



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**‘ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ 2-Χ ΝΑΥΤΙΚΟ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΣΕ
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ’**

ΔΗΜΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ



ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΝΤΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Μαρία Φούντη, για την πολύτιμη βοήθεια και την αμέριστη στήριξη της κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Συνέβαλε με κάθε δυνατό τρόπο να περατώσω τις σπουδές μου εξειδικεύοντας στον τομέα που αγαπώ πιο πολύ και επιθυμώ να εργαστώ ως πτυχιούχος Μηχανολόγος Μηχανικός ,τη ναυτική μηχανολογία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη και την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια και ιδιαίτερα τον αγαπημένο μου πατέρα, απόφοιτο της σχολής Μηχανικών του Εμπορικού Ναυτικού, ο οποίος μου ενέπνευσε την αγάπη του για τη θάλασσα και τις ναυτικές μηχανές. Δεν θα μπορούσα να μην κάνω ειδική αναφορά στην πολυαγαπημένη μου μητέρα, αρωγό και υποστηρικτή σε κάθε μου προσπάθεια. Την εργασία αυτή την αφιερώνω ολόψυχα στους γονείς μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνοδοιπόρο μου στη ζωή, τον αρραβωνιαστικό μου Σταμάτη, Β' Μηχανικό του Εμπορικού Ναυτικού, ο οποίος με στήριξε με όλες του τις δυνάμεις κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Είμαι πραγματικά ευγνώμων για τις τεχνικές γνώσεις που μου μεταφέρει και τις συμβουλές που με τόση αγάπη μου προσφέρει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα οξείδια του θείου (SO_x) αποτελούν ρυπογόνες για το περιβάλλον ουσίες, με τη δημιουργία τους στο πεδίο της ναυτιλίας να οφείλεται στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, είναι συνεχής η προσπάθεια των αρμόδιων αρχών για μείωση των επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα από τα οξείδια του θείου, μέσω της υιοθέτησης μέτρων όπως η δημιουργία περιοχών ελέγχου των εκπομπών θείου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι να αναλύσει τη διαδικασία αλλαγής καυσίμου από HFO (Heavy Fuel Oil - Βαρύ πετρέλαιο) σε MGO (Marine Gas Oil - Ελαφρύ πετρέλαιο), μελετώντας ταυτόχρονα δυναμοδεικτικά διαγράμματα διαθέσιμα από 2-Χ ναυτικό κινητήρα κατά την λειτουργία του με HFO εκτός περιοχής περιορισμένων εκπομπών ρύπων καθώς και με MGO κατά τον πλου σε περιοχή περιορισμένων εκπομπών ρύπων.

Από την ανάλυση της εργασίας, καταδείχτηκε ότι η αλλαγή του καυσίμου από HFO σε MGO στις συνθήκες που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, δεν επέφερε καμία αξιοσημείωτη επίπτωση στις συνθήκες λειτουργίας της ναυτικής μηχανής.

SUMMARY

Sulphur oxides (SO_x) are environmentally pollutant substances, with their creation in the field of shipping taking place due to the high sulphur content of marine fuels. Within this framework, the effort of the relevant authorities to reduce the impact of sulphur oxides on the atmosphere is based on the adoption of measures, such as the creation of areas for the control of sulphur emissions.

The purpose of this paper was to analyze the process of changing fuel from HFO (Heavy Fuel Oil) to MGO (Marine Gas Oil), by concurrently analyzing available pressure traces on a 2-S marine engine while operating with HFO outside the emission controlled area as well as with MGO while sailing within a controlled emission area.

From the analysis of the work it was shown that the change over procedure of fuel from HFO to MGO to the conditions under which the measurements took place did not produce any considerable effect on the operating conditions of the marine engine.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	<u>8</u>
1. Κεφάλαιο 1: Ναυτιλιακά καύσιμα	<u>9</u>
1.1. Η εξέλιξη των ναυτιλιακών καυσίμων	<u>9</u>
1.2. Είδη και χαρακτηριστικά ναυτιλιακών καυσίμων	<u>11</u>
2. Κεφάλαιο 2: Η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τη ναυτιλία	<u>18</u>
2.1. Γενικά για την ατμοσφαιρική ρύπανση	<u>18</u>
2.2. Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο και στο περιβάλλον	<u>20</u>
2.3. Ατμοσφαιρική ρύπανση από τη ναυτιλία	<u>23</u>
2.4. Ποσοτική προσέγγιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία	<u>26</u>
3. Κεφάλαιο 3: Ισχύουσα νομοθεσία – MARPOL 73/78 παράρτημα VI	<u>27</u>
3.1. Γενικές ρυθμίσεις	<u>27</u>
3.2. Κανονισμοί παραρτήματος	<u>28</u>
3.3. Θεσμικό πλαίσιο στην Καλιφόρνια	<u>36</u>
3.4. Μελλοντικές κατευθύνσεις	<u>37</u>
4. Κεφάλαιο 4: Change Over Procedure	<u>39</u>
4.1. Γενικά περί Change Over Procedure	<u>39</u>
4.2. Change Over Procedure στην κύρια μηχανή	<u>40</u>
4.3. Change Over Procedure στις βοηθητικές ηλεκτρομηχανές	<u>44</u>
4.4. Change Over Procedure στο λέβητα	<u>44</u>
4.5. Change Over Procedure στη δεξαμενή καυσίμου	<u>45</u>
5. Κεφάλαιο 5: Επιδράσεις από τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο στις ναυτικές μηχανές	<u>50</u>

5.1. Τρόπος λειτουργίας δίχρονης ναυτικής μηχανής 50

5.2. Προβλήματα από τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και μέτρα προφύλαξης
52

**6. Κεφάλαιο 6: Συγκριτική αξιολόγηση λειτουργίας 2-Χ ναυτικού κινητήρα με HFO και MGO
αντίστοιχα 58**

6.1. Σκοπός - Μεθοδολογία 58

6.2. Αποτελέσματα - Συζήτηση 61

Συμπεράσματα 69

Βιβλιογραφία 70

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με δεδομένη τη συνεχή αύξηση της δραστηριότητας στον τομέα της ναυτιλίας, είναι προφανές το σύστοιχο αυξανόμενο ενδιαφέρον όσον αφορά στις επιπτώσεις από τη χρήση ναυτιλιακών καυσίμων στο περιβάλλον. Σε μια τέτοια βάση, είναι συνεχής η προσπάθεια των αρμόδιων αρχών για μείωση αυτών των επιπτώσεων μέσω της υιοθέτησης δράσεων όπως η δημιουργία περιοχών ελέγχου των εκπομπών ρύπων (Emission Control Area-ECA).

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι να αναλύσει τη διαδικασία αλλαγής καυσίμου από HFO (Heavy Fuel Oil - Βαρύ πετρέλαιο) σε MGO (Marine Gas Oil - Ελαφρύ πετρέλαιο), μελετώντας ταυτόχρονα δυναμοδεικτικά διαγράμματα διαθέσιμα από 2-Χ ναυτικό κινητήρα κατά την λειτουργία του με HFO εκτός περιοχής περιορισμένων εκπομπών ρύπων καθώς και με MGO κατά τον πλου σε περιοχή περιορισμένων εκπομπών ρύπων.

Για το σκοπό αυτό, η εργασία απαρτίζεται από 6 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια περιγραφή των ναυτιλιακών καυσίμων και των χαρακτηριστικών που τα διέπουν. Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί μια κατάδειξη της ρύπανσης που προκαλούν στην ατμόσφαιρα οι δράσεις που σχετίζονται με τη ναυτιλία, ενώ όσον αφορά στο τρίτο κεφάλαιο, σε αυτό παρατίθεται η ισχύουσα νομοθεσία για τη ναυτιλιακή ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία αποτυπώνεται στο παράρτημα VI της συνθήκης MARPOL 73/78. Στο τέταρτο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια περιγραφή της διαδικασίας αλλαγής καυσίμου τόσο στην κύρια μηχανή, όσο και στις βοηθητικές μηχανές και το λέβητα πλοίου, ενώ το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί μια αναφορά στις επιδράσεις που επιφέρει στις ναυτικές μηχανές η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο της εργασίας αποτελεί το πρακτικό κομμάτι αυτής, όπου σε συγκεκριμένο τύπο 2 – Χ ναυτικής μηχανής, μελετάται η αλλαγή καυσίμου από HFO σε MGO.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

1.1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Η ιστορία της ναυτιλίας και επομένως η ανάγκη για χρήση κάποιας μορφής ενέργειας προκειμένου να εξασφαλίζεται η κίνηση των πλοίων, ξεκινά ήδη από την παλαιολιθική εποχή, με την πρώτη μορφή μεγάλου πλοίου να αποτελεί η γαλέρα, η οποία χρησιμοποιούνταν για μετακινήσεις στη Μεσόγειο περί το 3000 π.Χ..

Με την πάροδο του χρόνου, οι γαλέρες έδωσαν τη θέση τους σε πλοία μεγαλύτερου μεγέθους εξαιτίας της ανάγκης που δημιουργήθηκε από τη διάδοση των εμπορικών δράσεων για διάσχιση των ωκεανών, με αποτέλεσμα να έχουμε την εμφάνιση των αραβικών караβέλων το 13^ο αιώνα, των κινέζικων ξύλινων πλοίων το 15^ο αιώνα και των ιστιοφόρων τύπου φρεγάτας που κυριάρχησαν από τις αρχές του 16^{ου} αιώνα ως και το 19^ο αιώνα εξαιτίας και του γεγονότος ότι μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για πολεμικούς σκοπούς (Χαρλαύτη, 2005).

Η κυριαρχία των πετρελαιοκίνητων πλοίων ξεκινά από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, με αυτά να αντικαθιστούν σταδιακά τα ατμόπλοια, τα οποία είχαν κάνει την εμφάνισή τους το 19^ο αιώνα, παίρνοντας τη θέση των ιστιοφόρων πλοίων τα οποία κυριαρχούσαν μέχρι τότε στις παγκόσμιες θαλάσσιες δράσεις.

Ειδικότερα, η ιστορία του κινητήρα diesel έχει τις απαρχές της στο 1892 και στον Rudolf Diesel από τον οποίο πήρε την ονομασία του, με αποτέλεσμα, 20 χρόνια αργότερα να τίθεται σε εφαρμογή ο πρώτος τετράχρονος κινητήρας diesel πλοίου (Rawson & Tupper, 2001).

Αυτό τον τύπο κινητήρων διαδέχθηκαν οι δίχρονοι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν περί το 1930, συντελώντας στην αύξηση της ταχύτητας των μεταφορών και στη δυνατότητα για κατασκευή μεγαλύτερων πλοίων εξαιτίας της μηχανικής υποβοήθησης που εξασφάλιζαν, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η κίνηση μεγαλύτερων φορτίων.

Η εδραίωση των μηχανοκίνητων πλοίων έλαβε χώρα κατά τον Α' και Β' Παγκόσμιο πόλεμο, με αυτά πλέον να καταλαμβάνουν το ¼ περίπου του συνολικού στόλου της εποχής που πραγματοποιούσε υπερωκεάνια ταξίδια (Χουμανίδη & Κωνσταντίνου, 1999).

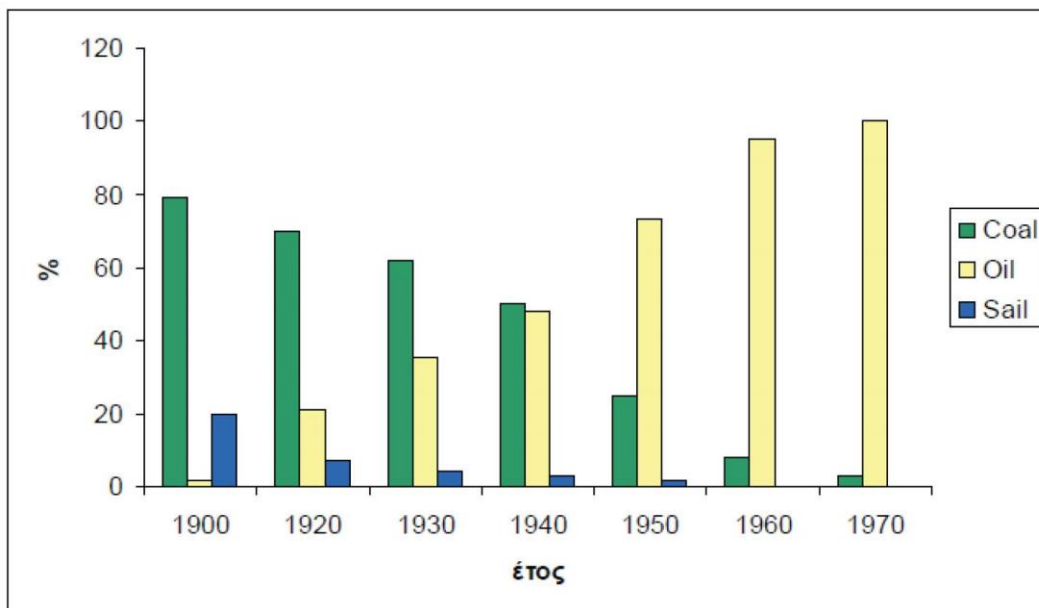
Την ίδια χρονική περίοδο και με δεδομένη πλέον τη στροφή των ερευνητών στο πεδίο της ναυτιλίας προς τις μηχανοκίνητες κατασκευές, αυξάνεται συνεχώς το ενδιαφέρον για βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων έτσι ώστε να επιτευχθεί μείωση του κόστους και του χρόνου των ταξιδιών.

Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η εμφάνιση και χρήση του καυσίμου HFO (Heavy Fuel Oil) περί το 1950, με ταυτόχρονη την εμφάνιση και των πρώτων λιπαντικών που αποσκοπούσαν μέσω της υψηλής αλκαλικότητας που διέθεταν, να εξουδετερώνουν τα οξέα που προκαλούσε το εν λόγω καύσιμο εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (Rawson & Tupper, 2001).

Συνακόλουθα, τα πλοία πλέον χρησιμοποιούν κατάλοιπα πετρελαίου RFO (Residual Fuel Oil) τα οποία γνωρίζουν μεγάλη αποδοχή κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας του '60, με αποτέλεσμα να είναι πλέον δυνατή η κατασκευή μηχανοκίνητων πλοίων που μπορούν να ξεπερνούν τα ατμόπλοια σε χωρητικότητα επιβατών και εμπορευμάτων με ταυτόχρονη την απρόσκοπτη μεταφορά του φορτίου σε επαρκείς ταχύτητες (Χουμανίδη & Κωνσταντίνου, 1999).

Επομένως, στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, τα μηχανοκίνητα πλοία αποτελούν πλέον το 98% του στόλου σε παγκόσμια κλίμακα.

Η μετάβαση από τις υπόλοιπες κατηγορίες πλοίων στα μηχανοκίνητα πλοία από το έτος 1900 ως το έτος 1970 όπου πλέον η κυριαρχία των μηχανοκίνητων πλοίων είναι εμφανής, απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Διάγραμμα 1.1. Μετάβαση από τις υπόλοιπες κατηγορίες πλοίων στα μηχανοκίνητα πλοία από το έτος 1900 ως το έτος 1970 (Rawson & Tupper, 2001).

1.2 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα ναυτιλιακά καύσιμα σύμφωνα με το σχετικό ISO 8217 (ISO, 2017) διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Maritime and Coastguard Agency, 2010):

- Στο πετρέλαιο diesel και
- Στο μαζούτ.

Οι δύο αυτές κατηγορίες καυσίμων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές τόσο ως προς τις φυσικές ιδιότητες τους όσο και ως προς τον τρόπο χρήσης τους. Παρόλα αυτά, σε αρκετές περιπτώσεις δράσεων πρόωσης μέσω κινητήρων diesel, είτε για οικονομικούς είτε για λειτουργικούς ρόλους, χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών, είτε εναλλάξ είτε σε μορφή μίγματος (Σταματόπουλος, 2008).

Εκκινώντας την ανάλυσή μας από το πετρέλαιο diesel (Gasoil / Diesel oil), αυτό αποτέλεσε το πρώτο καύσιμο που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές diesel εξαιτίας των ιδιοτήτων που εμφάνιζε και συγκεκριμένα του χαμηλού ιξώδους με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο καλύτερος διασκορπισμός των μορίων του καυσίμου, καθώς και του υψηλού βαθμού καθαρότητας που εξασφάλιζε διαδικασία καύσης χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα. Η ονομασία του οφείλεται στο γεγονός ότι έχουμε να κάνουμε με έλαιο (oil) το οποίο μέσω της υιοθέτησης μιας διαδικασίας πυρόλυσης οδηγεί στην παραγωγή αερίου (gas) (Seamanship International, 2013).

Το βασικό στοιχείο που οδηγεί στην διαφοροποίηση του εν λόγω τύπου καυσίμου από τα υπόλοιπα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους πετρελαιοκινητήρες, αποτελεί το γεγονός ότι αυτό αποτελεί απόσταγμα του φυσικού πετρελαίου, ανήκει δηλαδή στα ευγενή προϊόντα αυτού. Σε ένα πιο συγκεκριμένο πλαίσιο, το πετρέλαιο diesel αποτελεί το τελευταίο κλάσμα του φυσικού πετρελαίου, εμφανίζοντας όρια θερμοκρασιών ζέσεως 200 °C – 360 °C. Βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι δεν χρειάζεται άλλη επεξεργασία μετά την απόσταξη με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μορφή και στις ιδιότητες με τις οποίες λαμβάνεται από τον πύργο αποστάξεως (Maritime and Coastguard Agency, 2010).

Το χαρακτηριστικό αυτό κατατάσσει το Gasoil στα καλύτερα αλλά ταυτόχρονα και στα ακριβότερα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Το αυξημένο αυτό κόστος οδηγεί στη χρήση του συγκεκριμένου τύπου καυσίμου όταν συντρέχουν ειδικοί λόγοι που καθιστούν αδύνατη τη χρήση βαρύτερων καυσίμων με βάση το μαζούτ. Οι λόγοι αυτοί είναι (Seamanship International, 2013):

- Ανάγκη για υψηλές ταχύτητες περιστροφής.
- Ύπαρξη χαμηλής υποδύναμης.
- Ανάγκη για προσαρμογή της διαδικασίας καύσης στις απαιτήσεις του φορτίου (π.χ. χειρισμός απόπλου ή κατάπλου πλοίου) συνήθως κατά την πραγματοποίηση ειδικών χειρισμών όπου απαιτείται γρήγορη αυξομείωση της ισχύος της μηχανής, με το Gasoil να αποτελεί το μόνο καύσιμο που μπορεί να ανταποκριθεί αποδοτικά στην εν λόγω απαίτηση.

Σήμερα, το Gasoil χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση ταχύστροφων μηχανών μικρής σχετικά ισχύος, μιας και σε όλες τις άλλες κατηγορίες μηχανών μεγάλης ισχύος και κυρίως τις ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται βαρέα καύσιμα με βάση το μαζούτ.

Όσον αφορά στο πετρέλαιο μαζούτ (Marine Fuel Oil), αυτό αποτελεί το μέρος του φυσικού πετρελαίου το οποίο δεν αποστάζει μέχρι τη θερμοκρασία των 360 °C, με αποτέλεσμα να μπορεί να λαμβάνεται ως υπόλειμμα αποστάξεως (RFO – Residual Fuel Oil). Η χρησιμότητά του ως καύσιμο έγκειται (Maritime and Coastguard Agency, 2010):

- Στο γεγονός ότι αποτελεί περίπου το 50 % του φυσικού πετρελαίου.
- Η τιμή του ανέρχεται περίπου στο μισό της τιμής του diesel oil.
- Βρίσκει εφαρμογή σε μια ευρεία γκάμα πετρελαιομηχανών.

Το μαζούτ αποτελεί ένα μαύρο και παχύρευστο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ρευστό, που για τη διατήρησή του στη ρευστή αυτή κατάσταση απαιτεί προθέρμανση σε ένα εύρος θερμοκρασιών από 15 – 45 °C. Επιπρόσθετα, αποτελεί την κύρια ύλη για την παραγωγή λιπαντικών (Σταματόπουλος, 2008).

Εν γένει, το μαζούτ αποτελεί καύσιμο χαμηλότερης ποιότητας σε όλο το εύρος των φυσικοχημικών του ιδιοτήτων σε σχέση με το Gasoil. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα,

προκειμένου οι κατασκευαστές να μπορούν να το υιοθετούν ως καύσιμο στα πλοία που κατασκευάζουν με σκοπό να απολαμβάνουν το μειωμένο κόστος οι πελάτες τους, να καταφεύγουν σε κατασκευαστικούς και λειτουργικούς τρόπους προκειμένου να αντιπαρέλθουν αυτή την ποιοτική υστέρηση. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο και προκειμένου να μειώνονται οι αρνητικές επιπτώσεις από τη χαμηλή ποιότητα του καυσίμου, οι σύγχρονες πετρελαιομηχανές στη ναυτιλία (Seamanship International, 2013):

- Αποτελούν γενικά αργόστροφες διατάξεις με μεγάλη ιπποδύναμη, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με συστήματα καθαρισμού και επεξεργασίας των καυσίμων.
- Υιοθετούν τη χρήση λειτουργικών διατάξεων όπως φυγοκεντρικούς καθαριστήρες, φίλτρα, αλλά και λειτουργικών διαδικασιών όπως η προθέρμανση του καυσίμου προκειμένου να διατηρείται το ιξώδες στα επιθυμητά επίπεδα.

Οι τυπικές προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά των καυσίμων στη ναυτιλία αποτυπώνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

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

Πίνακας 1.1. Τυπικές προδιαγραφές και χαρακτηριστικά καυσίμων στη ναυτιλία (ISO, 2017).

