



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΕΜΠΟΡΙΚΑ  
ΠΛΟΙΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΧΙΛΛΕΑΣ ΛΙΑΡΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΡΑΦΑΕΛΛΑ-ΕΛΕΝΗ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ: ΡΑΦΑΕΛΛΑ-ΕΛΕΝΗ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΚΟΖΑΝΗ 2021**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, ο ναυτιλιακός κλάδος αποτελεί το μεγαλύτερο κλάδο του εμπορίου, καθώς εξυπηρετεί περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου. Είναι αξιοσημείωτο ότι συνεισφέρει σε ποσοστά 2.7% και 15% στις διεθνείς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και οξειδίου του αζώτου, αντίστοιχα. . Επιπροσθέτως, παρόλο που τα λιμάνια ευθύνονται για ένα σχετικά μικρό ποσοστό από τους συνολικούς ρύπους της ναυτιλίας, λόγω της χρήσης πετρελαίου με χαμηλά επίπεδα θείου, η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αυτά είναι ιδιαίτερα έντονη εξαιτίας της συνεχούς ανάπτυξης του παγκόσμιου εμπορίου. Οι λιμένες, χαρακτηρίζονται ως εμπορικοί κόμβοι αφού εξυπηρετούν τις μεταφορές και ενισχύουν το εμπόριο. Σημαντική παρατήρηση, επίσης, αποτελεί το γεγονός ότι οι εκπομπές αέριων ρύπων κοντά σε λιμάνια αντιπροσωπεύουν το 5% των συνολικών θαλάσσιων εκπομπών.

Παράλληλα, με τη ραγδαία ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου αυξήθηκε και η ζήτηση πλοίων μεταφοράς εμπορευμάτων, γεγονός που ανάγκασε τους πλοιοκτήτες να μεγαλώσουν το στόλο τους. Τα πλοία αυτά, απαιτούν μηχανές με ιπποδύναμη άνω των 90,000 ίππων, ώστε να κινούνται με πλήρες φορτίο και να πραγματοποιούν τα δρομολόγια τους στον προβλεπόμενο χρόνο.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των αέριων ρύπων , που εκπέμπονται από τα εμπορικά πλοία στους λιμένες, αλλά και εν πλω. Η μελέτη των μεθόδων μείωσης των επιπτώσεών τους, είτε λαμβάνοντας μέτρα αντιμετώπισης τους, είτε ελαττώνοντας τις εκπομπές τους μέσω τροποποιήσεων στον κινητήρα και στη δομή του πλοίου, η παράθεση της σχετικής νομοθεσίας,. η παρουσίαση των βασικών τύπων κινητήρων εμπορικών πλοίων, καθώς και η αναλυτική περιγραφή όλων των μερών ενός ναυτικού κινητήρα diesel, και της λειτουργίας του. Σημαντικό κομμάτι αποτελεί, επίσης, η ανάλυση των συστημάτων και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Τέλος, μέρος της παρούσας εργασίας είναι και η συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων, καθώς και η προσεγγιστική καταγραφή του συνολικού κόστους, σχετικά με τις τροποποιήσεις σε κάθε επίπεδο εκπομπής ρύπων ξεχωριστά. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα συστήματα του επιπέδου Tier III, τα οποία είναι και το αντικείμενο μελέτης πολλών βιομηχανιών ναυτιλίας τη σημερινή εποχή. Από τους πίνακες του κόστους προκύπτουν συμπεράσματα για τη βιωσιμότητα των επενδύσεων μετατροπής των κινητήρων λαμβάνοντας υπόψη εάν ένα πλοίο είναι νεόδμητο ή όχι.

## **ABSTRACT**

Recently, the shipping industry has been defined as the most significant trade sector, accounting for about 90% of world trade. It is worth mentioning that it contributes 2.7% and 15% to carbon dioxide and nitrogen oxide global emissions, respectively. In addition, although ports are responsible for a relatively small percentage of total shipping pollutants due to the use of low sulfur oil, the increase in air pollution in them is particularly pronounced because of the continued growth of world trade. Ports are characterized as commercial hubs, as they transport goods and enhance the majority of the business areas. Another important observation is that emissions of gaseous pollutants near ports account for 5% of total marine emissions. At the same time, with the rapid growth of international trade, the demand for cargo ships has been increased. This situation has forced ship owners to increase their fleet. These ships require engines with more than 90,000 horsepower to run at full load and to perform their services on time.

This dissertation aims to analyze gaseous pollutants emitted by merchant ships in ports and at sea and how to mitigate their effects, either by reducing them or decreasing their emissions through engine and structure modifications. Moreover, the relevant legislation, the basic types of engines of merchant ships, as well as a detailed description of all parts of a naval diesel engine and its operation are presented. An important part of the thesis is also the analysis of the systems and technologies used to reduce emissions.

Finally, a comparative evaluation of the methods is performed. An approximate record of the total costs for the modifications for each level of emissions is made separately, emphasizing the Tier III level systems, as they are the subject of study of many shipping industries today. According to the cost tables, conclusions about the viability of conversion investments in engines can be drawn, depending on the ship's phase (newly built or existing one).

# ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

## ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ

Δηλώνω ρητά ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο: "ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ" - "COMPARATIVE EVALUATION OF POLLUTION CONTROL SYSTEMS ON MERCHANT VESSELS" καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη της κα. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ ΡΑΦΑΕΛΛΑΣ-ΕΛΕΝΗΣ, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C)

**Όνοματεπώνυμο Φοιτητή:** ΛΙΑΡΟΣ ΑΧΙΛΛΕΥΣ

**Όνοματεπώνυμο Επιβλέποντα:** ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ ΡΑΦΑΕΛΛΑ-ΕΛΕΝΗ

**Ημερομηνία:** 05/07/2021

**Πόλη:** ΚΟΖΑΝΗ

**Υπογραφή Φοιτητή:**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	i
ABSTRACT.....	ii
ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ .....	iii
ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ .....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	xi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	3
1. ΕΙΔΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ .....	3
1.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ.....	4
1.1.1 Οξείδια του θείου ( $SO_x$ ).....	4
1.1.2 Οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ ).....	4
1.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ).....	5
1.1.4 Σωματίδια ( <i>Particulate Matter</i> ).....	5
1.1.5 Άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $H_xC_y$ ) .....	6
1.1.6 Μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ).....	6
1.1.7 Πτητικές οργανικές ενώσεις ( <i>VOCs – Volatile Organic Compound</i> ).....	6
1.2 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ .....	7
1.2.1 Όζον ( $O_3$ ).....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	9
2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ... 9	9
2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ .....	9
2.1.1 Μίγμα σωματιδίων των εξατμίσεων (από καύσιμα <i>diesel</i> ).....	9
2.1.2 Οξείδια του θείου ( $SO_x$ ).....	10
2.1.3 Σωματίδια <i>PM</i> .....	11

2.1.4 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) .....	12
2.1.5 Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ).....	12
2.1.6 Όζον.....	13
2.1.7 Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ).....	13
2.1.8 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	13
2.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	13
2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ .....	14
2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΝΕΦΗ.....	17
2.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (radiative forcing).....	18
2.6 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	19
2.7 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ\.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	22
3. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΚΠΙΕΜΠΟΜΕΝΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ .....	22
3.1 ΔΙΕΘΝΕΣ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	24
3.2 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ 24	
3.2.1 Παράρτημα VI της MARPOL 73/78 .....	24
3.2.2 Κανονισμός 4 (Regulation 4).....	25
3.2.3 Κανονισμός 5 (Regulation 5).....	25
3.2.4 Κανονισμός 6 (Regulation 6).....	25
3.2.5 Κανονισμός 13 (Regulation 13).....	26
3.2.6 Κανονισμός 14 (Regulation 14).....	26
3.2.7 Οικονομικά – αποδοτικά οφέλη.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	31
4. ΚΥΚΛΟΣ DIESEL.....	31
4.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΩΝ DIESEL .....	31
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ DIESEL.....	31
4.3 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ .....	32
4.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ .....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	45
5. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ	45
5.1 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ .....	46
5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	48
5.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	48
5.4 ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	51
5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (EXHAUST GAS TREATMENT SYSTEMS) .....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	65
6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ .....	65
6.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ .....	67
6.1.1 ΑΝΤΙΘΕΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΕΣ ΠΡΟΠΕΛΕΣ .....	67
6.1.2 ΡΟΤΟΡΕΣ.....	67
6.1.3 ΠΛΟΙΑ ΜΕ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΑ ( <i>Air Cavity Systems-ACS</i> ).....	67
6.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ .....	68
6.2.1 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ .....	68
6.2.2 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ .....	68
6.2.3 ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ.....	68

6.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	68
6.3.1 Απόδοση και Κόστος.....	71
6.3.2 Κινητήριος Δύναμη και Εμπόδια.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	74
7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ .....	74
7.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ .....	74
7.2 Υπολογισμός κόστους εργασιών κατασκευαστή .....	74
7.3 Σταθερά κόστη κατασκευαστή .....	75
7.4 Κόστος τροποποιήσεων για TIER I.....	75
7.5 Κόστος τροποποιήσεων για TIER II.....	77
7.6 Κόστος τροποποιήσεων για TIER III.....	77
7.6.1 Απευθείας έγχυση νερού (DWI).....	78
7.6.2 Ανακυκλοφορία καυσαερίων.....	80
7.6.3 Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	83
8. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	90



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Κύκλος των NO <sub>x</sub> στο φυσικό περιβάλλον.....	5
Εικόνα 2: Επίπεδα διεισδυτικότητας αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό. (Συρράκος 2014) .....	6
Εικόνα 3: Τα στρώματα της ατμόσφαιρας και το προστατευτικό στρώμα όζοντος.....	8
Εικόνα 4: Χάρτης ετήσιας θνησιμότητας λόγω καρδιοπνευμονικών παθήσεων που αποδίδεται σε εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων παγκοσμίως από τις θαλάσσιες μεταφορές (Corbett, 2007).....	11
Εικόνα 5: Ίχνη πλοίων πάνω από τον Ειρηνικό Ωκεανό .....	17
Εικόνα 6: Αέριοι ρύποι διαφορετικών μέσων μεταφοράς παγκοσμίως (Loosley, 2015) .....	22
Εικόνα 7: Διάγραμμα ορίων εκπομπών NO <sub>x</sub> συναρτήσει των στροφών του κινητήρα, στα πρότυπα του IMO .....	29
Εικόνα 8: Διαγράμματα πίεσης-όγκου και θερμοκρασίας-εντροπίας στον κύκλο Diesel .....	32
Εικόνα 9: Σώμα κυλίνδρων .....	34
Εικόνα 10: Κεφαλή κυλίνδρων.....	35
Εικόνα 11: Φλάντζα.....	35
Εικόνα 12: Έμβολο.....	35
Εικόνα 13: Ελατήρια εμβόλου.....	36
Εικόνα 14: Πείρος εμβόλου.....	36
Εικόνα 15: Σύνδεση πείρου με έμβολο .....	36
Εικόνα 16: Διωστήρας – Συνδετική ράβδος .....	37
Εικόνα 17: Στροφαλοφόρος άξονας ναυτικής μηχανής.....	37
Εικόνα 18: Εκκεντροφόρος άξονας ναυτικής μηχανής.....	38
Εικόνα 19: Σύνδεση εκκεντροφόρου με στροφαλοφόρο άξονα .....	38
Εικόνα 20: Βαλβίδες και ελατήρια.....	39
Εικόνα 21: Ωστήριο βαλβίδων .....	39
Εικόνα 22: Σφόνδυλος μόλις τοποθετημένος σε στροφαλοφόρο άξονα σε νεόκτιστη μηχανή (Προσωπικό αρχείο) .....	40
Εικόνα 23: Αγωγός αέρα εισαγωγής και αέρα εξαγωγής.....	41
Εικόνα 24: Διαδρομή καυσαερίων από τη μηχανή στην έξοδο .....	42
Εικόνα 25: Σύστημα ψύξης ναυτικής μηχανής.....	44
Εικόνα 26: Προσθήκη βολβού για υδροδυναμική βελτίωση του πηδαλίου .....	47

Εικόνα 27: Τρόπος λειτουργίας κυψέλης καυσίμου.....	49
Εικόνα 28: Ανεπτυγμένη διάταξη από φίλτρο MARINE-X® DPF ( <a href="http://www.dcl-inc.com/pdf/marine/MARINE-X-diesel-particulate-filters.pdf">http://www.dcl-inc.com/pdf/marine/MARINE-X-diesel-particulate-filters.pdf</a> ).....	50
Εικόνα 29: Διάταξη εγκατάστασης ηλεκτροδότησης πλοίου σε λιμένα. ( <a href="https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/">https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/</a> ).....	52
Εικόνα 30: Σύσταση Φυσικού αερίου και L.N.G.....	53
Εικόνα 31: Χρήση χαρταετού για την πρόωση πλοίου.....	54
Εικόνα 32: Στοιχείο καταλύτη σε τεχνολογία SCR.....	61
Εικόνα 33: Σύστημα EGR ενσωματωμένο σε ναυτικό κινητήρα. Τα πορτοκαλί τμήματα είναι τα εξαρτήματα του συστήματος (Εικόνα της MAN Diesel & Turbo) .....	63

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύγκριση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ναυτιλία σε σχέση με τις συνολικές εκπομπές. <a href="http://www.bunkerportsnews.com/">http://www.bunkerportsnews.com/</a> .....	4
Πίνακας 2: Πτητικές οργανικές ενώσεις .....	7
Πίνακας 3: Ημιπητικές οργανικές ενώσεις.....	7
Πίνακας 4: Ενδείξεις για τις επιπτώσεις των SO <sub>x</sub> στην ανθρώπινη υγεία .....	10
Πίνακας 5: Ενδείξεις για τις επιπτώσεις των NO <sub>x</sub> στην ανθρώπινη υγεία ( <a href="http://www.who.int/en/">http://www.who.int/en/</a> ).....	13
Πίνακας 6: Επίδραση των εκπομπών των πλοίων στην ενίσχυση ακτινοβολίας.....	19
Πίνακας 7: Μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων από τη ναυτιλία με διάφορα τεχνολογικά μέσα (CNSS).....	45
Πίνακας 8: Ανάλυση SWOT πλυντρίδων.....	59
Πίνακας 9: Αξιολόγηση δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών CO <sub>2</sub> στη ναυτιλία χρησιμοποιώντας γνωστές τεχνολογίες και πρακτικές (Second IMO GHG, 2009) .....	66
Πίνακας 10: Περίληψη των εφαρμογών και των δυνατοτήτων της εκάστοτε τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλιακή βιομηχανία.....	69
Πίνακας 11: Μισθολόγιο εργασιών.....	74
Πίνακας 12: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων κατηγορίας Tier I.....	76
Πίνακας 13: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων κατηγορίας Tier II .....	77
Πίνακας 14: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων για το σύστημα απευθείας έγχυσης νερού στον κινητήρα.....	79
Πίνακας 15: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων για το σύστημα απευθείας έγχυσης νερού στον κινητήρα.....	80
Πίνακας 16: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων για το σύστημα επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής.....	81

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχηματικό διάγραμμα των αερίων ρύπων από τη ναυτιλία στην κλιματική αλλαγή	16
Σχήμα 2: Συνεισφορά σε CO <sub>2</sub> ανά τύπο πλοίου (αριστερά) και ανά χώρα (δεξιά) (Bunker Ports News Worldwide).....	23
Σχήμα 3 Όρια περιεκτικότητας σε θείο πετρελαίου καυσίμου του παραρτήματος VI της MARPOL ( <a href="http://www.martenaengineering.com/">http://www.martenaengineering.com/</a> ) .....	27
Σχήμα 4: Πρόγραμμα ελέγχου NO <sub>x</sub> από κινητήρα diesel του Παραρτήματος VI της MARPOL.....	29
Σχήμα 5: Σύγκριση κόστους και οφέλους για την υγεία από τη δημιουργία εσόδων για το NECA και τα συνδυασμένα σενάρια εισφοράς και κεφαλαίων NECA (εκατομμύρια ευρώ).	30
Σχήμα 6: Υγρό σύστημα καθαρισμού SO <sub>x</sub> ανοικτού βρόχου.....	56
Σχήμα 7: Υγρό σύστημα καθαρισμού SO <sub>x</sub> με κλειστό βρόχο.....	57
Σχήμα 8: Απεικόνιση υβριδικού συστήματος καθαρισμού SO <sub>x</sub> , το οποίο βρίσκεται σε λειτουργία κλειστού βρόχου.....	58
Σχήμα 9: Απεικόνιση υβριδικού συστήματος καθαρισμού SO <sub>x</sub> , το οποίο βρίσκεται σε λειτουργία ανοικτού βρόχου.....	58
Σχήμα 10: Διάταξη τεχνολογίας SCR σε ναυτικό κινητήρα μέσης ταχύτητας. ( <a href="https://www.mhi.com/news/110622en.html">https://www.mhi.com/news/110622en.html</a> )\.....	60
Σχήμα 11: Διάταξη συστήματος EGR σε δίχρονο κινητήρα χαμηλής ταχύτητας (Image courtesy by MAN Diesel & Turbo).....	62

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Αποδοτικότητα εμπορικών πλοίων κατά την περίοδο 1855-2006.....	65
---	----

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλλαγή του κλίματος είναι ένα από τα πιο απαιτητικά περιβαλλοντικά ζητήματα, καθώς είναι παγκόσμιο, με μακροπρόθεσμες επιπτώσεις και ο μετριασμός συνεπάγεται σημαντικές κοινωνικές συμπεριφορές και τεχνολογικές προσαρμογές. Οι διεθνείς συμφωνίες για την αλλαγή του κλίματος θα απαιτήσουν από τα κράτη να εξετάσουν δράσεις μετριασμού που στοχεύουν στις εγχώριες πηγές χερσαίων εκπομπών και αναπόφευκτα θα επηρεάσουν τον τομέα της ναυτιλίας.

Η ναυτιλία ευθύνεται για σημαντικές ποσότητες εκπεμπόμενων ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς αντιμετωπίζει την ταχύτερη αύξηση όσον αφορά τις εκπομπές. Η ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ο αποδοτικότερος ενεργειακά τομέας στον κλάδο των μεταφορών, αλλά, από την άλλη πλευρά αποδείχθηκε σημαντική η σοβαρότητα των εκπομπών των εμπορικών πλοίων. Η διεθνής έρευνα για τη μείωση των εκπομπών από τη ναυτιλία εξακολουθεί να είναι σχετικά πρόσφατη. Ο ναυτιλιακός κλάδος είναι εξαιρετικά ανταγωνιστικός, οικονομικά ευαίσθητος και η οικονομική ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών αύξησε τη ζήτηση για μεγαλύτερα πλοία. Ως συνέπεια αυτής της εξελικτικής προόδου, η κυκλοφορία των ρύπων και οι σχετικές εκπομπές ρύπων αέρα έχουν αυξηθεί. Σε τοπική κλίμακα, η ναυσιπλοΐα έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα μέσω του σχηματισμού και της μεταφοράς αερίων του θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και του μεθανίου (CH<sub>4</sub>), καθώς και άλλων ρύπων όπως των οξειδίων του αζώτου και του θείου (NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub> αντίστοιχα), του τροποσφαιρικού όζοντος και σωματιδίων διάφορων διαμέτρων (PM). Αυτές οι ατμοσφαιρικές εκπομπές ευθύνονται για σοβαρά ζητήματα που σχετίζονται με το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Επιπλέον, η ναυτιλία επηρεάζει σοβαρά την ανθρώπινη υγεία μέσω του σχηματισμού και μεταφοράς όζοντος εδάφους, εκπομπών θείου και σωματιδίων. Στις πόλεις που διαθέτουν λιμενικές εγκαταστάσεις ή στις παράκτιες περιοχές, οι εκπομπές των πλοίων αποτελούν συχνά την κυριότερη πηγή ρύπανσης. Επιπλέον, οι εκπομπές από τα πλοία μεταφέρονται στην ατμόσφαιρα σε αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα συμβάλλοντας έτσι στην ενίσχυση των προβλημάτων ποιότητας του αέρα στην ξηρά, ακόμη και αν εκπέμπονται στη θάλασσα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιμερίζεται σε 7 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα είδη ατμοσφαιρικών ρύπων που προέρχονται από ναυτικές μηχανές diesel εμπορικών πλοίων. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις ναυτικές μηχανές εμπορικών πλοίων, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τα εμπορικά πλοία καθώς και η νομοθεσία που αφορά τους αέριους ρύπους από πλοία. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται οι κύριοι τύποι μηχανών και ο τρόπος λειτουργίας τους στην ακτοπλοΐα. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται αναλυτικά οι ονομασίες και τα χαρακτηριστικά όλων των τύπων των εμπορικών πλοίων, ενώ στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι περιορισμού των επιπτώσεων από την ατμοσφαιρική ρύπανση των ναυτικών μηχανών. Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής, γίνεται μία ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας (cost-effectiveness analysis), στην οποία συγκρίνονται τα οικονομικά οφέλη της κάθε μεθόδου περιορισμού των ρύπων ανάλογα με την

κατάσταση στην οποία βρίσκεται το πλοίο (νεόδμητο ή ήδη υφιστάμενο). Κλείνοντας, παρατίθενται τα κύρια συμπεράσματα της σύγκρισης, από τα οποία καθίσταται σαφής η πορεία που θα πρέπει να ακολουθήσει μία κατασκευαστική εταιρία, προκειμένου να εγκαταστήσει κάποιο από τα αναφερόμενα συστήματα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1. ΕΙΔΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τα πλοία αποτελούν έναν από τους βασικούς πυλώνες της συνολικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ρύποι αυτοί, προέρχονται κυρίως από τα πλοία που χρησιμοποιούν μηχανές diesel αλλά και άλλου είδους βοηθητικές μηχανές. Η εκπεμπόμενη ποσότητα των ρύπων έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά του πλοίου που αφορούν το σχεδιασμό του έτσι ώστε να δέχεται τις λιγότερες δυνατές αντιστάσεις από το νερό και κατά συνέπεια να χρειάζεται λιγότερη ώση. Ακόμη, βασικά στοιχεία που επηρεάζουν την εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων είναι η κατάσταση της μηχανής, ο χρόνος ελιγμών καθώς και ο χρόνος παραμονής του πλοίου εντός του λιμένα.

Οι δύο κύριες κατηγορίες ρύπων είναι οι πρωτογενείς και οι δευτερογενείς ρύποι. Οι πρωτογενείς ρύποι εκπέμπονται απευθείας από τις μηχανές των πλοίων και οι πιο σημαντικοί είναι:

- τα οξείδια του θείου ( $SO_x$ )
- τα οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ )
- το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ )
- το μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ )
- τα σωματίδια ( $PM$ )
- οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $H_xC_y$ )
- οι πτητικές οργανικές ενώσεις ( $VOCs$ )

Οι δευτερογενείς ρύποι προέρχονται από το μετασχηματισμό των πρωτογενών ρύπων που έχουν μεγάλο κύκλο ζωής και μεταφέρονται πολύ μακριά από την πηγή εκπομπής υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων με τα συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι δευτερογενείς ρύποι είναι:

- το όζον ( $O_3$ )
- το υδροξύλιο ( $OH$ )

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) φαίνεται η σύγκριση εκπομπών  $CO_2$  σε σχέση με τις συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων.

*Πίνακας 1: Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία σε σχέση με τις συνολικές εκπομπές.*  
<http://www.bunkerportsnews.com/>

	Third IMO GHG Study (million tonnes)						ICCT (million tonnes)		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Global CO<sub>2</sub> Emissions<sup>2</sup></b>	<b>31,959</b>	<b>32,133</b>	<b>31,822</b>	<b>33,661</b>	<b>34,726</b>	<b>34,968</b>	<b>35,672</b>	<b>36,084</b>	<b>36,062</b>
<b>International Shipping</b>	881	916	858	773	853	805	801	813	812
<b>Domestic Shipping</b>	133	139	75	83	110	87	73	78	78
<b>Fishing</b>	86	80	44	58	58	51	36	39	42
<b>Total Shipping</b>	<b>1,100</b>	<b>1,135</b>	<b>977</b>	<b>914</b>	<b>1,021</b>	<b>942</b>	<b>910</b>	<b>930</b>	<b>932</b>
<b>% of global</b>	3.5%	3.5%	3.1%	2.7%	2.9%	2.6%	2.5%	2.6%	2.6%

## 1.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ

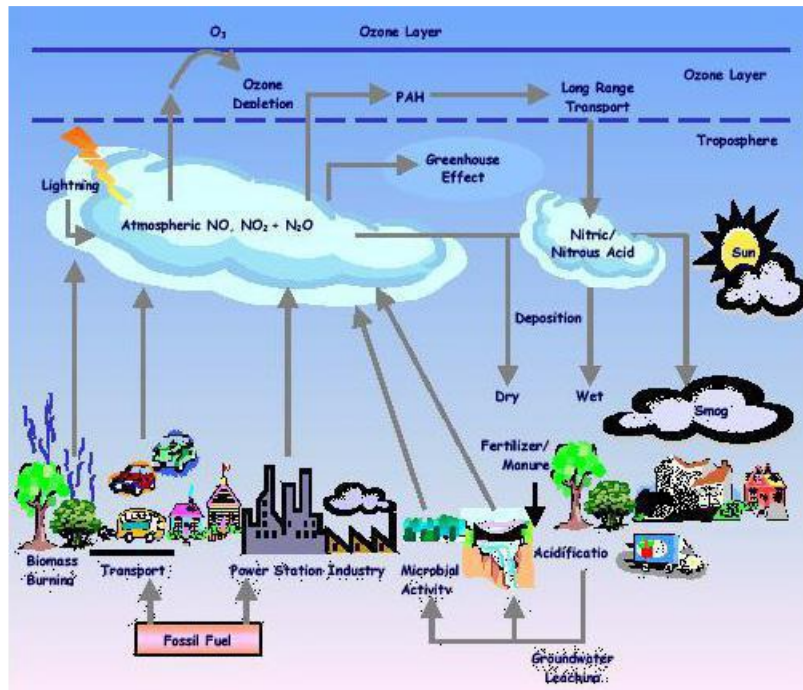
### 1.1.1 Οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>)

Τα οξείδια του θείου αποτελούν έναν από τους βασικότερους ρύπους στη ναυτιλία και προέρχονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων μέσα στα οποία εμπεριέχεται ποσοστό θείου. Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) μετατρέπεται σε τριοξείδιο του θείου (SO<sub>3</sub>) μέσω της αντίδρασης της οξειδωσης και έπειτα το τριοξείδιο του θείου αντιδρά με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας (H<sub>2</sub>O) σε θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

### 1.1.2 Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Οι υψηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές πιέσεις κατά την καύση στον κύλινδρο των ναυτικών μηχανών του πλοίου ευνοούν το σχηματισμό οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Ένας από τους ρύπους που παράγεται από τις μηχανές των πλοίων είναι το μονοξείδιο του αζώτου, το οποίο μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου μέσω μιας σειράς χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα, παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας.





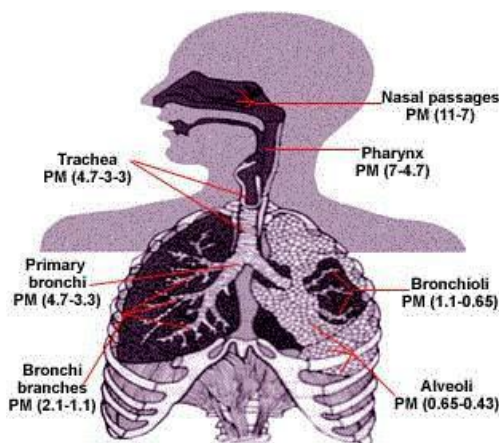
**Εικόνα 1:** Κύκλος των  $NO_x$  στο φυσικό περιβάλλον

### 1.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ )

Είναι ένα από τα κύρια αέρια που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά οι εκπομπές είναι σε μικρό ποσοστό σε σχέση με τις εκπομπές από άλλες ανθρωπογενείς πηγές. Το αέριο αυτό έχει συγκέντρωση της τάξης των 400 ppm αλλά με το πέρασμα των χρόνων εκτιμάται ότι θα έχει αυξητική τάση. Προέρχεται από την καύση της καύσιμης ύλης στη μηχανή των πλοίων διότι τα περισσότερα καύσιμα περιέχουν άνθρακα, υδρογόνο και θείο και αυτά αντιδρούν με το οξυγόνο (Συρράκος 2014, Έξαρχος 2013).

### 1.1.4 Σωματίδια (Particulate Matter)

Είναι ένας σύνθετος ρύπος που αποτελείται από αιθάλη, οξείδια μετάλλων και θειικά άλατα διαφορετικού μεγέθους, διαφορετικής χημικής σύστασης και σχήματος. Η ατελής καύση του καυσίμου, οι ακαθαρσίες και τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται είναι οι κυριότερες πηγές των σωματιδίων. Τα σωματίδια δεν έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις. Ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να εισπνεύσει σωματίδια και αυτά να παραμείνουν στο ρινικό σύστημα όταν αυτά έχουν διάμετρο 10  $\mu m$  έως 5  $\mu m$ . Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 5  $\mu m$  καταφθάνουν στους πνεύμονες και προκαλούν φράξιμο στην αναπνευστική οδό. Σωματίδια με 1  $\mu m$  έως 2  $\mu m$  φράζουν τις αναπνευστικές κυψελίδες και προκαλούν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα (Εικόνα 2).



**Εικόνα 2:** Επίπεδα διεισδυτικότητας αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό. (Συρράκος 2014)

### 1.1.5 Άκαυστοι υδρογονάνθρακες ( $H_xC_y$ )

Οι υδρογονάνθρακες είναι σημαντικοί πρωτογενείς ρύποι και συμμετέχουν στο σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών. Προέρχονται και αυτοί όπως και τα σωματίδια, από την ατελή καύση του καυσίμου στο θάλαμο της μηχανής, συμβάλλοντας και αυτά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### 1.1.6 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Είναι ένα άγευστο, άοσμο και άχρωμο αέριο το οποίο είναι τοξικό προς τον άνθρωπο ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις (από τα 35 ppm), παρ' όλο που παράγεται σε μικρές ποσότητες από τον κανονικό ζωικό μεταβολισμό και θεωρείται ότι συμμετέχει σε κάποιες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες. Στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ ευμετάβλητο και βραχύβιο, συμβάλλοντας στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος. Το μονοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από κατά τη μερική οξείδωση ανθρακούχων ενώσεων ή και στοιχειακού άνθρακα. Υπό συνθήκες μειωμένης συγκέντρωσης οξυγόνου, παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα, μιας και δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο προς παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στη λειτουργία καυστήρα ή μηχανής εσωτερικής καύσης.

### 1.1.7 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs – Volatile Organic Compound)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς αέριους ρύπους καθώς έχουν υψηλή τοξικότητα και εύκολη διασπορά στην ατμόσφαιρα. Συμπεριλαμβάνουν τα αλκάλια, τις αλκοόλες, τις κετόνες, τις αλδεΐδες, τις παραφίνες, τις ολεφίνες και τους αρωματικούς και αλογονομένους υδρογονάνθρακες (Πίνακας 2, Πίνακας 3). Οι ανθρωπογενείς VOCs ρυθμίζονται από νόμους, ιδιαίτερα σε κλειστό χώρο, όπου οι συγκεντρώσεις είναι και πιο υψηλές. Οι επιβλαβείς VOCs δεν είναι συνήθως πολύ τοξικές, αλλά έχουν σύνθετες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Το κύριο μειονέκτημά τους, είναι ότι καταστρέφουν το ατμοσφαιρικό όζον (τρύπα του όζοντος) το οποίο

μας προστατεύει από την υπερϊώδη ακτινοβολία του ηλίου, ενώ συμβάλλουν και αυτές στο σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος.

*Πίνακας 2: Πτητικές οργανικές ενώσεις*

<b>ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ</b>	
Υδρογονάνθρακες	Μεθάνιο, αιθάνιο βουτάνιο, προπάνιο, ισοβουτάνιο, πεντάνιο, αιθυλένιο, ακετυλένιο, βουτένιο, βουταδιένιο, βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο
Βιοαλκένια	Ισοπροπένιο, πινένια, μονοτερπένια, κλπ.
Αλδεΐδες	Φορμαλδεΐδη, ακεταλδεΐδη κλπ.
Κετόνες	Ακετόνη, μεθυλο-αιθυλο-κετόνη, κλπ.
Οξέα	Μυρμηκικό, οξικό, κλπ.

*Πίνακας 3: Ημιπτητικές οργανικές ενώσεις*

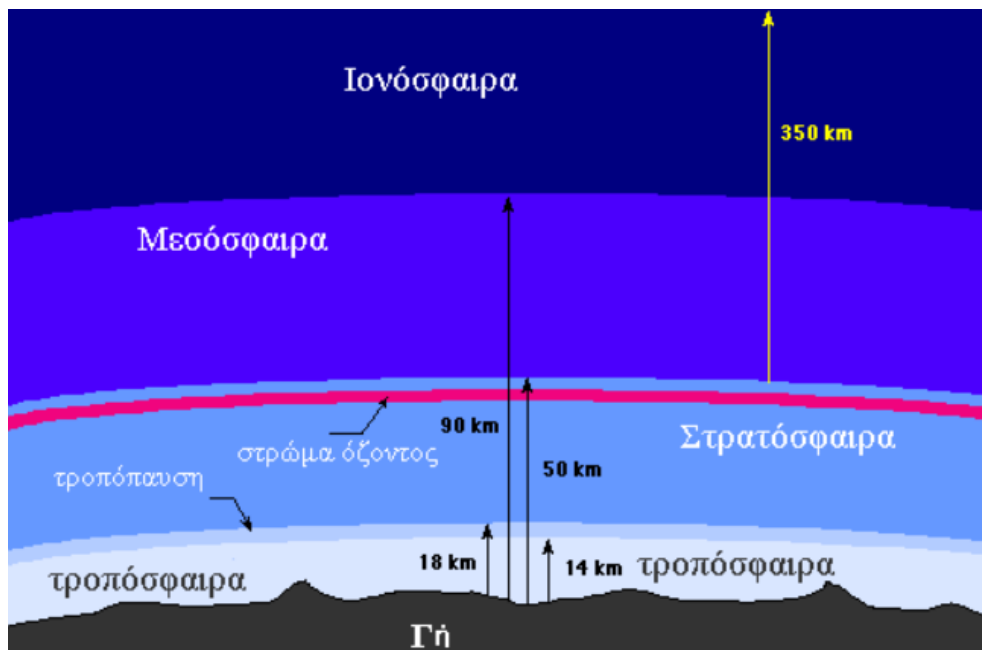
PAHs	Ναφθαλίνιο, φαινανθρένιο, πυρένιο, χρυσένιο, βενζο(α)ανθρακένιο, βενζο(α)πυρένιο.
PCBs	
Οργανοχλωριωμένες ενώσεις	DDT, Clordane, εξαχλωροκυκλοεξάνιο κλπ.

