο όταν καίγεται σχηματίζει διοξείδιο του θείου και τριοξείδιο του θείου - ενώσεις που συνδυάζονται με την ατμοσφαιρική υγρασία για να σχηματίσουν θειικό οξύ. Εκτός από οξείδια του θείου με την καύση εκπέμπονται και άλλα επικίνδυνα οξείδια, όπως αζώτου, ανθρακα άλλα και αιωρούμενα σωματίδια.

Παρακατω θα αναλυθούν όλοι αυτοί οι επικίνδυνοι ρύποι που εκπέμπονται από τις πετρελαιομηχανές, θα αναφερθούν οι επιπτώσεις τους καθώς θα περιγραφούν και φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω αυτών των ρύπων:

I) Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι ο κυριότερος ρύπος καύσης των πετρελαιομηχανών. Είναι ένα αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειώδες οξύ. Σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO₃, το οποίο μετατρέπεται σε θειικό οξύ H₂SO₄, κύριο συστατικό της όξινης βροχής. Ως ευδιάλυτο, απορροφάται από τα υγρά στο ανώτερο κυρίως τμήμα του αναπνευστικού συστήματος προκαλώντας έκκριση βλέννας. Τελικά πολύ μικρό ποσοστό φτάνει κανονικό στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Σε συνδυασμό με τον καπνό και τα σωματίδια, με τα οποία συνήθως συνυπάρχει, μεταφέρεται στους πνεύμονες. Έτσι εξηγείται η συνεργιστική δράση που παρατηρείται μεταξύ και σωματιδίων, με αποτέλεσμα τον τριπλασιασμό έως τετραπλασιασμό του ερεθισμού των πνευμόνων.

Προέρχεται κύρια από τις καύσεις, όταν το καύσιμο (στερεό ή υγρό) περιέχει θείο. Άλλες σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές διοξειδίου του θείου είναι η διύλιση πετρελαίου και η βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων.

Το διοξείδιο του θείου σε συνδυασμό με αιωρούμενα σωματίδια και καπνό, έχουν προκαλέσει επανειλημμένα στο παρελθόν σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σε πολλές χώρες στην Ευρώπη μάλιστα, έχει απαγορευθεί η χρήση του μαζούτ όχι μόνο για τους ρύπους που προκαλεί, αλλά επίσης και για το πόσο ρυπαίνει τους χώρους στους οποίους φυλάγεται και χρησιμοποιείται. Στην Κύπρο μέχρι το 2020 η ΑΗΚ θα πρέπει να σταματήσει τη χρήση του μαζούτ ως καύσιμη ύλη αλλιώς θα πληρώνει βαριά πρόστιμα την Ε.Ε και αυτό γιατί λόγω των ρύπων που εξαπολύονται στην ατμόσφαιρα.

Επιπτώσεις στην υγεία και το φυσικό περιβάλλον

Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου (SO₂) μπορούν να προκαλέσουν προσωρινή δυσκολία αναπνοής ασθματικών παιδιών και ενηλίκων ενεργών στην ύπαιθρο (π.χ. ασκούμενων). Έκθεση μικρής διάρκειας, ατόμων πάσχοντα από άσθμα, σε υψηλά επίπεδα SO₂, καθόσον βρίσκονται σε μέτρια δραστηριότητα, μπορεί να προκαλέσει μειωμένη λειτουργία των

πνευμόνων πιθανά συνοδευόμενη από συμπτώματα όπως δύσπνοια, πόνος στο στήθος ή λαχάνιασμα. Συνέπειες που έχουν συνδυασθεί με παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις SO_2 , σε συνδυασμό με υψηλά ποσοστά αιωρούμενων σωματιδίων (PM), περιλαμβάνουν αναπνευστικές παθήσεις, μεταβολές στην άμυνα των πνευμόνων και επιδείνωση υπαρχόντων καρδιαγγειακών παθήσεων. Άτομα με καρδιαγγειακές παθήσεις ή χρόνιες παθήσεις πνευμόνων, καθώς επίσης παιδιά και ηλικιωμένοι, αποτελούν ομάδες αυξημένου κινδύνου υπό τις άνωθεν περιγραφείσες συνθήκες.

II) Τριοξείδιο του θείου (SO_3)

Το τριοξείδιο του θείου γνωστό και ως ο ανυδρίτης του θειικού οξέος είναι ανόργανη χημική ένωση με μοριακό τύπο SO_3 . Αιωρούμενο στη γήινη ατμόσφαιρα, το τριοξείδιο του θείου αποτελεί σημαντικό ατμοσφαιρικό ρύπο και είναι το κυριότερο αίτιο για την όξινη βροχή. Παράγεται σε βιομηχανική κλίμακα ως ένας πρόδρομος του θειικού οξέος.

Ως ανυδρίτης του ισχυρού θειικού οξέος, το τριοξείδιο του θείου είναι έντονα υγροσκοπική ουσία. Η θερμότητα που αναπτύσσεται όταν απορροφά υγρασία είναι τέτοια, ώστε μπορεί να σημειωθεί ανάφλεξη. Για τον ίδιο λόγο προκαλεί σοβαρά εγκαύματα όταν εισπνέεται ή καταπίνεται, μετατρέπόμενο σε θειικό οξύ.

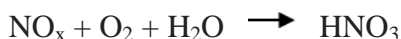
III) Διοξείδιο του αζώτου (NO_2)

Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την καφέ όψη του αστικού ουρανού. Προέρχεται μέσω χημικών αντιδράσεων, παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας, από το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το οποίο παράγεται από καυστήρες. Αποτελεί τον κύριο ρύπο του νέφους και της όξινης βροχής. Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά.

Όξινη βροχή

Καταστροφικές γίνονται επίσης οι συνέπειες στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος με την εμφάνιση της όξινης βροχής εξαιτίας όλων των ρύπων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, αέριοι ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με το νερό της βροχής παράγοντας θειικό οξύ και νιτρικό οξύ αντίστοιχα.

Κατά το φαινόμενο αυτό οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τον σχηματισμό της όξινης βροχής είναι οι εξής:



Τα αποτελέσματα της όξινης βροχής στο φυσικό περιβάλλον μπορεί να είναι καταστροφικά, όπως:

- Καταστρέφει τα φυλλώματα των δένδρων (μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη αποψίλωση δασών)
- Υποβαθμίζει την ποιότητα του εδάφους
- Αλλάζει τα χημικά χαρακτηριστικά των φυσικών υδάτων προκαλώντας θάνατο στους υδρόβιους οργανισμούς
- Μπορεί να διαβρώσει επίσης κτίρια/αρχαιολογικούς χώρους/μνημεία

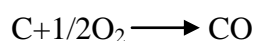
Μια τέτοια εικόνα αλλοίωσης ενός μνημείου φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 13: Παράδειγμα διάβρωσης αρχαιολογικού μνημείου

IV) Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

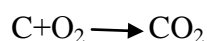
Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άοσμο, δηλητηριώδες, άχρωμο, άγευστο, ελαφρύτερο του αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Μετά από την ατελή καύση του άνθρακα παράγεται το μονοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση:



Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις πάσης φύσεως πετρελαιομηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα είναι συνήθως πιο αυξημένα τον χειμώνα γιατί οι κινητήρες εσωτερικής καύσης τελούν ατελέστερη καύση σε χαμηλές θερμοκρασίες.

V) Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Σε περίπτωση πλήρους καύσης των ενώσεων άνθρακα σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα.



Πρόκειται για έναν από τους σημαντικότερους ρύπους που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Τα τελευταία 130 χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση του CO₂ περίπου 29%. Το διοξείδιο του άνθρακα εισπνεόμενο σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ταχεία αναπνοή, αναισθησία και θάνατο.

Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το διοξείδιο του άνθρακα όμως προκαλεί και το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου που εμφανίζει μεγάλους περιβαλλοντικούς κινδύνους καθώς και για τον ίδιο τον άνθρωπο. Συγκεκριμένα, το διοξείδιο του άνθρακα συμμετέχει στον σχηματισμό ενός μανδύα στην τροπόσφαιρα, ο οποίος αφήνει τις ακτίνες του ηλίου να φθάσουν στη Γη, αλλά εμποδίζει τις εκπεμπόμενες από την επιφάνεια της Γης (υπέρυθρη ακτινοβολία) να επιστρέψουν στο διάστημα. Αυτό αναπαριστάται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 14: Γραφική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι οι εξής:

A) Αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε πολλές περιοχές στην χώρα μας φτάνει σε τέτοια επίπεδα που οι συνθήκες ζωής γίνονται ανυπόφορες για τους ανθρώπους και τους άλλους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς.

B) Μεταβολή του κλίματος

Λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου μπορεί να συμβεί μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από περιοχές που βρίσκονται κάτω από τον ισημερινό προς το βορρά. Έτσι, ενδέχεται να συμβεί ερημοποίηση αυτών των περιοχών. Εκτός από ξηρασίες μπορεί βέβαια να δημιουργηθούν ασυνήθιστοι άνεμοι, πλημμύρες και όλα αυτά αναμένεται να μεταβάλλουν τους τύπους χλωρίδας και πανίδας.

VI) Αιωρούμενα σωματίδια

Θεωρούνται μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τέτοια σωματίδια είναι η σκόνη, ο καπνός, διάφορα μέταλλα κλπ. Τα πιο χαρακτηριστικά σωματίδια είναι αυτά που έχουν διάμετρο μέχρι 10 μm (PM10) και ιδίως τα σωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο (PM2.5). Θα πρέπει να σημειωθεί τέλος, ότι το διοξείδιο του θείου είναι πρόδρομος των PM2.5.

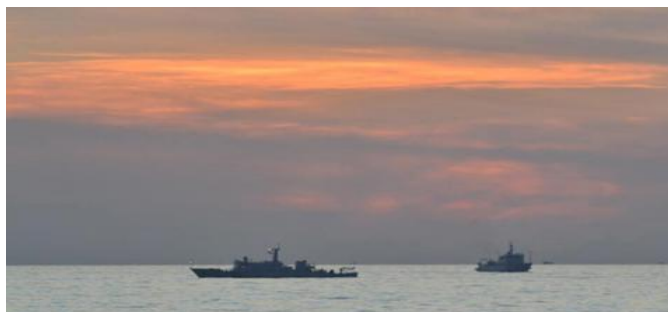
Το μέγεθός τους, επιτρέπει την είσοδό τους στο αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα αλλά και δυσμενείς επιπτώσεις στους πνεύμονες και στην καρδιά. Οι επιπτώσεις δυστυχώς δεν περιορίζονται μόνο στο αναπνευστικό, αλλά επιδρούν και στο καρδιαγγειακό σύστημα. Συμβαίνει επίθεση δηλ. αυτών των μικροσωματιδίων μέσα στα αγγεία της καρδιάς με αποτέλεσμα να υπάρχουν στενώσεις και το αγγείο να είναι φραγμένο κατι που μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα.

Κυκλοφοριακό σύστημα

Τα μικρά σωματίδια PM2.5 δεν απομακρύνονται από το αναπνευστικό σύστημα, ξεπερνούν τα αντανακλαστικά του φτερνίσματος και του βήχα και κατεβαίνουν στις κυψελίδες και διεισδύουν μέσα στο κυκλοφοριακό σύστημα του ανθρώπου, με αποτέλεσμα το αίμα να τα πηγαίνει παντού. Έτσι μπορεί να έχουμε τοξικότητα σε όλα τα όργανα του οργανισμού κι όχι μόνο στο αναπνευστικό. Σύμφωνα με στοιχεία της EPA τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν περίπου 60,000 πρόωρους θανάτους ανά έτος στις ΗΠΑ.

Αιθαλομίχλη

Η αιθαλομίχλη είναι το είδος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που παρουσιάζεται όταν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως αιωρούμενων σωματιδίων, διοξειδίου του θείου, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία. Όταν σε μια περιοχή υπάρχουν αυξημένες εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου από τις πετρελαιομηχανές σε συνδυασμό με μετεωρολογικές και τοπογραφικές συνθήκες που εμποδίζουν την απομάκρυνση της ρύπανσης, τότε οι ρύποι εγκλωβίζονται στην περιοχή με αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων ρύπων και τη δημιουργία αιθαλομίχλης.



Εικόνα 15: Αιθαλομίχλη σε θαλάσσια περιοχή από καύση ναυτικού πετρελαίου

Άλλα σωματίδια που μπορεί να συνεπάρουν είναι η σκόνη, η αιθάλη (καπνός), διάφορα μέταλλα κλπ. Σαν αιθάλη (καπνός) αναφέρονται τα μικρά σωματίδια τα οποία προέρχονται από ατελείς καύσεις, είναι μαύρου χρώματος και αποτελούνται κυρίως από άνθρακα.

VII) Πτητικοί υδρογονάνθρακες (Volatile Organic Compounds, VOCs)

Είναι οργανικές ενώσεις που εξαερώνονται εύκολα. Από τα πτητικά υγρά διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα ατμοί ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου. Στους πτητικούς υδρογονάνθρακες περιλαμβάνονται το βενζόλιο, διαλύτες όπως το τολουόλιο και το πετρολοαιθυλένιο (χρήση σε καθαριστήρια).

Οι πτητικοί υδρογονάνθρακες απελευθερώνονται από τις καύσεις των καύσιμων υλών όπως βενζίνη, τα ξύλα, το φυσικό αέριο. Πολλοί από τους πτητικούς υδρογονάνθρακες είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι, όπως για παράδειγμα το βενζόλιο που προκαλεί καρκίνο. Το μεθάνιο θεωρείται επίσης το δεύτερο σημαντικότερο αέριο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.3 Προστασία από τη ρύπανση θαλάσσιου περιβάλλοντος

Η διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) είναι η κύρια διεθνής σύμβαση που καλύπτει την προστασία και την πρόληψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλοία από επιχειρησιακά ή τυχαία αίτια.

Η σύμβαση MARPOL εγκρίθηκε στις 2 Νοεμβρίου 1973 στον IMO. Το πρωτόκολλο του 1978 εγκρίθηκε ως απάντηση σε μια σειρά από ατυχήματα των δεξαμενόπλοιων το 1976-1977. Δεδομένου ότι η σύμβαση MARPOL του 1973 δεν είχε ακόμη τεθεί σε ισχύ, το πρωτόκολλο MARPOL του 1978 απορρόφησε τη μητρική σύμβαση.

Το 1997 εγκρίθηκε πρωτόκολλο για την τροποποίηση της σύμβασης και προστέθηκε ένα νέο παράρτημα VI το οποίο τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Η MARPOL ενημερώθηκε με τροποποιήσεις κατά τη διάρκεια των ετών.

Η σύμβαση περιλαμβάνει κανονισμούς που αποβλέπουν στην πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από τα πλοία - τόσο της ακούσιας ρύπανσης όσο και της ρύπανσης από τις συνήθεις εργασίες - και περιλαμβάνει επί του παρόντος έξι τεχνικά παραρτήματα. Περιοχές (SECAs) μέσα από τις οποίες θα περνούν τα πλοία με αυστηρούς ελέγχους των λειτουργικών απορρίψεων περιλαμβάνονται στα περισσότερα παραρτήματα της MARPOL.

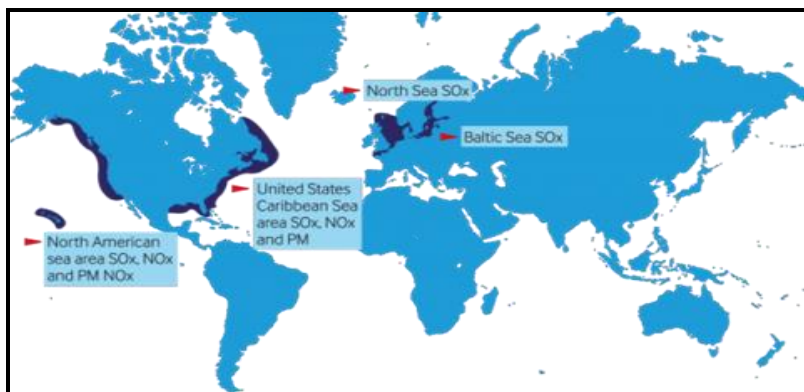
Οι περιοχές ελέγχου εκπομπών καύσης πετρελαιοειδών (SECAs) είναι με άλλα λόγια οι περιοχές στις οποίες επιβάλλονται αυστηρότεροι έλεγχοι και προϋποθέσεις για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία. Αυτές οι προϋποθέσεις αφορούν τον έλεγχο των προαναφερόμενων

ρυπαντών και οι απαιτήσεις και τα γεωγραφικά τους όρια καθορίζονται στο παράρτημα VI της MARPOL 1997.

Μέχρι στιγμής υπάρχουν 4 περιοχές ελέγχου εκπομπών καύσης πετρελαίου (SECAs):

- η Βαλτική θάλασσα, απο 19 Μαΐου 2006
- η Βόρεια Θάλασσα, απο 22 Νοεμβρίου 2007
- η NAECA (η Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών της Βορείου Αμερικής από 1 Αυγούστου 2012
- η US Caribbean ECA, η οποία περιλαμβάνει κυρίως την αμερικανική ακτή της Καραϊβικής θάλασσας απο 1 Ιανουαρίου 2014

Αυτές οι περιοχές ελέγχου εκπομπών καύσης πετρελαίου απεικονίζονται στον παρακατω χάρτη:



Εικόνα 16: Περιοχές ελέγχου εκπομπών επικίνδυνων οξειδίων από τα πλοία SECAs

Όλες οι Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών επικίνδυνων οξειδίων έχουν αυξημένες απαιτήσεις για τα οξείδια του θείου, μόνο όμως οι περιοχές Ελέγχου Εκπομπών των Η.Π.Α. περιέχουν αυξημένες απαιτήσεις για οξείδια του αζώτου ή NO_x . Στο μέλλον αναμένεται η δημιουργία νέων SECAs κυρίως στην περιοχή του Περσικού Κόλπου (Εικ.26), ενώ θα περιλαμβάνονται περισσότερες περιοχές με αυστηρότερα όρια και στα οξείδια του αζώτου.



Εικόνα 17: Περιοχές ελέγχου εκπομπών επικίνδυνων οξειδίων από τα πλοία SECAs και περιοχές που αναμένεται να συμπεριληφθούν στη ζώνη των SECAs

Για να πληρεί τις διατάξεις των παραπάνω κανονισμών, ένα πλοίο έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί καύσιμο που έχει περιεκτικότητα σε οξείδια του θείου και οξείδια του αζώτου όπως αυτές ορίζονται παρακατω (αυτό, βέβαια, συνεπάγεται υψηλό κόστος καυσίμου).

I) Οξείδια του Θείου (SO_x)

Κατά το αναθεωρημένο Παράρτημα VI της MARPOL το παγκόσμιο όριο του θείου στα καύσιμα από 3,50% θα μειωθεί σε 0,50% με εφαρμογή από 1η Ιανουαρίου 2020 και υπόκειται σε μελέτη σκοπιμότητας, που θα πρέπει να ολοκληρωθεί μέχρι το 2018. Τα όρια για το SO_x και τα μικροσωματίδια στις ECAs μειώθηκαν από την 1η Ιανουαρίου 2015 σε 0,10%.

II) Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Στο αναθεωρημένο Παράρτημα VI της MARPOL περιλαμβάνονται σταδιακές μειώσεις εκπομπών NO_x από ναυτικές μηχανές ντίζελ, πρώτα με την εφαρμογή των ορίων των εκπομπών της “βαθμίδας II,” για μηχανές που έχουν εγκατασταθεί μετά την 1 Ιανουαρίου 2011, και στη συνέχεια με το αυστηρότερο όριο εκπομπών της “βαθμίδας III,” για μηχανές που θα εγκατασταθούν μετά την 1 Ιανουαρίου 2016 και θα λειτουργούν στις ECAs. Οι ναυτικές μηχανές, οι οποίες εγκαταστάθηκαν την 1η Ιανουαρίου 1990 ή μετά από αυτήν την ημερομηνία, αλλά σίγουρα πριν την 1η Ιανουαρίου 2000, απαιτείται να συμμορφώνονται με τα όρια εκπομπών της “βαθμίδας I. ή, μεταξύ άλλων εναλλακτικών μεθόδων συμμόρφωσης, σε ένα πλοίο μπορεί να εγκατασταθεί ένα σύστημα “καθαρισμού” των καυσαερίων, δίδοντάς του την

δυνατότητα να συνεχίσει να χρησιμοποιεί τα ίδια καύσιμα που χρησιμοποιεί σε περιοχές εκτός SECAs (κατά κύριο λόγο μαζούτ).

Στον παρακατω πίνακα περιγράφονται τα διάφορα στάδια εξέλιξης της MARPOL:

Πίνακας 1: Χρονιές εξέλιξης της διεθνούς σύμβασης MARPOL

2005	<i>Το παράρτημα VI της MARPOL έρχεται σε ισχύ. Καθορίζονται οι περιοχές ελέγχου εκπομπών</i>
2008	<i>Στο παράρτημα VI της MARPOL συντάσσεται μια σημαντική και προοδευτική μείωση των ποσοστών θείου και μέσα στις περιοχές SECAs</i>
2010	<i>< 1%, καθορίζεται το όριο της περιεκτικότητας θείου σε λιμάνια SECAs στην ΕΕ</i>
2015	<i>< 0.5%, καθορίζεται νέο όριο της περιεκτικότητας θείου σε ζώνες περιοχών SECAs</i>
2020 ή 2025	<i>< 0,1%, προβλέπεται το όριο της περιεκτικότητας θείου παγκοσμίως</i>

Εκτός από τους παραπάνω διεθνείς κανονισμούς, πολλές χώρες (ή πολιτείες των Η.Π.Α.) εφαρμόζουν τοπικής ισχύος κανονισμούς με στόχο την περαιτέρω μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων από τα πλοία. Μερικοί από αυτούς είναι οι παρακάτω:

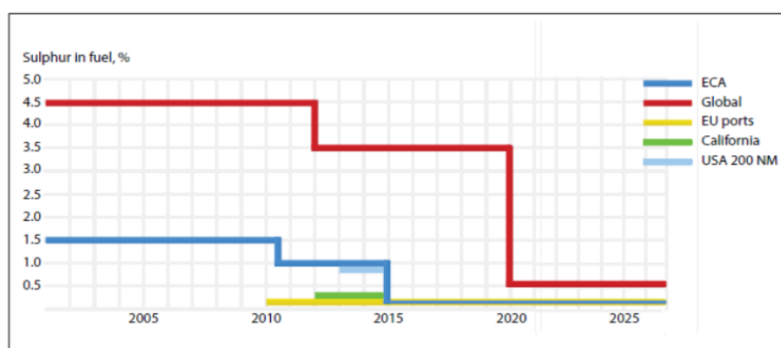
Για παράδειγμα στην πολιτεία της Καλιφόρνια από την 1η Ιανουαρίου 2014, όλα τα πλοία που πλέουν στα χωρικά ύδατα (24 ν.μ. από την ακτή) θα πρέπει να ακολουθούν το “Ocean-Going Vessel (OGV) Fuel regulation”, το οποίο υποχρεώνει όλα τα πλοία που πλέουν στην παραπάνω περιοχή να χρησιμοποιούν καύσιμα με λιγότερο από 0,10% περιεκτικότητα σε θείο.