Εξειδικεύοντας στο πεδίο των αποσταγμάτων, αντίστοιχα αυτά θα πρέπει να καλύπτουν τις ακόλουθες προδιαγραφές:

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

Πίνακας 1.2. Προδιαγραφές αποσταγμάτων στη ναυτιλία (ISO, 2017).

Όπου η σύντμηση DMX αντιστοιχεί σε καθαρά αποσταγμένο, η DMA σε Gasoil, η DMB σε καθαρό Diesel και η DMZ σε Diesel αναμεμειγμένο με περισσότερο από 10% υπόλειμμα απόσταξης.

Με την εισαγωγή των νέων κανονισμών και νομοθεσιών (βλέπε κεφάλαιο 3 παρόντος συγγράμματος), απαιτείται πλέον κατά τον ελλιμενισμό των πλοίων χρήση καυσίμου με περιεκτικότητα σε θείο 0,1%. Την απαίτηση αυτή καλύπτει μόνο το καύσιμο τύπου MGO (Marine Gas Oil) το οποίο σε σχέση με το συνηθισμένο καύσιμο HFO (Heavy Fuel Oil) χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο ιξώδες, της τάξης του $1 - 3 \text{ mm}^2 / \text{s}$ (cSt) , με τις σύγχρονες μηχανές να είναι σχεδιασμένες να χρησιμοποιούν στη διαδικασία καύσης καύσιμο με ιξώδες που κυμαίνεται από 10 ως 20 mm^2 / s (cSt) (Kuiken, 2016). Από την τελευταία παρατήρηση, είναι προφανείς οι προκλήσεις που ανακύπτουν σε σχέση με τις δράσεις για την αλλαγή του καυσίμου από HFO σε MGO.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση οφείλεται στις επιβλαβείς επιπτώσεις των ρύπων οι οποίοι συγκεντρώνονται σε αυτή. Σήμερα απαντώνται δύο κύριες κατηγορίες ρύπων (Καραθανάσης, 2006):

- Οι πρωτογενείς ρύποι οι οποίοι αποτελούν το άμεσο αποτέλεσμα μιας διαδικασίας, όπως για παράδειγμα είναι η κατανάλωση καυσίμων από τα πλοία. Οι σημαντικότεροι πρωτογενείς ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου SO_2 , τα οξείδια του αζώτου NO_x , το μονοξείδιο του άνθρακα CO , οι πτητικές οργανικές ενώσεις $VOCs$, τα συστατικά των τοξικών μετάλλων, η αμμωνία, η οποία εκπέμπεται κατά κύριο λόγο από τις αγροτικές καλλιέργειες, καθώς και οι ραδιενεργοί ρύποι που εκπέμπονται κυρίως από πυρηνικές εκρήξεις και από διαδικασίες των πυρηνικών εργοστασίων.
- Οι δευτερογενείς ρύποι οι οποίοι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των πρωτογενών ρύπων. Τους χαρακτηριστικότερους δευτερογενείς ρύπους αποτελούν το όζον O_3 και το νιτρικό υπεροξυακετύλιο PAN .

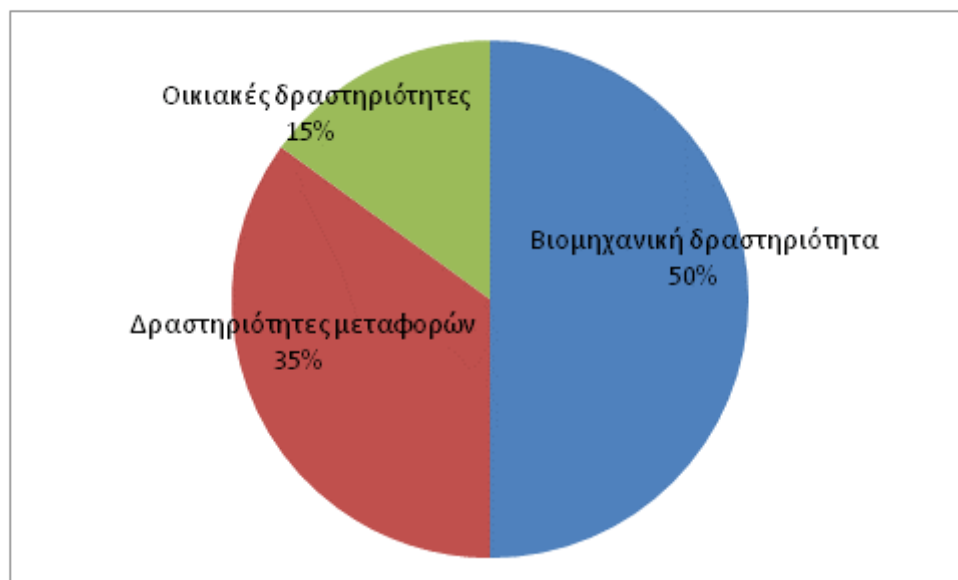
Η αιθαλομίχλη αποτελεί τη πιο συνηθισμένη μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης και απαντάται κυρίως σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ψυχρά κλίματα, με το νέφος σε αυτή την περίπτωση να προκαλείται από τις εκπομπές ρύπων λόγω της κατανάλωσης καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Στην περίπτωση αυτή, οι χημικές ενώσεις του θείου με κύρια το διοξείδιο του θείου εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση πετρελαιοειδών, αυξάνεται και ο ρυθμός εμφάνισης του λεγόμενου φωτοχημικού νέφους, το οποίο εμφανίζεται συνήθως τους

καλοκαιρινούς μήνες όταν οι υψηλές θερμοκρασίες της εποχής συνδυάζονται με την αυξημένη συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδίων του αζώτου, ως αποτέλεσμα της χρήσης του πετρελαίου για βιομηχανικούς σκοπούς και σκοπούς κίνησης. Τα δύο προαναφερθέντα είδη ρύπανσης δημιουργούν το όζον.

Τέλος, ένα τρίτο είδος ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί το λεγόμενο υδρογονοσωματιδιακό νέφος, με το είδος αυτό να χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις αεροσωματιδίων και ενώσεων υδρογονανθράκων, τα οποία οφείλονται στις βιομηχανικές δραστηριότητες και στα πετρελαιοκίνητα οχήματα αντίστοιχα.

Σήμερα, υπολογίζεται ότι το 50% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο οφείλεται στη βιομηχανική δραστηριότητα, το 35% στις δραστηριότητες μεταφορών, ενώ το 15% οφείλεται σε οικιακές δραστηριότητες.



Διάγραμμα 2.1. Αιτίες ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ποσοστιαία προσέγγιση) (Rawson & Tupper, 2001).

2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ουσίες όπως το SO₂, τα NO_x και τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν αρνητικά τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον (Καραθανάσης, 2006).

Όσον αφορά στο SO₂ η μετατροπή του σε θειικό οξύ, προκαλεί μείωση του pH της βροχής με αποτέλεσμα να δημιουργείται η όξινη βροχή. Η όξινη βροχή, ανάλογα με το pH και τον χρόνο έκθεσης του αντικειμένου σε αυτή, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα φυτά και στο δέρμα, να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στα δομικά υλικά κατασκευών.

Εντρυφώντας στα οξειδία του αζώτου, αυτά που παράγονται κατά την καύση είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου. Το κύριο χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου είναι ότι συνεισφέρουν στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα των πόλεων, όπως αυτό καταδείχτηκε προηγουμένως, με το φωτοχημικό νέφος να προκαλεί ερεθισμό στα μάτια και τους πνεύμονες καθώς και καταστροφή των φύλλων στα φυτά. Επιπρόσθετα, τα NO_x συνεισφέρουν μαζί με τα SO_x στον σχηματισμό της όξινης βροχής.

Σε σχέση με τα αιωρούμενα σωματίδια, αυτά που χαρακτηρίζονται από μέγεθος μεγαλύτερο των 10 μm παγιδεύονται στη μύτη ή στον ανθρώπινο φάρυγγα και στην συνέχεια απομακρύνονται ή καταπίνονται χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα στον ανθρώπινο οργανισμό. Όσον αφορά όμως στα μικρότερα σωματίδια, και ιδιαίτερα εκείνα που εμφανίζουν διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm, αυτά εμφανίζουν τη δυνατότητα να εισέρχονται στους πνεύμονες, όπου και παραμένουν, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η απομάκρυνσή τους και εν τέλει να προκαλούνται προβλήματα στους πνεύμονες.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει αναφορά και στην περίπτωση του CO₂, το οποίο στις συγκεντρώσεις που απαντάται στην ατμόσφαιρα δεν προκαλεί άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αποτελεί όμως τη σημαντικότερη αιτία πρόκλησης του σημαντικότερου σύγχρονου περιβαλλοντικού ζητήματος που δεν είναι άλλο από το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Rao, 1988).

Είναι γνωστό ότι το φως αποτελεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που καλύπτει ένα συγκεκριμένο φάσμα από μήκη κύματος, με την ορατή ακτινοβολία να καλύπτει τη ζώνη που εκτείνεται από το ερυθρό μέχρι το ιώδες μήκος κύματος. Πέραν όμως της ορατής, υπάρχει ακτινοβολία η οποία καλύπτει μεγαλύτερα μήκη κύματος που εκτείνονται πέραν του ερυθρού, η επονομαζόμενη υπέρυθρη, αλλά και ακτινοβολία που καλύπτει μικρότερα μήκη κύματος πέραν του ιώδους, που ονομάζεται υπεριώδης. Τόσο η υπεριώδης όσο και η υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελούν μη ορατές μορφές ακτινοβολίας (Karlicek, 2014).

Ένα μέρος της ενέργειας που εκπέμπει σε καθημερινή βάση ο ήλιος διασχίζει την ατμόσφαιρα χωρίς να απορροφηθεί από κάποιο μέσο, με τη μορφή κυρίως ορατού φωτός, και θερμαίνει την επιφάνεια τόσο του εδάφους όσο και της θάλασσας. Από την άλλη, εφόσον η γη θερμαίνεται είναι προφανές ότι μεταδίδει και αυτή με τη σειρά της ενέργεια προς το διάστημα, με τη μορφή όμως υπέρυθρης ακτινοβολίας και όχι ορατής.

Στη φυσιολογική σύσταση της ατμόσφαιρας υπάρχουν, παρά το γεγονός ότι απαντώνται σε πολύ μικρές ποσότητες, αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και οι υδρατμοί τα οποία αποτελούν διαφανή στοιχεία στο ορατό φως, με αποτέλεσμα να μην αποτελούν εμπόδιο στην ακτινοβολία του ήλιου σε σχέση με τη δυνατότητα αυτής να διασχίσει την ατμόσφαιρα. Από την άλλη όμως, τα εν λόγω αέρια δεν είναι διαφανή στην υπέρυθρη ακτινοβολία με αποτέλεσμα να απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εκπέμπεται από τη γη προς το διάστημα. Σε μια τέτοια βάση, τα εν λόγω αέρια με τη σειρά τους επανεκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία, μέρος της οποίας απορροφάται από τη γη, με τελικό αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας του συστήματος γης - ατμόσφαιρας.



Σχήμα 2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Καραθανάσης, 2006).

Μέσω της περιγραφόμενης αυτής διαδικασίας, η μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας διατηρείται περίπου στους 15°C, με τα αέρια που συμμετέχουν στη διαδικασία να ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου. Έχει υπολογιστεί ότι αν δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία σε ένα συγκεντρωτικό πλαίσιο ουσιαστικά παγιδεύουν τη θερμότητα κοντά στην επιφάνεια της Γης, η μέση θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας υπολογίζεται ότι θα ανέρχονταν περίπου στους - 18°C (Vallero, 2014).

Εν γένει, μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η ανθρώπινη δραστηριότητα μέσω κυρίως της καύσης των ορυκτών καυσίμων, έχει προκαλέσει αύξηση κατά περίπου 40% των συγκεντρώσεων CO₂ σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή και συγκεκριμένα από τα 280 ppm το 1750 στα 400 ppm το 2013. Η αύξηση αυτή συνδέεται άμεσα με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και την συνεπικουρούμενη κλιματική αλλαγή, σε πλήρη συνάδεια με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, με τη συνεχώς καλπάζουσα βιομηχανική δραστηριότητα, αυξάνονται οι συγκεντρώσεις και άλλων αερίων, πέραν του διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα τη συνεχή ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά αποτελούν κατά σειρά σπουδαιότητας με βάση τις επιπτώσεις τους, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες (Vallero, 2014).

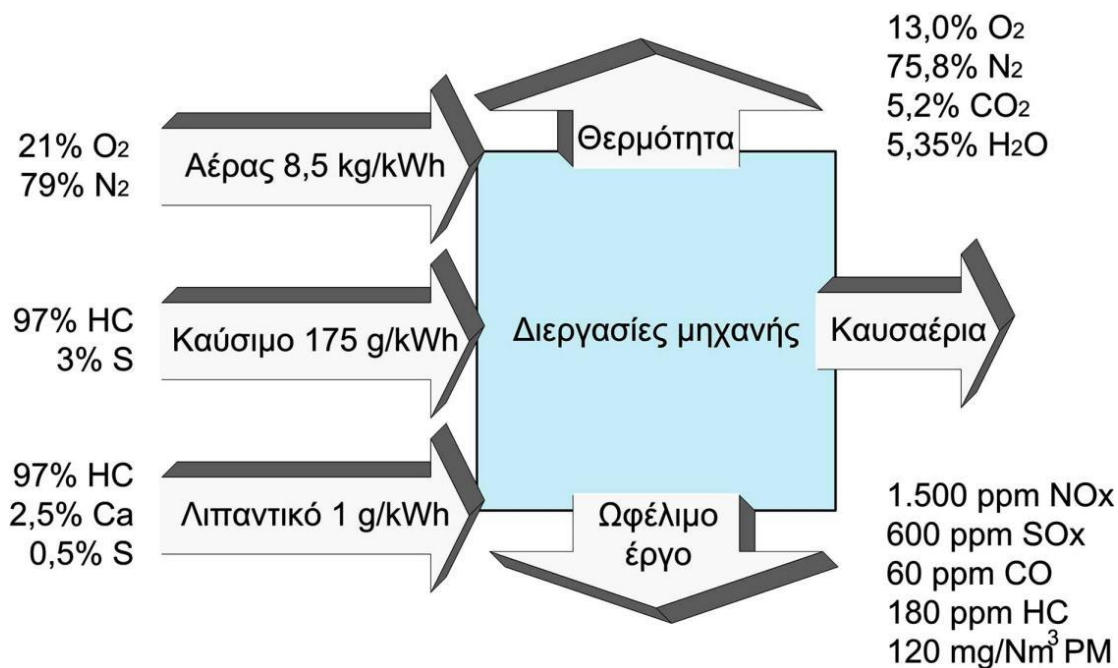
Στον ακόλουθο πίνακα αποτυπώνονται συνοπτικά οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον:

	SO ₂ , NO _x , PM, VOCs	CO ₂
Χωρική κλίμακα επιπτώσεων	Τοπική, περιφερειακή	Παγκόσμια
Χρονική κλίμακα επιπτώσεων	Βραχυπρόθεσμα, άμεσα Μακροπρόθεσμα, χρόνια	Περισσότερο μακροπρόθεσμα
Επιπτώσεις στο περιβάλλον	Όξινη βροχή Νέφος Φωτοχημικό νέφος Νέφος αιθαλομίχλης	Φαινόμενο θερμοκηπίου και παγκόσμια θέρμανση Ανοδος στάθμης της θάλασσας Ακραία καιρικά φαινόμενα Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους και τη γεωργία
Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	Ευθείες: Αναπνευστικά προβλήματα υγιών ατόμων Ερεθισμός σε μάτια, μύτη, πνεύμονες Ασθμα Χρόνια βρογχίτιδα Καρδιοπάθειες	Έμμεσες, που θα οφείλονται σε: Υψηλές θερμοκρασίες Ακραία καιρικά φαινόμενα Προβλήματα με τους υδατικούς πόρους και τη γεωργία κ.λπ.

Πίνακας 2.2. Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Καραθανάσης, 2006).

2.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Σε μια ναυτική μηχανή, τα ναυτιλιακά καύσιμα καίγονται με το οξυγόνο του αέρα έτσι ώστε να παράγεται η απαραίτητη μηχανική ενέργεια για την κίνηση του πλοίου, ενώ ταυτόχρονα αποβάλλεται θερμική ενέργεια και εκπέμπονται καυσαέρια αντίστοιχα με το επόμενο σχήμα:



Σχήμα 2.1. Λειτουργία ναυτικής μηχανής (Seamanship International, 2013).

Τα ναυτιλιακά καύσιμα αποτελούνται κυρίως από άνθρακα και υδρογόνο με το περιεχόμενό τους να χαρακτηρίζεται και από προσμίξεις με κύρια το θείο, η περιεκτικότητα του οποίου μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος του καυσίμου (MDO, MGO ή HFO).

Στη βάση του παραπάνω σχήματος, τα καυσαέρια μιας ναυτικής μηχανής περιέχουν κατά κύριο λόγο άζωτο (N_2), οξυγόνο (O_2), υδρατμούς (H_2O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Σε ένα πολύ μικρότερο ποσοστό περιέχουν επίσης οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC) και αιωρούμενα σωματίδια (PM).

Το CO_2 προέρχεται από την τέλεια καύση του άνθρακα των καυσίμων, με το υδρογόνο των καυσίμων να μετατρέπεται σε υδρατμούς κατά τη διαδικασία της καύσης. Εξαιτίας του γεγονότος ότι στις μηχανές εσωτερικής καύσης δεν επικρατούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης, από την ατελή καύση των καυσίμων μπορεί να προκύψει μια σειρά καυσαερίων που περιέχουν σωματίδια άνθρακα (αιθάλη), CO , καθώς και άκαυστους ή μερικώς οξειδωμένους υδρογονάνθρακες (Rao, 1988).

Τα SO_x οφείλονται στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων, με το θείο που περιέχουν τα καύσιμα να οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης στη μηχανή σε οξείδια του θείου, κυρίως SO₂ και SO₃, τα οποία αναφέρονται ως SO_x. Επιπρόσθετα, το SO₃ αντιδρά με την υγρασία και δημιουργεί σωματίδια θειικού οξέος (H₂SO₄) μικροσκοπικού μεγέθους, τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα αποτελώντας τα λεγόμενα αερολύματα.

Το άζωτο (N₂) του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελεί ένα χημικά αδρανές στοιχείο υπό κανονικές θερμοκρασίες το οποίο δεν αντιδρά με το οξυγόνο (O₂) του αέρα. Μέσα όμως στις μηχανές εσωτερικής καύσης των ναυτικών μηχανών, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται προς οξείδια του αζώτου (NO_x) και συγκεκριμένα προς μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Τα NO_x μπορούν επίσης να σχηματιστούν σε μικρότερο ποσοστό και μέσω της καύσης συστατικών των καυσίμων που περιέχουν άζωτο. Με βάση τη παραπάνω παρατήρηση, η βασική διαφορά σε σχέση με τα SO_x, αποτελεί το γεγονός ότι ο έλεγχος των NO_x δεν μπορεί να λάβει χώρα μέσω δράσεων βελτίωσης στη σύσταση των καυσίμων, αλλά με βελτιώσεις στη διαδικασία της καύσης.

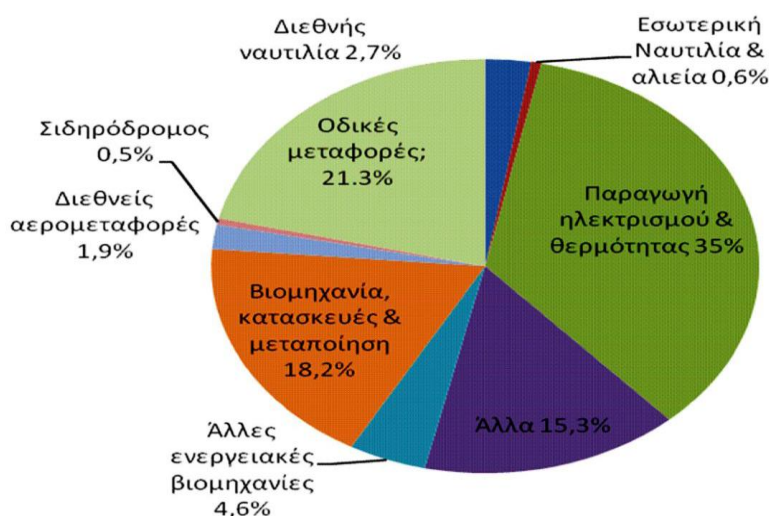
Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αποτελούν ένα σύνθετο μίγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών περιλαμβάνοντας ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη, πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς, άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά στοιχεία καθώς και υγρασία. (Agrawal et al., 2008).

2.4 ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Σύμφωνα με τους Corbett et al. (2007), τα αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από ναυτιλιακές δράσεις είναι υπεύθυνα για πάνω από 60.000 πρόωρους θανάτους σε ετήσια βάση και σε παγκόσμιο επίπεδο, από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο του πνεύμονα, με τους περισσότερους θανάτους να απαντώνται κοντά στις ακτές της Ευρώπης, της Ανατολικής και της Νότιας Ασίας, όπου λαμβάνει χώρα έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα.

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, σύμφωνα με στοιχεία διαθέσιμα από τον Παγκόσμιο Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνει χώρα στο βόρειο ημισφαίριο όπου υπάρχει ένα καλά οργανωμένο σύστημα θαλάσσιων οδών μεταφοράς. Σε μια τέτοια βάση, εκτιμάται ότι το 85% των αερίων εκπομπών της ναυτιλίας λαμβάνει χώρα στο βόρειο ημισφαίριο ενώ περίπου το 70% των εκπομπών από την ναυτιλία συμβαίνουν εντός 200 ναυτικών μιλίων από τις κοντινότερες ακτές.

Σήμερα εκτιμάται ότι η ναυτιλία συνεισφέρει σε ποσότητα που αντιστοιχεί στο 3,3% των παγκόσμιων εκπομπών. Από την ποσότητα αυτή, ποσοστό 2,7% αποδίδεται στη διεθνή ναυτιλία και το υπόλοιπο ποσό στην εγχώρια ναυτιλία.



Διάγραμμα 2.1. Συνεισφορά ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές (IMO, 2017).

Όσον αφορά στη συνεισφορά της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αυτή αποτυπώνεται στον επόμενο πίνακα:

Ρύπος	Εκπεμπόμενη ποσότητα από τη ναυτιλία (εκ. τόνοι το 2007)*	Καθαρή επίδραση στην παγκόσμια θέρμανση (φαινόμενο θερμοκηπίου)
CO ₂	1046	Ενίσχυση
NO _x	25	Αμελητέα
SO _x	15	Μείωση (τα σωματίδια θεικών)
PM	1,8	Ενίσχυση (η αιθάλη)

Πίνακας 2.2. Συνεισφορά της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (IMO, 2017).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μελλοντικά σενάρια καταδεικνύουν ότι κατά το 2050, αν δεν υιοθετηθούν στοχευμένες πολιτικές μείωσης, οι εκπομπές ρύπων από τα πλοία μπορεί να αυξηθούν ως και 250% σε σχέση με την παρόντική κατάσταση, ως αποτέλεσμα της συνεχούς ανάπτυξης της ναυτιλίας και των ναυτιλιακών δράσεων (Kuiken, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ – MARPOL 73/78

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI

3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αποτελεί τον επίσημο παγκόσμιο οργανισμό που διέπει τη διεθνή ναυτιλία. Στα πλαίσια της προσπάθειας για αντιμετώπιση της ρύπανσης που προκαλείται από τα πλοία, έχει υπογραφεί από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος η συνθήκη MARPOL η οποία αποτελείται από 6 παραρτήματα. Τα πέντε πρώτα παραρτήματα, τα οποία υιοθετήθηκαν το 1973 και

ανανεώθηκαν το 1978, αφορούν σε διατάξεις με σκοπό την αποφυγή της μόλυνσης από πετρέλαιο ή άλλες επιβλαβείς υγρές ουσίες οι οποίες εμπεριέχονται στα φορτία των πλοίων. Επιπρόσθετα, τα εν λόγω παραρτήματα περιλαμβάνουν διατάξεις αποφυγής της θαλάσσιας μόλυνσης που προκαλείται από τα απόβλητα των πλοίων (IMO, 2017).

Το Παράρτημα 6, το οποίο προστέθηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου του 2005, είναι εκείνο που περιλαμβάνει διατάξεις αναφορικά με την αποφυγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις δράσεις των πλοίων. Με τις διατάξεις του εν λόγω παραρτήματος, θεσπίζονται ενιαίοι κανόνες που στοχεύουν στη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον έλεγχο και την πρόληψη της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα από τα πλοία. Ειδικότερα, μεταξύ των λοιπών απαιτήσεων, περιλαμβάνονται διατάξεις με τη μορφή κανονισμών, με τις οποίες καθορίζονται (MARPOL 73/78):

- Οι ανώτατα επιτρεπόμενες περιεκτικότητες σε θείο του καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα πλοία για την κίνησή τους.
- Τα επιτρεπτά επίπεδα εκπομπών οξειδίων του αζώτου για μηχανές diesel πλοίων.
- Τα απαιτούμενα ληπτέα μέτρα σε λιμάνια και τερματικούς σταθμούς για την υποδοχή δεξαμενοπλοίων μέσω των οποίων μπορεί να απαιτηθεί υπό συνθήκες η ύπαρξη συστημάτων ελέγχου εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).

3.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Οι βασικοί κανονισμοί του παραρτήματος αποτυπώνονται ως ακολούθως (MARPOL 73/78):

Πεδίο εφαρμογής:

Το Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 αφορά στην προσπάθεια για πρόληψη της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα και εφαρμόζεται σε όλα τα πλοία, σύμφωνα με τις επί μέρους απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης.

Επιθεωρήσεις - Κανονισμός 5:

1. Σε κάθε πλοίο ολικής χωρητικότητας 400 gross tonnage και άνω, καθώς και σε κάθε μόνιμη και πλωτή εγκατάσταση εξόρυξης πετρελαίου, θα πρέπει να διενεργούνται οι ακόλουθες επιθεωρήσεις από τον αρμόδιο νηογνώμονα που θα επιλέξει ο πλοιοκτήτης:

- Αρχική επιθεώρηση: διενεργείται πριν το πλοίο τεθεί σε λειτουργία ή πριν την αρχική έκδοση του Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (IAPPC).
- Περιοδικές επιθεωρήσεις: διενεργούνται σε χρονικές στιγμές που καθορίζονται από την Αρχή με τα ενδιάμεσα διαστήματα μεταξύ των εν λόγω χρονικών στιγμών να μην υπερβαίνουν τα πέντε έτη.
- Ενδιάμεσες επιθεωρήσεις: Θα πρέπει να λαμβάνει χώρα τουλάχιστον μια ενδιάμεση επιθεώρηση μεταξύ των περιοδικών επιθεωρήσεων. Στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα μόνο μία ενδιάμεση επιθεώρηση σε χρονικό διάστημα πέντε ετών, τότε αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός χρονικού διαστήματος έξι μηνών πριν ή μετά την μέση ημερομηνία του εν λόγω διαστήματος.

Οι παραπάνω δράσεις επιθεώρησης θα πρέπει να διασφαλίζουν ότι ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός, τα συστήματα και εξαρτήματα του πλοίου, καθώς και οι διατάξεις και τα υλικά, συμμορφώνονται πλήρως με τις προβλεπόμενες απαιτήσεις σχετιζόμενες με τον έλεγχο των εκπομπών των καυσαερίων, καθώς και ότι είναι σε καλή και ασφαλή κατάσταση λειτουργίας. Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα:

2. Οι επιθεωρήσεις των πλοίων που υποχρεούνται να υπόκεινται σε αυτές, πραγματοποιούνται είτε από επιθεωρητές της Αρχής είτε από Αναγνωρισμένους Οργανισμούς (στην πλειονότητα των περιπτώσεων από επιθεωρητές του Νηογνώμονα του ίδιου του πλοίου).

3. Στην περίπτωση που κατά τη διενέργεια της επιθεώρησης, κριθεί από τον επιθεωρητή ότι ο εξοπλισμός του πλοίου δεν ανταποκρίνεται στα στοιχεία του Πιστοποιητικού Πρόληψης, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα και υιοθέτηση δράσεων προκειμένου να διασφαλιστεί η προβλεπόμενη εναρμόνιση με το πιστοποιητικό, με ταυτόχρονη ενημέρωση της Αρχής.

4. Για κάθε είδους μεταβολή στον εξοπλισμό, στα συστήματα, στα εξαρτήματα, στις διατάξεις και στα υλικά που υπάγονται στην υποχρέωση για διαδικασίες επιθεώρησης, απαιτείται η προηγούμενη έγκριση της Αρχής.

Έκδοση Διεθνούς Πιστοποιητικού Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα – Κανονισμός 6:

Το Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα έχει την ακόλουθη μορφή:

Page 1 of 2

INTERNATIONAL AIR POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE
(This certificate shall be supplemented by a Record of Construction and Equipment)

Issued under the provisions of the Protocol of 1997 to amend the INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, as amended by the Protocol of 1998 relating thereto, and as amended by resolution A/CONF.2/12/Rev.1 (Annexes) adopted on 17 November 2002 under the authority of the Government of the Republic of Cyprus by ΝΟΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ

Particulars of ship

Name of ship	SOKRATIS
Operator (owner or charter)	CUBIC
Year of build	2008
Gross tonnage	4238
IMO Number	300394106

Type of ship

tanker	<input type="checkbox"/>
ship other than a tanker	<input checked="" type="checkbox"/>

DATE OF VALIDITY:

- That the ship has complied in accordance with regulation 1 of Annex VI of the Convention and
- That the owner/charterer, the operator, the cargo, the equipment and material fully comply with the applicable requirements of Annex VI of the Convention.

Page 2 of 2

Completion date of the survey on which this certificate is based: 17 April 2007
This Certificate is valid until: 30 April 2010
subject to compliance in accordance with regulation 1 of Annex VI of the Convention

Issued at: Nicosia on: 11 June 2007

The undersigned declares that he/she is duly authorized by the said Government to issue this certificate

[Signature]
General Manager of Classification Department
SYMFYKASIS KYPRIAK

Note: This certificate is automatically cancelled on the date on which the Periodical Certificate of System Registry of the above ship expires and its replacement registration of the said ship has been effected.

Σχήμα 3.1. Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης του Αέρα (Seamanship International, 2013).

Πιο συγκεκριμένα:

1. Τα πλοία και οι πλατφόρμες ή εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου υποχρεούνται να έχουν Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης Αέρα και θα πρέπει να εφοδιάζονται με αυτό προκειμένου να μπορούν να επιτελούν τις λειτουργίες τους.
2. Το Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ρύπανσης Αέρα εκδίδεται είτε από την Αρχή είτε από Αναγνωρισμένο Οργανισμό για τέτοιες δράσεις.
3. Ο τύπος του Πιστοποιητικού θα πρέπει να είναι σύμφωνα με το υπόδειγμα του σχήματος 3.1.
4. Η ισχύς του Πιστοποιητικού ανέρχεται στα πέντε έτη από την ημερομηνία έκδοσής του.

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) – Κανονισμός 15:

Στον εν λόγω κανονισμό της συνθήκης MARPOL καθορίζονται οι γενικές απαιτήσεις και υποχρεώσεις που σχετίζονται με εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από δεξαμενόπλοια.

Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι στα λιμάνια και στους τερματικούς σταθμούς στους οποίους ισχύουν ειδικά μέτρα για εκπομπές VOCs υπάρχουν συστήματα ελέγχου των ατμών συγκεκριμένων πτητικών φορτίων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια των λειτουργιών και η απρόσκοπτη περαίωση των δράσεων χωρίς να προκαλείται αδικαιολόγητη καθυστέρηση στα δεξαμενόπλοια.

Προχωρώντας ακόμη βαθύτερα, τα συστήματα αυτά πρέπει να είναι εγκεκριμένα και σύστοιχα με την πρότυπη προδιαγραφή για συστήματα ελέγχου εκπομπών ατμών που αναφέρεται στην Απόφαση MSC/Circ.585 του IMO (IMO, 2017).

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση των υγραεριοφόρων δεξαμενόπλοιων, ο συγκεκριμένος κανονισμός εφαρμόζεται μόνον όταν ο τύπος φόρτωσης και τα συστήματα εγκλωβισμού επιτρέπουν την κατακράτηση ατμών πτητικών οργανικών ενώσεων που δεν περιέχουν μεθάνιο πάνω στο πλοίο ή την ασφαλή επιστροφή τους στην ξηρά.

Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) – Κανονισμός 13:

Ο συγκεκριμένος κανονισμός εφαρμόζεται στην περίπτωση κάθε μηχανής diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 130 kW, η οποία εγκαθίσταται σε ένα πλοίο το οποίο κατασκευάστηκε μετά την 1η Ιανουαρίου του 2000, καθώς και σε κάθε μηχανή diesel που εμφανίζει ισχύ μεγαλύτερη των 130 kW, η οποία έχει δεχτεί μετασκευή αυξημένης κλίμακας μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2000.

Από την άλλη, ο κανονισμός αυτός δεν εφαρμόζεται στην περίπτωση μηχανών diesel έκτακτης ανάγκης, όπως είναι για παράδειγμα οι ηλεκτρογεννήτριες ή σε οποιαδήποτε άλλη διάταξη που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Σύμφωνα με το περιεχόμενο του συγκεκριμένου κανονισμού, η λειτουργία κάθε μηχανής diesel επιτρέπεται εφόσον οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου βρίσκονται κάτω από τα ακόλουθα όρια:

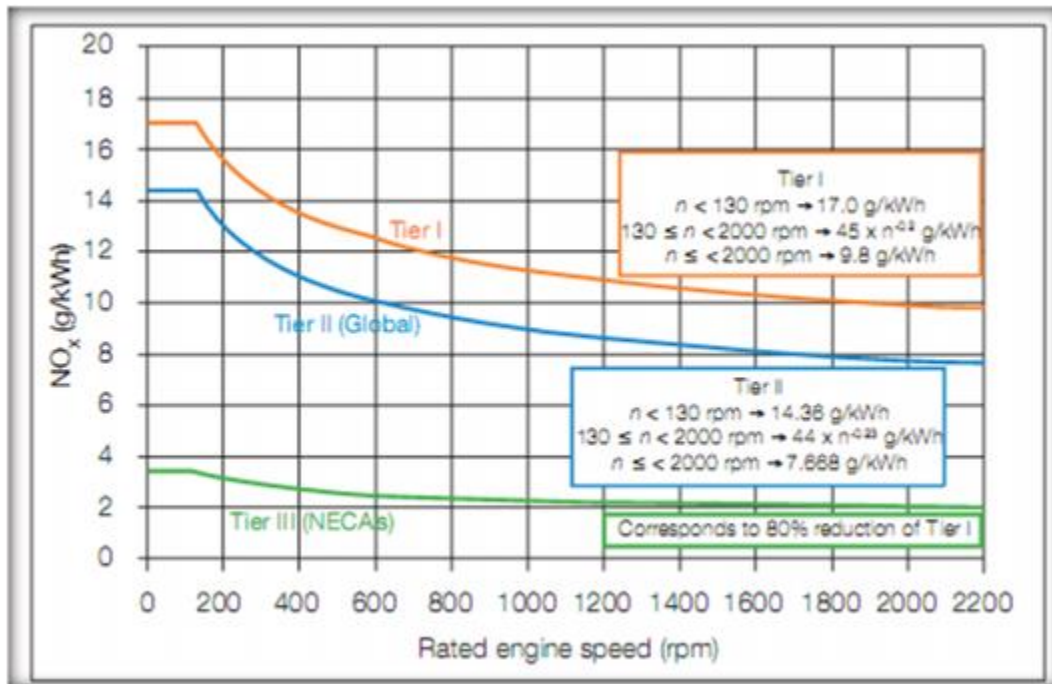
- 17,0 g / kWh όταν οι στροφές λειτουργίας της μηχανής είναι μικρότερες από 130 rpm,
- 45,0 x n - 0,2 g / kWh όταν οι στροφές λειτουργίας n της μηχανής είναι μεγαλύτερες ή ίσες από 130 rpm αλλά δεν ξεπερνούν την τιμή των 2000 rpm.

- 9,8 g / kWh στην περίπτωση όπου οι στροφές λειτουργίας της μηχανής είναι ίσες ή μεγαλύτερες από 2000 rpm.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή μετάβαση σε αυστηρότερα όρια εκπομπής οξειδίων του αζώτου, ο κανονισμός περιλαμβάνει μια διαβάθμιση τριών επιπέδων για τις μηχανές ανάλογα με την ημερομηνία εγκατάστασής της στο πλοίο.

Σε ένα πιο συγκεκριμένο πλαίσιο, τα επίπεδα αυτά είναι:

- Το επίπεδο I (Tier I) το οποίο ισχύει για μια μηχανή diesel που έχει εγκατασταθεί σε ένα πλοίο που κατασκευάστηκε από την 1^η Ιανουαρίου του 2000 έως την 1^η Ιανουαρίου του 2011 και προβλέπει τα πρότυπα 17,0 g/kWh σύμφωνα με τα παραπάνω.
- Το επίπεδο II (Tier II), που ορίζει ότι οι εκπομπές NO_x για μια μηχανή diesel που έχει εγκατασταθεί σε ένα πλοίο που κατασκευάστηκε από την 1^η Ιανουαρίου του 2011 έως την 1^η Ιανουαρίου του 2016 θα πρέπει να έχουν ανώτατο όριο τα 14,4 g/kWh.
- Το επίπεδο III (Tier III), που καθορίζει ότι οι εκπομπές NO_x για μια μηχανή diesel που εγκαθίσταται σε ένα σκάφος που κατασκευάζεται από την 1^η Ιανουαρίου 2016 και ύστερα θα πρέπει να έχουν όριο τα 3,4 g/kWh, όταν το πλοίο κινείται σε μια συγκεκριμένη και ορισμένη περιοχή ελέγχου εκπομπής ρύπων. Έξω από τις εν λόγω περιοχές ελέγχου, ισχύει το όριο του επιπέδου II.

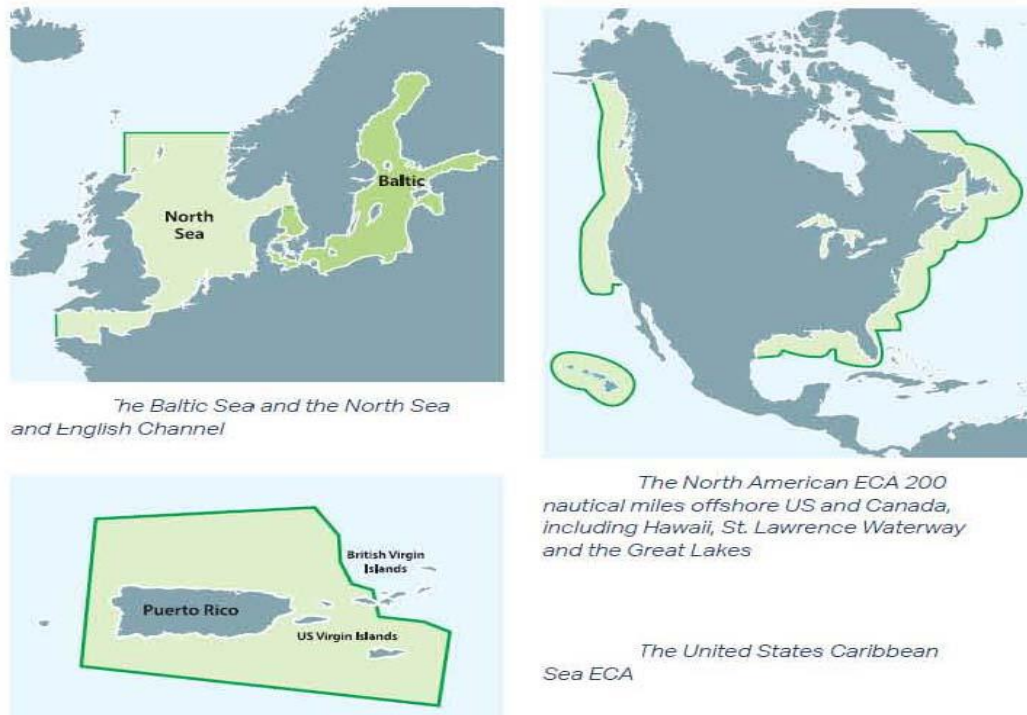


Διάγραμμα 3.2. Όρια εκπομπής NO_x για τα τρία επίπεδα (IMO, 2017).

Εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) – Κανονισμός 14:

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο κανονισμό, καθιερώνεται ως ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο οποιουδήποτε καυσίμου πετρελαίου που χρησιμοποιείται για την κίνηση πλοίων, το 4,5% κατά βάρος.

Αυστηρότερες απαιτήσεις ισχύουν για τα πλοία που κινούνται εντός περιοχών ελέγχου εκπομπών SO_x, τις λεγόμενες SECA (Sulphur Emission Control Area). Σήμερα τέτοιες περιοχές αποτελούν η Βαλτική σύμφωνα με το Annex I της MARPOL, η Βόρειος Θάλασσα σύμφωνα με το Annex V της MARPOL, ο θαλάσσιος χώρος της Βορείου Αμερικής σύμφωνα με το Annex VI της MARPOL καθώς και η περιοχή της Καραϊβικής σύμφωνα με το ίδιο Annex.



Σχήμα 3.3. Περιοχές SECA (ABS, 2015).

Πιο συγκεκριμένα, η είσοδος ενός πλοίου σε περιοχή ελέγχου εκπομπών SO_x σηματοδοτεί και την ανάγκη για περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο μικρότερη ή ίση από 0,1% κ.β (το άνωθεν όριο βρίσκεται σε ισχύ μετά την 1^η Ιανουαρίου 2015).

Βασιζόμενοι στην παραπάνω απαίτηση, η είσοδος σε περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων σηματοδοτεί και την έναρξη διαδικασιών καταγραφής στοιχείων που αφορούν στον όγκο του καυσίμου και την περιεκτικότητα του σε θείο σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία ελέγχου, καθώς και την ώρα και θέση του πλοίου τη στιγμή που ολοκληρώνεται η εναλλαγή καυσίμου.

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, τα πλοία που εισέρχονται εντός περιοχών SECA θα πρέπει να ικανοποιούν μια από τις ακόλουθες προϋποθέσεις / απαιτήσεις:

- Η περιεκτικότητα του θείου στο καύσιμο πετρέλαιο για την κίνηση του πλοίου δεν υπερβαίνει το 0,1% κ.β.

- Υπάρχει σύστημα καθαρισμού καυσαερίων, εγκεκριμένο από την Αρμόδια Αρχή, το οποίο εφαρμόζεται στην κύρια μηχανή του πλοίου αλλά και στις βοηθητικές μηχανές πρόωσης με σκοπό τη μείωση των ολικών εκπομπών οξειδίων του θείου. Το συνολικό βάρος εκπομπής διοξειδίου του θείου δεν υπερβαίνει τα 6 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα.
- Εφαρμόζεται άλλη ισοδύναμη τεχνολογική μέθοδος για τον περιορισμό των εκπομπών SOx, εντός των παραπάνω ορίων, η οποία είναι εγκεκριμένη από την Αρμόδια Αρχή.