## 1.2 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ

### 1.2.1 Όζον (O<sub>3</sub>)

Το όζον ανήκει στην ομάδα των οξειδωτικών μέσων, έχοντας ισχυρότερες οξειδωτικές ικανότητες από το οξυγόνο. Εμφανίζεται σε μια πληθώρα εφαρμογών σχετικές με την οξείδωση. Σε συγκεντρώσεις πάνω από περίπου 100 ppb, και λόγω του υψηλού οξειδωτικού δυναμικού, προκαλεί βλάβες στο βλεννογόνο και στους αναπνευστικούς ιστούς των ζώων, καθώς και στους ιστούς των φυτών. Η παραπάνω ιδιότητα καθιστά το όζον έναν εν δυνάμει αναπνευστικό κίνδυνο και κατ' επέκταση έναν ρυπαντή. Βέβαια, το αποκαλούμενο «στρώμα του όζοντος», το τμήμα της στρατόσφαιρας με αρκετά υψηλή συγκέντρωση όζοντος, μεταξύ 2 και 8 ppm, είναι ζωτικής σημασίας, λόγω της ικανότητάς του να εμποδίζει τη βλαβερή

υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου να φθάσει στην επιφάνεια της Γης. Το όζον δεν εξέρχεται απευθείας από την πηγή εκπομπής, αλλά σχηματίζεται όταν οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) και πτητικές οργανικές ενώσεις ( $\text{VOCs}$ ) αντιδρούν στην ατμόσφαιρα κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (φωτοχημική αντίδραση). Οι υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν ευνοϊκό παράγοντα σχηματισμού των οξειδίων του αζώτου, οπότε την καλοκαιρινή περίοδο αυξάνεται η παραγωγή του επιφανειακού όζοντος. Η Εικόνα 3 παρουσιάζει τα στρώματα της ατμόσφαιρας και το προστατευτικό στρώμα όζοντος.



**Εικόνα 3:** Τα στρώματα της ατμόσφαιρας και το προστατευτικό στρώμα όζοντος

Το υδροξύλιο αποτελεί το κυριότερο οξειδωτικό της ατμόσφαιρας. Ένα μέρος του αντιδρά με το μεθάνιο, το όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα και τα οξειδία του αζώτου. Η ποσότητα του υδροξυλίου που δεν αντέδρασε παραμένει στην ατμόσφαιρα (Εξαρχος 2013, Συρράκος 2014).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Η συνεχής αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κίνησης στους διεθνείς εμπορικούς λιμένες και όχι μόνο. Ως συνέπεια αυτού, λογίζεται η δημιουργία σημαντικών ατμοσφαιρικών ρύπων, με βασικότερους τους εξής:

- Μίγμα σωματιδίων των εξατμίσεων από καύσιμα diesel
- Οξείδια του θείου ( $SO_x$ )
- Οξείδια του αζώτου ( $NO_x$ )
- Μονοξείδιο του άνθρακα
- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες
- Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ )
- Σωματίδια PM (Particulate matter)
- Πτητικές οργανικές ενώσεις VOC (προ καύσεως)

Οι παραπάνω ρύποι δε διασκορπίζονται αβλαβώς στο θαλάσσιο χώρο. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι των πλοίων, σε παράκτιες περιοχές και λιμάνια, διασπείρονται στην ξηρά, προκαλώντας προβλήματα στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (Κωνσταντοπούλου, 2013).

Στην κλιματική αλλαγή συμβάλλουν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από πλοία, και οι εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τα επίπεδά του ακόμη περισσότερο.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε ναυτικές μηχανές περιέχουν θείο το οποίο είναι μη επιθυμητό, καθώς κατά την καύση του μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) που είναι όξινο και διαβρωτικό, συμβάλλοντας παράλληλα στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Επίσης, εκτός του θείου, περιέχονται και μικρές ποσότητες υλικών όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις, που μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία τέφρας κατά την καύση.

#### 2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

##### 2.1.1 Μίγμα σωματιδίων των εξατμίσεων (από καύσιμα diesel)

Σύμφωνα με δεδομένα μελετών, η έκθεση του ανθρώπου σε εξατμίσεις μηχανών diesel επιφέρει προβλήματα στα μάτια και στο αναπνευστικό σύστημα, (Μπουλαντζάς, 2014). Επιπροσθέτως, η έκθεση σε εξατμίσεις diesel προκαλεί καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος του ανθρώπου. Η έκθεση σε εξατμίσεις diesel συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην

αρχή αλλεργιών και άσθματος σε ανθρώπους νεαρότερους σε ηλικία όπως απέδειξαν νέες επιστημονικές μελέτες (Pandya, 2002).

Επιπροσθέτως, η συνεχής έκθεση σε εξατμίσεις μηχανών diesel αποδεικνύεται πολλές φορές υπεύθυνη για την εμφάνιση καρκίνου στους πνεύμονες. Έκθεση εργαζόμενων σε τέτοιου είδους εκπομπές εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου στους πνεύμονες, με το ποσοστό να κυμαίνεται μεταξύ 50-100%. (Bailey and Solomon, 2004).

Γενικότερα, μελέτες έχουν συνδέσει την έκθεση του ανθρώπου σε ρύπους από εξατμίσεις μηχανών diesel με πληθώρα μορφών καρκίνων όπως λευχαιμία και καρκίνοι της στοματικής κοιλότητας, του φάρυγγα και του λάρυγγα (Bailey and Solomon 2004).

### 2.1.2 Οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>)

Το SO<sub>x</sub> αντιδρά με τους υδρατμούς στον αέρα και δημιουργεί όξινα αερολύματα, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα. Υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα τα οποία αποδεικνύουν ότι η έκθεση ανθρώπων με άσθμα σε ατμοσφαιρικές συνθήκες παρόμοιες με αυτές που εμφανίζονται γύρω από λιμάνια, έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων κατά 25-30% (Κωνσταντοπούλου, 2013).

Πληθώρα ερευνών έδειξε (Penden, 1997), ότι ο συνδυασμός του SO<sub>x</sub> και του NO<sub>x</sub> στον αέρα είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, επειδή αυτές οι ενώσεις ενεργούν από κοινού και αυξάνουν τα αναπνευστικά προβλήματα αλλά δημιουργούν και αλλεργίες. Επίσης, τα οξείδια του θείου ερεθίζουν το αναπνευστικό σύστημα και προκαλούν μείωση ορατότητας. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) συχνά υποστηρίζει μελέτες με θέμα τις επιπτώσεις της περιβαλλοντικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα για τα οξείδια του θείου, τα αποτελέσματα αναφέρουν σημαντικό περιορισμό διάφορων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας μελέτης που πραγματοποιήθηκε και αφορά στις επιπτώσεις των SO<sub>x</sub> στην ανθρώπινη υγεία.

*Πίνακας 4: Ενδείξεις για τις επιπτώσεις των SO<sub>x</sub> στην ανθρώπινη υγεία*

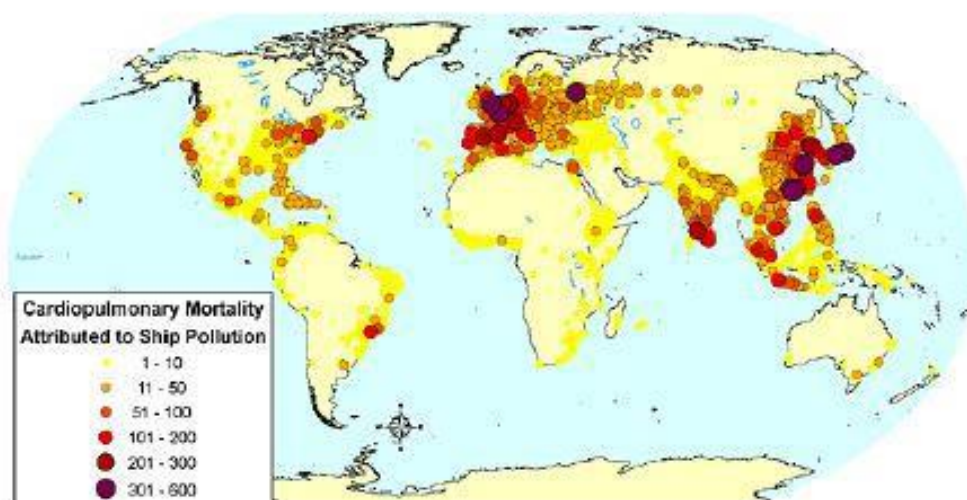
Συγκέντρωση [mg/m <sup>3</sup> ]	Επιπτώσεις στην υγεία
0.06 – 0.3	Πιθανά επεισόδια βρογχίτιδας και θωρακικές λοιμώξεις
0.3 – 0.8	Πιθανές βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα (κυρίως σε άτομα τρίτης ηλικίας)
0.8 – 2.6	Οσφρητική αίσθηση της ουσίας (διεγείρει αναζήτηση για αντιασφυξιογόνα μάσκα και καταφύγιο)

### 2.1.3 Σωματίδια PM

Η καύση πετρελαίου και βενζίνης οδηγεί στη δημιουργία των σωματιδίων (PM), τα οποία έχουν τη μορφή χονδροειδούς σκόνης ή μικρών σωματιδίων καπνού. Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι στην ανθρώπινη υγεία, προκαλούνται από τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά, έχουν μικρή διάμετρο και όταν προσβάλλουν τον οργανισμό του ανθρώπου σε μεγάλες συγκεντρώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα ολοένα και περισσότερες εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω ενοχλήσεων από άσθμα, χρόνιας παρεμποδιστικής ασθένειας πνευμόνων, βρογχίτιδας, πνευμονίας, καρδιακών παθήσεων, περιστατικά τα οποία μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και σε πρόωρο θάνατο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση ενισχύεται από την αυξανόμενη συγκέντρωση σωματιδίων, οι επιδράσεις της οποίας μπορεί να είναι ακόμα και θανατηφόρες (Εξαρχος 2013, Κουτούση 2014), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.

Ένας από τους κυριότερους σωματιδιακούς ρύπους από τη ναυτιλία είναι τα σωματίδια τέφρας (καπνού). Το μέγεθος των σωματιδίων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ανθρώπινη υγεία. Τα αναπνευστικά προβλήματα ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, σωματίδια διαμέτρου έως 5μm μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής, αλλά συγκρατούνται από το ρινικό σύστημα. Αντιθέτως, τα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 5μm εισέρχονται στον οργανισμό με την αναπνοή φράσσοντας σταδιακά τις αναπνευστικές οδούς. Τέλος, τα σωματίδια με ακόμα μικρότερη διάμετρο, 1-2 μm, φράσσουν τις αναπνευστικές κυψελίδες προκαλώντας προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα (Κωνσταντοπούλου, 2013).

Η έντονη σχέση μεταξύ της σωματιδιακής ρύπανσης και του καρκίνου των πνευμόνων, διαπιστώθηκε μέσω μιας ερευνητικής μελέτης, διάρκειας περίπου είκοσι ετών, στην οποία συμμετείχαν 1.2 εκατομμύρια ενήλικες (Pope, 2002).



*Εικόνα 4: Χάρτης ετήσιας θνησιμότητας λόγω καρδιοπνευμονικών παθήσεων που αποδίδεται σε εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων παγκοσμίως από τις θαλάσσιες μεταφορές (Corbett, 2007)*

#### 2.1.4 Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Κύρια χαρακτηριστικά των VOCs αποτελούν η εξάτμισή τους στον αέρα προς παραγωγή της αιθαλομίχλης όζοντος, και η τοξικότητα. Η ομάδα των πτητικών οργανικών ενώσεων που παράγονται στις μηχανές Diesel περιέχει το βενζόλιο, το τολουόλιο, τη φορμαλδεΐδη και το βουταδιένιο. Το βενζόλιο και το βουταδιένιο είναι γνωστό ότι προκαλούν καρκίνο στους ανθρώπους. Η φορμαλδεΐδη, μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα και αποτελεί πιθανή αιτία πρόκλησης καρκίνου. Προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια μιας εγκυμοσύνης, και πολλές καταλήγουν σε αποβολές, συχνά συνδέονται με την ύπαρξη του τολουολίου στην ατμόσφαιρα. Ακόμη, ασθένειες όπως το άσθμα, ο καρκίνος, Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) έχουν συνδεθεί επίσης με τον καρκίνο, το άσθμα, αλλά και με νευρολογικές διαταραχές.

#### 2.1.5 Οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>)

Τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>) παράγονται από το άζωτο και το οξυγόνο όταν βρεθούν σε:

- υψηλές θερμοκρασίες
- υψηλές πιέσεις καύσεως μέσα στον κύλινδρο

Τα οξειδία του αζώτου έχει βρεθεί ότι συχνά αποτελούν αιτία καρκινογένεσεων. Στον άνθρωπο, ασκούνται οι μεγαλύτερες βλαπτικές επιδράσεις του. Η περιορισμένη διαλυτότητά του, του επιτρέπει να διεισδύει βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα. Οι ενοχλήσεις μπορούν να αρχίσουν από χαμηλές συγκεντρώσεις των 15 ppm, με τσούξιμο στα μάτια και στη μύτη. Από 25 ppm αρχίζουν οι αναπνευστικές ενοχλήσεις, με βήχα, δύσπνοια, πόνους στο στήθος, βήχα με κίτρινο επίχρισμα η αίμα, κυάνωση, πυρετό, κρίση άσθματος, αυξημένο αναπνευστικό ρυθμό, τραχειοβρογχίτιδα και το πνευμονικό οίδημα. Καρδιαγγειακές βλάβες και θανατηφόρες λοιμώξεις στους πνεύμονες μπορούν να επέλθουν έπειτα από έκθεση σε συγκεντρώσεις μεταξύ 150-200.

Η παρουσία οξειδίων του αζώτου στο χώρο φαίνεται να ενισχύει τις αλλεργικές αντιδράσεις ατόμων με αλλεργίες ή άσθμα. Τα οξειδία του αζώτου συμμετέχουν, επιπλέον, στη ανάπτυξη φωτοχημικού νέφους στα αστικά κέντρα. Οι συνέπειες του φαινομένου αυτού αφορούν κυρίως την υγεία του ανθρώπου. Πολλές ασθένειες που οφείλονται στο φωτοχημικό νέφος μπορούν να προκαλέσουν ακόμη και το θάνατο. Κάποιες από αυτές είναι το άσθμα, η βρογχίτιδα, και το εμφύσημα. Επίσης, τα οξειδία του αζώτου αποτελούν αιτία αναπνευστικών προβλημάτων όπως δυσκολία στην αναπνοή, βήχα, και ερεθισμό στα μάτια (Πίνακας 5). Τέλος, μπορούν να επηρεάσουν ακόμα και το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου, περιορίζοντας έτσι τη δυνατότητα του να αντιστέκεται σε κάθε μορφή ασθένειας.



**Πίνακας 5:** Ενδείξεις για τις επιπτώσεις των NO<sub>x</sub> στην ανθρώπινη υγεία (<http://www.who.int/en/>.)

Συγκέντρωση [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> (Επιπτώσεις στην υγεία)
50 - 100	Ενδεχόμενη πνευμονική βλάβη για μικρά χρονικά διαστήματα
100 - 300	Σοβαρές βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα
300 - 400	Θανατηφόρα

### 2.1.6 Όζον

Εάν ένας άνθρωπος εμφανίζει αναπνευστικά προβλήματα, η παρουσία του όζοντος σε υψηλά επίπεδα είναι πιθανό να αυξήσει την ευαισθησία του σε αυτά (Κωνσταντοπούλου, 2013). Ακόμη, χρόνιες αναπνευστικά προβλήματα, όπως το εμφύσημα και η χρόνια βρογχίτιδα, μπορεί να προκληθούν από την παρουσία του όζοντος. Οι μέγιστες ημερήσιες τιμές των συγκεντρώσεων αζώτου στην ατμόσφαιρα, έχει διαπιστωθεί ότι συνδέεται με τους αυξανόμενους θανάτους.

### 2.1.7 Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Οι βασικότερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει ο παγκόσμιος πληθυσμός είναι η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, η υπερθέρμανση του πλανήτη και η επακόλουθη άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Με τις εκπομπές σε παγκόσμια κλίμακα στα σημερινά επίπεδα, φαίνεται ότι θα υπάρξουν πολύ σημαντικές απειλές σε καταστροφικό βαθμό στο κομμάτι της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο (Κωνσταντοπούλου, 2013).

### 2.1.8 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Αποτελεί ένα αέριο το οποίο είναι αρκετά τοξικό. Λόγω της απουσίας χρώματος, οσμής και γεύσης, καθιστά την ανίχνευση του αρκετά δύσκολη. Η έκθεση σε 100 ppm ή μεγαλύτερης ποσότητας ενδέχεται να καταστεί επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία καθώς μπορεί να προκαλέσει δηλητηρίαση μετά από παρατεταμένη εισπνοή (Συρράκος 2014, Έξαρχος 2013, Κουτούτση 2014).

## 2.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Μέσα από τις χημικές αντιδράσεις στον αέρα, πραγματοποιείται η μετατροπή του διοξειδίου του θείου αλλά και των οξειδίων του αζώτου σε πολύ λεπτά σωματίδια, θειικά και νιτρικά αερολύματα. Τα σωματίδια αυτά, πολλές φορές μπορούν να προκαλέσουν πρόωρους θανάτους. Εισέρχονται πολύ εύκολα στους ανθρώπινους πνεύμονες και καταφέρνουν να εισχωρήσουν με το μικρό τους μέγεθος στους ιστούς και να καταλήξουν στο αίμα. Από αυτό το γεγονός, μπορεί να προκληθούν φλεγμονές, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε καρδιακή αλλά και

πνευμονική ανεπάρκεια. Στις εκπομπές από τα πλοία, είναι ανοιχτό το ενδεχόμενο να περιέχονται καρκινογόνα μικροσωματίδια. Πρόσφατες μελέτες έχουν φανερώσει, πως οι ουσίες από τις εξατμίσεις των καυσίμων από κινητήρες diesel έχουν τη δυνατότητα να εισχωρούν μέσω του αναπνευστικού συστήματος και στη συνέχεια δια μέσω του αίματος στον πλακούντα των εγκύων γυναικών. Η ζημιά μπορεί να ανιχνευτεί σε δείγματα αίματος στα νεογέννητα σε πολύ υψηλότερα επίπεδα από ότι στο μητρικό αίμα. Αυτό το γεγονός, μας φανερώνει πώς το έμβρυο μπορεί να παρουσιάσει μεγαλύτερη ευαισθησία από ότι η μητέρα του στους ρύπους. Τα παιδιά που βρίσκονται σε περιοχές με σχετικά υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παρουσιάζουν προβλήματα τα οποία οφείλονται σε ανωμαλίες στην ανάπτυξη των πνευμόνων τους (συνήθως μία δυσαναλογία στο μέγεθος σε σχέση με την ηλικία) και υπάρχει διαρκής αύξηση στον κίνδυνο για παρουσίαση βρογχίτιδας και άσθματος σε σχέση με παιδιά που βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η εμφάνιση συχνού βήχα, βρογχίτιδας και ασθενειών του αναπνευστικού συστήματος στη νηπιακή και παιδική ηλικία, φαίνεται να συνδέονται με τα αυξανόμενα επίπεδα όξινων μικροσωματιδίων που βρίσκονται στον αέρα της περιοχής όπου διαμένουν. Ακόμη, αποτελέσματα μελετών έχουν φανερώσει, πώς τα παιδιά που ήδη βιώνουν προβλήματα αναπνοής (π.χ. άσθμα), διατρέχουν κίνδυνο επιδείνωσης της κατάστασής τους από την έκθεση τους στο μολυσμένο αέρα (Συρράκος 2014, Έξαρχος 2013, Κουτούτση 2014).

### **2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ**

Η τρίτη μελέτη του Διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού (International Maritime Organization - IMO) που πραγματοποιήθηκε το 2014 εκτιμά ότι για την περίοδο 2007 - 2012, οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία ανήλθαν σε 1000 Mt, με συνεχώς αυξανόμενη τάση, ποσότητα που ισοδυναμεί με περίπου 3,1% των ετήσιων παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub>. Αντίθετα, κατά την ίδια περίοδο οι βελτιώσεις απόδοσης αντισταθμίστηκαν περισσότερο από την αύξηση της δραστηριότητας. Η τελευταία επικαιροποίηση της μελέτης αυτής από την CE Delft (2016), εκτιμά αύξηση των εκπομπών από τα πλοία κατά 120% έως το 2050. Παρά τη σημαντική συνεισφορά της ναυτιλίας σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή δεν την περιέλαβε. Ως αποτέλεσμα, εάν άλλοι τομείς της οικονομίας μειώσουν τις εκπομπές για να διατηρήσουν την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου, όπως προβλέπεται από τη συμφωνία, η ναυτιλία θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει περίπου το 10% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050.

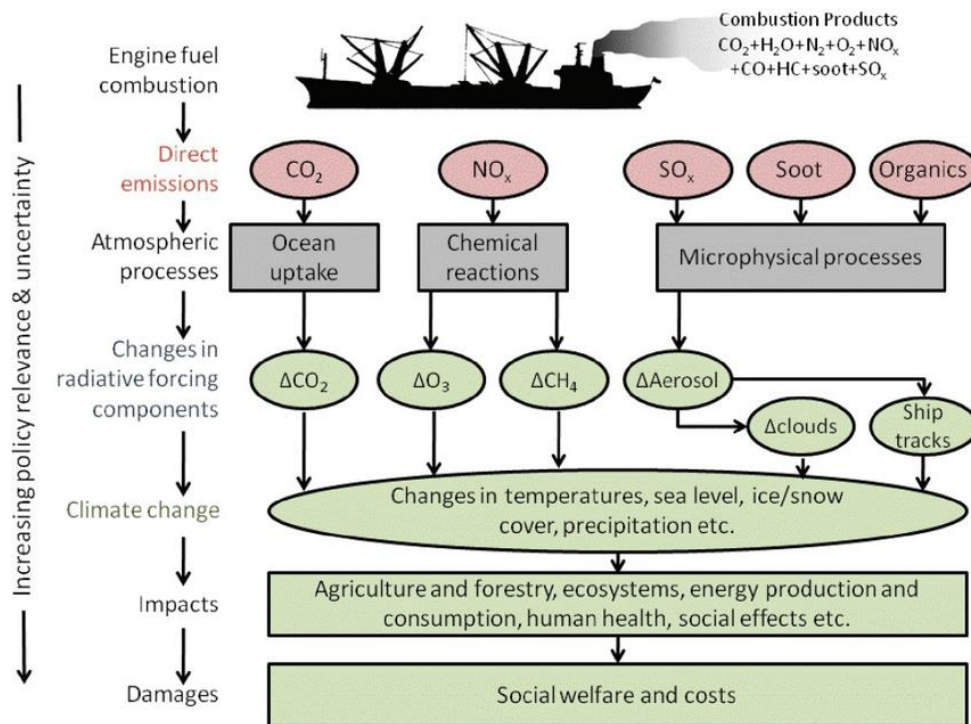
Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), είναι το κλειδί για την αποφυγή των καταστροφικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Παρά το γεγονός ότι η διεθνής ναυτιλία δεν συμπεριλήφθηκε στην συμφωνία του Παρισιού, ο IMO αναπτύσσει τη δική του στρατηγική για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία με βασικότερες αυτές του CO<sub>2</sub>, της αιθάλης και των οξειδίων του θείου, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4. Σε πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την CE Delft (2016) για λογαριασμό του IMO διαπιστώθηκαν τα εξής:

- η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται
- η συνολική κατανάλωση καυσίμων αυξήθηκε από 291 σε 298 εκατομμύρια τόνους (+2.4%) από το 2013 έως το 2015

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αυξάνονται παρά τις βελτιώσεις στην αποδοτικότητα λειτουργίας για πολλές κατηγορίες πλοίων. Οι αυξανόμενες εκπομπές καθοδηγούνται από την αυξανόμενη ζήτηση για ναυτιλία και τη συναφή κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Ο μαύρος άνθρακας (BC ή Soot), ή αιθάλη, συμβάλλει σημαντικά στις κλιματικές επιπτώσεις της ναυτιλίας. Μετά το CO<sub>2</sub> η αιθάλη συμβάλλει στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό στις κλιματικές επιπτώσεις στη ναυτιλία, αντιπροσωπεύοντας το 7% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε 100 έτη και το 21% των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά 20ετή κλίμακα.

Οι αυξήσεις στην αποδοτικότητα δεν έχουν μειώσει τις απόλυτες εκπομπές CO<sub>2</sub> από τα πλοία. Και η ένταση εκπομπών του CO<sub>2</sub> σε πολλές μεγάλες κατηγορίες πλοίων μειώθηκε (δηλ. κατέστη αποτελεσματικότερη) από το 2013 έως το 2015, οι συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> από τα πλοία αυξήθηκαν. Έτσι, οι αυξήσεις της διανυθείσας απόστασης λόγω της μεγαλύτερης ζήτησης για ναυτιλία υπερβαίνουν τα κέρδη που αντισταθμίζουν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Τα μεγαλύτερα πλοία επιταχύνουν και εκπέμπουν περισσότερο. Ενώ η μέση ταχύτητα πλεύσης πλοίων παρέμειναν σε μεγάλο βαθμό αμετάβλητες μεταξύ 2013 και 2015 τα μεγαλύτερα πετρελαιοφόρα (< 200.000 dwt) και τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (> 14.500 TEU) επιταχύνθηκαν και εκπέμπονται περισσότερο το 2015 σε σύγκριση με το 2013. Στην πραγματικότητα, αύξησαν την ταχύτητα πλεύσης τους στο έδαφος (SOG) κατά σχεδόν 4%, ενώ παράλληλα τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αύξησαν την πτήση τους SOG περισσότερο από 11%. Εάν τα περισσότερα πλοία ακολουθήσουν το παράδειγμα και επιταχυνθούν η αποδοτικότητα του τομέα των θαλασσιών μεταφορών θα υποβαθμιστεί δραστικά.

Οι απόλυτες μειώσεις στις εκπομπές των πλοίων απαιτούν συντονισμένη δράση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της ναυτιλίας, για την ανάπτυξη και την καλλιέργεια εναλλακτικών αντιλήψεων για τα καύσιμα και την πρόωση. Ο μόνος τρόπος να μειωθούν οι εκπομπές από τα πλοία χωρίς να περιοριστεί η ζήτηση είναι να μειωθεί σημαντικά η ποσότητα CO<sub>2</sub> και η ισοδύναμη εκπομπή ανά μονάδα μεταφοράς. Στο Σχήμα 1 φαίνονται συγκεντρωτικά οι αέριοι ρύποι που προέρχονται από τη ναυτιλία και σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή.



Σχήμα 1: Σχηματικό διάγραμμα των αερίων ρύπων από τη ναυτιλία στην κλιματική αλλαγή

Στην ατμόσφαιρα μπορούν να βρεθούν σωματίδια θεικών, τα οποία σχηματίζονται από τα οξείδια του θείου. Τα σωματίδια αυτά, έχουν την ικανότητα να περιορίζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα το ποσοστό που καταφθάνει στην επιφάνεια της γης να είναι μικρότερο (Voiland, 2010). Τα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα μιας ρυπασμένης περιοχής, μπορούν να αποτελέσουν κέντρα συμπύκνωσης των υδρατμών και να συμβάλλουν στη δημιουργία νεφών. Έτσι, με αυτή τη διαδικασία οδηγούμαστε σε αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία ανακλάται από τα σύννεφα, γεγονός που σημαίνει πως παρατηρείται αύξηση στην ανακλαστικότητα των σύννεφων. Παρά το γεγονός πως η επίδραση των SO<sub>x</sub> δεν έχει ποσοτικοποιηθεί ακόμα με ακρίβεια, μελέτες έχουν δείξει πως είναι αρκετά σημαντική (Κωνσταντοπούλου, 2013).

#### ❖ Αιθάλη

Μία σημαντική εκπομπή από τη ναυτιλία αποτελεί η αιθάλη. Η αιθάλη, συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εξαιτίας του μαύρου χρώματός της, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα την ψύξη της επιφάνειας της γης η οποία βρίσκεται από κάτω.

#### ❖ Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Αποτελεί το βασικότερο αέριο του θερμοκηπίου το οποίο εκπέμπεται από τη ναυτιλία και παράλληλα συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην παγκόσμια θέρμανση. Εκτός από τις επιπτώσεις

των SO<sub>x</sub>, αιθάλης, CO<sub>2</sub>, παρατηρείται επίδραση από τις εκπομπές των πλοίων στα νέφη, τα οποία μεταβάλλονται, ενώ παράλληλα ενισχύεται και η ακτινοβολία.

## 2.4 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΝΕΦΗ

Συνήθως εντοπίζονται σαν επιμηκυμένες νυφικές μορφές από εικόνες δορυφόρων (Εικόνα 5), γνωστές ως ίχνη πλοίων (ship tracks) (Φειδάς, 2014). Συνήθως έχουν μεγάλη επιρροή σε μεγαλύτερα συστήματα λόγω της διασποράς.

### ❖ Ίχνη πλοίων (ship tracks)



*Εικόνα 5: Ίχνη πλοίων πάνω από τον Ειρηνικό Ωκεανό*

Οι εκπομπές από τα εμπορικά πλοία, είναι μία από τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις επίδρασης των αερολυμάτων στη λευκαύγεια των νεφών, καθώς αυτή εξαρτάται από το οπτικό πάχος και αυτό με τη σειρά του από την περιεκτικότητα του νέφους σε νερό και από το μέγεθος των σταγονιδίων (Φειδάς, 2014). Οι εκπομπές των πλοίων, προσθέτουν πυρήνες συμπύκνωσης στα νέφη, επομένως αυξάνουν τον αριθμό των υδροσταγονιδίων των νεφών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το μέγεθος των υδροσταγονιδίων των νεφών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το οπτικό πάχος, αυξάνοντας έτσι τη λευκαύγεια. Οι εκπομπές αυτές, οδηγούν σε αύξηση την συγκέντρωση των κέντρων συμπύκνωσης, σε βαθμό έως και δέκα φορές μεγαλύτερο από αυτόν του καθαρού αέρα. Ενώ το συνολικό ποσό των υδρατμών παραμένει το ίδιο, το νερό σε νέφη τα οποία έχουν μολυνθεί κατανέμεται σε ένα μεγάλο αριθμό μικρών υδροσταγονιδίων, καθώς ταυτόχρονα αυξάνεται η ανακλαστικότητα των νεφών καθώς και η διάρκεια ζωής τους (πάνω από μία ημέρα).

## Νεφικά συστήματα μεγαλύτερης κλίμακας

Οι εκροές εκπομπών από πλοία αναμιγνύονται με τον περιβάλλοντα αέρα επηρεάζοντας τα γύρω νέφη σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα από αυτή των ιχνών των πλοίων (Φειδάς, 2014). Για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης απαιτούνται μοντέλα και δορυφορικές παρατηρήσεις. Οι προσομοιώσεις μοντέλων έδειξαν τα παρακάτω:

1. Η επίδραση των εκπομπών των πλοίων στα νέφη περιορίζεται στα χαμηλά νέφη (0 - 1.5 km)
2. Το περιεχόμενο του νέφους σε νερό αυξάνεται ελάχιστα και το μέγεθος των υδροσταγόνων μειώνεται, με αποτέλεσμα το οπτικό πάχος των νεφών να αυξάνεται 5 - 10%.
3. Αύξηση και του οπτικού πάχους των αερολυμάτων πάνω από τους ωκεανούς 8 - 10% με συνέπεια την αυξημένη σκέδαση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα αερολύματα των πλοίων.

### 2.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (radiative forcing)

Η ενίσχυση της ακτινοβολίας (radiative forcing), ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας που δέχεται η Γη, από την ακτινοβολία που εκπέμπεται και ανακλάται πίσω στο διάστημα (Φειδάς, 2014). Η θετική ενίσχυση της ακτινοβολίας (μεγαλύτερη ποσότητα εισερχόμενης ακτινοβολίας) οδηγεί σε θέρμανση του πλανήτη, ενώ η αρνητική ενίσχυση της ακτινοβολίας (μεγαλύτερη ποσότητα εξερχόμενης ακτινοβολίας) τον ψύχει. Οι εκπομπές των πλοίων ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  και  $\text{O}_3$ ) αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  και  $\text{O}_3$ ) και των αερολυμάτων (κυρίως θειωδών ενώσεων,  $\text{SO}_4$ ) οδηγώντας με αυτό τον τρόπο είτε σε θετική, είτε σε αρνητική ενίσχυση της ακτινοβολίας (Πίνακας 6).

Τα πλοία εκπέμπουν αερολύματα τα οποία προκαλούν μία σημαντική ενίσχυση στην ακτινοβολία με έμμεσο τρόπο, με την επίδρασή τους στη μικροφυσική των νεφών. Η ψύξη η οποία οφείλεται στη μεταβολή των νεφών (έμμεση αρνητική ενίσχυση ακτινοβολίας), υπερτερεί σημαντικά της θέρμανσης λόγω εκπομπών  $\text{CO}_2$  ή όζοντος από πλοία (άμεση θετική ενίσχυση ακτινοβολίας), οδηγώντας έτσι σε καθαρή ενίσχυση της αρνητικής ακτινοβολίας (ψύξη). Η συμβολή των ρύπων των πλοίων στην έμμεση ενίσχυση της ακτινοβολίας είναι αρκετά υψηλή (έως 39%), λόγω του γεγονότος ότι οι εκπομπές αυτές πραγματοποιούνται σε θαλάσσιες περιοχές με χαμηλές νεφώσεις και η επίδραση των ρύπων είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε βαθύτερα θαλάσσια ύδατα, από ότι σε χερσαίες περιοχές.

**Πίνακας 6: Επίδραση των εκπομπών των πλοίων στην ενίσχυση ακτινοβολίας**

	Εκπομπές	Επίδραση	Χρόνος	Χωρ. κλίμακα	RF	%
Αέρια	CO <sub>2</sub>	Άμεση	>100 έτη	Παγκόσμια	+	2.2
	SO <sub>2</sub>	Παραγωγή SO <sub>4</sub>	Κάποιες ημέρες	Περιφερειακή	-	
	NO <sub>x</sub>	Παραγωγή O <sub>3</sub>	Κάποιες ημέρες	Περιφερειακή	+	43
		Καταστροφή ή CH <sub>4</sub>	10 έτη	Παγκόσμια	-	20
Αερολύματα	SO <sub>4</sub>	Άμεση	Ημέρες ή βδομάδες	Περιφερειακή	-	8
	Αιθάλη	Άμεση	Ημέρες	Περιφερειακή	0	Ελάχ.
	HC	Άμεση	Ημέρες	Περιφερειακή	0	Ελάχ.
	Αερολύματα	Έμμεση	Ημέρες	Περιφερειακή	-	39

## 2.6 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η συνολική επίδραση των εκπομπών από τη ναυτιλία (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM) στο σημερινό κλίμα, είναι ότι ψύχουν την ατμόσφαιρα (Fuglestvedt, 2009). Για το λόγο αυτό, κάποιοι πιστεύουν ότι δεν χρειάζεται να παρθούν μέτρα μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> αλλά και των υπολοίπων ρύπων από τη ναυτιλία ή τουλάχιστον τα μέτρα αυτά δεν πρέπει να είναι πολύ αυστηρά (Συρράκος 2014, Έξαρχος 2013, Κουτούτση 2014). Παρόλα αυτά, θα πρέπει να συνεκτιμηθεί ότι το SO<sub>2</sub> και το CO<sub>2</sub> λειτουργούν σε εντελώς διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Τα σωματίδια των θεικών τα οποία παραμένουν στην ατμόσφαιρα για λίγες ημέρες, έχει διαπιστωθεί ότι διασπώνται αρκετά γρήγορα, ενώ αυτά του διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα από 5 έως και 200 έτη (παραμένει βέβαια σχετικά αδρανές). Συνεπώς, οι συνέπειες στο κλίμα από ένα μόριο CO<sub>2</sub> που εκπέμφθηκε σήμερα, θα συνεχίσουν να υφίστανται για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα συγκριτικά με την ψύξη που θα προκαλέσει έμμεσα ένα μόριο SO<sub>2</sub>. Αναμένεται λοιπόν, ότι η θέρμανση από το CO<sub>2</sub> θα επικρατήσει σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα (Fuglestvedt, 2009).

## 2.7 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι επιπτώσεις των αέριων ρύπων από τη ναυτιλία περιγράφονται παρακάτω.

### ❖ Οξείδια του θείου ( $\text{SO}_x$ )

Με την παρουσία υγρασίας και κάποιου καταλύτη όπως το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται σε θειικό οξύ διαδικασία που όταν λαμβάνει χώρα στην ατμόσφαιρα δημιουργεί το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα σε οικοσυστήματα, καλλιέργειες, πολιτιστικά μνημεία και περιουσιακά στοιχεία των πολιτών. Το έδαφος βλάπτεται σοβαρά. Οι λίμνες και τα ποτάμια γίνονται όξινα όταν το νερό και το έδαφος που τα περιβάλλουν δεν μπορούν να εξουδετερώσουν τις όξινες ενώσεις που υπάρχουν στην όξινη βροχή και απελευθερώνεται άργιλος που είναι πολύ τοξικός. Πολλές επίγειες ποιες μορφές ζωής δεν αντέχουν το χαμηλό pH και εξοντώνονται. Ανάλογα με το pH και το χρόνο έκθεσης μπορεί να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στα δομικά υλικά. Για παράδειγμα, το μάρμαρο ( $\text{CaCO}_3$ ) απορροφά  $\text{SO}_2$  και μετατρέπεται σε γύψο ( $\text{CaSO}_4$ ). Ο γύψος είναι σε μεγαλύτερο βαθμό υδατοδιαλυτός από το μάρμαρο, με αποτέλεσμα να παρασύρεται από τη βροχή. Επίσης, ο μοριακός όγκος του γύψου είναι μεγαλύτερος από αυτόν του μαρμάρου, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ρωγμές στο μάρμαρο. Επίσης, τα οξέα διαλύουν και ενεργοποιούν βαρέα μέταλλα και άλλες τοξίνες με ακόμη χειρότερα αποτελέσματα (Ανδρίτσος 2014, Μπουλαντζάς 2014, Σπανού 2014).

### ❖ Οξείδια του αζώτου $\text{NO}_x$

Τα βασικότερα οξείδια του αζώτου που μελετώνται σε αυτή τη διπλωματική εργασία είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου, τα οποία παράγονται κατά την καύση. Ένα βασικό χαρακτηριστικό τους αποτελεί το γεγονός πως συνεισφέρουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών. το νέφος αυτό δημιουργείται όταν τα οξείδια του αζώτου και άκαυστοι υδρογονάνθρακες μέσα από μία σειρά χημικών αντιδράσεων με την παρουσία του φωτός, καταλήγουν στη δημιουργία όζοντος ( $\text{O}_3$ ), καθώς και ενός εύρους άλλων οργανικών ουσιών. Το φωτοχημικό νέφος έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των φύλλων στα φυτά και στα δέντρα (Εξαρχος, 2013).

### ❖ Αιωρούμενα σωματίδια καπνού PM

Τα αιωρούμενα σωματίδια καπνού μπορούν να προκαλέσουν πολύ σοβαρά προβλήματα αναπνευστικής φύσεως. Η σοβαρότητα του προβλήματος που μπορεί να προκληθεί εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων αυτών. Τα σωματίδια με διάμετρο 7-10  $\mu\text{m}$  καταλήγουν απευθείας στο έδαφος, λόγω του βάρους τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούν προβλήματα στη γλωρίδα, ενώ παράλληλα μειώνουν την απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας από το φύλλωμα των δέντρων και των φυτών. Επιπροσθέτως, προκαλούν προβλήματα διάβρωσης σε μνημεία και κτιριακές εγκαταστάσεις

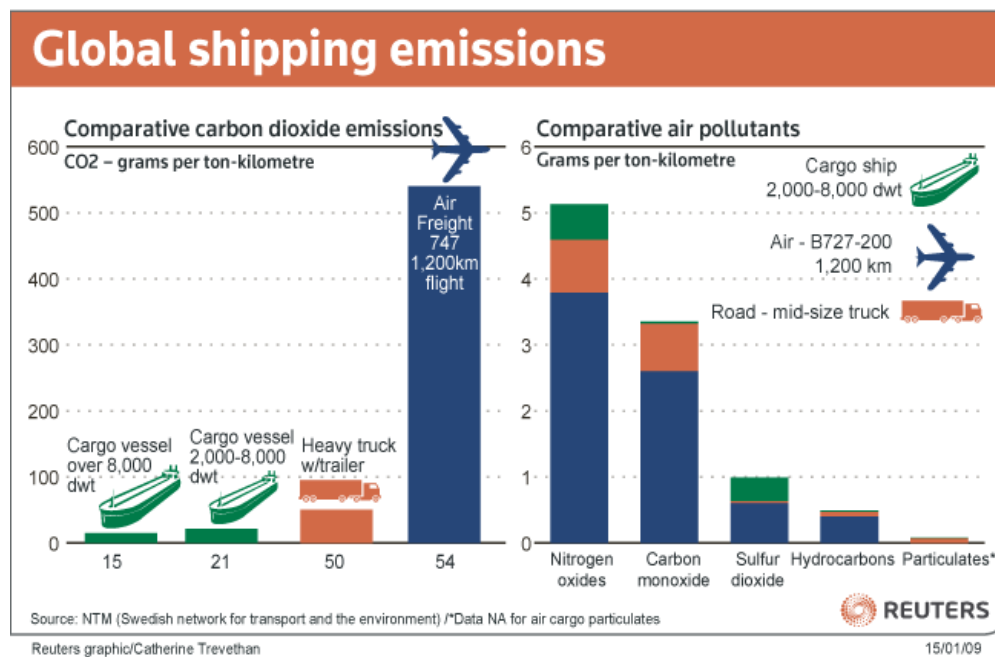


λόγω της υψηλής τοξικότητάς τους αλλά και των διαβρωτικών ουσιών που περιέχουν (Συρράκος 2014, Έξαρχος 2013, Κουτούτση 2014, Κωνσταντοπούλου 2013).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΚΠΙΕΜΠΟΜΕΝΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ

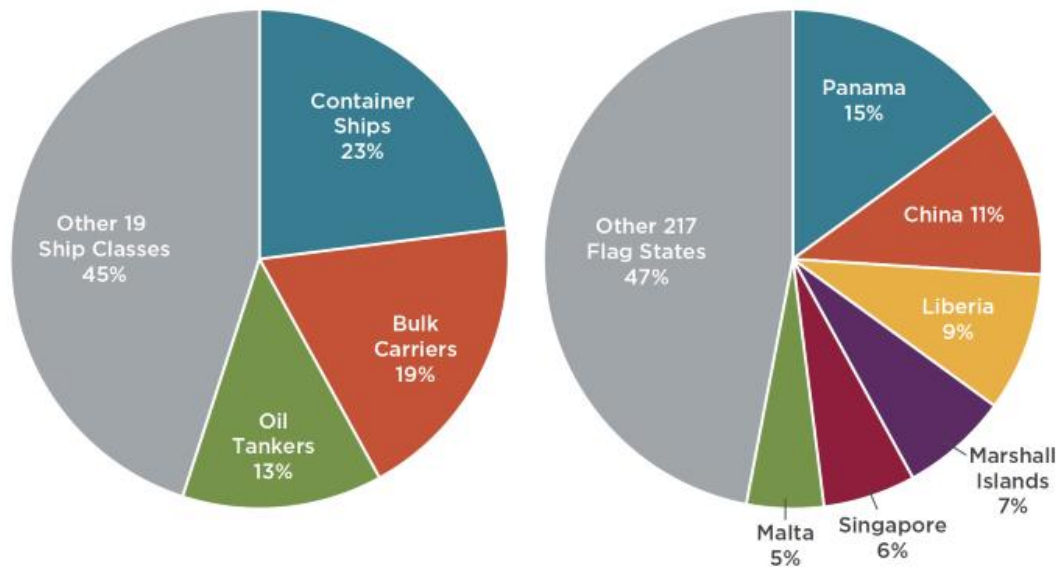
Η επίδραση των αέριων ρύπων από τη ναυτιλία δεν έχει τοπικό χαρακτήρα, αφού τα πλοία βρίσκονται σε διαρκή κίνηση ανά τα λιμάνια όλου του κόσμου. Ωστόσο, τα ίδια αέρια επιδρούν σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Έτσι, ορισμένα αέρια επιδρούν σε μικρή απόσταση από την πηγή τους, ενώ αλλά επεκτείνονται σε μεγαλύτερη έκταση προκαλώντας έτσι παγκόσμια επίδραση. Σύμφωνα με στοιχεία που είχαν παρουσιαστεί στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το 72% των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τον τομέα των μεταφορών προέρχεται από τα οχήματα, το 13.9% από τη ναυτιλία και το 10.8% από τις εναέριες μεταφορές (<http://www.kathimerini.gr/814623/article/epikairothta/perivallon/neos-kanonismos-gia-tisekrompesco2-aro-ploia-sthn-eyghwph>), με τα αεροπλάνα να έχουν μακράν τις υψηλότερες εκπομπές ανά τόνο – χιλιόμετρο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.



**Εικόνα 6:** Αέριοι ρύποι διαφορετικών μέσων μεταφοράς παγκοσμίως (Loosley, 2015)

Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από τη ναυτιλία, εκτιμάται ότι ανέρχονται σήμερα στο 4 έως 5% των παγκόσμιων εκπομπών. Επίσης, οι εκπομπές καυσαερίων από τα πλοία δίνουν το 18 έως 30% του συνόλου των οξειδίων του αζώτου και το 9% των οξειδίων του θείου παγκοσμίως (Schrooten 2009, Vidal 2009). Παρόλο που ο έλεγχος των ρύπων των αυτοκινήτων και των λοιπών πηγών παραγωγής καυσαερίων έχει αναπτυχθεί και εφαρμοστεί τα τελευταία 40 χρόνια με πολύ θετικά αποτελέσματα, Εντούτοις, η ανάγκη παρακολούθησης και περιορισμού των ρύπων της παγκόσμιας Ναυτιλίας φάνηκε τα τελευταία χρόνια (Σχήμα 2). Η συμβολή των πλοίων και των λιμένων στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι

πολύ σημαντική και αυξάνεται συνεχώς με την ανάπτυξη του θαλάσσιου εμπορίου και του κλάδου του τουρισμού. Σε ορισμένες χώρες και λιμάνια αυτών, η ρύπανση από τα πλοία είναι η κυριότερη πηγή ρύπων (Παπανδρίκος, 2013).



**Σχήμα 2:** Συνεισφορά σε CO<sub>2</sub> ανά τύπο πλοίου (αριστερά) και ανά χώρα (δεξιά) (Bunker Ports News Worldwide)

Οι εκπομπές ρύπων εξαιτίας της λειτουργίας των πλοίων δεν είναι ισόχωρα κατανεμημένες, αλλά συγκεντρώνονται στις ακτογραμμές και στις θαλάσσιες οδούς. Έχει αποτιμηθεί πως η παραγωγή των αερίων ρύπων λαμβάνει χώρα σε ποσοστό περίπου 55-77% του συνόλου σε περιοχές κοντά σε ακτές και λιμένες. Τα πλοία, ακόμα και όταν δεν γίνονται σε ανοιχτά πελάγη παράγουν αέριους ρύπους. Σύμφωνα με έρευνα, (Buhaug, 2009) στο διάστημα μεταξύ 1990 και 2007, παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών των κύριων ρύπων αλλά και των αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία σε παγκόσμιο επίπεδο, από 585 σε 1096 εκατομμύρια τόνους. Από την άλλη πλευρά, για τα αέρια του θερμοκηπίου παρατηρήθηκε πως οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία σε παγκόσμιο επίπεδο έφτασαν τα 943,5 εκατομμύρια τόνους το 2007, ενώ σύμφωνα με έκθεση του TRT International LTD, το 2007 η παγκόσμια καταγραφή των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία το 2006 ανήλθε σε περίπου ένα δισεκατομμύριο τόνους (TRT, 2007). Στην πραγματικότητα, οι εκπομπές από τη ναυτιλία πλησιάζουν επίπεδα σχεδόν τρεις φορές υψηλότερα από ότι θεωρούνταν. Σε προηγούμενες μελέτες, σύμφωνα με μία πρόσφατη μελέτη του ΟΗΕ η οποία δημοσιεύτηκε στην Guardian το 2010, εκτιμάται πως οι εκπομπές σε ετήσια βάση από τον παγκόσμιο εμπορικό στόλο έχουν φτάσει τους 1.12 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>, ή το 4.5% επί του συνόλου των εκπομπών του βασικότερου αερίου του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα (Wright, 2013). Οι τελευταίες μελέτες δείχνουν ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη ναυτιλία, αναμένεται να αυξηθούν κατά 30% μέχρι το 2020.

### **3.1 ΔΙΕΘΝΕΣ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Η ανάπτυξη του εμπορίου όσον αφορά τη ναυτιλία, συνδέεται με ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ρυθμιστικό πλαίσιο. Αρκετοί διεθνείς οργανισμοί, όπως για παράδειγμα ο Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας (International Maritime Organization - IMO), βρίσκονται διαρκώς σε επαγρύπνηση δημιουργώντας αυστηρότερους περιορισμούς στις εκπομπές των ρύπων από τα πλοία, ωθώντας με αυτό τον τρόπο τις εταιρείες κατασκευής πλοίων στην ανεύρεση νέων τρόπων περιορισμού των ρύπων. Η ασφάλεια, οι διαδικασίες πλοήγησης, η προετοιμασία για τις συνθήκες έκτακτης ανάγκης, οι διαρκείς επιθεωρήσεις, οι εκπομπές των εμπορικών πλοίων, η ποιότητα και τα καύσιμα τα οποία χρησιμοποιούνται, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που δημιουργείται καθώς και η γενικότερη διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται κατά τη διάρκεια των ταξιδιών, είναι κάποιες από τις σημαντικότερες παραμέτρους που απαιτούν ρύθμιση για τη διεθνή αγορά.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει ήδη καθορίσει στρατηγικές οι οποίες έχουν σκοπό τη χρήση καθαρότερων καυσίμων, σύμφωνα με τις οποίες έως το 2020 όλα τα λιμάνια τα οποία ανήκουν στο κεντρικό δίκτυο των διευρωπαϊκών δικτύων μεταφορών (core TEN-T network), θα πρέπει να διαθέτουν εγκαταστάσεις ή εξοπλισμό για τον ανεφοδιασμό πλοίων με LNG (Liquified Natural Gas). Όσον αφορά το λιμενικό σύστημα στην Ελλάδα, η συγκεκριμένη πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης προϋδεάζει για το γεγονός πως τα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης, της Ηγουμενίτσας, του Ηρακλείου και της Πάτρας θα είναι υποχρεωμένα να εγκαταστήσουν μονάδες οι οποίες θα παρέχουν τη δυνατότητα ανεφοδιασμού σε πλοία με καύσιμο LNG.

### **3.2 ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ**

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) αποτελεί τον επίσημο Παγκόσμιο Οργανισμό που διέπει τη διεθνή ναυτιλία (MARPOL) (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) από την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection Committee) (MEPC) (IMO,2014). Η εν λόγω συνθήκη, αποτελείται από 6 παραρτήματα. Τα πέντε πρώτα, τα οποία θεσπίστηκαν το 1973 και ανανεώθηκαν το 1978, αφορούν διατάξεις προς αποφυγή της μόλυνσης από πετρέλαιο ή άλλες επιβλαβείς υγρές ουσίες, οι οποίες μπορεί να εμπεριέχονται στα φορτία των πλοίων. Επίσης, τα παραδείγματα αυτά περιλαμβάνουν διατάξεις αποφυγής της θαλάσσιας ρύπανσης και μόλυνσης, που προκαλείται από τα απόβλητα των πλοίων. Το Παράρτημα 6, το οποίο προστέθηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005, είναι εκείνο που περιλαμβάνει διατάξεις αναφορικά με την αποφυγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (IMO,2014).

#### **3.2.1 Παράρτημα VI της MARPOL 73/78**

Παρόλο που οι εκπομπές των πλοίων που ρυθμίζονται από το παράρτημα VI της MARPOL 73/78 δεν έχουν άμεσο αποτέλεσμα, όπως για παράδειγμα ένα περιστατικό

ρύπανσης, έχουν όμως συσσωρευμένη επίδραση που συμβάλλει στο πρόβλημα της ποιότητας του αέρα που αντιμετωπίζουν οι πληθυσμοί σε πολλές περιοχές και επηρεάζουν το φυσικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα με την όξινη βροχή.

Το παράρτημα VI της MARPOL που υιοθετήθηκε αρχικά το 1997, ελέγχει τους κυρίους ατμοσφαιρικούς ρύπους που προέρχονται από τις εκπομπές των πλοίων, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του θείου ( $SO_x$ ) και των οξειδίων του αζώτου ( $NO_x$ ) και απαγορεύει τις εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον (ODS). Επίσης, καθιερώνει απαιτήσεις για την αποτέφρωση στα πλοία και για τον έλεγχο των εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) από τα δεξαμενόπλοια.

Το παράρτημα VI της MARPOL ρυθμίζει τις εκπομπές από Πλοία που ασχολούνται με το διεθνές εμπόριο και τους κανονισμούς 4, 5, 6, 13 και 14 πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία.

### **3.2.2 Κανονισμός 4 (Regulation 4)**

Ο κανονισμός 4 επιτρέπει στις διοικήσεις σημαίας να εγκρίνουν εναλλακτικά μέσα συμμόρφωσης που είναι τουλάχιστον εξίσου αποτελεσματικά όσον αφορά τη μείωση με τα καθορισμένα όρια θείου. Αυτό σημαίνει ότι ένα πλοίο μπορεί να λειτουργεί χρησιμοποιώντας καύσιμο με περιεκτικότητα σε θείο, υψηλότερη από εκείνη που επιτρέπεται από τον κανονισμό 14, εφόσον εγκεκριμένο σύστημα καθορισμού  $SO_x$  μπορεί να μειώσει τις εκπομπές  $SO_x$  σε επίπεδο ισοδύναμο ή χαμηλότερο από τις εκπομπές που παράγονται από τα καύσιμα που συμμορφώνονται. Εάν είναι εγκατεστημένο ένα σύστημα καθαρισμού  $SO_x$ , πρέπει να εγκριθεί και να επαληθεύεται ως συμμορφούμενος σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων του ΔΝΟ (Οδηγίες MEPC 184 (59)-2009 για τα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων).

### **3.2.3 Κανονισμός 5 (Regulation 5)**

Ο συγκεκριμένος κανονισμός, ορίζει πως όλα τα πλοία είναι υποχρεωμένα να υποβάλλονται σε τακτικούς ελέγχους, προκειμένου να βεβαιωθεί πως οι εκπομπές του των ρύπων δεν υπερβαίνουν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια και παράλληλα πως η λειτουργία τους είναι αποδοτική. Ακόμη, δεν θα πρέπει να επιφέρουν κάποιο κίνδυνο όσον αφορά την ατμόσφαιρα. Οι έλεγχοι αυτοί, οφείλουν να πραγματοποιούνται προτού τεθεί ένα πλοίο σε λειτουργία, πριν λάβει την τελική πιστοποίηση αλλά και στο διάστημα που μεσολαβεί τουλάχιστον μία φορά, καθώς η πιστοποίηση μπορεί να διαρκέσει έως και πέντε χρόνια (IMO, 1997).

### **3.2.4 Κανονισμός 6 (Regulation 6)**

Ο συγκεκριμένος κανονισμός ορίζει πως τα πλοία που έχουν μικτό βάρος άνω των 400 τόνων, θα πρέπει να κατέχουν ένα πιστοποιητικό που ονομάζεται Διεθνές Πιστοποιητικό Πρόληψης για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση (International Air Pollution Prevention Certificate), το οποίο οφείλει να έχει χορηγηθεί στο πλοίο οποιαδήποτε χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια

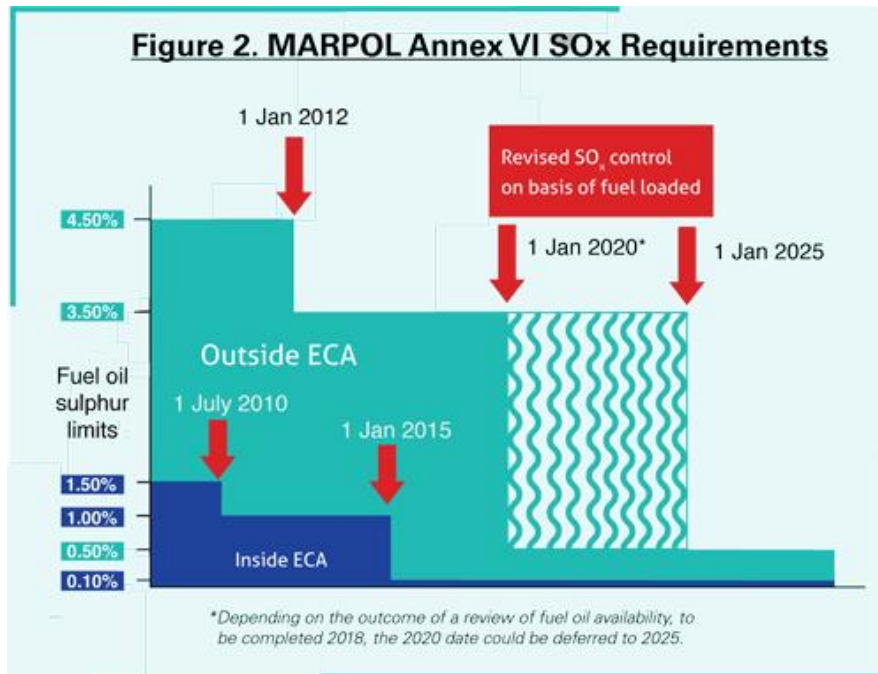
των πρώτων τριών χρόνων λειτουργίας του και θα πρέπει να συνοδεύεται από την αγγλική, τη γαλλική ή την ισπανική μετάφραση (IMO,1997).

### **3.2.5 Κανονισμός 13 (Regulation 13)**

Ο κανονισμός 13 θέτει όρια στις εκπομπές NO<sub>x</sub> των θαλάσσιων κινητήρων diesel. Τα όρια αυτά, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες των οποίων η εφαρμογή εξαρτάται από την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου (ή από την ημερομηνία εγκατάστασης πρόσθετων ή μη ταυτόσημων κινητήρων αντικατάστασης) και από την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (n), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Το στάδιο I και τα όριά της κατηγορίας Tier II, ισχύουν για κινητήρες εγκατεστημένους σε πλοία που κατασκευάστηκαν την 1η Ιανουαρίου 2000 και την 1η Ιανουαρίου 2011 και έπειτα. Με την επιφύλαξη της επανεξέτασης των τεχνολογιών ευρείας εφαρμογής, τα όρια της κατηγορίας Tier III θα ισχύουν για τα πλοία που κατασκευάστηκαν από την 1η Ιανουαρίου 2016 και έπειτα, όταν λειτουργούν εντός ενός ECA-NO<sub>x</sub> (Emission Control Areas). Επί του παρόντος, δύο ECA- NO<sub>x</sub> της Βόρειας Αμερικής και το ECA- NO<sub>x</sub> της Καραϊβικής των ΗΠΑ. Αυτά, θα είναι επίσης ECA-SO<sub>x</sub>.

### **3.2.6 Κανονισμός 14 (Regulation 14)**

Ο κανονισμός 14, θέτει όρια στην περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου για τον περιορισμό των εκπομπών SO<sub>x</sub> και σωματιδίων, ενώ ισχύει για όλα τα πλοία που βρίσκονται σε υπηρεσία. Ο κανονισμός αυτός, καθορίζει διαφορετικά όρια για τη λειτουργία εντός και εκτός της περιοχής ελέγχου εκπομπών για SO<sub>x</sub> (ECA-SO<sub>x</sub>), και αυτά ακολουθούν μία σταδιακή μείωση με την πάροδο του χρόνου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Δύο ECA-SO<sub>x</sub>, η Βαλτική και η Βόρεια Θάλασσα (όπου περιλαμβάνεται η Μάγχη), είναι σήμερα σε ισχύ και έχουν καθιερωθεί. Από την 1η Αυγούστου 2012, ένα τρίτο, το ECA- SO<sub>x</sub> της Βόρειας Αμερικής τέθηκε σε ισχύ, ενώ ένα τέταρτο, το ECA-SO<sub>x</sub> των ΗΠΑ Της Καραϊβικής, τέθηκε σε ισχύ τον Ιανουάριο του 2014. Το σχήμα 2 δείχνει τη γεωγραφική έκταση αυτών των περιοχών.



*Σχήμα 3 Όρια περιεκτικότητας σε θείο πετρελαίου καυσίμου του παραρτήματος VI της MARPOL (<http://www.martenaengineering.com/>)*

## ❖ Οξείδια του θείου

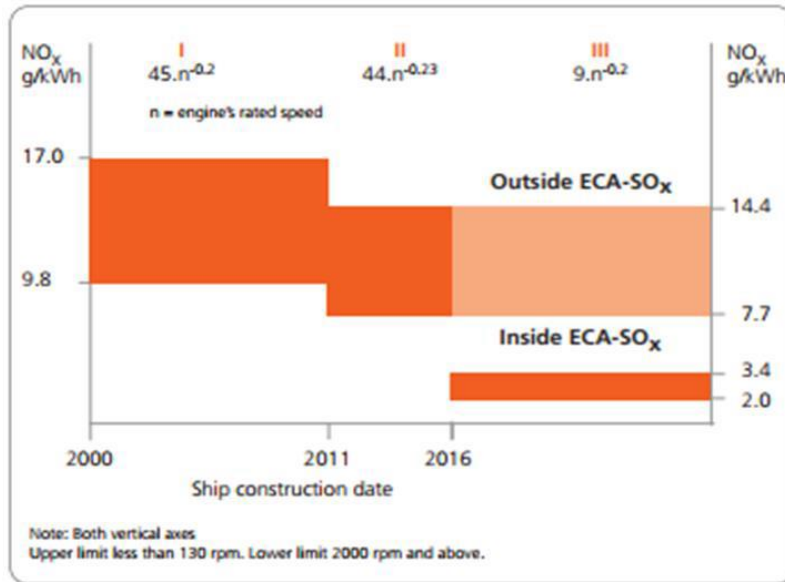
Όλα τα καύσιμα, ο εξοπλισμός αλλά και οι συσκευές της καύσης είναι υποχρεωμένα να υπόκεινται σε έλεγχο για εκπομπές οξειδίων του θείου και μικροσωματιδίων. Ως εκ τούτου, περιλαμβάνουν τόσο την κυρία μηχανή, όσο και τις βοηθητικές μηχανές και σημαντικό εξοπλισμό όπως για παράδειγμα τους λέβητες αλλά και τις γεννήτριες αερίου. Οι παραπάνω έλεγχοι διακρίνονται σε αυτούς που ισχύουν εντός των περιοχών του ελέγχου εκπομπών (ECA) οι οποίες έχουν καθιερωθεί με σκοπό τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου ( $SO_x$ ) και μικροσωματιδίων, και αυτών που ισχύουν εκτός από τις περιοχές αυτές.

Οι έλεγχοι αυτοί επιτυγχάνονται σε πρώτη φάση με περιορισμό της μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων, όπως παραλαμβάνονται για πετρέλευση και στη συνέχεια για χρήση επί του πλοίου. Κατά το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL το παγκόσμιο όριο του θείου στα καύσιμα θα μειωθεί αρχικά από το ισχύον όριο 4.5% σε 3.5%, με εφαρμογή από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2012, και στη συνέχεια σε 0.5% με εφαρμογή από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2020, και υπόκειται σε μελέτη εφικτότητας που θα πρέπει να ολοκληρωθεί μέχρι το 2018. Τα όρια για το  $SO_x$  και τα μικροσωματίδια στις ECAs μειώθηκαν από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2010 σε 1% (από το αρχικό 1.5%) και θα μειωθούν περαιτέρω σε 0.1% από 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2015. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου έχουν ψυκτική επίδραση όσον αφορά την παγκόσμια θέρμανση και παράλληλα δεν είναι επιβλαβείς για την υγεία του ανθρώπου στις ανοιχτές θάλασσες, Η απόφαση προκειμένου να τεθεί όριο 0,1% για τις ECAs, ελήφθη σε επόμενο στάδιο, χωρίς να γίνει κάποια εκτίμηση της σχέσης κόστους-οφέλους. Οι ενδιαασμοί δε, πώς οι επιπτώσεις στην οικονομία θα έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή αυτό της μεταστροφής των μεταφορών από θαλάσσιες σε χερσαίες είναι μεγάλοι.

## ❖ Οξείδια του αζώτου (Εκπομπές $NO_x$ )

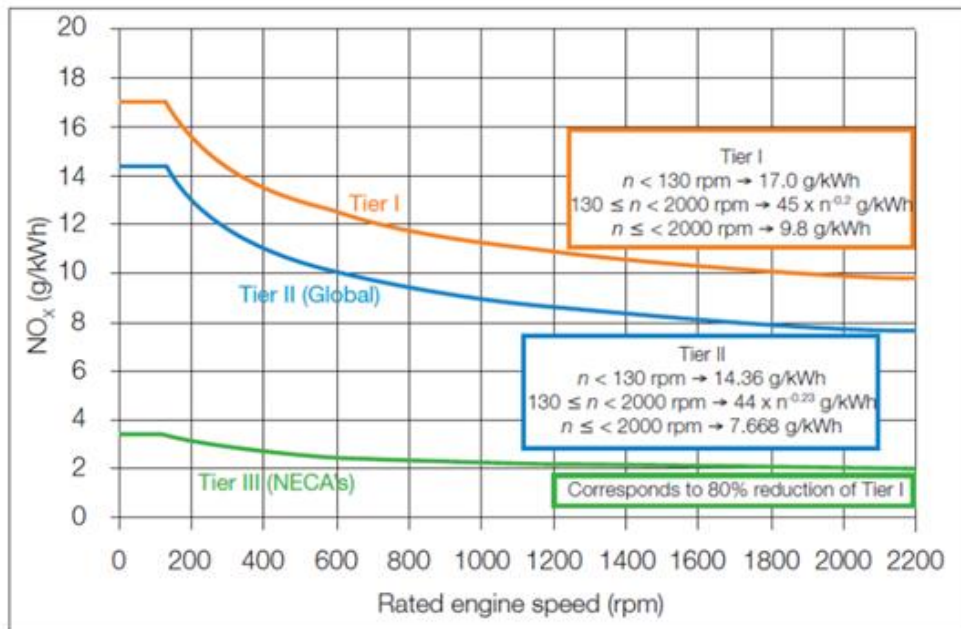
Ο κανονισμός MARPOL 73/78 του παραρτήματος VI 13, για τα οξείδια αζώτου, ισχύει για κινητήρες diesel με ισχύ άνω των 130 kW που εγκαθίστανται σε νεόκτιστα πλοία (πού ορίζονται ως ημερομηνία τοποθέτησης της τρόπιδας ή παρόμοιο στάδιο κατασκευής) την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2000 και έπειτα, και σε διαφορετικά επίπεδα του ελέγχου  $NO_x$  ισχύουν με βάση την ημερομηνία κατασκευής του πλοίου (Σχήμα 4). Το όριο εκπομπών  $NO_x$ , εκφράζεται ως εξαρτώμενο από τις τροφές που κινητήρα. Ο IMO έχει αναπτύξει λεπτομερή τεχνικό κώδικα  $NO_x$ , ο οποίος ρυθμίζει την επιβολή αυτών των κανονισμών.





**Σχήμα 4: Πρόγραμμα ελέγχου NO<sub>x</sub> από κινητήρα diesel του Παραρτήματος VI της MARPOL**

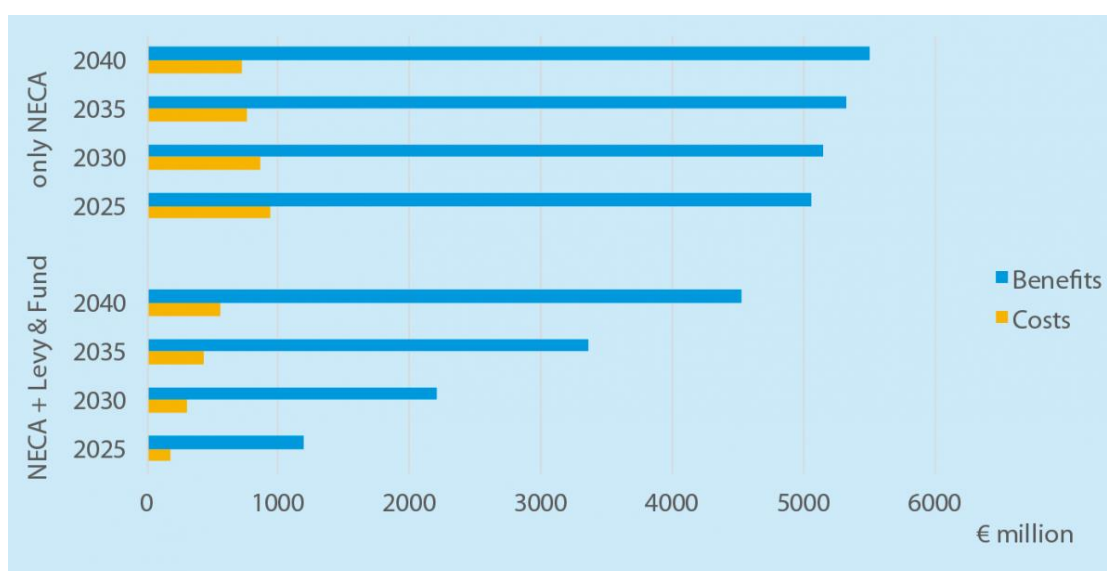
Τα όρια εκπομπών NO<sub>x</sub> στα πρότυπα του ΙΜΟ εκφράζονται συναρτήσει των στροφών του εκάστοτε κινητήρα (Εικόνα 7). Ακόμη, σε κάθε όριο Tier, παρουσιάζεται ο τρόπος ορισμού της εκάστοτε βαθμίδας Tier. Στο επίπεδο εκπομπών NO<sub>x</sub> Tier III του ΙΜΟ αντιστοιχεί σε μείωση κατά 80% σε σχέση με το επίπεδο εκπομπών NO<sub>x</sub> Tier I.



**Εικόνα 7: Διάγραμμα ορίων εκπομπών NO<sub>x</sub> συναρτήσει των στροφών του κινητήρα, στα πρότυπα του ΙΜΟ**

### 3.2.7 Οικονομικά – αποδοτικά οφέλη

Το κόστος των τυπικών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών SO<sub>2</sub> από τα πλοία κυμαίνεται από 0,5 έως 4 €/kg και NO<sub>x</sub> από 0,01 έως 0,6 €/kg. Τα μέτρα που απαιτούνται για την περαιτέρω μείωση των εκπομπών των ίδιων ρύπων από πηγές στην ξηρά, πέρα από τις ουσιαστικές μειώσεις που έχουν ήδη επιτευχθεί τα τελευταία 30 χρόνια, θα κοστίζουν γενικά περισσότερο και σε ορισμένες περιπτώσεις πολύ περισσότερο. Λαμβάνοντας μέτρα για τη μείωση των εκπομπών από τη διεθνή ναυτιλία, οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την υγεία και το περιβάλλον, θα μπορούσαν να επιτευχθούν με σημαντικά μειωμένο κόστος σε σύγκριση με τη λήψη πρόσθετων μέτρων μόνο στην ξηρά.



**Σχήμα 5:** Σύγκριση κόστους και οφέλους για την υγεία από τη δημιουργία εσόδων για το NECA και τα συνδυασμένα σενάρια εισφοράς και κεφαλαίων NECA (εκατομμύρια ευρώ)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. ΚΥΚΛΟΣ DIESEL

Το μεγαλύτερο ποσοστό των πλοίων διαθέτουν μηχανές diesel (Πετρελαιοκινητήρες). Η τετράχρονη μηχανή diesel έχει τους εξής χρόνους λειτουργίας (Γρηγορίου Χ. Κολτσάκη 2008):

- ❖ **Χρόνος εισαγωγής:** Από τη βαλβίδα εισαγωγής σε έρχεται αέρας μέσα στον κύλινδρο και το έμβολο μετατοπίζεται από το άνω νεκρό σημείο (Α.Ν.Σ.) στο κάτω νεκρό σημείο (Κ.Ν.Σ.). Η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει κλειστή.
- ❖ **Χρόνος συμπίεσης:** Οι βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής είναι κλειστές, το έμβολο μετατοπίζεται από το κάτω νεκρό σημείο το πάνω νεκρό σημείο και μέσα στον κύλινδρο έχουμε αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας.
- ❖ **Χρόνος ισχύος-εκτόνωσης:** Οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές. Το καύσιμο εγχέεται μέσα στον κύλινδρο και αναφλέγεται. Το έμβολο μετακινείται από το άνω νεκρό σημείο προς το κάτω νεκρό σημείο λόγω της εκτόνωσης του μίγματος.
- ❖ **Χρόνος εξαγωγής:** Η βαλβίδα εξαγωγής είναι ανοιχτή, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής είναι κλειστή. Το έμβολο μετακινείται από το κάτω νεκρό σημείο το πάνω νεκρό σημείο και τα καυσαέρια αποβάλλονται.

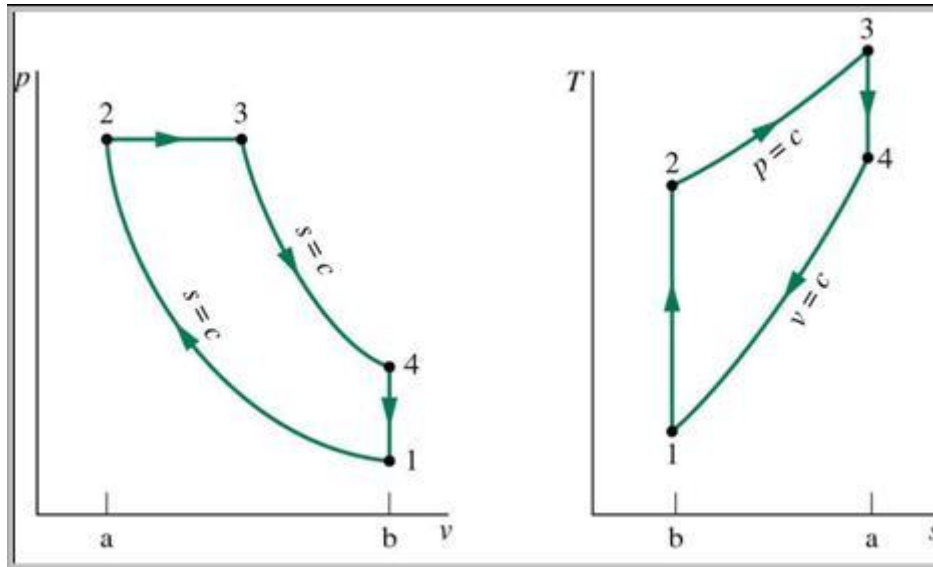
#### 4.1 ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΩΝ DIESEL

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μηχανών DIESEL είναι:

- ❖ Οι κινητήρες diesel δεν διαθέτουν μπουζί αλλά το καύσιμο αυτά αυτό αναφλέγεται λόγω υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.
- ❖ Η θερμοκρασία της συμπίεσης προκαλεί την καύση.
- ❖ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί φθινό καύσιμο με χαμηλό αριθμό οκτανίου. ο αριθμός οκτανίου χαρακτηρίζει την ποιότητα του καυσίμου. όσο υψηλότερος είναι τόσο καλύτερη είναι και η ποιότητα του καυσίμου.
- ❖ Έχει χαμηλές εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα αλλά και υδρογονανθράκων
- ❖ Έχει υψηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων όπως για παράδειγμα αιθάλη.

#### 4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ DIESEL

Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται οι τέσσερις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε έναν κύκλο diesel. Το αριστερό διάγραμμα είναι πίεση συναρτήσει του όγκου, και το δεξί διάγραμμα θερμοκρασία συναρτήσει της εντροπίας.



**Εικόνα 8:** Διαγράμματα πίεσης-όγκου και θερμοκρασίας-εντροπίας στον κύκλο Diesel

Οι διεργασίες του κύκλου είναι οι εξής:

- 1-2 Ισεντροπική συμπίεση
- 2-3 Ισοβαρής πρόσδοση θερμότητας
- 3-4 Ισεντροπική εκτόνωση
- 4-1 Ισόχωρη απόρριψη θερμότητας

### 4.3 ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Ένας κινητήρας ή μία μηχανή εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή στην οποία το καύσιμο αναφλέγεται με την παρουσία αέρα. Ονομάζεται εσωτερική από το γεγονός πως το καύσιμο αναφλέγεται στο εσωτερικό της. Λόγω της εκτόνωσης των αερίων, ασκείται μία δύναμη στα έμβολα η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνησή τους προς τα πάνω. Με αυτή τη διαδικασία η θερμική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του εμβόλου.

Οι κύριοι τύποι μηχανών εσωτερικής καύσης είναι ο Otto (βενζινοκινητήρας) και ο Diesel (πετρελαιοκινητήρας). Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης κατηγοριοποιούνται με βάση τη διάταξη των εμβόλων, τον αριθμό των εμβόλων και τους χρόνους λειτουργίας τους.

Με κριτήριο τη διάταξη των εμβόλων διακρίνονται σε:

- κατακόρυφες/οριζόντιες
- τύπου V

Με κριτήριο τον αριθμό των εμβόλων διακρίνονται σε:

- δίκυλινδρες
- τετρακύλινδρες

Με κριτήριο τους χρόνους λειτουργίας διακρίνονται σε:

- δίχρονες
- τετράχρονες

Οι διεργασίες ενός κινητήρα είναι οι παρακάτω:

- Εισαγωγή καυσίμου μίγματος
- Συμπίεση
- Καύση
- Εκτόνωση και εξαγωγή καυσαερίων

### **Τετράχρονος κινητήρας**

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τέσσερις χρόνοι λειτουργίας ενός τετράχρονου κινητήρα.

1. Κατά τη διάρκεια του χρόνου εισαγωγής, το έμβολο μετακινείται από το άνω νεκρό σημείο στο κάτω νεκρό σημείο και η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει ανοιχτή. Με αυτόν τον τρόπο, εισέρχονται καύσιμο και αέρας στο εσωτερικό του κυλίνδρου.
2. Κατά τον χρόνο συμπίεσης, το έμβολο μετακινείται από κάτω νεκρό σημείο στο άνω νεκρό σημείο και οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές με αποτέλεσμα να συμπιέζεται το μείγμα. Στο τέλος του χρόνου αυτού, λαμβάνει χώρα η ανάφλεξη του μίγματος μέσω ενός ηλεκτρικού σπινθήρα (μπουζί).
3. Κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτόνωσης το μείγμα σπρώχνει το έμβολο προς τα κάτω ενώ ταυτόχρονα οι βαλβίδες παραμένουν κλειστές.
4. Τέλος, κατά τον χρόνο εξαγωγής το έμβολο ανέρχεται και τα προϊόντα της καύσης πιέζονται και εξέρχονται από τη βαλβίδα εξόδου, η οποία είναι ανοιχτή.

### **Δίχρονος κινητήρας**

Ένας πλήρης κύκλος του δίχρονου κινητήρα αποτελείται από μία κατερχόμενη και μία ανερχόμενη κίνηση του εμβόλου.

1. Στη διάρκεια του πρώτου χρόνου λειτουργίας, το έμβολο κινείται από το κάτω νεκρό σημείο προς το άνω νεκρό σημείο, ενώ παράλληλα γίνεται η εισαγωγή του μίγματος από τη θυρίδα εισόδου. Ακολουθεί η συμπίεση του μίγματος και στη συνέχεια η εξαγωγή των καυσαερίων από τη θυρίδα εξόδου, η οποία βρίσκεται σε ψηλότερο σημείο από τη θυρίδα εισαγωγής.
2. Στο 2<sup>ο</sup> χρόνο λειτουργίας, το έμβολο κινείται από το άνω στο κάτω νεκρό σημείο. Περιλαμβάνει την εκτόνωση του μίγματος λόγω της ανάφλεξης που έλαβε χώρα

προηγούμενος. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τη θυρίδα εξόδου και όταν το έμβολο φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο εισέρχεται το μείγμα.

#### ❖ Μπλοκ Κινητήρα

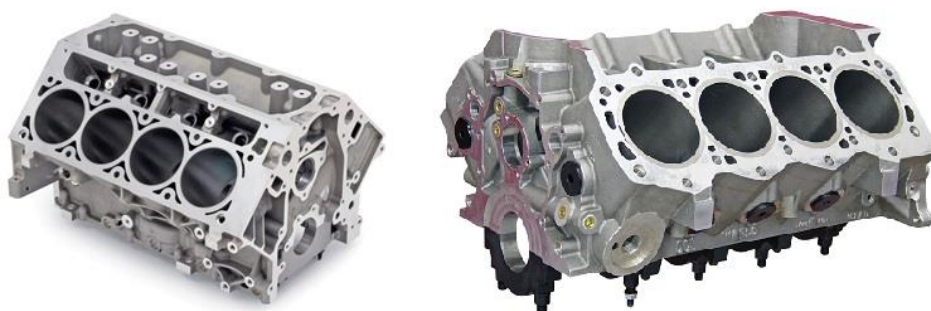
Το μπλοκ του κινητήρα είναι κατασκευασμένο από οζώδη χυτοσίδηρο και χυτεύεται σε ένα κομμάτι. Χαρακτηρίζεται από ένα σκληρό και ανθεκτικό σχεδιασμό, ο οποίος το καθιστά κατάλληλο για ανθεκτική συναρμολόγηση χωρίς ενδιάμεσα θεμέλια.

Ο κινητήρας διαθέτει ένα στροφαλοφόρο άξονα ο οποίος υποστηρίζεται από κυλινδρικούς κατασκευασμένους από οζώδη χυτοσίδηρο. Τα καλύμματα εδράνων οδηγούνται πλευρικά από το μπλοκ του κινητήρα τόσο στην κορυφή, όσο και στο κατώτερο μέρος όπου υδραυλικές και οριζόντιες πλευρικές βίδες ασφαλίζουν τα καλύμματα εδράνων.

Στο άκρο της οδήγησης υπάρχει ένα συνδυασμένο ρουλεμάν ώθησης, ένα ακτινικό έδρανο για τον κινητήρα του εκκεντροφόρου και ο σφόνδυλος (βολάν). Το περίβλημά του εδράνου του ενδιάμεσου γραναζιού είναι ενσωματωμένο στο μπλοκ του κινητήρα. Το νερό ψύξης, κατανέμεται γύρω από τις επενδύσεις των κυλίνδρων με δακτυλίους διανομής νερού στο κάτω άκρο του περιβλήματος του κυλίνδρου. Δεν υπάρχει υγρός χώρος στο μπλοκ κινητήρα γύρω από την επένδυση του κυλίνδρου, γεγονός που εξαλείφει τον κίνδυνο διαρροής νερού στο στροφαλοθάλαμο.

#### ❖ Σώμα κυλίνδρων

Οι κύλινδροι τοποθετούνται στο σώμα, το οποίο είναι κατασκευασμένο από ανθεκτικό υλικό (Εικόνα 9).



**Εικόνα 9: Σώμα κυλίνδρων**

### ❖ Κεφαλή κυλίνδρων

Η κεφαλή χρησιμοποιείται για την κάλυψη των κυλίνδρων, είναι κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο και τοποθετείται στο πάνω μέρος του θαλάμου καύσης (Εικόνα 10). Μεταξύ του σώματος και της κεφαλής των κυλίνδρων παρεμβάλλεται η φλάντζα, η οποία εξασφαλίζει τη στεγανότητα του χώρου από τυχόν διαρροή του συστήματος του υγρού ψύξης (Εικόνα 11). Η φλάντζα μαζί με την κεφαλή στερεώνονται με το υπόλοιπο σώμα με τη χρήση κοχλιών. Στην κεφαλή των κυλίνδρων τοποθετούνται οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ο εκκεντροφόρος άξονας, το μπουζί -μόνο στην περίπτωση των βενζινοκινητήρων - και οι εγχυτήρες καυσίμου (μπεκ).



Εικόνα 10: Κεφαλή κυλίνδρων



Εικόνα 11: Φλάντζα

### ❖ Έμβολο

Τα έμβολα κατασκευάζονται από κράμα αλουμινίου ή χυτοσίδηρου και κινούνται μεταξύ του άνω νεκρού σημείου και το κάτω νεκρού σημείου (Εικόνα 12). Το μείγμα καυσίμου-αέρα ασκεί πίεση σε αυτά και τα ωθεί να κινηθούν για να δώσουν με τη σειρά τους κίνηση στο στροφαλοφόρο μέσω του διωστήρα.



Εικόνα 12: Έμβολο

### ❖ Ελατήρια εμβόλων

Για να υπάρχει στεγανότητα στο εσωτερικό των κυλίνδρων από τυχόν διαρροές αερίων της καύσης ή του λαδιού λίπανσης στον θάλαμο καύσης χρησιμοποιούνται ελατήρια. Τα ελατήρια αυτά είναι κατασκευασμένα από χυτοσίδηρο και η διάμετρός τους είναι λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο των εμβόλων (Εικόνα 13).



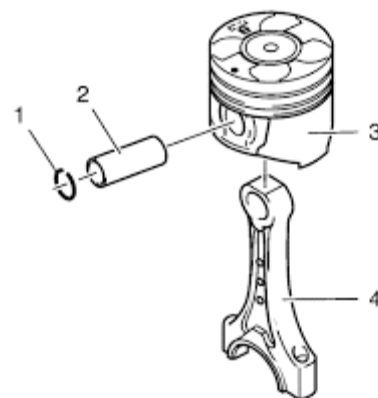
***Εικόνα 13: Ελατήρια εμβόλου***

### ❖ Πείρος εμβόλου

Το έμβολο με τη συνδετική ράβδο συνδέεται με τον πείρο. Ο πείρος, είναι ένας κύλινδρος με κατεργασμένη την εξωτερική του επιφάνεια, ο οποίος είναι κατασκευασμένος από κράμα χάλυβα υψηλής ανθεκτικότητας, λόγω του ότι δέχεται πολύ μεγάλες δυνάμεις (Εικόνα 14, Εικόνα 15).



***Εικόνα 14: Πείρος εμβόλου***



***Εικόνα 15: Σύνδεση πείρου με έμβολο***



### ❖ Διωστήρας – Συνδετική ράβδος

Η απόσταση από το έμβολο στο στροφαλοφόρο άξονα γεφυρώνεται με τη χρήση του διωστήρα, ο οποίος παράλληλα μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα. Ο διωστήρας είναι επίσης κατασκευασμένος από χάλυβα υψηλής αντοχής (Εικόνα 16).



**Εικόνα 16: Διωστήρας – Συνδετική ράβδος**

### ❖ Στροφαλοφόρος άξονας

Είναι ο κυριότερος άξονας του κινητήρα, ο οποίος εδράζεται σε τρία έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα βάσης). Το μπροστινό μέρος του στροφαλοφόρου ενώνεται τον οδοντωτό τροχό και το πίσω μέρος με το σφόνδυλο (βολάν) (Εικόνα 17).



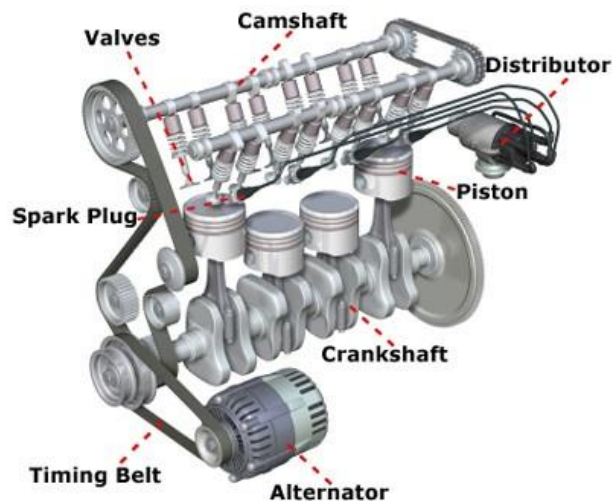
**Εικόνα 17: Στροφαλοφόρος άξονας ναυτικής μηχανής**

### ❖ Εκκεντροφόρος άξονας

Ο εκκεντροφόρος άξονας ρυθμίζει το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής εξαγωγής. Ο οδοντωτός τροχός μεταδίδει την κίνηση που προέρχεται από τον στροφαλοφόρο άξονα στον εκκεντροφόρο άξονα. Σε πολύ μεγάλες μηχανές ο οδοντωτός τροχός μπορεί να αντικατασταθεί με καδένα (αλυσίδα και τροχός). Οι βαλβίδες και ο εκκεντροφόρος άξονας συνδέονται με έκκεντρα. Μέσω του ιμάντα χρονισμού, ο εκκεντροφόρος άξονας ακολουθεί την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα (Εικόνα 18, Εικόνα 19).



*Εικόνα 18: Εκκεντροφόρος άξονας ναυτικής μηχανής*



*Εικόνα 19: Σύνδεση εκκεντροφόρου με στροφαλοφόρο άξονα*

### ❖ Βαλβίδες/Θυρίδες για τετράχρονο/δίχρονο κινητήρα

Οι βαλβίδες/θυρίδες είναι τοποθετημένες στην κεφαλή του κυλίνδρου. Χωρίζονται σε βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής. Από αυτές της εισαγωγής εισέρχεται αέρας η μείγμα αέρα καυσίμου εντός του κυλίνδρου, ενώ από αυτές της εξόδου εξέρχονται τα καυσαέρια.

#### ❖ Ελατήρια βαλβίδων

Ο ρόλος των ελατηρίων είναι να κλείνουν τις βαλβίδες. Το ένα άκρο βρίσκεται στην κεφαλή της βαλβίδας (πυκνές σπείρες) και το άλλο άκρο στο ωστήριο (αραιές σπείρες). Η διαμόρφωση των σπειρών βοηθά στο να αποθηκεύεται κινητική ενέργεια που θα χρειαστεί για την επαναφορά της βαλβίδας. Επιπροσθέτως, αποφεύγονται οι μεγάλες ταλαντώσεις των ελατηρίων (Εικόνα 20).



*Εικόνα 20: Βαλβίδες και ελατήρια*

#### ❖ Ωστήρια βαλβίδων

Τα ωστήρια είναι εξαρτήματα τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ των έκκεντρων και των βαλβίδων (Εικόνα 21).



*Εικόνα 21: Ωστήριο βαλβίδων*

### ❖ Βοηθητικοί προθάλαμοι καύσης

Ένα μέρος των πετρελαιοκινητήρων διαθέτει προθάλαμο καύσης στην κεφαλή του κυλίνδρου, ο οποίος συνδέεται με αγωγούς με τον κύριο θάλαμο καύσης. Εκεί, κατά τη διάρκεια της συμπίεσης αναμειγνύεται το καύσιμο με τον αέρα. Ο προθάλαμος έχει τέτοια διαμόρφωση ώστε να γίνεται η βέλτιστη ανάμιξη αέρα και καυσίμου.

### ❖ Θάλαμος καύσης

Είναι ο χώρος στον οποίο κινούνται τα έμβολα. Μέσα στον κύλινδρο αναμειγνύεται το καύσιμο με τον αέρα στους κινητήρες diesel.

### ❖ Σφόνδυλος (Βολάν)

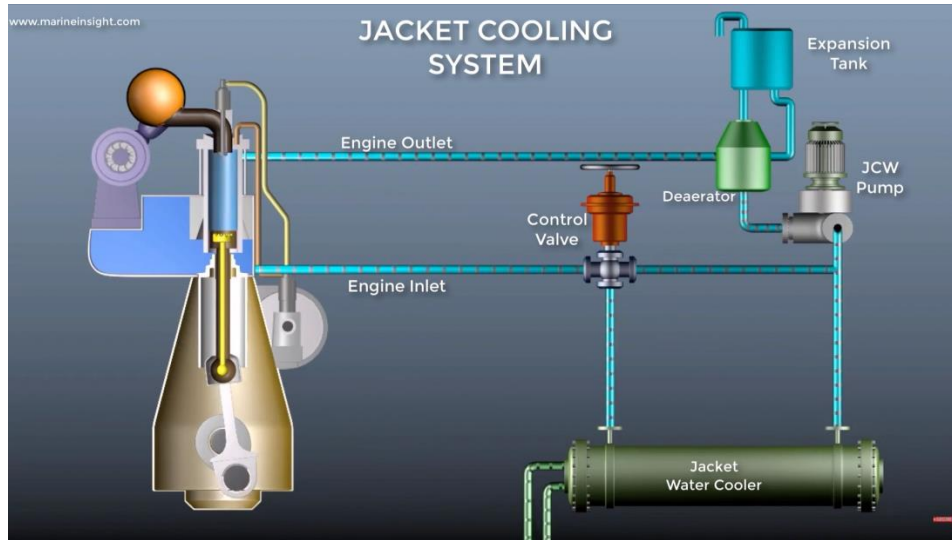
Ο σφόνδυλος αποθηκεύει την κινητική ενέργεια που παράγεται από την κίνηση του εμβόλου κατά τους χρόνους εκτόνωσης και την αποδίδει στο στροφαλοφόρο άξονα για την ομαλή λειτουργία του κατά τους παθητικούς χρόνους λειτουργίας (Εικόνα 22).



**Εικόνα 22: Σφόνδυλος μόλις τοποθετημένος σε στροφαλοφόρο άξονα σε νεόκτιστη μηχανή (Προσωπικό αρχείο)**

### ❖ Εισαγωγή αέρα

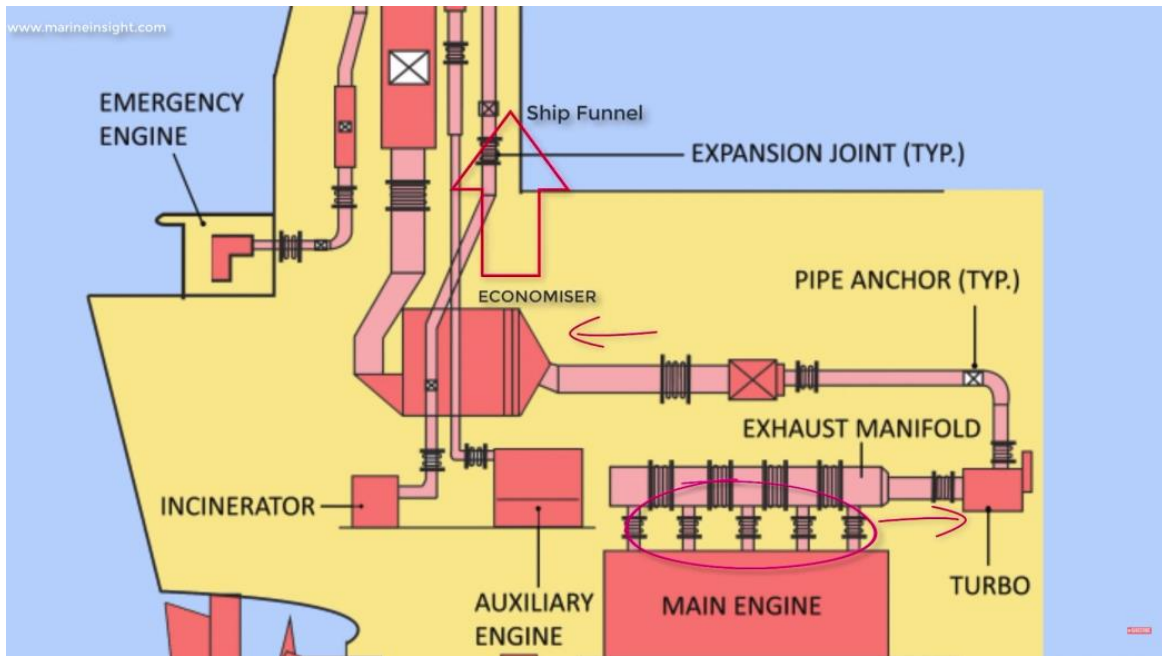
Στις ναυτικές μηχανές υπάρχει ένας κεντρικός αγωγός, ο οποίος μεταφέρει τον αέρα στην εισαγωγή, αφού πρώτα συμπιεστεί από τον υπερπληρωτή (turbocharger). Ο αγωγός αυτός, επικοινωνεί με όλες τις θυρίδες εισαγωγής και παρέχει σταθερά την απαραίτητη ποσότητα αέρα για τη σωστή λειτουργία της μηχανής (Εικόνα 23).



**Εικόνα 23: Αγωγός αέρα εισαγωγής και αέρα εξαγωγής**

### ❖ Εξαγωγή καυσαερίων

Μετά το χρόνο εκτόνωσης, ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής των καυσαερίων, με αυτά να εξέρχονται προς τον υπερπληρωτή. Σε αυτό το στάδιο, μεταφέρουν την ενέργεια τους στον υπερπληρωτή, δίνοντάς του με αυτόν τον τρόπο την απαραίτητη ενέργεια για να συμπιέσει τον αέρα εισαγωγής. Στη συνέχεια τα καυσαέρια οδηγούνται στον οικονομητήρα, όπου ζεσταίνουν νερό που διέρχεται και χρησιμοποιείται για άλλες διεργασίες. Τέλος, τα καυσαέρια οδηγούνται στην έξοδο (Εικόνα 23, Εικόνα 24).



***Εικόνα 24: Διαδρομή καυσαερίων από τη μηχανή στην έξοδο***

## 4.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

### ❖ Σύστημα λίπανσης

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα για την ομαλή λειτουργία της μηχανής είναι η λίπανση των κινούμενων μερών της. Αυτή επιτυγχάνεται με διάφορων ειδών λιπαντικά, όπως το κυλινδρέλαιο (cylinder oil), το οποίο χρησιμοποιείται για τη λίπανση των κυλίνδρων αποκλειστικά, και πολλά ακόμη λιπαντικά με ποικίλα χαρακτηριστικά. Τα λιπαντικά αυτά, περιχύνονται στα κινούμενα μέρη της μηχανής, δημιουργώντας έτσι ένα λουτρό ελαίου, με αποτέλεσμα πάντα να υπάρχουν οι ελάχιστες δυνατές τριβές και κατά συνέπεια οι ελάχιστες δυνατές θερμοκρασίες. Τα λιπαντικά αυτά, αφού περιχυθούν στα μέρη της μηχανής πέφτουν στη βάση της μηχανής (crankcase), στην οποία υπάρχουν αντλίες που τα μεταφέρουν εκ νέου στα σημεία ψεκασμού και αφού περάσουν από φίλτρα, ολοκληρώνεται ο κύκλος.

### ❖ Σύστημα ψύξης

Στις ναυτικές μηχανές, όπως και στους κινητήρες αυτοκινήτων, ψύξη γίνεται με κυκλοφορία νερού μέσω του μπλοκ του κινητήρα. αυτό στο οποίο διαφέρουν οι ναυτικές μηχανές ότι έχουν δύο διαφορετικούς τύπους συστημάτων ψύξης:

- Το σύστημα ψύξης με θαλασσινό νερό
- Το σύστημα ψύξης με γλυκό νερό (Κλειστό σύστημα)

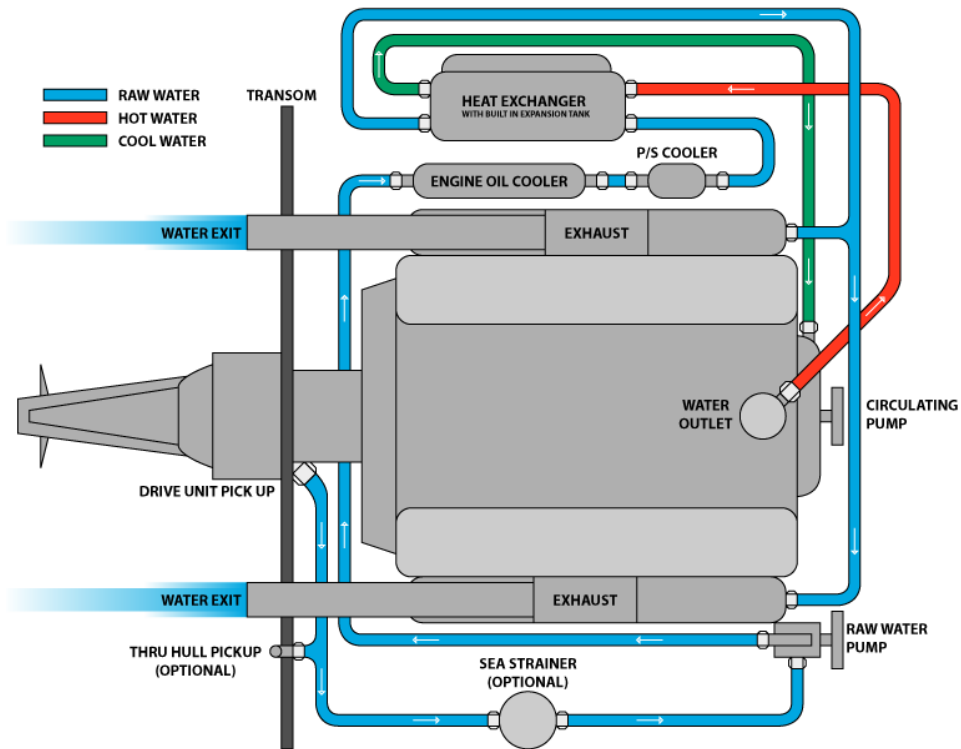
#### 1) Σύστημα ψύξης με θαλασσινό νερό

Τα συστήματα ψύξης θαλασσινού νερού αντλούν νερό από το εξωτερικό του πλοίου. Το νερό αντλείται και διαρρέει μέσω σωληνώσεων στο μπλοκ του κινητήρα και στη συνέχεια η αντλία κυκλοφορίας το μεταφέρει στο εσωτερικό του. Κατά τη ροή αυτή, το νερό απορροφά μεγάλο κομμάτι της θερμότητας του κινητήρα με αποτέλεσμα τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του. Τα συστήματα ψύξης με θαλασσινό νερό είναι από τα πιο συνήθη που συναντάμε στις ναυτικές μηχανές. Σε μεγαλύτερους κινητήρες η αντλία νερού βρίσκεται εντός του κινητήρα, όπου λαμβάνει την κίνηση της από έναν ιμάντα ή απευθείας από το στροφαλοφόρο άξονα. Το μειονέκτημα σε αυτή τη μέθοδο είναι η χρήση θαλασσινού νερού ως ψυκτικού στον κινητήρα. Το αλμυρό νερό μπορεί να είναι πολύ διαβρωτικό, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο καταστροφές οι οποίες δεν είναι άμεσα ορατές.

#### 2) Σύστημα ψύξης με γλυκό νερό

Τα συστήματα ψύξης γλυκού νερού, γνωστά και ως κλειστά συστήματα, τα συναντάμε Σε διάφορες μορφές. στις πιο συνήθεις περιπτώσεις συναντάμε εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο το ψυκτικό κυκλοφορεί από τη μία πλευρά του εναλλάκτη Όπου ψύχεται με θαλασσινό νερό που διέρχεται από την άλλη πλευρά του εναλλάκτη. στη συνέχεια το ψυκτικό οδηγείτε πίσω στον κινητήρα και το θαλασσινό νερό αποβάλλεται από το σκάφος. Μία άλλη διαδικασία

ψύξης μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς εναλλάκτη θερμότητας. Αθήνα αντλεί θαλασσινό νερό στον εναλλάκτη θερμότητας του δοχείου όπου ψύχει το ψυκτικό, το ψυκτικό αντλείται μέσω σωλήνων αλουμινίου στο εξωτερικό της γάστρας όπου το περιβάλλον νερό ( θαλασσινό νερό) ψύχει το ψυκτικό πριν αντληθεί πίσω στον κινητήρα. η χρήση ψυκτικών σωληνώσεων έχει πλέον το ρόλο του εναλλάκτη θερμότητας (Εικόνα 25).



***Εικόνα 25: Σύστημα ψύξης ναυτικής μηχανής***



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

Η ανάπτυξη του εμπορίου και των θαλάσσιων μεταφορών έχει αυξήσει τον παγκόσμιο εμπορικό στόλο και δημιουργεί διαρκώς νέες προοπτικές. Κάθε χρόνο, όλο και περισσότερες εταιρείες επενδύουν τον κλάδο των θαλάσσιων μεταφορών και της ναυτιλίας, με αποτέλεσμα την αύξηση των συνολικών ετήσιων ρύπων από τα πλοία. Η ρύπανση του αέρα από τις μηχανές των εμπορικών πλοίων αποτελεί μία βασική ανθρωπογενή πηγή ρύπανσης η οποία είναι δύσκολο να ελεγχθεί. Αυτό το γεγονός δημιουργεί την άμεση ανάγκη μετριασμού της. Η μείωση των εκπομπών επιτυγχάνεται με:

- **Δομικά μέτρα:** Παρεμβάσεις στο σχεδιασμό του πλοίου (γάστρα, πηδάλιο, προπέλα) για τη βελτιστοποίηση του με αποτέλεσμα τη μείωση των αντιστάσεων από το νερό.
- **Λειτουργικά μέτρα:** Βελτιώσεις που έχουν να κάνουν με τη συντήρηση και τον καθαρισμό διαφόρων μερών πλοίου όπως ο καθαρισμός της προπέλας και της γάστρας.
- **Τεχνικά μέτρα:** Διάφορες τεχνολογίες, συστήματα και μηχανισμοί (κυψέλες καυσίμου, καταλύτες, φίλτρα εσωτερική τροποποίηση κινητήρα, κινητήρες με έγχυση νερού πιστοποιημένη κλίνη, πλυντρίδες, προσθήκη ασβεστόλιθου σε λέβητα)
- **Χρήση εναλλακτικών καυσίμων και εναλλακτικών πηγών ενέργειας:** Ηλεκτρική ενέργεια, πυρηνική ενέργεια, υδρογόνο, βιοκαύσιμα, συνθετικά καύσιμα, παραφινικά καύσιμα, φυσικό αέριο, υγροποιημένο φυσικό αέριο και υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7) παρουσιάζεται σημείωση των εκπομπών αερίων ρύπων από ναυτικές μηχανές με διάφορες τεχνολογίες.

**Πίνακας 7: Μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων από τη ναυτιλία με διάφορα τεχνολογικά μέσα (CNSS)**

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΓΝΩΣΗ	ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ			
		NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	PM
<b>NO<sub>x</sub></b>					
Προσθήκη Νερού	Ψεκασμός Νερού	50-60%	-	-	-
	Επανακυκλοφορία καυσαερίων	20-80%	-	-	-
	Κινητήρας υγρού αέρα	20-80%	-	-	40-60%
Επεξεργασία καυσαερίων	Καταλυτική αναγωγή	90-99%	-	-	25-40%

<b>SO<sub>x</sub></b>					
Επεξεργασία καυσαερίων	Πλυντρίδες	-	90-95%	-	80-85%
Εναλλακτικά καύσιμα	Καύσιμο χαμηλό σε θείο (από 2.7% σε 05%)	-	80%	-	20%
<b>NO<sub>x</sub> και SO<sub>x</sub></b>					
Εναλλακτικά καύσιμα	LNG	60%	90-100%	0-25%	72%
Εναλλακτικές πηγές ενέργειας	Ενέργεια από την ξηρά (μείωση στο λιμάνι)	90%	90%	90%	90%

## 5.1 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### ➤ Ελαφριές κατασκευές εμπορικών πλοίων

Προτιμάται η κατασκευή ελαφρών δομών με σκοπό τη μείωση των αντιστάσεων από το νερό, καθώς με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μικρότερη κατανάλωση καυσίμων.

### ➤ Μείωση του έρματος

Για τη μέγιστη δυνατή ευστάθεια του πλοίου, υπάρχουν ειδικές δεξαμενές (water ballast tanks), στις οποίες τοποθετείται πρόσθετο βάρος (έρμα) στη γάστρα, το οποίο είναι θαλασσινό νερό. Για τη μείωση των αντιστάσεων από το νερό και κατά συνέπεια τη μείωση των εκπομπών ρύπων τοποθετείται το ελάχιστο δυνατό έρμα.

### ➤ Αναχαιτιστικά τελειώματα ελασμάτων

Με σκοπό την αύξηση της ευστάθειας του πλοίου τοποθετείται κατακόρυφα μεταλλικό έλασμα στο μέσο του, το οποίο καταλαμβάνει σχεδόν όλο το πλάτος του. Σε αυτό το σημείο δέχεται τη μέγιστη δυνατή πίεση και αυξάνεται η σταθερότητα του πλοίου και η αποδοτικότητα του κινητήρα.

### ➤ Φτερούγα επέκτασης ισάλου γραμμής

Ουσιαστικά είναι η επιμήκυνση της πρύμνης του πλοίου. συνήθως η φτερούγα επέκταση του ισάλου γραμμής συνδυάζεται με το αναχαιτιστικό έλασμα για καλύτερα αποτελέσματα.

➤ **Λίπανση με αέρα**

Μία ακόμη διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται μείωση τριβών είναι ο ψεκασμός αέρα στο κάτω μέρος της γάστρας του πλοίου. Με αυτόν τον τρόπο, το στρώμα αέρα που δημιουργείται ανάμεσα στο πλοίο και στο νερό ελαχιστοποιεί τις αντιστάσεις και τις τριβές κατά την κίνησή του, καθώς μειώνεται αρκετά η επιφάνεια του πλοίου που βρέχεται από νερό. Έτσι μειώνονται δραστικά οι απαιτήσεις της μηχανής σε καύσιμο.

➤ **Ελαχιστοποίηση αντίστασης ανοιγμάτων γάστρας**

Το πηδάλιο ενώνεται με άνοιγμα με την πρύμνη του πλοίου. Για τη μείωση των αντιστάσεων της κίνησης του απαιτείται ο βέλτιστος σχεδιασμός των ανοιγμάτων. Συνήθως τοποθετούνται κατασκευές που ενώνονται με το πηδάλιο όπως ο βολβός στην παρακάτω εικόνα, ο οποίος ελαχιστοποιεί τις αντιστάσεις του νερού από το πηδάλιο (Εικόνα 26).



***Εικόνα 26:** Προσθήκη βολβού για υδροδυναμική βελτίωση του πηδαλίου*

➤ **Σύστημα δύο αντίθετα περιστρεφόμενων αντικριστών προπελών**

Είναι ένα σύστημα δύο αντίθετα περιστρεφόμενων προπελών. Δύο προπέλες τοποθετούνται η μία απέναντι από την άλλη. Με αυτόν τον τρόπο οι απώλειες ενέργειας της μίας προπέλας ανακτώνται από τη δεύτερη προπέλα.

### ➤ Προωθητές πτερυγίων

Με σκοπό τη μείωση των ενεργειακών απωλειών, γίνονται κάποιες τροποποιήσεις - βελτιώσεις στους ήδη υπάρχοντες τύπους προπελών, μία εξ αυτών είναι η τοποθέτηση μικρό πτερυγίων στο καπάκι της προπέλας. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών της δίνης της πλήμνης.

## 5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

### ➤ Καθαρισμός προπέλας και γάστρας

Για τη βέλτιστη λειτουργία πλοίου είναι πολύ σημαντική η τακτική συντήρηση του και η επιθεώρηση της προπέλας καθώς και της γάστρας του, με σκοπό την απομάκρυνση τυχόν εναποθέσεων.

### ➤ Μείωση ταχύτητας πλεύσης

Κατά τη μείωση της ταχύτητας πλεύσης, μειώνεται αντίστοιχα και η αντίσταση του νερού στο κέλυφος του πλοίου. Αυτό το γεγονός, έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις που χρειάζονται για την πρόωσή του. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και λιγότερες εκπομπές καυσαερίων. Βέβαια, στην πράξη είναι δύσκολο να εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι συμφωνίες για παραδόσεις εμπορευμάτων σε συγκεκριμένους χρόνους καθιστούν δύσκολη την πλεύση σε χαμηλές ταχύτητες.

### ➤ Ανάκτηση θερμότητας

Η κάλυψη πολλών αναγκών του πλοίου με την εκμετάλλευση της θερμότητας που εκλύεται από τα καυσαέρια βοηθά στη μείωση των εκπομπών ρύπων. Αυτό πραγματοποιείται με συσκευές όπως ο οικονομητήρας, που καλύπτει την παροχή ζεστού νερού και ατμού σε κάθε ανάγκη που υπάρχει για αυτά στο πλοίο.

## 5.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Παρακάτω αναλύονται οι τεχνολογίες και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται ως παρέμβαση στην απλή λειτουργία ενός ναυτικού κινητήρα. Οι τεχνολογίες και οι μηχανισμοί αυτοί, αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών ρύπων και είναι οι εξής:

- Κυψέλες καυσίμου
- Εσωτερική τροποποίηση κινητήρα
- Φίλτρα

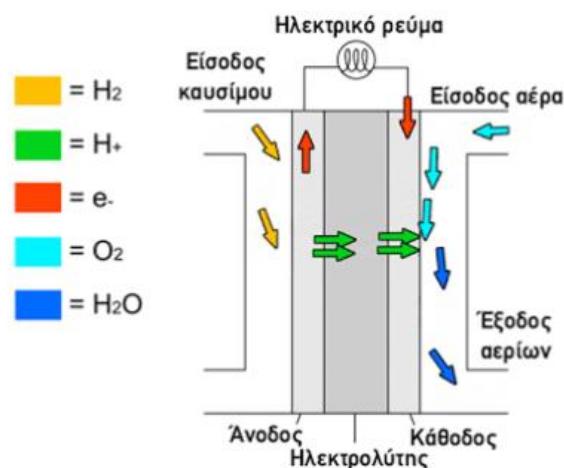
- Καταλύτες
- Πλυντρίδες
- Κινητήρες με τεχνολογία έγχυσης νερού

Αυτά τα τεχνικά μέτρα, έχουν ως στόχο τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων των ναυτικών μηχανών και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων και κατ' επέκταση τη μείωση των εκπομπών ρύπων.

### ➤ Κυψέλες καυσίμου

Οι μονάδες και τα συστήματα κυψελών καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια (Εικόνα 27). Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ως καύσιμο το υδρογόνο αλλά σε άλλου τύπου κυψέλες υπάρχει ευελιξία στη χρήση του καυσίμου, όπως για παράδειγμα μεθάνιο, μεθανόλη, βιοαέριο και φυσικό αέριο. Ένα ακόμη βασικό τους πλεονέκτημα, είναι το γεγονός πως το καύσιμο δεν καίγεται με αποτέλεσμα να μην υπάρχει παραγωγή ρύπων. Επίσης, υπάρχει ευελιξία στην επιλογή σημείου εγκατάστασής τους επάνω στο πλοίο και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διανέμεται πολύ εύκολα τους πίνακες ελέγχου, στα ηλεκτρικά μηχανήματα, στις ηλεκτρομηχανές, τα συστήματα πρόωσης καθώς και σε άλλα σημεία κατανάλωσης ηλεκτρισμού.

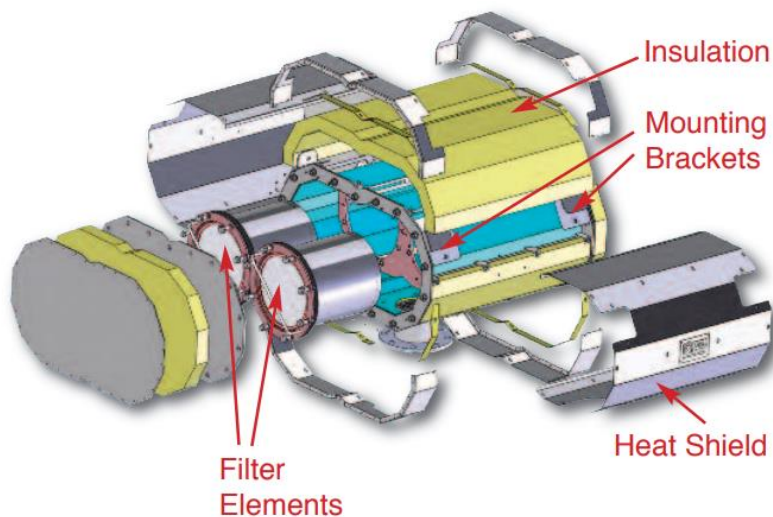
Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι η ανάγκη που υπάρχει για τη σταθερή φόρτιση τους, καθώς πιθανές αυξομειώσεις στη φόρτιση δημιουργούν υπερθέρμανση και πιθανή έκρηξη των κυψελών. Επίσης, το κόστος εγκατάστασης αλλά και της συντήρησής τους είναι πολύ πιο υψηλό σε σχέση με μία εγκατάσταση ενός κινητήρα diesel (Δαγκίνης και Νικητάκος,2014).



**Εικόνα 27:** Τρόπος λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

### ➤ Φίλτρα σωματιδίων

Τα φίλτρα σωματιδίων τοποθετούνται στο σύστημα των καυσαερίων με σκοπό να παγιδεύσουν ένα μεγάλο ποσοστό τους. Τα φίλτρα αυτά αποτελούνται από συστοιχίες κεραμικών σωληνοειδών φίλτρων και έχουν πολύ υψηλή αποδοτικότητα δέσμευσης. Τα καυσαέρια διέρχονται μέσα στο φίλτρο και τα σωματίδια παγιδεύονται (αιθάλη). Σε υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων, η αιθάλη καίγεται και μετατρέπεται σε ακίνδυνο διοξείδιο του άνθρακα. Το φίλτρο επίσης, καταστρέφει το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) έως και 98% αλλά και τους υδρογονάνθρακες ντίζελ (HC) σε ποσοστό άνω του 95% (Εικόνα 28).



**Εικόνα 28: Ανεπτυγμένη διάταξη από φίλτρο MARINE-X®DPF (<http://www.dcl-inc.com/pdf/marine/MARINE-X-diesel-particulate-filters.pdf>)**

### ➤ Εσωτερική τροποποίηση κινητήρα (απομάκρυνση VOC, NO<sub>x</sub> και σωματιδίων)

Έχει να κάνει με τροποποιήσεις που αφορούν τη διαδικασία καύσης μέσα στον κινητήρα αλλά και στα συστήματα έχει στις καυσίμου μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την πίεση και θερμοκρασία στον κινητήρα. Οι εσωτερικές αυτές τροποποιήσεις του κινητήρα διακρίνονται σε βασικές και προηγμένες. Όσον αφορά τις βασικές εσωτερικές τροποποιήσεις του κινητήρα, η κύρια διαφορά είναι η εγκατάσταση των συμβατικών βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής με βαλβίδες ολίσθησης. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνουμε ομοιόμορφο ψεκασμό στο θάλαμο καύσης, στρωματοποίηση του μίγματος και καλύτερη διάδοση της φλόγας χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση του κινητήρα.

Οι προηγμένες εσωτερικές τροποποιήσεις του κινητήρα συμπεριλαμβάνουν την επιβράδυνση έγχυσης καυσίμου, την αναλογία της μεγαλύτερης συμπίεσης και την υψηλή απόδοση του στροβίλου (Εξαρχος, 2013).

➤ **Καταλύτες (απομάκρυνση σωματιδίων και NO<sub>x</sub>)**

Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης της αναγωγής με αναγωγικό μέσο παρουσία καταλύτη τα NO<sub>x</sub> μετατρέπονται σε άζωτο και νερό. Ως οξειδωτικό μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμμωνία ή ουρία. Επίσης, η αντίδρασή της αναγωγής μπορεί να λάβει χώρα και με απουσία καταλύτη αλλά σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιείται καύση της αμμωνίας.

➤ **Πλυντρίδες (Scrubbers) (απομάκρυνση NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και σωματιδίων)**

Αποτελούνται από ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και τις χημικές ουσίες για την αφαίρεση του θείου από τα καυσαέρια του κινητήρα, με την απαλλαγή του προς την θάλασσα. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας μπορεί να επιτύχει μείωση έως και 95% SO<sub>x</sub>.

➤ **Κινητήρες με τεχνολογία έγχυσης νερού (Μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub>).**

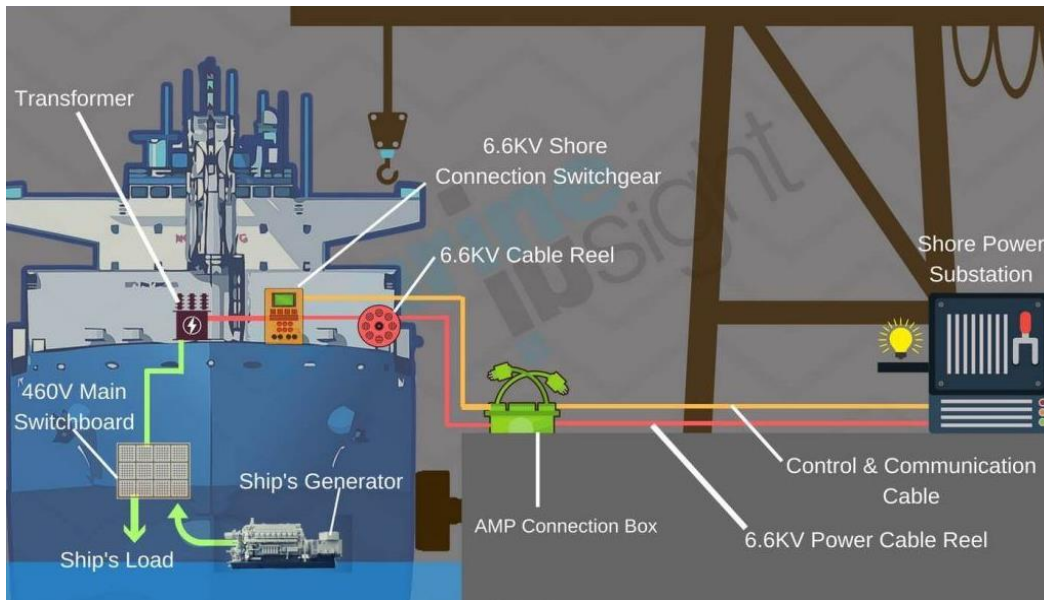
Μία ακόμη τροποποίηση με σκοπό τη μείωση των NO<sub>x</sub> είναι η αντικατάσταση του συμβατικού κινητήρα με κινητήρα υγρού αέρα. Στον κύλινδρο του κινητήρα διοχετεύεται γλυκό νερό μέσω μιας βαλβίδας συνδυασμένης έγχυσης και ενός ακροφυσίου πριν ή κατά τη διάρκεια της καύσης, χωρίς φυσικά να έρχεται σε επαφή με το καύσιμο. Η τεχνολογία αυτή, επιτυγχάνει χαμηλότερες θερμοκρασίες στον κινητήρα με αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub>. από την άλλη πλευρά το βασικό μειονέκτημα που έχει ο κινητήρας με τεχνολογία έγχυσης νερού είναι το αρκετά υψηλότερο κόστος και η μεγάλη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με τον συμβατικό κινητήρα. εναλλακτικά στον κινητήρα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί θαλασσινό νερό έναντι γλυκού. το νερό της θάλασσας χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ατμού στον αέρα καύσης και με αυτό τον τρόπο μειώνεται η θερμοκρασία καθώς και οι εκπομπές NO<sub>x</sub>.

## **5.4 ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Με τη διαρκή ανάπτυξη της τεχνολογίας και με βασικό στόχο την μείωση των εκπομπών των εμπορικών πλοίων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εναλλακτικά καύσιμα καθώς και εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

➤ **Ηλεκτρική ενέργεια**

Με την πάροδο του χρόνου ο ηλεκτρισμός τείνει να χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο για τη ναυτιλία καθώς υπάρχουν σημαντικά λιγότεροι ρύποι σε σχέση με τη χρήση συμβατικού καυσίμου, όπως για παράδειγμα το πετρέλαιο. Το περιβαλλοντικό όφελος είναι αρκετά υψηλό και για αυτό το λόγο έχει γίνει εγκατάσταση υποδομών ηλεκτροδότησης στην προβλήτα πολλών λιμένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου αλλά και των αερίων ρύπων ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές. Ως μέσο αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται μικρού μεγέθους πλοία για την ηλεκτροδότηση των μεγαλύτερων (Εικόνα 29).



**Εικόνα 29:** Διάταξη εγκατάστασης ηλεκτροδότησης πλοίου σε λιμένα.

(<https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-is-alternate-marine-power-amp-or-cold-ironing/>)

### ➤ Πυρηνική ενέργεια

Ως πυρηνική ενέργεια ορίζεται η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάσπαση των ατόμων του ουρανίου με τη διαδικασία της πυρηνικής σχάσης. Την ενέργεια αυτή που εκλύεται την εκμεταλλευόμαστε για τη λειτουργία και την πρόωση του πλοίου. Σε πρώτο στάδιο η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για να ζεσταθεί το νερό, το οποίο μετέπειτα έρχεται σε επαφή με νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υδρατμών και τέλος την κίνηση του ατμοστροβίλου. Ο ατμοστροβίλος με τη σειρά του συνδέεται με μία ηλεκτρογεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση πυρηνικής ενέργειας παρά το γεγονός ότι αποτελεί μία εναλλακτική πηγή καυσίμου δε συνίσταται για καμία κατηγορία πλοίου καθώς σε περίπτωση ατυχήματος οι περιβαλλοντικές καταστροφές θα ήταν τεράστιες.

### ➤ Φυσικό αέριο

Αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από μεθάνιο και εντοπίζεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες (Εικόνα 30). Η ενέργεια που παράγεται ανά μονάδα εκπομπής CO<sub>2</sub> συγκριτικά με το πετρέλαιο. Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης φυσικού αερίου ως καύσιμο είναι οι μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου και του θείου. Παρόλα αυτά, υπάρχει αρκετά υψηλό κόστος εγκατάστασης του συστήματος (Μπουλαντζιάς 2014, Βαρσάμης 2014).



➤ **Υγροποιημένο φυσικό αέριο (L.N.G.)**

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αναμένεται να είναι ένα μελλοντικό καύσιμο καθώς παρατηρείται σημαντική μείωση στις εκπομπές SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> και σωματιδίων (Εικόνα 30).



**Εικόνα 30:** Σύσταση Φυσικού αερίου και L.N.G

➤ **Υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο (L.P.G.)**

Το L.P.G. αποτελεί ένα εναλλακτικό καύσιμο, το οποίο είναι υποπροϊόν της επεξεργασίας του φυσικού αερίου αλλά και της διύλισης του πετρελαίου, με μικρότερα ποσοστά άνθρακα αλλά και αισθητά μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με συμβατικά καύσιμα.

➤ **Υδρογόνο**

Το υδρογόνο αποτελεί και αυτό ένα μελλοντικό εναλλακτικό καύσιμο για τη ναυτιλία. Μπορεί να παραχθεί με την ηλεκτρόλυση του θαλασσινού νερού χρησιμοποιώντας ενέργεια που προέρχεται από υπεράκτια αιολικά πάρκα ή από άλλους τύπους ανανεώσιμης ενέργειας στην ξηρά. Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας που παράγεται από ανεμογεννήτριες οι οποίες είναι τοποθετημένες επάνω στο ίδιο το πλοίο (Θωμαΐδης, 2016).

➤ **Βιοκαύσιμα**

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μία από τις πιο καθαρές πηγές ενέργειας καθώς έχουν πολύ χαμηλή παραγωγή σωματιδίων. Η παραγωγή τους έχει ως βάση τη βιομάζα, η οποία περιέχει υπολείμματα ή παραπροϊόντα φυτικής και ζωικής προέλευσης. Επιπροσθέτως, τα βιοκαύσιμα μπορούν να προέλθουν από ενεργειακές καλλιέργειες, όπως για παράδειγμα οι ελαιούχες καλλιέργειες για την παραγωγή βιοντίζελ καθώς επίσης οι αμυλούχες και οι ζαχαρούχες καλλιέργειες για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Ως βιοκαύσιμα μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το βιοντίζελ, το βιομεθάνιο, τη βιοαιθανόλη, το διμεθυλαιθέρα, το έλαιο πυρόλυσης, τα έλαια φοίνικα, καρύδας, σόγιας κ.α.

### ➤ Παραφινικά καύσιμα

Βασικό στοιχείο των παραφινικών καυσίμων είναι οι παραφίνες, όπου αποτελούν σταθερές ενώσεις που δε δημιουργούν ιζήματα ή ρύπους. Οι παραφίνες μέσα στο καύσιμο καίγονται χωρίς καπνό και έχουν υψηλή θερμογόνο δύναμη, γεγονός που σημαίνει πως κατά την καύση τους παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας (Μπακιριζόπουλος, 2015).

### ➤ Συνθετικά καύσιμα

Τα συνθετικά καύσιμα δε διαθέτουν θείο ή ορυκτό πετρέλαιο, γεγονός που τα κάνει να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημά τους είναι το γεγονός ότι έχουν υψηλό αριθμό κετανίου και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη καύση (Βαρσάμης, 2014).

### ➤ Πρόωση με τη βοήθεια αέρα

Έχει να κάνει με τη χρήση ανεμογεννητριών άκαμπτων ή μαλακών πανιών, χαρταετών (Εικόνα 31) για την πρόσληψη αιολικής ενέργειας και τη μετατροπή της σε ηλεκτρική, με σκοπό την κάλυψη μερικών αναγκών του πλοίου. Η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε δύναμη πρόωσης και για τέτοιου είδους εγκαταστάσεις κρίνεται αναγκαία ο επανασχεδιασμός του λειτουργικού συστήματος του πλοίου (Μπουλαντζάς 2014, Έξαρχος 2013).



*Εικόνα 31: Χρήση χαρταετού για την πρόωση πλοίου*

### ➤ Ηλιακή ενέργεια

Αφορά τη χρήση ηλιακών συλλεκτών επάνω στα πλοία με σκοπό την πρόσληψη ηλιακής ενέργειας (Μπουλαντζάς, 2014).

### ➤ **Καύσιμο με μειωμένο ποσοστό θείου (Low Sulphur Oil)**

Ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής αέριας ρύπανσης από εμπορικά πλοία οφείλεται σε εκπομπές  $SO_x$ , οι οποίες εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Τα καύσιμα που περιέχουν θείο σε μικρό ποσοστό είναι περιορισμένα και επομένως οικονομικά ασύμφορα. Ένας πολύ οικονομικός τρόπος για τη μείωση των  $SO_x$  είναι η χρήση θαλασσινού νερού για την έκπλυση των καυσαερίων, με καθώς το θαλασσινό νερό υπάρχει σε αφθονία (Κοτρίκλα, 2015).

## **5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (EXHAUST GAS TREATMENT SYSTEMS)**

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν τα μέτρα για την μείωση των ρύπων, όπως για παράδειγμα καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, εναλλακτικά καύσιμα και εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα σημαντικότερα συστήματα επεξεργασίας καυσαερίων και το πώς αυτά συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Τα συστήματα αυτά αφορούν κυρίως την αντιμετώπιση των  $NO_x$  και  $SO_x$ .

### ➤ **Πλυντρίδες (Scrubbers)**

Αποτελεί ένα βασικό σύστημα του οποίου ο σκοπός είναι η απομάκρυνση του θείου από τα καυσαέρια του κινητήρα με τη χρήση χημικών και θαλασσινού νερού. Μέσα από μία σειρά χημικών αντιδράσεων, εξουδετερώνονται τα  $SO_x$  που εμπεριέχονται στα καυσαέρια. Στη συνέχεια παράγονται θειικά άλατα τα οποία απορρίπτονται στη θάλασσα.

Η τοποθέτηση των πλυντρίδων μπορεί να γίνει είτε σε νεόκτιστα πλοία είτε σε ήδη υφιστάμενα (Helfre & Boot, 2013). Οι πλυντρίδες βρίσκονται σε πλήρη ταύτιση με τους κανονισμούς του βαλτικού και διεθνούς δικαίου (BIMCO, 2015). Μέσα από τη χρήση πλυντρίδων, μπορεί να επιτευχθεί μείωση των  $SO_x$  έως και 95% και των PM έως και 80% (Guo & Fu etc., 2015).

Παρόλα αυτά, η απόρριψη των θεικών αλάτων στη θάλασσα επηρεάζει την οξύτητα του νερού και αυτό θα είχε αντίκτυπο στη βιοποικιλότητα των θαλάσσιων περιοχών (Helfre & Boot, 2013). Ακόμη μία σημαντική παράμετρος είναι η ευκολία εγκατάστασής τους, καθώς μπορεί αυτή να μην είναι εφικτή σε όλων των ειδών τα πλοία και ειδικά στα ήδη υφιστάμενα Πλοία που λειτουργούν ήδη πολλά έτη (Helfre & Boot, 2013).

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ξηρές και τις υγρές. Η βασική διαφορά τους είναι στο υλικό που χρησιμοποιούν. Στις ξηρές πλυντρίδες χρησιμοποιείται ξηρό χημικό προϊόν ενώ στις υγρές χρησιμοποιείται θαλασσινό ή γλυκό νερό ως μέσο καθαρισμού. Οι υγρές πλυντρίδες διακρίνονται με τη σειρά τους σε ανοιχτού βρόχου, κλειστού βρόχου και υβριδικές (Hombravella & Kiliçaslan etc, 2011).

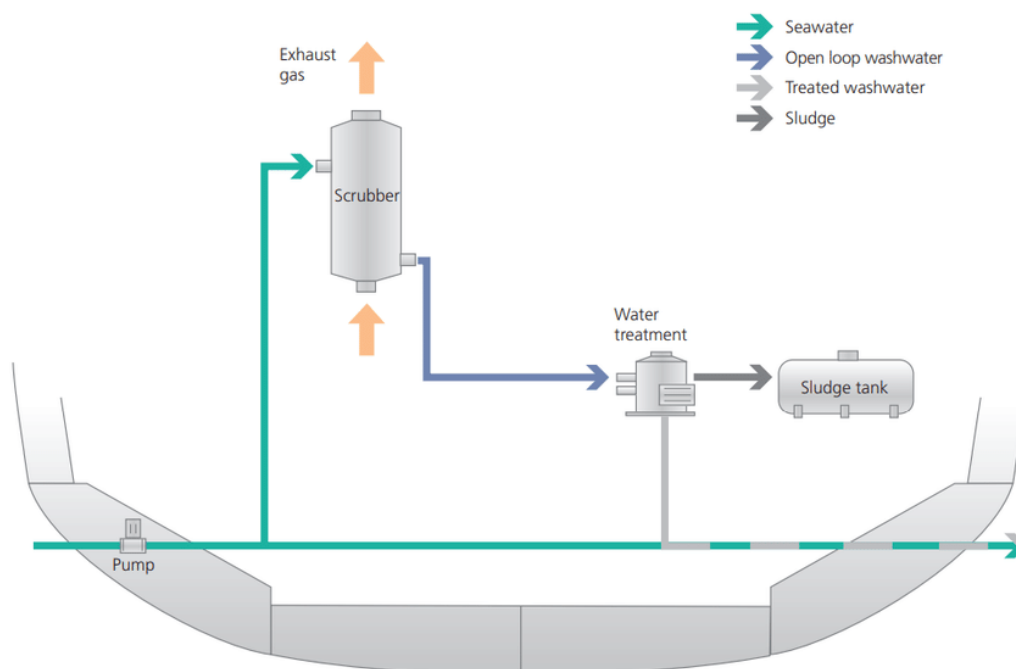
Το σύστημα της υγρής πλυντρίδας περιλαμβάνει τα εξής:

- Το δοχείο καθαρισμού, στο οποίο αναμιγνύεται το νερό με το καυσαέριο (scrubber).
- Τη μονάδα καθαρισμού του νερού πριν απορριφθεί στη θάλασσα μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας (water treatment).
- Μία δεξαμενή στην οποία συλλέγεται λάσπη από το νερό που απορρίπτεται στη θάλασσα (sludge tank).
- Το σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης των εκπομπών.

Κάποια επιπλέον εξαρτήματα είναι οι σωληνώσεις τα ψυγεία και οι δεξαμενές. Καθώς επίσης και οι αντλίες. Οι υγρές πλυντρίδες χωρίζονται σε:

#### A. Ανοιχτού βρόχου

Σε αυτόν τον τύπο συστήματος αντλείται θαλασσινό νερό, το οποίο αναμιγνύεται με το καυσαέριο, και στη συνέχεια το τελευταίο απορρίπτεται στη θάλασσα. Το νερό φυσικά δεν επαναχρησιμοποιείται για την επόμενη διαδικασία. Η παροχή νερού σε αυτό το σύστημα είναι περίπου  $45 \text{ m}^3/\text{MWh}$  (Lloyd's Register, 2012) (Σχήμα 6).

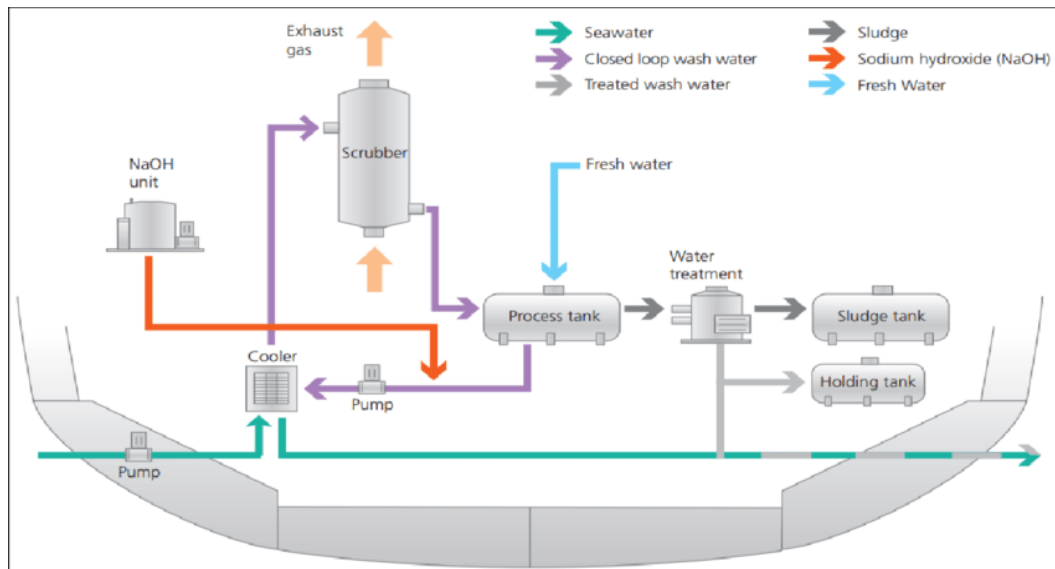


Σχήμα 6: Υγρό σύστημα καθαρισμού  $\text{SO}_x$  ανοιχτού βρόχου

#### B. Κλειστού βρόχου

Το σύστημα αυτό διαφοροποιείται με τον εξής τρόπο: ένα μέρος του νερού επανακυκλοφορεί στο σύστημα και το υπόλοιπο απορρίπτεται στη θάλασσα (Σχήμα 7). Χρησιμοποιείται φρέσκο νερό μαζί με υδροξείδιο του νατρίου ( $\text{NaOH}$ ). Με αυτόν τον τρόπο

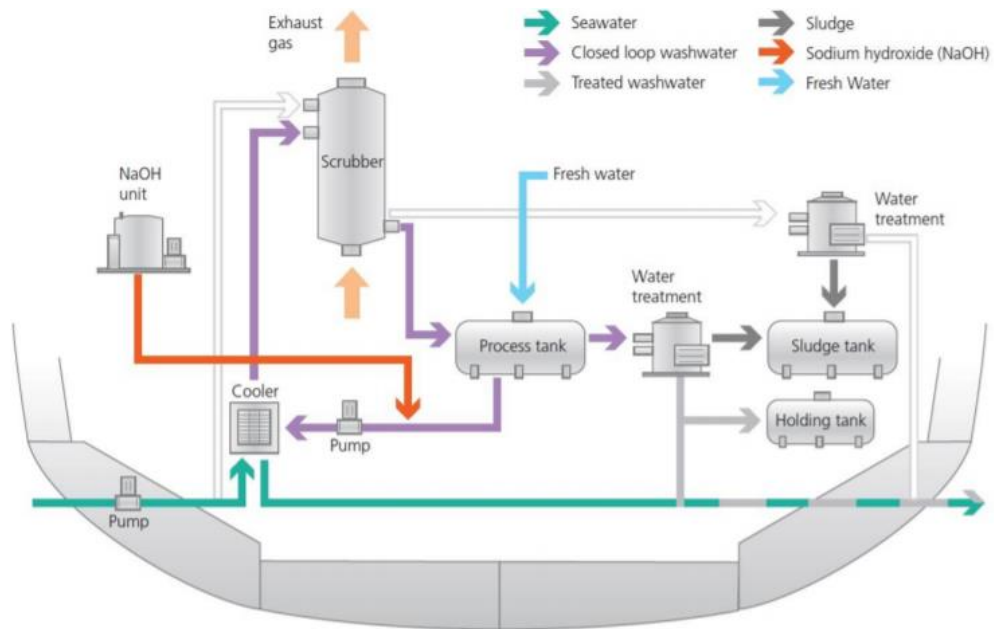
τα  $SO_x$  που εμπεριέχονται στα καυσαέρια μετατρέπονται σε θειικό νάτριο. Έτσι, το σύστημα απορρίπτει μικρή ποσότητα επεξεργασμένου νερού για να μειωθεί η συγκέντρωση του θειικού νατρίου με κύριο μέλημα την αποφυγή της υποβάθμισης των υδάτων. Επιπροσθέτως, το σύστημα περιλαμβάνει μία δεξαμενή συγκράτησης του νερού που πρόκειται να απορριφθεί στη θάλασσα σε περίπτωση που χρειαστεί να μην απορριφθεί εκείνη τη στιγμή, όπως για παράδειγμα όταν το πλοίο έχει προσαράξει σε λιμάνι.



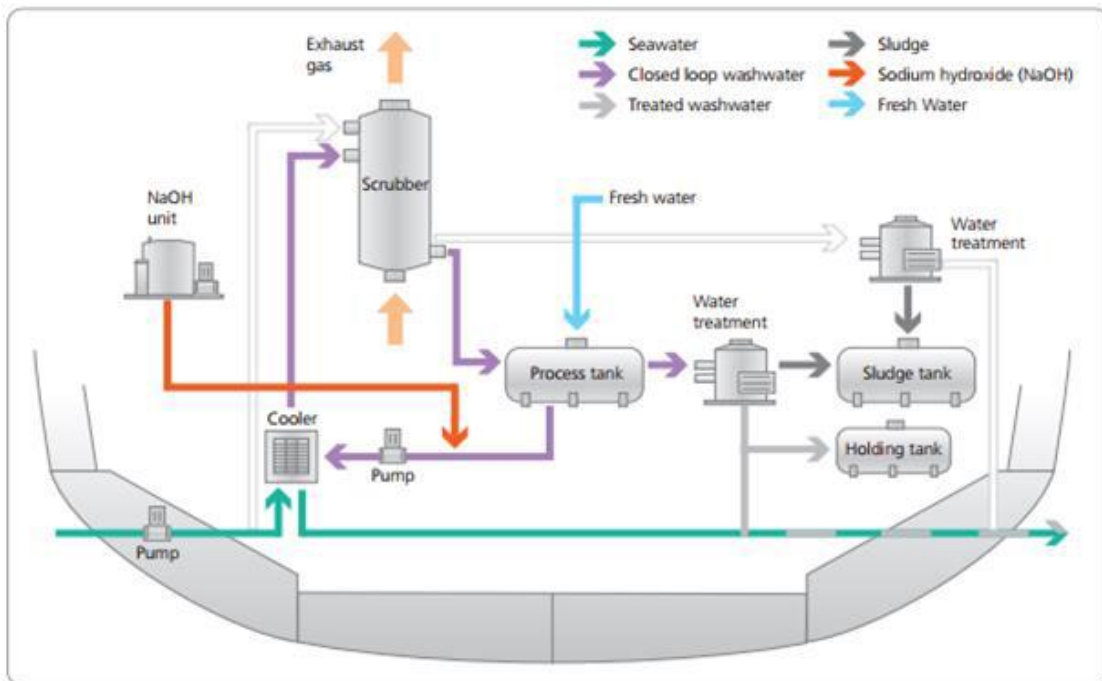
**Σχήμα 7:** Υγρό σύστημα καθαρισμού  $SO_x$  με κλειστό βρόχο

### C. Υβριδικές

Οι υβριδικές πλυντρίδες έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν είτε σε κλειστό είτε σε ανοιχτό βρόχο. Σε κλειστό βρόχο λειτουργούν όταν είναι απαραίτητο να μη γίνει απόρριψη του νερού λειτουργίας του συστήματος στη θάλασσα με τη λειτουργία της μηδενικής εκκένωσης. Όμως στην περίπτωση λειτουργίας τους σε κλειστό βρόχο υπάρχει κατανάλωση υδροξειδίου του νατρίου και ταυτόχρονα αύξηση της κατανάλωσης του νερού του συστήματος σε σχέση με τη λειτουργία του ανοικτού βρόχου. Επομένως, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, το σύστημα αυτό μας δίνει μεγαλύτερη ευελιξία και φυσικά επιφέρει σημαντική μείωση στο συνολικό κόστος (Σχήμα 8, Σχήμα 9).



**Σχήμα 8:** Απεικόνιση υβριδικού συστήματος καθαρισμού  $SO_x$ , το οποίο βρίσκεται σε λειτουργία κλειστού βρόχου



**Σχήμα 9:** Απεικόνιση υβριδικού συστήματος καθαρισμού  $SO_x$ , το οποίο βρίσκεται σε λειτουργία ανοικτού βρόχου

➤ **Ανάλυση SWOT πλυντρίδων**

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) γίνεται ανάλυση SWOT για την τεχνολογία των πλυντρίδων. Αναφέρονται τα δυνατά σημεία τους, οι αδυναμίες, οι ευκαιρίες και οι απειλές της τεχνολογίας αυτής.

**Πίνακας 8: Ανάλυση SWOT πλυντρίδων**

<b>ΠΛΥΝΤΡΙΑΔΕΣ</b>	
<b>Δυνατά σημεία</b>	<b>Αδυναμίες</b>
Υπακοή στους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης.	Το κόστος της εγκατάστασης μπορεί να κυμανθεί από ένα έως πέντε εκατομμύρια ευρώ ανά πλοίο.
Χρήση καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας.	Δεν υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης σε όλα τα πλοία λόγω ηλικίας ή διαθεσιμότητας χώρου.
<b>Ευκαιρίες</b>	<b>Απειλές</b>
Καλύτερες συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες μείωσης εκπομπών από τεχνολογική και οικονομική άποψη.	Η τιμή της καθορίζεται από το υψηλό ή το χαμηλό ποσοστό θείου στο καύσιμο.
	Δυσκολία πρόβλεψης του κόστους συντήρησης.
	Αυστηροί κανονισμοί καθιστούν την τεχνολογία μη συμβατή.

➤ **Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR: Selective catalytic reduction)**

Η καταλυτική επιλεκτική αναγωγή είναι μία τεχνολογία η οποία επιτυγχάνει μείωση των NO<sub>x</sub> έως και 80-90%, και μείωση της παροχής τους κάτω από 2 g/kWh. Είναι ιδανική για τετράχρονους κινητήρες μέσης ταχύτητας (Lloyd's Register, 2012).

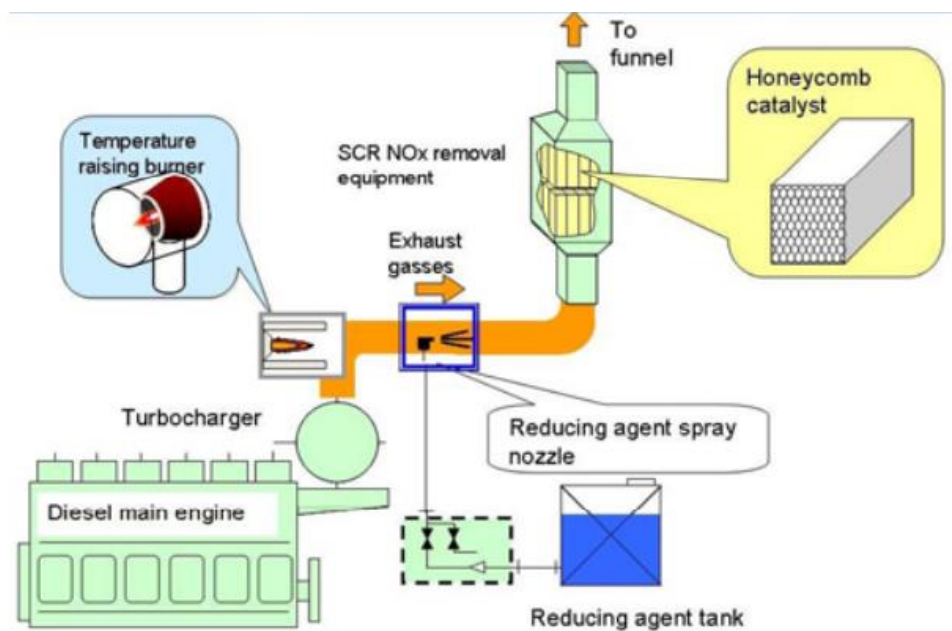
Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στη μετατροπή των οξειδίων του αζώτου σε άζωτο και νερό με τη χρήση ενός αναλογικού μέσου όπου συνήθως είναι η ουρία, η οποία εισάγεται στο ρεύμα των καυσαερίων πριν από τον καταλύτη. Λίγο πριν αυτή φτάσει στον καταλύτη μέσω ενός αγωγού, αποσυντίθεται προς σχηματισμό αμμωνίας η οποία θα προσροφηθεί στον καταλύτη.

Η ενίσχυση της ουρίας ελέγχεται με ανατροφοδότηση από τη συσκευή μέτρησης αNO<sub>x</sub> μετά τον καταλύτη. Ο ρυθμός μείωσης των NO<sub>x</sub> εξαρτάται από την ποσότητα προστιθέμενης

ουρίας, η οποία μπορεί να εκφραστεί ως λόγος  $\text{NH}_3/\text{NO}_x$ . Η αύξηση του όγκου του καταλύτη μπορεί επίσης να αυξήσει το ρυθμό μείωσης.

Τα κύρια μέρη ενός συστήματος SCR είναι τα εξής (Σχήμα 10):

- ❖ Ένα περίβλημα αντιδραστήρα το οποίο περιέχει αντικαταστάσιμα μπλοκ καταλύτη (compact SCR)
- ❖ Έγχυση υδατικής ουρίας (aqueous urea injection) καθώς και ο αγωγός που θα γίνει η έγχυση
- ❖ Αντλία δείγματος αερίου (gas sample pump)
- ❖ Μέτρηση και έλεγχος  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_x$  measurement and control)
- ❖ Σύστημα ελέγχου υδατικής ουρίας (aqueous urea control.)
- ❖ Αντλία δοσολογίας υδατικής ουρίας (aqueous urea dosage pump)
- ❖ Δεξαμενή αποθήκευσης υδατικού διαλύματος ουρίας (Reducing agent storage tank)



**Σχήμα 10:** Διάταξη τεχνολογίας SCR σε ναυτικό κινητήρα μέσης ταχύτητας.  
(<https://www.mhi.com/news/110622en.html>)

Το σύστημα SCR εγκαθίσταται σε τετράχρονους κινητήρες λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στα καυσαέρια αποτέλεσμα τη σωστή λειτουργία του καταλύτη. Η απαιτούμενη θερμοκρασία λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου κυμαίνεται από 300-500 °C. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες υπάρχει κίνδυνος βλάβης του καταλύτη. Όταν η λειτουργία της γίνεται με ελαφρύ λάδι, η θερμοκρασία των καυσαερίων μπορεί να είναι και χαμηλότερη.

Ένα βασικό μειονέκτημα του SCR είναι το μεγάλο μέγεθος και το αρκετά υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του. Ο χρόνος ζωής του καταλύτη εξαρτάται κυρίως από την



ποιότητα του καυσίμου και από την ποιότητα του λιπαντικού, και κυμαίνεται από 3 έως 5 χρόνια. Ο συνολικός όγκος του καταλύτη μπορεί να διαιρεθεί σε τρία διαφορετικά στρώματα όπου κάθε στρώμα μπορεί να αντικατασταθεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα και η δραστητικότητα στις παλαιότερες στιβάδες μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η κατανάλωση ουρίας και η αντικατάσταση των στρώσεων του καταλύτη αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους της λειτουργίας του καταλύτη. Η κατανάλωση ουρίας είναι περίπου 15-20 [g/kWh] 40% κατά βάρος ουρία. Το διάλυμα ουρίας παρασκευάζεται με ανάμιξη ουρικών κόκκων ή μπορεί να αγοραστεί ως ένα διάλυμα 40% κατά βάρος.

Η δεξαμενή της θα πρέπει να έχει ένα σχετικά μεγάλο μέγεθος ώστε να μπορεί να επιτευχθεί αυτονομία στα πλοία, ειδικά σε αυτά που πραγματοποιούν μεγάλα ταξίδια. Βασικά μέρη του συστήματος εξάτμισης αποτελούν ο αγωγός ανάμειξης και ο αντιδραστήρας όπου στον πρώτο γίνεται η έγχυση της ουρίας με χρήση ακροφυσίων ψεκασμού. Ο ρυθμός έγχυσης θα πρέπει να είναι επαρκής ώστε να μπορούν να απομακρύνονται τα NO<sub>x</sub> αλλά δεν θα πρέπει να ξεπερνά κάποιο όριο προκειμένου να μην υπάρχει αμμωνία που δεν αντέδρασε.

Ο καταλύτης αποτελείται από πορώδες κεραμικό υλικό διοξειδίου του τιτανίου και έχει μεγάλη ενεργή επιφάνεια πάνω στην οποία πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις. Οι πόροι του καταλύτη θα πρέπει να παραμένουν ανοιχτοί και να μην καλύπτονται. Ο χρόνος ζωής ενός καταλύτη είναι περιορισμένος και χρειάζεται συντήρηση και κατά καιρούς αντικατάσταση διότι τέφρα και σωματίδια εναποτίθενται επάνω του (Εικόνα 32).

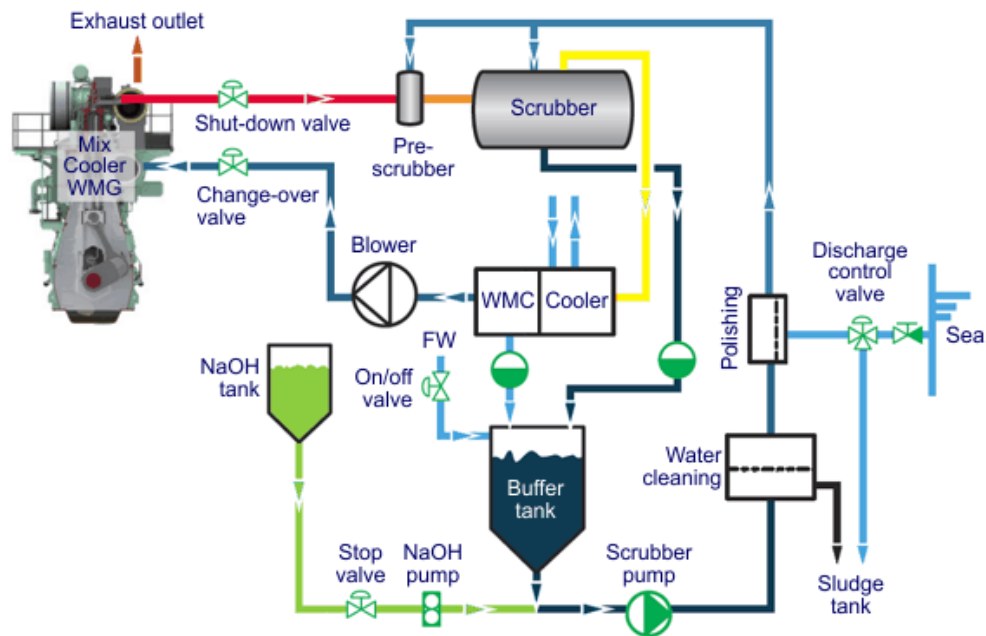


***Εικόνα 32: Στοιχείο καταλύτη σε τεχνολογία SCR***

➤ **Ανακυκλοφορία καυσαερίων (EGR: Exhaust Gas Recirculation)**

Η τεχνολογία της ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (Σχήμα 11) χρησιμοποιεί μέρος των καυσαερίων (έως και 40%) τα οποία πριν τον υπερσυμπιεστή επιστρέφουν στο θάλαμο

καύσης και αναμειγνύονται με τον αέρα που υπάρχει ήδη στους κυλίνδρους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση του οξυγόνου που θα αντιδρούσε και θα συνέβαλε στο σχηματισμό NO<sub>x</sub>. Επιπροσθέτως, μειώνονται οι μέγιστες θερμοκρασίες καύσης και παράλληλα καταστέλλεται ο σχηματισμός του θερμικού NO<sub>x</sub>. Το EGR αποτελεί μία τεχνική πρωτογενούς ελέγχου και όχι σύστημα επεξεργασίας ρύπων (BIMCO, April 2012).



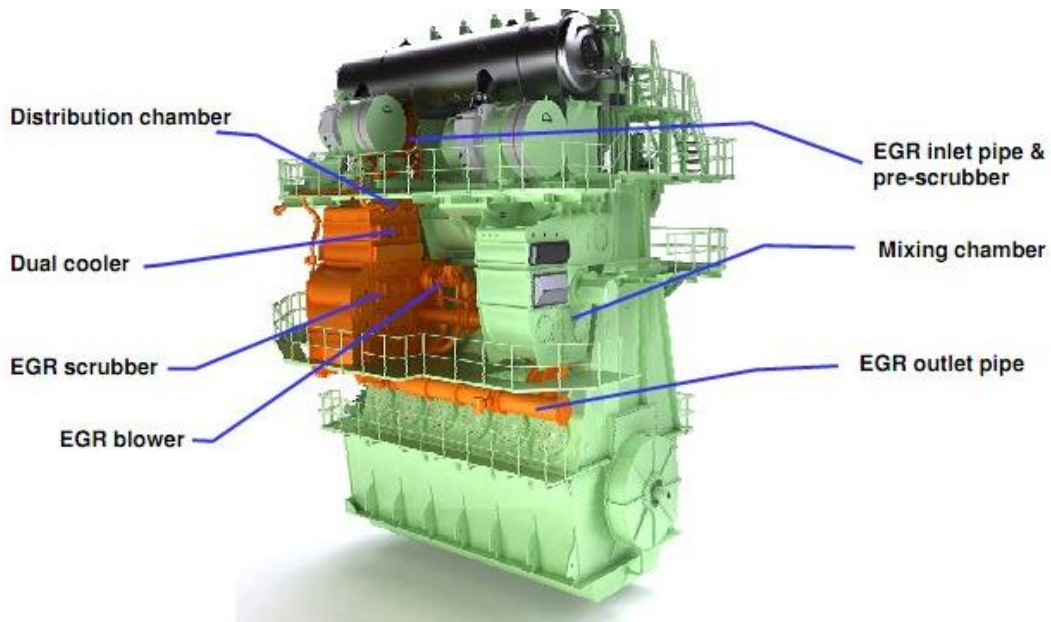
**Σχήμα 11:** Διάταξη συστήματος EGR σε δίχρονο κινητήρα χαμηλής ταχύτητας (Image courtesy by MANDiesel & Turbo)

Τα βασικότερα μέρη του συστήματος είναι τα εξής (Εικόνα 33):

- ❖ Μία πλυντρίδα καυσαερίων υψηλής πίεσης η οποία είναι τοποθετημένη πριν τον υπερσυμπιεστή του κινητήρα.
- ❖ Ένα ψυγείο για την περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας του καυσαερίου που ανακυκλώνεται.
- ❖ Ένα σύστημα πρόσληψης του νερού (Water Mist Catcher-WMC) για την απομάκρυνση των σταγονιδίων του νερού.
- ❖ Ένας φυσητήρας υψηλής πίεσης για την αύξηση της πίεσης ανακυκλοφορίας πριν από την επανεισαγωγή στον αέρα σάρωσης του κινητήρα.
- ❖ Αυτοματοποιημένες βαλβίδες για την απομόνωση του συστήματος .

Παράλληλα χρησιμοποιείται και ένας καθαριστής για την απομάκρυνση των NO<sub>x</sub> και των σωματιδίων από τα καυσαέρια που ανακυκλώνονται με σκοπό την αποφυγή της διάβρωσης του συστήματος.

Στην τεχνολογία ανακυκλοφορίας των καυσαερίων υπάρχει η δυνατότητα χρήσης καυσίμου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο και η μηχανή παράλληλα να λειτουργεί σε χαμηλό φορτίο. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι δεν μπορεί να εκτελείται μόνη της καθώς πρέπει να γίνεται χρήση και άλλων τεχνολογιών μείωσης σωματιδίων και μονοξειδίου του άνθρακα. Με τη λειτουργία του EGR, σε περίπτωση αύξησης της κατανάλωσης του καυσίμου, αυξάνονται ταυτόχρονα και οι εκπομπές PM και CO.



**Εικόνα 33:** Σύστημα EGR ενσωματωμένο σε ναυτικό κινητήρα. Τα πορτοκαλί τμήματα είναι τα εξαρτήματα του συστήματος (Εικόνα της MAN Diesel & Turbo)

#### ➤ Άμεση έγχυση νερού (DWI)

Η τεχνολογία της έγχυσης νερού στο θάλαμο καύσης του κινητήρα έχει πολλές θετικές επιπτώσεις στη μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub> καθώς επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της καύσης. Η Wärtsilä χρησιμοποιεί στους κινητήρες της την άμεση έγχυση νερού ως μέθοδο εισαγωγής νερού στον κύλινδρο (Helfre & Boot 2013, BIMCO, 2012).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- ❖ Αποτελεσματική μείωση NO<sub>x</sub>, έως και 60%
- ❖ Δυνατότητα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης χωρίς διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα
- ❖ Καμία αρνητική επίδραση ή φθορά στα εξαρτήματα του κινητήρα
- ❖ Το σύστημα έγχυσης νερού είναι εντελώς ανεξάρτητο από το σύστημα καυσίμου
- ❖ Εύκολη αναβάθμιση

Η έγχυση νερού υψηλής πίεσης και η έγχυση καυσίμου είναι τελείως ανεξάρτητες διαδικασίες μεταξύ τους, το νερό εγχέεται μέσω ξεχωριστού ακροφυσίου από αυτό του

καυσίμου, επομένως δεν υπάρχει κάποια αρνητική επίδραση στην απόδοση του κινητήρα. Η έγχυση του νερού ολοκληρώνεται πριν εκκινήσει η έγχυση του καυσίμου, προκειμένου να μην παρεμβαίνει στη διαδικασία ψεκασμού του καυσίμου καθώς και στη διαδικασία της καύσης.

Ο έλεγχος της έγχυσης του νερού γίνεται με ηλεκτρονικά μέσα. Μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, τοποθετημένη στο μπεκ ψεκασμού, ανοίγει και κλείνει κατά την εντολή της μονάδας ελέγχου της βελόνας. Το ίδιο το νερό, επειδή βρίσκεται σε υψηλή πίεση βοηθάει στο άνοιγμα της βελόνας. Σε κάθε κύλινδρο υπάρχει μία ασφάλεια ροής τοποθετημένη ως βασική δικλείδα ασφαλείας κατά της πλημμύρας των κυλίνδρων του κινητήρα. Σε περίπτωση δυσλειτουργίας του ακροφυσίου ψεκασμού, η ροή νερού μπλοκάρεται και το σύστημα φυσικά κλείνει (Lloyd's Register, 2012).

Για να επιτύχουμε την απαιτούμενη πίεση χρησιμοποιείται μία αντλία εμβόλου. Το χρησιμοποιούμενο νερό πρέπει να είναι καθαρό, γλυκό νερό, ενώ η πλεονάζουσα ποσότητα νερού οδηγείται σε μία μικρή δεξαμενή. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού έχει ως εξής:

- $\text{pH} > 5$
- Σκληρότητα  $< 10$  [ $^{\circ}$  dH]
- Χλωρίδα  $< 80$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]
- $\text{SiO}_2 < 50$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]
- Σωματίδια  $< 50$  [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]

Το σύστημα ύδρευσης θα πρέπει να θεωρείται υδραυλικό σύστημα υψηλής πίεσης, γεγονός που σημαίνει ότι η ποιότητα και η διήθηση του νερού είναι εξαιρετικά σημαντικές για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος. Τα τυπικά επίπεδα  $\text{NO}_x$  (σε φορτίο 75-100%) με την τεχνολογία DWI στους κινητήρες Wärtsilä είναι 4-6 [ $\text{g}/\text{kWh}$ ] όταν λειτουργούν με ελαφρύ μαζούτ και 5-7 [ $\text{g}/\text{kWh}$ ] όταν λειτουργούν με βαρύ μαζούτ.

Το σύστημα αποτελείται από τα εξής:

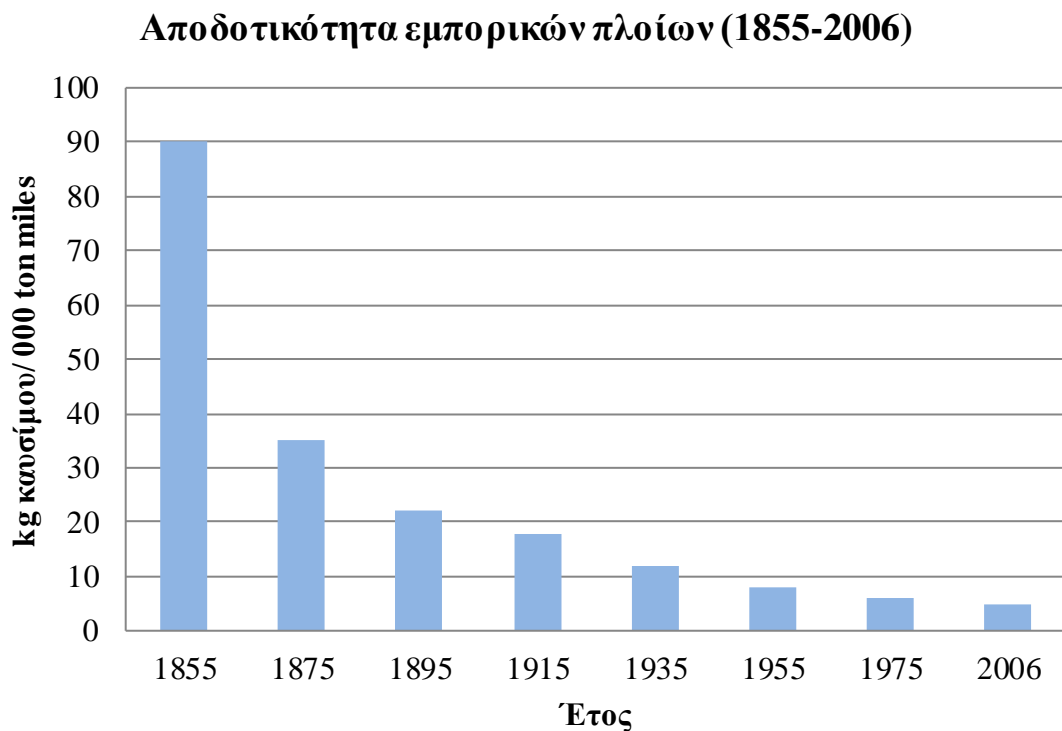
- ❖ Ειδικά μπεκ ψεκασμού καυσίμου
- ❖ Μία αντλία υψηλής πίεσης
- ❖ Μία αντλία χαμηλής πίεσης
- ❖ Σωληνώσεις
- ❖ Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

Η απαιτούμενη παροχή του γλυκού νερού είναι περισσότερη από τη μισή κατανάλωση του πετρελαίου, δηλαδή 100-130 [ $\text{g}/\text{kWh}$ ]. Παρόλα αυτά, εάν το σύστημα DWI χρησιμοποιείται μόνο σε παράκτιες περιοχές ή λιμάνια, η κατανάλωση νερού πρέπει να σχετίζεται με αυτήν (Guo & Fu etc.2015, Hombravella & Kılıçaslan etc., 2011, Karle and Turner,2007).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Τα τελευταία 150 χρόνια, οι τεχνολογίες πρόωσης στη ναυτιλία έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές, ξεκινώντας από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ιστία και αιολική ενέργεια) στη λειτουργία των πλοίων και συνεχίζοντας με τον ατμό (άνθρακας), τα βαρέα καύσιμα (HFO-Heavy fuel oil) και πετρέλαιο (MDO-Marine diesel oil). Τα τελευταία είδη καυσίμων αποδίδουν υψηλές εκπομπές ρύπων, ενώ χαρακτηρίζονται ως οι κυρίαρχες πηγές ενέργειας στην πρόωση των πλοίων. Κατά την ίδια χρονική περίοδο, η απόδοση των εμπορικών πλοίων, τα οποία φέρουν κινητήρες diesel, έχει βελτιωθεί αγγίζοντας τιμές θερμικής απόδοσης 55% σε κινητήρες χαμηλής ταχύτητας. Μια ενδεικτική εικόνα της περιόδου αυτής αποτελεί το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 1), όπου η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έχει συμβάλει δραστικά στην αύξηση της αποδοτικότητας, η οποία φαίνεται να σταθεροποιείται τα τελευταία 15 έτη.



*Διάγραμμα 1: Αποδοτικότητα εμπορικών πλοίων κατά την περίοδο 1855-2006*

Οι τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν είτε σε νεόχτιστα πλοία είτε σε ήδη υπάρχοντα. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την αύξηση ενεργειακής απόδοσης ενός πλοίου και τη μείωση των εκπομπών του, αλλάζοντας το σχεδιασμό και τη λειτουργία του πλοίου. Μια συνολική αξιολόγηση του δυναμικού αυτών των επιλογών για επίτευξη μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

(Πίνακας 9). Δεδομένου ότι η κύρια οδός για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, δυνατότητες μείωσης που παρουσιάζονται ισχύουν γενικά για όλες τις εκπομπές καυσαερίων από πλοία.

**Πίνακας 9: Αξιολόγηση δυνατοτήτων μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> στη ναυτιλία χρησιμοποιώντας γνωστές τεχνολογίες και πρακτικές (Second IMO GHG, 2009)**

	“Εξοικονόμηση” CO <sub>2</sub> /tonne mile	Συνδυασμ ένο	Συνδυασ μένο
<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ (Νέα πλοία)</b>			
Ταχύτητα και ικανότητα	2-50% *	10-50%	25-75%
Σκάφος και υπερκατασκευή	2-20%		
Ισχύς και προωθητικά συστήματα	5-15%		
Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα	5-15% **		
Ανανεώσιμη ενέργεια	1-10%		
Μείωση καυσαερίων CO <sub>2</sub>	0%		
<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ (Σε όλα τα πλοία)</b>			
Διαχείριση στόλου, εφοδιασμός, απόδοση	5-50% *	10-50%	
Βελτιστοποίηση ταξιδιού	1-10%		
Ενεργειακή διαχείριση	1-10%		

\*Μειώσεις σε αυτό το επίπεδο θα απαιτούσαν μείωση της ταχύτητας λειτουργίας

\*\* Ισοδύναμο CO<sub>2</sub>, με βάση τη χρήση υγροποιημένου φυσικού αερίου

## **6.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ**

### **6.1.1 ΑΝΤΙΘΕΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΕΣ ΠΡΟΠΕΛΕΣ**

Οι αντίθετα περιστρεφόμενες προπέλες αφορούν ένα σύστημα πρόωσης, το οποίο αποτελείται από δύο προπέλες τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη. Η διάταξη αυτή βελτιώνει την απόδοση του πλοίου. Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα τέτοιων διατάξεων σε πλοία RO-RO, σε μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Container ships) και σε πλοία μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά των αντίθετα περιστρεφόμενων προπελών είναι η ανάκτηση απωλειών ενέργειας, και συνεπώς η μείωση κατανάλωσης καυσίμου, από την περιστροφή της προπέλας χρησιμοποιώντας μια επιπλέον προπέλα, η οποία περιστρέφεται αντίθετα, καθώς και η βελτίωση της πρόωσης από 10% έως 15%. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος εμφανίζει υψηλότερο κόστος κατασκευής, λόγω της πολυπλοκότητάς της (Κολάκη, 2016).

### **6.1.2 ΡΟΤΟΡΕΣ**

Κατά τη χρήση ρότορα η ποσότητα του εξοικονομούμενου καυσίμου μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του πλοίου. Ενδεικτικά, η εξοικονόμηση καυσίμου φτάνει το 60% σε μικρά πλοία, ενώ σε μεγάλα πλοία, μόλις το 19%.

Το έργο Ulysses επικεντρώθηκε σε σενάρια εξαιρετικά αργής παραγωγής ατμού, με σκοπό να αποδείξει ότι η απόδοση του παγκόσμιου στόλου μπορεί να αυξηθεί έτσι ώστε να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών κατά 80% έως το 2050, με τα πλοία του μέλλοντος να ταξιδεύουν με ταχύτητες όσο πέντε κόμβοι. Σε ένα τέτοιο σενάριο, οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσαν να διαδραματίσουν κυρίαρχο ρόλο (IRENA, 2015).

### **6.1.3 ΠΛΟΙΑ ΜΕ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΑ (Air Cavity Systems-ACS)**

Στη συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιείται αέρας για τη μείωση της αντίστασης καθώς το πλοίο κινείται μέσα στο νερό. Κατά τη χρήση της τεχνολογίας αυτής εξοικονόμηση καυσίμου έως και 30%, γεγονός το οποίο συνεπάγεται και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> (Κολάκη, 2016).

Αξιοσημείωτη είναι η έρευνα της εταιρείας Danish-Dutch DK Group σχετικά με την τεχνολογία ACS. Στα συμπεράσματα της έρευνας αναφέρεται η μέθοδος αυτή επιφέρει μείωση της τριβής του πλοίου κατά περίπου 10%, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση καυσίμου σε ποσοστό 10-15% για πλοία μεταφοράς φορτίων και δεξαμενόπλοια, σε αντίθεση με τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όπου παρατηρήθηκε μείωση καυσίμου λιγότερη από 10%. Φαίνεται ότι εάν η τεχνολογία ACS εφαρμοστεί σε συνδυασμό με αποδοτικότερες προπέλες και συστήματα πλοήγησης, καθώς επίσης και με την επαναχρησιμοποίηση θερμικών αποβλήτων, η εξοικονόμηση καυσίμου, και άρα η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μπορεί να αγγίξει το 30% (Κολάκη, 2016).

## **6.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ**

### **6.2.1 ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Η εξοικονόμηση πετρελαίου μπορεί να φτάσει έως και 3,000 Mt. Το κόστος της ποσότητας αυτής υπολογίζεται, περίπου, στα 3 εκατομμύρια δολάρια (USD) (Rajaseckhar etc., 2015).

### **6.2.2 ΠΛΥΝΤΡΙΔΕΣ**

Ο όρος Scrubber προέρχεται από τη λέξη scrub, η οποία στα ελληνικά σημαίνει "τρίβω". Οι πλυντρίδες, είναι όργανα απομάκρυνσης των ανεπιθύμητων αερίων από τα καυσαέρια των κινητήρων. Οι χωρικές απαιτήσεις των οργάνων αυτών είναι μικρές. Επίσης, το αρχικό κόστος αγοράς και λειτουργίας τους είναι σχετικά μικρό, συγκριτικά με άλλες μεθόδους μείωσης ρύπων. Υπάρχουν δύο τύποι πλυντρίδων, οι κλειστού και οι ανοιχτού τύπου. Το κόστος των πλυντρίδων κλειστού τύπου είναι μεγαλύτερο από αυτό των πλυντρίδων ανοιχτού τύπου, λόγω της ύπαρξης μιας επιπλέον δεξαμενής καυστικού νατρίου για την απομάκρυνση των NO<sub>x</sub> (Ζήσος, 2014).

Έναντι της χρήσης καυσίμου με χαμηλές συγκεντρώσεις θείου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις εξατμίσεις των πλοίων πλυντρίδες θαλασσινού νερού, οι οποίες θα απομακρύνουν, σε ποσοστό 90-95%, το SO<sub>2</sub> από τα καυσαέρια, ενώ παράλληλα θα μειώνουν, κατά 80-85%, τα αιωρούμενα σωματίδια. Η μέθοδος αυτή, αποτελεί ισοδύναμο μέτρο της αλλαγής από καύσιμο περιεκτικότητας θείου 3.5% κ.β σε 0.1% κ.β. ([template \(kallipos.gr\)](http://template.kallipos.gr)).

### **6.2.3 ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ**

Στη μέθοδο αυτή το κόστος επένδυσης και λειτουργίας είναι χαμηλό, εξαιτίας της υψηλής δραστηριότητας του αναγωγικού μέσου, της μεγάλης διάρκειας λειτουργίας του καταλύτη, καθώς και της εύκολης, μεμονωμένης αντικατάστασης των τμημάτων του συστήματος, λόγω της αρθρωτής δομής, σε περίπτωση βλάβης. Το κόστος λειτουργίας του πλοίου παραμένει σταθερό, παρά τους μελλοντικούς πιο αυστηρούς κανονισμούς εκπομπών ρύπων (Ζήσος, 2014).

## **6.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Είναι αξιοσημείωτο ότι επί του παρόντος, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εξετάζεται σε όλα τα επίπεδα του παγκόσμιου ναυτιλιακού στόλου, συμπεριλαμβανομένων των διεθνών και εγχώριων μεταφορών αγαθών και ανθρώπων, της αλιείας, του τουρισμού και άλλων θαλάσσιων δραστηριοτήτων. Οι εναλλακτικές λύσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλοία όλων των μεγεθών, με σκοπό την παροχή για την παροχή πρωτογενούς, υβριδικής και βοηθητικής πρόωσης, καθώς και για την κατανάλωση ενέργειας σε εργασίες πάνω στο πλοίο και στην ακτή. Οι παρούσες λύσεις "καθαρής"



ενέργειας ενσωματώνονται είτε μέσω μετατροπής στον υπάρχοντα στόλο είτε μέσω αρχικής εγκατάστασης σε νεόκτιστα πλοία, με την πλειοψηφία των εφαρμογών να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως μέρος ενός ολοκληρωμένου συνόλου μέτρων απόδοσης. Οι σημερινές ναυτιλιακές δράσεις επικεντρώνονται κυρίως στην αιολική ενέργεια, στη ηλιακή ενέργεια με χρήση φωτοβολταϊκών, και στα βιοκαύσιμα (IRENA, 2015).

Καίριο κομμάτι των καυσίμων του μέλλοντος αποτελεί, φυσικά, το υδρογόνο. Το 2012, στα πλαίσια του έργου FellowSHIP, δοκιμάστηκε επιτυχώς ένα κελί καυσίμου 330 kW, στο υπεράκτιο πλοίο εφοδιασμού, Viking Lady, το οποίο λειτούργησε για περισσότερες από 7,000 ώρες. Αυτή ήταν η πρώτη μονάδα κυψέλης καυσίμου που λειτούργησε σε εμπορικό πλοίο, με την ηλεκτρική απόδοση να εκτιμάται στο 44.5% (λαμβάνοντας υπόψη την εσωτερική κατανάλωση), χωρίς να ανιχνεύονται εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και σωματιδίων (IRENA, 2015).

Η τεράστια ποικιλία σε παγκόσμιους τύπους, χρήσης και διαδρομών πλοίων σημαίνει ότι διαφορετικές εφαρμογές ευνοούν τη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας και τεχνολογιών. Ο Πίνακας 10, παρακάτω, συνοψίζει την τρέχουσα κατάσταση και τις δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα εμπορικά πλοία.

**Πίνακας 10: Περίληψη των εφαρμογών και των δυνατοτήτων της εκάστοτε τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλιακή βιομηχανία**

Τύπος ανανεώσιμης πηγής ενέργειας		Εφαρμογή και Δυνατότητες			
		Επαναπροσαρμογή (RF: RETROFIT) Νέα κατασκευή (NB: New Build)	Εμπορικά πλοία		
			400- <10,000 tonnes	10,000- <50,000 tonnes	>50,000 tonnes
Αιολική Ενέργεια	Μαλακά πανιά	RF	***	***	**
		NB	***	***	**
	Σταθερά φτερά	RF	**	**	*
		NB	***	***	**
	Ρότορες	RF	**	**	**
		NB	***	***	**
	Χαρταετός	RF/NB	**	**	*
	Τουρμπίνες	RF/NB	*	*	*



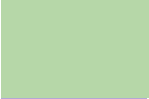

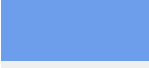
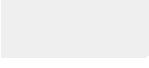
Ηλιακή ενέργεια (Φοτοβολταϊκά)	Κύρια πρόωση	RF	N/A	N/A	N/A
		NB	N/A	N/A	N/A
	Βοηθητική πρόωση	RF	N/A	*	N/A
		NB	N/A	*	N/A
	Βοηθητική ισχύς	RF/NB	N/A	*	N/A
	Βιοκαύσιμα	1ης Γενιάς	RF	**	**
NB			**	**	*
2ης Γενιάς		RF	N/A	N/A	N/A
		NB	***	***	**
3ης Γενιάς		RF	N/A	N/A	N/A
		NB	***	***	**
Κυριακή ενέργεια	Κύρια πρόωση	NB	N/A	*	N/A
	Βοηθητική πρόωση	NB	N/A	*	N/A
Ηλεκτρική ενέργεια	Υπερπικνωτής	NB	*	N/A	N/A

### Τρέχουσα εφαρμογή:

Τα διαφορετικά χρώματα αντιπροσωπεύουν την κατάσταση στην αγορά της εκάστοτε τεχνολογίας.

### Πιθανότητα εφαρμογής:

Οι αστερίσκοι υποδηλώνουν μια χονδρική αξιολόγηση των συνολικών πιθανών οφελών της εκάστοτε τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όσον αφορά τα οικονομικά (π.χ. Παρέχει βελτιωμένη οικονομική απόδοση στον τελικό χρήστη; Υιοθετείται εύκολα;), το περιβάλλον (π.χ. Ποια είναι τα επίπεδα μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>;) και τους κοινωνικούς παράγοντες (π.χ. Είναι η τεχνολογία κατάλληλη για την πολιτισμική/κοινωνική ανάπτυξη;).

	Σε εμπορική χρήση	***	Υψηλή πιθανότητα (Υψηλή απόδοση και στους τρεις τομείς: οικονομικό, περιβαλλοντικό, κοινωνικό)
	Αποδεδειγμένο	**	Μέση πιθανότητα (Απόδοση σε δύο από τους τρεις τομείς)
	Απόδειξη της ιδέας	*	Περιορισμένη πιθανότητα (Απόδοση σε έναν από τους τρεις τομείς)
	Σχεδιασμός	N/A	Μη διαθέσιμο
	Ιδέα		
	Αβέβαιο		

#### 6.3.1 Απόδοση και Κόστος

Η σύγκριση του πραγματικού κόστους ή της εξοικονόμησης μιας επένδυσης σε μια από τις ανωτέρω εφαρμογές φέρει σημαντικές δυσκολίες στην ανάπτυξη της ανάλυσης του συνολικού κόστους και ωφελειών λόγω της ύπαρξης αμέτρητων τύπων εφαρμογών και σχεδιασμών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης, λόγω των ανεπαρκών δεδομένων για το τελικό κόστος και τα αντίστοιχα οφέλη, καθώς και λόγω έλλειψης επαρκών συγκριτικών δεδομένων για τα υπόλοιπα κόστη της λειτουργίας του πλοίου ή/και της βιομηχανίας (IRENA, 2015).

Παρόλο που ο ρόλος και η έκταση της υιοθέτησης τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία ποικίλλουν ανάλογα με την κλίμακα, τη λειτουργία και τη θέση λειτουργίας ενός συγκεκριμένου πλοίου, οι πάροχοι τεχνολογίας υποστηρίζουν ότι οι προσπάθειες έρευνας και καινοτομίας σχετικά με τη χρήση τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μαζί με αποτελεσματικούς σχεδιασμούς, ήδη επιτυγχάνουν σημαντικά αποτελέσματα για άμεση και βραχυπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργειας σε διάφορες επιλεγμένες εφαρμογές (IRENA, 2015).

Η ανάπτυξη μεθόδων-λύσεων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη ναυτιλία έχει παρεμποδιστεί από την υπερπροσφορά πλοίων κινούμενων με ορυκτά καύσιμα, καθώς και από την σχετική ύφεση των επενδύσεων στην αγορά. Δεδομένα και πληροφορίες για τα πραγματικά κόστη ανάπτυξης των διαφόρων λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες έχουν υιοθετηθεί, είναι πολύ σπάνια. Αντιθέτως, είναι απόλυτα ξεκάθαρο το γεγονός ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχει επαρκής επίδειξη εμπορικά βιώσιμων λύσεων στον κλάδο της ναυτιλίας, ώστε να οδηγήσουν στην ανάπτυξη, και κατ' επέκταση στη μείωση του κόστους κατασκευής. Συνεπώς, φαίνεται πως η ταχύτητα αφομοίωσης των τεχνολογικών μεθόδων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα καθοριστεί από τις δυνάμεις της αγοράς μέσα σε ένα αυστηρά ρυθμιστικό καθεστώς.

### **6.3.2 Κινητήριος Δύναμη και Εμπόδια**

Το παγκόσμιο εμπόριο και οι κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες των νησιωτικών κοινοτήτων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη ναυτιλία, διακινώντας περίπου το 90% των συνολικών υλικών εμπορευμάτων. Ενδεικτικά, η συνολική ποσότητα των μεταφερόμενων με πλοία φορτίων αυξήθηκε ετησίως από 2,6 δισεκατομμύρια σε 9,2 δισεκατομμύρια τόνους μεταξύ 1970 και 2012. Η ταχύτητα με την οποία εξελίσσεται η έρευνα σχετικά με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον κλάδο της ναυτιλίας είναι αξιοσημείωτη, παρά το πρώιμο στάδιο της. Επίσης, από το 2007 έως το 2012, ο παγκόσμιος ναυτιλιακός στόλος κατανάλωσε 250-325 εκατομμύρια τόνους καυσίμων ετησίως, ποσότητα η οποία μεταφράζεται στο 2.8% των παγκόσμιων εκπομπών ετησίως (3.1% των εκπομπών CO<sub>2</sub>). Η κατάσταση αυτή διαδραματίστηκε μέσα σε μια ασταθή αγορά ορυκτών καυσίμων, όπου οι τιμές των καυσίμων πλοίων αυξάνονταν, όπως επίσης και οι απαιτήσεις μείωσης των εκπομπών του κλάδου.

Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL 73/78) έχει ορίσει, μεταξύ άλλων μέτρων, περιοχές ελέγχου των εκπομπών με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και υποχρεωτικά τεχνικά και λειτουργικά μέτρα που απαιτούν από τα πλοία να είναι πιο αποτελεσματικά στη χρήση ενέργειας και να μειώσουν τις εκπομπές τους. Οι κανονισμοί της σύμβασης MARPOL καθιστούν υποχρεωτικό τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI-Energy Efficiency Design Index) για νέα πλοία και το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης πλοίων (SEEMP-Ship Energy Efficiency Management Plan) για όλα τα πλοία. Συμπερασματικά, οι ανωτέρω οικονομικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί αποτελούν βασικούς παράγοντες για την υιοθέτηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών στον τομέα της ναυτιλίας.

Η συνολική συμβολή των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη διεθνή ναυτιλία είναι απίθανο να επιτύχει κυρίαρχο ή ακόμη και σημαντικό ρόλο στο κοντινό μέλλον. Ωστόσο, έχει ισχυρή, και ολόένα πιο αποδεδειγμένη, ικανότητα να συμβάλει, σε μέτριο βαθμό, σε πολλούς τομείς βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα. Για επιλεγμένες εφαρμογές, ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι σημαντικός, ακόμη και κυρίαρχος. Από τις διάφορες επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα προηγμένα βιοκαύσιμα έχουν πολύ υψηλές δυνατότητες ως εναλλακτικά καύσιμα του ναυτιλιακού τομέα. Ωστόσο, οι δυνατότητες

αυτές θα εξαρτηθούν από έναν αριθμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της παγκόσμιας διαθεσιμότητας βιώσιμης πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Επίσης, οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου ως πηγή ισχύος για τη ναυτιλία έχουν μεγάλες δυνατότητες. Ωστόσο, η βιωσιμότητα της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του υδρογόνου, καθώς και η έλλειψη οικονομικά αποδοτικών και αξιόπιστων επιλογών αποθήκευσης του καυσίμου-υδρογόνου σε χαμηλές πιέσεις παραμένουν κρίσιμα ζητήματα προς επίλυση. Συνολικά, το μεγαλύτερο δυναμικό φαίνεται να υπάρχει στη χρήση ενός συνδυασμού λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο οποίος θα μεγιστοποιεί τη διαθεσιμότητα και τη συμπληρωματικότητα των ενεργειακών πόρων σε υβριδικές λειτουργίες. Υπό αυτήν την έννοια, η επίτευξη του πλήρους δυναμικού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση μηχανικής συστημάτων που θα αντιμετωπίζει τα εμπόδια στην ανάπτυξή τους.

Τα εμπόδια στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ναυτιλίας είναι περίπλοκα. Αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε οργανωτικά/διαρθρωτικά, αγοραστικά και μη, καθώς και εμπόδια που σχετίζονται με την συμπεριφορά. Αυτή η πολυπλοκότητα, εν μέρει, αντικατοπτρίζει τη μοναδική και διεθνή φύση της ναυτιλιακής βιομηχανίας, με υποκείμενους περιορισμούς και παράγοντες που υπερβαίνουν την ικανότητα των μεμονωμένων κρατών να εφαρμόζουν κίνητρα λαμβάνοντας υπόψη και το πολιτικό και κανονιστικό πλαίσιο που απαιτείται για την υπέρβαση των εμποδίων αυτών.

Όσον αφορά τα οργανωτικά, διαρθρωτικά και συμπεριφορικά εμπόδια, η περιορισμένη χρηματοδότηση στον τομέα της Έρευνας και Ανάπτυξης, ιδίως για τις αρχικές τεχνολογίες απόδειξης μιας έννοιας, αποτελεί σημαντικό παράγοντα, μαζί με τις ανησυχίες των πλοιοκτητών σχετικά με τον κίνδυνο πρόσθετων δαπανών, καθώς και το κόστος ευκαιρίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα διότι, ιστορικά, υπήρξε έλλειψη αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με το κόστος και την πιθανή εξοικονόμηση συγκεκριμένων επιχειρησιακών μέτρων ή λύσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτόν τον τομέα.

Όσον αφορά τα εμπόδια στην αγορά, το θεμελιώδες πρόβλημα είναι ο διχασμός των κινήτρων μεταξύ των πλοιοκτητών και των ναυλωτών, περιορίζοντας το κίνητρο των ιδιοκτητών να επενδύσουν σε λύσεις καθαρής ενέργειας για το απόθεμα τους, καθώς τα οφέλη δεν αυξάνονται πάντα σε επενδυτικό επίπεδο και ως εκ τούτου η εξοικονόμηση δεν μπορεί να είναι πλήρης. Ένα άλλο εμπόδιο είναι η επικινδυνότητα των επενδυτών στον κλάδο, ειδικά μετά την κατάρρευση της ναυτιλίας το 2006.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

#### 7.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Προκειμένου να προσδιοριστεί το εκτιμώμενο κόστος επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικά μοντέλα κινητήρων ντίζελ κατηγορίας 3 (Tier III) χαμηλής και μεσαίας ταχύτητας τα οποία έρχονται σε πλήρη συμμόρφωση με τους κανονισμούς της ίδιας κατηγορίας (Tier III). Προηγούμεως, παρουσιάζονται πίνακες με τα κόστη τροποποιήσεων όπως υπολογίστηκαν σε κινητήρες προκειμένου να πληρούν τις κατηγορίες 1 και 2 (Tier I και II). Τα μοντέλα επιλέχθηκαν από ένα μεγάλο εύρος κατασκευαστών και γραμμών κατασκευής. Το κόστος που παρουσιάζεται για κάθε τεχνολογία αντιπροσωπεύει την καλύτερη εκτίμηση βάσει όλων των δεδομένων που λαμβάνονται. Όλα τα στοιχεία έχουν αντληθεί από την τελική αναφορά του Υπουργείου Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ του 2009 (U.S. Environmental Protection Agency, 2009). Λόγω της παλαιότητας της αναφοράς οι τιμές έχουν μεταβληθεί σε σημερινές, με την ανάλογη προσαρμογή στην τιμή του δολαρίου με σημερινά δεδομένα.

#### 7.2 Υπολογισμός κόστους εργασιών κατασκευαστή

Όλα τα κόστη έχουν υπολογιστεί βάσει της ιστοσελίδας salary.com και περιλαμβάνουν ένα περιθώριο 60 τοις εκατό περιθώριο όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 11). Αποτυπώνονται τα κόστη των μηχανικών σχεδιασμού, των τεχνικών, καθώς και τα κόστη των μηχανικών συναρμολόγησης ορόφων εργασίας (σκαλωσιές).

*Πίνακας 11: Μισθολόγιο εργασιών*

Τύπος Εργασίας	Ετήσιος μισθός	60% Περιθώριο	Συνολικός ετήσιος μισθός	Ωρομίσθιο
Μηχανικός Σχεδιασμού	75,000\$	45,000\$	120,000\$	57,69\$
Τεχνικός Μηχανικός	50,000\$	30,000\$	80,000\$	38.46\$
Μηχανικοί «σκαλωσιές»	31,000\$	18,600\$	49,600\$	23,85\$

Το κόστος υλικών που παρέχεται από εξωτερικούς προμηθευτές υπόκειται σε αύξηση 29%, η οποία αντιπροσωπεύει ένα μέσο όρο προσφοράς προμηθευτών τεχνολογιών σε νέες πωλήσεις κινητήρων.

### **7.3 Σταθερά κόστη κατασκευαστή**

Το σταθερό κόστος για τον κατασκευαστή έχει να κάνει με το κόστος έρευνας, ανάπτυξης και δοκιμής μιας νέας τεχνολογίας. Περιλαμβάνει επίσης το κόστος αλλαγής και τροποποίησης για την παραγωγή νέων εξαρτημάτων. Το κόστος έρευνας και ανάπτυξης αντικατοπτρίζει την ανάγκη για τους κατασκευαστές να επικεντρωθούν στην προσαρμογή των ελέγχων εκπομπών σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας των ναυτικών κινητήρων diesel, με σημαντικές τροποποιήσεις στον κινητήρα που απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση αυτών των ελέγχων σε ένα μεγάλο εύρος τύπων πλοίων και συνθηκών λειτουργίας. Τα συνολικά ετήσια κόστη για έρευνα και ανάπτυξη ανέρχονται σε 688,000\$. Αυτή η τιμή περιλαμβάνει μισθούς για ένα μηχανικό, δύο τεχνικούς, έξοδα για είκοσι τέσσερις δοκιμές του κινητήρα και ένα 40% κόστος γενικής χρήσης. Η τιμή αυτή αποτελεί τιμή αναφοράς για τους υπολογισμούς κόστους στους παρακάτω πίνακες.

### **7.4 Κόστος τροποποιήσεων για TIER I**

Το κόστος για τις τροποποιήσεις του κινητήρα περιλαμβάνει νέους εγχυτήρες καυσίμου καθώς και 3 μήνες έρευνας και ανάπτυξης για την τροποποίηση του χρονισμού. Στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 12) περιλαμβάνεται το κόστος για το πιστοποιητικό έγκρισης της Ναυτικής Κοινότητας (Marine Society). Βάσει των κανονισμών του IMO, οι τροποποιήσεις στον κινητήρα δεν μπορούν να υπερβαίνουν τα 375 SDR / μετρικό τόνο (MT) NO<sub>x</sub>. Η νομισματική αξία του SDR καθορίζεται αθροίζοντας τις τιμές σε δολάρια ΗΠΑ, με βάση τις συναλλαγματικές ισοτιμίες, ενός συνόλου κύριων και ισχυρών νομισμάτων (δολάριο ΗΠΑ, ευρώ, Γιεν Ιαπωνίας και Λίρα Βρετανίας). Η τιμή του SDR υπολογίζεται καθημερινά και η αποτίμησή του επανεξετάζεται και αναπροσαρμόζεται κάθε πέντε χρόνια. Η τρέχουσα ισοτιμία του είναι 1.49129 \$ ανά 1 SDR. Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα, ο δείκτης αποδοτικότητα-κόστους των τροποποιήσεων που περιγράφονται παραπάνω είναι σημαντικά μικρότερη από το μέγιστο επιτρεπόμενο κόστος στο Παράρτημα VI της Marpol.

**Πίνακας 12: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων κατηγορίας Tier I**

<b>TAXYTHTA</b>	<b>ΜΕΣΗ</b>		<b>ΧΑΜΗΛΗ</b>	
<b>ΙΣΧΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ (kW)</b>	<b>18,000</b>	<b>8,500</b>	<b>15,000</b>	<b>48,000</b>
Αρ. Κυλίνδρων	16	6	8	12
Χωρητικότητα (Lt/κύλινδρο)	95	380	650	1400
Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	500	130	110	100
<b>Κόστη για κατασκευαστή</b>				
<i>Εξαρτήματα</i>				
<i>Αριθμός Εγχετήρων</i>	16	18	24	36
<i>Βελτιωμένες βαλβίδες καυσίμου (τμχ)</i>	\$235	\$235	\$375	\$470
<b>Συνολικά κόστη κατασκευαστή</b>	<b>\$3,760</b>	<b>\$4,230</b>	<b>\$9,000</b>	<b>\$16,920</b>
<i>Κατασκευή</i>				
<i>Εργασία (Ωρες)</i>	120	168	216	312
<i>Κόστος (\$23.85/hr)</i>	\$2,862	\$4,006	\$5,151	\$7,440
<i>Κόστος γενικής χρήσης 40%</i>	\$1,145	\$1,602	\$2,060	\$2,976
<b>Συνολικό Κόστος</b>	<b>\$4,006</b>	<b>\$5,609</b>	<b>\$7,211</b>	<b>\$10,416</b>
<b>Κατασκευαστή</b>				
<b>Συνολικό Μεταβλητό κόστος</b>	<b>\$7,766</b>	<b>\$9,839</b>	<b>\$16,211</b>	<b>\$27,336</b>
<b>Προσαύξηση 29%</b>	\$2,252	\$2,853	\$4,701	\$7,927
<b>Συνολικό Κόστος</b>	<b>\$10,018</b>	<b>\$12,692</b>	<b>\$20,912</b>	<b>\$35,263</b>
<b>Κατασκευής</b>				
<b>Σταθερά Κόστη</b>				
<i>Κόστη E&amp;A (0.25χρόνο E&amp;A)</i>	\$172,000	\$172,000	\$172,000	\$172,000
<i>Έγκριση Ναυτικής Κοινότητας</i>	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000
<i>Μηχανικοί/έτος. Έτη απόσβεσης</i>	40	40	40	40
	5	5	5	5
<b>Σταθερό κόστος/κινητήρα</b>	<b>\$1,233</b>	<b>\$1,233</b>	<b>\$1,233</b>	<b>\$1,233</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>\$11,251</b>	<b>\$13,925</b>	<b>\$22,145</b>	<b>\$36,496</b>
<i>Κόστος/kW</i>	\$0.6	\$1.6	\$1.5	\$0.8
<b>Εκτιμώμενη Μείωση (MT NOx)</b>	638.67	389.92	688.09	2,201.89
<b>Κόστος- αποτελεσματικότητα (SDR/MT NOx)</b>	\$11.8	\$23.8	\$21.5	\$11.1

Με τα δεδομένα αυτά, οι μειώσεις εκπομπών υπολογίζονται στο 11% για 6000 ώρες λειτουργίας ετησίως για 5 χρόνια με συντελεστή φορτίου 0,768. Τα βασικά ποσοστά εκπομπών



NO<sub>x</sub> είναι 14 g/kWh για κινητήρες μέσης ταχύτητας και 18,1 g/kWh για κινητήρες χαμηλής ταχύτητας. Οι μειώσεις εκπομπών σε μετρικούς τόνους υπολογίζονται ως εξής:

- **Κινητήρες Χαμηλής ταχύτητας:** 18.1 g/kWh x Ισχύς (kW) x 0.768 x 6,000 ώρες/έτος x 5 έτη/1000000 g/metric tonne x 11%
- **Κινητήρες Μέσης ταχύτητας:** 14 g/kWh x Ισχύς (kW) x 0.768 x 6,000 ώρες/έτος x 5 έτη/1,000,000 g/metric tonne x 11%

## 7.5 Κόστος τροποποιήσεων για TIER II

Το κόστος τροποποίησης των κινητήρων για την κάλυψη των ορίων εκπεμπόμενων ρύπων κατηγορίας Tier II παρατίθεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13). Αυτά τα κόστη περιλαμβάνουν μεταβολή του χρονισμού ψεκασμού καυσίμου, αύξηση του λόγου συμπίεσης και βελτιστοποίηση του ακροφυσίου ψεκασμού καυσίμου. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει τροποποιήσεις στην κυλινδροκεφαλή και στη συνδετική ράβδου του εμβόλου για την αύξηση των λόγων συμπίεσης καθώς και για την προσαρμογή διαφορετικών ακροφυσίων ψεκασμού.

**Πίνακας 13: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων κατηγορίας Tier II**

TACHYTHTA	MECΗ			XAMHΛH		
Ισχύς Κινητήρα	4,500	9,500	18,000	8,500	15,000	48,000
Αρ. κυλίνδρων	9	12	16	6	8	12
Λίτρα/Κύλινδρο	35	65	95	380	650	1400
Στροφές κινητήρα (rpm)	650	550	500	130	110	100
<b>Σταθερά κόστη</b>						
Κόστη E&A (1 Χρόνος E&A)	\$688,000	\$688,000	\$688,000	\$688,000	\$688,000	\$688,000
Κόστος τροποποιήσεων	\$500,000	\$750,000	\$1,000,000	\$750,000	\$1,000,000	\$1,250,000
Έγκριση Ναυτικής Κοινότητας	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000
Κινητήρες/έτος	40	40	40	40	40	40
Έτη απόσβεσης	5	5	5	5	5	5
<b>Σταθερό κόστος/κιν.</b>	<b>\$8,103</b>	<b>\$9,734</b>	<b>\$11,365</b>	<b>\$9,734</b>	<b>\$11,365</b>	<b>\$12,996</b>
<b>Συνολικό κόστος</b>	<b>\$8,103</b>	<b>\$9,734</b>	<b>\$11,365</b>	<b>\$9,734</b>	<b>\$11,365</b>	<b>\$12,996</b>
<b>Κόστος/kW</b>	<b>\$1.8</b>	<b>\$1.0</b>	<b>\$0.6</b>	<b>\$1.1</b>	<b>\$0.8</b>	<b>\$0.3</b>

## 7.6 Κόστος τροποποιήσεων για TIER III

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια στην κατηγορία Tier 3 εμπίπτουν οι τροποποιήσεις που έχουμε αναλύσει στην παρούσα διπλωματική εργασία. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα κόστη του εκάστοτε συστήματος ξεχωριστά καθώς και ένας πίνακας με τα γενικά κόστη τροποποιήσεων που θα ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις.

### **7.6.1 Απευθείας έγχυση νερού (DWI)**

Το κόστος άμεσης έγχυσης νερού περιλαμβάνει το κόστος για τη δεξαμενή αποθήκευσης του, μία μονάδα χαμηλής πίεσης, μία μονάδα υψηλής πίεσης τους Εγχυτήρες νερού, τις απαραίτητες σωληνώσεις καθώς και τη μονάδα ελέγχου και την καλωδίωση όπως αυτά φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 14). Το κόστος υπολογίζεται ανά κιλόβάτ προκειμένου να δοθεί έμφαση στη σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας.

**Πίνακας 14: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων για το σύστημα απευθείας έγχυσης νερού στον κινητήρα.**

<b>TAXYTYHTA</b>	<b>ΜΕΣΗ</b>			<b>ΧΑΜΗΛΗ</b>		
<b>Ισχύς Κινητήρα (kW)</b>	<b>4,500</b>	<b>9,500</b>	<b>18,000</b>	<b>8,500</b>	<b>15,000</b>	<b>48,000</b>
<b>Αρ. Κυλίνδρων</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Λίτρα/Κύλινδρο</b>	<b>35</b>	<b>65</b>	<b>95</b>	<b>380</b>	<b>650</b>	<b>1400</b>
<b>Στροφές Κινητήρα (rpm)</b>	<b>650</b>	<b>550</b>	<b>500</b>	<b>130</b>	<b>110</b>	<b>100</b>
<b>Κόστη για τον κατασκευαστή</b>						
<i>Κόστη εξαρτημάτων</i>						
<i>Δεξαμενή νερού</i>	\$1,132	\$1,767	\$2,610	\$1,611	\$2,240	\$4,386
<i>Μονάδα χαμηλής Πίεσης</i>	\$4,700	\$7,000	\$9,500	\$9,500	\$19,000	\$3,800
<i>Μονάδα υψηλής Πίεσης</i>	\$9,500	\$14,000	\$19,000	\$19,000	\$38,000	\$75,000
<i>Ασφάλειες ροής (τμχ)</i>	\$1,900	\$1,900	\$1,900	\$1,900	\$1,900	\$1,900
<i>Εγχυτήρες νερού (τμχ)</i>	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400
<i>Τμχ. ανα κύλινδρο</i>	1	2	3	3	6	12
<i>Σωληνώσεις</i>	\$5,600	\$7,500	\$9,500	\$9,500	\$14,000	\$19,000
<i>Μονάδα ελέγχου/καλωδίωση</i>	\$9,500	\$11,300	\$13,000	\$11,300	\$13,000	\$15,000
<b>Συνολικό κόστος εξαρτημάτων</b>	<b>\$69,132</b>	<b>\$144,767</b>	<b>\$260,010</b>	<b>\$128,311</b>	<b>\$292,640</b>	<b>\$736,386</b>
<b>Κατασκευή</b>						
Εργασία (ώρες)	500	750	1000	1000	1500	2000
Κόστος (\$23.85/ώρα)	\$11,923	\$17,885	\$23,846	\$23,846	\$35,769	\$47,692
Γενικά έξοδα 40%	\$4,769	\$7,154	\$9,538	\$9,538	\$14,308	\$19,077
<b>Συνολικό κόστος κατασκευής</b>	<b>\$16,692</b>	<b>\$25,038</b>	<b>\$33,385</b>	<b>\$33,385</b>	<b>\$50,077</b>	<b>\$66,769</b>
<b>Συνολικό μεταβλητό κόστος</b>	<b>\$85,825</b>	<b>\$169,805</b>	<b>\$293,395</b>	<b>\$161,696</b>	<b>\$342,717</b>	<b>\$803,155</b>
<b>Προσάυξηση 29%</b>	<b>\$24,889</b>	<b>\$49,244</b>	<b>\$85,084</b>	<b>\$46,892</b>	<b>\$99,388</b>	<b>\$232,915</b>
<b>Συνολικά κόστη για κατασκευαστή</b>	<b>\$110,714</b>	<b>\$219,049</b>	<b>\$378,479</b>	<b>\$208,588</b>	<b>\$442,105</b>	<b>\$1,036,070</b>
<b>Σταθερά κόστη</b>						
<i>Κόστη E&amp;A (2 Χρόνια E&amp;A)</i>	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000
<i>Κόστος τροποποιήσεων</i>	\$0	\$0	\$0	\$10,000,000	\$0	\$0
<i>Έγκριση Ναυτικής Κοινότητας</i>	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000
<i>Κινητήρες/έτος Έτη απόσβεσης.ς</i>	40 5	40 5	40 5	40 5	40 5	40 5
<b>Σταθερό κόστος/Κινητήρα</b>	<b>\$74,891</b>	<b>\$74,891</b>	<b>\$74,891</b>	<b>\$74,891</b>	<b>\$74,891</b>	<b>\$74,891</b>

<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>\$185,605</b>	<b>\$293,940</b>	<b>\$453,371</b>	<b>\$283,479</b>	<b>\$516,997</b>	<b>\$1,110,962</b>
<b>Κόστος ανά kW</b>	<b>\$41.2</b>	<b>\$30.9</b>	<b>\$25.2</b>	<b>\$33.4</b>	<b>\$34.5</b>	<b>\$23.1</b>

Παρατηρούμε πως στην κατηγορία Tier III, τα κόστη αυξάνονται σημαντικά, έως και δύο τάξεις μεγέθους σε κάποιες περιπτώσεις, παρόλα αυτά παραμένει βιώσιμο. Τα πιο υψηλά κόστη είναι αυτά των εργασιών τροποποίησης, όπως θα αναμέναμε, καθώς πρόκειται για μερική ανακατασκευή του κινητήρα, ενώ και τα κόστη έρευνας και ανάπτυξης κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα.

## 7.6.2 Ανακυκλοφορία καυσαερίων

Το κόστος του συστήματος ανακυκλοφορίας καυσαερίων περιλαμβάνει αντλία τροφοδοσίας, δεξαμενή λάσπης, σωληνώσεις, αντλία αποβλήτων, αντλία ανακυκλοφορίας, μονάδα καθαρισμού, διαχωριστικό, βαλβίδα EGR, και τη μονάδα ελέγχου και καλωδίωση. Τα κόστη για ένα σύστημα EGR δίνονται στον παρακάτω Πίνακα (Πίνακας 15).

*Πίνακας 15: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων για το σύστημα απευθείας έγχυσης νερού στον κινητήρα*

<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ</b>	<b>ΜΕΣΗ</b>			<b>ΧΑΜΗΛΗ</b>		
<b>Ισχύς Κινητήρα (kW)</b>	<b>4,500</b>	<b>9,500</b>	<b>18,000</b>	<b>8,500</b>	<b>15,000</b>	<b>48,000</b>
<b>Αρ. Κυλίνδρων</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Λίτρα/Κύλινδρο</b>	<b>35</b>	<b>65</b>	<b>95</b>	<b>380</b>	<b>650</b>	<b>1400</b>
<b>Στροφές Κινητήρα</b>	<b>650</b>	<b>550</b>	<b>500</b>	<b>130</b>	<b>110</b>	<b>100</b>
<b>Κόστη για κατασκευαστή</b>						
<i>Κόστη εξαρτημάτων</i>						
<i>Αντλία τροφοδοσίας</i>	\$1,900	\$2,600	\$3,600	\$2,600	\$4,400	\$7,000
<i>Δεξαμενή μίγματος</i>	\$268	\$345	\$435	\$511	\$635	\$859
<i>Σωληνώσεις</i>	\$2,800	\$3,800	\$4,700	\$3,700	\$4,700	\$5,600
<i>Αντλία αποβλήτων</i>	\$1,900	\$2,800	\$3,800	\$2,800	\$4,700	\$7,500
<i>Αντλία ανακυκλοφορίας</i>	\$1,900	\$2,800	\$3,800	\$2,800	\$4,700	\$7,500
<i>Μονάδα πλυντρίδας</i>	\$23,500	\$35,000	\$56,000	\$32,700	\$56,000	\$112,200
<i>Διαχωριστής</i>	\$1,900	\$2,800	\$3,800	\$2,800	\$3,800	\$4,700
<i>Βαλβίδα EGR</i>	\$7,000	\$9,500	\$11,700	\$9,500	\$11,700	\$14,000
<i>Μονάδα ελέγχου/Καλωδίωση</i>	\$4,700	\$4,700	\$4,700	\$4,700	\$4,700	\$4,700
<b>Συνολικά κόστη εξαρτημάτων</b>	<b>\$45,868</b>	<b>\$64,345</b>	<b>\$92,535</b>	<b>\$62,111</b>	<b>\$95,335</b>	<b>\$164,059</b>
<i>Κατασκευή</i>						
<i>Εργασία (Ωρες)</i>	200	300	400	300	400	500
<i>Κόστος (\$23.85/ώρα)</i>	\$4,769	\$7,154	\$9,538	\$7,154	\$9,538	\$11,923
<i>Κόστος γενικής χρήσης 40%</i>	\$1,908	\$2,862	\$3,815	\$2,862	\$3,815	\$4,769
<b>Συνολικό κόστος κατασκευής</b>	<b>\$6,677</b>	<b>\$10,015</b>	<b>\$13,354</b>	<b>\$10,015</b>	<b>\$13,354</b>	<b>\$16,692</b>
<b>Συνολικό μεταβλητό κόστος</b>	<b>\$52,545</b>	<b>\$74,361</b>	<b>\$105,888</b>	<b>\$72,127</b>	<b>\$108,689</b>	<b>\$180,751</b>
<b>Προσαύξηση 29%</b>	<b>\$15,238</b>	<b>\$21,565</b>	<b>\$30,708</b>	<b>\$20,917</b>	<b>\$31,520</b>	<b>\$52,418</b>
<b>Συνολικά κόστη κατασκευαστή</b>	<b>\$67,783</b>	<b>\$95,925</b>	<b>\$136,596</b>	<b>\$93,044</b>	<b>\$140,208</b>	<b>\$233,169</b>

<b>Σταθερά κόστη</b>						
<i>E&amp;A (1 Χρόνος E&amp;A)</i>	\$688,000	\$688,000	\$688,000	\$688,000	\$688,000	\$688,000
Κόστος τροποποιήσεων	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000
Έγκριση Ναυτικής Κοινότητας	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000
Κινητήρες/έτος	40	40	40	40	40	40
Έτη απόσβεσης	5	5	5	5	5	5
<b>Σταθερό κόστος/Κινητήρα</b>	<b>\$17,889</b>	<b>\$17,889</b>	<b>\$17,889</b>	<b>\$17,889</b>	<b>\$17,889</b>	<b>\$17,889</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>\$85,672</b>	<b>\$113,814</b>	<b>\$154,485</b>	<b>\$110,932</b>	<b>\$158,097</b>	<b>\$251,058</b>
<b>Κόστος ανά kW</b>	<b>\$19.0</b>	<b>\$12.0</b>	<b>\$8.6</b>	<b>\$13.1</b>	<b>\$10.5</b>	<b>\$5.2</b>

Όπως και στην περίπτωση του συστήματος έγχυσης νερού, έχουμε αρκετά υψηλό κόστος στο κομμάτι της ανακατασκευής και της έρευνας και ανάπτυξης. Παρατηρούμε πως το κόστος ανά κιλοβάτ μειώνεται όσο μεγαλώνει η ισχύς του κινητήρα. Αυτό το γεγονός μας υποδεικνύει πως τα μεγάλα πλοία έχουν μεγαλύτερο κόστος, αλλά συγκριτικά με την απόδοσή τους συμφέρει αρκετά περισσότερο.

### 7.6.3 Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή

Το κόστος της επιλεκτικής καταλυτικής μείωσης (SCR) περιλαμβάνει τη δεξαμενή ουρίας, τον αντιδραστήρα, την αντλία δοσολογίας, τους εγχυτήρες ουρίας, τις σωληνώσεις, τη βαλβίδα παράκαμψης, την ακουστική κόρνα, έναν καθετήρα καθαρισμού και τη μονάδα ελέγχου και την καλωδίωση.

*Πίνακας 16: Συνολικά κόστη τροποποιήσεων για το σύστημα επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής*

<b>TAXYTHTA</b>	<b>ΜΕΣΗ</b>			<b>ΧΑΜΗΛΗ</b>		
<b>Ισχύς κινητήρα (kW)</b>	<b>4,500</b>	<b>9,500</b>	<b>18,000</b>	<b>8,500</b>	<b>15,000</b>	<b>48,000</b>
<b>Αρ.κυλίνδρων</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Λίτρα/ Κύλινδρο</b>	<b>35</b>	<b>65</b>	<b>95</b>	<b>380</b>	<b>650</b>	<b>1400</b>
<b>Στροφές κινητήρα</b>	<b>650</b>	<b>550</b>	<b>500</b>	<b>130</b>	<b>110</b>	<b>100</b>
<b>Κόστος για προμηθευτή</b>						
<i>Κόστος εξαρτημάτων</i>						
<i>Υδατική δεξαμενή Ουρίας</i>	\$1,194	\$1,868	\$2,765	\$1,690	\$2,356	\$4,636
<i>Αντιδραστήρας</i>	\$200,000	\$295,000	\$400,000	\$345,000	\$560,000	\$1,400,000
<i>Αντλία Δοσολογίας</i>	\$9,500	\$11,300	\$13,000	\$11,300	\$13,000	\$15,000
<i>Εγχυτήρες Ουρίας (τμχ)</i>	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400	\$2,400
<i>Αρ. εγχυτήρων Ουρίας</i>	3	6	8	12	16	24
<i>Σωληνώσεις</i>	\$4,700	\$5,600	\$6,600	\$5,600	\$7,500	\$9,500
<i>Βαλβίδα παράκαμψης</i>	\$4,700	\$5,600	\$6,600	\$5,600	\$6,600	\$7,500
<i>Ειδοποίηση</i>	\$9,500	\$11,300	\$13,000	\$11,700	\$14,000	\$16,400
<i>Καθαρισμός ανιχνευτή Μονάδα ελέγχου/καλωδίωση</i>	\$575	\$575	\$575	\$700	\$700	\$700
<b>Συνολικό κόστος εξαρτημάτων</b>	<b>\$251,369</b>	<b>\$359,643</b>	<b>\$475,740</b>	<b>\$429,390</b>	<b>\$661,556</b>	<b>\$1,530,336</b>
<i>Κατασκευή Εργασία (Ωρες)</i>	1000	1200	1500	1200	1600	2000

Κόστος (\$23.85ώρα)	\$23,846	\$28,615	\$35,769	\$28,615	\$38,154	\$47,692
Κόστος γενικής χρήσης 40%	\$9,538	\$11,446	\$14,308	\$11,446	\$15,262	\$19,077
<b>Συνολικό Κόστος κατασκευής</b>	<b>\$33,385</b>	<b>\$40,062</b>	<b>\$50,077</b>	<b>\$40,062</b>	<b>\$53,415</b>	<b>\$66,769</b>
<b>Συνολικό Μεταβλητό κόστος</b>	\$284,753	\$399,704	\$525,816	\$469,452	\$714,971	\$1,597,106
<b>Προσαύξηση 29%</b>	\$82,578	\$115,914	\$152,487	\$136,141	\$207,342	\$463,161
<b>Συνολικά κόστη για κατασκευαστή</b>	<b>\$367,332</b>	<b>\$515,618</b>	<b>\$678,303</b>	<b>\$605,593</b>	<b>\$922,313</b>	<b>\$2,060,266</b>
<b>Σταθερά κόστη</b>						
<i>E&amp;A (2 Χρόνια E&amp;A)</i>	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000	\$1,376,000
Κόστη τροποποιήσεων	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000	\$2,000,000
Έγκριση Ναυτικής Κοινότητας	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000	\$5,000
Κινητήρες/έτος	40	40	40	40	40	40
Έτη απόσβεσης	5	5	5	5	5	5
<b>Σταθερό κόστος/κινητήρα</b>	<b>\$22,699</b>	<b>\$22,699</b>	<b>\$22,699</b>	<b>\$22,699</b>	<b>\$22,699</b>	<b>\$22,699</b>
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>\$390,031</b>	<b>\$538,317</b>	<b>\$701,002</b>	<b>\$628,292</b>	<b>\$945,012</b>	<b>\$2,082,965</b>
<b>Κόστος ανά kW</b>	<b>\$86.7</b>	<b>\$56.7</b>	<b>\$38.9</b>	<b>\$73.9</b>	<b>\$63.0</b>	<b>\$43.4</b>

Όπως και στην περίπτωση του συστήματος έγχυσης νερού και της ανακυκλοφορίας καυσαερίων, έχουμε και εδώ αρκετά υψηλό κόστος στο κομμάτι της ανακατασκευής και της έρευνας και ανάπτυξης. Παρατηρούμε και σε αυτήν την περίπτωση πως το κόστος ανά κιλοβάτ μειώνεται όσο μεγαλώνει η ισχύς του κινητήρα. Αυτό το γεγονός μας υποδεικνύει πως τα μεγάλα πλοία έχουν μεγαλύτερο κόστος, αλλά συγκριτικά με την απόδοσή τους συμφέρει και σε αυτή την περίπτωση αρκετά περισσότερο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### 8. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πλοία αποτελούν έναν από τους πιο φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπος μεταφοράς. Παρόλα αυτά, δεν παύουν να αποτελούν μία σημαντική πηγή παραγωγής υψηλών ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές ρύπων από τη ναυτιλία και πιο συγκεκριμένα από τα πλοία, έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία καθώς και στην ποιότητα του αέρα ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές. Επιπροσθέτως, οι εκπομπές αυτές αναμένεται να έχουν μία αυξητική τάση καθώς η παγκόσμια οικονομία διευρύνεται παράλληλα με το διεθνές εμπόριο. Ενώ τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών από χερσαίες πηγές, η συμβολή της ναυτιλίας σε εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και PM παρουσιάζει αυξητικές τάσεις εξαιτίας του ελλιπούς πλαισίου μείωσης των εκπομπών αυτών.

Με κύριο γνώμονα αυτό το πλαίσιο, η παρούσα διπλωματική εργασία εξέτασε τους τρόπους με τους οποίους οι εκπομπές από τη ναυτιλία επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα, το θεσμικό πλαίσιο ελέγχου της ρύπανσης, τα συστήματα και τις τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών που έχουν εφαρμοστεί έως και σήμερα. Ακόμη, έγινε μία προσπάθεια εκτίμησης του συνολικού κόστους των τροποποιήσεων στον κινητήρα υπό συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας για τα συστήματα αυτά, αλλά και της αποτελεσματικότητας σε σχέση με το κόστος αυτό. Από τη μελέτη που έγινε, διαπιστώθηκε πώς οι εκπομπές αερίων ρύπων εξαρτώνται τόσο από τον τύπο του κινητήρα όσο και από το ποσοστό του θείου που εμπεριέχεται στο καύσιμο. Η νομοθεσία για τη ναυτιλία εμπεριέχει κανονισμούς από το παράρτημα VI της MARPOL για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου, των οξειδίων του θείου αλλά και των σωματιδίων, για τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους που εκπέμπονται από τα πλοία. Με αυτά τα δεδομένα, παρουσιάστηκαν οι πιθανές τεχνολογίες μείωσης εκπομπής ρύπων των πλοίων, συμπεριλαμβανομένων σχεδιαστικών βελτιώσεων στην κατασκευή τους, προσθήκη επιπλέον συστημάτων και εξαρτημάτων για εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων επεξεργασίας καυσαερίων.

Συνοψίζοντας, στα πρώτα κεφάλαια δόθηκε έμφαση στο κριτήριο επιλογής των εμπορικών πλοίων ως αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και στο πρόβλημα της αέριας ρύπανσης από πλοία αυτό καθαυτό. Μετέπειτα, έγινε εκτενής ανάλυση των ειδών των ρύπων και παρατέθηκε η σχετική νομοθεσία η οποία έχει θεσπιστεί για την πρόληψη της ρύπανσης από πλοία, από το διεθνή ναυτιλιακό οργανισμό (International Marine organisation-IMO) και τη MARPOL. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν οι βασικοί τύποι των κινητήρων των εμπορικών πλοίων και έγινε αναλυτική περιγραφή όλων των μερών ενός ναυτικού κινητήρα diesel καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του.

Για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από ναυτικές μηχανές εμπορικών πλοίων προτάθηκαν οι εξής τροποποιήσεις:

- **Δομικά μέτρα:** σχεδιαστικές τροποποιήσεις σε μέρη του πλοίου όπως η γάστρα, η προπέλα και το πηδάλιο.
- **Λειτουργικά- διαχειριστικά μέτρα:** συντήρηση των μερών του πλοίου, καθαρισμός της γάστρας και της προπέλας.
- **Διάφοροι μηχανισμοί, συστήματα και τεχνολογίες:** κυψέλες καυσίμου, φίλτρα, καταλύτες, εσωτερική τροποποίηση του κινητήρα, πλυντρίδες και απευθείας έγχυση νερού στον κινητήρα.
- **Χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και εναλλακτικών καυσίμων:** ηλεκτρική ενέργεια, πυρηνική ενέργεια, βιοκαύσιμα υδρογόνο συνθετικά καύσιμα παραφίνη καύσιμα, φυσικό αέριο, υγροποιημένο φυσικό αέριο και υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο.
- **Συστήματα επεξεργασίας καυσαερίων:** επιλεκτική καταλυτική αναγωγή και σύστημα ανακυκλοφορίας καυσαερίων.

Τέλος, έγινε συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων, όσον αφορά τη δυνατότητα εγκατάστασης τους στην περίπτωση των νεόκτιστων εμπορικών πλοίων καθώς και στα ήδη υφιστάμενα. Οι επιλογές περιορισμού των εκπομπών, όπως παρουσιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: τις επιχειρησιακές στρατηγικές και τις τεχνολογικές βελτιώσεις. Με κριτήριο τη συγκριτική αξιολόγηση των επιλογών περιορισμού των εκπομπών που προηγήθηκε, όσον αφορά τις τεχνολογικές βελτιώσεις, η επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) και η απευθείας έγχυση νερού στον κινητήρα, φαίνεται ότι βελτιώνουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των πλοίων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η επιλεκτική καταλυτική ανάγωση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση άνω του 90% των  $\text{NO}_x$ , ενώ σε συνδυασμό με ένα φίλτρο σωματιδίων και έναν οξειδωτικό καταλύτη οδηγεί σε μείωση και των σωματιδίων, του μονοξειδίου του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Παρόλα αυτά, η υιοθέτηση τέτοιων μέτρων, αν και οδηγεί σε σημαντική μείωση της εκπεμπόμενης ποσότητας ρύπων, προϋποθέτει τεχνολογικές αλλαγές που είναι αρκετά δαπανηρές. Από τις επιχειρησιακές στρατηγικές, η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και τα προγράμματα μείωσης της ταχύτητας του πλοίου μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από τη ναυτιλία, χωρίς να είναι απαραίτητη καμία τεχνολογική παρέμβαση. Αξίζει να σημειωθεί πως ένας συνδυασμός των στρατηγικών αυτών είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία. Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να επισημανθεί πως η παρούσα εργασία αξιολόγησε κατά προσέγγιση τις δαπάνες για τα διάφορα συστήματα και τεχνολογίες που προτάθηκαν παραπάνω, για τους εξής λόγους:

- Τα δεδομένα της ναυτικής βιομηχανίας που είναι διαθέσιμα είναι πολύ περιορισμένα με πηγές μόνο από παλαιότερες δημοσιεύσεις στο διαδίκτυο.
- Υπάρχουν αρκετοί τύποι εφαρμογών και σχεδίων όσον αφορά τα συστήματα επεξεργασίας μείωσης των εκπομπών των ρύπων σε διάφορα στάδια ανάπτυξης.



Στο μέλλον, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί πειραματική μελέτη σε ναυτική μηχανή με διαφορετικούς συντελεστές φορτίου, σε όλο το εύρος στροφών της με καύσιμα διαφορετικής περιεκτικότητας σε θείο, προκειμένου να αντληθούν πληροφορίες για την ακριβή μείωση των ρύπων εφαρμόζοντας τις αλλαγές αυτές.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

BIMCO. (2012). *Air pollution-BIMCO's Position*.

Buhaug, O., Corbett, J., Endressen, O., Eyring, V., Faber, J., Hanayana, S., και συν. (2009).

Bunker Ports News Worldwide. Ανακτήθηκε από: <http://www.bunkerportsnews.com/>

Second IMO Study, International Maritime Organization (IMO).

Calder, N. (2007). *Marine Diesel Engines*.

*Clausen MAN Diesel & Turbo*. (2010, October). Ανάκτηση από Developments in engine technology for green ship designs.

Compton, P. (1997). *Troubleshooting Marine Diesels*. International Marine Publishing.

Corbett, J., & Winebrake, J. (2007). *AMERICAN CHEMICAL SOCIETY*. RIT's College of Liberal Arts.

CNSS: Clean Shipping Technology, Technology Guide. CNSS website, <http://cleantech.cnss.no/>

CNSS (2014). *The challenge of emission control in maritime law. A summary of the current international and European regulations and their implementation*. CNSS, <http://cnss.no/wp-content/uploads/2014/06/emm-ctrl-web.pdf>

DB., P. (1997). *Mechanisms of pollution induced airway disease: in vivo studies*

*United States Environmental Protection Agency, 2009, Costs of Emission Reduction Technologies for Category 3 Marine Engines*. Διαθέσιμο σε: <https://nepis.epa.gov/>

Guo, M., Fu, Z., Ma, D., Ji, N., Song, C., & Liu, Q. (2015). A short review of treatment methods of marine diesel engine exhaust gases.

Helfre, J.-F., & Boot, P. (2013). *Emission Reduction in the Shipping Industry: Regulations, Exposure and Solutions*.

Hombrevella, A., Kilicaslan, A., Perales, j., & Rub, C. (n.d.). Study of exhaust gas cleaning systems for vessels to fulfill IMO III in 2016.

IMO. (2009, April). Second IMO GHG study. *IMO: International Maritime Organization*. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/GHGStudyFINAL.pdf>

IMO. (2010). *Emission From Ships, Marginal Abatement Costs and Cost Effectiveness of Energy-Efficiency Measures*. *Second IMO GHG Study*.

- IMO. (2011). Consideration and Adoption of Amendments to Mandatory Instruments- Calculation of Parameters for Determination of EEDI Reference Values.
- IRENA. (2013). *Road Transport: The cost of Renewable Solutions*. Abu Dhabi.
- IRENA.(2015). *RENEWABLE ENERGY OPTIONS FOR SHIPPING* 310
- Lloyd’s Register. (2012). Guidance for shipowners and operators. *Understanding exhaust gas treatment systems*.
- Loosley, D., (2015), Environment, Economics and Society- leading the way to environmental sustainability in the marine industry, Ανακτήθηκε από: [Environmental Sustainability in the Marine Industry \(slideshare.net\)](#)
- Maffii, S., Molocchi, A., & Chiffi, C. (2007). External costs of Maritime Transport, Policy Department Structural and Cohesion Policies, Directorate General Internal Policies of the Union. *TRT, Transport e Territorio Srl*.
- Maragkogianni, A., 2015. *Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece.*, s.l.: Transportation Research.
- OECD (2011). *Environmental Impacts of International Shipping: The Role of Ports*. OECD.
- Reynolds, G. (2004). Operational Pollution from Shipping. Στο: Pinder D. & Slack B. (επιμ.). *Shipping and Ports in the Twenty-first Century*. N. York: Routledge.
- Organization, W. W. (1997, September 21). Ανάκτηση από <http://www.who.int/en/>.
- Pandya , R., Solomon, G., Kinner, A., & Balmes, J. (2002). Diesel exhaust and asthma: Hypotheses and molecular mechanisms of action. *Environ Health Perspect*.
- Papachristou, A. (2005). *The correlation of port infrastructure and cruise traffic accommodation Proceedings of the international association of Martine Economics (IAME) Conference*. Limassol, Cyprus.
- Peden, D. (1997). *Mechanisms of pollution induced airway disease:in vivo studies*.
- Pope, C., Burnett, R., Thun, M., Calle, E., Krewski, D., & Ito, K. (2002). Lung cancer cardiopulmonary mortality and long term exposure to fine particulate air pollution.
- Psaraftis, H., & Kontovas, C. (2009). CO2 Emission Statics for the World Commercial Fleet . *WMU Journal of Maritime Affairs*.
- S., V. (2009). *Compendium Marine Engineering*. Germany: DVV Media Group.
- Schrooten, L., De Vlieger, I., Int Panis, L., Chiffi, C., & Pastori, E. (2009, March 07). Emissions of maritime transport: a reference system. *Science of the Total Environment*.
- Seawater scrubbing- reduction of SOx emissions from ships exhaust: The aliance for global sustainability*. Gothenburg. (2007).

Turbo, M. D. (n.d.). *Cruise Ferry Four stroke Marine Engines*. [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu).

Vidal, J. (2009, July 03). Health risks of shipping pollution have been underestimated. *The Guardian*.

Wight, D., & Wilbur, C. (6th edition). Marine Engineering Series. Στο *Pounder's Marine Diesel Engine*. Butterworths.

Wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση από <https://en.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rtsil%C3%A4>.

Wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση από [https://en.wikipedia.org/wiki/Sulzer\\_\(manufacturer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulzer_(manufacturer)). 311

Wikipedia. (2010, February). About Air Supply.

Woodyard, D. (2004). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*. Elsevier.

Wright, P. (2013, November 23). Impacts of climate change on ports and shipping. *Marine Climate Change Impacts Partnership: Science Review*.

www.bss.pl. (2017). *BSS Baltic Spares Service*.

www.cheapower.com. (2017).

www.dieselduck.net. (2008). *Wartsila 38 Project Guide*. Trieste: Wartsila Engines.

www.dieselduck.net. (n.d.). *Martin's Marine Engineering Page*.

www.geaviation.com/marine/engines/military/lm2500-engine. (2017).

www.mandiesel.com. (2008). *L+V48/60CR Four-Stroke Diesel Engine*. MAN Diesel.

www.mandiesel.com. (2008). *L58/64 Project Guide Four-stroke Diesel Engines*. MAN Diesel.

www.mandieselturbo.com. (2010). *MAN 48/60CR Project Guide-Marine Four-stroke diesel engines compliant with IMO Tier II*. MAN Diesel & Turbo.

www.marine.man.eu. (2013). *Marine Engine IMO Tier II Programme 2013*. MAN Diesel & Turbo.

www.marine.man.eu. (2017). *Marine Engine IMO Tier II and IMO Tier III Programme 2017*. MAN Diesel & Turbo.

www.marine.man.eu. (2008). *Four Stroke Marine Engines "High Performance Product Range"*. MAN Diesel & Turbo.

www.mhi.com/news/110622en.html

www.wartsila.com. (2001). *Project Guide for Marine Application Wartsila 46*. Finland: WARTSILA. 312

www.wartsila.com. (2002). *Wartsila 38B Project Guide for Marine Applications*. Nederland: WARTSILA.

www.wartsila.com. (2002). *Wartsila 46 Technology Review*. Finland: WARTSILA NSD Corporation.

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δαγκίνης, Ι., Νικητάκος, Ν., (2014, Φεβρουάριος 17), Κατασκευαστική εξέλιξη συστημάτων πλοίων, Ελεύθερη Ζώνη, Ανακτήθηκε από: <http://www.elzoni.gr/html/ent/459/ent.42459.asp>

Έξαρχος, Σ. (2013), Ατμοσφαιρική ρύπανση από πλοία, Διεθνείς και Ευρωπαϊκές εξελίξεις, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών (Μεταπτυχιακή Διατριβή). Ανακτήθηκε από: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/8584>

Θωμαΐδης, Α. (2016), Οικολογικές Μορφές Ενέργειας και Εφαρμογές τους στη Ναυτιλία (Πτυχιακή εργασία). Διαθέσιμο από: <https://docplayer.gr/12814362-Oikologikes-morfes-energeias-kai-efarmoges-toys-sti-naytilia.html>

Κολάκη, Α. (2016), Νέες κατασκευές-τεχνολογίες πλοίων για εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπομπών αερίων (Πτυχιακή εργασία). Ανακτήθηκε από: <http://hdl.handle.net/11610/17454>

Κοτρίκλα, Α., 2015. Ναυτιλία και περιβάλλον. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5478>

Κουτούση, Β. (2014), Καταλυτική αντιμετώπιση πτητικών οργανικών ρύπων (VOCs): Παρούσα κατάσταση και προοπτικές (Διπλωματική εργασία). Διαθέσιμο από: <https://docplayer.gr/21032633-Katalytiki-antimetopisi-ptitikon-organikon-typon-vocs-paroysa-katastasi-kai-prooptikes.html>

Κωνσταντοπούλου, Μ. (2013), Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη Ναυτιλία (Πτυχιακή εργασία). Ανακτήθηκε από: <https://apothesis.lib.hmu.gr/handle/20.500.12688/4464>

Μπουλαντζάς, Δ., (2014), Οι θαλάσσιες μεταφορές και οι επιπτώσεις τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση: το διεθνές, κοινοτικό και εσωτερικό ρυθμιστικό και οργανωτικό θεσμικό πλαίσιο (IMO, OHE, E.E, ΕΛΛΑΔΑ), Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

Παπανδρικόσ, Α., (2013), Οικονομικές επιπτώσεις και παρενέργειες μέτρων για τον περιορισμό των εκπομπών SO<sub>2</sub> (Διπλωματική εργασία). Ανακτήθηκε από: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/7947>

Σπανού, Ε., (2014), Ναυτιλία και περιβάλλον: Η επιρροή της ναυτιλίας στο θαλάσσιο περιβάλλον: Τελικά αφορά μόνο το περιβάλλον ή και τον ίδιο τον άνθρωπο;(Πτυχιακή εργασία). Ανακτήθηκε από: <http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/handle/123456789/2515?locale-attribute=en>

Συρράκος, Σ., (2014), Υπολογισμός της αέριας ρύπανσης που οφείλεται στην προσέγγιση κρουαζιερόπλοιων σε λιμένες: οι περιπτώσεις των λιμανιών Πειραιά, Ηρακλείου και Σούδας, (Διπλωματική εργασία), Ανακτήθηκε από: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/28481BBF-13D8-40EE-A2C1-75DB175E682D>

Φειδάς, Χ., (2014), Επιπτώσεις της κυκλοφορίας των πλοίων στο κλίμα: Μελλοντικές εκτιμήσεις και μετριασμός επιπτώσεων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης