

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

στην

ΝΑΥΤΙΛΙΑ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΑΚΤΟΠΛΟΪΑ

Παπαχατζής Παναγιώτης

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος
των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην
Ναυτιλία

Πειραιάς

Μάιος 2010

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με όλο το κείμενο υπό copyright, και πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στην γενικότερη αξία του copyright κειμένου.

Υπογραφή

.....

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΣΕ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Τζαννάτος Ερνέστος (Επιβλέπων)
- Τσελεπίδης Αναστάσιος
- Τσελέντης Βασίλειος- Στυλιανός

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Επί τη ευκαιρία της ολοκλήρωσης της Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τζαννάτο Ερνέστο για την υπομονή και κατανόηση που επέδειξε, καθώς και την ανεκτίμητη καθοδήγησή του καθ' όλη την διαδικασία υλοποίησης της εργασίας. Ευχαριστίες οφείλω και στα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Τσελεπίδη Αναστάσιο και κ. Τσελέντη Βασίλειο για την υποστήριξη τους. Επιπρόσθετα θα ήθελα να υπογραμμίσω την συμβολή του Υπουργείου Ανάπτυξης για την άμεση διάθεση στατιστικών στοιχείων, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωσή της.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ- ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ-ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-1..... 3

1.1 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ..... 4

1.1.1. Κοινοτική Οδηγία 1999/32/Εκ..... 7

1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ 10

1.2.1. Πετρέλαιο Ντίζελ 11

1.2.2. Μαζούτ 12

1.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ 15

1.3.1. Περιεκτικότητα Θείου..... 15

1.3.2. Ιξώδες 15

1.3.3. Θερμογόνος Δύναμη..... 15

1.3.4. Σημείο Ανάφλεξης 16

1.3.5. Τέφρα 16

1.3.6. Ανθρακούχο Υπόλειμμα 16

1.3.7. Νερό και Υπόστημα 17

1.3.8. Σημείο Ροής 17

1.4. ΔΙΥΛΙΣΗ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ 18

1.5. ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ 23

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-2..... 31

2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ 32

2.2. ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 33

2.2.1. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO_2) 34

2.2.1.1. Γενικά 34

2.2.1.2. Το CO_2 Ως Αέριο Του Θερμοκηπίου 34

2.2.1.3. Ναυτιλία Και CO_2 35

2.2.2. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO_2) 39

2.2.2.1. Γενικά 39

2.2.2.2. SO_2 και Ναυτιλία 39

2.2.2.3. Επιπτώσεις SO_2 42

2.2.3. ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x) 45

2.2.3.1. Γενικά 45

2.2.3.2. Εκπομπές NO_x Και Ευρωπαϊκή Ένωση 45

2.2.3.3. Επιπτώσεις των NO_x 48

2.2.4. ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ..... 49

2.2.4.1. Γενικά	49
2.2.4.2. Πτητικές Οργανικές Ενώσεις Και Ναυτιλία	50
2.2.4.3. Επιπτώσεις Των VOC _s	52
2.2.5. ΟΖΟΝ (O ₃)	53
2.2.5.1. Γενικά	53
2.2.5.2. Όζον Και Ναυτιλία	53
2.2.5.3. Επιπτώσεις Του Όζοντος	54
2.2.6. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	56
2.2.6.1. Γενικά	56
2.2.6.2. Εκπομπές Αιωρούμενων Σωματιδίων	57
2.2.6.3. Τρόποι Εκπομπής Αιωρούμενων Σωματιδίων	59
2.2.6.4. Επιπτώσεις Των Αιωρούμενων Σωματιδίων	60
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	63
ΕΙΣΑΓΩΓΗ-3	63
3.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	64
3.1.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ	64
3.1.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	65
3.1.3. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΙΘΑΛΗΣ (PM)	65
3.1.4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	67
3.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	67
3.2.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΥΣΕΩΣ	68
3.2.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	70
3.2.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COMMON-RAIL	71
3.2.4. ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	72
3.2.5. ΚΥΚΛΟΣ MILLER	73
3.2.6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΙΠΑΝΣΕΩΣ	74
3.2.7. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΜΗΧΑΝΗΣ	74
3.3. ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	75
3.3.1. ΕΓΧΥΣΗ ΝΕΡΟΥ	75
3.3.1.1. Άμεση Έγχυση Νερού (Direct Water Injection)	76
3.3.1.2. Γαλακτωματοποιημένα Καύσιμα (Emulsified Fuel)	77
3.3.2. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΟΥ ΑΕΡΑ (HUMID AIR MOTOR)	78
3.3.3. ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΜΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ (SNCR)	79
3.3.4. ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ (EGR)	80
3.4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	82

3.4.1. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	82
3.4.2. ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ	82
3.4.3. ΦΙΛΤΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	84
3.4.4. ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ	85
3.5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	85
3.5.1. ΚΑΥΣΙΜΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΙΟ	85
3.5.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	86
3.5.2.1. Βιοκαύσιμα	86
3.5.2.2. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)	87
3.5.2.3. Κυψέλες Καυσίμου	88
3.5.3. ΝΕΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	89
3.5.3.1. Κύτος Και Υπερκατασκευή	90
3.5.3.2. Ενέργεια Και Συστήματα Πρόωσης	91
3.5.4. ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΑΠΟ ΞΗΡΑ	92
3.6. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	93
3.7. ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	96
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	100

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πληθώρα μελετών διεθνών φορέων επισημαίνουν την αναγκαιότητα λήψης άμεσων δραστικών μέτρων μείωσης των εκπομπών αέριων ρύπων σε παγκόσμια κλίμακα. Αν και το μεταφορικό έργο της ναυτιλίας διεκπεραιώνεται με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο, εντούτοις η συμβολή της στην ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί τα τελευταία χρόνια αντικείμενο ενδελεχούς εξέτασης της παγκόσμιας κοινότητας. Η ανάλυση μέτρων περιορισμού των αερίων ρύπων βρίσκεται πολύ ψηλά στην ατζέντα όχι μόνο του ΙΜΟ, αλλά και άλλων φορέων με κανονιστική αρμοδιότητα. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, συγκεκριμένα μέτρα περιορισμού των εκπομπών από βιομηχανικές και άλλες δραστηριότητες είναι αναγκαία για τον περιορισμό της προβλεπόμενης αύξησης των λεγόμενων «αερίων θερμοκηπίου». Στην η συμφωνία που επιτεύχθηκε δεν κάνει καμία αναφορά στον τομέα της ναυτιλίας. Αν και η ναυτιλία έχει μέχρι στιγμής εξαιρεθεί τόσο από το πλαίσιο του Κιότο όσο και από την Διάσκεψη της Κοπεγχάγης το 2009, είναι σαφές ότι η εποχή αυτή πλησιάζει γρήγορα στο τέλος.

Το επίκεντρο της ανάλυσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπήρξε αφενός η ανάπτυξη και παρουσίαση της τάσης των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων εντός των χωρικών υδάτων της ελληνικής επικράτειας, και αφετέρου η βελτίωση της γενικής κατανόησης του είδους και μεγέθους των εκπομπών των πλοίων όπως και των επιπτώσεων και τεχνολογικών δυνατοτήτων περιορισμού τους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδεικνύουν μία σαφή αυξητική τάση των εκλυόμενων ποσοτήτων ρύπων, γεγονός που συνάδει με αποτελέσματα διεθνών μελετών σε εθνική και παγκόσμια κλίμακα.

Λέξεις Κλειδιά : Ελλάδα, Πλοία, Εκπομπές, Αέριοι Ρύποι

ABSTRACT

A plethora of international bodies highlight the need for immediate drastic action to reduce greenhouse gas emissions worldwide. Although maritime transportation is performed in an energy-efficient way, nevertheless its air pollution contribution in recent years is under close examination by the global community. The analysis of measures for reducing greenhouse emissions is very high on the agenda of IMO and of other bodies with regulatory powers. Under the Kyoto Protocol, particular measures to reduce emissions from industrial and other activities are necessary to reduce the projected increase in so-called "greenhouse

gases". While shipping has so far been excluded from both Kyoto and the Copenhagen Conference in 2009, it is clear that this era is rapidly approaching to an end.

The focus of the analysis of this thesis was firstly to develop and present the trend of emission of air pollutants in the territorial waters of Greece, and secondly to improve the general understanding of the nature and magnitude of emissions from ships as well as the impact and technological possibilities of reduction. The test results indicate a clear upward trend in pollutant derived quantities, which is consistent with results of international studies in national and global scale.

Key words: Greece, Emissions, Ships, Greenhouse Gases

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ολοένα και υψηλότερη θέση στην ιεραρχία της διεθνούς ατζέντας, κατέχει η αναγκαιότητα άμεσου περιορισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω λήψης δραστικών μέτρων μείωσης των αέριων ρύπων. Έτσι μια συντονισμένη παγκόσμια προσπάθεια όλων των εμπλεκόμενων φορέων, βρίσκεται σε εξέλιξη με στόχο την εφαρμογή αντισταθμιστικών μέτρων μείωσής τους.

Οι μεγάλες προσδοκίες αναμένονται από τους κλάδους της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων, συμπεριλαμβανομένων της ναυτιλίας και των μέσων μεταφοράς. Η διεθνής ναυτιλία κατέχει δεσπίζουσα θέση στο παγκόσμιο εμπόριο και μολονότι το μεταφορικό της έργο διεκπεραιώνεται με τον πλέον αποδοτικό τρόπο, αναφορικά με την συμβολή της στο παγκόσμιο ισοζύγιο εκπεμπόμενων ρύπων, εντούτοις ολοένα αυξανόμενος αριθμός μελετών διεθνών φορέων υποδεικνύουν την αναγκαιότητα υιοθέτησης αυστηρότερων μέτρων. Δημιουργούνται έτσι οι προσδοκίες ότι ο κλάδος της ναυτιλίας θα συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση των αερίων, όχι μόνο περιστασιακά και βραχυπρόθεσμα αλλά το όλο εγχείρημα θα συνεχισθεί σε βάθος χρόνου και θα αφορά το σύνολο της ναυτιλίας. Κυρίαρχο ρόλο προς αυτή την κατεύθυνση παίζει ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός ο οποίος δρομολογεί αλλαγές τόσο στον επιχειρησιακό τομέα όσο και σε θέματα τεχνικής φύσεως.

Η διεθνής αυτή κινητοποίηση αποτέλεσε το έναυσμα για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στην οποία επιχειρείται η εκτίμηση του μεγέθους και της τάσεως που ακολουθούν οι εκπεμπόμενοι αέριοι ρύποι του ναυτιλιακού τομέα, στον ελλαδικό χώρο για μια σειρά ετών (1983-2009). Η μεθοδολογία προσέγγισης περιλαμβάνει την συλλογή εθνικών στατιστικών στοιχείων των πωληθέντων ποσοτήτων ναυτιλιακού πετρελαίου, και μέσω χρήσης κατάλληλων συντελεστών εκπομπής, προκύπτουν οι εκτιμώμενες ποσότητες ρύπων. Παρουσιάζονται επίσης οι περισσότεροι ελπιδοφόροι τεχνικές περιορισμού τους καθώς και οι επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον.

Το πρώτο κεφάλαιο ξεκινά με μία εκτενή αναφορά στο υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο που εφαρμόζεται για τον περιορισμό των αέριων ρύπων της ναυτιλίας καθώς και οι μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα αυτό. Στην συνέχεια περιγράφονται η διαδικασία διύλισης, τα διαφορετικά είδη, χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ναυτιλιακού πετρελαίου. Το κεφάλαιο τελειώνει με την ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων εκπομπών αέριων ρύπων στον ελλαδικό χώρο για μια σειρά ετών.

Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην αναλυτική περιγραφή του μηχανισμού δημιουργίας και των χαρακτηριστικών των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από την ναυτιλιακή δραστηριότητα. Παραθέτονται συγκριτικά στοιχεία μεταξύ των διαφόρων μέσων μεταφοράς αναφορικά με την αποδοτικότητά τους κατά το μεταφορικό έργο και αναλύονται οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στον άνθρωπο παραθέτοντας στοιχεία αναλύσεων διεθνών ερευνών.

Το τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζει αναλυτικά τις εναλλακτικές διαθέσιμες τεχνολογίες μείωσης των αέριων ρύπων. Περιγράφονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μιας, ο τρόπος λειτουργίας τους, οι απαιτήσεις εφαρμογής τους, στοιχεία κόστους υλοποίησης και τα προσδοκώμενα οφέλη από την εγκατάστασή τους. Το κεφάλαιο κλείνει με σύντομη ανάλυση του κόστους που προκύπτει από την εφαρμογή των επικρατέστερων εξ αυτών τεχνολογιών.

1^ο

Κεφάλαιο

Ατμοσφαιρικοί Ρύποι-Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Ποσοτικοποίηση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-1

Επί των ημερών μας ο κλάδος της ναυτιλίας θεωρείται ως το πλέον αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον μέσο στο τομέα των μεταφορών. Περίπου το 80% του παγκόσμιου εμπορίου διεκπεραιώνεται μέσω θαλάσσης¹ και η ζήτηση για θαλάσσιες μεταφορές είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την πορεία της παγκόσμιας οικονομίας. Την ίδια στιγμή, η φιλόδοξη προοπτική μίας σημαντικής μείωσης των εκπεμπόμενων αερίων στο χώρο της ναυτιλίας θεωρείται ως κάτι παραπάνω από αναγκαία. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχει ένα βιώσιμο εναλλακτικό μέσο που θα αντικαταστήσει μεσοπρόθεσμα και σε μεγάλη κλίμακα τα υπάρχοντα με βάση τον άνθρακα καύσιμα, με συνέπεια να μην μπορεί να εφαρμοσθεί μία τεχνική λύση που θα περιορίσει τα προβλήματα που δημιουργούνται από την έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός σε συνεργασία με το σύνολο των εμπλεκόμενων φορέων του ναυτιλιακού πλέγματος προωθεί αλλαγές τεχνικής και λειτουργικής φύσεως προκειμένου να πετύχει μειώσεις στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές αέριων ρύπων.

Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά παρουσιάζεται η παρούσα κατάσταση από πλευράς των υφιστάμενων ρυθμιστικών μέτρων περιορισμού των αέριων ρύπων σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός και η Ευρωπαϊκή Ένωση πρωτοστατούν σε αυτό τον τομέα και η Ελλάδα ως κράτος μέλος εναρμονίζεται πλήρως με τα διεθνή πρότυπα και νομοθεσίες. Στην συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά η διαδικασία διύλισης του αργού πετρελαίου και τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα και είδος του κάθε ναυτιλιακού καυσίμου. Το κεφάλαιο καταλήγει με την ποσοτικοποίηση των αέριων ρύπων της ελληνικής εσωτερικής ακτοπλοΐας, παρουσιάζοντας διαγραμματικά την τάση τους για

¹ UNCTAD (2008)

μια σειρά ετών. Με τον όρο εσωτερική ακτοπλοΐα νοείται κάθε ναυτιλιακή δραστηριότητα εντός των χωρικών υδάτων μιας χώρας

1.1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η πρώτη μελέτη του IMO σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τις διεθνείς ναυτιλιακές δραστηριότητες εκπονήθηκε κατόπιν αιτήματος της Διπλωματικής Διάσκεψης για την ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία διεξήχθη στην έδρα του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO), το Σεπτέμβριο του 1997. Η διάσκεψη συγκλήθηκε από τον Οργανισμό με σκοπό να εξεταστούν θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αφορούν τη διεθνή ναυτιλία και, πιο συγκεκριμένα, να προχωρήσουν στην υιοθέτηση του πρωτοκόλλου του 1997 στην Σύμβαση MARPOL (Παράρτημα VI - Κανονισμοί για την πρόληψη ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία). Έτσι η πρώτη μελέτη του IMO αναφορικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, χρησιμοποιούσε στοιχεία για το 1996 και δημοσιεύθηκε το έτος 2000.

Ωστόσο η παγκόσμια κινητοποίηση αναφορικά με την αναγκαιότητα μείωσης των εκλυόμενων αέριων ρύπων, κατέστησε επιτακτική την εκπόνηση δεύτερης αναθεωρημένης μελέτης του IMO. Κατά την διάρκεια της 56^{ης} διάσκεψης της επιτροπής προστασίας θαλάσσιου περιβάλλοντος συμφωνήθηκε η έναρξη των εργασιών, και το τελικό κείμενο της έκθεσης δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο του 2009. Η αναθεωρημένη αυτή έκθεση η οποία αποτελεί προϊόν διεθνούς κοινοπραξίας με κυρίαρχο τον ρόλο του ναυτιλιακού ινστιτούτου έρευνας και τεχνολογίας MARINTEK, παραθέτει ποσοτικοποιημένα δεδομένα αέριων ρύπων από το 1990 μέχρι το 2007 καθώς και εκτιμήσεις μελλοντικών σεναρίων αναφορικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την ναυτιλιακή δραστηριότητα. Παρουσιάζονται επίσης οι δυνατότητες μείωσης των εκπομπών είτε μέσω τεχνολογικών καινοτομιών είτε μέσω υιοθέτησης νέων πολιτικών, όπως επίσης και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Οι κανόνες οι οποίοι θεσπίστηκαν από τον IMO και αφορούν τον περιορισμό της ρύπανσης από τα πλοία, περιλαμβάνονται στην Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία, γνωστή ως MARPOL 73/78. Στις 27 Σεπτεμβρίου 1997, η Σύμβαση MARPOL τροποποιήθηκε από το πρωτόκολλο του 1997, το οποίο περιλάμβανε το παράρτημα VI με τίτλο "Κανονισμοί για την πρόληψη ρύπανσης του αέρα από τα πλοία". Το παράρτημα VI της MARPOL θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου και θείου (NO_x, SO_x) και απαγορεύει τις εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν το όζον .

Τα πρότυπα εκπομπών τα οποία υιοθετήθηκαν από τον ΙΜΟ, συνήθως αναφέρονται ως Tier I,II,III. Το πρότυπο Tier I ορίστηκε στην έκδοση του παραρτήματος VI του 1997, ενώ τα Tier II / III υιοθετήθηκαν από το αναθεωρημένο παράρτημα VI το οποίο εγκρίθηκε το 2008.

- ❖ Το Πρωτόκολλο του 1997 (Tier I) της σύμβασης MARPOL, το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI, τίθεται σε ισχύ 12 μήνες μετά την αποδοχή του από 15 κράτη τα οποία κατέχουν περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας χωρητικότητας. Στις 18 Μαΐου 2004, η Σαμόα κατέθεσε την επικύρωσή της, συμμετέχοντας ως 15^ο μέλος μαζί με τις Μπαχάμες, το Μπαγκλαντές, τα νησιά Μπαρμπάντος, την Δανία, την Γερμανία, την Ελλάδα, την Λιβερία, της Νήσους Μάρσαλ, τη Νορβηγία, τον Παναμά, την Σιγκαπούρη, την Ισπανία, την Σουηδία, και το Βανουάτου. Κατά την ημερομηνία αυτή, το παράρτημα VI, επικυρώθηκε από κράτη μέλη με 54,57% της παγκόσμιας εμπορικής χωρητικότητας.

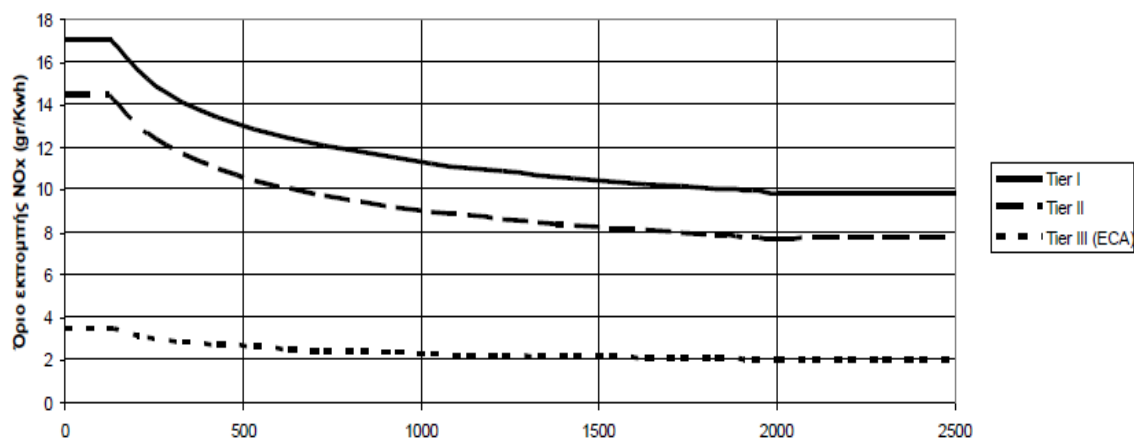
Το παράρτημα VI, τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Είχε αναδρομική ισχύ για νέες μηχανές άνω των 130 kW σε πλοία που κατασκευάστηκαν μετά την 1^η Ιανουαρίου 2000 ή υποβλήθηκαν σε σημαντική μετασκευή μετά την ημερομηνία αυτή. Ο κανονισμός αφορά επίσης τις σταθερές και πλωτές εξέδρες όπως και τις εξέδρες γεώτρησης πετρελαίου (εκτός από τις εκπομπές που συνδέονται άμεσα με την εξερεύνηση και/ή το χειρισμό θαλασσίων ορυκτών). Ενόψει της επικύρωσης του παραρτήματος VI, οι περισσότεροι κατασκευαστές ναυτικών μηχανών συμμορφώθηκαν με τα παραπάνω πρότυπα από το 2000.

- ❖ Οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI (Tier II,III) οι οποίες υιοθετήθηκαν τον Οκτώβριο του 2008 εισήγαγαν: 1) Νέες απαιτήσεις ποιότητας των καυσίμων αρχίζοντας από τον Ιούλιο του 2010 2) Εφαρμογή των προτύπων Tier II και Tier III αναφορικά με τις εκπομπές NO_x για τις νέες μηχανές, και 3) Εφαρμογή του πρότυπου Tier I για τις υφιστάμενες προ του 2000 ναυτικές μηχανές.

Το αναθεωρημένο παράρτημα VI τίθεται σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2010. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2008, επικυρώθηκε από 53 χώρες (συμπεριλαμβανομένων και των Ηνωμένων Πολιτειών), οι οποίες αντιπροσωπεύουν το 81,88% της παγκόσμιας χωρητικότητας.

Τα όρια εκπομπών NO_x για τις μηχανές ντίζελ είναι ανάλογα της μέγιστης ταχύτητας λειτουργίας της μηχανής (στροφές ανά λεπτό), όπως απεικονίζονται στο Διάγραμμα 1. Οι καμπύλες Tier I και Tier II αφορούν παγκόσμιες απαιτήσεις, ενώ η καμπύλη Tier III

απεικονίζει τις απαιτήσεις οι οποίες εφαρμόζονται μόνο σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα υφιστάμενα και μελλοντικά όρια NO_x.



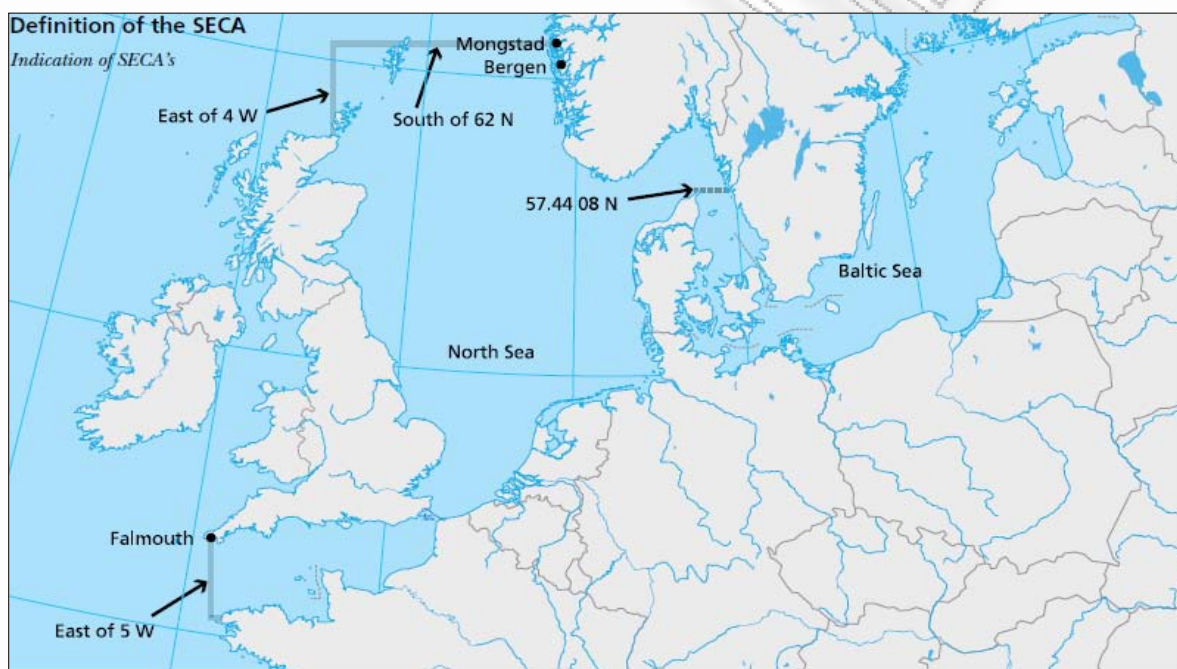
Διάγραμμα 1: Όρια Εκπομπών NO_x σε $\frac{g}{kWh}$. **Πηγή:** IMO (2004), Annex VI, MARPOL

Πρότυπα	Έτος	Όρια NO _x , $\frac{g}{kWh}$		
		n<130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17,0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9,8
Tier II	2011	14,4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7,7
Tier III	2016	3,4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1,96
n=στροφές ανά λεπτό				

Πίνακας 1. Όρια εκπομπών Οξειδίου του Αζώτου σε $\frac{g}{kWh}$. **Πηγή:** IMO (2004), Annex VI, MARPOL

Το Παράρτημα VI της MARPOL ορίζει απαιτήσεις εκπομπών και ποιότητας των καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, στα όρια των οποίων ισχύουν αυστηρότερα μέτρα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (Emission Control Areas) και αφορούν είτε εκπομπές οξειδίων του θείου (SO_x) και αιωρούμενων σωματιδίων (PM), είτε εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), είτε εκπομπές και των τριών ειδών.

Οι υφιστάμενες Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών οξειδίων του θείου, περιλαμβάνουν τη Βαλτική Θάλασσα (υιοθετήθηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ το 2005) ,τη Βόρεια Θάλασσα (υιοθετήθηκε το 2005/ τέθηκε σε ισχύ το 2006) και το αγγλικό κανάλι. Λέγοντας Βαλτική Θάλασσα νοούνται οι περιοχές του κόλπου της Μπότνια, του κόλπου της Φινλανδίας και η είσοδος στη Βαλτική Θάλασσα σε γεωγραφικό πλάτος $57^{\circ}44'.8$ Β στο Skagerrak (συμπεριλαμβανομένης της λίμνης Vanern). Βόρεια Θάλασσα νοείται η θάλασσα η οποία εκτείνεται στα βόρεια έως τις 62° Β, δυτικά έως 4° Δ , στα ανατολικά έως το Skagerrak σε πλάτος $57^{\circ}44$ Β και νότια έως το αγγλικό κανάλι 5° Δ. Η ακόλουθη εικόνα απεικονίζει ακριβώς τα όρια αυτά.



Εικόνα 1. Γεωγραφικά Όρια Ζωνών Ελέγχου Εκπομπών (SECAs). **Πηγή:** IMO (2004), Annex VI, MARPOL

1.1.1 ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 1999/32/ΕΚ

Παράλληλα με το Παράρτημα VI της MARPOL, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η Κοινοτική οδηγία 1999/32/ΕΚ όπως τροποποιήθηκε από την 2005/33/ΕΚ και προβλέπει τα ακόλουθα τα οποία βρίσκονται σε ισχύ :

- Όριο θείου 1,5% για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από όλα τα πλοία στην περιοχή της Βαλτικής, της Βόρειας Θάλασσας, σύμφωνα με τις ημερομηνίες εφαρμογής του παραρτήματος VI της MARPOL (δηλαδή αρχίζοντας από τις 19 Μαΐου 2006 για την περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας). Από τις 19 Μαΐου 2006, τα κράτη μέλη της ΕΕ θα διασφαλίζουν ότι η περιεκτικότητα σε θείο των αποσταγμάτων

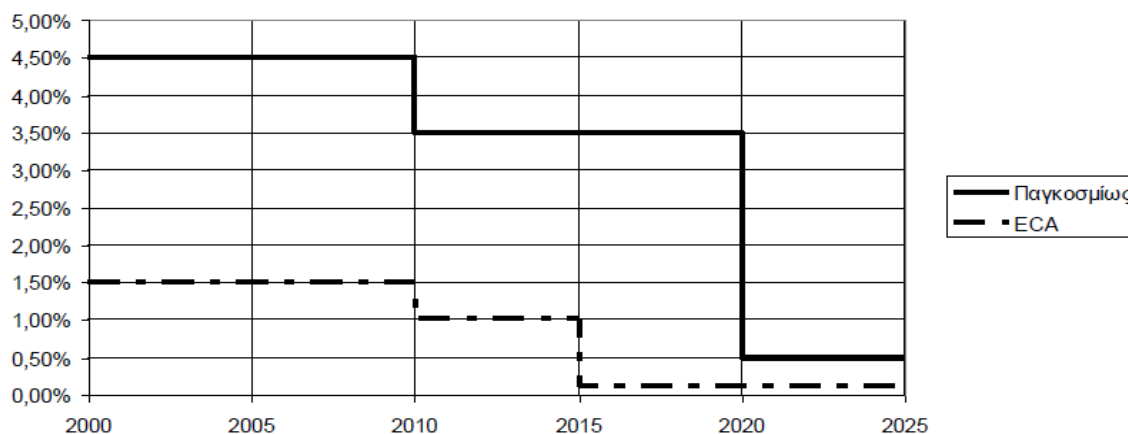
ντίζελ (σύμφωνα με πρότυπο ISO 8217 τα DMB και DMC) που διατίθενται στην επικράτειά τους δεν υπερβαίνει το 1,5%.

- Όριο θείου 1,5% για τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται από επιβατηγά πλοία τα οποία εκτελούν τακτικά δρομολόγια μεταξύ λιμένων της ΕΕ, αρχής γενομένης από την 19^η Μαΐου 2006.
- Από την 1η Ιανουαρίου 2008 έως 31 Δεκεμβρίου 2009, όριο 0,10% στην περιεκτικότητα θείου εφαρμόζεται στα MGO που χρησιμοποιούνται στα όρια της ΕΕ με ιξώδες ή πυκνότητα η οποία εμπίπτει στο εύρος του ιξώδους ή της πυκνότητας που καθορίζονται για τις ποιότητες DMX και DMA βάσει προδιαγραφών ISO 8217. Εξαιρέση αποτελούν η Ελλάδα και οι άκρως απόκεντρες περιοχές².

Από την 1η Ιανουαρίου 2010, οι διατάξεις οι οποίες προβλέπονται από την Κοινοτική οδηγία 1999/32 σχετικά με τη χρήση MGO στην επικράτεια της ΕΕ, έπαψαν να ισχύουν. Πλέον εντός της επικράτειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η περιεκτικότητα θείου όλων των τύπων καυσίμου (DMA, DMX, DMB, DMC και βαρύ μαζούτ) που χρησιμοποιούνται από πλοία ελλιμενισμένα σε ευρωπαϊκούς λιμένες και πλοία που εκτελούν εσωτερικούς πλόες, δεν θα υπερβαίνει το 0,1 % κατά μάζα. Τα παραπάνω αφορούν οποιαδήποτε χρήση του καυσίμου, π.χ. βοηθητικές μηχανές, κύριες μηχανές, λέβητες. Εξαιρέσεις θα αποτελούν οι ακόλουθες περιπτώσεις: α) όταν, σύμφωνα με τα δημοσιευμένα στις λιμενικές αρχές προγράμματα δρομολογίων, τα πλοία αναμένεται να παραμείνουν ελλιμενισμένα για λιγότερο από δυο ώρες β) μέχρι το 2012 για τα σκάφη που απαριθμούνται στο παράρτημα του άρθρου 13 της απόφασης ΑΧΣ 284/2006 και τα οποία εκτελούν υπηρεσία αποκλειστικά εντός της επικράτειας της Ελληνικής Δημοκρατίας. Τα συγκεκριμένα πλοία που εξαιρούνται είναι τα: Ariadne Palace , Ikarus Palace, Knossos Palace, Olympia Palace, Pasiphae Palace, Festos Palace, Europa Palace, Blue Star I, Blue Star II, Blue Star Ithaki, Blue Star naxos, Blue Star Paros, Hellenic Spirit, Olympic Champion, Lefka Ori, Sophoklis Venizelos. γ) τα πλοία των οποίων η λειτουργία των μηχανών έχει ανασταλεί και είναι συνδεδεμένα με

² Επτά είναι οι λεγόμενες «άκρως απόκεντρες περιοχές» (ΑΑΠ): η Γουαδελούπη, η Γουιάνα, η Μαρτινίκα και η Ρεϋνιόν (τα τέσσερα υπερπόντια διαμερίσματα της Γαλλίας) καθώς και οι Κανάριες Νήσοι (Ισπανία), οι Αζόρες και η Μαδέρα (Πορτογαλία). Οι ΑΑΠ χαρακτηρίζονται από μικρό πληθυσμό και σημαντική απόσταση από την ευρωπαϊκή ήπειρο. Η ιδιαιτερότητά τους τις καθιστά προγεφυρώματα της Ευρώπης για την ανάπτυξη των εμπορικών της σχέσεων με τις γειτονικές τρίτες χώρες, οι οποίες είναι κατά κανόνα λιγότερο ανεπτυγμένες. Χάρη, κυρίως, στις άκρως απόκεντρες περιοχές, η Ευρωπαϊκή Ένωση διαθέτει τη μεγαλύτερη θαλάσσια επικράτεια σε παγκόσμιο επίπεδο, με οικονομική ζώνη 25 εκατομμυρίων km².

παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια του ελλιμενισμού τους. Οι άκρως απόκεντρες περιοχές συνεχίζουν να εξαιρούνται από τις παραπάνω διατάξεις.



Διάγραμμα 2: Όρια επιτρεπόμενης περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα. **Πηγή:** IMO (2004), Annex VI, MARPOL

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζονται γραφικά τα ανώτατα επιτρεπτά όρια περιεκτικότητας θείου στα ναυτιλιακά καύσιμα, σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και εντός των γεωγραφικών ορίων των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών, όπως ορίζονται από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται χρήσιμο να αναφερθούμε συνοπτικά στις αρνητικές επιπτώσεις τεχνικής φύσεως οι οποίες έχουν προκύψει από την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας σχετικά με την περιεκτικότητα 0,1% θείου στα καύσιμα. Συγκεκριμένα:

1) Κόλλημα των Αντλιών Πετρελαίου

Είναι γνωστό ότι το θείο που υπάρχει στο πετρέλαιο καύσεως έχει και ευεργετικές ιδιότητες για την μηχανή και ειδικά για τις αντλίες πετρελαίου γιατί βοηθάει στη λίπανση των κινούμενων μερών και αποφεύγονται τα κολλήματα. Ήδη κυκλοφορούν αρκετά πρόσθετα στην αγορά που βελτιώνουν την λιπαντική ικανότητα των καυσίμων, ειδικά όταν το καύσιμο είναι πολύ χαμηλού θείου.

2) Χαμηλό Ιξώδες και επακόλουθες δυσκολίες καύσης

Το καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο 0,1% που προβλέπεται να χρησιμοποιείται στα λιμάνια, χαρακτηρίζεται συνήθως από ένα ιξώδες της τάξεως του 1 – 3 mm²/s. Οι μηχανές όμως μέχρι σήμερα έχουν σχεδιασθεί να χρησιμοποιούν κατά την καύση ιξώδες από 10–20 mm²/s. Η περίπτωση της αντικατάστασης του συνηθισμένου καυσίμου (HFO) από το ελαφρύ MGO στα λιμάνια θα είναι μια συχνή

πραγματικότητα. Ήδη καύσιμο πολύ χαμηλού θείου και χαμηλού ιξώδους χρησιμοποιείται και σε εγκαταστάσεις ξηράς αλλά εκεί έχουν τοποθετηθεί ψύκτες για τον σκοπό της διόρθωσης του ιξώδους του καυσίμου.

3) Θερμοκρασία και Εξαέρωση των Καυσίμων

Όταν κανείς γυρίζει μια μηχανή από χρήση καυσίμου HFO σε MGO ή MDO όπου δεν απαιτείται προθέρμανση, λόγω της υπολειμματικής θερμότητας στο κύκλωμα καυσίμου, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν προβλήματα στις αντλίες από εξαέρωση του ελαφρού καυσίμου εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας. Πρέπει λοιπόν να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή κατά το γύρισμα από HFO σε MGO ή MDO

4) Διαρροές από τις Αντλίες και Είσοδος Καυσίμου στο Λιπαντέλαιο

Οι κανονισμοί πλέον απαιτούν κατά τον ελλιμενισμό την χρήση καυσίμου με την περιεκτικότητα σε θείο 0,1%. Είναι προφανές ότι το μόνο καύσιμο που πληροί αυτούς τους όρους είναι το MGO. Είναι όμως πιθανό ότι θα υπάρχουν διαρροές καυσίμου από τις αντλίες εφ' όσον οι αντλίες είναι σχεδιασμένες για ιξώδη 10 – 20 mm²/s ενώ τα χαμηλού θείου καύσιμα έχουν ιξώδη από 1 – 3 mm²/s. Κατά την γνώμη μας τα κάτωθι μπορούν να συμβούν ως επακόλουθο των διαρροών :

- Πτώση της πίεσεως στις αντλίες
- Περιορισμός στην ποσότητα εκχύσεως καυσίμου
- Φαινόμενα Εξαερώσεως
- Διαρροές καυσίμου
- Βραδυπορία στην ανάφλεξη για μηχανές που έχουν σχεδιασθεί σύμφωνα με τους κανονισμούς NO_x.

1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Οι δύο κύριες κατηγορίες καυσίμων (oil fuel) στην ναυτιλιακή βιομηχανία είναι τα προϊόντα (distillates) και τα υπολείμματα (residual fuel oil) αποστάξεως. Πρόκειται για δύο κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις φυσικές ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης τους. Ωστόσο είτε για λειτουργικούς είτε για οικονομικούς λόγους, στις προωσθήριες εγκαταστάσεις με μηχανές ντίζελ, χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών είτε εναλλάξ είτε σε μείγματα.

Τα προϊόντα απόσταξης χωρίζονται στα Marine Gas Oil (MGO) και Marine Diesel Oil (MDO). Το Marine Gas Oil χρησιμοποιείται συνήθως σε μικρούς υψηλόστροφους κινητήρες

ντίζελ οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τύπους πλοίων. Το μαζούτ, είναι το καύσιμο με το υψηλότερο ιξώδες και ο συχνότερα χρησιμοποιούμενος τύπος αυτού στην ναυτιλία, είναι το IFO180 και IFO 380, με ιξώδες των 180 και 380 centistokes στους 50°C. Σε αντίθεση με τα προϊόντα απόσταξης, το βαρύ μαζούτ απαιτεί εγκαταστάσεις προθέρμανσης για την προετοιμασία του .

Το κυρίαρχο πρότυπο καυσίμων των πλοίων είναι ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO 8217). Υπάρχουν πρότυπα για τα προϊόντα απόσταξης (DMX, DMA, DMB και DMC) και για τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους τύπους μαζούτ IFO (180 και 380 cSt). Τα DM X και DMA θεωρούνται αντιπροσωπευτικά των Marine Gas Oils ενώ τα DMB και DMC των Marine Diesel Oils. Οι προδιαγραφές (ISO 8217) περιεκτικότητας σε θείο, το ιξώδες και πυκνότητα, συνοψίζονται στον πίνακα 2. Το Παράρτημα VI της MARPOL θέτει ως παγκόσμιο ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο το 4,5% με πρόθεση την περαιτέρω μείωσή του στο επίπεδο του 3,5% από τον Ιανουάριο του 2012 και κατόπιν σταδιακή μείωση στο επίπεδο του 0,50% από τον Ιανουάριο του 2020. Προβλέπεται επίσης από τον Ιούλιο του 2010 μείωση της περιεκτικότητας θείου, στις ζώνες SECA, από το παρόν 1,5% στο 1,00% και κατόπιν στο 0,1% από τον Ιανουάριο του 2015. Οι παραπάνω προδιαγραφές είναι αυστηρότερες από αυτή του ISO της τάξεως 5% S για τα IFO.

Παράμετροι	Προϊόντα Απόσταξης				IFO	
	DMX	DMA	DMB	DMC	RM E/F25	RM G/H35
Πυκνότητα 15°C (kg/m ³)	0,890	0,890	0,900	0,920	0,991	0,991
Ιξώδες 40°C (mm ² /s)	5,5	6	11	14	N/A	N/A
Ιξώδες 100°C (mm ² /s)	N/A	N/A	N/A	N/A	25	35
Θείο %	1	1,5	2	2	5	5

Πίνακας 2: Προδιαγραφές ISO 8217:2005. **Πηγή:** ISO (2005), Specifications of marine fuels.

1.2.1. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΝΤΙΖΕΛ

Το καύσιμο αυτό οφείλει το όνομα του στο γεγονός ότι αρχικά ήταν το μόνο καύσιμο που χρησιμοποιούνταν στις μηχανές ντίζελ κυρίως λόγω των ακόλουθων ιδιοτήτων του:

- Του χαμηλού ιξώδους, που επέτρεπε καλύτερο ψεκασμό (spray).
- Του υψηλού βαθμού καθαρότητας, που εξασφάλιζε καύση χωρίς επιβλαβή κατάλοιπα.

Σήμερα χρησιμοποιείται στο εμπόριο μόνο για υψηλόστροφες μηχανές μικρής σχετικά ισχύος, φερόμενο στο εμπόριο με το όνομα gasoil ή diesel oil. Σε όλες τις άλλες κατηγορίες

μηχανών μεγάλης ισχύος και κυρίως τις ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται βαρέα καύσιμα με βάση το μαζούτ. Το όνομα gasoil, οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για έλαιο (oil) που με εξαερίωση (πυρόλυση) παράγει αέριο (gas).

Κύριο χαρακτηριστικό του, με το οποίο διακρίνεται από τις άλλες κατηγορίες πετρελαίου που χρησιμοποιούνται στις μηχανές ντίζελ, είναι ότι αποτελεί απόσταγμα του φυσικού πετρελαίου, ανήκει δηλαδή στα ευγενή προϊόντα του. Αυτό έχει ως συνέπεια να κατατάσσεται στα καλύτερα και ακριβότερα καύσιμα MEK. Χρησιμοποιείται λοιπόν ως καύσιμο, όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που αποκλείουν τη χρήση βαρύτερων καυσίμων, που παράγονται με βάση το μαζούτ όπως π.χ.

- Υψηλή ταχύτητα περιστροφής
- Μικρές ιπποδυνάμεις
- Ευχέρεια προσαρμογής καύσεως στις απαιτήσεις φορτίου της μηχανής, όπως συμβαίνει κατά τους χειρισμούς απόπλου ή κατάπλου ενός σκάφους και γενικά ενός δύσκολου ή ειδικού πλου, όπου απαιτείται γρήγορη αυξομείωση της ισχύος της μηχανής, στην οποία μόνο το diesel μπορεί με ευχέρεια να ανταποκριθεί.

Το πετρέλαιο ντίζελ αποτελεί το τελευταίο κλάσμα του φυσικού πετρελαίου, και έχει όρια θερμοκρασιών ζέσεως 200°C – 360°C. Συνήθως δεν χρειάζεται άλλη επεξεργασία μετά την απόσταξη, και χρησιμοποιείται όπως λαμβάνεται από τον πύργο αποστάξεως. Η εξέλιξη των πετρελαιομηχανών επιβάλλει για το πετρέλαιο diesel ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες που εξασφαλίζονται με τις αντίστοιχες προδιαγραφές κατά ISO 8217.

1.2.2. MAZOYT

Το βαρύ καύσιμο συναντάται συχνά με τον όρο μαζούτ και σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας είναι μαύρο και παχύρευστο. Πρόκειται για υπόλειμμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου το οποίο δεν αποστάζει ως τους 360°C και το οποίο εξέρχεται από την βάση του πύργου αποστάξεως του διυλιστηρίου. Το γενικό όνομα του μαζούτ είναι υπόλειμμα αποστάξεως (residual fuel oil) και είναι ένα πολύτιμο καύσιμο. Είναι πολύτιμο για τους εξής λόγους:

α) Αποτελεί περίπου του 50% του φυσικού πετρελαίου.

β) Είναι φθηνό (περίπου το ½ της τιμής του ντίζελ).

Έχει ευρύτατη εφαρμογή σαν καύσιμο πετρελαιομηχανών αλλά και λεβήτων σε αντίθεση με τα υπόλοιπα προϊόντα του αργού πετρελαίου, τα οποία είναι αποστάγματα. Είναι το προϊόν του διωλιστηρίου με την χαμηλότερη τιμή πώλησης. Οι προδιαγραφές της αγοράς θέτουν περιορισμούς κυρίως στο ιξώδες και στην περιεκτικότητα σε θείο. Για την παρασκευή του μαζούτ χρησιμοποιούνται τα βαριά υπολείμματα από όλες τις διεργασίες. Στα σύγχρονα διωλιστήρια τα υπολείμματα ατμοσφαιρικής απόσταξης σπανίζουν λόγω της περαιτέρω διεργασίας που υφίστανται για την αύξηση της παραγωγής λευκών προϊόντων. Το υπόλειμμα της απόσταξης υπό κενό είναι πολύ βαρύ και δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές της αγοράς ελαφρών πετρελαιοειδών ή ναυτικών καυσίμων.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται εν μέρει με ιξωδόλυση των βαρέων υπολειμμάτων. Η πλέον συνήθης τακτική όμως είναι η ανάμιξη των βαρέων υπολειμμάτων με ελαφρά συστατικά, έτσι ώστε το τελικό προϊόν να έχει το επιθυμητό ιξώδες. Προτιμάται η χρήση gasoil που προέρχεται από πυρολυτικές διεργασίες. Για λόγους ασφάλειας, αποκλείεται η χρήση ελαφρών συστατικών, της κλάσης της βενζίνης και της κηροζίνης.

Επειδή το κόστος αποθείωσης των υπολειμμάτων είναι πολύ υψηλό και η τιμή του τελικού προϊόντος χαμηλή, προκειμένου για την παρασκευή μαζούτ, χρησιμοποιείται υπόλειμμα απόσταξης αργού πετρελαίου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο.

Ο γενικός τύπος με τον οποίο διακινείται το μαζούτ είναι Marine Fuel Oil. Γενικά το μαζούτ είναι μαύρο και παχύρευστο στις συνήθεις θερμοκρασίες (θερμοκρασία περιβάλλοντος) και ως εκ τούτου, προκειμένου να διατηρείται σε ρευστή κατάσταση στις δεξαμενές, απαιτεί προθέρμανση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 15–45°C για την άντληση και την εύκολη ροή στο δίκτυο σωληνώσεων. Το μαζούτ αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή των λιπαντικών. Παλαιότερα αναφερόταν ως πετρέλαιο λεβήτων λόγω του ότι αρχικά, πριν χρησιμοποιηθεί στις μηχανές ντίζελ, χρησιμοποιούνταν ως καύσιμο λεβήτων, δηλαδή στις μηχανές ατμού όπου και είχε εκτοπίσει την χρήση γαιανθράκων.

Στην Ελλάδα διατίθενται δύο τύποι μαζούτ, το No.1 και το No.3. Η διαφορά των δύο τύπων είναι η ρευστότητα τους. Το No.1 είναι χαμηλού ιξώδους και το No.3 υψηλού. Και οι δύο τύποι διατίθενται στην αγορά με δύο περιεκτικότητες σε θείο, χαμηλού θείου και υψηλού θείου. Οι δύο τύποι μαζούτ είναι ακόμη γνωστή στην αγορά και ως μαζούτ 1500 και μαζούτ 3500. Οι ονομασίες αυτές προέρχονται από την προδιαγραφή του ιξώδους τους σύμφωνα με τη μέθοδο Redwood η οποία όμως δε χρησιμοποιείται πλέον επίσημα.

Το μαζούτ είναι χαμηλότερης ποιότητας σε όλη την έκταση των φυσικοχημικών του χαρακτηριστικών από το ντίζελ, όπως φαίνεται και από τον ακόλουθο πίνακα με αποτέλεσμα η μετάπτωση από ντίζελ σε μαζούτ στους ναυτικούς κινητήρες να συνοδεύεται από πολλά προβλήματα λειτουργίας των πετρελαιομηχανών τα οποία καλούνται να αντιμετωπίσουν τόσο οι κατασκευαστές κινητήρων όσο και οι πλοιοκτήτες με δύο τρόπους:

α) Κατασκευαστικοί τρόποι: Οι σύγχρονες ναυτικές πετρελαιομηχανές είναι γενικά αργόστροφες και με μεγάλη ιπποδύναμη, εξοπλισμένες με συστήματα έντονου καθαρισμού και επεξεργασίας των καυσίμων, ώστε οι δυσμενείς επιδράσεις από την χαμηλή ποιότητα των καυσίμων να περιορίζονται στο ελάχιστο.

β) Λειτουργικοί τρόποι: Περιλαμβάνουν σειρά μέτρων που εκμηδενίζουν ή τουλάχιστον ελαχιστοποιούν τα προβλήματα από την ποιότητα του καυσίμου όπως είναι η χρήση φυγοκεντρικών καθαριστήρων, η τοποθέτηση φίλτρων και η προθέρμανση του καυσίμου για την διατήρηση του ιξώδες στα κατάλληλα επίπεδα.

Παράμετροι	ΜΑΖΟΥΤ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΘΕΙΟΥ		ΜΑΖΟΥΤ ΥΨΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΘΕΙΟΥ	
	Όρια Νο 1	Όρια Νο 2	Όρια Νο 1	Όρια Νο 2
Πυκνότητα στους 15°C, KG/M ³ , μέγιστο	970	980	991	980
Σημείο αναφλέξεως, ελάχιστο	66	66	66	66
Ιξώδες στους 50°C, cSt -Ελάχιστο -Μέγιστο	- 180	181 380	- 180	181 380
Ανθρακούχο υπόλειμμα, %m/m, μέγιστο	15	15	15	17
Νερό, %m/m, μέγιστο	0,5	0,5	0,5	0,5
Τέφρα, %m/m, μέγιστο	0,10	0,10	0,10	0,15
Θείο, %m/m, μέγιστο	0,7	0,7	3,2	3,2
Βανάδιο, ppm, μέγιστο	120	150	220	250
Νάτριο, ppm, μέγιστο	100	100	100	150
Ολικό Ίζημα, %m/m, μέγιστο	0,15	0,15	0,15	0,15

Πίνακας 3: Προδιαγραφές Μαζούτ. **Πηγή:** ISO (2005), Specifications of marine fuels.

1.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

1.3.1. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΙΟΥ

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, εξαρτάται από το είδος του αργού πετρελαίου από το οποίο προήλθε. Το θείο είναι ανεπιθύμητο επειδή κατά την καύση του μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου (SO_2) το οποίο είναι όξινο και διαβρωτικό και συμβάλλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Το πρόβλημα γίνεται οξύτερο όταν σχηματίζεται τριοξείδιο του θείου (SO_3) το οποίο με τους υδρατμούς των καυσαερίων μετατρέπεται σε θειικό οξύ. Με αυτόν τον τρόπο επιδεινώνονται τα προβλήματα διάβρωσης, ενώ μειώνεται επίσης και ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης εξαιτίας των καυσαερίων που εγκαταλείπουν την εγκατάσταση σε υψηλές θερμοκρασίες προκειμένου να αποφευχθεί η συμπύκνωση των όξινων καυσαερίων.

1.3.2. ΙΞΩΔΕΣ

Το ιξώδες ενός ρευστού αποτελεί ένα μέτρο της εσωτερικής του αντίστασης στη ροή. Η τιμή του ιξώδους του καυσίμου είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον υπολογισμό της πτώσης πίεσης στον σχεδιασμό του συστήματος τροφοδοσίας του κινητήρα με καύσιμο. Στα καύσιμα η τιμή του κινηματικού ιξώδους εκφράζεται συνήθως σε cSt. Η επίδραση του ιξώδους ενός καυσίμου είναι πολύ σημαντική καθώς μεγάλες τιμές αυτού καθιστούν δυσχερή την διάσπαση αυτού σε μικρά σταγονίδια και κατ' επέκταση την έγχυση του στον θάλαμο καύσεως. Εκτός από ιξώδες, υπάρχουν πολλές φυσικές ιδιότητες σημαντικές για τα καύσιμα πλοίων. Αυτές εκτείνονται από το σημείο ανάφλεξης, πυκνότητα, την υγρασία, τα κατάλοιπα του άνθρακα, κερί, θείο, τέφρα, τα ιζήματα από την εξόρυξη, αλουμίνιο, πυρίτιο και το περιεχόμενο βανάδιο, ειδική ενέργεια ή θερμική αξία, το χρώμα, το νάτριο, οι πρόσθετες ύλες, οξέα, ποιότητα ανάφλεξης, σταθερότητα και συμβατότητα.

1.3.3. ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ

Είναι μια μέτρηση της ενέργειας που ελευθερώνεται κατά την καύση του καυσίμου και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης. Ο όρος που χρησιμοποιείται είναι θερμογόνος δύναμη, και μετριέται με χρήση ειδικού θερμιδόμετρου. Εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μάζα καυσίμου. Η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται σαν ανώτερη και σαν κατώτερη, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση (υγρή και αέρια αντίστοιχα). Η διαφορά τους εξαρτάται από την περιεκτικότητα του

καυσίμου σε υδρογόνο. Η θερμογόνος δύναμη ενός καυσίμου επηρεάζεται και από την περιεκτικότητά του σε θείο, νερό και τέφρα.

1.3.4. ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

Το σημείο ανάφλεξης (flash point) ενός υγρού αποτελεί την χαμηλότερη θερμοκρασία κατά την οποία αυτό εξατμίζεται, δημιουργώντας αέριο μίγμα ικανό προς ανάφλεξη. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί μια προδιαγραφή ασφαλείας για τις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς του καυσίμου ενώ αποτελεί και μια πρώτη ένδειξη μόλυνσης με ελαφρύτερα συστατικά.

1.3.5. ΤΕΦΡΑ

Το μαζούτ ενδέχεται να περιέχει μικρές ποσότητες υλικών που μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό τέφρας κατά την καύση, όπως αιωρούμενα στερεά και διαλυτές οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές πιθανόν να δημιουργήσουν προβλήματα αποθέσεων στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου, καθώς και φθορά στις εγκαταστάσεις μεταφοράς θερμότητας. Η εναπόθεση τέφρας στις επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας εκτός από τη διάβρωση, μειώνει και το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και κατά συνέπεια την απόδοση της θερμικής εγκατάστασης.

Από τα μέταλλα που περιέχονται στην τέφρα, αυτά που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι το νάτριο και το βανάδιο. Ο λόγος είναι ότι τα οξειδία τους έχουν χαμηλό σημείο τήξης και μπορούν έτσι να μεταφερθούν και να εναποτεθούν σε διάφορα σημεία της θερμικής εγκατάστασης, προκαλώντας τα προαναφερθέντα προβλήματα διάβρωσης και μείωσης της απόδοσης.

1.3.6. ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ

Το ανθρακούχο υπόλειμμα προσδιορίζει την ποσότητα βαρέων συστατικών που υπάρχουν στο καύσιμο, και κατά τη διάρκεια της καύσης δεν οξειδώνονται πλήρως, αλλά πυρολύονται σχηματίζοντας ένα είδος αιθάλης. Το εξανθράκωμα προσδιορίζει την τάση του καυσίμου να δημιουργεί ανθρακούχες αποθέσεις. Οι ανθρακούχες αυτές αποθέσεις μειώνουν την απόδοση των ακροφυσίων ψεκασμού μειώνοντας την απόδοση του καυστήρα, ενώ ταυτόχρονα εντείνουν τη φθορά τους.

1.3.7. ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΜΑ

Το νερό δεν μπορεί να απομακρυνθεί εντελώς με απλές μεθόδους επειδή έχει παραπλήσια πυκνότητα με αυτά. Μπορεί να εισέλθει στο καύσιμο κατά τις διεργασίες παραγωγής ή από το δίκτυο αποθήκευσης και μεταφοράς.

Το υπόστημα που εμφανίζεται στα μαζούτ είναι ή ανόργανης προέλευσης, όπως σωματίδια μετάλλων και σκουριά από τις δεξαμενές αποθήκευσης ή οργανικής από τη συσσωμάτωση ολεφινών από πυρολυμένα gasoil. Το πρόβλημα του υποστήματος είναι πιο έντονο όταν το μαζούτ έχει προέλθει από ανάμιξη ενός βαρέως υπολειμματος πυρολυτικών διεργασιών με gasoil από ατμοσφαιρική απόσταξη. Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται συχνά διαχωρισμός βαρέων συστατικών (πίσσα) λόγω ασυμβατότητας μεταξύ των υδρογονανθράκων που υπάρχουν στα δύο συστατικά. Το νερό και το υπόστημα μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα λόγω διάβρωσης και φθοράς του συστήματος ψεκασμού.

1.3.8. ΣΗΜΕΙΟ ΡΟΗΣ

Το σημείο ροής ενός υγρού είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία αυτό είναι δυνατόν να ρέει. Στην περίπτωση των καυσίμων χαρακτηρίζει την κατώτατη θερμοκρασία κατά την οποία το καύσιμο παραμένει αντλήσιμο. Η πρακτική σημασία του σημείου ροής για το μαζούτ είναι ασήμαντη διότι οι θερμοκρασίες προθέρμανσης για να αποκτήσει το επιθυμητό ιξώδες είναι υψηλότερες του σημείου ροής του καυσίμου, εξασφαλίζοντας έτσι τη ρευστότητά του.

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις φυσικές ιδιότητες των ναυτιλιακών καυσίμων με τον ορισμό και την πρακτική σημασία κατά την χρήση τους.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ	ΕΡΜΗΝΕΙΑ
Ιξώδες	cSt	Αντίσταση στη ροή	Απαιτείται προθέρμανση του καυσίμου προκειμένου να είναι αντλήσιμο. Υψηλότερο ιξώδες σημαίνει κατώτερης ποιότητας καύση και ανάφλεξη.
Σημείο Ανάφλεξης	°C	Θερμοκρασία στην οποία οι υδρογονάνθρακες αναφλέγονται	Κατώτερη θερμοκρασία στην οποία εκλύεται ικανή ποσότητα υδρογονανθράκων για ανάφλεξη. Όσο χαμηλότερα βρίσκεται το σημείο ανάφλεξης ενός υγρού τόσο μεγαλύτερη είναι η ευφλεκτικότητα του.
Πυκνότητα	kg/m ³	Σχέση μεταξύ μάζας και όγκου	Μικρότερης πυκνότητας καύσιμα αποδίδουν μεγαλύτερη ενέργεια ανά μονάδα μάζας.

Περιεκτικότητα Νερού	% vol	Ποσοστό νερού	Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα νερού τόσο μικρότερη είναι η θερμική απόδοση του καυσίμου. Το νερό προκαλεί προβλήματα στην έγχυση καυσίμου και δημιουργεί κατάλοιπα στα φίλτρα εμποδίζοντας την ροή.
Κατάλοιπα Άνθρακα	% wt	Ποσότητα καταλοίπων άνθρακα μετά την	Οδηγούν σε καθυστέρηση στην καύση και υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων (βλάβη στα κινούμενα μέρη)
Ασφαλτίνες	% wt	Υδρογονάνθρακες υψηλού μοριακού βάρους	Παίζουν ρόλο στην σταθερότητα και συμβατότητα του καυσίμου. Αποτελούν βραδέως καίόμενα στοιχεία.
Κερί	°C (Cloud Point)	Ποσότητα κεριού στο καύσιμο	Καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε κερί δεν είναι εύκολο να προθερμανθούν. Ακόμα και εάν έχουν υψηλή θερμική απόδοση, προκαλούν προβλήματα στην άντληση και αποθήκευση.
Θείο	% wt	Ποσότητα θείου στο καύσιμο	Καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας θείου τείνουν να έχουν μικρή θερμική απόδοση. Σχηματίζουν διαβρωτικά οξέα στην μηχανή και στις εκπομπές καυσαερίων.
Τέφρα, Σιλκόνη και Μέταλλα	% wt	Ανόργανα υλικά	Κατάλοιπα που προκαλούν βλάβες σε κινούμενα μέρη.
Θερμογόνος Δύναμη	Cal/gram	Εκλυόμενη θερμότητα	Όσο μεγαλύτερη είναι η παραγόμενη θερμότητα καύσης ανά μονάδα μάζας του υγρού καυσίμου τόσο αποδοτικότερο είναι το παραγόμενο έργο.
Ποιότητα Ανάφλεξης	Cetane N°	Ευκολία αναφλέξεως	Μεγαλύτερος αριθμός συνεπάγεται ευκολότερη ανάφλεξη

Πίνακας 4 : Φυσικές Ιδιότητες Ναυτιλιακών Καυσίμων **Πηγή**: European Commission – Study/C.1/01/2002

1.4. ΔΙΥΛΙΣΗ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

Επειδή το αργό πετρέλαιο περιέχει εκτός από υδρογονάνθρακες και άλλες διάφορες ουσίες (θείο, μερκαπτάνες, νερό, οξυγόνο, άζωτο κ.α.) το καθιστούν πρακτικά άχρηστο σε ακατέργαστη μορφή. Η αγορά καυσίμων χρειάζεται πετρελαϊκά υλικά με επακριβώς καθορισμένα χαρακτηριστικά (βενζίνες, κηροζίνη, ντίζελ, μαζούτ, λιπαντικά έλαια) και για το σκοπό αυτό το πετρέλαιο διυλίζεται για να πάρουμε τα τελικά προϊόντα του. Τα τελικά προϊόντα της διύλισης διακρίνονται σε ενεργειακά (βενζίνες, ντίζελ και μαζούτ οικιακής χρήσης, βαρέα μαζούτ) και σε μη ενεργειακά (άσφαλοι, λιπαντικά). Η θεμελιώδης διεργασία της διύλισης είναι η συνεχής κλασματική απόσταξη, από την οποία προκύπτει μια δεκάδα βασικών πετρελαϊκών κλασμάτων με χαρακτηριστικά που βελτιώνονται κατόπιν σε άλλες εγκαταστάσεις για τον μετασχηματισμό ή τον εξευγενισμό.

Ο σκοπός ενός διυλιστηρίου πετρελαίου είναι να διαχωρίσει το αργό πετρέλαιο, αρχικά σε κλάσματα, με βάση την περιογή βρασμού κάθε κλάσματος, παίρνοντας ενδιάμεσα

ακατέργαστα προϊόντα, και στη συνέχεια να επεξεργαστεί περαιτέρω τα ενδιάμεσα αυτά προϊόντα κάνοντας τις κατάλληλες μεταξύ τους αναμίξεις για παραγωγή τελικών προϊόντων με τις επιθυμητές ιδιότητες. Οι λειτουργικές διεργασίες ενός διυλιστηρίου μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες όπως φαίνονται στο διάγραμμα 3 :



Διάγραμμα 3: Κύριες Διεργασίες Μονάδας Διύλισης Αργού Πετρελαίου

Στις αποστακτικές στήλες του αργού πετρελαίου λαμβάνουν χώρα οι κυριότερες διεργασίες ενός διυλιστηρίου. Οι στήλες αυτές χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε κλάσματα, ανάλογα με το σημείο βρασμού τους.

Απόδοση και οικονομία επιτυγχάνονται εάν η απόσταξη του αργού πετρελαίου γίνει σε δυο στάδια. Πρώτα, η απόσταξη του συνόλου του αργού πετρελαίου γίνεται πρακτικά σε ατμοσφαιρική πίεση, και κατόπιν το κλάσμα πυθμένος της ατμοσφαιρικής στήλης (ρεύμα με υψηλό σημείο βρασμού) τροφοδοτεί μια δεύτερη στήλη η οποία λειτουργεί σε υψηλό κενό (χαμηλή πίεση). Η στήλη κενού απαιτείται διότι ο θερμικός διαχωρισμός των βαρέων κλασμάτων σε ατμοσφαιρική πίεση απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες. Σε αυτές όμως τις θερμοκρασίες, λαμβάνει χώρα παράλληλα και θερμική διάσπαση των κλασμάτων αυτών, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των προϊόντων και την απώλεια υδρογονανθράκων. Η θερμοκρασία βρασμού (σημείο βρασμού) ελαττώνεται με την ελάττωση της (συνολικής ή μερικής) πίεσης. Έτσι, τα βαρύτερα κλάσματα στη στήλη κενού βράζουν σε χαμηλότερη

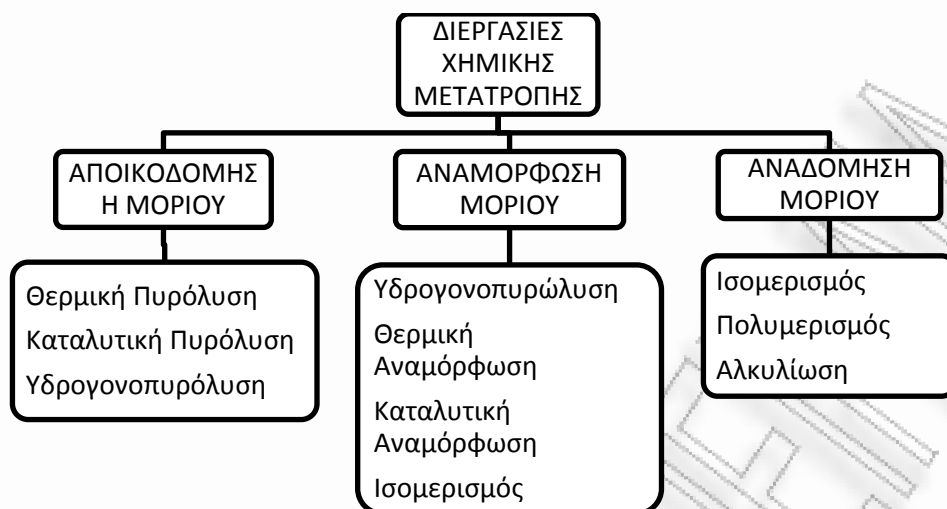
θερμοκρασία και αποφεύγεται η θερμική τους διάσπαση. Όμοια δράση έχει και η προσθήκη ατμού στη στήλη.

Πριν εισέρθει στην ατμοσφαιρική στήλη, το αργό πετρέλαιο προθερμαίνεται σε μια σειρά από εναλλάκτες θερμότητας στους 288°C με θερμική εναλλαγή, με τα προϊόντα και τα ρεύματα επαναροής της στήλης. Στη συνέχεια, το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται σε φούρνο-κλίβανο (direct-fire-furnace) στους 343-400°C, και στη συνέχεια τροφοδοτεί την ατμοσφαιρική στήλη. Η θερμοκρασία εξόδου του αργού πετρελαίου από τον φούρνο είναι αρκετά υψηλή, ώστε να έχουν ατμοποιηθεί όλα τα προϊόντα που αφαιρούνται πάνω από τον δίσκο τροφοδοσίας, και ένα 10%-20% επιπλέον από τα προϊόντα πυθμένα.

Με την κλασματική απόσταξη παράγονται διάφορα κλάσματα όπου με περαιτέρω επεξεργασία παράγονται τα τελικά προϊόντα. Το πρώτο κλάσμα ονομάζεται ακατέργαστη Νάφθα και λαμβάνεται στην περιοχή βρασμού του αργού πετρελαίου από το αρχικό σημείο βρασμού μέχρι θερμοκρασία 150-200°C, ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα της Νάφθας. Η ακατέργαστη Νάφθα περιέχει διαλυμένα αέρια (υδρογονάνθρακες 1-4 ατόμων άνθρακα) και κατόπιν επεξεργασίας δίνει ως τελικό προϊόν βενζίνη (υδρογονάνθρακες από 4 μέχρι περίπου 10 άτομα άνθρακα).

Τα επόμενα κλάσματα αποτελούν τα μέσα κλάσματα δηλαδή Κηροζίνη και Gasoil και λαμβάνονται στην περιοχή βρασμού μέχρι περίπου 370°C. Κατόπιν επεξεργασίας του Gasoil, παράγεται το Ντίζελ. Το υπόλοιπο από το αργό πετρέλαιο είναι το υπόλειμμα το οποίο δεν αποστάζει και αποτελεί την πρώτη ύλη του Μαζούτ. Οι διεργασίες διαχωρισμού του είναι φυσικές διεργασίες, δηλαδή χωρίς χημικές αντιδράσεις και επομένως σ' αυτές δεν αλλοιώνεται ο χαρακτήρας των μορίων των υδρογονανθράκων και των άλλων ενώσεων που περιέχονται στα κλάσματα του αργού πετρελαίου, ούτε κατά συνέπεια και οι ιδιότητές τους.

Αντίθετα στις διεργασίες χημικής μετατροπής, με χημικές αντιδράσεις επιτυγχάνονται διασπάσεις, αναμορφώσεις και αναδομήσεις μορίων με στόχο την παραγωγή νέων προϊόντων με βελτιωμένες ιδιότητες. Μια ταξινόμηση των διεργασιών χημικής μετατροπής δίνεται στο διάγραμμα 4 που ακολουθεί:



Διάγραμμα 4: Διεργασίες Χημικής Μετατροπής

Πρέπει να διευκρινισθεί ότι πολλές από τις χημικές αντιδράσεις που αναφέρθηκαν, πραγματοποιούνται συγχρόνως σε μια μονάδα επεξεργασίας ενός κλάσματος πετρελαίου. Η μονάδα όμως και η διεργασία χαρακτηρίζονται από τις κύριες αντιδράσεις που αποτελούν και τον στόχο της μονάδας, όπως π.χ. Μονάδα Ισομερισμού, Μονάδα Αλκυλίωσης. Στις διεργασίες χημικής μετατροπής, με ελεγχόμενες αντιδράσεις που επιτυγχάνονται με κατάλληλες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και παρουσία καταλυτών, παράγονται προϊόντα βελτιωμένων ιδιοτήτων.

Οι πυρολυτικές διεργασίες αποικοδόμησης μορίου που εφαρμόζονται σ' ένα διυλιστήριο χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, στις θερμικές και στις καταλυτικές. Οι θερμικές πυρολυτικές διεργασίες αποτελούν την πρώτη διεργασία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της απόδοσης του αργού πετρελαίου σε λευκά προϊόντα. Είναι ήπιες και επιτυγχάνουν χαμηλότερο βαθμό μετατροπής. Οι καταλυτικές πυρολυτικές διεργασίες χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό καθώς με αυτές παράγονται προϊόντα πιο σταθερά και με καλύτερες ιδιότητες.

Στην Ελλάδα υπάρχουν τέσσερα διυλιστήρια των οποίων η συνολική παραγωγή ανέρχεται σε 400 kbb/d (2002). Δύο είναι ιδιοκτησία της κρατικής εταιρείας Hellenic Petroleum, ένα ανήκει στην ανεξάρτητη εταιρεία Πετρόλα Ελλάς και ένα στην Motor Oil Hellas. Το διυλιστήριο Ασπροπύργου είναι το μεγαλύτερο με ικανότητα διύλισης 130 kbb/d, συμπεριλαμβανομένης της μονάδας καταλυτικής πυρόλυσης των 36 kbb/d, η οποία αυξάνει την ικανότητά του για επεξεργασία αργού πετρελαίου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Υπάρχει επίσης μια μονάδα ασφάλτου.

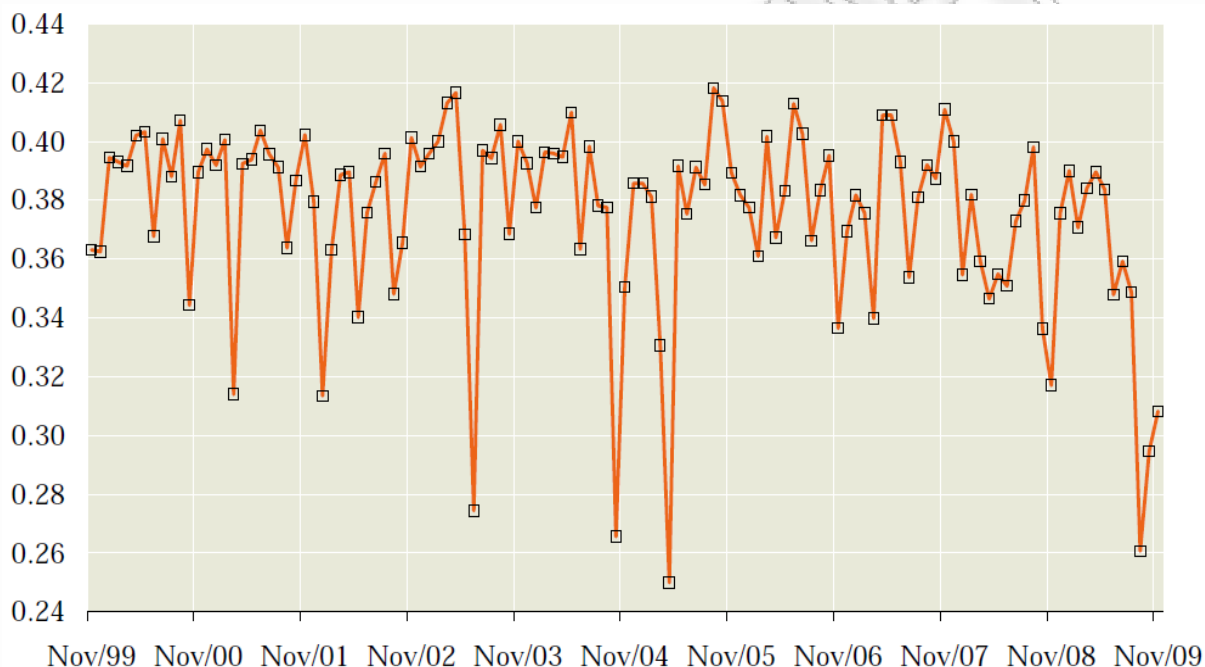
Τα δύο ιδιωτικά διυλιστήρια, (Motor Oil και Petrola Hellas), έχουν δυνατότητα διύλισης 100 kbbl /d το καθένα με κύριο προορισμό τις εξαγωγές . Το διυλιστήριο MOH διαθέτει μονάδα καταλυτικής πυρόλυσης (catalytic cracker) και το μεγαλύτερο μέρος των εισαγωγών αργού πετρελαίου προέρχεται από την Σαουδική Αραβία. Η χρησιμοποίηση καταλυτικής πυρόλυσης επιτρέπει μεγαλύτερη απόδοση σε συστατικά κατάλληλα για την παραγωγή βενζίνης, καθώς και υψηλότερο αριθμό οκτανίου αυτών των προϊόντων. Εντός του 2010 προγραμματίζεται να τεθεί σε λειτουργία η νέα μονάδα του διυλιστηρίου της Motor Oil, δυναμικότητας 60.000 βαρελιών ημερησίως. Με την προσθήκη της νέας μονάδας η συνολική παραγωγική δυναμικότητα του διυλιστηρίου θα υπερβεί τα 170.000 βαρέλια ημερησίως, δηλαδή θα είναι αυξημένη κατά 25% σε σχέση με την υφιστάμενη ετήσια παραγωγική δυναμικότητα των 7,2 εκατ. μετρικών τόνων.

Το ύψος της επένδυσης υπολογίζεται σε 180 εκ. ευρώ και μέχρι σήμερα έχουν διατεθεί 100 εκ. ευρώ, ενώ από τη λειτουργία της μονάδας αναμένονται πρόσθετα οφέλη από την υποκατάσταση εισαγωγών μαζούτ από ιδιοπαραγόμενο, από τη βελτιστοποίηση προμηθειών αργού και από τη δυνατότητα κατεργασίας νέων τύπων αργού. Από την άλλη πλευρά, το διυλιστήριο Petrola πρόσφατα έθεσε σε λειτουργία μονάδα υδρογονοπυρόλυσης (hydro cracking) που επιτρέπει την αύξηση ευελιξίας στην επεξεργασία αργού πετρελαίου του διυλιστηρίου, και συμβάλει στην κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης και επίπεδα ποιότητας.

ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ	ΤΥΠΟΣ	Δυναμικότητα kbbl/d	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΘΕΙΟΥ (%wt)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ
Ελληνικά Πετρέλαια (Ασπρόπυργος)	CC (Καταλυτική Πυρόλυση)	130	Urals	1.31	46
			Arabian	1.79	10
			Iranian Light	1.50	10
Ελληνικά Πετρέλαια (Θεσσαλονίκη)	HS (Ατμοσφαιρική Διύλιση)	68	Arabian	1.19	9
			Iranian	1.77	9
			Sarir	0.16	9
			Kirkuk	1.97	2
			Άλλο	-	5
Petrola Hellas	HC (Υδρογονοπυρόλυση)	100	Saudi Arabia	1.19-2.75	100
Motor Oil (Κόρινθος)	CC	100	N/A	N/A	N/A

Πίνακας 5 : Μονάδες Διύλισης στην Ελλάδα. **Πηγή:** European Commission – Study/C.1/01/2002

Ο Πίνακας 5 παραθέτει στοιχεία παραγωγικής δυναμικότητας κάθε διυλιστηρίου που δραστηριοποιείται στον ελλαδικό χώρο σε χιλιάδες βαρέλια ημερησίως (kbb/d). Επιπρόσθετα δίνονται οι κύριες πηγές προέλευσης αργού πετρελαίου με τα ποσοστά συμμετοχής τους και την αρχική περιεκτικότητα θείου. Στον Διάγραμμα 5 που ακολουθεί δίνεται γραφική παράσταση της ελληνικής παραγωγής διυλισμένου πετρελαίου σε εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως για μία δεκαετία (1999-2009).



Διάγραμμα 5 : Παραγωγή ελληνικών διυλιστηρίων (1999-2009). **Πηγή** : IEA (2010), Observed Refinery Crude Runs.

1.5. ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

Η πρόωση του πλοίου παρέχεται από τις κύριες μηχανές, ενώ για την ηλεκτρική ενέργεια του σκάφους απαιτούνται βοηθητικές μηχανές. Όσον αφορά το μέγεθος των εκπομπών, οι κύριες (ΜΕ) και βοηθητικές (ΑΕ) μηχανές ντίζελ κυριαρχούν με μεγάλη διαφορά, ακολουθούμενες από στροβιλοκίνητες μηχανές. Οι εκπομπές από λέβητες, μηχανές ντίζελ εκτάκτου ανάγκης και εγκαταστάσεων αποτέφρωσης αποβλήτων είναι σχετικά πολύ μικρές και μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες.

Οι κύριες και βοηθητικές μηχανές κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την ταχύτητα που αποδίδουν στον στροφαλοφόρο άξονα. Έτσι έχουμε τις υψηλόστροφες, τις μεσόστροφες και τις αργόστροφες. Οι αργών και μεσαίων στροφών κύριες μηχανές είναι πολύ πιο συνηθισμένες στην πράξη. Στις βοηθητικές μηχανές, κυριαρχούν οι υψηλές και μεσαίες στροφές. Δεδομένου ότι ο τύπος κινητήρα επηρεάζει τις επικρατούσες συνθήκες καύσης

(θερμοκρασία, το μείγμα καυσίμων, την πίεση), το επίπεδο των εκπομπών ορισμένων ρύπων επηρεάζεται επίσης (NO_x, CO κ.λπ.).

Τα πλοία καταναλώνουν ποικιλία καυσίμων χαρακτηριζόμενα κυρίως από το ιξώδες τους. Ορισμένες εκπομπές ρύπων συνδέονται αποκλειστικά με το ποσοστό παρουσίας τους στα καύσιμα, ανεξάρτητα από τις συνθήκες καύσης του κινητήρα. Παραδείγματα αποτελούν οι εκπομπές CO₂, SO₂ και μετάλλων.

Σε αυτή την ενότητα παραθέτονται εθνικά στοιχεία αναφορικά με την πορεία των ετήσιων πωλήσεων ναυτιλιακού πετρελαίου εσωτερικής κατανάλωσης από το 1983 έως το 2009. Ο σκοπός της ανάλυσης είναι ο προσδιορισμός των ποσοτήτων αέριων ρύπων από την εθνική θαλάσσια κυκλοφορία. Η δραστηριότητα αυτή περιλαμβάνει όλες τις εθνικές μεταφορές με πλοία, ανεξαρτήτως σημαίας, μεταξύ λιμένων της ίδιας χώρας. Το εύρος των εκπεμπόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι μεγάλο. Η παρούσα ανάλυση περιορίζεται στον κύριο όγκο αυτών, περιλαμβάνοντας τους πέντε κυριότερους.

Η μεθοδολογία ποσοτικοποίησης βασίζεται σε δεδομένα καταναλωθέντων ποσοτήτων καυσίμου και κατάλληλων συντελεστών εκπομπής για κάθε είδος ρύπου. Εθνικά στατιστικά στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης χρησιμοποιήθηκαν αναφορικά με τις πωλήσεις ναυτιλιακού πετρελαίου για μία σειρά ετών. Το Υπουργείο Ανάπτυξης είναι ο φορέας που έχει την ευθύνη της αναφοράς και της διατήρησης ετήσιων ενεργειακών στατιστικών στοιχείων στην Ελλάδα. Εκδίδει ετησίως στατιστικά στοιχεία για την κατανάλωση ενέργειας σε εθνικό επίπεδο και είναι επίσης υπεύθυνο για την παροχή των στοιχείων αυτών σε διεθνείς οργανισμούς, όπως ο Διεθνής Οργανισμός για την Ενέργεια (International Energy Agency/IEA) και η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (EUROSTAT). Τα στοιχεία αυτά, στη μορφή που αποστέλλονται στους παραπάνω οργανισμούς, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκπομπών από καύση καυσίμων και άλλες σχετικές με την ενέργεια δραστηριότητες.

Όσον αφορά το ναυτιλιακό πετρέλαιο, τα δεδομένα είναι κατηγοριοποιημένα σε πωλήσεις Μαζούτ (Heavy Fuel Oil) και σε πωλήσεις Ντίζελ (Distillate fuel). Αυτό είναι σημαντικό, δεδομένου ότι το είδος των καυσίμων επηρεάζει σημαντικά τις εκπομπές βαρέων μετάλλων και SO₂ ενώ είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός καθώς διαφοροποιείται ο συντελεστής εκπομπής μεταξύ αργόστροφων και μεσόστροφων ναυτικών μηχανών. Επιπρόσθετη κατηγοριοποίηση υπάρχει ανάλογα με την διάθεση του ναυτιλιακού πετρελαίου, σε εξαγωγές

και σε εσωτερική κατανάλωση. Οι εκπομπές που προκύπτουν από τις εξαγωγές ναυτιλιακού πετρελαίου ξεφεύγουν από τα πλαίσια και σκοπό της παρούσας εργασίας και ως εκ τούτου δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι συντελεστές εκπομπών με βάση τα καύσιμα, αποτελούν τιμές για τη μετατροπή των καταναλισκόμενων ποσοτήτων καυσίμου σε εκπομπές αέριων ρύπων οι οποίοι προέρχονται από τη διαδικασία της καύσης. Κατόπιν οι εκπομπές προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό της κατανάλωσης καυσίμου με τον κατάλληλο συντελεστή.

$$\text{Εκπομπές} = \text{πωληθείσες ποσότητες καυσίμων} \times \text{συντελεστής εκπομπής}$$

	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ		Lloyd's Register		MARINTEK	
	Αργόστροφες	Μεσόστροφες	Αργόστροφες	Μεσόστροφες	Αργόστροφες	Μεσόστροφες
NO_x	105,4	61,2	80,4	57,5	-	63,8
CO	3,3	2,8	8,7	7,9	-	6,1
HC	7,7	1,8	7,0	6,6	-	2,1
CO₂	-	-	3153	3165	-	3171

Πίνακας 6: Συντελεστές εκπομπής σε kg ανά τόνο καυσίμου

Ο πίνακας 6 παρουσιάζει εκπεμπόμενες ποσότητες ρύπων σε χιλιόγραμμα ανά τόνο καυσίμου βάσει επίσημων στοιχείων του Νορβηγικού Ινστιτούτου Ερευνών Θαλάσσιας Τεχνολογίας (MARINTEK), του Lloyd's Register και κατασκευαστών ναυτικών μηχανών. Τα στοιχεία αυτά είναι κατηγοριοποιημένα σε αργόστροφες και μεσόστροφες μηχανές. Κατόπιν, ο μέσος όρος αυτών χρησιμοποιείται πολλαπλασιαζόμενος με την πωληθείσα ποσότητα Μαζούτ και Ντίζελ σε ετήσια βάση. Το άθροισμα των επιμέρους ποσοτήτων μας δίνει την συνολικά εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων σε εθνικό επίπεδο ανά έτος. Οι τελικοί συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στις μεθοδολογίες που περιγράφονται στις Κατευθυντήριες Οδηγίες IPCC³ 2006 και σε αυτές του προγράμματος CORINAIR⁴ 2007. Οι συντελεστές εκπομπής που χρησιμοποιούνται προέρχονται από τις παραπάνω αναφορές και έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή τιμών. Στον Πίνακα 7 παραθέτονται συγκεντρωτικά οι τελικοί συντελεστές ανά είδος ρύπου.

³ Διακυβερνητικό Πάνελ για την Κλιματική Αλλαγή

⁴ CORe INventory AIR emissions

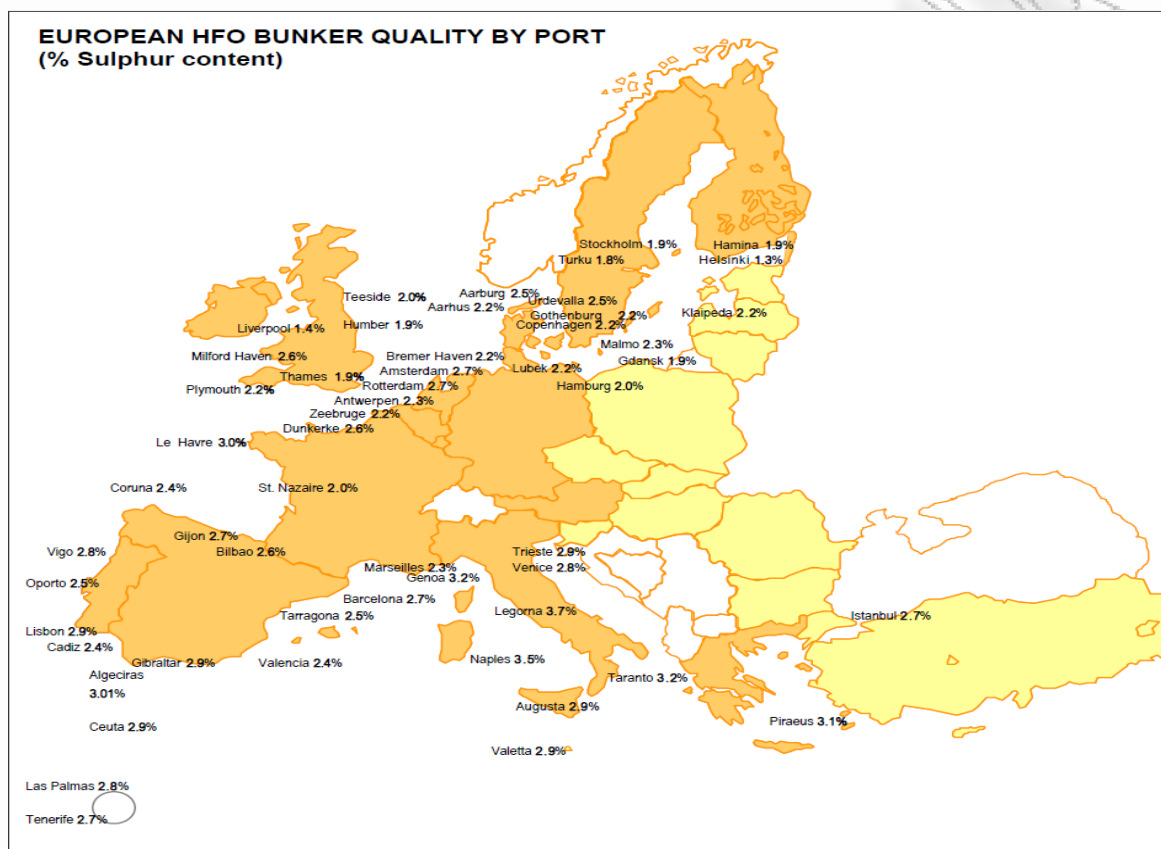
ΕΙΔΗ ΡΥΠΩΝ		ΣΥΝΤΕΛΕΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΜΠ. 95%	ΠΗΓΗ
CO ₂	Μαζούτ	3153	3159-3175	Corinair
	Ντίζελ	3168		
SO ₂	Μαζούτ	60		Corinair
	Ντίζελ	30		
CO	Μαζούτ	6	5-8	Marintek, Lloyds Register
	Ντίζελ	5,6		
NO _x	Αργόστροφες	92,9	85-96	Marintek, Lloyds Register
	Μεσόστροφες	60,83	56-63	
HC	Αργόστροφες	7,35		Marintek, Lloyds Register
	Μεσόστροφες	3,5		

Πίνακας 7 : Συντελεστές Εκπομπής

Για τον προσδιορισμό των επιπέδων των οξειδίων του θείου (SO₂) χρησιμοποιείται ο τύπος 20*S, όπου S= ποσοστιαία περιεκτικότητα θείου. Η περιεκτικότητα διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου. Βάσει δεδομένων του DNV αναφορικά με τον μέσο όρο περιεχόμενου θείου για κάθε κράτος μέλος, ως μέση περιεκτικότητα στο Μαζούτ χρησιμοποιήθηκε το 3% ενώ για το Ντίζελ το 1,5%. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίστηκαν σε σταθμισμένο μέσο όρο της περιεκτικότητας σε θείο για κάθε λιμένα, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των δειγμάτων που ελέγχθησαν. Τα παραπάνω συνδυάστηκαν με την διάταξη της Κοινοτικής Οδηγίας 2005/33/ΕΚ η οποία προβλέπει ανώτατο όριο θείου 1,5% στα καύσιμα της επιβατηγού ναυτιλίας από το 2006. Δεδομένου ότι η επιβατηγός ναυτιλία στην Ελλάδα εκτιμάται να ανέρχεται στο ποσοστό του 85% της εσωτερικής ακτοπλοΐας, κατά τον υπολογισμό των ρύπων εφαρμόστηκε όριο 1,5% στο Μαζούτ από το 2006 και ύστερα. Συνυπολογίστηκε επίσης και το γεγονός ότι η ανάλυση αφορά μια σειρά ετών (1983-2009), κατά την διάρκεια των οποίων οι διεθνείς κανονισμοί αναφορικά με τους αέριους ρύπους και τις προδιαγραφές των καυσίμων έχουν υποβληθεί σε τροποποιήσεις.

Ο χάρτης που ακολουθεί δείχνει τα κύρια σημεία πώλησης ναυτιλιακού καυσίμου στην Ευρώπη, και την εκτιμώμενη ποιότητα του μαζούτ. Τα δεδομένα βασίζονται σε δείγματα τα οποία ελήφθησαν το 2001 από το (DNV). Η μέση περιεκτικότητα θείου στις πωλήσεις Μαζούτ των ευρωπαϊκών λιμανιών, εκτιμάται σε 2,5%. Η μέση ποιότητα στις Κάτω Χώρες, τη μεγαλύτερη ευρωπαϊκή χώρα ανεφοδιασμού καυσίμων, είναι 2,6%. Η περιεκτικότητα θείου της Ιρλανδίας, Φινλανδίας, Νορβηγίας και Ηνωμένου Βασιλείου είναι 2% ή λιγότερο, ενώ οι αντίστοιχες πωλήσεις στην Ισπανία, την Πορτογαλία, την Ελλάδα και την Ιταλία

ανέρχονται στο 3%. Η μέση περιεκτικότητα σε θείο στην Βόρεια Ευρώπη υπολογίστηκε σε 2,4% ενώ ο μέσος όρος στη Μεσόγειο εκτιμάται σε περίπου 3%⁵.



Χάρτης 1: Μέση περιεκτικότητα SO₂ ανά περιοχή στην ΕΕ. **Πηγή:** Det Norske Veritas

Η τάση για τον περιορισμό του περιεχόμενου θείου στο πετρέλαιο ναυτιλίας έφτασε επί του παρόντος στο σημείο όπου σύμφωνα με τον IMO, η τριετής μέση περιεκτικότητα θείου βάσει ηλεγμένων δειγμάτων, είναι 2,46% ή και σε πάρα πολλές περιπτώσεις στην Νότιο Αμερική να είναι και κάτω από το 1%.. Αποτελέσματα δειγμάτων του 2008 τα οποία υποβλήθηκαν από τον DNV⁶ προς τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό υπέδειξαν ότι μόνο το 0,02% αυτών υπερέβησαν το ανώτατο όριο του 4,50%, καθώς επίσης ότι το 24,1% των πωληθέντων καυσίμων το 2008 είχε περιεκτικότητα σε θείο 1,50% ή μικρότερη σε σύγκριση με το 20,6% του προηγούμενου έτους.

Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει συγκεντρωτικά την διάθεση μαζούτ και ντίζελ εντός της εγχώριας αγοράς και τα αποτελέσματα από την χρήση των συντελεστών εκπομπής. Οι

⁵ European Commission – Study/C.1/01/2002

⁶ Det Norske Veritas petroleum services

ποσότητες αέριων ρύπων που προκύπτουν είναι εκφρασμένες σε τόνους . Είναι σαφές πως η τάση των αέριων ρύπων είναι αυξητική ακολουθώντας την ανοδική πορεία των πωλήσεων.

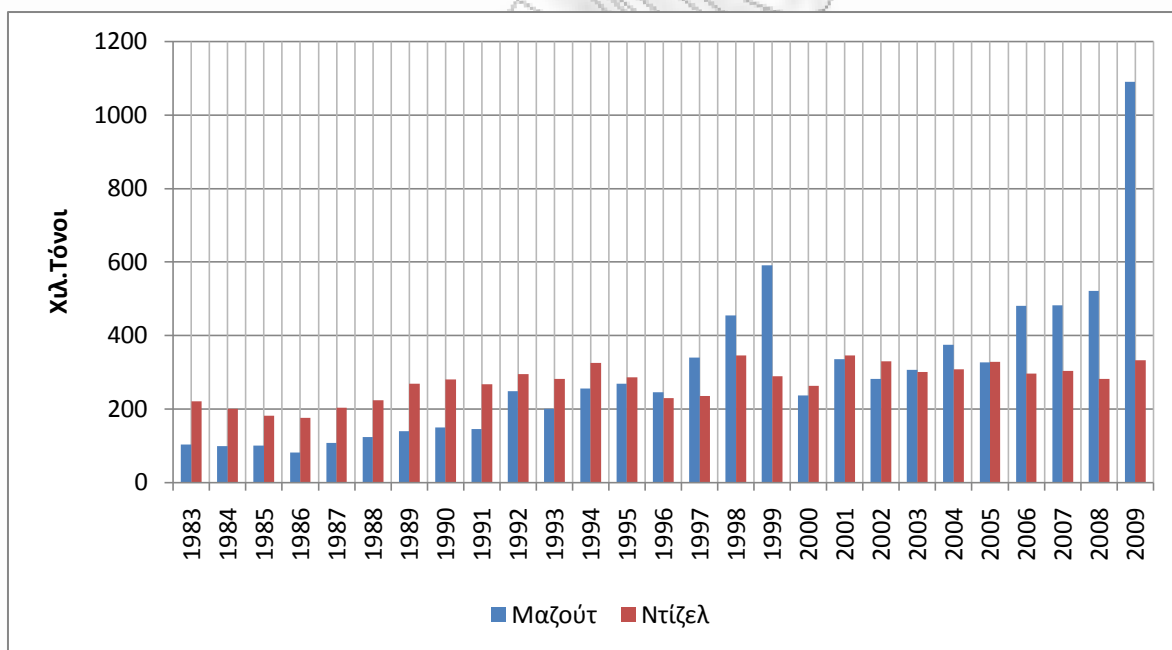
Στην συνέχεια ακολουθούν δύο διαγράμματα εκ των οποίων το ένα απεικονίζει τις εκπεμπόμενες ποσότητες των NO_x, SO₂, CO και HC και το δεύτερο τις εκπομπές CO₂ ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύεται η σημαντικότητα των εκπομπών CO₂ οι οποίοι και αποτελούν την κυριότερη μόλυνση της ατμόσφαιρας.

Έτη	ΠΩΛΗΣΕΙΣ (χιλ.τόνοι)		ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ (τόνοι)					
	ΝΤΙΖΕΛ	ΜΑΖΟΥΤ	CO ₂	SO ₂	CO	NO _x	HC	ΣΥΝΟΛΟ
1983	221	103	1024887	12810	1856	23012	1531	1064096
1984	200	99	945747	11940	1714	21363	1428	982192
1985	181	100	888708	11430	1614	20300	1369	923421
1986	175	81	809793	10110	1466	18170	1208	840747
1987	204	107	983643	12540	1784	22350	1500	1021817
1988	223	123	1094283	14070	1987	24992	1685	1137017
1989	269	140	1293612	16470	2346	29369	1971	1343768
1990	280	150	1359990	17400	2468	30967	2083	1412908
1991	267	145	1303041	16710	2365	29712	2000	1353828
1992	295	249	1719657	23790	3146	41077	2863	1790533
1993	282	201	1527129	20520	2785	35827	2464	1588725
1994	325	256	1836768	25110	3356	43552	3019	1911805
1995	286	269	1754205	24720	3216	42387	2978	1827506
1996	229	245	1497957	21570	2752	36691	2602	1561572
1997	235	340	1816500	27450	3356	45881	3322	1896509
1998	345	454	2524422	37590	4656	63163	4544	2634375
1999	289	591	2778975	44130	5164	72484	5355	2906108
2000	263	236	1577292	22050	2889	37923	2655	1642809
2001	345	335	2149215	30450	3942	52108	3670	2239385
2002	330	282	1934586	26820	3540	46272	3228	2014446
2003	301	307	1921539	27450	3528	46830	3310	2002657
2004	308	375	2158119	31740	3975	53573	3834	2251241
2005	328	326	2066982	29400	3793	50238	3544	2153957
2006	296	480	2451168	23280	4538	62598	4564	2560548
2007	303	482	2479650	23550	4589	63209	4603	2590061
2008	282	521	2536089	24090	4705	65555	4816	2650885
2009	332	1090	4488546	42660	8399	121457	9174	4702936

Πίνακας 8: Πωλήσεις ναυτιλιακού πετρελαίου και εκπομπές ρύπων στον ελλαδικό χώρο.

Το Διάγραμμα 6 απεικονίζει την εξέλιξη των πωλήσεων ναυτιλιακού πετρελαίου στον ελλαδικό χώρο σε χιλιάδες τόνους από το 1983 μέχρι το 2009. Παρατηρείται μέχρι το 1996

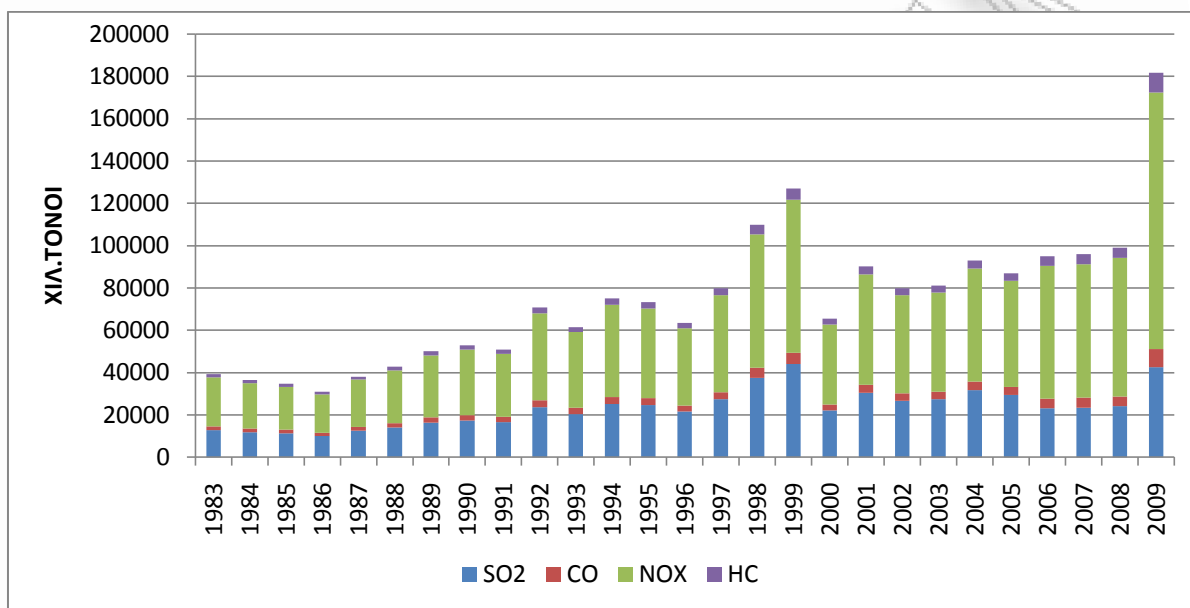
πως οι πωλήσεις Ντίζελ είναι σταθερά μεγαλύτερες από αυτές τους Μαζούτ. Η ψαλίδα κλείνει το 1996 όπου οι πωλήσεις των δυο σχεδόν εξισώνονται (229.000 Ντίζελ έναντι 245.000 Μαζούτ) ενώ από κει και πέρα σημειώνεται μια σταθερά ανοδική πορεία του Μαζούτ η οποία κορυφώνεται το 1999 όπου η διαφορά στις πωλήσεις ανέρχεται στο επίπεδο των 302.000. Την πενταετία που ακολουθεί 2000-2005 οι πωλήσεις σχεδόν εξισώνονται σε επίπεδα που κυμαίνονται μεταξύ 260.000 και 330.000. Από 2006 και ύστερα παρατηρείται μια διαρκώς αυξανόμενη διαφορά στις πωλήσεις Μαζούτ έναντι Ντίζελ η οποία κορυφώνεται ξανά το 2009 με διαφορά της τάξεως των 757.000. Σημειώνεται πως όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, οι πωλήσεις Ντίζελ κυμαίνονται σταθερά μεταξύ 175.000 και 345.000 τόνων ενώ οι πωλήσεις Μαζούτ παρουσιάζουν έντονη διακύμανση από 81.000 τόνους το 1986 σε 1.090.000 τόνους το 2009. Αυτή διαφορά θα μπορούσε να σχετίζεται με παράγοντες που έχουν να κάνουν με την ανάπτυξη της οικονομίας και την υψηλή τιμή του Ντίζελ η οποία υπαγορεύει την χρήση Μαζούτ ως κύριο καύσιμο στις θαλάσσιες μεταφορές.



Διάγραμμα 6: Πωλήσεις Μαζούτ και Ντίζελ για εσωτερική κατανάλωση 1983-2009

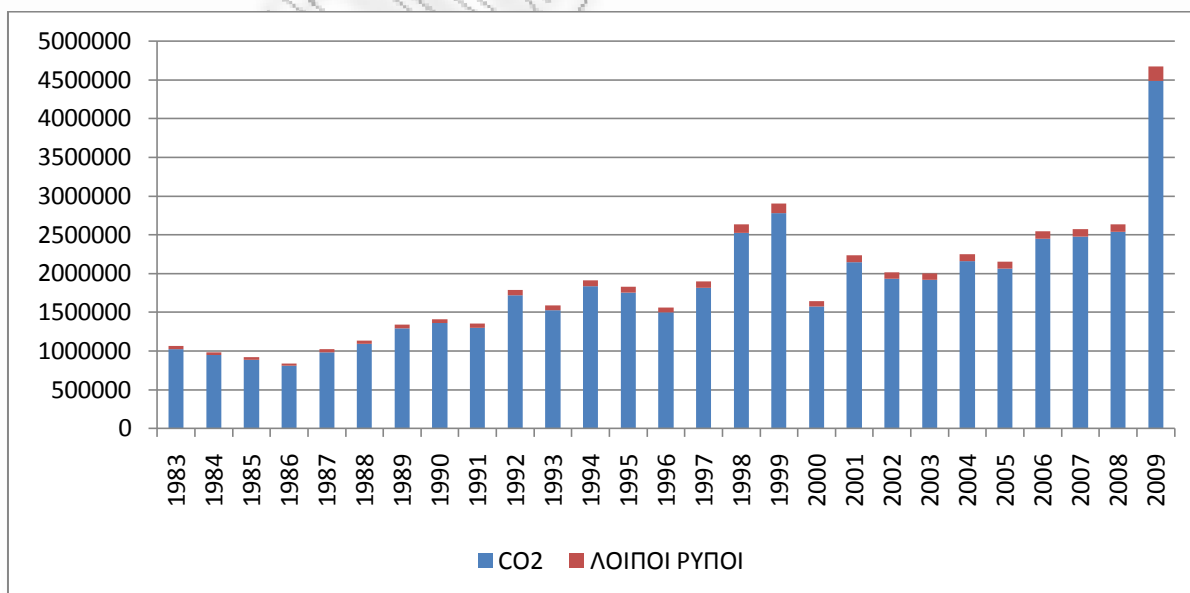
Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές NO_x, CO, HC και SO₂ ανά έτος. Όπως είναι λογικό η πορεία των εκπομπών ακολουθεί την πορεία των πωλήσεων. Έτσι λοιπόν βλέπουμε ακριβώς τις ίδιες κορυφώσεις τα έτη 1999 και 2009. Φανερή είναι επίσης και η συμμετοχή του κάθε ρύπου στις συνολικές ποσότητες. Έτσι με πρώτες τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα οι οποίες παρουσιάζονται ξεχωριστά στο Διάγραμμα 10 ακολουθούν

τα οξείδια του αζώτου, ύστερα τα διοξείδια του θείου και τέλος τα οξείδια του άνθρακα με τους υδρογονάνθρακες σε σχεδόν τα ίδια επίπεδα.



Διάγραμμα 7: Εκπομπές SO₂, NO_x, HC, CO

Το Διάγραμμα 8 δείχνει την πορεία των εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα, την συμμετοχή τους στον συνολικά εκπεμπόμενο όγκο καθώς και την σχέση με τους υπόλοιπους ρύπους. Χαρακτηριστική είναι η ποσοστιαία συμμετοχή των διοξειδίων του άνθρακα στο σύνολο των εκπομπών η οποία βρίσκεται σταθερά πάνω από το 96% με τις υπόλοιπες στο σύνολο τους να αφορούν λιγότερο από 4%.



Διάγραμμα 8: Σχέση εκπομπών CO₂ με τους υπόλοιπους ρύπους

2^ο

Κεφάλαιο

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-2

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που οι αρνητικές του συνέπειες φαίνονται στις μέρες μας. Τα αέρια του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το όζον (O₃) που εκπέμπονται από τα πλοία συντελούν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον οι λεγόμενοι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS), επηρεάζουν αρνητικά τόσο περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από την παγκόσμια εμπορική ναυτιλία είναι μέχρι στιγμής ελεύθερες και χωρίς κανονιστικό πλαίσιο που να τις περιορίζει. Όμως, όπως είναι φυσικό, οι εκπομπές αυτές τα τελευταία χρόνια είναι αντικείμενο ενδελεχούς εξέτασης από την παγκόσμια ναυτιλιακή κοινότητα και όχι μόνο.

Για τη μείωση των εκπομπών από τα πλοία έχουν θεσπιστεί κανονισμοί στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 οι οποίοι τροποποιούνται συνεχώς, καθώς και διάφορες οδηγίες και κανονισμοί από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Βέβαια δεν είναι μόνο οι κανονισμοί που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών από τα πλοία. Υπάρχουν και τεχνολογικές μέθοδοι που συντελούν σε αυτό και οι οποίες θα αναλυθούν διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, συγκεκριμένα μέτρα περιορισμού των εκπομπών CO₂ από βιομηχανικές και άλλες δραστηριότητες είναι αναγκαία για τον περιορισμό της προβλεπόμενης αύξησης των λεγόμενων «αερίων θερμοκηπίου», από τα οποία το (CO₂) είναι το πιο σημαντικό. Αν και η ναυτιλία έχει μέχρι στιγμής εξαιρεθεί από το πλαίσιο του Κιότο, είναι σαφές ότι η εποχή αυτή πλησιάζει γρήγορα στο τέλος της και μέτρα για τον περιορισμό του CO₂ αναζητούνται επείγοντως. Παράλληλα, η ευρύτερη ανάλυση μέτρων για άλλα αέρια

θερμοκηπίου (όπως CH₄ και N₂O), καθώς και για αέρια άλλου τύπου (όπως SO₂, NO_x και άλλα) είναι πολύ ψηλά στην ατζέντα όχι μόνο του ΙΜΟ, αλλά και άλλων φορέων με κανονιστική αρμοδιότητα (Ευρωπαϊκή Ένωση, μεμονωμένα κράτη, κλπ).

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), και το όζον (O₃) είναι τα κύρια αέρια που εκπέμπονται από τα πλοία. Ταυτόχρονα γίνεται και μία προσπάθεια ανάλυσης των ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία και τι επιπτώσεις έχουν στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου. Οι ρύποι αυτοί είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCS).

2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που αναμένεται να επηρεάσει τόσο τις σύγχρονες γενιές αλλά κυρίως τις επόμενες. Η αλλαγή του κλίματος που έχει παρατηρηθεί σε παλαιότερες χρονικές περιόδους αποδίδεται σε φυσικούς παράγοντες (αλλαγές στην τροχιά της Γης, στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κτλ.). Τα τελευταία χρόνια όμως έχουν σημειωθεί αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο αποτελεί το βασικό λόγο εμφάνισης της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει το Διακυβερνητικό Πάνελ για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC), λέγοντας κλιματική αλλαγή εννοούμε οποιαδήποτε μεταβολή που παρατηρείται στο κλίμα με το πέρασμα του χρόνου, είτε οφείλεται σε φυσικές επιδράσεις, είτε προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτός ο ορισμός διαφέρει από αυτόν που δίνει η Διεθνής Συνθήκη-Πλαίσιο για την Αλλαγή του Κλίματος (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), κατά τον οποίο η Κλιματική Αλλαγή αναφέρεται σε αλλαγές του κλίματος που αποδίδονται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες μεταβάλλουν τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και παρατηρούνται, όπως και οι φυσικές διακυμάνσεις, σε συγκρίσιμα χρονικά διαστήματα. Βασική μορφή εμφάνισης της κλιματικής αλλαγής αποτελεί η θέρμανση της Γης. Η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης με τη σειρά της επιφέρει αρνητικές συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον, στους έμβιους οργανισμούς και τα οικοσυστήματα αλλά ακόμη και στην ανθρώπινη κοινωνία και οικονομία. Η κύρια αιτία εμφάνισης της θέρμανσης της Γης και γενικότερα της κλιματικής αλλαγής είναι το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου». Με τον όρο φαινόμενο του θερμοκηπίου εννοείται η παρεμπόδιση λόγω απορρόφησης της εκπεμπόμενης

υπέρυθρης ακτινοβολίας από τη Γη στο διάστημα εξαιτίας της παρουσίας της ατμόσφαιρας. Αναλυτικότερα, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη διεισδύει μέσω της ατμόσφαιρας και τμήμα αυτής απορροφάται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης. Το υπόλοιπο τμήμα της ηλιακής ενέργειας επανεκπέμπεται στο διάστημα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όμως τα αέρια της ατμόσφαιρας, γνωστά και ως Αέρια του Θερμοκηπίου, εμποδίζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία να διαφύγει στο διάστημα και την συγκρατούν εντός της ατμόσφαιρας. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι να αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αλλά και της επιφάνειας της Γης, συμβάλλοντας στην εμφάνιση της κλιματικής αλλαγής.

Όσον αφορά τους ανθρωπογενείς παράγοντες, η επίδρασή τους στο κλίμα είναι παγκόσμια και οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Αυτή πραγματοποιείται είτε με άμεση εκπομπή αερίων στην ατμόσφαιρα εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ή με έμμεσο τρόπο, δηλαδή με την πρόκληση αλλαγών στις χημικές διεργασίες της ατμόσφαιρας, που οδηγούν σε μεταβολές της συγκέντρωσης μερικών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εκτός από τη συγκέντρωση των αερίων στην ατμόσφαιρα, σημαντικό ρόλο στην κλιματική αλλαγή κατέχει και ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα.

Βέβαια όσον αφορά τον ανθρώπινο παράγοντα δεν πρέπει να παραλείψουμε τις εκπομπές ρύπων που παίζουν σημαντικό ρόλο όχι τόσο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου όσο στην αλλοίωση της ατμόσφαιρας. Αυτή η αλλοίωση της ατμόσφαιρας έχει συνέπειες αρνητικές τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στο περιβάλλον. Μιλάμε δηλαδή για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους για τους οποίους γίνεται εκτενής αναφορά τα τελευταία χρόνια.

2.2 ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση γενικά και ειδικότερα από τις εκπομπές των πλοίων είναι ένα φαινόμενο το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα. Οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην καύση των καυσίμων και ιδιαίτερα του άνθρακα. Διάκριση υφίσταται μεταξύ ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου και έχει αναφερθεί ότι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) συγκαταλέγεται στα αέρια του θερμοκηπίου και όχι όπως έχει επικρατήσει λανθασμένα στους ρύπους. Ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση παίζουν ρύποι όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), οι πτητικές

οργανικές ενώσεις τα λεγόμενα (VOCS), το όζον (O₃) καθώς και τα αιωρούμενα σωματίδια. Ακολουθεί λεπτομερής αναφορά των αερίων και των ρύπων που εκπέμπονται από τη ναυτιλία και επηρεάζουν το περιβάλλον.

2.2.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO₂)

2.2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα θεωρείται αέριο το οποίο εμφανίζεται να έχει αυτήν την περίοδο μία συγκέντρωση της τάξης των 380 ppm με συνεχή αυξητική τάση για το μέλλον. Να σημειωθεί ότι η μάζα της γήινης ατμόσφαιρας είναι 5.141018 kg, ενώ η συνολική μάζα του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα είναι 10350 kg (3.000 γιγατόνους). Η συγκέντρωσή του ποικίλλει ανάλογα με την εποχή του χρόνου και φυσικά είναι μεγαλύτερη στις αστικές περιοχές.

Στους ωκεανούς υπάρχει περίπου 50 φορές περισσότερος άνθρακας με τη μορφή CO₂ και παράγωγα υδροξειδίου του CO₂ από ότι υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Αυτό συμβαίνει διότι οι ωκεανοί ενεργούν ως τεράστιος νεροχύτης άνθρακα, που έχει απορροφήσει το ένα τρίτο όλων των ανθρώπινων-παραγόμενων εκπομπών μέχρι σήμερα.

2.2.1.2. ΤΟ CO₂ ΩΣ ΑΕΡΙΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το CO₂ είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που διατηρούν ζεστή την ατμόσφαιρά μας. Ευθύνεται παγκοσμίως για τουλάχιστον 69% του ενισχυμένου φαινομένου των αερίων του θερμοκηπίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το CO₂ ευθύνεται περίπου για τα 2/3 της παγκόσμιας υπερθέρμανσης που προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθώς και ότι για να αποφευχθεί η επικίνδυνη κλιματική αλλαγή, θα πρέπει μέχρι το 2050 να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών παγκοσμίως κατά 60-80% . Ειδικότερα στις βιομηχανικές χώρες, το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί τουλάχιστον το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Ακόμη το ποσοστό διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα το 2005 (379 ppm) υπερβαίνει κατά πολύ τα φυσικά όρια των τελευταίων 650.000 ετών (180 - 300 ppm).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο Πίνακας 9 στον οποίο φαίνονται οι 10 πρώτες χώρες με τις μεγαλύτερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ενδεικτικά να αναφέρουμε ότι από την έρευνα που έκανε ο Οργανισμός Ανάλυσης CO₂ των Ηνωμένων Εθνών (Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC) και δημοσιεύτηκε το 2006 διαπιστώθηκε ότι οι

ετήσιες εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων ανέρχονται στους 27,245,758 χιλιάδες μετρικούς τόνους .

ΚΑΤΑΤΑΞΗ	ΧΩΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ (ΧΙΛ. ΜΕΤΡΙΚΟΙ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (%)
-	ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	27,245,758	100%
1	Η.Π.Α.	6,049,435	22,2%
2	ΚΙΝΑ &	5,010,170	18,4%
-	ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ	4,001,222	14,7%
3	ΡΩΣΙΑ	1,524,993	5,6%
4	ΙΝΔΙΑ	1,342,962	4,9%
5	ΙΑΠΩΝΙΑ	1,257,963	4,6%
6	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	860,522	3,1%
7	ΚΑΝΑΔΑΣ	639,403	2,3%
8	ΑΓΓΛΙΑ	587,261	2,2%
9	ΝΟΤΙΑ ΚΟΡΕΑ	465,643	1,7%
10	ΙΤΑΛΙΑ	449,948	1,7%

Πίνακας 9 : Κατάταξη περιοχών ανάλογα με την συμβολή τους στις εκπομπές CO₂. **Πηγή :** CDIAC (2006)

Σε ότι αφορά την Ελλάδα να σημειώσουμε ότι βρίσκεται στην 40η θέση σε σύνολο 207 χωρών με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα να ανέρχονται στους 96,695 χιλιάδες μετρικούς τόνους. Ακόμη σύμφωνα με τον Οργανισμό ανάλυσης CO₂ των Ηνωμένων Εθνών ο οποίος εδρεύει στις Ηνωμένες Πολιτείες (Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDIAC) οι εκπομπές CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι αρκετά μεγάλες στις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες

2.2.1.3. ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ CO₂

Η κύρια πηγή εκπομπής ρύπων από τα πλοία προέρχεται από την καύση του καυσίμου. Η καύση γενικά ορίζεται ως μια εξώθερμη χημική αντίδραση ενός υλικού καυσίμου με οξυγόνο, η οποία συντελείται με αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης θερμότητας, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη υπό μορφή θερμότητας ενέργεια, να είναι τεχνικά εκμεταλλεύσιμη. Κατά την καύση, η χημική ενέργεια του καυσίμου, μετατρέπεται σε θερμική, ενώ το οξυγόνο που απαιτείται για την διεξαγωγή της, λαμβάνεται συνήθως από τον αέρα του περιβάλλοντος. Η καύση είναι μια χημική διαδικασία, κατά την οποία τα συστατικά του καυσίμου οξειδώνονται ταχύτατα από το οξυγόνο που περιέχει ο αέρας καύσης. Τα περισσότερα

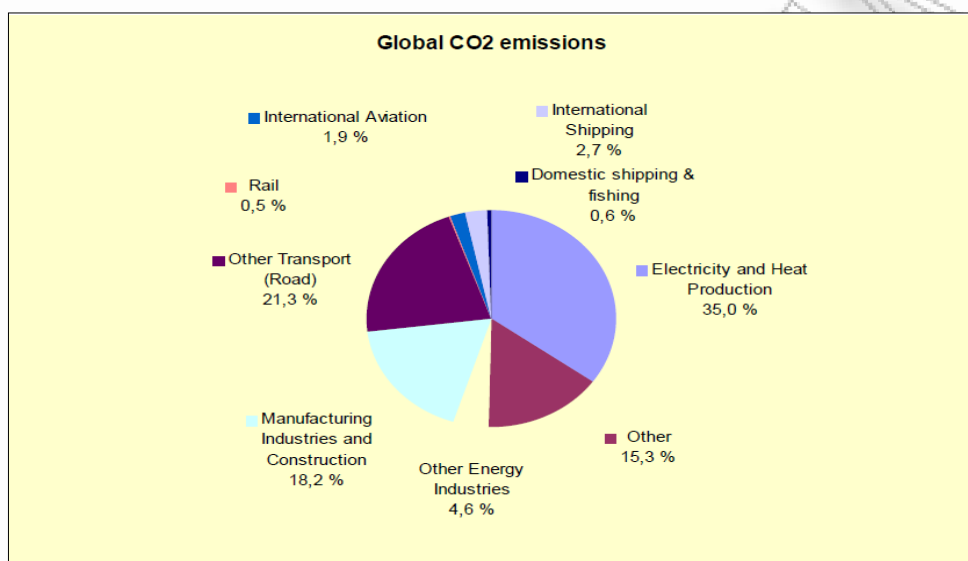
καύσιμα περιέχουν κυρίως άνθρακα (C), υδρογόνο (H) και σε μικρότερες ποσότητες θείο (S). Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα, μπορούν να απεικονισθούν με τη χρήση χημικών αντιδράσεων, οι οποίες δίνουν πληροφορίες τόσο για τις σχετικές ποσότητες των ατόμων που αντιδρούν, όσο και για τα προϊόντα της καύσης.

Η ναυτιλία έχει αποδειχθεί, εν γένει, να είναι ένα ενεργειακά αποδοτικό μέσο μεταφορά σε σύγκριση με άλλους τρόπους. Ωστόσο, δεν είναι όλες οι μορφές της ναυτιλίας αποτελεσματικότερες από όλες τις άλλες μορφές μεταφορών. Τον Απρίλιο του 2009 ο ΙΜΟ εξέδωσε τα αποτελέσματα της αναθεωρημένης έκθεσής του για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία⁷ :

- Η ναυτιλία εκτιμάται πως είναι υπεύθυνη για την εκπομπή 1.046 εκατ. τόνων CO₂ το 2007, η οποία αντιστοιχεί στο 3,3% των παγκόσμιων εκπομπών κατά το 2007. Περισσότερα από 870 εκατομμύρια τόνους CO₂ εκτιμάται ότι διοχετεύτηκαν στην ατμόσφαιρα από τις δραστηριότητες της ποντοπόρου ναυτιλίας, ποσοστό που αντιστοιχεί περίπου στο 2,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ το 2007.
- Τα καυσαέρια αποτελούν την κύρια πηγή εκπομπών των πλοίων. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται από τα πλοία. Τόσο από την άποψη της ποσότητας όσο και από την πλευρά της δυναμικής που έχει το CO₂ να θερμαίνει τον πλανήτη, καθιστά τις υπόλοιπες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα πλοία, λιγότερο σημαντικές.
- Βραχυπρόθεσμα σενάρια εκπομπών δείχνουν ότι, μέχρι το 2050, χωρίς την υιοθέτηση ρυθμιστικού πλαισίου, οι εκπομπές των πλοίων μπορεί να αυξηθούν κατά 150% έως 250% (σε σύγκριση με τις εκπομπές το 2007) ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης στον τομέα της ναυτιλίας.
- Λύσεις για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου μέσω τεχνικών και επιχειρησιακών μέτρων είναι υπαρκτές. Εάν εφαρμοστούν συνδυαστικά, τα μέτρα αυτά θα μπορούσαν να αυξήσουν την αποδοτικότητα και να μειώσουν το ποσοστό των εκπομπών κατά 25% έως 75% σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα.
- Εάν η κλιματική αλλαγή σταθεροποιηθεί σε μια αύξηση της τάξεως των 2°C συγκριτικά με τα προβιομηχανικά επίπεδα μέχρι το 2100, και οι εκπομπές από τη

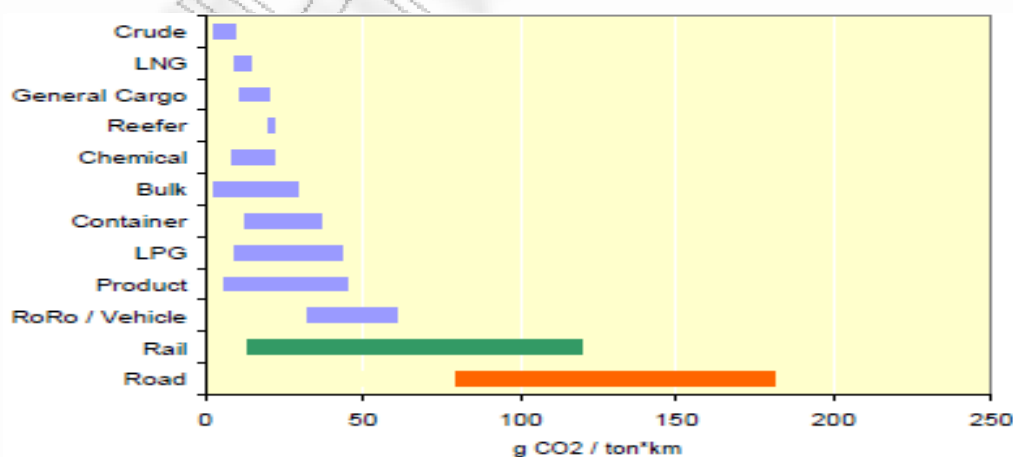
⁷ 2^η Έκθεση ΙΜΟ για τα Αέρια του Θερμοκηπίου 2009

ναυτιλία συνεχιστούν όπως προβλέπουν τα σενάρια, τότε μέχρι το 2050 οι εκπομπές CO₂ θα αποτελούν το 12% με 18% του παγκόσμιου συνόλου εκπομπών CO₂.



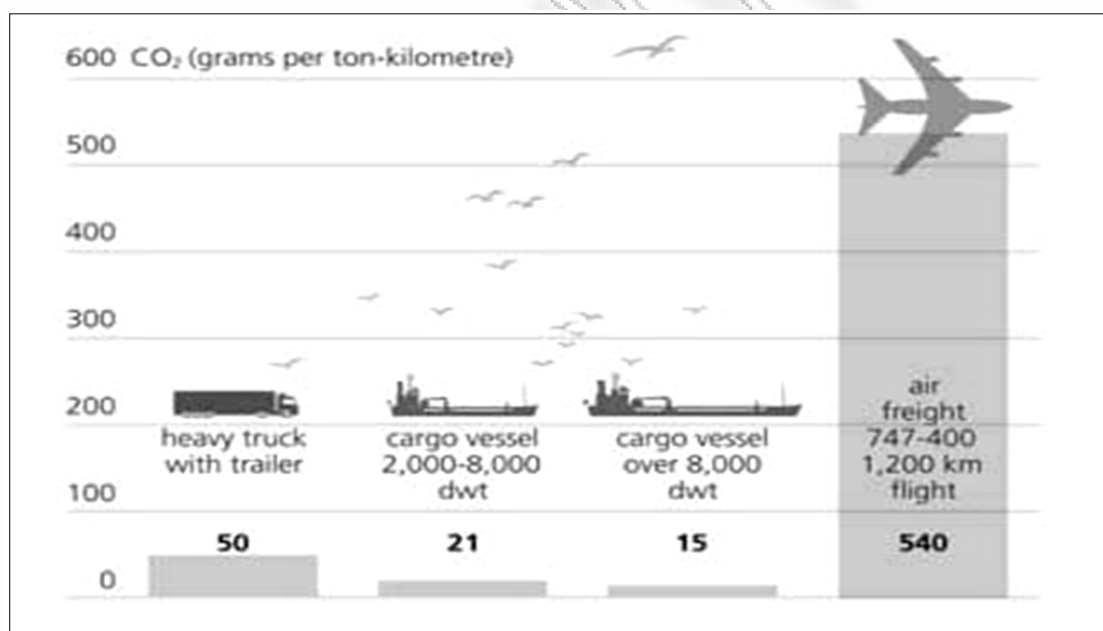
Γράφημα 9: Εκπομπές CO₂ ανά τομέα δραστηριότητας σε παγκόσμιο επίπεδο. **Πηγή:** IMO (2009), GHG Study.

Στο Γράφημα 9 φαίνεται σχηματικά το ποσοστό CO₂ που αναλογεί στη ναυτιλία καθώς και τα επιμέρους ποσοστά συμμετοχής των άλλων πηγών εκπομπής CO₂. Βάσει της πραγματικής λειτουργία των εμπορικών πλοίων που δραστηριοποιήθηκαν σε διεθνή ταξίδια κατά το έτος 2007, περίπου 843 εκατομμύρια τόνοι CO₂ εκτέμφθηκαν στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο 2,7% των παγκοσμίων εκπομπών από όλες τις πηγές. Αν επιπρόσθετα ληφθεί υπόψη η λειτουργία των πλοίων που εκτελούν εσωτερικά ταξίδια και των αλιευτικών σκαφών, το ποσοστό δεν θα ξεπερνούσε το 3,3% επί συνόλου των εκπομπών (1.019 εκατομμύρια τόνοι/έτος).



Γράφημα 10: Συγκριτική παρουσίαση αποδοτικότητας CO₂ μέσω μεταφοράς. **Πηγή:** IMO (2009), GHG Study.

Στο Γράφημα 10 παρουσιάζεται συγκριτικά η αποδοτικότητα, από πλευράς εκπομπών CO₂, διαφορετικών τύπων πλοίων και οδικών μέσων μεταφοράς. Η αποδοτικότητα εκφράζεται ως ποσότητα CO₂ σε γραμμάρια ανά τονο-χιλιόμετρο, όπου η ποσότητα του CO₂ εκφράζει το σύνολο των εκπομπών από τη δραστηριότητα και το τονο-χιλιόμετρο εκφράζει την μεταφορά ενός τόνου φορτίου για ένα χιλιόμετρο. Η αποδοτικότητα εκτιμήθηκε βάσει στατιστικών δεδομένων μεταφορών καθώς και πραγματικών λειτουργικών δεδομένων. Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται το τυπικό μέσο εύρος για κάθε μία από αυτές. Η τιμή αυτή δεν απεικονίζει την μέγιστη (ή ελάχιστη) απόδοση που μπορεί να παρατηρηθεί. Παρατηρούμε ότι η ναυτιλία σε σχέση με τα άλλα μέσα μεταφοράς παράγει σημαντικά λιγότερο CO₂ για το έργο που πραγματοποιεί. Οι μεγαλύτερες εκπομπές CO₂ ανά τονο-χιλιόμετρο προέρχονται από τις οδικές μεταφορές ακολουθούμενες από τις σιδηροδρομικές.



Γράφημα 11: Εκπομπές CO₂ ανά μέσο μεταφοράς. **Πηγή:** IMO (2009), GHG Study.

Στο Γράφημα 11 δίνεται ακόμα μια συγκριτική παρουσίαση των εκπομπών CO₂ με διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς. Παρατηρούμε ότι ένα φορτηγό πλοίο 2,000-8,000 DWT εκπέμπει 21 γραμμάρια CO₂ για έναν τονο-χιλιόμετρο, ενώ σε μεγαλύτερα μεγέθη οι εκπομπές CO₂ πέφτουν στα 15 γραμμάρια. Την ίδια στιγμή οι εκπομπές κατά τη μεταφορά φορτίου από ένα φορτηγό και από ένα αεροπλάνο του οποίου τα χιλιόμετρα της πτήσης είναι 1,200, ανέρχονται στα 50 και 540 γραμμάρια αντίστοιχα.

2.2.2 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO₂)

2.2.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα πλοία σε αντίθεση με τις εκπομπές του (CO₂) ευθύνονται για τις όξινες εναποθέσεις που μπορεί να είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον καθώς και για υλικό σωματιδιακού χαρακτήρα που μπορεί να βλάψει την υγεία.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρουσιαστεί μια αύξηση του ενδιαφέροντος για τα φαινόμενα μεταφοράς μεγάλης κλίμακας και για τις παγκόσμιες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Πρώτα στη Βόρεια Ευρώπη και έπειτα στη Νοτιοανατολική Αμερική ανακαλύφθηκε ότι οι μεγάλες εκπομπές των πρωτογενών ρύπων όπως είναι το διοξείδιο του θείου υπόκεινται σε χημικές μεταβολές στην ατμόσφαιρα. Αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν σε αποστάσεις εκατοντάδων ή και χιλιάδων χιλιομέτρων από την πηγή (πάντα προς την κατεύθυνση του ανέμου) στο σχηματισμό χημικών ενώσεων, τους λεγόμενους δευτερογενείς ρύπους, που είναι υπεύθυνοι για ορισμένα σοβαρά αποτελέσματα όπως η όξινη εναπόθεση ή πιο γνωστή ως όξινη βροχή.

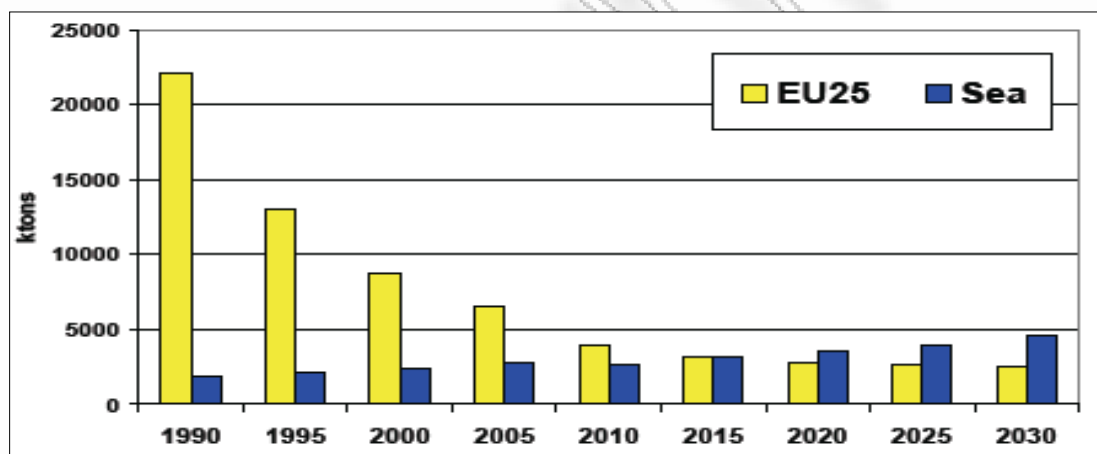
2.2.2.2. SO₂ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Όπως αναλύθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην Ευρώπη τα όρια του θείου προσδιορίζονται από τον κανονισμό της MARPOL και την Κοινοτική Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 2005.

Σύμφωνα με έρευνα των: The European Environmental Bureau (EEB), The European Federation for Transport and Environment (T&E), Seas At Risk (SAR), The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain η οποία δημοσιεύτηκε το 2004 υπολογίστηκε ότι οι εκπομπές θείου το 2000 από τη διεθνή ναυτιλία έφτασαν σε 2,6 εκατομμύρια τόνους, ενώ το 2010 θα ανέρχονταν σε 2,85 εκατομμύρια τόνους. Στο Γράφημα 14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής καθώς και οι προβλέψεις των εκπομπών μέχρι το 2030. Όπως παρατηρούμε για τις εκπομπές των κρατών της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου αναμένεται να έχουν μειωθεί αρκετά μεταξύ 2010 και 2030 συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Τα μέτρα που έχουν θεσπιστεί για τις εκπομπές από τις οδικές μεταφορές (EURO) παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση αυτή. Κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να ισχύει για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου από τα πλοία στις οποίες παρατηρείται μικρή αύξηση κάθε χρόνο, φτάνοντας το 2030 να ξεπερνούν τις οδικές μεταφορές.

Ο Κανονισμός 14 του παραρτήματος VI της MARPOL αφορά τις εκπομπές SO_x. Όπως αναλύθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, τα επίπεδα επιτρεπόμενων εκπομπών SO_x βρίσκονται στο 4,5% παγκοσμίως και 1,5% κατά μάζα για τις περιοχές SECA. Εναλλακτικά, τα πλοία μπορεί να χρησιμοποιήσουν ένα σύστημα καθαρισμού καυσαερίων. Επί του παρόντος το σύστημα αυτό εφαρμόζεται μόνο με τη μορφή δοκιμών πρωτοτύπου σε έναν πολύ περιορισμένο αριθμό πλοίων.

Η περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα των πλοίων παρακολουθείται από το Πρόγραμμα Παρακολούθησης Θείου του IMO, το οποίο προβλέπεται από το παράρτημα VI της MARPOL. Σε αυτό το πρόγραμμα τα δεδομένα συλλέγονται από εργαστήρια δοκιμών τα οποία αναλύουν τα δείγματα καυσίμων σε εμπορική βάση. Τα αποτελέσματα του προγράμματος παρουσιάζονται από την MEPC σε ετήσια βάση.



Γράφημα 12: Εκπομπές διοξειδίου του θείου της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πηγή: Swedish NGO Secretariat on Acid Rain (2004).

Τα ωκεανοπόρα πλοία συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές του οξειδίου του θείου. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2020 οι συνεισφορές αυτών των σκαφών στις εκπομπές διοξειδίου του θείου θα ξεπεράσουν τις συνολικές εκπομπές που προέρχονται από τα επίγεια μέσα. Στον παρακάτω Πίνακα 10 φαίνεται η συνεισφορά που έχουν κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του θείου αλλά και οξειδίων του αζώτου από τα πλοία ⁸.

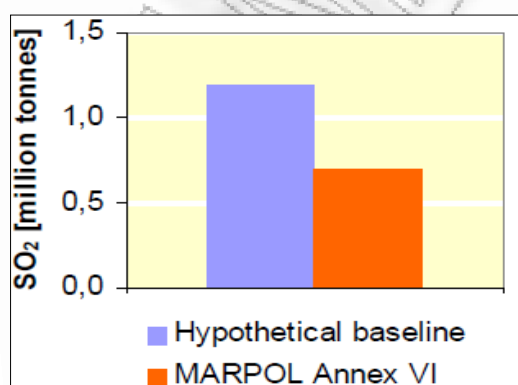
⁸ Air pollution from Ships, a document by: The European Environmental Bureau (EEB), The European Federation for Transport and Environment (T&E), Seas At Risk (SAR), The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, November 2004

Θείο		NO _x	
Ολλανδία	16 %	Πορτογαλία	23 %
Σουηδία	15 %	Ελλάδα	22%
Νορβηγία	14%	Ιρλανδία	22 %
Αγγλία	12 %	Ισπανία	18 %
Πορτογαλία	11 %	Ιταλία	17 %
Ιταλία	11 %	Αγγλία	16 %
Γαλλία	11 %	Σουηδία	16 %
Δανία	11 %	Νορβηγία	16 %
Βέλγιο	11 %	Γαλλία	14 %
Ιρλανδία	10 %	Δανία	13 %
Φινλανδία	9 %	Ολλανδία	13 %

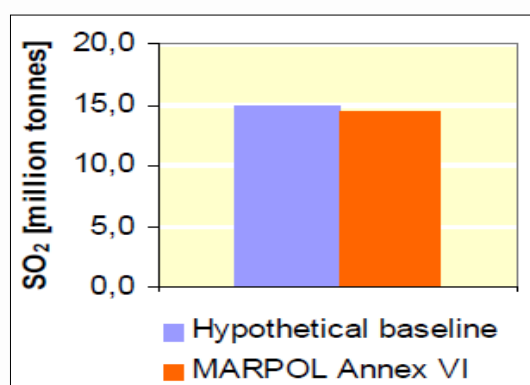
Πίνακας 10 : Ποσοστιαία συμμετοχή της ΕΕ στις εκπομπές SO₂ από τα πλοία.

Είναι ευρέως παραδεκτό ότι το όριο 4,50% στην περιεκτικότητα θείου δεν μειώνει πρακτικά τις παγκόσμιες εκπομπές, καθώς περιεκτικότητα που να υπερβαίνει αυτό το επίπεδο ήταν πολύ σπάνια ακόμα και πριν ο εν λόγω κανονισμός να τεθεί σε ισχύ. Στη σπάνια περίπτωση που αυτή υπερβεί το 4,50%, εύκολα μπορεί να μειωθεί μέσω ανάμιξης με πετρέλαιο χαμηλότερης περιεκτικότητας θείου.

Οι SECAs ωστόσο παρουσιάζουν σημαντικά αποτελέσματα στις εκπομπές θείου. Βάσει των στοιχείων της 2^{ης} έκθεσης του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου, η κατανάλωση καυσίμου εντός των SECA ανέρχεται στο 8% της παγκόσμιας κατανάλωσης του 2008. Το έτος 2008 επιλέχθηκε γιατί υπήρξε η πρώτη χρονιά όπου και οι δύο ζώνες SECA βρίσκονταν σε ισχύ. Η περιεκτικότητα θείου εντός των ζωνών το 2008 ήταν 1,5% για το Μαζούτ και 0,5% για το Ντίζελ. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα Γραφήματα 13 και 14, όπου παρουσιάζεται η μείωση των εκπομπών θείου ύστερα από την εφαρμογή του Κανονισμού 14 του Παραρτήματος VI της MARPOL τόσο σε παγκόσμια κλίμακα όσο και εντός των SECA.



Γράφημα 13 : Μείωση εκπομπών θείου εντός SECA



Γράφημα 14 : Μείωση εκπομπών θείου παγκοσμίως.

Πηγή: IMO (2009), 2nd GHS

2.2.2.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ SO₂

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι ένας από τους κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας. Είναι αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειώδες οξύ. Σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO₃, το οποίο μετατρέπεται σε θειικό οξύ H₂SO₄, κύριο συστατικό της όξινης βροχής. Προέρχεται κύρια από τις καύσεις, όταν το καύσιμο (στερεό ή υγρό) περιέχει θείο (περίπτωση καυσίμων στα πλοία). Άλλες σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές διοξειδίου του θείου είναι η διύλιση πετρελαίου και η βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων.

Όσον αφορά την όξινη βροχή χρειάζεται να αναφερθούν κάποια συμπεράσματα που έχουν προκύψει γι' αυτό το φαινόμενο. Η όξινη βροχή λοιπόν είναι ένα φαινόμενο που οφείλεται στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και κατά το οποίο ποσότητες κυρίως θειικού και νιτρικού οξέος φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενες με τη βροχή, το χιόνι, την ομίχλη, το χαλάζι κ.λπ., με καταστρεπτικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα. Κύρια αιτία για το σχηματισμό της όξινης βροχής είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), που εκλύεται από βιομηχανίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, καθώς και τα οξείδια του αζώτου (NO_x) που προέρχονται από τα καυσαέρια των μέσων μεταφοράς, περιλαμβανομένων και των πλοίων. Η ένωση αυτή αντιδρά με το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν αντίστοιχα θειικό (H₂SO₄) και νιτρικό οξύ (HNO₃), τα οποία στη συνέχεια, διαλυμένα στο νερό της βροχής ή στα σταγονίδια της ομίχλης κ.λπ., προσβάλλουν το έδαφος, το νερό, τα φυτά, τα ζώα και τα κτίσματα.

Το SO₂ και τα NO_x μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια των ανέμων και να δημιουργήσουν όξινη βροχή χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους. Το νερό της βροχής φυσιολογικά έχει pH 6,5 έως 5,6. Το pH είναι το μέγεθος που δηλώνει αν ένα διάλυμα είναι ουδέτερο (pH=7), όξινο (pH μικρότερο του 7) ή αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7). Το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4,6 και 4, ενώ κατά καιρούς μετριούνται και πιο ακραίες τιμές του pH (έως και 2,4). Φυσικά, συνδυασμός SO₂ και NO_x αποτελεί τον πρόδρομο εμφάνισης της όξινης βροχής, η οποία σχετίζεται με την οξίνιση του εδάφους, των λιμνών και ρεμάτων-χειμάρρων, την επιτάχυνση της διάβρωσης κτιρίων και μνημείων, καθώς και τη μείωση της ορατότητας.

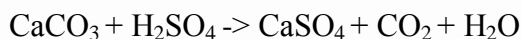
Το πρόβλημα της όξινης βροχής άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα έντονο από τη δεκαετία του 1970 και μετά. Ιδιαίτερα καταστρεπτική έχει θεωρηθεί η επίδρασή της στα φυτά και

ειδικότερα στα δέντρα, που λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής τους εκτίθενται μακροχρόνια σε αυτήν. Τα φύλλα ή οι βελόνες των δέντρων κιτρινίζουν και πέφτουν, ο μεταβολισμός τους διαταράσσεται και το ριζικό σύστημα υφίσταται βλάβες, με αποτέλεσμα να προσλαμβάνονται μικρότερες ποσότητες θρεπτικών αλάτων και νερού. Επιπλέον, το ίδιο το έδαφος υποβαθμίζεται, γιατί τα οξέα που φτάνουν σε αυτό σε μεγάλη ποσότητα καταστρέφουν τους ωφέλιμους μικροοργανισμούς, διαλύουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων που κατόπιν απομακρύνονται με το νερό της βροχής και απελευθερώνουν τοξικά για τα φυτά βαρέα μέταλλα (κυρίως ιόντα αργιλίου και μαγγανίου). Ως συνέπεια όλων αυτών είναι, βέβαια, η εξασθένηση των δέντρων, που γίνονται ευάλωτα σε βακτήρια, ασθένειες κ.λπ. και τελικά πεθαίνουν.

Οι οικολογικές επιδράσεις της όξινης βροχής μπορούν να φανούν καθαρά και σε οικοσυστήματα που είναι εξαρτημένα απ' το νερό, όπως ποτάμια, λίμνες και βάλτους, καθώς αυτή πέφτει κατ' ευθείαν πάνω στους «κατοίκους» των περιοχών. Οι περισσότερες λίμνες και τα ποτάμια έχουν pH μεταξύ 6 και 8, αν και μερικές λίμνες είναι από φυσικού τους όξινες, ακόμη και χωρίς το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή αρχικά επηρεάζει τις ευαίσθητες περιοχές του νερού, που βρίσκονται σε μέρη των οποίων το έδαφος έχει περιορισμένη ικανότητα να εξουδετερώνει τις όξινες ενώσεις (ονομάζεται «χωρητικότητα αφομοίωσης»). Οι λίμνες και τα ποτάμια γίνονται όξινα (δηλαδή, η τιμή του pH πέφτει) όταν το νερό και το έδαφος που το περιβάλλει δεν μπορεί να αφομοιώσει αρκετά την όξινη βροχή ώστε να την εξουδετερώσει. Σε περιοχές όπου η χωρητικότητα αφομοίωσης είναι χαμηλή, η όξινη βροχή απελευθερώνει άργιλο από το έδαφος μέσα στις λίμνες και τα ποτάμια. Ο άργιλος είναι πολύ τοξικός για πολλά είδη υδρόβιων οργανισμών.

Η όξινη βροχή προκαλεί μια σειρά επιδράσεων που βλάπτουν ή σκοτώνουν κάποια είδη ψαριών, μειώνοντας έτσι τον πληθυσμό τους ή ακόμη και εξολοθρεύοντας ένα ολόκληρο είδος από κάποιον υδροβιότοπο, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την βιοποικιλότητα. Καθώς το νερό της όξινης βροχής ρέει μέσω του εδάφους στις λίμνες και τα ποτάμια μια περιοχής, απελευθερώνεται άργιλος από το έδαφος. Έτσι, καθώς το pH σε μια λίμνη μειώνεται, οι ποσότητες του αργίλου αυξάνονται. Το χαμηλό pH μαζί μετά αυξημένα επίπεδα αργίλου είναι πολύ τοξικά για τα ψάρια. Επιπλέον, η συνεχής πίεση που θα ασκηθεί, μπορεί να μην σκοτώσει απευθείας κάποια είδη ψαριών, αλλά οδηγούν σε μικρότερο βάρος σώματος και μειωμένο μέγεθος, κάνοντας τα έτσι λιγότερο ικανά στο να ανταγωνιστούν για την τροφή και τη διαμονή τους σε ένα μέρος.

Επιπλέον η όξινη βροχή καταστρέφει κτίρια, μνημεία και αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), όπως ασβεστόλιθος, μάρμαρο κ.λπ. Το θειικό οξύ που περιέχεται στην όξινη βροχή ενώνεται με το ασβέστιο και δίνει γύψο (CaSO_4), σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση :



Έτσι, το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε γύψο, ο οποίος στη συνέχεια ενώνεται με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας ή το νερό της βροχής, φουσκώνει και σκάει, με τελικό αποτέλεσμα τη διάβρωση ή την αποσάθρωση του υλικού. Το θειικό οξύ επιδρά επίσης και στις εξωτερικές υαλογραφίες των κτιρίων, καθώς αποχρωματίζει και θαμπώνει το γυαλί. Καταστροφές μνημείων εξαιτίας της όξινης βροχής έχουν σημειωθεί σε πάρα πολλές χώρες και σε όλον τον κόσμο. Χαρακτηριστικά να αναφέρουμε το κίνδυνο που διατρέχουν τα μνημεία στην Ακρόπολη από την όξινη βροχή. Τα μάρμαρα αυτά έχουν υποστεί Ζαχαροειδή ή περικρυσταλλική φθορά. Η φθορά αυτή εμφανίζεται στις περιοχές της επιφάνειας, που είναι εκτεθειμένες στη βροχή. Οφείλεται στην όξινη προσβολή του μαρμάρου από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και κατά κύριο λόγο στα οξείδια του θείου και του αζώτου που, παρουσία του νερού της βροχής, μετατρέπονται σε αραιά οξέα (όξινη βροχή). Η φθορά αυτή εκδηλώνεται με την προσβολή των κόκκων του μαρμάρου, που οδηγεί στην απώλεια της συνοχής τους και την τελική πτώση τους

Σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις που έχουν τα οξείδια του θείου πάνω στον άνθρωπο. Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιαγγειακές και χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις (όπως η βρογχίτιδα ή το εμφύσημα), τα άτομα που πάσχουν από άσθμα, καθώς και τα μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Αντίθετα η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε ψηλές συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου μπορεί να προκαλέσει βρογχοσπασμούς, πνευμονικό οίδημα, βρογχική ανάφλεξη, ερεθισμούς στα μάτια και αυξημένη αντίσταση στις εναέριες οδούς των ενηλίκων που είναι υγιείς.

2.2.3. ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO_x)

2.2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι εκπομπές των NO_x προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και κυρίως από αυτήν της καύσης, όπου το NO σχηματίζεται από αντίδραση μεταξύ του αζώτου (N) και του οξυγόνου (O₂) στο περιβάλλον της καύσης. Οι κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες εκπομπής που προέρχονται από πηγές καύσης, είναι οι μεταφορές (οδικές, αεροπορικές, θαλάσσιες). Η ποσότητα σχηματισμού οφείλεται στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας της διαδικασίας της καύσης. Μικρές ποσότητες NO₂ (συνήθως <10%) εκπέμπονται κατευθείαν από την καύση. Τα NO_x βέβαια εκπέμπονται και από φυσικά φαινόμενα όπως είναι τα ηφαίστεια και οι κεραυνοί. Να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι τα οξειδία του αζώτου (NO_x) ανήκουν στους πρωτεύοντες (πρωτογενείς) αέριους ρύπους γιατί παράγονται άμεσα. Το άζωτο υπάρχει στην ατμόσφαιρα με τις εξής μορφές:

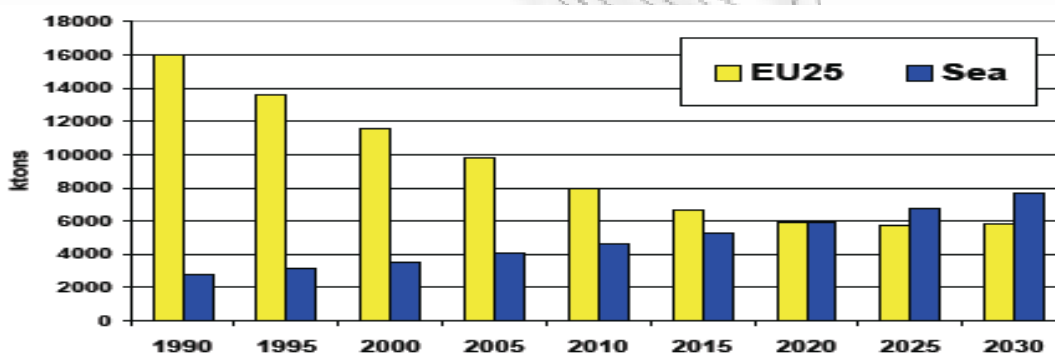
- αμμωνία (NH₃),
- αμμώνιο (NH₄),
- υποξείδιο του αζώτου (N₂O),
- μονοξείδιο του αζώτου (NO),
- διοξείδιο του αζώτου (NO₂),
- νιτρώδες οξύ (HNO₂),
- νιτρικό οξύ (HNO₃),
- ελεύθερες ρίζες (NO⁻³).

2.2.3.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO_x ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ

Τον Οκτώβριο 2008 σε συνεδρίαση στο Λονδίνο ο Διεθνής Θαλάσσιος Οργανισμός (IMO) έλαβε κάποιες αποφάσεις τόσο για τα SO_x όσο και για τα NO_x (MEPC 58). Τα κράτη-μέλη που απαρτίζουν τον IMO συμφώνησαν να εφαρμόσουν πιο αυστηρά μέτρα όσον αφορά τις εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στα πλαίσια της Σύμβασης MARPOL (Παράρτημα VI). Αυτά τα μέτρα αφορούν τόσο τις μηχανές των υπαρχουσών πλοίων όσο και τις μηχανές των πλοίων που πρόκειται να κατασκευαστούν στο μέλλον. Καταστρώθηκε ένα

χρονοδιάγραμμα για τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί από το 1990 έως το 2000, για τα πλοία που έχουν ή θα έχουν κατασκευαστεί από το 2000 έως το 2011 καθώς και για τα πλοία που θα κατασκευαστούν από το 2016 και ύστερα.

Ένα μεγάλο μέρος των ρύπων συμπεριλαμβανομένων και των οξειδίων του αζώτου που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κοντά στις παραθαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης προέρχεται από τις εκπομπές των πλοίων που πλέουν σε εκείνα τα μέρη. Οι εκπομπές του ατμοσφαιρικού ρύπου NO_x από τα σκάφη που συμμετέχουν στο διεθνές εμπόριο στις θάλασσες που περιβάλλουν την Ευρώπη όπως είναι η Βαλτική, η Βόρεια Θάλασσα, το βορειοανατολικό μέρος του Ατλαντικού, η Μεσόγειος, και η Μαύρη Θάλασσα υπολογίστηκε ότι ανέρχεται στα 3,6 εκατομμύρια τόνους το έτος 2000⁹. Στον Γράφημα 15 παρουσιάζονται οι παρούσες και εκτιμώμενες εκπομπές NO_x για μια σειρά ετών για τις επίγειες¹⁰ και θαλάσσιες μεταφορές.



Γράφημα 15: Εκπομπές NO_x από τη ναυτιλία και τα επίγεια μέσα μεταφοράς στην ΕΕ. **Πηγή:** EEB (2004)

Παρατηρείται ότι ενώ οι εκπομπές NO_x που οφείλονται στα επίγεια μέσα μεταφοράς (οδικές μεταφορές) ακολουθούν πτωτική πορεία σε σχέση με το έτος 1990, κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται για τις εκπομπές των πλοίων. Η μείωση των εκπομπών από τα επίγεια μέσα μεταφοράς οφείλεται στις οδηγίες που έχει εκδώσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τα πρότυπα εκπομπής με τα οποία οφείλουν να συμμορφώνονται τα επίγεια μέσα μεταφοράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την οδηγία Euro 3 και ύστερα έχουν εκδοθεί οι οδηγίες Euro 4 (2005) και η οδηγία Euro 5 η οποία άρχισε να εφαρμόζεται από το 2008. Στη ναυτιλία ωστόσο παρατηρείται αύξηση όσον αφορά τις εκπομπές NO_x σε σύγκριση με το 1990 ενώ η

⁹ Air pollution from Ships, a document by: The European Environmental Bureau (EEB), The European Federation for Transport and Environment (T&E), Seas At Risk (SAR), The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, November 2004

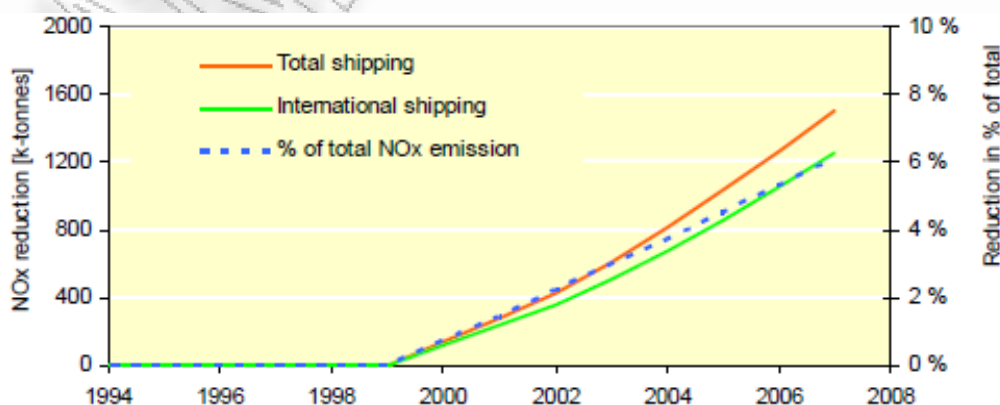
¹⁰ Οδηγίας Ευρωπαϊκής Ένωσης (Euro 3 (2000) For Any Vehicle-98/69/EC)

πρόβλεψη για το 2010 είναι ότι οι εκπομπές θα αυξηθούν ακόμα περισσότερο με μια συνεχώς αυξανόμενη τάση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της 2^{ης} Έκθεσης του IMO για τα Αέρια του Θερμοκηπίου μείωση κατά περίπου 12-14% ανά τόνο καταναλισκόμενου καυσίμου καταγράφηκε για τις μηχανές οι οποίες συμμορφώνονται με το πρότυπο Tier I, εν συγκρίσει με προγενέστερες κατασκευές (Tier0). Το έτος 2007, περίπου το 40% της εγκατεστημένης ισχύος μηχανών του παγκόσμιου στόλου είχε κατασκευαστεί μετά την 1^η Ιανουαρίου 2000 και ως εκ τούτου θεωρείται ότι συμμορφώνεται με το πρότυπο Tier I. Η καθαρή μείωση των διεθνών εκπομπών NO_x από τα πλοία, το 2007 ήταν επομένως περίπου 6% συγκριτικά με Tier 0 . Ωστόσο, εκτιμάται ότι οι εκπομπές NO_x από τη διεθνή ναυτιλία να έχουν αυξηθεί από 16 εκατομμύρια τόνους το 2000 σε 20 εκατομμύρια τόνους το 2007. Η ακόλουθη γραφική παράσταση απεικονίζει την πορεία των εκπεμπόμενων NO_x μετά την εφαρμογή του Κανονισμού 13 της MARPOL, και ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τις ποσότητες NO_x οι οποίες μειώθηκαν σε χιλιάδες τόνους, μετά την εφαρμογή του Κανονισμού 13.

Έτος	Σύνολο	Διεθνώς	%
2000	140	116	0,7
2001	282	235	1,5
2002	428	356	2,2
2003	610	508	3,0
2004	816	679	3,7
2005	1031	857	4,5
2006	1268	1055	5,3
2007	1504	1251	6,1
Σύνολο 2000-2007	5940	4941	3,4

Πίνακας 11: Ετήσια μείωση των εκπομπών NO_x σε χιλ. τόνους ύστερα από την εφαρμογή του Καν.13. **Πηγή:** IMO (2009)



Γράφημα 16: Ετήσια μείωση των εκπομπών NO_x ύστερα από την εφαρμογή του Καν.13. **Πηγή:** IMO (2009)

2.2.3.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ NO_x

Το άζωτο, που αποτελεί το 78% του όγκου της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξειδία του αζώτου κατά την καύση σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που σχηματίζεται. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα το διοξείδιο έχει δριμεία μυρωδιά και κόκκινο-κίτρινο-καστανό χρώμα. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και δημιουργεί τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Τα οξειδία του αζώτου συμμετέχουν στην εμφάνιση ποικιλίας αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, όπως οι σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης υδροβιοτόπων και χερσαίων εκτάσεων, η εμφάνιση της όξινης βροχής, η οξίνιση και ο ευτροφισμός γλυκών υδάτων, η μειωμένη ορατότητα, η αύξηση επιπέδων τοξινών σε διάφορα είδη ψαριών και άλλων υδρόβιων ζώων. Όταν λέμε ευτροφισμό γλυκών υδάτων εννοούμε ότι οι συγκεντρώσεις θρεπτικών αλγών είναι μεγάλες και η διαύγεια του νερού πολύ χαμηλή. Η άλγη είναι ένας φωτοσυνθετικός οργανισμός που χρειάζεται νερό, θρεπτικά συστατικά και φυσικά φως για να δημιουργηθεί και να αναπτυχθεί περιέχει χλωροφύλλη, έχουν απλές αναπαραγωγικές δομές, και οι ιστοί τους δεν διαφοροποιούνται σε ρίζες, μίσχους ή φύλλα. Η παραγωγή ψαριών σε τέτοιες συνθήκες μπορεί να παραμένει μεγάλη μέχρι κάποιο όριο ευτροφισμού αλλά η ποικιλία τους είναι περιορισμένη. Στην περίπτωση δηλαδή του ευτροφισμού γλυκών υδάτων έχουμε πλεόνασμα θρεπτικού αζώτου είτε υπό μορφή αμμωνίας (NH₃) είτε υπό μορφή οξειδίων του αζώτου με αποτέλεσμα την απώλεια της βιοποικιλότητας¹¹.

Εξίσου σημαντικές επιπτώσεις έχουν τα οξειδία του αζώτου πάνω στον άνθρωπο. Η περιορισμένη διαλυτότητα τους επιτρέπει να διεισδύσουν βαθιά στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Οι ενοχλήσεις μπορούν να αρχίσουν από χαμηλές συγκεντρώσεις των 15 ppm (ppm: μέρη στο εκατομμύριο), με τσούξιμο στα μάτια και στη μύτη. Από 25 ppm αρχίζουν οι αναπνευστικές ενοχλήσεις, με βήχα, δύσπνοια, πόνους στο στήθος, βήχα με κίτρινο επίχρισμα ή αίμα, κνάνωση, πυρετό, κρίση άσθματος, αυξημένο αναπνευστικό ρυθμό, τραχειοβρογχίτιδα, βρογχοπνευμονία και πνευμονικό οίδημα. Έκθεση σε 150-200 ppm μπορεί να οδηγήσει σε θανατηφόρα πνευμονική ίωση. Το διοξείδιο του αζώτου αντιδρά

¹¹ Ανακοίνωση της Επιτροπής στο συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, Θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση, {SEC(2005) 1132}

επίσης με την αιμοσφαιρίνη δημιουργώντας αδρανείς ενώσεις, με κύρια την μεθαιμοσφαιρίνη, της οποίας τα επίπεδα χρησιμοποιούνται και σαν ένδειξη του ύψους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μονοξείδιο και διοξείδιο του αζώτου. Μ' αυτό τον τρόπο εμποδίζεται η οξυγόνωση των ιστών. Το αποτέλεσμα είναι ταχυπαλμία υπέρταση και καρδιακή αρρυθμία.

2.2.4. ΠΗΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

2.2.4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις ή αλλιώς Volatile Organic Compounds (VOCs) είναι οργανικές ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο οπότε μπορούμε να πούμε ότι είναι μίγματα υδρογονανθράκων. Όπως είναι γνωστό τα περισσότερα συστατικά της βενζίνης και των άλλων πετρελαϊκών προϊόντων είναι υδρογονάνθρακες που διαίρονται σε δύο κυρίως κατηγορίες:

- τους αλειφατικούς,
- τους αρωματικούς

Η ομάδα των αλειφατικών υδρογονανθράκων περιέχει τα αλκάνια, τα αλκένια (ολεφίνες) και τα αλκύνια. Τα αλκάνια (κορεσμένοι υδρογονάνθρακες) είναι αδρανή και γενικά δεν λαμβάνουν μέρος στις ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Τα αλκένια (ολεφίνες) είναι ακόρεστα και πολύ ενεργά στην ατμοσφαιρική φωτοχημεία. Τα αλκένια (όπως π.χ. το αιθυλένιο) με παρουσία ηλιακού φωτός αντιδρούν με το διοξείδιο του αζώτου σε υψηλές συγκεντρώσεις και σχηματίζουν δευτερογενείς ρυπαντές, όπως το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN) και το όζον (O_3). Τα αλκύνια, αν και πολύ ενεργά, είναι σχετικώς σπάνια και έτσι δεν απασχολούν τη μελέτη της ρύπανσης του αέρα.

Η ομάδα των αρωματικών υδρογονανθράκων είναι βιοχημικά και βιολογικά ενεργή ενώ μερικοί από αυτούς είναι καρκινογόνοι. Όλα τα αρωματικά παράγονται από το βενζόλιο ή σχετίζονται με αυτό. Αν και τα αρωματικά δεν δείχνουν τη χημική δραστηριότητα των ακόρεστων αλειφατικών υδρογονανθράκων εξετάζονται σε κάθε μελέτη της ρύπανσης του αέρα επειδή πολλές απ' αυτές τις ενώσεις αποδείχθηκαν καρκινογόνες. Τέτοιες ενώσεις εκπέμπονται και από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων.

Οι υδρογονάνθρακες που παρουσιάζονται στην ατμόσφαιρα είναι φυσικής και ανθρωπογενούς προελεύσεως. Οι πιο πολλοί φυσικοί υδρογονάνθρακες προέρχονται από βιολογικές πηγές αν και μικρές ποσότητες αυτών προέρχονται και από γεωθερμικές δραστηριότητες, από ανθρακωρυχεία, από φυσικό αέριο πετρελαιοπηγών και από πυρκαγιές. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές υδρογονανθράκων είναι οι βιομηχανίες (κυρίως τα διυλιστήρια πετρελαίου) και σε μικρότερο βαθμό οι μεταφορές συμπεριλαμβανομένων και των πλοίων.

2.2.4.2. ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Οι εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOCs), ρυθμίζονται από τον κανονισμό 15 του Παραρτήματος VI της MARPOL. Ο Κανονισμός ασχολείται με τον τρόπο με τον οποίο τα λιμάνια και οι τερματικοί σταθμοί που βρίσκονται υπό την δικαιοδοσία των μελών του Παραρτήματος, χειρίζονται τις εκπομπές VOC κατά την διάρκεια της φόρτωσης των δεξαμενόπλοιων. Το πιο απτό αποτέλεσμα του Κανονισμού είναι η εισαγωγή τυποποιημένων σωληνώσεων επιστροφής VOC, οι οποίες επιτρέπουν στα δεξαμενόπλοια να διοχετεύουν τις εκπομπές VOC στην ξηρά κατά τη φόρτωση. Σύμφωνα με την INTERTANKO, τα περισσότερα δεξαμενόπλοια έχουν ήδη εγκατεστημένο τον εξοπλισμό αν και η συχνότητα χρήσης ποικίλλει. Το αναθεωρημένο Παράρτημα VI ορίζει πως τα δεξαμενόπλοια πρέπει να φέρουν και να χρησιμοποιούν Σχέδιο Διαχείρισης VOC έτσι ώστε να εστιάζεται η προσοχή των διαχειριστών δεξαμενόπλοιων στις εκπομπές VOC οι οποίες διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα κατά την διαδικασία διαμετακόμισης και φόρτωσης.

Επιπλέον αξίζει να γίνει αναφορά για την οδηγία 94/63/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τον έλεγχο των εκπομπών πτητικών οργανικών ουσιών που προέρχονται από την αποθήκευση βενζίνης και τη διάθεσή της από τις τερματικές εγκαταστάσεις στους σταθμούς διανομής καυσίμων. Η οδηγία αυτή περιλαμβάνει και τους τερματικούς σταθμούς των λιμένων και πρέπει να εφαρμόζεται από όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η οδηγία αυτή έχει ως στόχο τη μείωση της συνολικής ετήσιας απώλειας βενζίνης που οφείλεται στη φόρτωση και την εκφόρτωση κινητών δεξαμενών τερματικών εγκαταστάσεων κάτω από την τιμή αναφοράς-στόχου 0,005% κ.ο. της διακίνησης καθώς και τη μείωση της συνολικής ετήσιας απώλειας βενζίνης που οφείλεται στη φόρτωση και την αποθήκευση, σε οποιαδήποτε εγκατάσταση αποθήκευσης τερματικού

σταθμού, κάτω από την τιμή αναφοράς-στόχου 0,01% κ.ο. της διακίνησης . Κάτι αντίστοιχο υπάρχει και στο Παράρτημα VI της Δ.Σ MARPOL 73/78 στον Κανονισμό 15.

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις εντοπίζονται κυρίως στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων. Στην περίπτωση αυτή οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις είναι μίγματα ελαφρών υδρογονανθράκων (μεθάνιο έως οκτάνιο) που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα κυρίως κατά τη φόρτωση δεξαμενόπλοιων με αργό και προϊόντα πετρελαίου. Το αργό ή φυσικό πετρέλαιο βρίσκεται στη μορφή που λαμβάνεται κατά την άντλησή του από τα φυσικά κοιτάσματα. Μετά το πρώτο στάδιο καθαρισμού (λάσπες, χώματα, άμμος) γίνεται απαερίωσή του και αφυδάτωση. Στη συνέχεια μεταφέρεται στην αποστακτική στήλη, όπου γίνεται κλασματική απόσταξη και διαχωρισμός των διάφορων συστατικών του, ανάλογα με το σημείο βρασμού τους. Τα προϊόντα της κλασματικής απόσταξης είναι κατά αυξανόμενο σημείο ζέσεως τα ακόλουθα:

- Υγραέρια : υδρογονάνθρακες σε αέρια μορφή με 3 έως 4 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Χρησιμοποιούνται ως καύσιμα Μ.Ε.Κ. (υγραεριοκίνηση σε μηχανές μικρής ισχύος) και για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.
- Βενζίνες : υδρογονάνθρακες σε υγρή μορφή με 4 έως 10 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχουν μικρό ειδικό βάρος και πολύ μεγάλη πτητικότητα (σημείο βρασμού 500C έως 2000C). Χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμο βενζινομηχανών.
- Κηροζίνη (φωτιστικό πετρέλαιο) : αποτελείται από υδρογονάνθρακες με 10 έως 14 άτομα άνθρακα ανά μόριο και χρησιμοποιείται κυρίως για την πρόωση αεριοθούμενων αεροσκαφών (σημείο βρασμού 2000C έως 2500C).
- Πετρέλαιο Ντίζελ : μείγμα υδρογονανθράκων με 14 έως 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο. Έχει σημείο βρασμού 2250C έως 3500C και διακρίνεται σε ελαφρύ (gas oil) που χρησιμοποιείται σε πολύστροφες πετρελαιομηχανές και εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης και σε βαρύ πετρέλαιο (Diesel fuel, Marine Diesel Oil), το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μεσόστροφες και αργόστροφες Μ.Ε.Κ. των πλοίων και των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών καθώς και στους βιομηχανικούς λέβητες.
- Μαζούτ: περιέχει υδρογονάνθρακες με πάνω από 20 άτομα άνθρακα ανά μόριο και σημείο βρασμού πάνω από 3500C. Χρησιμοποιείται ως μεγάλων αργόστροφων

μηχανών, ως καύσιμο λεβήτων και για την παραγωγή ορυκτελαίων και κυλινδρελαίων.

Σε όλα τα παραπάνω μπορεί να υπάρχει αδρανές αέριο, υδρόθειο και άλλες ανόργανες ενώσεις. Το μεθάνιο αποτελεί αέριο που συντελεί στο φαινόμενο θερμοκηπίου ενώ τα άλλα βαρύτερα αέρια όπως το προπάνιο και βουτάνιο συντελούν στη δημιουργία όζοντος χαμηλά στην ατμόσφαιρα που είναι επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. οι εκπομπές VOCs από τα πλοία δεν είναι υψηλές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εκπομπές (NO_x, SO₂, CO₂, PM) στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τα VOCs απελευθερώνονται από τους χώρους φορτίου των δεξαμενόπλοιων όταν η πίεση ατμών στις δεξαμενές ξεπεράσει την καθορισμένη τιμή των ασφαλιστικών βαλβίδων πίεσης – κενού (P/V valves). Αύξηση της πίεσης στις δεξαμενές προκαλείται από τη θέρμανση του φορτίου ή την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Δεξαμενόπλοια που εκτελούν κλειστές φορτώσεις σε εγκαταστάσεις που διαθέτουν Σύστημα Ελέγχου Εκπομπών (Vapor Emissions Control Systems) λαμβάνουν συγκεκριμένες προφυλάξεις για την παρακολούθηση της πίεσης στις δεξαμενές, τον ρυθμό φόρτωσης, κ.α. οι οποίες συνοψίζονται στην νεότερη έκδοση του ISGOTT (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals).

Να αναφέρουμε ότι ISGOTT είναι ένας οδηγός που ρυθμίζει τον ασφαλή χειρισμό και μεταφορά του ακατέργαστου πετρελαίου καθώς και των παραγωγών του σε δεξαμενόπλοια καθώς και στους τερματικούς σταθμούς και λιμάνια. Ο οδηγός αυτός πρωτοδημοσιεύτηκε το 1978 από την International Chamber of Shipping (ICS) και την Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) και η τελευταία του έκδοση δημοσιεύτηκε το 2006.

2.2.4.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ VOC_S

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω κατά τη φόρτωση δεξαμενόπλοιων με αργό και προϊόντα πετρελαίου διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα μίγματα ελαφρών υδρογονανθράκων (μεθάνιο έως οκτάνιο). Το μεθάνιο αποτελεί αέριο που συντελεί στο φαινόμενο θερμοκηπίου και συντελεί στις κλιματικές αλλαγές του πλανήτη. Ενδεικτικά να αναφέρουμε την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Άλλα βαρύτερα αέρια όπως το προπάνιο και βουτάνιο που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κατά τη φόρτωση των δεξαμενόπλοιων συντελούν στη δημιουργία όζοντος χαμηλά στην ατμόσφαιρα. Για τις επιπτώσεις του όζοντος στο περιβάλλον και στην υγεία του ανθρώπου γίνεται αναφορά παρακάτω.

Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων όπως έχει ειπωθεί είναι δυνατόν να έχουμε στις τερματικές εγκαταστάσεις στους σταθμούς διανομής καυσίμων που υπάρχουν στα λιμάνια. Στην περίπτωση αυτή οι πτητικές οργανικές ενώσεις αποτελούνται κυρίως από πτητικές αρωματικές ενώσεις όπως είναι το βενζόλιο το οποίο έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Το βενζόλιο είναι μία ιδιαίτερα τοξική χημική ένωση. Όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει ζαλάδες, ταχυκαρδία, πονοκεφάλους, σύγχυση και αναισθησία, ακόμα και τον θάνατο. Μακροχρόνια έκθεση σε βενζόλιο έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και κυρίως στο αίμα. Καταστρέφει το μυελό των οστών και μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση αναιμίας. Επίσης μπορεί να προκαλέσει υπερβολική αιμορραγία και να μειώσει την ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος αυξάνοντας τις πιθανότητες μόλυνσης. Τέλος το βενζόλιο θεωρείται καρκινογόνο για τον άνθρωπο, μακροχρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση λευχαιμίας.

2.2.5 ΟΖΟΝ (O_3)

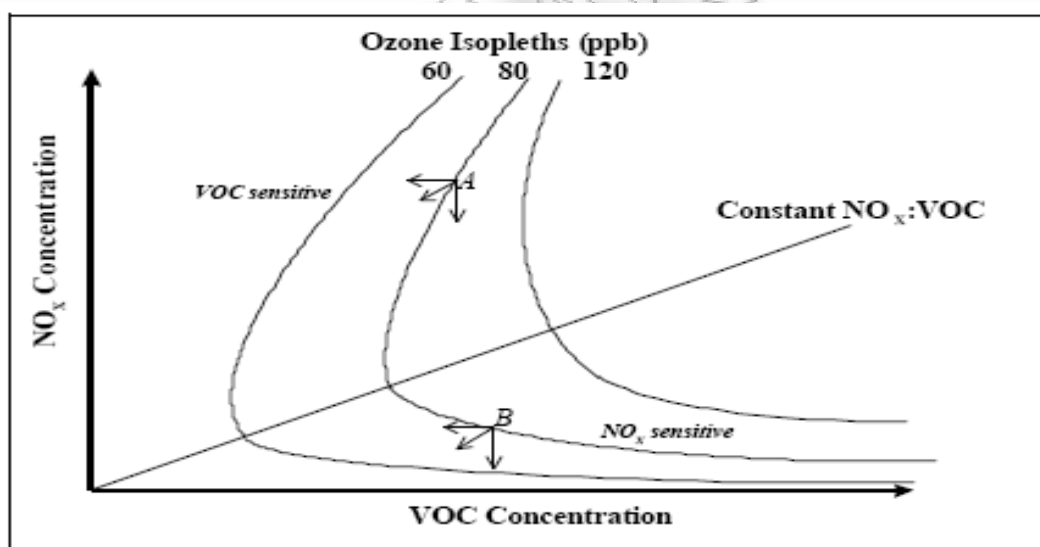
2.2.5.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το όζον είναι αέριο του θερμοκηπίου που συντελεί στις κλιματικές αλλαγές αφού αυξάνει την μέση παγκόσμια θερμοκρασία. Αντίθετα όμως από τα NO_x και το SO_2 τα οποία εκπέμπονται άμεσα από τα πλοία, το όζον (O_3) δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα. Αντί αυτού, διαμορφώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω μιας σειράς σύνθετων φωτοχημικών αντιδράσεων. Στην ουσία είναι προϊόν της φωτόλυσης του διοξειδίου αζώτου (NO_2). Γι' αυτόν τον λόγο λοιπόν το όζον (O_3) θεωρείται δευτερογενές προϊόν με την έννοια ότι δεν παράγεται άμεσα και όχι πρωτογενές όπως είναι τα NO_x και το SO_2 .

2.2.5.2. ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι η παρουσία VOCs έχει επιπτώσεις στην αποδοτικότητα με την οποία το NO_x διαμορφώνει το όζον. Τα VOCs έχουν επιπτώσεις στον σχηματισμό του όζοντος μέσω μιας αλυσίδας των αντιδράσεων οξείδωσης. Αυτές οι αλυσιδωτές αντιδράσεις καταναλώνουν VOCs ανακυκλώνοντας ενώ ταυτόχρονα μετατρέπουν το NO σε NO_2 το οποίο στην συνέχεια έχει τη δυνατότητα να παράγει περισσότερο όζον. Η σχέση μεταξύ του σχηματισμού όζοντος και των συγκεντρώσεων NO_x και VOCs είναι ιδιαίτερα μη γραμμική και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 19 που ακολουθεί.

Στο Διάγραμμα 17 οι διάφορες καμπύλες του όζοντος παρουσιάζουν διαφορετικές μέγιστες συγκεντρώσεις όζοντος που σχετίζονται άμεσα με κάθε συνδυασμό του NO_x και VOCs. Για παράδειγμα στο σημείο A ο σχηματισμός όζοντος επηρεάζεται περισσότερο από τη συγκέντρωση VOCs και μία αλλαγή στη συγκέντρωση αυτή θα αλλάξει το επίπεδο του όζοντος. Το αντίστροφο θα συμβεί στο σημείο B. Όσον αφορά τη θαλάσσια περιοχή ο σχηματισμός όζοντος οφείλεται περισσότερο στις εκπομπές NO_x από τα πλοία και σε λιγότερο βαθμό στις εκπομπές VOCs. Το γεγονός ότι η ατμόσφαιρα πάνω από τους ωκεανούς είναι λιγότερο επιρρεπής στη συγκέντρωση VOCs φαίνεται από το ότι αν αυξήσουμε την συγκέντρωση VOCs κλιμακωτά έως το 10 και συγχρόνως κρατήσουμε σταθερή τη συγκέντρωση NO_x θα δούμε ότι δεν θα αλλάξει σημαντικά η συγκέντρωση του όζοντος. Αντίθετα αστικές περιοχές με την ίδια συγκέντρωση VOCs με τις τροπικές δασικές περιοχές αλλά με αυξανόμενες συγκεντρώσεις NO_x παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις του όζοντος.



Διάγραμμα 17: Σχηματισμός όζοντος και εκπομπές NO_x και VOCs

2.2.5.3.ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Το όζον όπως είναι γνωστό είναι αέριο του θερμοκηπίου και μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο όπως παίζουν σημαντικό ρόλο στις κλιματικές αλλαγές του πλανήτη. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου που έχει ως άμεση συνέπεια τη θέρμανση της Γης, τα ακραία καιρικά φαινόμενα, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η υποχώρηση των παγετώνων οφείλονται κατά κύριο λόγο στα αέρια του θερμοκηπίου και άρα και στο όζον.

Το όζον της ανώτερης ατμόσφαιρας προστατεύει τη Γη από την επικίνδυνη ακτινοβολία του ήλιου. Ωστόσο, το όζον της επιφάνειας της Γης σε μεγάλες συγκεντρώσεις βλάπτει τόσο τον ανθρώπινο οργανισμό όσο και το περιβάλλον. Αυτό είναι και ένα από τα μείζονα περιβαλλοντικά προβλήματα της Ευρώπης αλλά και ολόκληρου του πλανήτη. Μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι δυνατό να προκαλέσουν προβλήματα υγείας, μείωση της αγροτικής παραγωγής και δασικής βλάστησης, καθώς και καταστροφή υλικών. Υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος προκαλούν διάφορα προβλήματα υγείας όπως δύσπνοια, αύξηση των περιπτώσεων βρογχίτιδας και άσθματος, πονοκεφάλους ερεθισμούς των ματιών και άλλα. Όσοι υποφέρουν ήδη από δύσπνοια επηρεάζονται από συγκεντρώσεις άνω των 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ οι υγιείς δεν παρουσιάζουν δυσφορία ή κάποια άλλο σύμπτωμα μέχρι το όριο των 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αυτό σημαίνει ότι μόνον όσοι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι θα εμφανίσουν κάποιο σύμπτωμα οφειλόμενο στην υψηλή συγκέντρωση όζοντος. Υγιείς άνθρωποι είναι σχεδόν απίθανο να αισθανθούν δυσφορία, ωστόσο δεν πρέπει να υποβάλλονται σε έντονες φυσικές δραστηριότητες, όταν παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα όζοντος στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Οι αποδόσεις των αγροτικών καλλιεργειών, τα δάση και η υπόλοιπη βλάστηση επίσης επηρεάζονται από το επιφανειακό όζον. Αμφότερα τα επεισόδια ρύπανσης με υψηλά επίπεδα όζοντος και η μακρά έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε οξεία ή διαρκή αλλοίωση. Το όζον δρα αρνητικά σε πολλές διαδικασίες των φυτών. Επιβραδύνει τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη, ενώ παράλληλα επιταχύνει τη γήρανση και τη πρόωμη φυλλόπτωση. Άμεση καταστροφή εξαιτίας του όζοντος, για παράδειγμα στην ανάπτυξη του φυλλώματος, είναι η μείωση της αγροτικής σοδειάς και της δασώδους βλάστησης. Σε συνδυασμό ακόμη με το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το διοξείδιο του θείου (SO_2), το όζον μειώνει την ανθεκτικότητα πολλών υλικών. Τα αέρια αυτά έχει αποδειχθεί ότι είναι εξαιρετικά καταστρεπτικά και διαβρωτικά για κτίρια και υλικά: ειδικότερα τα ελαστικά και πλαστικά επηρεάζονται σημαντικά από υψηλές συγκεντρώσεις.

2.2.6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Για να γίνει κατανοητή η έννοια και η σημασία των αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται από τα πλοία είναι απαραίτητο να δοθούν κάποιοι ορισμοί αυτών. Αυτό γίνεται στα πλαίσια της καλύτερης κατανόησης των ρύπων αυτών.

- ❖ Σωματιδιακή ύλη: Σωματιδιακή ύλη (Particulate Matter-PM) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των διεσπαρμένων στον αέρα, στερεών και υγρών σωματιδίων, με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό των απλών μορίων (περίπου $2 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ σε διάμετρο), αλλά μικρότερο από $500 \mu\text{m}$. Αναφέρονται επίσης και ως αιωρούμενα σωματίδια ή απλά ως σωματίδια.
- ❖ Αερολύματα: Αερολύματα (Aerosols) ονομάζονται τα κolloειδή συστήματα όπου κάποια αέρια, υγρή ή στερεά ουσία, κolloειδών διαστάσεων βρίσκεται διασκορπισμένη μέσα σε αέριο μέσο διασποράς. Η περίπτωση διασποράς αερίου σε αέριο στην πραγματικότητα είναι δυνατή μόνο σε μεγάλη κλίμακα, δηλαδή στην ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα θεωρείται ένα αερόλυμα, όπου εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων, μπορεί να λεχθεί ότι τμήματα αέρα μεγαλύτερης πυκνότητας είναι διασκορπισμένα μέσα στον αέρα σε κolloειδείς διαστάσεις (στο γεγονός αυτό οφείλεται και το γαλάζιο χρώμα του ουρανού). Συνεπώς, ως ατμοσφαιρικά αερολύματα μπορούν να χαρακτηριστούν τα ατμοσφαιρικά σωματίδια κolloειδών διαστάσεων. Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα αποτελούνται από στερεά ή υγρά σωματίδια μεγέθους μικρότερου από $100 \mu\text{m}$.
- ❖ Στερεά αερολύματα: Σχηματίζονται από τη διασπορά στερεών σωματιδίων σε αέριο μέσο. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διαχωρίζονται σε αιθάλη και σκόνη.
 - Αιθάλη: Μικρά, στερεά σωματίδια, τα οποία σχηματίζονται από την συμπύκνωση ατμών στερεών υλικών συχνά οξειδίων των μετάλλων όπως είναι τα οξείδια του ψευδαργύρου και του μολύβδου και από στοιχειακό άνθρακα (soot, carbon black). Τυπικό μέγεθος $0,03$ έως $1 \mu\text{m}$.
 - Σκόνη: Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από τη θραύση μεγαλύτερων μαζών, κατά την διάρκεια διαδικασιών όπως σύνθλιψη, τριβή, έκρηξη. Τυπικό μέγεθος 1 έως $10.000 \mu\text{m}$. Η χρήση του όρου σκόνη, υποδηλώνει σωματίδια φυσικής και συνήθως γεωλογικής προέλευσης.

Τα σωματίδια που προκύπτουν από διαδικασίες καύσης χωρίζονται σε καπνό και ιπτάμενη τέφρα.

- Καπνός: Μικρά στερεά σωματίδια που προκύπτουν από την ατελή καύση υλών, όπως το κάρβουνο, ο καπνός ή το ξύλο. Τυπικό μέγεθος 0,5 έως 1 μm .
- Ιπτάμενη τέφρα: Μικρά, ορυκτά σωματίδια που διαφεύγουν από τις καπνοδόχους, κατά την καύση ορυκτών καυσίμων. Η σύσταση της ιπτάμενης τέφρας εξαρτάται από το είδος του καυσίμου. Τα κύρια συστατικά της είναι οξείδια του αργίλιου, του ασβεστίου, του σιδήρου και του πυριτίου, αλλά και ιχνοστοιχεία όπως Mg, S, Ti, Na, K. Τυπικό μέγεθος των σωματιδίων της ιπτάμενης τέφρας 1 έως 100 μm (60).
- ❖ Υγρά αερολύματα: Σχηματίζονται από τη διασπορά υγρών σωματιδίων σε αέριο μέσο. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων διαχωρίζονται σε ομίχλη και σπρέι.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται σχηματικά η κατηγοριοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων.



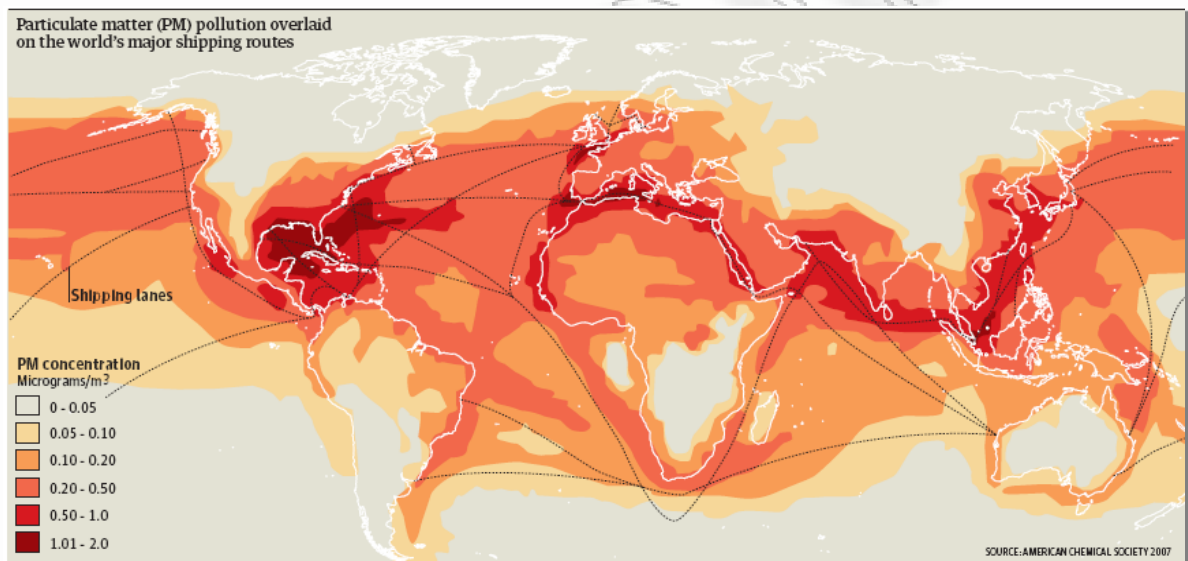
2.2.6.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Με βάση την ταξινόμηση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέγεθος (σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα) και σε συσχέτιση με την διεισδυτικότητα τους στον ανθρώπινο οργανισμό, γίνεται η εισαγωγή δύο νέων ρυπαντικών παραμέτρων, των σωματιδίων PM_{10} και των σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$, σωματίδια που παράγονται από τα μέσα μεταφοράς, επομένως και από τα πλοία. Τα PM_{10} ταυτίζονται με την κατηγορία των εισπνεύσιμων σωματιδίων και έχουν διάμετρο έως 10 μm . Ο αυστηρός ορισμός των PM_{10}

όπως τον αναφέρει η ΕΕ στις οδηγίες της είναι: <<PM₁₀ νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10μm.>>

Τα PM_{2,5} ταυτίζονται με την κατηγορία των αναπνεύσιμων σωματιδίων και θεωρείται ότι έχουν διάμετρο έως και 2,5 μm. Ο αντίστοιχος ορισμός της ΕΕ για τα PM_{2,5} είναι:

<<PM_{2,5} νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2,5μm >>.Στον ακόλουθο Χάρτη 2 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις διαφόρων αιωρούμενων σωματιδίων παγκοσμίως, που η εκπομπή τους οφείλεται στα πλοία κατά το έτος 2007 παγκοσμίως.



Χάρτης 2: Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων οφειλόμενες στη ναυτιλία

Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπονται από τα πλοία είναι εκείνα που έχουν συγκέντρωση 0,2 μg/m³ με 0,5 μg/m³ και ακολουθούν τα σωματίδια που έχουν συγκέντρωση 0,1 μg/m³ με 0,2 μg/m³.

Οι κύριες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων από τα οχήματα είναι τα καυσαέρια των οχημάτων και η φθορά από την χρήση των ελαστικών και των φρένων. Οι εκπομπές σωματιδίων από τους κινητήρες ντίζελ είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τους βενζινοκινητήρες, κάτι που είναι σύμφωνο με τη γενική αρχή, ότι όσο βαρύτερο είναι το κλάσμα πετρελαίου που καίγεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή σωματιδίων. Η χρήση του ντίζελ ως καυσίμου γίνεται από τα πλοία τα οποία επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα πάνω από λιμάνια και ωκεανούς.

2.2.6.3. ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι εκπομπές από μηχανές ντίζελ περιέχουν κυρίως αιθάλη, πτητικές οργανικές ενώσεις και μερικά θειικά (sulphates) αιωρούμενα σωματίδια που προέρχονται από το θείο που περιέχει το καύσιμο. Ο σχηματισμός αιθάλης, σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, γίνεται στο πρώτο στάδιο της καύσης όταν υπάρχει φλόγα διάχυσης. Στην περίοδο αυτή, η φλόγα είναι πολύ φωτεινή, ένδειξη ύπαρξης ελευθέρου άνθρακα. Ένα πολύ μικρό μέρος του άνθρακα αυτού δεν προλαβαίνει να καεί, σχηματίζοντας έτσι αιθάλη, μέσω πολύπλοκων διεργασιών πυρόλυσης, πολυμερισμού και μερικής οξείδωσης. Τα σωματίδια σχηματίζονται από οργανικά και ανόργανα υλικά που εισέρχονται στον κινητήρα με το καύσιμο και τον αέρα. Τα πολύ μικρά σωματίδια αιθάλης, που δημιουργούνται κατά την καύση, λειτουργούν ως πυρήνες συσσωμάτωσης, δημιουργώντας έτσι τα σωματίδια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα

Η φύση του άνθρακα που δημιουργείται είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει διάφορες δομές. Σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό και την ανάπτυξη των σωματιδίων παίζουν οι αντιδράσεις πυρόλυσης. Σε υψηλές θερμοκρασίες ευνοούνται η αφυδρογόνωση και η διάσπαση των μορίων (ενδόθερμες δράσεις). Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ευνοούνται ο πολυμερισμός και η συμπίκνωση (εξώθερμες δράσεις). Μέσα στον κινητήρα συντελείται ο μετασχηματισμός ενός μορίου με 10-20 άτομα C σε σωματίδια αιθάλης με 105 άτομα C. Η όλη διεργασία πρέπει να περιλάβει τόσο τις αντιδράσεις αφυδρογόνωσης, όσο και τις αντιδράσεις πολυμερισμού. Ο ρυθμός των αντιδράσεων πυρόλυσης και πολυμερισμού είναι διαφορετικός για τους παραφινικούς και τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Οι παραφινικοί υδρογονάνθρακες διασπώνται σε ενώσεις ενός ή δυο ατόμων άνθρακα στους 450°C. Οι αντιδράσεις κυκλοποίησης και πολυμερισμού αρχίζουν από τους 600°C. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες δεν υφίστανται διάσπαση αλλά απευθείας πολυμερισμό και συμπίκνωση.

Οι κύριες φάσεις σχηματισμού της αιθάλης είναι τρεις: Ο σχηματισμός των μικρών πυρήνων, η αρχική συσσωμάτωση και αύξηση μεγέθους, και τέλος η δημιουργία των ακόμα μεγαλύτερων αδρομερών. Οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται σε φλόγες διάχυσης, προωθούν τις αντιδράσεις πολυμερισμού και συμπίκνωσης, πριν τη φάση της αφυδρογόνωσης. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, αρωματικοί και πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες λειτουργούν ως αρχικοί πυρήνες. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν σε προαναμειγμένες φλόγες και φλόγες τυρβώδους διάχυσης, προωθούν αντιδράσεις

πυρόλυσης και διάσπασης μορίων. Ενδιάμεσο προϊόν αυτών των δράσεων είναι το ακετυλένιο. Οι πυρήνες συσσωμάτωσης αυξάνουν ταχύτερα σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες. Μετά την εκπομπή τους από τις θερμότερες περιοχές της φλόγας, τα μικρά αλλά πλήρως σχηματισμένα σωματίδια αιθάλης, συνεχίζουν την αύξηση του μεγέθους τους. Μέρος του σχηματιζόμενου άνθρακα καίγεται και ο τελικός ρυθμός εκπομπής αιθάλης είναι ανάλογος της διαφοράς του ρυθμού παραγωγής σωματιδίων και του ρυθμού καύσης τους.

Ο καπνός που εκπέμπεται από τους κινητήρες ντίζελ ανάλογα με το χρώμα του μπορεί να χαρακτηριστεί ως μαύρος, λευκός, γκριζός ή μπλε καπνός. Ο λευκός και ο γκριζός καπνός αποτελεί το μη αναφλέξιμο υπόλειμμα των σταγόνων του καυσίμου. Η παρουσία μπλε καπνού είναι ενδεικτική της εκπομπής άκαυστων σταγονιδίων καυσίμου ή σταγονιδίων λιπαντικού και συνήθως υποδεικνύει την ανάγκη συντήρησης του κινητήρα. Ο χρονισμός ψεκασμού του καυσίμου, η καλή 90 εκνέφωση του καυσίμου, η καλή ανάμειξη με τον αέρα, η πίεση ψεκασμού, και η γεωμετρία του θαλάμου καύσης είναι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό αιθάλης. Η αυτανάφλεξη του ντίζελ κατά την συμπίεση του εξαρτάται από τους ρυθμούς διάχυσης του αέρα προς τη ζώνη των σταγονιδίων καυσίμου και των ατμών του καυσίμου μακριά από τα σταγονίδια. Συνεπώς, ο σχηματισμός καπνού είναι δυνατό να μειωθεί με την ελάττωση του χρόνου, κατά τον οποίο η ανάφλεξη γίνεται στη φάση διάχυσης. Αυτό επιτυγχάνεται με αύξηση του στροβιλισμού του καυσίμου μέσα στον κύλινδρο, η οποία οδηγεί σε καλύτερη ανάμειξη, σε ταχύτερη ανάφλεξη και σε παραγωγή ενός λεπτότερου σπρέι από σταγόνες καυσίμου, το οποίο ενισχύει τον ρυθμό ατμοποίησής του.

2.2.6.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

- ❖ Υγεία: Η επίδραση που έχει στην ανθρώπινη υγεία η έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση καθορίζεται από το μέγεθος, τη συγκέντρωση και τη χημική σύσταση των σωματιδίων. Συνοπτικά λοιπόν, τα συμπτώματα που μπορούμε να εντοπίσουμε είναι κυρίως προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα και ενδεχόμενες καρδιακές παθήσεις. Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια όταν έχουν το κατάλληλο μέγεθος, είναι ικανά να εισέλθουν στο αναπνευστικό σύστημα επιδρώντας στον μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, προκαλώντας ταυτόχρονα βλάβες στους πνεύμονες, πνευμονικά οιδήματα, χρόνια και αλλεργική βρογχίτιδα, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και καρκινογενέσεις αλλά και πρόωρο θάνατο.

Επιπλέον, η έκθεση σε περιβάλλον υψηλής σωματιδιακής συγκέντρωσης μπορεί να αυξήσει την ευαισθησία του αναπνευστικού σε βακτηρίδια ή σε ιογενείς παθήσεις, προκαλώντας στη συνέχεια ακόμη και πνευμονία. Επιπροσθέτως, τα ενδιάμεσα σωματίδια που ελευθερώνονται μέσα στον οργανισμό κατά τη διάρκεια μίας φλεγμονώδους αντίδρασης είναι ύποπτα για να αυξήσουν τον κίνδυνο μίας συμφόρησης του κυκλοφοριακού και εν συνεχεία μίας καρδιακής προσβολής. Τα PM10 και ιδιαίτερα τα PM2,5 είναι συνδεδεμένα με σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Τα συμπτώματα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι πολλά. Αναφέρουμε τα συνηθέστερα: μπορούν να προκαλέσουν ή να επιδεινώσουν προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος και καρδιοαγγειακές παθήσεις, να επιδράσουν στον μηχανισμό αυτοκαθαρισμού του σώματος από ξένα σωματίδια, να προκαλέσουν βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, καρκινογενέσεις και πρόωρο θάνατο. Στις συνέπειες συγκαταλέγονται ακόμη και κάποιες λιγότερο επώδυνες, όπως επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία. Είναι γενικά παραδεκτό ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μειώσει τη διάρκεια της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο. Ακόμα, υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμη και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια.

- ❖ **Οικοσύστημα:** Τα φυτά εκτίθενται στη σωματιδιακή μόλυνση είτε μέσω του φυλλώματος τους, είτε μέσω της αναρρόφησης από τις ρίζες τους. Τα υδρόφιλα σωματίδια διαλύονται στο νερό και είναι ευκολότερη η απορρόφησή τους από το φυτό. Υποστηρίζεται ότι ο συνδυασμός των σωματιδίων με άλλους ρύπους όπως είναι το SO₂ ενισχύει την προσβολή τους από βαρέα μέταλλα. Τα χονδρόκοκκα σωματίδια αποτίθενται στα φύλλα των φυτών, μειώνοντας την ανταλλαγή ζωτικών, για το φυτό, αερίων, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της επιφάνειας και επιβραδύνοντας τη φωτοσύνθεση, οπότε τα φύλλα του κιτρινίζουν (χλωρίωση). Επιπλέον, φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά και η υγεία των ζώων. Ύστερα από πειράματα που έχουν γίνει πάνω στα ζώα σε εργαστηριακή κλίμακα, φαίνεται ότι οι επιπτώσεις των σωματιδίων πάνω τους είναι ανάλογες με αυτές που υφίσταται ο άνθρωπος (π.χ. καρκίνος, λοιμώξεις των πνευμόνων και θάνατος ακόμη και στα νεογέννητα ζώα). Η επιρροή όμως, στα ζώα είναι και έμμεση μέσω της διατροφής τους με φυτά, των

οποίων οι ιστοί έχουν επηρεαστεί από τα σωματίδια και από τοξική ύλη. Η τοξική αυτή ύλη είναι δυνατόν να απορροφηθεί και από τους ιστούς των ζώων.

- ❖ Υλικά: Τα περισσότερα μέταλλα αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και με άλλα συστατικά ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα μέταλλα και τα κεραμικά αποσυντίθεται καταστροφικά, τα πολυμερή μπορούν να γίνουν ψαθυρά. Τα μέταλλα μπορούν να καταναλωθούν ομοιογενώς ή εκλεκτικά ή μπορούν να παρουσιάσουν ρωγμές οδηγώντας σε πρόωρη αστοχία. Τα σωματίδια μπορεί να είναι εκ φύσεως είτε χημικά αδρανή, είτε χημικά ενεργά. Συνεπώς, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και τις φυσικές τους ιδιότητες τα σωματίδια μπορούν να καταστρέψουν τα μεταλλικά υλικά πάνω στα οποία επικάθονται. Είναι δυνατόν, να προκαλέσουν άμεση χημική καταστροφή, είτε με κατευθείαν διαβρωτική δράση των ιδίων, είτε με τη δράση διαβρωτικών χημικών ουσιών, οι οποίες προσροφούνται σε αδρανή σωματίδια. Υπό κανονικές συνθήκες, τα μέταλλα δύνανται να αντισταθούν στη διάβρωση είτε από τον καθαρό και ξηρό αέρα, είτε από τον καθαρό και υγρό αέρα. Εντούτοις, τα υδροσκοπικά σωματίδια τα οποία βρίσκονται συνήθως στην ατμόσφαιρα μπορούν να προσβάλλουν τις μεταλλικές επιφάνειες παρουσία άλλων ρύπων, όπως είναι SO₂, αλλά και ανεξάρτητα αυτών. Είναι χαρακτηριστικά τα παραδείγματα της διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών εξαιτίας της έκθεσής τους στα ατμοσφαιρικά σωματίδια, όπως η διάβρωση επιφανειών από χάλυβα και ψευδάργυρο σε συγκεντρώσεις TSP άνω των 60 μg/m³. Υλικά κατασκευής κτηρίων (μέταλλα, πέτρες, τσιμέντο και μορτάρια), υφίστανται φυσική φθορά λόγω της μακροχρόνιας έκθεσής τους στο περιβάλλον και στα διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα (αέρας, υγρασία, έντονες θερμοκρασιακές μεταπτώσεις, ηλιακή ακτινοβολία κ.κ.). Οι μεταλλικές επιφάνειες σχηματίζουν ένα προστατευτικό φιλμ, ενάντια στη διάβρωση από περιβαλλοντικά αίτια. Η φυσική διάβρωση των μετάλλων κατά την έκθεσή τους στο περιβάλλον συνδέεται με την έκθεση αυτών σε ανθρωπογενείς ρύπους και ιδιαιτέρως στο SO₂ το οποίο καταστρέφει σταδιακά το προστατευτικό φιλμ. Ένα άμεσο αποτέλεσμα των σωματιδίων πάνω στις επιφάνειες είναι η επικάθισή τους πάνω σε αυτές δημιουργώντας έτσι ένα στρώμα χόματος. Η διαδικασία αυτή της επιχωμάτωσης αλλάζει την ανάκλαση που παθαίνει το ορατό φως όταν προσπίπτει σε ένα αδιαφανές υλικό και μειώνει τη μετάδοση του φωτός μέσα από διαφανή υλικά. Η επιχωμάτωση είναι μία διαδικασία η οποία αντιμετωπίζεται με συχνό καθαρισμό και ίσως και βάνιμο της επιφάνειας.

Τεχνολογίες μείωσης εκπομπών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - 3

Υπάρχουν αρκετές οικονομικά και τεχνολογικά εφικτές τεχνικές για τη μείωση των εκπομπών ρύπων από τις θαλάσσιες μεταφορές. Οι τεχνικές αυτές είναι οικονομικά συμφέρουσες συγκρινόμενες με κόστη που αφορούν περαιτέρω μείωση των εκπομπών ρύπων από χερσαίες πηγές οι οποίες είναι ήδη σχετικά αποτελεσματικά ελεγχόμενες.

Οι μέθοδοι για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του θείου είναι η μετάβαση από καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο σε καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο καθώς και η εισαγωγή συστήματος καθαρισμού με θαλασσινό νερό (seawater scrubbing). Για τα οξείδια του αζώτου οι πλέον ελπιδοφόρες μέθοδοι μείωσης τους, είναι οι εσωτερικές μετατροπές στον κινητήρα, τεχνικές έγχυσης νερού, επανακυκλοφορία των καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation-EGR) και συστήματα επιλεκτικής καταλυτικής μείωσης (Selective Catalytic Reduction-SCR). Οι εκπομπές σωματιδίων μειώνονται με τα ίδια μέσα που χρησιμοποιούνται για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου, καθώς και με καταλύτες οξείδωσης και φίλτρα σωματιδίων. Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων βρίσκονται συνήθως σε χαμηλά επίπεδα και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν εμπορικές τεχνικές που αναπτύχθηκαν αποκλειστικά για τη μείωσή τους. Ωστόσο, ορισμένες τεχνικές μείωσης εκπομπών, όπως τα συστήματα SCR και EGR που αναφέρθηκαν παραπάνω, μειώνουν επίσης τις ποσότητες εκπομπών CO και HC. Τέλος οι εκπομπές των διαφόρων ρύπων μπορούν επίσης να μειωθούν με τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των πλοίων, τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και τη χρήση ηλεκτροδότησης από την ξηρά κατά την διάρκεια της παραμονής τους στους λιμένες. Παρακάτω ακολουθεί λεπτομερής παρουσίαση των μεθόδων μείωσης των ρυπογόνων εκπομπών.

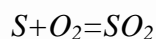
3.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Στους κινητήρες Ντήζελ, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε μηχανική. Το καύσιμο εγχέεται υπό υψηλή πίεση στον κύλινδρο όπου εξατμίζεται, και αναμιγνυόμενο με τον αέρα συντελείται η καύση. Τα καυσαέρια σχηματίζονται μέσω πολύπλοκων αντιδράσεων κατά την διάρκεια της καύσης και πολλαπλές παράμετροι επηρεάζουν τη διαμόρφωση των εκπομπών. Η σύσταση των καυσαερίων των πετρελαιοκινητήρων περιλαμβάνει αέρια, ατμούς, αερολύματα και σωματίδια, ενώ τα ακόλουθα προϊόντα καύσης περιέχονται στις εκπομπές αυτών:

- Άνθρακας
- Άζωτο
- Νερό
- Διοξείδιο του άνθρακα
- Μονοξείδιο του άνθρακα
- Αλδεΐδες
- Οξείδια του αζώτου
- Οξείδια του θείου
- Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΡΑΗ)

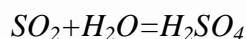
3.1.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO₂)

Οι εκπομπές SO₂ προέρχονται από το θείο στα καύσιμα. Κατά την διαδικασία της καύσης, διοξείδιο του θείου σχηματίζεται μέσω της ακόλουθης αντίδρασης:



Η ποσότητα των εκπομπών SO₂ εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Στην διαδικασία καύσης ωστόσο, μονάχα ένα μέρος της περιεχόμενης ποσότητας θείου αντιδρά με το οξυγόνο. Επιπλέον αυτού, ένα κλάσμα του SO₂ οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO₃), ενώ είναι δυνατή και η αντίδραση του SO₃ με το οξυγόνο και η μετατροπή του πάλι σε διοξείδιο του θείου. Πιθανή είναι επίσης και η αντίδραση του SO₃ με το υδρογόνο σε SO₂ και ρίζα υδροξυλίου (OH). Το τριοξείδιο του θείου προκαλεί διάβρωση στη μηχανή καθώς είναι συστατικό του θειικού οξέως, το οποίο με τη σειρά του

σχηματίζει εκπομπές θεικών σωματιδίων. Θεικό οξύ μπορεί να δημιουργηθεί επίσης μέσω αντίδρασης με το νερό, κατόπιν ψύξης των καυσαερίων που περιέχουν SO₃:



3.1.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) αποτελούνται από μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Το άζωτο και το οξυγόνο μετατρέπονται σε οξείδια του αζώτου μέσω πολύπλοκης διαδικασίας αποτελούμενης από εκατοντάδες διαφορετικές χημικές αντιδράσεις και ενδιάμεσα προϊόντα. Η κύρια πηγή του αζώτου είναι η εισαγωγή αέρα του κινητήρα. Επίσης ορισμένα καύσιμα περιέχουν άζωτο τα οποία αντιδρώντας με το οξυγόνο σχηματίζουν NO_x. Αυτές οι αντιδράσεις απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες και αναπτύσσονται στον θάλαμο καύσης. Το οξείδιο του αζώτου σχηματίζεται πρώτο και κατόπιν ένα μέρος του μετατρέπεται σε διοξείδιο κατά την διαδικασία της καύσης. Η τυπική αναλογία μετατροπής του μονοξειδίου του αζώτου (NO) σε οξείδια του αζώτου (NO_x) στα καυσαέρια του κινητήρα, είναι 0,95. Όταν τα καυσαέρια απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, το NO οξειδώνεται σε NO₂ μέσα σε λίγες ώρες.

Το ποσοστό των οξειδίων του αζώτου που σχηματίζονται εξαρτάται από τη θερμοκρασία καύσης και την προανάμιξη του μίγματος του καυσίμου και του αέρα. Ο ρυθμός σχηματισμού NO_x είναι υψηλότερος σε υψηλές θερμοκρασίες καύσης και κακή προανάμιξη. Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι χαρακτηριστικές σε κινητήρες όπου το καύσιμο εγχέεται νωρίς έτσι ώστε να επιτυγχάνεται πληρέστερη καύση και επομένως υψηλότερη αποδοτικότητα των καυσίμων¹². Μια αλλαγή της τάξεως των 100C σε θερμοκρασία μπορεί να μεταβάλλει τις εκπομπές NO_x με συντελεστή τρία. Έτσι, ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ένα βασικό μέσο της μείωσης των εκπομπών NO_x.

3.1.3. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΑΙΘΑΛΗΣ (PM)

Οι εκπομπές σωματιδίων αποτελούνται από τρία συστατικά: αιθάλη (ξηρά σωματίδια άνθρακα), διαλυτό οργανικό κλάσμα (υδρογονάνθρακες συμπυκνωμένους σε σωματίδια άνθρακα) και ένυδρο θεικό οξύ (SO₄). Σε συμβατικούς κινητήρες Ντήζελ, ο σχηματισμός σωματιδίων εξαρτάται από την αποδοτικότητα και την πληρότητα της διαδικασίας καύσης,

¹² EPA, 1999

το ποσοστό των υδρογονανθράκων, θείου και τέφρας στο καύσιμο και η ποσότητα λιπαντικού που χρησιμοποιείται.

Μικρή ποσότητα σωματιδίων καυσίμου δεν καίγεται πλήρως και εκπέμπεται ως σταγονίδια βαρέων υγρών ή ανθρακώδους υλικού. Η ελλιπής καύση είναι αποτέλεσμα τοπικής ανεπάρκειας αέρα. Η μετατροπή του καυσίμου σε άκαυστα σωματίδια είναι πιο πιθανό να συμβεί όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε υψηλό φορτίο. Σε υψηλότερα φορτία, μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου εγχέεται με αποτέλεσμα να μικραίνει η διάρκεια του χρόνου καύσης. Η μη σωστά χρονισμένη ή μία ανεπαρκώς λειτουργική έγχυση καυσίμου και κακή ανάμειξη εντός του κυλίνδρου έχουν ως αποτέλεσμα την ατελή καύση και την αύξηση των εκπομπών σωματιδίων. Επίσης ορισμένα από τα λιπαντικά έλαια είναι πιθανόν να καούν μερικώς, προκαλώντας εκπομπές σωματιδίων. Κατά τη χρήση μαζούτ (heavy fuel oil), περισσότερο από το 50 τοις εκατό των εκπομπών σωματιδίων σχηματίζονται από τέφρα και θείο τα οποία περιέχονται στο καύσιμο ενώ κατά τη χρήση Ντήζελ τα περισσότερα από τα σωματίδια αποτελούνται από άνθρακα και υδρογονάνθρακες.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές πορείες σχηματισμού αιθάλης στο Ντήζελ. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, μόνο οι αρωματικές ενώσεις και οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες υψηλού μοριακού βάρους συμβάλλουν στο σχηματισμό της αιθάλης. Οι αντιδράσεις συμπύκνωσης των αρωματικών ενώσεων παράγουν άμεσα PAH (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες) και αιθάλη. Σε υψηλές θερμοκρασίες όλα τα καύσιμα παράγουν αιθάλη όταν καίγονται σε αρκετά πλούσια στοιχειομετρία¹³.

Ένας κινητήρας ντίζελ μπορεί να παράγει τρεις διαφορετικούς τύπους καπνού. Ο λευκός και μπλε τύπος καπνού αποτελείται από λιπαντικά έλαια και σωματίδια καυσίμου, τα οποία είναι άκαυστα ή μερικώς καμένα. Ο μπλε καπνός υποδεικνύει έναν ανεπαρκώς συντηρημένο κινητήρα. Ο άσπρος καπνός συναντάται κατά την εκκίνηση της μηχανής σε κρύα κατάσταση και υποδεικνύει την ύπαρξη σταγονιδίων νερού. Ο μαύρος καπνός αποτελείται από αιθάλη, πετρέλαιο και άκαυστα σωματίδια καυσίμου προερχόμενα από την ατελή καύση η οποία οφείλεται σε μηχανικό πρόβλημα.

¹³ Καλείται επίσης και στοιχειομετρική αντίδραση για τη διάκρισή της από την στοιχειομετρική σύνθεση. Είναι ο υπολογισμός των ποσοτικών (μετρήσιμων) σχέσεων των αντιδρώντων και των προϊόντων σε μια ισορροπημένη χημική αντίδραση. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ποσοτήτων, όπως είναι η ποσότητα των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν με δεδομένα αντιδρώντα σώματα.

3.1.4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο σχηματισμός μονοξειδίου του άνθρακα (CO) είναι αποτέλεσμα ατελούς καύσης η οποία προκαλείται από την ανεπάρκεια αέρα ή από την χαμηλή θερμοκρασία σε ορισμένα σημεία του θαλάμου καύσεως. Οι ίδιοι λόγοι οδηγούν επίσης στη δημιουργία υδρογονανθράκων (HC). Υδρογονάνθρακες μπορεί επίσης να σχηματίζονται από εξάτμιση του λαδιού λίπανσης προς το τέλος της περιόδου ανάφλεξης.

Στις μηχανές ντίζελ, οι εκπομπές CO και HC συνήθως βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα εν συγκρίσει με άλλες πηγές εκπομπών, λόγω της αποτελεσματικής καύσης και των επαρκών ποσοτήτων αέρα. Κατά την καύση μαζούτ, οι εκπομπές υδρογονανθράκων είναι χαμηλότερες από αυτές που προέρχονται από την καύση ντίζελ λόγω του χαμηλότερου επιπέδου εξάτμισης.

3.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Πολλές παράμετροι επηρεάζουν την αποδοτικότητα καύσης και τον σχηματισμό εκπομπών κατά τη διαδικασία αυτής. Περιλαμβάνονται ο χρονισμός έγχυσης του καυσίμου, η γεωμετρία του θαλάμου καύσης, ο λόγος συμπίεσης, ο χρονισμός των βαλβίδων, η πίεση έγχυσης, η γεωμετρία και ο ρυθμός ψεκασμού, η μέγιστη θερμοκρασία και πίεση του κυλίνδρου και η θερμοκρασία και πίεση εισαγωγής του αέρα. Ένα ευρύ φάσμα μεθόδων για τη μείωση των εκπομπών μέσω τροποποιήσεων των παραμέτρων που αναφέρονται παραπάνω έχει εισαχθεί. Ορισμένες από τις μεθόδους αυτές αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών οξειδίου του αζώτου (NO_x) μέσω της μείωσης της ανώτατης θερμοκρασίας και πίεσης στον κύλινδρο. Αυτό μειώνει γενικά την θερμική απόδοση του κινητήρα και αυξάνει την ποσότητα εκπεμπόμενων σωματιδίων (Particulate Matter) καθώς και μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογονανθράκων (HC). Ωστόσο ορισμένες εσωτερικές προσαρμογές του κινητήρα μπορεί να γίνουν έτσι ώστε να αντισταθμιστούν οι αρνητικές επιπτώσεις. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος των παραμέτρων στον κύλινδρο είναι σημαντικός στους κινητήρες ντίζελ ώστε να εξασφαλιστούν χαμηλά επίπεδα εκπομπών και οικονομία καυσίμου.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη διαδικασία καύσης και το σχηματισμό των εκπομπών μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Οι τρεις παράγοντες που καθορίζουν την καύση και τα προϊόντα αυτής, είναι τα χαρακτηριστικά του τροφοδοτούμενου αέρα, τα χαρακτηριστικά του εγχεόμενου καυσίμου και οι συνθήκες καύσης στο θάλαμο. Οι τεχνικές

για τη βελτίωση των τριών αυτών παραγόντων περιγράφονται παρακάτω. Η βελτιστοποίηση της καύσης περιλαμβάνει την χρονοκαθυστέρηση της έγχυσης καυσίμου, τη βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του θαλάμου καύσης και η χρήση στροβιλισμού (swirl). Τα χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού αέρα βελτιώθηκαν μέσω της χρήσης υπερπλήρωσης (turbo-charging) και μετέπειτα ψύξης (after-cooling) του. Η ανάπτυξη του συστήματος ψεκασμού συνεπάγεται την ανάπτυξη του συστήματος πίεσης της έγχυσης καυσίμου, της γεωμετρίας του ακροφυσίου, του έλεγχου του χρόνου και του ρυθμού έγχυσης, του συστήματος έγχυσης common rail, του ηλεκτρονικό-υδραυλικού ελέγχου του ψεκασμού και της ενεργοποίησης της βαλβίδας εξαγωγής καυσαερίων.

3.2.1. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΥΣΕΩΣ

Ο επιβραδυμένος χρονισμός έγχυσης του καυσίμου είναι μια απλή μέθοδος για τη μείωση των εκπομπών NO_x. Η επιβραδυμένη έγχυση μειώνει χρονικά την προαναμεμιγμένη φάση καύσης όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, και μειώνει τη θερμοκρασία και πίεση του κυλίνδρου οδηγώντας σε μείωση του ποσοστού εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Ωστόσο, λόγω του συντομότερου χρόνου καύσης, εκλύονται μικρότερα ποσά ενέργειας από τα καύσιμα και η χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση στον κύλινδρο καθιστά την οξείδωση των αέριων σωματιδίων λιγότερο αποτελεσματική. Ως εκ τούτου, η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές HC και PM αυξάνονται. Συνδυάζοντας την επιβράδυνση έγχυσης με άλλες βελτιώσεις στον ψεκασμό του καυσίμου είναι δυνατόν να επιβραδυνθεί η έναρξη της καύσης χωρίς να αλλάζει το τέλος της διαδικασίας.

Η μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από την επιβράδυνση του χρονισμού και την διάρκεια της έγχυσης. Μία μείωση της τάξεως του 30% είναι εφικτή, αλλά λόγω της αύξησης της κατανάλωσης καυσίμου, η μείωση των εκπομπών περιορίζεται στα επίπεδα του 10-15 τοις εκατό.

Ο επιβραδυμένος χρόνος έγχυσης είναι δυνατόν να επιτευχθεί μηχανικά ή ηλεκτρονικά. Μηχανικές συσκευές ελέγχου χρονισμού είναι σήμερα σε χρήση στην πλειονότητα των κινητήρων μέσω των οποίων ο χρονισμός έχει ρυθμιστεί να επιτρέπει τη βέλτιστη απόδοση στην συνηθισμένη ταχύτητα πλεύσης του σκάφους όταν η θερμοκρασία καύσης και η πίεση βρίσκονται στο υψηλότερο σημείο τους. Ηλεκτρονικά συστήματα, όπως η Ηλεκτρονική Μονάδα Έγχυσης (Electronic Unit Injector), η οποία ελέγχεται από μικροεπεξεργαστή, έχουν χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες ντίζελ με αποτέλεσμα την μείωση του επιπέδου των εκπομπών

και την αύξηση της απόδοσης της μηχανής. Ωστόσο, η ευρύτερη χρήση του συστήματος είναι περιορισμένη δεδομένου ότι η απόδοση των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων που χρησιμοποιούνται στις συσκευές ελέγχου, φθείρονται στις υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες αναπτύσσονται στις αργόστροφες μηχανές. Επίσης, το υψηλό ιξώδες του καυσίμου προκαλεί δυσκολίες στην τροφοδοσία της μηχανής λόγω του περάσματος μέσω της βαλβίδας ελέγχου. Συνεπώς, το ηλεκτρονικό σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αργόστροφες μηχανές οι οποίες χρησιμοποιούν μαζούτ.

Η βελτιστοποίηση του σχήματος του χώρου καύσης παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών σωματιδίων καθώς η ατελής καύση αποτελεί μια σημαντική πηγή εκπομπών PM. Μειώσεις εκπομπών έχουν ήδη επιτευχθεί μέσω τροποποίησης του θαλάμου καύσης. Πέρα από αυτό, πρόσθετες αλλαγές μπορούν να εισαχθούν προκειμένου να επιτευχθούν περαιτέρω βελτιώσεις στον έλεγχο των εκπομπών. Οι παράμετροι του θαλάμου καύσης που βρίσκονται υπό διερεύνηση είναι το σχήμα του, η θέση του εγχυτήρα και η αναλογία συμπίεσης.

Η υψηλότερη σχέση συμπίεσης μπορεί να μειώσει τις εκπομπές σωματιδίων (PM) κατά την εκκίνηση σε κρύα κατάσταση καθώς και να βελτιώσει την οικονομία καυσίμου. Μπορεί να επιτευχθεί μέσω ανασχεδιασμού της κεφαλής του εμβόλου (piston crown), ή μέσω μακρύτερου εμβόλου. Ωστόσο, ο αυξημένος λόγος συμπίεσης αυξάνει την πίεση καύσεως και μπορεί να μειώσει την ασφάλεια του κινητήρα με αποτέλεσμα να θέτονται όρια στην αύξηση του. Έχει συνδυαστεί με την βελτιστοποίηση του χρόνου και ρυθμού έγχυσης, με αποτέλεσμα την επίτευξη μείωσης της τάξεως του 35% στις εκπομπές NO_x.

Περιδίνηση (swirl) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ώστε να μειωθεί τοπικά η αναλογία καυσίμου-αέρα η οποία οδηγεί σε χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων. Επιπλέον αέρας διοχετεύεται στον ψεκασμό του καυσίμου σε κατακόρυφη διεύθυνση, γεγονός το οποίο αυξάνει την ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο και κατά συνέπεια βελτιώνεται η διαδικασία της καύσης. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τον τύπο της μηχανής, αλλά κάποια κοινά στοιχεία παρατηρούνται σε όλες τις μηχανές. Η επίτευξη της μείωσης των εκπομπών αιθάλης είναι δυνατή, αλλά την ίδια στιγμή ο σχηματισμός NO_x αυξάνεται. Στα χαμηλά φορτία η καλύτερη ανάμειξη του καυσίμου και του αέρα μειώνει τις εκπομπές υδρογονανθράκων (HC), αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και καπνού. Στα υψηλά φορτία η περιδίνηση (swirl) προκαλεί μια μικρή μείωση στις εκπομπές σωματιδίων και στην κατανάλωση καυσίμου.

Ορισμένες από τις αρνητικές επιπτώσεις, όπως ο αυξημένος σχηματισμός οξειδίων του αζώτου (NO_x) μπορεί να μειωθεί μέσω ενός συστήματος καυσίμου υψηλής πίεσης. Από πλευράς των εκπομπών αιθάλης, η χρήση της περιδίνησης είναι ιδιαίτερα επωφελής όταν χρησιμοποιείται μεγάλης διαμέτρου στόμιο στον ψεκασμό του καυσίμου.

3.2.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η έγχυση καυσίμου μπορεί να βελτιστοποιηθεί περαιτέρω αναφορικά με τη μείωση των εκπομπών και της κατανάλωσης. Ως εκ τούτου, ο έλεγχος των πολλαπλών μεταβλητών που εμπλέκονται στον ψεκασμό είναι απαραίτητος για τη μείωση των εκπομπών των μηχανών ντίζελ. Οι μεταβλητές που βρίσκονται στο στάδιο της έρευνας είναι η πίεση έγχυσης, η γεωμετρία του ακροφυσίου, ο χρονισμός και ο ρυθμός έγχυσης.

Η πιο κοινή μέθοδος προσαρμογής του ψεκασμού καυσίμου είναι η αλλαγή των συμβατικών βαλβίδων με βαλβίδες χαμηλού επιπέδου οξειδίων του αζώτου NO_x (μειωμένες εκπομπές κατά 20%). Έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να βελτιστοποιείται ο ψεκασμός στο θάλαμο καύσης, ενώ η θερμοκρασία και ως εκ τούτου η αξιοπιστία του κινητήρα, παραμένουν στα ίδια επίπεδα. Οι βαλβίδες αυτές είναι κατάλληλες μόνο για αργόστροφες δίχρονες μηχανές και είναι εγκατεστημένες σε όλες της σύγχρονου τύπου μηχανές έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις εκπομπών του IMO. Η εκ των υστέρων τοποθέτηση των βαλβίδων είναι μια εύκολη διαδικασία η οποία απαιτεί μόνο λίγες ώρες εργασίας ανά κύλινδρο από το πλήρωμα του πλοίου.

Προκειμένου να ξεπεραστεί η απώλεια θερμικής απόδοσης λόγω του επιβραδυσμένου χρόνου έγχυσης (retarded injection timing), η πίεση αυξάνεται έως το επίπεδο των 144 -160 MPa. Αυτό βελτιώνει τον ψεκασμό του καυσίμου και την ανάμειξη αυτού με τον αέρα και ως εκ τούτου επιτρέπει την επίτευξη ταχύτερης καύσης. Η αυξημένη πίεση ψεκασμού παρέχει θετικά αποτελέσματα μείωσης των εκπομπών σωματιδίων και υδρογονανθράκων όπως και της κατανάλωσης. Τα θετικά αυτά αποτελέσματα παραμένουν εάν η υψηλότερη πίεση ψεκασμού εφαρμόζεται χωρίς επιβραδυσμένο χρονισμό έγχυσης, όμως σε αυτή την περίπτωση οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία ψεκασμού είναι τα συστήματα που χρησιμοποιούν διαμόρφωση του ρυθμού έγχυσης (rate shaping) ή πολλαπλούς επιμέρους εγχυτήρες προκειμένου να τροφοδοτήσουν το καύσιμο μέσω ενός εγχυτήρα. Η έγχυση μιας μικρής

μόνο ποσότητας καυσίμου κατά την έναρξη μειώνει την ταχεία αύξηση της πίεσης και θερμοκρασίας που παρατηρείται στις μηχανές ντίζελ. Κατόπιν, επιπλέον καύσιμο διοχετεύεται επιτρέποντας την σταθερή και ομαλή καύση με αποτέλεσμα την μείωση του σχηματισμού εκπομπών NO_x χωρίς την ταυτόχρονη αύξηση των εκπομπών σωματιδίων. Η διαμόρφωση του ρυθμού έγχυσης μπορεί να γίνει είτε μηχανικά είτε ηλεκτρονικά με συνέπεια την μείωση των εκπομπών NO_x μέχρι και 20%. Υψηλής πίεσης πολλαπλοί εγχυτήρες μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές NO_x χωρίς να αυξάνονται οι εκπομπές (PM). Αποτελεσματικότερη είναι μάλιστα η δράση τους όταν συνδυάζεται με επιβραδυμένο χρονισμό έγχυσης, καθιστώντας δυνατή την αποτελεσματικότερη μείωση των εκπομπών NO_x χωρίς αύξηση των PM. Τα συστήματα πολλαπλών εγχυτήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά ελεγχόμενες μηχανές.

3.2.3. *ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ COMMON-RAIL*

Το σύστημα Common Rail αποτελεί μια προηγμένη τεχνολογία ψεκασμού καυσίμου η οποία στοχεύει στον καλύτερο έλεγχο της έγχυσης προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων και να βελτιωθεί η συνολική απόδοση της μηχανής. Στο εν λόγω σύστημα, η πίεση και ο ρυθμός έγχυσης ελέγχονται ανεξάρτητα από την ταχύτητα και το φορτίο της μηχανής. Ως εκ τούτου, είναι σε θέση να κρατήσει τον ψεκασμό υπό υψηλή και σταθερή πίεση σε κάθε επίπεδο φόρτου του κινητήρα, επιτρέποντας τη λειτουργία της μηχανής χωρίς την παρουσία ορατού καπνού.

Στα συμβατικά συστήματα ψεκασμού, η πίεση πέφτει στα χαμηλά επίπεδα φόρτου του κινητήρα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δημιουργία μεγάλων σταγονιδίων, μερικά εκ των οποίων διατηρούνται ανέπαφα έως ότου έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια του χώρου καύσεως, δημιουργώντας εκπομπές καπνού. Στο σύστημα Common Rail το παραπάνω φαινόμενο εξαλείφεται μέσω της υψηλής πίεσης έγχυσης, η οποία διατηρεί το μέγεθος των σταγόνων μικρό με αποτέλεσμα τα μικρά σταγονίδια να καίγονται πριν να έρθουν σε επαφή με κάποια επιφάνεια του χώρου καύσης.

Πρωταρχικώς το σύστημα Common Rail βελτιώνει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της μηχανής στα χαμηλά φορτία. Σε πλήρες φορτίο οι βελτιωμένες επιδόσεις είναι μικρής κλίμακας, διότι η αποδοτικότητα της μηχανής στην πάροδο των χρόνων έχει βελτιστοποιηθεί για υψηλά φορτία.

Εκτός από την λειτουργία του συστήματος χωρίς εκπομπές καπνού, είναι δυνατή η επίτευξη μιας χαμηλότερης και πιο σταθερής ταχύτητας λειτουργίας, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου (ιδίως στα χαμηλά φορτία) και βελτιώνοντας τη διαδικασία καύσης και ως εκ τούτου την απόδοση, λόγω του βελτιστοποιημένου ψεκασμού. Με το σύστημα Common Rail ο κίνδυνος εμφάνισης κυμάτων πίεσης (pressure waves) αποφεύγεται μέσω κατάτμησης του όγκου του καυσίμου στους διάφορους συσσωρευτές.

Το σύστημα αποτελείται από αντλίες καυσίμου, συσσωρευτές, εγχυτήρες και μονάδα ελέγχου. Οι αντλίες καυσίμων τροφοδοτούν υψηλής πίεσης καύσιμο στους συσσωρευτές, οι οποίοι με τη σειρά τους διανέμουν το καύσιμο στους εγχυτήρες. Κάθε συσσωρευτής είναι συνδεδεμένος ηλεκτρονικά με το μονάδα ελέγχου και με τους εγχυτήρες δύο κυλίνδρων. Οι συσσωρευτές συνδέονται επίσης μεταξύ τους μέσω συστήματος σωληνώσεων το οποίο ονομάζεται Common Rail. Οι αντλίες παίρνουν κίνηση από τον εκκεντροφόρο της μηχανής. Είναι δυνατόν να ολοκληρωθούν δύο κύκλοι άντλησης σε μία περιστροφική κίνηση του εκκεντροφόρου άξονα διότι η άντληση του καυσίμου και ο χρονισμός έγχυσης δεν συνδέονται μεταξύ τους. Επίσης, απαιτούνται λιγότερες αντλήσεις σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, διότι κάθε αντλία τροφοδοτεί δύο κυλίνδρους.

3.2.4 ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

Στους σύγχρονους κινητήρες ντίζελ χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον υπερπλήρωση (Turbo-charge) προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση και να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου. Στην υπερπλήρωση, αξιοποιείται η ενέργεια των καυσαερίων προκειμένου να κινηθεί ο στρόβιλος ο οποίος είναι συνδεδεμένος με φυγόκεντρο συμπιεστή. Ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση του αέρα εισαγωγής, και ως εκ τούτου περισσότερος αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο.

Η αυξημένη αναλογία αέρα-καυσίμου μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων, διότι επιτρέπει στα σωματίδια να οξειδώνονται πιο αποτελεσματικά. Λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας του αέρα η οποία προκαλείται από τον υπερσυμπιεστή, η θερμοκρασία καύσης αυξάνεται επίσης, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η ψύξη του εισερχόμενου αέρα. Η ψύξη του αέρα (after-cooling) με ταυτόχρονη χρήση υπερπλήρωσης οδηγεί στο καλύτερο αποτέλεσμα μείωσης των εκπομπών.

Η ψύξη (after-cooling) του τροφοδοτικού αέρα μειώνει την θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης και κατ' επέκταση τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου (NO_x). Το σύστημα ψύξης

αρχικά αναπτύχθηκε προκειμένου να βελτιωθεί η ειδική ισχύς του κινητήρα μέσω της αύξησης της πυκνότητας του αέρα τροφοδοσίας. Λόγω της εύκολης πρόσβασης των ναυτικών μηχανών σε υλικό ψύξης (θαλασσινό νερό), πιστεύεται πως η ψύξη του τροφοδοτικού αέρα θα μπορούσε να παίξει σημαντικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών NO_x των ναυτικών μηχανών.

Ένα ακόμα αποτέλεσμα της ψύξης (after-cooling) είναι η συμπύκνωση του νερού και η απομάκρυνσή του από τον τροφοδοτικό αέρα. Η ποσότητα του αφαιρούμενου νερού διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία του αέρα και της αποτελεσματικότητας της ψύξης.

3.2.5. ΚΥΚΛΟΣ MILLER

Τα τροποποιημένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τις συμβατικές μηχανές είναι ο χαμηλότερος λόγος συμπίεσης, η υψηλής πίεσης υπερπλήρωση αέρα, ο μεταβλητός χρονισμός των βαλβίδων εισαγωγής αέρα και τέλος η ψύξη του αέρα.

Ο κύκλος Miller μπορεί να προσαρμοστεί σε τόσο δίχρονους όσο και τετράχρονους κινητήρες ντίζελ. Ο λόγος συμπίεσης μειώνεται και ο ρυθμός διαστολής παραμένει ο ίδιος σε σχέση με τις συμβατικές μηχανές. Ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία στον θάλαμο καύσης μειώνεται, αλλά η ισχύς παραμένει αμετάβλητη.

Ο χαμηλότερος λόγος συμπίεσης επιτυγχάνεται με πρόωρο ή επιβραδυνόμενο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής ή από το άνοιγμα της βαλβίδας καυσαερίων κατά την συμπίεση. Το πρόωρο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής είναι η πιο εφικτή λύση. Προκαλείται διαστολή του αέρα στο κύλινδρο καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω, μετά το κλείσιμο της βαλβίδας. Το γεγονός αυτό μειώνει τη θερμοκρασία του αέρα και την πίεση στον κύλινδρο. Ως αποτέλεσμα, η θερμοκρασία καύσης είναι μικρότερη και σχηματίζονται λιγότερα οξειδία του αζώτου. Δεν υπάρχουν απώλειες κατά τη άντληση που να σχετίζονται με την ροή του αέρα από το κύλινδρο προς την θυρίδα εισαγωγής (intake port). Οι αρνητικές επιπτώσεις του κύκλου Miller είναι η αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και η αύξηση της εκπομπής σωματιδίων, λόγω του μικρότερου ποσοστού οξείδωσης της αιθάλης στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Με το πρόωρο κλείσιμο των βαλβίδων εισαγωγής για τους κινητήρες ντίζελ επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών NO_x κατά 35%¹⁴ ενώ την ίδια στιγμή η κατανάλωση καυσίμου έχει διατηρηθεί ανεπηρέαστη ή μειώθηκε ελαφρά.

3.2.6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΙΠΑΝΣΕΩΣ

Ο ρυθμός τροφοδότησης του κυλίνδρου με λάδι λίπανσης επηρεάζει τις εκπομπές σωματιδίων. Όταν ο ρυθμός τροφοδότησης του κυλίνδρου με λιπαντικό λαδί μειώνεται, οι εκπομπές σωματιδίων μειώνονται επίσης. Η κατανάλωση του λιπαντικού του κυλίνδρου αποτελεί ένα μεγάλο μέρος των εξόδων λειτουργίας του κινητήρα και κατά συνέπεια η μείωση της κατανάλωσης του είναι σημαντική επίσης.

Ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα λίπανσης υψηλής πίεσης επιτυγχάνει την διοχέτευση λιπαντικού στον κύλινδρο κατά τη βέλτιστη θέση και χρόνο και συνεπώς έχουν επιτευχθεί πολύ χαμηλοί ρυθμοί τροφοδότησης. Ως αποτέλεσμα οι εκπομπές σωματιδίων μειώνονται και λιγότερο λιπαντικό λάδι κυλίνδρου χάνεται στον κινητήρα.

3.2.7. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΜΗΧΑΝΗΣ

Οι κατασκευαστές κινητήρων χρησιμοποιούν διαφορετικό συνδυασμό των μεθόδων αυτών για τη εναρμόνιση με τα σημερινά όρια εκπομπών του IMO. Ο πιο κοινός συνδυασμός που χρησιμοποιείται είναι η αυξημένη αναλογία συμπίεσης, η προσαρμοσμένη έγχυση καυσίμου, ο χρονισμός των βαλβίδων και η χρήση διαφορετικών ακροφυσίων. Οι διαφορετικές εσωτερικές τροποποιήσεις του κινητήρα που χρησιμοποιούνται από μερικούς κατασκευαστές μηχανών περιλαμβάνονται στον Πίνακα 12. Το ποσοστό μείωσης της τάξεως 30-40% στις εκπομπές NO_x μπορεί να επιτευχθεί με όλους αυτούς τους διαφορετικούς συνδυασμούς .

¹⁴ Wärtsilä, 2003

Κατασκευαστής	Εσωτερικές Τροποποιήσεις Μηχανής
Wärtsilä	<ul style="list-style-type: none"> • Επιβραδυμένη έγχυση • Χρονισμός βαλβίδων κύκλου Miller • Υψηλότερη αναλογία συμπίεσης • Αυξημένη αποδοτικότητα υπερπλήρωσης • Υψηλότερη μέγιστη πίεση κυλίνδρου • Έγχυση με σύστημα common rail
MAN B&W	<ul style="list-style-type: none"> • Μεταβλητός χρονισμός έγχυσης καυσίμου • Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα λίπανσης • Τεχνολογία common rail • Αυξημένη αναλογία συμπίεσης • Χρονισμός βαλβίδων κύκλου Miller
Caterpillar	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλότερη αναλογία συμπίεσης • Υψηλότερη πίεση κυλίνδρου • Υψηλότερη πίεση εισαγωγής αέρα
FMC	<ul style="list-style-type: none"> • Έγχυση καυσίμου δύο σταδίων • Χρονισμός βαλβίδων κύκλου Miller • Μεταβλητή συμπίεση • Υπερπλήρωση δύο σταδίων
Yanmar	<ul style="list-style-type: none"> • Επιβραδυμένη έγχυση • Συντομότερος χρόνος καύσης • Υψηλότερη αναλογία συμπίεσης • Μειωμένο μέγεθος οπής ακροφυσίου

Πίνακας 12 : Εσωτερικές τροποποιήσεις μηχανών

3.3. ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Μείωση των NO_x πέραν των επιπέδων 20%-30% τα οποία επιτυγχάνονται μέσω εσωτερικών τροποποιήσεων της μηχανής είναι εφικτή μέσω χρήσης εργαλείων τροποποίησης της λειτουργίας της μηχανής. Τροποποίηση της διαδικασίας του κινητήρα συνεπάγεται αλλαγή της διαδικασίας με την εισαγωγή νέων ουσιών στη διαδικασία της καύσης. Οι ουσίες αυτές περιλαμβάνουν νερό, ουρία ή ανακυκλωμένα καυσαέρια.

3.3.1. ΕΓΧΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η πρόσθεση νερού στη διαδικασία της καύσης είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου. Υπάρχουν πολλές τεχνικές που βασίζονται στην έγχυση νερού προκειμένου να περιοριστούν οι εκπομπές αυτές. Όλες χρησιμοποιούν την ικανότητα

του νερού να μειώνει τις μέγιστες θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσης και επομένως τη μείωση του σχηματισμού NO_x . Εκτός από τα παραπάνω το νερό επιδρά πολλαπλά στη διαδικασία καύσης :

- χαμηλότερη θερμοκρασία φλόγας
- μειωμένες απώλειες ψύξης
- αυξημένη πίεση του κυλίνδρου
- μειωμένη απώλεια των καυσαερίων
- ταχύτερη αύξηση της πίεσης και της θερμότητας μετά την έναρξη της καύσης
- μειωμένη απώλεια ενθαλπίας στα καυσαέρια
- καταστολή θερμικής αποσύνθεσης των καυσίμων

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούν την έγχυση νερού είναι τεχνικές απευθείας έγχυσης νερού (Direct Water Injection) και χρήσης γαλακτωματοποιημένων καυσίμων (emulsified fuel). Σε κάθε περίπτωση το νερό πρέπει να είναι καλής ποιότητας για την πρόληψη απόφραξης και στις περισσότερες μεθόδους η κατανάλωση καυσίμων έχει την τάση να αυξάνεται. Σε υψηλά ποσοστά μείωσης των οξειδίων του αζώτου (NO_x) οι εκπομπές άκαυστων CO, HC και PM τείνουν να αυξάνουν.

3.3.1.1. ΑΜΕΣΗ ΕΓΧΥΣΗ ΝΕΡΟΥ (DIRECT WATER INJECTION)

Στη μέθοδο DWI το νερό εγχέεται στον θάλαμο καύσεως αμέσως μετά τον ψεκασμό του καυσίμου, όταν η θερμοκρασία στους κυλίνδρους είναι η βέλτιστη δυνατή για τη μείωση των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Αυτό δίνει τη δυνατότητα επίτευξης ψυχρότερου θαλάμου καύσης και κατά συνέπεια χαμηλότερο επίπεδο εκπομπών NO_x . Τα σταγονίδια νερού εξατμίζονται αμέσως κατά την είσοδό τους στον θάλαμο καύσης και η μέγιστη θερμοκρασία ελαττώνεται ως συνδυασμένο αποτέλεσμα της εξάτμισης του υγρού νερού που απορροφά τη θερμότητα και της ειδικής θερμότητας (specific heat) του αερίου γύρω από τη φλόγα. Εάν προστεθεί μεγάλη ποσότητα νερού, ο όγκος του εγχεόμενου υγρού αυξάνεται με αποτέλεσμα υπερβολικά μεγάλη διάρκεια ψεκασμού και αυξημένο σχηματισμό αιθάλης (soot).

Το νερό εισέρχεται χωριστά από το καύσιμο επιτρέποντας τον σωστό χρονισμό εισαγωγής του ώστε να επιτυγχάνεται το υψηλότερο δυνατό ποσοστό μείωσης των NO_x . Η έγχυση του πραγματοποιείται μέσω συνδυασμένης βαλβίδα έγχυσης και ακροφυσίου. Το ακροφύσιο

περιέχει δύο βελόνες που επιτρέπουν τον ανεξάρτητο ψεκασμό νερού και καυσίμου δίχως να επηρεάζεται η λειτουργία της μηχανής. Αυτό προσφέρει επίσης τη δυνατότητα να εισάγονται μεγάλες ποσότητες νερού χωρίς να χρειάζεται να απορρυθμίζεται ο κινητήρας. Στην άμεση έγχυση νερού υψηλής πίεσης μια υψηλής πίεσης αντλία είναι απαραίτητη ώστε να φτάνει το νερό στην απαιτούμενη πίεση των 21-40 Mpa.

Η DWI έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνικές έγχυσης νερού. Η τυπική αναλογία νερού-καυσίμου είναι μεταξύ 0,4-0,7 και το ποσοστό αυτό μπορεί να αλλάξει προσαρμοζόμενο στα διαφορετικά λειτουργικά συστήματα. Επίσης η δυνατότητα χρήσης υψηλή αναλογία νερού ως προς το καύσιμο παρέχει αυξημένη δυναμική μείωσης των NO_x. Ωστόσο, μειονεκτήματα συναντώνται καθώς σημαντικές αλλαγές στο σχεδιασμό της μηχανής είναι απαραίτητες για την τοποθέτηση του συστήματος. Το σύστημα επίσης αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές καπνού και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλά φορτία με πλήρη αποδοτικότητα, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία λευκού καπνού και η αύξηση του μαύρου καπνού. Το κόστος είναι υψηλότερο από ότι με άλλες τεχνικές, εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων γλυκού νερού και του επιπλέον εξοπλισμού που απαιτείται για τη μηχανή. Επίσης, η διάρκεια ζωής των ακροφυσίων είναι σύντομη. Η τεχνολογία DWI δεν συνιστάται για χρήση με καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (άνω του 3% θείου).

3.3.1.2. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Κατά την μέθοδο χρήσης γαλακτωματοποιημένου καυσίμου, το νερό αναμιγνύεται με πετρέλαιο μέσω ομογενοποιητή πριν από την έγχυση του καυσίμου στο θάλαμο. Η έγχυση γαλακτωματοποιημένου καυσίμου επιτρέπει τον αποτελεσματικότερο ψεκασμό και τον ομοιογενή διασκορπισμό του καυσίμου στο θάλαμο καύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια πιο ολοκληρωμένη καύση με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, καθαρότερο κινητήρα και μία μείωση του ποσού των ρύπων NO_x, CO, HC και PM. Προκειμένου να επιτευχθεί ο βέλτιστος ψεκασμός στο θάλαμο, το συνιστώμενο μέγεθος των σταγονιδίων νερού είναι κατά το μέγιστο 5mm. Αυτό επιτυγχάνεται εύκολα με τη χρήση υπέρηχων ομογενοποιητών. Για την ορθή λειτουργία του συστήματος απαιτείται επίσης μία μονάδα απόσταξης, καθώς το νερό που χρησιμοποιείται για γαλακτωματοποίηση πρέπει να είναι καθαρό και χωρίς άλατα.

Θεωρητικά, μία μείωση των οξειδίων του αζώτου κατά 50% είναι δυνατόν να επιτευχθεί μέσω της χρήσης γαλακτωματοποιημένων καυσίμων. Ωστόσο, το ποσοστό μείωσης είναι

ανάλογο προς την ποσότητα του νερού που προστίθεται στα καύσιμα περιοριζόμενο από τη μέγιστη χωρητικότητα παροχής των αντλιών έγχυσης καυσίμου. Για να επιτευχθούν μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης, επίσης σε πλήρες φορτίο, είναι απαραίτητο να επανασχεδιαστεί το σύστημα ψεκασμού καυσίμου και ο εκκεντροφόρος. Επίσης, τα ακροφύσια πρέπει να προσαρμοστούν στην αύξηση της ποσότητας του καυσίμου. Με το νέο σχέδιο ακροφυσίου η κατανάλωση καυσίμου και οι θερμοκρασίες ενδέχεται να επιδεινωθούν, όταν ο κινητήρας χρησιμοποιείται χωρίς νερό. Η αναλογία νερού περιορίζεται από το ιξώδες του γαλακτώματος και από το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να μειωθεί το ιξώδες για την έγχυση. Αυτή η ιδιότητα του γαλακτώματος νερού-καυσίμου δεν μπορεί να επηρεαστεί από τη μηχανή ή το σύστημα σχεδιασμού.

Αποτελέσματα δοκιμών¹⁵ με 10% μείωση των εκπομπών NO_x για κάθε 10% προστιθέμενου νερού έχουν επιτευχθεί σε δίχρονες μηχανές ενώ είναι πιθανή περαιτέρω μείωση των εκπομπών κατά 20-50 τοις εκατό μέσω της χρήσης γαλακτωματοποιημένων καυσίμων. Η συνδυασμένη χρήση γαλακτωματοποιημένων καυσίμων με μεταβλητό χρονισμό έγχυσης αποτελεί τον βέλτιστο συνδυασμό από πλευράς κόστους υλοποίησης. Χρησιμοποιώντας γαλάκτωμα νερού-καυσίμου με ποσοστιαία περιεκτικότητα νερού 15-20% και επιβραδυμένο χρονισμό έγχυσης σε φορτία κάτω του 80%, οι εκπομπές NO_x μειώθηκαν στα 8 g/kWh έχοντας επίσης θετική επίδραση στις εκπομπές καπνού.

3.3.2. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΥΓΡΟΥ ΑΕΡΑ (HUMID AIR MOTOR)

Αποτελεί τεχνολογία κατά την οποία υδρατμοί προστίθενται στον αέρα καύσης με συνέπεια την μείωση του σχηματισμού εκπομπών οξειδίων του αζώτου. Αρχικά ο αέρας καύσης υπερπληρώνεται (turbo-charged) και θερμαίνεται, και στη συνέχεια κατευθυνόμενος μέσω ενός ειδικά σχεδιασμένου κελίου υγραίνεται και ψύχεται, με ανάληψη υγρασίας από το νερό ψύξης έως ότου ο αέρας γίνει κορεσμένος. Θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο το οποίο θερμαίνεται από τις θερμικές απώλειες της ψύξεως του καλύμματος (jacket) της μηχανής και του συστήματος υπερπλήρωσης. Το υφάλμυρο νερό από τη διαδικασία διοχετεύεται πίσω στη θάλασσα.

¹⁵ MAN B&W (2004)

Οι εκπομπές NO_x μειώνονται έως και 80% στα επίπεδα των 4g/ kWh. Προκειμένου όμως να επιτευχθεί αυτή η μείωση, η εισαγωγή υδρατμών στον θάλαμο καύσης πρέπει να βρίσκεται σε με αναλογία 3 προς 1 σε σχέση με το καύσιμο .

Άλλα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι καθιστά την καύση ομαλότερη, βοηθά στην διατήρηση της θερμοκρασία καύσης σταθερή και εμποδίζει τα λεγόμενα θερμά σημεία στον κινητήρα. Η χρήση της μειώνει την κατανάλωση καυσίμων και λιπαντικών και ως εκ τούτου μειώνει το λειτουργικό κόστος. Το σύστημα περιλαμβάνει μια διαδικασία απόσταξης που επιτρέπει τη χρήση του άμεσα διαθέσιμου θαλασσινού νερού. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα σε σύγκριση με άλλα συστήματα έγχυσης νερού, που απαιτούν καθαρό πόσιμο νερό. Το μειονέκτημα του συστήματος είναι το αυξημένο κόστος και η μεγάλη επιφάνεια και ο όγκος των υγραντήρων και του απαιτούμενου εναλλάκτη θερμότητας (heat exchanger).

Παρόμοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί¹⁶ όπως το Σύστημα Κορεσμού Αέρα Καύσης (Combustion Air Saturation System) και το Σύστημα Έγχυσης Ντήζελ με Ατμό (Steam Injected Diesel). Στην τεχνολογία CASS, νερό υψηλής πίεσης εγχέεται στην εισαγωγή αέρα μετά την υπερτροφοδότηση. Στο σύστημα STID χαμηλής πίεσης ατμός αναμειγνύεται με αέρα καύσης, πριν από την υπερσυμπύεση ή διοχετεύεται με τον αέρα καύσης, μετά την υπερσυμπύεση ή απευθείας στο δέκτη αέρα. Εκτός από αυτό, ατμός υψηλής πίεσης τροφοδοτείται κατ'ευθείαν στο χώρο καύσης. Αναμειγνύοντας προϊόντα καύσης και ατμού σε υψηλό στροβιλισμό βελτιώνεται η οξείδωση και ως εκ τούτου, οι εκπομπές αιθάλης μειώνονται σημαντικά. Η έγχυση ατμού βελτιώνει επίσης την αποδοτικότητα της διαδικασίας καύσης, δηλαδή τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Ωστόσο, και τα δύο συστήματα βρίσκονται υπό εξέλιξη και δεν είναι διαθέσιμα για εμπορικές εφαρμογές. Στο σύστημα CASS η μείωση NO_x είναι της τάξεως του 50-60%, αλλά στο STID η μείωση είναι μόνο 25%.

3.3.3.ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΜΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ

Η μέθοδος της Επιλεκτικής μη Καταλυτικής Αναγωγής (SNCR) λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με αυτόν της Επιλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Catalytic Reduction), αλλά χωρίς τη χρήση καταλύτη. Στην μέθοδο SNCR το αναγωγικό μέσο (αμμωνία NH₃, ή ουρία CO(NH₂)₂) εγχέεται στο θάλαμο καύσης του κινητήρα και αντιδρά με τα οξείδια του

¹⁶ Wärtsilä

αζώτου που σχηματίζονται κατά την καύση, μετατρέποντάς τα σε άζωτο και νερό. Η αντίδραση απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες (μεταξύ 900-1000°C) και αρκετό χρόνος αντίδρασης για να είναι αποδοτική. Εάν η διαδικασία εκτελεσθεί πάνω από το επαρκές εύρος θερμοκρασίας, η παραγωγή NO_x αυξάνεται και κάτω από αυτό το εύρος έχουμε αύξηση των εκπομπών αμμωνίας. Λόγω των απαιτούμενων υψηλών θερμοκρασιών, το αναγωγικό μέσο πρέπει να εγχέεται στο θάλαμο καύσης ή στον κύλινδρο αμέσως μετά την καύση. Με το σύστημα SNCR εκπομπές NO_x μπορούν να μειωθούν περισσότερο από 95%.

Η μέθοδος SNCR δεν είναι τόσο πρακτικά εφαρμόσιμη όσο το SCR δεδομένου ότι καταναλώνει περισσότερη αμμωνία. Για να επιτευχθεί μείωση των NO_x κατά 50%, απαιτείται τέσσερις φορές η στοιχειομετρική ποσότητα του NH₃. Έτσι μόνο το 10-12% της αμμωνίας αντιδρά με τα NO_x ενώ υπόλοιπο απλά καίγεται. Το κόστος της αμμωνίας είναι περίπου το ίδιο με το κόστος του μαζούτ.

Άλλα προβλήματα επίσης συνδέονται με την εφαρμογή της τεχνολογίας SNCR στις μηχανές. Το σύστημα SNCR απαιτεί εκτεταμένες τροποποιήσεις της μηχανής, γεγονός που μειώνει τη συνολική απόδοση της και υποβαθμίζει την οικονομία καυσίμου. Εναλλακτικά αναγωγικά μέσα, όπως (H₂CO)₃, H₂CO (NH₄)₄SO₄ έχουν προταθεί, αλλά η τιμή τα καθιστά απαγορευτικά.

3.3.4. ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ

Στο σύστημα επανακυκλοφορίας των καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation) ένα μέρος αυτών κατευθύνεται μέσω ενός φίλτρου, ψύχεται και γυρίζει πίσω στο αέρα τροφοδοσίας του κινητήρα. Με αυτόν τον τρόπο αλλάζουν οι φυσικές ιδιότητες του αέρα τροφοδοσίας και προσδίδεται μεγαλύτερη θερμική δυναμική. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τις μέγιστες θερμοκρασίες και κατά συνέπεια το σχηματισμό NO_x κατά τη διαδικασία της καύσης. Στην διαδικασία επανακυκλοφορίας, η συγκέντρωση οξυγόνου του τροφοδοτικού αέρα είναι χαμηλότερη και επομένως λιγότερο οξυγόνο είναι διαθέσιμο ώστε να αντιδράσει με το άζωτο. Το σύστημα EGR επίσης ελαττώνει την ταχύτητα καύσης.

Λόγω του μειωμένου ποσοστού οξυγόνου και του μεγαλύτερου χρόνου καύσης, οι εκπομπές PM τείνουν να αυξάνονται, ιδιαίτερα στα υψηλά φορτία. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω της μείωσης της ανακυκλωμένης ροής των αερίων κατά τη λειτουργία σε υψηλά φορτία, εμποδίζοντας ταυτόχρονα την απώλεια ισχύος του κινητήρα. Η

αύξηση των εκπομπών σωματιδίων μπορεί επίσης να μειωθεί μέσω ψύξης των ανακυκλωμένων καυσαερίων. Ψύχοντας το ανακυκλωμένο αέριο, πολύ μεγαλύτερες ποσότητες καυσαερίων μπορούν να προστεθούν στον αέρα τροφοδοσίας. Στα χαμηλά φορτία αυτό μπορεί να αυξήσει τις εκπομπές NO_x επειδή αυξάνει την καθυστέρηση της ανάφλεξης, αλλά στα υψηλά φορτία το ποσοστό της μείωσης μπορεί να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο. Υπερπληρώνοντας, το ανακυκλωμένο αέριο έχει παρόμοιο αποτέλεσμα με τη ψύξη. Όταν το αέριο υπερπληρωθεί, περισσότερα καυσαέρια είναι δυνατόν να εισαχθούν στον αέρα τροφοδοσίας χωρίς να μειώνεται το ποσό του φρέσκου αέρα.

Το μεγαλύτερο εμπόδιο στη χρήση της τεχνολογίας EGR είναι η δυσκολία απομάκρυνσης όλων των αιωρούμενων σωματιδίων πριν το καυσαέριο εισέλθει ξανά στον θάλαμο καύσης. Τα σωματίδια κολλούν στα τοιχώματα των κυλίνδρων και μολύνουν τα λιπαντικά αυξάνοντας το ιξώδες τους. Επίσης η εκτεταμένη χρήση του μαζούτ ως καύσιμο στα πλοία θέτει περιορισμούς στη χρήση του συστήματος, προκαλώντας επιπλοκές προερχόμενες κυρίως από σωματίδια τα οποία επηρεάζουν τη λειτουργία του υπερσυμπιεστή και προκαλούν αύξηση των εκπομπών καπνού. Κατακαθίσεις αιθάλης στις σωληνώσεις, στους ψύκτες και στις βαλβίδες του συστήματος, προκαλούν μείωση της αποδοτικότητάς του με την πάροδο του χρόνου. Το περιεχόμενο στα καυσαέρια θείο προκαλεί επίσης προβλήματα διάβρωσης κατά τον σχηματισμό θειικού οξέως. Η χρήση του EGR μπορεί επίσης να επιταχύνει την υποβάθμιση και τη φθορά του θαλάμου καύσης.

Προκειμένου να ξεπεραστούν τα προβλήματα με τα αιωρούμενα σωματίδια και τα παράγωγα του θείου, προσπάθειες έχουν γίνει να χρησιμοποιηθεί ηλεκτροστατικό φίλτρο και καταλύτης για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων και τεχνικές υγρού πλυσίματος (scrubber) για την απομάκρυνση των θειικών οξέων.

Προς το παρόν δεν υπάρχουν συστήματα EGR σε χρήση και η πιθανότητα εμπορικής υλοποίησής του σε εμπορικές εφαρμογές χρησιμοποιώντας μαζούτ είναι ελάχιστη. Ακόμη και με μελλοντική ανάπτυξη και πρόοδο του συστήματος, είναι πιθανό ότι το EGR θα εξακολουθεί να είναι καταλληλότερο για κινητήρες που χρησιμοποιούν υψηλής ποιότητας καύσιμα (προϊόντα απόσταξης) με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

3.4.ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αποτελούν τα συστήματα που είναι εγκατεστημένα για την απομάκρυνση των ρύπων από τα καυσαέρια που εξέρχονται της μηχανής. Τα συστήματα μετεπεξεργασίας δεν έχουν καμία επίδραση στη λειτουργία της μηχανής και στο σχηματισμό των εκπομπών.

3.4.1. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

Καθαρισμός με θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO_2) στα καυσαέρια. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παρουσία της αλκαλικής HCO_3 και θειικής SO_4 ένωσης στο θαλασσινό νερό. Οι αλκαλικές ουσίες εξουδετερώνουν τα οξείδια του θείου στα συστήματα καθαρισμού και μεταφέρονται στο νερό υπό την μορφή θεικών ιόντων. Στη συνέχεια, το νερό φιλτράρεται για την αφαίρεση σωματιδίων και το φιλτραρισμένο νερό επανεισάγεται στη θάλασσα. Θεωρητικά μέσω αυτής της μεθόδου είναι δυνατή η μείωση των εκπομπών SO_2 σε μηδενικά επίπεδα ενώ ταυτόχρονα μειώνονται σημαντικά και οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και των οξειδίων του αζώτου NO_x . Μελέτες που έγιναν σχετικά με το καθαρισμό με θαλασσινό νερό δείχνουν ότι οι εκπομπές SO_2 μπορούν να μειωθούν μέχρι και 95% και οι εκπομπές σωματιδίων μπορούν να μειωθούν περίπου κατά 80%¹⁷. Αβεβαιότητα υπάρχει ωστόσο στο κατά πόσο η εναπόθεση λυμάτων που περιέχουν θείο στην θάλασσα, επηρεάζει το θαλάσσιο περιβάλλον.

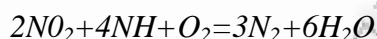
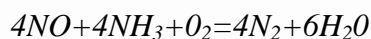
Το Παράρτημα VI της MARPOL απαιτεί κάθε σύστημα καθαρισμού, όπως ο καθαρισμός με θαλασσινό νερό, να είναι εγκεκριμένο και τα απόβλητα αυτών να μην απορρίπτονται μέσα στα όρια λιμένων και στις εκβολές ποταμών, αν δεν είναι τεκμηριωμένο ότι η απόρριψη αυτών δεν θα προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα της περιοχής. Η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) έχει υιοθετήσει τεχνικές κατευθυντήριες γραμμές για το Επί του Πλοίου Σύστημα Καθαρισμού Οξειδίων του Θείου (SO_x).

3.4.2.ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ

Επιλεκτική καταλυτική αναγωγή (Selective Catalytic Reduction) είναι τεχνική για την αφαίρεση των οξειδίων του αζώτου από την εξάτμιση των καυσαερίων. Πραγματοποιείται με

¹⁷ European Environmental Bureau (2004)

ψεκασμό υδατικής ουρίας ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ή αμμωνίας (NH_3) ως αναγωγικό μέσο στα καυσαέρια σε θερμοκρασίες 290-350°C, και στην συνέχεια τα καυσαέρια περνούν μέσα από καταλυτικό μετατροπέα. Εκεί η αμμωνία αντιδρά με τα οξείδια του αζώτου σχηματίζοντας άζωτο και νερό. Οι αντιδράσεις είναι:



Ο καταλυτικός αντιδραστήρας είναι ένα ατσάλινο κουτί το οποίο περιέχει πολλαπλά στρώματα αναπληρώσιμων στοιχείων καταλύτη κατασκευασμένα από πολύτιμα μέταλλα, ένα σύστημα δοσολογίας και αποθήκευσης για το αναγωγικό παράγοντα και ένα σύστημα ελέγχου. Η έγχυση της ουρίας ή αμμωνίας ελέγχεται από ακροφύσια με βρόγχο ανάδρασης (feedback loop), ο οποίος αντιδρά με το ποσό των NO_x στα καυσαέρια. Η διάρκεια ζωής των στοιχείων του καταλύτη είναι από τρία έως πέντε έτη για τα υγρά καύσιμα και περισσότερο για τις μηχανές που λειτουργούν με αέριο. Όταν το SCR εγκαθίσταται το περίβλημα συνήθως αντικαθιστά τον σιγαστήρα στην εισαγωγή καυσαερίων. Αυτό μειώνει τον θόρυβο και επίσης καθιστά το σύστημα κατάλληλο τόσο για νέες όσο και μεταγενέστερες εγκαταστάσεις. Η SCR είναι ένα πρόσθετο σύστημα με την έννοια ότι δεν παρεμβαίνει στον βασικό σχεδιασμό των μηχανών και δεν εξαρτάται από τον κατασκευαστή της μηχανής.

Η μείωση των εκπομπών NO_x με το σύστημα SCR ξεπερνά το 90%. Το σύστημα είναι σε θέση να μειώσει τις εκπομπές NO_x από 90-99%, τις εκπομπές HC από 80-90%, τις εκπομπές CO 80-90% και τις εκπομπές αιθάλης 30-40%.¹⁸

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι πρόκειται για μια μάλλον δαπανηρή επένδυση, ο όγκος του συστήματος είναι ίσος με το μέγεθος των μηχανών και καταναλώνει πολύ ουρία η οποία αποθηκεύεται επί του πλοίου και ο χειρισμός της γίνεται από το πλήρωμα. Για την επίτευξη υψηλών ποσοστών μείωσης το μέγεθος του συστήματος SCR πρέπει να αυξηθεί και είναι απαραίτητα πιο περίπλοκα συστήματα έγχυσης και προανάμιξης. Επίσης, μια υψηλή αναλογία NH_3/NO είναι αναγκαία για την επίτευξη του υψηλού ποσοστού μείωσης. Όλοι αυτοί οι λόγοι αυξάνουν την επένδυση και το κόστος λειτουργίας του συστήματος. Η υψηλή αναλογία NH_3/NO_x μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αύξηση των εκπομπών αμμωνίας. Αυτό συμβαίνει όταν δεν αντιδρά με τα οξείδια του

¹⁸ European Environmental Bureau

αζώτου όλη η εγχεόμενη στον αντιδραστήρα ουρία και ως εκ τούτου εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα μαζί με τα καυσαέρια. Η αμμωνία εκτός από ρύπος προκαλεί επίσης διάβρωση στο κανάλι καυσαερίων. Η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο θεωρείται ενδεδειγμένη προκειμένου να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα του συστήματος. Στο SCR μερική ποσότητα διοξειδίου του θείου στα καυσαέρια οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου (SO_3) και μπορεί να σχηματίσει θειώδες οξύ (H_2SO_3) ή θειικό οξύ (H_2SO_4). Αυτή είναι μια αναπόφευκτη διαδικασία στο σύστημα SCR, διότι σε υψηλά ποσοστά μείωσης υπάρχει αρκετή ουρία παρούσα στη διαδικασία. Το θειώδες οξύ σε συνδυασμό με την αμμωνία παράγει άλας αμμωνίου το οποίο είναι στερεό με υψηλό σημείο τήξης και έτσι οδηγεί σε αύξηση εκπομπών σωματιδίων. Το θειικό οξύ με τη σειρά του προκαλεί ταχεία διάβρωση του συστήματος και των άλλων εγκαταστάσεων του συστήματος καυσαερίων.

Υπάρχουν αρκετές έρευνες και ανάπτυξη που διεξάγονται στον τομέα αυτό σχετικά με νέους καταλύτες και εναλλακτικά αναγωγικά μέσα (π.χ. υδρογονάνθρακες) όπως επίσης και αποσύνθεση των οξειδίων του αζώτου χωρίς αναγωγικά μέσα. Ωστόσο, σημαντικές βελτιώσεις σε σύγκριση με το παραδοσιακό σύστημα SCR δεν έχουν παρουσιασθεί ακόμη.

3.4.3. ΦΙΛΤΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα σωματίδια είναι δυνατόν να αφαιρεθούν από τα καυσαέρια μέσω της χρήσης κυκλώνων και ηλεκτροστατικών φίλτρων. Οι κυκλώνες αφαιρούν τα σωματίδια χρησιμοποιώντας φυγόκεντρη δύναμη και τα ηλεκτροστατικά φίλτρα κάνουν χρήση του ηλεκτρομαγνητισμού. Ωστόσο, καμία από αυτές τις μεθόδους δεν έχουν δοκιμαστεί σε πλοία, οπότε δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία της αποδοτικότητας αυτών των μεθόδων. Επίσης το κόστος της επένδυσης είναι άγνωστο.

Φίλτρα σωματιδίων ντίζελ (παγίδες) έχουν αναπτυχθεί για υψηλόστροφες μηχανές. Τα φίλτρα αρχικά συλλαμβάνουν και στη συνέχεια οξειδώνουν τα σωματίδια. Αυτή η διαδικασία αποτελεί το πιο δύσκολο μέρος της διαδικασίας φιλτραρίσματος των σωματιδίων και διάφοροι μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί, οι οποίες λειτουργούν επαρκώς σε δύσκολες συνθήκες λειτουργίας της μηχανής, όπως είναι στα χαμηλά φορτία και ταχύτητες. Το μειονέκτημα του συστήματος φίλτρου είναι η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου λόγω της αύξησης αντίθλιψης (gas back pressure) των καυσαερίων. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν φίλτρα αρκετά μεγάλα για μεσόστροφες μηχανές. Το μεγαλύτερο φίλτρο διαθέσιμο είναι κατάλληλο για μηχανή ισχύος περίπου 500kW. Θα ήταν δυνατό να εγκατασταθούν αρκετές

μονάδες φίλτρων παράλληλα, αλλά το σύστημα θα καταστεί πολύ ακριβό σε μεσόστροφες και αργόστροφες μηχανές.

3.4.4. ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ

Στη μέθοδο οξείδωσης, τα οξείδια του άνθρακα (CO) και οι υδρογονάνθρακες (HC) στα καυσαέρια οξειδώνονται σε CO₂ και H₂O σε έναν αντιδραστήρα οξείδωσης. Ο αντιδραστήρας μπορεί να εγκατασταθεί σε συνδυασμό με μια μονάδα SCR. Η δυναμική μείωσης του αντιδραστήρα οξείδωσης είναι 70% για τις εκπομπές HC και 90-95% για τις εκπομπές CO.

Επίσης, οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να μειωθούν με καταλύτη οξείδωσης. Ωστόσο, το αποτέλεσμα είναι μέτριο αφού ο καταλύτης οξειδώνει αέριους υδρογονάνθρακες και το διαλυτό οργανικό κλάσμα, το οποίο αποτελεί τμήμα των αιωρούμενων σωματιδίων. Ο καταλύτης δεν επηρεάζει το τμήμα του άνθρακα των αιωρούμενων σωματιδίων. Το διαλυτό οργανικό κλάσμα αποτελεί το 30-60% της συνολικής μάζας των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων και ο καταλύτης μπορεί να αφαιρέσει το 50-90% αυτού, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Η μείωση του 50% επιτυγχάνεται στους 150°C και η μείωση του 90% επιτυγχάνεται στους 350°C. Το πρόβλημα του καταλύτη είναι ότι οξειδώνει το διοξείδιο του θείου δημιουργώντας θειικά ιόντα, ειδικά σε υψηλές θερμοκρασίες, και κατά συνέπεια οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων είναι αυξημένες.

3.5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.5.1. ΚΑΥΣΙΜΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΙΟ

Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) από τα πλοία είναι ανάλογες προς την περιεκτικότητα θείου των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο ευκολότερος και φθηνότερος τρόπος για τη μείωσή τους είναι η χρήση καυσίμων με χαμηλότερη περιεκτικότητα θείου. Το μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο έχει υψηλότερη ποιότητα και ως εκ τούτου προκαλεί μικρότερη φθορά των μηχανημάτων και απαιτεί λιγότερα λιπαντικά έλαια και συντήρηση. Επιπλέον η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο παρουσιάζει μια φθίνουσα επίδραση στις εκπομπές σωματιδίων ενώ η στροφή προς την χρήση αυτών δεν απαιτεί οποιεσδήποτε τροποποιήσεις της μηχανής. Ωστόσο, ορισμένη προσοχή πρέπει να δοθεί στη ποιότητα του λιπαντικού ελαίου του κυλίνδρου και στο ρυθμό τροφοδοσίας αυτού, καθώς επίσης και στις θερμοκρασίες του

νερού ψύξης του περιβλήματος της μηχανής (jacket). Τροποποιήσεις απαιτούνται για την αποθήκευση των καυσίμων και τον χειρισμό του συστήματος επί του πλοίου όταν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί βαθμοί ποιότητας μαζούτ, καθώς αυτοί μπορεί να είναι ασυμβίβαστοι μεταξύ τους. Οι διαφορετικές ποιότητες πετρελαίου μπορεί επίσης να απαιτούν τη χρήση διαφόρων ποιοτήτων λιπαντικών ελαίων και ως εκ τούτου η αποθήκευση και ο χειρισμός των λιπαντικών ελαίων θα πρέπει να αναδιοργανωθεί επίσης.

3.5.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Το πετρέλαιο ντίζελ είναι το πιο κοινό καύσιμο στους κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση και θα διατηρήσει τη θέση του, τουλάχιστον στο εγγύς μέλλον. Η ΕΕ έχει θέσει ως στόχο την αντικατάσταση του 20% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές με εναλλακτικά καύσιμα έως το 2020. Τα καύσιμα που θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν το ντίζελ είναι κατά κύριο λόγο τα βιοκαύσιμα, το φυσικό αέριο και το υδρογόνο. Επειδή τα αποθέματα του αργού πετρελαίου στον κόσμο εξακολουθούν να είναι σημαντικά και η αλλαγή της υποδομής είναι δαπανηρή, η αντικατάσταση του πετρελαίου ντίζελ κίνησης θα είναι μάλλον αργή.

3.5.2.1. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Τα σημερινού τύπου βιοκαύσιμα (πρώτης γενιάς) παράγονται από ζάχαρη, άμυλο, φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Πολλά από αυτά μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στα πλοία κατόπιν ελάχιστης ή μηδενικής προσαρμογής της μηχανής. Ανάλογα με την πηγή προέλευσης παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά ζητήματα, όπως η σταθερότητα κατά την αποθήκευση, η οξύτητα, ο σχηματισμός ιζημάτων κεριού, η αύξηση των κατακαθίσεων του κινητήρα, από τα οποία διαφαίνεται η σημαντικότητα της επιλογής του καυσίμου και της προσαρμογή της μηχανής. Προσοχή πρέπει να επιδεικνύεται επίσης έτσι ώστε να αποφεύγεται η επαφή με το νερό, δεδομένου ότι τα βιοκαύσιμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην βιο-μόλυνση (biofouling). Η ανάμιξη κλασμάτων καυσίμου βιολογικής προελεύσεως με ντίζελ ή μαζούτ αποτελεί μια εφικτή λύση από τεχνικής απόψεως, αλλά η συμβατότητα αυτών θα πρέπει να ελέγχεται. Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς μπορούν να αναβαθμιστούν μέσω διαδικασίας υδρογόνωσης σε διυλιστήριο. Στην περίπτωση αυτή, το καύσιμο που προκύπτει είναι υψηλής ποιότητας και τα προαναφερθέντα προβλήματα παύουν να ισχύουν. Αυτή η αναβάθμιση ωστόσο είναι ενεργοβόρα και ως εκ τούτου οδηγεί σε πρόσθετες εκπομπές.

Τα καθαρά οφέλη ως προς τις εκπομπές CO₂, διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο βιοκαυσίμου και εξαρτώνται άμεσα από τον τρόπο παραγωγής του. Έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά καύσεως σε σχέση με τα παραδοσιακά παράγωγα του αργού πετρελαίου (ντίζελ και μαζούτ) και η χρήση τους έχει σε ορισμένες περιπτώσεις οδηγήσει σε αυξήσεις της τάξεως του 7% - 10% στις εκπομπές NO_x. Ωστόσο, η επίδραση των οξειδίων του αζώτου θα μπορούσε ήταν διαφορετική εάν η μηχανή είχε βελτιστοποιηθεί (π.χ. ρυθμός έγχυσης καυσίμου και χρονισμός) για χρήση βιοκαυσίμων.

Η πρώτη γενιάς βιοκαύσιμα έχουν επικριθεί για το ότι οδηγούν σε έλλειψη τροφίμων και αύξηση των τιμών τους, αποψίλωση δασών, διάβρωση του εδάφους και επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους. Βιοκαύσιμα που παράγονται από υπολείμματα καλλιεργειών που δεν προορίζονται για βρώση (φύλλα, μίσχοι), καθώς επίσης και από βιομηχανικά απόβλητα όπως ροκανίδια, δέρματα πολτός φρούτων κ.α., αναφέρονται ως δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα. Η διαδικασία μετατροπής που απαιτείται για την παραγωγή τους σε βιομηχανική κλίμακα και με οικονομικά βιώσιμο τρόπο, είναι ακόμη σε εξέλιξη.

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

3.5.2.2. ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ (LNG)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό καύσιμο στον τομέα της ναυτιλίας. Έχει υψηλότερη αναλογία υδρογόνου-άνθρακα σε σύγκριση με καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερες ειδικές εκπομπές CO₂ (CO₂/kg καυσίμου). Επιπλέον, το υγροποιημένου φυσικό αέριο είναι ένα καθαρό καύσιμο το οποίο δεν περιέχει θείο. Αυτό εξαλείφει τις εκπομπές SO_x και σχεδόν εξαλείφει τις εκπομπές σωματιδίων. Επιπλέον οι εκπομπές NO_x μειώνονται έως και 90% λόγω της μείωσης των υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διαδικασία της καύσης. Δυστυχώς, η χρήση του αυξάνει τις εκπομπές μεθανίου (CH₄), ελαττώνοντας κατά συνέπεια τη συνολική ωφέλεια από 25% σε περίπου 15%.

Τα πλοία που κινούνται με LNG θα είναι ιδιαίτερα ελκυστικά στο μέλλον σε περιοχές ελέγχου των εκπομπών (SECA), δεδομένου ότι μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις

μείωσης των εκπομπών (Tier III) και τις απαιτήσεις SO_x καθώς προϋποθέτουν οποιαδήποτε επεξεργασία των καυσαερίων.

Μία από τις κύριες προκλήσεις στη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου στα πλοία, είναι η εξεύρεση επαρκούς χώρου για την αποθήκευσή του. Με την ίδια απόδοση ενέργειας, το φυσικό αέριο έχει 1,8 φορές μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με το πετρέλαιο. Ωστόσο, οι ογκώδεις δεξαμενές αποθήκευσης και πίεσης απαιτούν ακόμα μεγαλύτερο χώρο και έτσι η πραγματική απαίτηση όγκου είναι τρεις φορές μεγαλύτερη. Επιπλέον, η δυνατότητα ανεφοδιασμού στους λιμένες είναι μια πρόκληση που πρέπει να επιλυθεί πριν γίνει μια πρακτικά εφαρμόσιμη εναλλακτική λύση. Η μετάβαση από την πρόωση με πετρέλαιο στην πρόωση με LNG είναι δυνατή, αλλά η χρήση του αφορά κυρίως νέες ναυπηγήσεις μετά από εκτεταμένες μετατροπές των μηχανών και κατανομή των επιπλέον χώρων αποθήκευσης.

Επί του παρόντος, η τεχνολογία LNG είναι διαθέσιμη μόνο για τετράχρονους μηχανές. Για τις δίχρονες μηχανές απαιτείται μια διαφορετική αντίληψη υλοποίησης, βασιζόμενη στον άμεσο ψεκάσμο. Τα οφέλη αυτής της τεχνολογίας αναφορικά με τις εκπομπές NO_x είναι μικρότερα συγκριτικά με την τεχνολογία των τετράχρονων μηχανών.

Η παρούσα δυναμική για τη μείωση των εκπομπών CO₂ από τα πλοία μέσω της χρήσης υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι περιορισμένη δεδομένου ότι αφορά νέες ναυπηγήσεις και επειδή επί του παρόντος υπάρχουν περιορισμένες δυνατότητες ανεφοδιασμού. Η επικείμενη δημιουργία επιπλέον περιοχών ελεγχόμενων εκπομπών NO_x και SO_x (SECA) θα παράσχει σημαντικά πρόσθετα κίνητρα για τη χρήση του ως μέσο πρόωσης στην ναυτιλία μικρών αποστάσεων, καθώς οι απαιτήσεις μπορούν εύκολα να καλυφθούν. Η τιμή του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι επί του παρόντος σημαντικά χαμηλότερη από εκείνη των αποσταγμένων καυσίμων, θέτοντας ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο για την μετάβαση σε LNG.

3.5.2.3. ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η εφαρμογή κυψελών καυσίμου επί του πλοίου θα εξαλείψει εντελώς το πρόβλημα των εκπομπών οξειδίων του αζώτου NO_x. Ένα πλοίο με υδρογόνο ως καύσιμο θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια κυψέλη καυσίμου σε συνδυασμό με μια ηλεκτρική μονάδα. Καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες και ο μεγάλος χρόνος εκκίνησης δεν θα δημιουργούσαν προβλήματα

στα πλοία, η τεχνολογία με κυψέλες καυσίμου θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει στερεό οξείδιο (solid oxide) ή λιωμένο ανθρακικό (molten carbonate).

Υπάρχουν ήδη ορισμένες εμπορικές εφαρμογές των κυψελών καυσίμου σε μικρά πλοία (15 kW). Για τα μεγαλύτερα πλοία, των οποίων η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι της τάξεως των 60 MW, η εφαρμογή των κυψελών καυσίμου έχει πολύ δρόμο στο μέλλον. Επίσης οι υποδομές για το υδρογόνο το οποίο και αποτελεί το ιδανικό καύσιμο των κυψελών, λείπουν. Ως εκ τούτου τα πλοία θα χρειαστούν μια πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα δεξαμενής για να καλύψει την ίδια ανάγκη για ενέργεια με το ντίζελ. Ωστόσο, η αποθήκευση καυσίμων δεν θα μειώσει το πραγματικό ωφέλιμο φορτίο για τα μεγάλα σκάφη από τη στιγμή που αυτό το είδος των σκαφών έχουν συνήθως σημαντικό αχρησιμοποίητο εσωτερικό όγκο. Το άλλο πρόβλημα στην εφαρμογή κυψελών καυσίμου είναι ότι δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικές σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Η απόδοση των δύο αυτών συστημάτων υπολογίζεται ότι είναι περίπου η ίδια, αλλά οι κυψέλες καυσίμου είναι πιο ακριβές από τα κινητήρες ντίζελ.

Πολλά τεχνικά προβλήματα στην τεχνολογία κυψελών καυσίμου απαιτούν επίλυση καθώς και μείωση του κόστους κεφαλαίου σε ένα πιο ανταγωνιστικό επίπεδο σε σχέση με τις μηχανές ντίζελ. Σημαντική ερευνητική προσπάθεια βρίσκεται σε εξέλιξη αναφορικά με την τεχνολογία κυψελών καυσίμου αλλά επικεντρώνεται στην εξεύρεση αξιόπιστων λύσεων για την τροφοδοσία ρεύματος επί του πλοίου αντί λύσεων που να αφορούν το σύστημα πρόωσης

3.5.3. ΝΕΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Από την άποψη της μείωσης των εκπομπών πολλά μπορούν να κερδηθούν από την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των πλοίων ή ακόμα και ολόκληρου του συστήματος μεταφορών. Τα μεγάλα πλοία καταναλώνουν λιγότερο καύσιμο ανά μονάδα φορτίου και ως εκ τούτου ρυπαίνουν λιγότερο την ατμόσφαιρα. Έχουν επίσης, ταχύτερη λειτουργία σε σχέση με τα μικρότερου μεγέθους πλοία, έτσι ώστε με την ίδια ποσότητα καυσίμων να μπορούν να μεταφέρουν περισσότερο φορτίο. Επομένως για τους διαχειριστές πλοίων είναι η οικονομικότερη και πιο επωφελής λύση από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, να λειτουργούν με μεγάλα και γρήγορα πλοία.

Ο καθαρισμός και το βάψιμο των πλοίων επιδρούν στα επίπεδα ρύπανσης. Εάν το πλοίο καθαρίζεται και βάφεται ενώ βρίσκεται σε δεξαμενισμό, μια ελαφρά μείωση των επιπέδων των εκπομπών επιτυγχάνεται λόγω της χαμηλότερης αντίστασης του πλοίου.

Η βελτιστοποίηση των συστημάτων του πλοίου, εκτός της μηχανής, όπως της έλικας, του πηδαλιού και του κύτους, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα και συνεπώς τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του πλοίου. Η Marintek έχει εκτιμήσει ότι η δυνατότητα μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών μέσω βελτιστοποιημένο σχήμα γάστρας και με μια καλύτερη προπέλα για ένα νέο πλοίο, μπορεί να είναι μέχρι 30 τοις εκατό.

Για τη βελτίωση της ενέργειας του πλοίου, η ανάκτηση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αντί να σπαταλιέται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στους τομείς του πλοίου που θα απαιτούσε κανονικά τη χρήση των λεβήτων με πετρέλαιο.

3.5.3.1. ΚΥΤΟΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Μέριμνα για την βελτιστοποίηση της γάστρας λαμβάνεται στον σχεδιασμό των σύγχρονων πλοίων. Τα περισσότερα νέα σχέδια εφαρμόζουν κάποια συστηματική διεργασία βελτιστοποίησης της μορφής της με έμφαση στην μειωμένη αντίσταση και τη βελτιωμένη αποδοτικότητα του συστήματος πρόωσης. Η επίτευξη άρτιων συνθηκών λειτουργίας της έλικας αποτελεί πρωταρχικής σημασίας θέμα το οποίο εξετάζεται από κοινού με την βελτιστοποίηση της μορφής της γάστρας. Ένα βασικό σημείο αποτελεί η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού με γνώμονα τον τομέα δραστηριοποίησης του κάθε πλοίου.

Η υπερκατασκευή του κάθε πλοίου αποτελεί ένα μικρό μονάχα μέρος της ολικής αντίστασης που παρουσιάζει το σκάφος. Εντούτοις, είναι πιθανό μέσω βελτιωμένου σχεδιασμού να εξοικονομηθεί ενέργεια, ελαχιστοποιώντας την αντίσταση του αέρα και των δυσχερών επιπτώσεων των πλευρικών ανέμων. Τα παραπάνω είναι ιδιαιτέρως σημαντικά για πλοία με μεγάλη υπερκατασκευή.

Μειώνοντας το βάρος του κύτους, μειώνεται η βρεχόμενη επιφάνεια με αποτέλεσμα την μείωση της τριβής και αντίστασης και ως εκ τούτου επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας. Η δυνατότητα μείωσης του βάρους συνδέεται με τις απαιτήσεις ασφάλειας και στιβαρότητας της κατασκευής. Για να μειωθεί το βάρος, απαιτείται η χρήση ελαφρών υλικών υψηλής

αντοχής. Επί του παρόντος η χρήση τέτοιων υλικών όπως αλουμίνιο και ανθρακονημάτων, περιορίζεται στην κατασκευή ταχύπλων σκαφών.

3.5.3.2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΩΣΗΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια επί του σκάφους παράγεται από αργόστροφες ή μεσόστροφες μηχανές, με εξαίρεση σε πολύ ειδικές περιπτώσεις. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξηθεί ποικιλοτρόπως.

Εξοικονόμηση ενέργειας είναι δυνατόν να επιτευχθεί μέσω των καυσαερίων, χρησιμοποιώντας τουρμπίνες ηλεκτροπαραγωγής κινούμενες είτε απευθείας από τα καυσαέρια είτε από ατμό παραγόμενο από την θερμότητα της μηχανής, είτε από αμφοτέρους τις μεθόδους. Η εξοικονομούμενη ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί στην κίνηση γεννήτριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή για την υποβοήθηση της κύριας μηχανής. Μελλοντικά συστήματα ενδέχεται να χρησιμοποιούν υγρά διαφορετικά από τον ατμό, δεδομένου ότι αυτά επιτρέπουν μικρότερης κλίμακας συστήματα με υψηλότερες αποδόσεις. Η ανακτώμενη ενέργεια των καυσαερίων μπορεί να δημιουργήσει πρόσθετη δύναμη που αντιστοιχεί στο 10% του συνόλου, και οι αποδόσεις άξονα μπορούν να αυξηθούν από 50% σε 55% για τις μεγάλες δίχρονες μηχανές. Η υπερσυμπίεση δύο σταδίων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα άλλο μέσο για την ανάκτηση ενέργειας μέσω των καυσαερίων για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.

Σε περιπτώσεις όπου ο τομέας δραστηριότητας του πλοίου είναι μεταβλητός, είναι δυνατόν να εφαρμοστούν ειδικές εγκαταστάσεις για την βελτιστοποίηση της χρήσης και της αποδοτικότητας, όπως είναι διάφορες παραλλαγές του μεγέθους και αριθμού των βοηθητικών μηχανών και τα συστήματα αξονικής γεννήτριας. Συστήματα πρόωσης με χρήση Ντίζελ και ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις περιπτώσεις. Η ηλεκτροκίνηση ωστόσο εισάγει επιπρόσθετες ενεργειακές απώλειες οι οποίες πρέπει να ανακτηθούν προκειμένου να είναι δυνατή οποιαδήποτε εξοικονόμηση. Το σύστημα πρόωσης με ντίζελ και ηλεκτρική ενέργεια προσφέρει πρόσθετα οφέλη, όπως η αύξηση της ευελιξία του σχεδιασμού, η οποία μπορεί να μεταφράσει έμμεσα σε εξοικονόμηση ενέργειας.

Η πρόωση παράγεται στην προπέλα. Υψηλή απόδοση της έλικας επιτυγχάνεται όταν μία μεγάλη έλικα περιστρέφεται με χαμηλή ταχύτητα. Στην ιδανική περίπτωση, ο αριθμός των περυγίων της έλικας θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, προκειμένου να μειωθεί η τριβή.

Συνήθεις περιορισμοί σχεδιασμού αφορούν περιορισμούς σχετικά με τη διάμετρο, την σπηλαίωση και το φορτίο. Το μέγεθος της έλικας περιορίζεται από τη σχεδίαση του πλοίου, το βύθισμα την ροπή της μηχανής.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενεργειακή απόδοση μπορούν να επιτευχθεί μέσω διάφορων βελτιώσεων, όπως είναι τα υψηλής απόδοσης πηδάλια, πτερύγια, αγωγοί, ασύμμετρα πηδάλια, έλικες αντίθετης περιστροφής. Πολλές από αυτές τις μεθόδους μπορεί να θεωρηθούν γενικά ως εναλλακτικοί τρόποι ανάκτησης ενέργειας από την περιστροφή του έλικα. Η τυπική δυννητική εξοικονόμηση των συστημάτων αυτών εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 5-10% της προωστήριας ισχύος του πλοίου.

3.5.4. ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΑΠΟ ΞΗΡΑ

Όταν τα πλοία είναι αγκυροβολημένα στα λιμάνια, χρησιμοποιούν συνήθως τις βοηθητικές μηχανές τους για να παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται επί του σκάφους. Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούν υψηλής περιεκτικότητας σε θείο μαζούτ ή χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο ναυτιλιακό πετρέλαιο που προκύπτουν έχοντας ως αποτέλεσμα παραγωγή αερίων ρύπων. Η εναλλακτική λύση για τη λειτουργία των βοηθητικών μηχανών στο λιμάνι είναι η ηλεκτροδότηση από την ξηρά. Ωστόσο, αυτό απαιτεί επενδύσεις και ορισμένες τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν στους λιμένες και επί του σκάφους. Υπάρχουν μερικά λιμάνια όπου η σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο από την ξηρά είναι ήδη δυνατή για ορισμένα είδη πλοίων και η εμπειρία από αυτά έχει δείξει ότι τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργεια ξηράς είναι απλά στη χρήση και να είναι γρήγορη η εναλλαγή σε ηλεκτροδότηση από την ξηρά, όταν το πλοίο φτάνει στο λιμάνι.

Η Swedish MariTern διεξήγαγε μελέτη για το κόστος της ηλεκτροδότησης από την ξηρά. Διαπιστώθηκε πως η χρήση της είναι δύο έως τέσσερις φορές πιο ακριβή σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους από ηλεκτρομηχανές που λειτουργούν με βαρύ πετρέλαιο. Ωστόσο στην μελέτη αρχικά συμπεριλήφθηκε μόνο το άμεσο κόστος. Όταν όμως αξιολογήθηκε και το εξωτερικό (κοινωνικό) κόστος, η χρήση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά αποδείχθηκε η φθηνότερη επιλογή. Τα εξωτερικά κόστη, τα οποία προκαλούνται από τις αρνητικές επιπτώσεις των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα, την υγεία και το περιβάλλον, είναι πολύ χαμηλότερα για τα πλοία που συνδέονται με την ξηρά για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογα με το καύσιμο, το εξωτερικό κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους, βρέθηκε να είναι 15 έως 75 φορές υψηλότερο από τη

χρήση ηλεκτρικού ρεύματος από την ξηρά, το οποίο παράγεται από ένα σύγχρονο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα.

Μια ακόμη πρόσφατη μελέτη ηλεκτροδότησης από την ξηρά, πραγματοποιήθηκε από την αμερικανική ENVIRON για το λιμάνι του Long Beach στην Καλιφόρνια. Η μελέτη συμπεριλάμβανε δώδεκα πλοία διαφορετικού τύπου, ηλικίας, περιοχής δραστηριοποίησης και συχνότητας ελλιμενισμού. Διαπιστώθηκε ότι για πέντε από τα δώδεκα πλοία, η χρήση ηλεκτροδότησης από την ξηρά ήταν οικονομικά αποδοτική καθώς και ότι για αυτά τα πλοία η χρήση της μείωνε κατά 90% τις εκπομπές που δημιουργούνται από τα δώδεκα πλοία της μελέτης.

Τα πέντε αυτά πλοία της μελέτης είχαν συχνούς ελλιμενισμούς με σημαντικό χρόνο παραμονής στο λιμάνι και συνεπώς, παρουσίαζαν σημαντικές ενεργειακές καταναλώσεις. Το συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι για πλοία υψηλής κατανάλωσης ισχύος κατά τον ελλιμενισμό, θα ήταν οικονομικά αποδοτικό να χρησιμοποιείται ηλεκτροδότηση από την ξηρά καθώς περιορίζονται σημαντικά οι εκπομπές τους.

Υπάρχουν ήδη αρκετές επιτυχημένες υλοποιήσεις χρήσης ηλεκτροδότησης από τη ξηρά, όπως για παράδειγμα τα λιμάνια του Γκέτεμποργκ, Σίμπρουκ, Σιάτλ και Λος Άντζελες. Επί της παρούσης η χρήση της είναι ενδεχομένως φθηνότερη από τη χρήση χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο καυσίμων λόγω των υψηλών τιμών του πετρελαίου. Εάν τα πλοία απαλλάσσονταν και από φόρο ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλεκτροδότηση από την ξηρά θα ήταν ακόμη πιο ελκυστική οικονομικά. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα εκδώσει σύσταση προς τις κυβερνήσεις και λιμένες για την προώθηση της ηλεκτροδότησης από την ξηρά.

3.6. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Δεδομένου ότι το CO₂ είναι το σημαντικότερο από τα αέρια του θερμοκηπίου που εκλύεται από την ναυτιλία, ο IMO ανέπτυξε σχεδιασμό δεικτών οι οποίοι θα αξιολογούν την αποδοτικότητα του σχεδιασμού και της λειτουργίας των πλοίων. Συγκεκριμένα οι δείκτες αυτοί αναφέρονται ως Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδίασης (Energy Efficiency Design Index) και Δείκτης Επιχειρησιακής Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Operational Indicator). Οι δείκτες αυτοί εκφράζουν τη σχέση μεταξύ κόστους (δηλαδή των εκπομπών), και οφέλους που παράγεται, το οποίο εκφράζεται ως έργο μεταφορικής ικανότητας.

Ο δείκτης EEDI εκφράζει τις εκπομπές CO₂ των πλοίων κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ., φορτίο μηχανής, βύθισμα, ο άνεμος, τα κύματα, κλπ.) συναρτήσει ενός ονομαστικού μεταφορικού έργου. Η μονάδα μέτρησής του εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ ανά χωρητικότητα ανά μίλι. Η χωρητικότητα για τα περισσότερα πλοία εκφράζεται σε τόνους νεκρού βάρους. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει ένας αριθμός για κάθε πλοίο ο οποίος εκφράζει τις σχεδιαστικές του επιδόσεις. Με τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τους EEDI για έναν αριθμό πλοίων μέσα σε μια κατηγορία, προκύπτουν στοιχεία ενεργειακής αποδοτικότητας των εν λόγω πλοίων.

Η θεμελιώδης αρχή πίσω από τον Δείκτη Επιχειρησιακής Ενεργειακής Απόδοσης (EEOI) είναι η ίδια με τον EEDI, δηλαδή, εκφράζει τη σχέση μεταξύ κόστους (εκπομπές) και οφέλους που παράγεται από το μεταφορικό έργο. Η μονάδα μέτρησής του εκφράζεται σε γραμμάρια CO₂ ανά χωρητικότητα ανά μίλι. Διαφοροποιείται όμως στο ότι ο όρος χωρητικότητα σε αυτήν την περίπτωση εκφράζει την πραγματική ποσότητα φορτίου που μεταφέρεται από το πλοίο, εν αντιθέσει με τον EEDI όπου εκφράζει την σχέση μεταφερόμενου φορτίου και συνολικής μεταφορικής ικανότητας του πλοίου. Σε αυτήν την περίπτωση η χωρητικότητα για τα περισσότερα πλοία θα εκφράζεται σε τόνους φορτίου που μετακινήθηκε ανά μίλι. Επιπλέον στοιχείο διαφοροποίησης είναι ότι ο EEOI, σε αντίθεση με τον EEDI, μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του πλοίου. Ως εκ τούτου, ο EEOI θα πρέπει να υπολογίζεται για κάθε σκέλος του ταξιδιού ξεχωριστά.

Στα πλαίσια της προσπάθειας εξεύρεσης αποδοτικότερων πρακτικών διαχείρισης των πλοίων εξετάζεται η εισαγωγή του Σχεδίου Διαχείρισης Απόδοσης Πλοίου (SEMP). Με το σχέδιο αυτό εισαγάγεται ένα πλαίσιο ενεργειακά αποδοτικής λειτουργίας μέσω παρακολούθησης των επιδόσεων και εξεύρεσης πιθανών βελτιώσεων. Η ανάπτυξη του SEMP θα μπορούσε να αναπτυχθεί τόσο από τον διαχειριστή του πλοίου όσο και από άλλους εμπλεκόμενους φορείς. Μια επιτυχής εφαρμογή του πλαισίου θα πρέπει να περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις:

1. Σχεδιασμός
2. Εφαρμογή
3. Παρακολούθηση απόδοσης και,
4. Βελτίωση

Η υλοποίηση της παρακολούθησης της απόδοσης του Σχεδίου μπορεί να γίνει μέσω του δείκτη ΕΕΟΙ παρέχοντας έναν αποδοτικό μηχανισμό παρακολούθησης της ενεργειακής απόδοσης ενός στόλου πλοίων. Γενικά το σύστημα κινείται μέσα σε όρια που έχουν ήδη δημιουργηθεί από την εφαρμογή του ISM αναφορικά με την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Κατά αυτόν τον τρόπο αποτελεί ένα ακόμα βήμα ενίσχυσης των απαιτήσεων του ISM.

Πλέον όπως αναλύθηκε σε προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου, υπάρχει διαθέσιμο ένα ευρύ φάσμα επιλογών για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και την μείωση των εκπομπών, μέσω αλλαγών στον σχεδιασμό και λειτουργία του πλοίου. Μια συγκεντρωτική αξιολόγηση της δυναμικής των εν λόγω επιλογών, παρουσιάζεται στον Πίνακα 13.

Σχεδιασμός (Νέα Πλοία)	Εξοικονόμηση CO ₂ / τονο-μίλι	Συνδυασμένο Αποτέλεσμα	Συνδυασμένο Αποτέλεσμα
Σύστημα Πρόωσης και Ενέργεια	5%-15%	10%-50%	25%-75%
Κύτος και Υπερκατασκευή	2%-20%		
Ανανεώσιμη Ενέργεια	1%-10%		
Σχέδιο, ταχύτητα	2%-50%		
Καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας άνθρακα	5%-15%		
Λειτουργία Πλοίων (Όλα τα πλοία)			
Logistics, Διαχείριση Στόλου	5%-50%	10%-50%	
Βελτιστοποίηση Ταξιδιού	1%-10%		
Διαχείριση Ενέργειας	1%-10%		

Πίνακας 13 : Δυναμική μείωσης εκπομπών μέσω τεχνικών και λειτουργικών εφαρμογών. **Πηγή :** IMO(2009),2nd GHG Study

Οποιαδήποτε όμως τεχνικής και επιχειρησιακής φύσεως λύση και εάν προωθείται, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ανάπτυξη και υλοποίηση πολιτικών που θα υποστηρίζουν τα μέτρα αυτά. Πρωταρχικό ρόλο σε αυτόν τον τομέα παίζει ο IMO. Στην 2^η Έκθεση του για τα Αέρια του Θερμοκηπίου το 2009, παρουσιάστηκε μια συνολική επισκόπηση των υπό προώθηση πολιτικών με χρήση των δεικτών EEDI και ΕΕΟΙ σαν βασικές παραμέτρους . Συγκεκριμένα προωθούνται:

1. Εφαρμογή υποχρεωτικού ορίου του Δείκτη Ενεργειακής Απόδοσης Σχεδίασης (EEDI) για τα νεότευκτα πλοία
2. Υποχρεωτική ή προαιρετική υποβολή αναφοράς του EEDI στα νέα πλοία
3. Υποχρεωτική ή προαιρετική υποβολή αναφοράς του Δείκτη Επιχειρησιακής Ενεργειακής Απόδοσης (ΕΕΟΙ).

4. Υποχρεωτική ή προαιρετική χρήση Σχεδίου Αποδοτικότητας Διαχείρισης Πλοίου (SEMP).
5. Υποχρεωτικό κατώτατο όριο του ΕΕΟΙ, σε συνδυασμό με ποινή για περιπτώσεις με συμμόρφωσης.
6. Υιοθέτηση ενός Ναυτιλιακού Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών (METS), και τέλος
7. Η χρηματοδότηση κεφαλαίου για διεθνείς αποζημιώσεις (ICF), από εισφορές επί των ναυτιλιακών καυσίμων.

3.7. ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Αβεβαιότητα επικρατεί αναφορικά με την εκτίμηση του κόστους των διαφόρων τεχνικών μείωσης εκπομπών, δεδομένου ότι πολλές από αυτές είναι ακόμα υπό ανάπτυξη ή έχουν εφαρμοστεί μονάχα σε μικρό αριθμό εγκαταστάσεων. Οι λόγοι αυτοί περιορίζουν τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών σχετικά με το κόστος. Η νεότερη εκτίμηση του κόστους έγινε από ομάδα συμβούλων της Entec η οποία υπολόγισε το κόστος για τις περισσότερες από τις πιο κοινές τεχνολογίες μειώσεις εκπομπών των οξειδίων αζώτου και θείου.

Ο φθηνότερος τρόπος για τη μείωση των εκπομπών NO_x είναι με την εγκατάσταση συστήματος ολισθαίνουσας βαλβίδας (slide valve). Το κόστος για τη μείωση των εκπομπών με την εγκατάσταση αυτού του συστήματος σε καινούριες ή νέες μηχανές είναι περίπου 12 ευρώ ανά τόνο οξειδίου του αζώτου που μειώνεται για μικρού και μεσαίου μεγέθους πλοία, και 9 ευρώ για τα μεγάλα σκάφη. Για τις παλαιότερες μηχανές το κόστος είναι 60, 24 και 15 ευρώ ανά τόνο NO_x που μειώνεται για τα μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους πλοία, αντίστοιχα.

Το κόστος της εφαρμογής ενός συνδυασμού μέτρων εσωτερικής τροποποίησης της μηχανής, όπως επιβραδυμένη έγχυση, υψηλότερη αναλογία συμπίεσης, αυξημένη αποδοτικότητα υπερπλήρωσης, υψηλότερη πίεση κυλίνδρου και χαμηλή θερμοκρασία εισαγωγής, ανέρχεται σε 98, 33 και 19 ευρώ ανά μειωμένο τόνο NO_x για τις μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους μηχανές, αντίστοιχα. Αυτά τα κόστη υπολογίζονται για τις μηχανές νέας κατασκευής. Τα μέτρα αυτά απαιτούν ακόμη περισσότερη έρευνα και αυτό λαμβάνεται επίσης υπόψη, συμπεριλαμβάνοντας στις εκτιμήσεις του κόστους και τις δαπάνες της μελλοντικής έρευνας και ανάπτυξης που απαιτούνται από τους κατασκευαστές.

Το κόστος της έγχυσης νερού υπολογίζεται για τις τεχνολογίες Direct Water Injection και Humid Air Motor. Για την τεχνολογία DWI το κόστος για τους νέους κινητήρες ανά τόνο μειωμένων NO_x είναι 411, 360 και 345 ευρώ για τα μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους πλοία, αντίστοιχα. Με την τεχνολογία HAM οι δαπάνες κυμαίνονται από 198 ευρώ έως 268 ευρώ ανά τόνο μειωμένων NO_x για τις νέες μηχανές ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους. Για τη μετασκευή του συστήματος το κόστος θα είναι μεταξύ 263 και 306 ευρώ ανά τόνο μειωμένων NO_x . Η τεχνολογία HAM έχει σημαντικά υψηλότερες αρχικές δαπάνες από τα υπόλοιπα μέτρα μείωσης των NO_x . Ένας λόγος για αυτό είναι το υψηλό κόστος προεγκατάστασης, όπως για παράδειγμα, το κόστος που σχετίζεται με την έρευνα και την ανάπτυξη.

Με το σύστημα της Επιλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Catalytic Reduction) το κόστος μείωσης των NO_x εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Η εγκατάσταση του συστήματος SCR είναι πιο ακριβή για τα πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, καθώς το κόστος κυμαίνεται μεταξύ 526 και 809 ευρώ ανά τόνο μειούμενου οξειδίου του αζώτου ανάλογα με το μέγεθος πλοίου είτε το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε νέα μηχανή είτε μετασκευάστηκε παλαιότερη. Για τα πλοία που πλέουν σε περιοχές όπου η περιεκτικότητα θείου στα καύσιμα είναι μικρή, η εγκατάσταση του συστήματος είναι ελαφρώς φθηνότερη λόγω της χρήσης των χαμηλής περιεκτικότητας θείου καυσίμων. Στην περίπτωση αυτή, το κόστος μείωσης των NO_x είναι 398-613 ευρώ ανά τόνο. Για τα πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμα MDO πολύ χαμηλής περιεκτικότητας θείου, το κόστος είναι της τάξης των 313-483 ευρώ ανά τόνο NO_x .

Μεταξύ των ετών 1990 και 2001, η διαφορά τιμής μεταξύ του Μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας θείου (λιγότερο από 1%) και του Μαζούτ υψηλής περιεκτικότητας θείου (3,5%S) κατά μέσο όρο ήταν 19 δολάρια ανά τόνο. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος της μείωσης των εκπομπών SO_2 ήταν 400 ευρώ ανά τόνο μειωμένων SO_2 . Η CONCAWE εκτιμά ότι εάν το καύσιμο αλλαχθεί από περιεκτικότητα θείου 2,7% σε 1,5%, το κόστος μείωσης των SO_2 ανέρχεται σε 1.230 ευρώ ανά τόνο SO_2 . Ενώ εάν καύσιμο με 2,7% θείο αλλαχθεί με καύσιμο περιεκτικότητας θείου 0,5%, το κόστος ανέρχεται στα 1690 ευρώ ανά τόνο μειωμένου SO_2 .

Σύμφωνα με υπολογισμούς¹⁹ ο καθαρισμός με θαλασσινό νερό είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για τον περιορισμό των εκπομπών SO_2 σε όρους κόστους ανά τόνο μειωμένου SO_2 .

¹⁹ Ritchie et al. (2005a)

Το κόστος κυμαίνεται από 320 έως 390 ευρώ, όταν το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε νέα μηχανή και από 500 ευρώ σε 580 ευρώ, όταν το σύστημα εγκαθίσταται κατόπιν μετασκευής. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί πως ο καθαρισμός με θαλασσινό νερό είναι ακόμα υπό εξέλιξη και δεν έχουν υλοποιηθεί εμπορικές εφαρμογές.

Τεχνολογία	% Μείωση	Κόστος
Ολισθαίνουσα Βαλβίδα	20 % NO _x	10-60 ευρώ/τόνο NO _x
Εσωτερικές Τροποποιήσεις Μηχανής	30 % NO _x	20-100 ευρώ/τόνο NO _x
Άμεση Έγχυση νερού	50 – 60 % NO _x	350-410 ευρώ/τόνο NO _x
Κινητήρας υγρού αέρα	70 – 80 % NO _x	200-310 ευρώ/τόνο NO _x
Επιλεκτική Καταλυτική Αναγωγή	90 – 99 % NO _x ,80 – 90 % CO,HC και PM	310-810 ευρώ/τόνο NO _x
Χαμηλή Περιεκτικότητα Θείου 2,7 > 1,5 % S	40 % SO ₂ , 18 % PM	2130-2050 ευρώ/τόνο SO ₂
Καθαρισμός με Θαλασσινό Νερό	95 % SO ₂ , 80 % PM	320-580 ευρώ/τόνο SO ₂

Πίνακας 14 :Κόστος και περιθώρια μείωσης των διαφόρων τεχνολογιών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της ανάλυσης του πρώτου κεφαλαίου τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον ελλαδικό χώρο ταυτίζονται με την τάση που επικρατεί διεθνώς. Αυτό είναι απολύτως λογικό αφού τόσο η ποιότητα των καυσίμων όσο και οι τεχνολογίες των πλοίων που βρίσκονται σε εφαρμογή εντάσσονται και διέπονται από προδιαγραφές και νομικό καθεστώς που ισχύει διεθνώς. Αυτό που μπορεί να διαφοροποιεί τα μεγέθη σε εθνικό επίπεδο είναι η πυκνότητα της κυκλοφορίας από περιοχή σε περιοχή ή η εφαρμογή ειδικού καθεστώτος που προς το παρόν ισχύει μόνο για τις ζώνες SECA. Η προσέγγιση όμως η οποία χρησιμοποιήθηκε με την μεθοδολογία της κατανάλωσης, σκοπό είχε να προσδιορίσει την τάση των εκπεμπόμενων ρύπων. Για περισσότερο ακριβή αποτελέσματα αναφορικά με τα μεγέθη των εκπομπών, μπορεί να ακολουθηθεί μέθοδος που περιλαμβάνει παραμέτρους όπως οι κινήσεις των πλοίων, οι διάφοροι τύποι μηχανών που είναι εγκατεστημένες και ο διαχωρισμός του χρόνου παραμονής του πλοίου εν ορμώ και εν πλω. Ανεξάρτητα ωστόσο

από την οδό που θα επιλέξει κάποιος για να προσεγγίσει το θέμα, το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι είναι πλέον επιτακτική ανάγκη να τεθούν σε εφαρμογή αυστηρότερα ρυθμιστικά μέτρα περιορισμού των εκπομπών σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ήδη υπάρχον ρυθμιστικό καθεστώς της ναυτιλίας που παρουσιάστηκε δυστυχώς δεν έφερε τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Η ναυτιλία παραμένει η πλέον αποτελεσματική ενεργειακά βιομηχανία. Δια θαλάσσης διεκπεραιώνεται η μεταφορά περίπου του 90% του παγκόσμιου εμπορίου, ενώ την ίδια στιγμή παράγεται 5 φορές λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα σε σχέση με φορτηγά και τρένα και 30 φορές λιγότερο σε σχέση με τα αεροπλάνα. Αν και τα παραπάνω αποτελούν αδιαμφισβήτητα στοιχεία, εντούτοις η παγκόσμια ναυτιλία ευθύνεται ετησίως για εκπομπές 1.046 εκατ. τόνων διοξειδίου του άνθρακα ή το 3,3% των παγκόσμιων εκπομπών. Μια ποσότητα που ξεπερνά τις συνολικές εκπομπές της Αγγλίας ή του Καναδά, ενώ μελλοντικά σενάρια υποδεικνύουν αύξηση σε 1.250 εκατ. τόνους ετησίως ή σε 6% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ έως το 2020. Οι ισχύοντες κανονισμοί έχουν μικρή μόνο επίδραση στην μείωση των ποσοστών εκπομπής, ενώ οι όποιες μειώσεις έχουν επιτευχθεί έως τώρα, αναμένεται να υπερκεραστούν από την αύξηση της κυκλοφορίας των πλοίων εάν δεν υπάρξει μία άμεση μετάβαση σε υιοθέτηση νέων τεχνολογιών.

Όπως διαπιστώθηκε και στο 3^ο Κεφάλαιο, υπάρχει μια πληθώρα τεχνολογικών και λειτουργικών εφαρμογών οι οποίες υπόσχονται σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αέριων ρύπων. Αυτό σε συνδυασμό με τις προωθούμενες πολιτικές του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού δημιουργούν μια εξαιρετική δυναμική περιορισμού των εκπομπών από την ναυτιλία. Από την άλλη πλευρά, απογοήτευση προκαλεί η αποτυχία της Διάσκεψης της Κοπεγχάγης, η οποία διεξήχθη τον Δεκέμβριο του 2009, να θέσει στόχους μείωσης των εκπομπών ρύπων στους τομείς των θαλάσσιων και εναέριων μεταφορών.

Είναι σαφές πως πλέον δεν υπάρχει πλέον η πολυτέλεια της αναβλητικότητας. Στενεύουν τα περιθώρια αντίδρασης καθώς οι επιπτώσεις στο περιβάλλον σε λίγο χρονικό διάστημα θα είναι μη αναστρέψιμες. Είναι αναγκαία μια συντονισμένη ενιαία κινητοποίηση προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης του προβλήματος. Τεχνολογικές λύσεις είναι διαθέσιμες. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός πρωτοστατεί σε αυτόν τον τομέα αλλά είναι αναγκαία μια συντονισμένη και κοινή δράση για την εφαρμογή καθολικών και νομικά δεσμευτικών μέτρων αντιμετώπισης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) CONCAWE. (2007). *Oil Refining in the EU in 2015*. CONCAWE.
- 2) EMEP/CORINAIR. (2007). *Air Pollutant Emissions Inventory Guidebook*. CORINAIR.
- 3) European Commission. (2003). *Advice on Marine Fuel*. European Commission.
- 4) European Commission and ENTEC UK Ltd. (2002). *Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community*.
- 5) European Commission. (2002). *Study C.1/01/2002-Cost Of Sulphur Reduction In Marine Fuels-*. European Commission.
- 6) IMO (2009), *2nd GHG STUDY 2009*. IMO.
- 7) International Energy Agency. (2005). *The European Refinery Industry Under the EU Emission Trading Scheme*. IEA.
- 8) International Maritime Organization. (2004). Annex VI: Prevention of Air Pollution from Ships. Στο IMO, *MARPOL 73/78*. IMO.
- 9) IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Εκδ. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- 10) Johanna Wahlström, N. K. (2006). *Ship emissions and technical emissions reduction potential in the Northern Baltic Sea*. Finish Environment Institute.
- 11) Entek UK Limited, E. U. (2007). *Ship Emission Inventory: Mediterranean Sea*. CONCAWE.
- 12) Lloyd's Register. (1995). *Marine Exhaust Emissions Research Programme*. Λονδίνο.
- 13) National Technical University of Athens Laboratory for Maritime Transport. (2008). *Ship Emission Study*. Hellenic Chamber of Shipping.
- 14) UNCTAD. (2007). *Review of Maritime Transport*. UNCTAD.
- 15) Ιωαννίδης, Ι. (2005). *Ναυτικές Μηχανές*. Αθήνα: Εκδ. ΕΜΠ.
- 16) Καραθανάσης, Σ. (2006). *Ατμοσφαιρική ρύπανση*. Θεσσαλονίκη: Εκδ. Τζιόλα.
- 17) Σ. Στούρνας, Ε. Λ. (2003). *Τεχνολογία καυσίμων και λιπαντικών για φοιτητές Σχολών Μηχανολόγων Μηχανικών*. Αθήνα: Εκδ. ΕΜΠ.
- 18) ΥΠΕΧΩΔΕ. (2002). *Εθνικό πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου*. Αθήνα.

РАНЕКЪМЪО РЕПАА