3.3 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

Στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών υιοθετούνται πιο αυστηρά μέτρα για τις εκπομπές οξειδίων του θείου σε σχέση με αυτές που περιγράφονται στη συνθήκη MARPOL-Παράρτημα 6. Τα μέτρα αυτά αφορούν στο σύνολο των ποντοπόρων που ταξιδεύουν σε μια ακτίνα 24 μιλίων από τις ακτές της Καλιφόρνιας και σχετίζονται τόσο με τις εκπομπές των κυρίων μηχανών πρόωσης, όσο και με αυτές των βοηθητικών γεννητριών και των λεβήτων. Σε μια τέτοια βάση, στα συγκεκριμένα γεωγραφικά όρια επιτρέπεται μόνο η χρήση Marine Diesel ή Gas Oil με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,1% κ.β. (California Air Resources Board, 2017).



Σχήμα 3.4. Ζώνη εφαρμογής κανόνων Καλιφόρνιας (ABS, 2015).

3.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

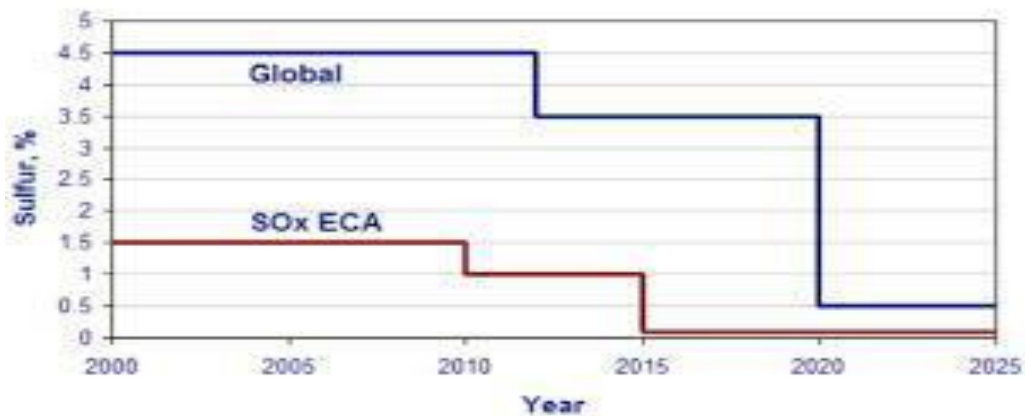
Όπως είναι λογικό, οι εκπομπές οξειδίων του θείου βαίνουν συνεχώς προς χαμηλότερα και επομένως οικολογικότερα νούμερα.

Συνακόλουθα, η επιτρεπόμενη περιεκτικότητα των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο σε περιοχές εκτός SECA από 4,5 % κ.β. που ανέρχονταν πριν τον Ιανουάριο του 2012, πλέον εμφανίζουν μέγιστη τιμή την 3,5% κ.β., με την τιμή αυτή να αναμένεται να μετατραπεί σε 0,5% μετά το 2020.

Στο ίδιο μήκος κύματος, η επιτρεπόμενη περιεκτικότητα των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο σε περιοχές εντός SECA από το 1,5 % κ.β. πριν τον Ιούλιο του 2010 μειώθηκαν στο 1,0 % μετά τη συγκεκριμένη ημερομηνία και πλέον, μετά τον Ιανουάριο του 2015, η μέγιστη τιμή ανέρχεται στο 0,1%.

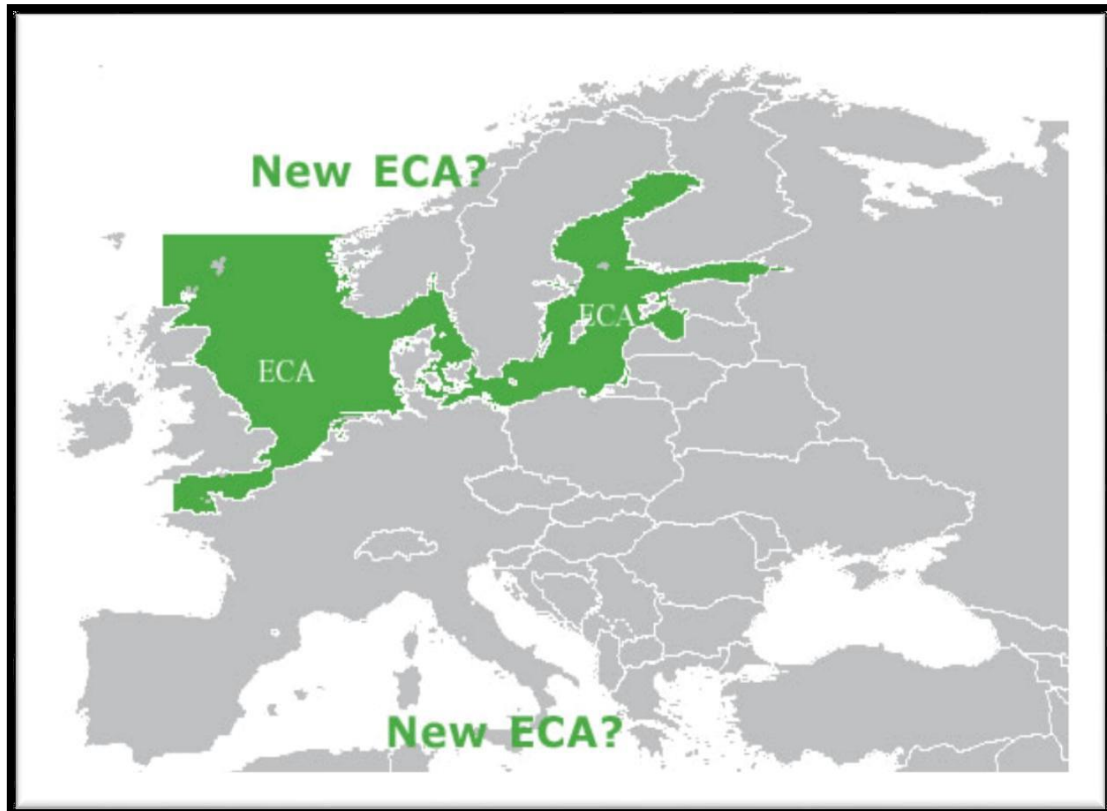
Με βάση τις παραπάνω εξελίξεις και θεωρώντας δεδομένη την κατεύθυνση της διεθνούς ναυτιλιακής νομοθεσίας σε ακόμα πιο οικολογικές δράσεις, είναι νομοτελειακό

ότι και νέες θαλάσσιες περιοχές θα μετατραπούν σε ζώνες SECA προκειμένου να επιτευχθούν οι τιθέμενοι στόχοι μέχρι το έτος 2025.



Διάγραμμα 3.1. Μελλοντικοί στόχοι μείωσης της περιεκτικότητας των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο (IMO, 2017).

Η Μεσόγειος θάλασσα αποτελεί την πρώτη υποψήφια περιοχή για ένταξη στην κατηγορία SECA εξαιτίας του γεγονότος ότι τελευταίες έρευνες έχουν αποδείξει ότι οι θαλάσσιες περιοχές μικρών αποστάσεων είναι αυτές που συμβάλλουν σε μεγαλύτερο βαθμό στις εκπομπές ρύπων σε σχέση με το καταναλισκόμενο καύσιμο (38% του συνολικού καυσίμου έναντι ποσοστού 22% για μεγαλύτερες αποστάσεις) (Seamanship International, 2013). Επιπρόσθετα, στη Μεσόγειο διακινούνται περισσότεροι από 600.000 τόνοι προϊόντων και αγαθών ετησίως μέσω πλοίων container και RO-RO, γεγονός που καταδεικνύει περαιτέρω την ανάγκη ένταξης της περιοχής σε καθεστώς SECA (Dixon, 2015). Με βάση την παραπάνω διαπίστωση, αναμένεται μέχρι το 2020 η Ευρωπαϊκή Ένωση να θεσμοθετήσει την ένταξη της περιοχής της Μεσογείου σε καθεστώς SECA (Meech, 2016).

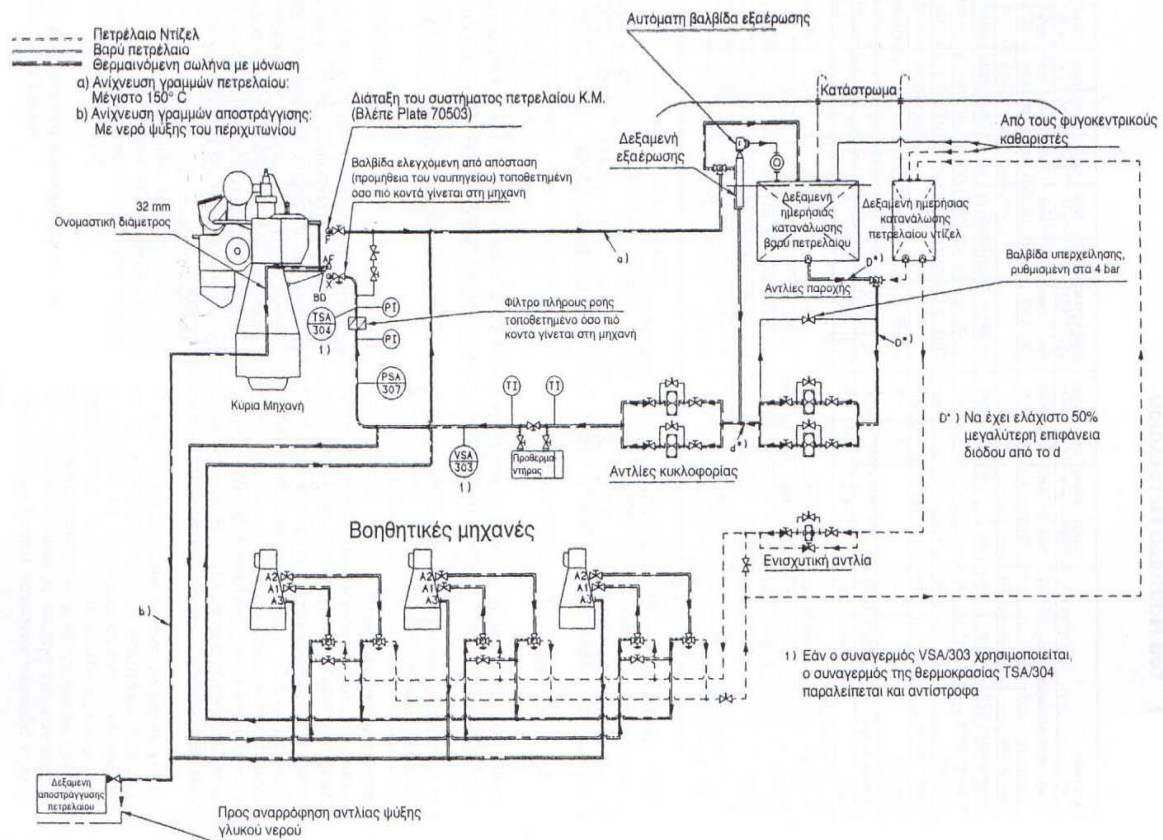


Σχήμα 3.2. Επέκταση περιοχών SECA με ένταξη της περιοχής της Μεσογείου (Meech, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: CHANGE OVER PROCEDURE

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ CHANGE OVER PROCEDURE

Η διαδικασία Change Over υιοθετείται στη βάση των απαιτήσεων για μείωση της εκπομπής SO_x από τα πλοία όταν αυτά εισέρχονται σε περιοχές SECA. Μια τέτοιου είδους διαδικασία λαμβάνει χώρα τόσο στην κύρια μηχανή των πλοίων (Main Engine), όσο και στις βοηθητικές μηχανές (Auxiliary Engines) και το λέβητα (Boiler).



Σχήμα 4.1. Τυπική απεικόνιση αλληλουχίας μηχανικών διατάξεων πλοίου (MAN, 2017).

4.2 CHANGE OVER PROCEDURE ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΗ

Σε ένα αρχικό στάδιο, θα πρέπει να καταδειχτεί ότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα για κάθε πλοίο που υιοθετεί μια διαδικασία αλλαγής καυσίμου - Change Over να διαθέτει έναν change over low sulphur fuel calculator που θα υποδεικνύει την κατάλληλη στιγμή που θα πρέπει να λάβει χώρα η μετάβαση πριν την είσοδο του πλοίου σε περιοχή ελέγχου εκπομπών ρύπων. Μια τέτοια διάταξη θα πρέπει να διαθέτει πληροφορίες (Marine Insight, 2017):

- Για την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο σε κάθε χρονική στιγμή.
- Την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

- Τη χωρητικότητα σε καύσιμο του συστήματος της κύριας μηχανής στο οποίο περιλαμβάνονται οι δεξαμενές και οι σωληνώσεις για την μεταφορά καυσίμου από αυτές στην κύρια μηχανή.
- Μεταφορική ικανότητα διατάξεων όπως η αντλία καυσίμου και οι διαχωριστές λαδιού – πετρελαίου.

Τα βήματα μιας διαδικασίας Change Over στην κύρια μηχανή είναι τα ακόλουθα (Marine Insight, 2017):

- Εξασφάλιση ότι καμία περαιτέρω μεταφορά καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο δε λαμβάνει χώρα πλέον στη δεξαμενή καθίζησης (settling tank).
- Έλεγχος ότι η δεξαμενή που περιέχει το καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο είναι ανοιχτή προκειμένου να συμμετάσχει στη διαδικασία μετάβασης καθώς και ότι δεν υπάρχει πρόβλημα σε σχέση με την καθαρότητα του καυσίμου.
- Στην περίπτωση ύπαρξης δύο ξεχωριστών δεξαμενών καθίζησης (settling tanks), η μια θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για το καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο προκειμένου να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος της διαδικασίας change over.
- Ο διαχωριστής θα πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία μέχρι το περιεχόμενο της δεξαμενής καθίζησης (settling tank) να φτάσει στο ελάχιστο επίπεδο.
- Η μεταφορά στη δεξαμενή καθίζησης (settling tank) του καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θα πρέπει να εκκινεί τη στιγμή που αυτή έχει αποστραγγιστεί πλήρως από την ύπαρξη καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα που ανακύπτουν λόγω μη αναμιξιμότητας των καυσίμων.

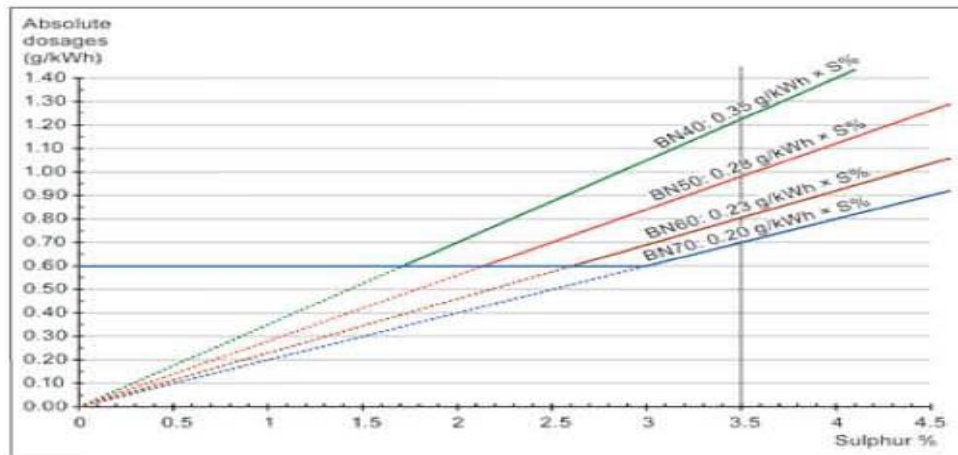
- Με το πέρας της λειτουργίας του διαχωριστή, εκκινεί η διαδικασία 'χρήσης' του περιεχομένου της δεξαμενής καυσίμου από το σύστημα της κύριας μηχανής του πλοίου.
- Έλεγχος ότι η αντλία και οι σωληνώσεις μεταφοράς δεν εμφανίζουν φαινόμενα αναρρόφησης εξαιτίας ανεπαρκούς στάθμης περιεχομένου στη δεξαμενή λειτουργίας (service tank).
- Εκκίνηση διαχωριστών και μετάβαση λειτουργίας από τη δεξαμενή καθίζησης (settling tank) στη δεξαμενή λειτουργίας η οποία τώρα θα λειτουργεί με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.
- Ρύθμιση περιεχομένου δεξαμενών καθίζησης (settling tank) και λειτουργίας (service tank) σε περιεκτικότητες που απαιτούνται για τη συγκεκριμένη περιοχή ελέγχου εκπομπών.

Η μετάβαση από λειτουργία με καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο σε λειτουργία με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θα πρέπει να συνοδεύεται και από την αντίστοιχη μετάβαση όσον αφορά στο λάδι για τη λίπανση της μηχανής. Στην πράξη, για λειτουργία με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο επιλέγεται λάδι με χαμηλό BN (BN 40-50 για περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο < 3,5%) ενώ για λειτουργία με καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο επιλέγεται λάδι με υψηλό BN (BN 60-70 για περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο > 2,5%), όπου ο δείκτης BN αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα του λαδιού λίπανσης στον κύλινδρο να εξουδετερώνει τα οξέα.

Η αλκαλικότητα του λαδιού θα πρέπει να επιλέγεται ώστε να ταιριάζει με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο σύμφωνα με τη σχέση:

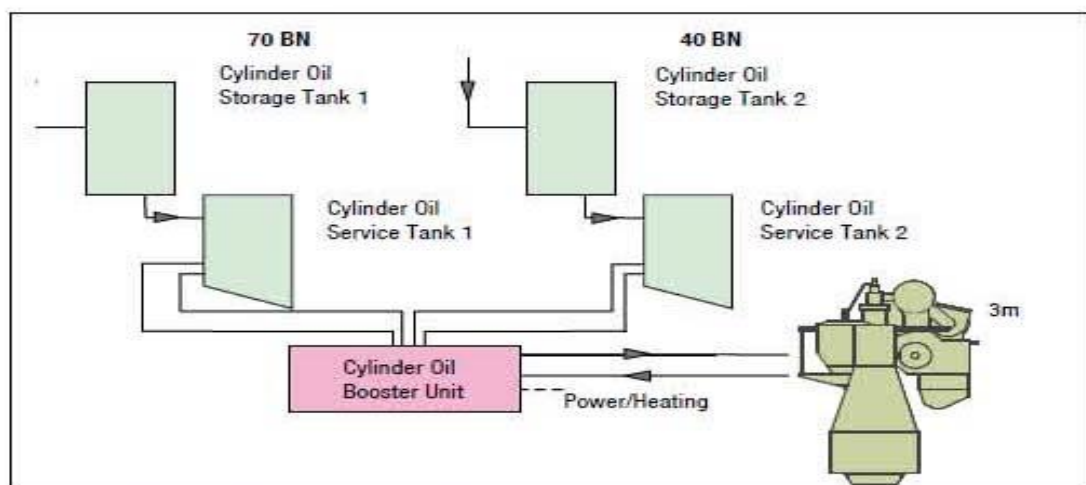
$$A = \text{Dosage } (F) \times S (\%)$$

Για τους διάφορους τύπους λαδιού, στη βάση της παραπάνω εξίσωσης προκύπτει το επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.1. Τιμές F και γραφικές απεικονίσεις για τους διάφορους τύπους λαδιού (MAN, 2016).

Στους σύγχρονους τύπους πλοίων, υπάρχουν δύο ανεξάρτητα συστήματα που σχετίζονται με το λάδι λίπανσης, ένα κατάλληλο για λειτουργία με καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο και ένα για λειτουργία με καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.



Σχήμα 4.2. Ανεξάρτητα συστήματα λαδιού λίπανσης κυλίνδρων (MAN, 2016).

4.3 CHANGE OVER PROCEDURE ΣΤΟ ΛΕΒΗΤΑ

Τα βήματα μιας διαδικασίας Change Over στο λέβητα του πλοίου είναι τα ακόλουθα (Marine Insight, 2017):

- Κλείσιμο ατμού στους θερμαντήρες (pre-heaters) του καυσίμου στο boiler.
- Όταν η θερμοκρασία του καυσίμου πέσει κάτω από το όριο βάσης (συνήθως είναι 90 βαθμοί Celsius), θα πρέπει να λαμβάνει χώρα το άνοιγμα της βαλβίδας που σχετίζεται με τη μεταφορά diesel oil από τη δεξαμενή λειτουργίας στο σύστημα του boiler.
- Σταδιακό κλείσιμο της βαλβίδας του βαρέως καυσίμου του boiler και έλεγχος της πίεσης της αντλίας παροχής.
- Έλεγχος φλόγας και διαδικασίας καύσης στο boiler.
- Εξασφάλιση ότι το Heavy Fuel Oil δεν θα εισέλθει στο σύστημα του Diesel Oil/Gas Oil, μέσω της εξασφάλισης επαρκούς χρόνου ανοίγματος της εξόδου του HFO και αντίστοιχου κλεισίματος της εξόδου του MDO/MGO.
- Με την πλήρωση του συστήματος με MDO/MGO, ανοίγεται η βαλβίδα λειτουργίας προκειμένου να λάβει χώρα η διαδικασία change over.

4.4 CHANGE OVER PROCEDURE ΣΤΙΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ / ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

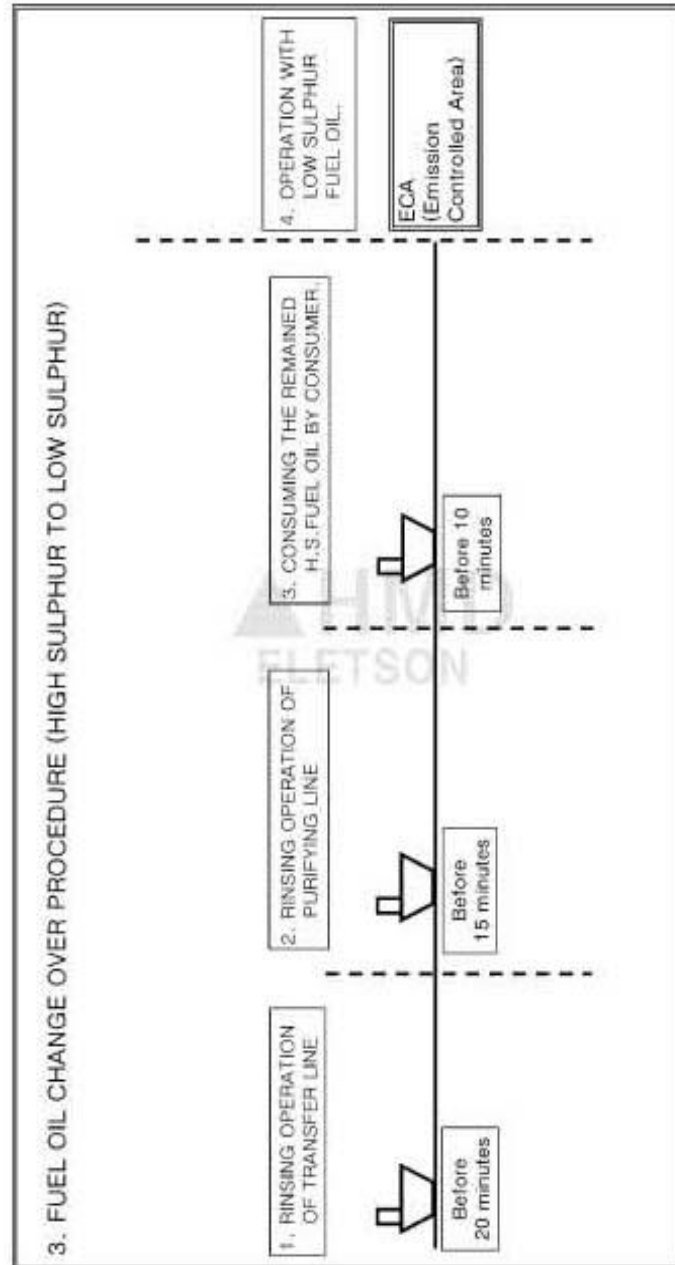
Τα στάδια μιας διαδικασίας Change Over στις βοηθητικές μηχανές / γεννήτριες του πλοίου είναι τα επόμενα (Marine Insight, 2017):

- Κλείσιμο ατμού στους θερμαντήρες(pre-heaters) του καυσίμου.

- Όταν η θερμοκρασία του καυσίμου πέσει κάτω από το όριο βάσης (συνήθως είναι 90 βαθμοί Celsius), θα πρέπει να λαμβάνει χώρα το άνοιγμα της βαλβίδας της δεξαμενής λειτουργίας που σχετίζεται με το σύστημα της γεννήτριας.
- Άνοιγμα της βαλβίδας MDO/MGO και κλείσιμο της βαλβίδας HFO σταδιακά, με ταυτόχρονο έλεγχο της πίεσης του καυσίμου και αλλαγή μιας μόνο εκ των υπάρχουσών γεννητριών σε λειτουργία diesel μέσω της χρήσης της αντίστοιχης αντλίας.
- Εξασφάλιση ότι το HFO δεν θα εισέλθει στο σύστημα του diesel, μέσω της εξασφάλισης επαρκούς χρόνου ανοίγματος της εξόδου του HFO και αντίστοιχου κλεισίματος της εξόδου του diesel.
- Με την εξασφάλιση της πλήρους μετάβασης σε diesel , άνοιγμα της βαλβίδας εισόδου του diesel στο σύστημα της γεννήτριας.

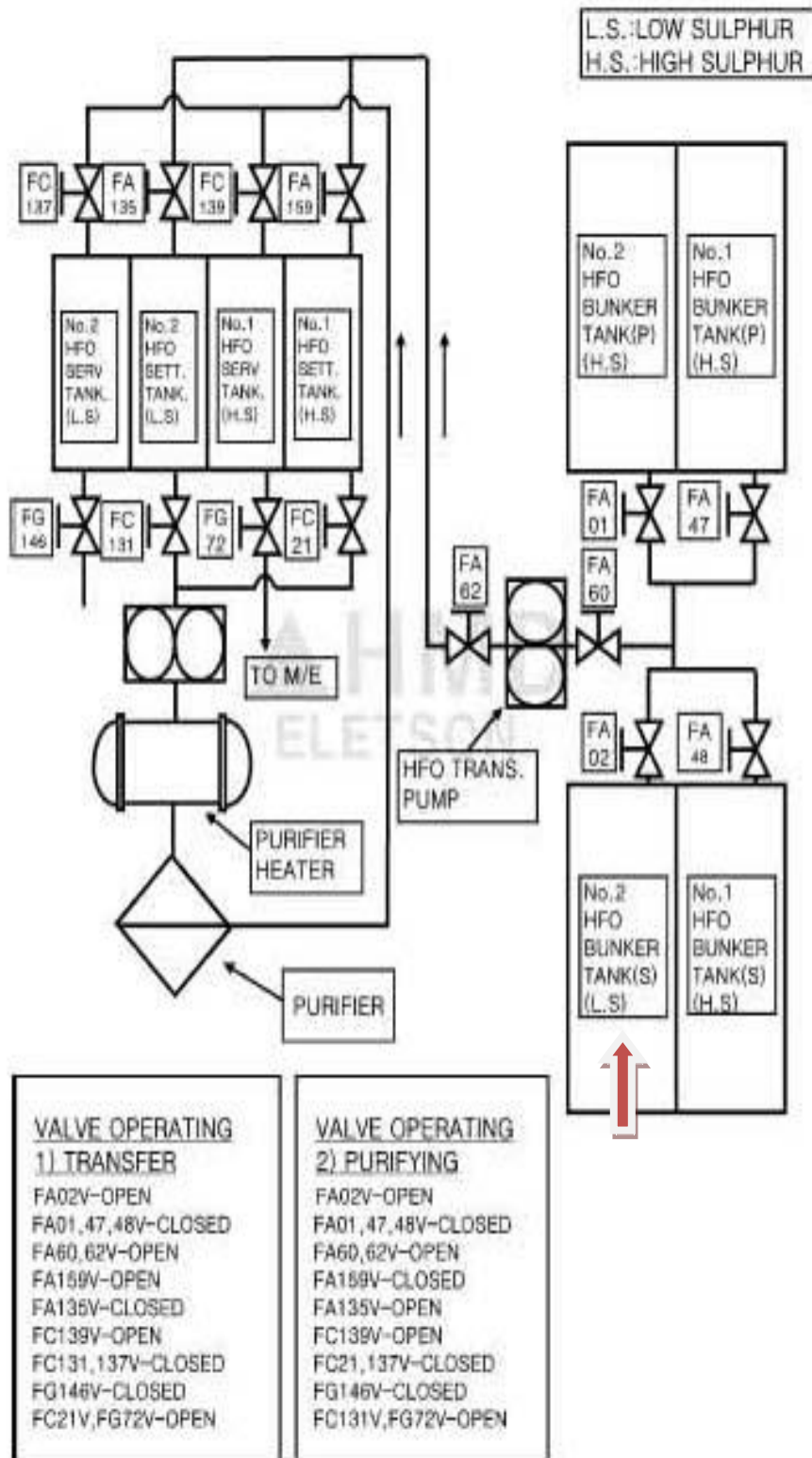
4.5 CHANGE OVER PROCEDURE ΣΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η διαδικασία Change Over στη δεξαμενή καυσίμου περιλαμβάνει τα επόμενα στάδια:

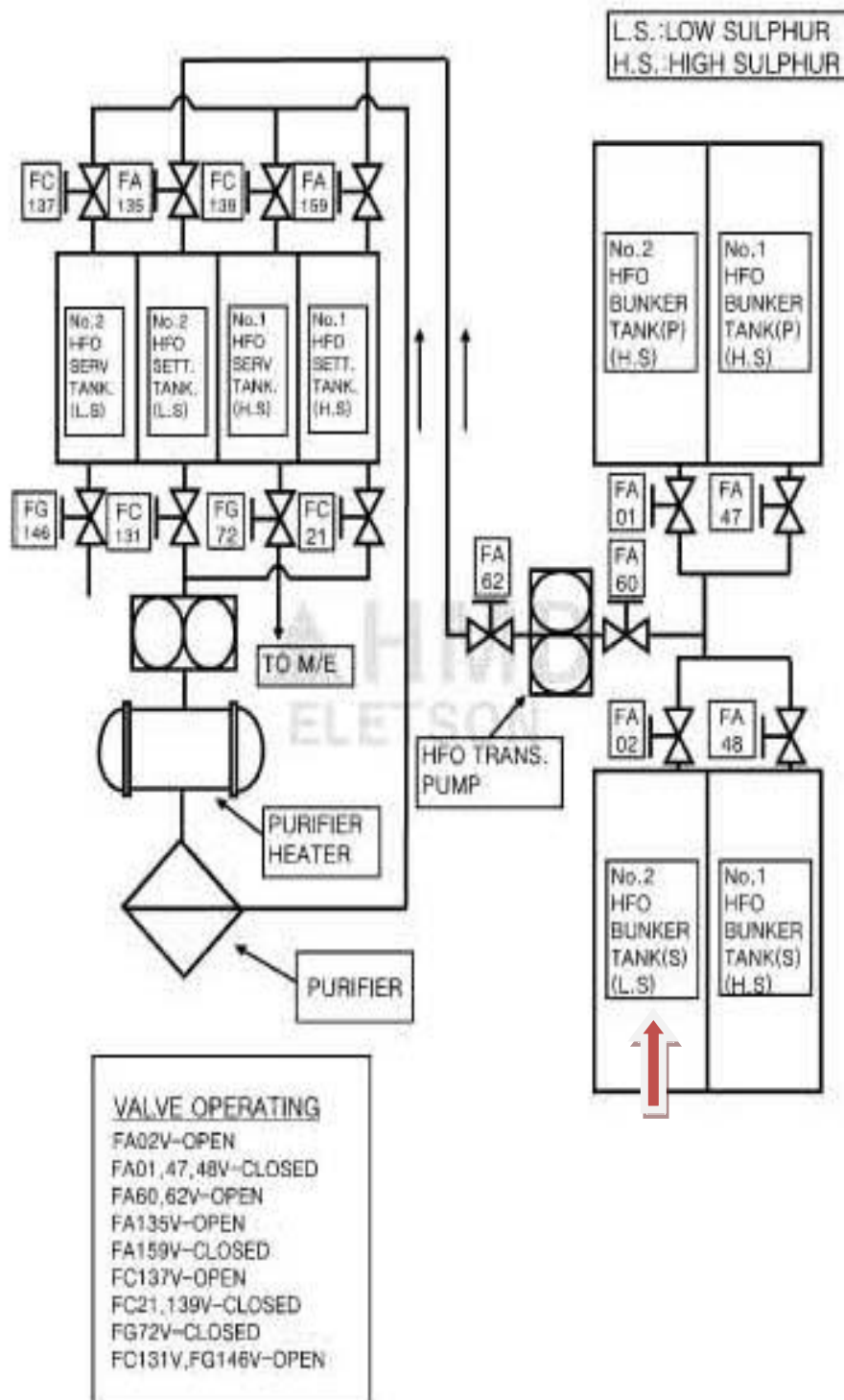


Σχήμα 4.1. Διαδικασία Change Over στη δεξαμενή καυσίμου του πλοίου (Hyundai, 2017).

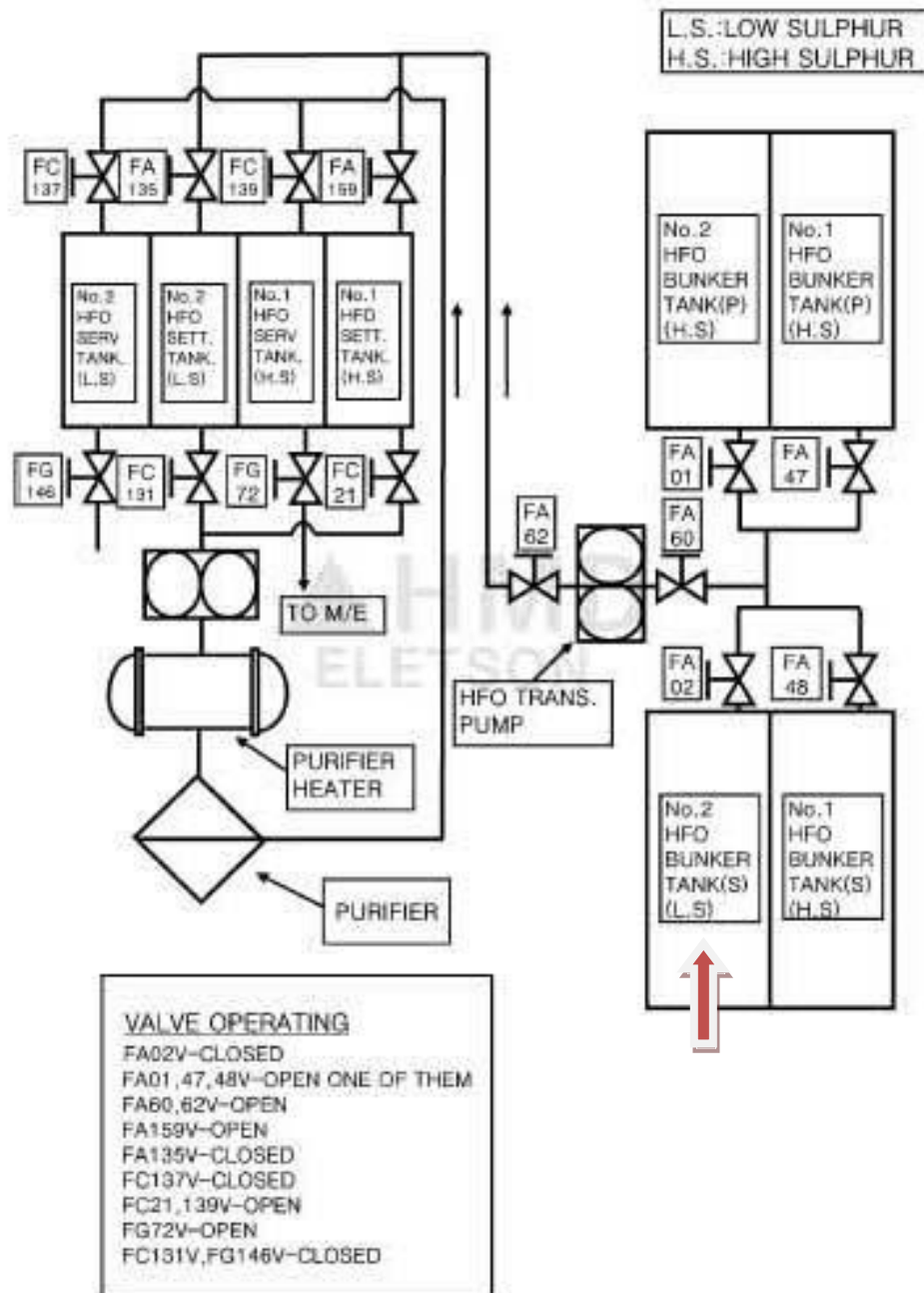
Στα επόμενα σχήματα παρατίθεται η ακολουθία των διατάξεων που σχετίζονται με την προηγούμενη περιγραφή της διαδικασίας Change Over:



Σχήμα 4.2. Σύστημα πλύσης με low sulphur diesel oil πριν την είσοδο σε περιοχή SECA (Hyundai, 2017).



Σχήμα 4.3. Σύστημα μετά τη διαδικασία πλύσης (Hyundai, 2017).



Σχήμα 4.4. Σύστημα μετά την έξοδο από την περιοχή SECA (Hyundai, 2017).

Κλείνοντας, θα πρέπει να τονιστεί η αναγκαιότητα διατήρησης αρχείων για όλες τις διαδικασίες Change Over που περιγράφησαν προηγουμένως από τους υπεύθυνους του πληρώματος του πλοίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΙΟ ΣΕ ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

5.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΧΡΟΝΗΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Στον δίχρονο κινητήρα, ο πλήρης κύκλος λειτουργίας κάθε κυλίνδρου ολοκληρώνεται σε δύο παλινδρομικές διαδρομές του εμβόλου, δηλαδή σε μία πλήρη περιστροφή του στροφάλου (Κυρτάτος, 1993).

Α' χρόνος λειτουργίας [καύση – εκτόνωση – έναρξη εξαγωγής και σάρωσης]:

Στον 1^ο χρόνο λειτουργίας, το έμβολο βρίσκεται 25° – 10° πριν το ΑΝΣ (Ανώτατο Νεκρό Σημείο) και έχει ήδη συμπιέσει τον εισερχόμενο αέρα με αποτέλεσμα οι τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης αυτού να είναι επαρκώς υψηλές ώστε το εγχεόμενο καύσιμο να μπορεί να αυτοαναφλεγεί.

Στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή λαμβάνει χώρα ο ψεκασμός του καυσίμου diesel μέσα στον κύλινδρο και ακολουθεί η διαδικασία της καύσης έως ότου το έμβολο να βρεθεί σε θέση 0° – 20° μετά το ΑΝΣ.

Από τη θέση αυτή του εμβόλου μέχρι και τη θέση 70° – 85° πριν το ΚΝΣ (Κατώτατο Νεκρό Σημείο), λαμβάνει χώρα η εκτόνωση των παραγόμενων από την καύση αερίων, ενώ ταυτόχρονα στη διαδρομή αυτή παράγεται το ωφέλιμο έργο της διαδικασίας.

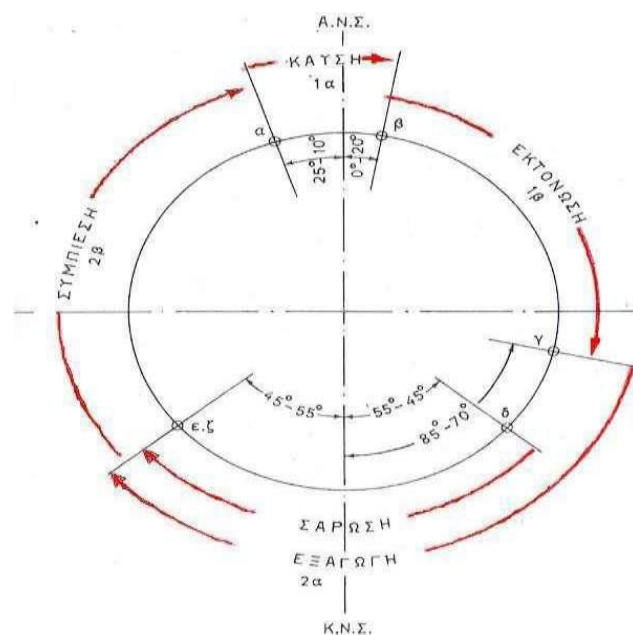
Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής σηματοδοτεί το τέλος της εκτόνωσης με τα καυσαέρια να οδηγούνται στον οχετό εξαγωγής πριν κατευθυνθούν προς τον στροβιλουπερπληρωτή. Καθώς το έμβολο κατευθύνεται προς τη θέση 35° – 45° πριν το ΚΝΣ και πριν φθάσει σε αυτή, προσεγγίζει τις θυρίδες της σάρωσης όπου ο εισερχόμενος αέρας της σάρωσης, με πίεση μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί στον κύλινδρο, ωθεί τα καυσαέρια προς τον οχετό εξαγωγής. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να καταδειχτεί ότι ο λόγος για τον οποίο η πίεση του αέρα σάρωσης είναι μεγαλύτερη από

αυτή που επικρατεί στον κύλινδρο, έγκειται στην ανάγκη να υπάρξει η απαραίτητη ώθηση στα καυσαέρια ώστε να εξαχθούν από τον κύλινδρο έτσι ώστε αυτός να καθαρίσει (απόπλυση).

Β' χρόνος λειτουργίας [πέρας εξαγωγής και σάρωσης – συμπίεση]:

Κατά το 2^ο χρόνο λειτουργίας, το έμβολο που συμμετείχε στην προηγούμενη διαδικασία φθάνει στο ΚΝΣ και αρχίζει να ανέρχεται προς το ΑΝΣ, παρασυρόμενο από το στρόφαλο κάποιου άλλου εμβόλου της μηχανής που τη δεδομένη χρονική στιγμή βρίσκεται στον 1^ο χρόνο λειτουργίας.

Το έμβολο στη θέση 45° – 55° μετά το ΚΝΣ, καλύπτει πλήρως τις θυρίδες σαρώσεως, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αρκετοί κατασκευαστές προτιμούν η βαλβίδα εξαγωγής να παραμένει ανοικτή μέχρι τη θέση 60° – 90° μετά το ΚΝΣ έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής λαμβάνει χώρα η έναρξη της διαδικασίας συμπίεσης του αέρα, η οποία διαρκεί μέχρι την έγχυση του καυσίμου στον κύλινδρο.



Σχήμα 5.1. Κύκλος λειτουργίας δίχρονης ναυτικής μηχανής (Κυρτάτος, 1993).

5.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΙΟ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ

Τα κυριότερα προβλήματα από τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο στις ναυτικές μηχανές σχετίζονται με το χαμηλό ιξώδες και τη χαμηλή λιπαντική ικανότητα που εμφανίζουν αυτά, τη δυνατότητα ροής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες, το βαθμό οξύτητάς τους και τη μικροβιακή μόλυνση του μπορεί να προκαλέσει η χρήση τους (CIMAC, 2013, Kokarakis et al., 2014).

