



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία»

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

**Ναυτιλιακά Πετρέλαια Χαμηλής Περιεκτικότητας σε Θείο (LSFO) -
Χρήση και Αντιμετώπιση Προβλημάτων**

Συγγραφέας:

**Ευστάθιος Μανίδης
Α.Μ.: 1809**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταματίνα Θεοχάρη, Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.
Αιγάλεω, Δεκέμβριος 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία»

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Τίτλος: Ναυτιλιακά Πετρέλαια Χαμηλής Περιεκτικότητας σε Θείο (LSFO) – Χρήση και Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Συγγραφέας

Ευστάθιος Μανίδης Α.Μ.: 1809

Επιβλέπουσα

Σταματίνα Θεοχάρη,
Καθηγήτρια ΠΑ.Δ.Α.

Ημερομηνία εξέτασης

Τρίτη, 19 Δεκεμβρίου 2023

Εξεταστική Επιτροπή

Θεοχάρη Σταματίνα

Καθηγήτρια
Πανεπιστημίου Δυτικής
Αττικής

Χατζηαποστόλου Αντώνιος

Καθηγητής
Πανεπιστημίου Δυτικής
Αττικής

Ιακωβίδης Ισίδωρος

Λέκτορας
Πανεπιστημίου Δυτικής
Αττικής

Δήλωση Συγγραφέα Μεταπτυχιακής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ευστάθιος Μανίδης του Αγγελή, με αριθμό μητρώου 1809 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένες Τεχνολογίες στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία» του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών της σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολο τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο δηλών



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Θεοχάρη Σταματίνα που με την άμεση και ουσιαστική καθοδήγηση της βοήθησε στην εκπόνηση και ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την στήριξη τους όλο αυτό το διάστημα.

Περίληψη

Η απαίτηση για χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων του θείου εφαρμόζεται από την 1^η Ιανουαρίου 2020 σε παγκόσμια κλίμακα και μάλιστα αυστηρά. Για το λόγο αυτό, οι ναυτιλιακές εταιρείες χρειάζεται είτε να εξασφαλίζουν ότι η περιεκτικότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούν σε θείο δεν υπερβαίνει τα προαναφερθέντα όρια, είτε να χρησιμοποιούν «ισοδύναμους» μηχανισμούς συμμόρφωσης. Δηλαδή, αντί να χρησιμοποιούν καύσιμα με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil, VLSFO) εκτός ECAs και πετρέλαια εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Ultra Low Sulphur Fuel Oil, ULSFO) εντός ECAs, οι πλοιοκτήτες μπορούν να επιλέξουν να στραφούν στο LNG ή να μειώσουν τις εκπομπές θείου με την τοποθέτηση συστημάτων απορρόφησης ή τεχνολογιών καθαρισμού των καυσαερίων (Scrubbers). Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τις διαδικασίες που αφορούν την αλλαγή Καυσίμου Πολύ Χαμηλής Περιεκτικότητας σε Θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil, VLSFO) που μπορεί να καταναλωθεί μετά την 01.01.2020 έως και σήμερα. Επιπλέον, στην εργασία γίνεται αναφορά στη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης, που πραγματοποιείται τόσο για τους ιδιοκτήτες όσο και για την εταιρεία που τροφοδοτεί το πετρέλαιο, ώστε να μπορούν όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς να διαθέτουν από ένα τουλάχιστον δείγμα του καυσίμου που παραδίδεται στο πλοίο. Παρουσιάζονται δε τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των δειγμάτων που αναλύονται, καθώς και περιπτώσεις όπου η ανάλυση περιλαμβάνει τιμές εκτός των επιτρεπόμενων ορίων. Όταν οι αναλύσεις επιβεβαιώνουν ότι το καύσιμο βρίσκεται εντός των επιτρεπόμενων ορίων, η χρήση του γίνεται κανονικά, όταν όμως κάποια ή κάποιες από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι εκτός ορίων, η ναυτιλιακή εταιρεία πρέπει να ενημερώσει άμεσα το πλήρωμα να μην συνεχίσει ή να σταματήσει την κατανάλωση αυτού. Τέλος, στην εργασία παρουσιάζονται περιπτώσεις και τρόποι με τους οποίους το πλήρωμα και η διαχειρίστρια εταιρεία διαχειρίστηκαν παρόμοια προβλήματα.

Λέξεις – Κλειδιά: Καύσιμα, Ανεφοδιασμός καυσίμου, IMO, Low Sulphur Fuel Oil (LSFO), Ανάλυση Καυσίμου, FOBAS

Abstract

The requirement for lower sulfur oxide emissions is already in place from 1 January 2020 worldwide. To comply with the new global sulfur limit, shipping companies need to either ensure that the sulfur content of the fuel they use does not exceed the aforementioned limits, or use "equivalent" compliance mechanisms. Instead of using Very Low Sulfur Fuel Oil (VLSFO) outside ECAs and Ultra Low Sulfur Fuel Oil (ULSFO) inside ECAs, shipowners can choose to switch to LNG or to reduce sulfur emissions by installing absorption systems or other exhaust gas cleaning technologies (Scrubbers). The present post graduate thesis presents information about the change of Very Low Sulfur Fuel Oil (VLSFO) that can be consumed after 01.01.2020 until today. In addition, information is also provided about sampling during the bunkering, which is carried out for both the owners and the company supplying the oil. The reason behind the sampling is so that all parties involved can have at least one sample of the fuel delivered to the ship. The most important characteristics of the marine fuels analyzed in this sampling are presented as well as cases where the analysis included values outside the limits. In cases where the analysis confirms that the fuel is within the permitted limits, its usage and consumption is carried out normally. However, in cases when one or some of the parameters mentioned above are outside the limits, the shipping company must immediately inform the crew not to proceed or to stop consumption. This paper concludes with case studies when fuel was out of specs and how it was managed by the crew and the management company.

Keywords: Marine Fuels, Refueling, IMO, Low Sulfur Fuel Oil (LSFO), Fuel Analysis, FOBAS

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	12
2. Ναυτιλιακά Καύσιμα.....	14
3. Νομοθετικό Πλαίσιο.....	20
3.1. Γενικό Πλαίσιο Κανονισμού Sulphur Cap 2020	20
3.2. Επιλογές Συμμόρφωσης Scrubbers	26
3.3. Επιλογές Συμμόρφωσης LSFO	28
4. Χρήση Καυσίμων Χαμηλής Περιεκτικότητας σε Θείο (Sulphur).....	33
4.1. Αντιμετώπιση Προβλημάτων κατά τη Χρήση των LSFO	41
4.2. Τρόποι Αντιμετώπισης Προβλημάτων.....	43
5. Αντιμετώπιση Προβλημάτων.....	53
5.1. Ανάμιξη Διαφορετικών Καυσίμων	55
5.2. Ανάμιξη καυσίμου στις δεξαμενές αποθήκευσης (Storage Tanks)	57
5.3. Ανάμιξη καυσίμου στις δεξαμενές καθίζησης (Settling Tanks).....	58
5.4. Καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο άνω του 0,50 %.....	58
6. Συμπεράσματα – Προτάσεις για την αποφυγή προβλημάτων.	61
7. Βιβλιογραφία	63

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ποσοστό αρωματικών, παραφινικών και ναφθενικών υδρογονανθράκων στη σύσταση του αργού πετρελαίου (Πηγή: Hakimi et al. <i>Petroleum Science and Technology</i> 37(3) DOI: 10.1080/10916466.2018.1542441)	15
Εικόνα 2. Διαδικασία διύλισης αργού πετρελαίου (Πηγή: U.S. Energy Information Administration: https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/refining-crude-oil-the-refining-process.php	16
Εικόνα 3. Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs). (Πηγή: <i>Emission Control Areas (ECAs) designated under MARPOL Annex VI, 2020</i>)	21
Εικόνα 4. Παγκόσμια όρια περιεκτικότητας ναυτικών καυσίμων σε θείο (Πηγή: https://safety4sea.com/eia-price-effects-from-sulphur-cap-to-diminish-over-time/)	22
Εικόνα 5. Χρονολόγιο Κανονισμών - Περιορισμοί εκπομπών θείου από τον IMO (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)	24
Εικόνα 6. Διάταξη Scrubber (Πηγή: https://www.marineinsight.com/tech/scrubber-system-on-ship/). 27	
Εικόνα 7. Σύστημα εφοδιασμού Κύριας Μηχανής (Πηγή: https://www.marineengineersknowledge.com/2022/02/main-engine-starting-problems-on-ship.html). 34	
Εικόνα 8. Διάγραμμα Ροής Καυσίμων (Πηγή: Tien Anh Tran Tien Anh Tran, 2020)	36
Εικόνα 9. Blackout σε πλοίο (Πηγή https://www.marineinsight.com/guidelines/blackout-situation-on-a-ship-what-are-the-first-steps-that-should-be-taken/)	39
Εικόνα 10. Ύδατα με αυξημένη κίνηση (Πηγή: https://www.marinetraffic.com/blog/port-congestion-explained/)	40
Εικόνα 11. Σύστημα Πετρελαίου (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο).....	44
Εικόνα 12. Σύστημα Πετρελαίου συμπληρωματική όψη (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)	46
Εικόνα 13. Εναλλάκτης Θερμότητας (Προσωπικό Αρχείο)	47
Εικόνα 14. Τομή Εναλλάκτη Θερμότητας (Πηγή: https://www.linkedin.com/pulse/passes-shell-tube-heat-exchanger-)	47
Εικόνα 15. Fuel Oil Purifier (Πηγή: https://www.youtube.com/watch?v=JjagsQUnH8k)	49
Εικόνα 16. Σύστημα Πετρελαίου (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο).....	50
Εικόνα 17. Αυτόματο Φίλτρο (Πηγή : https://www.youtube.com/watch?v=rνOyZy1UVQg)	52
Εικόνα 18. Αποτελέσματα ανάλυσης ποιότητας πετρελαίου (Πηγή : Προσωπικό Αρχείο)	57
Εικόνα 19. Αποτελέσματα ανάλυσης ποιότητας πετρελαίου (Πηγή : Προσωπικό Αρχείο)	60

Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Πρότυπο ISO 8217 2017 για τα καύσιμα δύλσης.....</i>	<i>18</i>
<i>Πίνακας 2 Πρότυπο ISO 8217 για τα υπολλειματικά καύσιμα.....</i>	<i>19</i>
<i>Πίνακας 3. Αποτελέσματα Μελέτης FOBAS Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.....</i>	<i>54</i>

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η πολιτική, που ακολουθείται στις παγκόσμιες θαλάσσιες μεταφορές, προκαλεί μεγάλη ανησυχία σχετικά με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί πληθαίνουν όλο και περισσότερο κι αυτό επηρεάζει τη δυναμική της ναυτιλιακής αγοράς. Η έναρξη ισχύος πολλών περιβαλλοντικών κανονισμών αλλά και εθελοντικών προτύπων που υιοθετήθηκαν από το 2003 παγκοσμίως, έχουν επηρεάσει σημαντικά τις θαλάσσιες μεταφορές. Επιπλέον, οι αλλαγές αυτές έχουν αντίκτυπο στη ναυπηγική βιομηχανία και τα ναυπηγεία γενικότερα, καθώς αυτά είναι αρμόδια για την ενσωμάτωση των νέων προτύπων στο σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων. Ως εκ τούτου, η πίεση στη βιομηχανία για την ανάπτυξη καθαρότερων λύσεων και ενεργειακά αποδοτικότερων σκαφών αυξάνεται σημαντικά. Μεταξύ των προτεινόμενων λύσεων περιλαμβάνονται προτάσεις για εναλλακτικά καύσιμα, για επενδύσεις στην ανάπτυξη καλύτερης υδροδυναμικής και για ενεργειακά αποδοτικότερους κινητήρες.

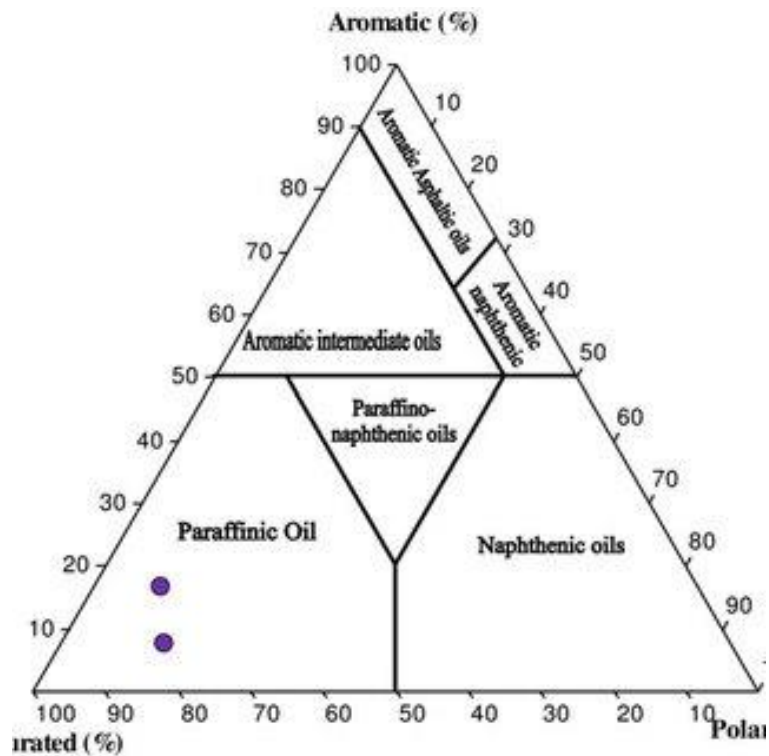
Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, τα κέντρα αποφάσεων και άλλοι ενδιαφερόμενοι φορείς που σχετίζονται με τις θαλάσσιες μεταφορές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους γύρω από την «πράσινη ναυτιλία». Ο όρος «πράσινη ναυτιλία» (green maritime logistics) αναφέρεται στην επίτευξη αποδεκτών περιβαλλοντικών επιδόσεων των θαλασσίων μεταφορών και της εφοδιαστικής αλυσίδας τηρώντας παράλληλα τα παραδοσιακά οικονομικά κριτήρια (Psaraftis, 2016). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ή περισσότερες από τις ακόλουθες επιλογές: καινοτόμες τεχνολογίες, χρήση εναλλακτικών καυσίμων, επανασχεδιασμός της λειτουργίας των πλοίων και της διασύνδεσής τους με τους λιμένες, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η βιώσιμη λειτουργία των θαλασσίων μεταφορών. Το ενδιαφέρον αυτό είναι απόρροια κυρίως του νομοθετικού και κανονιστικού πλαισίου, που διέπει τις θαλάσσιες μεταφορές και δευτερευόντως παραγόντων, που επηρεάζουν την αγορά, όπως η τιμή του καυσίμου, οι τιμές των ναύλων και το ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης της μεταφορικής ικανότητας.

Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια, έχουν τεθεί σταδιακά σε ισχύ κανονισμοί για τη ναυτιλία με στόχο τη μείωση των αέριων εκπομπών και πιο συγκεκριμένα τη μείωση των οξειδίων του θείου SO_x, των οξειδίων του αζώτου NO_x, ενώ αναμένεται να ληφθούν μέτρα και για τη μείωση των αερίων που σχετίζονται με την κλιματική

αλλαγή, με κυριότερο στόχο τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα, CO₂. Σύμφωνα με μελέτες (2nd IMO Greenhous gas Study, 2009) η ναυτιλία αποτελεί οικονομική, αξιόπιστη και περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική μεταφοράς προϊόντων και αγαθών σε παγκόσμια κλίμακα. Επομένως, με δεδομένο τις οικονομίες κλίμακας που προσφέρουν οι θαλάσσιες μεταφορές, η διαπίστωση ότι τα πλοία αποτελούν οικονομικά και περιβαλλοντικά τον βέλτιστο τρόπο μεταφοράς αγαθών και προϊόντων παγκοσμίως δεν είναι υπερβολή.

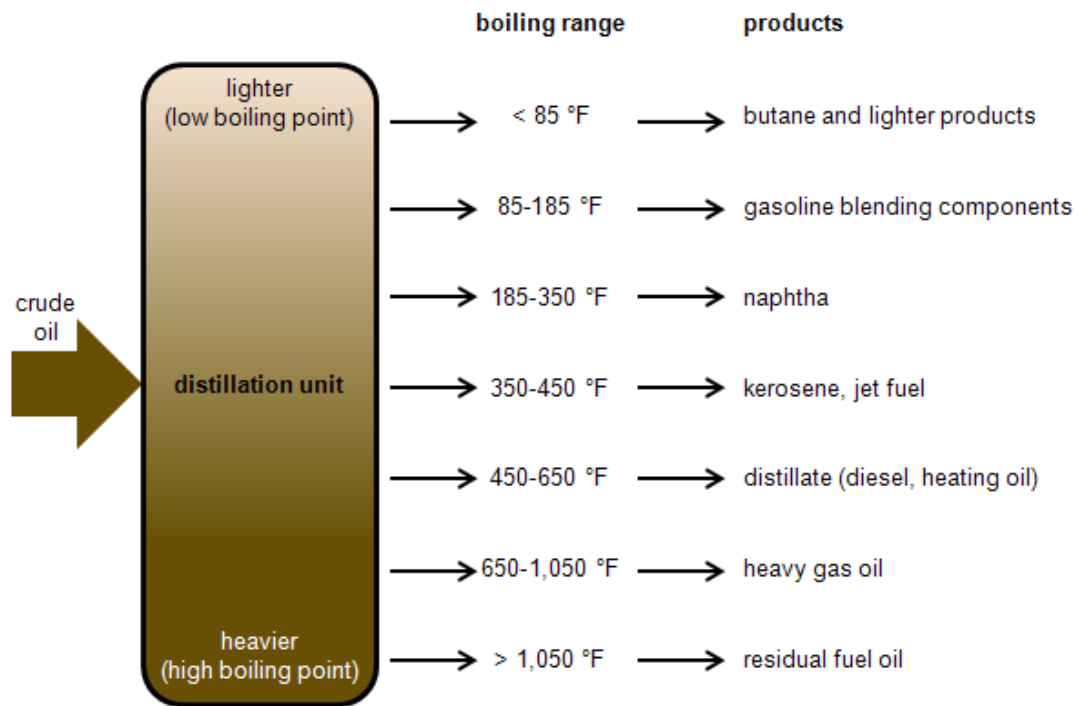
2. Ναυτιλιακά Καύσιμα

Η γενικά αποδεκτή θεωρία που αφορά στο σχηματισμό του αργού πετρελαίου αναφέρει ότι προέρχεται από την αποσύνθεση φυτικών και ζωικών οργανισμών (Hyne, 2001). Σύμφωνα με αυτή, υπολείμματα οργανισμών εγκλωβίστηκαν στο βυθό της θάλασσας σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές, αναμείχθηκαν με άμμο και λάσπη και άρχισαν να δημιουργούν διαδοχικά, πλούσια σε οργανική ύλη, στρώματα. Η άμμος και η λάσπη, στη συνέχεια, μετατράπηκαν σε ιζηματογενή πετρώματα και τα οργανικά υπολείμματα, με την επίδραση της πίεσης και της θερμότητας, μετατράπηκαν σε μείγμα υδρογονανθράκων, συστατικών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Τα καύσιμα που κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά και ζήτηση, είναι αυτά τα οποία προέρχονται από το αργό πετρέλαιο και την ειδική επεξεργασία του, τη διύλιση. Το αργό πετρέλαιο, όπως λαμβάνεται κατά την εξόρυξή του από υπόγεια κοιτάσματα, είναι ένα πολύπλοκο και ετερογενές μείγμα αέριων, υγρών και στερεών υδρογονανθράκων. Οι κυριότερες οργανικές ενώσεις του αργού πετρελαίου είναι οι παραφινικοί, ναφθενικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Εικόνα 1). Επιπλέον, στο αργό πετρέλαιο περιέχονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις θείο (0-5 %), άζωτο (0-1 %), οξυγόνο (0-2 %), και μέταλλα (0-0.1 %), κυρίως σίδηρος, νικέλιο, χρώμιο και βανάδιο. Το αργό πετρέλαιο περιέχει επίσης νερό και άλλα αέρια στοιχεία, τα οποία αμέσως μετά την εξόρυξη απομακρύνονται με κατάλληλες μεθόδους (Vermeire, 2012). Η σύνθεση του πετρελαίου μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την πηγή του. Ακόμα και από εξορύξεις στην ίδια γεωγραφική περιοχή μπορεί να προκύψει ακατέργαστο πετρέλαιο με διαφορές στη σύστασή του, λόγω των διαφορετικών στρωμάτων σχηματισμού του.



Εικόνα 1. Ποσοστό αρωματικών, παραφινικών και ναφθενικών υδρογονανθράκων στη σύσταση του αργού πετρελαίου (Πηγή: Hakimi et al. *Petroleum Science and Technology* 37(3) DOI: [10.1080/10916466.2018.1542441](https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1542441))

Η ποιότητα του ακατέργαστου πετρελαίου επηρεάζεται από την αναλογία σε αρωματικούς, παραφινικούς και ναφθενικούς υδρογονάνθρακες που περιέχονται σε αυτό. Συμπληρωματικά η ποιότητά του είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του πετρελαίου σε θείο. Αυτό γίνεται αντιληπτό ειδικά όταν η συγκεκριμένη ουσία (θείο) είναι εγκλωβισμένη εντός του αρωματικού μέρους, γεγονός που καθιστά πολύ πιο δύσκολη την αφαίρεσή του και την παραγωγή πετρελαίου ανώτερων προδιαγραφών. Την εξόρυξη, εν συνεχεία, ακολουθεί μια σειρά από διεργασίες, οι οποίες είναι γνωστές ως «δύλιση του πετρελαίου» (Εικόνα 2). Η δύλιση περιλαμβάνει το φυσικό διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε διάφορα κλάσματα ανάλογα με το σημείο ζέσεως τους, και ακολουθούν χημικές διεργασίες για την παραγωγή καυσίμων ή άλλων παραγώγων πετρελαίου, καθώς και διεργασίες εξευγενισμού για την παραλαβή του τελικού, εμπορικού προϊόντος που διατίθεται προς κατανάλωση.



Εικόνα 2. Διαδικασία διύλισης αργού πετρελαίου (Πηγή: U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/refining-crude-oil-the-refining-process.php>)

Σε ό,τι αφορά τα ναυτιλιακά καύσιμα, αυτά είναι κλάσματα πετρελαίου που προέρχονται από την απόσταξη του και διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες: το ναυτιλιακό diesel και το ναυτιλιακό μαζούτ. Η πρώτη κατηγορία, ή αλλιώς τα ελαφρά καύσιμα ή καύσιμα απόσταξης (distillate), αποτελούνται από κλάσματα αργού πετρελαίου που διαχωρίζονται σε διωλιστήριο μέσω της διαδικασίας απόσταξης. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217: 2017, ως distillate καύσιμα χαρακτηρίζονται τα: DMX, DMA, DMZ, DMB, DFA, DFZ και DFB. Η δεύτερη κατηγορία, που αλλιώς αποκαλείται και υπολειμματικό καύσιμο (residual & heavy gas oil), είναι το βαρύτερο προϊόν, αποτελεί το υπόλειμμα της αποστάξεως και περιλαμβάνει τους ακόλουθους βαθμούς: RMA, RMB, RMD, RME, RMG και RMK. Οι δύο αυτές κατηγορίες καυσίμων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις φυσικές ιδιότητές τους και τον τρόπο χρήσης τους. Ωστόσο, είτε για λειτουργικούς είτε για οικονομικούς λόγους, στις προωστήριες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών είτε εναλλάξ, είτε σε μείγματα. (Dekkers, 2019). Το LNG (Liquefied Natural Gas) επίσης, χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο πλοίων. Θεωρείται το θαλάσσιο καύσιμο του μέλλοντος και ένα μέσο για την επίτευξη της συμμόρφωσης σε αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Το αποτύπωμα άνθρακα αυτού του καυσίμου και οι εκπομπές ενώσεων θείου και αζώτου είναι σημαντικά βελτιωμένες σε

σχέση με εκείνες των καυσίμων με βάση το αργό πετρέλαιο. Δεδομένου ότι τα επιτρεπτά όρια εκπομπών τόσο των οξειδίων του αζώτου (NO_x) όσο και του διοξειδίου του θείου (SO₂) θα βαίνουν μειούμενα, οι ειδικοί αναμένουν ότι στα επόμενα χρόνια το φυσικό αέριο LNG θα αποτελεί όλο και περισσότερο προτιμητέα εναλλακτική λύση. Ωστόσο, δεν υπάρχει μέχρι σήμερα διεθνώς κάποια κοινά αποδεκτή πρακτική, ούτε και επιβεβλημένοι κανόνες που να ορίζουν την χρήση και την αποθήκευσή του. Ταυτόχρονα σε διάφορες επιτροπές και οργανώσεις, όπως αυτές του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), εργάζονται ώστε να αναπτύξουν παγκόσμια πρότυπα. Σε μια ναυτιλιακή εταιρεία, τα ναυτιλιακά καύσιμα αποτελούν ευθύνη του τμήματος της προμήθειας καυσίμων, που μπορεί να υπάγεται στο τμήμα επιχειρήσεων (operation department) ή να είναι ανεξάρτητο τμήμα. Τέλος, σημειώνεται ότι τα καύσιμα πρέπει να ικανοποιούν τις προδιαγραφές που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα και κυρίως το ISO 8217, όπως καταγράφονται αναλυτικά στους ακόλουθους Πίνακες (Πίνακες 1 και 2):

Πίνακας 1. Πρότυπο ISO 8217 2017 για τα ελαφρά καύσιμα δύλσης (Πηγή: ISO 8217 2010 FUEL STANDARD Προσωπικό Αρχείο)

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-							Test method(s) and references
			DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB	DFB	
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s ^a	Max	5,500	6,000		6,000		11,00		ISO 3104
		Min	1,400	2,000		3,000		2,000		
Density at 15 °C	kg/m ³	Max	-	890,0		890,0		900,0		ISO 3675 or ISO 12185; see 6.1
Cetane index	-	Min	45	40		40		35		ISO 4264
Sulfur ^b	mass %	Max	1,00	1,00		1,00		1,50		ISO 8754 or ISO 14596, ASTM D4294; see 6.3
Flash point	°C	Min	43,0	60,0		60,0		60,0		ISO 2719; see 6.4
Hydrogen sulfide	mg/kg	Max	2,00	2,00		2,00		2,00		IP 570; see 6.5
Acid number	mg KOH/g	Max	0,5	0,5		0,5		0,5		ASTM D664; see 6.6
Total sediment by hot filtration	mass %	Max	-	-		-		0,10 ^c		ISO 10307-1; see 6.8
Oxidation stability	g/m ³	Max	25	25		25		25 ^d		ISO 12205
Fatty acid methyl ester (FAME) ^e	volume %	Max	-	7,0		7,0		-	7,0	ASTM D7963 or IP 579; see 6.10
Carbon residue – Micro method on the 10 % volume distillation residue	mass %	Max	0,30	0,30		0,30		-		ISO 10370
Carbon residue – Micro method	mass %	Max	-	-		-		0,30		ISO 10370
Cloud point ^f	winter	Max	-16	report		report		-		ISO 3015; see 6.11
	summer	Max	-16	-		-		-		
Cold filter plugging point ^f	winter	Max	-	report		report		-		IP 309 or IP 612; see 6.11
	summer	Max	-	-		-		-		
Pour point (upper) ^f	winter	Max	-	-6		-6		0		ISO 3016; see 6.11
	summer	Max	-	0		0		6		
Appearance			Clear and Bright ^g							see 6.12
Water	volume %	Max	-	-		-		0,30 ^e		ISO 3733
Ash	mass %	Max	0,010	0,010		0,010		0,010		ISO 6245
Lubricity, corrected wear scar diameter (WSD) at 60 °C ^h	µm	Max	520	520		520		520 ^d		ISO 12156-1

Πίνακας 2. Πρότυπο ISO 8217 για τα υπολλειματικά καύσιμα (Πηγή: ISO 8217 2010 FUEL STANDARD, Προσωπικό Αρχείο)

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-												Test method reference	
			RMA		RMB		RMD		RME		RMG		RMK			
			10	30	80	180	380	500	700	380	500	700	380	500		700
Kinematic viscosity at 50 °C	mm ² /s ^a	Max	10,00	30,00	80,00	180,0	380,0	500,0	700,0	380,0	500,0	700,0	380,0	500,0	700,0	ISO 3104
Density at 15 °C	kg/m ³	Max	920,0	960,0	975,0	991,0	991,0	991,0	991,0	991,0	991,0	991,0	991,0	991,0	991,0	ISO 3675 or ISO 12185; see 6.1
CCAI	-	Max	850	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	see 6.2
Sulfur ^b	mass %	Max	Statutory requirements												ISO 8754 or ISO 14595 or ASTM D4294; see 6.3	
Flash point	°C	Min	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	ISO 2719; see 6.4
Hydrogen sulfide	mg/kg	Max	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	IP 570; see 6.5
Acid number ^c	mg KOH/g	Max	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	ASTM D664; see 6.6
Total sediment – Aged	mass %	Max	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	ISO 10307-2; see 6.9
Carbon residue – Micro method	mass %	Max	2,50	10,00	14,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	ISO 10370
Pour point (upper) ^d	winter	Max	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	ISO 3016
	summer	Max	6	6	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	ISO 3016
Water	volume %	Max	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	ISO 3733
Ash	mass %	Max	0,040	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,100	0,150	ISO 6245
Vanadium	mg/kg	Max	50	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	350	450	IP 501, IP 470 or ISO 14597; see 6.14
Sodium	mg/kg	Max	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	IP 501, IP 470; see 6.15
Aluminium plus silicon	mg/kg	Max	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	60	IP 501, IP 470 or ISO 10478; see 6.16
Used lubricating oil (ULO):	mg/kg	-	Calcium > 30 and zinc > 15 or Calcium > 30 and phosphorus > 15												IP 501 or IP 470, IP 500; see 6.17	

3. Νομοθετικό Πλαίσιο

3.1. Γενικό Πλαίσιο Κανονισμού Sulphur Cap 2020

Η πιο πρόσφατη απόφαση του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού να μειώσει παγκοσμίως το όριο θείου στα καύσιμα πλοίων επηρεάζει περισσότερα από 70.000 πλοία και έχει τεθεί σε ισχύ από την 1^η Ιανουαρίου 2020. Σύμφωνα με το τελευταίο αναθεωρημένο MARPOL παράρτημα VI του IMO, ισχύουν τα εξής:

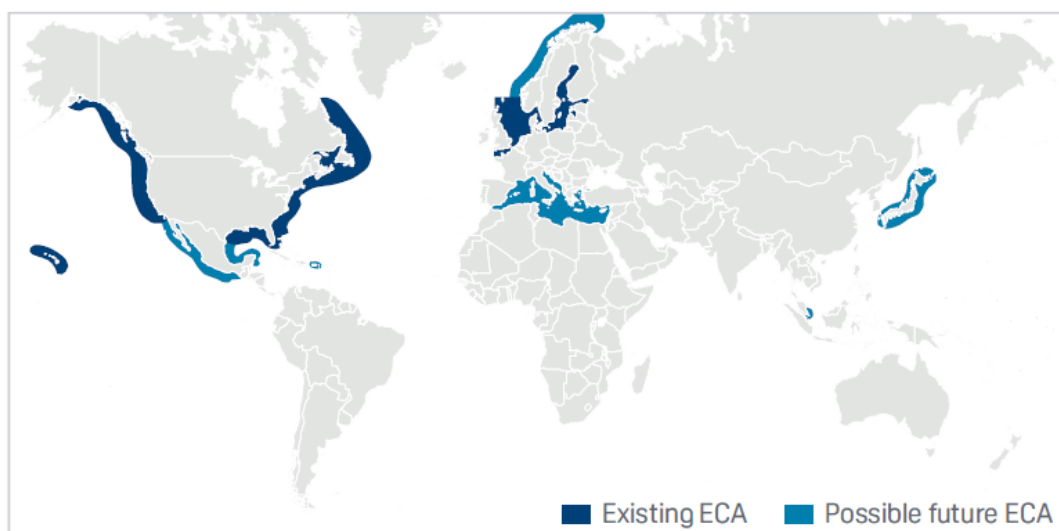
- Από το 2015, τα πλοία που πλέουν στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECA) δεν μπορούν να χρησιμοποιούν πετρέλαιο εσωτερικής καύσης με σύσταση πάνω από 0,1% περιεκτικότητα θείου. Οι Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECA) ή Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Θείου (SECAs) είναι θαλάσσιες περιοχές στις οποίες θεσπίστηκαν αυστηρότεροι έλεγχοι για την ελαχιστοποίηση των αέριων εκπομπών από πλοία, όπως ορίζονται στο Παράρτημα VI του Πρωτοκόλλου MARPOL του 1997. Οι εκπομπές περιλαμβάνουν συγκεκριμένα αέρια, όπως SO_x, NO_x, ODSs (Ozone Depleting Substances, και VOCs (Volatile Organic Compounds. Ως ODSs ορίζονται τα αέρια που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και επηρεάζουν τη στιβάδα του όζοντος και ως VOCs ορίζονται οι παραγόμενες ενώσεις που έχουν πτητικές ιδιότητες και συνήθως παράγονται από τη βιομηχανία χρωμάτων, φαρμακευτικών ή ψυκτικών προϊόντων) σύμφωνα με τους κανονισμούς που τέθηκαν σε ισχύ το Μάιο του 2005. Το παράρτημα VI περιέχει διατάξεις για δύο σειρές απαιτήσεων που αναφέρονται στις εκπομπές και την ποιότητα καυσίμων σχετικά με SO_x και PM (Particulate Matter, PM) ή NO_x, που αποτελεί μια παγκόσμια απαίτηση και προϋποθέτει πιο αυστηρούς ελέγχους σε ειδικές περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECA). Οι κανονισμοί απορρέουν από ανησυχίες για «τοπική και παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση και περιβαλλοντικά προβλήματα» όσον αφορά τη συμβολή της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Τον Ιούλιο του 2010, επιβλήθηκε ένα αναθεωρημένο πιο αυστηρό Παράρτημα VI στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών με σημαντικά μειωμένα όρια εκπομπών.

Από το 2011 τέσσερις περιοχές είχαν χαρακτηριστεί ως περιοχές ECA (Εικόνα 3): η Βαλτική Θάλασσα, η Βόρεια Θάλασσα, η ECA της Βόρειας Αμερικής, συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων ακτών των ΗΠΑ, των ακτών του Καναδά και της Καραϊβικής. Επίσης, άλλες περιοχές προβλέπεται ότι μπορούν να προστεθούν αργότερα στο πρωτόκολλο που ορίζεται στο παράρτημα VI. Οι περιοχές ECAs με

οριακές τιμές οξειδίων του αζώτου συμβολίζονται ως Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Οξειδίων του Αζώτου (NECAs).

Από το 2020, τα πλοία που πλέουν εκτός των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) δεν μπορούν να χρησιμοποιούν πετρέλαιο εσωτερικής καύσης με σύσταση πάνω από 0,5% θείου στο καύσιμο. Στη περίπτωση που υπάρχει εγκατεστημένη διάταξη συστήματος καθαρισμού καυσαερίων (Scrubber), η χρήση καυσίμου 3,5 % σε θείο είναι εφικτή.

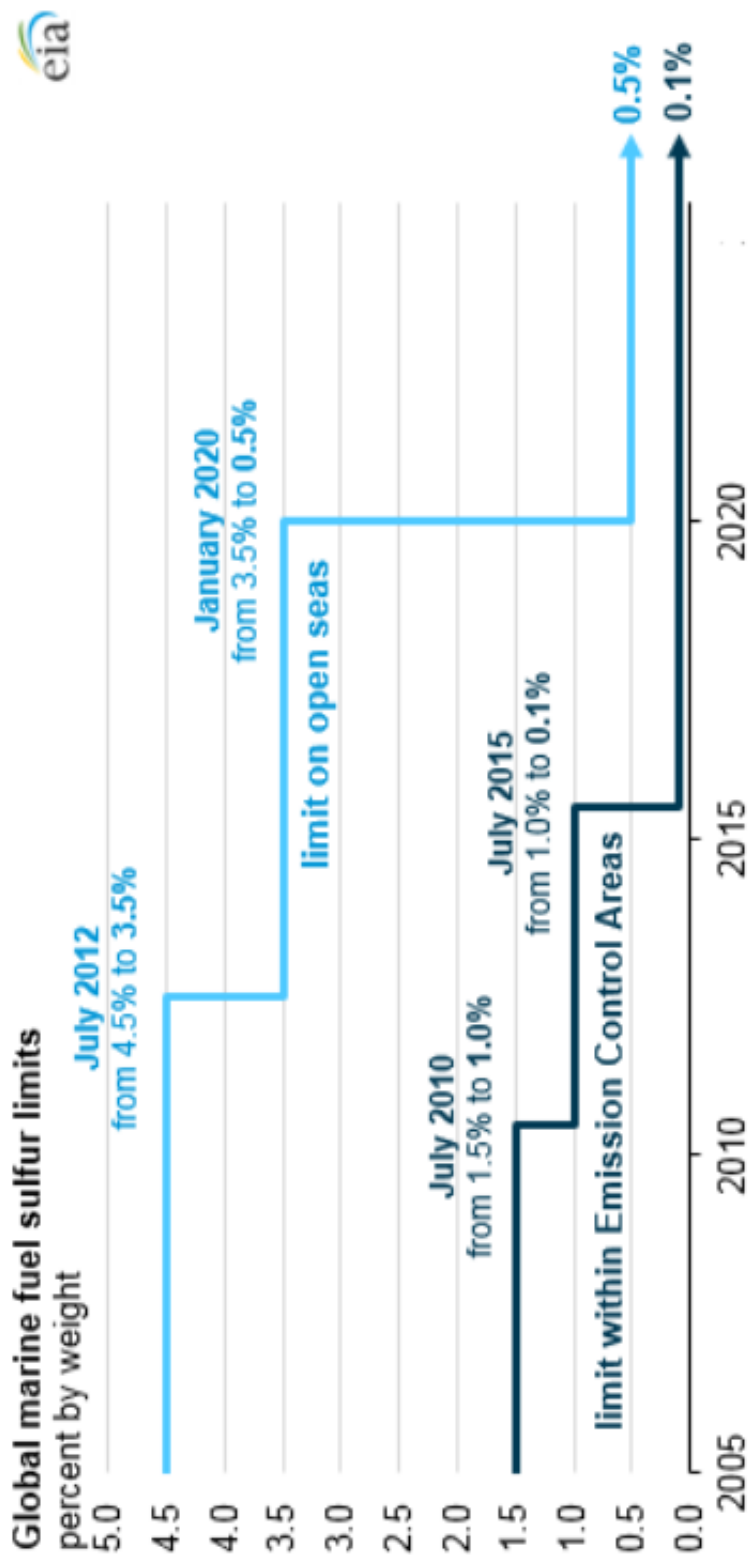
ECA ZONES, EXISTING AND POSSIBLE



Source: IMO

Εικόνα 3. Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs). (Πηγή: Emission Control Areas (ECAs) designated under MARPOL Annex VI, 2020)

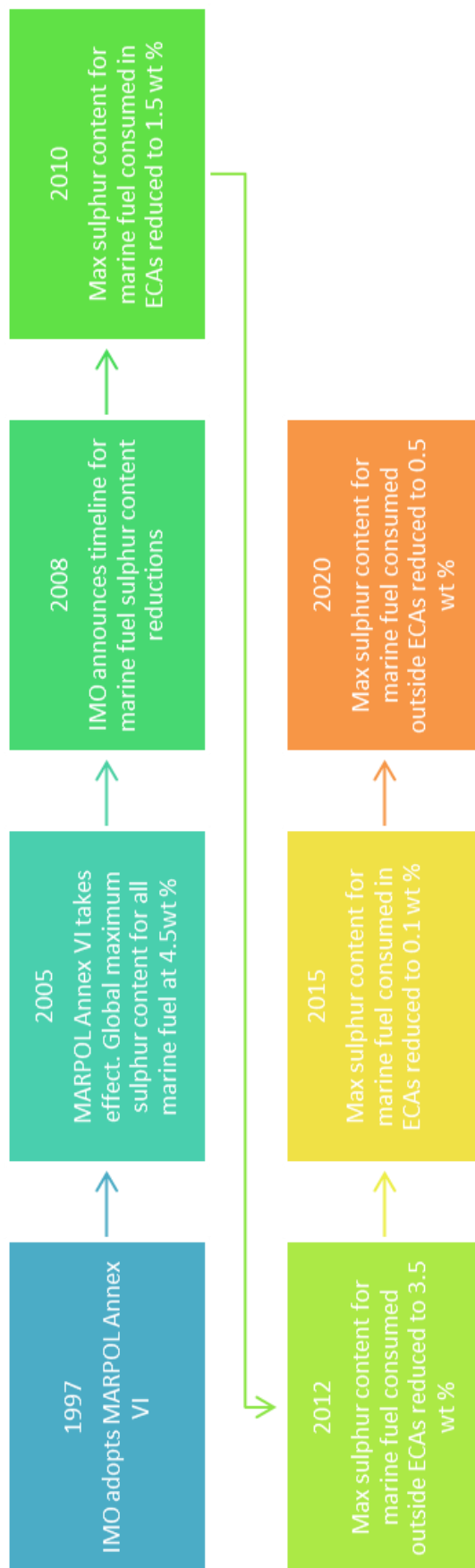
Η απαίτηση για χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων του θείου είναι ήδη σε εφαρμογή από την 1^η Ιανουαρίου 2020 αυστηρά σε παγκόσμιο επίπεδο από τις αρχές λιμενικού ελέγχου (PSC) και δε θα υπάρξει μεταβατική περίοδος μετά την 1^η Ιανουαρίου 2020. Για να συμμορφωθούν με τα νέα παγκόσμια όρια θείου (Εικόνα 4), οι ναυτιλιακές εταιρείες χρειάζεται είτε να εξασφαλίσουν ότι η περιεκτικότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούν σε θείο δεν υπερβαίνει τα προαναφερθέντα όρια, είτε να χρησιμοποιούν «ισοδύναμους» μηχανισμούς συμμόρφωσης. Αντί να χρησιμοποιούν, δηλαδή, καύσιμα με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil, VLSFO) εκτός ECAs και πετρελαίου εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Ultra Low Sulphur Fuel Oil, ULSFO) εντός ECAs, οι πλοιοκτήτες μπορούν να επιλέξουν να στραφούν στο LNG ή να μειώσουν τις εκπομπές θείου με την τοποθέτηση απορροφητικών συστημάτων ή άλλων τεχνολογιών καθαρισμού καυσαερίων (Scrubbers).



Εικόνα 4. Παγκόσμια όρια περιεκτικότητας ναυτικών καυσίμων σε θείο (Πηγή: <https://safety4sea.com/eia-price-effects-from-sulphur-cap-to-diminish-over-time/>)

Τα κατάλληλα καύσιμα που χρησιμοποιούνται μετά την 1^η Ιανουαρίου 2020 για την κάλυψη του 0,5% του εκπεμπόμενου θείου είναι υπολειμματικά, απόσταξης ή συνδυασμός αυτών. Μείγματα καυσίμου με συνολικά 0,5% ποσότητα θείου και καύσιμα απόσταξης με σύσταση 0,1% σε θείο (όπως χρησιμοποιείται σήμερα στις ECAs) είναι τα κυρίαρχα διαθέσιμα προϊόντα. Η απόφαση για το ποια μέθοδος συμμόρφωσης είναι βέλτιστη από οικονομική άποψη δεν είναι εύκολη και δεν υπάρχει μια τυποποιημένη λύση για όλες τις περιπτώσεις. Αυτό σημαίνει ότι κάθε εταιρεία πρέπει να λαμβάνει κάθε φορά τις δικές της τεκμηριωμένες αποφάσεις, έτσι ώστε οι τελικές τεχνικές λύσεις να ταιριάζουν με τον τρόπο λειτουργίας του στόλου της. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις αποφάσεις σχετικά τη βέλτιστη λύση είναι πολλοί και εξαρτώνται, για παράδειγμα, από τον τύπο, την ηλικία του σκάφους και τον τύπο κινητήρα. Ιδιαίτερα σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή λύσεων συμμόρφωσης είναι ακόμη οι νομοθετικές απαιτήσεις, το κόστος των νέων επενδύσεων, το (re)building και το λειτουργικό κόστος. Οι διαφορές των τιμών μεταξύ των καυσίμων και η διαθεσιμότητα, η δυνατότητα υλικοτεχνικής υποστήριξής τους και η βιωσιμότητα είναι πτυχές που πρέπει να εξετάζονται επίσης. Ταυτόχρονα με την απόφαση για την επιλογή της μεθόδου συμμόρφωσης θα πρέπει να αναπτυχθούν κατάλληλα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων της κάθε μεθόδου. Τα σχέδια αυτά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν δοκιμές συμβατότητας και διαχωρισμό καυσίμων από διαφορετικές πηγές έως ότου επιβεβαιωθεί η συμβατότητά τους. Επίσης, θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν σχέδια για την αντιμετώπιση οποιωνδήποτε μηχανικών περιορισμών, όσον αφορά τον χειρισμό συγκεκριμένων καυσίμων και τη διασφάλιση των προτύπων καυσίμων ISO 8217 (Global Sulphur Limit, 2019).

Παρόλο που στην αρχή και από την πρώτη υπογραφή της σύμβασης MARPOL το 1973, δηλαδή της διεθνούς σύμβασης για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία (Εικόνα 5), χρειάστηκαν δέκα χρόνια και μια τροποποίηση που έγινε το 1978 για να συμπεριληφθούν επιβλαβείς υγρές ουσίες χύδην. Πιο συγκεκριμένα αυτές οι προσθήκες έγιναν αντίστοιχα στο Παράρτημα I και όσες αφορούν την πρόληψη της ρύπανσης από πετρέλαιο, στα παραρτήματα I και II της σύμβασης. Το τελευταίο παράρτημα περιλαμβάνει κανονισμούς που αφορούν τον έλεγχο της ρύπανσης από επιβλαβείς υγρές ουσίες και τέθηκε σε ισχύ το 1983.



Εικόνα 5. Χρονολόγιο Κανονισμών - Περιορισμοί εκπομπών θείου από τον ΙΜΟ (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Έκτοτε, έχουν υπογραφεί και τεθεί σε εφαρμογή όλο και περισσότερες τροπολογίες (Εικόνα 5) που στόχο είχαν να προωθήσουν πραγματικά πράσινες εναλλακτικές λύσεις έναντι της χρήσης ορυκτών καυσίμων. Παρόλα αυτά επί του παρόντος δεν υπάρχει αξιόπιστη εναλλακτική που να έχει καθιερωθεί. Η έναρξη για τις τροπολογίες έγινε με την εφαρμογή του παραρτήματος III που τέθηκε σε ισχύ το 1992 και ρυθμίζει θέματα που σχετίζονται με τη ρύπανση από επιβλαβείς ουσίες που μεταφέρονται στη θάλασσα σε συσκευασμένη μορφή. Κατόπιν, το παράρτημα IV εφαρμόστηκε το 2003 και αφορούσε τη ρύθμιση της ρύπανσης από λύματα από πλοία ενώ το παράρτημα V, που τέθηκε σε ισχύ το 1988 καθορίζει τη ρύπανση από απορρίμματα πλοίων. Ακολούθησε το Παράρτημα VI, που τέθηκε σε ισχύ το 2005 και ουσιαστικά έθεσε όρια στην ατμοσφαιρική ρύπανση από τα πλοία σχετικά με το οξείδιο του θείου SO_x και το οξείδιο του αζώτου (εκπομπές από τα καυσαέρια των πλοίων μέσα από το παγκόσμιο όριο 4.5 m/m (μάζα κατά μάζα), στην περιεκτικότητα μαζούτ σε θείο (το 2012 στο προσαρμοσμένο σε 3.5 m/m) όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4, καθώς και απαγόρευση αέριων εκπομπών ουσιών που καταστρέφουν το όζον.

Επιπλέον, καθιερώθηκαν ειδικές περιοχές ελέγχου εκπομπών SO_x, στις οποίες ισχύουν αυστηρότεροι έλεγχοι στις εκπομπές θείου του 1.5 m/m στην περιεκτικότητα του μαζούτ σε θείο (που σήμερα είναι προσαρμοσμένη στο 0.1 m/m). Στις περιοχές αυτές, που όπως ήδη αναφέρθηκε είναι γνωστές ως ECA, τα πλοία θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ή εναλλακτικά να τοποθετήσουν συστήματα καθαρισμού καυσαερίων ή να κάνουν χρήση οποιωνδήποτε άλλων τεχνολογικών μεθόδων για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x στο απαιτούμενο επίπεδο. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά και ως πλυντηρίδες.

Από το 2005, το παράρτημα VI έχει τροποποιηθεί αρκετές φορές προκειμένου να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση των εκπομπών SO_x οξειδίων του θείου από τα πλοία. Η τελευταία τροποποίηση, με ημερομηνία εφαρμογής την 1^η Ιανουαρίου 2020 (IMO 2020), μειώνει το παγκόσμιο ανώτατο όριο θείου στο μαζούτ στο 0.5 m/m εκτός ECA ή απαιτεί από τα πλοία να χρησιμοποιούν οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία ή μεθόδους για τον περιορισμό των εκπομπών SO_x.

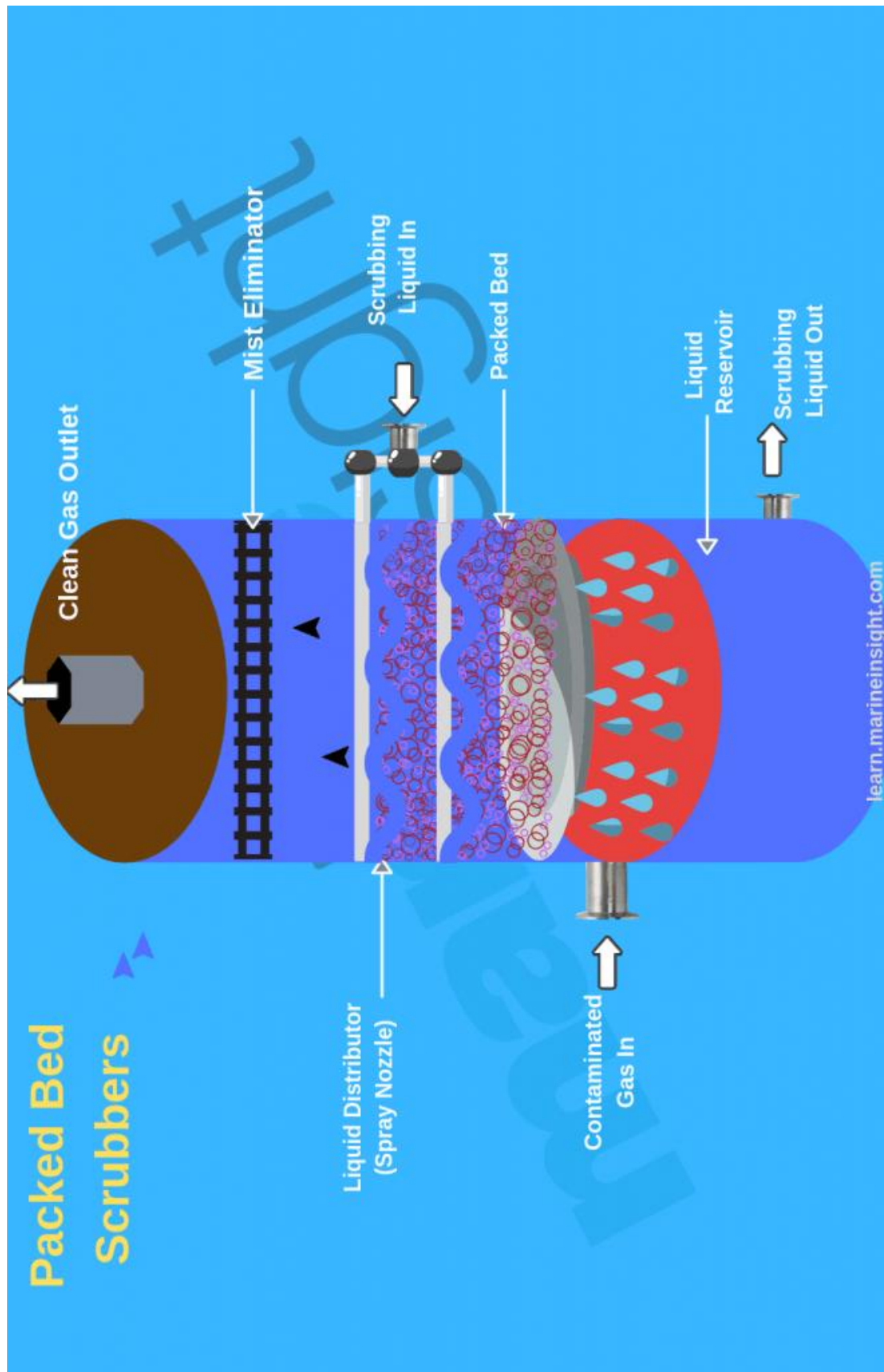
3.2. Επιλογές Συμμόρφωσης Scrubbers

Παράλληλα με τη χρήση του LNG, η ναυτιλιακή κοινότητα για να αντιμετωπίσει το νέο περιορισμό που ισχύει από την 1^η Ιανουαρίου 2020, ο οποίος θέτει όριο στην περιεκτικότητα σε θείο σε όλα τα διεθνή ύδατα, η ναυτιλιακή κοινότητα έχει στραφεί σε τεχνολογικές λύσεις, όπως τα scrubbers ή πλυντηρίδες (Εικόνα 6). Σε ένα σημαντικό αριθμό πλοίων (DNV-GL) έχουν εγκατασταθεί και πρόκειται να εγκατασταθούν συστήματα συμμόρφωσης καθαρισμού καυσαερίων SO_x, τα λεγόμενα συστήματα scrubbers. Τα συστήματα scrubber επιτρέπουν τη λειτουργία του πλοίου με αποδοτικό καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, για παράδειγμα Heavy fuel oil, HFO, ενώ ταυτόχρονα έτσι εξασφαλίζεται η συμμόρφωση του πλοίου ακόμη και με το αυστηρότερο όριο SO_x που ορίζεται για τις περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων (Emission Control Areas, ECA) στο 0,1%.

Τα scrubbers αποτελούν συστήματα καθαρισμού καυσαερίων, τα οποία συμβάλλουν στην ελάττωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x) από ρύπους αλλά και καυσαέρια των πλοίων. Ουσιαστικά, τα scrubbers χρησιμοποιούνται προκειμένου να μειώσουν σημαντικά τα σωματίδια ή και τις αέριες εκπομπές που προκαλούν μόλυνση του περιβάλλοντος ή ανθρώπινες ασθένειες. Η απομάκρυνση αυτή γίνεται είτε με φυσικό, είτε με χημικό τρόπο. Η ονομασία τους προέρχεται από το αγγλικό ρήμα «scrub» που σημαίνει «τρίβω».

Τα συστήματα ανοικτού κύκλου (Open Loop Systems) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα, καθώς στηρίζονται εξ ολοκλήρου στη χρήση του περιβάλλοντος θαλασσινού νερού για τον καθαρισμό των καυσαερίων. Στα συστήματα ανοικτού κύκλου γίνεται πλύση των καυσαερίων με θαλασσινό νερό. Στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται προς την ατμόσφαιρα, ενώ το θαλασσινό νερό επιστρέφει στη θάλασσα. Εκτός από τα συστήματα ανοικτού κύκλου υπάρχουν και συστήματα κλειστού κύκλου.

Τα συστήματα κλειστού κύκλου (Closed Loop System) είναι λιγότερο διαδεδομένα, καθώς η εγκατάστασή τους είναι πιο πολύπλοκη σε σχέση με αυτή του ανοικτού κύκλου. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στη κατανάλωση γλυκού νερού, καθώς και επιπλέον μηχανημάτων (όπως εναλλακτών θερμότητας) για τη λειτουργία τους.



Εικόνα 6. Διάταξη Scrubber (Πηγή: <https://www.marineinsight.com/tech/scrubber-system-on-ship/>)

3.3. Επιλογές Συμμόρφωσης LSFO

Είναι γεγονός ότι η ναυτική βιομηχανία στηρίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση ορυκτών πόρων με κύρια πηγή ενέργειας την καύση βαρέως πετρελαίου (Heavy fuel oil, HFO). Παράλληλα, σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές τα επιτρεπτά όρια για τις εκπομπές αερίων ρύπων SO_x και NO_x έχουν μειωθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα τα πλοία να χρησιμοποιούν εναλλακτικά είδη καυσίμων χαμηλά σε περιεκτικότητα σε θείο. Ως συνέπεια των αυστηρότερων κανονισμών σε συνδυασμό με την αυξημένη χρήση του φυσικού αερίου (Liquified Natural Gas, LNG) ως πηγή ενέργειας και άρα ως αγαθού προς μεταφορά, έφεραν το τελευταίο στο προσκήνιο ως μεταβατικό καύσιμο και για την περίπτωση της ναυτιλίας. Η χρήση καυσίμων εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Ultra-Low Sulphur Fuel Oil, ULSFO) για πλεύση στις περιοχές ECAs, σε συνδυασμό με καύσιμα πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil VLSFO) για πλεύση εκτός των προστατευμένων περιοχών, είναι ο πιο άμεσος τρόπος μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων από τα πλοία, καθώς οι περισσότεροι κινητήρες υποστηρίζουν τη χρήση των συγκεκριμένων καυσίμων. Τα ULSFO καύσιμα είναι καθαρά αποστάγματα, ενώ και τα Marine Gasoil, (MGO και Marine Diesel Oil, MDO, μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη περιεκτικότητά τους σε θείο να μην ξεπερνά το 0,1%. Ωστόσο, το ULSFO θα μπορούσε επίσης να είναι υβρίδιο ελαφρού καυσίμου απόσταξης πετρελαίου, αναμειγμένο με υπολειμματικό σε συγκεκριμένες αναλογίες. Σε γενικές γραμμές, το ULSFO λειτουργεί καλά με τυποποιημένες διαμορφώσεις κινητήρα, αν και μπορεί να απαιτούνται λειτουργικές αλλαγές. Καθώς τα περισσότερα πλοία δεν πλέουν αποκλειστικά σε ECAs, προτείνεται η χρήση πετρελαίου πολύ χαμηλής περιεκτικότητας θείου (VLSFO) έξω από αυτές, για την επίτευξη του ορίου θείου 0,5%. Αυτοί οι τύποι καυσίμων δημιουργούνται με την ανάμειξη κατάλληλων υπολειμματικών προϊόντων με αποστάγματα χαμηλής περιεκτικότητας θείου για τη δημιουργία καυσίμων με καλή ποιότητα και σύμφωνα με τα όρια της συμμόρφωσης. Ταυτόχρονα, η ιδέα πίσω από τη μετάβαση από το VLSFO στο ULSFO και το αντίστροφο, ανάλογα με την περιοχή πλεύσης, στηρίζεται στην προσπάθεια μείωσης του κόστους.

Οι παρακάτω ιδιότητες των καυσίμων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την παραγγελία και τη χρήση κάθε καυσίμου, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217.

- Σταθερότητα

Η σταθερότητα είναι η ικανότητα ενός καυσίμου να διατηρεί τα ασφαλένια της περιεκτικότητάς του σε αναστολή. Τα ασφαλένια είναι μόρια τα οποία, εάν δεν διατηρούνται σε σταθερές τιμές προκαλούν την αστάθεια του καυσίμου. Εάν δεν ληφθούν μέτρα για τη σταθερότητα του καυσίμου, αυτό μπορεί να δημιουργήσει επιπλέον προβλήματα κατά την καύση του με αποτέλεσμα την απώλεια της ισχύος ή και της πρόωσης. Συνιστάται να ελέγχεται η σταθερότητα κάθε καυσίμου που αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται στο πλοίο πριν φορτωθεί στο πλοίο, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217 που αναφέρεται στις ελάχιστες απαιτήσεις ευστάθειας.

- Συμβατότητα

Συμβατότητα ονομάζεται η καταλληλότητα δύο διαφορετικών καυσίμων να αναμειχθούν χωρίς να προκαλούνται δυσμενείς επιπτώσεις κατά τη χρήση τους. Δύο σταθερά αλλά μη συμβατά καύσιμα, ακόμη και αν συμμορφώνονται με το ISO 8217, όταν αναμειχθούν μπορεί να οδηγήσουν σε καταβύθιση των ασφαλενίων και σε αυξημένο σχηματισμό ακαθαρσιών μέσα σε φίλτρα και διαχωριστές. Προτείνεται τέτοια προβλήματα να αντιμετωπίζονται εγκαίρως, καθώς μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια της πρόωσης και της βοηθητικής ισχύος. Μετά την εφαρμογή του Sulphur Cap παρατηρήθηκε ότι τα προβλήματα συμβατότητας που αντιμετωπίζει η ναυτιλιακή κοινότητα έγιναν συχνότερα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστατικά των VLSFO και ULSFO που χρειάζεται να συνδυαστούν, μπορεί να μην είναι συμβατά, ακόμη και αν προέρχονται από τον ίδιο προμηθευτή καυσίμων. Συνεπώς, είναι σημαντικό, στο μέτρο του δυνατού, τα καύσιμα αυτά να αποθηκεύονται σε χωριστές δεξαμενές, ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη ανάμειξη τους (ανάμειξη με καύσιμο πετρελαίου των ίδιων προδιαγραφών, αλλά από διαφορετικές πηγές) στο σύστημα καυσίμων.

- Ιξώδες

Το ιξώδες του καυσίμου είναι το μέτρο της αντίστασης του στη ροή, και αποτελεί μια σημαντική παράμετρο που επηρεάζει την απόδοση της κύριας μηχανής του πλοίου. Το ιξώδες του καυσίμου ελέγχεται λίγο πριν την έγχυση στον κινητήρα. Εάν η τιμή του

ιξώδους είναι πολύ υψηλή, τότε το καύσιμο μπορεί να είναι ακατάλληλο για ψεκασμό και να οδηγήσει σε ατελή καύση. Αντίθετα, αν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή λίπανση του εμβόλου της αντλίας καυσίμου και των κυλίνδρων.

- Οξύτητα

Η οξύτητα ενός καυσίμου αποτελεί μέτρο της ποσότητας των όξινων ενώσεων που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο δείγμα (οξύτητα). Καύσιμα με υψηλό βαθμό οξύτητας μπορούν να προκαλέσουν ταχύτατα βλάβες σε διάφορα μέρη της μονάδας καύσης, συμπεριλαμβανομένου του συστήματος έγχυσης καυσίμου. Ο βαθμός οξύτητας μπορεί να μετρηθεί με εργαστηριακή ανάλυση του καυσίμου. Αν το καύσιμο βρεθεί με σημαντικά υψηλό επίπεδο οξύτητας, τότε προτείνεται να ενημερωθούν οι ειδικοί που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των διαφόρων καυσίμων, ώστε να δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες για τη διαχείρισή του. Εάν δεν υπάρχει άλλη επιλογή και το καύσιμο χρειάζεται να καταναλωθεί, τότε πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ενδεχόμενο επιταχυνόμενης διάβρωσης και βλάβης του εξοπλισμού καύσης.

Η μετάβαση στα καύσιμα με 0.50% m/m και 0.10% m/m θείου από τα HFO, καθώς και η διαδικασία αλλαγής από ULSFO σε VLSFO και αντίστροφα, εγείρουν σημαντικά ερωτήματα σχετικά με ζητήματα ασφάλειας. Αυτά τα θέματα περιλαμβάνουν τη σταθερότητα, τη συμβατότητα, την ικανότητα καύσης, τα χαμηλότερα σημεία ανάφλεξης και τις παρατεταμένες καθυστερήσεις ανάφλεξης εξαιτίας των κακών χαρακτηριστικών καύσης. Όλα αυτά τα ζητήματα ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά τα συστήματα καυσίμων και μηχανημάτων.

Η διαδικασία αλλαγής καυσίμου από VLSFO σε ULSFO και το αντίστροφο πρέπει να διεξάγεται όταν το πλοίο βρίσκεται μέσα στο λιμάνι. Δεν υπάρχουν απαιτήσεις των κανονισμών που υποχρεώνουν ένα πλοίο να κάνει την αλλαγή πριν από το αγκυροβόλιο, αναφέρεται μόνο ότι πρέπει να το πράξει "όσο το δυνατόν συντομότερα μετά την άφιξη και από εκεί όσο το δυνατόν αργότερα πριν από την αναχώρηση". Συνιστάται, ωστόσο, η πραγματοποίηση της αλλαγής καυσίμου ως εξής: Οι δεξαμενές αποθήκευσης, οι δεξαμενές καθίζησης και οι δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης πρέπει να είναι ξεχωριστές για κάθε τύπο καυσίμου. Όταν η ανάμειξη σε μια δεξαμενή δεν μπορεί να αποφευχθεί, η συμβατότητα των καυσίμων θα πρέπει να ελέγχεται εκ των προτέρων και να αποφασίζεται εάν η ανάμειξη είναι αποδεκτή ή όχι. Οι δεξαμενές

πρέπει να είναι εφοδιασμένες με διατάξεις αποστράγγισης, ώστε να επιτρέπουν την απομάκρυνση ακαθαρσιών που ενδέχεται να συσσωρευτούν στο κάτω μέρος αυτών. Η διαδικασία αλλαγής καυσίμου πρέπει να ακολουθείται από καταγραφή όλων των ενεργειών και δραστηριοτήτων που αφορούν τις διαδικασίες επί του σκάφους και τις ποσότητες καυσίμου, και να διευκρινίζεται ότι οι απαιτήσεις πληρούνται. Η τήρηση των κανονισμών για το θείο ελέγχεται στους λιμένες, μέσω επιθεωρήσεων ελέγχου. Οι κατευθυντήριες γραμμές για τέτοιου είδους επιθεωρήσεις έχουν συνταχθεί από επίσημες εξουσιοδοτημένες αρχές, όπως ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA) και η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA). Σε πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, οι επιθεωρήσεις επικεντρώνονται στο να εξετάζεται εάν το πλοίο χρησιμοποίησε το σωστό καύσιμο κατά το τελευταίο του ταξίδι, ανάλογα με τα ύδατα που επισκέφτηκε, και εάν το πλοίο χρησιμοποιεί το σωστό καύσιμο κατά τη στιγμή του ελέγχου στο λιμάνι. Η επιθεώρηση αυτή βασίζεται σε δύο πηγές: τον έλεγχο εγγράφων τεκμηρίωσης και τη δειγματοληψία. Τα έγγραφα που εξετάζονται σε αυτή την περίπτωση είναι τα δελτία παράδοσης καυσίμων (BDN) και τα ημερολόγια των πλοίων (Logbooks). Τα δελτία παράδοσης, τα οποία είναι τα τυποποιημένα έγγραφα, όπως απαιτείται από το παράρτημα VI της MARPOL, καταγράφουν τις λεπτομέρειες του καυσίμου που παραδίδεται. Σημαντικά έγγραφα, που αποτελούν μέρος του ημερολογίου πλοίων, είναι το βιβλίο καταγραφής πετρελαιοειδών (Oil Record Book) και τα αρχεία των δραστηριοτήτων πλοήγησης. Το βιβλίο αυτό καταγράφει τις εργασίες που σχετίζονται με τη διαχείριση πετρελαίου, συμπεριλαμβανομένου του έρματος, της απόρριψης, της συλλογής και του ανεφοδιασμού. Τα αρχεία δραστηριοτήτων πλοήγησης είναι καθημερινές αναφορές, που καταγράφουν τη θέση του πλοίου, την πορεία και την ταχύτητα του πλοίου, καθώς και τις λεπτομέρειες των συνθηκών που επηρεάζουν το ταξίδι του πλοίου και την κανονική λειτουργία του πλοίου. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς για το θείο μπορεί να επαληθευτεί με έλεγχο και σύγκριση αυτών των διαφορετικών πηγών πληροφοριών: τα δελτία παράδοσης καυσίμου, το βιβλίο πετρελαιοειδών, τα σημεία αναφοράς από τις δεξαμενές στο σημείο εκκίνησης κατά την περίοδο επαλήθευσης, το σχέδιο αλλαγής καυσίμου, τις δραστηριότητες πλοήγησης, τα διαγράμματα γραμμής καυσίμου ή άλλες πληροφορίες σχετικά με το ποιο καύσιμο είναι στη δεξαμενή. Το αναφερόμενο ποσοστό μη συμμόρφωσης στις ευρωπαϊκές SECAs από το 2015 επιτρέπεται να είναι μέχρι 5%. Αυτό μπορεί να εξαχθεί από στοιχεία ελέγχων επιθεωρήσεων, από την πρόσθετη παρακολούθηση των

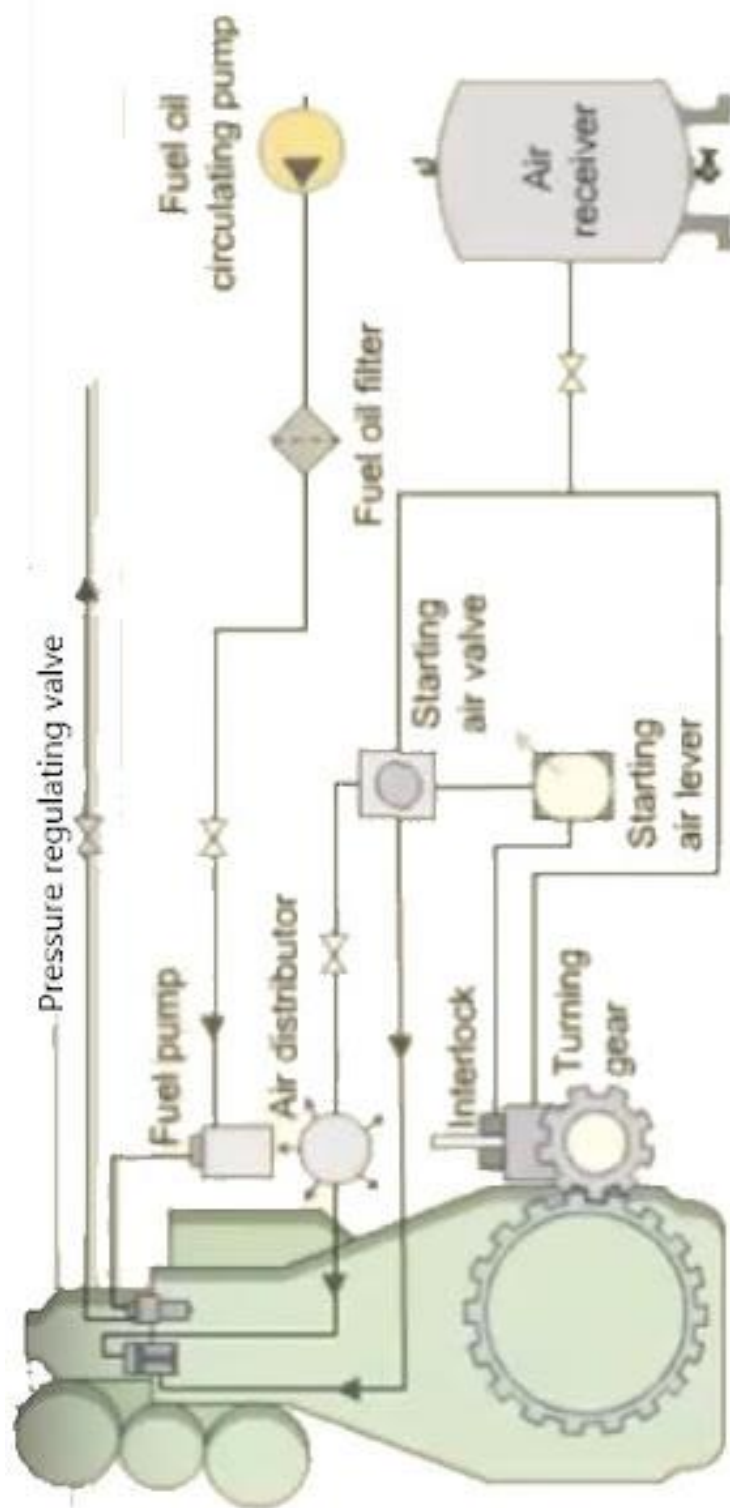
καπνοδόχων των πλοίων και από την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα εντός ή εκτός των λιμένων. Αυτό το σχετικά χαμηλό ποσοστό μη συμμόρφωσης μπορεί να οφείλεται στον υψηλό βαθμό συμμόρφωσης ή στη δυσκολία ανίχνευσης της μη συμμόρφωσης. Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, οι κυριότεροι μηχανισμοί ελέγχου περιλαμβάνουν δείγματα πετρελαίου και σημειώσεις παράδοσης καυσίμων. Επειδή τα δελτία παράδοσης των καυσίμων υπόκεινται συχνά σε παρατυπίες και απάτες και γι' αυτό το λόγο θα μπορούσαν να εφαρμοστούν τεχνολογικά καινοτόμα μέτρα για τη βελτίωση αυτής της μορφής παρακολούθησης.

4. Χρήση Καυσίμων Χαμηλής Περιεκτικότητας σε Θείο (Sulphur)

Στη συνέχεια θα δοθούν στοιχεία σχετικά με την αλλαγή Καυσίμου Πολύ Χαμηλής Περιεκτικότητας σε Θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil, VLSFO) ώστε να επιτρέπεται να καταναλωθούν μετά την 01.01.2020 έως και σήμερα. Σύμφωνα με τα νέα δεδομένα, όταν το πλοίο πλέει εκτός των περιοχών ελέγχου Καυσαερίων ECA, είναι υποχρεωμένο να αλλάξει ένα καύσιμο HFO με καύσιμο VLSFO. Γενικά, η συμβατότητα των καυσίμων δεν πρέπει να θεωρείται δεδομένη και επομένως θα πρέπει να τηρούνται αυστηρά οι κανονισμοί και να γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι κάθε φορά που πραγματοποιείται αλλαγή από ένα VLSFO σε άλλο.

Τα υπολειμματικά πετρέλαια 0,5% S ή τα λιπαντικά με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFOs), καθώς και τα υπολειμματικά ναυτιλιακά καύσιμα με περιεκτικότητα σε 0,1% S ή τα καύσιμα με εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (Ultra Low Sulphur Fuel Oil, ULSFOs) είναι μείγματα καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο στα οποία περιέχονται και αποστάγματα όπου περιστασιακά μπορούν να προστεθούν έως και 7% βιοντίζελ και άλλα συστατικά. Τα μείγματα, εάν παραχθούν σωστά, ικανοποιούν τις απαιτήσεις περιεκτικότητας σε θείο του παραρτήματος VI, του Κανονισμού 14 της MARPOL και τις απαιτήσεις χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του ISO 8217. Θα πρέπει να είναι σταθερά, γεγονός που σημαίνει ότι έχουν ληφθεί μέτρα ώστε τα πολύπλοκα και βαριά μόρια, που ονομάζονται ασφαλτένια, δεν θα μπορούν να συσσωματωθούν και να κατακρημνιστούν ως κεριά και λάσπη σε συνθήκες θερμοκρασίας πάνω από το σημείο ροής.

Ωστόσο, λόγω της μεταβλητής φύσης των αρχικών συστατικών των μιγμάτων, είναι πολύ πιθανό δύο διαφορετικά τέτοια καύσιμα να μην είναι συμβατά μεταξύ τους, ακόμη και αν έχουν παρόμοιες φυσικές ιδιότητες, όπως ιξώδες, σημείο ροής και πυκνότητα. Αυτό σημαίνει ότι εάν η ανάμειξη γίνει στη δεξαμενή αποθήκευσης, ή στη δεξαμενή υπολειμμάτων ή στο σύστημα τροφοδοσίας, είναι δυνατή η δημιουργία υπερβολικής ποσότητας λάσπης. Αυτή η λάσπη μπορεί να γίνει επικίνδυνη αποφράσσοντας τα φίλτρα, κολλώντας τα έμβολα της αντλίας καυσίμου και προκαλώντας δυσκολία κατά τον ψεκασμό της ροής ή απόφραξη των μπεκ, με αποτέλεσμα να προκαλείται γενικά έλλειψη καυσίμου στον κινητήρα και κίνδυνος απώλειας ισχύος (Εικόνα 7). Για το λόγο αυτό, κάθε καύσιμο VLSFO ή ULSFO πρέπει να φυλάσσεται σε ξεχωριστές κενές δεξαμενές.



Εικόνα 7. Σύστημα εφοδιασμού Κύριας Μηχανής (Πηγή: <https://www.marineengineersknowledge.com/2022/02/main-engine-starting-problems-on-ship.html>)

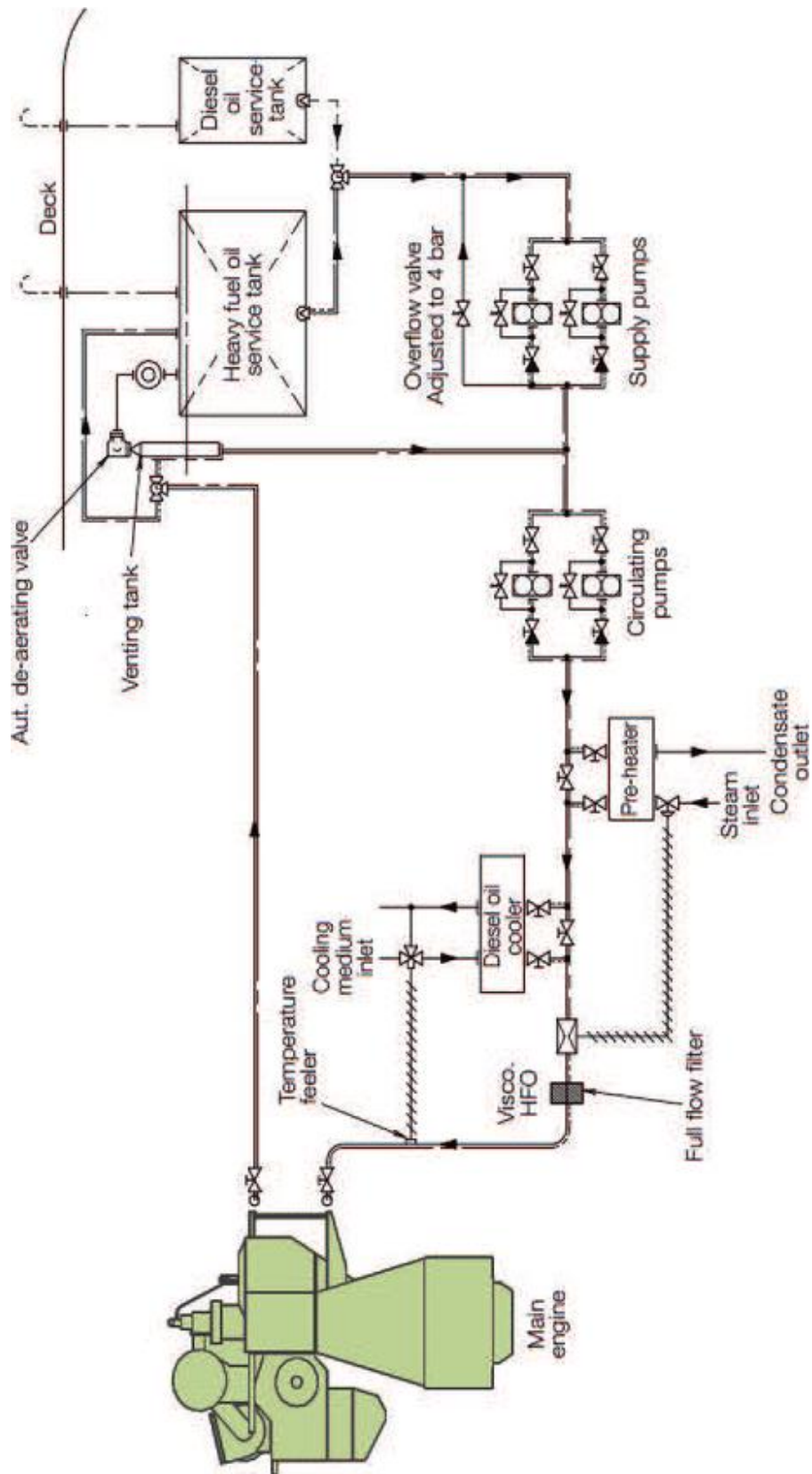
Εναλλακτικά τα ακόλουθα βήματα θα πρέπει να ακολουθούνται πιστά:

- a) Εάν η παραπάνω οδηγία δεν είναι δυνατόν να τηρηθεί, τότε πρέπει να γίνει δοκιμή συμβατότητας χρησιμοποιώντας το κιτ δοκιμής συμβατότητας. Η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται μόνο σε εργαστήρια ανάλυσης πετρελαϊκών δειγμάτων. Η δοκιμή συμβατότητας πρέπει να διεξάγεται στην αναλογία με την οποία αναμένεται να πραγματοποιηθεί η ανάμειξη στη δεξαμενή αποθήκευσης. Για οδηγίες χρήσης του κιτ δοκιμής fuelab pls, θα πρέπει να γίνεται αναφορά στις προηγούμενες οδηγίες που έχουν δοθεί σχετικά με τη λειτουργία της κύριας μηχανής.
- b) Εάν η δοκιμή συμβατότητας είναι αρνητική, θα πρέπει να αποφεύγεται η ανάμειξη στην ίδια δεξαμενή και να οργανώνονται εναλλακτικές δεξαμενές για τον ανεφοδιασμό του νέου καυσίμου.
- c) Ακόμη και όταν τα καύσιμα φυλάσσονται σε χωριστές δεξαμενές, κατά την εναλλαγή μεταξύ τους εξακολουθεί να υπάρχει κίνδυνος ασυμβατότητας μεταξύ των δύο καυσίμων εάν αναμιχθούν στις δεξαμενές καθίζησης και συντήρησης (settling or service tanks) καθώς και στο σύστημα που τροφοδοτεί την κύρια μηχανή.

Επομένως, οι διαδικασίες αλλαγής καυσίμου πρέπει να σχεδιάζονται και να υλοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η ανάμειξη των δύο καυσίμων. Στόχος είναι όλα τα βήματα της προτεινόμενης πρακτικής για την αλλαγή του καυσίμου πριν την τροφοδοσία της μηχανής να τηρούνται αυστηρά. Ωστόσο, αναπόφευκτα μικρές ποσότητες από τα δύο καύσιμα θα συνεχίσουν να αναμειγνύονται στη μονάδα ενίσχυσης και στο σύστημα συντήρησης καυσίμου πριν τους κινητήρες, οπότε και πάλι θα πρέπει να υπάρχει επαγρύπνηση και αυστηρή τήρηση της διαδικασίας αλλαγής λαμβάνοντας υπόψη το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας ($2^{\circ}\text{C}/\text{min}$) και του ιξώδους.

Στη συνέχεια, περιγράφεται διαδικασία που έχει προκύψει ως αποτέλεσμα πρακτικής εμπειρίας των τεχνικών και των πληρωμάτων, που εργάζονται σε εφοπλιστικές και διαχειρίστριες εταιρείες της ποντοπόρου ναυτιλίας και αποτελεί πρωτότυπο κείμενο.

Πριν από την έναρξη της διαδικασίας αλλαγής από 0,5%S VLSFO σε άλλο καύσιμο, επίσης VLSFO, ο 1^{ος} Μηχανικός, θα πρέπει να κάνει τους ακόλουθους ελέγχους εξοπλισμού (Εικόνα 8) και να διορθώσει τυχόν ελαττώματα -εάν εντοπιστούν- στα παρακάτω σημεία:



Εικόνα 8. Διάγραμμα Ροής Καυσίμου (Πηγή: Tien Anh Tran Tien Anh Tran, 2020)

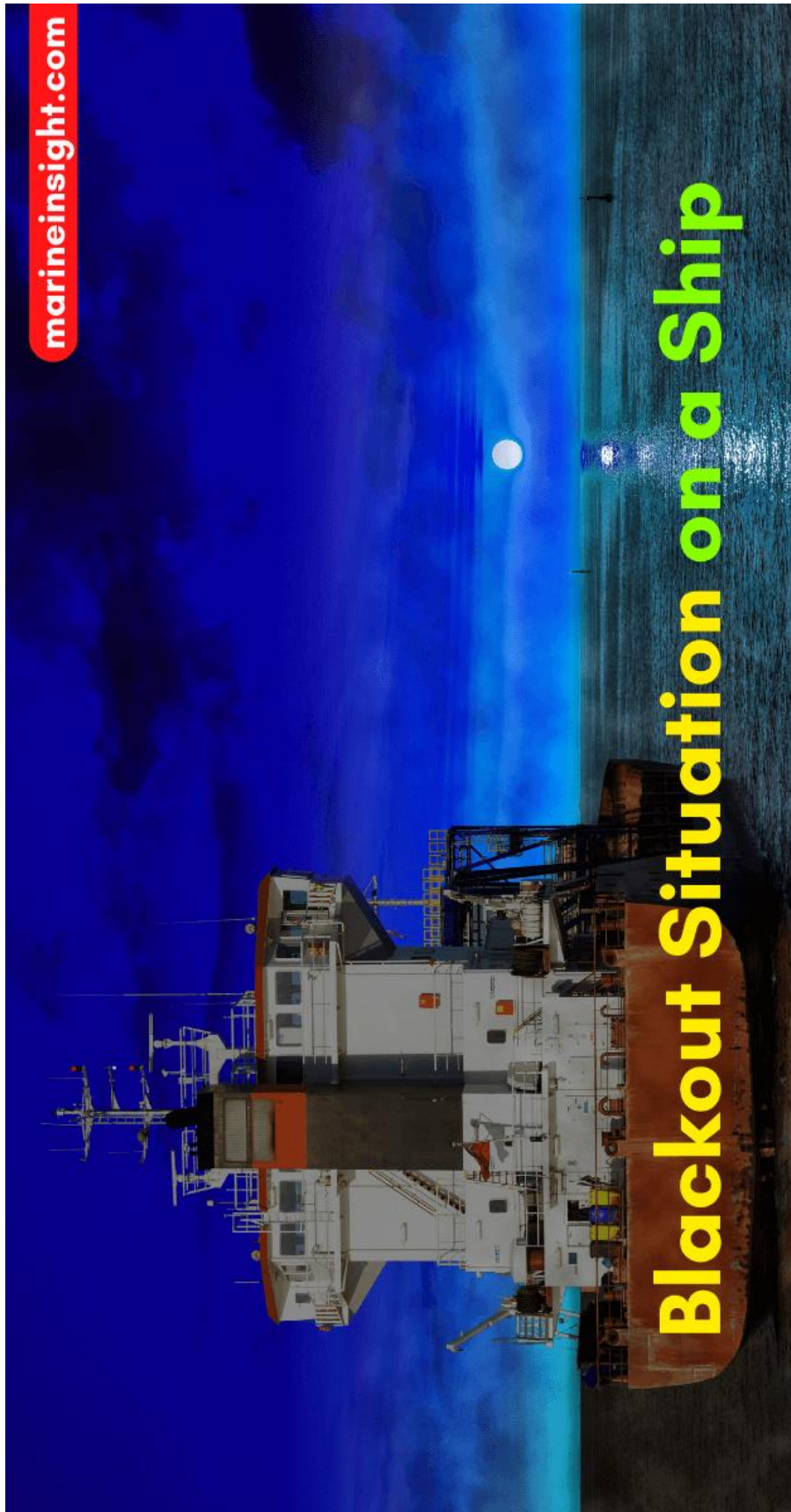
- Μετρητές στάθμης, συστήματα ελέγχου στάθμης, δείκτες θερμοκρασίας, αισθητήρες / πομποί, χειροκίνητες βαλβίδες και ενεργοποιητές τηλεκατευθυνόμενων βαλβίδων κατά την αποθήκευση, τη δεξαμενή συντήρησης και τις δεξαμενές υπερχειλίσης.
- Ξωδόμετρα, ελεγκτές θερμοκρασίας και βαλβίδες ελέγχου ατμού των μονάδων επεξεργασίας καυσίμου για την κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες.
- Συστήματα ρύθμισης αναμονής και αυτόματης λειτουργίας για τις αντλίες μεταφοράς στις δεξαμενές καθίζησης.
- Αναμονή λειτουργίας των ενισχυτικών και κυκλοφορητών των μονάδων επεξεργασίας καυσίμων.
- Μονάδες καθαρισμού καυσίμου.
- Ασφάλεια δεξαμενής ανάμειξης και βαλβίδες εξαέρωσης για αποφυγή αερισμού του συστήματος τροφοδοσίας.
- Λειτουργία και καθαριότητα των φίλτρων επιστροφής καυσίμου και των φίλτρων διέλευσης μονάδων επεξεργασίας καυσίμου. Διαθεσιμότητα ανταλλακτικών στοιχείων φίλτρου για επιτάχυνση αντικατάστασης και χειροκίνητο καθαρισμό σε περίπτωση απόφραξης από υπερβολική λάσπη.
- Σύστημα καυσίμου μεταφοράς και συντήρησης για διαρροές από φλάντζες, στυπιοθλίπτες βαλβίδων, στεγανοποιήσεις αντλίας, ψυγείο και προθερμαντήρες.
- Ανίχνευση ατμού συστήματος μεταφοράς καυσίμου και τροφοδοσίας για διαρροές και μη κολλήματα των βαλβίδων απομόνωσης ανίχνευσης ατμού και των παγίδων ατμού.
- Διαθεσιμότητα κατάλληλου λαδιού κυλίνδρου TBN για M/E.
- Εξαρτήματα ευαίσθητα σε M/E και D/G, όπως αντλίες καυσίμου, μπεκ, σχετικές σωληνώσεις για υπερβολική φθορά που μπορεί να οδηγήσει σε διαρροές κατά τη λειτουργία καυσίμου χαμηλού ιξώδους. Πρέπει να υπάρχουν επαρκή ανταλλακτικά όπως στεγανοποιήσεις, δακτύλιοι στεγανοποίησης κ.λπ.
- Οι θερμές επιφάνειες των κινητήρων κοντά στο σύστημα καυσίμου πρέπει να μονώνονται επαρκώς.
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας D/G για λειτουργία σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή για λειτουργία VLSFO / MGO.
- Σύστημα καυσίμου λέβητα να λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις βαλβίδας, αντλίας και ψυγείου για καύσιμα χαμηλού ιξώδους, εάν είναι απαραίτητο.
- Εάν έχει γίνει ευθυγράμμιση του συστήματος τροφοδοσίας δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις γραμμές επιστροφής και στις βαλβίδες ώστε κάθε πιθανότητα τυχαίας

επιστροφής π.χ. η κατηγορία καυσίμου VLSFO σε άλλη δεξαμενή τροφοδοσίας VLSFO ή MGO να εξαλείφεται.

- Εάν τουλάχιστον μια ηλεκτρογεννήτρια έχει αλλάξει και είναι έτοιμη να εκκινήσει με Marine Gas Oil, MGO πριν από την αλλαγή σε VLSFO.
- Εάν το καύσιμο της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης (Emergency Diesel Generator, EDG) είναι σε καλή κατάσταση και η γεννήτρια μπορεί να εκκινήσει και να λάβει φορτίο αυτόματα σε περίπτωση συσκότισης (Εικόνα 9) πριν από την αλλαγή του VLSFO.

Πριν από την έναρξη της διαδικασίας αλλαγής, ο 1^{ος} Μηχανικός θα πρέπει να μελετήσει προσεκτικά το συγκεκριμένο σχέδιο αλλαγής καυσίμου του πλοίου και να εκπαιδεύσει τους αξιωματικούς μηχανής και το πλήρωμα που εμπλέκεται στη διαδικασία. Τα μέλη του πληρώματος μηχανής πρέπει να γνωρίζουν τα βήματα της διαδικασίας αλλαγής, ώστε να είναι σε θέση να:

- Διατηρήσουν τις δεξαμενές καυσίμου στους 10°C πάνω από τη θερμοκρασία του σημείου έγχυσης.
- Αποστραγγίσουν το καύσιμο από τη δεξαμενή υπερχειλίσης για να αποφευχθεί η ανάμειξη διαφορετικών καυσίμων σε αυτή τη δεξαμενή.
- Αδειάσουν το παλιό καύσιμο και στη συνέχεια να φροντίσουν για την πλήρωση νέου καυσίμου στις δεξαμενές καθίζησης και τροφοδοσίας για να αποφευχθεί η ανάμειξη δύο VLSFO ή MGO στην ίδια δεξαμενή καθίζησης ή/και τροφοδοσίας.
- Παρατηρήσουν τους ρυθμούς μεταβολής της θερμοκρασίας (2°C/min) και του ιξώδους στο σύστημα τροφοδοσίας.
- Είναι εξοικειωμένοι με τις βαλβίδες του συστήματος ανίχνευσης ατμού, δηλαδή ποιες βαλβίδες εξυπηρετούν ποια μέρη του συστήματος μεταφοράς και τροφοδοσίας καυσίμου, για έγκαιρο άνοιγμα και κλείσιμο της ανίχνευσης ατμού στις σωληνώσεις μεταφοράς καυσίμου και τροφοδοσίας.
- Αλλάζουν σε κατάλληλο λάδι κυλίνδρου TBN, εάν υπάρχει.



Εικόνα 9. Blackout σε πλοίο (Πηγή <https://www.marineinsight.com/guidelines/blackout-situation-on-a-ship-what-are-the-first-steps-that-should-be-taken/>)

Τέλος, το πλήρωμα θα πρέπει να εξασκηθεί, ώστε να είναι έτοιμο να εφαρμόσει μέτρα έκτακτης ανάγκης, όπως τοπικούς ελιγμούς M/E, ελιγμούς έκτακτης ανάγκης, και να προχωρήσει στη λήψη επειγόντων μέτρων για τον περιορισμό των διαρροών καυσίμου ή την κατάσβεση πυρκαγιάς.

Ο πλοίαρχος και ο 1^{ος} Μηχανικός θα πρέπει να διασφαλίσουν ότι η πραγματική αλλαγή σε VLSFO για τις μονάδες καύσης θα γίνει σε ασφαλή περιοχή πλοήγησης. Δηλαδή θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι το πλοίο βρίσκεται σε περιοχή, όπου ισχύουν οι παρακάτω ενδεικτικές συνθήκες:

- Δεν υπάρχει κίνηση/συνωστισμός ή συμφόρηση στην περιοχή πλοήγησης.
- Βρίσκεται μακριά από περιοχή αγκυροβόλησης.
- Βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το πλησιέστερο έδαφος αλλά σε επαρκή απόσταση για ευελιξία σε περίπτωση απώλειας ισχύος.



Εικόνα 10. Ύδατα με αυξημένη κίνηση (Πηγή: <https://www.marinetraffic.com/blog/port-congestion-explained/>)

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία αλλαγής, ο καπετάνιος και ο 1^{ος} Μηχανικός θα πρέπει να διενεργήσουν επιχειρησιακούς ελέγχους της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών, όπως η λειτουργία μπροστά/πίσω, η εκκίνηση και η διακοπή των ηλεκτρογεννητριών τόσο χειροκίνητα όσο και αυτόματα, πριν προχωρήσουν σε περιοχές πλοήγησης, περιοχές με περιορισμούς βυθίσματος ή αυξημένη κίνηση (Εικόνα 10) κ.λπ.

4.1. Αντιμετώπιση Προβλημάτων κατά τη Χρήση των LSF0

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης (bunkering), το πλήρωμα του εκάστοτε πλοίου συλλέγει δείγματα από το καύσιμο που λαμβάνει, είτε αυτό είναι βαρύ πετρέλαιο (HFO) είτε ντίζελ. Ο τρόπος συλλογής του είναι απλός και αρκεί μόνο να τοποθετηθεί μια ειδική πλαστική σακούλα συλλογής κάτω ακριβώς από το bunker manifold (επιστόμιο πετρέλευσης). Τα δείγματα αυτά συλλέγονται με σκοπό όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς της πετρέλευσης να έχουν από μια πολύ μικρή ποσότητα του καυσίμου που παραδόθηκε προς καύση. Δείγματα θα παραληφθούν και από το βοηθητικό πλοiάριο που δίνει το πετρέλαιο, αλλά και από το ίδιο το πλήρωμα που λαμβάνει τα καύσιμα. Η πιο συνήθης πολιτική των ναυτιλιακών εταιρειών είναι να παραμείνει ένα δείγμα στο πλοίο και ένα να αποσταλεί σε εργαστήριο για ανάλυση.

Ίσως το πιο γνωστό εργαστήριο για αναλύσεις πετρελαίων, τουλάχιστον στον ευρωπαϊκό χώρο, είναι η Fobas UK με έδρα το Ηνωμένο Βασίλειο, και με εργαστήρια σε διάφορα μεγάλα λιμάνια του κόσμου, όπως η Σιγκαπούρη ή το Χιούστον της Αμερικής. Σε ένα από τα εργαστήρια αυτά, λαμβάνονται τα δείγματα των πετρελεύσεων για να διενεργηθεί η πρώτη ανάλυση για τη χημική σύσταση του καυσίμου. Συνήθως, η ποσότητα του δείγματος που αποστέλλεται για ανάλυση είναι περίπου 5 λίτρα. Αποτελεί μια πολύ μικρή ποσότητα αν κάποιος αναλογιστεί ότι οι ποσότητες πετρέλευσης ποικίλουν από 100 έως και 5000 ή και παραπάνω μετρητικούς τόνους, ανάλογα βέβαια με την χωρητικότητα των δεξαμενών. Με βάση λοιπόν αυτή τη μικρή ποσότητα, το εργαστήριο θα παρουσιάσει μια ανάλυση, που θα περιέχει ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του καυσίμου που ελήφθησαν από το πλήρωμα. Στη συνέχεια, και με βάση αυτή την ανάλυση, η κάθε εταιρεία θα πρέπει να μελετήσει για να καθοδηγήσει το πλήρωμα ως προς τον τρόπο χρήσης του. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αξιολόγηση αποτελεσμάτων πετρέλευσης.

Μελετώντας μια ανάλυση πετρελαίου, εύκολα μπορεί κάποιος να κατανοήσει εάν οι δείκτες που αναλύονται είναι ικανοποιητικοί. Συχνά ωστόσο, προκύπτουν παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε καταστάσεις που περιλαμβάνουν από πολύ μικρά προβλήματα στο δίκτυο του πετρελαίου έως και ραγδαία φθορά στα χιτώνια της κύριας μηχανής ή την πρόκληση ολικού black out στο πλοίο. Αυτός είναι και ο λόγος που απαιτούνται άμεσες κινήσεις από πλευράς της εκάστοτε ναυτιλιακής εταιρείας. Ποιοι είναι όμως αυτοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία της κύριας

μηχανής ή καθιστούν το πετρέλαιο μη αποδεκτό προς καύση; Στη συνέχεια της εργασίας δίνεται μια επεξήγηση κάποιων από τους παράγοντες που αναφέρονται σε μια ανάλυση πετρελαίου.

- Περιεκτικότητα σε θείο (Sulphur Content)

Ο πιο βασικός λόγος για να αποφανθεί το εργαστήριο για την καταλληλότητα ή μη ενός καυσίμου είναι η περιεκτικότητά του σε θείο. Με βάση το ISO 8217 το ανώτατο όριο της περιεκτικότητας σε θείο είναι 0,50%. Σχετικά με αυτό το όριο οι κανονισμοί θεσπίζουν ως αποδεκτό ένα σφάλμα της τάξεως του 0,02%. Επομένως, ένα καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για κατανάλωση εάν περιέχει θείο μέχρι 0,52%. Αντίθετα, εάν ληφθεί ένα καύσιμο με περιεκτικότητα 0,53%, τότε αυτόματα χαρακτηρίζεται ως ακατάλληλο προς χρήση, καθώς παραβιάζεται ο κανονισμός 8217 του ISO.

- Συνολικά ιζήματα (Total Sediments)

Ίσως ο δεύτερος βασικός παράγοντας που εξετάζεται στις αναλύσεις είναι τα ιζήματα που περιέχονται στα καύσιμα. Αποτελούν τα κατάλοιπα των πετρελαίων και είναι αποδεκτά μέχρι το ποσοστό του 0,10%, ενώ συνήθως ποικίλουν ανάμεσα στο ποσοστό της τάξεως του 0,03% με 0,05%. Στις αναλύσεις συνήθως αναφέρονται δύο μετρήσεις, που αφορούν τα total sediments σχετικά με την αναμενόμενη τιμή (total sediment potential) και την πραγματική τιμή (total sediment). Κατά τη διάρκεια της μελέτης πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και οι δύο παράγοντες.

- Περιεκτικότητα σε νερό (Water Content)

Ένας ακόμα παράγοντας που μελετάται είναι το ποσοστό του νερού που υπάρχει στην ποσότητα του καυσίμου που έχει παραληφθεί. Το όριο που θεσπίζει η Fobas είναι στο 0,50%, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι ένα καύσιμο με περιεκτικότητα υψηλότερη δεν μπορεί να καταναλωθεί. Το ποσοστό του νερού μειώνεται με εναλλάκτες θερμότητας που υπάρχουν στο εγκατεστημένο σύστημα και ρυθμίζουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος παροχής καυσίμου.

- Aluminum Silicon (Cat Fines)

Ένας επιπλέον παράγοντας που περιλαμβάνεται στις αναλύσεις των πετρελαίων είναι τα υπολείμματα καταλυτών (cat ή catalytic fines). Είναι συνήθως ενώσεις αλουμινίου

και πυριτίου που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία πετρελαίων για την παραγωγή βενζίνης και άλλων καυσίμων. Στην περίπτωση που αυτοί οι καταλύτες δεν περιοριστούν στα αποδεκτά επίπεδα, τότε μπορεί να προξενήσουν την καταστροφή ενός καυστήρα κύριας μηχανής ή ακόμα και την απότομη αύξηση της φθοράς στα χιτώνια της κύριας μηχανής. Η απότομη αυτή φθορά ανιχνεύεται εύκολα όταν το πλήρωμα προχωρήσει σε επιθεώρηση του εσωτερικού της μηχανής «Scavenge Inspection» σε κάποιο λιμάνι. Εκεί είναι πιθανόν να βρεθούν οι επιφάνειες των θυρίδων σάρωσης τραχιές και αιχμηρές. Το όριο που έχει θεσπιστεί για αυτές τις προσμίξεις ορίζεται στα 15 mg χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ένα καύσιμο με μεγαλύτερα ποσοστά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

4.2. Τρόποι Αντιμετώπισης Προβλημάτων

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως στην παρούσα εργασία αφορούν πλοία στα οποία χρησιμοποιείται βαρύ πετρέλαιο (HFO). Για αυτό το λόγο, κατά τη διάρκεια της ναυπήγησης του πλοίου στο ναυπηγείο, εγκαθίστανται μηχανήματα για την βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων πριν την καύση. Στη συνέχεια της εργασίας, θα παρουσιαστεί ένα σύστημα πετρελαίου, που χρησιμοποιείται στην πράξη, τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση του καυσίμου αλλά και η αντιμετώπιση μιας περίπτωσης όπου ένα δείγμα πετρελαίου, που εξετάστηκε, είχε τιμές εκτός των επιτρεπόμενων ορίων.

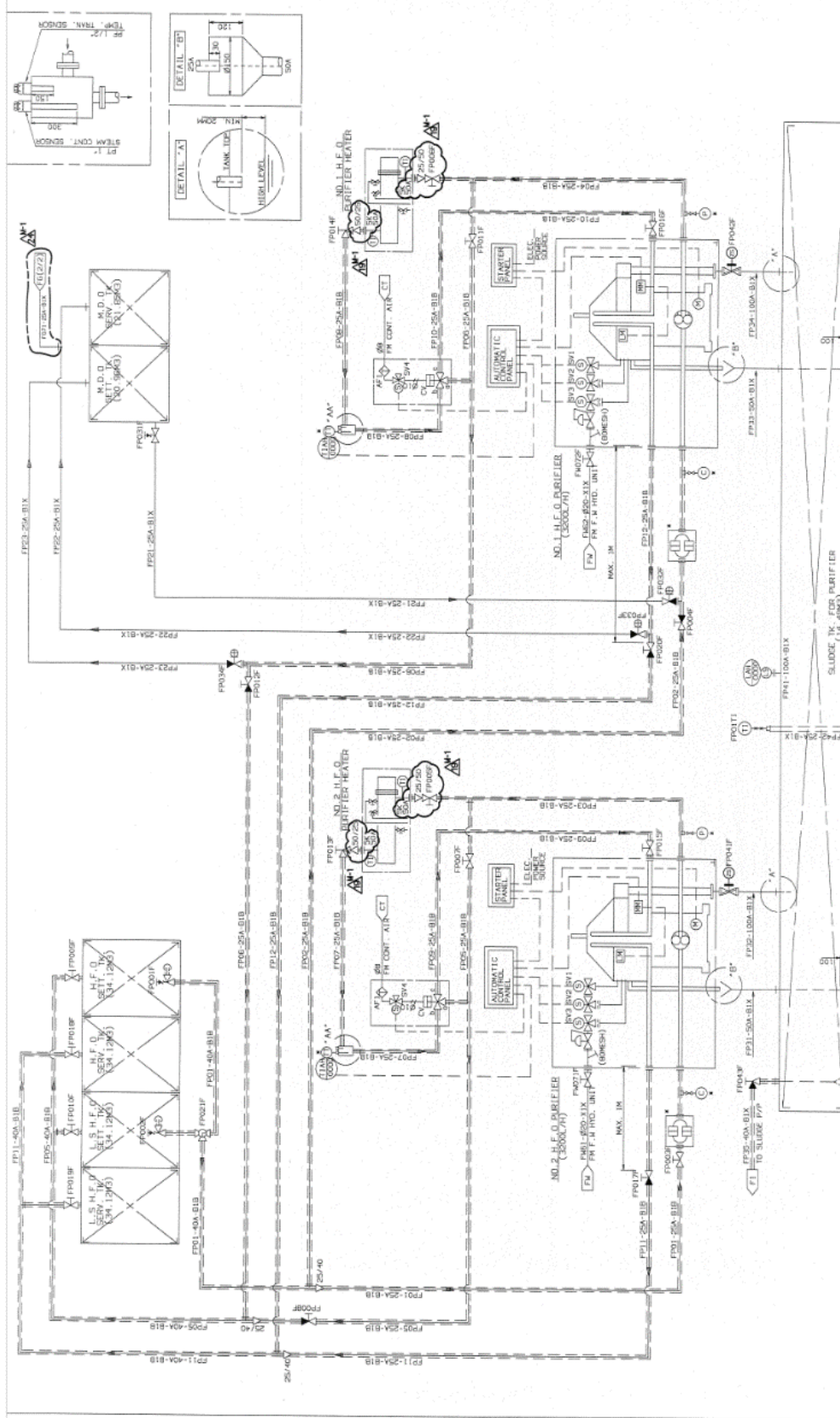
Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται σχέδιο μέρους του συστήματος πετρελαίου, το οποίο παρουσιάζεται στην εργασία. Όπως παρατηρείται σε αυτό, υπάρχουν μεγάλες δεξαμενές στις οποίες μπορούν να αποθηκευτούν πετρέλαια διαφορετικής σύστασης. Ο πρώτος διαχωρισμός γίνεται μεταξύ του πετρελαίου βαρέος τύπου (Heavy Fuel Oil - HFO) και ντίζελ (Diesel), τα οποία δεν θα πρέπει να αναμειχθούν σε καμία περίπτωση. Το πρώτο μέρος του συστήματος αφορά το στάδιο της πετρέλευσης και της τοποθέτησης των καυσίμων στη δεξαμενή. Οι δεξαμενές στις οποίες αποθηκεύονται αρχικά τα πετρέλαια ονομάζονται storage tanks, όπου γίνεται ένας πρώτος φυσικός διαχωρισμός μεταξύ καταλοίπων και πετρελαίου. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται, καθώς τα κατάλοιπα είναι πιο βαριά και κατά συνέπεια συμβαίνει η καθίζηση τους στον πυθμένα της δεξαμενής. Με καθημερινή αποστράγγιση του πυθμένα της δεξαμενής (drain) ένα ποσοστό από τα κατάλοιπα αφαιρείται από το πετρέλαιο.

πλοία είναι εξοπλισμένα με σερπατίνες, δηλαδή σωληνώσεις ανάμεσα από τις οποίες κυκλοφορεί ατμός. Έτσι, τα πετρέλαια είναι δυνατόν να θερμαίνονται ως ένα βαθμό και να προκαλείται εξαέρωση ενός μέρους από το νερό που τυχόν περιέχεται. Οι υδρατμοί απομακρύνονται από τα συστήματα εξαερισμού των δεξαμενών και οδηγούνται στο κατάστρωμα. Οι σωλήνες αυτές επιθεωρούνται και πρεσάρονται σε κάθε δεξαμενισμό για τον εντοπισμό διαρροής ή κόπωσης. Παρόμοιες επιθεωρήσεις μπορούν να γίνουν και από το πλήρωμα σε κάθε καθαρισμό της δεξαμενής από τα κατάλοιπα των πετρελαίων. Ο εντοπισμός ρωγμής στις σερπατίνες μπορεί να ανιχνευθεί επίσης με ένα μικρό χαλάρωμα κάποιας φλάντζας από ένα μικρό κομμάτι σωλήνα, όπου το πλήρωμα θα παρατηρήσει αν επιστρέφει ατμός/νερό μαζί με πετρέλαιο.

Το σχέδιο από το δεύτερο μέρος του συστήματος πετρελαίου φαίνεται στην εικόνα 12 και αναλύεται στη συνέχεια.

Με τη χρήση αντλίας μεταφοράς (transfer pump) μεταφέρεται μια ποσότητα πετρελαίου από την δεξαμενή αποθήκευσης (storage tank) στη δεξαμενή καθίζησης (settling tank), όπου πραγματοποιείται μια δεύτερη καθίζηση των καταλοίπων/ιζημάτων που περιέχονται στο πετρέλαιο. Συνήθως, τα πλοία χωρητικότητας μεγαλύτερης των 500 Gross Tonnage είναι εφοδιασμένα με τουλάχιστον 2 δεξαμενές καθίζησης, ώστε να εξασφαλίζεται η δυνατότητα να αποθηκεύονται δύο διαφορετικά πετρέλαια σε αυτές τις δεξαμενές.

Το παραπάνω σύστημα αποτελείται από την δεξαμενή καθίζησης (settling tank), το φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (purifier), τον εναλλάκτη θερμότητας (heater) και τη δεξαμενή ημερήσιας κατανάλωσης (service tank). Όπως προαναφέρθηκε, συνήθως τα πλοία έχουν δύο δεξαμενές καθίζησης για να μπορούν να δουλεύουν εναλλάξ ή για να αποθηκευτούν διαφορετικά καύσιμα. Στον πυθμένα των δεξαμενών αυτών υπάρχουν σωλήνες ατμού, ώστε τα καύσιμα να μπορούν να θερμανθούν. Με τη θέρμανση αυτών γίνεται μια δεύτερη προσπάθεια να μειωθεί η ποσότητα του νερού. Ταυτόχρονα, η τακτική αποστράγγιση της δεξαμενής βοηθάει στην απομάκρυνση των ιζημάτων που προσκολλώνται στον πυθμένα.

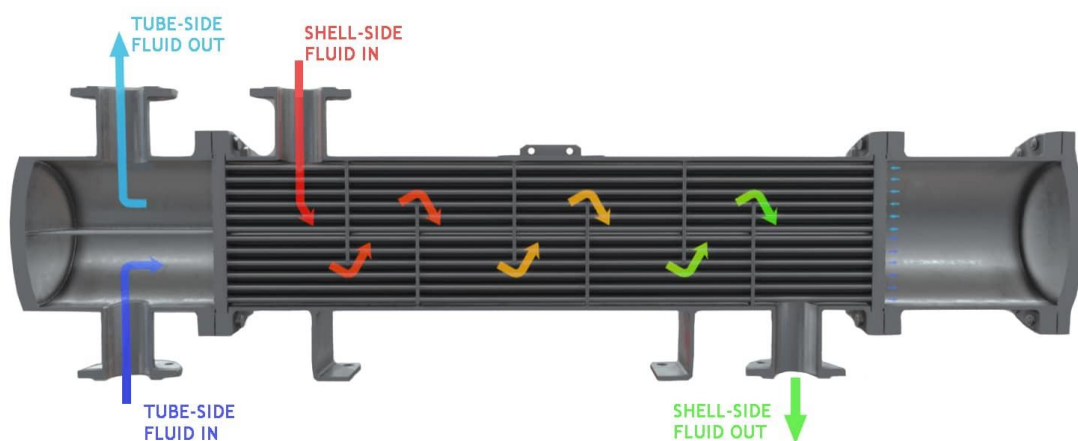


Εικόνα 12. Σύστημα Πετρελαίου συμπληρωματική όψη (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος αυτού είναι ο φυγοκεντρικός διαχωριστήρας (purifier). Ο καλύτερος δυνατός διαχωρισμός είναι ζωτικής σημασίας, έτσι ώστε να επιτευχθεί κατά το δυνατόν καλύτερη καύση στη κύρια μηχανή και τα βοηθητικά μηχανήματα. Οι διαχωριστήρες χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του πετρελαίου και του λαδιού. Στις νέες κατασκευές εγκαθίστανται δύο διαχωριστήρες πετρελαίου και δύο διαχωριστήρες λαδιού. Πάνω σε κάθε διαχωριστήρα υπάρχει μια συνδεδεμένη αντλία, για αναρρόφηση ως τη γραμμή που έρχεται από τις δεξαμενές καθίζησης. Η αντλία οδηγεί μια ποσότητα πετρελαίου στον εναλλάκτη θερμότητας, όπως φαίνεται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13. Εναλλάκτης Θερμότητας (Προσωπικό Αρχείο)

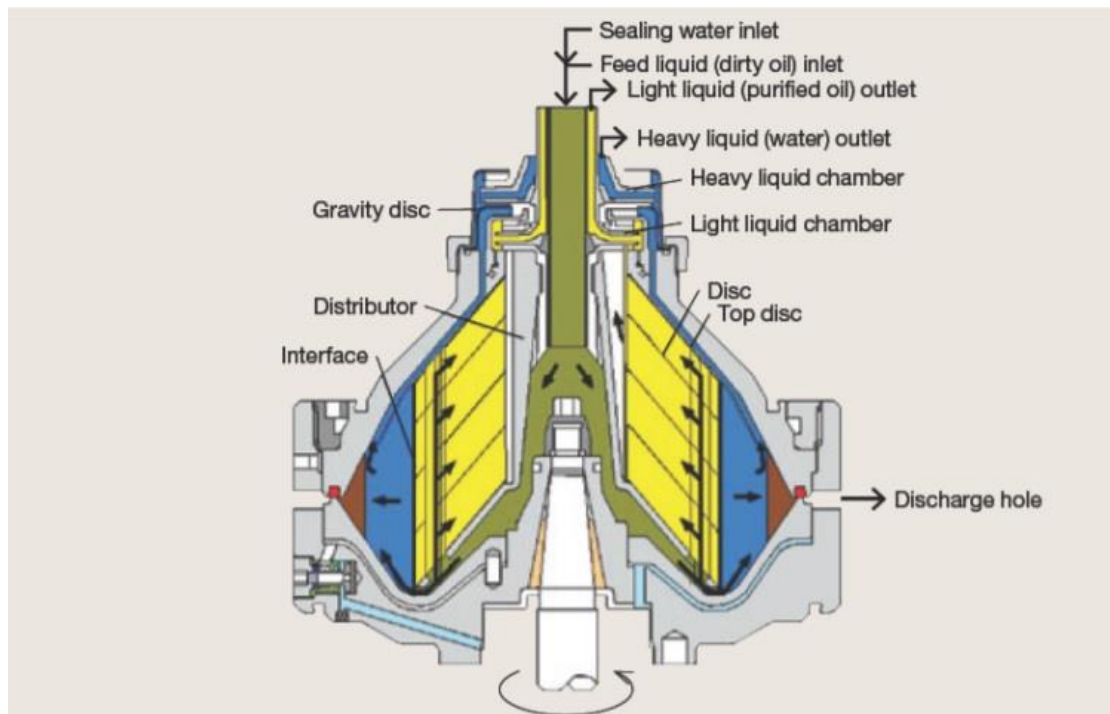


Εικόνα 14. Τομή Εναλλάκτη Θερμότητας (Πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/passes-shell-tube-heat-exchanger->)

Η λειτουργία του βασίζεται στην μετάδοση θερμότητας διαμέσου αγωγών. Όπως απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα (Εικόνα 14), υπάρχουν συνολικά δύο είσοδοι και δύο έξοδοι από τον εναλλάκτη θερμότητας. Ο λόγος είναι ότι υπάρχουν δύο υγρά/αέρια που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της θερμότητας. Εσωτερικά του εναλλάκτη υπάρχουν σωληνώσεις μέσα στις οποίες κυκλοφορεί ατμός από την μια άκρη στην άλλη. Η έξοδος βρίσκεται στο πάνω μέρος του εναλλάκτη. Από την άλλη πλευρά, το ρευστό κυκλοφορεί εξωτερικά των σωληνώσεων και απορροφά την θερμότητα που εκπέμπεται και τελικά, απορρίπτονται από το κάτω μέρος του εναλλάκτη.

Αφού το πετρέλαιο φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία για διαχωρισμό, τότε το επιστόμιο με τις τρεις κατευθύνσεις ανοίγει και το πετρέλαιο οδηγείται προς το φυγοκεντρικό διαχωριστήρα. Η ιδανική θερμοκρασία για το διαχωρισμό είναι περίπου στους 98 βαθμούς Κελσίου. Η ανάλυση πετρελαίου της Fobas (https://www.lrgmt.com/collect_info) περιγράφει τη θερμοκρασία αυτή ανάλογα με τις συστάσεις του κάθε πετρελαίου.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η διάταξη ενός φυγοκεντρικού διαχωριστήρα (Εικόνα 15). Αυτός διαθέτει έναν κατακόρυφο άξονα ο οποίος περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Επάνω στον άξονα βρίσκεται μια σειρά από δίσκους, οι οποίοι περιστρέφονται και δημιουργούν τη φυγόκεντρο δύναμη. Όλη αυτή η διάταξη περιστρέφεται στο εσωτερικό ενός δοχείου.



Εικόνα 15. Fuel Oil Purifier (Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=JjagsOUnH8k>)

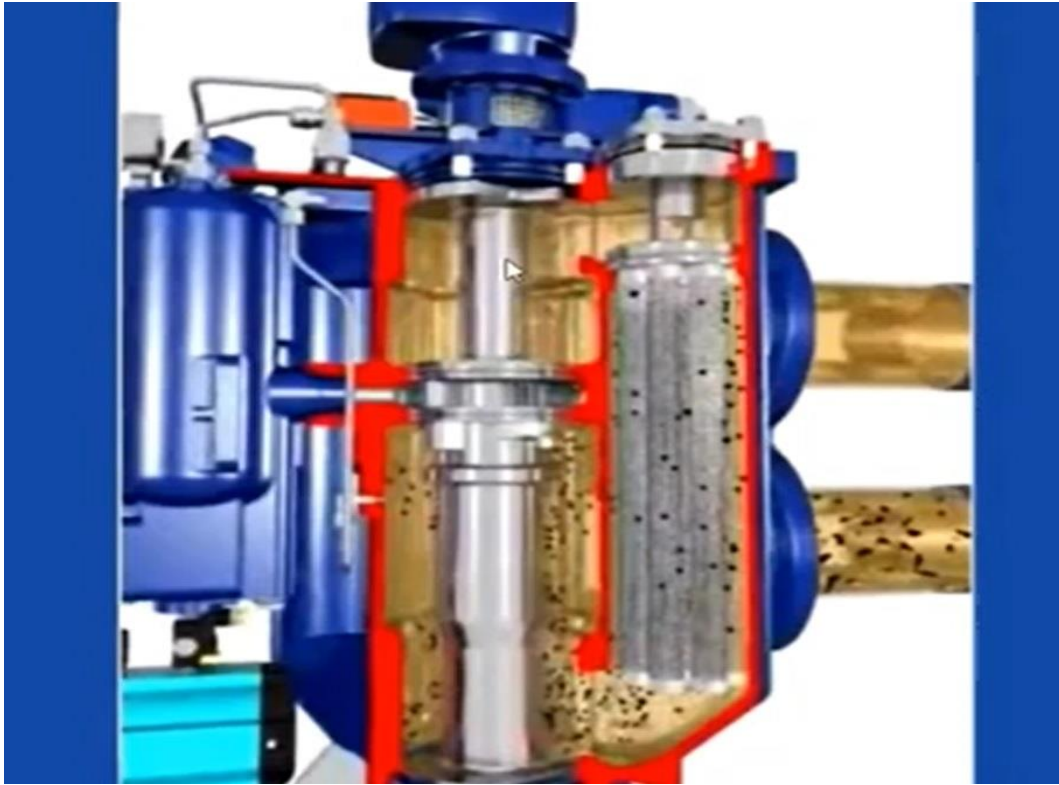
Το πετρέλαιο ή το λάδι εισέρχονται από τη μέση του διαχωριστήρα και στη συνέχεια οδηγούνται μέσα στους δίσκους. Εκεί το ρευστό περνάει ανάμεσα από τα μικρά κενά μεταξύ των δίσκων και απορρίπτεται από το πάνω μέρος, ενώ μια μεγάλη ποσότητα από τα ιζήματα ή των καταλοίπων που δεν μπορούν να διαπεράσουν τα διάκενα των δίσκων, οδηγούνται τελικά στα πλαϊνά του δοχείου. Όταν η ποσότητα από τα ιζήματα αυξηθεί, τότε ο διαχωριστήρας εκκινεί μια αυτόματη λειτουργία πλυσίματος για να καθαρίσει. Η παροχή πετρελαίου σταματάει και αφού ανοίξουν οι πλαϊνές θυρίδες για να φύγουν τα συσσωρευμένα υπολείμματα πετρελαίου, τότε νερό εισέρχεται εντός του δοχείου και απομακρύνει ό,τι έχει απομείνει μέσα σε αυτό. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται αρκετές φορές και αποτελεί έναν αυτόματο καθαρισμό για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων. Φυσικά, ταυτόχρονα ελέγχονται τα μηχανικά και περιστρεφόμενα μέρη αυτού για την καλή λειτουργία τους, αλλά και πιθανές ζημιές που μπορεί να υπάρχουν.

Το τελευταίο μέρος του συγκεκριμένου συστήματος πετρελαίου αποτελεί η δεξαμενή κατανάλωσης (Service Tank). Τέλος, το πετρέλαιο οδηγείται στο επόμενο και τελευταίο τμήμα του συστήματος, που παρουσιάζεται παρακάτω.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 16, το πλοίο χρησιμοποιεί μια από τις δύο δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης για καύση στην κύρια μηχανή, τις ηλεκτρομηχανές, το καζάνι και άλλα μηχανήματα. Η αναρρόφηση από τη δεξαμενή κατανάλωσης γίνεται με τη βοήθεια των αντλιών τροφοδοσίας καυσίμου (supply pumps). Αφού περάσουν από μεταλλικά φίλτρα, θα οδηγηθούν στο κλειστό κύκλωμα του αυτόματου φίλτρου.

Αυτή η διαδικασία αποτελεί το τελευταίο στάδιο πριν το καύσιμο διοχετευτεί στις μηχανές του πλοίου. Το καύσιμο θα περάσει εκ νέου από παρόμοιους εναλλάκτες θερμότητας, έτσι ώστε να θερμανθεί σε θερμοκρασία πάνω από 100°C, όπως ορίζεται στις αναλύσεις της Fobas για να εξατμιστεί το νερό που έχει απομείνει. Στη συνέχεια, εισέρχεται στα αυτόματα φίλτρα πετρελαίου, τα οποία είναι μηχανικά και των οποίων η λειτουργία τους παρουσιάζεται παρακάτω.

Στην εικόνα 17, παρουσιάζεται μια συνήθης διάταξη ενός αυτόματου φίλτρου που χρησιμοποιείται συχνά στα πλοία. Το καύσιμο εισέρχεται από την κάτω πλευρά της διάταξης. Εκεί με την βοήθεια ενός περιστρεφόμενου άξονα στο κέντρο του φίλτρου, το καύσιμο θα κατευθυνθεί προς το φίλτρο που βρίσκεται στη δεξιά πλευρά αυτού. Από εκεί, τα εναπομείναντα συστατικά που πρέπει να απομακρυνθούν από το πετρέλαιο θα προσκολληθούν πάνω στο φίλτρο, ενώ το υπόλοιπο καύσιμο θα μεταβεί προς το πάνω μέρος της διάταξης από όπου και θα απομακρυνθεί. Η διαδικασία αυτή, επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι να χρειαστεί το φίλτρο να καθαριστεί πλήρως. Στο συγκεκριμένο τύπο φίλτρου, υπάρχει η λειτουργία αυτόματου καθαρισμού που βασίζεται στις ενδείξεις πίεσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου. Όταν η ένδειξη αυτή αυξηθεί αρκετά, τότε η ροή σταματάει και ανοίγει ένα επιστόμιο στράγγισης (drain valve), οπότε με την παροχή αέρα τα υπολείμματα θα οδηγηθούν προς την έξοδο. Η διαδικασία αυτή θα επαναληφθεί αρκετές φορές μέχρι να κλείσει το επιστόμιο και η λειτουργία του φίλτρου να αρχίσει πάλι κανονικά. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, η διάταξη πρέπει να ανοίγεται και τα φίλτρα να καθαρίζονται ενδελεχώς από το πλήρωμα.



Εικόνα 17. Αυτόματο Φίλτρο (Πηγή : <https://www.youtube.com/watch?v=rvOyZyIUVOg>)

Στη συνέχεια, το καύσιμο κατευθύνεται προς τον κεντρικό σωλήνα παροχής καυσίμου στα μηχανήματα, όπου και εισέρχεται για την τελική καύση. Ένα μικρό μέρος του πετρελαίου δεν χρησιμοποιείται, οπότε μέσω των σωληνώσεων επιστροφής, επανέρχεται στην αρχή στους εναλλάκτες θερμότητας και ακολουθείται η ίδια διαδικασία που ήδη αναφέρθηκε. Ακόμα και μετά όμως από όλες τις διαδικασίες, κανένα καύσιμο δεν θα είναι τέλειο τη στιγμή που θα πάει για την καύση. Μικρές ποσότητες νερού, ιζημάτων και υπολειμμάτων είναι δυνατόν να διοχετευτούν στα μηχανήματα. Για το λόγο αυτό, το πλήρωμα θα πρέπει να επιθεωρεί την κατάσταση των χιτωνίων της κύριας μηχανής τουλάχιστον μια φορά το μήνα και να παρατηρεί σε καθημερινή βάση πιθανές διαφοροποιήσεις ή μεγάλες διαφορές στις θερμοκρασίες καυσαερίων μεταξύ των μονάδων της κύριας μηχανής.

5. Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας έγινε αναφορά στη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης, που πραγματοποιείται τόσο για τους ιδιοκτήτες όσο και για την εταιρεία που τροφοδοτεί το πετρέλαιο, ώστε να μπορούν όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς να έχουν από τουλάχιστον ένα δείγμα του καυσίμου που παραδόθηκε στο πλοίο. Μάλιστα, σημειώθηκε ότι στην περίπτωση που η ανάλυση δεν περιλαμβάνει τιμές εκτός των ορίων τότε η κατανάλωση αυτού γίνεται κανονικά, ενώ όταν κάποια ή κάποιες από τις παραμέτρους είναι εκτός ορίων, η ναυτιλιακή εταιρεία θα πρέπει να ενημερώσει άμεσα το πλήρωμα να σταματήσει την κατανάλωση αυτού του καυσίμου. Ακολουθεί, η παρουσίαση της ανάλυσης ενός δείγματος καυσίμου, και αναφέρονται οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση της συγκεκριμένης περίπτωσης.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται το παράδειγμα από την ανάλυση ενός δείγματος καυσίμου που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια μιας πετρέλευσης στην Αμερική. Το πρώτο σημείο που παρατηρήθηκε είναι ότι τα cat fines είναι αρκετά υψηλά αλλά μέσα στα επιτρεπόμενα όρια. Το στοιχείο που βγάζει αυτή την ανάλυση εκτός προδιαγραφών είναι τα ιζήματα με ποσοστό 270% μεγαλύτερο του μέγιστου ορίου. Η τιμή αυτή δεν επηρεάζει τους επίσημους κανονισμούς του ISO ή των χωρών, αλλά αντίθετα επηρεάζει άμεσα τη λειτουργία του πλοίου, καθώς μπορεί να προξενήσει ζημιές στη κύρια μηχανή και τις ηλεκτρομηχανές του πλοίου.

Σε προηγούμενη αναφορά σημειώθηκε ότι τα «total sediments» αφορούν τη συνολική ποσότητα ιζημάτων που περιέχονται στα πετρέλαια. Αυτά έχουν να κάνουν με κατακρημνίσματα και ακαθαρσίες που συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του καυσίμου. Η ναυτιλιακή εταιρεία ενημέρωσε το πλήρωμα ώστε να μην καταναλώσει το πετρέλαιο και ταυτόχρονα να συλλέξει δείγματα από διάφορα σημεία της δεξαμενής αποθήκευσης (Storage Tank). Σημειώνεται μάλιστα, ότι στα περισσότερα πλοία υπάρχουν σημεία δειγματοληψίας στο πυθμένα και στο πάνω μέρος της δεξαμενής. Σε κάποιες περιπτώσεις, το σημείο δειγματοληψίας μπορεί να βρίσκεται και στο μέσον της δεξαμενής, ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος των ιζημάτων κατά το ύψος της δεξαμενής. Φυσικά, είναι αναμενόμενο τα περισσότερα ιζήματα να βρίσκονται στο πυθμένα της δεξαμενής καθώς συγκεντρώνονται εκεί λόγω του βάρους τους. Τα δείγματα, που συλλέγονται, στέλνονται στο εργαστήριο για ανάλυση ώστε να μπορέσει να διαπιστωθεί η κατανομή τους, καθώς και σε τι ποσοστό περιέχονται μέσα

στη δεξαμενή. Ταυτόχρονα και μέχρι να αναλυθούν τα καινούργια δείγματα, η Fobas μπορεί να προχωρήσει σε μια επιπλέον ανάλυση, που ονομάζεται «Zematra». Η συγκεκριμένη ανάλυση προσδιορίζει το κατά πόσον τα ιζήματα θα παραμείνουν σταθερά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της πιθανής χρησιμοποίησης του καυσίμου. Είναι μια ανάλυση που πιστοποιεί εάν το καύσιμο περιέχει τα «sediments» που αναφέρονται στην αρχική ανάλυση.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα Μελέτης FOBAS (Πηγή: Προσωπικό Αρχείο)

Sample		Required	Tested
		1	Red
ISO-F Grade(2005)		RMG380VLS	-----
K Viscosity at 50oC	cSt	380 Max	41.4
K Viscosity at 100oC calc	cSt		8.5
Density @ 15°c	kg/l	0.9910 Max	0.9479
Water Content	% v/v	0.50 Max	0.05
Ash Content at 550oC	% m/m	0.15 Max	0.018
Micro Carbon Residue	% m/m	18.0 Max	3.71
Total Sediment	% m/m	0.10 Max	0.37
Total Sediment Existent	% m/m	0.10 Max	0.02
Net Specific Energy	MJ/kg		41.61
Gross Specific Energy	MJ/kg		44.08
Sulphur Content	% m/m	0.50 Max	0.46
Pour Point	°C	30 Max	27
Flash Point	°C	60 Min	> 70.0
CCAI	Index		837
Compatibility 50/50	index	-	-
Silicon	mg/kg		19
Aluminium	mg/kg		29
Vanadium	mg/kg	300 Max	< 1
Sodium	mg/kg		12
Iron	mg/kg		13
Phosphorus	mg/kg	15 Max	2
Lead	mg/kg		< 1
Calcium	mg/kg	30 Max	4
Nickel	mg/kg		2
Zinc	mg/kg	15 Max	3
Potassium	mg/kg		2
Magnesium	mg/kg		1
Aluminium + Silicon	mg/kg	80 Max	48

Τα δείγματα συλλέγονται επίσης, από διάφορα επίπεδα της δεξαμενής αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της επανακυκλοφορίας του καυσίμου από δεξαμενή σε δεξαμενή. Αυτό γίνεται με την αντλία επανακυκλοφορίας (circulation pump) και μόνο από και προς την ίδια δεξαμενή αποθήκευσης. Έτσι το καύσιμο αναδεύεται και ομογενοποιείται, ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων ως προς την κατανομή των ιζημάτων.

Το επόμενο βήμα ακολουθεί όταν ληφθούν όλες οι αναλύσεις από το εργαστήριο και αποδειχτεί ότι το καύσιμο περιέχει παραπάνω ιζήματα σε σχέση με το ανώτατο όριο της Fobas. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο πετρέλαιο δεν παραβιάζει τους κανονισμούς και μπορεί να καταναλωθεί, αλλά συνήθως αναμένεται να προκύψουν προβλήματα σε μηχανήματα ζωτικής σημασίας του πλοίου, με πιθανότερα την υπερχειλίση των φυγοκεντρικών διαχωριστήρων και τη συνεχή απόφραξη των φίλτρων. Για το λόγο αυτό, η ναυτιλιακή εταιρεία πρέπει να κρατάει ενημέρους του ναυλωτές αλλά και να απαιτεί αλλαγή/αντικατάσταση του πετρελαίου με νέα πετρέλευση. Στην περίπτωση που το πλήρωμα έχει ξεκινήσει να χρησιμοποιεί το καύσιμο πριν ακόμα εκδοθεί η αρχική ανάλυση πετρελαίου, τότε πρέπει να σταματήσει άμεσα την κατανάλωση του και να ξεκινήσει να χρησιμοποιεί κάποιο άλλο καύσιμο. Τι θα συμβεί όμως στην περίπτωση που το καύσιμο με υψηλά ποσοστά «sediments» πρέπει να χρησιμοποιηθεί γιατί δεν υπάρχει άλλη επιλογή; Στη συνέχεια της εργασίας θα γίνει παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθείται για να καταναλωθεί το καύσιμο αλλά και των μέτρων/διαδικασιών που ακολουθούνται από τα μέλη του πληρώματος για πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει το καύσιμο αυτό στο σύστημα πετρελαίου.

Όταν δεν υπάρχει άλλο καύσιμο ή το καύσιμο εκτός προδιαγραφών πρέπει να καταναλωθεί, τότε είναι δυνατόν να εφαρμοστούν οι παρακάτω λύσεις:

- Ανάμειξη δύο διαφορετικών καυσίμων
- Χρήση χημικών για την βελτίωση των καυσίμων
- Κατανάλωση του καυσίμου όπως παρελήφθη

5.1. Ανάμειξη Διαφορετικών Καυσίμων

Η παρούσα διαδικασία αφορά την ανάμειξη δύο διαφορετικών καυσίμων, έτσι ώστε να βελτιωθούν οι ιδιότητες του καυσίμου εκτός προδιαγραφών και στη συνέχεια να μπορεί να καταναλωθεί. Πρέπει σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι πριν από οποιαδήποτε

ανάμειξη πρέπει να γίνει νέα ανάλυση καυσίμων καθώς πρόκειται για ένα πετρέλαιο με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Πως γίνεται όμως αυτό και σε ποιες αναλογίες;

Τα περισσότερα εργαστήρια ανά τον κόσμο μπορούν να κάνουν τα λεγόμενα τεστ συμβατότητας (Compatibility tests), τα οποία μπορούν να δείξουν σε τι αναλογία/ποσοστό μπορούν να αναμειχθούν τα δύο καύσιμα έτσι ώστε να δώσουν ένα πετρέλαιο κατάλληλο προς κατανάλωση. Οι βαθμοί της κλίμακας που χρησιμοποιεί η Fobas για τον χαρακτηρισμό της συμβατότητας του πετρελαίου είναι από το 1 έως το 3. Πετρέλαια με βαθμό συμβατότητας 1 και 2 είναι κατάλληλα προς καύση, ενώ ένα πετρέλαιο στη βαθμίδα 3 θεωρείται ακατάλληλο. Συνήθως το ανώτατο όριο αναλογίας, όπου πρέπει να εξετάζεται η συμβατότητα μεταξύ δύο πετρελαίων είναι το ποσοστό 50/50. Αν είναι συμβατό ένα πετρέλαιο σε ποσοστό 50/50, τότε θα είναι συμβατό και στο 60/40 ή το 80/20. Πάντα ως πρώτο αναφέρεται το πετρέλαιο που χαρακτηρίζεται εντός προδιαγραφών.

Η ναυτιλιακή εταιρεία αποφασίζει τα ποσοστά από τα οποία επιθυμεί να λάβει αποτελέσματα. Στο εργαστήριο δημιουργούνται νέα δείγματα χρησιμοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα στο εργαστήριο. Ουσιαστικά, σε αυτό το σημείο δημιουργείται ένα καινούριο δείγμα για να είναι δυνατή η αναπαράσταση των συνθηκών και των ιδιοτήτων του καινούργιου καυσίμου. Χρησιμοποιούνται δηλαδή τα πρώτα δείγματα που έχουν συλλεχθεί από το πλήρωμα και στη συνέχεια, δημιουργούνται νέα δείγματα με βάση τα ποσοστά ανάμειξης των πετρελαίων που είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθούν. Στην εικόνα 18 παρουσιάζεται μια τέτοια ανάλυση.

Όπως είναι εύκολο να διαπιστωθεί, η ανάλυση που έχει γίνει μεταξύ δύο καυσίμων, ενός καυσίμου εντός και ενός καυσίμου εκτός προδιαγραφών, έχει προσδιοριστεί με τον αριθμό 2 από την Fobas. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει ότι το νέο καύσιμο μπορεί να καταναλωθεί, καθώς έχουν αλλάξει τα χαρακτηριστικά του. Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση της διαδικασίας με την οποία μπορεί να γίνει η ανάμειξη των δυο διαφορετικών πετρελαίων.

Γενικά, υπάρχουν δύο τρόποι για να γίνει η ανάμειξη δύο διαφορετικών καυσίμων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, υπάρχουν διάφοροι τύποι δεξαμενών αποθήκευσης πετρελαίου στις οποίες αποθηκεύονται τα διαφορετικά πετρέλαια (Storage tanks). Η ανάμειξη μπορεί να επιτευχθεί είτε σε μια νέα δεξαμενή αποθήκευσης είτε στις δεξαμενές καθίζησης (settling tanks).

Port	HOUSTON	PASADENA
Sampling Date	2020-08-01	2020-09-14
Supplier	VALERO	NUSTAR
Barge/Inst	SHAMROCK 501	MGI 2721
Sample Point Type	MANIFOLD	MANIFOLD
Sampling Method	DRIP	DRIP
Advised Bunker Details		
Viscosity cSt	38.92	35.1
Density @ 15°C kg/l	0.9347	0.9378
Sulphur	0.48	0.49
Quantity MT	692.597	680.43
Seal Number Lab	2194277	NO CAP SEAL
Tag Seal Numbers Lab	2547936	1596752
Seal Number Vessel	2194288	1596753
Seal Number Supplier	2135742	1596754
Seal Number MARPOL	2547928	851642
Sample	Required 1	Required 2
	ADHOC HFOVLS	ADHOC HFOVLS
Compatibility	Reference	
	1	2
	ADHOC HFOVLS	ADHOC HFOVLS
	2	
	Green	

<http://10.2.1.13/dms/DanGetMsg4798D7A8C4DCD5CBC4DID6C4AA8AAA8A8C4A9A...> 19/01/2022

Lloyd's Register Page 2 of 2

Comments: Sample 1

GREEN
=====

1. Compatibility test of a 80/20 blend between samples 1 and 2 gave a satisfactory rating of 1.

The above test results and subsequent advisory comments below are based on the testing of the sample as received by the laboratory, corresponding with the sample details as provided on page one of this report.

Εικόνα 18. Αποτελέσματα ανάλυσης ποιότητας πετρελαίου (Πηγή : Προσωπικό Αρχείο)

5.2. Ανάμειξη καυσίμου στις δεξαμενές αποθήκευσης (Storage Tanks)

Στην περίπτωση αυτή, πετρέλαια που βρίσκονται σε δύο διαφορετικές δεξαμενές αποθήκευσης αναμειγνύονται σε μια τρίτη δεξαμενή. Βασικό θέμα που πρέπει να αποφασιστεί από την αρχή στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι το ποσοστό ανάμειξης

των καυσίμων. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν επίσης η χωρητικότητα της δεξαμενής και με βάση αυτή να καθοριστούν πόσοι μετρητικοί τόνοι καυσίμου χρειάζονται από κάθε καύσιμο. Βασικό μειονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι ότι τα πετρέλαια δεν αναμειγνύονται στο μέγιστο βαθμό, καθώς η είσοδος τους στη δεξαμενή γίνεται ξεχωριστά. Αυτό οδηγεί στο φαινόμενο το πιο «βαρύ» πετρέλαιο να συγκεντρώνεται προς το πυθμένα, άρα πιο κοντά στο σημείο εξόδου αυτής και το πιο «ελαφρύ» να παραμένει το πάνω μέρος της δεξαμενής.

5.3. Ανάμειξη καυσίμου στις δεξαμενές καθίζησης (Settling Tanks)

Η διαδικασία της ανάμειξης των καυσίμων στη δεξαμενή καθίζησης είναι σχεδόν παρόμοια με την προηγούμενη. Μια από τις διαφορές είναι ότι η ποσότητα που μεταφέρεται είναι πολύ μικρότερη και ο λόγος μεταξύ των καυσίμων μπορεί να ρυθμιστεί πιο εύκολα. Συνήθως, τα σύγχρονα πλοία είναι εφοδιασμένα με τουλάχιστον δύο δεξαμενές καθίζησης. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που αποφασιστεί να γίνει ανάμειξη καυσίμων με αυτό τον τρόπο, θα πρέπει σε μια εκ των δύο δεξαμενών να υπάρχει μόνο πετρέλαιο εντός προδιαγραφών και έτοιμο για χρήση.

Επιπλέον ένα από τα θετικά της μεθόδου είναι ότι μέσω των φυγοκεντρικών διαχωριστήρων, το πετρέλαιο μπορεί να ανακυκλωθεί από δεξαμενή σε δεξαμενή πριν ξεκινήσει η κατανάλωσή του. Είναι δυνατόν δηλαδή να μεταφερθεί το καινούργιο καύσιμο από τη δεξαμενή καθίζησης προς το φυγοκεντρικό διαχωριστήρα (purifier), ώστε να γίνει ο διαχωρισμός και στη συνέχεια να επιστρέψει και πάλι στη δεξαμενή. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί έως ότου μπει σε λειτουργία το καύσιμο της δεξαμενής.

5.4. Καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο άνω του 0,50 %

Στη συνέχεια της εργασίας θα παρουσιαστεί η περίπτωση στην οποία η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο είναι 0,50 %, δηλαδή υψηλότερη του ορίου.

Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται η περίπτωση ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε πετρέλευση στην οποία διαπιστώθηκε ότι η περιεκτικότητα σε θείο είναι μεγαλύτερη των αποδεκτών ορίων. Η πετρέλευση πραγματοποιήθηκε στη περιοχή του Λόμε στο Τόγκο. Παρατηρείται ότι η κρίσιμη παράμετρος (περιεκτικότητα σε θείο) είναι περίπου 10% πάνω από το ανώτατο όριο που θεσπίζει ο κανονισμός της Marpol και προφανώς

εκτός των προτύπων του ISO 8217, που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Η περιεκτικότητα αυτή δεν αναμένεται να προκαλέσει άμεσες επιπτώσεις στη λειτουργία της κύριας μηχανής ή στις ηλεκτρομηχανές του πλοίου. Ωστόσο είναι υπαρκτός ο κίνδυνος να προκύψουν προβλήματα λόγω της μη συμμόρφωσης με τον κανονισμό Sulphur 2020 στην περίπτωση που το πλοίο υποβληθεί σε επιθεωρήσεις από λιμενικές αρχές (Port State Control).

Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση δεν υπάρχει κάποιο σύστημα ή μηχανήμα στο πλοίο που να έχει την ικανότητα να μειώσει το ποσοστό της περιεκτικότητας σε θείο. Για το λόγο αυτό, η ναυτιλιακή εταιρεία οφείλει να είναι πολύ προσεκτική στις αποφάσεις που αφορούν τη χρησιμοποίηση ή όχι της συγκεκριμένης ποιότητας πετρελαίου. Θα πρέπει να ενημερωθεί ο προμηθευτής του πετρελαίου είτε από την ίδια τη διαχειρίστρια εταιρεία, είτε από τους ναυλωτές.

Ο μόνος τρόπος ίσως που υπάρχει για να μπορέσει κανείς να επαληθεύσει το ποσοστό της περιεκτικότητας σε θείο είναι η συλλογή επιπλέον δειγμάτων από τη δεξαμενή αποθήκευσης του πλοίου και στη συνέχεια η ανάλυσή τους. Η πιο συνήθης διαδικασία είναι η συλλογή δειγμάτων από διαφορετικά σημεία της δεξαμενής αποθήκευσης πετρελαίου του πλοίου. Συνήθως συλλέγονται δύο έως τρία δείγματα για να σταλούν για επιπλέον ανάλυση. Σε πολλές περιπτώσεις, η συλλογή αυτών των δειγμάτων γίνεται παρουσία κάποιου επιθεωρητή για να μπορεί να διαπιστωθεί εάν τα δείγματα συλλέχθηκαν από την σωστή δεξαμενή. Τα δείγματα στέλνονται για ανάλυση και συνήθως τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ίδια με της αρχικής.

Όπως γίνεται κατανοητό, στην περίπτωση που περιεγράφηκε παραπάνω, το καύσιμο χαρακτηρίζεται ως “Non compliant”. Δηλαδή πρόκειται για ένα καύσιμο που τα χαρακτηριστικά του δεν συμβαδίζουν με το παράρτημα IV της Marpol (Marpol Annex IV).

Density @ 15°C	kg/l	0.9910 Max	0.9737
Water Content	% v/v	0.50 Max	0.05
Ash Content at 550°C	% m/m	0.15 Max	0.013
Micro Carbon Residue	% m/m	18.0 Max	5.21
Total Sediment	% m/m	0.10 Max	< 0.01
Net Specific Energy	MJ/kg		41.24
Gross Specific Energy	MJ/kg		43.63
Sulphur Content	% m/m	0.50 Max	0.55
Pour Point	°C	30 Max	< 6
Flash Point	°C	60 Min	> 70.0
CCAI	Index		850
Silicon	mg/kg		8
Aluminium	mg/kg		7
Vanadium	mg/kg	300 Max	10
Sodium	mg/kg		12
Iron	mg/kg		10
Phosphorus	mg/kg	15 Max	< 1
Lead	mg/kg		< 1
Calcium	mg/kg	30 Max	3
Nickel	mg/kg		12
Zinc	mg/kg	15 Max	< 1
Potassium	mg/kg		< 1
Magnesium	mg/kg		< 1
Aluminium + Silicon	mg/kg	80 Max	15

Comments: Sample 1

AAA: Please confirm whether the sample is fully representative of the fuel as loaded and that the sample is taken throughout the bunkering process as a continuous bunker drip sample in accordance with the instructions given in FOBAS sampling procedures manual.

Red

1. Sulphur content as determined exceeds the maximum limit of 0.50 % m/m required by MARPOL Annex VI Reg 14.1.3. Rechecks have been carried out on this sample confirming the result.

Εικόνα 19. Αποτελέσματα ανάλυσης ποιότητας πετρελαίου (Πηγή : Προσωπικό Αρχείο)

6. Συμπεράσματα – Προτάσεις για την αποφυγή προβλημάτων.

Τα πλοία λειτουργούν σε ένα πολύπλοκο και απαιτητικό περιβάλλον. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στη λειτουργία τους είναι τα καύσιμα που καταναλώνουν. Μέσα στα πετρέλαια, που καταναλώνονται από την ναυτιλία υπάρχουν συστατικά, που μπορεί είτε να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία των μηχανών του πλοίου είτε να δημιουργήσουν προβλήματα που σχετίζονται με παραβιάσεις διεθνών κανονισμών.

Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν, οι ναυτιλιακές εταιρίες να προλαμβάνουν καταστάσεις αδυναμίας επίλυσης των θεμάτων αυτών ενώ θα πρέπει να είναι σε θέση να προτείνουν τρόπους αντιμετώπισης οποιουδήποτε προβλήματος προκύπτει από αυτά τα πετρέλαια. Επειδή όμως, σε όλες τις περιπτώσεις, οι αναλύσεις πετρελαίων από τα χημικά εργαστήρια είναι διαθέσιμες μετά το τέλος της πετρέλευσης και τον απόπλου του πλοίου, η διερεύνηση της φερεγγυότητας της πετρελαϊκής εταιρείας αποδεικνύεται μείζονος σημασίας. Τα εργαστήρια μπορούν να παρέχουν στοιχεία σχετικά με τις παλαιότερες πετρελεύσεις του κάθε τροφοδότη. Με αυτό το τρόπο, μπορεί να αποδειχτεί πόσο συχνά ή πόσες περιπτώσεις με προβληματικά πετρέλαια έχουν εμφανιστεί. Η περίπτωση να υπάρχει στο πλοίο απόθεμα από παλαιότερο καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά, θα ήταν μια ιδανική λύση.

Ένας ακόμα τρόπος διαχείρισης των μη συμβατών πετρελαίων αποτελεί η σωστή συντήρηση των μηχανημάτων κυρίως σε ότι αφορά την κύρια μηχανή και τις ηλεκτρομηχανές. Η σωστή συντήρηση αυτών δίνεται από τα εγχειρίδια χρήσης των κατασκευαστών. Μια ακόμα λύση θα μπορούσε να είναι η ύπαρξη ορισμένων καίριων ανταλλακτικών ως απόθεμα στο πλοίο, καθώς τα μηχανήματα στο σύστημα πετρελαίου, π.χ. καυστήρες ή αντλίες πετρελαίου, είναι από τα πρώτα που θα επηρεαστούν. Επομένως, θα ήταν χρήσιμο να υπάρχει επαρκής διαθέσιμος αριθμός ανταλλακτικών επί του πλοίου ανά πάσα στιγμή.

Μια λύση σημαντικής αξίας, είναι ο συχνός καθαρισμός των δεξαμενών πετρελαίου, όπου και όποτε αυτό είναι εφικτό. Ο καθαρισμός μπορεί να αφαιρέσει από τις δεξαμενές όλα τα ιζήματα που προσκαλούνται στο πυθμένα τους λόγω του βάρους τους. Ωστόσο, ορισμένες φορές στην πράξη, ένα ποσοστό αυτών των ιζημάτων διαφεύγει ακόμα κι από τους φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες ή τα φίλτρα και οδηγείται κατευθείαν στη κύρια μηχανή ή τις ηλεκτρομηχανές επιφέροντας τις επιπτώσεις που προαναφέρθηκαν.

7. Βιβλιογραφία

- ABS. (2020). Pathways to Sustainable Shipping.
- Berg, H. P. (2013). Human Factors and Safety Culture in Maritime Safety. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*.
- Brans, J. P. (1982). *L'ingenierie de la decision. L'elaboration d'instruments d'aide a la decision*. Quebec: University Laval.
- Brans, J. P., Mareschal, B., & Vincke, P. (1986). Prométhée: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. *European Journal of Operational Research*, 228-238.
- Cabezas-Basurko, O., Mesbahi, E., & Moloney, S. R. (2008). Methodology for sustainability analysis of ships. *Ships and Offshore Structures*, 1-11.
- Chauvin, C. (2011). Human Factors and Maritime Safety. *Journal of Navigation*, 625-63.
- Chia, Y. H. (2017). *Maritime Sustainability and the Human Element - Promoting the Safety Culture Onboard. Towards 2030: Maritime Sustainability through People and Technology*. Singapore.
- Ciuffo, B., Nijkamp, P., & Sala, S. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 314-325.
- Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2002). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. New York: Prentice Hall PTR.
- Finetti, B. (1970). Logical foundations and measurement of subjective probability. *Acta Psychologica*, 129-145.
- Hacking, I. (1965). *The Logic of Statistical Inference*. Cambridge University Press.
- Hyne, Norman J. (2001). *Nontechnical Guide to Petroleum Geology, Exploration, Drilling, and Production*, PennWell Corporation 2001, ISBN 0-87814-823-X
- IMO. (2019, 11 4). UN. Ανάκτηση από https://www.un.org/Depts/los/general_assembly/contributions_2015/IMO.pdf
- IMO. (2020, April 6). International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM). Ανάκτηση από [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx)
- IMO, I. M. (2013). *A Concept of Sustainable Maritime Transportation System*. Rio: Sustainable Developmet.
- L. Wang, M. H. (2020). The carbon footprint is the total set of greenhouse gas (GHG) emissions caused by an organization or product and it is often expressed in terms of the amount of carbon dioxide, or its equivalent of other GHGs emitted. Driven by consumer's low-carbon consu. *Journal of Cleaner Production*.
- Lamb, T. (2003). *Ship design and construction*. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- MacLachlan, M. (2017). *Maritime Psychology: Definition, Scope and Conceptualization*. Στο M. MacLachlan, *Maritime Psychology: Research in Organizational & Health Behavior at Sea* (σσ. 1-19). Switzerland: Springer.
- LR FOBAS – Sample Collection Guide https://www.lrgmt.com/collect_info
- NRC. (1983). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. Washington: National Academies Press.
- Paltrinieri, N., & Landucci, G. (2016). Dynamic Evaluation of Risk: from Safety Indicators to Proactive Techniques. *Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry*.
- Psarafitis, H. (2016). Green maritime logistics: the quest for win-win solution. 6th Transport Research Arena Conference 2016, April 18-21. Warsaw, Poland.
- Sagen, A., & Mitchell, P. (2002). *Safety and Health at Sea: A Practical Manual for Seafarers*. London: Witherby-Seamanship.
- Sherwood, B. J., & Earthy, J. (2003). *ATOMOS IV Revision WP8.5 Rationale for SOLAS Regulation V/15 Template*.
- Smet, Y. D. (2019). Beyond Multicriteria Ranking Problems: The case of PROMETHEE. Στο M. Doumpos, J. R. Figueira, S. Greco, & C. Zopounidis, *New Perspectives in Multiple Criteria Decision Making*: (σσ. 95-128). Switerland: Springer.
- Tran, Tien Anh. (2020). Some Methods to Prevent the Wear of Piston-Cylinder When Using Low Sulphur Fuel Oil (LSFO) for All Ships Sailing on Emission Control Areas (ECAs). [10.5772/intechopen.89400](https://doi.org/10.5772/intechopen.89400).

- Varonen, U., & Mattila, M. (2000). The safety climate and its relationship to safety practices, safety of the work environment and occupational accidents in eight wood-processing companies. *Accident Analysis and Prevention*, 32:761–769.
- Ventikos, N. P. (2012). [*Study and Risk Management in the Maritime Transport*](#). Athens: National Technical University.