Βέβαια από την 1η Ιανουαρίου 2015 ισχύει, όπως προαναφέρθηκε, και το νέο όριο για τις ECAs (και επομένως και για την NAECA, στην οποία ανήκει η Καλιφόρνια), το οποίο ορίζει την χρησιμοποίηση καυσίμων με όριο το 0,10% περιεκτικότητα σε θείο. Ο τοπικός κανονισμός OGV, όμως, δεν αναγνωρίζει την δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών μεθόδων συμμόρφωσης. Κατά συνέπεια μπορεί να υπάρξουν επιπλοκές για όσα πλοία χρησιμοποιούν εναλλακτικές μεθόδους συμμόρφωσης στα χωρικά ύδατα της Καλιφόρνια.

Στο Δέλτα του ποταμού Γιανκτσού στην Κίνα, πλοία που επισκέπτονται τους λιμένες Ningbo-Zhoushan (συμπεριλαμβανόμενων των περιοχών Beilun, Chuanshan, Daxie, Zhenhai, Meishan, Shengsi, Liuheng, Dinghai, Qushan, Jintang), Suzhou και Nantong, Shanghai, θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη από 0,5% κατά την παραμονή τους στις προβλήτες από την 1η Απριλίου 2016. Εξαιρείται η πρώτη ώρα μετά την άφιξη και η τελευταία ώρα πριν τον απόπλου του πλοίου, ενώ διατηρείται η δυνατότητα χρησιμοποίησης εναλλακτικών μεθόδων συμμόρφωσης, που αναφέρονται στο Annex VI της MARPOL.

Στο λιμάνι της Σαγκάης, υπάρχει η δυνατότητα της εξαίρεσης από τον κανονισμό, εάν η χρήση του καύσιμου με χαμηλή σε περιεκτικότητα σε θείο κρίνεται επικίνδυνη για το πλοίο. Πρέπει, όμως, να σημειωθεί πως στην Σαγκάη γίνεται και επιβολή προστίμων σε εταιρείες που δεν διατηρούσαν δείγματα καυσίμων ή αρχεία με αποδείξεις παραλαβής καυσίμων (BDNs) για τουλάχιστον έναν χρόνο.

Μετα τον καθορισμό των περιοχών όπου ελέγχεται η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο και τον καθορισμό αυστηρών προϋποθέσεων και προδιαγραφών σύμφωνα με το παράρτημα VI της MARPOL η περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων με το πέρασμα των χρόνων έχει μειωθεί ως εξής:



Εικόνα 18: Χρονική εξέλιξη της περιεκτικότητας σε θείο σε ναυτικά καύσιμα σε ότι αφορά περιοχές ελέγχου εκπομπών (SECAs), παγκοσμίως, σε ευρωπαϊκά λιμάνια, στην Καλιφόρνια και Αμερική

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα:

- Η περιεκτικότητα σε θείο σε ναυτικά καύσιμα έχει μειωθεί παγκοσμίως από το 4.5% στο 3.5% και αναμένεται περαιτέρω μείωση στα επίπεδα που ζητά και η MARPOL στο 0.5% ως το 2020.
- Σε ευρωπαϊκά λιμάνια και στην Αμερική η περιεκτικότητα σε θείο σε ναυτικά καύσιμα είναι σήμερα κατω του 0.5%.
- Στις περιοχές ελέγχουν εκπομπών (SECAs) η περιεκτικότητα σε θείο σε ναυτικά καύσιμα ενώ ήταν παλιότερα στο 1.5% έχει σήμερα σχεδόν μηδενιστεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Πετρέλαιο-Γενικά

Το πετρέλαιο αποκαλείται και *μαύρος χρυσός*, είναι παχύρρευστο υγρό με μαύρο χρώμα και αποτελεί τη σπουδαιότερη σήμερα φυσική πηγή ενέργειας. Για την ερμηνεία της δημιουργίας του πετρελαίου υπάρχουν 2 αλληλοσυγκρουόμενες θεωρίες. Πολλοί χημικοί και γεωλόγοι ερευνητές του αντικειμένου ισχυρίζονται ότι το πετρέλαιο σχηματίστηκε από ανθρακομεταλλικές ενώσεις.

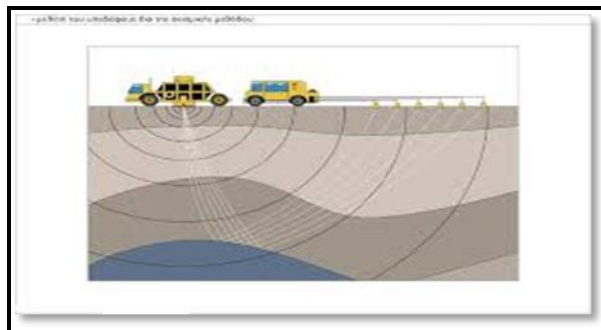
Τέτοιες ανθρακομεταλλικές ενώσεις θεωρούνται καρβίδια μετάλλων, όπως είναι το ανθρακαργίλιο και το ανθρακασβέστιο. Η θεωρία αυτή σήμερα έχει τελείως εγκαταλειφθεί. Δύο από τους ισχυρότερους λόγους που αποτελούν τα επίμαχα και ισχυρά επιχειρήματα υπέρ της εγκατάλειψης αυτής της θεωρίας είναι η παρουσία αζωτούχων ενώσεων. Σύμφωνα με τη 2^η θεωρία η δημιουργία του πετρελαίου οφείλεται σε φυτικές και ζωικές πρώτες ύλες.

Το πετρέλαιο είναι προϊόν αποσύνθεσης ζωικών και φυτικών οργανισμών που εγκλείστηκαν μέσα στα πετρώματα σε μεγάλο βάθος στη Γη. Αυτοί οι οργανισμοί ήταν κυρίως θαλάσσιοι. Τα λείψανα αυτών των οργανισμών 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. Στη σύγχρονη εποχή το πετρέλαιο αποτελεί ίσως την σημαντικότερη πρώτη ύλη για την βιομηχανία και τη παραγωγή ενέργειας. Το πετρέλαιο χρησιμεύει σήμερα κυρίως:

- Για την παραγωγή καυσίμων για μηχανές εσωτερικής καύσης
- Ως πρώτη ύλη για πολλά χημικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των διαλυτών, των λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων, καθώς και πλαστικών, απορρυπαντικών ακόμη και ορισμένων εκρηκτικών υλών
- Για μονάδες θέρμανσης

Για τον εντοπισμό κοιτασμάτων πετρελαίου τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται κυρίως η «σεισμική τεχνική με τρισδιάστατη αντανάκλαση». Η τεχνική αυτή πραγματοποιείται με μια σειρά από μικρές εκρήξεις στην επιφάνεια, οι οποίες γεννούν μια σειρά από σεισμικά κύματα. Αυτά ταξιδεύουν κάτω από τη γη και αντανακλώνται από τα διάφορα γεωλογικά στρώματα με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με τη σύστασή τους (πορώδη ή συμπαγή πετρώματα, νερό, αέριο ή πετρέλαιο). Τα κύματα αντανάκλασης λαμβάνονται από ειδικούς αισθητήρες σαρωτών, οι οποίοι είναι όργανα που έχουν τη δυνατότητα να συλλέξουν στοιχεία για τη θέση διακεκριμένων στοιχείων (π.χ σαρωτές laser). Τα κύματα αντανάκλασης μετατρέπονται σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα, αναλύονται και δημιουργείται έτσι ένα είδος τρισδιάστατης 3d- ακτινογραφίας της υπεδάφιας λεκάνης. Οι σαρώσεις γίνονται υπό διαφορετικές γωνίες και όψεις ώστε να δημιουργηθεί μια σωστή απεικόνιση και αναφέρονται σε ένα ενιαίο λογισμικό μοντέλο που θα πραγματοποιήσει την 3d- ανάλυση.



Εικόνα 19: Σεισμική τεχνική με τρισδιάστατη αντανάκλαση για την σάρωση κοιτασμάτων πετρελαίου

Το σημαντικότερο μέρος για την άντληση του πετρελαίου είναι η δημιουργία γεώτρησης. Ως γεώτρηση θεωρείται η δημιουργία ενός κατακόρυφου στενού και μεγάλου βάθους ανοίγματος με σκοπό την σύνδεση του συστήματος άντλησης με τα κοιτάσματα του ακατέργαστου πετρελαίου μέσα στη Γη. Στις μέρες μας για τη δημιουργία γεωτρήσεων χρησιμοποιούνται κυρίως σταθερές πλατφόρμες (fixed platform). Μια τέτοια πλατφόρμα αποτελείται από συγκολλημένους ατσάλινους σωλήνες που συνθέτουν την βάση (jacket) και το κατάστρωμα μαζί με τις εγκαταστάσεις του. Αυτές τοποθετούνται συνήθως σε νερά βάθους μέχρι 450m και αυτό γίνεται για λόγους ευστάθιας. Ένα άλλο είδος πλατφόρμας θεωρείται οι πλατφόρμες Jack up (Jack up platform) οι οποίες θεωρούνται εξέδρες που έχουν την δυνατότητα μεταφοράς σε διάφορες

περιοχές άντλησης πετρελαίου. Οι πλατφόρμες αυτές αποτελούνται από 5 πυλώνες (πόδια), οι οποίοι εκτείνονται στηρίζοντας το πλωτό μέρος. Με αυτών των 2 ειδών πλατφόρμες μπορεί να γίνει άντληση πετρελαίου σε μικρά-μεσαία βάθη έως 1000m.



Εικόνα 20: Σταθερές πλατφόρμες και jack up πλατφόρμες

Για μεγαλύτερα βάθη άντλησης πετρελαίου χρησιμεύουν οι ημιβυθιζόμενες εξέδρες (Semi submersible platform) (Εικ.21). Αυτές θεωρούνται κινητές εξέδρες και εκτελούν γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη (π.χ. 3000m) και κάτω από ιδιαίτερα αντίξοες συνθήκες (π.χ πολύ υψηλοί κυματισμοί θάλασσας).



Εικόνα 21: Ημιβυθιζόμενες εξέδρες

Τέλος υπάρχουν και τα πλοία άντλησης πετρελαίου (Drillships) που και αυτά μπορούν να εκτελέσουν γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη. Ωστόσο δεν θεωρούνται τόσο ανθεκτικά σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Η διάνοιξη της γεώτρησης επιτυγχάνεται με την χρήση ενός τρυπανιού. Ωστόσο για την λειτουργία της εξέδρας είναι απαραίτητη η ύπαρξη και άλλων σύνθετων μηχανημάτων που αποσκοπούν στην ασφαλή λειτουργία, την τροφοδότηση ενέργειας στους κινητήρες, την μεταφορά και ασφαλή λειτουργία του τρυπανιού και την άντληση του πετρελαίου.

Για τις χερσαίες επιχειρήσεις στην επιλεγείσα τοποθεσία δημιουργείται εργοτάξιο το οποίο θα φιλοξενήσει τον εξοπλισμό της γεώτρησης και τις υπηρεσίες υποστήριξης. Η πρώτη γεώτρηση έγινε από τον Εντγουντ Ντρέικ στην δυτική Πενσυλβανία τον Αύγουστο του 1859 σε βάθος 21 μέτρων και ουσιαστικά άνοιξε τον δρόμο στη βιομηχανία του πετρελαίου. Μετά από αυτήν την επιτυχία της Αμερικής, πετρέλαιο αναζητάται σε όλες τις ηπείρους εκτός της Ανταρκτικής.

Η τεχνολογία των γεωτρήσεων με την πάροδο των ετών βελτιώνεται και δίνει την δυνατότητα εξόρυξης μεγαλύτερου όγκου πετρελαίου σε μικρότερο χρονικό διάστημα αλλά και άντλησης από βαθύτερα σημεία στο υπέδαφος της γης. Στις αρχές του 20ου αιώνα αναδείχθηκε η αποτελεσματικότητα της περιστροφικής διάτρησης (Rotary Drilling) με την ανακάλυψη του κοιτάσματος Spindeltop στο Texas, όταν ο Anthony Lucas ένας μηχανικός πετρελαίου, ήταν ο πρώτος που συνδύασε τη χρήση της περιστροφικής διάτρησης με τη συνεχή κυκλοφορία λάσπης. *Στις μέρες μας το κρουστικό γεωτρήπανο έχει αντικατασταθεί πλήρως από το περιστροφικό.*

Η άντληση πετρελαίου μπορεί να γίνει είτε από στεριά είτε από θάλασσα. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα άντλησης πετρελαίου από το θαλάσσιο περιβάλλον είναι ότι τα κοιτάσματα μπορεί να είναι πιο πλούσια από τα αντίστοιχα της ξηράς, η θάλασσα προσφέρει σχετικά φτηνή μεταφορά, οι εγκαταστάσεις για φόρτωση και μεταφορά ήδη υπάρχουν, ενώ υφίστανται λιγότεροι περιβαλλοντικοί περιορισμοί (ύπαρξη ποταμών, βουνών κτλ).



Εικόνα 22: Σταθερή θαλάσσια εξέδρα γεώτρησης πετρελαίου

Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του εξοπλισμού, αλλά και αστάθμητα περιβαλλοντικά προβλήματα. Στις θαλάσσιες γεωτρήσεις οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι σαφώς μεγαλύτερα και πιο επιβλαβή για το περιβάλλον από ότι στις χερσαίες εγκαταστάσεις. Δεν είναι λίγες οι φορές που συμβαίνουν εκρήξεις από διαρροές πετρελαίου σε θαλάσσιες πλατφόρμες ενώ ταυτόχρονα σχηματίζονται στην θάλασσα πετρελαιοκηλίδες, οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις μπορούν να καταλαμβάνουν μεγάλο μέγεθος αλλοιώνοντας έτσι την ισορροπία του φυτικού και ζωικού οικοσυστήματος. Μάλιστα, αυτές αρκετά συχνά εξαφανίζονται δύσκολα και μετα από σημαντικό χρονικό διάστημα.

Τέτοιο σπουδαίο παράδειγμα διαρροής πετρελαίου και σχηματισμού μεγάλης σε μέγεθος πετρελαιοκηλίδας ήταν με την έκρηξη στη θαλάσσια πλατφόρμα άντλησης πετρελαίου <<Deerwater Horizon>> στον Κόλπο του Μεξικού. Η έκρηξη στην πετρελαϊκή εξέδρα Deerwater Horizon οδήγησε στην διαρροή 4,9 εκατομμυρίων βαρελιών αργού πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού το 2010 επί 87 ημέρες προκαλώντας και τον θάνατο 11 ανθρώπων.



Εικόνα 23: Σχηματισμός πετρελαιοκηλίδας λόγω διαρροής πετρελαίου

2.2 Χημική σύσταση πετρελαίου

Κύρια χημικά συστατικά του πετρελαίου θεωρούνται μεγάλες αλυσίδες υδρογονανθράκων, οι οποίες είναι κατά βάση κορεσμένοι (με μονούς δεσμούς) και ακόρεστοι υδρογονάνθρακες (με διπλούς και τριπλούς δεσμούς). Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται από απλές ενώσεις μεταξύ των ατόμων του άνθρακα και συνθέτουν το πετρέλαιο όπως είναι στην αρχική του μορφή (αργό πετρέλαιο). Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες διαμορφώνονται στις διεργασίες επεξεργασίας του αργού πετρελαίου, όπως στην πυρόλυση και την αφυδρογόνωση. Γενικά στο πετρέλαιο συναντώνται οι εξής ομάδες οργανικών ενώσεων:

- Αλκάνια
- Κυκλοαλκάνια
- Αλκένια
- Ολεφίνες

Σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις περιλαμβάνονται ακόμη μη υδρογονανθρακικές θειούχες ενώσεις όπως είναι υδρόθειο, μερκαπτάνες, σουλφίδια, δισουλφίδια, πολυσουλφίδια. Επιπλέον στο πετρέλαιο συναντώνται αζωτούχες ενώσεις, που είναι γενικά ανεπιθύμητες κατά την επεξεργασία, ως διαβρωτικές, δηλητηριώδεις για τους καταλύτες και συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση από τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου αντίστοιχα, όταν καίγονται.

Παράλληλα στο πετρέλαιο ανιχνεύονται και μη υδρογονανθρακικές οξυγονούχες ενώσεις τα γνωστά ως ναφθενικά οξέα, που είναι διαβρωτικά καθώς και φαινόλες που προκαλούν προβλήματα οσμής.

Τέλος, σε συγκεντρώσεις ιχνών εμφανίζονται στο πετρέλαιο και ενώσεις μετάλλων λόγω του ότι λεκάνες πετρελαίου κείτονται πάνω σε ιζηματογενή πετρώματα. Τέτοιες ενώσεις μπορούν να είναι π.χ. βαναδίου, σιδήρου, νικελίου που επίσης είναι ανεπιθύμητες εφόσον λειτουργούν ως δηλητήρια καταλυτών.

Στο παρακατω σχήμα περιγράφεται η χημική σύσταση του πετρελαίου. Όπως φαίνεται συντριπτικά (98%) το μεγαλύτερο ποσοστό του πετρελαίου αποτελείται από ομάδες υδρογονανθράκων κορεσμένων και ακόρεστων.

Στοιχειώδη σύνθεση πετρελαίου		
Ανθρακας	Ενώσεις υδρογόνου και άνθρακα	98%
Υδρογόνο		
Θείο	υδρόθειο, μερκαπτάνες, σουλφίδια, δισουλφίδια, πολυσουλφίδια και θειοφαίνια	>1%
Οξυγόνο	ναφθενικά οξέα	>1%
Μέταλλα	Ενώσεις βαναδίου, σιδήρου, νικελίου	>1%

Εικόνα 24: Χημική σύσταση πετρελαίου

Στη συνέχεια, και εξαιτίας της μεγάλης σπουδαιότητας του πετρελαίου και των προϊόντων του, συνεχίστηκε η έρευνα σχετικά με τη σύσταση του πετρελαίου και διαπιστώθηκε ότι στο πετρέλαιο υπάρχουν 3 κατηγορίες υδρογονανθράκων, οι οποίες ανάλογα με την περιεκτικότητά τους καθορίζουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του πετρελαίου και των προϊόντων του. Αυτές είναι οι παραφίνες, τα ναφθένια και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Με κριτήριο, λοιπόν, την περιεκτικότητα των πετρελαίων στις 3 αυτές τάξεις υδρογονανθράκων έγινε η ακόλουθη ταξινόμηση:

- *Παραφινικά:* Με παραφινικούς υδρογονάνθρακες τουλάχιστον 50% της μάζας των ελαφρών κλασμάτων.
- *Παραφίνο-ναφθενικά:* Περιέχουν κατά κύριο λόγο παραφινικούς και ναφθενικούς υδρογονάνθρακες και σε μικρότερο ποσοστό αρωματικούς.
- *Ναφθενικά:* Οι ναφθενικοί υδρογονάνθρακες υπερτερούν σε όλα τα κλάσματα και, μάλιστα, ξεπερνούν σε ποσοστό το 60% της μάζας του πετρελαίου.
- *Παραφίνο-ναφθενο-αρωματικά:* Περιέχουν σχεδόν ίσες ποσότητες από τις τρεις τάξεις ενώσεων και είναι τα πιο διαδομένα σήμερα στη φύση.

2.3 Ναυτικά πετρέλαια - Γενικά

Η ναυτιλιακή βιομηχανία πρόκειται για αναπόσπαστο στοιχείο των ειρηνικών διεθνών εμπορικών συναλλαγών της ανθρωπότητας. Πλοία διαφόρων τύπων, μεταφέρουν ανθρώπους, ξηρά και υγρά φορτία συσκευασμένα ή σε χύμα μορφή, καθώς επίσης οχήματα, ζώα κ.ά. σε όλα τα πλάτη και μήκη της γης. Το σύνολο των εμπορικών πλοίων τα οποία φέρουν τη σημαία ενός κράτους αποτελούν το Εμπορικό Ναυτικό του κράτους αυτού. Κάθε μέρα υπάρχουν περίπου 20 εκατομμύρια εμπορευματοκιβώτια που διασχίζουν τον κόσμο μέσω πλοίων. Η ναυτιλία είναι τόσο μεγάλη στην πραγματικότητα που αποτελεί περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου. Η Ιαπωνία, και η Ελλάδα είναι οι δύο χώρες με τους μεγαλύτερους στόλους.



Εικόνα 25: Ναυτιλία, η σημαντικότερη πηγή εμπορίου

Σε ότι αφορά τα ναυτιλιακά καύσιμα, αυτά είναι κλάσματα πετρελαίου που προέρχονται από απόσταξη πετρελαίου και θεωρούνται είτε ως απόσταγμα είτε ως υπόλειμμα μετά την απόσταξη. Θεωρούνται υγρά καύσιμα που καίγονται σε μηχανές πλοίων για την παραγωγή ενέργειας. Τα ναυτιλιακά καύσιμα σύμφωνα με το σχετικό ISO 8217 διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: πετρέλαιο diesel και μαζούτ. Πρόκειται για δύο κατηγορίες καυσίμων οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις φυσικές ιδιότητες τους και τον τρόπο χρήσης τους.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος καυσίμου ντίζελ είναι ένα ειδικό κλασματικό απόσταγμα του πετρελαίου το καύσιμο έλαιο. Υπάρχουν επιπλέον και άλλοι τύποι, όπως βιοντίζελ, υγρά καύσιμα από βιομάζα (Biomass to Liquid) (BTL) ή υγρά καύσιμα ντίζελ από αέρια (gas to liquid) (GTL), που αναπτύσσονται με αυξανόμενους ρυθμούς. Για τη διάκριση αυτών των τύπων, το ντίζελ που παράγεται από πετρέλαιο αποκαλείται **πετροντίζελ**.

Το πετρέλαιο diesel παράγεται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου μεταξύ 200 °C και 350 °C σε ατμοσφαιρική πίεση, καταλήγοντας σε ένα μείγμα που περιέχει τυπικά μεταξύ 8 και 21 ατόμων άνθρακα ανά μόριο.

Το δε μαζούτ πρόκειται ως το βαρύτερο εμπορικό καύσιμο από τα παράγωγα του αργού πετρελαίου. Χαρακτηρίζεται από σημεία βρασμού (175 – 600 °C) ενώ το μήκος της αλυσίδας περιέχει από 20 – 70 άτομα άνθρακα.

Το πετρέλαιο μαζούτ λαμβάνεται σε θερμοκρασίες απόσταξης πάνω από τους 360 °C το οποίο εξέρχεται από την βάση του πύργου αποστάξεως του διυλιστηρίου, το γενικό όνομα του μαζούτ είναι υπόλειμμα αποστάξεως (residual fuel oil) και είναι ένα πολύτιμο καύσιμο. Είναι πολύτιμο για τους εξής λόγους:

- Αποτελεί περίπου του 50% του φυσικού πετρελαίου
- Είναι οικονομικό (έχει περίπου το ½ της τιμής του diesel)
- Έχει ευρύτατη εφαρμογή σαν καύσιμο πετρελαιομηχανών αλλά και λεβήτων

Το μαζούτ είναι τόσο ιξώδες ενώ πρέπει να θερμαίνεται με ένα ειδικό σύστημα καύσης πριν από κάθε χρήση γιατί μπορεί να περιέχει σημαντικά ποσά από ρυπογόνα αέρια κυρίως θείου που σχηματίζει διοξείδιο του θείου κατά την καύση. Ωστόσο αυτές οι ανεπιθύμητες ιδιότητες του το κάνουν εξαιρετικά φθηνό.

Στην πραγματικότητα το μαζούτ πρόκειται για το φθηνότερο διαθέσιμο υγρό καύσιμο. Η ποιότητα του υπολειπόμενου καυσίμου εξαρτάται από την ποιότητα του αργού πετρελαίου που χρησιμοποιείται στο διυλιστήριο. Για να επιτευχθούν διάφορες προδιαγραφές και επίπεδα ποιότητας, το μαζούτ αναμειγνύεται με ελαφρύτερα κλάσματα. Το μαζούτ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα σε μικρά πλοία καθώς απαιτείται προθέρμανση για την χρήση του. Ωστόσο ο εξοπλισμός θέρμανσης απαιτεί πολύτιμο χώρο και αυξάνει το βάρος ενός πλοίου.

2.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ναυτικών πετρελαίων

Υπάρχουν διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά για τα ναυτικά πετρέλαια που καθορίζονται από ανάλογους δείκτες. Για παράδειγμα, η χρήση των καυσίμων αυτών με τον ένα ή τον άλλο τρόπο επηρεάζει την ποιότητα ανάφλεξης στους κινητήρες. Για τον προσδιορισμό της ποιότητας ανάφλεξης αρχικά μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970 χρησιμοποιούταν ο αριθμός και ο δείκτης κετανίου (CCI-Calculated Cetane Index).

Αυξημένος αριθμός κετανίου έχει θετική επίδραση στην ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα και βοηθά στη μείωση του θορύβου καύσης. Επιπλέον, η αύξηση του αριθμού κετανίου οδηγεί σε μικρότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων, χωρίς όμως κάποια αυστηρή συσχέτιση, αφού αυτοί οι ρύποι φαίνεται ότι εξαρτώνται περισσότερο από τον κινητήρα. Η επίδραση του αριθμού κετανίου είναι πιο σημαντική για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων. Καθώς έχει διαπιστωθεί ότι οι επιδράσεις της μεταβολής του αριθμού κετανίου δεν είναι γραμμικές, η θετική επίδραση της αύξησης του αριθμού κετανίου μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός κετανίου.

Ο αριθμός κετανίου προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας ως πρότυπα κ-δεκαεξάνιο ή κετάνιο (αριθμός κετανίου 100) και επτά-μέθυλο-εννεάνιο (αριθμός κετανίου 15). Ο αριθμός κετανίου προκύπτει από τη σχέση:

$$[\text{Αριθμός Κετανίου}] = [\% \text{ κετάνιο}] + 0,15 \times [\% \text{επτα-μέθυλο-εννεάνιο}]$$

Μετά τις αρχές της δεκαετίας του '80 και συγκεκριμένα το 1982 όπου έγινε η πρώτη προσπάθεια θέσπισης ορίων για τα ναυτιλιακά καύσιμα υπήρξε ακόμα μεγαλύτερη σημασία για την ποιότητα ανάφλεξης με τις αλλαγές που συντελούνται και αφορούν την περιβαλλοντική διάσταση. Αυτό οδήγησε σε μια σειρά πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν από τον A.P. Zeelenberg την διαπίστωση μιας μαθηματικής σχέσης η οποία συνδέει την αρωματικότητα των καυσίμων με τη ποιότητα ανάφλεξης τους. Έτσι εισάχθηκε ένα νέο ποιοτικό εργαλείο για τον χαρακτηρισμό της ανάφλεξης ο δείκτης αρωματικότητας (CCAI-Calculated Carbon Aromaticity Index). Ο δείκτης CCAI εκτιμά την καθυστέρηση ανάφλεξης, δεν παρέχει ταυτόχρονα πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του υπολειμματικού ναυτιλιακού καυσίμου.

Επίσης, τα ναυτικά καύσιμα ταξινομούνται παραδοσιακά σύμφωνα με το ιξώδες τους. Αυτό είναι ένα έγκυρο κριτήριο για την ποιότητα του πετρελαίου, εφόσον το πετρέλαιο παράγεται μόνο με ατμοσφαιρική απόσταξη. Σήμερα, το ίδιο το ιξώδες λέει ελάχιστα για την ποιότητα του πετρελαίου ως καύσιμο. Παρά ταύτα, τα καύσιμα πλοίων εξακολουθούν να αναφέρονται στις διεθνείς αγορές καυσίμων με το μέγιστο ιξώδες που ορίζει το πρότυπο ISO 8217, καθώς οι μηχανές πλοίων σχεδιάζονται για να χρησιμοποιούν διαφορετικά ιξώδη καυσίμων.

Η μονάδα ιξώδους που χρησιμοποιείται είναι το mm^2/s ή centistoke.

Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Με μείωση της θερμοκρασίας αυξάνει το ιξώδες του καυσίμου. Η μεταβολή του ιξώδους με τη θερμοκρασία δίνεται με την ακόλουθη σχέση (νόμος του Walther):

$$\text{Loglog}(v+0,7) = A+(B*\text{log}T)$$

όπου:

- v = ιξώδες (cSt)
- T = θερμοκρασία ($^{\circ}\text{K}$)

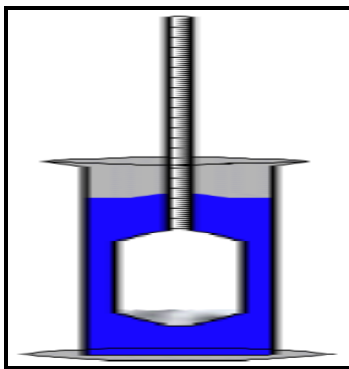
- A, B = σταθερές

Οι σταθερές A και B υπολογίζονται αν είναι γνωστό το ιξώδες του καυσίμου σε δύο θερμοκρασίες.

Όσο υψηλότερη θερμοκρασία, τόσο χαμηλότερο το ιξώδες. Θερμοκρασία αναφοράς του ιξώδους για τα αποστάγματα είναι οι 40 °C. Σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO 8217:2012, το ελάχιστο όριο ιξώδους για τα DMA και DMB είναι 2 centistokes (cSt) στους 40 °C. Ωστόσο, λόγω της θερμοκρασίας του μηχανοστασίου, ιδιαίτερα πλησίον της μηχανής, η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί τους 40 °C και το ιξώδες να πέσει κάτω από 2 cSt στην είσοδο του καυσίμου στη μηχανή. Χαμηλό ιξώδες κατω των 2 cSt μπορεί να επιφέρει προβλήματα, όπως:

- Προβλήματα εκκίνησης και ελιγμών (starting/maneuvering problems)
- Απώλεια πρόωσης
- Διαρροές στις αντλίες ψεκασμού κ.ά.
- Οι αντλίες δυσκολεύονται να δημιουργήσουν επαρκή πίεση για να ψεκασθεί το καύσιμο στους θαλάμους καύσεως.
- Εμφανίζονται διαρροές του καυσίμου εσωτερικά στην αντλία, με ενδεχόμενα προβλήματα στην εκκίνηση, ή κατά την διαδικασία ελιγμών
- Είναι δυνατό να προκληθούν φθορές στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου
- Συστατικά του καυσίμου πολύ χαμηλού ιξώδους, κατά την θέρμανση μπορεί να ατμοποιηθούν

Η *πυκνότητα* είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος για τα πετρέλαια καύσης, δεδομένου ότι τα καύσιμα πλοίων καθαρίζονται πριν από τη χρήση για την απομάκρυνση του νερού και των ρύπων. Ως εκ τούτου, το πετρέλαιο πρέπει να έχει πυκνότητα αρκετά διαφορετική από το νερό. Αύξηση του αριθμού ατόμων άνθρακα στο μόριο, αυξάνει την πυκνότητα του υδρογονάνθρακα. Η μονάδα πυκνότητας στο SI είναι χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (kg/m^3), έτσι, όσο υψηλότερη είναι η πυκνότητα, τόσο βαρύτερο είναι το υλικό. Η πυκνότητα προσδιορίζεται με τη μέθοδο ASTM D-1298 με υγρόμετρο, το οποίο είναι ένας ζυγισμένος και βαθμονομημένος πλωτήρας.



Εικόνα 26: Υγρόμετρο

Η πυκνότητα μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες και για άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά π.χ. στον υπολογισμό του αριθμού κετανίου. τοποθετείται στο υγρό, για να δώσει ανάγνωση στο σημείο στο οποίο η κλίμακα συναντά την επιφάνεια του υγρού.

Το *σημείο ροής* (Pour point), είναι η θερμοκρασία που αρχίζει να ρέει το πετρέλαιο και ενδιαφέρει για τον υπολογισμό της απαραίτητης προθέρμανσης στις δεξαμενές. Τα αποστάγματα που προσφέρονται σε θερμές περιοχές έχουν υψηλά σημεία ροής. Όσο το πλοίο επιχειρεί σε αυτές τις περιοχές, το υψηλό σημείο ροής δεν δημιουργεί καμία δυσκολία. Όταν όμως το πλοίο, που έχει ανεφοδιασθεί με καύσιμο MGO από αυτές τις περιοχές μετακινηθεί σε ψυχρότερες ECA (πχ. Βόρεια Ευρώπη, ή Βόρεια Αμερική το χειμώνα), πιθανότατα θα αντιμετωπίσει σοβαρές δυσκολίες με το καύσιμο. Ενδεχομένως στα αποστάγματα να γίνει χρήση χημικών προσθέτων προκειμένου να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά ψυχρής ροής. Αυτά τα καύσιμα μπορεί να καλύψουν επιτυχώς τις απαιτήσεις της ISO 8217 για το σημείο ροής.

Η *θερμογόνο δύναμη* (Calorific value), είναι η έκλυση θερμικής ενέργειας ανά μονάδα μάζας καυσίμου KJ/kg και επηρεάζει άμεσα την ιπποδύναμη της μηχανής. Είναι μια μέτρηση της ενέργειας που ελευθερώνεται κατά τη καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Για τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα όταν δεν είναι δυνατός ο πειραματικός προσδιορισμός της.

Ως ανώτερη θερμογόνο δύναμη ενός καυσίμου χαρακτηρίζεται η ποσότητα θερμότητας που εκλύεται κατά την ολική καύση μιας ζυγισθείσης ποσότητας στερεού ή υγρού καυσίμου, υπό τον

όρο ότι: το καύσιμο, πριν τη καύση του και τα προϊόντα της καύσεως να έχουν θερμοκρασία 25°C, το νερό της καύσεως που περιέχεται στο καύσιμο, καθώς και το νερό που σχηματίστηκε κατά την καύση, πρέπει μετά την καύση να βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, τα προϊόντα καύσεως του άνθρακα και του θείου πρέπει όλα ανεξαιρέτως να βρίσκονται υπό τη μορφή CO_x και SO_x σε αέρια κατάσταση και καμία οξείδωση του αζώτου δε θα πρέπει να γίνεται.

Ως κατώτερη θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου χαρακτηρίζεται η ποσότητα θερμότητας που εκλύεται κατά την ολική καύση μιας ζυγισθείσας ποσότητας στερεού ή υγρού καυσίμου, υπό τον όρο ότι: το καύσιμο πριν από την καύση του και τα προϊόντα της καύσης έχουν θερμοκρασία 25°C, το νερό που περιέχεται πριν από την καύση στο καύσιμο, καθώς και το νερό που σχηματίστηκε κατά την καύση να βρίσκεται σε αέρια κατάσταση στους 25°C.

Οι σχέσεις αυτές έχουν πολύ ικανοποιητική ακρίβεια και προτείνονται ακόμη και από επίσημους οργανισμούς τυποποίησης (ASTM, British Standards, ISO). Οι σχέσεις αυτές είναι:

$$A\Theta\Delta = (12403 - 2101 \cdot dY) [1 - (S + y + T)/100] + 2251 \cdot (S/100)$$

$$K\Theta\Delta = (12403 - 210d) [1 - (S + y + T)/100] + 2251 \cdot (S/100) - 585 \cdot (Y/100)$$

όπου:

- AΘΔ= ανώτερη θερμογόνος δύναμη(kcal/kg)
- ΚΘΔ= κατώτερη θερμογόνος δύναμη(kcal/kg)
- d= πυκνότητα (gr/ml, 15°C)
- S= θείο (%)
- y= νερό
- T= τέφρα

Τέλος άλλα σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των ναυτικών καυσίμων θεωρούνται:

Η περιεκτικότητα σε θείο (Sulphur content) επί %. Επηρεάζει διότι κατά την καύση σχηματίζονται διαβρωτικές ενώσεις και κάνουν διαβρώσεις στα χιτώνια, έμβολα, βαλβίδες

εισαγωγές στροβιλοσυμπιεστών. Επίσης συνδέεται άμεσα και με τις εκπομπές του πλοίου σε διοξείδιο του θείου και την μόλυνση στο περιβάλλον.

Η *περιεκτικότητα σε τέφρα* (Ash content), κυμαίνεται από 0.01-0.02% κατά βάρος και προκαλεί φθορές.

Το *σημείο ανάφλεξης* (flash point): Θεωρείται η θερμοκρασία στην οποία ένα υγρό καύσιμο εξατμίζεται τόσο ώστε οι ατμοί του να δώσουν το πτωχότερο όριο αναφλέξιμου μίγματος με τον αέρα, παρουσία φλόγας ή σπίθας λέγεται σημείο ανάφλεξης.

2.5 Κατηγορίες/Τύποι ναυτικών πετρελαίων

Οι βασικές απαιτήσεις για τα πετρέλαια πλοίων καθορίζονται με διεθνή πρότυπα ISO. Το πρώτο βρετανικό πρότυπο ήρθε το 1982. Το τελευταίο πρότυπο είναι το ISO 8217, το οποίο έχει τεθεί σε ισχύ από το 2005. Το διεθνές πρότυπο ISO 8217 διαιρεί τα καύσιμα πλοίων σε καύσιμα απόσταξης (Distillate Fuels) και σε καύσιμα που είναι υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου (Residual Fuels). Πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο ISO ταξινομεί τα ναυτικά καύσιμα και καθορίζει 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης και 10 κατηγορίες πετρελαίων που θεωρούνται υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου. Με την πάροδο των ετών τα πρότυπα ISO έχουν γίνει αυστηρότερα σε περιβαλλοντικά κριτήρια σε σημαντικές παραμέτρους όπως η περιεκτικότητα σε θείο. Το ISO 8217 ορίζει επίσης ότι τα όλα τα καύσιμα που είναι υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου (Residual Fuels) και θεωρούνται βαριά πετρέλαια δεν επιτρέπεται να περιέχουν λάδια λίπανσης μηχανών.

Παρακατω περιγράφονται 6 τύποι ναυτικών καυσίμων και το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας που τους χαρακτηρίζει σε απόσταγμα ή υπόλειμμα απόσταξης αργού πετρελαίου.

Πίνακας 2: Τύποι ναυτικών καυσίμων-Μήκος ανθρακικής αλυσίδας

Όνομα	Τύπος	Κατηγορία	Μήκος ανθρακικής αλυσίδας
<i>No. 1</i>	Απόσταγμα	DMX, DMA	9-16
<i>No. 2</i>	Απόσταγμα	DMA, DMB	10-20
<i>No. 3</i>	Απόσταγμα	DMB, DMZ	12-20
<i>No. 4</i>	Απόσταγμα /Υπόλειμμα	RMA 10, RMB 30, RMD 80	20-30
<i>No. 5</i>	Υπόλειμμα	RME 180, RMG 380	30-40
<i>No. 6</i>	Υπόλειμμα	RME 180, RMG 380, RMK 700	40-70

Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται φυσικές ιδιότητες από τις 4 κατηγορίες πετρελαίων που προέρχονται έπειτα από απόσταξη (διύλιση) του αργού πετρελαίου σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Πίνακας 3: Ιξώδη και πυκνότητες από τις 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης

Κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης (Distillate Fuels)	Ιξώδες [mm²/s] 50°C	Πυκνότητα [g/cm³] 15°C
DMX	1.4 - 5.5	< 0.870
DMA	1.5 - 6.0	< 0.890
DMB	< 11	< 0.900
DMZ	< 14	< 0.920

Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται και άλλες φυσικές ιδιότητες από 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης:

Πίνακας 4: Φυσικές ιδιότητες από 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης

Φυσικές Ιδιότητες	DMX	DMA	DMB	DMZ
Περιεκτικότητα σε θείο (%)	1.0	1.5	2	1.5
Περιεκτικότητα σε νερό (%)	-	-	0.3	-
Περιεκτικότητα σε τέφρα (%)	0.01	0.01	0.01	0.01
Σημείο ανάφλεξης (°C)	43.0	60.0	60.0	60.0
Σημείο ροής (καλοκαίρι) (°C)	-	0	6	0
Σημείο ροής (χειμώνας) (°C)	-	-6	0	-6
Αριθμός κετανίου	45	40	35	40

Στον παρακατω πίνακα περιγράφονται φυσικές ιδιότητες από 10 κατηγορίες πετρελαίων υπολείμματος:

Πίνακας 5: Ιξώδη και πυκνότητες από 10 κατηγορίες πετρελαίων υπολείμματος

Κατηγορίες πετρελαίων υπολείμματος (Residual Fuel)	Ιξώδες [mm²/s] 50°C	Πυκνότητα [g/cm³] 15°C
RMA 10	< 10	< 0.960
RMB 30	< 30	< 0.975
RMD 80	< 80	< 0.980
RME 180	< 180	< 0.991
RMF 180	< 180	< 0.991
RMG 380	< 380	< 0.991
RMH 380	< 380	< 0.991
RMK 380	< 380	< 1.010

Κατηγορίες πετρελαίων υπολείμματος (Residual Fuel)	Ιξώδες [mm²/s] 50°C	Πυκνότητα [g/cm³] 15°C
RMH 700	< 700	< 0.991
RMK 700	< 700	< 1.010

Όπως φαίνεται από σύγκριση των πινάκων 1,2,4 τα πετρέλαια που είναι υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου εμφανίζουν μεγαλύτερα ιξώδη και μεγαλύτερες πυκνότητες από τα πετρέλαια απόσταξης και αυτό οφείλεται στις μεγαλύτερες σειρές υδρογονανθράκων που τα χαρακτηρίζουν. Άρα τα αποστάγματα είναι αυτά που αντιμετωπίζουν τις μεγαλύτερες δυσκολίες κατά την χρήση τους λόγω του χαμηλού τους ιξώδους σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Παρακατω περιγράφονται και άλλες φυσικές ιδιότητες από 6 κατηγορίες των πετρελαίων που προέρχονται από υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου:

Πίνακας 6: Φυσικές ιδιότητες από 6 κατηγορίες των πετρελαίων που προέρχονται από υπολείμματα κατά τη διάρκεια απόσταξης αργού πετρελαίου

Φυσικές Ιδιότητες	RMA 10	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMG 380	RMK 700
Περιεκτικότητα σε νερό (%)	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Περιεκτικότητα σε τέφρα (%)	0.040	0.070	0.070	0.070	0.100	0.150
Περιεκτικότητα σε βανάδιο (%)	50	150	150	150	350	450
Σημείο ανάφλεξης (°C)	60	60	60	60	60	60
Σημείο ροής (καλοκαίρι) (°C)	6	6	6	30	30	30
Σημείο ροής (χειμώνας) (°C)	0	0	30	30	30	30

Γενικά, είτε για λειτουργικούς είτε για οικονομικούς λόγους χρησιμοποιούνται καύσιμα στην ναυτιλία και από τις 2 κατηγορίες είτε χωριστά είτε σε μείγματα.

Βασικοί τύποι ναυτικών καυσίμων που ανήκουν σε καθεμιά από τις 2 παραπάνω γενικές κατηγορίες είναι οι εξής:

- *MGO (Marine gas oil)*
- *MDO (Marine diesel oil)*
- *IFO (Intermediate fuel oil)*
- *HFO (Heavy fuel oil)*

Παρακατω αναλύεται καθένας από τους παραπανω τύπους καυσίμων χωριστά:

I) MGO (Marine gas oil)

Το πετρέλαιο MGO είναι περίπου ισοδύναμο με το πετρέλαιο No2 (Πιν.2) που παράγεται μόνο από απόσταγμα πετρελαίου. Το No2 πετρέλαιο συμπεριφέρεται παρόμοια σε ιδιότητες με το οικιακό πετρέλαιο θέρμανσης. Αυτό το καύσιμο είναι γνωστό και ως Bunker A. Τα φορτηγά και μερικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν παρόμοιο καύσιμο ντίζελ με αριθμό κετανίου εκείνου που περιγράφει την ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου.

Το πετρέλαιο MGO περιγράφει καύσιμα πλοίων που αποτελούνται αποκλειστικά από αποστάγματα. Τα αποστάγματα είναι όλα εκείνα τα συστατικά του αργού πετρελαίου που εξατμίζονται με κλασματική απόσταξη και κατόπιν συμπυκνώνονται από την αέρια φάση σε υγρά κλάσματα. Συνήθως αποτελείται από ένα μίγμα διαφόρων αποσταγμάτων. Το πετρέλαιο MGO είναι παρόμοιο με το πετρέλαιο ντίζελ, αλλά έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Σε αντίθεση με το μαζούτ (HFO), το πετρέλαιο MGO δεν χρειάζεται να προθερμαίνεται.

Το πετρέλαιο MGO και το κανονικό πετρέλαιο θέρμανσης έχουν κατά ένα μεγάλο μέρος τις ίδιες ιδιότητες. Ως εκ τούτου, το πετρέλαιο θέρμανσης παρέχεται μερικές φορές ως καύσιμο πλοίων όταν υπάρχει έλλειψη πετρελαίου MGO, βεβαίως σύμφωνα πάντα με το πρότυπο ISO 8217. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, το σημείο ανάφλεξης του πετρελαίου θέρμανσης θα πρέπει να είναι πάνω από 60 °C, κάτι που όμως συνήθως συμβαίνει.

Επιπλέον θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι η τεχνολογία κινητήρα ή τα εγκατεστημένα συστήματα φίλτρου καυσαερίων στα πλοία είναι συμβατά με τη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο του πετρελαίου θέρμανσης.

Το πετρέλαιο MGO χρησιμοποιείται σε μικρότερους βοηθητικούς κινητήρες μεσαίας έως μεγάλης ταχύτητας ή κινητήρες μικρών σκαφών. Τετοια μικρά σκάφη θεωρούνται τα αλιευτικά, τα μικρά πλοία ή τα ρυμουλκά. Σε αντίθεση με το μαζούτ ή το βαρύ πετρέλαιο ντίζελ, το πετρέλαιο MGO που βασίζεται στα ελαφρύτερα αποστάγματα έχει χαμηλό ιξώδες και μπορεί εύκολα να αντληθεί στον κινητήρα σε θερμοκρασίες περίπου 20 °C.

Το πετρέλαιο MGO έχει χρώμα διαφανές έως ανοιχτό. Εάν χρησιμοποιείται στην ναυσιπλοΐα στο εσωτερικό της χώρας, όπως το πετρέλαιο θέρμανσης θα πρέπει να επισημαίνεται με βαφή Solvent Yellow 124. Το μέτρο αυτό επιτρέπει την ανίχνευση της κατάχρησης χαμηλής φορολογίας του σχετικά φθηνού πετρελαίου θέρμανσης (που είναι στην πραγματικότητα συχνά το ίδιο καύσιμο).

Οι κατηγορίες πετρελαίων DMX, DMA, DMB και DMZ όπως αναφέρονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217 στον Πιν.1 συσχετίζονται με το πετρέλαιο MGO. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι επειδή το καύσιμο πλοίων DMB μπορεί να περιέχει ένα μικρό ποσοστό βαρύ μαζούτ, δεν είναι ένα καθαρό απόσταγμα και επομένως δεν είναι ένα «πραγματικό» πετρέλαιο MGO.

Το πετρέλαιο MGO μπορεί να παράγεται με διαφορετικά ποσοστά περιεκτικότητας σε θείο, αν και η μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα σε θείο είναι χαμηλότερη από αυτή του μαζούτ. Το πρότυπο ποιότητας ISO 8217 DM δίνει γενικότερα μέγιστη επιτρεπτή τιμή περιεκτικότητας σε θείο 1,5%. Το πετρέλαιο (LS-MGO) έχει περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη από 0,1%. Τα εν λόγω καύσιμα πλοίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε λιμένες της ΕΕ, οι οποίοι μεταξύ άλλων επιβάλλουν όριο εκπομπών θείου αντίστοιχο με αυτό του LS-MGO. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες ναυτιλιακές εταιρείες χρησιμοποιούν μια ποικιλία χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο MGO σε αυτά τα μέρη. Γενικά, ένα τέτοιο χαμηλό όριο στα πλοία μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης κατάλληλου εξοπλισμού (συστήματα φίλτρων, πλυντρίδες).

Σε σύγκριση με τα καύσιμα πλοίων με περισσότερο ή λιγότερο μεγάλο ποσοστό μαζούτ, οι εκπομπές από το πετρέλαιο MGO περιέχουν σημαντικά λιγότερα σωματίδια και αιθάλη.

Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων αποστάξεως μπορεί να διατηρηθεί πολύ χαμηλή και τα διυλιστήρια βελτιστοποιούν τις παραγωγικές τους διαδικασίες για να παράγουν όλο και λιγότερο υπολειμματικά καύσιμα (βαρύ μαζούτ), το πετρέλαιο MGO θα χρησιμοποιείται συχνότερα στα επόμενα χρόνια και έτσι θα εφαρμοστεί ανάλογη τεχνολογία των κινητήρων στη ναυτιλία.

Βέβαια, το ελαφρύτερο πετρέλαιο MGO θεωρείται σημαντικά πιο ακριβό από το βαρύ μαζούτ, και έτσι το μαζούτ εξακολουθεί να χρησιμοποιείται κυρίως στην εμπορική ναυτιλία. Στις αρχές Απριλίου του 2016, η τιμή του πετρελαίου MGO, για παράδειγμα, ήταν διπλάσια από την τιμή του βαρύ μαζούτ.

II) MDO (Marine diesel oil)

Το πετρέλαιο MDO θεωρείται ένα μείγμα βαρέων πετρελαιοειδών με χαμηλό ιξώδες μέχρι 12 cSt, επομένως δεν χρειάζεται να θερμαίνεται για χρήση σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ο όρος ντίζελ πλοίων (MDO) περιγράφει γενικά καύσιμα πλοίων που αποτελούνται από διάφορα μείγματα αποσταγμάτων (που ονομάζονται επίσης πετρέλαιο MGO) και βαρύ μαζούτ. Σε αντίθεση με τα καύσιμα ντίζελ που χρησιμοποιούνται για αυτοκίνητα και φορτηγά, το ντίζελ πλοίων δεν είναι καθαρό απόσταγμα.

Οι διαφορετικοί λόγοι ανάμειξης του πετρελαίου ντίζελ πλοίων μπορούν να ελέγχονται απευθείας με διαδικασίες στο διυλιστήριο ή με ανάμειξη έτοιμων καυσίμων πλοίων. Γενικά, το πετρέλαιο ντίζελ σε πλοία είναι παρόμοιο με το πετρέλαιο ντίζελ οχημάτων αλλά έχει υψηλότερη πυκνότητα. Σε αντίθεση με το μαζούτ (HFO), το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων δεν χρειάζεται να θερμαίνεται κατά την αποθήκευση.

Το πετρέλαιο MDO έχει συνήθως χαμηλότερο δείκτη κετανίου και υψηλότερη πυκνότητα από το πετρέλαιο MGO. Έχει επίσης περιεκτικότητα σε θείο μεταξύ 0.3% και 20 %. Λόγω της νομοθεσίας της ΕΕ (οδηγία 2005/33 / ΕΚ με τροποποίηση της οδηγίας 1999/32 / ΕΚ), η πώληση αυτού του είδους καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο άνω του 1.5% απαγορεύεται από τις 11 Αυγούστου 2006 εντός της ΕΕ.

Επίσης, το πετρέλαιο ντίζελ (MDO) χρησιμοποιείται επίσης συνώνυμα με τον όρο "ενδιάμεσο καύσιμο πετρέλαιο" (IFO). Με τη στενή έννοια, ο όρος ντίζελ πλοίων αναφέρεται κυρίως σε μείγματα με πολύ μικρό ποσοστό βαρύ μαζούτ. Αυτός ο τύπος θαλάσσιου πετρελαίου ντίζελ κατά συνέπεια ταξινομείται επίσης ως απόσταγμα σε ορισμένα εγχειρίδια, πράγμα που σημαίνει ότι ταξινομείται επίσης ως *μεσαίο απόσταγμα*. Το πετρέλαιο ντίζελ γενικά θεωρείται ως ένα μείγμα αποσταγμάτων και μαζούτ με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε βαρύ πετρέλαιο.

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8217, το πετρέλαιο ντίζελ πλοίων MDO περιλαμβάνεται στις κατηγορίες ναυτικών καυσίμων DMB και RMA 10 (Πιν.3,5).

Παρακατω αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά από αυτές τις 2 κατηγορίες:

- Η κατηγορία DMB περιλαμβάνει αποστάγματα πετρελαίου με μικρή περιεκτικότητα σε μαζούτ. Το μαζούτ στο ντίζελ DMB - το οποίο ταξινομείται ως απόσταγμα σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217 - προέρχεται κυρίως από υπολείμματα από δεξαμενές όπου αποθηκεύεται το DMB. Λόγω αυτής της ρύπανσης από το βαρύ μαζούτ, οι αλλαγές χρώματος μπορεί να κυμανθούν από ανοιχτό καφέ έως μαύρο. Καθώς τα όρια εκπομπών για τις περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA) καθίστανται όλο και πιο αυστηρά, η κατηγορία DMB με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε θείο περίπου 2% χρησιμοποιείται πολύ λιγότερο.
- Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217, η κατηγορία RMA 10 θεωρείται κατηγορία με υπολείμματα πετρελαίου. Έχει χαμηλό ιξώδες όπως η κατηγορία DMB αλλά υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο 3,5% και επίσης υψηλότερη αναλογία μαζούτ. Επομένως, αυτός ο τύπος καυσίμου είναι επίσης συνήθως πιο σκούρος από το DMB. Το φάσμα του χρώματος του ξεκινάει από σκούρο καφέ και ομοίως τελειώνει με μαύρο χρώμα.

Το πετρέλαιο MDO πωλείται με διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας σε θείο. Πωλούνται επίσης σε παραλλαγή καύσιμα MDO χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, με ποσοστά μικρότερα του 1%. Ωστόσο, εάν οι πλοιοκτήτες χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό κινητήρα και καυσίμου MDO με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, οι οριακές τιμές εκπομπών μπορούν επίσης να επιτευχθούν με τη χρήση πρόσθετης τεχνολογίας (συστήματα φίλτρων, πλυντρίδες).

Το θαλάσσιο πετρέλαιο ντίζελ χρησιμοποιείται επίσης σε πολλούς διαφορετικούς κινητήρες. Οι ελαφρύτερες εκδόσεις όπως το DMB και το RMA 10 χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία μικρών μεσαίων έως υψηλών ταχυτήτων μηχανών πλοίων και βοηθητικών μονάδων ισχύος, καθώς και βοηθητικών κινητήρων σε πολύ μεγάλα πλοία.

Το ελαφρύ ντίζελ πλοίων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο κάποιες φορές χρησιμοποιείται και σε μεγαλύτερους κινητήρες - κάθε φορά που το πλοίο διασχίζει μια περιοχή με αυστηρότερα όρια εκπομπών. Μόλις βρεθεί όμως το πλοίο εκτός εκείνης της περιοχής, το πλοίο θα χρησιμοποιήσει καύσιμο με υψηλότερες εκπομπές ρύπων. Όπως και στην περίπτωση του πετρελαίου MGO έτσι και σε αυτήν την περίπτωση το πετρέλαιο ντίζελ (MDO) είναι σημαντικά πιο ακριβό από το μαζούτ (HFO), έτσι ώστε η εμπορική ναυτιλία να εξακολουθεί να χρησιμοποιεί το μαζούτ ως επί το πλείστον.

III) IFO (Intermediate fuel oil)

Το πετρέλαιο IFO θεωρείται μείγμα πετρελαίου MGO και μαζούτ, με μικρότερη αναλογία αποστάγματος MGO και υψηλότερες αναλογίες μαζούτ από ότι το πετρέλαιο MDO. Κατά συνέπεια, οι τύποι IFO με ιδιαίτερα υψηλές αναλογίες μαζούτ ταξινομούνται μερικές φορές ως μαζούτ σε ορισμένα εγχειρίδια, πρότυπα / πρότυπα και δημοσιεύσεις.

Οι τύποι IFO 180 και IFO 380 έχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 3,5% σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217. Όλοι οι τύποι IFO έχουν καλά χαρακτηριστικά ανάφλεξης, λόγω του υψηλού ποσοστού παραφινών που διαθέτουν. Η υψηλή ποσότητα παραφινικών υδρογονανθράκων στα καύσιμα IFO οδηγεί σε σχετικώς χαμηλές πυκνότητες για τα προϊόντα αυτά, διασφαλίζοντας τον καλύτερο και αποτελεσματικό καθαρισμό καυσίμου επί του πλοίου. Οι τύποι IFO έχουν μαύρο χρώμα λόγω της υψηλότερης αναλογίας βαρύ μαζούτ.

Στο ISO 8217, τα καύσιμα IFO και ιξώδη 180 mm²/s ή 380 mm²/s συμπεριλαμβάνονται στις κατηγορίες RME, RMG και RMK και λογαριάζονται ως υπολείμματα κατά τη διάρκεια

απόσταξης αργού πετρελαίου. Σε αυτές τις κατηγορίες ανήκουν τύποι πετρελαίων που πρέπει να προθερμαίνονται έτσι ώστε να μπορούν να αντληθούν.

Γενικά, η προθέρμανση των παραπάνω τύπων πετρελαίων θεωρείται πολύ σημαντική καθώς υπάρχει περίπτωση μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια, οι μύκητες και η μούχλα να πολλαπλασιάζονται στα συστήματα αποθήκευσης του καυσίμου, όταν συναντήσουν κατάλληλο περιβάλλον χωρίς να υπάρχει προθέρμανση του καυσίμου. Κρίσιμες παράμετροι θεωρούνται η παρουσία νερού, οξυγόνου και η θερμοκρασία. Το νερό λειτουργεί ως ένα κατάλληλο μέσο ανάπτυξης μικροοργανισμών, καθώς αποτελεί τροφή για αυτούς. Το οξυγόνο, παρόν στους υδρογονάνθρακες πετρελαίου, αποτελεί πρόβλημα, καθώς ευνοεί την ανάπτυξη των αερόβιων μικροβίων. Θερμοκρασίες μεταξύ 15°C (για ψυχρόφιλα βακτήρια) και 85°C (για θεرمόφιλα βακτήρια) ευνοούν την επιβίωση και τον πολλαπλασιασμό τους.

Τα αποστάγματα (MGO και diesel) αποθηκεύονται και διατηρούνται συνήθως χωρίς θέρμανση, άρα μέσα σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών, αντίθετα από τα HFOs, τα οποία θερμαίνονται στους 98°C πριν τον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα και στους 120 – 150°C κατά τον ψεκασμό τους. *Έτσι, γίνεται αντιληπτό, γιατί το πρόβλημα της μικροβιακής μόλυνσης αφορά κυρίως τα ελαφριά και μέσα αποστάγματα.*

Ενδείξεις μικροβιακής μόλυνσης είναι:

- Η ύπαρξη γλοιώδους λάσπης στον πυθμένα των δεξαμενών αποθήκευσης (tank bottom)
- Τα βουλωμένα φίλτρα
- Μαύρα στίγματα – λεκέδες σε χάλκινες σωληνώσεις
- Το σύστημα ψεκασμού που έχει ρυπανθεί

IV) HFO (Heavy fuel oil)

Θεωρούνται πετρέλαια περίπου ισοδύναμα με την κατηγορία πετρελαίων Νο6. Ο γενικός όρος μαζούτ (HFO) περιγράφει τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κίνησης και / ή καυσίμων για τη δημιουργία θερμότητας που έχει ιδιαίτερα υψηλό ιξώδες και πυκνότητα. Στη

σύμβαση MARPOL Marine του 1973, το μαζούτ ορίζεται είτε με πυκνότητα μεγαλύτερη από $900 \text{ kg} / \text{m}^3$ στους $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ή με κινηματικό ιξώδες άνω των $180 \text{ mm}^2 / \text{s}$ στους 50°C . Τα βαρέα πετρέλαια έχουν μεγάλα ποσοστά βαρέων μορίων όπως υδρογονάνθρακες μακράς αλυσίδας και αρωματικά με πλευρικά αλυσιδωτές αλυσίδες με μεγάλη διακλάδωση. Έχουν μαύρο χρώμα.

Τα βαριά πετρέλαια χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμα πλοίων και το HFO είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο καύσιμο πλοίων αυτή τη στιγμή. Σχεδόν όλοι οι κινητήρες πλοίων με μεσαία και χαμηλή ταχύτητα είναι σχεδιασμένες για βαρύ μαζούτ. Τα ποντοπόρα πλοία μπορούν να καταναλώσουν από 5 έως 350 τόνους καταλοίπων πετρελαίου (residual oil) την μέρα ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου και τη ταχύτητα του. Το μαζούτ δεν μπορεί γενικά να αντλείται σε θερμοκρασία $20 \text{ }^\circ\text{C}$ και επομένως πρέπει να προθερμανθεί στις δεξαμενές του πλοίου. Για να εξασφαλιστεί ότι το μαζούτ μπορεί να αντληθεί, πρέπει να θερμομανθεί τουλάχιστον στους $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Το πετρέλαιο HFO ανήκει σε όλες τις κατηγορίες καυσίμων που αντιπροσωπεύονται από το γράμμα R (Πιν.3,4). Εξαίρεση είναι το χαμηλότερο επίπεδο ιξώδους ποιότητας RMA 10, το οποίο δεν αναφέρεται πλέον ως HFO, καθώς το ποσοστό του μαζούτ εκεί είναι μικρό.

Τα HFOs είναι χαμηλότερης ποιότητας σε όλη την έκταση των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών από τα πετρέλαια diesel, με αποτέλεσμα η μετάπτωση από τα πετρέλαια diesel σε πετρέλαια HFO στους ναυτικούς κινητήρες να συνοδεύεται από κάποια προβλήματα λειτουργίας των πετρελαιομηχανών. Μαζούτ με υψηλό αριθμό αρωματικών υδρογονανθράκων τείνει να γίνει αναφλέξιμο, εύφλεκτο και εμποδίζει γενικά την καύση, λόγω της μη φυσιολογικής φθοράς που προκαλεί σε ελατήρια εμβόλων και σε χιτώνια.

Οι κατασκευαστές κινητήρων και οι πλοιοκτήτριες εταιρείες καλούνται να τα αντιμετωπίσουν με διάφορους τρόπους:

- Μείωση της ισχύος του κινητήρα
- Μείωση της θερμοκρασίας του νερού ψύξης του κυλίνδρου
- Σταδιακή αύξηση του κυλινδρελαίου
- Αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα σαρώσεως
- Έγκαιρος χρονισμός ψεκασμού καυσίμου
- Καθαρισμός του καυσίμου και προσθήκη παραγόντων επιτάχυνσης της καύσης

Από την πλευρά των κατασκευαστών χρειάζεται εξοπλισμός των ναυτικών νηζελομηχανών με συστήματα έντονου καθαρισμού και επεξεργασίας των καυσίμων, ώστε οι δυσμενείς επιδράσεις από την χαμηλή ποιότητα των καυσίμων να περιορίζονται στο ελάχιστο. Από την πλευρά των πλοιοκτητών χρειάζεται η λήψη μέτρων που εκμηδενίζουν ή τουλάχιστον ελαχιστοποιούν τα προβλήματα από την ποιότητα του καυσίμου όπως είναι η χρήση φυγοκεντρικών καθαριστήρων, η τοποθέτηση φίλτρων.

Ένας βασικός παράγοντας διαφοροποίησης των μαζούτ είναι η *περιεκτικότητά τους σε θείο*. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217, η μέγιστη περιεκτικότητά τους σε θείο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3,5%. Οι ακόλουθες κύριες κατηγορίες σχετικά με την περιεκτικότητα τους σε θείο μπορούν να διακριθούν σε:

- *Καύσιμο βαρύ πετρέλαιο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HSFO) 3,5%*

Η εναλλακτική λύση στη χρήση καυσίμων πλοίων με τέτοια χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο είναι η χρήση πλυντηρίων (πλύση καυσαερίων). Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει την έγχυση νερού στα καυσαέρια για τη μείωση του θείου και άλλων εκπομπών. Ωστόσο, ο επανασχεδιασμός ενός πλοίου με αυτή την τεχνολογία ή ακόμη και η τροποποίηση των ήδη υπάρχοντων κοστίζει αρκετά εκατομμύρια ευρώ. Στο πλαίσιο αυτό, τα βαρέα αυτά πετρέλαια χαρακτηρίζονται ως καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (HSFO), τα οποία έχουν μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 3,5%, όπως επιτρέπεται από το πρότυπο ISO 8217.

- *Καύσιμο βαρύ πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO) 1,0%*

Τα βαρέα πετρέλαια αναφέρονται ως μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (LSFO) εάν η περιεκτικότητά τους σε θείο είναι κάτω από 1%. Συνήθως πρόκειται για τύπους καυσίμων πλοίων IFO 180 ή IFO 380, οι οποίοι έχουν αποθειωθεί. Μέχρι το τέλος του 2014, τα πλοία μπορούσαν ακόμη να ταξιδεύουν μέσω των περιοχών ελέγχου των εκπομπών ρύπων με αυτόν το τύπο καυσίμου.

- Εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καύσιμο πετρέλαιο (ULSFO) 0,1%

Από την 1η Ιανουαρίου 2015, σύμφωνα με το παράρτημα VI των συμβάσεων MARPOL, οι εκπομπές των πλοίων δεν πρέπει να περιέχουν περισσότερο από 0,1% θείο σε αυτές τις προστατευόμενες περιοχές (ECA). Λόγω αυτών των αυστηρότερων περιορισμών, τα LSFO δεν παίζουν πλέον αξιόλογο ρόλο σε αυτές τις περιοχές και έχουν αντικατασταθεί ουσιαστικά με το καύσιμο πλοίων εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSFO), το οποίο συμμορφώνεται με τα όρια αυτά. Θεωρητικά, θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν εδώ και πολλά καύσιμα IFO, αλλά στην πράξη η αποθείωση τέτοιων μαζούτ είναι υπερβολικά δαπανηρή για να έχει οικονομικό νόημα.

Για το λόγο αυτό, σήμερα ο όρος μαζούτ εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο συνήθως δεν αναφέρεται σε βαρέα πετρέλαιο αποθείωσης, αλλά σε πετρέλαιο εσωτερικής καύσης πλοίων, το οποίο είναι ήδη χαμηλό σε θείο. Αποτελείται αποκλειστικά από αποστάγματα και έχει περιεκτικότητα σε θείο κάτω του 0,1%. Αυτό το καύσιμο πλοίων είναι επίσης γνωστό ως εξαιρετικά χαμηλό πετρέλαιο εσωτερικής καύσης πλοίων.

Το ULSFO χρησιμοποιείται σε πετρελαιοκινητήρες μέσης και υψηλής ταχύτητας. Κατά τη μετατροπή από LSFO σε ULSFO, πρέπει να διασφαλιστεί ότι η τεχνολογία του κινητήρα είναι συμβατή με το ULSFO.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Διύλιση αργού πετρελαίου

Με τη διύλιση αργού πετρελαίου, επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε διάφορα κλάσματα διαφορετικού μοριακού βάρους, η μετατροπή τους σε άλλα προϊόντα ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς και ο εξευγενισμός τους για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ακαθαρσιών. Το διυλιστήριο χαρακτηρίζεται από τη δυναμικότητα παραγωγής προϊόντων πετρελαίου αλλά και από την πολυπλοκότητα των μονάδων του. Σ' ένα σύγχρονο διυλιστήριο πετρελαίου γίνεται ένα μεγάλο πλήθος διεργασιών που στόχο έχουν να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή καυσίμων με τον πλέον οικονομικά αποδοτικά τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη την εκάστοτε νομοθεσία, είτε για βελτιωμένα καύσιμα, είτε για την προστασία του περιβάλλοντος.

Πρώτα γίνεται απομάκρυνση από το αργό πετρέλαιο του νερού, του χλωριούχου νατρίου και του φυσικού αερίου. Μετα ακολουθούν:

- Προθέρμανση του αργού πετρελαίου
- Διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε κλάσματα με διαφορετικό μοριακό βάρος

Το αργό πετρέλαιο προθερμαίνεται σε μια σειρά από *εναλλάκτες θερμότητας* στους 550 °F (287.7°C) περίπου με θερμική εναλλαγή με τα προϊόντα και τα ρεύματα επαναρροής της στήλης. Έπειτα, το αργό πετρέλαιο οδηγείται σε *φούρνο/κλίβανο* (direct-fire-furnace) στους 650 - 750 °F (343.3°C – 398.9°C). Η θερμοκρασία εξόδου του αργού πετρελαίου από τον φούρνο είναι αρκετά υψηλή ώστε να έχουν ατμοποιηθεί όλα τα προϊόντα που αφαιρούνται πάνω από το δίσκο τροφοδοσίας και ένα 10-20% επιπλέον από τα προϊόντα πυθμένος.

Η προθέρμανση του αργού πετρελαίου είναι απαραίτητη προκειμένου με την εισαγωγή του στη στήλη να χωριστεί σε δύο τμήματα: ένα υγρό κι ένα αέριο. Είναι σκόπιμο να τοποθετηθεί ένα *δοχείο διαχωρισμού* (flash drum) μεταξύ των εναλλακτών θερμότητας προθέρμανσης και του φούρνου θέρμανσης.

Στις *αποστακτικές στήλες* (distillation column, still) του αργού πετρελαίου γίνονται οι κυριότερες διεργασίες σ' ένα διυλιστήριο. Η αποστακτική στήλη είναι ένας κατακόρυφος χαλύβδινος σωλήνας ύψους 50 m, ο οποίος χωρίζεται με οριζόντιους μεταλλικούς διάτρητους δίσκους σε περίπου 50 επίπεδα / πατώματα.

Οι στήλες αυτές χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε κλάσματα ανάλογα του σημείου βρασμού τους, ώστε οι διεργασίες που ακολουθούν να έχουν τροφοδοσία που να ικανοποιεί τις ιδιαίτερες προδιαγραφές της περαιτέρω διεργασίας. Εκεί οδηγούνται και τα κλάσματα χαμηλού σημείου βρασμού που ατμοποιούνται με την προθέρμανση στους εναλλάκτες, διαχωρίζονται στο δοχείο διαχωρισμού και οδηγούνται κατ' ευθείαν στο δίσκο τροφοδοσίας της ατμοσφαιρικής στήλης.

Η απόδοση και η οικονομία επιτυγχάνονται αν η απόσταξη του αργού πετρελαίου γίνει σε δύο στάδια. Πρώτα η απόσταξη του συνόλου του αργού πετρελαίου γίνεται πρακτικά σε ατμοσφαιρική πίεση. Ο διαχωρισμός του πετρελαίου σε κλάσματα διαφορετικού μοριακού βάρους επιτυγχάνεται με απόσταξη σε ατμοσφαιρική πίεση, η οποία βασίζεται στο διαφορετικό σημείο ζέσης που παρουσιάζει κάθε κλάσμα. Το σημείο που εισάγεται το πετρέλαιο στη στήλη λέγεται ζώνη εξάτμισης (flash zone) κι εκεί μειώνεται η πίεση στην ατμοσφαιρική (1 atm=14.7 psi). Στο τμήμα πάνω από τη ζώνη εξάτμισης οδεύουν οι ατμοί του πετρελαίου ενώ στο κάτω μέρος πηγαίνει το υγρό. Πάνω από τη ζώνη εξάτμισης διαχωρίζονται και πέντε προϊόντα της απόσταξης του πετρελαίου ενώ στο κάτω τμήμα, που λέγεται και τμήμα απογύμνωσης, παράγεται το υπόλειμμα.

Μια εικόνα από πραγματικές στήλες απόσταξης φαίνεται παρακατω:



Εικόνα 27: Στήλες απόσταξης σε διυλιστήριο

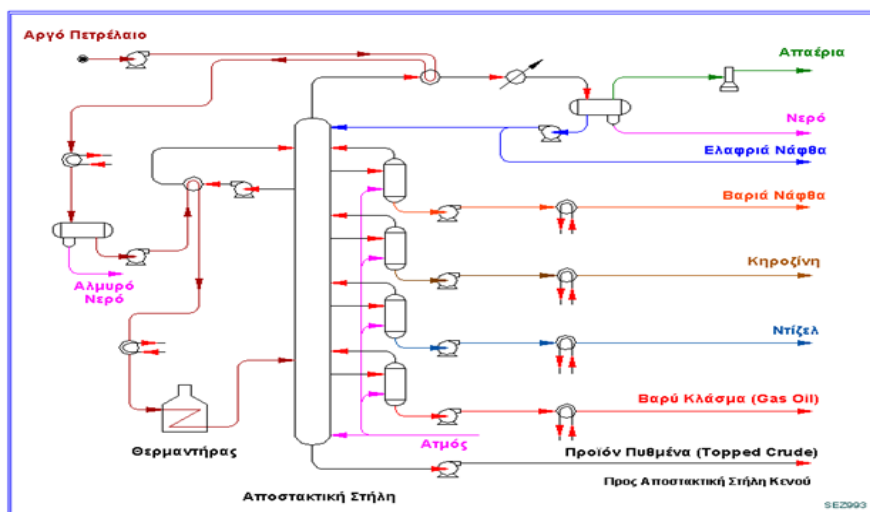
Έπειτα, το κλάσμα πυθμένος της ατμοσφαιρικής στήλης με υψηλό σημείο βρασμού, τροφοδοτεί μια δεύτερη στήλη που λειτουργεί σε υψηλό κενό (χαμηλή πίεση). Η στήλη αυτή λειτουργεί σε πίεση 50 με 100 mm Hg (0.07 – 0.13 atm) και, συνήθως, έχει μεγάλη διάμετρο (μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 14 m).

Η *στήλη κενού* απαιτείται διότι ο θερμικός διαχωρισμός των βαρέων κλασμάτων σε ατμοσφαιρική πίεση απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες όπου γίνεται παράλληλα και θερμική διάσπαση των κλασμάτων αυτών με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των προϊόντων, απώλεια υδρογονανθράκων και σχηματισμού κοκ. Ως γνωστόν, η θερμοκρασία βρασμού (σημείο βρασμού) ελαττώνεται με την ελάττωση της (συνολικής ή μερικής) πίεσης. Έτσι τα βαρύτερα κλάσματα στη στήλη κενού, βράζουν σε μικρότερη θερμοκρασία και αποφεύγεται η θερμική τους διάσπαση.

Η μονάδα απόσταξης υπό κενό σε ένα διυλιστήριο πετρελαίου τροφοδοτείται με το υπόλειμμα της αποστακτικής στήλης σε ατμοσφαιρική πίεση και αποσκοπεί στο να διαχωρίσει τα λιγότερο πτητικά συστατικά, όπως είναι τα λιπαντικά λάδια, χωρίς τη χρήση διεργασιών θερμικής αποικοδόμησης.

Τώρα, τα προϊόντα που παίρνονται από την ατμοσφαιρική απόσταξη του αργού πετρελαίου διαχωρίζονται με βάση τη πτητικότητα τους σε αέρια, ελαφρά κλάσματα και υπόλειμμα απόσταξης.

Παρακατω απεικονίζεται όλη η διαδικασία που συντελείται σε ένα διυλιστήριο και τα κλάσματα πετρελαίου που απεικονίζονται μετα από την απόσταξη πετρελαίου σε ατμοσφαιρική στήλη ενώ σημειώνεται και το προϊόν πυθμένα απόσταξης που οδηγείται στην στήλη υπό κενό.



Εικόνα 28: Προθέρμανση αργού πετρελαίου και διαχωρισμός του σε κλάσματα στην αποστακτική στήλη

Παρακατω αναλύονται όλα αυτά τα προϊόντα μετα την απόσταξη στην ατμοσφαιρική στήλη:

A. ΑΠΑΕΡΙΑ

Σε αυτά συγκαταλέγονται κυρίως το μεθάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο και οι αντίστοιχες ολεφίνες. Το μεθάνιο και το αιθάνιο χρησιμοποιούνται ως καύσιμα στο διυλιστήριο αλλά, επίσης, το πρώτο για την παρασκευή υδρογόνου με πυρολυτική διάσπαση ενώ το δεύτερο για την παραγωγή αιθυλενίου. Το προπάνιο και βουτάνιο υγροποιούνται με συμπίεση και διατίθενται στην αγορά ως υγραέριο (LPG, Liquefied Petroleum Gas). Το προπάνιο, επίσης, χρησιμοποιείται ως καύσιμο ενώ το βουτάνιο ως πρώτη ύλη στην αλκυλίωση και, κυρίως, ως συστατικό της βενζίνης (βελτίωση τάσης ατμών).

Β. ΕΛΑΦΡΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ. (Σ.Ζ. Αργού Πετρελαίου 40-180°C)

Είναι γνωστά και ως νάφθα. Χρησιμοποιούνται για την παρασκευή βενζίνης αυτοκινήτων και αεροπλάνων (κηροζίνη), καθώς και μιας σειράς άλλων πετροχημικών προϊόντων.

Γ. ΜΕΣΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ. (Σ.Ζ. Αργού Πετρελαίου 180-560°C)

Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για τη θέρμανση των σπιτιών αλλά και ως καύσιμα νηζελομηχανών (Σ.Ζ. <340°C). Τα κλάσματα υψηλότερου σημείου ζέσης (300-560°C) χαρακτηρίζονται ως αερίελλαιο (Gas oil) και υποβάλλονται σε καταλυτική πυρόλυση για τη διάσπασή τους σε ελαφρά κλάσματα.

Δ. ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ. (Σ.Ζ. Αργού Πετρελαίου >560°C)

Το υπόλειμμα απόσταξης καλείται και μαζούτ, χρησιμοποιείται ως βιομηχανικό καύσιμο, σε πλοία ή υποβάλλεται σε απόσταξη υπό κενό για την παραγωγή ορυκτελαίων.

3.2 Φθορές σε κινητήρες πλοίων από ναυτικά πετρέλαια (προϊόντα απόσταξης του αργού πετρελαίου)

Δυστυχώς, τα ναυτικά πετρέλαια, τα οποία προέρχονται από απόσταξη αργού πετρελαίου σε μεσαίες και σε υψηλές ζώνες θερμοκρασίας στην αποστακτική στήλη (ιδιαίτερα το υπόλειμμα απόσταξης αργού πετρελαίου), προκαλούν φθορές στους κινητήρες κατι που καθιστά πολλές φορές επιτακτική την ανάγκη για αντικατάσταση των τελευταίων. Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθούν οι παράγοντες, συστατικά του πετρελαίου αλλά και προϊόντα καύσης του που είναι υπεύθυνα για αυτές τις ζημιές, οι φθορές που μπορούν να προκαλέσουν αλλά και τρόποι αντιμετώπισης αυτών των φθορών που οφείλονται σε κάθε παράγοντα ξεχωριστά. Ιδιαίτερη αναφορά θα γίνει στα καταλυτικά σωματίδια (Catalytic Fines) που προστίθενται στο πετρέλαιο κίνησης των πλοίων και στα οποία οφείλονται πολλές φθορές στους κινητήρες από το 1980 και μετά.

i) Οξείδια του θείου

Η ενδεχόμενη αυξημένη περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο (ιδιαίτερα στα υπολειμματικά πετρέλαια) επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του κινητήρα Diesel επειδή προκαλεί διάβρωση σε χαμηλές θερμοκρασίες αφού παράγεται το πολύ διαβρωτικό θειικό οξύ όταν οξείδια του θείου που έχουν σχηματιστεί κατά τη διαδικασία της καύσης ψυχθούν κάτω από τις θερμοκρασίες υγροποίησης (160-170°C). Αυτού του τύπου η ψυχρή διάβρωση (cold corrosion) εμφανίζεται κυρίως στα κατώτερα τμήματα των χιτωνίων και στα έμβολα, και προκαλεί φθορές στα ελατήρια των εμβόλων. Η οξύτητα αυτή εξουδετερώνεται με την χρήση ενός ειδικού καθαριστικού λαδιού για τον κύλινδρο. Η επιλογή του λαδιού για τον κύλινδρο εξαρτάται από το περιεχόμενο θείου στο πετρέλαιο. Στα καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο (μικρότερη του 1%), εάν χρησιμοποιηθεί καθαριστικό λάδι με υψηλή αλκαλικότητα (BN), αυτό θα οδηγήσει σε αλκαλικά υπολείμματα πάνω στα πιστόνια.

ii) Υπολείμματα άνθρακα-Τέφρα

Η κατά την καύση πυρόλυση των βαρύτερων υδρογονανθράκων σε υψηλές θερμοκρασίες δημιουργεί υπολείμματα άνθρακα. Η ποσότητα άνθρακα ως προκύπτον υπόλειμμα είναι με αλλά λόγια προϊόν πυρόλυσης και καλείται CCR. Τα πλούσια σε άνθρακα καύσιμα είναι πιο δύσκολο να καούν, έχουν φτωχά χαρακτηριστικά σε καύση, και οδηγούν σε σχηματισμό υπολειμμάτων αιθάλης και άνθρακα κατά την καύση τους, με αποτέλεσμα φθορά στα χιτώνια, τις βαλβίδες εξαγωγής, τα ελατήρια των εμβόλων και τα ακροφύσια του στροβίλου του υπερπληρωτή και των εγχυτήρων. Οι μέγιστες αποδεκτές τιμές σχετίζονται με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής, τόσο μικρότερη είναι η διάρκεια της καύσης και περισσότερα τα υπολείμματα.

Πέρα από υπολείμματα άνθρακα μπορεί να υπάρξει και σχηματισμός *τέφρας* κατά τη καύση, όπως δηλαδή αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι επικαθήσεις της τέφρας που παραμένουν στις μεταλλικές επιφάνειες προκαλούν τοπική υπερθέρμανση που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση υψηλών θερμοκρασιών. Η παρουσία τέφρας σε συνδυασμό με άλλα στερεά υπολείμματα όπως άμμος, σκουριά και στοιχεία μετάλλων, φθείρει τα ελατήρια

εμβόλων, τα χιτώνια, τις βαλβίδες εξαγωγής και τον στρόβιλο του υπερπληρωτή. Οι ενώσεις αυτές μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα αποθέσεων και στο σύστημα έγχυσης του καυσίμου.

Η εναπόθεση τέφρας στους εναλλάκτες θερμότητας εκτός από τη διάβρωση μειώνει και το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, άρα και την απόδοση του εναλλάκτη. Το μέγιστο όριο τέφρας θεωρείται 0.15% για υπολειμματικά πετρέλαια και 0.01% για πετρέλαια απόσταξης.

iii) Ασφαλτένια

Τα ασφαλτένια αποτελούν το κλάσμα του αργού πετρελαίου που είναι αδιάλυτο σε ελαφρείς παραφινικούς διαλύτες και διαλυτό σε θερμό τολουόλιο. Έχουν σκούρο χρώμα και δεν έχουν συγκεκριμένο σημείο τήξης. Περιέχουν σημαντικό ποσοστό θείου, αζώτου και οξυγόνου και σε μικρότερα ποσοστά βαριά μέταλλα, όπως σίδηρο, νικέλιο και βανάδιο. Τα ασφαλτένια είναι ανεπιθύμητα επειδή έχουν τη τάση να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο καύσιμο, σχηματίζοντας αδιάλυτες επικαθήσεις.

Τα ασφαλτένια επιδρούν στην καύση με τρόπο παρόμοιο με αυτόν των υπολειμμάτων άνθρακα. Μειώνουν τις λιπαντικές ιδιότητες του καυσίμου, και σε σπάνιες περιπτώσεις είναι πιθανό να προκαλέσουν ακόμα και το “κόλλημα” της αντλίας καυσίμου. Επίσης, τα ασφαλτένια περιέχουν μέταλλα που κατά τη καύση μετατρέπονται στα αντίστοιχα οξειδία προκαλώντας προβλήματα διάβρωσης.

Στα πλαίσια της αντιμετώπισης μηχανικών προβλημάτων λόγω των επικαθημένων ιζημάτων και της διάβρωσης που συσχετίζονται με τα υπολείμματα άνθρακα, την τέφρα, τα ασφαλτένια, μέτρα που μπορούν να ληφθούν είναι τα παρακάτω:

- Τα αποδεκτά όρια ελαττώνονται με ελάττωση της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα
- Συχνός καθαρισμός επιβάλλεται μετά την καύση του πετρελαίου στον κινητήρα καθώς και σε όλα τα μηχανολογικά μέρη του πλοίου

- Τα ιζήματα από άλατα του αργού πετρελαίου και διάφορες επικαθήσεις πρέπει να απομακρύνονται από το καύσιμο μέσω φιλτραρίσματος, ώστε να αποφεύγεται πιθανή διάβρωση
- Καύσιμα που έχουν φορτωθεί στο πλοίο από διαφορετικά λιμάνια προτιμάται, αν αυτό είναι δυνατόν, να αποθηκεύονται σε διαφορετικές δεξαμενές, και η ανάμιξη καυσίμων από διαφορετικές δεξαμενές του πλοίου θα πρέπει να αποφεύγεται.

iv) Οξείδια του βαναδίου

Το βανάδιο είναι στοιχείο το οποίο συναντάται μέσα στο αργό πετρέλαιο. Τα επίπεδα βαναδίου σε αυτό ποικίλουν ανάλογα με την προέλευση του αργού πετρελαίου.

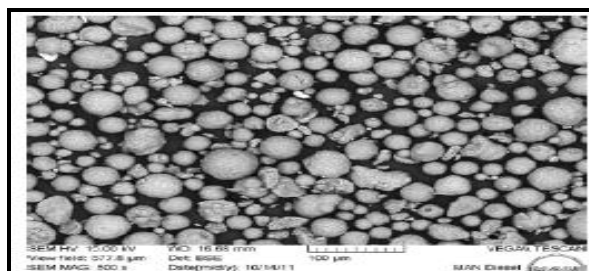
Κατά την καύση, το βανάδιο οξειδώνεται σε πεντοξείδιο του βαναδίου V_2O_5 , σχηματίζοντας ιζήματα. Η διάβρωση αυτή εμφανίζεται γενικά στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς το πεντοξείδιο του βαναδίου τήκεται σε θερμοκρασίες της τάξης των 500-600° C, με αποτέλεσμα τη δημιουργία στερεών τηγμάτων που παραμένουν στις επιφάνειες του κινητήρα. Το βανάδιο δεν αποτελεί μείζον πρόβλημα από μόνο του, αλλά γίνεται ζήτημα όταν συνοδεύεται από υψηλά επίπεδα νατρίου. Δεν υπάρχουν πρακτικές μέθοδοι για την αφαίρεση βαναδίου στο πλοίο. Ο μόνος τρόπος να περιοριστεί το βανάδιο στο πετρέλαιο είναι μειώνοντας το επιτρεπόμενο όριο.

Τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια είναι έως 450 ppm και έως 350 ppm για τους τύπους υπολειμματικών πετρελαίων RMK και RMG αντιστοίχως.

v) Καταλυτικά σωματίδια (Catalytic Fines)

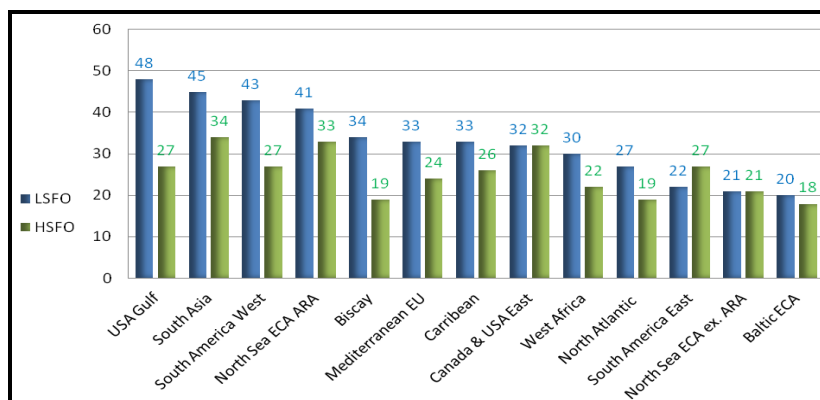
Τα καταλυτικά σωματίδια που χρησιμοποιούνται στα καύσιμα των πλοίων είναι σκληρές κεραμικές ενώσεις από αργίλιο και πυρίτιο. Το πετρέλαιο αναμιγνύεται με καταλύτη σε θερμοκρασία περίπου 500 °C, με αποτέλεσμα τη διάσπαση των βαρέων μακρομορίων του σε ελαφρύτερα μικρότερα μόρια. Τα καταλυτικά σωματίδια υπάρχουν στα υπολειμματικά πετρέλαια (Residual Fuels) από τη δεκαετία του 1950, όταν οι κινητήρες ντίζελ μετασχηματίστηκαν ώστε να καίνε αυτούς τους τύπους καυσίμου αντί των ακριβότερων πετρελαίων απόσταξης (Distillate Fuels).

Τα καταλυτικά σωματίδια είναι ακριβά αλλά ανακτώνται κυρίως και χρησιμοποιούνται ξανά. Ωστόσο μικρές ποσότητες μπορούν να μεταφερθούν με το υπόλοιπο καύσιμο. Έχουν μέγεθος δε από **1 μm** έως **75 μm**.



Εικόνα 29: Κόκκοι καταλυτικών σωματιδίων (κλίμακα μm)

Διαφορετικές ποσότητες από τα καταλυτικά σωματίδια προστίθενται σε 2 τύπους ναυτικών πετρελαίων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (LSFO&HSFO), που όπως αναφέρθηκε επιβάλλεται αυτοί να χρησιμοποιούνται λόγω της διεθνούς σύμβασης MARPOL και της ανάγκης μείωσης εκπομπών θείου. Οι διαφορές που υπάρχουν σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις των καταλυτικών σωματιδίων σε ναυτικά πετρέλαια σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου οφείλονται στην τοπική κάθε φορά νομοθεσία.



Εικόνα 30: Ποσότητες καταλυτικών σωματιδίων σε (LSFO&HSFO) σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου

Δυστυχώς, έχει αναφερθεί ότι μια υψηλή μέση ποσότητα καταλυτικών σωματιδίων στο καύσιμο μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον κινητήρα. Κατά το πρώτο μισό της δεκαετίας του 1980, ζημιές που προκαλούνται σε κινητήρες πλοίων από τα καταλυτικά σωματίδια αρχίζουν να

αναφέρονται. Το πλήρωμα των πλοίων συχνά δεν είχε ιδέα για την καθαρότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούσε.

Ζημιές που οφείλονται στα καταλυτικά σωματίδια συνέβησαν μάλιστα μετά από μόλις 100 ώρες λειτουργίας του κινητήρα του πλοίου, καθιστώντας τον εντελώς μη λειτουργικό. Όλα τα έμβολα και τα χιτώνια καταστράφηκαν ολοσχερώς και χρειάστηκε να αντικατασταθούν. Υπήρχε ασυμφωνία μεταξύ των προτύπων ISO (HFO με περιεκτικότητα σε καταλυτικά σωματίδια έως 60ppm που συμμορφώνεται με το πρότυπο καυσίμων ISO 8217: 2010) για το περιεχόμενο σε καταλυτικά σωματίδια και το περιεχόμενο σε αυτά που συνιστάται και αναμένεται από τους κατασκευαστές κινητήρων στο σχεδιασμό του κινητήρα. Το κόστος μάλιστα από αυτά τα καταλυτικά σωματίδια είναι πιθανό να υπερβαίνει τα 1 εκατ. δολάρια.

Αιτία αυτών των ζημιών είναι ότι οι κόκκοι του καταλύτη μπορεί να αποκολληθούν από τον καταλύτη, να παρασυρθούν από το πετρέλαιο, και να ενσωματωθούν σε αυτό. Αν οι κόκκοι αυτοί δεν αφαιρεθούν από το καύσιμο, μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στον κινητήρα. Τα κυριότερα εξαρτήματα που επηρεάζονται γενικά είναι:

- Οι κυλινδροκεφαλές και τα ελατήρια εμβόλων.
- Οι αντλίες καυσίμου
- Οι βαλβίδες

Σε ακραίες περιπτώσεις μπορούν να επηρεαστούν οι στροφαλοφόροι άξονες του κινητήρα, ενώ υπάρχει και αυξημένη πιθανότητα ζημιάς στους στροβίλους του υπερσυμπιεστή.

Η ποσότητα των καταλυτικών σωματιδίων που υπάρχουν στα καύσιμα θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας για την έκταση της ζημιάς που μπορούν να προκαλέσουν. Τα ποσοστά φθοράς εξαρτώνται από την ποσότητα και το μέγεθος των λεπτών σωματιδίων των καταλυτών. Η υπέρβαση του ορίου των καταλυτικών σωματιδίων αργιλίου και πυριτίου (Al+Si) πέρα των **15 mg/kg** στην είσοδο του κινητήρα μπορεί να προκαλέσει επιπλέον υπερβολική φθορά των εξαρτημάτων στον θάλαμο καύσης (αυλακώσεις εμβόλου, ελατήρια εμβόλου, χιτώνια) και του εξοπλισμού εισαγωγής καυσίμου (έμβολο αντλίας καυσίμου και κύλινδρου).

Οι κατασκευαστές μηχανών και εμπειρογνώμονες δηλώνουν ότι από την εμπειρία, ποσότητες καταλυτικών σωματιδίων μικρότερες των **200 CF/cm²** που βρέθηκαν τοποθετημένα στην επιφάνεια του κυλίνδρου είναι αβλαβή και αρκετά φυσιολογικά. Φθορά πέρα από αυτό το μέγιστο όριο μπορεί να συμβεί σε λίγες μόνο εβδομάδες.

Ποσότητα καταλυτικών σωματιδίων μεγαλύτερη από 200 CF(Concentration Factor)/cm² μπορεί να αυξήσει τους ρυθμούς φθοράς δακτύλων και εμβόλου. Αν η ποσότητα φτάσει ή ξεπεράσει τα **1000 CF/cm²**, η υπερβολική φθορά των εμβολοχιτωνίων και των εμβολοελατηρίων θα λάβει χώρα μέσα σε λίγες μόνο ώρες λειτουργίας του κινητήρα.

Το μέγεθος των σωματιδίων θεωρείται εξίσου σημαντικός παραγοντας καθώς τα σωματίδια καταλύτη μεγαλύτερου μεγέθους (το μέσο μέγεθος σωματιδίων γενικώς θεωρείται ότι είναι ανάλογο με τη συνολική συγκέντρωση) συνήθως προκαλούν πολύ επιταχυνόμενους ρυθμούς φθοράς στην περιοχή των κυλίνδρων και ειδικότερα στην εσωτερική επιφάνεια των εμβολοχιτωνίων οι οποίες είναι απο από μαλακό χυτοσίδηρο. Οι εμπειρογνώμονες κινητήρων υποδεικνύουν ότι τα σωματίδια στην περιοχή των **15-25 μm** και άνω, είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για τα εξαρτήματα των μηχανημάτων, καθώς είναι σε θέση να εισέλθουν στα διάκενα μεταξύ των κινούμενων μερών και λόγω αυξημένης τριβής στα στοιχεία ολίσθησης, τα καταλυτικά σωματίδια υψηλής πυκνότητας μπορούν να αυξήσουν δραματικά το ποσοστό φθοράς στα κρίσιμα μέρη μηχανημάτων.

Επίσης, λόγω το μεγάλο μέγεθος κατασκευής των κινούμενων μερών σε ναυτικούς κινητήρες, τα καταλυτικά σωματίδια επικάθονται σε μικροσκοπικές αυλακώσεις ή πόρους του υλικού των επιφανειών των τμημάτων του κινητήρα, πχ εμβολοχιτώνια, με αποτέλεσμα η επιφάνεια των εμβολοχιτωνίων να παύει να είναι λεία σε σχέση με την αρχική της κατεργασία, αυξάνοντας έτσι την τριβή μεταξύ των κινούμενων μερών (πχ ελατήρια εμβόλου και επιφάνεια χιτωνίου) με αποτέλεσμα την πρόωρη φθορά των μεταλικών μερών. Χαρακτηριστικά, θα λέγαμε ότι είναι σαν να έχουμε βάλει σμυριδόπανο στην επιφάνεια των χιτωνίων όπου και παλινδρομούνται τα έμβολα.

Στην παρακατω εικόνα φαίνεται η εξωτερική επιφάνεια ενός κυλίνδρου, όπου καταλυτικά σωματίδια έχουν εισχωρήσει σε κενά (κόκκινα βέλη) ύστερα από μόλις 100 ώρες λειτουργίας του κινητήρα:



Εικόνα 31: Καταλυτικά σωματίδια που έχουν εισχωρήσει στην επιφάνεια κυλίνδρου από γραφίτη

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, ο κύλινδρος έχει φθαρεί ενώ θα πρέπει και να αναφερθεί ότι το λάδι που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό της επιφάνειας του κυλίνδρου δεν έχει κάποιο αποτέλεσμα καθώς δεν απομακρύνει τα σωματίδια.

Μεγαλύτεροι κόκκοι, διαμέτρου **70 μm**, μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα ελατήρια των εμβόλων, στα χιτώνια, στις βαλβίδες εξαγωγής και στον στρόβιλο του υπερπληρωτή.

Τα καταλυτικά σωματίδια μπορούν επίσης να εισέλθουν στον χώρο καύσης του κινητήρα όταν εγχυθούν τα καύσιμα και να επικαθίσουν στην επιφάνεια των αυλακώσεων και των ελατηρίων του εμβόλου. Μόλις τοποθετηθούν στον κινητήρα, αυτά τα πολύ σκληρά σωματίδια φθείρουν γρήγορα τα κινούμενα μέρη / τμήματα και συνεργαζόμενα εξαρτήματα.



Εικόνα 32: Φθορά ελατηρίων πιστονιού

Κόκκοι διαμέτρου 10 μm μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις αντλίες καυσίμου και τους εγχυτήρες καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα φίλτρο καυσίμου φθείροντας το. Παρακάτω απεικονίζεται ένα τέτοιο φίλτρο καυσίμου στο οποίο έχουν εισχωρήσει καταλυτικά σωματίδια (μαύροι κόκκοι).



Εικόνα 33: Φίλτρο καυσίμου στο οποίο έχουν εισχωρήσει καταλυτικά σωματίδια

3.3 Αποτέλεσμα από τη χρήση ναυτικού πετρελαίου με υψηλά ποσοστά καταλυτικών σωματιδίων

Το παρακάτω πραγματικό συμβάν αναφέρεται ως ακολούθως:

Φορτηγό πλοίο τύπου handymax με πέντε αμπάρια και κατασκευής Ιαπωνίας, συνολικής φορτωτικής ικανότητας DWT 45,578T, σημαίας Μπαχάμες, υπέστη ζημιές στη Κύρια Μηχανή και Ηλεκτρομηχανές μετά από καύση αργού πετρελαίου HFO380.

Το πλοίο είναι εφοδιασμένο με μία δίχρονη Κύρια Μηχανή MITSUI MAN B&W, αργόστροφη και υπερτροφοδοτούμενη, τύπου 6S50-MC, η οποία αποδίδει 7,171 kW στις 120 στροφές ανά λεπτό, συνδεδεμένη απευθείας σε έλικα σταθερού βήματος μέσω αξονικού συστήματος.

Για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το πλοίο είναι εφοδιασμένο με τρία ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη DAIHATSU, τύπου 5DK-20, τετράχρονα, με το κάθε ζεύγος να αποδίδει 441 kW στις 720 στροφές ανά λεπτό.

Το πλοίο απέπλευσε στις 17 Δεκεμβρίου 2013 από το λιμάνι Γλάδστον Αυστραλίας με προορισμό το λιμάνι Βανίνο στη Ρωσία με σκοπό να ξεφορτώσει περίπου 37,900T φορτίου τύπου “σκόνη αλουμίνιας χύδην”.

Την ημερομηνία απόπλου, το πλοίο παρέλαβε καύσιμα απο τοπικό προμηθευτή στην Αυστραλία (περίπου 350T HFO380) και τα τοποθέτησε στη διπύθμενη δεξαμενή του κοίτους (DB FOT No2), ενώ κατά τον απόπλου, το πλοίο άρχισε να χρησιμοποιεί τα καύσιμα που είχε μόλις προμηθευτεί για τη λειτουργία της Κυρίας Μηχανής, των Ηλεκτρομηχανών και του Καζανιού.

Κατά τον πλου, το πλοίο λειτουργούσε τη Κύρια Μηχανή στις 114 στροφές ανά λεπτό με θερμοκρασίες καυσαερίων στους κυλίνδρους 360-370 βαθμούς Κελσίου.

Στις 19 Δεκεμβρίου 2013, ο Α' Μηχανικός του πλοίου παρατήρησε αύξηση θερμοκρασίας στα καυσαέρια και κατά συνέχεια ελάττωσε τις στροφές του κινητήρα, ενώ επίσης είχε ενεργοποιηθεί ο συναγερμός πυρανίχνευσης στη σάρωση του κινητήρα. Επίσης, την ίδια ημερομηνία, η ηλεκτρομηχανή No2 παρατηρήθηκε να δυσλειτουργεί.

Στις 20 Δεκεμβρίου 2013, κατά τη συνήθη καταμέτρηση των λιπαντικών των κινητήρων, το πλήρωμα παρατήρησε αύξηση στη κατανάλωση του συστεμέλαιου (system oil) στη Κύρια Μηχανή και στις Ηλεκτρομηχανές.

Στις 21 Δεκεμβρίου 2013, η αντλία καυσίμου υψηλής πίεσης κόλλησε, με αποτέλεσμα να χρειαστεί να σταματήσει η Κύρια Μηχανή. Κατά τη στιγμή αυτή, το πλοίο βρισκόταν κοντά στα νησιά Σολομώντα στο Νότιο Ειρηνικό Ωκεανό.

Το πλήρωμα προέβη σε έλεγχο της Κύριας Μηχανής από τη σάρωση, όπου και διαπίστωσε τα εμβολοχιτώνια, τα έμβολα και τα ελατήρια να έχουν κολλήσει / ραγίσει και το χώρο της σάρωσης να έχει υπολείμματα πετρελαίου.

Μεταξύ 21 και 22 Δεκεμβρίου 2013 και ενώ το πλοίο δεν είχε πρόωση (παρασυρόταν από το ρέμα της θάλασσας), το πλήρωμα προέβη με την αποσυναρμολόγηση όλων των εμβόλων και ελατηρίων, τα οποία καθάρισε από τα υπολείμματα καύσης, ενώ αντικατέστησε το έμβολο Νο2 το οποίο ήταν στη χειρότερη κατάσταση, όπως επίσης και άλλαξε τα ελατήρια εμβόλων Νο1, Νο2 & Νο4. Μαζί με τα ανωτέρω, το πλήρωμα άλλαξε καυστήρες (FO injectors) και καθάρισε / ρύθμισε τις αντλίες πετρελαίου.

Στις 22 Δεκεμβρίου 2013, η Κύρια Μηχανή τέθηκε πάλι σε λειτουργία και το πλοίο κατευθύνθηκε προς στο κοντινότερο λιμάνι Μορεσμπί (Παπούα και Νέα Γουινέα) προκειμένου να πραγματοποιήσει προσωρινές επισκευές.

Στις 26 Δεκεμβρίου 2013 το πλοίο τελικά κατέπλευσε στο αγκυροβόλιο του Μορεσμπί και τεχνικό κλιμάκιο μαζί με εκπροσώπους της διαχειρίστριας εταιρείας επιβιβάστηκαν.

Το πλοίο παρέμεινε έως και τις 20 Ιανουαρίου 2014 στο λιμάνι του Μορεσμπί όπου και πραγματοποίησε επισκευές στη Κύρια Μηχανή και τις ηλεκτρομηχανές, όπου και στη συνέχεια απέπλευσε για το λιμάνι Βανίνο στη Ρωσία προκειμένου να ξεφορτώσει το φορτίο του. Μετά το πέρας της εκφόρτωσης, το πλοίο απέπλευσε από τη Ρωσία με προορισμό τη Κίνα, προκειμένου να επισκευτεί ναυπηγείο προκειμένου να πραγματοποιήσει μόνιμες επισκευές.

Οι μόνιμες επισκευές ολοκληρώθηκαν στις 7 Απριλίου 2014, ενώ εν συντομία οι κάτωθι εργασίες πραγματοποιήθηκαν καθόλη τη διάρκεια των επισκευών:

A. ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΗ

- Αλλαγή / αντικατάσταση 6 χιτωνίων
- Αλλαγή / αντικατάσταση 6 εμβόλων και ελατηρίων
- Αλλαγή / αντικατάσταση 6 βαλβίδων εξαγωγής
- Αλλαγή / αντικατάσταση 12 καυστήρων έκχυσης καυσίμου
- Αλλαγή / αντικατάσταση 6 βάρκων
- Αλλαγή / αντικατάσταση στεγανοποιητικών βάρκων (stuffing boxes)
- Καθαρισμός / ξέπλυμα συστήματος λίπανσης
- Αντικατάσταση λιπαντικού ελαίου

- Επιθεώρηση / επισκευή υπερσυμπιεστή καυσαερίων
- Καθαρισμός χώρου σάρωσης
- Καθαρισμός ψυγείο αέρα
- Επισκευή blowers σάρωσης
- Αλλαγή / αντικατάσταση 6 αντλιών πετρελαίου υψηλής πίεσης
- Ρύθμιση μηχανής

B. ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΕΣ

- Αλλαγή / αντικατάσταση 15 χιτωνίων
- Αλλαγή / αντικατάσταση 15 εμβόλων και ελατηρίων
- Καθαρισμός κεφαλών και βαλβίδων
- Αλλαγή / αντικατάσταση 15 καυστήρων έκχυσης καυσίμου
- Καθαρισμός / ξέπλυμα συστήματος λίπανσης και ελαιολεκάνης
- Αντικατάσταση λιπαντικού ελαίου
- Επιθεώρηση / επισκευή υπερσυμπιεστών καυσαερίων
- Αλλαγή / αντικατάσταση 3 αντλιών πετρελαίου υψηλής πίεσης
- Ρύθμιση μηχανών

C. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

- Καθαρισμός σωληνώσεων μεταφοράς καυσίμου.
- Επιθεώρηση / επισκευή αντλιών μεταφοράς καυσίμου (FO transfer & FO booster pumps)
- Καθαρισμός διαχωριστήρων καυσίμου (purifiers).
- Καθαρισμός εναλλάκτων θερμοκρασίας για τη θέρμανση του πετρελαίου.

D. ΔΙΠΥΘΜΕΝΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ – DB FOT NO2

- Καθαρισμός δεξαμενής και απομάκρυνση κατάλοιπων.
- Καθαρισμός σερπαντίνας για θέρμανση πετρελαίου (heating coils).

Η αιτία που οδήγησε στη παραπάνω ζημιά, οφείλεται όπως αποδείχθηκε στη μεγάλη συγκέντρωση καταλυτικών σωματιδίων και συγκεκριμένα στην αυξημένη ποσότητα οξειδίου του αργιλίου ή αλουμινίου. Σε δειγματοληψίες του πετρελαίου από τη δεξαμενή FOT No2, η ανάλυση έδειξε συγκέντρωση στα οξείδια του αργιλίου στη τιμή των 96ppm, σε αντίθεση με τις αρχικές ιδιότητες / τιμές του καυσίμου που ήταν 16ppm.

Το κόστος από τη παραπάνω ζημιά ξεπέρασε το USD 1,000,000 μόνο για τη πραγματοποίηση επισκευών, χωρίς να συνυπολογιστεί το κόστος για διαφυγόντα κέρδη, σταλίες κτλ.

Στα παραπάνω, θα πρέπει να υπολογίσουμε το ενδεχόμενο ότι σε διαφορετικό γεγονός / πλοίο και σε περίπτωση που το πλοίο μαζί και το φορτίο υποστούν ζημιά λόγω ακυβερνησίας, τότε είναι άμεσα αντιληπτό ότι το κόστος φορτίου, πλοίου, αντιρυπαντικές υπηρεσίες, ναυαγιορυσία κτλ., θα είναι σημαντικά μεγαλύτερο.

3.4 Ποιοτική διαχείριση πετρελαίου στα εμπορικά πλοία –

Όπως και αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.3, όταν ένας κινητήρας υποστεί ζημιά εξαιτίας της υπερβολικής φθοράς των κινούμενων μερών του από καύση πετρελαίου με υψηλά ποσοστά καταλυτικών σωματιδίων, η γενική επισκευή που απαιτείται είναι ιδιαίτερα κοστοβόρα και χρονοβόρα. Το κόστος είναι μεγάλο αλλά είναι μικρότερο σε σχέση με το κόστος όπου το καράβι πρέπει να παραμείνει στο λιμάνι καθυστερώντας την παράδοση του φορτίου μέχρις ότου επισκευαστεί ο κινητήρας.

Το πρόβλημα αφορά κυρίως τις αργόστροφες δίχρονες μηχανές και γενικότερα τους κινητήρες οι οποίοι καταναλώνουν IFO ή HFO. Σύμφωνα με έρευνες από την εταιρεία MAN Diesel & Turbo, αναφέρεται ότι τα καταλυτικά σωματίδια που είναι παρόντα σε μια μεγάλη πλειοψηφία των ελατηρίων στα έμβολα και χιτώνια φθείρουν τους κινητήρες χαμηλής ταχύτητας, όπως επίσης και τους τετράχρονους κινητήρες.

Στα πλαίσια της αντιμετώπισης προβλημάτων που συσχετίζονται με τα καταλυτικά σωματίδια και τη φθορά των κινητήρων των ναυτικών μηχανών, μέτρα που μπορούν να ληφθούν είναι τα παρακατω:

A. Πριν από την παράδοση των νέων καυσίμων:

i) Το πλοίο θα πρέπει να διαθέτει επαρκείς ελεύθερες δεξαμενές για την αποθήκευση του καυσίμου από νέα πετρέλευση, οι οποίες πρέπει να είναι καθαρές.

ii) Να υπάρχει σχετική γνώση σχετικά με τα στατιστικά στοιχεία της ποιότητας των καυσίμων στο λιμένα προμήθειας, ειδικά εάν υπάρχουν σχετικές προειδοποιήσεις εκ μέρους εργαστηρίων, P & I clubs ενημέρωση από το τύπο.

iii) Να βεβαιωθεί ότι το σκάφος διαθέτει επαρκή καύσιμα για χρήση, ώστε να επιτραπεί η λήψη δειγμάτων των νέων καυσίμων πριν από τη χρήση. Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση νεοαποκτηθέντων καυσίμων χωρίς να έχει ληφθεί εργαστηριακή ανάλυση από δείγμα των καυσίμων.

B. Κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την παράδοση των καυσίμων:

Να βεβαιωθεί ότι τα αντιπροσωπευτικά δείγματα καυσίμων από τις δεξαμενές λαμβάνονται σύμφωνα με τις σχετικές οδηγίες του κλάδου και ελέγχονται από κατάλληλο και ανεξάρτητο εργαστήριο σύμφωνα με τις απαιτήσεις προδιαγραφών ISO 8217: 2012:

i) Πρέπει να λαμβάνονται δείγματα καυσίμου κατά τη διάρκεια της ανεφοδιασμού, από κάθε πηγή εφοδιασμού της φορτηγίδας / δεξαμενόπλοιου.

ii) Τα ληφθέντα δείγματα θα πρέπει να αποσταλλούν άμεσα από το λιμάνι ανεφοδιασμού στα εργαστήρια ανάλυσης, με την προϋπόθεση ότι η έκθεση ανάλυσης καυσίμων επιστρέφει στο σκάφος όσο το δυνατόν συντομότερα και εν πάση περιπτώσει πριν από τη χρήση του πετρελαίου.

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης όπου η χρήση του καυσίμου από νέα πετρέλευση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί χωρίς την παραλαβή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, το πλήρωμα του πλοίου θα πρέπει να επικοινωνήσει με τον τεχνικό διευθυντή της διαχειρίστριας εταιρείας για περεταίρω άδεια.

C. Κατά τη χρήση των καυσίμων

Τακτική δοκιμή των καυσίμων

i) Θα πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα ανάλυσης του πετρελαίου πριν την είσοδο του στο κινητήρα, μέσω ενός συστήματος ελέγχων των καυσίμων για να εξακριβωθεί και να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος καθαρισμού και φιλτραρίσματος.

ii) Τα δείγματα για βαρύ μαζούτ θα πρέπει να λαμβάνονται πριν και μετά από κάθε διαχωριστή σε διαστήματα 4 έως 6 μηνών κατ' ανώτατο όριο. Τα δείγματα πρέπει να αποστέλλονται σε διαπιστευμένα εργαστήρια όπως DNVPS, FOBAS ή Intertek για ανάλυση χρησιμοποιώντας την προδιαγραφή ISO 8217 για σύγκριση με σκοπό να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα των διαχωριστήρων.

iii) Σε περίπτωση προειδοποίησης σχετικά με τα επίπεδα πυριτίου και αλουμινίου στο καύσιμο, τότε δείγματα καυσίμου πρέπει να λαμβάνονται πριν και μετά από καθαριστές. Μέγιστο επιτρεπόμενο συνολικό Si + Al 50ppm πριν από τον καθαριστή και 15ppm μετά τον καθαριστή.

D. Διαχωριστές / εξαγνιστές καυσίμων (Purifiers)

i) Όπου είναι δυνατόν, να χρησιμοποιηθούν δύο διαχωριστές παράλληλα με την ελάχιστη ροή καυσίμου προς διαχώριση, και να διατηρηθεί η θερμοκρασία εισόδου HFO στο βέλτιστο 98° C για να εξασφαλιστεί αποτελεσματικός διαχωρισμός / καθαρισμός.

ii) Η χωρητικότητα του διαχωριστή θα πρέπει να επαρκεί για τη καθημερινή κατανάλωση καυσίμου συν 10% σε περίπτωση ανακυκλοφορίας του καυσίμου στη δεξαμενή καθίζησης.

iii) Ο βαθμός απόδοσης των διαχωριστήρων θα πρέπει να διεξάγεται ιδανικά ετησίως από οργανισμούς ειδικούς σε καύσιμα, όπως το DNVPS ή το FOBAS.

iv) Οι τακτικοί έλεγχοι των διαχωριστών θα πρέπει να γίνεται από εξουσιοδοτημένα συνεργεία του κατασκευαστή με σκοπό την αύξηση / ενίσχυση της αποδοτικότητας του συστήματος.

v) Τα φίλτρα του συστήματος καυσίμου θα πρέπει να επιθεωρούνται και να καθαρίζονται τακτικά – και όχι μόνο σε περίπτωση ενεργοποίησης αλάρμ για διαφορεική πίεση.

E. Δεξαμενές αποθήκευσης (storage tanks), καθίζησης (settling tanks) & χρήσης (service tanks)

i) Η ανάμιξη διαφορετικών καυσίμων (νέας πετρέλευσης με παλαιότερα καύσιμα) στις δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων πλοίων πρέπει να αποφεύγεται.

ii) Θα πρέπει να πραγματοποιείται συχνά (καθημερινή) αποστράγγιση του νερού και των καθιζημένων ιζημάτων από τις δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων, καθιζήσεων και σέρβις. Κατά τη διάρκεια του ήρεμου καιρού, τα βαριά συστατικά του HFO, όπως τα λεπτά καταλυτικά σωματίδια, θα συγκεντρωθούν στον πυθμένα της δεξαμενής και σε περίπτωση που υπάρχει βαρύς καιρός, αυτά τα σκληρά σωματίδια μπορεί να αναδευτούν και να τροφοδοτηθούν στους διαχωριστές σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν το μέγιστο αποδεκτό επίπεδο των 50ppm. Εάν δεν έχει υπάρξει έλεγχος, τότε αυτό μπορεί να εμποδίσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος επεξεργασίας / καθαρισμού των καυσίμων, οδηγώντας έτσι μεγάλες ποσότητες καταλυτικών σωματιδίων στην είσοδο του κινητήρα.

iii) Το αποστραγγισμένο καύσιμο από τα αυτόματα φίλτρα καθαρισμού του πετρελαίου δεν θα πρέπει να επανεισάγονται εκ νέου στο σύστημα επεξεργασίας καυσίμου.

iv) Ενδίκνεται ο καθαρισμός των δεξαμενών καθίζησης και σέρβις κατά τη διάρκεια δεξαμενισμού του πλοίου, προκειμένου να αντιμετωπιστεί μακροχρόνια η συσσώρευση σωματιδίων και ιζήματος στη βάση των δεξαμενών αποθήκευσης των καυσίμων.

F. Συντήρηση Εξοπλισμού

- i) Οι θερμαντήρες των καυσίμων θα πρέπει να ανοίγονται και να καθαρίζονται τακτικά για να εξασφαλίζεται η επίτευξη της βέλτιστης θερμοκρασίας 98 βαθμών κελσίου.
- ii) Οι διαχωριστές καυσίμου θα πρέπει να ανοίγονται για καθαρισμό στα προγραμματισμένα διαστήματα που συνιστώνται από τους κατασκευαστές, ή συχνότερα εάν υπάρχει υποψία κακής ποιότητας καυσίμου. Τα πλοία θα πρέπει να διατηρούν τα αναγκαία ανταλλακτικά.

G. Εκπαίδευση

- i) Θα πρέπει να παρέχεται στο πλοίο από τη διαχειρίστρια εταιρεία, οδηγίες για προμήθεια και χρήση των καυσίμων μέσω του Εγχειρίδιου Ασφαλούς Διαχείρισης του πλοίου.
- ii) Ο Διαχειριστής του πλοίου θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι το υπεύθυνο προσωπικό μηχανοστασίου είναι επαρκώς καταρτισμένο ώστε να λειτουργεί και να διατηρεί πλήρως και ανεξάρτητα το σύνολο του προαναφερθέντος εξοπλισμού, ανάλογα με την περίπτωση, τόσο με τα υφιστάμενα προσόντα πριν από την απασχόληση, όσο και με τα συνεχόμενα μαθήματα κατάρτισης και τις ενημερώσεις πρακτικής της αγοράς,

H. Τήρηση αρχείων:

- i) Το πλήρωμα και η διαχειρίστρια εταιρεία θα πρέπει να τηρούν σχετικό αρχείο με τη διαχείριση των καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των αρχείων συντήρησης και των αναφορών μηχανικών βλαβών.

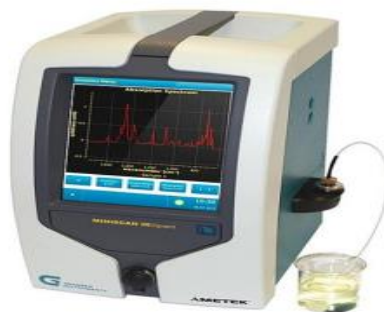
I. Δειγματοληψία και Ανάλυση καυσίμων:

Τα δείγματα καυσίμου που θα λαμβάνονται για ανάλυση θα πρέπει να διατηρούνται σε ασφαλή θέση αποθήκευσης, δεν θα πρέπει να υπόκεινται σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά κατά προτίμηση σε κανονικές θερμοκρασίες και δεν θα πρέπει να εκτίθενται σε άμεσο ηλιακό φως. Τα δείγματα πρέπει να στέλνονται σε διαπιστευμένα εργαστήρια σε ότι αφορά την ανάλυση καυσίμων όπως είναι το εργαστήριο DNVPS, το εργαστήριο FOBAS ή το εργαστήριο Intertek.

Ένας από τους ελέγχους που διενεργούν αυτά τα εργαστήρια θεωρείται και το Parker Kittiwake Test, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να επισημαίνει δείγματα HFO που ενδέχεται να έχουν μολυνθεί με αυξημένες συγκεντρώσεις καταλυτικών σωματιδίων πριν να αντληθεί ακόμη καύσιμο στο πλοίο. Το τεστ είναι απλό στην εκτέλεση, οικονομικά αποδοτικό και μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε λίγα λεπτά. Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι αυτό το τεστ είναι ικανό να ταυτοποιήσει εκείνα τα δείγματα καυσίμων που εμφανίζουν συγκεντρώσεις καταλυτικών σωματιδίων **άνω των 60 ppm (Al+Si)** και κατά συνέπεια υπερβαίνουν το όριο που συνιστά το πρότυπο ISO 8217: 2012. Στην πραγματικότητα, το τεστ αυτό έχει σχεδιαστεί ειδικά για να παρέχει στο πλήρωμα μια σαφή ένδειξη σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων και αν το πλοίο μπορεί να αποπλεύσει με ασφάλεια ή όχι.

Επιπλέον, διατίθεται στο εμπόριο μια συσκευή για τη συνεχή παρακολούθηση των επιπέδων των καταλυτικών σωματιδίων στα συστήματα επεξεργασίας καυσίμων, τα οποία μπορούν να μεταδώσουν αποτελέσματα στα γραφεία της υπεύθυνης πλοιοκτήτριας εταιρείας σχετικά με το καύσιμο που έχει εγχυθεί στον κινητήρα του πλοίου της. Η εταιρεία εντοπίζει το πρόβλημα και αναζητά μετά την λύση.

Ο αναλυτής καυσίμου (Εικ.33) βασίζεται σε τεχνολογία NMR ικανή να μετρά με ακρίβεια την περιεκτικότητα αλουμινίου (Al) στο καύσιμο πετρέλαιο.



Εικόνα 34: Αναλυτής καυσίμου και για καταλυτικά σωματίδια με βάση την τεχνολογία NMR

Το πλήρες σύστημα ζυγίζει περίπου 200kg και χρειάζεται χώρο εγκατάστασης 2m x 1,5m x 0,4m. Η συσκευή λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια 90-264V / 1.000W (μέση τιμή 300W) και η οποία μπορεί προαιρετικά να συνδεθεί στο Internet μέσω σύνδεσης Ethernet. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μέτρησης μπορούν να ελεγχθούν από απόσταση (π.χ. από το γραφείο του υπευθύνου) μέσω του Διαδικτύου.

Η συσκευή παρακολουθεί έως και 7 σημεία αυτόματης δειγματοληψίας σε πίεση 1-10bar και θερμοκρασίες 25-140°C. Τα σημεία δειγματοληψίας μπορούν να βρίσκονται στην είσοδο καυσίμου στον κινητήρα καθώς και στις δεξαμενές αποθήκευσης. Το μοναδικό αναλώσιμο μέρος στο εσωτερικό αυτής της συσκευής είναι μια μονάδα κλιματισμού με αναμενόμενη διάρκεια ζωής 5 ετών. Επιπλέον, συνιστάται ένα πρόγραμμα συντήρησης της συσκευής κάθε 4 μήνες.

Σε περίπτωση που επιβεβαιωθεί ότι υπάρχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταλυτικών σωματιδίων στο καύσιμο του πλοίου από το προβλεπόμενο θα πρέπει να γίνουν όλες οι απαραίτητες εργασίες για την απομάκρυνση τους από το καύσιμο και οι εργασίες αυτές θα πρέπει να διεξαχθούν αμέσως. Τέτοιες εργασίες περιλαμβάνουν:

- Απομάκρυνση του μολυσμένου καυσίμου από το πλοίο
- Συνεχής καθαρισμός των δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμου
- Αντικατάσταση όλων των μηχανικών μερών του κινητήρα που έχουν πάθει ζημιά

J. Παρουσία νερού στα καύσιμα

Το νερό μπορεί να προκαλέσει ένα ευρύ φάσμα μηχανικών προβλημάτων. Το νερό μετά από συμπύκνωση όπως π.χ. το νερό της βροχής που στάζει στα καπάκια της δεξαμενής ή στους σωλήνες μπορεί να προκαλέσει διάβρωση σε μέρη του κινητήρα, στις αντλίες καυσίμου. Η μόλυνση από το θαλασσινό νερό, είναι πιο σοβαρή εξαιτίας της περιεκτικότητας του θαλασσινού νερού σε νάτριο (1% κατά βάρος σε θαλασσινό νερό ≤ 100 ppm περιεκτικότητας σε νάτριο). Το νάτριο στο ρυπαντικό θαλασσινό νερό αυξάνει σημαντικά τα προβλήματα, προκαλώντας ζημιές έπειτα από διάβρωση στα πιστόνια, στις βαλβίδες εξάτμισης, στον λέβητα.

Η διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες συμβαίνει ως αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης μεταξύ του νατρίου και του βαναδίου στο καύσιμο, όταν ιδιαίτερα ο λόγος νατρίου/βαναδίου ισούται με 1:3.

Στα πλαίσια της αντιμετώπισης προβλημάτων διάβρωσης που συσχετίζονται με το νερό, μέτρα που μπορούν να ληφθούν είναι τα παρακάτω:

- Απομάκρυνση του νερού με φυγοκέντριση του καύσιμου
- Αποτελεσματική ψύξη των βαλβίδων
- Χρήση περιστρεφόμενων βαλβίδων για εξομάλυνση του θερμικού φορτίου στις βαλβίδες
- Χρήση ανθεκτικών στη διάβρωση υλικών (π.χ. χάλυβας)

3.5 Ποιότητα καυσίμου – Στατιστικά δεδομένα από φθορές σε κινητήρες

Με βάση όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως μεγάλης σημασίας θεωρείται λοιπόν τόσο για την απουσία φθορών στον κινητήρα όσο και για την καύση, η καλή ποιότητα καυσίμου. Βασικό μέλημα στον κινητήρα είναι να επιτευχθεί τέλεια καύση για να περιοριστεί η εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης. Για το λόγο αυτό, σημαντικό ρόλο για την καλή λειτουργία του κινητήρα παίζει ρόλο η ποιότητα του καυσίμου. όπου θα πρέπει να υπάρχει πάντα ικανή περίσσεια αέρα. Η καύση στον κινητήρα είναι κατά κανόνα μια περίπλοκη διαδικασία και έτσι η ποιότητα του καυσίμου μείγματος, η ανάφλεξη και η περεταίρω καύση δεν αποτελούν σαφώς ξεχωριστές λειτουργίες, αλλά είναι αλληλένδετες. Αν δεν είναι καλή η ποιότητα του καυσίμου, έχει δηλαδή το πετρέλαιο μεγαλύτερη περιεκτικότητα άνω των επιτρεπόμενων ορίων σε τέφρα, σε βανάδιο και επίσης μικρό αριθμό κετανίου, έχει διαπιστωθεί ότι συμβαίνει καθυστέρηση ανάφλεξης.

Αυτό όμως δεν είναι καθόλου καλό για την σωστή λειτουργία του κινητήρα καθώς κρουστικά φαινόμενα είναι δυνατόν να προκληθούν από μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης του καυσίμου. Αυτό συμβαίνει διότι όσο επιμηκύνεται ο χρόνος εωσότου ξεκινήσει τελικά η ανάφλεξη, επιπλέον καύσιμο συνεχίζει να εγχέεται στον κύλινδρο με αποτέλεσμα όταν τελικά ξεκινήσει το

στάδιο της καύσης να καεί ξαφνικά μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου οδηγώντας σε πιο απότομη αύξηση της πίεσης. Είναι προφανές ότι τέτοια φαινόμενα πρέπει να αποφεύγονται στους κινητήρες για τον περιορισμό της καταπόνησης των μηχανικών μερών και την εξασφάλιση ομαλής λειτουργίας, αν και εδώ μπορεί η λειτουργία σε αυτές τις δυσμενείς συνθήκες να αποδεικνύεται ευνοϊκή για τον βαθμό απόδοσης. Στη περίπτωση που το καύσιμο έχει αυξημένα ποσοστά συγκέντρωσης καταλυτικών σωματιδίων, η φθορά των κινούμενων μερών του κινητήρα θα είναι πολύ σύντομη.

Για αποφυγή κρουστικών φαινομένων στους κινητήρες απαιτείται ταχεία αυτανάφλεξη. Ένας ακόμα λόγος που είναι επιθυμητή η ταχεία αυτανάφλεξη στους κινητήρες είναι η ευκολία ψυχρής εκκίνησης ιδιαίτερα κάτω από δύσκολες συνθήκες (χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος).

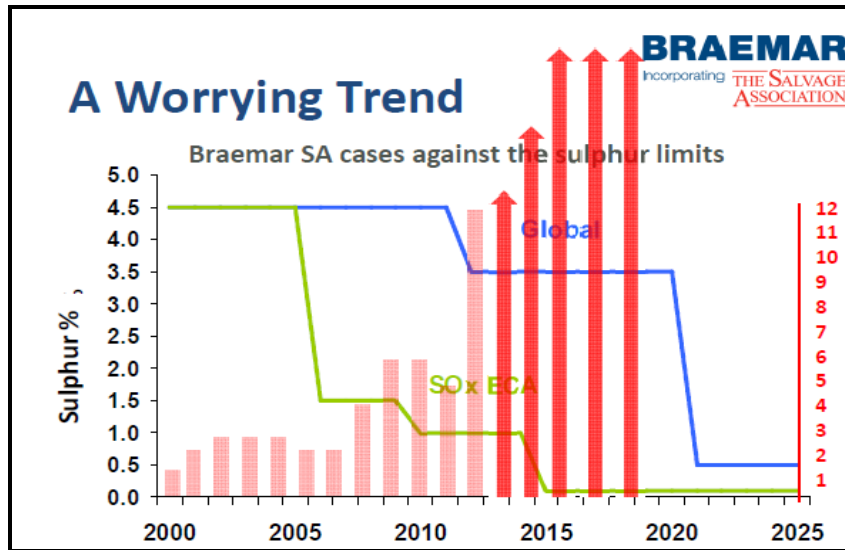
Χρησιμοποιούνται σήμερα βελτιωτικά πρόσθετα και χημικές διεργασίες, καθώς καύσιμα με πολύ καλή ποιότητα ανάφλεξης οδηγούν σε ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα και χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων. Σαν πρόσθετα, χρησιμοποιούνται ενώσεις που αποσυντίθενται γρήγορα και βοηθούν στην έναρξη των αλυσιδωτών αντιδράσεων της καύσης. Συνήθως είναι νιτροεστέρες, οι οποίοι λειτουργούν σαν επιταχυντές Ανάφλεξης (Ignition Accelerators ή “Dopes”). Ένα καύσιμο πλούσιο σε παραφινικούς υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζεται από καλύτερη ποιότητα ανάφλεξης.

Πέρα από την χαμηλή ποιότητα ενός καυσίμου με μικρό αριθμό κετανίου, η οποία μπορεί να προκαλέσει κρουστικά κτυπήματα δημιουργώντας προβλήματα στον κινητήρα ενός πλοίου, φθορές στον κινητήρα μπορεί να προκαλέσει και η χαμηλή περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο.

Είναι γεγονός σήμερα ότι τα φθηνά καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (π.χ. HFO) όπου προστίθενται υψηλές συγκεντρώσεις καταλυτικών σωματιδίων ώστε αυτά να μετατραπούν σε καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, αυτό προκαλεί προβλήματα στον κινητήρα όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα. Είναι χαρακτηριστικό ότι σύμφωνα με στατιστικά

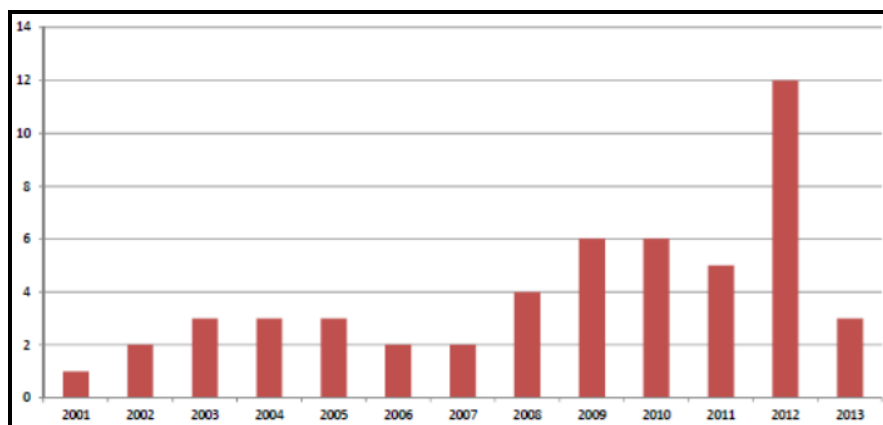
δεδομένα από το 2000 και μετά, όπου η περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα μειώνεται- αυξάνουν δυστυχώς οι περιπτώσεις φθοράς κινητήρων πλοίων.

Αυτό απεικονίζεται στο διαγραμμα παρακατω (όπου τα κόκκινα βέλη που απεικονίζουν τις περιπτώσεις φθαρμένων κινητήρων) εκτοξεύονται προς τα πάνω:



Εικόνα 35: Στατιστικά δεδομένα από αύξηση σε φθορές κινητήρων με μείωση της περιεκτικότητας σε θείο από το 2000 και έπειτα

Μάλιστα στο παρακατω διαγραμμα απεικονίζονται οι περιπτώσεις φθαρμένων κινητήρων από καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο από το 2001-2013. Από ότι φαίνεται το 2012 εμφανίστηκε ο μεγαλύτερος αριθμός περιπτώσεων (12).



Εικόνα 36: Αριθμός φθαρμένων κινητήρων από 2001-2013

Η αυξημένη τάση φθοράς κινητήρων οφείλεται στην παγκόσμια περιβαλλοντική νομοθεσία (με τις νέες απαιτήσεις λόγω και της διεθνούς σύμβασης MARPOL) που περιορίζει τα επίπεδα θείου στα καύσιμα των πλοίων και με αυτά τα όρια να μειώνονται περαιτέρω τα επόμενα χρόνια, οι περιπτώσεις ζημιών κινητήρων αναμένεται να αυξηθούν αντίστοιχα.

3.6 Ναυτική Ασφάλιση (Marine Insurance)

Σε περίπτωση απώλειας πρόωσης του πλοίου από βλάβη στη Κύρια Μηχανή (όπως το παράδειγμα στο κεφάλαιο 3.3) και με πιθανή απώλεια του πλοίου μαζί με το φορτίο, είναι σύνηθες ο πλοιοκτήτης να ενεργοποιεί «Γενική Αβαρία» στην οποία συντελούν όλα τα μέλη ασφάλισης του πλοίου και φορτίου. Συνεπώς, τυχόν ζημιά σε κινητήρες λόγω παρουσίας καταλυτικών σωματιδίων στα καύσιμα, αφορά τόσο τους H&M Underwriters οι οποίοι ασφαλίζουν το σκάφος και το μηχανολογικό εξοπλισμό, όσο επίσης και τα P&I Clubs.

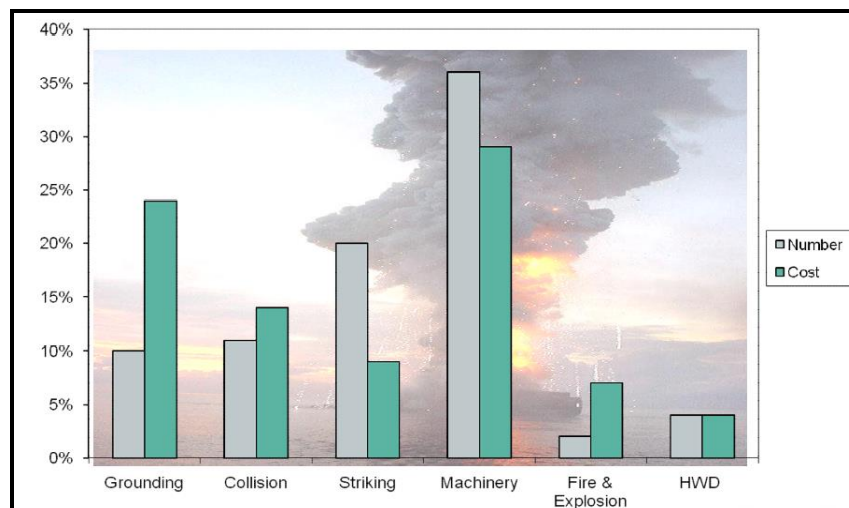
Στα πλαίσια αποκαταστασης των βλαβων κινητηρων πλοίων από όλους τους παραγοντες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα έχει εξελιχτεί σημερα η ναυτικη ασφαλιση (Marine Insurance). Η ναυτικη ασφαλιση εξελίχθηκε τον 12^ο αιώνα από ιταλούς εμπόρους που μετακόμισαν από τη Βόρεια Ιταλία στο κεντρικό Λονδίνο. Τον 15^ο αιώνα εμφανίστηκαν οι ασφαλιστές του Λονδίνου, οι ονομαζόμενοι Lloyds και τον 17^ο αιώνα συναπτονται τα πρώτα ασφαλιστηρια συμβόλαια. Οι ασφαλιστές υπέγραφαν τα ονοματα τους κατω από τη διατύπωση του ασφαλιστηριου συμβολαίου και ονομαζονταν Υπογραφοντες (Underwriters).

Το 1720 ιδρύονται εταιρείες όπως οι London Insurance και η Royal Assurance Exchange Corp, οι οποίες μονοπωλούν στον χώρο της ναυτικής ασφάλισης για έναν ολόκληρο αιώνα. Αργότερα ασφαλιστικές εταιρείες αρχισαν να δημιουργούνται στη Ν.Υόρκη, στο Ρότερνταμ, στην Αμβέρσα.

Πιο συγκεκριμένα η ναυτική ασφάλιση βοηθά στην κάλυψη φυσικών ζημιών σε πλοία και στον εξοπλισμό τους σε περιστατικά όπως:

- Συγκρούση πλοίου με άλλο πλοιο
- Ζημια από επαφή πλοίου με άλλο πλοιο
- Ζημια από σύγκρουση πλοίου με παγο
- Ζημια από βλαβη στον κινητήρα
- Ζημια στο πλοίο κατά τη διάρκεια ταξιδιού υπό αντίξοες καιρικές συνθήκες
- Ζημια στο πλοίο από φωτιές και εκρηξεις

Στην παρακάτω εικόνα αναφέρονται περιστατικά που καλύπτει η ναυτική ασφάλιση, το ποσοστό τους καθώς και το συνολικό κόστος της ζημιάς, την οποία καλείται να πληρώσει η ασφαλιστική εταιρεία.



Εικόνα 37: Ποσοστό περιστατικών που καλούνται να πληρώσουν οι ασφαλιστικές εταιρείες και κόστος περιστατικών

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα το μεγαλύτερο ποσοστό περιστατικών που καλείται να καλύψει μια ασφαλιστική εταιρεία εμφανίζεται σε βλάβες σε μηχανικά μέρη και κινητήρες πλοίων (πάνω από το 1/3 του συνόλου των περιστατικών) ενώ και το κόστος που καλείται να καλύψει η ασφαλιστική εταιρεία τότε είναι το μεγαλύτερο.

Γενικά η αναγκαιότητα της ναυτικής ασφαλιστικής κάλυψης είναι μεγάλη καθώς η ίδια λαμβάνει μέτρα για την προστασία από τυχαία συμβάντα βλαβών στα πλοία και τυχαίες απώλειες φορτίου. Όσοι ασχολούνται με το θαλάσσιο εμπόριο χρησιμοποιούν επιπλέον τη ναυτική ασφάλιση ως διέξοδο προς όφελος τους. Αποφεύγουν έτσι να δεσμεύονται οι ίδιοι έναντι τρίτων που θα πρέπει να τους αποζημιώσουν για κάποιο απρόβλεπτο κίνδυνο. Επίσης, οι τράπεζες χρειάζονται το συμβόλαιο σαν πιστοποιητικό καταλληλότητας του πλοίου και του φορτίου. Παράλληλα, οι ιδιοκτήτες των φορτίων ζητούν το ασφαλιστήριο συμβόλαιο που συνάπτεται από τους Υπογράφοντες, το οποίο θεωρείται αποδεικτικό στοιχείο για τη φόρτωση του πλοίου.

Γενικά, ο ρόλος των Υπογραφόντων (Underwriters) είναι ο εξής:

- Καταγράφουν τα περιστατικά που επέφεραν την ζημιά
- Καταγράφουν τα στοιχεία του πλοίου γενικά
- Καταγράφουν λεπτομερώς την έκταση της ζημιάς
- Συμφωνούν με τον τρόπο και την έκταση της επισκευής
- Εξασφαλίζουν το χαμηλότερο κόστος μέσω προσφορών
- Συμφωνούν με την αιτία της ζημιάς
- Συμφωνούν με το κόστος της επισκευής

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας από τους Υπογράφοντες ορίζεται ως αρχηγός της ομάδας που κατευθύνει και συντονίζει τις ενέργειες που πρέπει να ληφθούν και ο οποίος καλείται να συμφωνήσει με τις τελικές αποφάσεις.

Παρακάτω περιγράφονται επιγραμματικά τρεις (3) φορείς στον χώρο της ναυτικής ασφαλισής:

I) Ασφαλιστικοί φορείς κάλυψης ζημιών του σκάφους - Hull and Machinery (H&M)

Ο φορέας αυτός καλύπτει ασφαλιστικά τόσο το πλοίο όσο και τον εξοπλισμό του πλοίου. Οι τυπικές επιθεωρήσεις H&M περιλαμβάνουν ζημιές σε διάφορα μηχανολογικά μέρη του πλοίου όπως είναι οι Κύριες Μηχανές και βοηθητικοί κινητήρες, οι στροβιλοσυμπιεστές, οι λέβητες, μειωτήρες και οι συμπλέκτες, οι εναλλάκτες, κτλ. Η εταιρεία καλύπτει επίσης βλάβη της έλικας καθώς και βλάβη στο πηδάλιο και στον άξονα του πλοίου. Τέλος τα πλοία καλύπτονται ασφαλιστικά για ζημιές από συγκρούσεις με σταθερά ή επιπλέοντα αντικείμενα καθώς και για ζημιές από φωτιά.

II) P&I Clubs (Gard)

Το P&I Club του Νορβηγικού Gard το οποίο αναφέρεται στη συγκεκριμένη ενότητα ως παράδειγμα, παρέχει υπηρεσίες υπό 24ώρης βάσης σε ότι αφορά επιθεωρήσεις σε ζημιές σε ένα πλοίο και το φορτίο που φέρει. Θετικό χαρακτηριστικό της εταιρείας αυτής στον χώρο της ναυτικής ασφαλιστικής κάλυψης είναι ότι διαθέτει έμπειρη ομάδα ανταπόκρισης που αφιερώνεται πλήρως στο έργο της επιθεώρησης και της ασφάλισης. Αυτή παρευρίσκεται άμεσα στο πλοίο που έχει υποστεί την ζημιά ενώ ταυτόχρονα η ίδια βρίσκεται σε άμεση συνεργασία με τις αρχές.

Εξαιτίας του μεγάλου κεφαλαίου του πλοίου και του φορτίου του, σήμερα υπάρχουν περισσότερες από μια εταιρείες που καλύπτουν ασφαλιστικά διαφορετικά μέρη ενός πλοίου. Λίγες είναι οι ασφαλιστικές εταιρείες που θα αναλάβουν εξ'ολοκλήρου το οικονομικό ρίσκο, το οποίο συνήθως κατανέμεται μεταξύ πολλών ασφαλιστικών εταιρειών.

III) Φορείς επιθεωρήσεων εκ μέρους Underwriters και P&I Clubs (Braemar)

Η εταιρεία Braemar SA ακολουθώντας την παράδοση της ασφαλιστικής εταιρείας Lloyds του Λονδίνου, η οποία ιδρύθηκε τον 19^ο αιώνα παρέχει ένα ευρύ φάσμα ερευνών, επιθεωρήσεων και

ελέγχων, συμβουλευτικές υπηρεσίες συμβάντων για σκάφη. Με ένα μεγάλο δίκτυο γραφείων / εκπροσώπων παγκοσμίως, η Braemar είναι σε θέση να παρέχει ταχεία ανταπόκριση στα αιτήματα του πελάτη με έγκαιρο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Οι επιθεωρητές της Braemar SA διεξάγουν έρευνες κατάστασης για όλους τους τύπους σκαφών. Η φήμη της εταιρείας αυτής έχει οικοδομηθεί στις έρευνες ζημιών μηχανολογικού εξοπλισμού ενός πλοίου και στην παροχή υποστήριξης κατά τη διαδικασία διεκδικήσεων ασφαλιστικών ποσών και επισκευών. Σήμερα, η Braemar SA προσφέρει ένα πλήρες φάσμα μελετών αξιολόγησης κινδύνων καθώς με τα χρόνια η εταιρεία έχει διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην ανάπτυξη εγγυήσεων και ερευνών για την υποστήριξη της πρόληψης ενός πλοίου από ζημιές.

Πολλές από τις έρευνες για την πρόληψη βλαβών γίνονται ως προς τη ποιότητα και διαχείριση καυσίμων των πλοίων ενώ επιθεωρήσεις από τους υπεύθυνους της Braemar SA γίνονται και κατά τη διάρκεια της κατασκευής των πλοίων αυτών στα ναυπηγεία καθώς και εκεί υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς.

3.7 Αξιοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας ως τρόποι αποφυγής χρήσης πετρελαίου

Πέρα από τους κανονισμούς που επιβάλλει σήμερα η διεθνής σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) και την υποχρέωση για μείωση της περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα και μείωση των επικίνδυνων εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) και αζώτου (NO_x) και την ανάγκη για σωστή διαχείριση πετρελαίου, όπως επίσης και των ζημιών των ναυτικών κινητήρων απο χρήση καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα καταλυτικών σωματιδίων, μπορούν να εφαρμοστούν επίσης εναλλακτικές μορφές ενέργειας για την κίνηση των πλοίων. Παρακατω περιγράφονται τέτοιες εναλλακτικές, φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας (Πράσινη Ενέργεια) και τρόποι μέσω των οποίων αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν:

i) Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να συντελέσουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν στα πλοία χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες. Αποτελούν μια από τις πιο σύγχρονες εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από

πάνελ ημιαγωγών κυρίως πυριτίου (ένα ή περισσότερων) φωτοβολταϊκών κυττάρων μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή από ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια.

Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα Φ/Β πάνελ πυριτίου είναι το 25% της ενέργειας που δέχεται, όμως συνήθως το ποσοστό είναι <15%. Ήδη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία μέσω φωτοβολταϊκών είναι σε στάδιο ερευνών ενώ ουσιαστική ώθηση για τα φωτοβολταϊκά όπως και για τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δόθηκε μέσα από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων των δραστηριοτήτων παραγωγής ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) με την χρήση "πράσινων" τεχνολογιών (ΑΠΕ).

Πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι τα εξής:

- Δεν παράγουν θόρυβο
- Είναι αξιόπιστα, έχουν μεγάλο χρόνο ζωής και συντηρούνται εύκολα
- Έχουν μηδενικό κόστος παραγωγής
- Η οικονομική επιβάρυνση για τον καταναλωτή είναι μικρότερη από αυτή την αντίστοιχη της τιμής του πετρελαίου

ii) Αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας μέσω εκμετάλλευσης του φυσικού αεριού

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ήδη σε κινητήρες πλοίων με συνδυασμένο πετρέλαιο Diesel και ηλεκτρικό ρεύμα (CODLAG) η σε κινητήρες πλοίων όπου χρησιμοποιείται μόνο σε συνδυασμό με πετρέλαιο Diesel (CODLOG). Το φυσικό αέριο βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα της γης και είτε συναντάται μόνο του είτε συνυπάρχει με κοιτάσματα πετρελαίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας και κάνει ολοκληρωμένη καύση στις κατάλληλες συσκευές.

Το φυσικό αέριο αποτελείται κατά κύριο λόγο από μεθάνιο (σε ποσοστό άνω του 85%) και από άλλους αέριους υδρογονάνθρακες (πχ μεθάνιο, αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο). Επιπλέον, πρόκειται για ένα πολύ καθαρό αέριο χωρίς προσμείξεις με θειούχα συστατικά και για αυτό θεωρείται ένα ενεργειακό καύσιμο ιδιαίτερα φιλικό για το περιβάλλον.

Η καύση του παράγει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οπότε σε σχέση με άλλα καύσιμα το φυσικό αέριο συμβάλλει στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Με την καύση του δεν εκπέμπονται επίσης αιωρούμενα σωματίδια. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι ποσότητες των ρύπων που εκπέμπει η καύση του πετρελαίου καθώς και αυτές των αντιστοίχων ρύπων που εκπέμπονται μέσω της καύσης του φυσικού αερίου.

Πίνακας 7: Ποσότητες ρύπων που εκπέμπονται με καύση φυσικού αερίου και πετρελαίου θέρμανσης (g ρύπου ανά kWh εισαγόμενης θερμότητας καυσίμου)

ΤΟΞΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	177	249
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	0,022	0,045
Μονοξείδιο αζώτου (NO)	0,137	0,189
Αιωρούμενα σωματίδια (PM)	0,007	0,023
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	0	0,056

Η εκμετάλλευση του φυσικού αερίου προσφέρει μερικά πλεονεκτήματα. Αυτά είναι τα εξής:

- Λογικό κόστος χρήσης
- Καθαριότητα θαλάμου καύσης κινητήρων.
- Χαμηλή εκπομπή ρύπων
- Μειωμένο κόστος συντήρησης κινητήρων

iii) Αξιοποίηση ενέργειας βιομάζας μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων

Ως βιομάζα θεωρείται το σύνολο των φυτικών οργανισμών, τα οποία αποθηκεύουν στο οργανικό και βιολογικό υλικό την βιοενέργεια που αποτελεί μία ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα φυτά γενικά δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και την αποθηκεύουν ενώ αναπτύσσονται με τη βοήθεια νερού και μεταλλικών στοιχείων. Η αποθηκευμένη αυτή μορφή ενέργειας (βιοενέργεια) μπορεί στην συνέχεια να

μετατραπεί σε διάφορες μορφές ωφέλιμης ενέργειας, όπως θερμότητα, ηλεκτρισμό π.χ. μέσω της διαδικασίας της πυρόλυσης.

Το βιοντίζελ είναι βιοκαύσιμο που προέρχεται και αυτό από τη βιομάζα μέσω της κατεργασίας φυτικών ελαίων με αλκοόλη (π.χ. μεθανόλη, αιθανόλη). Τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται είναι σπορέλαια και προέρχονται από την κατεργασία σπόρων λουλουδιών. Στα σπορέλαια ανήκουν για παράδειγμα το ηλιέλαιο, το σογιέλαιο, το κραμβέλαιο και το βαμβακέλαιο.



Εικόνα 38: Ηλιανθος ως πρωτογενής ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ

Το βιοντίζελ θεωρείται ένα καύσιμο πολύ φιλικό προς το περιβάλλον καθώς δεν εκπέμπονται καθόλου τοξικοί ρύποι και έτσι μπορούν να αποφευχθούν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Βάση μελέτης του Ναυτιλιακού Ινστιτούτου του Κεμπέκ στον Καναδά, η χρήση βιοντίζελ μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπή **450Kg διοξειδίου του άνθρακα** τον χρόνο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη ναυτιλία υπάρχουν σήμερα διάφορα είδη κινητήρων, όπως είναι οι κινητήρες Diesel, ο ατμοστρόβιλος/αεριοστρόβιλος, ο συνδυασμός κινητήρα Diesel και αεριοστρόβιλου, ο ηλεκτροκινητήρας, ο συνδυασμός κινητήρα Diesel-ηλεκτρικού και αεριοστρόβιλου. Οι κινητήρες Diesel διακρίνονται σε δίχρονους και τετράχρονους ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας τους.

Περισσότερο χρησιμοποιούνται σήμερα λοιπόν οι κινητήρες πετρελαίου και ιδιαίτερα αυτοί που καταναλώνουν φθηνό σε κόστος καύσιμο μαζούτ .

Δυστυχώς όμως η καύση του ναυτικού πετρελαίου απελευθερώνει οξείδια και αιωρούμενα σωματίδια που είναι τοξικοί ρύποι στην ατμόσφαιρα με δυσμενείς επιπτώσεις. Τέτοια οξείδια είναι του αζώτου (NO_x), του θείου (SO_x), του ανθρακα (CO_x) που μπορούν να προκαλέσουν φαινόμενα όπως είναι η αιθαλομίχλη, η όξινη βροχή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα οποία αποτελούν μεγάλη απειλή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Γι αυτό το λόγο υπάρχει σήμερα η διεθνής σύμβαση MARPOL, στόχος της οποίας είναι η μείωση της περιεκτικότητας σε θείο στα ναυτικά πετρέλαια στο 0.1% ως το 2025. Πέρα από αυτό υπάρχουν σήμερα και περιοχές στον κόσμο (SECAs), όπως είναι στην Καραϊβική, στη Βαλτική, στις οποίες γίνεται αυστηρότερος έλεγχος ορίων των εκπομπών της καύσης πετρελαίου καθώς τα πλοία πλησιάζουν στα λιμάνια τους.

Το διεθνές πρότυπο ISO 8217 του 2005 διαιρεί τα καύσιμα πλοίων σε καύσιμα απόσταξης και υπολειμματικά καύσιμα. Πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο ISO περιγράφει 4 κατηγορίες πετρελαίων απόσταξης (Distillate Fuels) και 10 κατηγορίες πετρελαίων υπολείμματος (Residual Fuels). Πέρα από αυτές τις κατηγορίες υπάρχουν και οι 4 τύποι ναυτικών καυσίμων όπως είναι οι: MGO (Marine Gas Oil), MDO (Marine Diesel Oil), IFO (Intermediate Fuel Oil) και HFO (Heavy Fuel Oil). Οι 2 πρώτοι τύποι καυσίμων ανήκουν στην κατηγορία των πετρελαίων απόσταξης και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρότερες βοηθητικές μονάδες μεσαίας έως μεγάλης ταχύτητας ή βοηθητικούς κινητήρες.

Ο τύπος καυσίμου MDO μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τετράχρονους μεσόστροφους και πολύστροφους κινητήρες. Ο τύπος HFO (Βαρύ Μαζούτ) θεωρείται το πιο φθηνό πετρελαϊκό καύσιμο, ανήκει αποκλειστικά στην κατηγορία των πετρελαίων υπολείμματος και χρησιμοποιείται για κινητήρες πλοίων με μεσαία και χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και κυρίως σε δίχρονες μηχανές. Ο τύπος IFO αποτελεί ένα μείγμα Diesel και Μαζούτ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε δίχρονους και σε τετράχρονους κινητήρες. Γενικά για την σωστή λειτουργία των κινητήρων, σε όλους τους τύπους καυσίμων σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι: Το ιξώδες, ο αριθμός επτανίου, ο δείκτης αρωματικότητας, η πυκνότητα, το σημείο ροής, το σημείο ανάφλεξης, η θερμογόνο δύναμη (ΘΔ).

Τα ναυτικά πετρέλαια που λαμβάνονται ως προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου (μεσαία ως υψηλή ζώνη θερμοκρασίας στην αποστακτική στήλη) μπορούν να προκαλέσουν φθορές στους κινητήρες λόγω των συστατικών τους αλλά και των προϊόντων καύσης τους (οξειδία του βαναδίου, θείου). Αυτά είναι υπεύθυνα για ζημιές σε ελατήρια εμβόλων, σε χιτώνια, σε φίλτρα καυσίμου και σε βαλβίδες εξαγωγής καυσαερίων. Ιδιαίτερα τα καταλυτικά σωματίδια αργιλίου και πυριτίου που προστίθενται με σκοπό οι κινητήρες ντίζελ να καίνε βαρείς τύπους καυσίμου πετρελαίου (Residual Fuels) αντί των ακριβότερων πετρελαίων απόσταξης (Distillate Fuels) σε συγκεντρώσεις άνω των 60ppm και σε μεγέθη άνω των 15μm μπορούν να εισχωρήσουν εύκολα στις επιφάνειες των κινούμενων μερών στους κυλίνδρους των κινητήρων και να προκαλέσουν πολύ γρήγορα φθορές. Ναυτικά πετρέλαια με χαμηλή ποιότητα (μικρό αριθμό επτανίου), χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και αυξημένη συγκέντρωση σε καταλυτικά σωματίδια αποδεικνύονται ιδιαίτερα καταστροφικά για τους κινητήρες. Απαιτούνται μέτρα όπως είναι η αύξηση του αριθμού επτανίου με χημικά πρόσθετα, ο διαρκής καθαρισμός των δεξαμενών πετρελαίου και του κινητήρα, το φιλτράρισμα του πετρελαίου και η συνεχής χημική ανάλυση δειγμάτων χρησιμοποιούμενου πετρελαίου.

Σε περίπτωση φθαρμένων κινητήρων το κόστος επισκευής τους το καλύπτουν σήμερα ασφαλιστικές εταιρίες, οι οποίοι κάνουν τις ανάλογες επιθεωρήσεις και αποφασίζουν για το μέγεθος της ζημιάς. Γενικά, εναλλακτικές μορφές ενέργειας κίνησης για τα πλοία ενδείκνυται να αξιοποιηθούν όπως είναι αυτές που προέρχονται από τα φωτοβολταϊκά, τις κυψέλες καυσίμου, το φυσικό αέριο και το βιοντίζελ.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τσόγκας, Ι., (11.2013), *Πετρέλαιο και ναυτιλιακά καύσιμα*, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πειραιά
2. Μπογάτσας, Χ., (2011), *Περιγραφή διαφόρων τύπων εξέδρων άντλησης πετρελαίου και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους*, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη
3. Steaua Romana Refinery, (04.2006), *Marine Fuel Oil type DMB-Commercial denomination: Marine Diesel Oil – MDO*, Campina, Romania
4. Εταιρεία SOFRASER, (06.2013), *Marine: HFO, Marine Gas and Diesel Oil (MGO / MDO)*
5. Vermeire, M.B., (06.2012), *Everything You Need to Know About Marine Fuels*, Chevron Global Marine Products, Ghent, Belgium
6. Κυρτάτος, Ν.Π., (2009), *Εγκαταστάσεις Πρόωσης*, Εργαστήριο Ναυτικής Μηχανολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθίνα
7. Κυρτάτος, Ν. Π., (2013), *Ναυτικοί Κινητήρες Diesel*, Εργαστήριο Ναυτικής Μηχανολογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθίνα
8. Πηλέας, Π., (2002), *Πετρελαιοκινητήρες (Diesel engines)*, Σχόλη Τεχνολογικών Εφαρμογών, Α.Τ.Ε.Ι Καβάλας
9. Ρισσάκη, Σ., (2010), *Η χρήση των αεροστροβίλων ως μέσο πρόωσης στην εμπορική ναυτιλία*, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πειραιά
10. Μιχαήλ, Ν., (07.2007), *Το πλήρες εξηλεκτρισμένο πλοίο και η οικονομοτεχνική προσιτότητα στην κατασκευή του*, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθίνα
11. *Το ηλεκτρικό πλοίο της επόμενης γενιάς*, Δεληγιάννης, Κ., [Online], Διαθέσιμο σε: <http://www.kathimerini.gr/464039/article/oikonomia/die8nhs-oikonomia/to-hlektriko-ploio-ths-epomenhs-genias>, Ανακτηθηκε:28.07.2012
12. Εταιρεία VILMA MOTORS & UNITED MOTORS INDUSTRIES S.A. 2009, <http://www.vilmamotors.com/>
13. Air Data Management System, (2009), <http://www.air-quality.gr/general.php>.
14. Μούστρης, Κ.Π., (2011, 10 09), *Τεχνολογία Περιβαλλοντικών Μετρήσεων*, Πειραιας
15. Μαμασης, Ν.; Στεφανάκος, Ι. (2010, 05 12), *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία*, Αθίνα
16. Κουρέλη, Α., (2010), *Ατμοσφαιρική Ρύπανση*, Ξάνθη
17. Χαλβατζής, Σ., (2004), *Η όξινη βροχή και οι επιπτώσεις της στον άνθρωπο και στο*

οικοσύστημα, Θεσσαλονίκη

18. Γεντεκάκης, Ι.Β., (1999), *Ατμοσφαιρική ρύπανση - Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες*, Εκδόσεις Τζιόλα.

19. Πασχος, Α., (2005, 11 10), *Το φαινόμενο του θερμοκηπίου*, Ξάνθη.

20. *Η χρήση του Μαζούτ και η συνέπειές της*, ENERGYNEWS, [Online], Διαθέσιμο σε: <http://energy.reporter.com.cy/oil/article/78140/i-chrisi-toy-mazoyt>, Ανακτήθηκε:28/06/2017

21. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*, International Maritime Organization (IMO), [Online], Διαθέσιμο σε: [http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/en/about/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx)

22. *Emission Control Areas – Ultra Low Sulphur Fuel Oil Change-over Procedures*, Steamship Mutual, [Online], Διαθέσιμο σε: <http://www.steamshipmutual.com/loss-prevention/>

23. Τριανταφυλλίδης, Κ. (2009), *Καταλυτική πυρόλυση βαρέων κλασμάτων πετρελαίου για την παραγωγή καυσίμων*, Θεσσαλονίκη: Τζιόλας.

24. Giannakouros, D.V, (11.2012), *Technical Aspects of Identifying and Managing Bunker Problems*, Kalimbassieris Maritime

25. Det Norske Veritas, (12. 2010) , *Engine worn out in less than 100 hours by catalytic fines*, Norway

26. Hill, P., (26.03.2013), *The Rise in Claims Attributed to Cat Fines in Bunker Fuel*, IUA Market Briefing

27. Joint Hull Committee, (09.2013), *Marine Engine Damage due to Catalytic Fines in Fuel- Part I: Technical Analysis*, England

28. Joint Hull Committee, (09.2013), *Marine Engine Damage due to Catalytic Fines in Fuel- Part II: Guidance Notes*, England

29. *On-line measurement of catalytic fines in HFO systems* [Online], ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ MOTORSHIP, Διαθέσιμο σε: <http://www.motorship.com/news101/fuels-and-oils/on-line-measurement-of-catalytic-fines-in-hfo-systems>, Ανακτήθηκε: 18.02.2013

30. Παπαγιάννης, Α., (2007), *Ποιότητα Ανάφλεξης Μεσαίων Αποσταγμάτων Πετρελαίου*, Σχολή Χημικών Μηχανικών-Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων & Λιπαντικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθίνα

31. Αβραμίδης, Γ., (03.2015), *Προβλήματα στη λειτουργία δίχρονης ναυτικής Diesel με καύσιμα χαμηλού θείου*, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη
32. Ζαμπάκα, Ι., (2003), *Ναυτική Ασφάλιση*, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη
33. Νικητάκος, Ν., *Alternative marine fuels*, Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
34. Πήτας, Χ., (2008), *Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του χωροταξικού σχεδιασμού αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην περιφέρεια Ηπείρου*, Αθηνά
35. Εταιρεία HELIONSYSTEMS, <http://www.selasenergy.gr/history.php>.
36. Τσοτουλίδης Σ. (2010), *Καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Κυψελών Καυσίμου - Εφαρμογές, Ενέργεια: Σημερινή εικόνα – Σχεδιασμός – Προοπτικές*, ΤΕΕ, Αθηνά
37. Εταιρεία ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΑΤΤΙΚΗΣ, <http://www.aerioattikis.gr/>
38. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Ενέργειας, http://www.cres.gr/kape/energeia_politis_biomass.htm.
39. Ζανάκης, Γ. (2005), *Ελληνικά Φυτικά Έλαια-Βιοντίζελ*
40. Πουλερές, Γ. (2006), *Οι Πρωτοπόροι των Βιοκαυσίμων*, Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ
41. *Πυρηνοκίνητα σκάφη & περιβάλλον*, [Online], Δελήμπασης, Κ., Διαθέσιμο σε: <http://www.e-telescope.gr/science/environment/nuclear-submarines-environment>, Ανακτήθηκε:01.06.2002