Χαμηλό ιξώδες:

Όπως ήδη έχει ειπωθεί, το ιξώδες αποτελεί μια πολύ σημαντική και κρίσιμη ιδιότητα για τα ναυτιλιακά καύσιμα.

Στη σημερινή ναυτιλιακή πραγματικότητα, η πλειονότητα των αντλιών υψηλής πίεσης του καυσίμου καθώς και οι διατάξεις καυστήρων έχουν σχεδιασθεί για χρήση βαρέων καυσίμων. Με βάση την παραπάνω παρατήρηση, όταν χρησιμοποιούνται αποστάγματα πολύ χαμηλότερου ιξώδους, οι αντλίες δυσκολεύονται να δημιουργήσουν την απαραίτητη πίεση για τον ψεκασμό του καυσίμου στους θαλάμους καύσης, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνουν χώρα φαινόμενα διαρροής του καυσίμου εσωτερικά της αντλίας, με αποτέλεσμα να απαντώνται προβλήματα τόσο κατά την εκκίνηση της μηχανής όσο και κατά τη διάρκεια ελιγμών.

Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερη η τιμή της θερμοκρασίας, τόσο χαμηλότερο το ιξώδες ενός υλικού. Θερμοκρασία αναφοράς του ιξώδους για τα αποστάγματα στις ναυτικές μηχανές είναι οι 40 °C, με το ελάχιστο όριο ιξώδους να ανέρχεται στα 2 centistokes (cSt) στην εν λόγω θερμοκρασία σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO 8217:2012.

Λόγω της θερμοκρασίας του που επικρατεί στο χώρο του μηχανοστασίου, η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί τους 40 °C, με αποτέλεσμα η τιμή του ιξώδους να πέσει κάτω από 2 cSt στην είσοδο του καυσίμου στη μηχανή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να

απαντώνται οι προαναφερθείσες επιπτώσεις παρά το γεγονός ότι το καύσιμο κρίνεται ότι είναι εντός προδιαγραφών. Επιπλέον, σε αυτές τις συνθήκες είναι δυνατό να προκληθούν φθορές στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, ενώ συστατικά του καυσίμου που χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλό ιξώδες, κατά τη διαδικασία θέρμανσης μπορεί να ατμοποιηθούν.

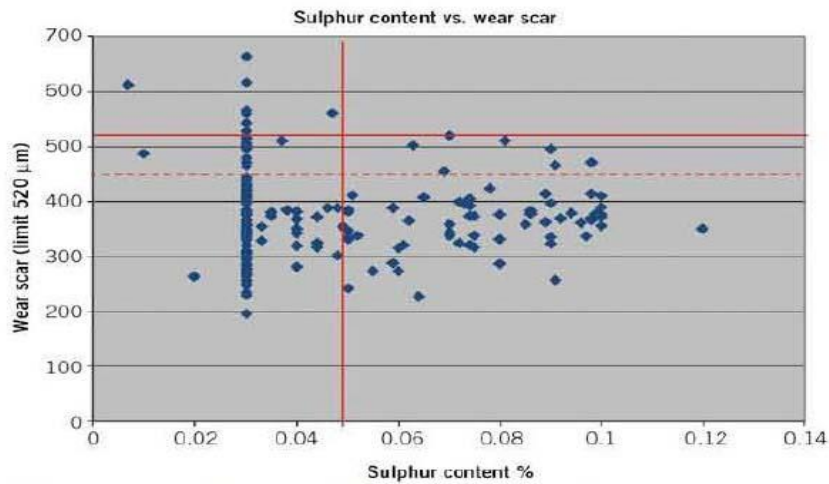
Χαμηλή λιπαντική ικανότητα:

Η λιπαντική ικανότητα του καυσίμου έχει αναγνωρισθεί σαν σημαντική παράμετρος ποιότητας των ναυτικών καυσίμων, όταν αναφερόμαστε σε χαμηλού θείου αποστάγματα και για αυτό το λόγο έχει ληφθεί υπόψη στην προδιαγραφή ISO 8217:2012. Η τιμή που έχει ορισθεί σαν μέγιστο όριο είναι τα 520μm WSD (Wear Scar Diameter), σύμφωνα με τη μέθοδο μέτρησης HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) κατά ISO 12156-1. Το όριο αυτό αφορά σε καύσιμα που περιέχουν θείο σε ποσοστό λιγότερο από 0,05 % κ.β.

Στην πραγματικότητα, δεν ευθύνεται η έλλειψη θείου για την χαμηλή λιπαντικότητα των εν λόγω καυσίμων, αλλά η επεξεργασία η οποία εφαρμόζεται από τα διυλιστήρια και η οποία αφαιρεί μαζί με το θείο, άτομα αζώτου, άτομα οξυγόνου καθώς και ένα ποσοστό αρωματικών υδρογονανθράκων, τα οποία αν παρέμεναν, θα ενίσχυαν επαρκώς τη λιπαντική ικανότητα.

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, η λιπαντική ικανότητα εξαρτάται επίσης και από την προέλευση του αργού, δηλαδή από την φυσική περιεκτικότητα αυτού σε θείο. Σε μια τέτοια βάση, όξινο αργό (sour crude), με υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο, θα πρέπει να υποστεί εντονότερη αποθείωση σε σχέση με ένα γλυκό αργό (sweet crude), το οποίο εμφανίζει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο. Σε κάθε περίπτωση, τα τελικά αποστάγματα (MGO-MDO) χαμηλού θείου, θα πρέπει να έχουν μετά το πέρας της διαδικασίας αποθείωσης την προβλεπόμενη από το ISO 8217:2012 μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο, ανεξαρτήτως προέλευσης αργού. Από την άλλη, αυτό δεν σημαίνει ότι θα εμφανίζουν και την ίδια λιπαντική ικανότητα, καθώς το καύσιμο που έχει υποστεί εντονότερη επεξεργασία αποθείωσης, θα παρουσιάζει εντονότερα προβλήματα μειωμένης λιπαντικότητας. Μειωμένη λιπαντική ικανότητα, μπορεί να οδηγήσει σε φθορές όσον αφορά στην αντλία

καυσίμου, ακόμη και μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την πρώτη ημέρα λειτουργίας της.



Διάγραμμα 5.1. Συσχέτιση λιπαντικής ικανότητας και περιεκτικότητας αποσταγμάτων σε θείο (Intertek Shipcare, 2017).

Σημείο ροής:

Οι ιδιότητες ροής σε χαμηλή θερμοκρασία των αποσταγμάτων καθορίζονται επίσης στην προδιαγραφή ISO 8217, με χρήση του μεγέθους του σημείου ροής (Pour Point), το οποίο ορίζεται ως η θερμοκρασία, στην οποία το καύσιμο παύει να ρέει. Ωστόσο, είναι δυνατό να εμφανισθούν προβλήματα σε θερμοκρασίες υψηλότερες του σημείου ροής, εφόσον απαντώνται παραφινικοί σχηματισμοί.



Σχήμα 5.2. Παραφινικοί σχηματισμοί στα αποστάγματα (Intertek Shipcare, 2017).

Λόγω του ότι η προδιαγραφή ISO 8217 καθορίζει και λαμβάνει υπόψη μόνο το σημείο ροής, ο προμηθευτής καυσίμου θα πρέπει να εστιάσει την προσοχή του στο να διατηρήσει αυτή την παράμετρο εντός των ορίων της προδιαγραφής, παρά να ασχοληθεί με την εν γένει συνολική συμπεριφορά του καυσίμου σε συνθήκες ψυχρής ροής.

Επιπρόσθετα, μια άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι η περιοχή στην οποία ανεφοδιάζεται το πλοίο. Σε μια τέτοια βάση, τα αποστάγματα που προσφέρονται σε θερμές περιοχές έχουν υψηλά σημεία ροής με αποτέλεσμα όσο το πλοίο επιχειρεί σε αυτές τις περιοχές, το υψηλό σημείο ροής να μη δημιουργεί καμία δυσκολία ή πρόβλημα. Όταν όμως το πλοίο, που έχει ανεφοδιασθεί με καύσιμο MGO από αυτές τις περιοχές μετακινηθεί σε ψυχρότερες που υπόκεινται σε περιορισμούς SECA, το πιθανότερο είναι να αντιμετωπίσει σοβαρές δυσκολίες σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Η χρήση χημικών προσθέτων μπορεί να βελτιώσει το σημείο ροής.

Οξύτητα:

Η προδιαγραφή ISO 8217 καθορίζει ανώτατο επιτρεπτό όριο οξύτητας για τα αποστάγματα τα 0,5 mg KOH/g καυσίμου. Σημαντική αύξηση της οξύτητας οφείλεται

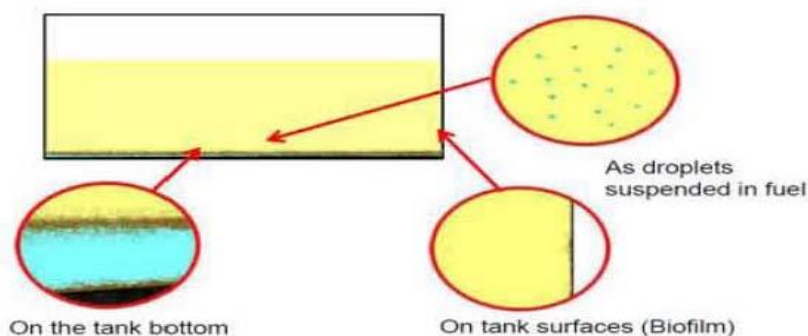
συνήθως στην παρουσία οργανικών οξέων στα αποστάγματα. Υψηλή οξύτητα οδηγεί σε φαινόμενα διάβρωσης στο σύστημα ψεκασμού.



Σχήμα 5.3. Επιπτώσεις οξύτητας στο σύστημα ψεκασμού (CIMAC, 2013).

Μικροβιακή μόλυνση:

Τα αποστάγματα MGO και diesel αποθηκεύονται και διατηρούνται συνήθως χωρίς θέρμανση σε ένα εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 15 – 85 °C εντός του οποίου ευνοείται η ανάπτυξη αερόβιων μικροβίων, σε αντίθεση με το HFO, το οποίο θερμαίνεται στους 98 °C πριν τον φυγοκεντρικό διαχωριστήρα και στους 120 – 150 °C κατά τον ψεκασμό του.



Σχήμα 5.4. Σημεία δεξαμενής καυσίμου όπου εντοπίζεται κυρίως μικροβιακή μόλυνση (CIMAC, 2013).

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει συγκεκριμένη οδηγία για έλεγχο ή ανώτατα προκαθορισμένα όρια όσον αφορά στη μικροβιακή μόλυνση των καυσίμων ναυτιλίας. Σε

για τέτοια βάση και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η αντιμετώπιση της μικροβιακής μόλυνσης έχει πολλαπλάσιο κόστος από την πρόληψη αυτής, ενδείκνυνται οι ακόλουθες δράσεις (Dixon, 2015):

- Σωστός σχεδιασμός δεξαμενών καυσίμων, ώστε οι εξυδατώσεις να γίνονται κατά τρόπο αποτελεσματικό και ολοκληρωμένο.
- Υιοθέτηση συχνών δράσεων εξυδάτωσης, προκειμένου να μη μεταφέρεται υπάρχουσα μόλυνση στο υπόλοιπο δίκτυο του καυσίμου.
- Διατήρηση των δεξαμενών αποθήκευσης, πληρωμένων με καύσιμο σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο επίπεδο, προκειμένου να αποφεύγονται φαινόμενα συμπύκνωσης των υδρατμών σε αυτές.
- Τακτικός καθαρισμός και συντήρηση των διατάξεων των φίλτρων και του φυγοκεντρικού διαχωριστήρα.
- Περιοδική δειγματοληψία και μικροβιακή ανάλυση δείγματος καυσίμου, αντλημένου από το χαμηλότερο σημείο των δεξαμενών αποθήκευσης.
- Τακτική αλλά με μέτρο, προς αποφυγή φαινομένων επηρεασμού της υγείας του πληρώματος, χρήση βιοκτόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ 2 – Χ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗFO ΚΑΙ ΜGO

6.1 ΣΚΟΠΟΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός του πρακτικού κομματιού της εργασίας είναι να μελετήσει την επίδραση της αλλαγής από καύσιμο ΗFO σε καύσιμο ΜGO αναλύοντας διαθέσιμα δυναμοδεικτικά διαγράμματα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ως μηχανή αναφοράς πάνω στην οποία έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, μια ναυτική μηχανή 2-Χ τύπου S70MC – C της εταιρίας MAN 6 κυλίνδρων. Οι μετρήσεις με καύσιμο ΗFO έλαβαν χώρα την 24/2/2017, ενώ οι μετρήσεις με καύσιμο ΜGO πραγματοποιήθηκαν την 1/2/2017, σε συνθήκες λειτουργίας που αποτυπώνονται και για τις δύο περιπτώσεις στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 6.1. Συνθήκες λειτουργίας με καύσιμο ΗΦΟ.

Main Engine Performance Report				Engine Type:	S70MC-C	Name of Vessel:									
				Engine Builder:	HSD Engine Co. Ltd.	Chief Engineer's Name:									
				Layout kW:	16858	Hull No.:									
				Layout RPM:	91.0	Yard:	SAMSUNG HEAVY INDUSTRIES								
Voyage No.:		From:		To:		Class:	ABS								
Test Date		Test Hour (hh:mm)		Test Duration [h]		Engine No.:	ML-1234								
24/02/2017		15:18		0.0		Governor Model/Type:	NABCO MG-800								
				Licensee:		HSD									
Turbocharger(s) Specifications				Main Engine Specifications											
Number Of Turbochargers:		2.0		Number Of Cylinders:		6.0									
Maker:		STW - MAN B&W		Type:		NA57/T09 120									
Maximum RPM:		15000.0		Maximum Temp. [°C]:		620.0									
Compressor Slip Factor:		0.7		Compressor Diam. [m]:		0.7									
				Bore [m]:		0.7									
				Stroke [m]:		2.8									
				Cylinder Constant (kW/bar):		1.796									
Main Engine Power Calculations															
Cyl.	IMEP (Pi) [bar]	Ind. Power [kW]	Pmax [bar]	Pcomp [bar]	Pmax-Pcomp [bar]	Pexp [bar]	aPmax [deg]	Fuel Pump Index	VIT Index	Temp. Exhaust Gas Outlet [°C]	Temp. J.C.W Outlet [°C]	Temp. Piston Outlet Lub. Oil [°C]	Temp. Piston Underside [°C]		
1	13.7	2017.6	120.5	97.4	23.1	0.0	13.7	80.0	3.2	310.0	81.0	50.0	49.0		
2	13.3	1958.7	115.9	97.2	18.7	0.0	14.3	80.0	3.2	300.0	81.0	50.0	49.0		
3	14.4	2120.7	123.4	97.8	25.6	0.0	13.7	80.0	3.4	310.0	82.0	50.0	49.0		
4	13.4	1973.4	117.5	95.5	22.0	0.0	14.1	80.0	3.1	300.0	81.0	51.0	50.0		
5	13.1	1929.2	116.2	95.9	20.3	0.0	14.3	80.0	3.1	295.0	81.0	50.0	49.0		
6	13.9	2047.0	118.8	96.4	22.4	0.0	14.3	79.0	3.4	300.0	81.0	51.0	50.0		
Ave.	13.6	2007.7	118.7	96.7	22.0	0.0	14.1	79.8	3.2	302.5	81.2	50.3	49.3		
Scavenge Air				Fuel Oil				Vessel's General Data							
Press. Scavenge Receiver		1.8 bar		Fuel Oil Viscosity @ 50 °C		336.5 cSt		Speed Over Ground (GPS)		15.3 knots					
Press. Drop TC Filter No. 1		20.0 mmWC		Lower Heating Value		40.3 MJ/kg		Speed Through Water (STW)		14.4 knots					
Press. Drop TC Filter No. 2		20.0 mmWC		Density @ 15 °C		0.99 kg/L		Propeller Pitch		5.3 m					
Press. Drop TC Filter (mean)		20.0 mmWC		Fuel CCAI value		812.0		Engine speed 0 slip		14.2 knots					
Press. Drop Air Cooler No. 1		50.0 mmWC		Sulphur Content %		0.9		Slip % GPS speed		-8.0					
Press. Drop Air Cooler No. 2		50.0 mmWC		Water Content %		0.1		Slip % STW speed		-1.7					
Press. Drop Air Cooler (mean)		50.0 mmWC		Ash Content %		0.0		Draft Fore		12.9 m					
Temp. Scavenge Receiver		38.0 °C		Bunker Station		Quebec		Draft Aft		13.3 m					
Temp. Blower Inlet No. 1		30.0 °C		BDN Reference Number		STR-017/031		Draft (mean)		13.1 m					
Temp. Blower Inlet No. 2		30.0 °C		Booster Press. Fuel		7.4 bar		Trim		-0.4 m					
Temp. Blower Inlet (mean)		30.0 °C		Temp. Fuel Oil Service Tank		94.3 °C		Wind Force		5.0 Beaufort					
Temp. Air Cooler Inlet No. 1		150.0 °C		Temp. Fuel Engine Inlet		134.0 °C		Rel. Wind Velocity		14.0 knots					
Temp. Air Cooler Inlet No. 2		150.0 °C		Fuel Consumption (mass)		2292.0 kg/hr		Rel. Wind Direction		45.0 deg					
Temp. Air Cooler Inlet (mean)		150.0 °C		Lubrication Oil				Wave Height		2.5 m					
Temp. Air Cooler Outlet No. 1		40.0 °C		Press. System Oil		4.3 bar		Rel. Wave Direction		45.0 deg					
Temp. Air Cooler Outlet No. 2		40.0 °C		Press. T.C Cooling Oil		5.6 bar		Swell: High-Mod.-Low		Mod					
Temp. Air Cooler Outlet (mean)		40.0 °C		Press. Cam Shaft Oil		2.6 bar		Current Speed		1.6 knots					
Exhaust Gas				Press. Crosshead Bearing Inlet		2.6 bar		Rel. Current direction		15.0 deg					
Press. Exhaust Gas Receiver		1.6 bar		Temp. TC Inlet No. 1		42.0 °C		Displacement		140854.0 mt					
Back Press. Turbine No. 1		20.0 mmWC		Temp. TC Inlet No. 2		42.0 °C		Engine's General Data							
Back Press. Turbine No. 2		20.0 mmWC		Temp. TC Inlet (mean)		42.0 °C		Torsion Meter		1469.1 kW					
Back Press. Turbine (mean)		20.0 mmWC		Temp. TC Outlet No. 1		62.0 °C		Torsion Meter BSFC		1560.1 gr/kWh					
Back Press. After Boiler		10.0 mmWC		Temp. TC Outlet No. 2		62.0 °C		Torsion Meter BSFC at ISO Fuel		1472.4 gr/kWh					
Press. Drop Across Boiler		15.0 mmWC		Temp. TC Outlet (mean)		62.0 °C		Ind. Power Press. Diagram		12046.5 kW					
Temp. Turbine Inlet No. 1		370.0 °C		Temp. Engine Inlet		45.0 °C		Brake Power Press. Diagram		11162.9 kW					
Temp. Turbine Inlet No. 2		360.0 °C		Temp. Cam Inlet		50.0 °C		Brake Power BSFC		205.3 gr/kWh					
Temp. Turbine Inlet (mean)		365.0 °C		Temp. Cam Outlet		56.0 °C		Brake Power BSFC at ISO Fuel		193.8 gr/kWh					
Temp. Turbine Outlet No. 1		240.0 °C		Temp. Thrust Bearing		56.0 °C		Torsion Meter Load in %		8.7					
Temp. Turbine Outlet No. 2		250.0 °C		Cylinder Lub. Oil Consumption		320.0 l/day		Press. Barometric Engine Room		1.02 bar					
Temp. Turbine Outlet (mean)		245.0 °C		Cylinder Specific Lub. Oil Consumption		8.53 gr/kWh		Temp. Engine Room		38.0 °C					
Cooling Water				Lubrication Oil Properties											
Press. Cylinder Inlet		3.6 bar		Brand		TALUSIA		Type		UNIVERSAL		Governor Index (Panel)		63.0	
Press. Air Cooler		3.1 bar		Cylinder Oil		ATLANTA MARUNE		D3005		Press. VIT Control		2.5 bar			
Temp. Cylinder Inlet		78.0 °C		Circulation Oil		ATLANTA MARUNE		D3005		Turbocharger					
Temp. Sea Water		22.0 °C		Turbo Oil		ATLANTA MARUNE		D3005		TC Speed No. 1		11374.0 rpm			
Temp. Air Cooler Inlet No. 1		37.0 °C								TC Speed No. 2		11335.0 rpm			
Temp. Air Cooler Inlet No. 2		37.0 °C								TC Speed (mean)		11354.5 rpm			
Temp. Air Cooler Inlet (mean)		37.0 °C								Aux. Blower On/Off		Off			
Temp. Air Cooler Outlet No. 1		50.0 °C													
Temp. Air Cooler Outlet No. 2		50.0 °C													
Temp. Air Cooler Outlet (mean)		50.0 °C													
Remarks:		No remarks to report!													

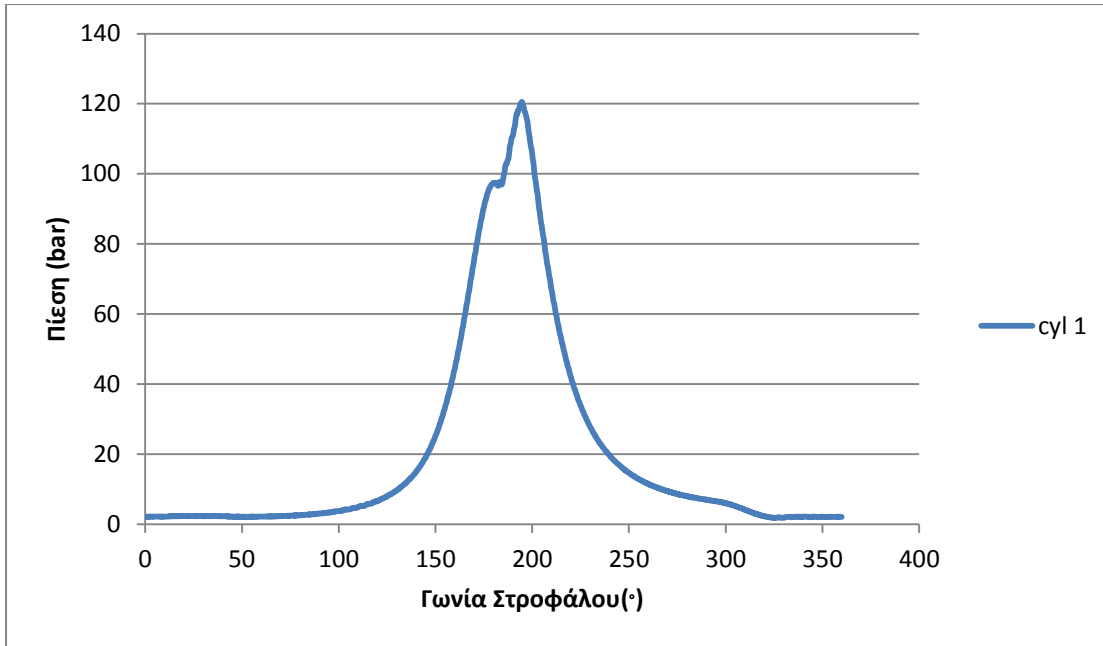
Πίνακας 6.2. Συνθήκες λειτουργίας με καύσιμο MGO.

Main Engine Performance Report				Engine Type:	S70MC-C	Name of Vessel:								
				Engine Builder:	HSD Engine Co. Ltd.	Chief Engineer's Name:								
				Layout kW:	16858	Hull No.:								
				Layout RPM:	91.0	Yard:	SAMSUNG HEAVY INDUSTRIES							
Voyage No.:		From:		To:		Class:	ABS							
Test Date	01/02/2017	Test Hour (hh:mm)	21:00	Test Duration [h]	0.0	Engine No.:	ML-1234							
				Governor Model/Type:	NABCO	MG-800								
				Licensee:	HSD									
Turbocharger(s) Specifications				Main Engine Specifications				Loading Condition:	Laden					
Number Of Turbochargers:				2.0		Number Of Cylinders:		6.0	Weather Condition:	Calm				
Maker:		STW - MAN B&W		Type:		NA57/T09 120		Bore [m]:		0.7				
Maximum RPM:		15000.0		Maximum Temp. [°C]:		620.0		Stroke [m]:		2.8				
Compressor Slip Factor:		0.7		Compressor Diam. [m]:		0.7		Cylinder Constant (kW/bar):		1.796				
Main Engine Power Calculations														
Cyl.	IMEP (Pi) [bar]	Ind. Power [kW]	Pmax [bar]	Pcomp [bar]	Pmax-Pcomp [bar]	Pexp [bar]	aPmax [deg]	Fuel Pump Index	VIT Index	Temp. Exhaust Gas Outlet [°C]	Temp. J.C.W Outlet [°C]	Temp. Piston Outlet Lub. Oil [°C]	Temp. Piston Underside [°C]	
1	13.4	1973.4	120.0	98.2	21.8	0.0	13.1	83.0	3.0	310.0	82.0	50.0	49.0	
2	13.5	1988.1	118.1	98.3	19.8	0.0	13.5	84.0	2.9	305.0	82.0	50.0	49.0	
3	14.3	2105.9	123.9	100.1	23.8	0.0	13.1	84.0	2.7	315.0	82.0	49.0	48.0	
4	13.8	2032.3	122.2	98.3	23.9	0.0	13.3	82.0	3.0	305.0	82.0	50.0	49.0	
5	12.8	1885.0	118.1	98.4	19.7	0.0	13.9	84.0	3.1	310.0	82.0	51.0	50.0	
6	13.3	1958.7	119.4	98.2	21.2	0.0	13.5	82.0	3.0	315.0	82.0	50.0	49.0	
Ave.	13.5	1990.6	120.3	98.6	21.7	0.0	13.4	83.2	3.0	310.0	82.0	50.0	49.0	
Scavenge Air				Fuel Oil				Vessel's General Data						
Press. Scavenge Receiver		1.8 bar		Fuel Oil Viscosity @ 50 °C		4.4 cSt		Speed Over Ground (GPS)		12.8 knots				
Press. Drop TC Filter No. 1		18.0 mmWC		Lower Heating Value		42.4 MJ/kg		Speed Through Water (STW)		14.0 knots				
Press. Drop TC Filter No. 2		20.0 mmWC		Density @ 15 °C		0.88 kg/L		Propeller Pitch		5.3 m				
Press. Drop TC Filter (mean)		19.0 mmWC		Fuel CCAI value		-		Engine speed 0 slip		14.2 knots				
Press. Drop Air Cooler No. 1		45.0 mmWC		Sulphur Content %		0.1		Slip % GPS speed		9.6				
Press. Drop Air Cooler No. 2		65.0 mmWC		Water Content %		0.0		Slip % STW speed		1.1				
Press. Drop Air Cooler (mean)		55.0 mmWC		Ash Content %		0.0		Draft Fore		15.5 m				
Temp. Scavenge Receiver		40.0 °C		Bunker Station		Algeciras		Draft Aft		15.5 m				
Temp. Blower Inlet No. 1		27.0 °C		BDN Reference Number		16110066300001.0		Draft (mean)		15.5 m				
Temp. Blower Inlet No. 2		27.0 °C		Booster Press. Fuel		10.0 bar		Trim		0.0 m				
Temp. Blower Inlet (mean)		27.0 °C		Temp. Fuel Oil Service Tank		45.0 °C		Wind Force		2.0 Beaufort				
Temp. Air Cooler Inlet No. 1		155.0 °C		Temp. Fuel Engine Inlet		23.0 °C		Rel. Wind Velocity		15.0 knots				
Temp. Air Cooler Inlet No. 2		155.0 °C		Fuel Consumption (mass)		2063.0 kg/hr		Rel. Wind Direction		15.0 deg				
Temp. Air Cooler Inlet (mean)		155.0 °C		Lubrication Oil				Wave Height		0.5 m				
Temp. Air Cooler Outlet No. 1		42.0 °C		Press. System Oil		4.3 bar		Rel. Wave Direction		15.0 deg				
Temp. Air Cooler Outlet No. 2		42.0 °C		Press. T.C Cooling Oil		5.6 bar		Swell: High-Mod.-Low		Low				
Temp. Air Cooler Outlet (mean)		42.0 °C		Press. Cam Shaft Oil		2.6 bar		Current Speed		0.2 knots				
				Press. Crosshead Bearing Inlet		2.6 bar		Rel. Current direction		180.0 deg				
Press. Exhaust Gas Receiver		1.6 bar		Temp. TC Inlet No. 1		42.0 °C		Displacement		136444.5 mt				
Back Press. Turbine No. 1		20.0 mmWC		Temp. TC Inlet No. 2		42.0 °C		Engine's General Data						
Back Press. Turbine No. 2		25.0 mmWC		Temp. TC Inlet (mean)		42.0 °C		Torsion Meter		1384.9 kW				
Back Press. Turbine (mean)		22.5 mmWC		Temp. TC Outlet No. 1		61.0 °C		Torsion Meter BSFC		1489.6 gr/kWh				
Back Press. After Boiler		15.0 mmWC		Temp. TC Outlet No. 2		61.0 °C		Torsion Meter BSFC at ISO Fuel		1478.1 gr/kWh				
Press. Drop Across Boiler		20.0 mmWC		Temp. TC Outlet (mean)		61.0 °C		Ind. Power Press. Diagram		11943.4 kW				
Temp. Turbine Inlet No. 1		370.0 °C		Temp. Engine Inlet		45.0 °C		Brake Power Press. Diagram		11059.8 kW				
Temp. Turbine Inlet No. 2		365.0 °C		Temp. Cam Inlet		50.0 °C		Brake Power BSFC		186.5 gr/kWh				
Temp. Turbine Inlet (mean)		367.5 °C		Temp. Cam Outlet		57.0 °C		Brake Power BSFC at ISO Fuel		185.1 gr/kWh				
Temp. Turbine Outlet No. 1		250.0 °C		Temp. Thrust Bearing		56.0 °C		Torsion Meter Load in %		8.2				
Temp. Turbine Outlet No. 2		245.0 °C		Cylinder Lub. Oil Consumption		340.0 l/day		Press. Barometric Engine Room		1.03 bar				
Temp. Turbine Outlet (mean)		247.5 °C		Cylinder Specific Lub. Oil Consumption		9.62 gr/kWh		Temp. Engine Room		26.0 °C				
Cooling Water				Lubrication Oil Properties				Turbocharger						
Press. Cylinder Inlet		3.6 bar		Brand		TALUSIA		Type		UNIVERSAL		Governor Index (Panel)		56.0
Press. Air Cooler		3.1 bar		Cylinder Oil		ATLANTA MARINE		D3005		Press. VIT Control		2.5 bar		
Temp. Cylinder Inlet		78.0 °C		Circulation Oil		ATLANTA MARINE		D3005		TC Speed No. 1		11143.0 rpm		
Temp. Sea Water		11.0 °C		Turbo Oil		ATLANTA MARINE		D3005		TC Speed No. 2		11157.0 rpm		
Temp. Air Cooler Inlet No. 1		37.0 °C								TC Speed (mean)		11150.0 rpm		
Temp. Air Cooler Inlet No. 2		37.0 °C								Aux. Blower On/Off		Off		
Temp. Air Cooler Inlet (mean)		37.0 °C												
Temp. Air Cooler Outlet No. 1		48.0 °C												
Temp. Air Cooler Outlet No. 2		48.0 °C												
Temp. Air Cooler Outlet (mean)		48.0 °C												
Remarks:				THE PERFORMANCE WAS TAKEN WITH ME ON MGO										

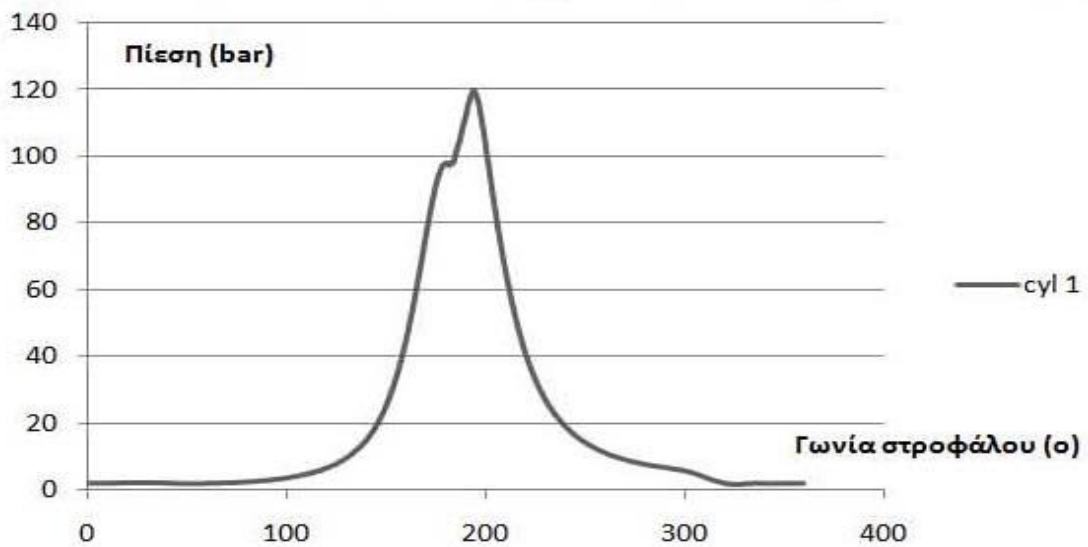
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα αποτυπωθούν μέσω γραφικών απεικονίσεων της πίεσης σε bar σε σχέση με τη γωνία στροφάλου σε μοίρες (δυναμοδεικτικά διαγράμματα), για καθέναν από τους 6 κυλίνδρους της μηχανής και για τις δύο περιπτώσεις καυσίμων (HFO και MGO).

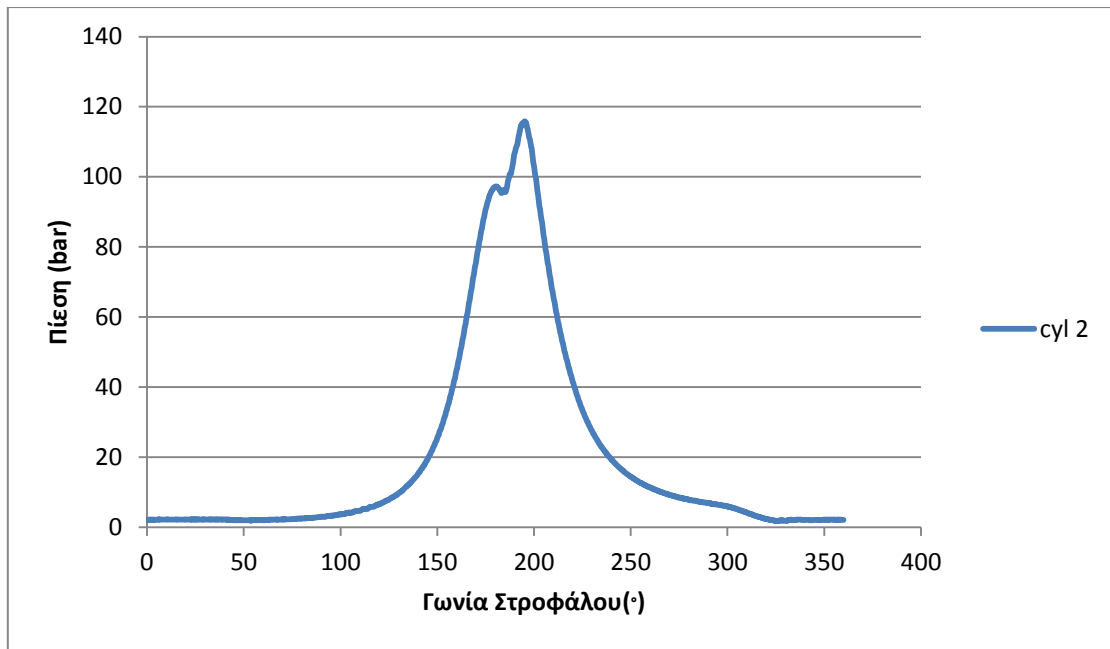
Οι προκύπτουσες γραφικές παραστάσεις για καθέναν από τους 6 κυλίνδρους της μηχανής είναι οι επόμενες:



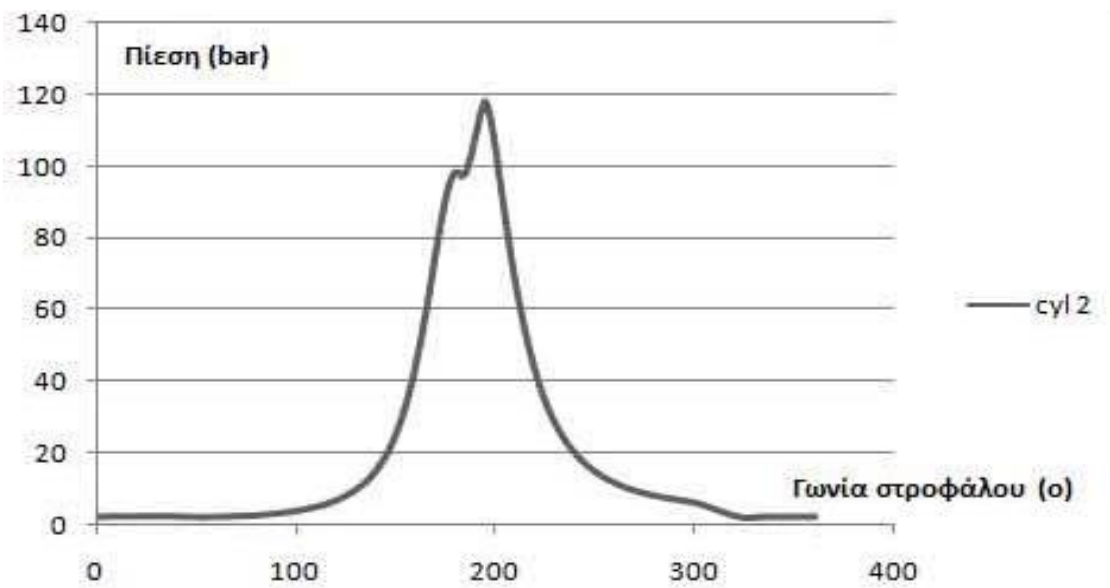
Σχήμα 6.1. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 1 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο ΗFO.



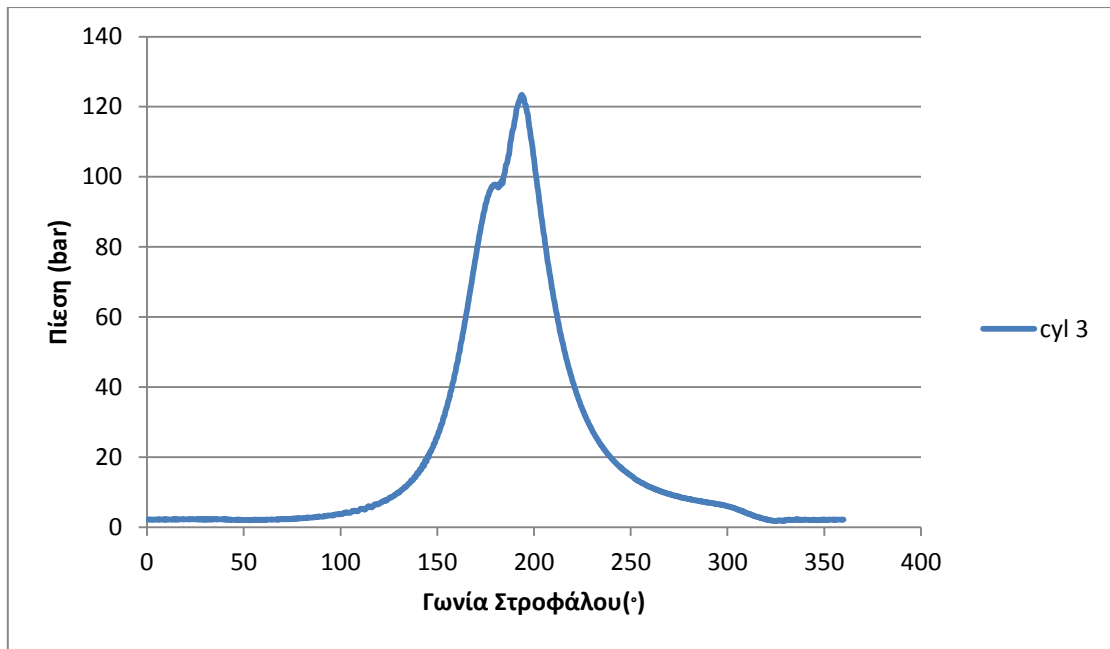
Σχήμα 6.2. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 1 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο MGO.



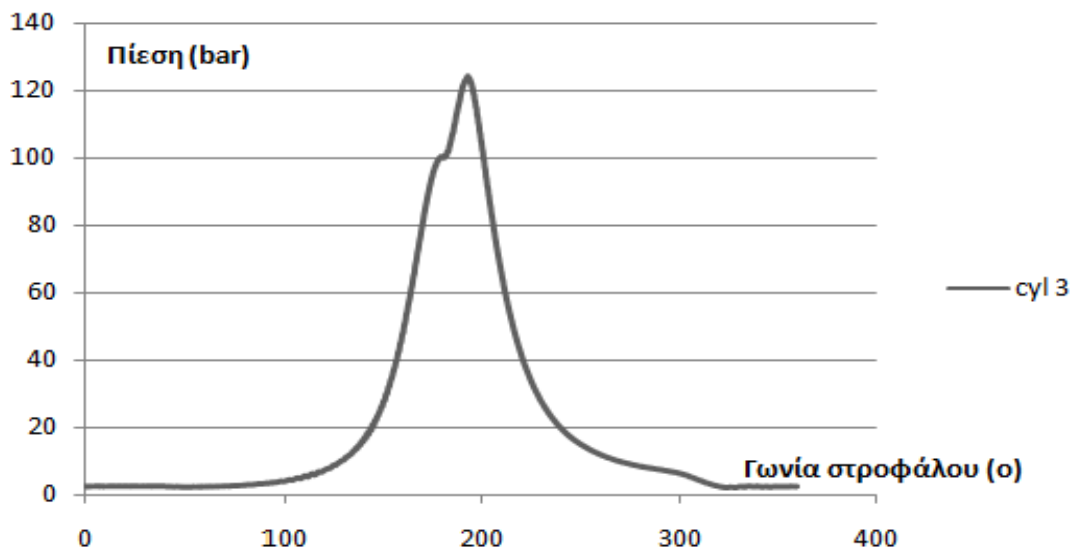
Σχήμα 6.3. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 2 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο ΗFO.



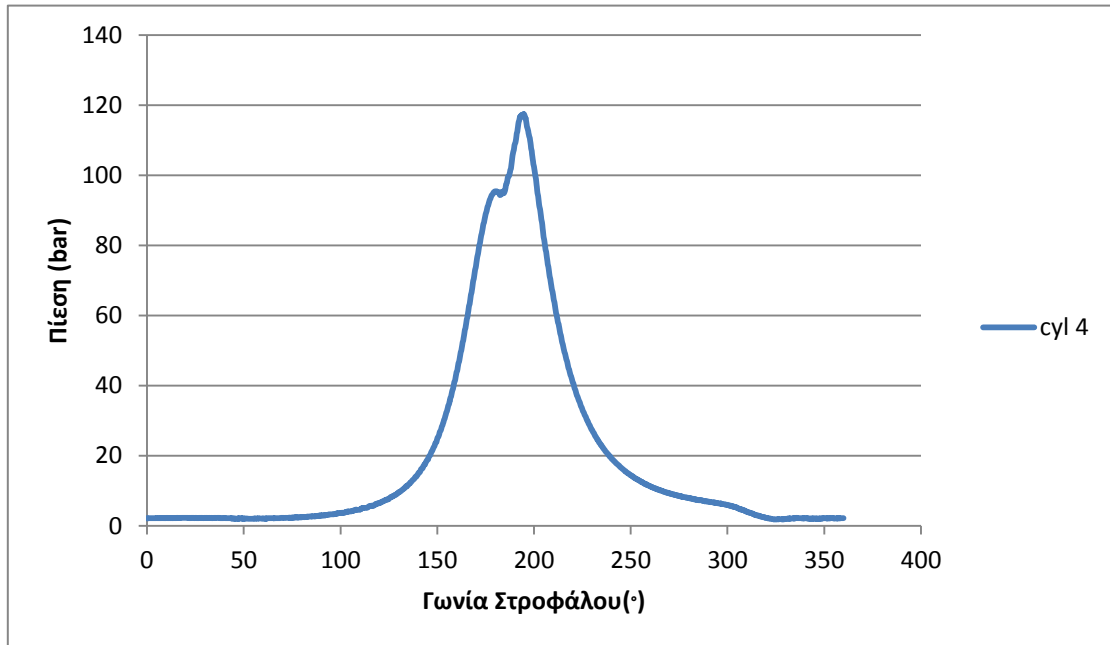
Σχήμα 6.4. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 2 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο MGO.



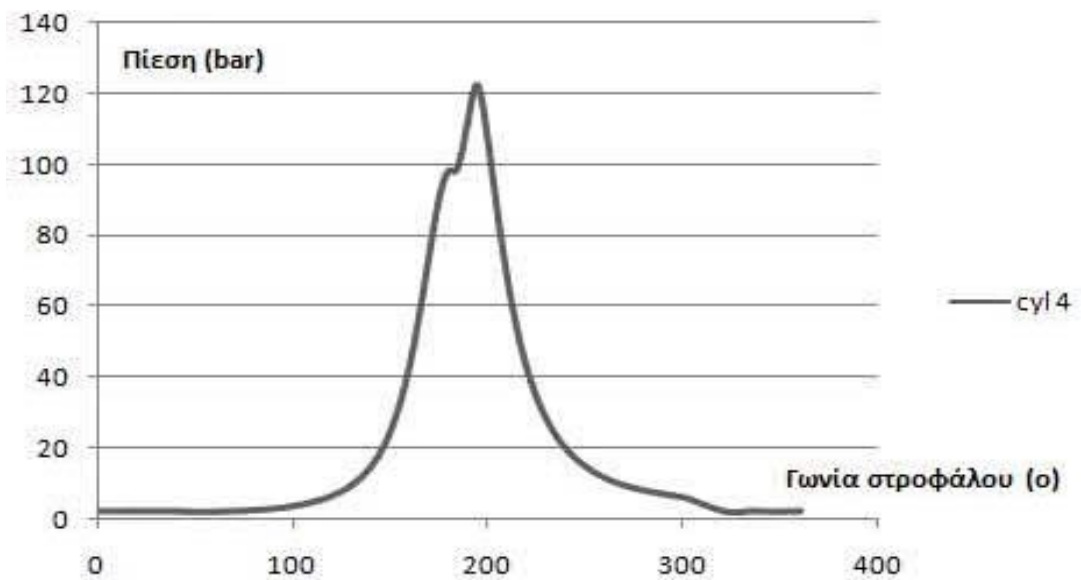
Σχήμα 6.5. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 3 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο ΗFO.



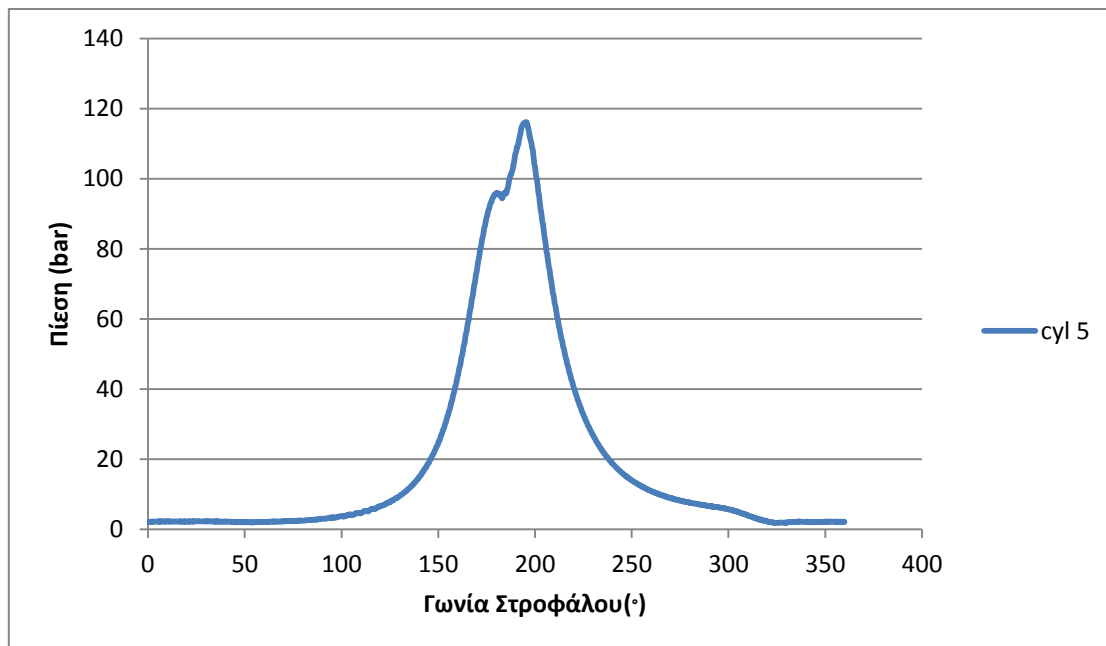
Σχήμα 6.6. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 3 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο MGO.



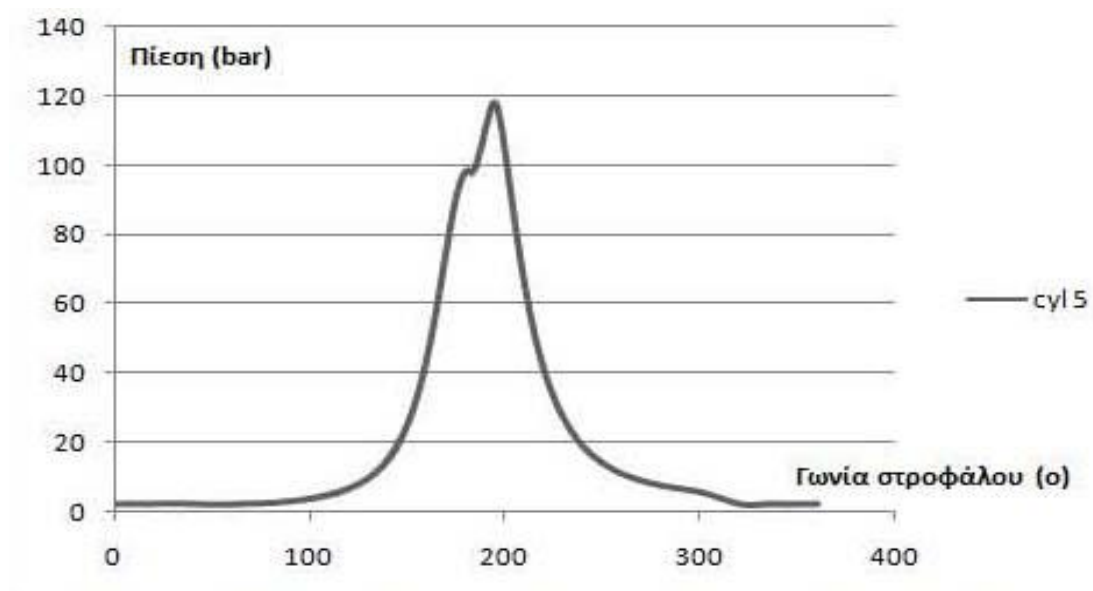
Σχήμα 6.7. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 4 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο ΗFO.



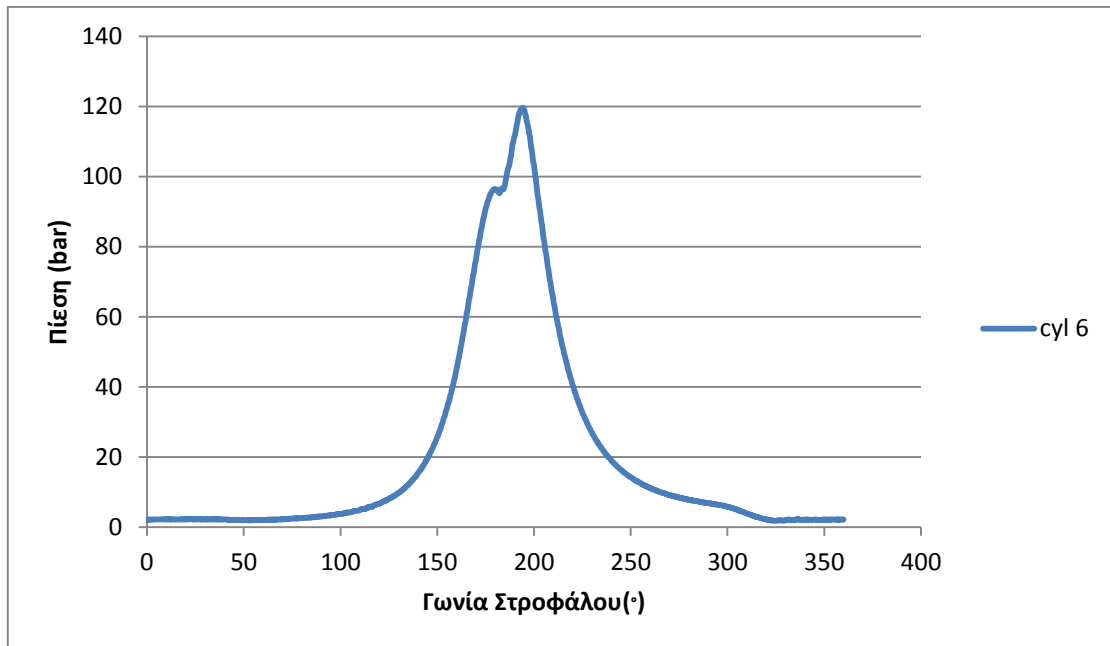
Σχήμα 6.8. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 4 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο MGO.



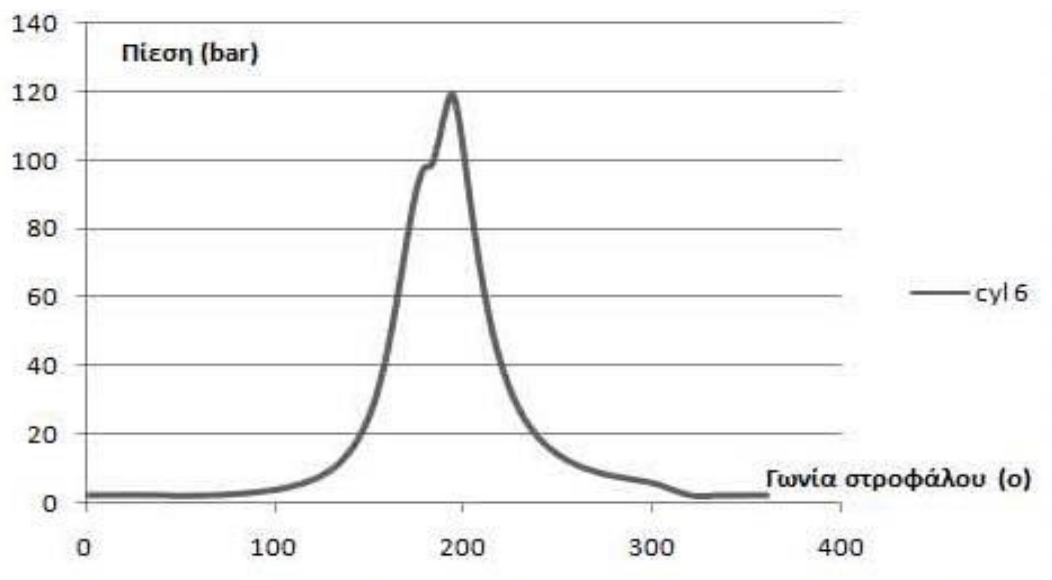
Σχήμα 6.9. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 5 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο ΗFO.



Σχήμα 6.10. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 5 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο MGO.



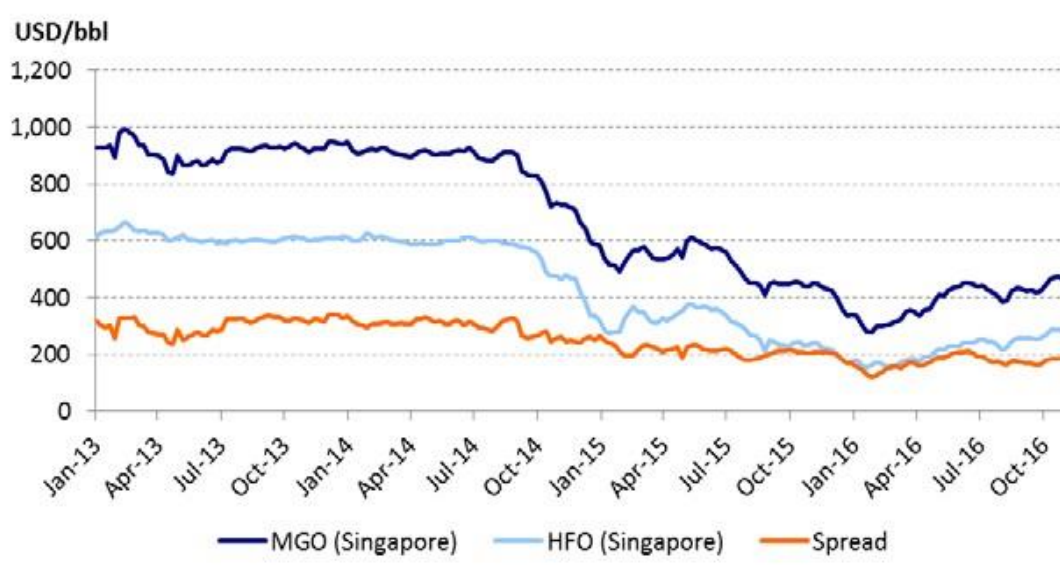
Σχήμα 6.11. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 6 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο ΗFO.



Σχήμα 6.12. Πίεση συναρτήσει της γωνίας στροφάλου στον κύλινδρο 6 της μηχανής αναφοράς για λειτουργία με καύσιμο MGO.

Από τη σύγκριση των γραφικών παραστάσεων για κάθε κύλινδρο της μηχανής με χρήση τόσο HFO όσο και MGO, εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι δεν λαμβάνουν χώρα αισθητές αυξομειώσεις όσον αφορά στη μεταβολή των συνθηκών πίεσης. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, μπορεί να καταδειχτεί ότι η αλλαγή του καυσίμου από HFO σε MGO στις συνθήκες που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, δεν επιφέρει επίπτωση άξια αναφοράς στις συνθήκες λειτουργίας της ναυτικής μηχανής αναφοράς σε σχέση με τη συνιστώσα της πίεσης.

Παρά το γεγονός ότι η χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο έχει κάποιες σημαντικές αδυναμίες όπως αυτές καταδείχτηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας, ενώ δεν επιφέρει καμιά μεταβολή στην αποδοτικότητα της μηχανής σε σχέση με τη συνιστώσα της πίεσης όπως καταδείχτηκε στο παρόν χωρίο της εργασίας, εισάγοντας και την οικονομική παράμετρο, το MGO κατά μέσο όρο εμφανίζεται ακριβότερο κατά περίπου 200 \$ / τόνο, σε σχέση με το HFO. Η διαφορά αυτή μπορεί να δικαιολογηθεί ως ένα βαθμό από το γεγονός ότι το MGO δεν αποτελεί ακόμα ώριμη τεχνολογία. Με βάση την προηγούμενα αναφερθείσα διαφορά τιμής, ενδεικτικά, το κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας καθαρισμού καυσαερίων σε ένα μεγάλο δεξαμενόπλοιο που καταναλώνει περίπου 70 τόνους πετρέλαιο / ημέρα, θεωρώντας λειτουργία 250 ημερών / έτος, θα αποσβεσθεί σε δύο περίπου έτη.



Σχήμα 6.13. Εξέλιξη διαφοράς τιμών καυσίμων HFO και MGO (Ship & Bunker, 2017).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η υιοθέτηση δράσεων αλλαγής καυσίμου από HFO σε MGO θα γίνεται όλο και πιο εκτεταμένη από την πλευρά των πλοιοκτητών, εξαιτίας της ροπής προς συνεχώς αυστηρότερη νομοθεσία και αύξηση των περιοχών ελέγχου των εκπομπών ρύπων με σκοπό τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από τις ναυτιλιακές δράσεις.

Το πρακτικό κομμάτι της εργασίας κατέδειξε ότι η αλλαγή του καυσίμου από HFO σε MGO στις συνθήκες που έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, δεν επέφερε καμία αξιοσημείωτη επίπτωση στις συνθήκες λειτουργίας της ναυτικής μηχανής σε σχέση με τη συνιστώσα της πίεσης.

Σε σχέση και με την οικονομική παράμετρο, το MGO εμφανίζεται σήμερα αρκετά ακριβότερο σε σχέση με το HFO, με τη διαφορά αυτή να αναμένεται να μειωθεί τα επόμενα χρόνια με την ωρίμανση της σύστοιχης με το καύσιμο MGO τεχνολογίας και της αύξησης της χρήσης αυτού στις ναυτιλιακές δραστηριότητες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ABS, (2015), Fuel Switching Advisory 2015, Χιούστον, ΗΠΑ, Διαθέσιμο στο <https://ww2.eagle.org/en.html>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 10/9/2017.

Agrawal, H., Malloy, Q. G. J., Welch, W. A., Miller, J. W. & Cocker, D. R., (2008), In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel, *Atmospheric Environment*, 42: 5504-5510.

California Air Resources Board, (2017), Διαθέσιμο στο <http://www.arb.ca.gov>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 1/9/2017.

CIMAC, (2013), *Guideline for the operation of marine engines on low sulphur diesel*, International Council on Combustion Engines.

Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007), Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environmental Science & Technology*, 41(24): 8512-8518.

Dixon, T., (2015), *Ship operations and management 2015*, Institute of Chartered Shipbrokers.

Hyundai, (2017), *Hyundai MIPO Dockyard Sketches*.

IMO, (2017), Διαθέσιμο στο <http://www.imo.org>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 29/8/2017.

Intertek Shipcare, (2017), Διαθέσιμο στο <http://www.intertek-shipcare.com>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 5/9/2017.

ISO 8217, (2017), Διαθέσιμο στο <http://www.iso.org>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 14/8/2017.

Karlicek, R., (2014), *Handbook of Advanced Lighting Technology*, Springer International Publishing.

Kokarakis, J. E., Kokarakis, E. J., & Apostolidis, A., (2014), Challenges Associated with the use of Low Sulphur Fuels, *SNAME*.

Kuiken, K., (2016), *Gas and Dual – Fuel Engines*, CRC Press.

MAN, (2017), *Marine Engines & Systems*.

MAN, (2016), Operation on Low – Sulphur fuels: MAN B&W Two - stroke engines. Διαθέσιμο στο <http://marine.man.eu/>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 4/9/2017.

Marine Insight, (2017), Διαθέσιμο στο <http://www.marineinsight.com>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 4/9/2017.

MARPOL 73/78, *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*, Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος.

Maritime and Coastguard Agency, (2010), *Marine Fuel Sulphur Record Book*, Stationary Office publications.

Meech, R., (2016), *Designation of the Mediterranean Sea as a SO_x Emission Control Area (SECA) under MARPOL Annex VI*, REMPEC.

Rao, M. N., (1988), *Air pollution*, McGraw – Hill education.

Rawson, K. J., & Tupper, E. C., (2001), *Basic Ship Theory*, 5th edition, Elsevier.

Seamanship International, (2013), *Marine fuels and emissions*, Witherby publications.

Ship & Bunker, (2017), Διαθέσιμο στο <http://www.shipandbunker.com>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 4/9/2017.

Vallero, D., (2014), *Fundamentals of air pollution*, 5th edition Academic Press.

Καραθανάσης, Σ., (2006), *Ατμοσφαιρική ρύπανση*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Κυρτάτος, Π. Ν., (1993), *Ναυτικοί κινητήρες diesel, Θέματα σχεδίασης και λειτουργίας*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Σταματόπουλος, Δ., (2008), *Καύσιμα ναυτιλίας*, Εκδόσεις Elssi Ε.Π.Ε.

Χαρλαύτη, Τ., (2005), *Ιστορία και ναυτιλία, 16^{ος} – 20^{ος} αιώνας*, Αθήνα: Εκδόσεις Αλεξάνδρεια.

Χουμανίδα, Θ. Λ., & Κωνσταντίνου, Ζ. Α., (1999), *Συνοπτική θεώρηση της εξέλιξης της ελληνικής εμπορικής ναυτιλίας από αρχαιοτάτων χρόνων μέχρι σήμερα*, Αθήνα: Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική