

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Συστήματα καθαρισμού καυσαερίων πλοίων (Scrubbers)

ή Συμμορφούμενα καύσιμα?

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΛΛΙΝΙΚΟΣ ΣΑΒΒΑΣ

ΑΓΜ: 4136

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2020

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Συστήματα καθαρισμού καυσαερίων πλοίων (Scrubbers)

ή Συμμορφούμενα καύσιμα?

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΛΛΙΝΙΚΟΣ ΣΑΒΒΑΣ

ΑΜ: 4136

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΝΑΛΗΨΗΣ: 17/05/19

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότητα	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1	ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ Κ. Επιβλέπουσα	ΦΥΣΙΚΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΟΣ		
2	ΤΣΟΥΛΗΣ Ν. Διευθυντής	ΠΛΟΙΑΡΧΟΣ		
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια, που είναι υπεύθυνη για την πτυχιακή μου εργασία, κυρία Ρωσσιάδου Κωνσταντία, για την πολύτιμη βοήθεια που μου έχει προσφέρει, την καθοδήγηση και την επιλογή αυτού του πολύ σημαντικού και ενδιαφέροντος θέματος.

Ευχαριστώ τους φίλους και φίλες μου για την ηθική υποστήριξη που μου πρόσφεραν, όταν αντιμετώπιζα διάφορα προβλήματα κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής, όσον αφορά στην εκμάθηση τεχνικών και θεωρητικών αντικειμένων στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις.

Πάνω απ' όλα είμαι ευγνώμων στην οικογένεια μου, την μητέρα μου Μαρίνα Καλλινίκου, τον πατέρα μου, Αντώνη Καλλινίκο και την αδερφή μου, Χαρά Καλλινίκου για την αγάπη, τη βοήθεια και την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια που με στηρίζουν και είναι δίπλα στο πλευρό μου.

Αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....6

Abstract.....7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Τα Scrubbers και η αρχή λειτουργίας τους

1.1 Εισαγωγή.....8

1.2 Περιγραφή της διάταξης των Scrubbers.....11

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή.....11

1.2.2 Αρχές Λειτουργίας των Scrubbers.....13

1.2.3 Είδη των Scrubbers.....17

1.3 Εγκατάσταση των Scrubbers στα Πλοία.....20

1.3.1 Περιγραφή της διαδικασίας εγκατάστασης – Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης.....21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Οφέλη και χρησιμότητα των συστημάτων Scrubbers

2.1 Η συμβολή των Scrubbers στην προστασία του περιβάλλοντος.....24

2.2 Μειονεκτήματα και παράπλευρες επιπτώσεις της χρήσης των Scrubbers.....25

2.3 Βλάβες των Scrubbers και οι συνέπειές τους.....27

2.4 Τρόποι αντιμετώπισης των βλαβών και συντήρηση.....31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μη συμμορφούμενα καύσιμα

Κανονισμοί για την αντιμετώπιση και τη μείωση των εκπομπών ρύπων από τη ναυτιλία.

3.1 Διοξείδιο του θείου (SO₂).....35

3.1.1 Κανονισμοί IMO.....35

3.1.2 Κανονισμοί ΕΕ.....41

3.2 Οξείδια του αζώτου (NO_x).....42

3.2.1 Κανονισμοί IMO.....42

3.3 Αιωρούμενα σωματίδια (PM).....44

3.3.1 Κανονισμοί IMO.....44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εναλλακτικά καύσιμα και πηγές ενέργειας

4.1 Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.....	45
4.2 Εναλλακτικά καύσιμα.....	45
4.2.1 Βιοκαύσιμα.....	46
4.2.2 Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG).....	47
4.2.3 Κυψέλες καυσίμου.....	48
4.3 Νέος σχεδιασμός και τροποποιήσεις λειτουργίας.....	49
4.4 Κύτος και υπερκατασκευή.....	50
4.5 Ενέργεια και συστήματα προώσης.....	51
4.6 Ηλεκτροδότηση από τη ξηρά.....	52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν πόνημα αφορά στη χρήση των συστημάτων Scrubber στη Ναυτιλία και πιο συγκεκριμένα στα πλοία. Αρχικά, γίνεται μια περιγραφή των συστημάτων Scrubber και των αρχών λειτουργίας τους. Αναλύεται ο τρόπος που δουλεύει το σύστημα αυτό, η διαδικασία εγκατάστασής του, αλλά και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασής του, όπως επίσης και τα μέτρα αντιμετώπισης που θα πρέπει να ληφθούν. Επίσης περιγράφονται τα είδη των Scrubbers και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους.

Στη συνέχεια αναφέρεται η θετική χρήση των Scrubbers στη ναυτιλία, στο περιβάλλον αλλά και οι αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να παρουσιαστούν κατά τη χρήση τους, ειδικά σε περίπτωση βλάβης των συστημάτων Scrubbers. Αναφέρονται οι βλάβες των συστημάτων Scrubbers και οι συνέπειές τους, ενώ παράλληλα αναφέρονται και οι τρόποι αντιμετώπισης βλαβών και η συντήρησή τους. Περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τις θετικές επιδράσεις των συστημάτων Scrubbers προς το περιβάλλον αλλά και οι αρνητικές επιδράσεις που μπορεί να επιφέρει ορισμένες φορές η λειτουργία τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι εναλλακτικές διαθέσιμες τεχνολογίες για την μείωση των ρύπων. Περιγράφονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μίας, ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν, οι απαιτήσεις εφαρμογής τους, τα στοιχεία σχετικά με το κόστος υλοποίησης και τα προσδοκώμενα οφέλη από την εγκατάστασή τους. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των κανονισμών σχετικά με την αντιμετώπιση και τη μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων από την ναυτιλία, όπου περιλαμβάνονται οι κανονισμοί του IMO, οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο διοξείδιο του θείου (SO₂), στα οξείδια του αζώτου (NO_x) και στα αιωρούμενα σωματίδια (PM).

Στο κεφάλαιο τέσσερα ακολουθούν τα εναλλακτικά καύσιμα και πηγές ενέργειας που αναφέρονται σε διάφορα συστήματα για την μείωση των ρύπων σε σχέση με τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων Scrubbers, νέοι τρόποι σχεδιασμού και τροποποιήσεις της λειτουργίας τους, βιοκαύσιμα και πληροφορίες σχετικά με τις κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο προϋπόθεση για να χρησιμοποιηθούν αυτά είναι οι κανονισμοί του IMO και οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αναφέρονται στο κεφάλαιο τρία.

ABSTRACT

This thesis concerns the use of Scrubber systems in the shipping sector. Firstly, an extensive description of the Scrubbing systems is presented, with a reference to their working principles, the installation process and problems that may arise as well as ways to deal with them. Additionally the beneficial environmental impacts of the use of Scrubber systems are presented. Adverse effects on marine environment especially in case of malfunction or breakdown of the systems are also included in this topic.

There is also a reference to the positive use of Scrubbers in shipping, in the environment and also the negative effects that may occur during their use, especially in case of damage to Scrubber systems. It is also mentioned the damages of the Scrubbers and its consequences, as well as ways to deal with faults and their maintenance. This study also includes information about the positive effects of Scrubbers in the environment and the negative effects that sometimes may occur.

The third chapter presents in detail the alternative technologies available for the reduction of pollution. The specific characteristics of each are also described, the way they work, the requirements for their implementation, the data on the cost of implementation and the expected benefits from their installation. This chapter also presents regulations on tackling and reducing emissions from shipping emissions, including IMO regulations, European Union regulations, and makes special reference to Sulphur Dioxide (SO₂), Nitrogen oxide (NO_x) and Particulate Matter (PM).

In chapter four, follows alternative fuels and energy sources that are referring to various systems for reducing pollution in relation to Scrubbers, new ways of designing and modifying their operation, biofuels and information on fuel cells. However, condition for the use of them are the IMO regulations and the regulations of the European Union which are referred in Chapter Three.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

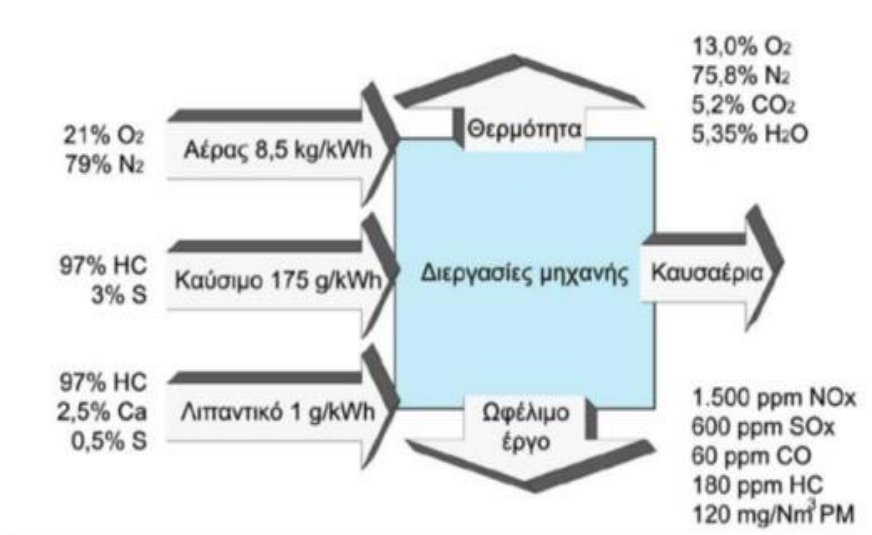
Τα Scrubbers και η λειτουργία τους

1.1 Εισαγωγή

Ο Ναυτιλιακός τομέας τα τελευταία χρόνια έχει συντελέσει σε πολύ μεγάλο βαθμό στην επιβάρυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω των ρύπων – καυσαερίων που εκπέμπονται από τα πλοία. Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) που χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στα πλοία είναι θερμικές μηχανές, στις οποίες καίγεται ένα καύσιμο, παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή, που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργούνται θερμά αέρια. Στους Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης, όπως οι κινητήρες Diesel που υπάρχουν στα πλοία, η εκτόνωση των αερίων που δημιουργούνται, ασκεί δύναμη στα κινητά μέρη του κινητήρα, με αποτέλεσμα την παραγωγή μηχανικού έργου. Τα προϊόντα της καύσης του αέρα με το καύσιμο ελκούνται και ελευθερώνονται στο περιβάλλον.

Γενικά, τα ναυτιλιακά καύσιμα αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο (Υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Επίσης συμπεριλαμβάνουν διάφορες αναμειξίες, όπως το θείο, η περιεκτικότητα των οποίων μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος του καυσίμου. Τα καυσαέρια μιας μηχανής πλοίου περιέχουν κυρίως άζωτο (N_2), οξυγόνο (O_2), υδρατμούς (H_2O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Επίσης, είναι δυνατόν να περιέχουν σε κάποιο ποσοστό οξειδία του αζώτου (NO_x), οξειδία του θείου (SO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM).

Στο **Σχήμα (1)** το οποίο ακολουθεί πιο κάτω, φαίνονται τα καυσαέρια που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πλοίου, αλλά και η ποσοστιαία σύσταση των ουσιών που περιέχονται σε αυτά (Κοτρίκλα , 2015).



Σχήμα (1) : Η ποσοστιαία σύσταση καυσαερίων (Man and Diesel, 2004)

Το CO₂ προέρχεται από την τέλεια καύση του άνθρακα των καυσίμων. Το υδρογόνο των καυσίμων μετατρέπεται σε υδρατμούς (H₂O). Καθώς στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης δεν επικρατούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης, από την ατελή καύση των καυσίμων μπορεί να προκύψει πλειάδα καυσαερίων, όπως: Σωματίδια άνθρακα, CO, άκαυστοι υδρογονάνθρακες ή μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες (Heywood, 1988).

Τα SO_x οφείλονται στις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων. Τα καύσιμα συμπεριλαμβάνουν θείο, το οποίο οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης στη μηχανή σε οξείδια του θείου, όπως το SO₂ και SO₃ (Man and Diesel, 2004). Τα οξείδια του θείου αναφέρονται ως SO_x. Έτσι, το SO₃ αντιδρά με την υγρασία (H₂O) που υπάρχει ήδη και σχηματίζει σωματίδια θειικού οξέος (H₂SO₄) μικροσκοπικού μεγέθους, που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα). Το άζωτο (N₂) του ατμοσφαιρικού αέρα είναι χημικά αδρανές υπό κανονικές θερμοκρασίες και δεν αντιδρά με το οξυγόνο (O₂) του αέρα.

Μέσα στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (MEK), λόγω πολύ υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, το άζωτο (N₂) που υπάρχει στην ατμόσφαιρα αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται σε οξείδια του αζώτου, γνωστά ως NO_x – μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Το διοξείδιο του αζώτου μπορεί να σχηματιστεί (σε μικρότερο ποσοστό) από την καύση συστατικών των καυσίμων που περιέχουν άζωτο.

Υπάρχουν επίσης τα αιωρούμενα σωματίδια (PM). Αυτά αποτελούν ένα σύνθετο μείγμα οργανικών αλλά και μη οργανικών ουσιών, που περιλαμβάνουν ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη, πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κήκε ή κήκε, και άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά και υγρασία (Reynolds, 2004).

Ο Διεθνής οργανισμός Ναυτιλίας (IMO - International Maritime Organization) αποτελεί ένα εξειδικευμένο όργανο του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) και έχει συσταθεί με σκοπό την ανάπτυξη και διατήρηση ενός γενικού ρυθμιστικού πλαισίου, για τη ναυτιλία, που θα περιλαμβάνει θέματα ασφάλειας, περιβαλλοντικά, νομικά, τεχνικής σύμπραξης και αποτελεσματικής λειτουργίας των πλοίων (Wikipedia, International Maritime Organization).

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, έχει υιοθετήσει τους κανονισμούς που έχουν επιβληθεί από τη MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships), Annex VI, για τη μείωση από τις εκπομπές οξειδίων του θείου (SOx) είτε χρησιμοποιώντας καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, είτε με τη χρήση διατάξεων καθαρισμού καυσαερίων, τα Scrubbers (Marpol VI, 1973).

Τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων των πλοίων (Scrubbers) ανήκουν σε μια εκτεταμένη ομάδα συσκευών ελέγχου της αέριας ρύπανσης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση των σωματιδίων ή και αέριων ρύπων (με διαλυτοποίηση ή απορρόφηση) από βιομηχανικά απόβλητα (αέρια). Ουσιαστικά “ξεπλένουν” τα καυσαέρια από το επικίνδυνο διοξείδιο του θείου σε ποσοστό 90-95%, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν τα αιωρούμενα σωματίδια κατά 80-85% (Κοτρίκλα, 2015).

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποτροπή απελευθέρωσης μεγάλου μέρους σωματιδίων αλλά και μολυσματικών αερίων, συγκεκριμένα όξινων για το περιβάλλον, τα οποία προκαλούν διαταραχή στο οικοσύστημα, επιβάρυνση της υγείας και εμφάνιση ασθενειών στους ζώντες οργανισμούς, οι οποίες ορισμένες φορές μπορεί να οδηγήσουν μέχρι και τον θάνατο.

Τα είδη των Scrubbers και οι υποκατηγορίες τους είναι:

1) Υγρού τύπου

- i) ανοικτού κυκλώματος
- ii) κλειστού κυκλώματος
- iii) υβριδικά συστήματα

2) Ξηρού τύπου

1.2 Περιγραφή της διάταξης των Scrubbers

Η Διεθνής γνώστη Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, η οποία είναι γνωστή και σαν **MARPOL 73/78**, απαιτεί τη μείωση των εκπομπών SO_x , είτε με την χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, είτε με τον καθαρισμό των καυσαερίων. Το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων των πλοίων (Scrubbers) είναι γενικά αποδεκτό, ότι αποτελεί πλέον μια οικονομικά συμφέρουσα λύση για τη μείωση των εκπεμπόμενων καυσαερίων.

Τα κόστη μπορούν να εξοικονομηθούν, εφόσον καίγεται βαρύ καύσιμο σε αντίθεση με το καύσιμο χαμηλής περιεκτικότητας θείου, όπου μπορεί να αντισταθμιστεί με την χρησιμοποίηση Scrubber, για περίπου ένα έτος. (Hatley, 2010). Τα Scrubbers τα οποία χρησιμοποιούνται εκτενέστερα σήμερα είναι γνωστά ως SO_x Scrubbers και μπορούν αποτελεσματικά να απομακρύνουν έως και το 95% της συγκέντρωσης των οξειδίων του θείου (SO_x) από τα καυσαέρια (EGCSA, 2010).

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

Στη βιομηχανία, τα Scrubbers χρησιμοποιούνται για πολλές δεκαετίες. Το 1836 είχε δοθεί το πρώτο βραβείο ευρεσιτεχνίας για μια πρωτόλεια μορφή, το οποίο ήταν ένα πατενταρισμένο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων. Εκατό χρόνια μετά, το 1935, στο Ηνωμένο Βασίλειο, περίπου το 98% των ρύπων SO_x που εκπέμπονταν από τη βιομηχανία, καθαρίζονταν με αυτού του είδους τα συστήματα (Schiffner and Hesketh, 1996).

Το πρώτο και πρωτότυπο σύστημα καθαρισμού καυσαερίων Scrubber χρησιμοποιούσε θαλασσινό νερό κατά τη λειτουργία και το οποίο τοποθετήθηκε σε σκάφος το 1991 (Entec, 2005).

Ευρείες δοκιμές σε συστήματα Scrubber ανοικτού τύπου πραγματοποιήθηκαν το Μάιο του 1998, μέσω του καναδικού παγοθραυστικού Louis S. St. – Laurent. Το διατλαντικό ταξίδι του παγοθραυστικού διήρκησε περίπου 6 εβδομάδες, ενώ οι δοκιμές του Scrubber διήρκησαν 22 ημέρες. Αργότερα την ίδια χρονιά, ένα διαφορετικό πρωτότυπο σύστημα Scrubber, το Eco – Silencer, εγκαταστάθηκε για δοκιμή στο καναδικό φορτηγό και επιβατικό πλοίο Leif Ericson. Αυτό το πρωτότυπο Scrubber επεξεργαζόταν εξολοκλήρου κυρίως την έξοδο καυσαερίων από τον κινητήρα του πλοίου. Ο σκοπός αυτών των δοκιμών ήταν να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα αυτού του πρωτότυπου συστήματος Scrubber και να προτεινόταν εναλλακτικοί τρόποι επεξεργασίας των καυσαερίων μόνο αν κρινόταν απαραίτητο (Entec, 2005).

Μερικές πιο πρόσφατες μελέτες που αφορούν σε εγκαταστάσεις συστημάτων Scrubber σε πλοία, όπως το Zaandam, το Pride of Kent και το Suula, έδειξαν ότι η εγκατάσταση των Scrubbers είναι πλέον μια αποτελεσματική λύση για τον περιορισμό και τη ρύθμιση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αποδεκτά επίπεδα. Με βάση τη μελέτη αυτή, προέκυψαν δεδομένα στα οποία κατηγοριοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις ρύπων στα απόβλητα, δηλαδή στη λάσπη που προκύπτει από τη λειτουργία των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων πλοίων (Scrubbers) (USEPA, 2009).

Μια Φιλανδική ναυτιλιακή κοινοπραξία το 2008, εγκατέστησε και εξέτασε ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων (Scrubber) το οποίο ήταν κλειστού τύπου στο πετρελαιοφόρο Suula (Wartsila, 2010). Τα καυσαέρια στο Scrubber τροφοδοτούνταν από ένα βοηθητικό κινητήρα των 680 kW, με αποτελέσματα οξειδία του θείου να μεταφέρονται στο νερό και να σχηματίζονται θειικά άλατα. Το νερό που αποβαλλόταν, δοσομετρήθηκε με υδροξείδιο του νατρίου, ψύχθηκε με εναλλάκτη θερμότητας θαλασσινού νερού και έπειτα ανατροφοδοτήθηκε στο κύκλωμα.

Το Motorship Newsletter τον Ιούνιο του 2010, είχε εκδώσει την πρώτη εμπορική διαταγή για τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων (Scrubber) ανοικτού τύπου, έτσι ώστε οι πλοιοκτήτριες ναυτιλιακές εταιρείες να συμμορφωθούν με τους καινούριους κανονισμούς της Ε.Ε σχετικά με τις εκπομπές ρύπων, χωρίς τη χρήση καύσιμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (Motorship Newsletter, 2010). Τα συστήματα καθαρισμού ανοικτού τύπου είχαν εγκατασταθεί σε τέσσερα οχηματαγωγά πλοία των 45.000 GRT που καίγανε βαρύ καύσιμο και είχε εκτιμηθεί, ότι με την χρήση των συστημάτων Scrubbers οι ρύποι που εκπέμπουν ισοδυναμούν με τους ρύπους που θα εκπεμπόταν από το καύσιμο που έχει περιεκτικότητα 0.1% θείου χωρίς σύστημα καθαρισμού. Φυσικά η χρήση των συστημάτων Scrubbers για την αντιμετώπιση των πολύ υψηλών ρύπων που προέρχονταν από τους ντιζελοκινητήρες των μεγάλων πλοίων, δεν ήταν σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Η εγκατάσταση των συστημάτων Scrubbers, επιτρέπει στην πλοιοκτήτρια ναυτιλιακή εταιρεία να χρησιμοποιεί το βαρύ καύσιμο, το οποίο είναι υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, με φυσικά οικονομικό όφελος, αν και επικρατεί μια αβεβαιότητα ως προς τη χρήση τους, καθώς αναμένεται από επιστημονικές μελέτες να διαπιστωθεί αν υπάρχει αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον από τη λειτουργία τους (Kehoe et al, 2010). Εφόσον οι επιστημονικές έρευνες μας δείξουν ότι η λειτουργία των συστημάτων έχει όντως αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, οι ναυτιλιακές εταιρείες θα αναγκαστούν να αφαιρέσουν τα συστήματα Scrubbers από τα πλοία τους, το οποίο θα προκαλέσει αρκετά μεγάλη οικονομική ζημιά στην εταιρεία.

1.2.2 Αρχές λειτουργίας των Scrubbers

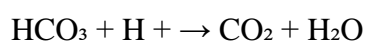
Παρακάτω περιγράφονται οι αρχές λειτουργίας ενός συστήματος καθαρισμού Scrubber. Ένα Scrubber, γενικά, αποτελείται από:

- Το θάλαμο ανάμιξης.
- Τη μονάδα επεξεργασίας νερού.
- Τη μονάδα συλλογής λάσπης.

Στο θάλαμο ανάμειξης οδηγούνται τα καυσαέρια από τον κινητήρα και αναμειγνύονται με το νερό του κυκλώματος. Κατά τη διάρκεια των χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στο θάλαμο ανάμειξης, τα οξείδια του θείου που περιέχονται στα καυσαέρια μετατρέπονται σε θειικό οξύ. Λόγω περιορισμών στο χώρο, αλλά και στην πρόσβαση από το τεχνικό προσωπικό του πλοίου, ο θάλαμος ανάμειξης βρίσκεται σε υψηλά διαμερίσματα του πλοίου, γύρω από το χώρο της καπνοδόχου.

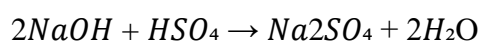
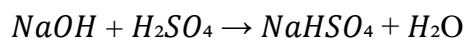
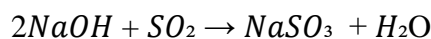
Συνήθως, η μονάδα επεξεργασίας νερού διαφέρει αφού εξαρτάται από τον τύπο του Scrubber. Χρησιμοποιούνται μηχανικοί τρόποι διαχωρισμού των στερεών συστατικών, παραδείγματος χάρη ο φυγοκεντρικός διαχωριστής. Τα στερεά συστατικά που απομακρύνονται από το νερό κατευθύνονται στη μονάδα συλλογής ιλύος. Η λάσπη που απομακρύνεται από το νερό συγκρατείται από τη μονάδα συλλογής ιλύος. Αυτή η λάσπη μπορεί να απορριφθεί σε χώρους παραλαβής απορριμμάτων στη στεριά.

Στα Scrubbers ανοικτού τύπου, τα οποία λειτουργούν με θαλασσινό νερό, κατά τη διαδικασία αποθείωσης γίνονται οι χημικές αντιδράσεις ως ακολούθως:



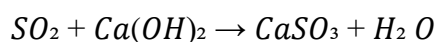
Το Διοξείδιο του θείου (SO_2) διαλύεται στο θαλασσινό νερό, και αντιδρά με το οξυγόνο το οποίο σχηματίζει θειικά ιόντα και ανιόντα υδρογόνου. Η αυξημένη ποσότητα συγκέντρωσης ανιόντων του υδρογόνου, έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη οξύτητα, δηλαδή μειωμένο pH. Τα HCO_3 που είναι τα διττανθρακικά ιόντα αντιδρούν στο θαλασσινό νερό με κατιόντα υδρογόνου και επαναφέρουν την οξύτητα σε χαμηλότερα επίπεδα. Από τα καυσαέρια αφαιρούνται και ορισμένα οξείδια του αζώτου (NO_x), εκτός από τα οξείδια του θείου, τα οποία μετατρέπονται σε νιτρικά ιόντα στο θαλασσινό νερό. Συνεπώς, η αποδοτικότητα από τη διαδικασία καθαρισμού αυξάνεται με την αύξηση της αλκαλιότητας του νερού. Μικρότερη αλκαλιότητα σημαίνει μεγαλύτερες ανάγκες για νερό και συνεπώς μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας (Boer and Hoen, 2015).

Στα συστήματα καθαρισμού κλειστού τύπου, τα οποία χρειάζονται γλυκό νερό για τη λειτουργία τους, διαλύεται καυστική σόδα ($NaOH$) και πραγματοποιούνται οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις:

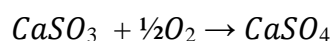


Το σύστημα Scrubber που είναι κλειστού τύπου απορρίπτει 250 φορές λιγότερο νερό από ένα που είναι ανοικτού τύπου. Το νερό του Scrubber κλειστού τύπου, κυκλοφορεί σε μια δεξαμενή, και μια περιορισμένη ποσότητα αυτού εξάγεται με αναρρόφηση και πηγαίνει σε ένα διαχωριστή όπου απομακρύνονται τα υπολείμματα (Boer and Hoen, 2015).

Το σύστημα Scrubber, το οποίο είναι ξηρού τύπου, χρησιμοποιεί κόκκους υδροξειδίου του ασβεστίου, το οποίο αντιδρά με το διοξείδιο του θείου (SO_2) σύμφωνα με την αντίδραση:



Συνεπώς, το θειώδες ασβέστιο ($CaSO_3$) οξειδώνεται προς θειικό ασβέστιο ($CaSO_4$):



Το σύστημα Scrubber ξηρού τύπου, λειτουργεί τροφοδοτώντας με σφαιρίδια (pellets) ένυδρης άσβεστου, τα οποία μετατρέπονται σε κόκκους μετά από επεξεργασία, το χώρο από τον οποίο περνούν τα καυσαέρια από τις μηχανές του πλοίου. Αυτή η ένυδρη άσβεστος, αντιδρά χημικά με το θερμό καυσαέριο, απορροφώντας διοξείδιο του θείου και σχηματίζει κόκκους γύψου. Οι κόκκοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τσιμεντοβιομηχανία ως επιπλέον υλικό στην παραγωγή ορισμένων τύπων τσιμέντου (Boer and Hoen, 2015).

Χρήσιμοι όροι

Θολότητα (Turbidity)

Η θολότητα ουσιαστικά είναι μέτρο συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στο νερό και μονάδα μέτρησης του είναι το Formazin Turbidity Unit (FTU). Η θολότητα που κυκλοφορεί σε ένα Scrubber, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 25 FTU (Boer and Hoen, 2015).

Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAH)

Το PAH, δηλαδή οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες είναι γνωστοί ως η πιο μεγάλη ομάδα καρκινογόνων ουσιών. Για την μέτρηση της συγκέντρωσης αυτών, χρησιμοποιείται η συγκέντρωση του φαινανθρενίου ($C_{14}H_{10}$) ως συγκέντρωση αναφοράς. Η μέγιστη συγκέντρωση των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στο νερό που κυκλοφορεί σε ένα Scrubber, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50 $\mu\text{g/LPAH}$ phenanthrene (Boer and Hoen, 2015).

pH

Η ενεργός οξύτητα ή pH (προφέρεται πεχά) είναι μέτρο της οξύτητας ενός διαλύματος και η τιμή του καθορίζεται από τη συγκέντρωση των κατιόντων υδρογόνου. Το pH του νερού που βρίσκεται στους ωκεανούς κυμαίνεται από 7.5 έως 8.5. Το νερό που υπάρχει στα συστήματα Scrubbers δεν πρέπει να έχει pH μικρότερο από το 6.5 (Boer and Hoen, 2015).

Νιτρικά

Το NO_3 που είναι το Νιτρικό, αποτελεί την πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου, ενώ η πολύ υψηλή συγκέντρωσή τους σε λίμνες μπορεί να οδηγήσει στο φαινόμενο του ευτροφισμού. Στα Scrubber, οι συγκεντρώσεις των Νιτρικών (NO_3), θα πρέπει να παρακολουθούνται τακτικά. Οι συγκεντρώσεις των Νιτρικών στο σύστημα επεξεργασίας νερού, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 60 mg/L νερού (Boer and Hoen, 2015).

1.2.3 Είδη των Scrubbers

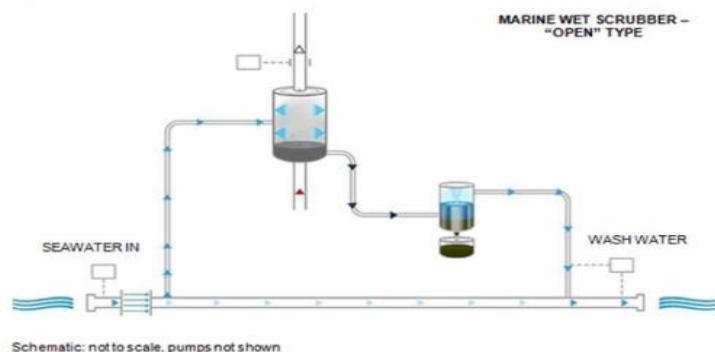
Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες όπου χωρίζονται τα συστήματα Scrubbers.

1. Υγρού τύπου
2. Υβριδικά.
3. Ξηρού τύπου.

Τα Scrubbers **υγρού τύπου**, περιλαμβάνουν δύο βασικά είδη, τα Scrubbers ανοικτού κυκλώματος, και τα Scrubbers τα οποία είναι κλειστού κυκλώματος.

Το σύστημα καθαρισμού καυσαερίων Scrubber ανοικτού τύπου, χρησιμοποιεί το θαλασσινό νερό για τον καθαρισμό των καυσαερίων, και μετά το διοχετεύουν πάλι στη θάλασσα. Τα καυσαέρια αυτά έρχονται σε επαφή με το νερό της θάλασσας με δύο πιθανούς τρόπους, είτε ψεκάζοντας το νερό της θάλασσας στο ρεύμα των καυσαερίων, είτε κατευθύνοντας τα καυσαέρια μέσα σε υδατόλουτρο. Το SO_2 (διοξείδιο του θείου) στα καυσαέρια διαλύεται στο νερό και μετά από χημικές διεργασίες οξειδώνεται σε θειικό άλας, το οποίο αυξάνει την οξύτητα του νερού (Hasselov and Turner, 2007).

Το θειικό οξύ αντιδρά στο νερό με ανθρακικά άλατα που βρίσκονται επίσης στο νερό και σχηματίζει θειικά άλατα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το νερό να περνά από μια διαδικασία επεξεργασίας, ώστε τα στερεά συστατικά να απομακρυνθούν και να αυξηθεί το pH και έπειτα να επαναδιοχετευτεί στη θάλασσα. Τα στερεά συστατικά τα οποία απομακρύνονται από το νερό, φυλάσσονται στο πλοίο και έπειτα απορρίπτονται κατάλληλα στη στεριά.



Σχήμα (2): Scrubbers ανοικτού τύπου (EGSA, 2010)

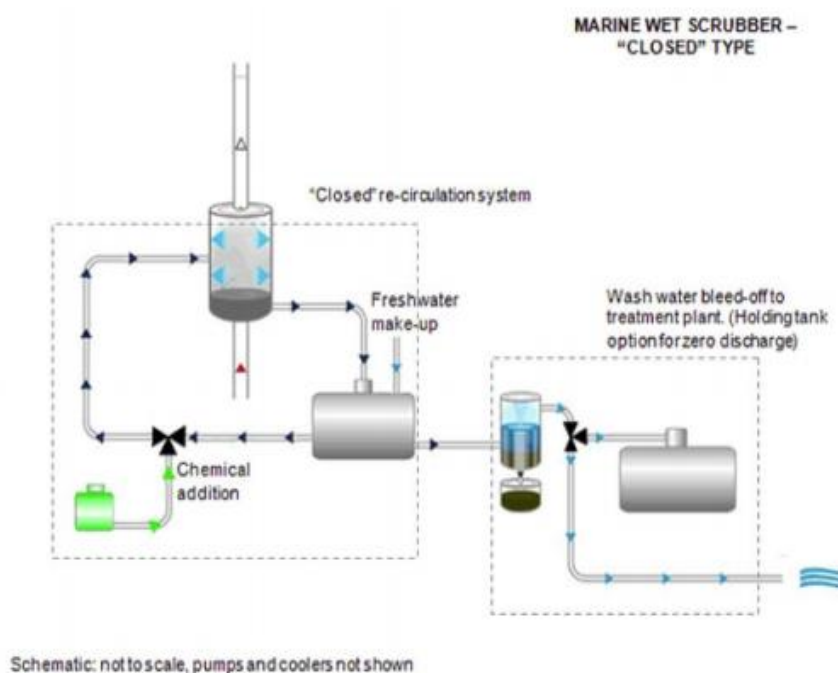
Στο πιο πάνω **σχήμα (2)** παρουσιάζεται η διάταξη ενός συστήματος Scrubber ανοικτού τύπου. Μια διάταξη σαν και αυτή, χρησιμοποιεί περίπου $45m^3$ θαλασσινού νερού ανά Μεγαβατώρα (MWh) για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των καυσαερίων (MEPC, 2008). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πως για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των καυσαερίων από μια μηχανή των 10 MWh περνούν από τη διάταξη $450m^3/h$ ή 10.800 τόνοι νερού ανά μέρα. Ο όγκος αυτός του νερού, μπορεί επίσης να εμφανίσει κύμανση αναλόγως με την αλκαλικότητα του νερού και τη θερμοκρασία, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση της διάταξης είναι περίπου στο 2-3% της ενέργειας που παράγεται από τη μηχανή (Filancia, 2009).

Τα Scrubbers του κλειστού τύπου χρησιμοποιούν καυστική σόδα και γλυκό νερό κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Η σόδα διοχετεύεται στο νερό για να εξουδετερώσει το θείο από τα καυσαέρια. Κατά τη διάρκεια κυκλοφορίας του νερού στο κλειστό κύκλωμα, μέρος του νερού περνά από επεξεργασία προκειμένου να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα στερεά συστατικά από αυτό. Στο πλοίο θα φυλαχτούν τα στερεά συστατικά ως λάσπη και μετέπειτα θα απορριφθούν στη στεριά, όμοια με τη τεχνολογία ανοικτού κυκλώματος. Το νερό, το οποίο έχει επεξεργαστεί, απορρίπτεται στην ανοικτή θάλασσα, είτε μπορεί να παραμείνει στο πλοίο και να απορριφθεί κατάλληλα στη στεριά, ενώ το πρόσθετο γλυκό νερό προστίθεται στο κλειστό κύκλωμα.

Παρακάτω στο **σχήμα (3)**, παρουσιάζεται η διάταξη ενός Scrubber κλειστού τύπου. Το νερό πρόκειται να ανακυκλωθεί και εάν υπάρχουν τυχόν απώλειες, αναπληρώνονται με επιπλέον γλυκό νερό. Μια ποσότητα νερού η οποία είναι μικρή, διοχετεύεται σε μια μονάδα επεξεργασίας, και μετά απορρίπτεται στη θάλασσα ή μπορεί να φυλαχτεί στο πλοίο και να απορριφθεί κατάλληλα στη στεριά, με ρυθμό μικρότερο σε σχέση με τις διατάξεις του ανοικτού τύπου. Κατ' ακρίβεια, απορρίπτονται 0.1 έως $0.3 m^3/MWh$, πράγμα που οδηγεί στη δημιουργία μικρότερου όγκου αποβλήτων (MEPC, 2008).

Τα συστήματα Scrubbers κλειστού τύπου, θα χρησιμοποιηθούν όταν απαιτείται καθαρισμός υψηλής απόδοσης ή όταν η αλκαλικότητα του θαλάσσιου νερού θα βρίσκεται σε σημεία (επίπεδα) που καθιστούν τη χρήση των Scrubbers ανοικτού τύπου αδύνατη.

Η απόδοση μιας διάταξης καθαρισμού καυσαερίων διοξειδίου του θείου (SO_x). κλειστού τύπου είναι τις περισσότερες φορές μεγαλύτερη από 90%, ενώ η ενεργειακή της κατανάλωση είναι περίπου στο 0.5% της ισχύος του κινητήρα του πλοίου (Hatley, 2010).



Σχήμα (3): Scrubbers κλειστού τύπου (EGSA, 2010)

Τα Scrubbers τα οποία είναι **υβριδικά** έχουν τη δυνατότητα να μπορούν να λειτουργούν είτε ως ανοικτού τύπου χρησιμοποιώντας το θαλασσινό νερό, είτε ως κλειστού τύπου με την χρήση του γλυκού νερού. Τα υβριδικά Scrubbers, έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη αλκαλικότητας του θαλασσινού νερού που διαβρέχει το πλοίο. Για παράδειγμα, εάν ένα πλοίο που διαθέτει Scrubbers υγρού ανοικτού τύπου πλέει σε θάλασσες υψηλής αλκαλικότητας, καθαρίζονται αποτελεσματικά τα καυσαέρια, ενώ δεν καθαρίζονται καθόλου όταν το πλοίο πλέει σε περιοχές ποταμών ή σε θάλασσες χαμηλής αλκαλικότητας όπως είναι η Βαλτική θάλασσα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί χρησιμοποιώντας υβριδικά Scrubbers τα οποία, λόγω της διπλής λειτουργίας τους (ανοικτού και κλειστού τύπου), είναι εφικτό να λειτουργήσουν σε οποιαδήποτε θάλασσα ή και ακόμα σε ποτάμια.

Το πρώτο σύστημα Scrubber που λειτουργεί υβριδικά, εγκαταστάθηκε στο ντιζελοκινητήρα των 21 MW του πλοίου “Tor Ficaria” το Μάιο του 2010, έχει λειτουργήσει περισσότερο από 1000 ώρες και αναφέρεται ως το μεγαλύτερο υβριδικό Scrubber που έχει εγκατασταθεί ποτέ σε πλοίο (Aalborg, 2010).

Τα Scrubbers ξηρού τύπου χρησιμοποιούν στερεά συστατικά για τη συλλογή των οξειδίων του θείου (SO_x) από τα καυσαέρια. Αυτό σημαίνει πως τα καυσαέρια διοχετεύονται και περνούν μέσα από διαδοχικά στρώματα ύλης σε στερεή κατάσταση, όπως το ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$), το μονοξείδιο του ασβεστίου (CaO) ή την ένυδρη άσβεστο ($Ca(OH)_2$), στα οποία τα οξείδια του θείου απορροφώνται και αντιδρούν σχηματίζοντας γύψο ($CaSO_4$), με χημικό τρόπο (Couple Systems, 2010).

Τα συστήματα Scrubbers του ξηρού τύπου, έχουν το πλεονέκτημα έναντι των Scrubbers υγρού τύπου στο ότι οι ρύποι δεν μεταφέρονται στο νερό, αλλά αντιδρούν χημικά σχηματίζοντας ένα υποπροϊόν το οποίο μπορεί να ξανά χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στην τσιμεντοβιομηχανία, ως λίπασμα ή και στη βιομηχανία χάλυβα (Couple Systems, 2010).

1.3 Εγκατάσταση των Scrubbers στα πλοία

Η εγκατάσταση των συστημάτων αυτών για το καθαρισμό των καυσαερίων των πλοίων είναι μια διαδικασία στην οποία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη μας αρκετοί παράγοντες. Φυσικά, εκτός από την ακριβή και αναλυτική εκτίμηση του συνολικού κόστους για την εγκατάσταση και τη συντήρηση ενός συστήματος Scrubber, είναι αναγκαία και η τεχνική μελέτη για τα εξής:

1. Θα πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος στο πλοίο για να είναι εφικτή η τοποθέτηση του πύργου των Scrubbers αλλά και των υποστηρικτικών συστημάτων. Πιθανώς το πλοίο να μην έχει τη δυνατότητα να συμπεριλαμβάνει αυτό τον εξοπλισμό.
2. Την εγκατάσταση επιπλέον γεννητριών, για την αύξηση του εξοπλισμού και πιο συγκεκριμένα του μεγέθους του, έτσι ώστε να υπάρχει επιπρόσθετη κατανάλωση ισχύος.

3. Το σύστημα ενέργειας του πλοίου, το οποίο είναι βασικό να ενσωματωθεί με το νέο σύστημα.
4. Τα δίκτυα των σωληνώσεων.
5. Τις πιθανές επιπτώσεις που μπορούν να προκύψουν στην πυροστεγανότητα.
6. Την πιθανή επίδραση στη ευστάθεια και ισορροπία του πλοίου που πιθανό να προκύψει.

Υπάρχει όμως μία παράμετρος που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Είναι η νομοθεσία της κάθε χώρας για την λειτουργία των Scrubbers, ενώ παράλληλα υπάρχει και η περίπτωση της απαγόρευσης της λειτουργίας συγκεκριμένων Scrubbers σε ορισμένα λιμάνια (DNV-GL, 2018).

1.3.1 Περιγραφή της διαδικασίας εγκατάστασης – προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης

Στα πλοία υπάρχει το σύστημα ανάκτησης της θερμότητας αερίου με υγρό, που χρησιμοποιεί τη θερμότητα των καυσαερίων της κύριας μηχανής για την προθέρμανση του νερού από το λέβητα, που είναι τροφοδοτικό ή αλλιώς το Exhaust Gas Economizer γνωστό σαν (EGE) που είναι τοποθετημένο στο περίβλημα του συστήματος εξάτμισης, στο κάτω μέρος του κινητήρα, επάνω ακριβώς από την κύρια μηχανή ή το λέβητα (ABS, 2018).

Το σύστημα Scrubber θα μπορούσε πιθανών να τοποθετηθεί πάνω από τον οικονομητήρα, ακριβώς πάνω από το περίβλημα του συστήματος εξάτμισης, το οποίο συνήθως έχει μικρό μέγεθος. Η θέση αυτή πιθανόν να συνεπάγεται σημαντικές αλλαγές στο σχεδιασμό του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα ώστε να δημιουργηθεί ένας ικανοποιητικός χώρος, ο οποίος θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εγκατάστασης του συστήματος Scrubber στο επιθυμητό σημείο, οριζοντίως ή καθέτως (ABS, 2018).

Επιπρόσθετα, το σύστημα Scrubber μπορεί να τοποθετηθεί από τη κάτω πλευρά του λέβητα ή του οικονομητήρα. Κάποιοι συγκεκριμένοι τύποι Scrubber, μπορούν να αντικαταστήσουν τον σιγαστήρα της εξάτμισης, που αυτό έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον διαθέσιμο χώρο. Η μονάδα αυτή της έκπλυσης είναι συνήθως εγκατεστημένη εντός ή εκτός, αλλά πάντα δίπλα στη χοάνη.

Το φουγάρο είναι επίσης πιθανό να επηρεαστεί από την προσθήκη του Scrubber και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για ένα εφεδρικό σύστημα σωληνώσεων εξάτμισης, που θα μπορεί να χρησιμοποιείται ως “παράκαμψη” στην περίπτωση που το σύστημα Scrubber είναι υγρού τύπου, καθώς δεν έχει σχεδιαστεί για ξηρή λειτουργία. Σε περίπτωση που το Scrubber είναι εξοπλισμένο με σύστημα παράκαμψης καυσαερίων για κάθε μηχανή ή και λέβητα, οι έξοδοι καυσαερίου στην κορυφή του φουγάρου θα διατηρηθούν οπωσδήποτε, γιατί αυτοί θα χρησιμεύσουν ως σωλήνες παράκαμψης.

Άρα, το σύστημα Scrubber μπορεί να χρειαστεί μια ξεχωριστή εξάτμιση, που είναι στις πιο πολλές περιπτώσεις ίδια διαμέτρου με την υπάρχουσα εξάτμιση, ή κάποιες φορές και μεγαλύτερης διαμέτρου, εάν πρόκειται για ενσωματωμένο Scrubber, με αποτέλεσμα τα καυσαέρια να αναμειχθούν, αφού προέρχονται από περισσότερες από μια μηχανές ή λέβητες (ABS, 2018).

Αυτό οδηγεί στην ανάγκη για τουλάχιστον ενός νέου σωλήνα εξάτμισης ο οποίος θα είναι μεγάλος. Σε ένα φουγάρο που ο σωλήνας εξάτμισης είναι τυπικός και δεν υπάρχει επαρκής χώρος για να προστεθούν επιπλέον μεγάλοι σωλήνες εξάτμισης, θα πρέπει να γίνουν αντίστοιχες τροποποιήσεις. Αυτό μπορεί να γίνει είτε αυξάνοντας το μέγεθος του φουγάρου, είτε με την προσθήκη ενός σωλήνα εξάτμισης ο οποίος θα είναι εξωτερικός. Φυσικά στα πλοία και πιο συγκεκριμένα στα καινούρια, το μέγεθος του φουγάρου μπορεί να αυξηθεί όσο αυτό κρίνεται αναγκαίο, έτσι ώστε να είναι εφικτό να προσαρμοστεί στον εκτεταμένο αριθμό των σωλήνων εξατμίσεων (ABS, 2018).

Στα πλοία τα οποία μεταφέρουν χύδην φορτία, αλλά και στα τάνκερς τα οποία δεν έχουν πρυμνίο φορτίο του επιστεγάσματος, δίνεται η δυνατότητα συνήθως να επεκταθεί το σύστημα εξάτμισης του κινητήρα είτε στο πίσω μέρος, είτε στο πλάι προκειμένου να εγκατασταθεί το σύστημα Scrubber.

Σε αντίθεση όμως στα φορτηγά πλοία, τα οποία έχουν κοντό επιστέγασμα στο πρυμνίο, τα εμπορευματοκιβώτια (Ε/Κ) τοποθετούνται στο πίσω μέρος του. Για τη συγκεκριμένη κατηγορία πλοίων η επέκταση του συστήματος εξάτμισης του κινητήρα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χώρου αποθήκευσης στο πίσω μέρος του επιστεγάσματος.

Υπάρχει όμως και η πιθανότητα ο χώρος για τη τοποθέτηση του συστήματος Scrubber αλλά και του εξοπλισμού που το συνοδεύει, να μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μην επηρεαστούν τα υπόλοιπα συστήματα του πλοίου όσο αφορά τις τροποποιήσεις.

Επίσης, πέραν από τις μετατροπές που ήδη έχουν αναφερθεί, υπάρχουν και άλλα στοιχεία που πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπόψιν και αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα παρεμβάσεις στα ήδη υπάρχοντα συστήματα του πλοίου, εάν και εφόσον είναι απαραίτητες. Τα στοιχεία αυτά είναι τα παρακάτω:

- Ύπαρξη αρκετού χώρου για τις νέες αντλίες και τα συστήματα των σωληνώσεων, συμπεριλαμβανομένου και του νέου χώρου που βρίσκεται κοντά στον πυθμένα του πλοίου, όπου το σύστημα σωληνώσεων του πλοίου αντλεί ακατέργαστο ακάθαρτο νερό για ψύξη, καθώς και άλλες λειτουργίες.
- Ύπαρξη επαρκούς χώρου για τη φύλαξη αλκαλικών υλικών, μόνο για την περίπτωση Scrubbers κλειστού κυκλώματος.
- Ύπαρξη χώρου για επεξεργασία λυμάτων.

Άρα από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα Scrubbers αποτελούν μια αρκετά οικονομική λύση, αν και παρουσιάζουν δυσκολίες στην εγκατάστασή τους, ειδικά σε παλαιότερα πλοία, τα οποία δεν διαθέτουν τις απαραίτητες υποδομές και τον χώρο, που απαιτείται για την εγκατάσταση του συστήματος αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Οφέλη και χρησιμότητα των συστημάτων Scrubbers

2.1 Η συμβολή των Scrubbers στην προστασία του περιβάλλοντος

Οι εκπομπές των ρύπων από τις μηχανές των πλοίων είναι πολύ πιθανόν ότι θα αυξηθούν τις επόμενες δεκαετίες σημαντικά, μαζί με την ολοένα αυξανόμενη ναυτιλιακή δραστηριότητα. Το 80% περίπου των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν το 2007 – 2011 στην εμπορική ναυτιλία, ήταν καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, τα οποία εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του αζώτου, οξειδίων του θείου, αεροζόλ, πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες και βαρέα μέταλλα κατά την καύση τους (Cooper and Gustafsson, 2004).

Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, έχουν γίνει προσπάθειες, σε παγκόσμιο επίπεδο, για τη μείωση των εκπομπών ρύπων από τη ναυτιλία, με σκοπό τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όσο αυτό είναι δυνατόν, εξαιτίας των εκπεμπόμενων ρυπαντών. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization – IMO) σύμφωνα με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει θεσπίσει τα όρια στις εκπομπές ρύπων, για τις χημικές ενώσεις του θείου, τα οποία περιγράφονται στους διεθνείς κανονισμούς που έχουν εκδοθεί (MARPOL, 2017).

Φυσικά έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες μείωσης των ενώσεων του θείου που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, τις τελευταίες δεκαετίες. Τα συστήματα Scrubbers, οι ανατροφοδότες καυσαερίων και οι κινητήρες νέας τεχνολογίας είναι μερικές από αυτές τις τεχνολογίες. Τα συστήματα Scrubbers όμως, κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες και αυτό επειδή είναι αποτελεσματικά στον τομέα του περιορισμού των ρυπαντών και επιπλέον έχουν χαμηλό κόστος κτήσης και συντήρησης.

Τα συστήματα Scrubbers μπορούν να χρησιμοποιούν θαλασσινό ή γλυκό νερό ως μέσο καθαρισμού των ρύπων και χρησιμοποιούνται προοδευτικά από τις περισσότερες ναυτιλιακές εταιρίες οι οποίες καλούνται να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς για τις εκπομπές των ρύπων.

Η τεχνολογία καθαρισμού των συστημάτων Scrubbers, αφαιρεί τα οξείδια του θείου με πολύ μεγάλη αποτελεσματικότητα, καθώς επίσης απομακρύνει σε ικανοποιητικό βαθμό και τα οξείδια του αζώτου..

Η συμβολή των συστημάτων Scrubbers για τη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος στον περιορισμό των χημικών ενώσεων του θείου είναι αδιαμφισβήτητη. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις θείου στην ατμόσφαιρα οδηγούν στην αύξηση των αερολυμάτων θειικού οξέος, και κατά συνέπεια σε επιβλαβή αποτελέσματα για το οικοσύστημα , εξαιτίας της χερσαίας απόθεσής του, μέσω των βροχοπτώσεων (Galloway et al. 1983).. Εκτιμήθηκε ότι το 2010 , οι εκπομπές διοξειδίου του θείου από τη ναυτιλία ήταν τριπλάσιες από τις αντίστοιχες εκπομπές από όλα τα υπόλοιπα χερσαία και εναερία μέσα μεταφοράς (Eyring et al., 2005).

Η χρήση των συστημάτων Scrubbers που χρησιμοποιείται στη ναυτιλία συντελεί επίσης και στον περιορισμό των ενώσεων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Λόγω των βροχοπτώσεων, η χερσαία και θαλάσσια εναπόθεση των νιτρικών ενώσεων, συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση του φαινομένου του ευτροφισμού στις λίμνες και στα ποτάμια (Bonnet et al., 2005). Συνεπώς η χρήση των συστημάτων Scrubbers στη ναυτιλία συμβάλλει στη μείωση των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα και κατά επέκταση στον περιορισμό του φαινομένου του ευτροφισμού οδηγώντας έτσι στη διατήρηση της βιολογικής ισορροπίας στο οικοσύστημα.

Φυσικά όμως, ανεξαρτήτως από τα περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από τη χρήση των συστημάτων Scrubbers στη ναυτιλία, υπάρχει ως ένα βαθμό ελλιπής κατανόηση των επιπτώσεων από την απόρριψη του νερού έκπλυσης των Scrubbers στη θάλασσα. Αυτές οι επιπτώσεις είναι δυνατόν να επηρεάζουν τη θαλάσσια χημεία, τη βιοποικιλότητα, καθώς και τις βιογεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο οικοσύστημα.

2.2 Μειονεκτήματα και παράπλευρες επιπτώσεις της χρήσης των Scrubbers

Από τον Ιανουάριο του 2015, στις περιοχές SECA (Sulphur Emission Control Areas), επιτρέπεται στις μηχανές των πλοίων η χρήση καυσίμων που περιέχουν θείο σε ποσοστό 0.1%. Από το 2020 όμως αυτό το όριο πρόκειται να μειωθεί σε 0.5%, και να ισχύει για όλες τις θάλασσες και τους ωκεανούς και όχι μόνο για τις περιοχές SECA (Lange et al., 2015).

Αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα το γεγονός ότι τα συστήματα Scrubbers μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτική λύση έναντι των καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Τα συστήματα Scrubbers όχι μόνο μειώνουν τις εκπομπές των ρύπων, αλλά παράγουν και απόβλητα που πολλές φορές μπορούν να απορρίπτονται στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα διάφορα είδη των συστημάτων Scrubbers διαφέρουν ως προς τα συστατικά που περιέχουν τα απόβλητά τους, καθώς και ως προς την περιβαλλοντική τους επίπτωση.

Η χρήση των συστημάτων Scrubbers στη ναυτιλία, σε μεγάλη κλίμακα ενδέχεται να υποβαθμίσει το περιβάλλον σε μεσομακροπρόθεσμο επίπεδο, μειώνοντας το pH του νερού, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και τη θολότητά του και απορρίπτοντας στο νερό ρύπους και προϊόντα καύσης από τις μηχανές των πλοίων. Λαμβάνεται υπόψη επιπλέον και η περιεκτικότητα του νερού σε βαρέα μέταλλα, όπως είναι το χρώμιο, ο χαλκός, το νικέλιο, ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος (Blano, 2012).

Λόγο αποβλήτων των συστημάτων Scrubbers μειώνεται το pH του θαλασσινού νερού, το οποίο θα εμφανιστεί πιθανόν σε βραχυμεσοπρόθεσμο ορίζοντα, σε αντίθεση με τη μακροπρόθεσμη μείωση του pH εξαιτίας της αλλαγής του κλίματος. Το μειωμένο pH έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του φυτοπλαγκτόν και κατά συνέπεια αρνητικές επιπτώσεις στη θαλάσσια τροφική αλυσίδα. Φυσικά εξαιρέση αποτελούν τα φύκια, τα οποία αναμένεται να αναπτυχθούν με τη μείωση του pH. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως, όπου το pH και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του νερού θα φέρουν συνδυαστικά αποτελέσματα, ενώ η μείωση του pH πρόκειται να επιφέρει μεγαλύτερες επιπτώσεις σε λίμνες και ποτάμια αντί στην ανοικτή θάλασσα (Mayer and Piepenburg, 1996).

Η αλατότητα αλλά και η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού είναι αυτά που καθορίζουν τις φυσικές συνθήκες μιας θάλασσας. Μία θέρμανση του νερού που προκαλείται από την απόρριψη αποβλήτων από τα συστήματα Scrubbers, οδηγεί πρωτίστως σε αλλαγές των φυσικών ιδιοτήτων του νερού, και ως εκ τούτου σε μεταβολές των βιολογικών διεργασιών των θαλάσσιων οργανισμών. Επιπλέον, με την αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζεται και η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό, που επίσης δημιουργεί πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, η ποσότητα του οξυγόνου που μπορεί να διαλυθεί στο νερό μειώνεται.

Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας του νερού, μπορεί να κάνει το θαλάσσιο περιβάλλον μη βιώσιμο για ορισμένα είδη ζωής στη θάλασσα, που απαιτούν μεγάλες ποσότητες οξυγόνου στο νερό προκειμένου να επιβιώσουν (Lange et al., 2015).

Επίσης η αύξηση της θολότητας του νερού μπορεί να αυξηθεί από την απόρριψη των αποβλήτων από τα συστήματα Scrubbers στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η θολότητα αυτή θα επηρεάσει την ένταση του φωτός που περνά στη θάλασσα και αυτό πρόκειται να προκαλέσει αρνητικές συνέπειες στη φωτοσύνθεση του φυτοπλαγκτόν και ως εκ τούτου και στην τροφική αλυσίδα. Επίσης, η αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο νερό, πιθανόν να προκαλέσει απόφραξη στα βράγχια των ψαριών, οδηγώντας τα στη μείωση του πληθυσμού τους. Τα αιωρούμενα αυτά στερεά, μπορούν επίσης να επιβαρυνθούν με βαρέα μέταλλα τα οποία είναι πολύ πιθανόν ότι θα προξενήσουν βλάβες στα κύτταρα των ψαριών και κατά συνέπεια και στον άνθρωπο (GDCh, 1996).

Τέλος αρνητικά αποτελέσματα επιφέρουν στους θαλάσσιους οργανισμούς και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), που περιέχονται στα απόβλητα των συστημάτων Scrubbers. Οι ρύποι αυτοί αποδυναμώνουν το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών, ενώ παράλληλα προκαλούν και καρκινογενέσεις (Kammann and Haarich, 2009).

2.3 Βλάβες των Scrubbers και οι συνέπειες τους

Τα συστήματα Scrubbers δύναται να παρουσιάσουν βλάβες και να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία των συσκευών. Μπορεί να προκαλέσουν μία σειρά προβλημάτων, όπως ζημιές στα κατώτερα τμήματα του πλοίου, διακοπές λειτουργίας εκεί που δεν το περιμένει κανείς, υψηλού κόστους επισκευές και θέματα που σχετίζονται με την ασφάλεια του σκάφους αλλά και του πληρώματος. Τα προβλήματα τα οποία εμφανίζονται συχνά κατά τη λειτουργία των συστημάτων Scrubbers είναι τα παρακάτω:

Εναποθέσεις των αλάτων: Τα όρια διαλυτότητας στο νερού είναι συγκεκριμένα για όλα τα μεταλλικά στοιχεία που υπάρχουν σε αυτό. Εξαρτώνται από τη σύνθεση και τη θερμοκρασία.

Τα συστήματα Scrubbers απομακρύνουν τα όξινα συστατικά από τον αποτεφρωτήρα καυσαερίων, μέσω της απορρόφησης τους στο νερό και της εξουδετέρωσής τους με NaOH ή CaCO₃, ουσίες που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή του οξέος στο αντίστοιχο άλας. Τα άλατα σε συνδυασμό με τα μεταλλικά στοιχεία που υπάρχουν στο νερό, πρόκειται να καθορίσουν την εναπόθεσή τους επάνω στις επιφάνειες με τις οποίες έρχονται σε επαφή. Τη στιγμή που η συγκέντρωση αυτή υπερβεί το όριο διαλυτότητας στο διάλυμα, τα άλατα θα αρχίσουν να εναποτίθενται στην πρώτη διαθέσιμη επιφάνεια, όπως στο εσωτερικό περίβλημα ή σε άλλα εσωτερικά τμήματα του συστήματος Scrubber, μπλοκάροντας έτσι την τελική ροή. Φυσικά η επικάθιση των αλάτων μπορεί να αποφευχθεί κρατώντας τα σε χαμηλά επίπεδα μέσα στο διάλυμα. Η χρήση ουσιών όπως το NaOH, μπορεί επίσης να αποδειχτεί ότι είναι εξαιρετικά επικίνδυνη για την υγεία του πληρώματος, αφού πρόκειται για ισχυρή διαβρωτική ουσία και προκαλεί πολύ σοβαρά εγκαύματα σε περίπτωση επαφής με το δέρμα κατά τη χρήση του.

Υποχλωριώδες Νάτριο (NaOCl): Το νάτριο αυτό αποτελεί προϊόν της εξουδετέρωσης του Cl₂ από το NaOH. Η ένωση αυτή μπορεί να αποδειχτεί πως είναι αρκετά επιβλαβής για πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού, γνωστό ως FRP που δεν τηρεί τις κατάλληλες προδιαγραφές της κατασκευής του και χρησιμοποιείται σε περιβλήματα ή σωλήνες κυκλοφορίας, καθώς το NaOCl προκαλεί φθορές στις ίνες του γυαλιού και σταδιακά τις καταστρέφει. Επίσης εάν το υγρό το οποίο αποβάλλεται έχει υποστεί οξίνιση, το νάτριο διασπάται, ελευθερώνοντας ταυτόχρονα αέριο χλώριο.

Θερμική βλάβη: Στα συστήματα Scrubbers οι περισσότεροι αποτεφρωτήρες είναι κατασκευασμένοι με τα πιο φθηνά και διαθέσιμα οξεάντοχα υλικά της αγοράς. Συνήθως χρησιμοποιούνται το FRP, το πολυπροπυλένιο ή αντίστοιχα υλικά που εμφανίζουν ευαισθησία στις υψηλές θερμοκρασίες. Το υψηλής θερμοκρασίας καύσιμο θα πρέπει να έχει ψυχθεί πριν από τη διαδικασία καθαρισμού των αερίων στο σύστημα Scrubber.

Ψήγματα αλάτων και Αερολυμάτων SO₃: Τα συστήματα Scrubbers τα οποία είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να απομακρύνουν τα όξινα αέρια, δεν απομακρύνουν εξίσου αποτελεσματικά τα μικροσωματίδια.

Τα οργανικά υγρά απόβλητα τροφοδοτούνται απευθείας στη ζώνη καύσης του αποτεφρωτήρα, εφόσον περιέχουν άλατα, ώστε να επιτευχθεί σταθερή καύση. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην συγκεκριμένη αυτή περιοχή, είναι πολύ πιθανόν ότι θα οδηγήσει σε αεριοποίηση των συστατικών του άλατος.

Όταν οι ατμοί αυτοί ψυχθούν στη θερμοκρασία του κλιβάνου, συμπυκνώνονται σε σταγονίδια τα οποία στη συνέχεια ψύχονται ακόμη περισσότερο στο τμήμα ψύξης καυσαερίων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σωματιδίων άλατος. Παρόμοια σωματίδια μπορεί να παρατηρηθούν κατά τη διάρκεια καύσης οποιουδήποτε αποβλήτου που περιέχει θείο. Σε περίπτωση που το τριοξείδιο του θείου που υπάρχει στον κλίβανο έρθει σε επαφή με το υγρό έκλυσης, δηλαδή το νερό, πριν από το τελικό στάδιο καθαρισμού των συγκεκριμένων αερίων θα σχηματισθούν σταγονίδια θειικού οξέος.

Σπηλαιώση της αντλίας: Σε αρκετά συστήματα Scrubbers το υγρό έκλυσης (νερό) κυκλοφορεί με κύριο σκοπό να μειωθεί ο ρυθμός απόρριψης στην μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων. Η σπηλαιώση της αντλίας κυκλοφορίας, πιθανόν να υποστεί ραγδαία μείωση του ρυθμού παροχής του υγρού έκλυσης (νερού), και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υποστεί ζημία ή ακόμη και να καταστραφεί.

Κανάλια και υπερχειλίση: Τα συστήματα Scrubbers είναι πιθανόν να έχουν πολλά διαφορετικά στρώματα , τα οποία περιέχουν και τα απαραίτητα χημικά σε υγρή μορφή, μέσα από τα οποία περνούν τα καυσαέρια για τον καθαρισμό τους. Τα καυσαέρια είναι δυνατόν να μην καθαριστούν αποτελεσματικά εάν τα υγρά δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε ολόκληρο τον όγκο του στρώματος.

Μήκος σωληνώσεων και προβλήματα ψύξης: Ακόμη κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη και είναι πολύ πιθανόν ότι θα επηρεάσει την καλή λειτουργία των συστημάτων Scrubbers είναι οι καιρικές συνθήκες. Η εγκατάσταση των συστημάτων Scrubbers, όπως γνωρίζουμε, γίνεται συχνά στο φουγάρο λόγω έλλειψης χώρου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα άντληση του νερού για μεγάλη απόσταση. Τα πλοία τα οποία πρόκειται να πλεύσουν σε αρκτικές περιοχές που η θερμοκρασία είναι πολύ πιθανόν να βρίσκεται κάτω από τους $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να εμφανίσουν έμφραξη του συστήματος σωληνώσεων λόγω ψύξης (Pettersson and Thune, 2011).

Τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που είναι πιθανόν να παρουσιαστούν κατά τη χρήση αλλά και τη λειτουργία των συστημάτων Scrubbers είναι η χαμηλή ροή των αερίων, η χαμηλή ροή αλλά και η περιορισμένη διανομή του υγρού, η χρήση των υγρών έκπλυσης (νερό) με μεγάλη περιεκτικότητα σε ρυπογόνες ουσίες και οι εναποθέσεις αλάτων σε τμήματα του συστήματος Scrubber.

Στο παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα πιο συνηθισμένα προβλήματα και οι επιπτώσεις που έχουν, καθώς και το αίτιο που το προκαλεί.

Βλάβες και Δυσλειτουργίες	Αποτέλεσμα	Αιτία
Διαρροές νερού και καυσαερίων	Διάβρωση του Scrubber	Συγκέντρωση συμπυκνωμένου θειικού οξέος στα τοιχώματα.
Υπερχείλιση και Διακοπή της ροής του νερού	Αποτυχία παροχής νερού Ψύξη του νερού	Οι βαλβίδες παροχής του νερού μπορεί να έχουν παραμείνει στην ανοιχτή ή και κλειστή θέση. Διακοπή λειτουργίας της αντλίας. Το σύστημα σωληνώσεων σύνδεσης με το Scrubber, συχνά έως και τη χοάνη παγώνει, κυρίως εάν η πλεύση γίνεται στις αρκτικές περιοχές.
Βλάβη στο σκάφος και τα υποσυστήματά του	Η απόρριψη των λυμάτων προκαλεί διάβρωση, κυρίως στην προπέλα	Το θείο στο νερό προκαλεί διάβρωση στην προπέλα, το υλικό κατασκευής της οποίας είναι συνήθως ένα κράμα αλουμινίου με χαλκό.

<p>Βλάβες στον εξοπλισμό και επιπτώσεις στην υγεία του πληρώματος</p>	<p>Χρήση πρόσθετων ουσιών</p>	<p>Το NaOH είναι μία ισχυρά διαβρωτική ουσία η οποία προκαλεί σοβαρά εγκαύματα εάν έρθει σε επαφή με το δέρμα.</p>
---	-------------------------------	--

Πίνακας 2.1: Οι συνηθέστερες βλάβες, τα αίτια και τα αποτελέσματα (Pettersson and Thune, 2011)

2.4 Τρόποι αντιμετώπισης βλαβών και Συντήρηση

Όλα τα πιο πάνω προβλήματα μπορούν να αποφευχθούν εξαρχής, είτε να αντιμετωπιστούν, έτσι ώστε η λειτουργία των συστημάτων Scrubbers να γίνεται με ασφάλεια και να λειτουργούν με τρόπο που να εξυπηρετούν τον αρχικό σκοπό για τον οποίο έχουν σχεδιαστεί, ενώ παράλληλα να περιορίζονται στο ελάχιστο, όσο περισσότερο γίνεται, οι αρνητικές επιπτώσεις που πιθανόν να φέρει η χρήση τους. Με την τακτική παρακολούθηση λειτουργίας των διάφορων τμημάτων των συστημάτων Scrubbers, είναι δυνατή η πρόληψη ή ο άμεσος εντοπισμός του προβλήματος, που πιθανόν να παρουσιαστεί καθώς και η άμεση αποκατάστασή του.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συνηθέστερα προβλήματα που είναι δυνατόν να παρουσιαστούν στα τμήματα από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα Scrubber, αλλά επίσης και πώς μπορούν να αντιμετωπιστούν ή ακόμη και να αποφευχθούν.

Ανεμιστήρες: Τα πιο συχνά προβλήματα τα οποία παρουσιάζουν μετά ή πριν την τοποθέτηση από το κυρίως σώμα είναι :

1. Φθορές που πιθανόν να προέρχονται από τριβές και συσσώρευση των στερεών σωματιδίων, όταν η συγκέντρωση της σκόνης είναι υψηλή. Η φθορά η οποία οφείλεται σε τριβές είναι πολύ πιθανόν να περιοριστεί με την επένδυση του τροχού με κατάλληλα ανθεκτικά κράματα ή μειώνοντας την ταχύτητα στροφής που διατηρεί ο ανεμιστήρας. Η ανεμιστήρες μεγάλου μεγέθους περιστρέφονται με χαμηλότερη ταχύτητα.

2. Συσσώρευσης και διάβρωσης στερεών σωματιδίων από την αχλή που ξεφεύγει από τις διατάξεις διαχωρισμού, που αφορά τους ανεμιστήρες που βρίσκονται μετά από το κυρίως σώμα. Η διάβρωση δύναται να αποφευχθεί, εφόσον χρησιμοποιηθούν τα σωστά κατασκευαστικά υλικά καθώς και με προσεκτική ρύθμιση του pH μέσα στο σύστημα Scrubber. Το πρόβλημα αρχίζει όταν συσσωρευμένα σωματίδια αρχίζουν να αποκολλούνται από την επιφάνεια του τροχού και επηρεάζουν την σωστή λειτουργία του ανεμιστήρα. Τα προβλήματα που δημιουργεί η συσσώρευση στερεών σωματιδίων περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό, εφόσον οι λεπίδες του ανεμιστήρα ψεκάζονται με καθαρό νερό.

Αγωγοί: Τα πιο συχνά προβλήματα που παρουσιάζονται στους αγωγούς είναι φθορές λόγω τριβών και διάβρωσης. Οι φθορές που προέρχονται από τριβές εντοπίζονται κυρίως στους αγωγούς που εισέρχονται στο σύστημα Scrubber, ενώ αυτές που προέρχονται από διάβρωση, στους αγωγούς που εξέρχονται από αυτό. Η σωστή και προσεκτική επιλογή των υλικών κατασκευής και οι κατάλληλες εκτεταμένες επενδύσεις στους αγωγούς είναι φανερό ότι βοηθούν στην αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Για τους αγωγούς εξόδου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικά κράματα που να είναι ανθεκτικά στα οξέα. Επίσης η μόνωση των αγωγών είναι πολύ πιθανόν να εμποδίζει και την συμπύκνωση των οξέων των καυσαερίων.

Αντλίες: Ένας μεγάλος αριθμός αντλιών χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του υγρού έκπλυσης αλλά επίσης και της λυματολάσπης. Υπάρχουν κάποιοι παράμετροι για την σωστή επιλογή της αντλίας, όπως η ταχύτητα ροής, η πίεση και η θερμοκρασία. Τα πιο συνηθισμένα προβλήματα έχουν να κάνουν με τις φθορές λόγω τριβών και τη διάβρωση στην περίπτωση των αντλιών. Η φθορές που προέρχονται από τις τριβές οφείλονται στη συσσώρευση των στερεών σωμάτων στο υγρό έκπλυσης. Η πιθανότητα φθοράς της αντλίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί στραγγίζοντας το υγρό και απομακρύνοντας τα σωματίδια πριν τη διαδικασία ανακύκλωσης και επαναφοράς του στην αντλία. Οι περισσότερες κατασκευαστικές εταιρίες υποδεικνύουν να μην γίνεται χρήση υγρών στα οποία η περιεκτικότητα των στερεών σωματιδίων ξεπερνάει το 15% (EPA 1982).

Ακροφύσια: Το κυρίως πρόβλημα που παρουσιάζεται στα συστήματα Scrubber είναι το φράξιμο των ακροφύσιων με αποτέλεσμα να περιορίζεται η επικοινωνία μεταξύ των καυσαερίων και των υγρών. Επιπλέον μπορεί να οδηγήσει σε πιθανή συσσώρευση αλάτων ή και σε καταστροφή, λόγω υπερθέρμανσης, των τμημάτων του συστήματος Scrubber που προηγουμένως είχαν ψεκαστεί. Το φράξιμο των ακροφύσιων είναι πολύ πιθανόν να εντοπιστεί άμεσα, εφόσον παρακολουθείται η ροή ψεκασμού ή στην περίπτωση που το συγκεκριμένο τμήμα δεν είναι προσβάσιμο άμεσα, μια ένδειξη αποτελεί η μείωση στη ροή του υγρού. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρόποι αντιμετώπισης :

1. Αντικατάσταση του ακροφύσιου από κάποιο με μεγαλύτερο άνοιγμα.
2. Αρκετά συχνός καθαρισμός του ακροφύσιου.
3. Φιλτράρισμα του υγρού.
4. Αύξηση του ρυθμού απαγωγής του ρευστού και επαναπροσδιορισμός της παροχής.

Σωληνώσεις: Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό τμήμα του συστήματος Scrubber, μια που διαμέσου αυτών λαμβάνει χώρα η μεταφορά του υγρού προς και από το σύστημα Scrubber. Οι σωλήνες είναι επιρρεπείς στις φθορές λόγω των τριβών , στη διάβρωση αλλά και στο φράξιμο. Τα συγκεκριμένα αυτά προβλήματα δύναται όμως να αποφευχθούν, εάν γίνει η κατάλληλη επιλογή υλικών για την κατασκευή τους.

Διατάξεις διαχωρισμού: Οι διαχωριστές αποτελούν πολύ χρήσιμο υλικό στην απομάκρυνση των σταγονιδίων του υγρού, πριν τα καυσαέρια να ελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα. Αποτελούν συχνά αναπόσπαστα τμήματα των υγρών Scrubbers. Τα πιο βασικά είδη των διαχωριστών είναι τρία (Cyclonic, Mesh-pad, Blade) και τα προβλήματα που παρουσιάζονται αφορούν όλους, σε κάποιους λιγότερο και σε κάποιους περισσότερο, ανάλογα με το είδος τους. Η πιο βασική ένδειξη κατά τη λειτουργία αλλά και την παρακολούθηση της απόδοσης ενός διαχωριστή είναι η πτώση της πίεσης. Παρακάτω αναφέρονται τα προβλήματα που προκύπτουν από την μέτρηση της πίεσης κατά μήκος του διαχωριστή:

1. Η πτώση της πίεσης αποτελεί ένδειξη μετακίνησης του διαχωριστή από την αρχική θέση ή ακόμα και θραύσης αυτού.

2. Η αύξηση της πίεσης του νερού φανερώνει συσσώρευση υλικών σωμάτων στον διαχωριστή ακόμα και κατά 0.5 cm.

Ένα ακόμη πιθανό πρόβλημα αποτελεί η ταχύτητα των καυσαερίων, η οποία πρέπει να βρίσκεται κάτω από ένα ελάχιστο όριο ώστε να αποφεύγεται η ανατροφοδότηση του υγρού.

Το συμπέρασμα είναι ότι τα συστήματα Scrubbers απαιτούν σωστή και προσεκτική επιλογή όσο αφορά στην επιλογή των κατασκευαστικών υλικών, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα λόγω φθοράς και διαβρώσεων.

Προκειμένου να υπάρξει γρήγορη αποκατάσταση των προβλημάτων, είναι σημαντικό η χρήση και συντήρηση του κατάλληλου εξοπλισμού παρακολούθησης και καταγραφής της απόδοσης των συστημάτων, έτσι ώστε τα προβλήματα να εντοπίζονται εγκαίρως.

Οι παράμετροι που πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς επειδή καταδεικνύουν προβλήματα είναι:

1. Η πίεση.
2. Η θερμοκρασία.
3. Το pH.
4. Η ροή του νερού.

Τα συστήματα Scrubbers θα πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να τηρούν αυστηρές προδιαγραφές, τόσο στην επιλογή των υλικών, όσο και στη συνδεσμολογία των τμημάτων από τα οποία αποτελούνται. Να ελέγχονται και να υπόκεινται σε τακτική συντήρηση καθώς είναι αυτονόητο, ότι τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία τους μπορεί να έχουν πολύ μεγάλο περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΗ ΣΥΜΜΟΡΦΟΥΜΕΝΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Κανονισμοί για την αντιμετώπιση και τη μείωση των εκπομπών ρύπων από τη ναυτιλία.

3.1 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Ο διεθνής ναυτιλιακός οργανισμός (IMO) προκειμένου να αντιμετωπίσει την πρόληψη της ρύπανσης, δημιούργησε μια διεθνή σύμβαση, τη MARPOL, που το παράρτημα VI αναφέρεται συγκεκριμένα στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία και ανεξαρτήτως αν υιοθετήθηκε το 1997, ωστόσο τέθηκε σε ισχύ το 2005. Το συγκεκριμένο παράρτημα δημιουργήθηκε για να έχει την δυνατότητα ο διεθνής ναυτιλιακός οργανισμός (IMO) να θέσει συγκεκριμένα όρια στη ναυτιλία για τις εκπομπές των οξειδίων του θείου (SO₂) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x), τα οποία θεωρούνται οι κυριότεροι ρύποι, καθώς και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM), των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCS), όπως επίσης και του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

3.1.1 Κανονισμοί IMO

Το διοξείδιο του θείου (SO₂), αποτελεί ένα αέριο ρύπο που συμβάλλει στην ενίσχυση της όξινης βροχής τόσο περιφερειακά, όσο και τοπικά, λόγω της διασποράς των ρύπων αλλά και των καιρικών συνθηκών. Σε αντίθεση με τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x), των αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και του SO₂ είναι ευκολότερα αντιμετωπίσιμες.

Στον παρακάτω **πίνακα (15)** αναφέρονται τα όρια που έχει θέσει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) μέσω του παραρτήματος VI, για την μείωση της περιεκτικότητας του θείου στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τη ναυτιλία, αλλά κατά συνέπεια και για την μείωση των εκπομπών των SO₂ εντός και εκτός των περιοχών SECAs.

Οι περιοχές SECA (Sulphur Emmission Control Areas) αποτελούν παράρτημα VI της MARPOL που υιοθετήθηκε αρχικά το 1997 και περιορίζει τους κύριους ατμοσφαιρικούς ρυπάντες που περιέχονται στα καυσάγια των πλοίων, που περιλαμβάνουν το οξείδιο του θείου (SO_x) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και απαγορεύει τις ηθελημένες εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον. Καθιερώνει απαιτήσεις για την αποτέφρωση στα πλοία και για τον έλεγχο των εκπομπών αλλά και των πτητικών οργανικών ενώσεων από τα δεξαμενόπλοια (ΔΞ).

Πίνακας 15: Όρια περιεκτικότητας σε θείο (S%) στα καύσιμα που χρησιμοποιεί η ναυτιλία. Πηγή: IMO, 2008

Εκτός περιοχών SECA	Εντός περιοχών SECA
4,50% (κ.β.) πριν την 1η Ιανουαρίου 2012.	1,50% κ.β. πριν την 1η Ιουλίου 2010.
3,50% (κ.β.) κατά και μετά την 1η Ιανουαρίου 2012.	1,00% κ.β. κατά και μετά την 1η Ιουλίου 2010.
0,50% (κ.β.) κατά και μετά την 1η Ιανουαρίου 2020.	0,10% κ.β. κατά και μετά την 1η Ιουλίου 2015.

Όπως μπορούμε να δούμε στον **Πίνακα (15)**, πριν από την 1^η Ιανουαρίου του 2012, η περιεκτικότητα του θείου που περιείχε το καύσιμο που χρησιμοποιούσαν τα πλοία εκτός των περιοχών SECA ήταν 4.5%. Μετά από αυτή την ημερομηνία ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) μείωσε την περιεκτικότητα στο 3.5% ,ένα ποσοστό που ίσχυσε μέχρι το 2020. Από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 το ποσοστό περιεκτικότητας του θείου που χρησιμοποιούν τα πλοία που ταξιδεύουν εκτός των περιοχών SECA μειώθηκε στο 0.5% κατά βάρος.

Σε αυτές τις ειδικές περιοχές τα όρια στη χρήση του καυσίμου από τα πλοία με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο είναι πιο αυστηρά. Πριν τον Ιούλιο του 2010, η περιεκτικότητα θα έπρεπε να βρισκόταν στο 1.5% θείο στο καύσιμο κατά την έλευση των πλοίων στις περιοχές SECA, ενώ μετά την 1^η Ιουλίου του 2010 και για 5 χρόνια το ποσοστό της περιεκτικότητας που περιείχε το καύσιμο που θα έπρεπε να χρησιμοποιούν τα πλοία σε αυτές τις περιοχές βρισκόταν στο 1%.

Την 1^η Ιουλίου του 2015 και μετά, η περιεκτικότητα είχε μειωθεί στο 0,1% σε θείο που αυτό συνεπάγεται σε μείωση κατά 90% από το 2010.

Με βάση τη τελευταία μελέτη διαθεσιμότητας καυσίμου σε χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο που διεξήγαγε η CE Delft τον Ιούλιο του 2016 για τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), είχε γίνει πρόβλεψη για τη διαθεσιμότητα του καυσίμου και αν η ζήτηση καλύπτει την προσφορά. Ο σκοπός αυτής της πρόβλεψης ήταν να εντοπισθεί το κατά πόσο είναι ικανά τα διυλιστήρια να διαθέσουν το 2020 καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο στο 0.5% ή και ακόμη λιγότερο. Αυτό που μας ενδιαφέρει εμάς είναι η αναλογία προσφοράς ή και ζήτησης να είναι μεγάλη, δηλαδή η προσφορά να είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, έτσι ώστε να θεωρηθεί ότι θα υπάρξει κάλυψη σε περίπτωση μεγαλύτερης ζήτησης. Στον πιο κάτω **πίνακα (16)**, γίνεται αναφορά και πρόβλεψη της ζήτησης και προσφοράς για το 2020 για 7 μεγάλες περιοχές.

Πίνακας 16: Παγκόσμια ζήτηση και προσφορά καυσίμου πλοίου για το 2020 (εκατ. τόνοι/ χρόνο), Πηγή: CE Delft, 2016: 51.

Βασική περίπτωση ζήτησης καυσίμου πλοίου 2020 (προσφορά)			
Θείο (%) m/m	Καύσιμα που προέρχονται από το πετρέλαιο (% θείο)		
	< 0.1%	0.1 – 0.5%	> 0.5%
Αφρική	2 (2)	12 (9)	1 (1)
Ασία	18 (18)	110 (104)	15 (15)
Ευρώπη	9 (9)	54 (55)	8 (8)
Βόρεια Αμερική	4 (4)	26 (17)	3 (3)
Λατινική Αμερική	3 (3)	21 (24)	3 (3)
Μέση Ανατολή	1 (1)	5 (18)	4 (4)
Ρωσία & CIS	1 (1)	7 (7)	1 (1)
Παγκόσμια	39 (39)	233 (233)	36 (36)

Στον πιο πάνω **πίνακα (16)**, βλέπουμε ότι η παγκόσμια προσφορά και ζήτηση είναι ίσες, δηλαδή στην έρευνα αυτή φαίνεται ότι σε περίπτωση που υπάρξει αύξηση της ζήτησης, είτε τα διυλιστήρια δεν θα είναι ικανά να προμηθεύουν καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, είτε θα καλύψουν ακριβώς τη ζήτηση που σύμφωνα με την πρόβλεψη θα υπάρξει. Στον **πίνακα (16)** είναι φανερό πως βάσει της έρευνας της CE Delft (2016), αν υπάρχει συνεργασία μεταξύ των χωρών, κάποιες χώρες θα τροφοδοτούν κάποιες άλλες για να καλύπτει η ζήτηση την προσφορά, όπως φαίνεται και στον παρακάτω **πίνακα (17)**.

Πίνακας 17: Ροές εμπορίου του HFO με περιεκτικότητα θείου μικρότερη από 0,50% για το 2020 (χιλιάδες τόνοι τον χρόνο), Πηγή: CE Delft, 2016: 51.

Από/προς (S<0.5%)	Αφρική	Ασία	Ευρώπη	Βόρεια Αμερική	Λατινική Αμερική	Μέση Ανατολή	Ρωσία CIS
Μέση Ανατολή	3	6	0	4	0	0	0
Ευρώπη	0	0	0	1	0	0	0
Λατινική Αμερική	0	0	0	3	0	0	0

Όπως βλέπουμε στον **Πίνακα (17)**, η περιοχή της Μέσης Ανατολής θα προμηθεύει καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο την Αφρική, την Ασία αλλά και την βόρεια Αμερική. Η Ευρώπη μόνο την Βόρεια Αμερική, όπως και η Λατινική Αμερική. Εάν συνδυάσουμε και τους δύο παραπάνω πίνακες (**Πίνακα (16) και (17)**), είναι φανερό ότι από τις τρεις αυτές περιοχές περισσεύουν 13 χιλ. τόνοι το χρόνο, 1 χιλ. τόνοι το χρόνο και 3 χιλ. τόνοι τον χρόνο αντίστοιχα σε κάθε περιοχή, όποτε υπάρχει η δυνατότητα εμπορίου σε χώρες που έχουν έλλειψη. Το εμπόριο του καυσίμου αυτού θα είναι καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο από 0.1% έως 0.5% και όχι χαμηλότερη από 0.1%, καθώς αυτή η περιεκτικότητα είναι υποχρεωτική μόνο για τις περιοχές SECA.

Η πρόβλεψη για το έτος 2020, σχετικά με την διαθεσιμότητα του καύσιμου πλοίου είναι θετική, με περισσότερη διαθεσιμότητα αλλά και ζήτηση να υπάρχει σε καύσιμα περιεκτικότητας σε θείο μεταξύ 0.1% και 0.5% . Η διαφορά μεταξύ της ζήτησης και προσφοράς που υπάρχει ανάμεσα στις τρεις διαφορετικές περιεκτικότητες είναι επειδή καύσιμα με λιγότερο από 0.1% περιεκτικότητα σε θείο χρειάζονται τα πλοία που ταξιδεύουν στις περιοχές SECA από την 1^η Ιουλίου του 2015, ενώ από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 όλα τα πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν υγρό καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο μικρότερο από 0.5% ανεξαρτήτως του προορισμού τους.

Με βάση την παραπάνω μελέτη, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) μέσω της MEPC.280(70) στις 28 Οκτωβρίου του 2016 «είχε αποφασίσει πως τα όρια που είχαν ειπωθεί από τον κανονισμό της MARPOL 14.1.3 σχετικά για το καύσιμο θα πρέπει να τεθούν σε ισχύ από την 1^η Ιανουαρίου του 2020» δηλαδή από την 1^η Ιανουαρίου του 2020 και μετά, όλα τα πλοία πρέπει να καίνε υγρό καύσιμο με περιεκτικότητα θείου σε ποσοστό 0.5% και λιγότερο εκτός περιοχών SECA.

Στον πιο κάτω **πίνακα (18)** παρουσιάζονται οι περιοχές που έχει θέσει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) ως Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) για τους διάφορους ρύπους, καθώς επίσης και οι ρύποι που πρέπει να έχουν χαμηλές εκπομπές κατά τη διάρκεια διέλευσης των πλοίων από αυτές και αντίστοιχα η ημερομηνία εφαρμογής των κανονισμών.

Επίσης στον **Πίνακα (18)** βλέπουμε ότι η πρώτη θάλασσα που εισήχθη στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, ήταν η Βαλτική θάλασσα τον Μάιο του 2006, με περιορισμό εκπομπής οξειδίων του θείου, εν συνέχεια, μετά από ένα χρόνο, προστέθηκε η Βόρεια θάλασσα με επίσης περιορισμό εκπομπής οξειδίων του θείου. Ως το 2012 είχαν προστεθεί οι Ακτές τις Αμερικής με περιορισμό εκπομπής οξειδίου του θείου, καθώς και αιωρούμενων σωματιδίων (PM). Τα οξείδια του αζώτου (NOx) θα πρέπει να εκπέμπονται βάσει των προτύπων Tier III για πλοία που έχουν κατασκευαστεί από την 1^η Ιανουαρίου του 2016 και μετά, ενώ τα πλοία από το 2011 θα πρέπει να συμμορφώνονται βάσει των προτύπων Tier II και τα πλοία κατασκευής από το 2000 βάσει των προτύπων Tier I ,όπως πρόκειται να αναφερθεί και παρακάτω στους κανονισμούς σχετικά με την αντιμετώπιση της εκπομπής οξειδίων του αζώτου. Το 2014 συμπεριλήφθηκαν οι περιοχές των ΗΠΑ αλλά και της Καραϊβικής με περιορισμό στους ίδιους ρύπους, όπως αναφέρθηκαν και για τις ακτές της Αμερικής.

Πίνακας 18: Καθιερωμένες περιοχές ECAs ή SECAs. Πηγή: IMO, 2016

Περιοχή	Ρύποι	Ημερομηνία εφαρμογής
Βαλτική	SO _x	19/05/2006
Βόρεια	SO _x	22/11/2007
Ακτές της Αμερικής	SO _x PM NO _x	01/08/2012 01/08/2012 *
Περιοχές των ΗΠΑ στην Καραϊβική	SO _x PM NO _x	01/01/2014 01/01/2014 *

* Ένα πλοίο που κατασκευάστηκε κατά ή μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2016 και λειτουργεί σε αυτές τις NECA θα πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα του Tier III για τα NO_x.

Όπως φαίνεται στην **εικόνα (4)**, από το 2020 υπάρχει η πιθανότητα η Ευρώπη να εισαχθεί στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών, όπου τα πλοία θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο όχι μεγαλύτερο από 0.5% και κατά την είσοδο στο λιμάνι να χρησιμοποιούν καύσιμα με περιεκτικότητα σε θείο 0.1%.

Στο αναθεωρημένο Παράρτημα VI της MARPOL (NECA – NO_x Emission Control Area) περιλαμβάνονται σταδιακές μειώσεις εκπομπών NO_x από ναυτικές μηχανές ντίζελ, πρώτα με την εφαρμογή των ορίων των εκπομπών της “βαθμίδας II,” για μηχανές που έχουν εγκατασταθεί μετά την 1 Ιανουαρίου 2011, και στη συνέχεια με το αυστηρότερο όριο εκπομπών της “βαθμίδας III,” για μηχανές που έχουν εγκατασταθεί μετά την 1 Ιανουαρίου 2016 και λειτουργούν στις ECAs. Οι ναυτικές μηχανές, οι οποίες εγκαταστάθηκαν την 1η Ιανουαρίου 1990 ή μετά από αυτήν την ημερομηνία, αλλά σίγουρα πριν την 1η Ιανουαρίου 2000, απαιτείται να συμμορφώνονται με τα όρια εκπομπών της “βαθμίδας I.”



Εικόνα 4: Αποτυπωμένες καθιερωμένες περιοχές ECAs και μελλοντικές Περιοχές ECAs. Πηγή: GREEN4SEAS

3.1.2 Κανονισμοί ΕΕ

Ο ΙΜΟ σε ορισμένες περιπτώσεις εκπροσωπεί την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά παράλληλα εργάζεται μονομερώς για την ανάπτυξη των Ευρωπαϊκών κανονισμών, οι οποίοι κανονισμοί έχουν ένα αυστηρότερο χαρακτήρα σε πλοία που φέρουν Ευρωπαϊκή σημαία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση τροποποίησε την βασική νομοθεσία του 1999 γνωστή ως 1999/32/ΕΚ, σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων των πλοίων λόγω της ανακοίνωσης με τίτλο «Θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση», από την οποία προκύπτει το συμπέρασμα ότι αν δεν λαμβάνονταν άμεσα μέτρα για την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου από την διεθνή ναυτιλία, το 2020 οι εκπομπές θα υπέρβαιναν τις εκπομπές όλων των χερσαίων μεταφορών και μονάδων παραγωγής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τον Ιούλιο του 2005 η 199/2/ΕΚ είχε τροποποιηθεί, θέτοντας νέα μέτρα στην περιεκτικότητα του θείου για τη ναυτιλία, όσον αφορά στα καύσιμα με την οδηγία 2005/33/ΕΚ. Η οδηγία βασίστηκε στα μέτρα που είχε πάρει ο ΙΜΟ μέσω φυσικά της MARPOL σχετικά με το παράρτημα VI. Ο πιο πάνω κανονισμός της οδηγίας 2012/33/ΕΕ αποτυπώνεται στον **Πίνακα (19)**, και εφαρμόζεται στα πλοία που ελλιμενίζονται για περισσότερο από 2 ώρες σε ευρωπαϊκά λιμάνια.

Εκτός περιοχών SECA	Εντός των περιοχών SECA
0.1% εσωτερικής ναυσιπλοΐας και από σκάφη ελλιμενισμένα σε κοινοτικούς λιμένες, 1 ^η του Ιανουαρίου του 2010. (2005/33/EK)	0.1 από την 1 ^η Ιανουαρίου του 2015, όλα τα σκάφη ανεξαρτήτως σημαίας (2012/33/EE)
1.5% επιβατηγά πλοία που δραστηριοποιούνται ως επί το πλείστο σε λιμένες ή κοντά σε παράκτιες περιοχές, έως 1 ^η του Ιανουαρίου του 2020. (2012/33/EE)	

Πίνακας 19: Περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο βάσει Ευρωπαϊκής οδηγίας,

Πηγή: Οδηγία 2012/33/EE & 2005/33/EK

3.2 Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Το οξείδιο του αζώτου (NO_x) και πιο συγκεκριμένα διοξείδιο του αζώτου και μονοξείδιο, είναι αέρια που βοηθούν στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, κυρίως σε βιομηχανικές πόλεις αλλά και πόλεις με αρκετά αυξημένη κυκλοφορία. Το νέφος αυτό επιδρά αρνητικά στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα οξείδια του θείου, αλλά και τα οξείδια του αζώτου επίσης συνεισφέρουν στη δημιουργία όξινης βροχής, που έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος.

3.2.1 Κανονισμοί IMO

Ο IMO μέσω της σύμβαση MARPOL, παράρτημα VI, όπως προαναφέρθηκε, έχει θέσει συγκεκριμένα όρια για την αντιμετώπιση των οξειδίων του αζώτου αλλά και τη μείωση τους. Σύμφωνα με τον κανονισμό 13, ο IMO είναι αυτός που καθορίζει τις ποσότητες των οξειδίων του αζώτου που θα πρέπει να εκπέμπει ένα πλοίο ανά kWh. Οι συγκεκριμένες ποσότητες είναι χωρισμένες σε τρία επίπεδα Tier I, II, III και εξαρτώνται από την ταχύτητα του κινητήρα.

Συγκεκριμένα ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) αναφέρεται και στην ημερομηνία κατασκευής του πλοίου, πέραν από την ταχύτητα του κινητήρα, με αποτέλεσμα τα νεότευκτα πλοία να έχουν πολύ πιο αυστηρά όρια, όπως φαίνεται στον πιο κάτω **πίνακα (20)** και ειδικά στις περιοχές NECA:

Πίνακας 20: Επίπεδα Tier για την μείωση των οξειδίων του αζώτου, Πηγή: ΙΜΟ, 2009.

Tier	Ημερομηνία κατασκευής πλοίου (κατά ή μετά την)	Όρια εκπομπών NOx (g/kWh), n = ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (rpm)		
		n < 130	n = 130 – 1999	n ≥ 2000
I	1/1/2000	17,0	45n - 0,2 (π.χ. για n = 720 rpm το όριο γίνεται 12,1 g/kWh)	9,8
II	1/1/2011	14,4	44n - 0,23 (π.χ. για n = 720 rpm το όριο γίνεται 9,7 g/kWh)	7,7
III	1/1/2016 για λειτουργία σε NECA	3,4	9n - 0,2 (π.χ. για n = 720 rpm το όριο γίνεται 2,4 g/kWh)	2,0

Όπως βλέπουμε στο πιο πάνω πίνακα (20) και σύμφωνα με τους Alföldy et al. (2013: 1778) τα πλοία τα οποία έχουν κατασκευαστεί μετά το 2000, θα πρέπει να εκπέμπουν τα όρια που αναφέρονται στο Tier I, ενώ τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί μετά το 2011 έχουν μειωμένο οξείδιο του αζώτου κατά 20%.

Τα πιο χαμηλά όρια θα πρέπει να εκπέμπονται από τα νεότευκτα πλοία και στις ειδικές περιοχές NECA, όπου η μείωση θα είναι περίπου στο 60%.

3.3 Αιωρούμενα σωματίδια (PM)

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αποτελούν ένα μίγμα άκαυστων ή σχεδόν καμένων υδρογονανθράκων και συστατικών που περιέχονται στα καύσιμα. Κατά τη διάρκεια καύσης του πετρελαίου στα πλοία δημιουργούνται κυρίως πτητικές ενώσεις, όπως θειικά, υγρασία και οργανικές ενώσεις, καθώς στη συνέχεια και στάχτη και στοιχειακός άνθρακας. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με διάμετρο μεγαλύτερη από 1mm δημιουργούν πρόβλημα στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα όπως αναφέρει ο Μουσιόπουλος Ν. Et al. (2015). Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) τα οποία έχουν διάμετρο μικρότερη από 1mm, λόγω του μεγέθους τους, απομακρύνονται ευκολότερα από τον οργανισμό, χωρίς να δημιουργήσουν κάποιο σοβαρό πρόβλημα στο αναπνευστικό σύστημα.

3.3.1 Κανονισμοί IMO

Έχουν τεθεί συγκεκριμένες περιοχές για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) για τον έλεγχο των εκπομπών, όπως έχει γίνει και για τα οξείδια του αζώτου και το διοξείδιο του θείου. Η εκπομπή των αιωρούμενων σωματιδίων (PM) θα πρέπει να είναι αρκετά μικρή στις ειδικές περιοχές, όπως είναι οι Ακτές της Βόρειας Αμερικής από την 1^η Αυγούστου του 2012, και περιοχές των ΗΠΑ της Καραϊβικής από την 1^η Ιανουαρίου του 2014. Δεν διευκρινίζονται τα όρια των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων στο παράρτημα VI του IMO και αυτό διότι με τη μείωση της περιεκτικότητας του θείου από τα καύσιμα μειώνονται και οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων (PM).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εναλλακτικά καύσιμα και πηγές ενέργειας

4.1 Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο

Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα πλοία είναι ανάλογες με την περιεκτικότητα του θείου των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τον οποίο ο πιο φθηνός και εύκολος τρόπος για τη μείωση τους είναι η χρήση καυσίμων με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο.

Το μαζούτ με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο έχει πιο υψηλή ποιότητα και ως εκ τούτου προκαλεί πιο μικρή φθορά των μηχανημάτων και φυσικά απαιτεί λιγότερα λιπαντικά έλαια και συντήρηση. Επίσης, η χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο παρουσιάζει μια φθίνουσα επίδραση στις εκπομπές των σωματιδίων, ενώ η στροφή προς την χρήση αυτών δεν απαιτεί καθόλου τροποποιήσεις της μηχανής.

Επιπλέον, προσοχή θα πρέπει να δοθεί και στην ποιότητα του λιπαντικού ελαίου του κυλίνδρου, αλλά και στο ρυθμό τροφοδοσίας αυτού, καθώς επίσης και στις θερμοκρασίες του νερού ψύξης του περιβλήματος της μηχανής. Οι τροποποιήσεις αυτές απαιτούνται για την αποθήκευση των καυσίμων και τον χειρισμό του συστήματος επί του πλοίου, όταν γίνεται χρήση με διαφορετικούς βαθμούς ποιότητας μαζούτ, καθώς είναι πιθανόν να είναι ασυμβίβαστοι μεταξύ τους. Οι διαφορετικές αυτές ποιότητες πετρελαίου πιθανόν να απαιτούν τη χρήση διαφόρων ποιοτήτων λιπαντικών ελαίων και ως εκ τούτου η αποθήκευση και ο χειρισμός του ελαίων να πρέπει να αναδιοργανωθεί επίσης.

4.2 Εναλλακτικά καύσιμα

Το πιο κοινό καύσιμο στους κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση είναι το πετρέλαιο ντίζελ και θα διατηρήσει τη θέση του, τουλάχιστο στο εγγύς μέλλον. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως κύριο στόχο την αντικατάσταση του 20% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές με εναλλακτικά καύσιμα έως το 2020. Το ντίζελ θα μπορούσε να αντικατασταθεί κυρίως με τα βιοκαύσιμα, το φυσικό αέριο και το υδρογόνο.

Τα αποθέματα του αργού πετρελαίου εξακολουθούν να είναι στον κόσμο σημαντικά και η αλλαγή της υποδομής είναι δαπανηρή, οπότε η αντικατάσταση του πετρελαίου ντίζελ θα είναι πιθανόν αργή.

4.2.1 Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα σημερινού τύπου, δηλαδή της πρώτης γενιάς, παράγονται από ζάχαρη, άμυλο, φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Πολλά από αυτά τα υλικά μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στα πλοία κατόπιν ελάχιστης ή και μηδενικής προσαρμογής της μηχανής. Αναλόγως με την πηγή προέλευσης παρουσιάζονται και ορισμένα τεχνικά ζητήματα, όπως για παράδειγμα η σταθερότητα κατά την αποθήκευση, η οξύτητα, ο σχηματισμός ιζημάτων κεριού από τα οποία διαφαίνεται η σημαντικότητα της επιλογής του καυσίμου και της προσαρμογής της μηχανής.

Προσοχή θα πρέπει επίσης να δίνεται ώστε να αποφεύγεται η επαφή με το νερό, δεδομένου πως τα βιοκαύσιμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην βιομόλυνση. Η ανάμιξη των κλασμάτων καυσίμου βιολογικής προέλευσης με ντίζελ ή μαζούτ αποτελεί μια εφικτή λύση από άποψη τεχνικής, όμως η συμβατότητα αυτών θα πρέπει να ελέγχεται. Τα πρώτης γενιάς βιοκαύσιμα μπορούν να αναβαθμιστούν μέσω της διαδικασίας υδρογόνωσης σε διυλιστήριο. Στη προκειμένη περίπτωση, το καύσιμο που προκύπτει είναι αρκετά καλής ποιότητας και τα προαναφερθέντα προβλήματα παύουν να ισχύουν. Η αναβάθμιση αυτή είναι ωστόσο ενεργοβόρα και ως εκ τούτου οδηγεί σε πρόσθετες εκπομπές.

Τα οφέλη ως προς τις εκπομπές CO₂ διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο των βιοκαυσίμων και εξαρτώνται άμεσα από τον τρόπο παραγωγής τους. Υπάρχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά καύσης σε σχέση με τα παραδοσιακά παράγωγα του αργού πετρελαίου, δηλαδή το ντίζελ και μαζούτ, και η χρήση τους έχει σε κάποιες περιπτώσεις οδηγήσει σε αύξηση της τάξης του 7% έως 10% στις εκπομπές NO_x. Η επίδραση των οξειδίων του αζώτου θα μπορούσε φυσικά να ήταν διαφορετική, εάν η μηχανή είχε βελτιστοποιηθεί για χρήση των βιοκαυσίμων.

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς έχουν επικριθεί για το λόγο ότι οδηγούν σε έλλειψη τροφίμων και αύξηση στις τιμές τους, αποψίλωση δασών, διάβρωση του εδάφους καθώς επίσης και επιπτώσεις στον υδάτινο πόρο.

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς είναι αυτά που παράγονται από υπολείμματα καλλιεργειών που δεν προορίζονται για βρώση, καθώς επίσης και από βιομηχανικά απόβλητα όπως ροκανίδια, δέρματα πολτός φρούτων κ.α. Η διαδικασία της μετατροπής που απαιτείται για την παραγωγή τους σε βιομηχανική κλίμακα και με οικονομικά βιώσιμο τρόπο, είναι ακόμα σε εξέλιξη.

Ολοκληρώνοντας, η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών CO₂ μέσω της χρήσης βιοκαυσίμων είναι περιορισμένη. Αυτό δεν αφορά μόνο σε θέματα τεχνολογίας, αλλά σχετίζεται με το κόστος, την έλλειψη διαθεσιμότητας και με άλλους παράγοντες που συνδέονται με την παραγωγή και φυσικά την χρήση τους.

4.2.2 Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό καύσιμο, όσο αφορά στον τομέα της ναυτιλίας διότι έχει πολύ μεγαλύτερη αναλογία υδρογόνου – άνθρακα σε σύγκριση με το πετρέλαιο, γεγονός που οδηγεί σε πιο χαμηλές εκπομπές CO₂ (CO₂/kg καυσίμου).

Επίσης, το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποτελεί πολύ καθαρό καύσιμο το οποίο δεν περιέχει καθόλου θείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εξαλείφει τις εκπομπές SO_x και σχεδόν να εξαλείφει επίσης τις εκπομπές των σωματιδίων. Οι εκπομπές NO_x μειώνονται σημαντικά έως και 90% λόγω της μείωσης των πολύ υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διαδικασία της καύσης. Η χρήση του δυστυχώς αυξάνει τις εκπομπές μεθανίου (CH₄), που συνεπάγεται ελάττωση της συνολικής ωφέλειας από 25% σε περίπου 15%.

Τα πλοία τα οποία κινούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) πρόκειται να είναι αρκετά ελκυστικά στο μέλλον σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών SECA, καθώς μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για μείωση των εκπομπών (Tier III) αλλά και τις απαιτήσεις SO_x.

Την κυριότερη πρόκληση στη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στα πλοία, αποτελεί η εξεύρεση επαρκούς χώρου για την αποθήκευσή του. Με ακριβώς την ίδια απόδοση ενέργειας, το φυσικό αέριο είναι κατά 1.8 φορές μεγαλύτερο σε όγκο σε σχέση με το πετρέλαιο ντίζελ.

Φυσικά, οι ογκώδεις αυτές δεξαμενές αποθήκευσης και πίεσης απαιτούν ακόμη μεγαλύτερο χώρο και έτσι η πραγματική απαίτηση όγκου είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερη. Η δυνατότητα του ανεφοδιασμού στους λιμένες είναι μια πρόκληση που πρέπει να επιλυθεί άμεσα, πριν γίνει μια πρακτικά εφαρμόσιμη εναλλακτική λύση. Επιπλέον, η μετάβαση από την πρόωση με πετρέλαιο ντίζελ στην πρόωση με LNG είναι δυνατή, αλλά η χρήση του αφορά πρωτίστως νέες ναυπηγήσεις μετά από εκτεταμένες μετατροπές των μηχανών και κατανομή των χώρων αποθήκευσης.

Επίσης, η τεχνολογία LNG είναι άμεσα διαθέσιμη μόνο για τετράχρονους μηχανές. Όσον αφορά τις δίχρονες μηχανές απαιτείται μια διαφορετική αντίληψη υλοποίησης που βασίζεται στον άμεσο ψεκασμό.

Τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση αυτής της τεχνολογίας αναφορικά με τις εκπομπές NOx είναι μικρότερα συγκριτικά με την τεχνολογία των τετράχρονων μηχανών.

Η παρούσα δυναμική που προκύπτει για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία λόγω της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι αρκετά περιορισμένη δεδομένου ότι αφορά νέες ναυπηγήσεις και επειδή υπάρχουν πολύ περιορισμένες δυνατότητες όσον αφορά τον ανεφοδιασμό. Η σκόπιμη δημιουργία επιπλέον περιοχών για τον έλεγχο εκπομπών NOx και Sox (SECA) θα αποτελέσει σημαντικό κίνητρο για τη χρήση του ως μέσο πρόωσης στην ναυτιλία μικρών αποστάσεων, καθώς οι απαιτήσεις είναι σχετικά εύκολο να καλυφθούν. Η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) είναι σημαντικά χαμηλότερη από εκείνη των αποσταγμένων καυσίμων, που αποτελεί ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο για την μετάβαση σε LNG.

4.2.3 Κυψέλες καυσίμου

Η εφαρμογή των κυψελών καυσίμου επί των πλοίων θα εξαλείψει κυριολεκτικά το πρόβλημα των εκπομπών οξειδίων του αζώτου NOx. Ένα πλοίο με υδρογόνο ως καύσιμο θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μόνο μια κυψέλη καυσίμου σε συνδυασμό με μια ηλεκτρική μονάδα. Η υψηλές θερμοκρασίες αλλά και ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την εκκίνηση δεν πρόκειται να δημιουργήσει πρόβλημα στα πλοία. Η τεχνολογία με κυψέλες καυσίμου θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει στερεό οξείδιο ή λιωμένο ανθρακικό (Solid Oxide – Molten Carbonate).

Υπάρχουν ήδη κάποιες εμπορικές εφαρμογές των κυψελών καυσίμου σε μικρά πλοία όπως για παράδειγμα των 15kW. Για τα πιο μεγάλα πλοία, των οποίων η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι και της τάξης των 60 MW, η εφαρμογή των κυψελών καυσίμου έχει πολύ δρόμο στο μέλλον. Επιπλέον, λείπουν οι υποδομές όσο αφορά το υδρογόνο το οποίο και αποτελεί το ιδανικό καύσιμο των κυψελών. Τα πλοία πρόκειται να χρειαστούν μία πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα δεξαμενής για την κάλυψη της ανάγκης για ενέργεια σε σχέση με το ντίζελ. Η αποθήκευση των καυσίμων ωστόσο δεν θα μειώσει το πραγματικό ωφέλιμο φορτίο για τα πολύ μεγάλα σκάφη, από τη στιγμή που αυτό το είδος των σκαφών έχουν τις περισσότερες φορές σημαντικό αχρησιμοποίητο εσωτερικό όγκο.

Ένα άλλο πρόβλημα στην εφαρμογή των κυψελών καυσίμου είναι ότι δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικές σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Η απόδοση των δύο αυτών συστημάτων υπολογίζεται ότι είναι περίπου η ίδια, όμως οι κυψέλες καυσίμου είναι αρκετά πιο ακριβές από τους κινητήρες ντίζελ.

Υπάρχουν αρκετά τεχνικά προβλήματα όσον αφορά στην τεχνολογία των κυψελών καυσίμου τα οποία απαιτούν επίλυση καθώς και μείωση του κόστους κεφαλαίου σε ένα πιο ανταγωνιστικό επίπεδο σε σχέση με τις μηχανές ντίζελ. Σημαντική προσπάθεια βρίσκεται σε εξέλιξη σχετικά με την τεχνολογία των κυψελών καυσίμου αλλά επικεντρώνεται στην εύρεση αξιόπιστων λύσεων για την τροφοδοσία ρεύματος επί του πλοίου αντί λύσεων που να αφορούν το σύστημα πρόωσης.

4.3 Νέος σχεδιασμός και τροποποιήσεις λειτουργίας

Σχετικά με τη μείωση των εκπομπών μπορούν πολλά να αποκομιστούν από την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού αλλά και της λειτουργίας των πλοίων ή ακόμη και ολόκληρου του συστήματος μεταφορών. Τα μεγάλα πλοία είναι φανερό πως καταναλώνουν πολύ πιο λίγο καύσιμο ανά μονάδα φορτίου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ρυπαίνουν λιγότερο την ατμόσφαιρα. Επιπλέον, έχουν ταχύτερη λειτουργία σε σχέση με τα μικρότερα μεγέθους πλοία, έτσι ώστε με ακριβώς την ίδια ποσότητα καυσίμου να μπορούν να μεταφέρουν περισσότερο φορτίο. Συνεπώς, για τους διαχειριστές των πλοίων είναι η πιο οικονομική και πιο επωφελής λύση από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, να λειτουργούν με πιο μεγάλα και γρήγορα πλοία.

Σημαντική επίδραση για τα επίπεδα ρύπανσης αποτελεί το βάλσιμο και ο καθαρισμός των πλοίων. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που το πλοίο καθαρίζεται και βάφεται ενώ βρίσκεται σε δεξαμενισμό, επιτυγχάνεται μια ελαφριά μείωση των επιπέδων εκπομπών λόγω τις χαμηλής αντίστασης που υπόκειται το πλοίο.

Η βελτιστοποίηση των συστημάτων των πλοίων εκτός της μηχανής τους, όπως του έλικα, του πηδαλιού καθώς και των κυτών, αφορά την αποδοτικότητα και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του πλοίου. Η εταιρεία Marinetek έχει εκτιμήσει πως η δυνατότητα μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών μέσω του βελτιστοποιημένου σχήματος της γάστρας καθώς και με μία καλύτερη προπέλα για ένα νέο πλοίο, μπορεί να είναι μέχρι 30%.

Όσο αφορά στη βελτίωση της ενέργειας του πλοίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ανάκτηση της ενεργειακής απόδοσης. Παρά να σπαταλιέται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων, είναι πιθανόν να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού, ο οποίος είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στους τομείς του πλοίου που θα απαιτούσαν κανονικά την χρήση του λέβητα με πετρέλαιο.

4.4 Κύτος και υπερκατασκευή

Η φροντίδα για την βελτιστοποίηση της γάστρας λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των σύγχρονων πλοίων. Τα περισσότερα καινούρια σχέδια εφαρμόζουν κάποια διεργασία όσο αφορά στη βελτιστοποίηση της μορφής, με έμφαση στην μειωμένη αντίσταση και τη βελτιωμένη αποδοτικότητα του συστήματος πρόωσης. Η επίτευξη της πλήρους λειτουργίας της έλικας έχει πρωταρχική σημασία, θέμα που εξετάζεται από κοινού με την βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας. Ένα αρκετά σημαντικό σημείο είναι η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού με γνώμονα τον τομέα δραστηριοποίησης συγκεκριμένα του κάθε πλοίου.

Είναι πολύ πιθανόν μέσω του βελτιωμένου σχεδιασμού να εξοικονομηθεί και ενέργεια, ελαχιστοποιώντας την αντίσταση του αέρα και των δυσχερών επιπτώσεων από τους πλευρικούς ανέμους. Τα πιο πάνω είναι αρκετά σημαντικά για τα πλοία με μεγάλη υπερκατασκευή.

Εάν μειώσουμε το βάρος του κύτους, μειώνεται και η βρεχόμενη επιφάνεια με αποτέλεσμα να μειωθεί η τριβή και η αντίσταση, και ως εκ τούτου επιτυγχάνεται καλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Η πιθανότητα μείωσης του βάρους συνδέεται με τις απαιτήσεις ασφαλείας και στιβαρότητας της κατασκευής.

Ωστόσο για να μειωθεί το βάρος, απαιτείται η χρήση ελαφρών υλικών υψηλής αντοχής. Η χρήση υλικών όπως το αλουμίνιο και τα ανθρακονήματα περιορίζεται στην κατασκευή ταχύπλοων σκαφών.

4.5 Ενέργεια και συστήματα πρόωσης

Η ηλεκτρική ενέργεια των σκαφών παράγεται από αργόστροφες ή μεσόστροφες μηχανές, με εξαιρέσεις σε πολύ ειδικές περιπτώσεις. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατό να αυξηθεί ποικιλοτρόπως.

Η εξοικονόμηση της ενέργειας είναι πιθανόν να επιτευχθεί μέσω των καυσαερίων, χρησιμοποιώντας τουρμπίνες ηλεκτροπαραγωγής κινούμενες είτε απευθείας από τα καυσαέρια είτε από τον ατμό που παράγεται από τη θερμότητα της μηχανής, είτε από αμφοτέρους μεθόδους.

Η ενέργεια που εξοικονομείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κίνηση της γεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για την υποβοήθηση της κύριας μηχανής. Υπάρχουν μελλοντικά συστήματα που ενδέχεται να χρησιμοποιούν υγρά διαφορετικά από τον ατμό, με την προϋπόθεση ότι αυτά επιτρέπουν μικρότερης κλίμακας συστήματα με πιο ψηλές αποδόσεις. Η ανακτώμενη ενέργεια των καυσαερίων είναι πιθανό να δημιουργήσει πρόσθετη δύναμη που αντιστοιχεί στο 10% του συνόλου, αν και οι αποδόσεις του άξονα μπορούν να αυξηθούν από το 50% σε 55% για τις πιο μεγάλες δίχρονες μηχανές. Η συμπίεση των δύο σταδίων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα άλλο μέσο για την ανάκτηση της ενέργειας μέσω των καυσαερίων για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.

Στην περίπτωση που ο τομέας της δραστηριότητας του πλοίου είναι μεταβλητός, είναι εφικτό να εφαρμοστούν ειδικές εγκαταστάσεις για την βελτιστοποίηση της χρήσης και της αποδοτικότητας, όπως είναι διάφορες παραλλαγές του μεγέθους και του αριθμού των βοηθητικών μηχανών αλλά και το σύστημα αξονικής γεννήτριας.

Το σύστημα πρόωσης με την χρήση του ντίζελ και της ηλεκτρικής ενέργειας είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις περιπτώσεις. Επίσης υπάρχουν ενεργειακές απώλειες από την ηλεκτροκίνηση οι οποίες πρέπει να ανακτηθούν προκειμένου να είναι εφικτή οποιαδήποτε εξοικονόμηση. Το σύστημα πρόωσης με τη χρήση ντίζελ και ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρει επιπρόσθετα οφέλη, όπως την αύξηση της ευελιξίας του σχεδιασμού, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας.

Η πρόωση παράγεται στην προπέλα. Αν και η απόδοση της έλικας είναι πιο υψηλή όταν μια μεγάλη έλικα περιστρέφεται με χαμηλή ταχύτητα, θα ήταν πιο βολικό εάν ο αριθμός των πτερυγίων της έλικας ελαχιστοποιηθεί έτσι ώστε να μειωθεί και η τριβή. Το μέγεθος που έχει η έλικα περιορίζεται από τη σχεδίαση του πλοίου καθώς επίσης από το βύθισμα και την ροπή της ίδιας της μηχανής.

Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις που η ενεργειακή απόδοση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διάφορων βελτιώσεων, όπως είναι τα υψηλής απόδοσης πηδάλια, πτερύγια, αγωγοί και έλικες αντίθετης περιστροφής.

Αρκετές από αυτές τις μεθόδους μπορεί να θεωρηθούν ως εναλλακτικοί τρόποι απόκτησης ενέργειας από την περιστροφή της έλικας.

4.6 Ηλεκτροδότηση από τη ξηρά

Τα πλοία όταν βρίσκονται αγκυροβολημένα στα λιμάνια χρησιμοποιούν συνήθως τις βοηθητικές τους μηχανές για την παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται επί του σκάφους. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούν μαζούτ αρκετά υψηλής περιεκτικότητας σε θείο ή ναυτιλιακό πετρέλαιο χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο, που έχει όμως ως αποτέλεσμα την παραγωγή αέριων ρύπων. Η μοναδική εναλλακτική λύση για την λειτουργία των βοηθητικών μηχανών για το λιμάνι είναι η ηλεκτροδότηση από την ξηρά. Ως εκ τούτου, αυτό προαπαιτεί επένδυση καθώς επίσης και ορισμένες τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν στους λιμένες καθώς και στα πλοία. Υπάρχουν ορισμένα λιμάνια που η σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο από την ξηρά είναι ήδη δυνατή για ορισμένα είδη πλοίων. Η εμπειρία από αυτά έχει δείξει πως τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ξηράς είναι απλά στη χρήση, και επίσης είναι γρήγορη η εναλλαγή σε ηλεκτροδότηση από την ξηρά καθώς το πλοίο προσεγγίζει το λιμάνι.

Η εταιρεία Swedish Mariterm διεξήγαγε μελέτη σχετικά με το κόστος της ηλεκτροδότησης από την ξηρά, αλλά διαπιστώθηκε ότι η χρήση της είναι δύο με τέσσερις φορές πιο ακριβή σε σχέση με την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους από τις ηλεκτρομηχανές που λειτουργούν με πιο βαρύ πετρέλαιο από το κανονικό. Στην μελέτη αυτή συμπεριλήφθηκε ωστόσο μόνο το άμεσο κόστος.

Όταν όμως αξιολογήθηκε και το κοινωνικό κόστος, δηλαδή το εξωτερικό, η χρήση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά αποδείχθηκε πως ήταν η πιο φθηνή επιλογή. Τα εξωτερικά αυτά κόστη, προκαλούνται από τις αρνητικές επιπτώσεις των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα, στην υγεία καθώς επίσης και στο περιβάλλον και είναι πολύ χαμηλότερα για τα πλοία που συνδέονται με την ξηρά για την παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά ανάλογα με το καύσιμο, το εξωτερικό κόστος της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους, είναι μεταξύ 15 έως 75 φορές υψηλότερο από τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος από την ξηρά, το οποίο παράγεται από ένα σύγχρονο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα. Μια πρόσφατη μελέτη ηλεκτροδότησης από την ξηρά είχε πραγματοποιηθεί από την αμερικάνικη εταιρεία Environ για το λιμάνι του Long Beach που βρίσκεται στην Καλιφόρνια.

Η συγκεκριμένη μελέτη συμπεριλάμβανε δώδεκα πλοία τα οποία ήταν διαφορετικού τύπου, ηλικίας, περιοχής δραστηριοποίησης καθώς επίσης και ελλιμενισμού. Ωστόσο διαπιστώθηκε πως στα πέντε από τα δώδεκα πλοία η χρήση ηλεκτροδότησης από την ξηρά ήταν οικονομικά αποδοτική καθώς και ότι μειώνονταν κατά 90% οι εκπομπές. Τα πέντε αυτά πλοία της μελέτης είχαν πολύ συχνούς ελλιμενισμούς, με πολύ σημαντικό χρόνο παραμονής στο λιμάνι και ως εκ τούτου παρουσίαζαν σημαντικές ενεργειακές καταναλώσεις. Ως συμπέρασμα από την ανάλυση αυτή είναι ότι για τα πλοία υψηλής κατανάλωσης ισχύος κατά τον ελλιμενισμό, θα ήταν οικονομικά πιο αποδοτικό να χρησιμοποιείται ηλεκτροδότηση από την ξηρά καθώς θα περιορίζονταν σημαντικά οι εκπομπές τους.

Υπάρχουν ήδη πάρα πολλές επιτυχημένες υλοποιήσεις χρήσης της ηλεκτροδότησης από την ξηρά, όπως για παράδειγμα στα λιμάνια του Γκέτενμποργκ, στο Σίμπρουκ, στο Σιάτλ και Λος Άντζελες. Η χρήση αυτή είναι ενδεχομένως πιο φθηνή από τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, λόγω όμως των υψηλών τιμών του πετρελαίου.

Εάν υπήρχε περίπτωση να πλοία να απαλλαγθούν από το φόρο της ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλεκτροδότηση από την ξηρά θα ήταν ακόμη περισσότερο ελκυστική οικονομικά. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόκειται να εκδώσει σύσταση προς τις κυβερνήσεις και τους λιμένες σχετικά με την προώθηση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων πλοίων (Scrubbers) μπορεί να αποδειχτεί με μέτρηση του πάχους των καμινάδων με την χρήση των συστημάτων Ultrasonic. Οι καμινάδες των πλοίων διαβρώνονται λόγω των επικαθίσεων από τα υποπροϊόντα της καύσης. Με την μέθοδο μέτρησης Ultrasonic, είναι φανερό πως οι διαβρώσεις στις καμινάδες είναι πιο μικρή μετά την τοποθέτηση των συστημάτων Scrubbers, αφού αυτά τα συστήματα κατακρατούν αρκετά μεγάλο μέρος των χημικών ενώσεων που είναι ο κύριος λόγος της διάβρωσης.

Ανεξαρτήτως των περιβαλλοντικών οφελών από τα συστήματα Scrubbers στη ναυτιλία, υπάρχουν φυσικά και αρνητικές επιπτώσεις όσο αφορά στην απόρριψη στην θάλασσα του νερού έκπλυσης των συστημάτων αυτών. Οι επιπτώσεις αυτές , επηρεάζουν τη θάλασσα χημεία καθώς επίσης και τις βιογεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο οικοσύστημα, το οποίο είναι πολύ σοβαρό.

Για να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι που απορρέουν από τη χρήση των συστημάτων Scrubbers στη ναυτιλία, είναι απαραίτητη η συνεχής δειγματοληψία και ανάλυση του νερού έκπλυσης, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η μη υπέρβαση των μέγιστων ορίων στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, που θέτουν οι διεθνείς κανονισμοί. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι διεθνείς κανονισμοί εφαρμόζονται απόλυτα και καθολικά και ότι οι ναυτιλιακές εταιρείες θα πρέπει να συμμορφώνονται αυστηρά με αυτούς τους κανονισμούς.

Φυσικά, υπάρχουν και βελτιωμένα πρωτόκολλα πλέον σχετικά με τον έλεγχο αλλά και περαιτέρω τεχνικές βελτιώσεις των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων που είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν στο μέλλον . Ωστόσο, δυστυχώς τα περιθώρια αντίδρασης στενεύουν, καθώς οι επιπτώσεις στο περιβάλλον σε λίγο χρονικό διάστημα θα είναι μη αναστρέψιμες. Θα πρέπει να υπάρξει μια συντονισμένη ενιαία κινητοποίηση προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού. Οι τεχνολογικές λύσεις είναι διαθέσιμες και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι αυτός που πρωτοστατεί στον τομέα αυτόν, αλλά θα πρέπει να είναι μια συντονισμένη και κοινή αντίδραση για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Για να πραγματοποιηθεί μια απογραφή των αερίων ρύπων, χρειάζονται πολλά δεδομένα σχετικά με το δείγμα των πλοίων, των ετήσιων δρομολογίων των πλοίων

και την έρευνα για τον τρόπο υπολογισμού των ρύπων, έτσι ώστε να είναι πιο καλή και δυνατή η εκτίμηση . Περαιτέρω έρευνες ωστόσο θα μπορούσαν να συνεχιστούν πάνω σε αυτό το συγκεκριμένο θέμα της απογραφής των αερίων ρύπων για κάθε είδος πλοίου στα λιμάνια και της διασποράς της αέριας ρύπανσης που δημιουργείται από τη ναυτιλία, είτε στο λιμάνι είτε κατά τη διάρκεια που το πλοίο βρίσκεται εν πλω.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως για να γίνει μια ολοκληρωμένη σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών καυσίμων είναι απαραίτητο να συγκριθούν οι εκπομπές τους, καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Η ανάλυση πρόκειται να δείξει πραγματικά εάν το καύσιμο είναι φιλικό ως προς το περιβάλλον και αν μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο για περαιτέρω μελέτη.

Η απογραφή των αερίων ρύπων προβάλλει την αέρια ρύπανση που προκαλείται από τις εκπομπές της ναυτιλίας καθώς και κατά πόσο οι πλοιοκτήτες και οι εφοπλιστές συμμορφώνονται με τους κανονισμούς που επιβάλλουν ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU) και βοηθάει σε μελλοντική πρόβλεψη για την μείωση των ρύπων αλλά και στο σχεδιασμό της περιβαλλοντικής πολιτικής και των μέτρων παρακολούθησής τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Bonnet S., Guieu C., Chiaverini J., Ras J. and Stock A., 2005, Effect of atmospheric nutrients on the autotrophic communities in a low nutrient, low chlorophyll system. *Limnol. Oceanogr.* 50, 1810–1819
- 2) Alfa Laval PureSOx, 2014, Exhaust gas cleaning for competitive Sox compliance
- 3) Aalborg, 2010, EGCS SMM Workshop 2010 presentation
- 4) Blanco, 2012, Anfangsbewertung der deutschen Ostsee/Nordsee, Richtlinie 2008/56/EG: Umsetzung der Meeresstrategie – Rahmenrichtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt
- 5) ABS, 2018, Advisory on exhaust gas scrubber systems, Shutterstock
- 6) Cooper D. and Gustafsson T., 2004, Methodology for Calculating Emissions from Ships: 1. Update of Emission Factors, Report series for SMED and SMED&SLU, Norrköping
- 7) Entec, 2005, European Commission Directorate General Environment, Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments, Task 2c – SO₂ Abatement Final Report, August 2005, Entec UK Limited
- 8) DNV-GL, 2018, Installation of exhaust gas cleaning systems (*SOx Scrubbers*) some practical recommendations
- 9) ENVI – Marine, Pacific Green Technologies Group
- 10) Couple Systems, 2010, Dry EGCS Process Dry Exhaust Gas Cleaning System
- 11) EGCSA, 2010, Exhaust Gas Cleaning Systems Association web site
- 12) GDCh, 1996, Chemie und Biologie der Altlasten. Hrsg. Von der Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Weinheim
- 13) Corbett J. J., Winebrake J. J., Green E. H., Kasibhatla P., Eyring V. and Lauer A., 2007, Mortality from ship emissions: a global assessment, *Environ. Sci. Technol.* 41, 8512–8518
- 14) Filancia A., 2009, Reducing Emissions from Shipping, Wärtsilä's Solutions, Presented at Sustainable Shipping Conference 2009, San Francisco, California

- 15) Eyring V., Köhler H. W., van Aardenne J. and Lauer A., 2005, Emissions from international shipping: 1. The last 50 years. *J. Geophys. Res.* 110:D17305
- 16) Eelco den Boer and Maarten 't Hoen, 2015, Scrubbers – An economic and ecological assessment
- 17) DNV, 2009, Exhaust Gas Cleaning System (EGCS)
- 18) Hassellöv, I.M. and D. Turner, 2007, Seawater scrubbing - reduction of SO_x emissions from ship exhausts, The Alliance For Global Sustainability, Gothenburg
- 19) Kammann U., Haarich M., 2009, PAK – Metaboliten in Fischen aus der Nordsee 1999 – 2006, *Meeresumwelt aktuell*, No. 2009/3, 1-8
- 20) Heywood J.B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, N. York: McGraw – Hill, 930
- 21) Hatley, J.F. 2010, SO_x Regulations and Principles/Economics of Scrubbers, Presented at the 74th Annual International Joint Conference of the Canadian Shipowners Association and the Lake Carriers' Association, Niagara on the Lake, Ontario, June 20-21, 2010
- 22) Kehoe J., Nikopoulou. Z. and M. Liddane, 2010, Impact Study of the Future Requirements of Annex VI of the MARPOL Convention on Short Sea Shipping, SKEMA consortium, a project supported by the European Commission Directorate-General for Energy and Transport
- 23) Galloway J. N., Norton S. A., and Church, M. R., 1983, Freshwater acidification from atmospheric deposition of sulfuric acid: a conceptual model, *Environ. Sci. Technol* 17, 541A–545A
- 24) Joseph G. T., Beachler D. S., Peterson M. M., 1998, Scrubber Systems Operation Review, Self-Instructional Manual APTI Course, SI:412C, Second Edition, North Carolina State University
- 25) Lange B., Till M., Lutz P.H., 2015, Impacts of scrubbers on the environmental situation in ports and coastal waters, Umwelt Bundesamt
- 26) Lack D.A., Thuesen. J., Elliot R., Stuer-Lauridsen F., Overgaard S., 2012, Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping
- 27) Kenneth C. S., Howard E. H., 1996, *Wet Scrubbers*, Second Edition, CRC Press – Taylor & Francis Group

- 28) Mayer M. and Piepenburg D., 1996, Epibenthic distribution patterns on the continental slope off East Greenland at 75° N. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 143, p. 151-164
- 29) Man B. and Diesel W., 2004, *Emission Control – Two Stroke Diesel Engines*, Copenhagen
- 30) ΥΠΕΧΩΔΕ (2002) εθνικό πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου. Αθήνα.
- 31) Ιωαννίδης, Ι. (2005). *Ναυτικές Μηχανές*. Αθήνα: Εκδ. ΕΜΠ.
- 32) National Technical University of Athens Laboratory for Maritime Transport. (2008). *Ship Emission Study*. Hellenic Chamber of Shipping.
- 33) Entek UK Limited, E. U. (2007). *Ship Emission Inventory: Mediterranean Sea*. CONCAWE.
- 34) Σ. Στούρνας, Ε. Λ. (2003). *Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών για φοιτητές Σχολών Μηχανολόγων Μηχανικών*. Αθήνα: Εκδ. ΕΜΠ.
- 35) Καραθανάσης, Σ. (2006). *Ατμοσφαιρική ρύπανση*. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Τζιόλα.
- 36) UNCTAD. (2007). *Review of Maritime Transport*. UNCTAD.
- 37) Lloyd's Register. (1995). *Marine Exhaust Emissions Research Programme*. Λονδίνο.
- 38) IMO (2009). MEPC 59/INF.10, “Prevention of air pollution from ships”, International Maritime Organization, Marine Environment Protection Committee.
- 39) Groysman, A. (2017). *Corrosion Problems and Solutions in Oil Refining and Petrochemical Industry*. Springer, Switzerland.
- 40) IMO (2014). *Reduction Of GHG Emissions From Ships Third IMO GHG Study 2014 – Final Report*, Marine Environment Protection Committee.
- 41) Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., ... & Nganga, J. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*.
- 42) IMO (2009). *Second IMO GHG study*. London: International Maritime Organization (IMO).

- 43) Hemmings, B. (2011). EU Ship Emissions Time to Act. Transport and Environment.
- 44) Heywood, J. B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. N. York: McGraw-Hill, 930.
- 45) IMO (2016). MEPC.1/Circ.778/Rev.2 List of special areas, emission control areas and particularly sensitive sea areas.
- 46) IMO (2017). 2014 Guidelines On The Method Of Calculation Of The Attained Energy Efficiency Design Index (Eedi) For New Ships, As Amended (Resolution Mepc.245(66), As Amended By Resolutions Mepc.263(68) And Mepc.281(70)), MEPC.1/Circ.866.
- 47) IMO (2016). RESOLUTION MEPC.280(70): EFFECTIVE DATE OF IMPLEMENTATION OF THE FUEL OIL STANDARD IN REGULATION 14.1.3 OF MARPOL ANNEX VI.