



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Διπλωματική Εργασία

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΘΕΙΟΥ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ



Μαρία-Αικατερίνη Κόντη

Επιβλέποντες :

Δημήτρης Λυρίδης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε χάρη στη συμβολή πολλών ανθρώπων στους οποίους θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου.

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους καθηγητές Δ. Λυρίδη και Γ. Γιαννή, που μέσα από τις γνώσεις τους και τις παροτρύνσεις τους υπήρξαν η πηγή έμπνευσης που μου έδωσε το κίνητρο και τη διάθεση για την επίτευξη αυτού του στόχου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στην εταιρεία Ariston Navigation Corp. για τα πολύτιμα στοιχεία που διέθεσε ώστε να εκπονηθεί αυτό το έργο.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω το σύζυγό μου, τους φίλους μου και την οικογένειά μου, που στάθηκαν δίπλα μου και με υποστήριξαν με τον καλύτερο τρόπο όλων αυτών τον καιρό και για αυτόν το λόγο τους ευχαριστώ εκ βαθέων.

Σύντομη Περίληψη

Τη σημερινή εποχή, οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον πραγματικότητα και οι προσπάθειες μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πιο επίκαιρες από ποτέ. Η ναυτιλία, όντας ένας από τους κύριους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, δεν θα μπορούσε παρά να ακολουθεί αυτή την τάση ενσωματώνοντας κανονισμούς για τη μείωση αέριων ρύπων. Ένας πρόσφατος κανονισμός που τέθηκε σε ισχύ το 2020 είναι ο IMO 2020, που στοχεύει στη ελαχιστοποίηση των εκπομπών των οξειδίων του θείου (SOx) από πλοία, μειώνοντας την επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων τους σε 0.50% κατά μάζα. Η εργασία επιχειρεί να αναδείξει τις επιπτώσεις της εναρμόνισης με τον IMO 2020 στις εταιρείες που διαχειρίζονται εμπορικά πλοία, εκπονώντας δύο περιπτωσιακές μελέτες με στοιχεία από πραγματικά πλοία χύδην φορτίου. Οι τρεις επιλογές εναρμόνισης ενός υπάρχοντος πλοίου που εξετάζονται είναι α) η εγκατάσταση πλυντρίδων (scrubbers), β) η χρήση καθαρότερων καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO), και γ) η χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) ως καύσιμου. Προκύπτει πως οι περιπτώσεις α) και γ) επιφέρουν σημαντικές αρχικές δαπάνες κεφαλαίου για την τροποποίηση των πλοίων, ωστόσο η επιλογή των scrubbers διακρίνεται ως η πιο οικονομική σε ορίζοντα πενταετίας και δεκαετίας. Η ηλικία των πλοίων, η δυνατότητα και διάθεση των εταιρειών για επένδυση και οι τιμές των ναύλων ξεχωρίζουν ως σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την απόφαση. Τέλος, γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τη σημερινή κατάσταση της αγοράς.

Λέξεις-κλειδιά:

Εμπορική Ναυτιλία, Αέριοι Ρύποι, Διοξείδιο του θείου (SO₂), IMO 2020, Εναρμόνιση, Scrubbers, Καθαρά Καύσιμα (VLSFO), Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Abstract

Given that the effects of climate change are becoming more and more evident, measures to mitigate air pollution are being increasingly observed worldwide. The shipping industry follows this trend, and regulations to reduce emissions are being imposed every year. Recently, the International Maritime Organization enforced a 0.50% m/m Sulphur cap on all operating vessels, through a series of regulations collectively known as “IMO 2020”, effective from January 2020. This thesis examines the impact of compliance to these regulations that vessel management companies experience, by presenting two case studies based on data taken from two existing bulk carriers. Three options of compliance are considered as follows: i) Installing Scrubbers and operating with Heavy Fuel Oil (HFO), ii) Operating with cleaner fuels such as Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO), iii) Converting to Liquefied Natural Gas (LNG) fuel operation. The study indicates that options i) and iii) are accompanied by significant capital expenditures (CapEx), however the Scrubber option is shown to be the most cost-effective considering 5 and 10-year depreciation scenarios. Other important parameters such as the vessels’ age, the management companies’ cash flow and risk appetite, and the hire rates are shown to influence the results. Lastly, an attempt is made to correlate the findings of this thesis with the current situation of the industry.

Keywords:

Shipping Industry; Climate Change; IMO 2020; Bulk Carriers; Sulphur Cap; Scrubbers; Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO); Low Sulphur Marine Gas Oil (LSMGO); Liquefied Natural Gas (LNG).

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : Ατμοσφαιρική Ρύπανση και η Συμβολή της Ναυτιλίας...	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Διάρθρωση της εργασίας	9
1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση και κυριότεροι αέριοι ρύποι.....	10
1.4 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και κλιματική αλλαγή	10
1.5 Τα αέρια του θερμοκηπίου και το Διοξείδιο του θείου - SO ₂	11
1.6 Η συμβολή της ναυτιλίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και σύγκριση με άλλα μέσα μεταφοράς.....	13
1.7 Εκπομπές SO ₂ από τη ναυτιλία	15
Κεφάλαιο 2 : Τα Καύσιμα στη Ναυτιλία.....	17
2.1. Εισαγωγή.....	17
2.2 Τύποι καυσίμων στην ναυτιλία	17
2.2.1 Μαζούτ (Heavy Fuel Oil, HFO).....	19
2.2.2 Ελαφρά καύσιμα	20
2.2.3 Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.....	20
2.3 Εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία	22
2.3.1. Εισαγωγή	22
2.3.2 Αέρια καύσιμα και LNG	22
Κεφάλαιο 3 : Πλυντρίδες - Scrubbers.....	26
3.1 Εισαγωγή - Ορισμός.....	26
3.2 Είδη Scrubbers	26
3.2.1. Scrubber υγρού τύπου (Wet scrubbers)	27
3.2.2. Scrubber ξηρού τύπου (Dry scrubbers).....	31
3.3 Γενικές θεωρήσεις για την εγκατάσταση scrubber	32
Κεφάλαιο 4 : Κανονισμοί Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων	34
4.1 Εισαγωγή.....	34
4.2 United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC	34
4.3 International Maritime Organization -IMO , MARPOL 73/78 και Annex VI	35
4.3.1 MARPOL Annex VI.....	35
4.4 Ειδικές περιοχές (Special Areas) και Περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECAs).....	36
4.5 Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα όρια του θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα.....	37

4.6 Τοπικοί κανονισμοί σε άλλες περιοχές	38
4.7 IMO 2020	39
Κεφάλαιο 5: Επιβολή των Κανονισμών Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων	43
5.1 Εισαγωγή.....	43
5.2 Νηογνώμονας	43
5.3 Κράτος λιμένα και έλεγχοι από το κράτος λιμένα	44
5.4 Κράτος σημαίας	47
Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Θεωρητικών Σεναρίων - Παραδοχές	50
6.1 Παρουσίαση θεωρητικών σεναρίων	50
6.2 Επιλογή των πλοίων μελέτης.....	50
6.3 Πλοίο μελέτης 1	53
6.3.1 Ταξίδι μελέτης	54
6.3.2 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση scrubber και HFO ως καύσιμο	54
6.3.3 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση VLSFO και LSMGO	55
6.3.4 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση LNG ως καύσιμο.....	56
6.3.5 Υπολογισμοί για το πλοίο μελέτης 1.....	57
6.4 Πλοίο μελέτης 2	58
6.4.1 Ταξίδι μελέτης	59
6.4.2 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση scrubber και HFO ως καύσιμο	59
6.4.3 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση VLSFO και LSMGO	60
6.4.4 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση LNG ως καύσιμο.....	60
6.4.5 Υπολογισμοί για το πλοίο 2.....	60
Κεφάλαιο 7 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	62
7.1 Παρουσίαση και ερμηνεία αποτελεσμάτων	62
7.2 Συσχετισμός με την τωρινή κατάσταση της αγοράς	66
7.3 Επίλογος και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	67
Βιβλιογραφικές Αναφορές	69

Κεφάλαιο 1 : Ατμοσφαιρική Ρύπανση και η Συμβολή της Ναυτιλίας

1.1 Εισαγωγή

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα παγκοσμίως είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, και συγκεκριμένα η ατμοσφαιρική ρύπανση, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον. Οι αέριοι ρύποι συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, άμεσο αποτέλεσμα του οποίου είναι η κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί καρδιαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα, καθώς και καρκίνους, και σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), τόσο στις πόλεις όσο και στις αγροτικές περιοχές εκτιμήθηκε ότι το 2019 προκάλεσε 4,2 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους παγκοσμίως ^[1]. Είναι πλέον σαφές ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν κατά κόρον στην αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, και αυτό αποτελεί αντικείμενο έρευνας της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια.

Η ναυτιλία αποτελεί ένα κύριο στοιχείο της ανθρώπινης δραστηριότητας από τα χρόνια της αρχαιότητας. Η κινητήριος δύναμη των πλοίων τη σύγχρονη εποχή προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων υδρογονάνθρακα, κατά συνέπεια η ναυτιλία συμβάλλει στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Στα πλαίσια της όλο και αυξανόμενης εγρήγορσης για την προστασία του περιβάλλοντος που παρατηρείται στις μέρες μας, ο κλάδος της ναυτιλίας καλείται να προχωρήσει σε σημαντικές αλλαγές του τρόπου λειτουργίας του.

Όπως και σε άλλους τομείς των μεταφορών και της βιομηχανίας, έτσι και στο τομέα της ναυτιλίας οι προσπάθειες ξεκίνησαν με την επιβολή ορίων και κανονισμών που αφορούσαν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), αφού είναι γνωστό ότι αυτό είναι το αέριο που συμβάλλει περισσότερο στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρείται μια εντατικοποίηση των προσπαθειών, με την επιβολή κανονισμών που αφορούν και σε άλλους αέριους ρύπους, μεταξύ άλλων και στα Οξειδία του Θείου (SO_x). Όπως θα εξηγηθεί και παρακάτω, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organisation - IMO) αποφάσισε να επιβάλλει κανονισμούς που περιορίζουν τις εκπομπές SO_x από τα πλοία θέτοντας σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου του 2020 το μέγιστο όριο περιεκτικότητας σε θείο σε 0,50% κατά μάζα. Ο όρος που έχει επικρατήσει για το σύνολο αυτών των κανονισμών στην αγορά της ναυτιλίας είναι «IMO 2020».

Η παρούσα διπλωματική καταπιάνεται με τις διαθέσιμες επιλογές που παρέχει η τεχνολογία στους πλοιοκτήτες για συμμόρφωση υφιστάμενων πλοίων με τον IMO 2020, και πιο συγκεκριμένα συγκρίνει τις εξής τρεις επιλογές: 1) Εγκατάσταση στα πλοία ειδικών μηχανημάτων καθαρισμού των καυσαερίων από τα σωματίδια θείου (Πλυντρίδες – Scrubber). 2) Καύση πιο καθαρών καυσίμων χωρίς τροποποίηση πλοίων. 3) Τροποποίηση πλοίων για καύση Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (Liquified Natural Gas – LNG). Η σύγκριση γίνεται με παρουσίαση δυο περιπτώσιολογικών μελετών (Case Study) στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί πραγματικά οικονομικά και τεχνικά στοιχεία της αγοράς της ναυτιλίας.

Σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει τον τρόπο εφαρμογής τέτοιου είδους κανονισμών στην πράξη, προσεγγίζοντας απλουστευμένα την διαδικασία λήψης

αποφάσεων για συμμόρφωση από μια εταιρεία που διαχειρίζεται στόλο εμπορικών πλοίων. Για να γίνουν κατανοητές οι μελέτες περίπτωσης, παρατίθεται πρώτα το κατάλληλο θεωρητικό υπόβαθρο.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Στο παρόν κεφάλαιο, πέραν της εισαγωγής, γίνεται αναφορά στους κυριότερους αέριους ρύπους, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, και της συμβολής της ναυτιλίας σε αυτό. Η εργασία εστιάζει στην εκπομπή οξειδίων του θείου (SO_x), και πιο συγκεκριμένα στο SO_2 , καθώς από την ομάδα των SO_x προκαλεί τα περισσότερα προβλήματα στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Προχωρώντας στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των κυριότερων ναυτιλιακών καυσίμων, και των πιο δημοφιλών εναλλακτικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία, εστιάζοντας στην περιεκτικότητα καθενός σε θείο.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση των scrubbers, τα οποία είναι συστήματα που τοποθετούνται στα πλοία για να καθαρίζουν τα καυσαέρια από τις εκπομπές των SO_x . Αναφέρονται αναλυτικά οι τύποι των scrubber και οι διάφοροι κανονισμοί που τους διέπουν.

Έχοντας πλέον μια ολοκληρωμένη εικόνα για τα ναυτιλιακά καύσιμα και τα συστήματα scrubber, το κεφάλαιο τέσσερα εξετάζει τους παγκόσμιους και τοπικούς κανονισμούς ρύθμισης των αέριων ρύπων στην ναυτιλία, και το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρει και επξηγεί τους μηχανισμούς που έχει ιδρύσει η ναυτιλία για την διασφάλιση της συμμόρφωσης των πλοίων με τους κανονισμούς. Όπως προαναφέρθηκε, από τους κανονισμούς, η διπλωματική επικεντρώνεται σε αυτόν του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization - IMO), γνωστός και ως IMO 2020, σύμφωνα με τον οποίο όλα τα πλοία υποχρεούνται να χρησιμοποιούν καύσιμα με μέγιστη περιεκτικότητα κατά μάζα σε θείο 0,50% m/m από την 1η Ιανουαρίου του 2020.

Στο έκτο κεφάλαιο, μελετώνται και αξιολογούνται τρεις τρόποι συμμόρφωσης με τον IMO 2020. Ο πρώτος τρόπος είναι η εγκατάσταση συστήματος Scrubber με την χρήση μαζούτ (Heavy Fuel Oil - HFO) ως καυσίμου, ο δεύτερος είναι η χρήση ενός πιο καθαρού καυσίμου, χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο, το οποίο όμως είναι παράγωγο του μαζούτ (Very Low Sulphur Fuel Oil- VLSFO), κι ο τρίτος είναι η χρήση ενός εναλλακτικού καυσίμου, και συγκεκριμένα του LNG. Για την παρούσα μελέτη, έγινε επιλογή δύο εμπορικών πλοίων που διαχειρίζεται η εταιρία Ariston Navigation Corp., την οποία ευχαριστούμε για την διάθεση των απαραίτητων δεδομένων.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης, μια συζήτηση για τις παραδοχές και τις παραμέτρους που διέπουν το πρόβλημα, καθώς και παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

1.3 Ατμοσφαιρική ρύπανση και κυριότεροι αέριοι ρύποι

Η ρύπανση του περιβάλλοντος κατηγοριοποιείται ως εξής: ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπανση των υδάτων, ρύπανση του εδάφους, ηχητική ρύπανση και φωτορύπανση. Οι μορφές της που επηρεάζουν περισσότερο τη ζωή των ανθρώπων αλλά και των ζώων είναι η ατμοσφαιρική, η ρύπανση των εδαφών και τέλος, η ρύπανση των υδάτων. Την παρούσα διπλωματική θα απασχολήσει η ατμοσφαιρική ρύπανση και συγκεκριμένα οι αέριοι ρύποι που προέρχονται από τη ναυτιλία.

Με τον όρο ρύπανση εννοείται η παρουσία ρύπων σε τέτοια ποσότητα, διάρκεια ή συγκέντρωση που έχουν βλαβερές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (αλλεργίες, αρρώστιες, ακόμα και θάνατο), προβλήματα στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα, υλικές ζημιές και τελικά καταστρέφουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις χρήσεις του. Ατμοσφαιρική ρύπανση προκύπτει όταν επιβλαβείς ή μεγάλες ποσότητες ουσιών όπως αέρια, σωματίδια και μόρια εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης και δημιουργείται είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες είτε από φυσικές διεργασίες.

Ο όρος αέριοι ρύποι αναφέρεται στα βιομηχανικά, χημικά και γεωργικά απόβλητα τα οποία μπορεί να έχουν στερεά (σωματίδια), υγρή (σταγονίδια) ή αέρια μορφή. Αυτού του είδους οι ρύποι έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους ανθρώπους και το οικοσύστημα και μπορεί να είναι φυσικοί ή τεχνητοί. Οι ρύποι επίσης χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς ρύποι εκλύονται από κάποια συγκεκριμένη διεργασία, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (Carbon Monoxide - CO) από τα καυσαέρια ενός αυτοκινήτου ή το διοξείδιο του θείου (Sulphur Dioxide - SO₂) από τα εργοστάσια. Οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα όταν πρωτογενείς ρύποι αντιδρούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παίζει ρόλο στις φωτοχημικές αντιδράσεις, αποτέλεσμα οποίων είναι το τροποσφαιρικό όζον (O₃), που είναι δευτερογενής ρύπος. Τέλος, μερικοί ρύποι μπορούν να είναι και πρωτογενείς και δευτερογενείς.

Οι βασικότεροι αέριοι ρύποι είναι το Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα Οξείδια του θείου (SO_x), τα Οξείδια του Αζώτου (NO_x), το Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM), οι Χλωροφθοράνθρακες, το Τροποσφαιρικό όζον (O₃), ο Μόλυβδος (Pb), και οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOC).

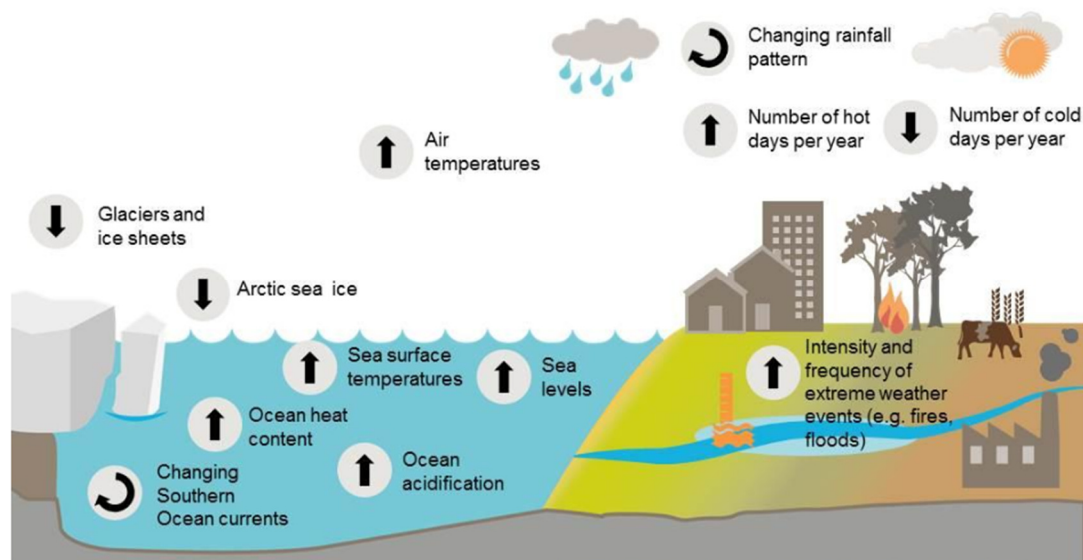
1.4 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και κλιματική αλλαγή

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία η οποία διατηρεί την μέση θερμοκρασία της Γης στο επίπεδο των 15°C, με αποτέλεσμα να υπάρχει ζωή και ανάπτυξη στον πλανήτη. Είναι γνωστό ότι η Γη δέχεται ηλιακή ακτινοβολία και κυρίως υπεριώδη, μέρος της οποίας διαφεύγει στο διάστημα και το υπόλοιπο απορροφάται από την Γη (την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια, τους ωκεανούς και τα νέφη). Το φαινόμενο πήρε το όνομά του από τον Γάλλο μαθηματικό Fourier το 1824, λόγω αυτού του μηχανισμού, που θυμίζει την λειτουργία ενός θερμοκηπίου.

Στις μέρες μας, ο όρος “φαινόμενο του θερμοκηπίου” αναφέρεται στο πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας κι όχι στην φυσική διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω. Κάποιες ανθρωπογενείς δραστηριότητες

(όπως η χρήση ορυκτών καυσίμων) έχουν προκαλέσει την αύξηση στη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου, επομένως και της απορροφούμενης ακτινοβολίας από την Γη και τέλος την αύξηση της θερμοκρασίας της.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, έχει κι άλλες αρνητικές επιπτώσεις, πέρα από την αύξηση της θερμοκρασίας, οι οποίες φαίνονται στην **εικόνα 1.1**. Αναλυτικά, έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στο κλίμα της Γης, όπως αύξηση στην συχνότητα και την ένταση των καταιγίδων, συχνότεροι καύσωνες και ξηρασία, προβλήματα στην τήξη των πάγων και αύξηση της στάθμης της θάλασσας, αύξηση της οξύτητας των ωκεανών, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τους θαλάσσιους οργανισμούς. Έχει παρατηρηθεί επίσης αλλαγή στα πρότυπα των βροχοπτώσεων παγκοσμίως, με τις υγρές περιοχές να γίνονται όλο και πιο υγρές και οι ξηρές όλο και πιο ξηρές. Τέλος, η ποσότητα θερμότητας που αποθηκεύεται στους ωκεανούς έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες και έτσι έχουν μετρηθεί επίμονα υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας τα τελευταία χρόνια σε κάποιες περιοχές, πράγμα επικίνδυνο για τους θαλάσσιους οργανισμούς.

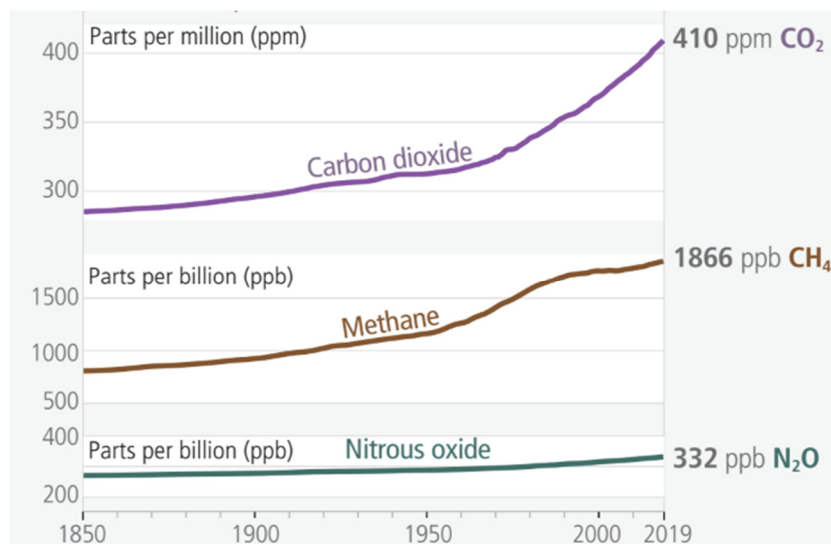


Εικόνα 1.1: Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής²

1.5 Τα αέρια του θερμοκηπίου και το Διοξείδιο του θείου - SO₂

Τα επτά άμεσα αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases – GHG) σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι το Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το Μεθάνιο (CH₄), το Οξείδιο του αζώτου (N₂O), οι Υδροφθοράνθρακες (HFC), οι Υπερφθοράνθρακες (PFCs), το Εξαφθοριούχο θείο (SF₆) και το Τριφθοριούχο άζωτο (NF₃)³.

Το αέριο που συμβάλλει περισσότερο στην υπερθέρμανση του πλανήτη είναι το CO₂, γεγονός που το καθιστά το επίκεντρο πολλών συζητήσεων και αποφάσεων για την κλιματική αλλαγή. Οι συγκεντρώσεις των τριών κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν από το 1850, γεγονός που απεικονίζεται στα παρακάτω διαγράμματα (**εικόνα 1.2**).



Εικόνα 1.2 : Οι συγκεντρώσεις των CO₂, CH₄ και N₂O από το 1850 έως το 2019 ⁴

Πέρα όμως από τα άμεσα αέρια του θερμοκηπίου, αναφέρονται επίσης και τέσσερα έμμεσα αέρια θερμοκηπίου τα οποία είναι τα Οξειδία του αζώτου (NO_x), το Μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις Εκτός Μεθανίου (Non-Methane Volatile Organic Compounds, NMVOC) και τα Οξειδία του Θείου (SO_x) .

Από την ευρύτερη ομάδα των αέριων οξειδίων του θείου (SO_x), το SO₂ είναι το οξείδιο του θείου που προκαλεί την μεγαλύτερη ανησυχία και χρησιμοποιείται ως δείκτης για ολόκληρη την ομάδα. Τα υπόλοιπα SO_x (όπως το SO₃) βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις πολύ χαμηλότερες από το SO₂ και οι πηγές που οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις SO₂ γενικά οδηγούν στο σχηματισμό και των άλλων SO_x. Ο τρόπος παραγωγής του SO₂ κατά πλειοψηφία είναι η καύση ορυκτών καυσίμων από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, η εξόρυξη μετάλλων, τα ηφαίστεια και τα καύσιμα που καίνε τα πλοία και τα άλλα οχήματα ^[5].

Συγκεκριμένα, το SO₂ περιλαμβάνεται στη λίστα με τα αέρια του θερμοκηπίου επειδή συμβάλλει στο σχηματισμό αερολύματος το οποίο μπορεί είτε να θερμάνει την ατμόσφαιρα (μέσω της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σκοτεινά σωματίδια) είτε να την ψύχει (από το σχηματισμό σταγονιδίων σύννεφων και την ανακλαστική ακτινοβολία).

Σε υψηλές συγκεντρώσεις, τα SO_x βλάπτουν τα δέντρα και τα φυτά καταστρέφοντας το φύλλωμα και μειώνοντας την ανάπτυξη τους. Το θείο, όταν ελευθερωθεί στον αέρα, μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου (SO₂), το οποίο, όταν απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, μπορεί να σχηματίσει ένα όξινο διάλυμα, που διαλύεται στη βροχή και σχηματίζεται η όξινη βροχή. Αν και η όξινη βροχή είναι τόσο αδύναμη ώστε να μην προκαλεί άμεσο κίνδυνο, μια παρατεταμένη συσσώρευση έχει σημαντικές επιπτώσεις στα δάση, προκαλώντας τη διάλυση και την απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών στα εδάφη. Αυτή η συνδυασμένη επίθεση μπορεί να αφήσει τα δέντρα ανοιχτά σε ασθένειες και ζημιές από έντομα και καιρικές συνθήκες.

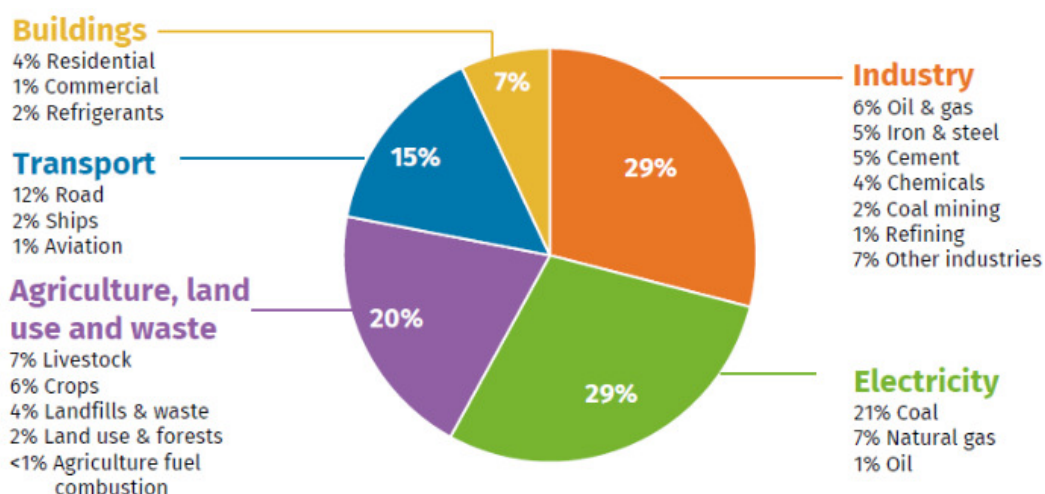
Το SO_x αντιδρούν με άλλες ενώσεις στην ατμόσφαιρα και σχηματίζουν λεπτά θειικά σωματίδια που μειώνουν την ορατότητα (ομίχλη). Η εναπόθεση αυτών των σωματιδίων μπορεί να καταστρέψει πέτρες και άλλα υλικά, συμπεριλαμβανομένων σημαντικών αντικειμένων, όπως αγάλματα και μνημεία. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο SO₂ μπορεί να βλάψει το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα και να δυσχεράνει την αναπνοή. Τα άτομα με άσθμα, ιδιαίτερα τα παιδιά, είναι ευαίσθητα σε αυτές τις επιδράσεις του SO₂.

Στην παρούσα διπλωματική θα αναλυθεί η συμβολή της ναυτιλίας στην ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω των εκπομπών SO₂ και θα μελετηθούν τρεις εναλλακτικές για την μείωση αυτών.

1.6 Η συμβολή της ναυτιλίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και σύγκριση με άλλα μέσα μεταφοράς

Οι τομείς της οικονομίας που συμβάλλουν στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου παρατίθενται με φθίνουσα σειρά και το ποσοστό του κάθε τομέα φαίνεται στο σχήμα της **εικόνας 1.3**:

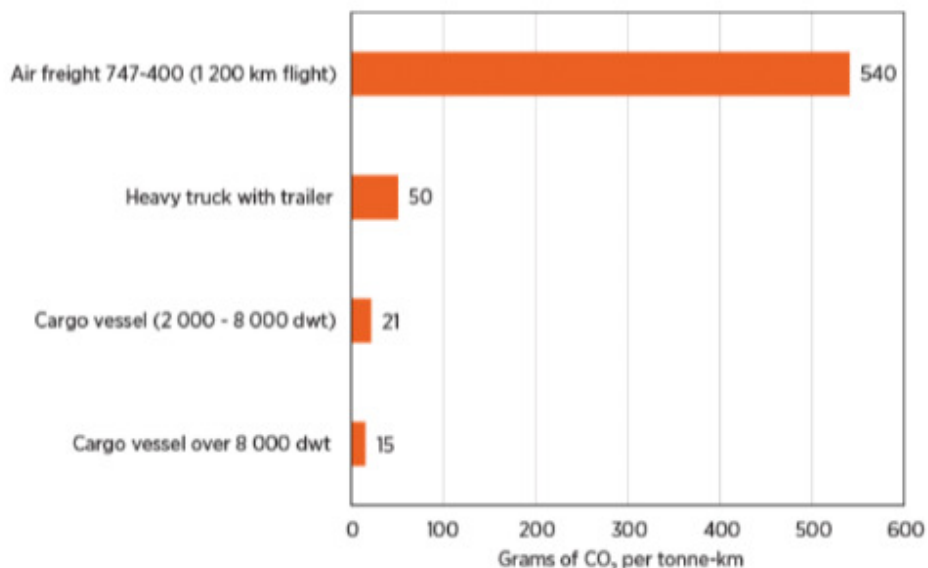
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας
- Η βιομηχανία
- Η γεωργία, δασοκομία και άλλες χρήσεις γης
- Οι μεταφορές
- Τα κτίρια



Εικόνα 1.3: Ποσοστό συμβολής διάφορων τομέων της οικονομίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τη χρονιά 2021 ⁵

Όπως φαίνεται στο σχήμα της **εικόνας 1.3**, οι εκπομπές από τις μεταφορές αποτέλεσαν το 15% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου του 2021, με τα εμπορικά πλοία να συμβάλουν λιγότερο από 2%. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από αυτόν τον τομέα προέρχονται κυρίως από τα καύσιμα που καίγονται για οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές. Τα

εμπορικά πλοία μεταφέρουν το 80% περίπου των αγαθών παγκοσμίως ^[20] και παρόλα αυτά, ο ναυτιλιακός κλάδος συμβάλλει ελάχιστα στον συνολικό όγκο των ατμοσφαιρικών εκπομπών σε σύγκριση με τα οδικά οχήματα και τις αεροπορικές μεταφορές, όπως φαίνεται και στην **εικόνα 1.4**. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση του κινητήρα και στο σχεδιασμό του κύτους, και η χρήση πλοίων με μεγαλύτερη χωρητικότητα μεταφοράς φορτίου οδήγησε σε μείωση των εκπομπών και αύξηση της απόδοσης καυσίμου.



Εικόνα 1.4: CO₂ εκπομπές (γραμμάρια ανά τονοχιλιόμετρα, tkm) διαφορετικών μέσων μεταφοράς ⁶.

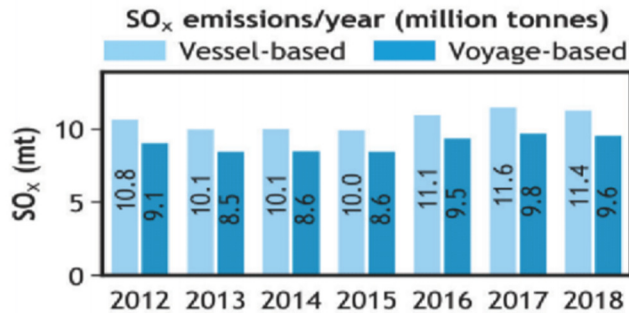
Ενώ η ναυτιλία έχει σχετικά χαμηλές εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με άλλες μορφές μεταφοράς, και θεωρείται ως το πιο ενεργειακά αποδοτικό μέσο μαζικής μεταφοράς, η παγκόσμια τάση για μείωση των εκπομπών από όλους τους κλάδους έχει οδηγήσει σε πρόσφατες προσπάθειες για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και έλεγχο των εκπομπών στις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές.

Όπως όλα τα μέσα μεταφοράς, έτσι και τα πλοία καίνε καύσιμα υδρογονανθράκων τα οποία οφείλονται κατά μεγάλο βαθμό για την ατμοσφαιρική ρύπανση, με τους κύριους αέριους ρύπους που προέρχονται από τα πλοία να είναι το CO₂, τα NO_x, τα αιωρούμενα σωματίδια και τα SO_x. Η κύρια πηγή ρύπων είναι τα αέρια που προέρχονται από την καύση σε κύριες και βοηθητικές μηχανές και στους καυστήρες. Άλλες πηγές ρύπανσης είναι οι διαρροές ψυκτικών ρευστών και η απελευθέρωση οργανικών ενώσεων.

Η ναυτιλία αναγνωρίζεται ως μία από τις πιο σημαντικές πηγές τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οξίνισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ένας σημαντικός αέριος ρύπος που προέρχεται από τα πλοία έχει εντοπιστεί να είναι οι εκπομπές καυσαερίων που περιέχουν διοξείδιο του θείου (SO₂).

1.7 Εκπομπές SO₂ από τη ναυτιλία

Οι εκπομπές SO_x εξαρτώνται από την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο (εκφρασμένα σε % m/m, δηλαδή κατά μάζα), που σημαίνει πως όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα, τόσο περισσότερες είναι οι εκπομπές. Σύμφωνα με την τέταρτη μελέτη του IMO, το μερίδιο των αέριων ρύπων από τη ναυτιλία αυξήθηκε από 2,76% το 2012 σε 2,89% το 2018 και συγκεκριμένα οι εκπομπές SO_x, όπως φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 1.5 αυξήθηκαν από 10,8 εκατομμύρια τόνους το 2012 σε 11,4 εκατομμύρια τόνους το 2018⁶.



Εικόνα 1.6: Οι εκπομπές οξειδίων του θείου από τα πλοία σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος για τις χρονιές 2012-2018(International Maritime Organization, Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020, 2021)

Αυτή η αύξηση οδήγησε την κοινότητα της ναυτιλίας να λάβει δραστικά μέτρα για την μείωση των εκπομπών των SO_x. Κάποιοι κανονισμοί έχουν τοπικό χαρακτήρα, όπως είναι οι περιοχές ελεγχόμενων εκπομπών SO_x που αποτελούνται από τις ακτές της Βορείου Αμερικής, τη Βαλτική και Βόρεια Θάλασσα, την Κίνα. Σε αυτές τις περιοχές, η περιεκτικότητα του μαζούτ σε θείο δεν μπορεί να ξεπερνά το 0,1% m/m. Άλλοι κανονισμοί έχουν παγκόσμιο χαρακτήρα, όπως είναι ο IMO 2020, ο οποίος περιορίζει το τρέχον παγκόσμιο όριο περιεκτικότητας του μαζούτ σε θείο στο 0,50% m/m από την 1η Ιανουαρίου 2020.

Το θείο έχει αρκετές ανεπιθύμητες ιδιότητες όταν συνδυάζεται με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Είναι όξινης φύσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωση των συστατικών μεταλλικών μερών, και είναι γνωστό ότι δηλητηριάζει τους καταλυτικούς μετατροπείς, 2 δηλαδή μειώνει την καταλυτική δραστηριότητα, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των συστημάτων εξάτμισης.

¹ 'Ambient (Outdoor) Air Pollution', *World Health Organization*, 2022, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health?gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1HKZjrhT7IN3JcxUPp1tedELMk79NZNVkGXg9ISKqX7PnT1jxv2FVhoCX84QAvD_BwE](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health?gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1HKZjrhT7IN3JcxUPp1tedELMk79NZNVkGXg9ISKqX7PnT1jxv2FVhoCX84QAvD_BwE) .

² 'Understanding Climate Change', DCCEEW, 2023, <https://www.dcceew.gov.au/climate-change/policy/climate-science/understanding-climate-change> .

³ 'NAEI, UK National Atmospheric Emissions Inventory - DEFRA, UK', NAEI, UK *National Atmospheric Emissions Inventory - NAEI, UK*, <https://naei.beis.gov.uk/>

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2023 Synthesis Report*, 2023, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

⁵ Alfredo Rivera et al., '*Global Greenhouse Gas Emissions 1990-2021 and Preliminary 2022 Estimates*', Rhodium Group, September 2023, <https://rhg.com/research/global-greenhouse-gas-emissions-2022/>

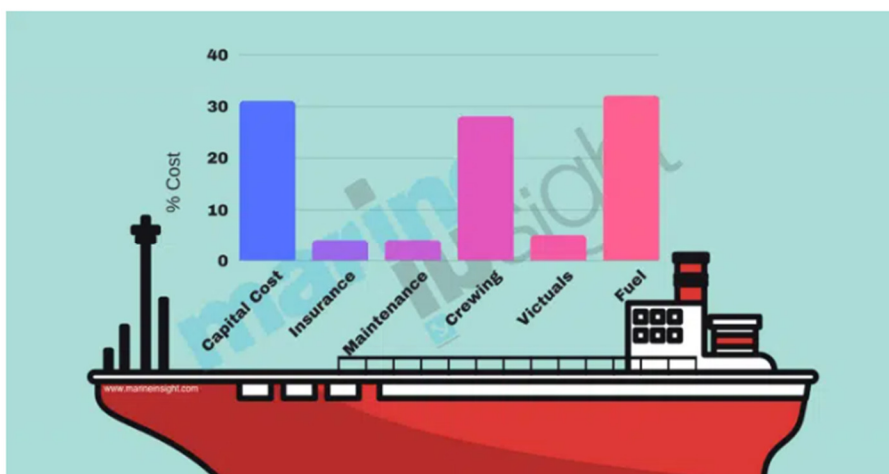
⁶ Moirangthem K. , '*Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways*', European Commission, 2016, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC100405>

Κεφάλαιο 2 : Τα Καύσιμα στη Ναυτιλία

2.1. Εισαγωγή

Τα κόστη που επιβαρύνουν τους πλοιοκτήτες για κάθε πλοίο χωρίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες : στις δαπάνες κεφαλαίου, στα άμεσα λειτουργικά κόστη και στα κόστη που σχετίζονται με το ταξίδι. Με το κόστος κεφαλαίου νοούνται τα χρήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την αγορά του πλοίου και για την αποπληρωμή του δανείου ή της υποθήκης. Τα άμεσα λειτουργικά κόστη περιλαμβάνουν την ασφάλιση, τα κόστη που αφορούν το πλήρωμα, τις επισκευές και την συντήρηση του πλοίου. Τέλος, τα κόστη που σχετίζονται με το ταξίδι είναι κυρίως το κόστος των καυσίμων και δευτερευόντως οι δαπάνες που αφορούν στο εκάστοτε λιμάνι, όπως τα λιμενικά τέλη, τέλη ρυμούλκησης, καναλιών, κ.ά. (Fareed Z., 2017)¹.

Στην **εικόνα 2.1** φαίνεται πως η μεγαλύτερη δαπάνη για ένα πλοίο είναι τα πετρέλαια και αυτό δικαιολογεί τη δυσκολία των πλοιοκτητών στη λήψη αποφάσεων για ζητήματα που αφορούν στα καύσιμα, καθώς κάθε απόφαση μεταφράζεται σε μεγάλα οικονομικά ποσά. Θα μπορούσε να διατυπωθεί πως οι πλοιοκτήτες είναι επιφυλακτικοί στις αλλαγές που επιφέρουν οι νέοι κανονισμοί μείωσης των ναυτιλιακών ρύπων και αναζητούν την πιο αξιόπιστη και ταυτόχρονα πιο οικονομική λύση.



Εικόνα 2.1 Λειτουργικά Κόστη Πλοίου (Marine Insight,2020)²

2.2 Τύποι καυσίμων στην ναυτιλία

Τα καύσιμα που κυριαρχούν αυτή τη στιγμή στη ναυτιλία (marine fuels ή bunker fuels) παράγονται στα διυλιστήρια από το αργό πετρέλαιο. Μέσω της κλασματικής απόσταξης, το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται σε στάδια, κι όταν κατά την θέρμανση το σημείο βρασμού κάποιου συστατικού (κλάσματος) ξεπεραστεί τότε εκείνο περνά στη φάση του αερίου. Ένα κλάσμα με μικρότερα μόρια θα εξατμιστεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία από άλλο κλάσμα με μεγαλύτερα μόρια. Στη συνέχεια, το κάθε κλάσμα ψύχεται σε θερμοκρασία κάτω του σημείου βρασμού του και υγροποιείται (Γιαννάκης Γ., *Εναλλακτικές μορφές καυσίμων στη Ναυτιλία*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2020). Τα κλάσματα που διαχωρίζονται κατά αυτόν τον τρόπο από το αργό πετρέλαιο ονομάζονται ελαφρά ή αποστάγματα, γνωστά και ως πετρέλαιο ντίζελ (Marine Gas

Oil, MGO). Τα καύσιμα τα οποία είναι τα κατάλοιπα της απόσταξης, δηλαδή δεν περνούν στην αέρια φάση, ονομάζονται βαρέα ή υπολείμματα (Residual Fuel Oil) και αναφέρονται πιο συχνά ως βαρύ μαζούτ (Heavy Fuel Oil, HFO).

Επομένως τα κυρίαρχα καύσιμα που χρησιμοποιούνται κατατάσσονται στις δύο κατηγορίες :

- Βαρέα ή υπολείμματα (Residual)
- Ελαφρά ή Αποστάγματα (Distillates)

Από το 1987 ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization, IMO) έχει κατηγοριοποιεί αναλυτικά τα καύσιμα στο ISO 8216 και έχει ορίσει τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται στο 8217 “Petroleum Products – Fuel (class F) – Specifications of marine fuels” με την έκτη και πιο πρόσφατη έκδοση να κυκλοφορεί τον Μάρτιο του 2017. Το ISO 8217 είναι ένα διεθνώς αποδεκτό πρότυπο που καθορίζει τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν τα ναυτιλιακά καύσιμα και τα διαχωρίζει ανάλογα με τα κύρια συστατικά τους. Τα ελαφρά χωρίζονται σε επτά κατηγορίες και σε έξι τα βαρέα, και φαίνονται στις **εικόνες 2.3** και **2.2** αντίστοιχα.

ISO 8217 2017 FUEL STANDARD FOR MARINE RESIDUAL FUELS

MARINE RESIDUAL FUELS

Limit	Parameter	RMG											
		RMA 10	RMB 30	RMD 80	RME 180	180	380	500	700	380	500	700	
Max.	Viscosity at 50°C (mm ² /s)	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0	
Max.	Density at 15°C (kg/m ³)	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0			1010.0				
Max.	Micro Carbon Residue (% m/m)	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00			20.00				
Max.	Aluminium + Silicon (mg/kg)	25	40	50	60								
Max.	Sodium (mg/kg)	50	100	50	100								
Max.	Ash (% m/m)	0.040	0.070		0.100			0.150					
Max.	Vanadium (mg/kg)	50	150		350			450					
Max.	CCAI	850	860		870								
Max.	Water (% V/V)	0.30	0.50										
Max.	Pour point (upper) in Summer (°C)	6	30										
Max.	Pour point (upper) in Winter (°C)	0	30										
Min.	Flash point (°C)	60.0											
Max.	Sulphur (% m/m)	To comply with statutory requirements as defined by purchaser											
Max.	Total Sediment, aged (% m/m)	0.10											
Max.	Acid Number (mgKOH/g)	2.5											
	Used lubricating oils (ULO): Calcium and Zinc; or Calcium and Phosphorus (mg/kg)	The fuel shall be free from ULO, and shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met: Calcium > 30 and zinc > 15; or Calcium > 30 and phosphorus > 15.											
Max.	Hydrogen sulphide (mg/kg)	2.00											

Εικόνα 2.2 : ISO 8217/2017 προδιαγραφές για τα βαρέα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία (ISO, 2017)

ISO 8217 2017 FUEL STANDARD FOR MARINE DISTILLATE FUELS

MARINE DISTILLATE FUELS

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

Εικόνα 2.3: ISO 8217/2017 προδιαγραφές για τα distillate fuels (ISO, 2017).

Αξίζει να σημειωθεί πως η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, και ιδιαίτερα στα υπολειμματικά καύσιμα, επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του κινητήρα. Η αιτία είναι ότι δημιουργείται διάβρωση σε χαμηλές θερμοκρασίες, αφού παράγεταιθεικό οξύ όταν οξειδία του θείου που έχουν σχηματιστεί κατά τη διαδικασία της καύσης ψυχθούν κάτω από τις θερμοκρασίες υγροποίησης (160-170°C). Αυτού του τύπου η ψυχρή διάβρωση (cold corrosion) εμφανίζεται κυρίως στα κατώτερα τμήματα των χιτωνίων και στα έμβολα, και προκαλεί φθορές στα ελατήρια των εμβόλων. Η οξύτητα αυτή εξουδετερώνεται με την χρήση ενός ειδικού καθαριστικού λαδιού για τον κύλινδρο. Η επιλογή του λαδιού για τον κύλινδρο εξαρτάται από το περιεχόμενο θείου στο πετρέλαιο (Βολογιάννης Κ., Ναυτικοί κινητήρες και Ναυτιλιακά Καύσιμα, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2017).

2.2.1 Μαζούτ (Heavy Fuel Oil, HFO)

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή είναι το καύσιμο που είναι τα κατάλοιπα της απόσταξης, δηλαδή δεν περνά στην αέρια φάση. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι το υψηλό ιξώδες, η υψηλή πυκνότητα, η μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο και το σκούρο χρώμα. Όσο πιο μικρή τιμή παίρνει το ιξώδες τόσο πιο καλή είναι η ποιότητα του καυσίμου. Το καύσιμο αυτό συναντάται με διάφορες περιεκτικότητες σε θείο με την μέγιστη να μη ξεπερνά το 3,5% κατά μάζα (m/m).

Το HFO είναι το βαρύτερο προϊόν της απόσταξης καθώς παράγεται από τα πρώτα στάδια της διύλισης και είναι εξαιρετικά ρυπογόνο αφού έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε μολυσματικά στοιχεία όπως οξειδία του θείου, διοξείδιο του άνθρακα κ.ά. Λόγω του υψηλού ιξώδους απαιτεί θέρμανση ώστε να χρησιμοποιηθεί στον κινητήρα και πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία κατά την αποθήκευση, την άντληση και τη μεταφορά του. Για τους παραπάνω λόγους η τιμή του είναι χαμηλή και μέχρι τον Δεκέμβριο του 2019 ήταν το κυρίαρχο καύσιμο στην ναυτιλία. Οι

υποδομές και το δίκτυο ανεφοδιασμού είναι πλήρως ανεπτυγμένα, με το HFO να φτάνει στα πλοία μέσω πλοίων εφοδιασμού (bunker barge), στις περισσότερες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια των φορτώσεων/εκφορτώσεων, επομένως χωρίς καθυστερήσεις για το ταξίδι του πλοίου.

2.2.2 Ελαφρά καύσιμα

Τα κλάσματα που διαχωρίζονται μέσω της κλασματικής απόσταξης από το αργό πετρέλαιο ονομάζονται ελαφρά, γνωστά και ως αέρια πετρέλαια (Marine Gas Oil, MGO).

Τα MGO είναι τα καθαρότερα και επομένως τα πιο ακριβά καύσιμα παγκοσμίως μιας και έχουν μικρή περιεκτικότητα σε μολυσματικά στοιχεία. Η αυξημένη τους τιμή οδηγεί σε μειωμένη χρήση τους. Παρόλα αυτά, καθώς οι κανονισμοί ενάντια στην ατμοσφαιρική ρύπανση γίνονται ολοένα και πιο αυστηροί, η ζήτηση σε MGO αυξάνεται, το ίδιο και η τιμή τους. Τα MGO αντίθετα με τα HFO δεν χρειάζονται θέρμανση κατά την αποθήκευση και αντλούνται εύκολα από την κύρια μηχανή σε θερμοκρασίες κοντά στους 20°C. Το χρώμα τους είναι διάφανο έως ανοιχτό.

Τα MGO παράγονται και αυτά με διάφορες περιεκτικότητες σε θείο, με τη μέγιστη αυτών να είναι 1,5% m/m, δηλαδή χαμηλότερη αυτής του HFO, και η χαμηλότερη περιεκτικότητα να είναι το 0,1% m/m. Συνήθως χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου οι κανονισμοί απαιτούν χρήση καυσίμου με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο να είναι 0,1%, όπως στη Βόρεια Θάλασσα, τον Καναδά, κλπ.

Τέλος, οι υποδομές και το δίκτυο ανεφοδιασμού MGO είναι πλήρως ανεπτυγμένα, όπως και για το HFO, .

2.2.3 Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο

Στη ναυτιλία χρησιμοποιούνται επίσης και προσμείξεις των HFO και MGO και χωρίζονται σε ντίζελ (Marine Diesel Oil, MDO) ή ενδιάμεσα καύσιμα (Intermediate Fuel Oil, IFO). Αυτά τα καύσιμα μπορούν να παραχθούν μέσω της περαιτέρω επεξεργασίας του HFO ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητά του σε θείο. Στην πράξη όμως η επεξεργασία που υπόκειται το HFO ώστε να έχει καθαρότερα χαρακτηριστικά είναι αρκετά ακριβή επομένως συνήθως παράγονται μέσω ανάμειξης HFO και καθαρότερων καυσίμων, σαν αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να είναι πιο οικονομικό. Σκοπός αυτής της πρόσμιξης είναι η βελτίωση των χαρακτηριστικών των προϊόντων για την καλύτερη και αποδοτικότερη καύση τους από τον κινητήρα. Όπως και τα HFO και τα MDO, έτσι και οι μίξεις τους συναντώνται σε διάφορες περιεκτικότητες σε θείο, με τα επικρατέστερα στη ναυτιλία να είναι το IFO 180 και το IFO 380 (όπου 180 και 380 είναι το κινηματικό ιξώδες του κάθε καυσίμου).

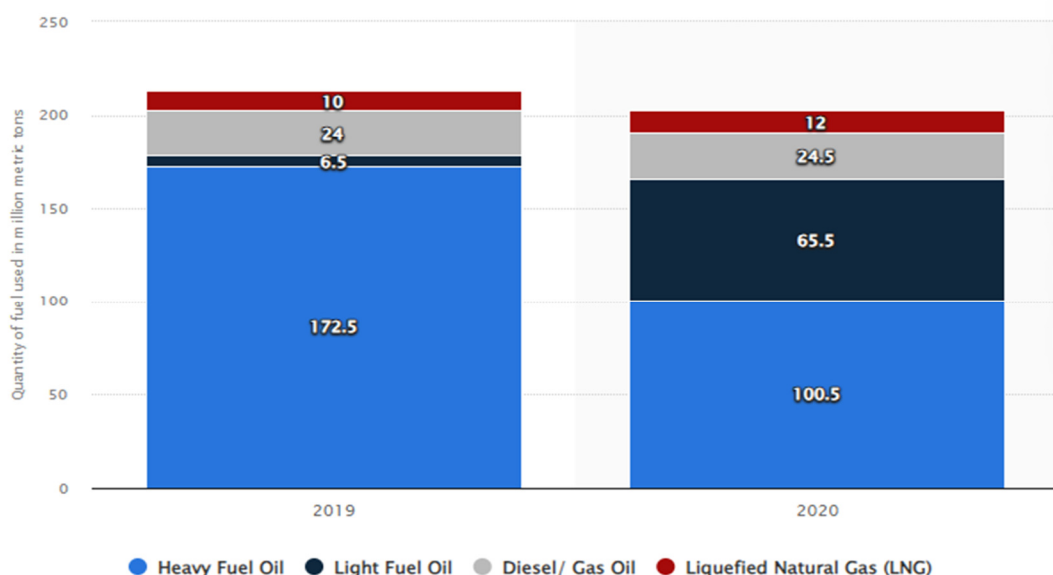
Πιο συγκεκριμένα, ο όρος MDO αναφέρεται σε αναμείξεις με πολύ χαμηλό ποσοστό σε HFO και πιθανώς σε κάποια βιβλιογραφία να αναφερθεί και ως ελαφρύ καύσιμο. Σε αντίθεση με τα HFO δεν χρειάζεται θέρμανση κατά την αποθήκευση και το χρώμα του ποικίλει από καφέ έως μαύρο. Από την άλλη, τα IFO έχουν ελαφρώς μεγαλύτερο

ποσοστό σε HFO με αποτέλεσμα το χρώμα τους να είναι μαύρο και επίσης πρέπει να ζεσταθούν πριν την χρήση τους.

Τα καύσιμα αυτά έχουν διαφορετική σύνθεση μεταξύ τους, διαφορετική επεξεργασία και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ο τρόπος παραγωγής επηρεάζει τις ιδιότητές τους πχ. όταν αποτελούνται κατά πλειοψηφία από βαρύτερα κλάσματα, παρουσιάζουν καλή ποιότητα καύσης, υψηλό σημείο ανάφλεξης και υψηλότερο ιξώδες σε σχέση με τα συνήθη ελαφρά καύσιμα. Όμως παρουσιάζουν συχνά προβλήματα χημικής σταθερότητας, αλλά και συμβατότητας με άλλα αντίστοιχα προϊόντα.

Το 2020, υπήρξε μια μετατόπιση από τη χρήση βαρέως μαζούτ στη χρήση καθαρότερων καυσίμων, με τα νέα συμβατά καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο να πρωταγωνιστούν, όπως φαίνεται στην **εικόνα 2.4**. Εκείνο το έτος, περίπου 65,5 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι των νέων καυσίμων καταναλώθηκαν από τα πλοία, σε σύγκριση με μόλις 6,5 εκατομμύρια μετρικούς τόνους το προηγούμενο έτος (*Statista, 2021*)³. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το 2020, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) έθεσε ανώτατο όριο το 3,5% m/m στην περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων, ωθώντας τη ναυτιλία να στραφεί σε καθαρότερα καύσιμα ή να εξοπλίσει τα πλοία τους με συστήματα μείωσης του θείου.

Το καύσιμο με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 0,5% ονομάζεται Very Low Sulphur Fuel Oil - VLSFO και Ultra Low Sulphur Fuel Oil - ULSFO όταν η μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο είναι 0,1%. Για παράδειγμα το VLSFO παράγεται με ανάμειξη 75%-85% MGO και 15%-25% (Hatzigrigoris St. Et al, 2017)⁴, και σήμερα είναι το πιο διαδεδομένο καύσιμο στην ναυτιλία.



Εικόνα 2.4: Ετήσια κατανάλωση καυσίμου από τα πλοία παγκοσμίως από το 2019 έως το 2020, ανά τύπο καυσίμου (*Statista, 2021*)³

2.3 Εναλλακτικά καύσιμα στη ναυτιλία

2.3.1. Εισαγωγή

Τα καύσιμα τα οποία θα μειώσουν τις εκπομπές των ρυπογόνων ουσιών κάτω από τα επιθυμητά όρια θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην ναυτιλία στο μέλλον ως αντικαταστάτες των HFO, VLSFO και MGO. Έτσι, η ζήτηση για καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καθώς και η ανάγκη για μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου θα οδηγήσουν στην χρήση εναλλακτικών καυσίμων με την προϋπόθεση ότι αυτά και οι απαιτούμενες τεχνολογίες προσφέρονται σε ανταγωνιστικές τιμές.

Τα εναλλακτικά καύσιμα που κατέχουν σημαντική θέση σήμερα είναι το Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Liquefied Natural Gas, LNG), το Υγροποιημένο Αέριο πετρελαίου (Liquefied Petroleum Gas, LPG), η Μεθανόλη, τα βιοκαύσιμα και το Υδρογόνο. Άλλες λύσεις που θα μπορούσαν να παίξουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον στη ναυτιλία είναι τα συστήματα μπαταριών (fuel cell systems) και η αιολική ενέργεια. Επιπλέον, υπάρχει και η ηλεκτρική ενέργεια, το βιομεθάνιο, τα συνθετικά καύσιμα, το έλαιο πυρόλυσης και το ανανεώσιμο ντίζελ προϊόν υδρογόνωσης (hydrogenation-derived renewable diesel- HDRD).

Όλα αυτά τα καύσιμα και τα συστήματα έχουν μηδενική περιεκτικότητα σε θείο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την συμμόρφωση των πλοίων με τους κανονισμούς περιορισμού εκπομπών οξειδίων θείου. Η χρήση τους μπορεί να γίνει είτε σε συνδυασμό με τα συμβατικά καύσιμα είτε να τα αντικαταστήσουν πλήρως. Έτσι, το είδος του επιλεγθέντος εναλλακτικού καυσίμου και το ποσοστό του συμβατικού που θα αντικατασταθεί θα έχουν άμεση επίδραση στις εκπομπές του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των GHG, NO_x, και SO_x.

2.3.2 Αέρια καύσιμα και LNG

Τα φυσικά αέρια καύσιμα έχουν πολύ μικρή έως μηδενική περιεκτικότητα σε θείο και η καύση τους προκαλεί χαμηλότερες εκπομπές NO_x, PM και CO₂ σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά καύσιμα.

Το LNG είναι άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό και μη διαβρωτικό φυσικό αέριο που εξάγεται από υπόγεια κοιτάσματα υδρογονανθράκων και αποτελείται κυρίως από Μεθάνιο (CH₄), με κάποιο μείγμα αιθανίου (C₂H₆), προπανίου (C₃H₈) και βουτανίου (C₄H₁₀) και που ψύχεται στους -162 °C σε υγρή μορφή για ασφάλεια και ευκολία αποθήκευσης και μεταφοράς. Όταν φτάσει στον προορισμό του, μετατρέπεται ξανά σε αέριο στις μονάδες επαναεριοποίησης. Η διαδικασία της υγροποίησης περιλαμβάνει την απομάκρυνση ορισμένων συστατικών, όπως η σκόνη, τα όξινα αέρια (όπως το υδρόθειο (H₂S) και το CO₂), το ήλιο, το νερό και τους βαρείς υδρογονάνθρακες, ώστε να παραχθεί ένα καθαρότερο αέριο.

Όπως προαναφέρθηκε, το LNG αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄), έχει μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα και επομένως η χρήση του μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των εκπομπών διαφόρων αερίων ρύπων. Ωστόσο, το μεθάνιο είναι ένα αέριο

του θερμοκηπίου, και η διαρροή του πρέπει να είναι σε συνεχή έλεγχο, καθώς υπάρχει κίνδυνος διαρροής του στην ατμόσφαιρα.

Σε σύγκριση με τα υπάρχοντα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία, προσφέρει μείωση 25-30 % των εκπομπών του CO₂, 40% των NO_x, και 95% στα PM, ενώ πρακτικά δεν συμβάλλει στις εκπομπές SO_x (DNV GL Maritime Communications, Maritime in Focus -LNG as ship fuel, 2105)⁵.

Παρόλα αυτά, η χρήση του δεν είναι ακόμη πολύ διαδεδομένη καθώς υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που την περιορίζουν. Καταρχάς, η διαδικασία εξαγωγής τους, η υδραυλική ρωγμάτωση (hydraulic fracturing ή αλλιώς fracking) παραμένει μια αμφιλεγόμενη τεχνολογία. Επιπλέον, τα φυσικά αέρια καύσιμα δεν είναι συμβατά με τα υπάρχοντα συστήματα των πλοίων και επομένως απαιτείται τροποποίηση των μηχανών, αλλαγές ή προσθήκες στα συστήματα καυσίμων καθώς και άλλες αλλαγές για λόγους ασφάλειας.

Όταν αποθηκεύεται ως LNG, το καύσιμο καταλαμβάνει διπλάσιο χώρο από το HFO, και η ενεργειακή πυκνότητα του LNG είναι 60% αυτής του καυσίμου ντίζελ. Το μέγεθος των δεξαμενών επηρεάζεται τόσο από την ενεργειακή πυκνότητα του LNG, όσο και από την πρόσθετη μόνωση που απαιτείται, αλλά και από το κυλινδρικό σχήμα των υπαρχουσών δεξαμενών, οι οποίες δεν κάνουν την βέλτιστη χρήση του χώρου.

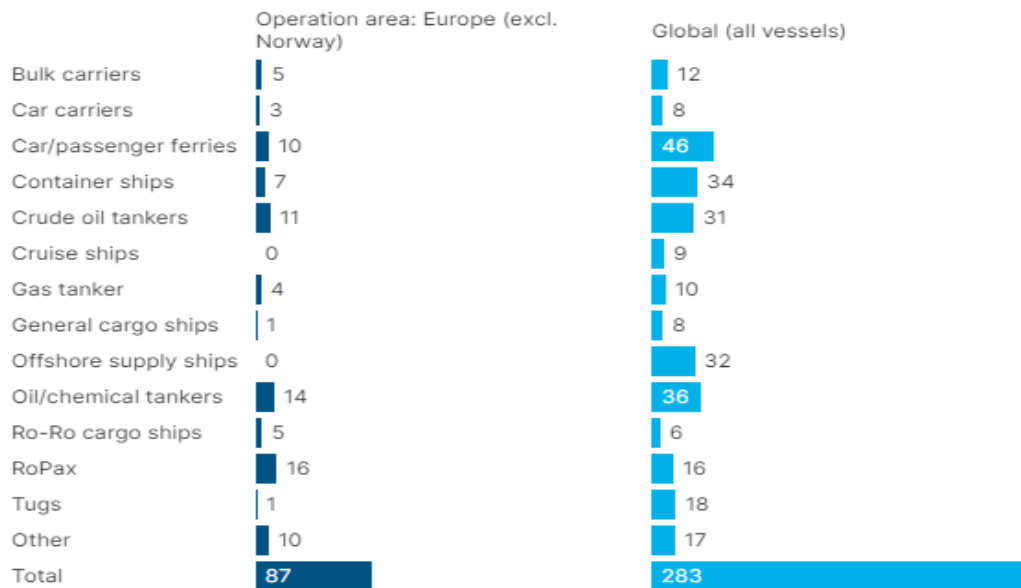
Το LNG χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 από πλοία που μετέφεραν LNG, εκμεταλλευόμενοι τα καύσιμα διαθέσιμα επί του σκάφους. Το πρώτο σκάφος που χρησιμοποίησε LNG χωρίς να το μεταφέρει, ήταν ήταν ένα πλοίο που κατασκευάστηκε στη Νορβηγία το 2000, κι από το 2006 είναι πλέον μια δοκιμασμένη και διαθέσιμη λύση⁶. Στην **εικόνα 2.5** φαίνονται οι αριθμοί των εμπορικών πλοίων που κινούνται με LNG για το έτος 2022, αναλυτικά σε κατηγορίες.

Μέχρι σήμερα, η τιμή παραγωγής του LNG παγκοσμίως (με εξαίρεση κάποιες περιοχές στην Ανατολική Ασία) είναι χαμηλότερη αυτής του αργού πετρελαίου και του HFO. Για να οριστεί όμως η τελική τιμή πρέπει να προστεθεί και το κόστος της υγροποίησης και της διανομής. Έτσι, το LNG σήμερα ανταγωνίζεται οικονομικά το MGO και η σύγκριση με το HFO είναι ακόμα δύσκολη. Σε σχέση με τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα, μέχρι τώρα είναι το πιο ανταγωνιστικό από άποψη τιμής, διαθέσιμων τεχνολογιών και υποδομών, οι οποίες αν και περιορισμένες, βελτιώνονται με πολύ γρήγορο ρυθμό. Η διανομή του γίνεται μέσω του οδικού δικτύου ενώ στο μέλλον αναμένεται να χρησιμοποιηθεί και το σιδηροδρομικό δίκτυο. Επίσης, μέσα στο 2017 παραδόθηκαν αρκετά πλοία ανεφοδιασμού LNG σε πολύ κεντρικά λιμάνια όπως το Άμστερνταμ, το Ρότερνταμ, η Βόρεια Θάλασσα και η Φλόριντα και αναμένεται μέσα στα επόμενα χρόνια να παραδοθούν και στην Δυτική Μεσόγειο, την Σιγκαπούρη, την Κίνα και την Ιαπωνία, καθώς και η κατασκευή πλοίων που θα χρησιμοποιούν LNG ως καύσιμο. Έτσι, η παραγωγή του LNG αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια.

Την 1^η Ιανουαρίου 2017 τέθηκε σε ισχύ το IMO IGF Code για το LNG και το Πεπιεσμένο Φυσικό Αέριο (Compressed Natural Gas, CNG), στο οποίο περιλαμβάνονται οι κανονισμοί για τον σχεδιασμό και την κατασκευή πλοίων που χρησιμοποιούν LNG. Τέλος, έχουν οριστεί κάποιο κανονισμοί και από άλλους οργανισμούς, όπως από τον IACS και το ISO και από κάποια λιμάνια ώστε να εξασφαλίζεται ο ασφαλής εφοδιασμός του LNG.

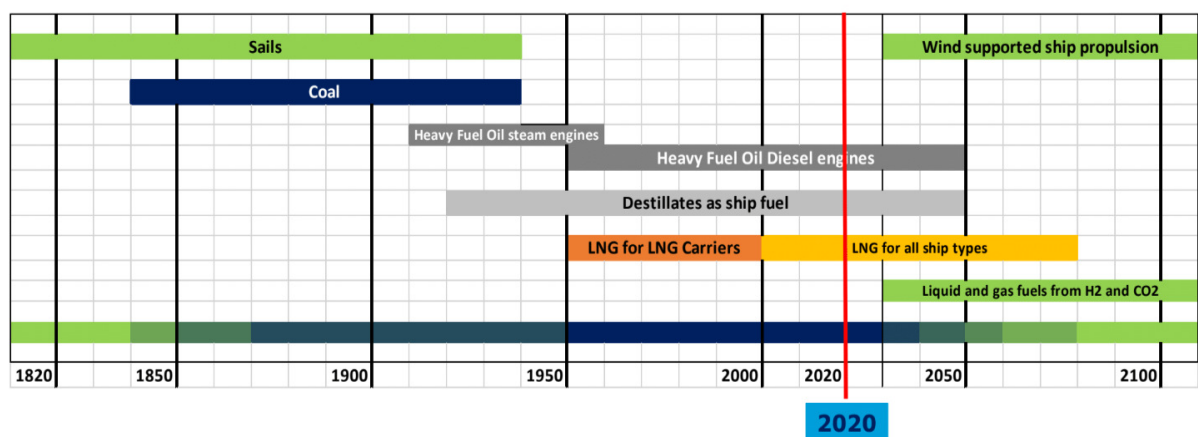
LNG-fuelled ships

Number of LNG-fuelled ships operating globally and in the EU up to May 2022



Εικόνα 2.5: Αριθμός πλοίων ανά κατηγορία που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο έως τον Μάιο 2022 ⁷

Το LNG όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6, χαρακτηρίζεται ως το μεταβατικό καύσιμο μεταξύ της υπάρχουσας κατάστασης και του μέλλοντος, όπου για να επιτευχθούν οι στόχοι για 50% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου η ναυτιλία θα στραφεί σε ακόμα πιο καθαρά εναλλακτικά καύσιμα.



Εικόνα 2.6: Επικρατή καύσιμα στην ναυτιλία ανά τα χρόνια ⁸

Το λειτουργικό κόστος για χρήση LNG στα πλοία είναι συγκρίσιμο με το λειτουργικό κόστος χρήσης των πετρελαιοειδών. Τα συστήματα κινητήρων με αέριο έχουν περίπου την ίδια απόδοση με τα συμβατικά συστήματα. Για το λόγο αυτό, η κατανάλωση ενέργειας ενός πλοίου που λειτουργεί με LNG είναι περίπου η ίδια με εκείνη ενός πλοίου που λειτουργεί με τα συμβατικά καύσιμα.

¹ MSc., Z.F.H.A., 'The Conventional Analysis of Ship Operating Cost', LinkedIn, <https://www.linkedin.com/pulse/conventional-analysis-ship-operating-cost-zeeshan-fareed-mni>

² Anish, 'A Guide to Marine Gas Oil and LSFO Used on Ships', *Marine Insight*, 2023, <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-marine-gas-oil-and-lsfo-used-on-ships/>

³ Statista Research Department and 24, O., 'Amount of Fuel Consumed by Ships Worldwide by Fuel Type 2020', *Statista*, 2023, <https://www.statista.com/statistics/1266963/amount-of-fuel-consumed-by-ships-worldwide-by-fuel-type>

⁴ Hatzigrigoris St.et al., '*Scrubber Technologies*', 2017, Maran Gas Maritime, <https://www.scribd.com/document/402491860/Stavros-Hatzigrigoris-Maran-Tankers-pdf>

⁵ DNV GL Maritime Communications, *Maritime in Focus -LNG as ship fuel*, 2015, <https://www.dnvgl.com/LNG>

⁶ Moirangthem K. , '*Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways*', European Commission, 2016, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC100405>

⁷ European Maritime Safety Agency, 'The EU Maritime Profile', EMSA, <https://emsa.europa.eu/eumaritimeprofile/section-4-environment.html>

⁸ Würsig, '*Alternative Fuels in Shipping*', DNV GL Webinar 2018, <https://www.dnv.com/maritime/webinars-and-videos/on-demand-webinars/alternative-fuels-online-conference.html>

Κεφάλαιο 3 : Πλυντρίδες - Scrubbers

3.1 Εισαγωγή - Ορισμός

Για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τους κινητήρες των πλοίων χρησιμοποιούνται ποικίλες τεχνικές οι οποίες διακρίνονται σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες. Ο ρόλος των πρωτευουσών είναι να μειώνουν τους παραγόμενους ρύπους κατά τη διαδικασία της καύσης ενώ αντίστοιχα οι δευτερεύουσες τεχνικές ελαττώνουν ή αφαιρούν τους ήδη υπάρχοντες ρύπους από τα καυσαέρια. Σε αυτή τη διπλωματική θα εξεταστεί μια δευτερεύουσα τεχνική μείωσης ρύπων, τις πλυντρίδες (scrubbers).

Πολύ πριν τα SO_x θεωρηθούν ζήτημα για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, τα scrubbers χρησιμοποιούνταν κυρίως σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλους πετρελαιοκινητήρες αλλά και σε άλλες βιομηχανίες. Κατά συνέπεια, η τεχνολογία καθαρισμού καυσαερίων είναι μια μακροχρόνια πραγματικότητα και καθαρίζουν τις εκπομπές από σταθμούς παραγωγής ενέργειας με βάση το πετρέλαιο και τον άνθρακα.

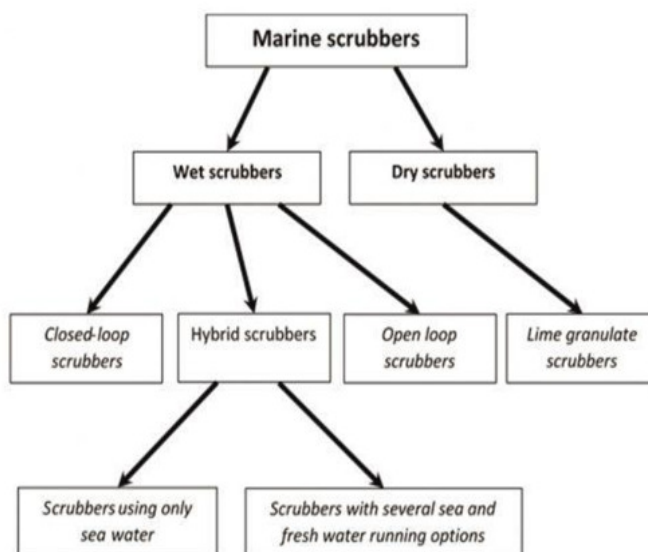
Ένα σύστημα scrubber είναι ένα σύνολο μηχανημάτων που ελέγχει την ατμοσφαιρική ρύπανση αφαιρώντας τα ρυπογόνα σωματίδια ή/και αέρια από τα βιομηχανικά καυσαέρια. Η ονομασία προέρχεται από την αγγλική λέξη scrub, δηλαδή “τρίβω”. Αρχικά, ο όρος scrubber αναφερόταν σε μηχανήματα που χρησιμοποιούσαν κάποιο υγρό για να αφαιρέσουν τις ανεπιθύμητες ουσίες. Σήμερα όμως ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει και συστήματα που χρησιμοποιούν κάποιο ξηρό ή μεγάλης πυκνότητας υγρό.

Σήμερα, ο κυριότερος λόγος ύπαρξής τους είναι η απομάκρυνση του διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα καυσαέρια και για αυτό συχνά καλούνται και Συσκευές Αποθείωσης Καυσαερίων (Flue Gas Desulfurization –FGD).

3.2 Είδη Scrubbers

Όπως φαίνεται στην παρακάτω **εικόνα 3.1**, τα Scrubbers κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη βασική αρχή λειτουργίας τους σε υγρού και ξηρού τύπου. Τα scrubbers

υγρού τύπου με τη σειρά τους χωρίζονται σε κλειστού κύκλου, υβριδικά και ανοιχτού κύκλου.



Εικόνα 3.1: Κατηγοριοποίηση των Scrubbers σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους (Marine Insight, 2021)¹

3.2.1. Scrubber υγρού τύπου (Wet scrubbers)

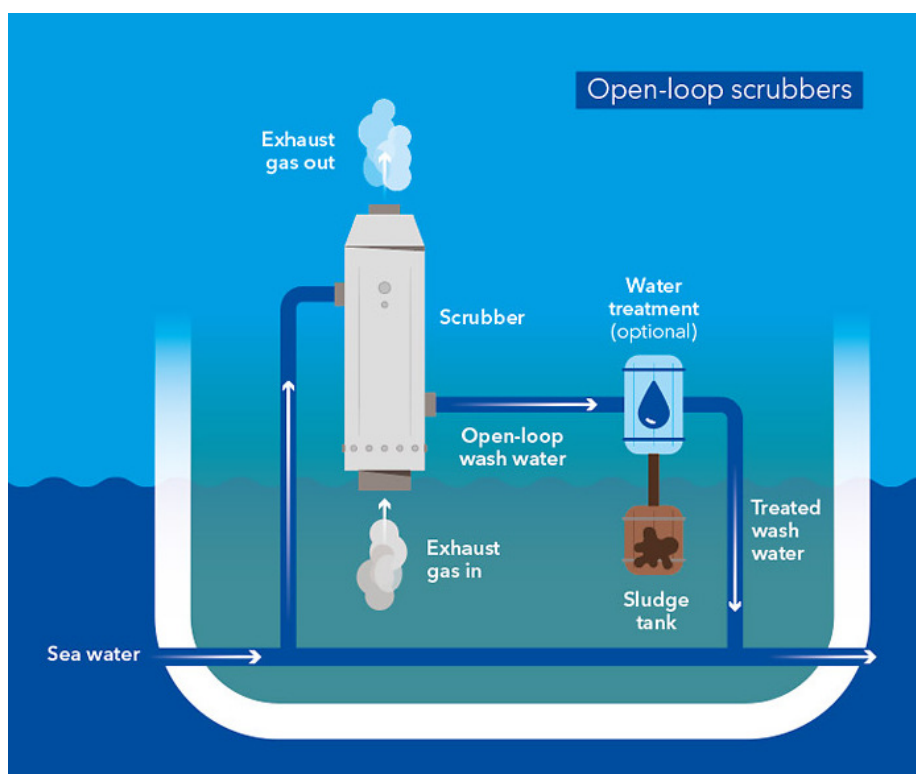
Η απλούστερη και πιο συνηθισμένη μέθοδος μείωσης των εκπεμπόμενων οξειδίων του θείου είναι η απόπλυση των καυσαερίων με νερό, είτε με μη επεξεργασμένο θαλασσινό νερό είτε με επεξεργασμένο γλυκό νερό. Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιεί τεχνητές ουσίες και είναι πολύ αποτελεσματική, καθώς πάνω από το 90% των οξειδίων του θείου απομακρύνονται.

Τα υγρά scrubbers είναι οικονομικά συστήματα, με σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος, μικρές απαιτήσεις χώρου και ενέργειας. Επιπλέον πετυχαίνουν μείωση κατά 80% των PM και μπορούν να επεξεργαστούν καυσαέρια υψηλής οξύτητας, πυκνότητας και θερμοκρασίας. Τα τελευταίας τεχνολογίας scrubber πετυχαίνουν από 95% έως και 99% ποσοστά καθαρισμού των καυσαερίων από οξείδια του θείου.

3.2.1.1. Συστήματα ανοιχτού τύπου (open loop scrubbers)

Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν κύλινδρο διαμέτρου 1-3 μέτρων, αναλόγως το μέγεθος της μηχανής, την πίεση εξόδου των καυσαερίων και άλλες παραμέτρους, ο οποίος είναι τοποθετημένος στην εισαγωγή του φουγάρου του πλοίου. Ο κύλινδρος γεμίζεται με ανεπεξέργαστο θαλασσινό νερό και στη συνέχεια τα καυσαέρια διοχετεύονται σε αυτόν και αναμειγνύονται με το νερό. Έτσι δημιουργείται ένα γαλάκτωμα το οποίο διαχωρίζεται σε δύο προϊόντα, ένα είδους υγρού και ένα αέριο. Το αέριο καταλήγει στην ατμόσφαιρα καθώς είναι απαλλαγμένο από τα διοξείδια του

θείου ενώ το υγρό καταλήγει στη θάλασσα. Το υγρό πρέπει πρώτα να υποστεί επεξεργασία ώστε να είναι κατάλληλο να εκκενωθεί στη θάλασσα, και η επεξεργασία γίνεται σε έναν διαχωριστή. Εκεί το νερό διαχωρίζεται μέσω περιστροφής από τα βαριά σωματίδια, αναμιγνύεται με ένα νέο ρεύμα θαλασσινού νερού κατά την έξοδο του διαχωριστή και ουσιαστικά αραιώνεται ώστε το Ρh του να επανέλθει στα αποδεκτά επίπεδα και τέλος να εκκενωθεί στη θάλασσα.



Εικόνα 3.2: Διάταξη συστήματος scrubber ανοιχτού τύπου ²

Τα πλεονεκτήματα των scrubber ανοιχτού κύκλου:

- Δεν χρησιμοποιούνται επιβλαβή χημικά.
- Απλούστερο σύστημα με λιγότερα μέλη και διαδικασίες, έτσι ώστε και το πλήρωμα των πλοίων και οι διαχειρίστριες εταιρίες είναι πιο άνετες στον χειρισμό του.
- Απλούστερο σύστημα που καθιστά την μελέτη και την εγκατάσταση πιο εύκολη και οικονομική.

Τα μειονεκτήματα των scrubber ανοιχτού κύκλου:

- Λόγω της απαίτησης συγκεκριμένης αλκαλικότητας και αλμυρότητας του νερού, η λειτουργία σε γλυκό ή υφάλμυρο νερό ή σε νερό με υψηλή

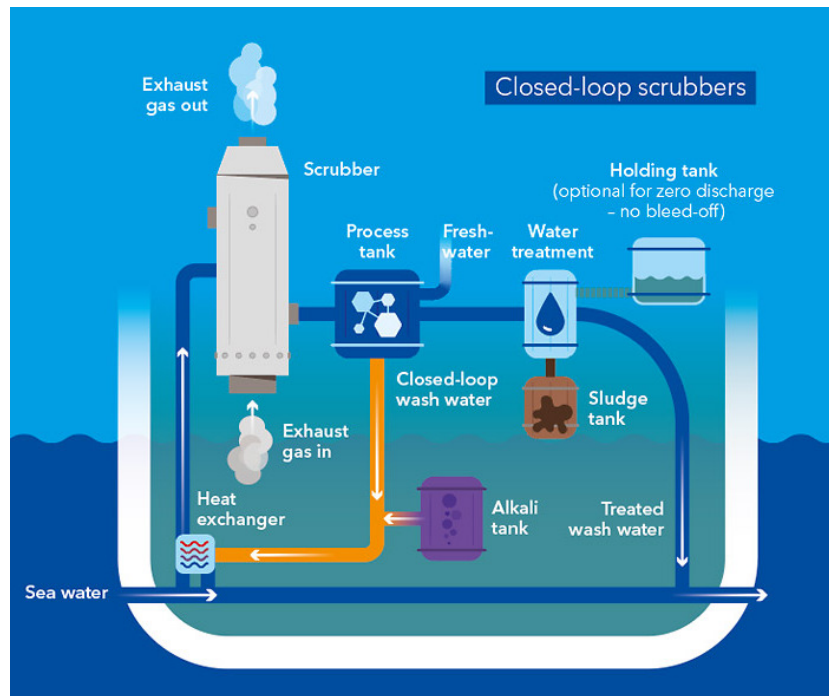
Θερμοκρασία δεν είναι αποτελεσματική. Έτσι π.χ. το νερό της Βαλτικής θάλασσας ή του ποταμού Μισισίπι δεν είναι κατάλληλο.

- Το χρησιμοποιούμενο θαλασσινό νερό, όσο και αν φιλτραριστεί, είναι πιθανό να φέρει μαζί του άμμο και μικρές οργανικές ουσίες, οι οποίες με τον καιρό θα προκαλέσουν την φθορά του συστήματος.
- Απαγόρευση εκκένωσης του λύματος σε κάποια λιμάνια. Ήδη η Κίνα έχει απαγορεύσει την χρήση τους σε όλα τα λιμάνια, η Σιγκαπούρη, το λιμάνι της Fujairah, το λιμάνι της Αμβέρας κ.α. και αναμένεται η λίστα των απαγορεύσεων να μεγαλώσει.

3.2.1.2. Συστήματα κλειστού τύπου (closed-loop scrubbers)

Τα κλειστού τύπου scrubbers λειτουργούν με χημικά επεξεργασμένο γλυκό νερό. Η λειτουργία κλειστού τύπου χρησιμοποιείται κυρίως σε λιμάνια και παράκτιες περιοχές με σκοπό τη μη ρύπανσή τους. Ο όρος 'κλειστό κύκλωμα' καθιερώθηκε γιατί το νερό που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό των καυσαερίων εμπλουτίζεται στο τέλος της διαδικασίας με τα κατάλληλα χημικά ώστε να επανέλθει η αλκαλικότητά του και να επαναχρησιμοποιηθεί, σε αντίθεση με το νερό στα ανοιχτού τύπου που καταλήγει στην θάλασσα.

Η φιλοσοφία λειτουργίας είναι η ίδια με αυτή του ανοιχτού κύκλου scrubber. Το καυσαέριο έρχεται σε άμεση επαφή με το γλυκό νερό που έχει εμπλουτιστεί με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) ή ασβεστόλιθο και το οποίο αντλείται από μια δεξαμενή. Μια μικρή ροή νερού στραγγίζεται και μεταφέρεται σε μονάδα επεξεργασίας που πρακτικά είναι ένας φυγόκεντρος διαχωριστής. Αυτός ο διαχωριστής χωρίζει τα βαριά σωματίδια από το νερό, το οποίο καθαρίζεται και είτε αποθηκεύεται σε δεξαμενή και επαναχρησιμοποιείται είτε εκκενώνεται στη θάλασσα σε πολύ μικρές ποσότητες. Επιπλέον, υπάρχει ξεχωριστή μονάδα που προμηθεύει το απαιτούμενο NaOH καθ'όλη τη διαδικασία με σκοπό το NaOH και επομένως και το pH να παραμένουν σταθερά, γιατί σε κάθε επανάληψη τα αποθέματα του NaOH του διαλύματος μειώνονται.



Εικόνα 3.3: Διάταξη συστήματος scrubber κλειστού (DNV GL,2019)²

Τα πλεονεκτήματα των scrubber κλειστού κύκλου:

- Η χρήση τους είναι δυνατή σε οποιαδήποτε περιοχή και είναι ανεξάρτητη από την αλκαλικότητα του νερού
- Υπάρχει δεξαμενή αποθήκευσης αποβλήτων πάνω στο πλοίο όπου τα απόβλητα αποθηκεύονται για όσο διάστημα απαιτείται
- Η απαίτηση σε νερό είναι περίπου η μισή σε σχέση με τα ανοιχτού τύπου
- Η απαίτηση σε κατανάλωση ισχύος είναι περίπου το 1/5 της ισχύος ενός ανοιχτού τύπου κυκλώματος
- Σε αντίθεση με τα συστήματα ανοιχτού τύπου, δεν κινδυνεύουν από ενδεχόμενη ρύπανση ή ζημιά λόγω της άμμου ή καθίζησης δεδομένου ότι δεν αντλούν νερό απευθείας από τη θάλασσα

Τα μειονεκτήματα των scrubber κλειστού κύκλου:

- Πιο πολλά μέρη σε σύγκριση με τα ανοιχτού τύπου και πιο περίπλοκη διαδικασία.
- Λόγω της χρήσης NaOH που είναι επιβλαβής ουσία, πιο προσεκτικός χειρισμός και φροντίδα του συστήματος είναι αναγκαία
- Η απαίτηση για γλυκό νερό επιβαρύνει την κατανάλωση του πλοίου.
- Η επίδρασή τους στη θερμοκρασία των καυσαερίων. Καθώς το νερό που χρησιμοποιείται έχει χαμηλή θερμοκρασία, προκαλείται τέτοια μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων η οποία είναι επιβλαβής για τα ήδη υπάρχοντα συστήματα εξάτμισης.

3.2.1.3. Υβριδικά συστήματα (hybrid scrubbers)

Το υβριδικό σύστημα είναι ένας συνδυασμός ανοιχτού και κλειστού τύπου που αξιοποιεί τα θετικά του κάθε συστήματος. Η λειτουργία γίνεται ως ανοιχτού τύπου εν πλω και ως κλειστού στο λιμάνι, ώστε να αποφεύγεται η χρήση και ρήψη χημικών στη θάλασσα και η αποβολή λυμάτων αντίστοιχα. Επίσης, το είδος λειτουργίας μπορεί να επιλεγεί ανάλογα με την αλκαλικότητα του νερού της περιοχής. Μια πολύ σημαντική δυνατότητα είναι η σύνδεση με GPS ώστε η εναλλαγή να γίνεται αυτόματα ανάλογα την τοποθεσία.

Τα πλεονεκτήματα των υβριδικών scrubbers :

- Η χρήση τους είναι δυνατή σε οποιαδήποτε περιοχή και είναι ανεξάρτητη από την αλκαλικότητα του νερού.
- Η εναλλαγή από ανοιχτού τύπου σε κλειστού μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή προβλημάτων όπως εισαγωγή άμμου και καθιζήσεις.
- Η χρήση τους είναι δυνατή ακόμα και σε περιοχές με αυστηρούς περιορισμούς για την εκκένωση νερού.
- Η μόνιμη χρήση του οικονομικού ΗFO.

Τα μειονεκτήματα των υβριδικών scrubbers :

- Απαιτούν μεγάλο χώρο αποθήκευσης για τα χημικά.
- Το κόστος εγκατάστασης είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα.
- Απαιτούνται περισσότερες τροποποιήσεις για την εγκατάστασή τους.

3.2.2. Scrubber ξηρού τύπου (Dry scrubbers)

Τα scrubber ξηρού τύπου χρησιμοποιούνται ευρέως στην χερσαία βιομηχανία από την δεκαετία των 1970. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από την κύρια μονάδα (που αποκαλείται απορροφητήρας) , από ένα σιλό τροφοδοσίας κόκκων και ένα σύστημα ελέγχου απορροής και παρακολούθησης των εκπομπών. Δεν χρησιμοποιείται νερό ως υλικό καθαρισμού αλλά σφαιρίδια ενυδατωμένης ασβέστου. Τα σφαιρίδια μπορούν να αντιδράσουν διαφορετικά ανάλογα με το υλικό που στοχεύουν για απομάκρυνση. Έτσι, είτε πετυχαίνεται εξουδετέρωση των επιβλαβών ρύπων μέσω χημικής αντίδρασης, είτε το υλικό θα αντιδράσει και θα μετατραπεί σε μια διαφορετική ουσία.

Αρχικά, στο σύστημα ψύξης, τα καυσαέρια ψύχονται για να καταστήσουν ευκολότερη την απομάκρυνση ρύπων και άλλων τοξινών από το αέριο. Μόλις το αέριο κρυώσει, μπορεί να ξεκινήσει η έκχυση του αντιδραστηρίου. Σε αυτό το βήμα, τα επιβλαβή συστατικά αφαιρούνται από το αέριο. Τα συστατικά του ξηρού

αντιδραστηρίου επιλέγονται με γνώμονα τις ιδιότητές τους, και συχνά επιλέγεται το Διττανθρακικό Νάτριο (NaHCO_3). Μια ποικιλία από σκόνες αναμιγνύονται μαζί και ρίχνονται με υψηλές πιέσεις στα καυσαέρια. Έτσι δημιουργούνται χημικές αντιδράσεις που μειώνουν την οξύτητα του καυσαερίου και απομακρύνουν τους επιβλαβείς ρύπους. Το τελικό βήμα είναι η χρήση ενός φίλτρου που θα συλλάβει τη χρησιμοποιούμενη σκόνη καθώς το καθαρισμένο αέριο εξέρχεται από το θάλαμο έκπλυσης. Αυτή η σκόνη μπορεί μερικές φορές να καθαριστεί και να επαναχρησιμοποιηθεί για την ίδια διαδικασία, αλλά πιο συχνά πρέπει να δοθεί στις κατάλληλες εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι δεν μπορεί να πλυθεί σωστά.

Τα πλεονεκτήματα των ξηρών scrubbers έναντι των υγρών:

- Παράγουν συγκριτικά λιγότερα απόβλητα.
- Δεν υπάρχει ανάγκη για την απομάκρυνση, τη μεταφορά και την αποθήκευση λυμάτων (waste water).
- Έχουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας καθώς δεν απαιτούνται αντλίες.
- Λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία και αυτό είναι ένα πλεονέκτημα του συστήματος γιατί έτσι καίγονται τα όποια ελαιώδη κατάλοιπα.

Τα μειονεκτήματα των ξηρών scrubbers :

- Το υπόλειμμα σκόνης πρέπει να απορρίπτεται επειδή είναι επικίνδυνο υλικό. Αυτό το απόβλητο πρέπει να αντιμετωπιστεί από ειδικούς λόγω της χημικής του σύστασης.
- Δεν απομακρύνουν όλους τους ρύπους από το αέριο.
- Το βάρος της μονάδας είναι μεγαλύτερο.

3.3 Γενικές θεωρήσεις για την εγκατάσταση scrubber

Οι πλοιοκτήτες οι οποίοι καλούνται να μειώσουν τις εκπομπές οξειδίων του θείου έχουν τρεις εναλλακτικές, και η μία εξ' αυτών είναι η εγκατάσταση συστήματος scrubber. Έτσι, για την λήψη της σωστής απόφασης σχετικά με το αν θα εγκατασταθεί ή όχι σύστημα scrubber, οι ναυτιλιακές θα πρέπει να μελετήσουν τα παρακάτω:

- Να κάνουν μια λεπτομερή οικονομική αξιολόγηση ώστε να κρίνουν εάν η εγκατάσταση είναι μια συμφέρουσα επιλογή. Οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η τιμή και η διαθεσιμότητα του HFO, η αύξηση της κατανάλωσης του πλοίου, το κόστος συντήρησης του συστήματος, το κόστος πιθανής επισκευής, το κόστος διάθεσης των αλκαλίων, της απόθεσης των απορριμμάτων και πιθανές ανταμοιβές της αγοράς που πιθανώς προκύψουν λόγω της χρήσης scrubber και HFO.
- Να κάνουν μια λεπτομερή τεχνική μελέτη ώστε να κρίνουν εάν η εγκατάσταση είναι μια εφικτή επιλογή. Οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν

υπόψη είναι εάν υπάρχει ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση του scrubber, εάν μπορεί να υποστηριχθεί η πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας, η διάταξη των σωληνώσεων, οι πιθανές αλλαγές στην πυρασφάλεια του πλοίου και οι επιπτώσεις στην ευστάθεια του πλοίου. Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ταξίδια του εκάστου πλοίου, εάν αυτό είναι πιθανό, ώστε να γίνει η σωστή επιλογή τύπου scrubber.

- Να γίνει η σωστή επιλογή προμηθευτή καθώς οι κυρίαρχοι προμηθευτές, καθώς ο προμηθευτής που θα επιλεγεί θα πρέπει να πληροί τα ποιοτικά πρότυπα και να παρέχει υποστήριξη σε όλο τον κόσμο.
- Να γίνει επιλογή διαθέσιμου ναυπηγείου για την ώστε να υπάρχει η τεχνογνωσία.
- Να γίνει προσεκτική επιλογή του προμηθευτή συνεχούς παρακολούθησης εκπομπών ρύπων (Continuous Emission Monitoring System – CEMS) ώστε να αποδεικνύεται η σωστή λειτουργία του συστήματος scrubber.
- Να προγραμματιστεί μια δοκιμή λειτουργίας του συστήματος με όλα τα εμπλεκόμενα μέρη (τον προμηθευτή, τον προμηθευτή CEMS , το ναυπηγείο όπου έγινε η εγκατάσταση και τον νηογνώμονα) ώστε να αποδειχτεί η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις που ορίζονται από τον εκάστοτε νηογνώμονα και τον IMO Res. MEPC.259.
- Επιπρόσθετα στα παραπάνω, θα πρέπει να γίνει η έγκριση της εγκατάστασης από τον νηογνώμονα πριν από την εγκατάσταση μέσω από την μελέτη των σχεδίων και του σχεδιασμού της. Η διαδικασία έγκρισης θα πρέπει να ξεκινήσει τουλάχιστον 3 μήνες πριν την ημερομηνία εγκατάστασης ώστε να υπάρχει χρόνος και αξιολόγηση και για πιθανώς σχόλια και μετατροπές.

¹ Sethi S., 2021, "A Guide To Scrubber System On Ship", Marine Insight, <https://www.marineinsight.com/tech/scrubber-system-on-ship/>

² Mundal St., 'Scrubbers at a glance', DNV GL, 2018, <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Scrubbers-at-a-glance.html>

Κεφάλαιο 4 : Κανονισμοί Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων

4.1 Εισαγωγή

Τα πετρέλαια που παράγονται από τον υδρογονάνθρακα έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο σε σύγκριση με άλλους εναλλακτικούς τύπους καυσίμων και παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται κατά μέγιστη πλειοψηφία στην ναυτιλία κυρίως λόγω τιμής (Würsig, Alternative Fuels in Shipping, DNV GL Webinar 2018)¹. Η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο επηρεάζει τις εκπομπές SO₂, που είναι επιβλαβές για τους ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να συμβάλει στην όξινη βροχή. Επομένως, είναι σημαντικό να τεθούν επιτρεπόμενα όρια περιεκτικότητας σε θείο, και για αυτό τον λόγο έχουν θεσπιστεί κάποιοι διεθνείς αλλά και τοπικοί κανονισμοί στη ναυτιλία.

4.2 United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) είναι μια διεθνής περιβαλλοντική συνθήκη που υπεγράφη το 1992 και τέθηκε σε ισχύ το 1994. Ο στόχος της UNFCCC είναι η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα που θα αποτρέψουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρέμβαση στο κλίμα. Το πλαίσιο ορίζει μη δεσμευτικά όρια για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου για τις επιμέρους χώρες και δεν περιλαμβάνει μηχανισμούς επιβολής όμως θέτει δεσμευτικούς στόχους οι οποίοι γίνονται αντικείμενα διαπραγμάτευσης μέσω διεθνών συνθηκών (πρωτόκολλα ή συμφωνίες). Μέχρι σήμερα η UNFCCC αριθμεί 198 μέλη² τα οποία συνεδριάζουν ετησίως από το 1995 για την αξιολόγηση της προόδου σχετικά με την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Το 1997 συμφωνήθηκε το πρωτόκολλο του Κιότο και θεσπίστηκαν νομικά δεσμευτικές υποχρεώσεις για τις ανεπτυγμένες χώρες ώστε να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά μέσο όρο κατά 5, % κάτω από τα επίπεδα του 1990 κατά την περίοδο 2008-2012³. Το 2010 η διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος κατέληξε σε συμφωνία που ορίζει ότι η μελλοντική υπερθέρμανση του πλανήτη πρέπει να περιοριστεί σε λιγότερο από 2 °C σε σχέση με το προβιομηχανικό επίπεδο. Η συμφωνία αυτή τροποποιήθηκε το 2012 στην τροπολογία της Ντόχα ώστε να περιλαμβάνει την περίοδο 2013-2020. Το 2015 με την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού ο στόχος μειώθηκε σε 1,5°C για την περίοδο μετά το 2020. Η συμφωνία τέθηκε σε ισχύ το 2016.

Αξίζει να σημειωθεί πως αρχικά το UNFCCC ζήτησε από τις χώρες μέλη να καταρτίσουν εθνικές απογραφές των αερίων του θερμοκηπίου και οι απογραφές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των επιπέδων αναφοράς του 1990 για την προσχώρηση των χωρών στο πρωτόκολλο του Κιότο και για τη δέσμευσή τους για μειώσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

4.3 International Maritime Organization -IMO , MARPOL 73/78 και Annex VI

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization-IMO) είναι η υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών που ορίζει και ρυθμίζει τους κανονισμούς που αφορούν τη ναυτιλία. Η ίδρυσή του χρονολογείται στην διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών στη Γενεύη το 1948 και η λειτουργία του ξεκίνησε 10 χρόνια αργότερα. Οι κυρίαρχοι στόχοι του IMO είναι η ανάπτυξη και διατήρηση ρυθμιστικών πλαισίων τα οποία καλύπτουν θέματα όπως το περιβάλλον, η ασφάλεια στη θάλασσα, η αποτελεσματικότητα της ναυτιλίας, νομικά ζητήματα κ.ά. Ως σήμερα διαθέτει 175 μέλη κράτη και τρία συνεργαζόμενα μέλη.

Το 1973 ο IMO σε συνάντησή του αναγνώρισε την ανάγκη ανανέωσης των κανονισμών που ρυθμίζουν τη θαλάσσια ρύπανση που προκαλείται από τη ναυτιλία και έθεσε σαν στόχο την ανάπτυξη μιας διεθνούς συμφωνίας για την επίτευξη της ρύθμισης αυτής. Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα αυτής της συνάντησης ήταν η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL) του 1973. Η Σύμβαση περιλαμβάνει κανονισμούς που στοχεύουν στην πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από πλοία -τόσο της τυχαίας ρύπανσης που προκύπτει από ατυχήματα, όσο και της ρύπανσης που προκύπτει από συνήθεις λειτουργίες των πλοίων- και περιλαμβάνει επί του παρόντος έξι τεχνικά παραρτήματα. Σήμερα ονομάζεται MARPOL 73/78 (από τις λέξεις Marine Pollution) καθώς συνδυάζει τη Σύμβαση του 1973 και το Πρωτόκολλο του 1978⁴.

Στον IMO ανήκει διοικητικά επίσης η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection Committee-MEPC) η οποία συνεδριάζει κάθε 9 μήνες για την αναθεώρηση των υπαρχόντων κανονισμών προστασίας του περιβάλλοντος από τη ναυτιλία.

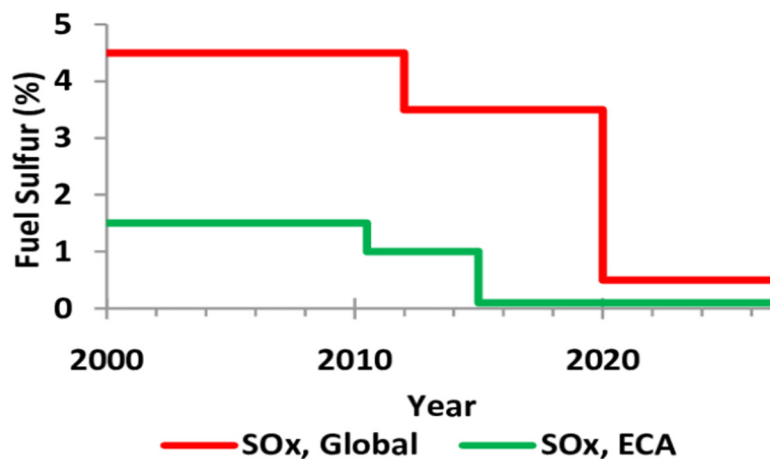
4.3.1 MARPOL Annex VI

Το MARPOL 73/78 αποτελείται από 6 παραρτήματα με κάθε ένα να ρυθμίζει μια συγκεκριμένη ομάδα ρύπων, εκ των οποίων το παράρτημα VI αφορά στην πρόληψη της αέριας ρύπανσης από τα πλοία, εγκρίθηκε για πρώτη φορά το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2005. Το παράρτημα VI εισήγαγε την απαίτηση ρύθμισης της εκπομπής ουσιών που καταστρέφουν το όζον, των οξειδίων του θείου SO_x, των NO_x, των πτητικών οργανικών ενώσεων VOC που εκπέμπονται από τα δεξαμενόπλοια και της αποτέφρωσης επί των πλοίων. Καθορίζει τις απαιτήσεις για την ποιότητα των ναυτιλιακών καυσίμων, για τη δημιουργία των χώρων ελεγχόμενων εκπομπών SO_x, για τις εγκαταστάσεις υποδοχής των απορριμμάτων που προέρχονται από τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων.

Λίγο μετά την έναρξη ισχύος του Annex VI, η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection Committee-MEPC) συμφώνησε να γίνει αναθεώρησή του με στόχο την ενίσχυση των ορίων των εκπομπών. Έτσι, μετά από 3 χρόνια εξέτασης, το αναθεωρημένο Annex VI και ο τεχνικός κώδικας NO_x 2008 εγκρίθηκαν από την MEPC 58 τον Οκτώβριο του 2008. Οι κύριες αλλαγές ήταν η σταδιακή μείωση των εκπομπών SO_x, των NO_x και των σωματιδίων καθώς και η καθιέρωση κάποιων περιοχών ελέγχου των εκπομπών οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

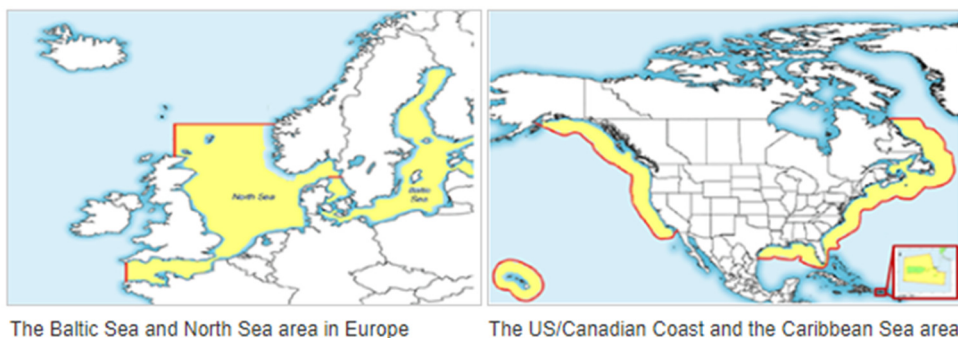
4.4 Ειδικές περιοχές (Special Areas) και Περιοχές ελέγχου εκπομπών (ECAs)

Οι Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Θείου (Sulphur Emission Control Areas-SECAs ή διαφορετικά Emission Control Areas-ECAs) είναι θαλάσσιες περιοχές που διέπονται από πιο αυστηρούς ελέγχους από τον Μάιο του 2005 με σκοπό την ελαχιστοποίηση των εκπομπών που προέρχονται από τα πλοία. Πριν από την 1^η Ιουλίου 2010 το όριο για το ποσοστό θείου στα καύσιμα που χρησιμοποιούσαν τα πλοία στην ECA ήταν 1,50%, από την 1^η Ιουλίου 2010 το ποσοστό κατέβηκε στο 1,0% με το όριο αυτό να μειώνεται στο 0,1% από την 1^η Ιανουαρίου 2015. Στις υπόλοιπες περιοχές, εκτός SECA, το όριο ήταν 4,50% πριν την 1^η Ιανουαρίου 2012, 3,50% μεταξύ 1^{ης} Ιανουαρίου 2012 και 1^{ης} Ιανουαρίου 2020 και 0,50% μετά την 1^η Ιανουαρίου 2020. Τα όρια εντός και εκτός ECA φαίνονται στην **εικόνα 4.1**.



Εικόνα 4.1: Τα όρια της περιεκτικότητας σε SO_x ανά τα χρόνια στην ECA και εκτός ECA (Pedersen M., et all, Two-stroke engine emission reduction technology: state of the art, CIMAC Congress at Bergen,2010)

Οι περιοχές ECA περιλαμβάνουν τη Βαλτική Θάλασσα, τη Βόρεια Θάλασσα, τη Βόρεια Αμερική (παράκτιες περιοχές των ΗΠΑ, της Καραϊβικής, του Καναδά) και φαίνονται στην **εικόνα 4.2**.



Εικόνα 4.2: Οι περιοχές ECA⁵

Το 2022, το ΜΕΡC όρισε ολόκληρη τη Μεσόγειο Θάλασσα ως ECA. Η τροποποίηση αναμένεται να τεθεί σε ισχύ την 1η Μαΐου 2024, με το νέο όριο περιεκτικότητας σε θείο να τίθεται σε ισχύ από την 1η Μαΐου 2025.

4.5 Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα όρια του θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζει τη μέγιστη περιεκτικότητα θείου των ναυτιλιακών καυσίμων στην οδηγία της (ΕΕ) 2016/802 η οποία χαρακτηρίζεται ως “οδηγία για το θείο” και αφορά τα πλοία που καταπλέουν σε λιμάνια της ΕΕ. Η οδηγία δημοσιεύθηκε τον Μάιο του 2016, και ενοποιεί και αντικαθιστά ορισμένους ευρωπαϊκούς κανονισμούς και οδηγίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων πλοίων και τη χρήση του EGCS ως εναλλακτικής μεθόδου συμμόρφωσης.



The Mediterranean Sea area in Europe

Εικόνα 4.3: Η περιοχή της Μεσογείου⁵

Βασικά σημεία:

Τα κράτη μέλη της ΕΕ καλούνται να λάβουν όλα τα απαραίτητα μέτρα για να διασφαλίσουν ότι δεν χρησιμοποιούνται στις θάλασσές τους, εκτός της ECA, καύσιμα που η περιεκτικότητα κατά μάζα σε θείο υπερβαίνει:

Το 3,50 % από τις 18 Ιουνίου 2014·

Το 0,50 % από την 1η Ιανουαρίου 2020

Στις θάλασσες εντός ECA, η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων πλοίων είναι 0,10% από την 1η Ιανουαρίου 2015.

Αν και αυτό είναι σύμφωνο με τον κανονισμό 14 του Παραρτήματος VI της MARPOL, η παραπάνω Οδηγία της ΕΕ διαφέρει στους εξής βασικούς τομείς:

Λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων των πλοίων που είναι ελλιμενισμένα σε λιμένες της Ένωσης είναι 0,10 %.

Η λειτουργία αλλαγής καυσίμου θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν συντομότερα μετά την άφιξη στο αγκυροβόλιο και όσο το δυνατόν πιο αργά πριν από την αναχώρηση.

Το όριο θείου δεν ισχύει εάν τα πλοία πρέπει να είναι ελλιμενισμένα για λιγότερο από δύο ώρες, ή αν τα πλοία σβήσουν όλους τους κινητήρες και χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από την ξηρά ενώ βρίσκονται ελλιμενισμένα σε λιμάνια.

Συστήματα καθαρισμού καυσαερίων

Η Οδηγία επιτρέπει τη χρήση scrubber ως εναλλακτικής μεθόδου συμμόρφωσης, εάν εγκριθεί σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του IMO, π.χ. MEPC.259(68) ή την Οδηγία της ΕΕ για τον Ναυτικό Εξοπλισμό.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου είναι 3,50%. Σε αντίθεση, το παράρτημα VI της MARPOL δεν ορίζει τον τρόπο λειτουργίας του scrubber που πρέπει να χρησιμοποιείται για καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο πάνω από το παγκόσμιο όριο.

4.6 Τοπικοί κανονισμοί σε άλλες περιοχές

Εκτός από την Ευρωπαϊκή Ένωση, κι άλλες χώρες αποφάσισαν να δημιουργήσουν το δικό τους ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με τις εκπομπές θείου. Για παράδειγμα, στην Κίνα έχουν ήδη οριστεί ορισμένες παράκτιες περιοχές ως ECA. Οι τρεις ECA είναι το Δέλτα του Ποταμού Περγλ, το Δέλτα του Ποταμού Γιανγκτσέ και ο Κόλπος Μποχάι. Αυτές οι περιοχές ελέγχου εκπομπών δεν ορίζονται στο Παράρτημα VI της MARPOL.

Από την 1η Ιανουαρίου 2016 υπήρξε σταδιακά αυστηρή επιβολή των υφιστάμενων διεθνών και των εθνικών κανονισμών για τα οξείδια του θείου και του αζώτου. Τα λιμάνια εντός των περιοχών ελέγχου εκπομπών ECA είχαν τη δυνατότητα να εισαγάγουν το όριο του 0,50% στο θείο για όσο διάστημα τα πλοία είναι ελλιμενισμένα. Εξαιρείται μία ώρα πριν την αναχώρηση και την άφιξη.

Από την 1η Ιανουαρίου 2022 το ανώτατο όριο θείου 0,10% ισχύει για τα ποντοπόρα πλοία που εισέρχονται στα ύδατα του Ηαίναη εντός του παράκτιου ECA από την 1η Ιανουαρίου 2022.

Τα πλοία που φτάνουν στη Διώρυγα του Παναμά πρέπει να χρησιμοποιήσουν καθαρότερο καύσιμο για τη διέλευση από το κανάλι.

Από τον Οκτώβριο του 2015, το επιτρεπόμενο όριο για κρουαζιερόπλοια που αγκυροβολούν στο λιμάνι του Σίδνεϊ ορίστηκε στο 0,1% , επομένως πρέπει να χρησιμοποιούν είτε καύσιμο με μέγιστο 0,10% θείο. Ο λόγος που ο κανονισμός έχει

εφαρμογή στο λιμάνι του Σίδνεϊ είναι το υψηλό ποσοστό επισκέψεων από κρουαζιερόπλοια σε σύγκριση με άλλα λιμάνια της Αυστραλίας.

Στην Τουρκία ισχύουν οι κανονισμοί της MARPOL Annex VI - το θείο των καυσίμων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,50% στα χωρικά ύδατα (0,10% κατ' ανώτατο όριο στα εσωτερικά ύδατα και εάν είναι περισσότερο από 2 ώρες σε αγκυροβόλιο ή άγκυρα).



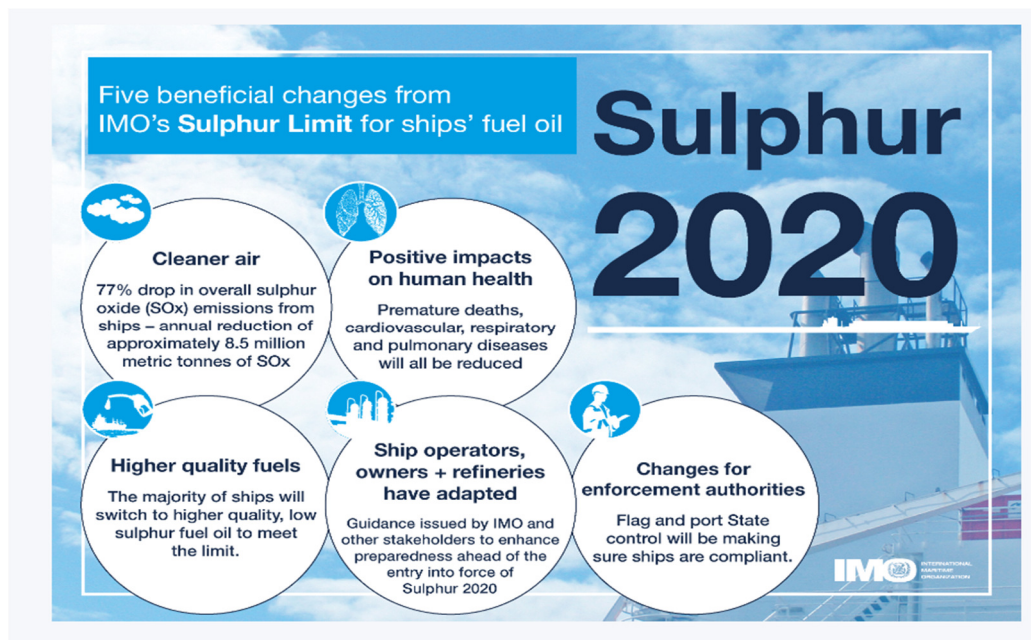
Εικόνα 4.4: Τοπικοί κανονισμοί ρύθμισης των αέριων εκπομπών ⁶

4.7 IMO 2020

Κατά την MEPC 70 τον Οκτώβριο του 2016 αποφασίστηκε να οριστεί ανώτατο όριο στην περιεκτικότητα θείου των ναυτιλιακών καυσίμων που θα χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σε εκτός SECA περιοχές με αυτό να μην υπερβαίνει το 0,50% και τέθηκε σε ισχύ την 1^η Ιανουαρίου 2020, με μία μικρή παράταση μέχρι τον Μάρτιο 2020⁷. Σε αυτή την MEPC 70 παρουσιάστηκε μελέτη η οποία εκτιμούσε πως η μη μείωση των εκπομπών του θείου από τα πλοία θα συνέβαλε σε περισσότερους από 570.000 πρόσθετους πρόωρους θανάτους παγκοσμίως στο διάστημα 2020-2025. Το νέο όριο θα σημαίνει μείωση κατά 77% των συνολικών εκπομπών SO_x από τα πλοία, που ισοδυναμεί με ετήσια μείωση κατά περίπου 8,5 εκατομμύρια μετρικούς τόνους SO_x. Τα σωματίδια - μικροσκοπικά επιβλαβή σωματίδια που σχηματίζονται κατά την καύση του καυσίμου - θα μειωθούν επίσης⁸.

Ο IMO εξέδωσε μια σειρά κατευθυντήριων γραμμών για να βοηθήσει τον ναυτιλιακό τομέα και τα κράτη μέλη του να προετοιμαστούν, ώστε να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση θα πραγματοποιηθεί ομαλά. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές

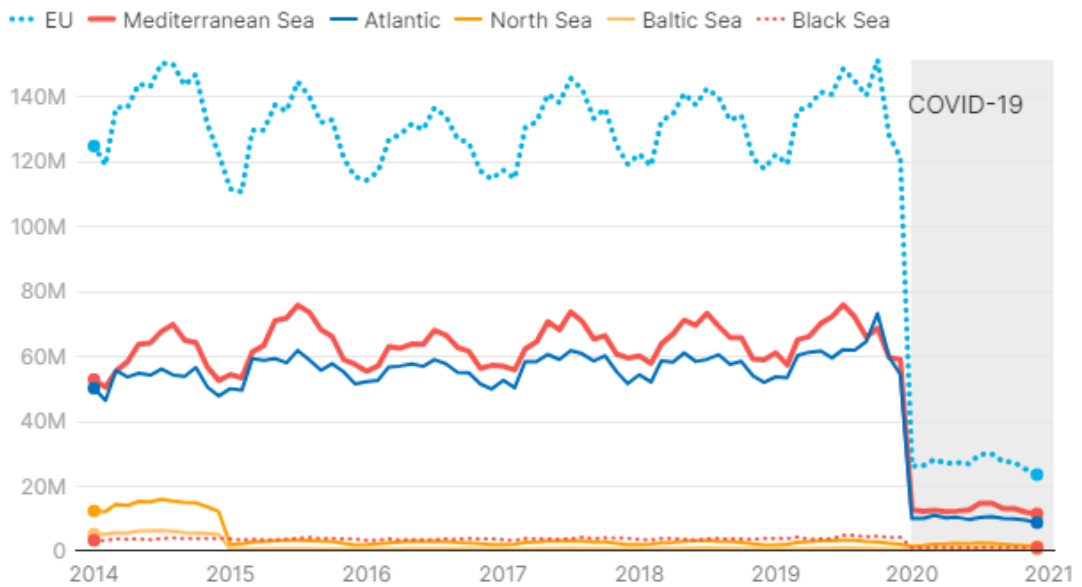
συμπεριλάμβαναν οδηγίες για την αντιμετώπιση ζητημάτων όπως η αξιολόγηση του κινδύνου για τα νέα καύσιμα, ο σωστός καθαρισμός της δεξαμενής των καυσίμων, αλλά και κατευθυντήριες γραμμές απευθυνόμενες στον εκάστοτε λιμένα. Επιπλέον, η Γραμματεία του IMO δημιούργησε μια ειδική διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για οποιαδήποτε απορία προκύπτει από τα κράτη μέλη και τη ναυτιλιακή βιομηχανία.



Εικόνα 4.5: Οι πέντε στόχοι του κανονισμού IMO 2020 ⁸

Στην εικόνα 4.6 φαίνεται πως ο κανονισμός, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις του COVID-19 στις μεταφορές, επέφερε πτώση των εκπομπών των οξειδίων του θείου στις περιοχές της Μεσογείου, και του Ατλαντικού. Οι περιοχές της Βόρειας, της Βαλτικής και Μαύρης Θάλασσας δεν επηρεάστηκαν καθώς είναι ήδη ECA με μέγιστο όριο σε θείο στα 0,1% m/m.

EU & Regional SO_x Total Emissions [kg]



Εικόνα 4.6: Εκπομπές οξειδίων του θείου σε κιλά στην Ευρώπη και σε άλλες περιοχές τα έτη 2014-2021⁹

¹ Würsig, 'Alternative Fuels in Shipping', DNV GL Webinar, 2018, <https://www.dnv.com/maritime/webinars-and-videos/on-demand-webinars/alternative-fuels-online-conference.html>

² <https://unfccc.int/process/parties-non-party-stakeholders/parties-convention-and-observer-states>

³ United Nations Climate Change, 'What Is the Kyoto Protocol', *Unfccc.Int*, 2023, https://unfccc.int/kyoto_protocol.

⁴ MARPOL. [Online] Available at: <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/pages/Marpol.aspx>

⁵ NIPPON KAIJI KYOKAI (Class NK), 'SO_x • PM Regulations', *Classnk*, 2023, <https://www.classnk.or.jp/hp/en/activities/statutory/soxpm/index.html>.

⁶ Baiyu, G., 'China Enters a New Low-Sulphur Shipping Era', *China Dialogue Ocean*, 2022, <https://chinadiologueocean.net/en/pollution/13818-china-enters-a-new-low-sulphur-shipping-era/>.

⁷ 'Marine Environment Protection Committee (MEPC), 70th Session', *International Maritime Organization*, 2016, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-70th-session.aspx>

⁸ 'IMO 2020 - Cleaner Shipping for Cleaner Air', *International Maritime Organization*, 2019, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx> .

⁹ European Maritime Safety Agency, ' The EU Maritime Profile, EMSA, <https://emsa.europa.eu/eumaritimeprofile/section-4-environment.html>

Κεφάλαιο 5: Επιβολή των Κανονισμών Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων

5.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τους κύριους κανονισμούς που ρυθμίζουν τις εκπομπές οξειδίων του θείου παγκοσμίως. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν οι τρόποι με τους οποίους γίνεται η επίβλεψη της συμμόρφωσης των πλοίων με τους διάφορους κανονισμούς αλλά και με τον IMO 2020 συγκεκριμένα. Κατά κύριο λόγο, οι έλεγχοι γίνονται από τον νηογνώμονα, το εκάστοτε κράτος λιμένα, και το κράτος σημαίας. Ακολουθεί αναλυτική επεξήγηση του καθενός.

5.2 Νηογνώμονας

Ο νηογνώμονας πλοίων είναι ένας μη κυβερνητικός οργανισμός που θεσπίζει και διατηρεί τεχνικά πρότυπα για την κατασκευή και τη λειτουργία των πλοίων και υπεράκτιων κατασκευών. Οι νηογνώμονες πιστοποιούν ότι η ναυπήγηση ενός σκάφους συμμορφώνεται με τα σχετικά πρότυπα και διενεργούν τακτικές επιθεωρήσεις για να διασφαλίζουν τη συνεχή συμμόρφωση.

Απαιτείται πιστοποιητικό νηολόγησης που εκδίδεται από τον νηογνώμονα ώστε ο πλοιοκτήτης να νηολογήσει και να ασφαλίσει το πλοίο, ώστε το πλοίο να μπορεί να εισέλθει σε ορισμένους λιμένες ή ακόμα και να ναυλωθεί ή να πωληθεί.

Να αναφερθεί πως μεταξύ των άλλων, κάθε πλοίο πρέπει να διαθέτει και το Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (International Air Pollution Prevention Certificate - IAPPC)¹, το οποίο εκδίδεται από τον νηογνώμονα. Το IAPPC επιβεβαιώνει ότι το πλοίο και ο εξοπλισμός του συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του Παραρτήματος VI της MARPOL, περιγράφοντας τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται ο έλεγχος των εκπομπών από το πλοίο.

Οι νηογνώμονες θέτουν τεχνικούς κανόνες με βάση την εμπειρία και την έρευνα, επιβεβαιώνουν ότι τα σχέδια και οι υπολογισμοί πληρούν αυτούς τους κανόνες, επιθεωρούν τα πλοία κατά τη διαδικασία κατασκευής αλλά και περιοδικά μετά την κατασκευή, ώστε να διασφαλίζουν ότι συνεχίζουν και πληρούν τους κανόνες κι ότι τα μηχανήματα είναι συντηρούνται σύμφωνα με τα πρότυπα που απαιτούνται για την κατηγορία τους.

Επί του παρόντος, δώδεκα Νηογνώμονες είναι μέλη της Διεθνούς Ένωσης Νηογνωμόνων (International Association of Classification Societies - IACS)². Οι μεγαλύτεροι είναι ο Νορβηγικός/Γερμανικός (Det Norske Veritas- DNV), ο Αμερικανικός (American Bureau of Shipping- ABS), ο Ιαπωνικός (Nippon Kaiji Kyokai - ClassNK) και ο Βρετανικός (Lloyd's Register- LR). Οι νηογνώμονες απασχολούν ναυπηγούς, επιθεωρητές πλοίων, μηχανικούς υλικών, μηχανικούς σωληνώσεων, μηχανολόγους μηχανικούς και ηλεκτρολόγους μηχανικούς, που συχνά βρίσκονται σε λιμάνια και κτίρια γραφείων σε όλο τον κόσμο.

Εκτός από την παροχή υπηρεσιών πιστοποίησης, οι μεγάλοι νηογνώμονες διεξάγουν επίσης έρευνα στις δικές τους ερευνητικές εγκαταστάσεις προκειμένου να

βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των κανονισμών τους και να διερευνήσουν την ασφάλεια των νέων καινοτομιών στη ναυπηγική βιομηχανία.

Για παράδειγμα, ενόψει του IMO 2020, παρείχαν μελέτες σχετικά με τις διαθέσιμες τεχνολογίες και τα διαθέσιμα εναλλακτικά καύσιμα καθώς και τεχνική και λειτουργική υποστήριξη στους πλοιοκτήτες για την επιτυχή συμμόρφωση με τον κανονισμό. Οι νηογνώμονες βοήθησαν τους πλοιοκτήτες και τους διαχειριστές να κατανοήσουν τις διαθέσιμες τεχνολογίες και καύσιμα, το κόστος του κύκλου ζωής και τις λειτουργικές επιπτώσεις κάθε σεναρίου, να λάβουν υπόψη μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων κατά την επιλογή της καταλληλότερης για εκείνους λύσης συμμόρφωσης, συμπεριλαμβανομένων της ηλικίας του σκάφους, του κόστους, της διαθεσιμότητας καυσίμων, της διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας των τεχνολογικών λύσεων, κ.ά.

5.3 Κράτος λιμένα και έλεγχοι από το κράτος λιμένα

Ο έλεγχος από το κράτος λιμένα (Port State Control - PSC) είναι ένα καθεστώς επιθεώρησης πλοίων νηολογημένων στο εξωτερικό, σε λιμάνι εκτός από αυτά του κράτους σημαίας, και επιβολής μέτρων κατά των πλοίων που δεν συμμορφώνονται. Οι επιθεωρήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν τον έλεγχο της λειτουργίας του σκάφους σύμφωνα με την ισχύουσα διεθνή νομοθεσία, της κατάστασης και του εξοπλισμού του πλοίου καθώς και την επαλήθευση της ικανότητας του πλοιάρχου και των αξιωματικών του πλοίου.

Οι χώρες που εφαρμόζουν το PSC αναφέρονται ως κράτη λιμένα, κι ο όρος καθιερώθηκε στη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (United Nations Convention on the Law of the Sea- UNCLOS).

Μετά τη βύθιση του Amoco Cadiz, ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες συμφώνησαν στον έλεγχο των συνθηκών εργασίας στα πλοία, ως προς το εάν ήταν σύμφωνες με τους κανόνες της Διεθνούς Οργάνωσης Εργασίας, και αποφασίστηκε επίσης να ελεγχθούν οι πρακτικές ασφάλειας και ρύπανσης³. Για το σκοπό αυτό, το 1982 δεκατέσσερις ευρωπαϊκές χώρες συμφώνησαν στο Παρίσι σε ένα Προσύμφωνο Συνεργασίας (ΠΣ) - Paris Memorandum of Understanding (Paris MoU) για τη θέσπιση ελέγχου από τα κράτη λιμένα. Σήμερα, 26 ευρωπαϊκές χώρες και ο Καναδάς έχουν υπογράψει το ΠΣ του Παρισιού, με βάση το οποίο έχουν υπογραφεί κι άλλα ΠΣ, όπως το ΠΣ του Τόκιο (Ειρηνικός Ωκεανός), το Acuerdo Latino ή Acuerdo de Viña del Mar (Νότια και Κεντρική Αμερική), το ΠΣ της Καραϊβικής, το ΠΣ της Μεσογείου, το ΠΣ του Ινδικού Ωκεανού, το ΠΣ της Abuja (Δυτική και Κεντρική Ατλαντική Αφρική), το ΠΣ της Μαύρης Θάλασσας, και το ΠΣ του Ριάντ (Περσικός Κόλπος).

Το PSC πραγματοποιεί επιθεώρηση ορισμένων πλοίων στο λιμάνι, και η επιθεώρηση γίνεται από έναν υπεύθυνο ελέγχου (Port State Control Officer - PSCO). Ανάλογα με τα ευρήματα, η δράση που μπορεί να επιβάλλει ένας PSCO σε ένα πλοίο με ελλείψεις (κατά αύξουσα σειρά βαρύτητας) είναι οι εξής:

- Για μικρές παραβάσεις, οι ελλείψεις μπορούν να διορθωθούν εντός 14 ημερών.
- Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, οι ελλείψεις μπορούν να διορθωθούν όταν το πλοίο φτάσει στο επόμενο λιμάνι.
- Οι ελλείψεις πρέπει να διορθωθούν πριν το πλοίο αναχωρήσει από το λιμάνι.
- Γίνεται κράτηση του πλοίου στον λιμένα μέχρι να διορθωθούν οι ελλείψεις.

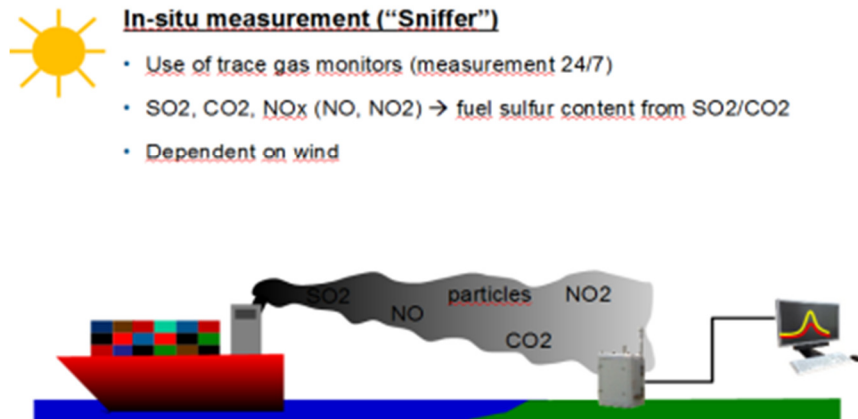
Τα κράτη λιμένα έχουν δικαιοδοσία σε θαλάσσια πλοία υπό ξένη σημαία που επισκέπτονται τα λιμάνια ενός κράτους λιμένα, τα οποία μπορούν, εκτός από την κράτηση, να επιβάλλουν και πρόστιμα για παραβάσεις. Τα κράτη λιμένα μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις, για παράδειγμα, εάν ένα πλοίο παραβιάσει το όριο περιεκτικότητας σε θείο 0,5% του παραρτήματος VI της MARPOL, να δικαιοδοτήσουν για παραβιάσεις που συμβαίνουν στην ανοιχτή θάλασσα, σύμφωνα με τις ειδικές διατάξεις του μέρους XII της Σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS).

Σχετικά με τον κανονισμό IMO 2020, οι επιθεωρητές έχουν κυρίως δύο τρόπους ώστε να ελέγχουν την συμμόρφωση των πλοίων. Ο ένας επιτυγχάνεται μέσω της επαλήθευσης της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο μέσω των εγγράφων και των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα πάνω στο πλοίο, όπως π.χ. μέσω του δελτίου παράδοσης του πετρελαίου, μέσω των καταγραφών στο ημερολόγιο του πλοίου, μέσω της ανάλυσης του αντιπροσωπευτικού δείγματος του πετρελαίου, κ.α. Πιο συγκεκριμένα, οι λεπτομέρειες του καυσίμου που παραδίδεται επί του σκάφους καταγράφονται μέσω του δελτίου παράδοσης (Bunker Delivery Note - BDN). Αυτό το δελτίο θα πρέπει να συνοδεύεται από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, το οποίο πρέπει να σφραγιστεί και να υπογραφεί από τον εκπρόσωπο του προμηθευτή και τον Πλοίαρχο κατά την ολοκλήρωση της παράδοσης του καυσίμου και να διατηρηθεί στο πλοίο έως ότου το καύσιμο καταναλωθεί, αλλά σε κάθε περίπτωση για όχι λιγότερο από δώδεκα μήνες από τη στιγμή της παράδοσης. Το BDN και το σχετικό δείγμα πρέπει να αποθηκεύεται σωστά στο πλοίο. Το BDN πρέπει να διατηρείται επί του σκάφους για τουλάχιστον τρία χρόνια μετά την παραλαβή του καυσίμου στο πλοίο. Παράλληλα, το πλοίο παίρνει κι ένα εμπορικό δείγμα από κάθε καύσιμο, το οποίο στέλνεται σε εργαστήριο για ανάλυση και σε περιπτώσεις όπου βρεθεί με υψηλότερη περιεκτικότητα σε θείο από ό,τι αναφέρεται στο BDN, τότε η σημαία και το PSC στο λιμάνι προορισμού πρέπει να ειδοποιηθούν έγκαιρα εγγράφως. Σε περίπτωση οποιασδήποτε περαιτέρω έρευνας από το PSC, το αντιπροσωπευτικό δείγμα θα χρησιμοποιηθεί από το PSC για περαιτέρω ελέγχους και το πλοίο μπορεί να διαταχθεί να αδειάσει τη δεξαμενή από το καύσιμο στο επόμενο λιμάνι. Επιπλέον, τα πλοία που καίνε διαφορετικά καύσιμα κατά την είσοδο ή την έξοδο από τις ECA, θα πρέπει να περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η αλλαγή καυσίμου πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από την περιοχή. Οι αλλαγές καυσίμου καταγράφονται λεπτομερώς στο ημερολόγιο του πλοίου, όπως ορίζεται από τη σημαία. Τα στοιχεία που πρέπει να καταγραφούν περιλαμβάνουν τον όγκο του καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο σε κάθε δεξαμενή, την ημερομηνία, την ώρα και τη θέση του πλοίου όταν η αλλαγή ολοκληρώθηκε πριν από την είσοδο στην ECA ή ξεκίνησε μετά την έξοδο από την ECA.

Ο δεύτερος κυριότερος τρόπος με τον οποίο οι επιθεωρητές ελέγχουν την συμμόρφωση των πλοίων, είναι μέσω της μέτρησης της περιεκτικότητας σε θείο στα καυσαέρια του πλοίου, π.χ. με τη χρήση επανδρωμένων και μη αεροσκαφών που ανιχνεύουν θείο (**εικόνα 5.1**) ή παρόμοιου εξοπλισμού παρακολούθησης που έχει εγκατασταθεί σε στρατηγική θέση στην ακτή (**εικόνα 5.2**). Πολλές φορές οι επιθεωρητές φέρουν φορητά κιτ δοκιμών θείου και εάν τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών είναι ασαφή ή υποδεικνύουν πιθανή μη συμμόρφωση, τότε πραγματοποιείται πρόσθετη δειγματοληψία για επαλήθευση στην ξηρά. Για το λόγο αυτό, τα μέλη του πληρώματος πρέπει να είναι εξοικειωμένα με τους κανονισμούς, τη σχετική τεκμηρίωση και τις διαδικασίες και να έχουν τη δυνατότητα να αποδείξουν αυτές τις γνώσεις σε έναν επιθεωρητή.



Εικόνα 5.1: Χρήση μη-επανδρωμένου αεροσκάφους για την επιτήρηση των εκπομπών SOx. ⁴



Εικόνα 5.2: Εγκατάσταση για την επιτόπου μέτρηση εκπομπών SO_x από σημείο στην ακτή.⁵

Τέλος, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, από την 1η Απριλίου 2022, εισήχθη από τον IMO η μέθοδος δειγματοληψίας απευθείας από δεξαμενές των πλοίων για την επαλήθευση της περιεκτικότητας σε θείο. Ως αποτέλεσμα της μεθόδου αυτής, οι πλοιοκτήτες και οι αξιωματικοί στα πλοία πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να χειριστούν πιθανά αιτήματα από το PSC για δειγματοληψία από τις δεξαμενές καυσίμων των πλοίων.

5.4 Κράτος σημαίας

Το κράτος σημαίας ενός εμπορικού σκάφους είναι η δικαιοδοσία σύμφωνα με τους νόμους της οποίας το σκάφος είναι νηολογημένο και θεωρείται η εθνικότητα του σκάφους. Ένα εμπορικό πλοίο νηολογείται σε μία σημαία, την οποία μπορεί να αλλάξει οποτεδήποτε.

Ο όρος κράτος σημαίας εμφανίστηκε λόγω της χρήσης των σημαιών ως σύμβολο της εθνικότητας στην οποία ανήκουν τα πλοία. Η σημαία έχει καταλήξει να είναι ένα επίσημα εγκεκριμένο και πολύ ισχυρό σύμβολο του κράτους και είναι η ορατή απόδειξη της εθνικότητας που απονέμεται από το κράτος σε πλοία που είναι νηολογημένα σύμφωνα με το εθνικό του δίκαιο. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι όλα τα πλοία νηολογημένα στη χώρα προέλευσης των πλοιοκτητών τους, κι έτσι η σημαία σε αυτή την περίπτωση είναι γνωστή κι ως σημαία ευκαιρίας (Flag of Convenience- FOC).

Για να θεωρηθεί μια χώρα κράτος σημαίας, πρέπει να διαθέτει την κατάλληλη θαλάσσια υποδομή – οικονομική και τεχνική και πρέπει, να τηρεί όλους τους κανονισμούς που έχουν θεσπιστεί από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO).

Το κράτος σημαίας έχει την εξουσία και την ευθύνη να επιβάλλει κανονισμούς σε πλοία που είναι νηολογημένα υπό τη σημαία του, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με την επιθεώρηση, την πιστοποίηση και την έκδοση εγγράφων ασφάλειας και πρόληψης της ρύπανσης.

Ο ρόλος του κράτους σημαίας είναι να τηρούνται τα βασικά λειτουργικά πρότυπα για ένα πλοίο που απαιτούνται από τον IMO και τον Διεθνή Οργανισμό Εργασίας, όπως η ικανότητα του πληρώματος, η ελάχιστη επάνδρωση, η ασφάλεια πλοίων και λιμένων, πρότυπα απασχόλησης, συνθήκες εργασίας επί του πλοίου, επαναπατρισμός του πληρώματος, διαφορετικοί έλεγχοι κ.λπ.

Εάν το κράτος λιμένα διαπιστώσει ότι το πλοίο δεν είναι κατάλληλο για ιστιοπλοΐα σε ανοιχτή θάλασσα, το πλήρωμα θα εργαστεί σύμφωνα με τις οδηγίες του κράτους σημαίας που καθορίζονται στο Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας (Safety Management System, SMS) μαζί με επαρκείς διαδικασίες παρακολούθησης και επαλήθευσης για να διασφαλιστεί ότι το ζήτημα επιλύεται.

Το κράτος σημαίας είναι υπεύθυνο να συνεργάζεται με άλλες αρχές ή κράτη σημαίας για τη διεξαγωγή έρευνας σε περίπτωση ατυχημάτων στα οποία εμπλέκεται αιτιότητα ή ρύπανση. Σύμφωνα με την UNCLOS, το κράτος σημαίας πρέπει να διασφαλίσει ότι τα πλοία του συμμορφώνονται με όλες τις απαιτήσεις κατά της ρύπανσης και τους νόμους για τη θαλάσσια ρύπανση, δηλαδή να εγκρίνει νόμους και κανονισμούς που στοχεύουν στην πρόληψη, μείωση και έλεγχο της ρύπανσης

Συνήθως, το κράτος σημαίας αναθέτει τις περισσότερες από τις αρμοδιότητές του σε νηογνώμονες, οι οποίες περιλαμβάνουν την εφαρμογή κανονισμών και τεχνικά καθήκοντα. Παρόλα αυτά και οι ίδιες οι σημαίες κάνουν ετήσιες επιθεωρήσεις οι οποίες περιλαμβάνουν την συμμόρφωση με όλους τους ισχύοντες κανονισμούς και την γενική εξέταση του πλοίου, των μηχανημάτων και του εξοπλισμού του, τις δοκιμές του πυροσβεστικού εξοπλισμού, των σωστικών συσκευών και εξοπλισμού ασφαλείας.

Ο Παναμάς έχει καταταχθεί ως το κορυφαίο κράτος σημαίας στον κόσμο το 2020 σύμφωνα με τα στοιχεία του Lloyd's List Intelligence. Περίπου το 16% του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου πλέει υπό τη σημαία του, περισσότερο από το σύνολο των στόλων των ΗΠΑ και της Κίνας. Ακολουθούν οι σημαίες της Λιβερίας και των Νησιών Μάρσαλ.

Σχετικά με τον κανονισμό IMO 2020, στις περιπτώσεις που ο πλοίαρχος ισχυριστεί ότι δεν κατέστη δυνατή η αγορά καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, πρέπει να αποδείξει στην σημαία και στο PSC του λιμανιού προορισμού ότι έχουν γίνει όλες οι ενέργειες για την προμήθεια αυτού του καυσίμου και ότι η αγορά ήταν αδύνατη. Πιο συγκεκριμένα, η διαχειρίστρια εταιρεία πρέπει να αποδείξει ότι έγιναν προσπάθειες αγοράς συμμορφούμενου καυσίμου, κι ότι παρά αυτές τις προσπάθειες δεν υπήρξε διαθεσιμότητα. Σε αυτή την περίπτωση, στέλνεται στην σημαία του πλοίου μια φόρμα που ονομάζεται Έκθεση μη διαθεσιμότητας πετρελαίου (Fuel Oil Non-Availability Report - FONAR), η οποία μελετάται και αξιολογείται από τη σημαία. Εάν κριθεί ότι πληροί τις προϋποθέσεις, τότε το πλοίο δεν απαιτείται να παρεκκλίνει από το προβλεπόμενο ταξίδι του.

¹ MARPOL Annex VI - Regulation 9 - Duration and Validity of Certificate, "Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships

(www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex_VI/r9.htm).

² IACS – the International Association of Classification Societies, 'Safer and Cleaner Shipping', IACS, <https://iacs.org.uk/membership/iacs-members>

³ Paris MoU, 'History', Paris MoU Website, <https://parismou.org/about-us/history>

⁴ Zhou, F. et al., 'Monitoring of Compliance with Fuel Sulfur Content Regulations through Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Measurements of Ship Emissions', Atmospheric Measurement Techniques, 2019, <https://amt.copernicus.org/articles/12/6113/2019/>

⁵ MeSmarT-II Measurements of Shipping Emissions in the Marine Troposphere - Phase 2: Further Development of Remote Sensing Methods and Implementation into an Operational Network, https://www.bsh.de/DE/PUBLIKATIONEN/Anlagen/Downloads/Projekte/MeSmarT/Final_Report.html

Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Θεωρητικών Σεναρίων - Παραδοχές

6.1 Παρουσίαση θεωρητικών σεναρίων

Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται τρεις εναλλακτικές συμμόρφωσης των εξεταζόμενων πλοίων με τον κανονισμό μείωσης των εκπομπών οξειδίων του θείου και υπολογίζεται το κόστος λειτουργίας για κάθε σενάριο για κάθε πλοίο. Η πρώτη εναλλακτική είναι η χρήση μαζούτ (HFO) σε συνδυασμό με την εγκατάσταση συστήματος scrubber. Η δεύτερη είναι η λειτουργία των πλοίων με καθαρότερα καύσιμα, χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO/LSMGO) και η τρίτη είναι η χρήση LNG. Τελικός στόχος είναι η σύγκριση του κόστους για κάθε περίπτωση και η επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης για κάθε πλοίο.

6.2 Επιλογή των πλοίων μελέτης

Τα εμπορικά πλοία χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το τι μεταφέρουν, όπως πετρελαιοφόρα, πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, πλοία γενικού φορτίου, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, πετρελαιοφόρα, εξειδικευμένα δεξαμενόπλοια, ψυγεία, κ.α. Ο παγκόσμιος στόλος το 2021 αριθμούσε 118.928 εμπορικά πλοία ¹, και στον παρακάτω **πίνακα 6.1** φαίνεται ο αριθμός των πλοίων ανά κατηγορία και μέγεθος. Τα πλοία που θα μελετηθούν στην παρούσα διπλωματική είναι χύδην φορτίου (bulk carriers), με συνολικό αριθμό τα 12.874 πλοία, που αναλογεί στο 10,8% του συνολικού στόλου.

Table 1 - World fleet: total number of ships, by type and size

Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
General Cargo Ships	4,089	7.4%	11,814	27.0%	264	2.1%			16,167	13.6%
Specialized Cargo Ships	8	0.0%	266	0.6%	64	0.5%	7	0.1%	345	0.3%
Container Ships	19	0.0%	2,315	5.3%	1,629	12.7%	1,554	22.2%	5,517	4.6%
Ro-Ro Cargo Ships	39	0.1%	601	1.4%	549	4.3%	268	3.8%	1,457	1.2%
Bulk Carriers	286	0.5%	3,847	8.8%	6,842	53.5%	1,899	27.1%	12,874	10.8%
Oil and Chemical Tankers	1,979	3.6%	7,372	16.9%	2,773	21.7%	2,185	31.2%	14,309	12.0%
Gas Tankers	36	0.1%	1,145	2.6%	433	3.4%	591	8.4%	2,205	1.9%
Other Tankers	437	0.8%	741	1.7%	16	0.1%			1,194	1.0%
Passenger Ships	3,435	6.2%	825	1.9%	71	0.6%	187	2.7%	4,518	3.8%
Offshore Vessels	2,812	5.1%	5,135	11.7%	119	0.9%	298	4.3%	8,364	7.0%
Service Ships	3,197	5.8%	2,994	6.8%	35	0.3%	7	0.1%	6,233	5.2%
Tugs	18,860	34.1%	933	2.1%					19,793	16.6%
Fishing Vessels	20,186	36.4%	5,762	13.2%	4	0.0%			25,952	21.8%
Total	55,383	100%	43,750	100%	12,799	100%	6,996	100%	118,928	100%

Source: Equasis ⁽¹⁾GT<500 - ⁽²⁾500<GT<25.000 - ⁽³⁾25.000<GT<60.000 - ⁽⁴⁾GT>60.000

Πίνακας 6.1: Αριθμός των πλοίων ανά κατηγορία και μέγεθος. ¹

Με τη σειρά τους τα πλοία χύδην φορτίου χωρίζονται κατά μέγεθος στις ακόλουθες κατηγορίες, ανάλογα με το νεκρό βάρος (Deadweight tonnage, deadweight, DWT, D.W.T., d.w.t., ή dwt), το οποίο είναι μια μονάδα μέτρησης του βάρους του φορτίου που επιτρέπεται να κουβαλήσει ένα πλοίο. Αποτελείται από το άθροισμα των βαρών του φορτίου, των καυσίμων, του πόσιμου νερού, του έρματος, των προμηθειών, των επιβατών και του πληρώματος.

Σύμφωνα με την Drewry Shipping Consultants Ltd. ² τα πλοία χύδην φορτίου προσδιορίζονται κατά μέγεθος στις ακόλουθες κατηγορίες από τον Απρίλιο του 2020 :

Small Handy (10.000-24.999 dwt)
Mid-size Handy (25.000-34.999 dwt)
Large Handy (35.000-39.999 dwt)
Cement carrier
Handymax (40.000-49.999 dwt)
Supramax (50.000-60.000 dwt)
Ultramax (60.000-69.999 dwt)
Panamax (60.000-78.999 dwt)
Post-Panamax (79.000-99.999 dwt)
Kamsarmax (79.000-99.999 dwt)
Mini Capesize (100.000-129.999 dwt)
Standard Capesize (130.000-199.999 dwt)
Large Capesize (200.000+ dwt)
Very Large ore carrier (Vloc) (200.000+ dwt)

Αξίζει να αναφερθεί πως πριν από τον Απρίλιο του 2020, τα bulk carriers κατηγοριοποιούνταν ως εξής:

Handysize (10.000-40.000 dwt)
Handymax/Supramax (40.000-65.000 dwt)
Panamax (65.000-85.000 dwt)
Post-Panamax (85.000-120.000 dwt)
Capesize (120.000-220.000 dwt)
Very Large ore carrier (Vloc) (220.000+ dwt)

Ο παρακάτω **πίνακας 6.2** δείχνει το μέγεθος του στόλου των bulk carriers σε εκατομμύρια τόνους νεκρού βάρους ανά τύπο για το έτος 2021.

This graph shows the bulk vessel fleet size in million deadweight tons by type and year.

Name	Capacity (Sum) (million de...	Percent of Total
StandardCapesize	193.1	21%
TraditionalSupramax	115.8	13%
Kamsarmax	100.6	11%
TraditionalPanamax	86.1	9%
LargeCapesize	76.1	8%
Vloc	76	8%
Ultramax	65	7%
Mid-sizeHandy	48	5%
Post-Panamax	46.5	5%
LargeHandy	37	4%
Handymax	30.6	3%
SmallHandy	19.9	2%
(Other)	17	2%

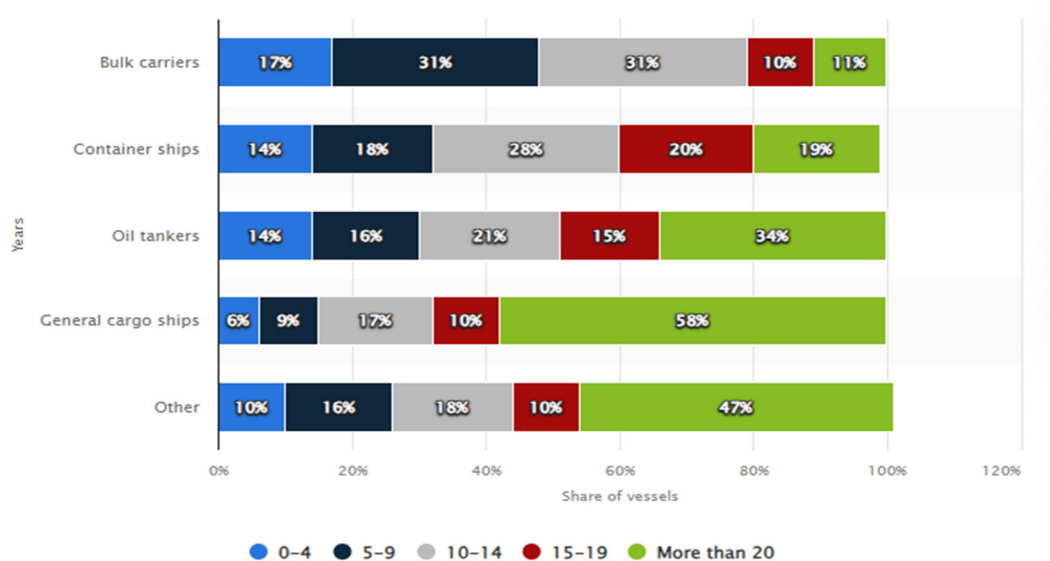
Πίνακας 6.2: Μέγεθος του στόλου bulk carriers το 2021. ¹

Αντίστοιχα, ο **πίνακας 6.3** δείχνει τον αριθμό των bulk carriers σε κάθε κατηγορία για το έτος 2019.

Name	Number (Average) (vessel...	Percent of Total
Handymax	3,713	32%
Handysize	3,488	30%
Panamax	2,275	19%
Capesize	1,389	12%
Post-Panamax	585	5%
Vloc	255	2%

Πίνακας 6.3: Μέγεθος του στόλου bulk carriers το 2019. ¹

Στο παρακάτω γράφημα της **εικόνας 6.1**, βλέπουμε την κατανομή των bulk carriers ανάλογα με την ηλικία τους για το έτος 2022.



Εικόνα 6.1: Ηλικία σε χρόνια διαφόρων τύπων πλοίων το έτος 2022. ³

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, η επιλογή των πλοίων μελέτης είναι τέτοια ώστε να είναι αντιπροσωπευτική για μεγάλο ποσοστό των bulk carriers. Έτσι επιλέχθηκαν δύο πλοία 9 και 10 ετών, το ένα μεγέθους Kamsarmax και το δεύτερο Handysize αντίστοιχα.

Για τα σενάρια HFO + Scrubber και LNG υπάρχουν πάγια αρχικά κόστη τροποποίησης για τα οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος αποπληρωμής ώστε η σύγκριση να είναι αντιπροσωπευτική. Ο χρόνος αποπληρωμής που επιλέγεται στην ανάλυση των σεναρίων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως ο κύκλος ζωής των πλοίων καθώς και η επιχειρηματική στρατηγική της εκάστοτε διαχειρίστριας εταιρείας ή πλοιοκτήτη. Για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας, τα σενάρια θα εξεταστούν για χρόνο αποπληρωμής 5 έτη, και θα γίνει ειδική μνεία στα συμπεράσματα για το πως επηρεάζει την διαδικασία λήψης της τελικής απόφασης.

6.3 Πλοίο μελέτης 1

Το πλοίο μελέτης 1 είναι ένα bulk carrier που χτίστηκε το 2013, έχει νεκρό βάρος 36.063 μετρικούς τόνους, το οποίο το καθιστά ένα Handysize πλοίο. Έχει πέντε αμπάρια και τέσσερις γερανούς και είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει στερεό χύδην φορτίο όπως π.χ. σιτηρά, κάρβουνο, μεταλλεύματα.

Οι καταναλώσεις της κύριας μηχανής και των ηλεκτρομηχανών του, παρατίθενται στην **εικόνα 6.2** και αφορούν και το HFO και το LSMGO/VLSFO, καθώς είναι ίδια για όλα τα καύσιμα.

MAIN ENGINE (MAKER)		DOOSAN, KOREA
<u>SPEED / CONSUMPTION</u>		
LADEN	ABOUT 13,5 knots ON ABOUT 21,5 mt IFO 380CST ABOUT 12,0 knots ON ABOUT 16,5 mt IFO 380CST	
BALLAST	ABOUT 13,5 knots ON ABOUT 19,0 mt IFO 380CST ABOUT 12,0 knots ON ABOUT 14,5 mt IFO 380CST Always including auxiliaries/boiler	
IN PORT CONSUMPTION (BASIS 24 HRS)		
IDLE	ABOUT 2,5 mts HFO	
ALL GEAR WORKING	ABOUT 3,8 mts HFO	

Εικόνα 6.2: Καταναλώσεις της κύριας μηχανής του πλοίου 1 σε μετρικούς τόνους ανά ημέρα (Ariston Navigation Corp.).

6.3.1 Ταξίδι μελέτης

Την χρονιά 2022 το πλοίο είχε 176 πλευσιμες μερες, και 186 ημέρες ήταν σε λιμάνι. Συνολικά το 2022 κατανάλωσε 3433,97 mts VLSFO και 437,47 mts από LSMGO. Τέλος, η μέση ταχύτητα ήταν 11,12 κόμβοι (Ariston Navigation Corp.) που σημαίνει ότι το πλοίο πήγαινε με οικονομική ταχύτητα (eco speed) για εξοικονόμηση καυσίμου.

Το ταξίδι μελέτης είναι μεταξύ του λιμένα του Κέιπ Τάουν στην Νότια Αφρική και του Χιούστον στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Τα δύο λιμάνια απέχουν μεταξύ τους 7497 ναυτικά μίλια, εκ των οποίων τα 872 βρίσκονται εντός της ECA των ΗΠΑ. Η διάρκεια του ταξιδιού είναι 26 ημέρες (one way) με οικονομική ταχύτητα και θεωρούμε πως το πλοίο έκανε αυτό το ταξίδι όλες τις πλευσιμες μερες της χρονιάς 2022 (δηλαδή περίπου 3 round trips).

6.3.2 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση scrubber και HFO ως καύσιμο

Σε αυτή την περίπτωση, το πλοίο χρησιμοποιεί HFO σε όλο το ταξίδι, καθώς και κατά την παραμονή του στα δύο λιμάνια. Όπως αναφέρθηκε, το πλοίο είναι εξοπλισμένο με τέσσερις γερανούς, και γίνεται η παραδοχή πως θα τους χρησιμοποιεί στα λιμάνια για την φόρτωση και για την εκφόρτωση.

Το κόστος της εγκατάστασης του υβριδικού υγρού scrubber είναι περίπου \$2.000.000. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την παραδοχή για 5 έτη αποπληρωμής της επένδυσης, το πάγιο κόστος που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση θα είναι \$400.000. Για την εγκατάσταση απαιτούνται 30 μέρες στο ναυπηγείο και αυτές θα πολλαπλασιαστούν επί τον μέσο ναύλο της χρονιάς 2023 μέχρι και τον μήνα

Σεπτέμβριο, ο οποίος είναι \$9.700 ανά ημέρα, και θα προστεθούν στο συνολικό κόστος, καθώς το πλοίο εκείνες τις ημέρες δεν θα είναι ναυλωμένο λαμβάνοντας και εδώ υπόψη 5ετή αποπληρωμή, το συνολικό κόστος off-hire ανέρχεται σε \$58,200.

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλοίο κάνει τις απαραίτητες πετρελεύσεις στο Χιούστον όπου υπάρχει διαθεσιμότητα HFO, και η τιμή του είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με το Κέιπ Τάουν. Επίσης η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 2%, γεγονός που συνυπολογίζεται. Τέλος, στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των τιμών του καυσίμου μεταξύ 1ης Μαρτίου 2022 και 1ης Οκτωβρίου 2023, που είναι \$478 ανά μετρικό τόνο πετρελαίου (εικόνα 6.3). Όπως παρατηρείται, το 2^ο τρίμηνο του 2022 οι τιμές του HFO ήταν υπερβολικά υψηλές, λόγω της γεωπολιτικής κατάστασης στην Ευρώπη. Το γεγονός αυτό θεωρείται ακραίο, επομένως δεν συνυπολογίζεται πληθωρισμός για τις τιμές των καυσίμων γιατί τα αποτελέσματα δεν θα ήταν ρεαλιστικά. Η ίδια παραδοχή ισχύει και για τις τιμές των υπόλοιπων καυσίμων που εξετάζονται στην πορεία.



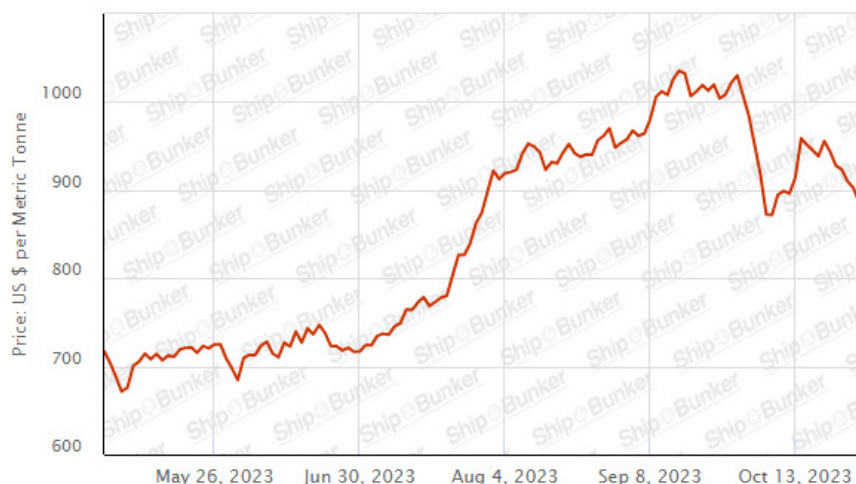
Εικόνα 6.3: Διακύμανση της τιμής του HFO (USD).⁴

6.3.3 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση VLSFO και LSMGO

Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει κάποια μετατροπή στο πλοίο, οπότε θα υπολογιστούν μόνο τα κόστη των καυσίμων χωρίς πάγια. Το ταξίδι μελέτης έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε ένα τμήμα του να είναι εντός ECA και ένα εκτός. Έτσι θα χρησιμοποιεί VLSFO σε όλο το ταξίδι και στο λιμάνι του Κέιπ Τάουν, ενώ στο λιμάνι του Χιούστον και κατά την είσοδο και έξοδο από την ECA θα χρησιμοποιεί LSMGO λόγω κανονισμών. Αυτή είναι και μια συνήθης κατάσταση αφού τα περισσότερα ταξίδια έχουν τμήμα εντός ECA όπου γίνεται και χρήση καθαρότερου καυσίμου LSMGO. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οι γερανοί χρησιμοποιούνται στα λιμάνια φόρτωσης και εκφόρτωσης.

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλοίο κάνει τις απαραίτητες πετρελεύσεις στο Χιούστον όπου υπάρχει διαθεσιμότητα και των δύο καυσίμων και είναι πιο οικονομικό λιμάνι

σε σύγκριση με το Κέιπ Τάουν. Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς είναι ο μέσος όρος των τιμών του VLSFO και LSMGO μεταξύ 1ης Μαρτίου 2022 και 1ης Οκτωβρίου 2023, και είναι \$629 και \$962 αντίστοιχα (εικόνες 6.4 & 6.5).



Εικόνα 6.4: Διακύμανση της τιμής του LSMGO (USD) ⁴



Εικόνα 6.5: Διακύμανση της τιμής του VLSFO (USD) ⁴

6.3.4 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση LNG ως καύσιμο

Σε αυτή την περίπτωση, το πλοίο χρησιμοποιεί LNG σε όλο το ταξίδι, καθώς και κατά την παραμονή του στα δύο λιμάνια. Όπως αναφέρθηκε, το πλοίο είναι εξοπλισμένο με τέσσερις γεραμούς, και γίνεται η παραδοχή πως θα τους χρησιμοποιεί στα λιμάνια για την φόρτωση και για την εκφόρτωση.

Το κόστος της μετατροπής της κύριας μηχανής ώστε να χρησιμοποιεί LNG είναι περίπου \$1.500.000. Θεωρώντας και εδώ πενταετή αποπληρωμή, το πάγιο κόστος που θα ληφθεί στην ανάλυση είναι \$300.000. Θα χρειαστεί ναυπήγηση 60 ημερών οι οποίες θα πολλαπλασιαστούν επί το μέσο ναύλο της χρονιάς 2023 μέχρι και τον μήνα Σεπτέμβριο (\$9.700 ανά ημέρα), και θα προστεθούν στο συνολικό κόστος, καθώς το πλοίο εκείνες τις ημέρες δεν θα είναι ναυλωμένο. Λαμβάνοντας και εδώ υπόψη 5ετή αποπληρωμή, το συνολικό κόστος off-hire ανέρχεται σε \$58.200.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη εφαρμογή η τροποποίηση περιλαμβάνει και κατασκευή δεξαμενής αποθήκευσης LNG, η οποία καταλαμβάνει χώρο περίπου όσο ένα από τα 5 αμπάρια του πλοίου, μειώνοντας έτσι τη φορτωτική ικανότητα κατά 20%. Για τους σκοπούς της εργασίας θεωρείται πώς αυτό θα οδηγήσει σε μία απώλεια ναύλου (hire loss) της τάξης του 10%. Υπολογίζοντας σε ορίζοντα 5ετίας όπως και για την αποπληρωμή, αυτό ανέρχεται σε \$351.140, που πρέπει να συμπεριληφθούν στη σύγκριση.

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλοίο κάνει τις απαραίτητες πετρελεύσεις στο Χιούστον όπου υπάρχει διαθεσιμότητα LNG, καθώς δεν υπάρχει διαθεσιμότητα στο Κέιπ Τάουν. Τα στοιχεία για τιμές LNG είναι πιο περιορισμένα σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα., οπότε στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί μια πρόσφατη τιμή του καυσίμου την περίοδο της δημοσίευσης της εργασίας (Οκτ. 2023), που είναι \$685 ανά μετρικό τόνο LNG. Η κατανάλωση που θα χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό της εργασίας είναι εμπειρική (Ariston Navigation Corp.) και ανέρχεται σε 19,26 mt/day.

6.3.5 Υπολογισμοί για το πλοίο μελέτης 1

Με βάση τα παραπάνω, οι υπολογισμοί συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτει πως το πιο οικονομικό σενάριο είναι αυτό της χρήσης HFO + Scrubber, με το σενάριο των καθαρών καυσίμων να ακολουθεί. Το LNG φαίνεται πως είναι η λιγότερο οικονομική επιλογή.

Πλοίο 1	HFO + Scrubber	VLSFO + LSMGO			LNG
		VLSFO	LSMGO	Total	
Τιμή Καυσίμου (\$/mt)	478	629	962		685
Ετήσια Κατανάλωση καυσίμου (mt)	3871.44	3433.97	437.47		3244.3
Συνολικό κόστος καυσίμου (\$)	1,850,548.32	2,159,967.13	420,846.14	2,580,813.27	2,222,345.50
Κόστος Τροποποίησης (\$)	400,000.00				300,000.00
Ημέρες Τροποποίησης στο ναυπηγείο (day)	30.00				60.00
Μέσο Ημερήσιο Ναύλο (\$/day)	9,700.00				9,700.00
Συνολικό Κόστος Off-hire (\$)	58,200.00				116,400.00
Συνολική απώλεια ναύλου (\$)	0.00				351,140.00
Συνολικό Κόστος (\$)	\$ 2,345,759.29	\$2,580,813.27			\$ 2,989,885.50

Πίνακας 6.4: Οι υπολογισμοί για τα τρία σενάρια και πλοίο μελέτης 1.

6.4 Πλοίο μελέτης 2

Το πλοίο μελέτης 2 είναι ένα bulk carrier που χτίστηκε το 2014, έχει νεκρό βάρος 81.922 μετρικούς τόνους, το οποίο το καθιστά ένα Kamsarmax πλοίο. Έχει επτά αμπάρια και είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει στερεό χύδην φορτίο όπως π.χ. σιτηρά, κάρβουνο, μεταλλεύματα. Αντιθέτως με το πλοίο 1, δεν διαθέτει δικά του μέσα φόρτωσης, δηλαδή γερανούς.

Τα χαρακτηριστικά της κύριας μηχανής του, παρατίθενται παρακάτω και αφορούν και το HFO και το LSMGO/VLSFO.

SPEED	CONSUMPTION	
BALLAST	ABT 13.5 KNOTS	ABT 24 MT IFO + ABT 0.2 MT MDO
LADEN	ABT 13.5 KNOTS	ABT 28 MT IFO + ABT 0.2 MT MDO
ECO LADEN	ABT 12.0 KNOTS	ABT 22.5 MT IFO + ABT 0.2 MT MDO
ECO BALLAST	ABT 12.0 KNOTS	ABT 21.5 MT IFO + ABT 0.2 MT MDO
CONSUMPTION IN PORT		
IDLE	ABT 3 MT IFO + ABT 0.2 MT MDO	
WORKING	ABT 5 MT IFO + ABT 0.2 MT MDO	
EU PORTS (DAILY LSMGO CONSUMPTION ABT 3.2 MT (IDLE) - ABT 5.2 MT (WORKING))		
ALL DETAILS ABOUT		

Εικόνα 6.6: Καταναλώσεις της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανών του πλοίου 2 σε μετρικούς τόνους ανά ημέρα (Ariston Navigation Corp.).

6.4.1 Ταξίδι μελέτης

Την χρονιά 2022 το πλοίο είχε 190 πλεύσιμες μέρες, και 173 ήταν σε λιμάνι. Συνολικά το 2022 κατανάλωσε 4.171,97 mts VLSFO και 418,46 mts από LSMGO. Τέλος, η μέση ταχύτητα του ήταν 11,73 κόμβοι (Ariston Navigation Corp.).

Το ταξίδι μελέτης είναι μεταξύ του λιμένα του Ρεσίφε στην Βραζιλία και του Ρότερνταμ στην Ολλανδία. Τα δύο λιμάνια απέχουν μεταξύ τους 4.185 ναυτικά μίλια, εκ των οποίων τα 417 βρίσκονται εντός της ECA των ΗΠΑ. Η διάρκεια του ταξιδιού είναι 15 ημέρες (one way) με οικονομική ταχύτητα και θεωρούμε πως το πλοίο έκανε αυτό το ταξίδι όλες τις πλεύσιμες μέρες της χρονιάς 2022 (δηλαδή περίπου 3 round trips).

6.4.2 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση scrubber και HFO ως καύσιμο

Σε αυτή την περίπτωση, το πλοίο χρησιμοποιεί HFO σε όλο το ταξίδι, καθώς και κατά την παραμονή του στα δύο λιμάνια.

Το κόστος της εγκατάστασης του scrubber είναι περίπου \$2.500.000, λαμβάνοντας όμως υπόψη την παραδοχή για 5 έτη αποπληρωμής της επένδυσης, το πάγιο κόστος που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση θα είναι \$500.000. Για την εγκατάσταση απαιτούνται 30 μέρες στο ναυπηγείο και αυτές θα πολλαπλασιαστούν επί τον μέσο ναύλο της χρονιάς 2023 μέχρι και τον μήνα Σεπτέμβριο, ο οποίος είναι \$19.600 ανά ημέρα, και θα προστεθούν στο συνολικό κόστος, καθώς το πλοίο εκείνες τις ημέρες δεν θα είναι ναυλωμένο. Λαμβάνοντας και εδώ υπόψη 5ετή αποπληρωμή, το συνολικό κόστος off-hire ανέρχεται σε \$117.600.

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλοίο κάνει τις απαραίτητες πετρελεύσεις στο Ρότερνταμ. Στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των τιμών του καυσίμου μεταξύ 1ης Μαρτίου 2022 και 1ης Οκτωβρίου 2023, που είναι \$483 ανά μετρικό τόνο πετρελαίου.

6.4.3 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση VLSFO και LSMGO

Σε αυτή την περίπτωση, δεν υπάρχει κάποια μετατροπή στο πλοίο, και θα χρησιμοποιεί VLSFO σε όλο το ταξίδι και στο λιμάνι του Ρεσίφε, ενώ στο λιμάνι του Ρότερνταμ και κατά την είσοδο και έξοδο από την ECA θα χρησιμοποιεί LSMGO.

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλοίο κάνει τις απαραίτητες πετρελεύσεις στο Ρότερνταμ. Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς είναι ο μέσος όρος των τιμών του κάθε καυσίμου μεταξύ 1ης Μαρτίου 2022 και 1ης Οκτωβρίου 2023, και είναι \$596 και \$1010 αντίστοιχα.

6.4.4 Εναλλακτική συμμόρφωσης με την χρήση LNG ως καύσιμο

Σε αυτή την περίπτωση, το πλοίο χρησιμοποιεί LNG σε όλο το ταξίδι, καθώς και κατά την παραμονή του στα δύο λιμάνια.

Το κόστος της μετατροπής της κύριας μηχανής ώστε να χρησιμοποιεί LNG είναι περίπου \$2.000.000 και απαιτούνται 60 μέρες στο ναυπηγείο. Αυτές οι 30 μέρες θα πολλαπλασιαστούν επί το μέσο ναύλο της χρονιάς 2023 μέχρι και τον μήνα Σεπτέμβριο, ο οποίος είναι \$19.600 ανά ημέρα, και θα προστεθούν στο συνολικό κόστος, καθώς το πλοίο εκείνες τις ημέρες δεν θα είναι ναυλωμένο.

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλοίο κάνει τις απαραίτητες πετρελεύσεις στο Ρότερνταμ όπου υπάρχει διαθεσιμότητα LNG. Τα στοιχεία για τιμές LNG είναι πιο περιορισμένα σε σχέση με τα HFO κ.τ.λ., οπότε στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί μια πρόσφατη τιμή του καυσίμου την περίοδο της δημοσίευσης της εργασίας (Οκτ. 2023), που είναι \$685 ανά μετρικό τόνο LNG. Η κατανάλωση που θα χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό της εργασίας είναι εμπειρική (Ariston Navigation Corp.) και ανέρχεται σε 20,50 mt/day.

6.4.5 Υπολογισμοί για το πλοίο 2

Με βάση τα παραπάνω, οι υπολογισμοί για το πλοίο 2 συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 5.

Πλοίο 2	HFO + Scrubber	VLSFO + LSMGO			LNG
		VLSFO	LSMGO	Total	
Τιμή Καυσίμου (\$/mt)	483	596	1010		685
Ετήσια Κατανάλωση καυσίμου (mt)	4590.43	4171.97	418.46		3893.16
Συνολικό κόστος καυσίμου (\$)	2,217,177.69	2,486,494.12	422,644.60	2,909,138.72	2,666,814.60
Κόστος Τροποποίησης (\$)	500,000.00				400,000.00
Ημέρες Τροποποίησης στο ναυπηγείο (day)	30.00				30.00
Μέσο Ημερήσιο Ναύλο (\$/day)	19,600.00				19,600.00
Συνολικό Κόστος Off-hire (\$)	117,600.00				235,6200.00
Συνολική απώλεια ναύλου (\$)	0.00				351,140.00
Συνολικό Κόστος (\$)	\$ 2,879,121.24	\$2,909,138.72			\$ 3,653,154.60

Πίνακας 5: Οι υπολογισμοί για τα τρία σενάρια και πλοίο μελέτης 2.

¹ United Nations, 'Review of Maritime Transport 2023', UNCTAD, 2023, <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>

² 'Bulk Vessel Fleet Size and Rates', United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, <https://agtransport.usda.gov/stories/s/Bulk-Vessel-Fleet-Size-and-Rates/bwaz-8sgs/>

³ Placek, M., 'World Merchant Fleet - Age by Vessel Type 2022', Statista, 2022, <https://www.statista.com/statistics/1102442/age-of-world-merchant-fleet-by-vessel-type/>

⁴ 'Houston Bunker Prices', Ship & Bunker, <https://shipandbunker.com/prices/am/usgac/us-hou-houston> (accessed 20 October 2023).

Κεφάλαιο 7 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

7.1 Παρουσίαση και ερμηνεία αποτελεσμάτων

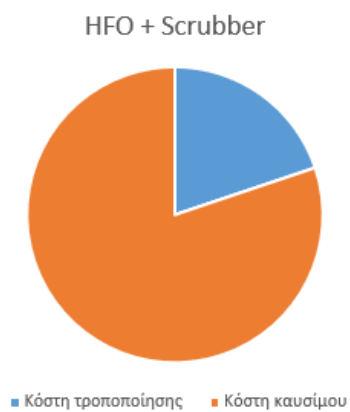
Τα αποτελέσματα της άσκησης για τα 2 πλοία συνοψίζονται στον παρακάτω **πίνακα 7.1**:

	HFO + Scrubber	VLSFO + LSMGO	LNG
Πλοίο 1	\$2,345,759,29	\$2,580,813.27	\$ 2,989,885.50
Πλοίο 2	\$2,879,121,24	\$2,909,138.72	\$ 3,653,154.60

Πίνακας 7.1: Κόστη λειτουργίας των 2 πλοίων για ένα έτος για τις 3 επιλογές συμμόρφωσης με τον IMO2020.

Παρατηρείται πως και για τα 2 πλοία τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και η επιλογή λειτουργίας με HFO και εγκατάσταση Scrubber είναι η πιο συμφέρουσα οικονομικά. Ακολουθεί η λειτουργία με συνδυασμό καθαρότερων καυσίμων VLSFO + LSMGO η οποία είναι κατά μέσο όρο 5,5% ακριβότερη, ενώ η επιλογή μετατροπής και λειτουργίας με LNG προκύπτει 25% ακριβότερη κατά μέσο όρο.

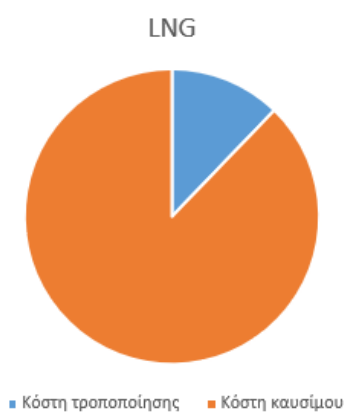
Εξετάζοντας περαιτέρω το συνολικό κόστος συμμόρφωσης με τον κανονισμό, φαίνεται πως αποτελείται από δύο σκέλη: τα πάγια κόστη τροποποίησης ενός υπάρχοντος πλοίου, και τα κόστη λειτουργίας του για ένα έτος. Η κατανομές των επιμέρους κοστών για κάθε περίπτωση για το πλοίο 1 φαίνονται στα γραφήματα παρακάτω στις **εικόνες 7.1-3**. Διαπιστώνεται πως η επιλογή Scrubber + HFO έχει μεγαλύτερο πάγιο κόστος από αυτήν του LNG, ενώ η επιλογή καθαρών καυσίμων έχει μηδενικό πάγιο κόστος. Αυτό εξηγείται καθώς το μεν Scrubber έχει μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και φτηνότερο λειτουργικό κόστος ενώ το LNG έχει λίγο χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης αλλά ακριβότερο λειτουργικό κόστος σε σχέση με το HFO. Επιπρόσθετα στην περίπτωση του LNG υπάρχει και ένα ακόμα πάγιο κόστος που προκύπτει από την μείωση του ωφέλιμου χώρου και κατ' επέκταση την μείωση του ναύλου. Αντίστοιχα είναι και τα γραφήματα για το πλοίο 2, που παρουσιάζονται παρακάτω στις **εικόνες 7.4-7.6**.



Εικόνα 7.1: Κατανομή του κόστους σε πάγιο και τρέχον για το πλοίο 1 και την περίπτωση HFO + Scrubber

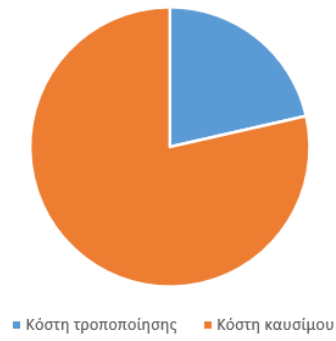


Εικόνα 7.2: Κατανομή του κόστους σε πάγιο και τρέχον για το πλοίο 1 και την περίπτωση VLSGO + LSMGO



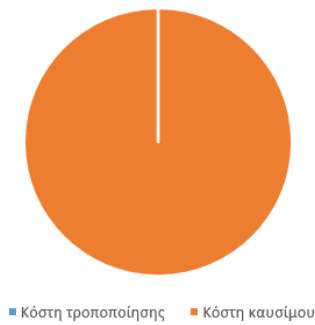
Εικόνα 7.3: Κατανομή του κόστους σε πάγιο και τρέχον για το πλοίο 1 και την περίπτωση LNG

Scrubber + HFO



Εικόνα 7.4: Κατανομή του κόστους σε πάγιο και τρέχον για το πλοίο 2 και την περίπτωση HFO + Scrubber

VLSFO + LSMGO



Εικόνα 7.5: Κατανομή του κόστους σε πάγιο και τρέχον για το πλοίο 2 και την περίπτωση VLSGO + LSMGO

LNG



Εικόνα 7.6: Κατανομή του κόστους σε πάγιο και τρέχον για το πλοίο 2 και την περίπτωση LNG

Πριν προχωρήσουμε σε περαιτέρω ερμηνεία των αποτελεσμάτων, είναι σημαντικό να υπενθυμιστεί πως τα παραπάνω σενάρια αφορούν υπάρχοντα πλοία και 5-ετή αποπληρωμή της επένδυσης τροποποίησης. Πιο συγκεκριμένα, τα πλοία που μελετήθηκαν είναι 10 ετών και θεωρείται πως έχουν διανύσει περίπου το 40% της ζωής τους. Με αυτή τη λογική, η παραδοχή των 5 ετών αποπληρωμής μπορεί να θεωρηθεί συντηρητική αλλά και σε ένα άλλο σενάριο όπου θα επιλεγόταν 10-ετής αποπληρωμή τα αποτελέσματα θα ήταν και πάλι τα ίδια ποιοτικά, αφού το σενάριο HFO + Scrubber εμφανίζεται ξανά ως το πιο οικονομικά ελκυστικό, όπως φαίνεται στον παρακάτω **πίνακα 7.2**.

	HFO + Scrubber	VLSFO + LSMGO	LNG
Πλοίο 1	\$ 2,116,659,29	\$2,580,813,27	\$ 2,752,585.50
Πλοίο 2	\$ 2,570,321,24	\$2,909,138,72	\$ 3,276,754.60

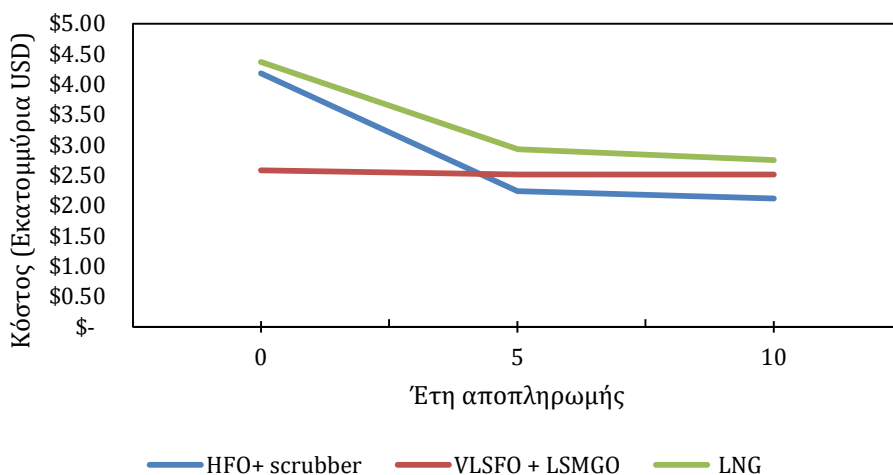
Πίνακας 7.2: Κόστη λειτουργίας των 2 πλοίων για ένα έτος για τις 3 επιλογές συμμόρφωσης με τον IMO2020, με παραδοχή 10-ετούς αποπληρωμής των παγίων τροποποίησης.

Για τους σκοπούς της σύγκρισης, αξίζει να αναλυθεί και το σενάριο όπου δεν λαμβάνεται υπόψη η αποπληρωμή των επενδύσεων τροποποίησης στους υπολογισμούς. Σε αυτή την περίπτωση, το κόστος των 2 επιλογών συμμόρφωσης που χρειάζονται τροποποίηση εκτοξεύεται, καθώς περιλαμβάνει το πλήρες κόστος τροποποίησης και τα πλήρη κόστη off-hire, που σε άλλη περίπτωση θα αποσβένονταν. Είναι φανερό πως αν κάποιος δει μόνο τον παρακάτω **πίνακα 7.3**, που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χωρίς αποπληρωμή, θα θεωρήσει πως η λύση των καθαρότερων καυσίμων είναι μονόδρομος. Αυτό βέβαια δεν απεικονίζει την πλήρη έκταση του θέματος. Στο διάγραμμα της **εικόνας 7.7** απεικονίζεται η επιρροή του χρόνου αποπληρωμής στο τελικό κόστος εκάστης λύσης για το πλοίο 1, από όπου φαίνεται ότι από τα 5 έτη και μετά, το αποτέλεσμα δεν αλλάζει πολύ.

	HFO + Scrubber	VLSFO + LSMGO	LNG
Πλοίο 1	\$ 4,178,559,29	\$2,580,813,27	\$ 4,364,485.50
Πλοίο 2	\$ 5,349,521,24	\$2,909,138,72	\$ 5,605,954.6

Πίνακας 7.3: Κόστη λειτουργίας των 2 πλοίων για ένα έτος για τις 3 επιλογές συμμόρφωσης με τον IMO2020, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αποπληρωμή των παγίων τροποποίησης.

Επιρροή της αποπληρωμής για το πλοίο 1



Εικόνα 7.7: Επιρροή του χρόνου αποπληρωμής στο κόστος κάθε σεναρίου για το πλοίο 1

7.2 Συσχετισμός με την τωρινή κατάσταση της αγοράς

Η παρούσα εργασία δημοσιεύεται το 2023, τρία χρόνια μετά την υποχρεωτική εφαρμογή IMO2020. Από τα πρόσφατα στατιστικά δεδομένα της αγοράς, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί σήμερα, φαίνεται πως η πλειοψηφία των πλοιοκτητών έχει στραφεί προς τα καθαρότερα καύσιμα VLSFO + LSMGO (Kyriakis, 2021).

Το παραπάνω γεγονός δεν μπορεί να ερμηνευτεί πλήρως από τα αποτελέσματα του case study που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική, αλλά αυτό είναι λογικό καθώς υπάρχουν και πολλές άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τις αποφάσεις των επιχειρηματιών - πλοιοκτητών καθώς και τη γενικότερη κατάσταση της αγοράς. Κάποιες παράμετροι που αξίζει να αναφερθούν είναι οι εξής:

- 1) «**Όρεξη**» για επένδυση: Οι 2 επιλογές συμμόρφωσης που χρειάζονται τροποποίηση σε υπάρχοντα πλοία (Scrubber, LNG) φάνηκε πως απαιτούν πολύ υψηλά κόστη επένδυσης. Αυτό μπορεί να μην είναι ελκυστικό για όλους του επιχειρηματίες – πλοιοκτήτες, καθώς χρειάζεται σημαντική χρηματοροή και λήψη ρίσκων, τα οποία πολλοί μπορεί να μην ήταν διατεθειμένοι να διαχειριστούν, ειδικά στις απρόβλεπτες εποχές που διάνυσε η παγκόσμια αγορά την περίοδο 2019-2023. Κάποιες μικρότερες εταιρείες μπορεί να μην είχαν καθόλου την δυνατότητα να προβούν σε τέτοιες επενδύσεις. Η επιλογή καθαρότερου καυσίμου, εκτός από το μηδενικό κόστος επένδυσης, είχε και σαφώς μικρότερο ρίσκο (όπως πχ. Διαθεσιμότητα, ποιότητα νέων καυσίμων, τιμές)

- 2) Διαθεσιμότητα των καυσίμων:** Έτσι όπως έχει διαμορφωθεί η κατάσταση, το HFO έχει σταματήσει να χρησιμοποιείται πολύ σε σχέση με το VLSFO, και η διαθεσιμότητά του είναι πλέον περιορισμένη. Αντίθετα, το LNG είναι ένα σχετικά καινούριο καύσιμο, που χρειάζεται ειδικές υποδομές για τη μεταφορά και αποθήκευσή του, και έτσι η διαθεσιμότητά του είναι και αυτή περιορισμένη σε σχέση με το VLSFO.
- 3) Τεχνικές δυσκολίες:** Η τροποποίηση πλοίων για εγκατάσταση Scrubber, και για LNG είναι πολύπλοκες διαδικασίες που απαιτούν πολύ υψηλή τεχνογνωσία και καταρτισμένο προσωπικό, τόσο κατά την εγκατάστασή τους, όσο και κατά τη λειτουργία τους. Ειδικά οι εγκαταστάσεις LNG χρειάζονται πολλά επιπρόσθετα μέτρα ασφαλείας και σωστή εκπαίδευση του προσωπικού. Επομένως πολλοί πλοιοκτήτες επέλεξαν το VLSFO, το οποίο τεχνικά απαιτεί μόνο την παρακολούθηση της ποιότητας του πετρελαίου.

7.3 Επίλογος και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Σε αυτό το σημείο θεωρείται σκόπιμο να επισημανθεί πως σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει την σημασία του περιορισμού εκπομπών SOx στη ναυτιλία, να εξετάσει μέσω δύο case studies τις επιλογές που έχουν οι πλοιοκτήτες για συμμόρφωση με τον κανονισμό IMO2020, και να παραθέσει στοιχεία από την 10ετή εμπειρία της συγγραφέως πάνω στον χώρο της ναυτιλίας.

Τα case studies που παρουσιάστηκαν βασίζονται σε πραγματικά στοιχεία αλλά δεν μπορούν να θεωρηθούν πλήρως αντιπροσωπευτικά καθώς δεν εισέρχονται σε άλλους επιστημονικούς χώρους, αγνοώντας τον πληθωρισμό, την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών των καυσίμων, πρόσβαση σε μεγαλύτερες βάσεις δεδομένων ή άλλων τύπων πλοίων. Επίσης αφορούν σε υπάρχοντα πλοία και όχι σε καινούργια. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να μελετάται πάντα σε συνάρτηση με τις παραδοχές που εξηγήθηκαν στο Κεφάλαιο 6. Πιο συγκεκριμένες προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και έρευνα παρατίθενται παρακάτω:

- Ανάπτυξη μοντέλων για εκτιμήσεις των μελλοντικών τιμών των καυσίμων ώστε να γίνουν πιο ακριβείς οικονομικοί υπολογισμοί.
- Χρησιμοποίηση νέων υπολογιστικών μεθόδων όπως Big Data Analysis & Cloud Computing για την στατιστική ανάλυση τεράστιων βάσεων δεδομένων.
- Διερεύνηση των επιλογών συμμόρφωσης IMO2020 για καινούργια πλοία (new building vessels), καθώς και για άλλους τύπους πλοίων (container ships, oil carriers etc.)

- Πιο σφαιρική διερεύνηση των εκπομπών άλλων αερίων και υγρών ρύπων στη ναυτιλία (CO₂, NO_x, κ.ά.), καθώς η παρούσα εργασία και ο κανονισμός επικεντρώνονται στα SO_x.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Anish, 'A Guide to Marine Gas Oil and LSFO Used on Ships', Marine Insight, 2023, <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-marine-gas-oil-and-lsfo-used-on-ships/> .

Argyros Dimitris et al., 'Global Marine Fuel Trends 2030', Lloyd's Register Marine and UCL Energy Institute, 2014 .

Baiyu, G., 'China Enters a New Low-Sulphur Shipping Era', China Dialogue Ocean, 2022, <https://chinadialogueocean.net/en/pollution/13818-china-enters-a-new-low-sulphur-shipping-era/> .

BIMCO, Cruise Lines International Association, Indian National Shipowners' Association, International Association of Independent Tanker Owners , International Chamber of Shipping, (ICS)International Group of P&I Clubs (IGP&I), ISO/TC 28/SC 4/WG 6, 'Joint Industry Guidance: The supply and use of 0.50%-sulphur marine fuel' , 2019

BSH - Publikationen - Measurements of Shipping Emissions in the Marine ..., https://www.bsh.de/DE/PUBLIKATIONEN/Anlagen/Downloads/Projekte/MeSmarT/Final_Report.html .

DNV GL Maritime, 'Maritime Forecast to 2050', DNV GL Maritime, 2019

IACS – The International Association of Classification Societies, 'Safer and Cleaner Shipping', IACS, <https://iacs.org.uk/membership/iacs-members> .

International Chamber of Shipping, 'Guidance to Shipping companies and Crews on preparing for Compliance with the 2020 Global Sulphur Cap' , Marisec Publications, 2019

International Maritime Organization, 'Feasibility study on the use of LNG as a fuel for international shipping in the North America ECA', International Maritime Organization, 2016

International Maritime Organization, 'Fourth IMO Greenhouse gas study 2020', International Maritime Organization,, 2021

International Organization for Standardization (2017), 'ISO 8217:2017', ISO, 2020, <https://www.iso.org/standard/64247.html>

IPCC, 'Climate Change 2023: Synthesis Report', IPCC,Geneva, Switzerland, 2023

Lloyd's Register and UMAS, 'Zero-Emission Vessels: Transition Pathways', Lloyd's Register, 2019

MeSmarT-II , *'Measurements of Shipping Emissions in the Marine Troposphere - Phase 2: Further Development of Remote Sensing Methods and Implementation into an Operational Network'*,
https://www.bsh.de/DE/PUBLIKATIONEN/Anlagen/Downloads/Projekte/MeSmarT/Final_Report.html .

Mitrou P., *'LNG as a fuel, towards 2050 and beyond'*, Greener Shipping Summit, 2019

Moirangthem K. , *'Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways'*, European Commission, 2016,
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC100405>

NIPPON KAIJI KYOKAI (Class NK), *'SOx · PM Regulations'*, Classnk,
<https://www.classnk.or.jp/hp/en/activities/statutory/soxpm/index.html> .

Paris MoU, *'History'*, Paris MoU Website, <https://parismou.org/about-us/history> .

Placek, M., *'World Merchant Fleet - Age by Vessel Type 2022'*, Statista, 2022,
<https://www.statista.com/statistics/1102442/age-of-world-merchant-fleet-by-vessel-type/>

Plevrakis G., *'Jorney towards zero carbon emissions'*, American Bureau of Shipping, 2019

Schnak P. et al, *'LNG as a fuel'*, DNV GL Maritime Communications, 2015

Sørheim Kr. Et al, *'Characterization of Low Sulfur Fuel Oils (LSFO) – A new generation of marine fuel oils'*, SINTEF Ocean AS, 2020

Statista Research Department, *'Amount of Fuel Consumed by Ships Worldwide by Fuel Type 2020'*, Statista, 2023,
<https://www.statista.com/statistics/1266963/amount-of-fuel-consumed-by-ships-worldwide-by-fuel-type/> . .

United Nations, *'Review of Maritime Transport 2023'*, UNCTAD, 2023,
<https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023> .

United Nations Climate Change, *'What Is the Kyoto Protocol'*, Unfccc.Int, 2023,
https://unfccc.int/kyoto_protocol.

US EPA , *'Overview of Greenhouse Gases'* , US EPA,
<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> .

Würsig, *'Alternative Fuels in Shipping'*, DNV GL Webinar 2018,
<https://www.dnv.com/maritime/webinars-and-videos/on-demand-webinars/alternative-fuels-online-conference.html>

Z.F.H.A., 'The Conventional Analysis of Ship Operating Cost', LinkedIn, <https://www.linkedin.com/pulse/conventional-analysis-ship-operating-cost-zeeshan-fareed-mni>.

Zhou, F. and others, 'Monitoring of Compliance with Fuel Sulfur Content Regulations through Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Measurements of Ship Emissions', Atmospheric Measurement Techniques, 2019, <https://amt.copernicus.org/articles/12/6113/2019/> .

'Air Pollution & Marine Shipping', Clear Seas, 2023, <https://clearseas.org/en/air-pollution/> .

'Ambient (Outdoor) Air Pollution', World Health Organization, 2022, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health?gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1HKZjrhT7IN3JcxUPp1tedELMk79NZNVkGXg9ISKqX7PnT1jxv2FVhoCX84QAvD_BwE](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health?gclid=CjwKCAjws9ipBhB1EiwAccEi1HKZjrhT7IN3JcxUPp1tedELMk79NZNVkGXg9ISKqX7PnT1jxv2FVhoCX84QAvD_BwE) .

'Bulk Vessel Fleet Size and Rates', United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, <https://agtransport.usda.gov/stories/s/Bulk-Vessel-Fleet-Size-and-Rates/bwaz-8sgs/> .

'Houston Bunker Prices', Ship & Bunker, <https://shipandbunker.com/prices/am/usgac/us-hou-houston> (accessed 20 October 2023).

'IMO 2020 - Cleaner Shipping for Cleaner Air', International Maritime Organization, 2019, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx> .

'LNG as Marine Fuel', DNV, <https://www.dnvgl.com/LNG> .

'Marine Environment Protection Committee (MEPC), 70th Session, 24-28 October 2016', *International Maritime Organization*, 2016, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-70th-session.aspx> .

'MARPOL', *International Maritime Organization*, <https://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/pages/Marpol.aspx> .

'NAEI, UK National Atmospheric Emissions Inventory - DEFRA, UK', *NAEI, UK National Atmospheric Emissions Inventory - NAEI, UK*, <https://naei.beis.gov.uk/> .

'Overview of Greenhouse Gases - DEFRA, UK', *Overview of Greenhouse Gases - NAEI, UK*, <https://naei.beis.gov.uk/overview/ghg-overview> .

'Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships', *MARPOL Annex VI - Regulation 9 - Duration and Validity of Certificate*,
http://www.marpoltraining.com/MMSKOREAN/MARPOL/Annex_VI/r9.htm .

'Understanding Climate Change', *DCCEEW*, <https://www.dcceew.gov.au/climate-change/policy/climate-science/understanding-climate-change> .

Βολογιάννης Κ., *'Ναυτικοί κινητήρες και Ναυτιλιακά Καύσιμα'*, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2017

Γιαννάκης Γ., *'Εναλλακτικές μορφές καυσίμων στη Ναυτιλία'*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2020